

Webbasierte Visualisierung von Extended Floating Car Data (XFGD)

Ein Ansatz zur raumzeitlichen Visualisierung und
technischen Implementierung mit Open Source
Software unter spezieller Betrachtung des
Umwelt- und Verkehrsmonitoring

Master-Thesis

zur Erlangung des akademischen Grades

‚master of science‘ (M.Sc.)

im Studiengang ‚Geoinformation und Visualisierung‘

eingereicht von

Patrick Volland, Matr.-Nr. 737716

Gutachter

Prof. Dr. Hartmut Asche, Universität Potsdam

Prof. Dr. Frank Heidmann, Fachhochschule Potsdam

Potsdam, den 01. Juli 2014

Online veröffentlicht auf dem
Publikationsserver der Universität Potsdam:
URN urn:nbn:de:kobv:517-opus4-96751
<http://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:kobv:517-opus4-96751>

Danksagung

Diese Arbeit wurde durch verschiedene Akteure unterstützt, ohne die sie in der vorliegenden Form nicht möglich gewesen wäre. Ein besonderer Dank geht daher an die Experten, die sich freundlicherweise im Rahmen der durchgeführten Experteninterviews zur Verfügung gestellt haben, die umfangreiche und konstruktive Zusammenarbeit im Bereich der Open Source Softwareentwicklung sowie die Bereitstellung von benötigter Hardware.

Experten



Herr Prof. Dr. Michael Ortgiese
Fachhochschule Potsdam,
Fachbereich Bauingenieurwesen,
Fachgebiet Verkehrswesen



Herr Dr. Georg Förster
Fraunhofer-Institut für Verkehrs-
und Infrastruktursysteme IVI,
Abteilung Intermodale
Informations- und
Managementsysteme, Dresden

Software



Herr Paulo Pires
Open Source Projekt
“android-obd-reader”, Portugal

Hardware



Herr Bernd Hofmann
APOS GmbH Embedded Systems,
Baienfurt-Niederbiegen

Kurzfassung

Moderne Kraftfahrzeuge verfügen über eine Vielzahl an Sensoren, welche für einen reibungslosen technischen Betrieb benötigt werden. Hierzu zählen neben fahrzeugspezifischen Sensoren (wie z.B. Motordrehzahl und Fahrzeuggeschwindigkeit) auch umweltspezifische Sensoren (wie z.B. Luftdruck und Umgebungstemperatur). Durch die zunehmende technische Vernetzung wird es möglich, diese Daten der Kraftfahrzeugelektronik aus dem Fahrzeug heraus für die verschiedensten Zwecke zu verwenden.

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, diese neue Art an massenhaften Daten im Sinne des Konzepts der „Extended Floating Car Data“ (XFCD) als Geoinformationen nutzbar zu machen und diese für raumzeitliche Visualisierungen (zur visuellen Analyse) anwenden zu können. In diesem Zusammenhang wird speziell die Perspektive des Umwelt- und Verkehrsmonitoring betrachtet, wobei die Anforderungen und Potentiale mit Hilfe von Experteninterviews untersucht werden. Es stellt sich die Frage, welche Daten durch die Kraftfahrzeugelektronik geliefert und wie diese möglichst automatisiert erfasst, verarbeitet, visualisiert und öffentlich bereitgestellt werden können. Neben theoretischen und technischen Grundlagen zur Datenerfassung und -nutzung liegt der Fokus auf den Methoden der kartographischen Visualisierung. Dabei soll der Frage nachgegangen werden, ob eine technische Implementierung ausschließlich unter Verwendung von Open Source Software möglich ist. Das Ziel der Arbeit bildet ein zweigliedriger Ansatz, welcher zum einen die Visualisierung für ein exemplarisch gewähltes Anwendungsszenario und zum anderen die prototypische Implementierung von der Datenerfassung im Fahrzeug unter Verwendung der gesetzlich vorgeschriebenen „On Board Diagnose“-Schnittstelle und einem Smartphone-gestützten Ablauf bis zur webbasierten Visualisierung umfasst.

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	I
Abbildungsverzeichnis	III
Tabellenverzeichnis	VI
Listingverzeichnis	VI
Abkürzungsverzeichnis	VII
1. Einleitung	9
1.1. Motivation	9
1.2. Problemstellung und Ziele	10
1.3. Aufbau der Arbeit	11
2. Einordnung und Begriffsdefinition	13
2.1. Floating Car Data (FCD)	14
2.2. Extended Floating Car Data (XFCD)	16
2.3. Datenverarbeitung und Auswertung	20
2.4. Potentielle Anwendungen und Nutzer	22
3. Theorie und Technik der Datenerfassung und -nutzung	25
3.1. Einführung in die Kraftfahrzeugelektronik	25
3.2. Sensoren im Kraftfahrzeug	28
3.3. Diagnosemöglichkeiten und Datenerfassung	32
3.4. Smartphone-gestützter Ablauf	37
3.5. Rechtliche Aspekte	39
4. Potentiale und Anforderungen aus Sicht von Forschung und Praxis	42
4.1. Auswahl der Experten	43
4.2. Aufbau und Struktur	44
4.3. Auswertung und Zusammenfassung	44
5. Grundlagen und Anwendung kartographischer Visualisierung	51
5.1. Anforderungen und Generierung von Visualisierungen	53
5.2. Graphische Verarbeitung von Informationen in Raum und Zeit	57
5.3. Interaktion mit digitalen kartographischen Medien	63
6. Konstruktion eines Visualisierungsansatzes	66
6.1. Definition eines exemplarischen Anwendungsszenarios	66
6.2. Visualisierung ausgewählter Parameter	68
6.3. Bildschirmausgabe und Benutzerinteraktion	76

7.	Technischer Implementierungsansatz	82
7.1.	Auswahl der Software-Komponenten	82
7.2.	Mobile Applikation.....	87
7.3.	Datenempfang und -speicherung	89
7.4.	Datenaufbereitung und -verarbeitung	92
7.5.	Anwendung und abschließende Bemerkungen	98
8.	Fazit und Schlussfolgerungen	104
9.	Ausblick.....	108
	Quellenverzeichnis	111
	Anhang	122
	Anhang A: Verkehrslagekarten durch FCD u. XFCD	123
	Anhang B: Sensoren im Kraftfahrzeug.....	125
	Anhang C: Kartenbasierte Visualisierung von XFCD.....	127
	Anhang D: Interviewleitfaden Experteninterviews.....	129
	Anhang E: Transkription Experteninterview I.....	133
	Anhang F: Transkription Experteninterview II.....	144
	Anhang G: Modelle der Kartennutzung	156
	Anhang H: Beispiele für die Visualisierung von Luftdruck und Temperatur.....	157
	Anhang I: Beispiele für die Visualisierung von CO ₂ -Emissionen	158
	Anhang J: Wireframes der Benutzeroberfläche	160
	Anhang K: Übersicht zur Visualisierung.....	162
	Anhang L: Mock-Up der Benutzeroberfläche	163
	Anhang M: Entwicklung mobile Applikation.....	166
	Anhang N: Benutzeroberfläche mobile Applikation.....	167
	Anhang O: Quellcodes	168
	Anhang P: Bildschirmausgabe am Server	173
	Anhang Q: Experimenteller Aufbau	174

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1	Zusammensetzung eines FCD-Datensatzes (Floating Car Data). Quelle: eigene Darstellung.	15
Abb. 2	Zusammensetzung eines XFCD-Datensatzes (Extended Floating Car Data). Quelle: eigene Darstellung.	17
Abb. 3	XFCD - Daten und potentielle Verwendung (schematische Darstellung). Quelle: eigene Darstellung.	21
Abb. 4	XFCD - Anwendungsbeispiele mit Visualisierungsbezug (exemplarische Auswahl). Quelle: eigene Darstellung.	23
Abb. 5	Zunahme an elektronischen Steuergeräten in modernen Kraftfahrzeugen (Beispiel: Mercedes Benz E-Klasse W210 von 1995 mit 17 elektr. Steuergeräten und BR212 von 2011 mit 67 elektr. Steuergeräten). Quelle: SCHÄFFER 2012, 23.	26
Abb. 6	Elektronische Steuergeräte und Vernetzung mittels Datenbus (am Beispiel des CAN-Bus). Quelle: eigene Darstellung, auf Grundlage von SCHÄFFER 2012, 89 und REIF 2012B, 19 + 24.	28
Abb. 7	OBD-Diagnoseanschluss - Stecker und Pin-Nummerierung (links), Buchse und Einbauort (rechts). Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Grundlage von REIF 2012, 177 und GOOGLE 2014.	34
Abb. 8	Zugriff mittels OBD: Diagnosegerät (XXLtech NX200, links), Datenkabel (Diamex AGV4000, Mitte), Bluetooth Adapter (APOS BT OBD 327, rechts). Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Grundlage von DIAMEX 2014, XXLTECH 2014 und APOS 2014.	35
Abb. 9	Smartphone-gestützter Ablauf zur Erzeugung von XFCD aus OBD-Daten mit anschließender webbasierter Verarbeitung und Visualisierung (schematische Darstellung). Quelle: eigene Darstellung.	38
Abb. 10	Stufen und Datenfluss in der Visualisierungspipeline. Quelle: eigene Darstellung, auf Grundlage von SCHUMANN & MÜLLER 2000, 15 + 17.	55
Abb. 11	Statische und dynamische visuelle Darstellungsvariablen (nach Bertin und MacEachren). Quelle: eigene Darstellung, auf Grundlage von MAC EACHREN 2004, 279 + 288.	69

Abb. 12	Anreicherungsprozess von Bewegungsdaten (schematische Darstellung). Quelle: eigene Darstellung, auf Grundlage von BAGLIONI ET AL. 2009, 275.	61
Abb. 13	Konzept des „geographical, statistical and temporal brushing“ (nach Monmonier). Quelle: MONMONIER 1990, 42 bzw. MACEACHREN 2004, 419.	65
Abb. 14	Anwendungsbeispiele für zeitliche Legenden (als ‚time wheel‘): GeoVISTA Studio TEMPEST (links); Oakland Crimespotting (rechts). Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Grundlage von ANDRIENKO & ANDRIENKO 2006, 347 und OCS 2014.	65
Abb. 15	Visualisierung von lokalen Gefahrenwarnungen in unterschiedlichen Maßstabsbereichen. Quelle: eigene Darstellung, Kartengrundlage Google Maps.	72
Abb. 16	Visualisierung von Verkehrsströmen und -knoten mittels Bandkartogramm. Quelle: eigene Darstellung (links) und KOHLSTOCK 2004, 138.	73
Abb. 17	Visualisierung von Fahrzeugbewegungen mittels Animation: unter Verwendung des Helligkeitswertes (links), unter Verwendung von Helligkeit und Farbe (rechts). Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Grundlage von CARTODB 2014C (links) und WALLACE & WOODRUFF 2011 (rechts).	74
Abb. 18	Visualisierung der durchschn. Wartezeit an Kreuzungsknoten und Lichtsignalanlagen mittels Punktsignaturen in unterschiedlichen Maßstabsbereichen. Quelle: eigene Darstellung, Kartegrundlage Google Maps.	76
Abb. 19	Flächenaufteilung Benutzeroberfläche: Ein-Fenster-Ansicht (links), Zwei-Fenster-Ansicht (rechts).. Quelle: eigene Darstellung.	78
Abb. 20	Benutzerinteraktion (Ein-Fenster-Ansicht links, Zwei-Fenster-Ansicht rechts): innerhalb der Flächenelemente (oben), zwischen den Flächenelementen (unten). Quelle: eigene Darstellung.	79
Abb. 21	Implementierungsansatz und Aufbau der Entwicklungsumgebung. Quelle: eigene Darstellung.	83
Abb. 22	Aufbau der Datenbanktabelle in CartoDB (als Ergebnis des Skripts „obds2cdb.sh“). Quelle: eigene Darstellung.	91
Abb. 23	Möglicher Ansatz für ein Datenbankschema unter Einbezug von Punkt- und Linien-Geometrien. Quelle: eigene Darstellung.	94

Abb. 24	<i>Anonymisierungsstrategien für XFCD durch Veränderung der Start- und Zielpunkte einer Trajektorie.</i> Quelle: eigene Darstellung.	95
Abb. 25	<i>Vergleich der durch Simulator und Fahrzeug erzeugten Daten: Genauigkeit der Positionsbestimmung (oben) und Verfügbarkeit der Daten (unten).</i> Quelle: eigene Darstellung, Kartegrundlage Google Maps.	100

Tabellenverzeichnis

Tab. 1	<i>Möglicher Inhalte und Dienste auf Basis von XFCD.</i> Quelle: eigene Zusammenstellung, erweitert nach BREITENBERGER ET AL. 2004, 3-4.	19
Tab. 2	<i>Ausgewählte Sensoren im Kraftfahrzeug (zuzgl. potentieller Eignung für UM/VM).</i> Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Grundlage von REIF 2012B.	29
Tab. 3	<i>Ausgewählte OBD II PID (inkl. Wertebereich und Maßeinheit).</i> Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Grundlage von SCHÄFFER 2012, 205-224.	36
Tab. 4	<i>Ausgewählte Experten im Rahmen der Experteninterviews.</i> Quelle: eigene Zusammenstellung.	43
Tab. 5	<i>Angesprochene Fragen in den Experteninterviews.</i> Quelle: eigene Zusammenstellung, auf Grundlage von Interviewleitfaden und Transkription.	45
Tab. 6	<i>Exemplarisch ausgewählte Informationen (Sachverhalte und Phänomene) für die Visualisierung.</i> Quelle: eigene Zusammenstellung.	68

Listingverzeichnis

List. 1	<i>Berechnung von OBD-Diagnosewerten.</i> Quelle: eigene Darstellung, auf Grundlage von SCHÄFFER 2012, 97-98.	88
List. 2	<i>JSON-Ausgabe und Datenbank-Eintrag (exemplarisch).</i> Quelle: eigene Darstellung.	90
List. 3	<i>Berechnung des Kraftstoffverbrauchs (Momentanverbrauch).</i> Quelle: eigene Darstellung, auf Grundlage von SCHÄFFER 2012, 183.	96
List. 4	<i>Beispiel für die Berechnung der durchschn. CO₂-Emissionen.</i> Quelle: eigene Darstellung, auf Grundlage von BLFU 2013.	97

Abkürzungsverzeichnis

AAP	Ambient Air Pressure Sensor
AAT	Ambient Air Temperature Sensor
ABS	Anti-Blockier-System
API	Application Programming Language
APK	Android Application Package File
AQS	Air Quality Sensor
BDSG	Bundesdatenschutzgesetz
BGB	Bürgerliches Gesetzbuch
BT	Bluetooth
BUS	Binary Unit System
CAN	Controller Area Network
CARB	California Air Resource Board
CO	Kohlenstoffmonoxid
CO₂	Kohlenstoffdioxid
CSS	Cascading Style Sheets
DTC	Diagnostic Trouble Code
ECU	Electronic Control Unit
ECM	Engine Control Module
EDV	Elektronische Datenverarbeitung
EOBD	Europäische On Board Diagnose
ERM	Entity Relationship Model
ESP	Elektronische Fahrdynamikregelung
EU	Europäische Union
EVA	Eingabe Verarbeitung Ausgabe
FCD	Floating Car Data
FTP	Fuel Tank Pressure Sensor
GIS	Geographisches Informationssystem
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications
GUI	Graphical User Interface
HTML	Hypertext Markup Language
HTTP	Hypertext Transfer Protocol
IAT	Intake Air Temperature Sensor
ISO	International Organization for Standardization
JS	JavaScript
JSON	JavaScript Object Notation
KML	Keyhole Markup Language
LDP	Leak Detection Pump
LOS	Level of Service
MAF	Mass Air Flow Sensor
MIL	Malfunction Indicator Lamp
MVC	Model Controller View
NO_x	Stickoxide
OBD	On Board Diagnose

OBU	On Board Unit
ODbL	Open Database License
OGC	Open Geospatial Consortium
OSM	Open Street Map
PC	Personal Computer
PHP	PHP Hypertext Preprocessor
PID	Parameter Identifikator
PKW	Personenkraftwagen
REST	Representational State Transfer
SOA	Service-oriented Architecture
StvO	Straßenverkehrsordnung
SQL	Structured Query Language
TCM	Transmission Control Unit
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDDSG	Teledienststedatenschutzgesetz
UM	Umweltmonitoring
VSS	Vehicle Speed Sensor
VM	Verkehrsmonitoring
WWH-OBd	World Wide Harmonized On Board Diagnostic
WLAN	Wireless Local Area Network
XFCd	Extended Floating Car Data

1. Einleitung

Die heute rasant verlaufende technische Entwicklung zeigt sich besonders durch den Einzug der umfangreicher werdenden Vernetzung von elektronischen Systemen jeglicher Art in nahezu jedem Bereich unseres Lebens. Für diese Allgegenwart elektronischer Datenverarbeitung (EDV) prägte der US-amerikanische Informatiker Mark Weiser bereits Anfang der 1990er Jahre den Begriff „Ubiquitous Computing“ (TANENBAUM & WETHERALL 2012, 31). Besonders bei Alltagsgegenständen, wie beispielsweise Computern oder Smartphones, zeigt sich die immer leistungsfähigere Technologie bei kleinerer Hardware-Größe und fallenden Anschaffungskosten. Auch moderne Kraftfahrzeuge, welche uns die individuelle Mobilität (auch über weite Strecken hinweg) ermöglichen, sind längst nicht nur komplexe mechanische, sondern in zunehmendem Maße komplexe elektronische Systeme. Sie verfügen über eine Vielzahl an technischen Komponenten, die für einen reibungslosen Betrieb sowie für die zunehmende Zahl an zusätzlichen Komfort- und Sicherheitsfunktionen benötigt werden. In diesem Zusammenhang werden unterschiedlichste Sensoren verwendet, deren Werte Informationen über die technischen Abläufe und auch über das Umfeld bzw. die Umwelt des Fahrzeugs liefern. Die dabei anfallenden großen Mengen an Daten stellen hohe Anforderungen an die Datenverarbeitung. Der kanadische Autor Cory Doctorow hielt hierzu in einem Vortrag zu den Folgen der elektronischen Vernetzung auf dem „28. Chaos Communication Congress 2011“ (28C3) in Berlin treffend fest: „We don't have cars anymore, we have computers we ride in“ (DOCTOROW 2011).

Vor dem Hintergrund zur Verfügung stehender Kommunikationstechniken, steigender Datenbandbreiten sowie fallender Übertragungskosten liegt es nahe, die von Fahrzeugen gelieferten Daten für die verschiedensten Zwecke (auch extern) zu nutzen. Kraftfahrzeuge werden auf diese Weise potentiell selbst zu vernetzten (abrufbaren) mobilen Sensoren und stehen daher aktuell in besonderem Fokus von Forschung und Wirtschaft.

1.1. Motivation

Die Motivation für diese Arbeit besteht darin, die im (Computer-)System Kraftfahrzeug anfallenden Daten aus diesem heraus für eine Analyse nutzbar zu machen. Da die im Fahrzeug generierten (Sensor-)Daten grundsätzlich vor dem Hintergrund der

Dimensionen Raum und Zeit erzeugt werden, können sie (potentiell, d.h. nicht von vornherein) als raumzeitliche Informationen, somit als Geoinformationen bzw. Geodaten angesehen werden. Dies ermöglicht eine raumbezogene Verarbeitung sowie Visualisierung und stellt daher ein spannendes Feld speziell aus Sicht der Geoinformatik und Kartographie dar. Ein besonderer Anreiz besteht darin ein (technisches) Vorgehen zu wählen, welches nicht ausschließlich die Fahrzeuge neuester Generation, sondern auch ältere Modelle einbezieht. Es soll kein proprietäres und/oder kommerzielles System zum Einsatz kommen, sondern der Versuch unternommen werden einen möglichen und praktikablen Ansatz aufzuzeigen, welcher potentiell jeder Person die Nutzung von Daten aus Kraftfahrzeugen im oben genannten Sinne ermöglicht. Es soll auch auf Hardware verzichtet werden, die fest im Fahrzeug eingebaut bzw. montiert werden muss. In diesem Zusammenhang wird daher speziell die Verwendung von frei erhältlicher und quelloffener Open Source Software sowie preisgünstiger Hardware angestrebt.

1.2. Problemstellung und Ziele

Die vorliegende Arbeit soll einen Beitrag dazu leisten, diese neue Art an massenhaften Daten als Geoinformationen mit Fokus auf die Visualisierung (zur visuellen Analyse) zu nutzen. Diese Betrachtung steht in Zusammenhang mit dem Konzept der sog. „Extended Floating Car Data“ (XFCD), welches besonders in den Bereichen der Umwelt- und Verkehrserfassung bzw. des -Monitoring Anwendung findet. Daher wird die Arbeit spez. vor dem Hintergrund dieses Konzepts und der genannten Fachbereiche durchgeführt sowie anhand von Experteninterviews gestützt.

Schwerpunkt und zentrale Frage sind daher, wie die Daten im o.g. Sinn technisch nutzbar gemacht und für eine Visualisierung verwendet werden können. Hierbei soll der gesamte Ablauf von der Datenerfassung im Fahrzeug bis zur (externen) Verarbeitung und (raumzeitlichen) Visualisierung behandelt werden. Dazu muss ein geeignetes Verfahren als technischer Arbeitsablauf (engl. workflow) entwickelt werden, um die im Fahrzeug generierten Daten mit einem Raum- und Zeitbezug auszustatten, (automatisiert) aus dem Fahrzeug zu übertragen, zu verarbeiten und in einer interaktiven webbasierten Visualisierung anzubieten. In diesem Zusammenhang gilt es zu klären, welche Informationen (spez. von Sensoren) geliefert werden können sowie aufzuzeigen, ob und wie eine kartenbasierte bzw. kartographische Visualisierung (zweidimensional unter Einbezug der zeitlichen Dimension) in Kombination mit weiteren Visualisierungsmethoden (wie Diagrammdarstellungen) vorgenommen werden kann. Das Ziel der Arbeit besteht in der Formulierung eines

zweigliedrigem Ansatzes, welcher zum einen die Visualisierung (für ein exemplarisch gewähltes Anwendungsszenario) und zum anderen die technische Implementierung umfasst. Hierbei soll die Frage beantwortet werden, ob eine praktische Umsetzung des beschriebenen Arbeitsablaufs und der Visualisierung ausschließlich auf Basis von Open Source Software realisiert werden kann.

Die zu bearbeitende Problemstellung bildet somit das gesamte Spektrum der ‚Geoinformation und Visualisierung‘ ab. Da es sich um eine sehr umfangreiche und komplexe Thematik handelt, welche auch weitere Fachdisziplinen einschließt, können jedoch nicht alle Aspekte intensiv behandelt werden. Da dennoch ein möglichst breiter und strukturierter Überblick geliefert werden soll, wird für eine vertiefende Betrachtung an entsprechenden Stellen auf geeignete Literatur verwiesen. Auch der vorgestellte Visualisierungsumsatz kann aus Gründen des Umfangs nicht vollständig in eine technische Implementierung überführt werden. Vielmehr soll es darum gehen ein mögliches Vorgehen zu präsentieren und so weit zu implementieren, damit auf dieser Basis eine Umsetzung im Sinne des Visualisierungsansatzes vorgenommen werden kann. Die Dokumentation im Rahmen der vorliegenden Arbeit kann daher potentiell als Grundlage bzw. Ausgangspunkt für weitere Projekte dienen.

1.3. Aufbau der Arbeit

Zu Beginn der Ausführungen soll in Kapitel 2 eine kurze Einordnung und Begriffsdefinition vorgenommen werden. Dabei gilt es die für diese Arbeit zentralen Konzepte der sog. „Floating Car Data“ und speziell „Extended Floating Car Data“ sowie deren Unterschiede aufzuzeigen. Des Weiteren soll neben den grundsätzlichen Aspekten der Datenverarbeitung und Auswertung auch auf konkrete Anwendungsbeispiele sowie potentielle Anwendungen und Nutzer eingegangen werden.

In Kapitel 3 sollen die notwendigen Grundlagen zu Theorie und Technik der Datenerfassung und Datennutzung aufgezeigt werden. Neben einer kurzen Einführung in die Kraftfahrzeugelektronik wird eine Übersicht von Sensoren geliefert und eine Auswahl (für den vorliegenden Zusammenhang) vorgenommen. Aufbauend auf den Grundlagen zu Datenerfassung und Diagnosemöglichkeiten im Kraftfahrzeug, wobei besonders die sog. „On Board Diagnose“-Schnittstelle eine wesentliche Rolle einnimmt, soll der verwendete (Smartphone-gestützte) Arbeitsablauf beschrieben werden. In diesem Zusammenhang gilt es auch, kurz auf die rechtlichen Aspekte der Datenerfassung und -nutzung einzugehen.

Die wesentlichen Potentiale und Anforderungen sollen in Kapitel 4 für die betrachteten Fachbereiche aus Sicht von Forschung und Praxis mit Hilfe von zwei Experteninterviews (als qualitative empirische Methode) in Erfahrung gebracht werden. Ein besonderer Aspekt stellt dabei die Verwendung der Daten, spez. vor dem Hintergrund der visuellen Analyse, dar. Neben der Auswahl geeigneter Experten und der Beschreibung von Struktur und Aufbau der Interviews wird eine Auswertung und Zusammenfassung der angesprochenen Inhalte vorgenommen, was dem weiteren Vorgehen dienen soll.

Kapitel 5 behandelt die Grundlagen und Anwendung kartographischer Visualisierung und Kommunikation. Ausgangspunkt bilden die allgemeinen Anforderungen an Visualisierungen und das Konzept der Visualisierungspipeline. Des Weiteren sollen die Grundlagen der graphischen Verarbeitung von Informationen in Bezug auf die Dimensionen Raum und Zeit (vor dem Hintergrund der Visualisierungspipeline) betrachtet werden. Dabei gilt es auch, auf die Interaktion mit (digitalen) kartographischen Medien einzugehen.

Aufbauend auf den gesammelten Erkenntnissen wird in Kapitel 6 die Konstruktion des Visualisierungsansatzes im Kontext eines exemplarisch gewählten Anwendungsszenarios vorgenommen, welche Vorschläge für die geeignete graphische Repräsentation ausgewählter Sachverhalte (Parameter) sowie den Aufbau von Benutzeroberfläche und Benutzerinteraktion (im Sinne einer webbasierten Anwendung) enthalten soll. In Kapitel 7 kann dann der Implementierungsansatz auf Grundlage des zuvor beschriebenen Arbeitsablaufs entwickelt und teilweise prototypisch umgesetzt werden. Eine zentrale Stellung besitzt hierbei die Speicherung und Nutzung der Daten im Rahmen der raumbezogenen Datenverarbeitung. Neben der Auswahl geeigneter Open Source Software soll dabei eine kurze Betrachtung der einzelnen Stationen der Verarbeitungskette und deren Aufgaben vorgenommen werden. In diesem Zusammenhang stellt sich auch die Frage nach technischen Besonderheiten und möglichen Problem- und Fehlerquellen

Die Arbeit schließt in Kapitel 8 mit einem Fazit und Schlussfolgerungen sowie in Kapitel 9 mit einem Ausblick zur aktuellen und künftigen Entwicklung der vorgestellten Thematik ab.

2. Einordnung und Begriffsdefinition

Als Monitoring wird die systematische Dauerbeobachtung im Sinne des Umweltmonitorings (UM) von Lebewesen und Umweltprozessen und im Sinne des Verkehrsmonitorings (VM) von Fahrzeugen und Verkehrsprozessen im Straßenverkehr bezeichnet (vgl. EGNER 2011, 580 + 1026-1027). Um dieses Monitoring (z.B. in Form von für den Menschen nachvollziehbaren Visualisierungen) vornehmen zu können, wird die Erfassung von relevanten Daten vorausgesetzt. In diesem ersten Kapitel soll die für den vorliegenden Zusammenhang notwendige Einordnung und Begriffsdefinition vorgenommen werden.

In der Verkehrserfassung (spez. von automobilen Kraftfahrzeugen) kann der Funktionsbereich der Überwachung und Ortung gegliedert werden in „[...] die allgemeine Verkehrserfassung, z.B. über Induktionsschleifen, Lichtschranken oder auch straßeneigene Kameraüberwachung sowie die individuelle Ortung mittels Global Positioning System (GPS) oder dem GSM-Zellen-Ortungsverfahren mobiler Endgeräte“ (DOBORJGINIDZE 2005, 91). Von einem technischen Standpunkt aus betrachtet erfordern diese Methoden speziell die Verbindung der Bereiche Telekommunikation und Informatik und können unter dem Begriff „Verkehrstelematik“ eingeordnet werden: „Die am Verkehrsgesamtsystem orientierte Definition der Verkehrstelematik kann interpretiert werden als: ein Sammelbegriff für die Erfassung, Übermittlung, Verarbeitung und Nutzung von verkehrsbezogenen Daten mit dem Ziel der Organisation, Information und Lenkung des Verkehrs. Verkehrstelematik umfasst also Anwendungen von Datenverarbeitungs- und Telekommunikationstechniken für die Betreiber bzw. Nutzer von Verkehrsmitteln und/oder -infrastruktur“ (DOBORJGINIDZE 2005, 90; vgl. DIETSCHKE & REIF 2011, 1199). Die durch die Verkehrserfassung gelieferten Daten können beispielsweise zur Bewertung der aktuellen Verkehrssituation, zum Identifizieren von Schwerpunkt- und Problembereichen sowie zur Verkehrsprognose genutzt werden. Somit können die erzeugten und verarbeiteten Daten letztendlich zur Informationsverbesserung der Verkehrsteilnehmer, der Steuerung der Verkehrsabläufe, der Erfassung von zeitlichen und räumlichen Verkehrsströmen und zur Erhöhung der Verkehrssicherheit beitragen (vgl. ebenda).

Die erste Gruppe der Überwachung und Ortung in der Verkehrserfassung (die allgemeine Verkehrserfassung) erfordert jedoch meist kostenintensive und lokale bzw. stationäre, d.h. mehr oder weniger fest installierte Mess-Sensorik (z.B. sog. „Dauerzählstellen“; vgl. HBS 2009). Welche Informationen und möglichen Zusatznutzen kann jedoch das Verfahren mobiler Mess-Sensorik, d.h. auf Basis der

einzelnen Fahrzeuge für das Gesamtsystem Verkehr liefern? Um dieser Frage nachzugehen bilden daher speziell die Konzepte der sogenannten „Floating Car Data“ (FCD) und „Extended Floating Car Data“ (XFCD) als dessen Erweiterung die Grundlage für die Überlegungen, Untersuchungen und Ausarbeitungen dieser Arbeit.

2.1. Floating Car Data (FCD)

Das Konzept der „Floating Car Data“ (FCD) ermöglicht die Erfassung mittels individueller Ortung, d.h. individuelle Datenerfassung und Datenübermittlung auf Basis von (einzelnen) im Verkehrssystem befindlichen Fahrzeugen. Je mehr Fahrzeuge im Gesamtsystem Daten erfassen und liefern, desto umfangreicher wird die generierte Datenbasis und letztendlich auch zuverlässiger werden die daraus resultierenden Informationen und Aussagen. Hauptkomponenten eines FCD-Systems bilden sog. „onboard Einheiten“ (engl. onboard unit; OBU), welche sich (meist fest eingebaut) im Fahrzeug befinden und neben GPS auch über eine Datenanbindung (z.B. via Mobilfunknetz GSM, „Global System for Mobile communication“; vgl. TANENBAUM & WETHERALL 2012, 91) verfügen sowie ein zentrales System bzw. Server, an welchen die Daten meist in einem bestimmten zeitlichen Intervall automatisiert übertragen werden. Dies impliziert die Notwendigkeit, eine möglichst große Zahl an Fahrzeugen mit technischem Equipment auszustatten, um eine zuverlässige Datenbasis zu erzeugen. Besonders Fahrzeugflotten wie Taxis oder öffentliche Verkehrsmittel (z.B. Busse) werden hierbei oft als Partner für die Verkehrserfassung verwendet.

FCD ist stark verwandt mit dem Konzept der „Floating Phone Data“ bzw. „Floating Cellular Data“ (FPD), bei dem Mobilfunktelefone zum Sammeln der Daten (d.h. Position und Zeit) und zur Übertragung genutzt werden (vgl. RADU ET AL. 2013, 102). Der Vorteil liegt darin, dass kein spezielles Equipment bzw. Hardware benötigt wird. Für die Erfassung und Übertragung der Daten wird lediglich ein Mobilfunktelefon, vorzugsweise Smartphone (Ortung mit GPS bzw. GSM-Zellenortung und Datenanbindung) benötigt. Die so erfassten Daten können statistisch ausgewertet und genutzt werden, um beispielsweise Personen im Fahrzeug durch Verkehrsinformationen zu unterstützen: „For example, the navigation manufacturer TomTom provides real-time traffic information based on cellular floating phone data system which exploits data from anonymous cell phone users and is enhanced by GPS-based probe information and other third party messages“ (ebenda). Der Vollständigkeit halber sei hiermit angemerkt, dass die Positionsbestimmung technisch gesehen auf verschiedenen Wegen möglich ist. Neben der Verwendung eines globalen Navigationssatellitensystems (wie GPS) ist die Bestimmung der Position auch

innerhalb des Mobilfunknetzes mittels Zellenortungsverfahren möglich (vgl. DOBORJGINIDZE 2005, 91).

Eine kurze und allgemeine Definition von FCD kann somit wie folgt vorgenommen werden: „Floating Car Data (FCD) refers to using data generated by one vehicle as a sample to assess the overall traffic condition („cork swimming in the river“). Typically this data comprises basic vehicle telemetry [...] and, most importantly, the position of the vehicle“ (SHEKHAR & XIONG 2008, 321). Diese im Verkehrsfluss „mitschwimmenden“ Fahrzeuge werden als „Floating Cars“ bezeichnet“. Eine technische Konkretisierung ist wie folgt möglich: „The FCD technology requires a positioning system such as the Global Position System (GPS) and a wireless communication unit installed onboard the car. The real-time position of the car is transmitted at a regular interval to the server at a data center, which collects and processes all the GPS data packages to facilitate the determination of the traffic pattern“ (KRISP 2013, 31). Zusammengefasst ist ein FCD-Datensatz primär (geometrisch) punktbezogen und besteht aus der Position bzw. den Koordinaten des Fahrzeugs (Raumbezug) und der Zeit bzw. dem Zeitstempel (Zeitbezug) bei Erfassung (vgl. Abb. 1).



Abb. 1: Zusammensetzung eines FCD-Datensatzes (Floating Car Data).

Die Daten verfügen somit über eine räumliche und eine zeitliche Komponente und können mit diesem Bezug für weitergehende Auswertungen verwendet werden. Die Datenübertragung vom Fahrzeug an eine zentrale Stelle wird üblicherweise als Fahrzeug-zu-Infrastruktur („Car2Infrastructure Communication“, auch: Car2I) Kommunikation bezeichnet (vgl. BRAESS 2011, 461). Auf diese Weise können zum Beispiel Fahrtzeit und -verlauf rekonstruiert sowie zusätzliche Informationen aus diesen Daten berechnet bzw. abgeleitet werden wie die individuelle Fortbewegungsgeschwindigkeit eines Fahrzeugs oder dessen Beschleunigungs- und Abbremsverhalten. Aus den Daten der einzelnen Fahrzeuge können so mittels statistischer Methoden Aussagen über das Verkehrsgesamtsystem getroffen werden. Die Bandbreite von möglichen (Verkehrs-)Diensten auf Basis von FCD ist somit sehr vielfältig (nach LORKOWSKI ET AL. 2003, 7-12):

- Ableitung der durchschn. Fortbewegungsgeschwindigkeit,

- Verkehrslagedarstellung (als Situation des Verkehrs),
- automatisch generierte Stau- und Verkehrsmeldungen,
- dynamische Routenplanung, on- und offboard Navigationssysteme,
- Generierung digitaler Straßennetze.

Für die Verwendung von FCD zur Verkehrserfassung gibt es mittlerweile eine Reihe an konkreten Beispielen aus Forschung und Praxis, von denen zwei exemplarisch genannt werden sollen:

- Das „Deutsche Zentrum für Luft- und Raumfahrt“ (DLR), die Verkehrsmanagementzentrale Berlin (VMZ) und der Taxiflottenbetreiber CityFunk (Taxi Berlin TZB GmbH) führen in der Bundeshauptstadt Berlin seit 2001 ein gemeinsames Projekt durch, bei dem FCD speziell von Taxis bereitgestellt werden (vgl. ebenda, VMZ BERLIN 2014). Die auf diese Weise gesammelten Verkehrsdaten und -meldungen dienen zur Auswertung der aktuellen Verkehrslage in Berlin, welche als kartenbasierte Anwendung über die Webseite der Verkehrsinformationszentrale Berlin (VIZ) öffentlich einsehbar ist (vgl. Anhang A).
- Seit 2012 wird das Forschungsprojekt „REMON – Real time monitoring of urban transport in Hanoi“ vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Vietnamesische Ministry of Science and Technology (MOST) gefördert. Die Umsetzung wird durch die Projektbeteiligten wie dem DLR, Freie Universität Berlin (FUB) und Technische Universität Darmstadt (TUD) in Zusammenarbeit mit verschiedenen Partnern aus Vietnam vorgenommen (vgl. REMON 2013). In diesem Zusammenhang soll die Entwicklung eines angepassten Analyseverfahrens zur Berechnung der Verkehrslage auf Basis von FCD und FPD vorgenommen werden. Eines der angestrebten Ergebnisse liegt im Aufbau eines webbasierten „Traffic Viewers“ als Desktop- und Smartphone-Anwendung zur (kartenbasierten) Darstellung der Verkehrslage Hanois in Echtzeit (vgl. Anhang A).

2.2. Extended Floating Car Data (XFCD)

FCD bieten bereits eine Reihe an Möglichkeiten, um die Bewegungen einzelner Fahrzeuge nachvollziehen und Verkehrsinformationen ableiten zu können. Es liegt jedoch nahe, das FCD Konzept durch Hinzunahme zusätzlicher Daten, speziell aus Kraftfahrzeugelektronik und -sensorik, zu erweitern. Erste Überlegungen hierzu stellte der Automobilkonzern BMW bereits seit 1999 unter dem Begriff „Extended Floating Car

Data“ (XFCD) an: „Für XFCD werden die in den Steuergeräten und Subsystemen generierten und auf den Fahrzeugdatenbussen vorliegenden aktuellen Daten ausgelesen und aufbereitet. Die Algorithmen zur Auswertung und Weiterverarbeitung der relevanten Daten können in die vorhandene Telematikplattform des Fahrzeugs eingespielt werden. So lassen sich aus den Schaltzuständen von u.a. Abblend-, Fern- und Nebellicht, ABS [Antiblockiersystem], ASR [Antriebsschlupfregelung bzw. Traktionskontrolle], Außenthermometer, Klimaanlage, Navigationssystem, Bremse, Regensensor, Scheibenwischer, Warnblinker zusammen mit den aktuellen Geschwindigkeitswerten [...] Ergebnis- und Zustandsdaten generieren“ (BREITENBERGER ET AL. 2004, 3).

Eine kürzere und allgemeinere Definition von XFCD kann wie folgt formuliert werden: „The location and timestamp information [FCD] are enriched with vehicle status information derived from the in-vehicle bus system or additionally attached sensors“ (BARCELÓ & KUWAHARA 2010, 164). XFCD stellt somit die direkte Erweiterung des bereits vorgestellten FCD bzw. FPD Konzepts dar, indem die üblicherweise (geometrisch) punktbezogenen Positions- und Zeitinformationen durch weitere Informationen, speziell durch Daten der Fahrzeugelektronik, ergänzt werden (vgl. Abb. 2). Diese können beispielsweise dazu dienen, Informationen über die Beschaffenheit der Fahrbahn zu liefern und vor witterungsbedingten Gefahren zu warnen: „[...] reported ABS [Antiblockiersystem] and ESP [Elektronisches Stabilitätsprogramm] activities could indicate slippery road surface conditions or – depending on the temperature – black ice [Glatteis]“ (ebenda).



Abb. 2: Zusammensetzung eines XFCD-Datensatzes (Extended Floating Car Data).

Je nachdem wie viele und welche Informationen auf diese Weise ergänzt werden, entstehen so sehr umfangreiche und heterogene Datensätze sowie eine Vielzahl an potentiellen Möglichkeiten, weitere Informationen aus diesen Daten zu berechnen bzw. abzuleiten. Da moderne Kraftfahrzeuge heute über eine große Zahl an unterschiedlichen Sensoren verfügen, werden die von Fahrzeugen bzw. der Fahrzeugelektronik erzeugten Daten nicht nur für verkehrsrelevante Betrachtungen (z.B. für das Verkehrsmonitoring) sondern auch für umweltrelevante Betrachtungen (z.B. für das Umweltmonitoring) sehr interessant - aus Kraftfahrzeugen werden somit mobile Sensoren.

Die Idee des XFCD-Konzepts geht jedoch über diese Eigenschaften hinaus. Durch Techniken wie Fahrzeug-zu-Fahrzeug Kommunikation („Car2Car Communication“, auch: Car2Car; vgl. BRAESS 2011, 599) können sich Fahrzeuge auf Basis der Daten gegenseitig vor Gefahren (wie beispielsweise vor Unfällen oder Glätte) warnen, indem die vom einzelnen Fahrzeug gesammelten und aufbereiteten Informationen untereinander ausgetauscht werden: „The Key aspect of XFCD is that they have the potential to indicate hazardous conditions before they turn into real incidents“ (BARCELÓ & KUWAHARA 2010, 164). Um dies zu ermöglichen können grundlegende bzw. allgemein verbindliche Anforderungen an XFCD wie folgt formuliert werden (nach STOTTAN, 52):

- geringe laufende Betriebskosten (spez. Kommunikationskosten),
- skalier- und betreibbare Anonymitätsverfahren (Anonymisierung),
- betriebssichere und fahrzeugtaugliche onboard-Einheiten (OBU),
- einfach handelbare Standardisierung zur Bereitstellung gemeinnütziger Daten.

Neben weiteren Automobilherstellern bietet das Unternehmen BMW bereits heute Fahrzeuge mit entsprechenden onboard-Einheiten an und führt die auf Grundlage des XFCD-Konzeptes gesammelten Daten mittels Telematikdiensten unter dem Begriff „BMW ConnectedDrive“ zusammen. Die Vision des Unternehmens besteht darin, bis zum Jahr 2015 rund 90% aller neuzugelassenen Automobile mit moderner Vernetzungstechnologie auszustatten (vgl. BMW 2013, 4). Nach den Überlegungen von BMW kann sich bei XFCD eine besondere Kosteneffizienz durch die sogenannte Rückkanalreferenzierung ergeben: „Durch die Möglichkeit der Rückkanalreferenzierung ergeben sich deutliche Kosteneinsparungen gegenüber FCD, da ein XFCD-Fahrzeug, das in einen Stau fährt und diesen bereits via TMC (Traffic Message Channel) gemeldet bekam, die Übereinstimmung registriert und diesen Stau nicht mehr melden wird“ (BREITENBERGER ET AL. 2004, 4). Ein hoher Grad an Datenverarbeitung im Fahrzeug kann somit zur Reduzierung der Kommunikationskosten beitragen.

Ohne auf die weiteren Spezifika der von BMW getätigten Überlegungen einzugehen, stellt der geprägte Begriff XFCD eine treffende Beschreibung für die Erweiterung des FCD-Konzepts, speziell durch Hinzunahme von Daten der Fahrzeugelektronik bzw. –sensorik, dar: „Das Verfahren ‚Extended Floating Car Data‘ (XFCD) [...] erweitert die Qualität der erfassten und übertragenden Daten, indem hier sämtliche Informationen der Fahrzeugelektronik (wie ABS, ESP, Regensensoren) genutzt und für verschiedene Situationen (Verkehrszustand, Wetter, Straßenzustand) ausgewertet werden“ (HALBRITTER ET AL. 2008, 147). Die durch XFCD gelieferten Ereignis- und Zustandsdaten (Meldungsinhalte) und mögliche daraus generierte (Verkehrs-)Dienste können im

Allgemeinen wie folgt charakterisiert werden (erweitert nach BREITENBERGER ET AL. 2004, 3-4) :

XFCD Inhalte	XFCD Dienste
<ul style="list-style-type: none"> • Sensordaten • Daten zum Fahrzeugbetrieb • Verkehrszustand • Stau- und Ausfahrten • Staudurchfahrts- geschwindigkeiten • Lokale Gefahrenwarnungen 	<ul style="list-style-type: none"> • Verkehrsinformation • Umwelt-/Wetterinformation • Dynamische Zielführung • Reisezeiten und – Wege • Indiv. Verbrauchsanalyse (Kraftstoff und Emissionen)

Tab. 1: Mögliche Inhalte und Dienste auf Basis von XFCD.

Für die Verwendung von XFCD zur Erfassung von Verkehrs- und Umweltinformationen sollen ebenfalls zwei Beispiele aus Forschung und Praxis kurz angeführt werden:

- Im Forschungsprojekt „NIV - Netzausgleich Individualverkehr“, welches vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) als Teilprojekt im Rahmen der Initiative "Verkehrsmanagement 2010" gefördert wird, werden Daten vorhandener stationärer Erfassungsanlagen mit XFCD kombiniert: „Um künftig ein detaillierteres Bild der aktuellen Verkehrs- und Umweltlage, des Wetter- und Straßenzustandes gewinnen zu können. [...] Durch individuelle Information des Autofahrers und strategische Lenkung der Verkehrsströme soll die zur Verfügung stehende Verkehrsinfrastruktur besser genutzt werden“ (INVENT 2010, 3).
- Das Projekt „FCD Modellregion Salzburg“, welches im Auftrag des Landes Salzburg (Österreich) durch die Salzburg Research Forschungsgesellschaft bis Juni 2014 durchgeführt wird, soll eine Verkehrsdatenplattform speziell unter Verwendung von FCD/XFCD entwickelt werden (vgl. KRAMPE ET AL. 2013). FCD und XFCD werden in diesem Zusammenhang anonymisiert und freiwillig durch Fahrzeugflotten (z.B. Salzburger Verkehrsverbund) und durch Privatpersonen zur Verfügung gestellt. Als zentrales Ziel wird die Generierung einer bundeslandweiten Echtzeit-Verkehrslage fokussiert, welche die Basis für eine dynamische Verkehrsauskunft bzw. adaptive Verkehrssteuerung bilden soll. Eine webbasierte Verkehrslagekarte inkl. Smartphone Umsetzung steht öffentlich zur Verfügung (vgl. Anhang A).

2.3. Datenverarbeitung und Auswertung

Die Verwendung von FCD und speziell XFCD stellt aus Sicht der EDV bzw. Informatik hohe und mitunter neue Anforderungen an Datenübertragung, -speicherung und -auswertung. Es handelt sich um sehr große Datenmengen, die in den nächsten Jahren massiv anwachsen und unseren Alltag beeinflussen werden. Zur Verdeutlichung, um welche Größenordnung es sich hierbei handelt, soll ein kurzes Rechenbeispiel angeführt werden: „Jedes Fahrzeug überträgt Positionsdaten mit erweiterten Sensordaten (XFCD) in Zeitintervallen von 1 bis 10 Sekunden. Bei einer täglichen Fahrzeit von ca. 2 Stunden entstehen pro Tag in etwa 5 Mio. Datensätze. Hochgerechnet auf ein Jahr ergeben sich dadurch voraussichtlich 2 Mrd. Datensätze“ (KRAMPE et al. 2013, 452). Primär entscheiden die Anzahl der Fahrzeuge, die Anzahl der übertragenen Informationen in einem Datensatz sowie das zeitliche Übertragungsintervall über die aufkommende Datenmenge. Darüber hinaus können in einem nachgelagerten Verarbeitungsschritt weitere Informationen (statistisch) abgeleitet oder die Kombination mit anderen Erfassungssystemen und Datenquellen vorgenommen werden. Bei der Verarbeitung (engl. processing) von XFCD handelt es sich somit „[...] um ein klassisches ‚Big Data‘-Thema“ (ebenda; vgl. auch DTAG 2013). Ohne an dieser Stelle auf weitere technische Details einzugehen, kann der Begriff „Big Data“ allgemein wie folgt aufgefasst werden: „Big Data beschäftigt sich mit dem Sammeln von Daten und der Gewinnung wertvoller und nützlicher Informationen aus diesen Daten. Und auch mit der Findung und Schaffung sowie Nutzung von weiteren bzw. neuen Datenquellen, um noch mehr nützliche Informationen daraus zu gewinnen“ (BARON 2012, 2). Ein weiterer Aspekt wird durch die Echtzeitverarbeitung vorgegeben, da es sich bei Verkehrserfassung und -information i.d.R. um zeitkritische Anwendungen handelt: „Wenn das Laufzeitverhalten von Programmen eng an das Verhalten realweltlicher Objekte, wie z.B. Maschinen oder Roboter gekoppelt ist, spricht man von Realzeitbetrieb (engl. real time processing). Nicht die möglichst schnelle Programmausführung (wie oft irrtümlich angenommen), sondern ein möglichst realitätsnahes Verhalten ist die Zielsetzung dieser Betriebsart“ (RAUTENSTRAUCH 2001, 94).

Es stellt sich die Frage, wie die in den Daten, auch nach einer umfangreichen (computergestützten) Aufbereitung und eingehenden Filterung, enthaltenen großen Mengen an Informationen für den Menschen auswertbar und somit beherrschbar gemacht werden können. Da der Mensch mit seinen Möglichkeiten und Fähigkeiten im Fokus der Betrachtung steht (d.h. durch seine Fahraktivität sowohl Erzeuger als auch letztendlich Nutzer der Daten ist) und es gewohnt ist, Informationen visuell und schnell abzulesen und verarbeiten zu können, kann speziell die Visualisierung ein

geeignetes Mittel darstellen: „Die Informationsübermittlung beruht auf graphischen Zeichen, d.h. alle Nachrichten über reale Erscheinungen und über abstrakte Sachverhalte werden für die Möglichkeit eines optischen Kanals in einer Weise aufbereitet und präzisiert, die man insgesamt als Visualisierung bezeichnet“ (HAKE ET AL. 2002, 11). Weitere Formen der Informationsübermittlung (z.B. mittels akustischem Kanal) sind (besonders onboard) denkbar, jedoch für die vorliegende Arbeit nicht von weiterem Interesse. Auf den vorliegenden Zusammenhang übertragen ergeben sich zusammenfassend die folgenden Überlegungen zu Nutzungswegen von XFCD (vgl. Abb. 3):

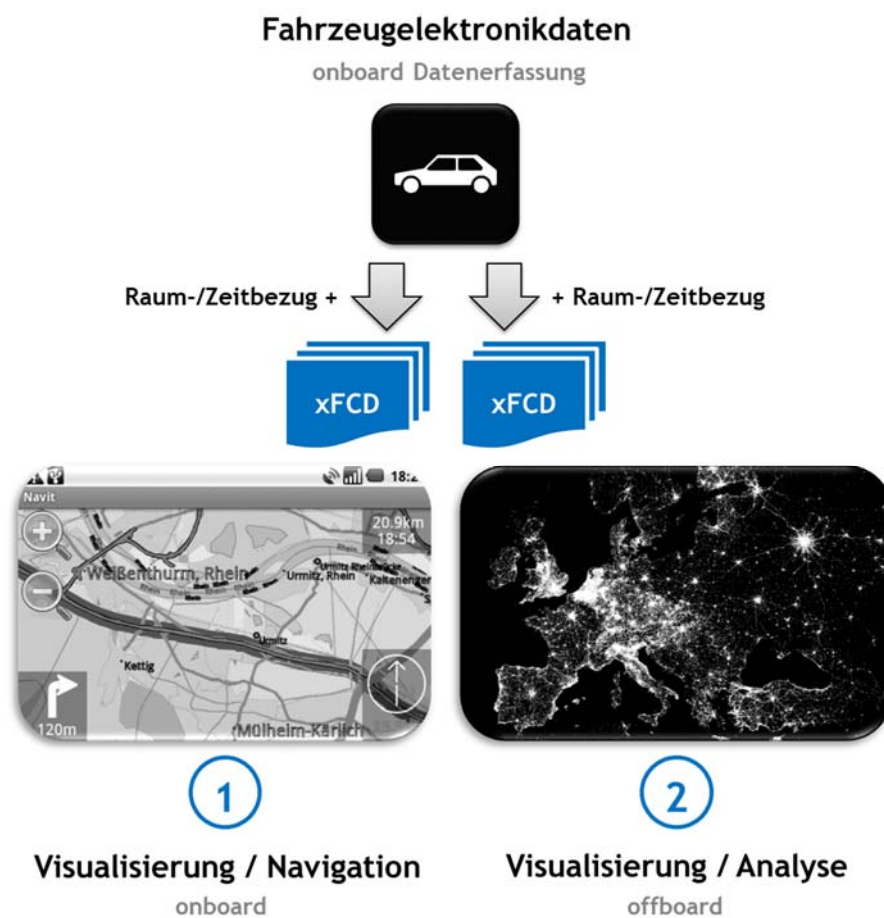


Abb. 3: XFCD - Daten und potentielle Verwendung (schematische Darstellung).

Die im Fahrzeug, d.h. onboard erhobenen Elektronik- bzw. Sensordaten werden, wie bereits ausgeführt, durch Hinzufügen eines Raum- und Zeitbezugs zu XFCD. Üblicherweise werden die Daten mittels Datenanbindung im Fahrzeug automatisiert und zeitnah an eine externe Stelle (Server) zur weiteren Verarbeitung übertragen. Zum einen können die Daten und die daraus resultierenden Informationen onboard zur

Unterstützung des Fahrers (z.B. Navigation und Verkehrssicherheit), besonders mit Hilfe von Visualisierungen, verwendet werden. Zum anderen können die Daten Anwender in verschiedensten Kontexten (z.B. Verkehrsplanung oder Verkehrsprognose; vgl. LOHSE & SCHNABEL 2011) offboard unterstützen, ebenfalls potentiell mit Hilfe von Visualisierungen als geeignete Methode zur Vermittlung großer Mengen von Informationen an den Menschen.

Es bleibt zu betonen, dass es sich bei XFCD (und FCD) um räumliche Daten bzw. Geodaten handelt, also „[...] digitale Daten, denen auf der Erdoberfläche eine bestimmte räumliche Lage zugewiesen werden kann“ (EGNER 2011, 289). Es ist somit nachvollziehbar, dass raumbezogene Datenverarbeitung und speziell kartenbasierte, d.h. kartographische Visualisierung eine wichtige Rolle bei der Analyse und Auswertung dieser Daten spielen. Neben der räumlichen stellt die zeitliche Bezugskomponente die zweite wichtige Voraussetzung dar und erfordert weitere Methoden der Datenverarbeitung und Visualisierung. In diesem Zusammenhang kann die Visualisierung raumzeitlicher Informationen bzw. „raumzeitliche Visualisierung“ als übergeordneter Begriff angesehen werden und soll mit einem konkreten Anwendungsbezug in einem späteren Abschnitt vertiefter betrachtet werden.

2.4. Potentielle Anwendungen und Nutzer

In den vorangegangenen Abschnitten wurden bereits einige konkrete Beispiele (spez. aus Verkehrs- und Umwelterfassung) für die Nutzung von XFCD angeführt, welche im Folgenden ergänzt werden sollen, mit dem Ziel, das breite Spektrum von Anwendungen und Nutzergruppen von XFCD und somit das Potential der Daten aufzuzeigen. Wie vielfältig die Anwendungsmöglichkeiten sind, kann wie folgt verdeutlicht werden: „The emergence of real-time location data has created an entirely new set of location-based services from navigation to pricing property and casualty insurance based on where, and how, people drive their cars“ (MCKINSEY 2011, 6). Die genannte „fahrleistungsabhängige Versicherung“ (engl. pay-as-you-drive insurance) auf Basis des XFCD Konzepts ist zumindest im Ausland bereits heute Realität. Beispielsweise werden von Versicherern in den USA wie Metromile mit dem Produkt „Per-Mile Insurance“, Esurance mit „DriveSense“ oder von Progressive mit „Snapshot“ fahrleistungsabhängige Versicherungen in Verbindung mit nachrüstbaren OBU angeboten (vgl. METROMILE 2014, ESURANCE 2014, PROGRESSIVE 2014, IPPISCH & THIESSE 2007). Als Anreiz werden dem Versicherungsnehmer in allen genannten Fällen finanzielle Einsparungen in Aussicht gestellt und die Möglichkeit gegeben, die eigenen Daten visualisiert in Form einer webbasierten Anwendung einsehen zu können. Bei

Progressive werden z.B. folgende Informationen ausgewertet und in die Berechnung der Versicherungsprämie einbezogen: „How often you slam on the brakes, how many miles you drive and how often you drive between midnight and 4 a.m.“ (PROGRESSIVE 2014). Eine ähnliche Variante bietet seit Anfang diesen Jahres die Sparkassen Direktversicherung unter dem Namen „S-Drive“ in Deutschland an, wobei der ermittelte „Score“ (Punktwertung der Fahrleistung) lediglich der Information des Fahrers dient und ggf. nicht zu Nachzahlungen führt (vgl. SDV 2014).

Dieses Beispiel zeigt in besonderem Maße, wie aussagekräftig die Daten sein können und wie stark bei der Nutzung dieser Daten in die individuelle Privatsphäre eingegriffen werden kann. Somit haben speziell bei der Verwendung von XFCD (datenschutz-)rechtliche Aspekte eine hohe Bedeutung, welche in einem späteren Abschnitt genauer betrachtet werden sollen. Da es nicht darum gehen kann, eine vollständige Auflistung aller bereits in der Praxis vorhandenen oder vorstellbaren Anwendungen und Dienste auf Basis von XFCD zu liefern, soll an dieser Stelle lediglich eine kurze Aufzählung weiterer ausgewählter Beispiele erfolgen (vgl. Abb. 4).



Abb. 4: XFCD - Anwendungsbeispiele mit Visualisierungsbezug (exemplarische Auswahl).

Wie bereits ausgeführt, kann die Verwendung von XFCD für den Bereich der Verkehrserfassung bzw. des Verkehrsmonitoring beispielsweise für Verkehrsplaner von hohem Nutzen sein, z.B. zur Auswertung der Verkehrsqualität und Visualisierung der Verkehrslage. Für die Umwelterfassung bzw. das Umweltmonitoring steht mit XFCD eine neue Datenquelle zur Verfügung, um z.B. lokale oder regionale Wetterereignisse wie Glätte/Glatteis (fahrbahnbezogen) zeitnah detektieren und letztendlich Verkehrsteilnehmer gezielt und in geeigneter Form vor entsprechenden Gefahren warnen zu können. Da Kraftfahrzeuge durch XFCD zu mobilen Sensoren werden, kann die Kombination und Auswertung von Messwerten, die stationäre und mobile Sensoren liefern, in beiden genannten Anwendungsbereichen eine wichtige Unterstützung bieten. Auch für private Anwender kann XFCD zahlreiche neue Einsichten in das eigene Fahr- und Umweltverhalten ermöglichen, da es beispielsweise

erstmalig möglich wird, eine individuelle Verbrauchsanalyse (als ökologischen Fußabdruck) des eigenen Fahrzeugs zu erhalten (auf Basis tatsächlich verursachten Kraftstoffverbrauchs und Emissionen, wie CO₂). Des Weiteren können Navigationsanwendungen durch XFCO unterstützt werden, um z.B. dynamisches Routing bzw. Routing in Abhängigkeit zum aktuellen Verkehrsaufkommen (d.h. dem Volumen des Verkehrs auf einer bestimmten Strecke insgesamt oder nach einzelnen Verkehrsträgern differenziert) zu ermöglichen (vgl. EGNER 2011, 1027). Abschließend kann der Bereich der Elektromobilität genannt werden, z.B. vor dem Hintergrund von raumbezogener Reichweitenabschätzung in Verbindung mit dem Ladestand des Fahrzeugs. Letztendlich kann das Erfassen, Verarbeiten und speziell Visualisieren von XFCO (eines oder vieler Fahrzeuge) in verschiedenen Kontexten Nutzern dazu dienen, eigene explorative Analysen (zum Erkennen von Phänomenen und Sachverhalten und zur Formulierung von Hypothesen) und konfirmative Analysen (auf Grundlage von bereits formulierten Hypothesen) zu erhalten (vgl. SCHUMANN & MÜLLER 2000, 6). Werden alle bisher genannten Beispiele betrachtet, können somit allgemein die folgenden potentiellen Nutzer bzw. Nutzergruppen identifiziert werden:

- Private Anwender bzw. Endnutzer
- Planer (z.B. Verkehrs- und Umweltplanung)
- Manager (z.B. Fahrzeugflottenmanagement)
- Entscheider (z.B. Politik und Verwaltung)
- Wirtschaftliche Akteure (z.B. Automobilhersteller, Versicherer)

In Bezug auf die Vielfalt der vorgestellten Anwendungsbeispiele und potentiellen Nutzer/-gruppe wird erneut deutlich, dass Visualisierung ein potentiell geeignetes, angebrachtes und in der Praxis häufig gewähltes Mittel für Analyse, Verständnis und Kommunikation dieser Art von (räumlichen) Daten (und damit verbundenen raumbezogenen Fragestellungen) darstellt. Für den weiteren Verlauf dieser Arbeit soll die Perspektive des Umwelt- und Verkehrsmonitoring von besonderer Bedeutung sein. Die weitere Spezifikation und Definition der Voraussetzungen und Anforderungen dieser speziellen Anwendungsperspektive (durch Experteninterviews gestützt) sowie die darauf aufbauende Definition eines exemplarischen Anwendungsszenarios zur Entwicklung einer geeigneten Visualisierung sollen in späteren Abschnitten vertieft betrachtet werden.

3. Theorie und Technik der Datenerfassung und -nutzung

Bevor es an die Bearbeitung eines konkreten Anwendungsbezugs, die Entwicklung eines Visualisierungs- oder technischen Implementierungsansatz gehen kann, müssen einige weitere Fragen beantwortet werden: In einem ersten Schritt ist es notwendig zu klären, welche Daten genau durch die Fahrzeugelektronik und -Sensorik geliefert und wie diese technisch aus dem Fahrzeug im Sinne von XFGD (für eine spätere Visualisierung) genutzt werden können. In diesem Kapitel soll es darum gehen, die theoretischen, technischen und auch rechtlichen Grundlagen der Erfassung und Nutzung von Daten der Kraftfahrzeugelektronik im Allgemeinen und von XFGD im Speziellen aufzuzeigen. Hierbei liegt das Ziel darin, eine kurze und prägnante Darstellung der relevanten Grundlagen des komplexen Themenfeldes zu liefern, um diese für die weiteren Überlegungen verwenden zu können.

3.1. Einführung in die Kraftfahrzeugelektronik

Das in der EDV übliche und grundlegende Prinzip des Signalflusses von Eingabe, Verarbeitung und Ausgabe (auch als „EVA-Prinzip“ bezeichnet) wird auch für alle elektronischen Steuerungen und Regelungen im Kraftfahrzeug verwendet (vgl. DE LANGE 2013, 13). Die einzelnen elektronischen Komponenten in diesem System können wie folgt charakterisiert werden (vgl. GERIGK ET AL. 2009, 108):

- Eingabegeräte: Sensoren, z.B. Schalter, Hebel und Pedale
- Verarbeitungsgeräte: Steuergeräte, z.B. Prozessoren und Relais
- Ausgabegeräte: Aktoren, z.B. Lampen, Zündspulen und Arbeitszylinder

Die Zunahme elektronischer Komponenten im Fahrzeug lässt sich besonders gut an der wachsenden Anzahl der Verarbeitungsgeräte, d.h. der elektronischen Steuergeräte (engl. electronic control unit; ECU) darstellen (Abb. 5). Am exemplarischen Beispiel von Kraftfahrzeugen der Modellreihe Mercedes-Benz E-Klasse (Hersteller Daimler AG) zeigt sich eine Zunahme in der Anzahl der ECU von 17 im Jahr 1995 (Modell E-Klasse W210) auf 67 im Jahr 2011 (Modell E-Klasse BR212).

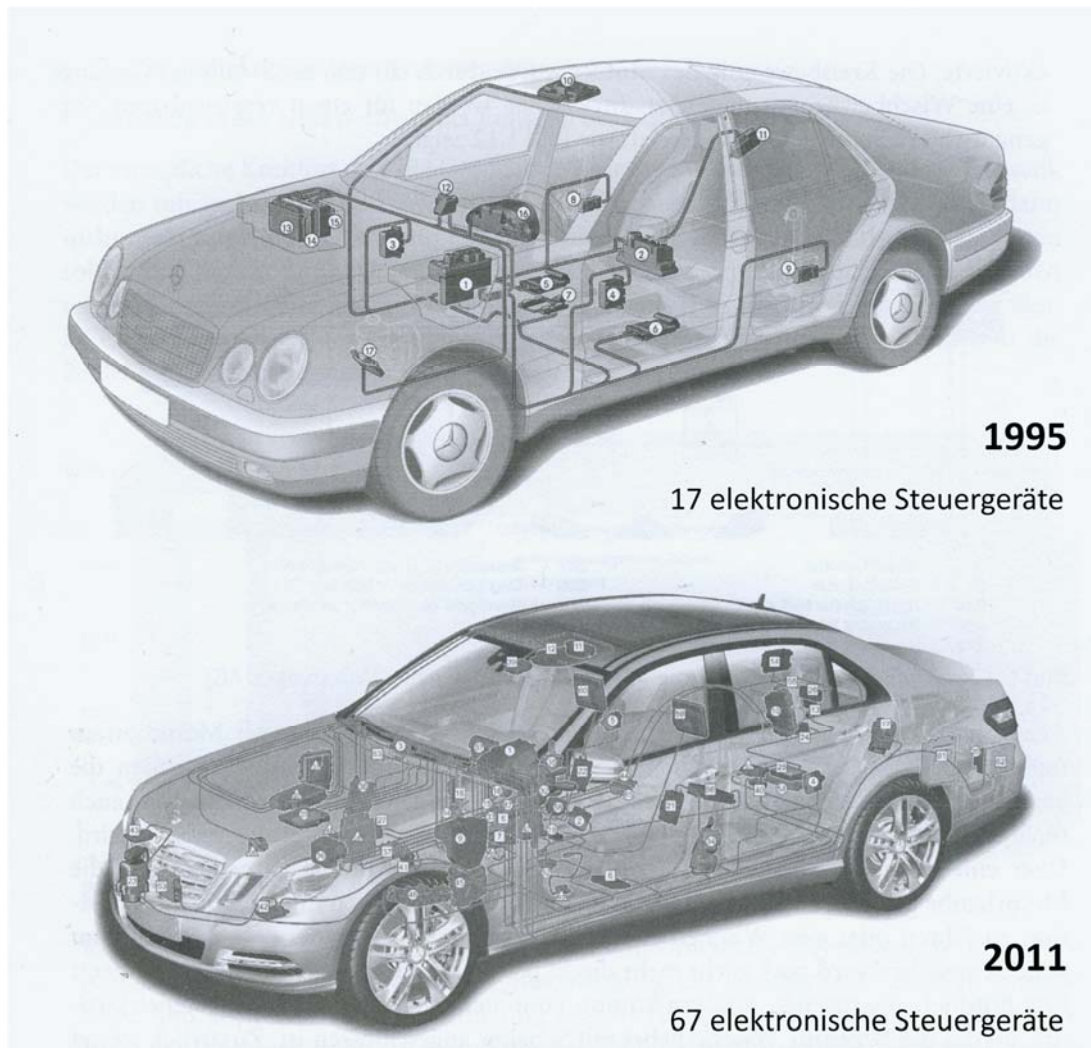


Abb. 5: Zunahme an elektronischen Steuergeräten in modernen Kraftfahrzeugen (Beispiel: Mercedes Benz E-Klasse W210 von 1995 mit 17 elektr. Steuergeräten und BR212 von 2011 mit 67 elektr. Steuergeräten).

Jedes dieser Steuergeräte verfügt über eigene Intelligenz in Form eines Mikrocontrollers, welcher über eine Software gesteuert wird. Er empfängt und verarbeitet die Signale der angeschlossenen Eingabegeräte (Sensoren) und generiert Signale für die angeschlossenen Ausgabegeräte (Aktoren) (vgl. ALT 2009, 5). Ein Steuergerät ist dabei für eine bestimmte Aufgabe bzw. einen bestimmten Funktionsbereich ausgelegt, beispielsweise: Motorsteuerung (dann bezeichnet als „engine control module“, ECM), ABS, Airbags, Spurhalteassistent, Klimaautomatik, Multimedia (vgl. SCHÄFFER 2012, 19-22).

Die elektronische Vernetzung im Fahrzeug wird durch das sogenannte „Bordnetz“ realisiert und kann als ein vernetztes bzw. verteiltes System spezialisierter Steuergeräte angesehen werden, wobei die einzelnen Steuergeräte untereinander

Daten (z.B. angeschlossener Sensoren) über einen gemeinsamen Datenbus austauschen: „Zum Beispiel wird die Fahrgeschwindigkeit im [Steuergerät des] Elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP) ermittelt und an alle weiteren Steuergeräte, die als Knoten im Bussystem vernetzt sind, übertragen“ (DIETSCHKE & REIF 2011, 1064; vgl. ALT 2009). Als weiteres Beispiel können die sogenannten Fahrerinformationssysteme genannt werden, welche dem Fahrer (onboard) Informationen, üblicherweise in visualisierter Form, übermitteln: „Fahrerinformationssysteme haben die Aufgabe den Fahrer über fahrzeugbezogene Daten (z.B. Kraftstoffverbrauch) und Kommunikations- sowie Komfortanwendungen (z.B. Radio, Navigationssystem) zu informieren“ (GERIGK 2009, 603). Diese Systeme sind im Fahrzeug häufig zu zentralen Einheiten, sog. Bordcomputern, mit eigenem Steuergerät zusammengefasst.

Bussysteme können somit als Netzwerke zum Datenaustausch aufgefasst werden, wobei die einzelnen Teilnehmer (i.d.R. ECU) als Netzwerkknoten bezeichnet werden. Eine Charakterisierung kann durch die Art der Verknüpfung der Teilnehmer (Topologie des Bussystems), die Regeln der Kommunikation zwischen den Teilnehmern (Protokoll des Bussystems) und der Spezifikation der physikalischen Realisierung vorgenommen werden (vgl. REIF 2012b, 2 ff). Als Grundlage wird das in der Informatik übliche ISO/OSI-Referenzmodellmodell (Schichtenmodell) für die Kommunikation in digitalen Systemen verwendet. Die Beschreibung der Kommunikation von Teilnehmern eines Bussystems wird durch die gebräuchlichen Formen des Client-Server-Modells und Producer-Consumer-Modells vorgenommen (vgl. ebenda).

Es sei darauf hingewiesen, dass eine Vielzahl an unterschiedlichen Bussystemen existiert und in modernen Kraftfahrzeugen oft mehrere (und unterschiedliche) Systeme vorhanden sind. Als Beispiel für ein häufig zu findendes Bussystem kann der CAN-Bus (engl. controller area network) genannt werden, welcher sich seit seiner Entwicklung (1983-1987 durch Bosch und Intel) und der Einführung 1991 als verbreiteter Standard für Kraftfahrzeuge etabliert hat und häufig auch in der Automatisierungstechnik angewendet wird (vgl. DIETSCHKE & REIF 2011, 1071). Ohne vertiefender auf weitere elektronische und technische Einzelheiten einzugehen, sollen die genannten Zusammenhänge der Vernetzung und Kommunikation im Kraftfahrzeug am Beispiel des CAN-Bus (mit klassischer Bus- bzw. Linientopologie) in Abb. 6 schematisch verdeutlicht werden: Die einzelnen Netzwerkknoten (i.d.R. die einzelnen ECU) sind durch zwei Datenbus-Leitungen mit dem Bussystem und somit auch untereinander verbunden. Die Enden der zwei Datenbusleitungen sind mit Abschlusswiderständen versehen. Knoten II stellt exemplarisch die Bestandteile und den Aufbau einer ECU sowie die Umsetzung des „EVA-Prinzips“ dar. Es zeigt sich, dass Teilnehmer im

Bussystem entweder Daten ausschließlich empfangen (Rx; engl. receiver) wie Knoten I, ausschließlich senden (Tx; engl. transmitter) wie Knoten III oder empfangen und senden können wie Knoten II (Rx/Tx).

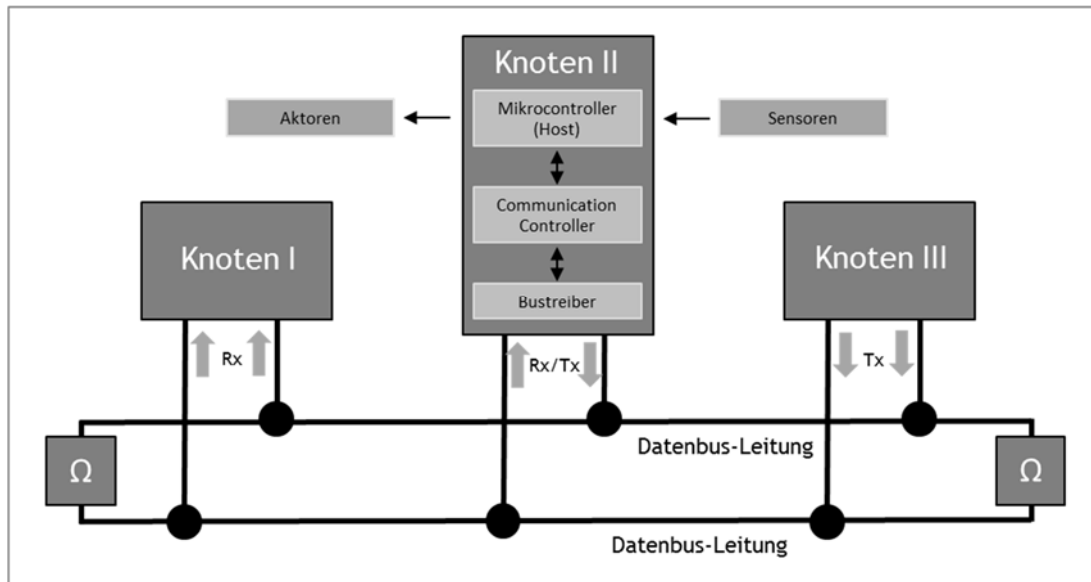


Abb. 6: Elektronische Steuergeräte und Vernetzung mittels Datenbus (am Beispiel des CAN-Bus).

Als Literaturquellen für ein vertiefendes Studium der Kraftfahrzeugelektronik empfiehlt sich: DIETSCH & REIF 2011, GERIGK 2009, HOEPKE & BREUER 2013 sowie REIF 2012B. Im Rahmen der vorliegenden Arbeit sind speziell die im Fahrzeug enthaltenen Sensoren von besonderem Interesse. Im nächsten Abschnitt gilt es zu klären, welche Informationen speziell diese (spez. für die Bereiche UM/VM) liefern können. Anschließend muss die Frage beantwortet werden, wie die Daten genau aus dem Fahrzeug bzw. dem Bordnetz im Sinne von XFCD nutzbar gemacht werden können.

3.2. Sensoren im Kraftfahrzeug

Sensoren (Signalglieder) erfassen physikalische Größen (Eingangssignale), wandeln diese beispielsweise in elektronische Spannungsimpulse um und leiten sie an das Steuer- bzw. Regelungssystem weiter (GERIGK ET AL. 2002, 190). Dieser Umstand kann anhand eines Beispiels erläutert werden: Das Steuergerät der elektronischen Einspritzanlage benötigt eine Reihe an Informationen (wie Motordrehzahl, Motortemperatur, Ansauglufttemperatur, den Lastzustand und die Abgaszusammensetzung), um die erforderliche Kraftstoffmenge zu ermitteln. Die jeweiligen physikalischen Größen werden hierzu von den entsprechenden Sensoren

erfasst und an das Steuergerät der Einspritzanlage zur Verarbeitung und anschließenden Steuerung weitergeleitet (vgl. ebenda).

Eine umfangreiche und detaillierte Einführung zu Sensoren in Kraftfahrzeugen, deren Funktion und Aufbau bietet spez. REIF 2012A. Eine Übersicht ausgewählter Sensoren kann der Abbildung in Anhang B entnommen werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl an Sensoren im Kraftfahrzeug zukünftig weiter ansteigen wird. Anzumerken ist, dass spezifische Sensorik (z.B. Temperatursensoren) oft mehrfach im Fahrzeug verbaut ist. Entsprechend ihres Einsatz-/Funktionszwecks (und Einbauortes) sind deren Werte unterschiedlich zu interpretieren. Im Umkehrschluss werden aber jedoch auch die Daten einzelner Sensoren für Funktionen in unterschiedlichen ECU verwendet – als ein Ergebnis der genannten Vernetzung im Fahrzeug. Neben der großen Vielzahl an Fahrzeugmodellen und -ausführungen geht letztendlich auch jeder Automobilhersteller beim Aufbau seiner Fahrzeugelektronik unterschiedlich vor. Aus diesen genannten Gründen ist eine umfassende Auflistung und Einteilung im Rahmen dieser Arbeit schwer zu leisten. Die (in Anh. B) beigelegte Tabelle greift die in der Abbildung gezeigten Sensoren auf und ordnet diese exemplarisch ihrem jeweiligen Funktionsbereich und Fahrzeugsystem (bzw. Steuergerät) zu. Es werden nun lediglich einige der für den vorliegenden Zusammenhang interessantesten Sensoren vorgestellt, welche hinsichtlich ihrer potentiellen Eignung für XFCD in Umweltmonitoring (UM) und Verkehrsmonitoring (VM) ausgewählt worden sind (vgl. Tab. 2). Diese Auswahl soll im Folgenden kurz begründet werden.

Bereich	Sensor	Fahrzeugsystem	UM	VM
Antrieb	Luftmassesensor	Motorsteuerung, On Board Diag.	X	
	Geschwindigkeitssensor	Geschwindigkeitsregelung		X
	Umgebungsdrucksensor	Motorsteuerung	X	
	Tankdrucksensor	On Board Diagnose	X	X
Komfort	Luftgütesensor	Klimaregelung	X	
	Temperatursensor	Heizungs- und Klimaregelung	X	
	Regensensor	Scheibenwischersteuerung	X	X
Sicherheit	Drehzahlsensor	Fahrdynamikr., Überrollsensierung	X	X
	Beschleunigungssensor	Anti Blockier System ABS, Airbag		X
	Drehratesensor	Fahrdynamikr., Überrollsensierung		X

Tab. 2: Ausgewählte Sensoren im Kraftfahrzeug (zuzgl. potentieller Eignung für UM/VM).

Luftmassesensor

- *Funktion:* Der Luftmassesensor (spez. MAF, engl. mass air flow sensor) wird in der Motorsteuerung zusammen mit dem Ladedrucksensor für die Regulierung der für die Verbrennung eingespritzten Kraftstoffmenge verwendet (vgl. BULLINGER 2007, 72; REIF 2012, 146).

- *Eignung (UM)*: Die Werte des MAF können für die Berechnung des Kraftstoffverbrauchs und letztlich auch der Kohlenstoffdioxid (CO₂) Emissionen verwendet werden, sofern das spezifische Fahrzeug diese Informationen nicht direkt von einer ECU abrufen kann (vgl. SCHÄFFER 2012, 183).

Geschwindigkeitssensor

- *Funktion*: Der Geschwindigkeitssensor (spez. VSS, engl. vehicle speed sensor) als Kombination verschiedener Sensoren ermittelt (u.a. über die Reifenumdrehungen) die Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Dieser wird beispielsweise in der Geschwindigkeitsregelung (auch Tempomat genannt) oder für die Tachometer-Anzeige verwendet (vgl. REIF 2012A,130).
- *Eignung (VM)*: Die Fahrzeuggeschwindigkeit kann für verschiedene verkehrsrelevante Analysen (z.B. Verkehrsqualität) und zur Berechnung des Kraftstoffverbrauchs dienen (vgl. SCHÄFFER 2012, 183). Alternativ könnte auch der via GPS bestimmte (weniger präzise) Geschwindigkeitswert verwendet werden.

Umgebungsdrucksensor

- *Funktion*: Der Umgebungsdrucksensor bzw. barometrische Luftdrucksensor (AAP, engl. ambient air pressure sensor) dient zur genauen Messung des Luftdrucks (welcher spez. von der Höhe über dem Meeresspiegel, auch von den Wetterbedingungen abhängig ist) und wird zur Bestimmung des optimalen Luft-/Kraftstoffgemischs für die Verbrennung verwendet (vgl. REIF 2012A, 134; REIF 2012B, 295; BIAT 2011). Die Bestimmung der Höhe mittels barometrischer Höhenmessung ist potentiell möglich und beruht auf der Gesetzmäßigkeit (mathematisch ausgedrückt in der barometrischen Höhenformel): „[...] nach welcher der Luftdruck eine Funktion der Höhe ist; umgekehrt ist dann die Höhe eine Funktion des Luftdrucks“ (KAHMEN 2006, 468). Da die Höhenbestimmung auf diese Weise eine hohe Genauigkeit aufweisen kann, ist es beispielsweise auch möglich, diese zur Unterstützung der 3D-GPS-Positionsbestimmung (z.B. in Regionen mit verstärkter Signalabschattung) zu verwenden (vgl. ebenda).
- *Eignung (UM)*: Fahrzeuge können im UM als mobile Sensoren zur genauen lokalen Erfassung des barometrischen Luftdrucks dienen.

Tankdrucksensor

- *Funktion*: Der Tankdrucksensor (FTP, engl. fuel tank pressure sensor; auch LDP, engl. leak detection pump) dient zur Tankleck-Erkennung bzw. Tankleck-Diagnose. Ein Leck im Tanksystem mit einem Durchmesser von 1mm muss

durch die sog. „On Board Diagnose“ (OBD) erkannt werden (vgl. REIF 2012B, 179; BIAT 2011).

- *Eignung (UM/VM)*: Raumbezogene Informationen über ausgelaufene Kraftstoffe könnten im UM zur Beseitigung bzw. Prävention von dadurch verursachten Umweltschäden und im VM zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (z.B. durch Gefahrenmeldungen für Verkehrsteilnehmer) dienen.

Luftgütesensor

- *Funktion*: Der Luftgütesensor (AQS, engl. air quality sensor) wird in der Klimaregelung von Fahrzeugen zur Überwachung der Schadstoffbelastung (z.B. Kohlenmonoxid CO, Kohlenwasserstoffe, Stickoxide) in der Außen-/Umgebungsluft verwendet, um das Klimasystem ggf. auf Umluftbetrieb umzustellen (vgl. FISCHER 2000, 63; AG 2014).
- *Eignung (UM)*: Der Luftgütesensor könnte im UM zur lokalen Erfassung und Kartierung von Schadstoffen in der Luft und somit auch potentiell zur Identifikation bzw. Lokalisierung von Schadstoffquellen verwendet werden.

Temperatursensor

- *Funktion*: Temperatursensoren sind vielfach im Fahrzeug zu finden, z.B. für die Ansauglufttemperatur (IAT, engl. intake air temperature sensor) und die Umgebungslufttemperatur (AAT, engl. ambient air temperature sensor). Es ist zu beachten, dass der IAT-Wert nur bei kaltem Motor dem AAT entspricht (vgl. SCHÄFFER 2012, 181; REIF 2012A, 102-111). Für die Erfassung der Außentemperatur ist die Verwendung des IAT somit nicht hilfreich. Neben AAT eignen sich potentiell auch die Temperatursensoren, welche speziell im Bereich der Komfortelektronik, spez. Klimaregelung zu finden sind (vgl. REIF 2012B, 102-111; BIAT 2011).
- *Eignung (UM)*: Die Verfeinerung von stationär gemessenen Temperaturdaten durch mobile Sensoren könnte eine mögliche Anwendung für das UM darstellen.

Regensensor

- *Funktion*: Der Regensensor kommt speziell im Bereich der Komfortelektronik zum Einsatz, beispielweise in der (automatischen) Scheibenwischersteuerung. Dieser Sensor erkennt feinste Wassertropfen auf der Windschutzscheibe (durch optische Messung der Reflexion des Lichtes) und kann abhängig von der gemessenen Regenmenge die Geschwindigkeit der Scheibenwischeranlage steuern. Zusatzfunktionen im Fahrzeug wie das automatische Verschließen

von Fernstern oder Schiebedächern werden ebenfalls auf Basis dieser Sensorik ermöglicht (vgl. REIF 2012A, 158; REIF 2012B, 131-132; BIAT 2011).

- *Eignung (UM/VM)*: Der Regensensor bzw. dessen Daten könnte im UM für die Abschätzung der regionalen Niederschlagsmengen und im VM zur Erhöhung der Verkehrssicherheit (z.B. durch Gefahrenmeldungen bei Starkregen) dienen (vgl. IKG 2014).

Im Bereich der Sicherheitselektronik sind die einzelnen Sensoren schwieriger zu identifizieren und zu trennen. Besonders in diesem Bereich kommen die Techniken der Sensorfusion und Sensordatenfusion zum Einsatz. Beispielsweise bei Fahrassistenzsystemen werden durch Sensorfusion die spezifischen Umgebungsinformationen aus zwei oder mehr Sensoren berechnet (vgl. DIETSCH & REIF 2011, 1202 ff). Bei der Sensordatenfusion werden diese Informationen verwendet, um daraus eine Schnittmenge für weitere Funktionen zur Verfügung zu stellen (vgl. REIF 2012B, 340). Durch die zunehmende Genauigkeit der verwendeten Sensoren und Techniken der Datenverarbeitung onboard ist eine „[...] sehr genaue Einschätzung und Abstufung mit den erfassten Daten möglich [...]. So kann beispielsweise zwischen Aquaplaning, Eisglätte, Schneeglätte oder einer Ölspur unterschieden werden“ (PLÖSSL 2009, 38). Hierfür werden u.a. die Daten von Drehzahlsensoren zur Überwachung der Reifenumdrehung verwendet. Daten für weitere sicherheitsrelevante Funktionen werden beispielsweise durch Drehrate- und Beschleunigungssensoren geliefert, welche speziell in der elektronischen Fahrdynamikregelung (ESP), der Überrollsensierung (bei offenen Fahrzeugen mit Überrollbügel) und der Airbagsteuerung verwendet werden (vgl. REIF 2012B, 295). Die Informationen dieser (und weiterer) Sensoren könnten durch Übermittlung als XFCID auch dabei helfen, dass Unfälle schneller erkannt, Rettungskräfte alarmiert und Gefahrenmeldungen für weitere Verkehrsteilnehmer generiert werden (vgl. SCHÄFFER 2012, 41). Es lassen sich somit einige potentiell mögliche und interessante Anwendungsbeispiele für die Verwendung von Sensoren im Kraftfahrzeug als XFCID in UM und VM nennen. Es stellt sich nun die Frage, ob und wie die (Sensor-)Daten aus dem Fahrzeug technisch nutzbar gemacht werden können.

3.3. Diagnosemöglichkeiten und Datenerfassung

Zum Zweck der Diagnose des Kraftfahrzeugsystems und der einzelnen Komponenten haben die einzelnen Automobilhersteller im Laufe der Zeit eine Vielzahl an verschiedenen Umsetzungen (z.B. Kommunikationsprotokolle, Diagnoseanschlüsse/-stecker) für ihre Fahrzeuge entwickelt (spez. zur Fehlerdiagnose in Werkstätten).

Diese Vielzahl ist neben der herstellerepezifisch sehr unterschiedlichen technischen Umsetzung sowie (lange Zeit) fehlenden Standards und Normen geschuldet. Da Fehler bzw. Fehlfunktionen im Verbrennungs- und Abgassystem von Kraftfahrzeugen eine Gefahr für den Fahrer und die Umwelt darstellen und die Einhaltung von gesetzlich festgesetzten Emissionsgrenzwerten geprüft werden kann, muss der Gesetzgeber entsprechende Vorgaben treffen. In Kalifornien (USA) wurden hierzu spez. durch das „California Air Resource Board“ (CARB) Prüfkriterien und technische Spezifikationen entwickelt, welche als „On Board Diagnose“ (OBD) bezeichnet werden. Die offizielle Schreibweise für den seit 1994 in der kalifornischen Gesetzgebung verankerten einheitlichen Standard lautet „OBD II“, weitere alternative Schreibweisen wie „OBD-II“, „OBD2“ oder „OBD-2“ werden häufig alternativ verwendet (vgl. SCHÄFFER 2012, 67). Bei abgasrelevanten Fehlern bzw. Fehlfunktionen warnt OBD den Fahrer mittels einer Motorkontrollleuchte, der sog. MIL (engl. malfunction indicator lamp), im Fahrzeug und fordert zum Beheben des Fehlers bzw. Aufsuchen einer Werkstatt auf. Potentiell zählen hierzu alle Fehler, welche Ursache für erhöhte Emissionen sein können (vgl. REIF 2012B, 177). Zu den Diagnosefunktionen gehören unter anderem: Katalysatordiagnose, Abgasrückführung, Tankleckdiagnose, Kraftstoffsystem, Partikelfilter, Ozonminderung und Klimaanlage (vgl. ebenda, 179). Grundsätzlich wird „[...] die ununterbrochene Kontrolle aller abgasrelevanten Komponenten und Systeme [...]“ vorgeschrieben (REIF 2012B, 177). Die technischen Einzelheiten (z.B. Form und Belegung des Diagnosesteckers sowie festgelegte Diagnoseroutinen und Fehlercodes bzw. „Diagnostic Trouble Codes“, DTC) wurden international übernommen und in der ISO-Norm 15031 „Road vehicles – Communication between vehicle and external equipment for emissions-related diagnostics“ festgelegt (vgl. HOEPKE & BREUER 2013, 419 ff): Diagnosestecker im Fahrzeug (ISO 15031-3), Anforderungen an das Testgerät (ISO 15031-4), Diagnosedienste (ISO 15031-5), Abgasrelevante DTC (ISO 15031-6), Anforderungen für die Datenübertragungssicherheit (ISO 15031-7).

Diese bilden die technische Basis für die Verankerung in der regional verbindlichen Gesetzgebung (z.B. Japan, USA, Europa). Unterschiede zwischen den Ländern, beispielsweise Europa und USA, liegen im Besonderen bei der Festlegung von Grenzwerten der Abgasvorschriften (vgl. DIETSCH & REIF 2011, 488 ff). Die an die europäischen Verhältnisse (d.h. Abgasvorschriften ab EURO-3) angepasste Variante wird als EOBD (Europäische On Board Diagnose) bezeichnet und gilt für PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Ottomotor (bis 3,5t und bis zu neun Sitzplätzen) in der EU (und somit auch in Deutschland) seit dem Jahr 2000. Für PKW und leichte Nutzfahrzeuge mit Dieselmotor gilt diese Regelung seit 2003, für schwere Nutzfahrzeuge seit 2005 (vgl. ebenda, 495 + 500). Neue Abgasvorschriften der EU wie EURO-5 (seit 2009) und EURO-6 (ab 2014) zeichnen sich speziell durch die weitere

Absenkung der Abgasgrenzwerte aus, speziell von CO (Kohlenstoffmonoxid) und NO_x (Stickoxide). Weitere Länder haben die US-amerikanische oder europäische Ausprägung (auf Basis von OBD II) bereits übernommen oder planen deren Einführung, z.B. China, Russland, Südkorea und Indien (vgl. ebenda, 522-525). Aktuell bestehen zudem Bestrebungen die Neuregelung für einen weltweiten Standard unter der Bezeichnung WHH-OBD (engl. world wide harmonized on board diagnostic) vorzunehmen (vgl. SCHÄFFER 2012, 70-71).

Der gesetzlich vorgeschriebene Diagnoseanschluss (nach OBD II) stellt somit die physikalisch technische Schnittstelle zur Fahrzeugelektronik dar: „Um das Fehlerauslesen zu vereinfachen, hat der Gesetzgeber einen vom Fahrersitz aus erreichbaren, genormten Diagnosestecker vorgeschrieben. Der Stecker ist 16-polig, wobei die Pin-Belegung, sofern sie das Fehlerspeicherauslesen betrifft, vorgeschrieben ist“ (REIF 2012B, 177; vgl. GERIGK 2009, 593). Das „National Center for Automotive Science and Technology“ (NCAST) der Weber State University (Utah, USA) informiert über die Webseite des „National OBD Clearinghouse“ inkl. Datenbank über die fahrzeug-/modellspezifischen Einbaupositionen der OBD Diagnosebuchse, das verwendete OBD Protokoll sowie weitere technische Besonderheiten (vgl. NCAST 2013). In Abb. 7 ist der Diagnosestecker (links) und die Diagnosebuchse sowie der Einbauort im Fahrzeug (rechts) schematisch dargestellt:

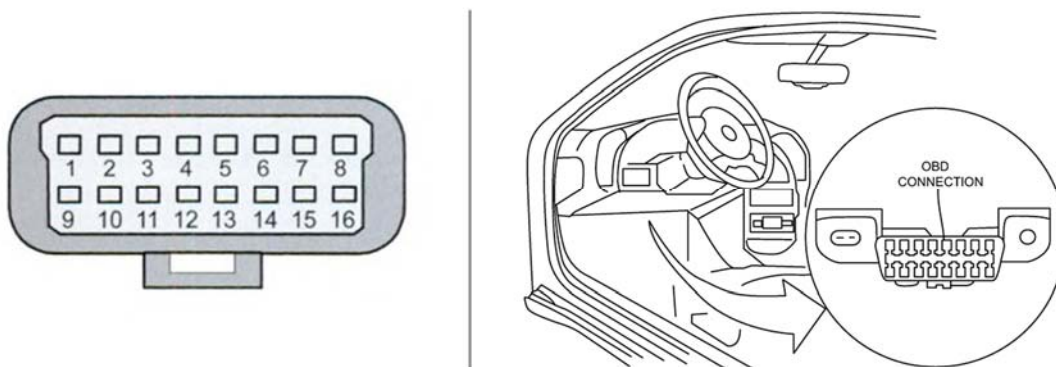


Abb. 7: OBD-Diagnoseanschluss - Stecker und Pin-Nummerierung (links), Buchse und Einbauort (rechts) .

Soweit es also die gesetzlich vorgeschriebenen Funktionen betrifft, ist die Pinbelegung /-verwendung festgelegt. Automobilherstellern steht es jedoch frei, die nicht benötigten bzw. nicht belegten Pins des Diagnosesteckers für eigene proprietäre Anwendungen zu nutzen. Es kann sogar auf eines der vorhandenen OBD-II-Protokolle zur Kommunikation zurückgegriffen werden, dann jedoch mit einem nicht genormten proprietären Befehlssatz (vgl. SCHÄFFER 2012, 79). Eine technische Vertiefung zu Kommunikationsablauf und -protokollen kann im Rahmen dieser Arbeit nur sehr

verkürzt geleistet werden – es sei hiermit auf die umfangreichen Grundlagen in SCHÄFFER 2012, REIF 2012B und GERIGK 2009 hingewiesen. Es kann kurz festgehalten werden, dass in der Vergangenheit, besonders auf Grund von unterschiedlichen Bussystemen, mehrere OBD-Kommunikationsprotokolle eingesetzt wurden. Durch ISO 15765 wurde 2008 (für Neufahrzeuge) festgelegt, dass OBD II nur noch über das CAN-Protokoll ablaufen darf (vgl. SCHÄFFER 2012, 185).

Mittels OBD-Diagnose-Hardware und/oder in Verbindung mit einem Computer und spezieller Software können die vorgegeben Diagnoseroutinen und entsprechenden Diagnosewerte abgerufen werden. In Werkstätten kommt häufig spezielle Hardware zum Einsatz, um Daten nicht nur zu lesen, sondern i.S. schreibend auf die Steuergeräte zugreifen zu können, z.B. zur Programmierung der Motorsteuerung. Es ist jedoch ausgeschlossen, dass bei „[...] regulärem Zugriff per OBD II Schaden an den Steuergeräten entstehen kann. Auch führt die Nutzung der Schnittstelle mit einem konformen OBD-II-Tool nicht zu Garantieverlust oder Ähnlichem“ (ebenda, 92). Abb. 8 zeigt drei unterschiedliche handelsübliche Lösungen für den Datenzugriff: Diagnosegerät (links), Datenkabel (Mitte), Bluetooth-Adapter (rechts).



Abb.8: Zugriff mittels OBD: Diagnosegerät (XXLtech NX200, links), Datenkabel (Diamex AGV4000, Mitte), Bluetooth Adapter (APOS BT OBD 327, rechts)

In allen gezeigten Hardware-Lösungen befindet sich ein Mikrochip, der für die Kommunikation mit OBD (auf Basis des jeweils vom Kraftfahrzeug verwendeten Protokolls) zuständig ist. In diesem Zusammenhang hat sich beispielsweise das kanadische Unternehmen „ELM Electronics“ als Hersteller von derartigen Chips auf dem Markt etabliert: „Es handelt sich bei den Chips um programmierbare PIC-Mikrocontroller (Programmable Interpreter Circuit), die mit einer sogenannten Firmware beschrieben wurden. [...] ELM bietet für jeden OBD-II-Protokolltyp einen eigenen Controller an. Lediglich der ELM327 unterstützt alle Protokolle, sodass er auch in handelsüblichen Fertiggeräten verbaut wird. Der Markt bietet auf ELM basierende Diagnoselösungen für jede der möglichen Verbindungsvarianten zum PC [Personal Computer] an“ (ebenda, 129). Die Hardware auf Basis dieser Chips (ELM327) ist kostengünstig zu erwerben. Da die Mikrochips in der Vergangenheit über keinen

Kopierschutz verfügten, finden sich besonders in Internetauktionenhäusern billig produzierte illegale Kopien. Auf Grund der fehlenden Zertifizierung (erkennbar an dem fehlenden E- bzw. ECE-Prüfzeichen; Vergabe nach Richtlinien der Europäischen Gemeinschaft) sind diese Angebote jedoch mit Vorsicht zu betrachten, weil die einwandfreie Funktion nicht garantiert werden kann (vgl. ebenda, 125 + 149).

Bei der Kommunikation werden die von OBD unterstützten Informationen bzw. Parameter als OBD PID (engl. parameter identifier) bezeichnet. Die eindeutige Identifizierung mit PID ermöglicht den spezifischen Zugriff auf Sensoren bzw. Messwerte und Routinen. Die Abfrage der jeweilig unterstützten Parameter ist dabei (blockweise) möglich (vgl. ebenda, 96). Anfragen (stets zweistellig) und Antworten werden im Hexadezimalsystem ausgedrückt und müssen für die Weiterverwendung umgerechnet werden (vgl. ebenda, 97). In Tabelle 3 sind exemplarisch ausgewählte PID aufgelistet, welche mittels OBD II verfügbar sind:

PID (Hex)	Kurzform	Bedeutung	Min.	Max.	Einheit
10	MAF	Luftdurchfluss Luftmassemesser	0	255	km/h
0D	VSS	Fahrzeuggeschwindigkeit	0	655,35	g/s
33	BARO	Absoluter barometrischer Luftdruck	0	255	kPa
46	AAT	Umgebungstemperatur	-40	215	°C

Tab. 3: Ausgewählte OBD II PID (inkl. Wertebereich und Maßeinheit).

Die Liste der nach OBD II möglichen Parameter (sofern fahrzeugspezifisch verfügbar) ist lang (ebenda, 205-224). Von über 89 definierten Parametern sind jedoch weniger als 32 Parameter letztendlich durch den Gesetzgeber zur Kontrolle der abgasrelevanten Komponenten und Systeme vorgeschrieben. Sofern vom jeweiligen Fahrzeug unterstützt, kann mittels OBD auch auf weitere Verbrauchs- (z.B. Kraftstoffverbrauch) und Überwachungssensorik (z.B. Feinstaub oder NOx) zurückgegriffen werden. Vor dem Hintergrund einer kontinuierlichen Datenerfassung ist die Frage nach der technisch möglichen Aktualisierungs- bzw. Abtastrate, also wie häufig Werte in einer bestimmten Zeitspanne abgerufen werden können, besonders interessant. Hierzu kann festgehalten werden: „Die Abtastrate der ausgewählten Sensoren hängt vor allem vom OBD-Protokoll und der Anzahl der darzustellenden PIDs ab. Bei CAN kann ein einzelner Wert durchaus mehrmals pro Sekunde von der ECU gesendet werden“ (ebenda, 43).

Somit fällt auf, dass einige der im vorherigen Abschnitt aufgezählten Sensoren (spez. Komfort- und Sicherheitselektronik) u.U. nicht einfach über OBD abgerufen werden können, da sie entweder nicht dem gesetzlich vorgeschriebenen Funktionsbereich zuzuordnen sind oder nicht herstellerseitig zusätzlich bereitgestellt werden. Der Zugriff wäre jedoch möglicherweise mit Hilfe weiterer fahrzeug- bzw. herstellerepezifischen Informationen möglich, erfordert jedoch die

Auseinandersetzung mit proprietären Systemen. Für eine exemplarische Implementierung stehen sie demnach im Rahmen dieser Arbeit nicht zur Verfügung, stellen aber potentiell interessante Parameter für die Visualisierung dar. Der OBD-Diagnoseanschluss ist auf Grund seiner gesetzlichen Verpflichtung als die verbreitetste technische Schnittstelle zur Fahrzeugelektronik anzusehen und eignet sich neben seiner öffentlich zugänglichen Spezifikation, der verfügbaren Hardware und der Möglichkeit zur drahtlosen Datenübertragung (mittels Bluetooth oder auch WLAN) in besonderem Maße für das weitere Vorgehen.

3.4. Smartphone-gestützter Ablauf

Auf Grund der zu Verfügung stehenden gesetzlich vorgeschrieben OBD-Schnittstelle sowie der günstigen Hardware liegt die Idee nahe (Computer-gestützt mit GPS-Einheit), Daten aus dem Fahrzeug im Sinne von XFGD zu erfassen. Moderne Smartphones (als mobile Computer im Kleinformat) bieten heute die erforderliche technische Ausstattung und eignen sich daher in besonderem Maße (als Alternative zu fest eingebauten OBU) zur Kommunikation mit der OBD-Hardware, zur Verarbeitung und Speicherung der Daten und in Kombination mit einem webbasierten bzw. serverseitig bereitgestellten System auch zur Datenübertragung. Bei Erfassung der Daten kann mittels Smartphone-gestütztem GPS-Empfang das Hinzufügen eines räumlichen und zeitlichen Bezugs vorgenommen und somit die Erzeugung von XFGD ermöglicht werden. In diesem Zusammenhang existieren bereits einige Software-Lösungen, meist Smartphone Apps bzw. mobile Applikationen. Speziell die kostenpflichtigen Apps bieten häufig die Möglichkeit zur Übermittlung der Daten an den entsprechenden Anbieter, um dem Kunden eine web- und kartenbasierte Visualisierung anbieten zu können. Benutzer, die von dieser Möglichkeit Gebrauch machen, müssen sich darüber im Klaren sein, dass ihre personenbezogenen (Bewegungs-)Daten ihren Einflussbereich und meist auch den des deutschen und europäischen Rechtsraums verlassen. Anhang C können einige Beispiele entnommen werden – die Visualisierungen werden hierbei ausschließlich auf der Kartengrundlage dritter Anbieter vorgenommen.

Um selbst XFGD automatisiert zu generieren, zu übertragen und in einer webbasierten Anwendung zur Visualisierung nutzen zu können, ist es nun notwendig, die beteiligten Komponenten und Arbeitsschritte zu identifizieren und einen geeigneten technischen Ablauf zu entwickeln. Ein für die vorliegenden Arbeit möglicher und geeigneter Ansatz kann Abb. 9 entnommen werden und soll im Folgenden kurz erläutert werden: Im ersten Schritt wird die OBD-Schnittstelle des verwendeten Fahrzeugs mit einer OBD-

Hardware (z.B. Adapter mit ELM327 und Bluetooth) ausgestattet. Anschließend wird diese (unter Verwendung drahtloser Verbindung) mit einem Smartphone verbunden.

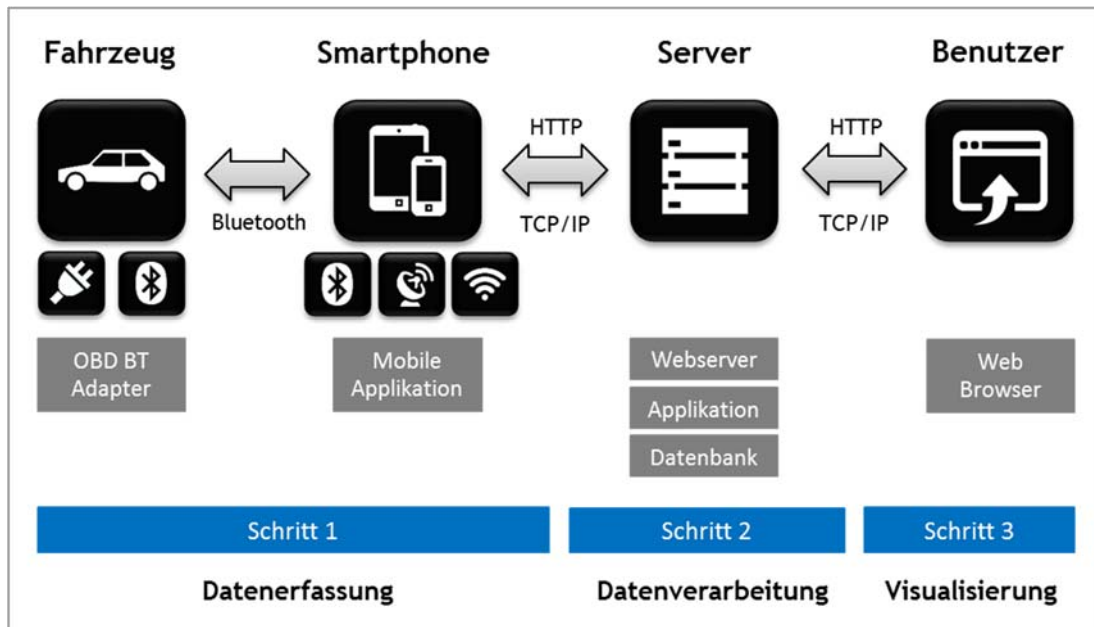


Abb. 9: Smartphone-gestützter Ablauf zur Erzeugung von XCD aus OBD-Daten mit anschließender webbasierter Verarbeitung und Visualisierung (schematische Darstellung).

Eine mobile Applikation auf dem Smartphone wird für die Kommunikation mit der OBD-Hardware bzw. -Schnittstelle zum Abrufen der Daten (z.B. in einem zeitlichen Intervall) verwendet und erweitert die OBD-Daten bei Erfassung mit den aktuellen GPS-Koordinaten und einem Zeitstempel (vgl. BILL 2010, 12 + 196). Die so erzeugten XCD werden anschließend zwischengespeichert bzw. bei bestehender Internet-/Datenanbindung des Smartphones aus dem Fahrzeug an einen Server übermittelt (HTTP-Verbindung via TCP/IP; vgl. TANENBAUM & WETHERALL 2012, 70 ff). Eine serverseitige Applikation nimmt die Daten entgegen und speichert diese in einer (auf Grund der Datenbeschaffenheit vorzugsweise räumlichen) Datenbank. Anschließend kann eine Verarbeitung der Daten, die Aufbereitung für die Visualisierung (z.B. Überführung der vorliegenden Vektordaten in Bild- bzw. Rasterdaten) sowie die Bereitstellung einer webbasierten Anwendung (ebenfalls HTTP via TCP/IP) erfolgen. Im letzten Schritt kann der Benutzer bzw. Anwender die vom Server bereitgestellte Anwendung mittels Webbrowser (plattformunabhängig) verwenden. Anhand dieses Ablaufs können drei unterschiedliche Arbeitsschritte identifiziert werden: die Datenerfassung und Übermittlung (1), die serverseitige Datenverarbeitung (2) sowie die Visualisierung und Verwendung mit Hilfe des Webrowsers durch den Benutzer (3).

Die Adaption des vorgestellten Ansatzes für kommerzielle Anwendungen (jedoch weniger zum Zwecke der Visualisierung für den Kunden) kann an zwei Anwendungsbeispielen verdeutlicht werden. So ermöglicht beispielweise das Unternehmen Bosch mit der Smartphone-App „fun2drive“ in Kombination mit einem eigenen OBD-Bluetooth-Adapter das Auslesen von Diagnosewerten sowie das direkte Übermitteln an eine Vertragswerkstatt, um dem Kunden entsprechend der gelieferten Informationen spezifische Wartungs- oder Reparaturtermine anzubieten (vgl. BOSCH 2013). Das zur Deutschen Telekom gehörende Unternehmen T-Systems stellte erst kürzlich (auf der CeBIT 2014) ein eigenes Angebot mit der Bezeichnung „My Car is Connected“ (ebenfalls bestehend aus OBD-Bluetooth-Adapter und Smartphone App) vor. Die Dienstleistung besteht dabei (analog zur Lösung von Bosch) in der Vernetzung von Fahrzeug und Händler bzw. Vertragswerkstatt. Allerdings soll dieses System vorerst nur für Mercedes-Benz Fahrzeugmodelle ab dem Jahr 2002 erhältlich sein (vgl. HEISE 2014A). Das Prinzip zur Inbetriebnahme (entsprechend dem vorgestellten Ansatz) im Fahrzeug zeigt sich auch mit Blick auf die genannten Lösungen als immer gleich: Installation der Smartphone-App, Anschließen des OBD Adapters, Kopplung der Bluetooth-Kommunikation von Adapter und Smartphone-App.

3.5. Rechtliche Aspekte

Wie aufgezeigt ist die Anwendung des XFCD-Konzepts bereits heute möglich und aktuell von besonderer Bedeutung. Als problematisch zeigt sich die Tatsache, dass bisher keine explizite europäische oder deutsche Gesetzgebung für die Verwendung dieser Daten existiert. Es ist bisher nicht eindeutig geklärt, von wem und in welcher Weise diese Daten genutzt werden dürfen, eine rechtliche Klärung durch die gesetzgebenden Instanzen ist daher erforderlich (vgl. VGT 2014, 7). Die Themen Privatsphäre und Datenschutz zeigen sich daher in diesem Zusammenhang von besonderer Bedeutung und sollen in diesem letzten Abschnitt des vorliegenden Kapitels kurz beleuchtet werden.

Da es sich um personenbezogene (also den Fahrzeughalter bzw. Fahrzeugführer betreffende) elektronische Daten handelt, sollte im Allgemeinen das Recht auf informationelle Selbstbestimmung herangezogen und gesichert werden: „Nach den Datenschutzdirektiven der Europäischen Union zum Schutz von Personen bei der Verarbeitung persönlicher Daten [spez. 95/46/EG] und deren Umsetzung durch nationale Gesetze, z.B. dem Teledienstedatenschutzgesetz [TDDSG] und dem Bundesdatenschutzgesetz [BDSG], ist die Privatsphäre und damit die informationelle Selbstbestimmung gewährleistet, wenn Ihre Mindestprinzipien befolgt werden“

(WOHLGEMUTH 2009, 10). Diese Mindestprinzipien „[...] regulieren die Erhebung, Verwendung, Speicherung und Weitergabe persönlicher Daten für öffentliche und private Organisationen und müssen vor Beginn einer Datenverarbeitung erfüllt sein“, somit wird „[...] die informationelle Selbstbestimmung [...] dadurch gewährleistet, dass eine Verarbeitung persönlicher Daten nur dann zulässig ist, wenn der betroffene Nutzer dazu eingewilligt hat oder eine Rechtsvorschrift die Verarbeitung erlaubt. Die Einwilligung eines Nutzers bezieht sich somit auf die Weitergabe persönlicher Daten und ist vor Beginn der Datenverarbeitung einzuholen“ (ebenda).

Es zeigt sich, dass die Nutzung von XFCD im Sinne von automatisiert erhobenen Geo- und Telemetriedaten regelmäßig nicht vereinbart wird und für privat erhobene Daten gesetzlich nicht eindeutig bestimmt ist. Diese Daten „[...] könnten ‚sonstige Gegenstände‘ im Sinne des §453 Abs. 1 BGB [Bürgerliches Gesetzbuch] aber ‚unmittelbare Rechtsfrüchte‘ sein, wie die Jagdbeute Frucht des Jagdrechts oder die Energie Frucht des Wassernutzungsrechts ist (§99 Abs. 2 BGB)“ (GROSSKOPF 2012, 173). In Bezug auf landwirtschaftliche Nutzmanmaschinen (wie Erntemaschinen) können diese Daten daher als „[...] Frucht des Eigentums an Grund und Boden [...]“ aufgefasst werden, eine Verwendung steht somit „[...] allein dem Pflanzenproduzenten und nicht dem Lohnunternehmer, dem Maschinenring oder dem Hersteller der Landmaschine zu.“ (ebenda). Anders als soeben skizziert verhält es sich mit sonstigen Fahrzeugen, wie etwa privaten Personenkraftwagen (PKW): „Hier stehen die Geo- und Telemetriedaten – wie etwa Geschwindigkeit, Benzinverbrauch und Fahrziel – dem Eigentümer des Fahrzeugs und nicht etwa dem Eigentümer der öffentlichen Straße zu, da sie sich direkt auf den Einsatz des Fahrzeugs beziehen. Sie sind ‚Früchte‘ des Fahrzeugs. Jedoch kollidiert die Verwendung dieser Daten mit dem durch das Datenschutzrecht geschützten Persönlichkeitsrecht des Nutzers des Fahrzeugs. Eine Verwendung ist deshalb nur mit dessen Einwilligung zulässig, da die Geo- und Telemetriedaten nicht nur eindeutig einem Fahrzeug, sondern auch dem jeweiligen Nutzer zugeordnet werden können oder diese Zuordnung zumindest mittelbar erfolgen kann“ (ebenda, 173-174).

Um die individuellen Persönlichkeitsrechte nicht zu verletzen, ist somit neben der expliziten Einwilligung, die Transparenz über die Verwendung der Daten sowie die Möglichkeit des Widerrufs erforderlich. Nach dem Prinzip der Datenvermeidung und Datensparsamkeit ist auch von den Möglichkeiten der Anonymisierung und Pseudonymisierung Gebrauch zu machen (vgl. BDSG, §3a). Dem kann auf unterschiedliche Weise, speziell durch das Entfernen von fahrzeugspezifischen Identifikationsnummern (spez. VIN; engl. vehicle identification number; vgl. SCHÄFFER 2012, 114) und der genauen Angaben des Start- und Zielpunktes einer Fahrt bzw. Route, begegnet werden. Ziel hierbei ist es, dass aus den gesammelten Daten kein

Rückschluss auf das Fahrzeug, den Fahrzeughalter oder Fahrzeugführer gezogen werden kann. Die Anonymisierung des Fahrtverlaufs, spez. von Start und Ziel, soll das Anfertigen von Bewegungsprofilen, insbesondere das Auswerten des genauen Wohn- und Arbeitsorten (o.ä.), verhindern. Potentielle Methoden dazu werden in einem späteren Abschnitt aus datentechnischer Sicht kurz angesprochen (vgl. Kap. 7).

4. Potentiale und Anforderungen aus Sicht von Forschung und Praxis

Um weitere Potentiale und die Anforderungen für Nutzung und Visualisierung von XFC-D im Allgemeinen und für den Anwendungskontext Umwelt- und Verkehrsmonitoring im Speziellen in Erfahrung bringen zu können, wurden im Rahmen dieser Arbeit zwei Experteninterviews geführt, welche die Sicht von Forschung und Praxis wiedergeben sollen. Aufbau und Durchführung dieser Interviews sowie die daraus resultierenden Erkenntnisse werden im vorliegenden Abschnitt behandelt. Mit Blick auf den Umfang der Arbeit wird in diesem Zusammenhang jedoch nur eine verkürzte Betrachtung vorgenommen.

Das Experteninterview (als qualitative empirische Methode) kann als eine besondere Form problemzentrierter Interviews angesehen werden: „Der Befragte ist dabei nicht [...] als Person, sondern vielmehr stellvertretend für eine gewisse Gruppe in seiner Funktion als Experte gefragt“ (JÄGER & REINECKE 2009, 35). Ein Experteninterview bietet sich immer dann „[...] als Instrument zur Datenerhebung an, wenn die Wissensbestände von Experten im Kontext ihrer (letzt-)verantwortlichen Zuständigkeit für den Entwurf, die Implementierung und die Kontrolle von Problemlösungen Gegenstand des Forschungsinteresses sind. In diesem weiten Sinne zielt das Erkenntnisinteresse des Experteninterview auf die Rekonstruktion von (explizitem) Expertenwissen ab“ (PFADENHAUER 2009, 452). Dabei stellt diese Methode als „praxisorientierte Informationsquelle“ eine gute Möglichkeit dar, um die Relevanz eines Forschungsproblems überprüfen zu können (vgl. Jäger & Reinecke 2009, 37-38). Experteninterviews werden entweder offen oder halbstrukturiert (auf Basis von Interviewleitfäden) durchgeführt, wobei der Experte im Rahmen eines möglichst offenen Gesprächs frei zu Wort kommen sollte. Induktion (das Schließen vom Besonderen zum Allgemeinen) und Deduktion (das Schließen vom Allgemeinen zum Besonderen) greifen im Rahmen des Prozesses ineinander (ebenda, 34). Als Experte kann angesprochen werden, „[...] wer in irgendeiner Weise Verantwortung trägt für den Entwurf, die Ausarbeitung, die Implementierung und/oder die Kontrolle einer Problemlösung, und damit über einen privilegierten Zugang zu Informationen über Personengruppen, Entscheidungsprozesse, usw. verfügt“ (MEUSER & NAGEL 2009, 465). Dabei hat sich die konkrete Auswahl der Experten vor allem nach dem Untersuchungsgegenstand zu richten (vgl. ebenda; JÄGER & REINECKE 2009, 40).

4.1. Auswahl der Experten

Die Auswahl der Interviewpartner richtete sich nach dem potentiell verfügbaren (Experten-)Wissen sowie beruflicher Erfahrung, über welche sie auf Grund ihrer Tätigkeit (in Forschung und Praxis) verfügen. In diesem Rahmen stellten sich die angefragten und ausgewiesenen Experten aus dem Bereich der Verkehrswissenschaften und des Verkehrsingenieurwesens, Herr Prof. Dr.-Ing. Michael Ortgiese von der Fachhochschule Potsdam (FHP) und Herr Dr.-Ing. Georg Förster vom Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme (IVI) in Dresden freundlicherweise für die Interviews Verfügung (vgl. Tab. 4).

Bez.	Name	Fachrichtung	Zugehörigkeit
EXP1	Herr Prof. Dr.-Ing. Michael Ortgiese	Verkehrswissenschaften, Verkehrsingenieurwesen	Fachhochschule Potsdam, Fachbereich Bauingenieurwesen, Fachgebiet Verkehrswesen
EXP2	Herr Dr.-Ing. Georg Förster	Verkehrswissenschaften, Verkehrsingenieurwesen	Fraunhofer-Institut für Verkehrs- und Infrastruktursysteme IVI – Abteilung Ortung, Information und Kommunikation, Dresden

Tab. 4: Ausgewählte Experten im Rahmen der Experteninterviews.

Beide zeichnen sich dadurch aus, dass sie nicht nur im wissenschaftlich theoretischen Bereich über ein fundiertes Wissen verfügen sondern auch, dass Sie jeweils im Rahmen einer Vielzahl an Forschungs- und Entwicklungsprojekten sowie wirtschaftlicher Tätigkeiten umfangreiche Erfahrungen sammeln konnten. Herr Prof. Dr. Michael Ortgiese (im folgenden EXP1 genannt) war seit 1999 beim Unternehmen „Planung Transport und Verkehr“ (PTV AG) beschäftigt und übernahm 2012 eine Professur für Verkehrswesen am Fachbereich Bauingenieurwesen der Fachhochschule Potsdam. Neben der Lehre im Bereich Straßen- und Verkehrsplanung, Verkehrstechnik und Verkehrsmanagement liegt sein Fokus auf Forschung und Entwicklung, speziell auf Planung und Betrieb von Systemen für das Mobilitäts- und Verkehrsmanagement. Herr Dr.-Ing. Georg Förster (im folgenden EXP2 genannt) ist Mitarbeiter der Abteilung „Ortung, Information und Kommunikation“ am Fraunhofer Institut für Verkehrs- und Infrastruktursystem (IVI) in Dresden und Mitglied der Forschergruppe am Lehrstuhl „Informationstechnik für Verkehrssysteme“ der Technischen Universität Dresden. Sein Fokus liegt speziell auf Ortungs- und Sensortechnologien zur Auswertung von Verkehrsströmen.

4.2. Aufbau und Struktur

Die vermeintliche Qualitätslücke (durch die geringe Standardisierbarkeit) von Experteninterviews lässt sich insbesondere durch eine methodische Strukturierung mit Hilfe eines Interviewleitfadens schließen (vgl. JÄGER & REINECKE 2009, 70). In diesem Zusammenhang stellt der Interviewleitfaden ein mehr oder weniger strukturiertes schriftliches Frageschema dar, welches dem Interviewer bei der Interviewführung als Orientierungshilfe und Gedächtnisstütze dient und sämtliche wichtige Fragen enthält (vgl. STIGLER & FELBINGER 2005, 129). Leitfadengestützte Experteninterviews können als thematisch strukturierte Interviews angesehen werden mit dem Ziel, die Eigenpräsentation der Akteure durch erzählgenerierende Fragen zu motivieren und zählen daher mit dieser Ausrichtung zu den sogenannten „offenen Verfahren“ (vgl. LIEBOLD & TRINCZEK 2009, 35).

Die weiteren Schritte richten sich speziell nach den theoretischen Grundsätzen zur Konzeption, Durchführung und Auswertung von Experteninterviews (wie sie in JÄGER & REINECKE 2009 sowie STIGLER & FELBINGER 2005 zu finden sind). Als zeitlicher Umfang für die Interviews wurde ein Rahmen von ca. 60 Minuten angesetzt. Die einzelnen Fragen wurden für den Hauptteil (möglichst) strukturiert in die folgenden sechs thematischen Frageblöcke eingeteilt:

- Block 1: Anwendungen, Nutzen und Potentiale von XFCD
- Block 2: Anforderungen aus Sicht des Umwelt-/Verkehrsmonitoring
- Block 3: Visualisierung von XFCD
- Block 4: Daten, Datenschutz und kritische Betrachtung
- Block 5: Konzeption und Entwicklung eines Prototyps
- Block 6: Zukünftige Entwicklungen & Ausblick

Der ausgearbeitete und vollständige Interviewleitfaden kann Anhang D entnommen werden. Da der Leitfaden als Orientierungshilfe bei der Interviewführung dienen soll, geht es weniger darum, dass jede der formulierten Fragen in den einzelnen Interviews dezidiert zur Sprache kommen soll. Vielmehr soll die Sicht der Experten auf die vorliegende Thematik während des Gesprächs genauer beleuchtet werden, um besondere Potentiale und Anforderungen herausstellen zu können.

4.3. Auswertung und Zusammenfassung

Auf Grund des Einverständnisses der Experten konnten die Interviews als Tonaufnahmen für die Auswertung aufgezeichnet werden. Die Aufbereitung wurde in

Form einer Verschriftlichung bzw. Transkription vorgenommen und erfolgte für den Hauptteil im Sinne eines Volltranskripts, jedoch ohne Einbezug nonverbaler Aspekte (wie Pausen, Räuspern, etc.), da dies im vorliegenden Kontext als nicht angebracht angesehen wurde (vgl. JÄGER & REINECKE 2009, 53). Die Transkripte der beiden geführten Interviews können Anhang E (EXP1) und F (EXP2) entnommen werden. Die folgende Tabelle stellt dar, welche der Fragen des Interviewleitfadens (bezogen auf die thematischen Frageblöcke) in den geführten Interviews jeweils angesprochen worden sind:

	Block 1			Block 2				Block 3				
	1-1	1-2	1-3	2-1	2-2	2-3	2-4	3-1	3-2	3-3	3-4	3-5
Experte I	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
Experte II	X	-	X	-	X	-	-	X	-	X	X	X

	Block 4						Block 5		Block 6	
	4-1	4-2	4-3	4-4	4-5	4-6	5-1	5-2	6-1	6-2
Experte I	X	X	X	X	X	X	X	X	-	X
Experte II	X	X	X	X	X	-	X	X	X	-

Tab. 5: Angesprochene Fragen in den Experteninterviews.

Die weitere Auswertung soll im Sinne eines „strukturierten Verfahren“ auf Basis einer kurzen Inhaltsanalyse vorgenommen werden, wobei nicht alle der in den Interviews angesprochenen Aspekte detailliert betrachtet werden können. Dazu sollen in den Transkripten Bedeutungszusammenhänge bzw. die inhaltliche Struktur von Begrifflichkeiten oder Themen identifiziert und wiedergegeben werden (vgl. JÄGER & REINECKE 2009, 58). In diesem Zusammenhang erfolgt eine „Selektion und Kommentierung der aus Forschersicht wichtigsten Textstellen“ (ebenda, 57).

Weil der Leitfaden (aus dem vorherigen Schritt) nur eine grobe Orientierung zum Ablauf der Interviews enthält, wird für die nun folgende Auswertung eine weitere thematische Strukturierung (bzw. Kategorisierung als thematische Generalisierung) vorgenommen. Es soll grob der Idee eines Auswertungsleitfadens gefolgt werden, indem drei grundsätzliche Aspekte ausgewertet und behandelt werden: Nutzen und Potentiale, Anforderungen an Daten, Anforderungen an Visualisierungen. Die Quellenangaben der jeweils von den Experten getroffenen Aussagen beziehen sich (bei direkter und indirekter Zitation) auf die entsprechende Fragennummer des Interviewleitfadens bzw. der Transkription im Anhang.

Nutzen und Potentiale

Die Verwendung von XFCD zur *Abschätzung von Emissionswerten*, spez. in Bezug auf die Luftreinhalteplanung, könnte laut EXP1 im städtebaulichen Bereich von besonderem Nutzen sein (EXP1, 1-1). Hohe Belastungen in Bezug auf Emissionen könnten so in Bezug zu besonders schützenswerten Bereichen in der Stadt gestellt werden. Kraftstoffverbrauchswerte können hierbei für statistische Hochrechnungen von Emissionswerten verwendet werden (EXP1, 2-2). Daraus resultierendes Wissen kann wiederum aus Sicht des Verkehrsmanagements dazu dienen, Verkehr ggf. neu zu verteilen bzw. zu dynamisieren (EXP1, 1-1).

Der Bereich der *Elektromobilität* (und in diesem Zusammenhang spez. die „Reichweitenabschätzung“) wird von EXP2 in Bezug auf XFCD als besonders interessant angesehen. Hier wird ein „wesentlicher Mehrwert“ und „großes Potential“ gesehen: „Wenn Sie mit XFCD [...] wissen, wann ein Elektrofahrzeug an einem bestimmten Ziel sein wird, an einer bestimmten Steckdose sein wird und Sie wissen über dieses Fahrzeug, wie viel kann es ggf. einspeisen bzw. laden und wie viel Energie braucht es, um dann zum nächsten Ziel zu kommen, wenn Sie XFCD so anwenden, dann können Sie dieses ganze System aus Fahrzeugen [...] im Grunde zu einem riesigen Energiespeicher machen“ (EXP2, 2-2).

Das *Abschätzen der Verkehrsdichte* mit XFCD wird von EXP1 als schwierig angesehen (EXP1, 1-1). Zudem wurde darauf hingewiesen, dass XFCD als Verkehrsfluss-Daten nur begrenzten Mehrwert gegenüber FCD besitzen. XFCD helfen jedoch in diesem Zusammenhang (durch ihren Informationsgehalt) dabei „Fehlinterpretationen“ zu vermeiden. Ein interessanter Faktor wurde in der Möglichkeit gesehen, Umfeld- bzw. Umwelt-Informationen aus den (Sensor-)Daten ableiten zu können (EXP1, 1-2).

Die *Steuerung von sicherheitsrelevanten Anlagen* (z.B. Lichtsignalanlagen bzw. Ampelsteuerung) durch FCD/XFCD wird als schwierig aufgefasst, da dies durch den Ausstattungsgrad beeinflusst wird, sprich dem Verhältnis von Fahrzeugen, die Daten liefern zu allen Fahrzeugen eines Straßenabschnitts bzw. Querschnitts (EXP1, 1-3). EXP1 wies darauf hin, dass sich hierbei stationäre Sensoren im Vorteil befinden. Welche Ausstattungsgrade für einen Querschnitt benötigt werden, muss gesondert untersucht werden.

Beide Experten gehen davon aus, dass die *Bedeutung, Weiterentwicklung und Verbreitung* von XFCD in Zukunft zunehmen wird (EXP1, 1-1; EXP2, 1-1). Technologien wie Fahrzeug-zu-Fahrzeug-Kommunikation (Car2Car-Communication) oder autonomes Fahren werden nach Aussage von EXP1 zunehmend dazu beitragen. In diesem Zusammenhang kann davon ausgegangen werden, dass die Anzahl an Sensoren in Kraftfahrzeugen sowie der Umfang zur Verfügung stehender Daten weiter ansteigen

wird (EXP1, 1-1). Einen weiteren wichtigen Trend in der Entwicklung von XFCD sieht EXP2 bei dem Thema „Emergency Call“ (eCall), da nach einer erfolgreichen gesetzlichen Verankerung jedes Neufahrzeug über eine GPS- und Mobilfunkanbindung verfügen muss (EXP2, 1-1).

Die *Akzeptanz und Bereitschaft von Nutzern* (eigene) Daten bereitzustellen und derartige Systeme und Anwendungen zu nutzen wird von den Experten grundsätzlich als hoch eingestuft (EXP1, 4-5; EXP, 4-5). EXP2 sieht hierbei zudem (monetäre) Anreizsysteme als wesentlichen Faktor (EXP2, 4-5). Beide Experten betonen ebenfalls die Notwendigkeit von Anonymisierung und Einhaltung des Datenschutzes (EXP1, 4-3; EXP2, 4-3). EXP2 sieht jedoch mit Zunahme dieser Technologie die Gefahr einer zunehmenden „Segmentierung“ bzw. „Polarisierung“ in einen Personenkreis, der bereit ist, Daten freiwillig (bzw. auf Anreiz von Bonus- bzw. Rabattsystemen) herauszugeben und einen kleinen Personenkreis, der damit nicht einverstanden ist und sich ggf. sogar mit technischen Mitteln zu schützen versucht (z.B. mittels Störsender) (EXP2, 4-5).

Anforderungen an Daten

Die Verwendung von *Map-Matching-Algorithmen* auf Grund von Ungenauigkeiten in der Positionsbestimmung ist für beide Experten zwingend notwendig (EXP1, 5-1; EXP2, 1-1). Das gilt im Besonderen für verkehrsrelevante Anwendungen, die eine fahrspurgenaue Betrachtung erfordern (EXP1, 2-1 + 5-1).

Die *Anonymisierung der Daten* wurde von beiden Experten als erforderlich angesehen, muss jedoch für den konkreten Anwendungskontext geprüft werden (EXP1, 4-1 + 4-3; EXP2, 4-3). Für die Durchführung der Anonymisierung werden klare Regeln gefordert (EXP1, 4-1). Wenn der konkrete Anwendungskontext eine möglichst hohe Genauigkeit von Start- und Zielpunkten einer Trajektorie bzw. Route fordert, dann ist die Anonymisierung durch Modifizieren von Start- und Zielpunkten jedoch schwer möglich (EXP2, 4-3).

Die Wahl des *zeitlichen Intervalls* zur Datenerfassung und Übermittlung (als Abtast- bzw. Aktualisierungsintervall) muss im Kontext einer Anwendung geprüft werden. Für sicherheitsrelevante Steuerungen kann davon ausgegangen werden (sofern der benötigte Ausstattungsgrad vorhanden ist), dass ein möglichst kleines Abfrageintervall notwendig ist (EXP1, 2-4). EXP1 fasst allgemein eine Größenordnung von rund 30 Sekunden als ausreichend auf (EXP1, 2-4).

Der *Umfang der gesendeten Daten* aus dem Fahrzeug sollte nach EXP2 möglichst gering gehalten werden: „[...] alles das was man im Upload überträgt, schmälert die Bandbreite im Downloadbereich, um andere Informationen [...] zu übertragen“ (EXP2, 4-2 + 6-1). Diese Problematik zeigte sich besonders in der Vergangenheit durch hohe Kommunikationskosten bei der Datenübertragung (EXP1, 4-2). Auch heute ergeben

sich jedoch laut EXP2 auf Grund der streckenweise unterschiedlichen Qualität in der Mobilfunkversorgung (in Bezug auf Datenbandbreite) Probleme (EXP2, 1-1). Das Aufbereiten bzw. Aggregieren der Daten bereits im Fahrzeug kann in diesem Fall helfen, dabei kann jedes Aggregieren aber auch zum Verlust von Informationen führen (EXP1, 4-2).

Anforderungen an Visualisierungen

Die *Visualisierung der Daten* stellt für beide Experten ein geeignetes und notwendiges Mittel dar (EXP1, 3-1; EXP2, 3-1 + 3-2). EXP1 merkt hierzu an, dass nicht nur automatisierte Algorithmen notwendig sind, sondern letztlich Entscheidungen (durch den Menschen) getroffen werden müssen: „Ab einem bestimmten Punkt, je nach Systemaufbau, Use-Case, Betriebskonzept, mal früher mal später, werde ich immer zu der Visualisierung kommen“ (EXP1, 3-1).

Der Verwendung *kartographischer Visualisierung* wurde durch die Experten ein hoher Stellenwert zugesprochen (EXP1, 3-3; EXP2, 3-3). EXP1 äußerte hierzu: „Der verkehrsorientierte Anwender hat immer den räumlichen Hintergrund. Es stellt nicht nur ein geeignetes, sondern ein notwendiges Mittel dar“ (EXP1, 3-3). EXP2 merkte an, dass für ihn die Verwendung von Karte und Diagrammen in einer Darstellung als weniger hilfreich angesehen wird. Die Darstellung in Diagrammform sollte als Zusatzinformation erst auf Wunsch des Benutzers leicht ein- aber auch wieder ausblendbar sein. Zudem sollte die einfache „Lesbarkeit“ von Diagrammen gewährleistet werden, z.B. durch Geringhalten der Klassen-/Farbanzahl (EXP2, 3-4).

Der *räumliche Maßstab* einer Betrachtung kann ohne Kontextbezug schwer definiert werden, der spezifische Kontext entscheidet über die Ebene der Granularität (EXP1, 3-2). Anhaltspunkte können jedoch durch Planungsabschnitte wie „Verkehrsbezirke“ oder die Einteilung in die strukturellen Ebenen Bund, Land, Landkreis gegeben werden. Zu Verkehrsbezirken kann festgehalten werden, dass deren Einteilung auf Basis statistischer Modelle (z.B. abhängig von Einwohnerzahlen und Strukturgrößen) erfolgt, welche je nach verwendetem Modell variieren kann. Diese sind somit „kein Standard, sondern Modellinhalt“ (EXP2, 3-5).

Beide Experten wiesen darauf hin, dass für die *Visualisierung von Verkehrslagen* (Verkehrsqualität) in der Praxis häufig die farbliche Kodierung in grün/gelb/rot (als sog. „level of service“-Karten) vorgenommen wird (EXP1, 2-4; EXP2, 3-3).

Die *Verwendung von Animationen* wurde von EXP2 als besonders hilfreich beurteilt (EXP2, 3-4). In diesem Zusammenhang schlug EXP2 das Verwenden einer Art „Flackern“ für die Visualisierung von Verkehr vor: „Je stärker der Verkehr ist, desto höher ist dann die Frequenz des Flackerns in dem dargestellten Flächenausschnitt,

sodass man auf diese Weise sofort sieht, wo viel los ist und die Auswertung von Farben durch den Benutzer nebensächlich wird“ (EXP2, 3-4).

Der *intuitiven Bedienbarkeit* einer interaktiven Visualisierung wurde eine hohe Bedeutung zugesprochen (EXP1, 2-3; EXP2, 5-1 + 5-2). Da die Visualisierung als Werkzeug die Entscheidung bzw. Entscheidungsfindung unterstützen soll und diese spez. im Bereich der Stadt-/Verkehrsplanung, im UM und VM oft durch Politik oder Öffentlichkeit und somit auch durch fachfremde Personen geschieht, ist nicht nur der Informationsgehalt zu prüfen, sondern auch die einfache Bedienbarkeit. Es ist darauf zu achten: „[...] dass die Bedienung mindestens so ist wie man es [...] gewohnt ist, also die Frage, wie verschiebt man Karten, eben diese bekannten Basiselemente“ (EXP2, 5-2). Alle wichtigen funktionalen und graphischen Elemente müssen nicht nur vorhanden, sondern auch für den Benutzer identifizierbar und verständlich sein (EXP2, 5-1 + 5-2). Es sollte durch „leichte Bedienhandlungen“ möglich sein, „Zusatzinformationen zu den Objekten“ zu erhalten (EXP2, 3-4).

Beide Experten wiesen darauf hin, dass die *kontextbezogene Definition der Benutzerrollen* einer Anwendung über die Akzeptanz und Verwertbarkeit in der Praxis entscheidet (EXP1, 5-1; EXP2, 3-1 + 3.2). Hierzu sind: „spezielle rollenbasierte, use-case-basierte, kontextsituative GUIs“ zu verwenden, welche „[...] dann auch den jeweiligen Workflow repräsentieren, den der Operator oder Entscheidungsträger hat“ (EXP1, 2-4). Eine Unterscheidung bzw. *Trennung von Daten- und Softwarekern* kann nach EXP1 einen Ansatz bieten, um die Abbildung von Rollen (durch die Software, welche auf die Daten aufgesetzt wird) vornehmen zu können (EXP1, 2-3). In der Entwicklung einer derart aufgebauten Anwendung ist ein gewisses „Fingerspitzengefühl“ notwendig, um den „Spagat zwischen Standardisierung und Customizing“ lösen zu können: „Ich denke mit server- und webbasierten Lösungen werden wir in Zukunft vielleicht die Möglichkeit haben [...] viel stärker rollenbasiert unsere Planungsprogramme anzubieten“ (ebenda).

Abschließend muss eine wichtige Bemerkung angebracht werden: EXP1 wies darauf hin, dass es sich bei dem Begriff „XFCD“ um einen speziell durch das Unternehmen BMW geprägten Begriff handelt, der ursprünglich mit bestimmten (Produkt-)Ideen verbunden war (vgl. EXP1, 1-1). Die Verwendung dieses Begriffs wurde daher im vorliegenden Zusammenhang als weniger angebracht angesehen. Als Alternative wurde der Begriff „mobile Sensoren“ in Abgrenzung zu „stationären Sensoren“ vorgeschlagen (ebenda). Der genannte Aspekt konnte im Gespräch mit EXP2 angebracht werden, wobei dieser den Einwand nachvollziehen konnte, jedoch die Verwendung des Begriffs in Anlehnung an das FCD-Konzept als passend auffasste und zudem keine Begriffsalternative für diese Art von Daten anbringen konnte (EXP2, 1-1). Neben dem bereits genannten Zusammenhang kann dieser Umstand zusätzlich wie

folgt interpretiert werden: EXP1 bezieht die Begriffsdefinition auf die Funktion von Kraftfahrzeugen als mobile Sensoren, während EXP2 sich auf die daraus resultierenden Daten bezieht. Da die verwendete Begrifflichkeit in der Literatur (auch unabhängig von BMW) als Erweiterung des FCD-Konzeptes beschrieben wird und kein markenrechtlicher Schutz ausgemacht werden konnte, soll diese weiterhin für die Beschreibung dieser Art von Daten dienen. Es muss jedoch wiederholt betont werden, dass der Begriff ursprünglich durch das Unternehmen BMW geprägt worden ist (vgl. auch Kap 2.2).

5. Grundlagen und Anwendung kartographischer Visualisierung

In den vorherigen Abschnitten und gestützt durch die Experteninterviews konnte aufgezeigt werden, dass Visualisierung (zur visuellen Informationsübermittlung) ein geeignetes und häufig verwendetes Kommunikationsmittel darstellt, um komplexe Informationen und Sachverhalte (dem Menschen in graphischer Form) präsentieren und vermitteln zu können. Die Verwendung kann hierbei allgemein in drei Stufen angesetzt werden: zur explorativen Analyse (Formulierung von Hypothesen), zur konfirmativen Analyse (auf Grundlage von Hypothesen) sowie zur Präsentation und Kommunikation von (bereits erzielten) Ergebnissen (vgl. SCHUMANN & MÜLLER 2000, 6). In diesem Zusammenhang zeichnet sich kartographische Visualisierung bzw. kartographische Darstellung nicht nur als geeignete, sondern als die beste Lösung zur Kommunikation von raumbezogenen Informationen aus (vgl. DE LANGE 2013, 277).

Als graphische Repräsentationsform stellt die Karte das zentrale Erkenntnisobjekt der Kartographie dar und kann als „[...] verkleinertes, vereinfachtes und verebnetes Abbild der Erdoberfläche, (ggf.) einschließlich mit ihr in Verbindung stehender Sachverhalte [...]“ aufgefasst werden (KOHLSOCK 2004, 15). Die kartographische Abbildung beschreibt entsprechend der kartographischen Abbildungsbedingungen (Verebnung, Georeferenzierung, maßstäbliche Verkleinerung, perspektivische Projektion, Zeichenkodierung sowie Reduktion und Abstraktion) den „[...] Wirkungszusammenhang graphisch-optischer Bedingungen und Eigenschaften in Karten, die bei der Reproduktion georäumlicher Merkmale (Geodaten) zum Tragen kommen“ (BOLLMANN & KOCH 2005). Entsprechend der kartographischen Kommunikation kann die kartographische Information als „[...] graphisch angelegtes und visuell zugängliches georäumliches Wissen in Form von grundrissbezogenen Merkmalen [und als] aus der Karte visuell abgeleitetes gedanklich verfügbares kartographisches Wissen [...]“ verstanden werden (ebenda). Formale Typen der kartographischen Informationen in Karten können allgemein wie folgt zusammengefasst werden: Lageinformationen, Beziehungsinformationen, Zustandsinformationen, Mengeninformatoren, regionale Informationen und raumzeitliche Informationen (ebenda; vgl. HEIDMANN 2012, 43). Die Verarbeitung dieser Informationen im kartographischen Wahrnehmungsraum kann durch die speziellen visuell-kognitiven Prozesse der Kartennutzung beschrieben werden: suchen, verorten,

lesen, diskriminieren, klassifizieren, vergleichen, Muster bilden, zählen und schätzen (vgl. BOLLMANN & KOCH 2005; HEIDMANN 2012, 41).

Bezogen auf das kartographische Kommunikationsmodell dient das Medium (der klassischen analogen) Karte (Sekundärmodell, graphisch) als Schnittstelle zwischen Datenbestand (dem Primärmodell der Umwelt) und Nutzer (dem durch Interpretation des Nutzers erzeugten Tertiärmodell). Dies entspricht dem traditionellen Sender-Empfänger-Modell, welches in Anhang G, links dargestellt ist (vgl. DE LANGE 2013, 270; HAKE et al. 2002, 8-9). Die Entwicklung digitaler Kartographie und Geoinformationsverarbeitung mit Hilfe moderner computergestützter Technologien und Verfahren ermöglicht dem Nutzer digitaler kartographischer Medien heute einen hohen Grad an Dynamik und Interaktivität. Es entsteht ein nutzerzentriertes Kommunikationsmodell mit spezifischen Mensch-Karte-Interaktionsoperationen, welche das Paradigma des traditionellen Sender-Empfänger-Modells deutlich verändern, siehe Anhang G, rechts. Durch Interaktion kann die Karte vom Nutzer selbst verändert werden und mittels Exploration eine Erkundung der Daten vorgenommen werden, was zur neuen Hypothesen- bzw. Erkenntnisbildung führt. Auf diese Weise kann die Einflussnahme des Nutzers auf den kartographischen Kommunikationsprozess an drei Stellen vorgenommen werden (vgl. HEIDMANN 2012, 46): durch Interaktion zur Veränderung des Primärmodells, durch Interaktionen welche die Algorithmen zur Generierung der spezifischen visuellen Repräsentation (Sekundärmodell) beeinflussen sowie durch Interaktionen zur Veränderung bzw. Anpassung der generierten Visualisierung.

Der technische Fortschritt sowie die Entwicklung des nutzerzentrierten Kommunikationsmodells in der Kartographie ermöglichen einen neuen Ansatz computergestützter wissenschaftlicher Visualisierung, der als Geovisualisierung (eng. geographic visualization) bezeichnet werden kann: „Geovisualization (GVIS) integrates approaches from visualization in scientific computing (ViSC), cartography, image analysis, information visualization, exploratory data analysis (EDA), and geographic information systems (GISystems) to provide theory, methods, and tools for visual exploration, analysis, synthesis, and presentation of geospatial data (any data having geospatial referencing)” (KRAAK & MACEACHREN 2001, 1). Die hiermit stark verbundenen Themen stellen die graphische Repräsentation von (räumlichen) Informationen, die Integration von visuellen mit computergestützten Methoden der Gewinnung von Wissen (z.B. durch Verfahren des „Data Mining“), die Gestaltung der Benutzeroberfläche (engl. interface design) sowie kognitive Aspekte und Bedienbarkeit (engl. usability) dar (vgl. ebenda). Geovisualisierung verfolgt daher einen integrativen bzw. interdisziplinären Ansatz, bei dem speziell die Kartographie eine bedeutende Funktion besitzt – die (interaktive) Visualisierung wird hierbei verstanden als „[...]“

explorativer Forschungsansatz, um komplexe und große Datenmengen im wissenschaftlichen Erkenntnisprozess zu verarbeiten“ (DE LANGE 2013, 276).

Der Ansatz der Geovisualisierung zeigt sich daher im Rahmen der vorliegenden Betrachtungen als besonders interessant. In den folgenden Abschnitten dieses Kapitels sollen die grundlegenden Anforderungen und Einflussfaktoren auf (kartographische) Visualisierungen sowie deren Generierung kurz behandelt werden. Auf Grund der Eigenschaften von XFCDD gilt es, die graphische Repräsentation bzw. Verarbeitung von Informationen sowie die Gestaltung der Benutzerinteraktion (welche Aspekte der Bedienbarkeit und der Benutzeroberfläche mit einschließt) in Bezug auf die räumliche und zeitliche Komponente der Daten zu untersuchen. Die hieraus resultierenden Erkenntnisse sollen letztendlich als Ausgangspunkt für die Entwicklung eines Visualisierungsansatzes für XFCDD im Rahmen eines noch zu definierenden exemplarischen Anwendungsszenarios dienen.

5.1. Anforderungen und Generierung von Visualisierungen

Um geeignete Visualisierungen entwickeln zu können, ist es in erster Linie notwendig zu klären, wie die Qualität von Visualisierungen bzw. graphischen Darstellungen bestimmt werden kann. Hierzu soll in aller Kürze auf die allgemeinen Anforderungen an Visualisierungen sowie die Einflussfaktoren auf deren Qualität eingegangen werden.

Um sich den Anforderungen, welche an Visualisierungen gestellt werden, nähern zu können, ist es sinnvoll grundsätzlich zu klären, welche Informationen in einem Bild bzw. einer graphischen Darstellung enthalten sein können. Hierzu können drei verschiedene Stufen der Information unterschieden werden (vgl. BERTIN 1982, 12-13; SCHUMANN & MÜLLER 2000, 6-7): Die erste (elementare) Stufe bildet alle vorliegenden Informationen (z.B. einer Tabelle) in direkter Form ab, d.h. jede Information liegt als graphische Darstellung vor. Die zweite (mittlere) Stufe repräsentiert bereits eine Abstraktion der elementaren Informationen (z.B. durch Gruppierung der Elemente). Hierbei geht es um das Verdeutlichen der wesentlichen Informationen bzw. Ergebnisse einer Untersuchung. Daher eignet sich diese Stufe in erster Linie zur Kommunikation. Die dritte (oberste Stufe) beinhaltet die „Gesamtheit der Information“, d.h. die Gesamtheit aller in den Daten verborgenen Informationen wird dargestellt. Eine Visualisierung auf dieser Stufe schließt die ersten beiden Stufen ein und kann im Speziellen als Grundlage für Entscheidungen verwendet werden. Wie aber kann die Qualität einer Visualisierung (allgemein) definiert werden? Ein Ansatz hierzu kann wie

folgt formuliert werden: „Die Qualität einer Visualisierung definiert sich durch den Grad, in dem die bildliche Darstellung das kommunikative Ziel der Präsentation erreicht. Sie lässt sich als das Verhältnis von der vom Betrachter in einem Zeitraum wahrgenommenen Information zu der im gleichen Zeitraum zu vermittelnden Information beschreiben. Die Qualität einer Visualisierung ist somit in starkem Maße abhängig von den Charakteristika der zugrunde liegenden Daten und ihren Eigenschaften, dem Bearbeitungsziel, den Eigenschaften des Darstellungsmediums sowie den Wahrnehmungskapazitäten und Erfahrungen des Betrachters“ (SCHUMANN & MÜLLER 2000, 7). In diesem Zusammenhang können verschiedene Faktoren identifiziert werden, die Einfluss auf die Qualität einer Visualisierung ausüben (ebenda, 8-9).

1. Art und Struktur der Daten
2. Bearbeitungsziel bei der Visualisierung
3. übliche Metaphern des Anwendungsgebietes bzw. Konventionen
4. Vorwissen des Anwenders/Betrachters
5. visuelle Fähigkeiten und Vorlieben des Anwenders/Betrachters
6. Charakteristika des Darstellungsmediums

Diese genannten Faktoren können (entsprechend ihrer thematischen Zugehörigkeit) potentiell in vier Gruppen gegliedert werden: Daten (1), Anwendungskontext (2, 3), Benutzerkontext (4, 5) und Darstellungsmedium (6). Im Vorfeld der Entwicklung einer Visualisierung gilt es die genannten Faktoren gewissenhaft zu definieren. Neben diesen Einflussgrößen können drei grundsätzliche Anforderungen an eine (jede) Visualisierung formuliert werden (vgl. ebenda, 9-13)

- *Expressivität*
Die Expressivität bzw. Ausdrucksfähigkeit einer Visualisierung wird dadurch bestimmt, ob eine darzustellende Datenmenge möglichst unverfälscht wiedergegeben wird, d.h. nur die in den Daten enthaltenen Informationen (und nur diese) sollen durch die Visualisierung dargestellt werden: „Eine gute Visualisierung muss immer das Kriterium der Expressivität erfüllen, weil nur dann eine unverfälschte Vermittlung aller relevanten Aspekte der Daten an den Betrachter garantiert und das Risiko einer Fehlinterpretation und damit falscher Schlussfolgerungen reduziert werden kann“ (ebenda, 12). Die Expressivität wird hauptsächlich von der Struktur und Art der Daten beeinflusst, welche für die Visualisierung verwendet werden sollen.
- *Effektivität*
Das Kriterium der Effektivität (einer graphischen Konstruktion) ist „[...] durch die Stufe der Frage gekennzeichnet, auf die spontan eine Antwort gegeben

werden kann“ und somit durch die Wahl der Visualisierungstechniken, welche die Daten am besten präsentiert (BERTIN 1982, 15). In diesem Zusammenhang wird die Visualisierung gesucht „[...] die bei der Darstellung die (visuellen) Fähigkeiten des Betrachters und die charakteristischen Eigenschaften des Ausgabegeräts [Medium] unter Berücksichtigung der Zielstellung und des Anwendungskontextes optimal ausnutzt“ (SCHUMANN & MÜLLER 2000, 11). Dieses Kriterium ist demnach weniger von den zugrundeliegenden Daten an sich, als mehr von den weiteren genannten Einflussfaktoren abhängig.

- *Angemessenheit*

Die dritte Anforderung wird durch die Angemessenheit einer Visualisierung bestimmt und ist mit der Frage der Kosten, d.h. dem Verhältnis von Aufwand (in Bezug auf Rechen- und Ressourcenaufwand zur Generierung einer visuellen Darstellung bzw. zur Durchführung des Visualisierungsprozesses) und Nutzen verbunden. Hierbei zeigt sich, dass das Kriterium der Angemessenheit stark mit dem der Effektivität verbunden ist und oft als ein Aspekt der Effektivität angesehen werden kann (da eine unangemessene Visualisierung kaum effektiv sein kann). Der Aufwand zur Generierung einer Visualisierung kann daher auch als Kosten ausgedrückt werden, die mit der (zeitlichen, physischen und kognitiven) Belastung des Anwenders verbunden sind.

Um Daten in eine graphische Darstellung umzuwandeln, d.h. eine Visualisierung durchführen zu können, bedarf es grundsätzlich einiger Schritte, die als Visualisierungsprozess zusammengefasst werden können und sich in einer stufenweisen Abfolge anordnen lassen, welche als Visualisierungspipeline bezeichnet wird (vgl. Abb. 10). Diese wesentlichen Schritte sind durch die Datenaufbereitung (Filtering), die Erzeugung eines Geometriemodells (Mapping) und die Bildgenerierung (Rendering) gegeben. Das Ziel liegt hierbei darin, abstrakte Daten, welche primär nicht geometrischer Natur sind, in Form von Bildern zu veranschaulichen (vgl. SCHUMANN & MÜLLER 2000, 15-25):

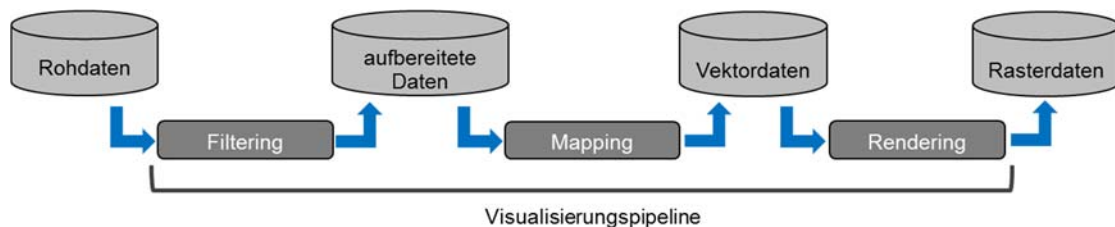


Abb. 10: Stufen und Datenfluss in der Visualisierungspipeline.

- *Filtering*
Im ersten Schritt erfolgt die Aufbereitung der Daten für die weiteren Schritte mittels Daten-zu-Daten-Abbildung. Hierzu zählen auch Operationen zur Vervollständigung bzw. Reduzierung einer Datenmenge. Dazu kann beispielsweise das Ergänzen fehlender Datenwerte mit Hilfe von (räumlicher) Interpolation gezählt werden. Als wichtige Aufgabe der Datenaufbereitung kann ebenfalls das Filtern der Daten (nach bestimmten) Kriterien angesehen werden.
- *Mapping*
Im zweiten Schritt, welcher als Kernstück des Visualisierungsprozesses bezeichnet werden kann (da Expressivität und Effektivität von Bildern an dieser Stelle in hohem Maße beeinflusst werden), erfolgt die Überführung von nicht-geometrischen Daten in Geometriedaten (Vektordaten) mit Hilfe einer Daten-zu-Geometrie-Abbildung „[...] bei der die Datenwerte auf geometrische Primitive einschließlich der dazugehörigen Attribute (zum Beispiel Farbe) abgebildet werden [...]“ (ebenda, 16). Es wird zwischen den drei folgenden graphischen Primitiven unterschieden: Punkte (als mathematisch nulldimensionale Objekte), Linien (eindimensionale Objekte) und Flächen (zweidimensionale Objekte) (vgl. ZIMMERMANN 2011, 144).
- *Rendering*
Im dritten Schritt erfolgt die Abbildung der Geometriedaten (Vektordaten) in Bilddaten (Rasterdaten) entsprechend der Geometriebeschreibungen – daher wird an dieser Stelle in besonderem Maße Einfluss auf die spätere Visuelle Repräsentation genommen. Als interessant zeigt sich, welche Art der Darstellung für ein Bild gewählt wird, z.B. realitätsnahe Bilder, abstrahierende Bilder, mentale Bilder und Animationen (vgl. SCHUMANN & MÜLLER 2000, 16-17).

Zur Erzeugung einer expressiven und effektiven Visualisierung ist es notwendig, den Visualisierungsprozess entsprechend dem späteren Nutzer bzw. Anwender zu gestalten. Dieser Prozess kann somit als Teilprozess der visuellen Analyse aufgefasst werden, wobei sich je nach Zu- bzw. Eingriffsmöglichkeiten des Anwenders verschiedene Visualisierungsszenarien unterscheiden lassen, spez. vier: Bewegungsmodus, Tracking, interaktives Postprocessing und interaktive Steuerung. Hierbei kann das Szenario des interaktiven Postprocessing als Standardszenario angesehen werden, auf dessen Basis die meisten Visualisierungssysteme arbeiten (vgl. ebenda, 24-25). Sofern die genannten Schritte der Visualisierungspipeline über mehrere Rechnersysteme verteilt sind (wie es bei webbasierten Anwendungen der Fall

ist), wird bei den beteiligten Rollen zwischen dem Autor (Publisher) und dem Betrachter (Viewer) unterschieden (vgl. ebenda, 18).

In Bezug auf die kartographische Visualisierung repräsentiert der Visualisierungsprozess somit zusammenfassend die Überführung von Geodaten (als Rohdaten) in eine (analoge oder digitale) Kartengraphik. Dieser Vorgang bezieht sich auf die drei Stufen der Visualisierungspipeline sowie darin enthaltene Arbeitsschritte.

5.2. Graphische Verarbeitung von Informationen in Raum und Zeit

Die Kartengraphik kann als Gesamtheit der für Karten aller Art typischen Darstellungsweise im Sinne eines Zeichensystems aufgefasst werden, welches die Merkmale und Regeln aller graphischen Darstellungen wie auch der kartographischen Darstellungen umfasst (vgl. HAKE ET AL. 2002, 106-107). Hierbei ergibt sich ein dreistufiger Aufbau: graphische Elemente, zusammengesetzte Zeichen und graphische Gefüge. Von besonderer Bedeutung erweisen sich daher die Zeichen als Träger der Informationen. In diesem Zusammenhang beschreibt das kartographische Zeichensystem die Zuordnung von Daten (kartographisches Datenmodell) und Zeichen (Kartenzeichen) auf Grundlage der Objekt-Zeichen-Referenzierung, d.h. dem Prinzip der logisch-semantischen und logisch-strukturellen Zuordnung (in Bezug auf die syntaktische, semantische sowie pragmatische Zeichendimension) von Kartenzeichen zu durch Geodaten abgebildeten Objekten (vgl. ebenda, 10 ff). Die graphischen Elemente stellen dabei die Grundbausteine jeder Kartengraphik dar und werden entsprechend ihrer geometrischen Ausbreitung durch die drei geometrischen Primitive Punkt, Linie und Fläche unterschieden (vgl. ebenda, 106).

Als Theorie der graphischen Verarbeitung von Informationen kann die von Jaques Bertin entwickelte graphische Semiologie verstanden werden (vgl. BERTIN 1982; DE LANGE 2013, 280 ff). Demnach gehört die graphische Darstellung „[...] zu den Zeichensystemen, die sich der Mensch geschaffen hat, um die für ihn notwendigen Beobachtungen festzuhalten, zu begreifen und mitzuteilen“, „[...] eine graphische Darstellung ist niemals Selbstzweck, sondern eine Etappe der Entscheidung“ (BERTIN 1982, 10 + 16). Bertin untersuchte die visuell wahrnehmbaren Variationsmöglichkeiten graphischer Zeichen: „Die Mittel der graphischen Darstellung zur Transkription von Ähnlichkeits-, Ordnungs- und Proportionalitätsbeziehungen sind die acht Variationen, die das Auge in Bezug auf ‚Flecken‘ wahrnehmen kann“ (vgl. ebenda, 186). Entsprechend dieser Auffassung wird zwischen acht verschiedenen visuellen Variablen als Komponenten eines graphischen Zeichensystems unterschieden: Farbe,

Form, Muster, Tonwert bzw. Helligkeitswert, Richtung, Größe sowie zwei weiteren Variablen, welche der Beschreibung der Ebene dienen (Position bzw. Ausdehnung in X und Y). Für eine klare Unterscheidung der Eigenschaften und Ausdrucksmöglichkeiten der graphischen Variablen werden neben dem Skalenniveau der darzustellenden Daten vier spezielle Fähigkeiten unterschieden: Assoziation (assoziativ und dissoziativ), Selektivität, Ordnung, Quantität (vgl. DE LANGE 2013, 282-283). Zudem wird zwischen Karten unterschieden, deren Inhalt man „sieht“ und Karten deren Inhalt „gelesen“ werden muss, wobei das „Lesen“ von Karten vermieden werden sollte. Um dies zu ermöglichen, wird die ausschließliche Verwendung von Größe und Helligkeitswert (den geordneten visuellen Variablen) empfohlen, um einen geordneten quantitativen Faktor zu transkribieren (vgl. BERTIN 1982, 147-149).

Die von Bertin vorgenommene strukturierte Betrachtungsweise der elementaren Grundstrukturen, deren Variationsmöglichkeiten sowie Anwendungsprinzipien bilden den Ausgangspunkt für die graphische Verarbeitung von Informationen. Es kann festgehalten werden: „Für Kunst ist in der graphischen Darstellung kein Platz, denn eine Wahlmöglichkeit existiert nicht. Der Zeichner einer graphischen Darstellung ist durch die Eigenschaften der visuellen Variablen gebunden“ (BERTIN 1982, 178).

Auf Basis der genannten Überlegungen lassen sich grundsätzlich zehn kartographischen Darstellungsmethoden konstruieren und unterscheiden, mit denen es prinzipiell möglich ist Geodaten jeglicher Ausprägung in (statistischen) Karten darzustellen: „Unter kartographischen Darstellungsmethoden sind die Grundstrukturen der Kartographik (kartographische Gefüge) und ihre Anwendungsprinzipien zu verstehen, mit denen der Karteninhalt unter Verwendung geeigneter Kartenzeichen und deren methodisch-regelgesteuerter Variation nach [visuellen] graphischen Variablen gestaltet bzw. modelliert wird“ (BOLLMANN & KOCH 2005). Diese können wie folgt benannt werden: Methode der Positionssignaturen, Methode der Diagrammsignaturen, Punktmethode, Methode der Linearsignaturen, Vektorenmethode, Flächenmethode, Flächenmittelwertmethode (qualitative Flächenfüllung), Flächenkartogramm-Methode, Diakartogramm-Methode (Kartodiagramm), Isolinien-Methode (vgl. ebenda).

Der durch Bertin ursprünglich formulierte Ansatz bezieht sich auf zweidimensionale Darstellungen in analogen Kartographiken und ist im Laufe der Zeit vor dem Hintergrund von weiteren Kombinationsmöglichkeiten, Differenzierungen, Schaffung neuer Variablen sowie spez. im Rahmen der Multimedia-Kartographie in Bezug auf digitale Kartographiken (d.h. computergestützte kartographische Visualisierung) weiterentwickelt worden (vgl. DE LANGE 2013, 285-286). Besonders in Zusammenhang mit dem zuletzt genannten Punkt lieferte MacEachren (auf Grundlage von Bertin) eine

erweiterte Syntaktik der visuellen Darstellungsvariablen, welche in Abb. 11, links dargestellt ist (vgl. MACEachREN 2004, 279).

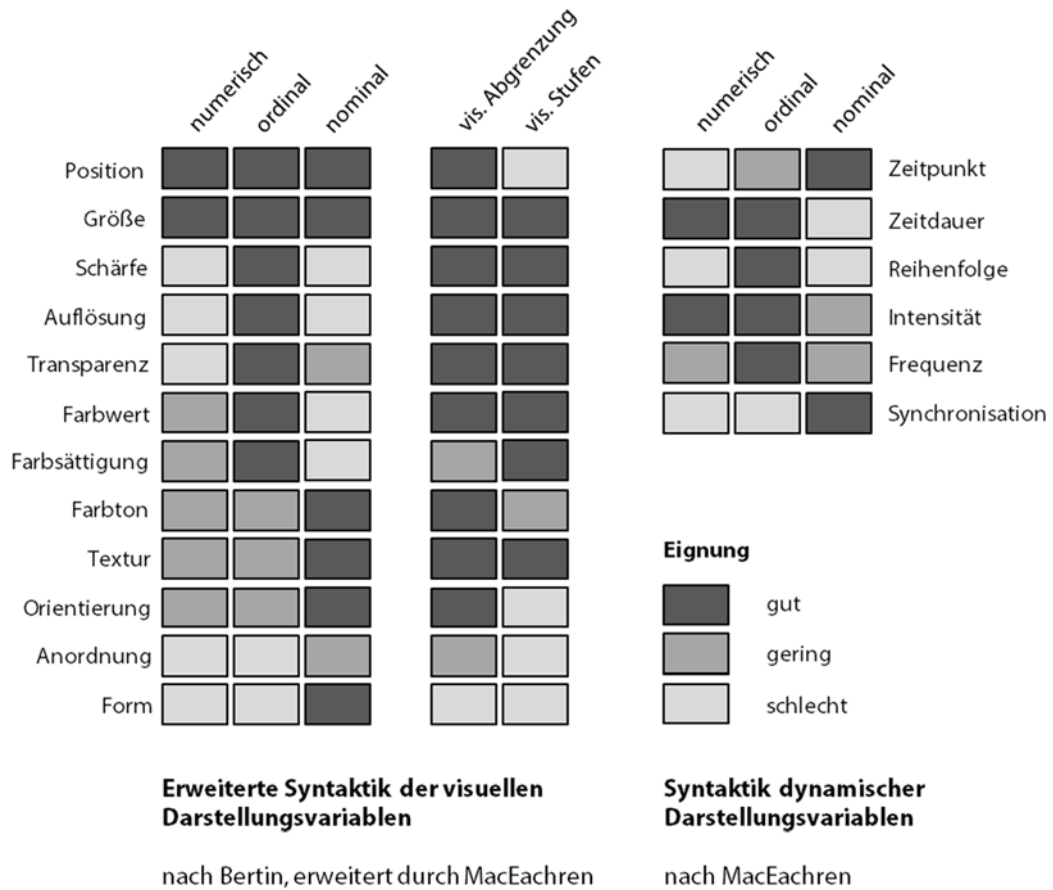


Abb. 11: Statische und dynamische visuelle Darstellungsvariablen (nach Bertin und MacEachren).

Die von Bertin definierten und von MacEachren erweiterten Variablen schließen jedoch Bewegung und Zeit aus. Um diesem Umstand zu begegnen, wurde die Erweiterung um sechs dynamische Variablen vorgenommen (vgl. MACEachREN 2004, 288; DE LANGE 2013, 286): Zeitpunkt (display date), Zeitdauer (duration), Reihenfolge (order), Intensität (rate of change), Frequenz (frequency), Synchronisation (synchronisation). Diese „synatiktisch-dynamischen“ Variablen sowie deren Eignung in Bezug auf das Skalenniveau, d.h. numerisch, ordinal und nominal skalierte Daten, kann Abb. 11, rechts entnommen werden.

Die genannten Variablen liefern somit prinzipiell die Grundlage für die Entwicklung von graphischen Darstellungen in analoger sowie digitaler Form. Im vorherigen Abschnitt konnte bereits aufgezeigt werden, dass die Art und Struktur der zugrunde liegenden Daten einen hohen Einfluss auf die Wahl der Visualisierung bzw.

Visualisierungsmethoden hat. Einen strategischen Ansatz zur Klassifikation von Daten und damit verbundenen geeigneten Aufgaben und Methoden („task by data type taxonomy“) liefert Shneiderman durch Unterscheidung von sieben Typen an Daten (vgl. SHNEIDERMAN 1996): 1-dimensional, 2-dimensional, 3-dimensional, zeitlich (temporal), multi-dimensional, Baumstruktur (tree), Netzwerk (network). In diesem Zusammenhang umfasst die Kategorie der (geometrisch) zweidimensionalen Daten („planar or map data“) im Besonderen Karten bzw. kartographische Abbildungen, wobei in digitalen Systemen meist eine Gliederung in unterschiedliche Kartenebenen, sog. „multiple layer approach“, vorgenommen wird (vgl. ebenda, 2-3). Die Dimensionalität des Daten- und des Darstellungsraumes kann als wichtiges Kriterium zur Unterscheidung von Visualisierungstechniken- bzw. -methoden angesehen werden (vgl. SCHUMANN & MÜLLER 2000, 175).

Die Bearbeitung von Problemen, denen Daten mit räumlicher und zeitlicher Bezugskomponente zugrunde liegen (wie es bei XFCd der Fall ist), macht es erforderlich Methoden anzuwenden, die beiden gleichermaßen gerecht werden - es kann festgehalten werden: „If a problem has both spatial and temporal components, visualisation tools that do not take both into account have the potential to do more harm than good“ (MACEACHREN 2004, 422). Um dieser Tatsache gerecht zu werden, zeigt sich in besonderer Weise die kartographische Animation als mögliches Mittel: „Mit der Animation steht für die kartographische Darstellung ein weiteres Ausdrucksmittel zur Verfügung, nämlich die Präsentationszeit. Kartographische Animationen werden daher v.a. zur Darstellung räumlicher Prozesse eingesetzt, um deren zeitlichen Verlauf unmittelbar und direkt zu veranschaulichen (temporale Animation)“ (BOLLMANN & KOCH 2005). Es zeigt sich, dass mit Hilfe der kartographischen Variablen Zeit Darstellungen erzeugt werden können, welche über das Potential traditioneller kartographischer Darstellungen hinausreichen und die deren Beschränkungen reduzieren: „Kartographische Computer-Animation wird dadurch zu einem hilfreichen Visualisierungsinstrument, das kartographische Darstellungen verbessert und damit ihre Anwendungsmöglichkeiten im gesamten [...] Arbeitsprozess erweitert“ (DRANSCH 1997, 16). Diese Methode wurde in den durchgeführten Fällen ebenfalls als potentiell geeignet für die Visualisierung von XFCd angesehen (vgl. Kap. 4.3).

Die genannten Überlegungen können die Basis für eine Visualisierung bilden. Es zeigt sich, dass aus Perspektive der Daten eine weitere Differenzierung notwendig ist. Diese kann vorgenommen werden, indem die Daten als Bewegungsdaten angesehen werden. Es konnte bereits aufgezeigt werden, dass das direkte Ergebnis der Datenerfassung von XFCd spez. aus punkthaft aufgezeichneten Daten besteht (sofern keine weitere Aufbereitung erfolgt). Hieraus können potentiell die Trajektorien (d.h. Bewegungspfade bzw. Zeit-Weg-Linien) von Fahrzeugen bei der Datenaufbereitung im

Filtering abgeleitet sowie in einem weiteren Schritt deren Aggregation vorgenommen werden (vgl. EGNER 2011, 975). Ohne auf diese komplexe Thematik vertiefter einzugehen kann festgehalten werden, dass Bewegungsdaten allgemein in drei Kategorien unterteilt werden können (die jeweils mit speziellen Analyseaufgaben verbunden sind): Bewegungen eines einzelnen Fahrzeugs, Bewegungen von mehreren unabhängigen Fahrzeugen, Bewegungen von mehreren in Abhängigkeit stehenden Fahrzeugen (vgl. ANDRIENKO & ANDRIENKO 2009, 6). Das schließt oft eine semantische Anreicherung mit ein. Dieser Anreicherungsprozess kann exemplarisch (in Erweiterung zu BAGLIONI et al. 2000) wie folgt dargestellt werden (vgl. Abb. 12):



Abb. 12: Anreicherungsprozess von Bewegungsdaten (schematische Darstellung).

Es zeigt sich, dass somit die Frage besteht, nach welchem Grad die erfassten (Roh-)Daten (bzw. die darin enthaltenen Informationen) je nach Fragestellung durch Techniken der Datenverarbeitung aufbereitet werden. So kann sich beispielsweise die Fragestellung auf die Trajektorien der Fahrzeuge oder die Verkehrssituation beziehen: „in the trajectory-orientated view, it is necessary to aggregate and summarize trajectories, which are much more complex objects than points“ und „in the traffic-oriented view, it is necessary to aggregate and summarize traffic situations“ (ANDRIENKO & ANDRIENKO 2009, 10).

Die skizzierten Ansätze der Anreicherung gelten jedoch lediglich für die reine Bewegung (als Funktion von Raum und Zeit) und schließen die durch XFCN gelieferten weiteren Informationen noch nicht ein. Es sind weitere Schritte der (semantischen) Datenaufbereitung erforderlich. Dies verdeutlicht, dass die Visualisierung in besonderem Maße durch die Arbeitsschritte im Filtering der Visualisierungspipeline (als Daten-zu-Daten-Abbildung) wie die Berechnung neuer Werte beeinflusst wird. Die Visualisierung von weiteren Informationen (z.B. durch Sensordaten geliefert) kann potentiell mit den genannten graphischen Darstellungsvariablen vorgenommen

werden. Für umfangreiche (statistische) Datenmengen eignen sich zudem in besonderem Maße Diagrammdarstellungen (vgl. DE LANGE 2013, 296; SCHUMANN & MÜLLER 2000, 131-140). Hierzu können neben einfachen Diagrammdarstellungen wie Linien und Kurvendiagramme, Säulen und Balkendiagramme oder Kreissektorendiagramme beispielsweise auch Punkt- bzw. Scatterplot-Diagramme, spez. für multidimensionale Daten, gezählt werden. Ansätze und Konzepte für Diagramme in digitalen kartographischen Medien sowie die Formalisierung benutzerdefinierter Diagramme bietet SCHNABEL 2007. Auch die Informationsvisualisierung kann zum Einsatz kommen, bezeichnet aber allgemein die Anwendung von Visualisierungstechniken zur Repräsentation von Daten, die „[...] keinen physikalischen Bezugsrahmenvorgeben und somit keinen Orts- oder Zeitbezug besitzen“ (SCHUMANN & MÜLLER 2000, 341).

Nachdem eine Auswahl bzw. Konstruktion von Zeichen und Methoden sowie deren Anwendung nach kartographischen Prinzipien und Regeln vorgenommen wurde, sind letztendlich einige formale Bestandteile erforderlich, damit das graphische Ergebnis als Karte bezeichnet werden kann. Zu diesen Bestandteilen zählen beispielsweise: Kartentitel, Beschreibung, Legende, Maßstabsangabe (Maßstabsleiste bzw. Maßstabszahl) sowie ein Vermerk zur Datenquelle und zum Kartenautor. Die fundamentalen Grundsätze kartographischen Layouts gelten sowohl für (analoge) Papierkarten als auch für (digitale) Webkarten, wobei das Kartenlayout einer Webkarte Teil einer Website ist und mit dieser graphisch abgestimmt sein sollte (vgl. RÄBER & JENNY 2003, 59). Bei der Ableitung von Karten in unterschiedliche (d.h. größere oder kleinere) Maßstäbe muss eine vollständige Überarbeitung des Kartenbildes mittels Kartengeneralisierung erfolgen (vgl. ZIMMERMANN 2011, 145). Hierbei kommt es beispielsweise vor, dass ein Effekt eintritt, der als „Signaturenumsschlag“ bezeichnet werden kann. So kann es vorkommen, dass „[...] ursprünglich flächenhaft ausgeprägte Realweltobjekte beim Übergang in einen kleineren Zielmaßstab die vorgegebene Minstdimension unterschreiten und daher entweder zu punktförmigen oder linienhaften geometrischen Darstellungen zusammenschrumpfen“ (ebenda). Ein Anhaltspunkt hierfür wird durch die genannte Mindestausdehnung bzw. graphische Minstdimension von Objekten in visuellen Darstellungen geliefert (vgl. KOHLSTOCK 2004, 88-89).

5.3. Interaktion mit digitalen kartographischen Medien

Es konnte bereits ansatzweise aufgezeigt werden, dass digitale kartographische Medien (Karten und kartenverwandte Darstellungen) sich im Vergleich zu analogen Varianten durch zwei miteinander zusammenhängende Gestaltungsmöglichkeiten auszeichnen: Multimedialität bzw. Multimedia und Interaktivität (vgl. HAKE ET AL. 2002, 276). Multimedia kann als das Zusammenspiel verschiedener Kodierungsformate wie Text, Bild, Graphik, Animation (aber auch Audio und Video) zum Zweck einer besseren Kommunikation aufgefasst werden (vgl. ebenda, 277-282). In diesem Zusammenhang ist unter Interaktion die aufeinander bezogene Wechselwirkung zwischen dem Benutzer (Mensch) und einem multimedialen System (digitales kartographisches Medium) zu verstehen. Interaktive kartographische Darstellungen sind gekennzeichnet durch eine graphische Benutzeroberfläche (Benutzerschnittstelle; engl. user interface), welche üblicherweise aus systematisch strukturierten graphischen Schaltflächen und einer (nahezu) unverzüglichen Bildschirmanzeige besteht, wobei die Eingabe i.d.R. mittels Tastatur und Zeigegerät vorgenommen wird (vgl. ebenda, 282-283). Die Möglichkeit zur Interaktion kann dem Benutzern somit einen deutlichen Mehrwert bieten: „Im Vergleich zu Betrachtungskarten bieten Kartengraphiken, die der Nutzer nicht nur betrachten, sondern interaktiv manipulieren kann, einen wesentlichen Nutzungsfortschritt“ (ASCHE 2001, 8). Interaktivität bietet auf diese Weise die Möglichkeit zur „kartographischen Exploration“: „Um neue Eigenschaften und Zusammenhänge von Daten zu erkennen, benötigt ein Analyst Werkzeuge zur interaktiven Kartenmanipulation, also zum ‚Spielen‘ mit der kartographischen Präsentation thematischer Daten“ (SCHMIDT & RINNER 2000, 91).

Diese genannten Werkzeuge können als (die zahlreichen) Interaktionsformen angesehen werden. Es existiert eine Vielzahl an Ansätzen für die Klassifizierung von Interaktionsformen (Taxonomien). So kann beispielsweise die Einordnung (einer Visualisierung) nach dem Grad der Interaktion (d.h. Stärke der Einflussnahme aus Nutzerperspektive) nach Crampton in vier Level (Stufen) vorgenommen werden (vgl. CRAMPTON 2002; Zusammenfassung nach HEIDMANN 2012) :

- *Level 1 (geringes Interaktionsniveau)*
Veränderung des Sekundärmodells (Datenrepräsentation), z.B.: Panning, Zooming, Maßstabsveränderung, Modifikation von Kartenzeichen (visuelle Darstellungsvariablen, z.B. Farbe), Abrufen von Detailinformationen zu Kartenzeichen bzw. Objekten.

- *Level 2 (mittleres Interaktionsniveau)*
Interaktion mit der zeitlichen Dimension, z.B.: zeitliche Abfolge von Bildschirmkarten durch Animation, zeitliche Navigation (Zeitachse), Veränderung der Zeitachse, Modifikation der dynamischen Darstellungsvariablen, Steuerung der Animation.
- *Level 3 (hohes Interaktionsniveau)*
Interaktion mit dem Primärmodell (Daten), z.B. Informationsgewinnung durch intelligente Datenabfrage (Data Mining), Filtern und Hervorheben bestimmter Informationen in verschiedenen Visualisierungsformen mittels Brushing und Linking zum Aufdecken von Beziehungen und Mustern.
- *Level 4 (hohes Interaktionsniveau)*,
Funktionen von Geoinformationssystemen (GIS), Experten-fokussiert, z.B. multiple Ansichten eines Datensatzes nebeneinander, Verschneiden verschiedener Datensätze, komplexe raumbezogene Operationen.

Für die Antwort auf die Frage nach dem geeigneten Einsatz der genannten Interaktionsformen und Wahl des Interaktionsniveaus kann allgemein auf die in Kap. 5.1 genannten Anforderungen und Einflussfaktoren an Visualisierungen verwiesen werden. Nach Shneiderman sollten jedoch vier grundlegende Funktionen (Overview, Zoom, Filter, Details on demand) erfüllt werden, wobei das „visual information seeking mantra“ als Leitbild für die Ausgestaltung der Interaktion bzw. Visualisierung aufgefasst werden kann: „Overview first, zoom and filter, then details-on-demand“ (SHNEIDERMAN 1996, 337).

Für die raumzeitliche Visualisierung und Interaktion liefert beispielsweise Monmonier einige interessante Ansätze (vgl. MONMONIER 1990). In diesem Zusammenhang kann das Konzept des „geographical, statistical and temporal brushing“ genannt werden, welches in Abb. 13 schematisch dargestellt ist (vgl. ebenda, 12). Dieser Aufbau (von Benutzeroberfläche und -interaktion) verbindet die unterschiedlichen Visualisierungsformen Karte, Zeitachse und Diagramm (Scatter-Plot) mittels Brushing & Linking (Focusing) und ermöglicht dadurch das (gleichzeitige) Auswählen und Hervorheben von Informationen in den unterschiedlichen Visualisierungsformen bzw. Ansichten (vgl. MACÉACHREN 2004, 418-419). Entsprechend der Einordnung nach Crampton kann auf diese Weise ein mittleres bis hohes Interaktionsniveau (Level 2 und 3) erreicht werden. Darüber hinaus kann eine interaktive Kartenlegende als Zeichenerklärung sämtlicher in der Karte verwendeter Zeichen eingesetzt werden, welche eine Vielzahl zusätzlicher Funktionen bis hin zur Steuerung von Zustand und Inhalt der Karte (z.B. Kartenebenen bzw. „layer“) ermöglicht (vgl. HEIDMANN 2012, 50).

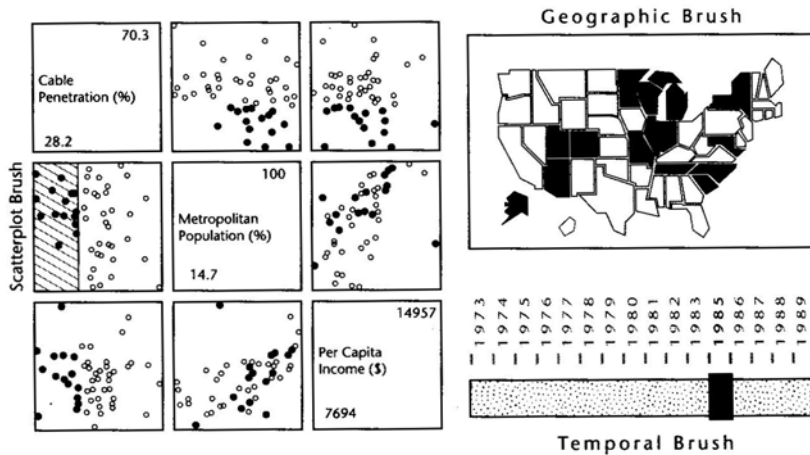


Abb. 13: Konzept des „geographical, statistical and temporal brushing“ (nach Monmonier).

Auch die Zeitachse kann als eine zeitliche Legende („temporal legend“) angesehen werden (vgl. KRAAK et al. 2002). In Monmoniers Konzept ist die Zeitachse (als Zeitreihe der Jahresschnitte) mit einem einfachen Schieberegler (engl.: slidebar/slider) versehen. Denkbar (auch in Bezug auf Animationen) ist die Erweiterung um einen zweiten Schieberegler (engl.: double slidebar/slider), um so einen zeitlichen Ausschnitt wählen zu können. Eine alternative Darstellung zur Zeitachse (spez. zur Auswahl der Tageszeit) kann beispielsweise als digitale „Zeitschaltuhr“ bzw. „Zeitrad“ (engl. time wheel, auch: time pie) in Kreisform erfolgen (vgl. ebenda, 6). Auf diese Weise können einzelne Zeitabschnitte (innerhalb eines Tages) ausgewählt werden. Abb. 14 zeigt exemplarisch zwei Anwendungsbeispiele für diese Art zeitlicher Legenden, zum einen in Form einer komplexeren Variante, welche die Auswahl des Datums miteinschließt (links) und zum anderen die Kombination einer Zeitachse (rechts; zur Auswahl des Datums, inkl. Balkendiagramm zur Anzeige der verfügbaren Datensätze).

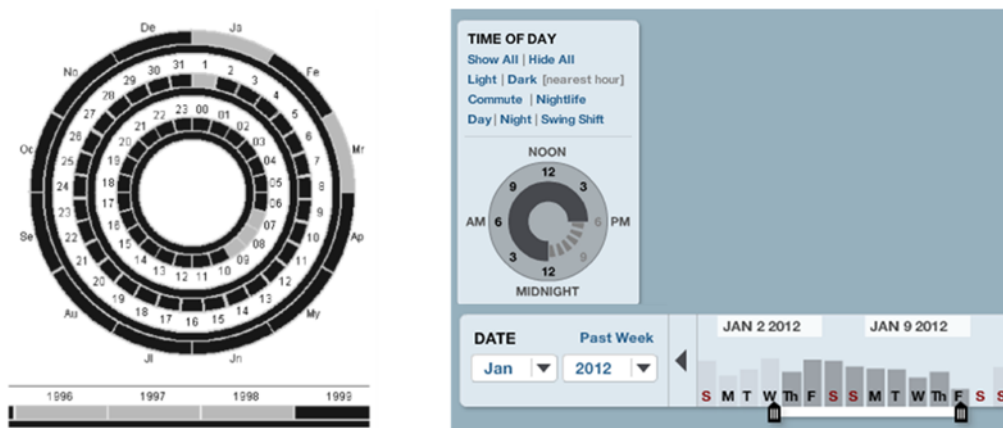


Abb. 14: Anwendungsbeispiele für zeitliche Legenden (als ‚time wheel‘): GeoVISTA Studio TEMPEST (links); Oakland Crimespotting (rechts).

6. Konstruktion eines Visualisierungsansatzes

Auf Basis der behandelten Grundlagen soll es nun darum gehen, die Konstruktion eines Visualisierungsansatzes im Sinne eines Vorschlags für die Visualisierung ausgewählter potentiell in XFCD enthaltener Daten im Rahmen eines exemplarisch gewählten Anwendungsszenarios vorzunehmen. Im Fokus steht hierbei die graphische Repräsentation der zu visualisierenden Parameter (gewählte Sachverhalte bzw. Phänomene) sowie Aufbau und Gestaltung einer Bildschirmausgabe und Benutzerinteraktion. In Bezug auf die Visualisierungspipeline gilt es daher spez. die Aufgaben der Stufen des Mapping und Rendering zu betrachten (vgl. Abschnitt 5.1). Auf notwendige Schritte der Datenverarbeitung in der Stufe des Filtering soll ebenfalls eingegangen werden. Dies erfolgt jedoch auf Grund der thematischen Komplexität (spez. Berechnungsverfahren) in stark verkürzter Weise. Die Frage, wie eine (schrittweise) datentechnische Aufbereitung im Detail erfolgen kann, wird in Kapitel 7 an einem Beispiel behandelt.

6.1. Definition eines exemplarischen Anwendungsszenarios

Im ersten Schritt ist es notwendig, die Definition (bzw. Einschränkung) eines exemplarischen (kontextbezogenen) Szenarios für die potentielle Anwendung im Bereich des Umweltmonitoring (UM) und Verkehrsmonitoring (VM) vorzunehmen. Diese soll in kurzer Form mit Hilfe der in den Experteninterviews in Kap. 4.3 erhaltenen Informationen begründet sowie entsprechend der in Kap. 5.1 genannten Kategorisierung der Einflussfaktoren auf Visualisierungen gegliedert werden.

Datengrundlage

Da im Rahmen dieser Arbeit keine (ausreichenden und umfangreichen) Daten zur Verfügung stehen, sollen vor Auswahl sowie Beschreibung von Art und Struktur der Daten einige grundsätzliche Voraussetzungen definiert werden: Es wird angenommen, dass die für die Visualisierung verwendeten Daten in ihrer Struktur als XFCD (im Sinne von Kap. 2.2) in Form von (durch mehrere Fahrzeuge erzeugte) einzelne (Mess-)Punkte eines Untersuchungsraums (z.B. Stadt Potsdam) für einen Zeitraum (z.B. 2 Jahre)

vorliegen. Es wird davon ausgegangen, dass die Daten ausschließlich zum Zwecke der visuellen Analyse in UM und VM (und nicht für Steuerungsabläufe) erhoben und verwendet werden. Darüber hinaus wird davon ausgegangen, dass die Daten vollständig (d.h. über den betrachteten Zeitraum hinweg lückenlos) und auch (entsprechend) zusätzlich aufbereitet vorliegen. Exemplarisch sollen sechs (wählbare) Parameter (d.h. Sachverhalte und Phänomene, thematisch kategorisiert) visualisiert werden, welche potentiell (direkt oder nach Verarbeitung) durch XFCD geliefert werden und für die Verwendung in UM und VM von Interesse sein können (vgl. Kap. 4.3). In Tabelle 6 sind diese Parameter, die entsprechende (Daten-)Quelle aus XFCD (z.B. OBD-PID falls Zugriff möglich) sowie der jeweilige (festgelegte) Datentyp dargestellt:

Kategorie	Parameter	Quelle aus XFCD	Datentyp
UM	Umgebungslufttemperatur	Temperatursensor (AAT)	numerisch
	Barometrischer Luftdruck	Umgebungsdrucksensor (AAP)	numerisch
	CO ₂ -Emissionen	Berechnung über Kraftstoffverbrauch, z.B. aus Geschwindigkeitssensor (VSS) und Luftmassemesser (MAF)	numerisch
VM	Lokale Gefahrenstellen	Aufbereitete bzw. abgeleitete Verkehrsinformation, z.B. aus Antiblockiersystem (ABS), Elektronischen Stabilitätsprogramm (ESP), Tankdrucksensor (FTP/LDP)	nominal
	Verkehrsströme und Verkehrsknoten	Aggregation der Fahrzeugtrajektorien	numerisch
	Verkehrsqualität	Aufbereitete bzw. abgeleitete Verkehrsinformation aus Fahrzeugtrajektorien	ordinal

Tab. 6: Exemplarisch ausgewählte Informationen (Sachverhalte und Phänomene) für die Visualisierung.

Da sich die Daten (als XFCD) sowie die darin enthaltenen Informationen durch eine räumliche und zeitliche Komponente (Koordinaten und Zeitstempel vom Datentyp ‚numerisch‘) auszeichnen, ist der Beobachtungsraum durch beide Dimensionen gekennzeichnet. Als geometrische Dimension für die graphische Darstellung dient die zweidimensionale Ebene im Sinne einer klassischen (digitalen) Karte(-anwendung), darüber hinaus wird diese Betrachtung um die Dimension Zeit erweitert und kann daher als ‚2D+Zeit‘-Visualisierung bezeichnet werden (vgl. BILL 2010, 194).

Anwendungskontext

Das (Bearbeitungs-)Ziel bei der Visualisierung liegt darin, dem Benutzer einen einfachen und überblickartigen Zugang sowie die Gelegenheit zur (einfachen) raumzeitlichen Exploration der Daten bzw. der ausgewählten Parameter zu bieten. Ein

Betrachten der aktuellen und im System befindlichen historischen Daten, speziell mittels Animation, soll möglich sein. In Bezug auf die graphische Repräsentation sollen möglichst übliche Metaphern bzw. Konventionen (d.h. Symbole und Darstellungsformen; vgl. SCHUMANN & MÜLLER 2000, 9) der Anwendungsgebiete UM/VM verwendet werden, ohne jedoch die einfache Lesbarkeit für den Benutzer zu beeinträchtigen.

Benutzerkontext

In den Experteninterviews wurde angesprochen, dass Entscheidungen in der Umwelt- und Verkehrsplanung häufig von nicht fachbezogenen Personen (bzw. Stakeholdern, z.B. Öffentlichkeit oder Politik; vgl. EGNER 2011, 892) vorgenommen werden und daher ein einfacher Zugang (in Bezug auf Vorwissen und visuelle Fähigkeiten) gefordert ist (vgl. Kap. 4.4). Somit soll eine möglichst einfach zu bedienende und nachvollziehbare Visualisierung (auch als mögliche Entscheidungsgrundlage) angestrebt werden, die für fachbezogene sowie potentiell für fachfremde Benutzer geeignet ist. Entsprechend der Einteilung von Benutzergruppen nach Kompetenzgeraden (vgl. STAPELKAMP 2010, 336 ff), sollen die Gruppen „Anfänger“ und „Fortgeschrittene“ fokussiert werden. Die interaktive Visualisierung soll entsprechend der von Crampton vorgenommen Einstufung (nach dem Grad der Interaktivität aus Nutzersicht, vgl. Kap. 5.4) auf Level 2 bis Level 3 erfolgen. Demnach sind Experten-fokussierte, speziell raumbezogene Operationen (im Sinne einer Detailanalyse) kein wesentlicher Bestandteil.

Darstellungsmedium

Die Visualisierung soll (webbasiert) als Bildschirm- bzw. Desktop-Anwendung ausgelegt sein, welche mittels Webbrowser (möglichst plattformunabhängig umgesetzt) ausgeführt werden kann. Zur Interaktion steht als primäres Eingabegerät die (Computer-)Maus zur Verfügung. Die Berücksichtigung von (verschiedenen) mobilen Endgeräten für die graphische Ausgabe (im Sinne eines „responsive design“; vgl. HAY 2013) soll nicht behandelt werden.

6.2. Visualisierung ausgewählter Parameter

Ein wichtiges Element der Visualisierung stellt die verwendete (d.h. für die Visualisierung eines Parameters vordefinierte, aber möglichst wählbare) Kartengrundlage dar. In Anlehnung an Bertin sollte dieser „Karten-Untergrund“ dezent gestaltet sein, damit die spezielle thematische Information so gut wie möglich zu erkennen ist (vgl. BERTIN, 145). Entsprechend des jeweiligen Verwendungszwecks sollten unnötige (thematische) Informationen vermieden werden. Für

verkehrsrelevante Betrachtungen soll daher eine Grundlage gewählt werden, die das Verkehrsnetz in ausreichender Differenzierung darstellt, jedoch in Bezug auf die darzustellenden Daten eher in den Hintergrund tritt. Speziell bei der Animation unter Verwendung des Helligkeitswerts als Informationsträger liegt es nahe, eine möglichst dunkle bzw. durch geringe Anzahl an (Farb-)Abstufungen gekennzeichnete graphische Ausgestaltung zu wählen. Bei umweltrelevanten Betrachtungen (z.B. Luftdruck) könnte eine topographische Kartengrundlage, besonders durch die Darstellung von Gelände bzw. Geländeformen, einen Zusatznutzen erbringen. Gänzlich sinnvoll ist dies aber erst, wenn diese Informationen auch in die Datenaufbereitung (im Filtering) mit eingeschlossen werden wie die Berücksichtigung von digitalen Geländemodellen (DGM) und digitale Oberflächenmodelle (DOM) oder auch Wetter-Messdaten (z.B. Wind) bei der Berechnung der Ausbreitung von Emissionen (z.B. von Lärm; vgl auch STROHMAYER 1999).

Da die (interaktive) Visualisierung dem Benutzer grundlegende Interaktionsformen des Umgangs mit digitalen kartographischen Medien (wie kartogr. Zooming und Maßstabsveränderung; vgl. Kap. 5.3) bereitstellen soll, macht dies auch eine Überarbeitung des Kartenbildes mittels Generalisierung erforderlich (vgl. Kap. 5.2). Für den exemplarisch gewählten Untersuchungsraum (Stadt Potsdam) sollen die folgenden Maßstabsbereiche (als Detailstufen, welche eine graphische Bearbeitung erfordern) festgesetzt werden: klein ($\leq 1:40.000\text{m}$; Überblick), mittel ($\leq 1:20.000\text{m}$), groß ($\leq 1:5.000\text{m}$; Detail). Weitere räumliche Gliederungen sind potentiell mit Hilfe von Verkehrsbezirken (vgl. Kap. 4.3), Stadtbezirken oder auch nach Postleitzahlbereichen möglich. Da die Generalisierung (im Rendering, analog zur Datenaufbereitung im Filtering) eine komplexe Thematik darstellt, soll diese bei der Visualisierung der ausgewählten Parameter nur eingeschränkt (lediglich am Beispiel „lokale Gefahrenwarnungen“) betrachtet werden. Es wird zudem vorausgesetzt, dass bereits (maßstabsabhängig) ausgearbeitete Karten (die sich für die darzustellende Thematik bzw. Parameter eignen, s.o.) als Grundlage zur Verfügung stehen (wie sie z.B. auch durch verschiedene Online-Dienste angeboten werden). In Bezug auf die (kartographische) Animation sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass über den gesamten Betrachtungszeitraum hinweg möglichst keine Modifikationen der vorgenommenen Klassifikation (bzw. Klassenbildung oder Klasseneinteilung) der Daten oder Farbkodierung (als Farbpalette bzw. Farbskala) vorgenommen werden, welche zu einer Veränderung der (Karten-)Legende führen. Nur auf diese Weise kann eine für den Benutzer schlüssige und nachvollziehbare sowie über den Betrachtungszeitraum hinweg in sich vergleichbare Visualisierung ermöglicht werden.

Kategorie „Umwelt“ (UM)

Für die in dieser Kategorie vorhandenen Parameter gilt als Gemeinsamkeit, dass es sich um physikalische (Mess-)Werte vom Datentyp „numerisch“, genauer gesagt um intervallskalierte (metrische) Daten handelt (da eine Einteilung in gleich große Intervalle erfolgt; vgl. EGNER 2011, 852). Es handelt sich (bei Umgebungslufttemperatur und barometrischem Luftdruck) zwar um (bodennah) punkthaft erfasste bzw. gemessene Werte, die jedoch für eine (sinnvolle) Auswertung und Aussage auf die Fläche, d.h. die räumliche (bzw. horizontale Ausdehnung) zu beziehen sind. Eine Datenaufbereitung erfolgt im Filtering durch räumliche Interpolation: Ausgehend von wenigen, im Raum verteilten Punkten mit Attributwerten werden für beliebige Punkte Attributwerte bestimmt, wobei die unbekanntenen Werte aus den vorhandenen gewonnen werden (vgl. DE LANGE 2013, 377; ZIMMERMANN 2011, 192). Dies ist nicht in allen Fällen angebracht, kann jedoch bei flächenhaft kontinuierlichen Sachverhalten (Kontinua, nicht Diskreta) sinnvoll angewendet werden (vgl. MACEACHREN 2004, 302-303). So lassen sich durch räumliche Interpolation Isolinien (bei Temperatur Isotherme und bei Luftdruck Isobaren genannt; vgl. EGNER 2011, 409 + 411) konstruieren, welche in diesem Zusammenhang als ‚Linien gleicher Werte‘ ‚[...] zur Wiedergabe von Merkmalen und Eigenschaften räumlicher Kontinua dienen‘ (ebenda, 410, vgl. KOHLSTOCK 204, 101). Diese Darstellung (als sog. Isoplethen, vgl. BOLLMANN & KOCH 2005; unter Verwendung der „Isolinien-Methode“, vgl. auch Kap. 5.2) ist in Luftdruck-Karten üblich (als Isobaren in hPa; vgl. Anh. H, 1). Mittels Einsatz von Farbe (als „trennende“ graphische Variable im Sinne von Bertin) durch Einfärben der Flächen zwischen den Isolinien ist es möglich, eine einfach visuell wahrnehmbare „Abstufung“ zu erzeugen (vgl. KOHLSTOCK 2004, 141). Diese Darstellung wird häufig für Temperatur-Karten verwendet (als Isotherme in °C; vgl. Anh. H, 2). Hierbei kann auch Transparenz zum Einsatz kommen, um die Sicht auf den „Karten-Untergrund“ durch die farblich gefüllten Flächen hindurch zu ermöglichen. Die Wahl der Farbe (d.h. der Farbpalette bzw. Farbskala angewendet auf das Ergebnis einer durchgeführten Klassifizierung) stellt eine wichtige Aufgabe dar (ein hilfreiches Werkzeug hierzu bietet z.B. der „ColorBrewer“, vgl. BREWER & HARROWER 2014). Um eine möglichst intuitive Assoziation zu ermöglichen, wird beispielsweise bei Temperatur-Karten auf einen „Warm-Kalt-Kontrast“ (welcher auf die subjektive Temperaturempfindung bei Farben zurückzuführen ist) zurückgegriffen wie er z.B. durch die Farblehre nach Johannes Itten geliefert wird (Farbkreis nach Itten; vgl. HAMMER 2008, 175). Die Kombination der beiden genannten Darstellungen (zur Visualisierung von Luftdruck und Temperatur) in einer Abbildung ist potentiell auch möglich und wird speziell bei Wetterkarten angewendet (vgl. Anh. H, 3; EGNER 2011, 1076).

Neben den beiden genannten umweltrelevanten Parametern werden in dieser Kategorie auch CO₂-Emissionen betrachtet. Da diese (entsprechend der Festlegung in Kap. 6.1) durch Berechnung über den Kraftstoffverbrauch (aus OBD-PID VSS und MAF) vorliegen, handelt es sich um (berechnete) absolute Verbrauchs- bzw. Emissionswerte (pro Fahrzeug und Zeitpunkt) und nicht um physikalische (Sensor-)Messwerte (wie z.B. bei Verwendung des Luftgütesensors AQS). Die Angabe von CO₂-Emissionen erfolgt (üblicherweise) in der Einheit Gramm (g) oder Kilogramm (kg) bezogen auf eine verbrauchte Menge Kraftstoff (in Litern; in anderen Fällen auch pro Kilometer oder Zeiteinheit). Die Visualisierung dieses Parameters soll darauf abzielen, die Darstellung von (räumlichen) Bereichen zu ermöglichen, an denen eine (Häufung von Werten als) Konzentration von (durch Fahrzeuge verursachten und gemeldeten) CO₂-Emissionen vorliegt. Eine flächenhafte Darstellung (im Sinne der „Flächenkartogramm-Methode“; vgl. Kap. 5.2) ist potentiell möglich (z.B. bezogen auf regelmäßiges Gitternetz (vgl. Anh. I, 4) oder bezogen auf räumliche Gliederungseinheiten wie Postleitzahlenbereiche vgl. Anh. I, 3), soll aber im vorliegenden Zusammenhang nicht gewählt werden. Stattdessen soll die bereits verwendete „Isolinien-Methode“ (bzw. Isoplethen) wie beim Parameter Temperatur, jedoch mit geringer Abweichung im Vorgehen angewendet werden: die räumliche Interpolation und Konstruktion der Isolinien (bzw. der dazwischenliegenden eingefärbten Flächen) muss derart erfolgen, dass Bereiche mit keinen bzw. geringen Werten graphisch nicht (durch Einfärbung) dargestellt und somit ausgelassen werden (vgl. Anhang I, 2). Grundsätzlich wird diese Art der zweidimensionalen (Dichte-)Darstellung auch als „hotspot“ oder „heatmap“ bezeichnet (vgl. WOLFF & ASCHE 2009; SHEKHAR & XIONG 2008, 188).

Auch in Bezug auf die anderen Parameter dieser Kategorie könnte es zusätzlich hilfreich sein, dem Benutzer die Möglichkeit verschiedener Sichtweisen auf die Daten zu bieten wie die Darstellung der Messpunkte, die (der räumlichen Interpolation) zugrunde liegen (vgl. Anhang I, 1). Zusätzlich wurde in den Experteninterviews darauf hingewiesen, dass die Abschätzung von Emissionswerten und die Analyse von besonders schützenswerten Bereichen (in der Stadt) in Bezug zu Emissionen bzw. Emissionsquellen von besonderem Nutzen sein kann. Wie bereits angesprochen, kann ein DGM (als Modell der Erdoberfläche ohne darauf befindlicher Objekte) und spez. ein DOM (als Modell der Erdoberfläche mit darauf befindlichen Objekten) bei der Analyse von Emissionen (z.B. durch Einbeziehen der Abschattung von Gebäuden) dienen. Ein sehr einfaches Mittel zur visuellen Analyse könnte darin bestehen, in dieser Ansicht zusätzlich einen (oder mehrere) Kartenebenen anzubieten, um die genannten schützenswerten Bereiche (kategorisiert, z.B.: Park, Naturschutzgebiet, Denkmal) einzublenden und entsprechend hervorzuheben (z.B. durch Wahl geeigneter Farbe bzw. Farbwert/-ton/-sättigung oder Textur, vgl. Kap. 5.2).

Kategorie „Verkehr“ (VM)

Die in dieser Kategorie betrachteten verkehrsrelevanten Parameter beziehen sich (im Vergleich zur vorherigen Kategorie) auf gänzlich unterschiedliche Datentypen. Daher wird im Folgenden für jeden zu visualisierenden Parameter eine kurze gesonderte Betrachtung vorgenommen.

Lokale Gefahrenwarnungen

Moderne Kraftfahrzeuge verfügen über die Sensorik und Technologie, um Informationen, die den Straßenzustand betreffen (meist bereits onboard) verarbeiten zu können (z.B. durch Verwendung von Daten des ABS, ESP und FTP/LDP; vgl. Kap. 3.2). Ein möglicher Inhalt von XFCD kann in diesem Sinne in lokalen Gefahrenwarnungen (als Verkehrsinformationen, wie Schleuder- oder Rutschgefahr: z.B. Aquaplaning und Eisglätte) liegen (vgl. Kap. 2.2). Diese können sich potentiell auf witterungsbedingte Ereignisse (z.B. durch Niederschläge, Regen, Schnee, Eis) oder sonstige straßenzustandsbezogene Phänomene (z.B. Ölspur, Rollsplit, verschmutzte Fahrbahn) beziehen. Für die folgenden Überlegungen wird davon ausgegangen, dass diese ereignisorientierten lokalen Gefahrenmeldungen in fahrspurbezogener Linien-Geometrie (als Ergebnis der Aufbereitung und Verarbeitung von XFCD) vorliegen. Die Meldungen können als qualitative Daten vom Typ ‚nominal‘ aufgefasst werden, „[...] deren Werte aus Begriffskategorien bestehen und zwischen denen keine Rangfolge existiert“ (EGNER 2011, 624). Eine Möglichkeit zur Visualisierung dieses Parameters kann darin liegen, auf allgemein verbindliche Zeichen im Sinne von Verkehrszeichen der Straßenverkehrsordnung (StVO) zurückzugreifen. Dieses Vorgehen wird speziell bei (webbasierten) Verkehrslagekarten häufig angewendet (vgl. Anh. A, 1). Es eignet sich beispielsweise das Gefahrenzeichen „Gefahrenstelle“ (nach §40 StVO, 101). Der von der Meldung betroffene Fahrspurabschnitt kann durch Einsatz von Farbe zusätzlich hervorgehoben werden. In diesem Zusammenhang zeigt sich die Notwendigkeit zur (kartographischen) Generalisierung (Signaturenumschatzung, vgl. Kap. 5.2).

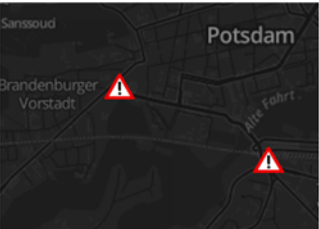
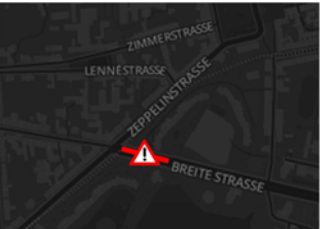

Zeitpunkt	Maßstab $\leq 1:40.000m$	Maßstab $\leq 1:20.000m$	Maßstab $\leq 1:5.000m$
t = 1			
	Punktsignatur	Linearsignatur	Linearsignatur

Abb. 15: Visualisierung von lokalen Gefahrenwarnungen in unterschiedlichen Maßstabsbereichen.

Diese notwendige Maßnahme wird mit Abb. 15 verdeutlicht: In einer kleinmaßstäbigen Abbildung ist die Darstellung als Linearsignatur nicht möglich (da diese die Mindestdimension unterschreitet). Daher muss die Verwendung einer Punktsignatur erfolgen. Erst mit größer werdendem Maßstab kann die Darstellung als Linearsignatur angewendet werden. Im vorliegenden Beispiel bleibt dann das Gefahrenzeichen (am Mittelpunkt der Linie bzw. des Abschnitts) als Teil der Liniensignatur erhalten. Da die Meldungen als (ernstzunehmende) Warnungen und somit als gleichwertig in Bezug auf ihre Bedeutung aufgefasst werden, erfolgt keine graphische Variation der Signaturen. In Bezug auf eine Animation können die Meldungen entsprechend ihres zeitlichen Auftretens (Zeitpunkt) ein- bzw. ausgeblendet werden.

Verkehrsströme und Verkehrsknoten

Im Bereich des VM stellt die Erfassung und Auswertung von Verkehrsströmen (Summe von Verkehrsbewegungen von Fahrzeugen auf einer bestimmten Strecke) und Verkehrsknotenpunkten (Orte an dem sich Verkehrsströme kreuzen oder verbinden) eine wichtige Aufgabe dar, um die Verkehrsbelastung und -situation bewerten zu können (vgl. EGNER 2011, 1029-1030; Kap. 2). Für die Visualisierung können hierzu beispielsweise Kartogramme, genauer Bandkartogramme (vgl. Abb. 16) verwendet werden, wobei quantitative Angaben durch unterschiedliche Pfeil- bzw. Bandbreiten und Größen der Knotenpunkte ermöglicht werden (vgl. KOHLSTOCK 2004, 138; BILL 2010, 583). Eine Animation erfolgt dann durch die (zeitliche) Veränderung der Breiten und Größen. Dieses Vorgehen kann eine umfangreiche Aufbereitung der Daten erforderlich machen (z.B. durch Einbeziehen eines Straßen-Netzwerks, als Knoten-/Kantennetz), ermöglicht jedoch potentiell eine umfangreiche quantitative Auswertung (vgl. ZIMMERMANN 2011, 209). Interessante Überlegungen in diesem Zusammenhang (zusätzlich unter Einbezug der Vektorenmethode zur Visualisierung der Richtung von Verkehrsströmen) liefern beispielsweise ANDRIENKO & ANDRIENKO 2009.

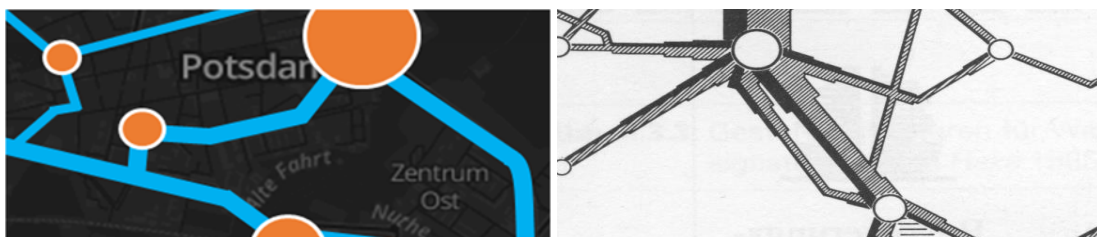


Abb. 16: Visualisierung von Verkehrsströmen und -knoten mittels Bandkartogramm.

Ein eher visuell ausgerichtetes Vorgehen, wie es in den Experteninterviews angesprochen wurde, kann darin bestehen, die Fahrzeugbewegungen bzw. Trajektorien zu visualisieren, um auf diese Weise einen schnellen Überblick zu

erreichen (vgl. Kap. 4.3; EXP2). Potentiell reichen hierzu die in XFC-D enthaltenen Informationen aus, welche sämtlich im Datentyp ‚numerisch‘ vorliegen (Koordinaten, Zeit und VIN als Identifikationsmerkmal). Die Visualisierung (der Fahrzeugbewegungen) kann durch den Einsatz des Helligkeitswertes erfolgen (vgl. Abb. 16, links). Für den Benutzer sind dann die Verkehrsachsen bzw. Verkehrsknoten mit hohem Verkehrsaufkommen sofort ersichtlich. Es erfolgt eine visuell wahrnehmbare Aggregation. Durch Modifikation der Anzeigedauer kann erreicht werden, dass die Bewegungspfade in einem zeitlich definierten Rahmen ersichtlich bleiben, z.B. durch verzögertes Ausblenden, in dem sie erst langsam verblassen bevor sie ausgeblendet werden. Der Einsatz von Farbe in diesem Zusammenhang ist denkbar (z.B. zum Hervorheben der quantitativen Bedeutung; vgl. Abb. 17, rechts), soll aber für die vorliegende Visualisierung nicht verwendet werden.

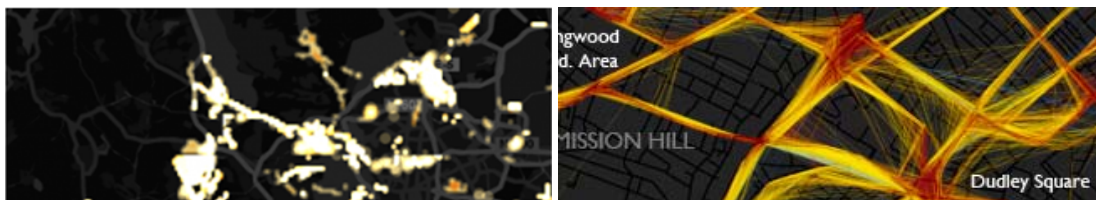


Abb. 17: Visualisierung von Fahrzeugbewegungen mittels Animation: unter Verwendung des Helligkeitswertes (links), unter Verwendung von Helligkeit und Farbe (rechts).

Verkehrsqualität

Der zuletzt behandelte Parameter kann Auskunft über das quantitative Verkehrsaufkommen geben und somit eine Antwort auf die Frage liefern „wann und wo viel los ist“ (vgl. Kap. 4.3, EXP2). Im Sinne einer qualitativen Bewertung des Verkehrsablaufs bietet sich die Verkehrsqualität an, welche auch als Entscheidungsgrundlage zur Planung verkehrsbaulicher Maßnahmen verwendet wird (vgl. LOHSE & SCHNABEL 2011, 73). Aus diesem Grund sollen im Folgenden die verkehrstechnischen Zusammenhänge kurz erläutert werden.

Der Bestimmung der Verkehrsqualität geht die Ermittlung der Kapazität und der zulässigen Verkehrsstärken von Straßenabschnitten voraus, welche für die verkehrliche Bewertung vorhandener Straßen sowie den Entwurf und den Bau neuer Straßen vorgenommen wird (ebenda). Die Verkehrsstärke einer Strecke entsteht durch alle Verkehrsströme, die in einem definierten Zeitabschnitt die Strecke passieren und ergibt sich durch die Auswertung der Trajektorien der Fahrzeuge der zugehörigen Raum-Zeit-Fläche (vgl. ebenda, 442). Die Kapazität (auch Durchlassfähigkeit oder Leistungsfähigkeit genannt) ist von baulichen Bedingungen (z.B. Anzahl der Fahrstreifen, Fahrstreifenbreite), verkehrlichen Bedingungen (z.B. Verkehrsart, Verkehrsmischung) und sonstigen Bedingungen (z.B. zulässige Geschwindigkeit,

Tageszeit) abhängig und stellt die größtmögliche Verkehrsstärke dar, „[...] die vom Querschnitt einer Straße unter den vorhandenen Weg- und Verkehrsbedingungen aufgenommen werden kann“ (ebenda, 73-74). Unter Einbezug verschiedener Qualitätskriterien und Einflussgrößen kann die Verkehrsqualität durch Berechnung der Verkehrsstärke und der Verkehrsdichte (Volumen des fließenden Verkehrs in einem Zeitabschnitt bezogen auf einen Verkehrsweg) ermittelt werden (vgl. ebenda, 78; EGNER 2011, 1027). Grundlage für die Berechnungsverfahren (als graphisch-rechnerische Bemessungsverfahren auf Basis von Verkehrsstärke-Geschwindigkeit-Diagrammen) und Beurteilung der Verkehrsqualität nach einem System von Nutzungs- bzw. Qualitätsstufen (engl. level of service; LOS) liefert das Vorgehen nach dem US-amerikanischen HCM (Highway Capacity Manual), welches weltweit übernommen wurde und in Deutschland nach dem HSB (Handbuch für die Bemessung von Straßenverkehrsanlagen) Anwendung findet (vgl. LOHSE & SCHNABEL 2011, 78). Die Beurteilung erfolgt in einem sechsgliedrigen Bewertungsschema (A-F) nach Qualitätsstufen des Verkehrsablaufs (QSV; vgl. HBS 2009). Da sich die Berechnung und Beurteilung nach der Straßenkategorie (spez. bauliche Ausprägung) richtet, soll die Einteilung nach (QSV) am Beispiel von „zweistreifigen Landstraßen“ genannt werden (vgl. LOHSE & SCHNABEL 2011, 79): A (freier Verkehrsfluss), B (noch nahezu freier Verkehrsfluss), C (stabiler Verkehrsablauf), D (noch stabiler Verkehrsablauf), E (Kolonnenverkehr auf niedrigem Geschwindigkeitsniveau, Wechsel von Stabilität zu Instabilität), F (Verkehrsaufkommen größer als Kapazität, ‚stop-and-go‘-Verkehr).

Die Visualisierung des Parameters Verkehrsqualität wird häufig bei Verkehrslagekarten mittels QSV-Einstufung (bzw. LOS) bezogen auf Strecken bzw. Streckenabschnitte umgesetzt (vgl. Beispiele in Anh. A). Dies kann auch durch die Experteninterviews bestätigt werden (vgl. Kap. 4.4). Das Ergebnis einer (komplexen) Datenverarbeitung kann somit in attribuierten (nach QSV eingestuften) Strecken- bzw. Fahrspurabschnitten in Form von Linien-Geometrien (Liniensegmenten) bestehen. Da sich Rangunterschiede in den Merkmalsausprägungen feststellen lassen, kann in diesem Zusammenhang der Datentyp ‚ordinal‘ angenommen werden (vgl. EGNER 2011, 650). Analog zu den angeführten Beispielen kann zur Visualisierung die Anwendung von Linearsignaturen unter Einsatz von Farbe (grün/gelb/rot, nach QSV) vorgenommen werden: grün (A-B), gelb (C-D), rot (E-F). Bei Verwendung eines großen Maßstabs (Detail) erfolgt die Darstellung fahrspurgenau, bei einem kleinen Maßstab (Übersicht) werden lediglich ausgewählte Strecken betrachtet. Darüber hinaus kann HBS auch zur Bewertung des Verkehrsablaufs an lichtgesteuerten Knotenpunkten (Lichtsignalanlagen bzw. Ampeln) verwendet werden (vgl. LOHSE & SCHNABEL 2011, 173-174). Die Qualität wird dann nach der zulässigen mittleren Wartezeit eines Kraftfahrzeugs ermittelt (nach QSV, in Sekunden): A ($\leq 20s$), B ($\leq 35s$), C ($\leq 50s$), D (\leq

70s), E ($\leq 100s$), F ($> 100s$). Das Vorgehen zur Visualisierung gestaltet sich analog zu den vorherigen Überlegungen, jedoch unter Betrachtung von Punkt-Geometrien und Verwendung von Punktsignaturen (vgl. Abb. 18).

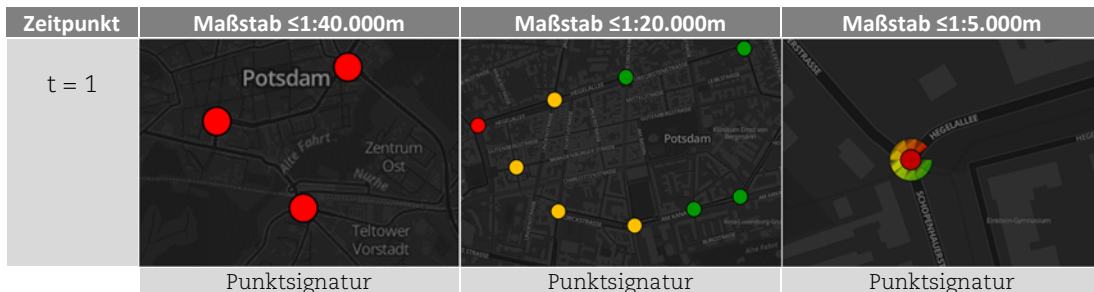


Abb. 18: Visualisierung der durchschn. Wartezeit an Kreuzungsknoten und Lichtsignalanlagen mittels Punktsignaturen in unterschiedlichen Maßstabsbereichen.

In diesem Zusammenhang zeigen sich wiederum notwendige Maßnahmen der Generalisierung: In einer kleinmaßstäbigen Abbildung werden nur ausgewählte Knotenpunkte angezeigt, z.B. mit geringer Einstufung nach QSV. In einem großen Maßstab kann die Punktsignatur der Knotenpunkte zusätzlich um einen äußeren Ring erweitert werden, um die Information über die Länge der Wartezeit (knotenspezifisch) hervorzuheben.

6.3. Bildschirmausgabe und Benutzerinteraktion

Die Benutzeroberfläche (engl. user interface) einer Anwendung bzw. Applikation ist dafür zuständig, in welcher Art und Weise Funktionalitäten zur Verfügung gestellt werden und wie diese durch den Benutzer wahrgenommen werden: „Eine interaktive Erzählung bzw. Wissensvermittlung besteht aus optischen (und/oder akustischen) Darstellungs- und Vermittlungsformen, die über ein Interface anwählbar und kombinierbar sind. [...] Das Interfacedesign definiert, steuert und ermöglicht den Dialog und die Dialogfähigkeit zwischen Mensch und Maschine bzw. zwischen Sender und Empfänger: [...] Ein Interface ist die Grundlage, sogar die Voraussetzung für Interaktion.“ (STAPELKAMP 2010, 151). Die Gestaltung der Benutzeroberfläche und -interaktion (im user interface und interaction design) stellt eine komplexe Aufgabe dar, welche allgemein mit Hilfe des sogenannten Designprozesses (in sieben Phasen) beschrieben werden kann: Definition, Recherche, Ideenfindung, Prototyping, Auswahl, Umsetzung und Lernen (vgl. AMBROSE & HARRIS 2010, 11). Es handelt sich um einen interaktiven Entwicklungsprozess, welcher nicht immer vollständig oder linear verlaufen muss. Da eine umfassende Betrachtung in diesem Sinne nicht vorgenommen werden kann, werden im Folgenden Methoden des Prototyping (speziell

Wireframes und Mock-Ups; vgl. ebenda, 21 ff) verwendet, um (auf Basis der Überlegungen aus den vorangegangenen Abschnitten) den Aufbau und die Struktur einer für die vorliegende Betrachtung geeigneten Oberflächen- und Interaktionsstruktur (im Sinne einer möglichen Lösung) entwickeln und beschreiben zu können, welche als Rahmen für die Visualisierung der ausgewählten Parameter dienen soll. Bei Wireframes handelt es sich um vorläufige Entwürfe bzw. konzeptionelle Prototypen, welche die Elemente der Benutzeroberfläche bzw. die grundlegende Navigationsstruktur ohne besondere graphische Ausarbeitung enthalten: „A wireframe is a non-designed structural mock-up that shows the visual order of elements on the page and how they relate to each other specially. Wireframes do not include design elements like color, fonts or images“ (EMOND & STEINS 2011, 90). Im Vergleich dazu kann ein Mock-Up als eine Art Attrappe bzw. Modell inklusive des visuellen Designs aufgefasst werden: „A traditional design mock-up is an image that shows how the project will look when finished, complete with the branding, colors, fonts, styles, visual flourishes and sample content that will reflect the final project.“ (ebenda).

Im ersten Schritt müssen einige grundsätzliche Überlegungen angestellt werden: Der Aufbau soll möglichst dem (in Kap. 5.3) vorgestellten Konzept nach Monmonier, des „geographical (Karte), temporal (Zeitleiste) und „statistical“ (Diagramm) brushing & linking“ folgen. Dies sieht allgemein einen dreigeteilten (Flächen-)Aufbau vor (wobei hier Elemente wie die Themenauswahl noch nicht berücksichtigt sind). Entsprechend dem Konzept des „visual information seeking mantra“ nach Shneidermann empfiehlt sich ein Vorgehen nach den Grundsätzen: „Overview first, zoom and filter, then details-on-demand“. In diesem Zusammenhang kann auch der Hinweis aus den Experteninterviews angeführt werden, Karten und Diagramme nicht von vornherein in einer Ansicht darzustellen, sondern Diagramme erst nach Aufforderung des Benutzers als Zusatzinformationen („details-on-demand“) anzuzeigen (vgl. Kap. 4.3, EXP2). Um den genannten Umständen gerecht zu werden, wurde die Unterscheidung in eine Ein-Fenster- und eine Zwei-Fenster-Ansicht getroffen. In ersterer erfolgt die Visualisierung ausschließlich auf Basis eines Karten-Fensters, wobei Diagramme (als Zusatzinformation innerhalb des Karten-Fensters) erst nach Auswahl durch den Benutzer angezeigt werden. In der (vom Benutzer optional anwählbaren) Zwei-Fenster-Ansicht ist es möglich, Karte und Diagramm (oder auch zwei Karten) permanent nebeneinander anzuordnen. Eine mögliche (schematische) Flächenaufteilung der Bildschirmausgabe bzw. Benutzeroberfläche in diesem Sinne, welche auch weitere notwendige Elemente enthält, kann Abb. 19 entnommen werden. Die einzelnen Flächenelemente sind zum Zweck der Anschaulichkeit bewusst deutlich voneinander abgegrenzt.

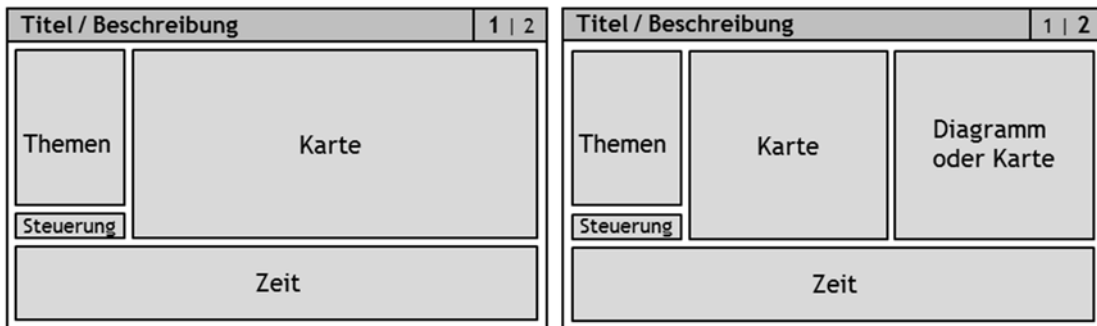


Abb. 19: Flächenaufteilung Benutzeroberfläche: Ein-Fenster-Ansicht (links), Zwei-Fenster-Ansicht (rechts).

Im oberen (Rand-)Bereich ist das Anbringen eines Titels sowie einer kurzen Beschreibung (zur Anwendung bzw. Visualisierung) möglich. Ein schneller Zugriff auf das Umschalten zwischen den zwei genannten Ansichten kann durch entsprechende Schaltflächen (hier am oberen rechten Rand angedeutet) ermöglicht werden. Das Flächenelement am linken Rand repräsentiert die Themen- bzw. Parameterauswahl. Die Kartenlegende (Zeichenerklärung) kann Teil des Themenfeldes sein, soll jedoch im vorliegenden Fall als Teil der Karte im Karten-Fenster angeordnet werden. Ebenfalls auf der linken Seite, direkt unterhalb der Themenauswahl, befinden sich die Steuerungselemente für die Animation (wie Start, Stop, Pause, Geschwindigkeit). Der gesamte untere Bereich beider Ansichten steht der Zeitleiste zu, als Kombination aus „Zeitrad“ bzw. „time wheel“ (Tageszeit) und Diagramm (Tage, Wochen, Monate, Jahre), wobei das Diagramm beispielsweise (als Balkendiagramm) zur Darstellung vorhandener Datensätze dienen kann (vgl. Kap. 5.3)

Um den grundlegenden Aufbau der (wichtigsten) Benutzerinteraktionen beschreiben zu können, soll die Unterscheidung in die Interaktion innerhalb der Flächenelemente und die Interaktion zwischen den Flächenelementen vorgenommen werden. Die Benutzerinteraktion innerhalb der Flächenelemente (Abb.20, oben) zeichnet sich bei der Themenauswahl durch Selektion der darzustellenden Parameter aus. Die Zeitleiste ermöglicht über die Auswahl bzw. Selektion (eines Zeitausschnitt) hinaus eine Navigation in der zeitlichen Dimension. Innerhalb des Karten-Fensters sollen dem Benutzer grundlegende Formen der Interaktion mit kartographischen Medien (wie in Kap. 5.3 dargestellt) ermöglicht werden. Hierzu zählen speziell das Verschieben der Karte („panning“), Maßstabsveränderung (kartographisches „zooming“) und das Abrufen von Detail- bzw. Zusatzinformationen („detail“). Besonders der zuletzt genannte Punkt kann auch für das Diagramm-Fenster angeführt werden. Durch eine dynamische Darstellung, können so beispielsweise absolute Zahlenwerte zu Diagrammsegmenten (bei Bedarf optional) abgerufen werden.

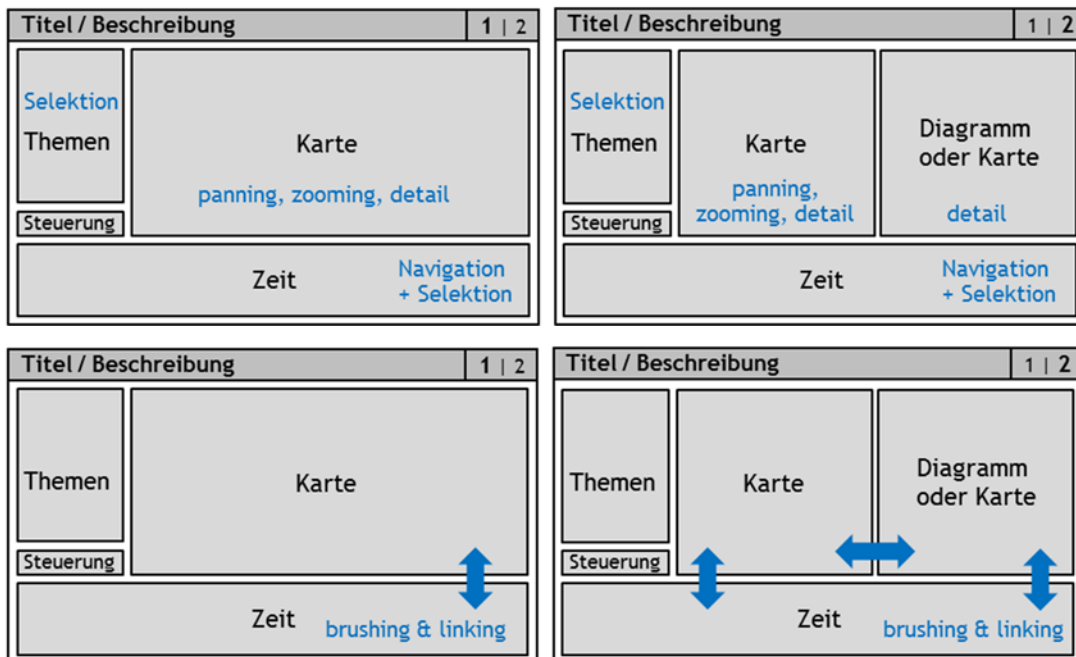


Abb. 20: Benutzerinteraktion (Ein-Fenster-Ansicht links, Zwei-Fenster-Ansicht rechts): innerhalb der Flächenelemente (oben), zwischen den Flächenelementen (unten).

Die Benutzerinteraktion zwischen den Flächenelementen (Abb. 20, unten) liegt bei der Auswahl (Selektion) der Themen bzw. Parameter und der Zeit in einer Filterungsfunktion, welche sich direkt auf die Darstellung im Karten- bzw. Diagramm-Fenster auswirkt. In der Ein-Fenster-Ansicht sind das Karten-Fenster und die Zeitleiste mittels „geographical und temporal brushing & linking“ in besonderem Maße (bei Auswahl eines Raum- bzw. Zeitausschnitts) miteinander verbunden. Erst in der Zwei-Fenster-Ansicht erfolgt durch Darstellung des Diagramm-Fensters und somit Hinzunahme des „statistical brushing & linking“ (bei Auswahl eines Diagrammausschnitts) eine Vervollständigung im Sinne des Konzepts von Monmonier.

Auf Grundlage des vorgestellten Aufbaus konnte ein Prototyping mit Hilfe von Wireframes vorgenommen werden. Die auf diese Weise erzielten Ergebnisse (für die Ein- und Zweifenster-Ansicht) können Anh. J, 1 entnommen werden. Die Auswahl (Selektion) der darzustellenden Parameter erfolgt durch das Aktivieren von Schaltflächen. Dieses Vorgehen ermöglicht die Kombination mehrerer Parameter in einer Darstellung (wobei das möglicherweise nicht in jeder Variation sinnvoll angewendet werden kann). Zusätzlich wurde dieses Flächenelement im Stil eines Auswahl-Menüs („Karteikarten-Register“, vgl. STAPELKAMP 2010, 24) gestaltet, was das einfache Erreichen weiterer Funktionen wie beispielsweise den Export (einer Ansicht bzw. Auswahl) als Datei- und Druckausgabe oder das Aufrufen von Anleitungen und Anweisungen (Hilfe) ermöglicht. Die Steuerung für die Animation wurde neben den

bereits genannten Elementen (Start, Stop, Pause, Geschwindigkeit) um eine weitere Schaltfläche („Live“) erweitert, damit bei Bedarf die Darstellung der aktuell eintreffenden Daten (in Echtzeit) schnell und einfach aktiviert werden kann. Die Auswahl der Tageszeit erfolgt durch Selektieren von Kreissegmenten des „Zeitrades“ (24h, 0-23 Uhr). Die weitere zeitliche Festlegung (Tage, Wochen, Monate, Jahre) erfolgt mittels Einschränkung durch einen doppelten Schieberegler („double slidebar/slider“, vgl. Kap. 5.3). Zusätzlich kann in der Zeitleiste (spez. im Diagramm) ein Zeiger (bzw. „Anzeige-Nadel“) verwendet werden, um die zeitliche Position der aktuellen Darstellung zu verdeutlichen und somit die zeitliche Verortung zu erleichtern. Im Karten-Fenster sind nun bereits die notwendigen Kartenbestandteile (wie Maßstabsleiste und Legende) erkennbar. Des Weiteren wurde im oberen (Rand-)Bereich des Karten- bzw. Diagramm-Fensters eine Menüleiste angebracht, die dem Benutzer weitere Optionen zur Verfügung stellen soll. In diesem Zusammenhang bietet die Schaltfläche „Anzeige“ den Zugriff auf ein Menü („Pull-Down-Menü“; vgl. STAPELKAMP 2010, 28), welches speziell zur Festlegung der Darstellung im jeweiligen Fenster dient (vgl. Anh. J, 2). Entsprechend der Überlegungen aus dem vorangegangenen Abschnitt eignen sich z.T. mehrere Methoden zur Visualisierung eines Parameters, was unterschiedliche Sichtweisen ermöglicht. Das Menü kann somit dem Benutzer die Möglichkeit zur Auswahl einer (für den jeweiligen Parameter geeigneten) Visualisierung als Karte oder Diagramm bereitstellen. Bei Verwendung einer kartenbasierten Visualisierung können an dieser Stelle optional auch weitere thematische Kartenebenen angeboten werden. Die angedeuteten „Zahnrad“-Symbole rechts neben den einzelnen Menüpunkten sollen verdeutlichen, dass dem Benutzer auf diesem Weg auch weitere bzw. detailliertere Einstellungs-Optionen (z.B. mittels Dialog-Fenster) zur Verfügung gestellt werden können. Hierzu können beispielsweise das Wechseln der Kartegrundlage oder die Modifikation der Kartenzeichen (z.B. Farbe) im Karten-Fenster sowie die Veränderung des Diagramms (z.B. Achsen) im Diagramm-Fenster gezählt werden. Die beiden kleineren Schaltflächen, welche sich (ebenfalls links) in der Menü-Leiste befinden, ermöglichen das Umschalten zwischen dem Anwahl- bzw. Zeige-Modus (Standard) und dem Auswahl-Modus (im Sinne eines flächenhaft rechteckigen Selektionswerkzeugs für Objekte in Karte bzw. Diagramm). In der Zwei-Fenster-Ansicht (von zwei Karten nebeneinander) befindet sich in der Menü-Leiste zusätzlich eine weitere kleine Schaltfläche (rechts, mit zwei Pfeilen gekennzeichnet), die dazu dienen soll, beide Karten miteinander zu „synchronisieren“, d.h. Interaktionen, die mit einer Karte vorgenommen werden, wirken sich auch auf die zweite Karte aus.

Eine tabellarische Übersicht zu dem soeben beschriebenen Aufbau kann Anh. K entnommen werden, welche jedoch nur exemplarischen Charakter besitzt und keinen

Anspruch auf Vollständig erheben kann. Diese ist nach Ansicht (Ein- und Zwei-Fenster-Ansicht), Themenkategorie (UM/VM) und Parameter gegliedert und enthält eine Auflistung der ausgewählten Methoden für die Visualisierung als Karte (wobei Kartengrundlage und weitere Kartenebenen mit eingeschlossen werden) und Diagramm sowie einige potentiell mögliche Einstellungs-Optionen. Sofern für einen Parameter mehrere Punkte (spez. Visualisierungsmethoden) angeführt sind, repräsentiert der erst genannte den vordefinierten Standard. Abschließend kann ein erster kurzer Versuch unternommen werden, die Entwicklung im Sinne von Mock-Ups vorzunehmen, welche als Vorlage für eine spätere technische Umsetzung dienen können (vgl. Anh. L, 1). In diesem Zusammenhang lassen sich auch einige Beispiele für abrufbare Detail- bzw. Zusatzinformationen (zu punkthaften, linienhaften oder flächenhaften Objekten) innerhalb der Karte bzw. des Karten-Fensters anführen, welche in Anh. L, 2 dargestellt sind: zu einzelnen Messpunkten (oben), zu fahrbahnbezogenen lokalen Gefahrenwarnungen (Mitte) und zur Verkehrsqualität (unten). Bei den Gefahrenwarnungen wird das in der Karte verwendete Kartenzeichen (Gefahrenstellen nach StVO §40 Gefahrenzeichen, Zeichen 101) aufgegriffen und mit einem entsprechenden Zusatzzeichen (nach StVO §43 Verkehrseinrichtungen) versehen: Glatteisbildung (Zeichen 1007-30), Ölspur (Zeichen 1006-30) und Nässe (basierend auf Zeichen 1052-36, Hinweis: weicht in der dargestellten Form von den Vorgaben der StVO ab). Es bleibt anzumerken, dass es sich hierbei lediglich um eine von vielen denkbaren Varianten einer graphischen Ausgestaltung handelt. Eine tiefer gehende Betrachtung und Entwicklung in Bezug auf den Designprozess und unter Berücksichtigung aller relevanten Gebote und Kriterien des Interface- und Interactiondesign (vgl. STAPELKAMP 2010, 286 + 308 ff) kann für den vorliegenden Zusammenhang nicht weiter vorgenommen werden.

7. Technischer Implementierungsansatz

Um die im vorangegangenen Kapitel vorgenommenen Überlegungen zu einem möglichen Visualisierungsansatz in eine technische Implementierung entsprechend des in Kap. 3.4 skizzierten Smartphone-gestützten Ablauf umsetzen zu können, soll in diesem Kapitel ein geeigneter und exemplarischer Implementierungsansatz aufgezeigt und teilweise prototypisch umgesetzt werden. Das Ziel des zu entwickelnden Ansatzes liegt darin, die gesamte Verarbeitungskette (Fahrzeug, Smartphone, Server, Benutzer) zu durchlaufen, um auf diese Weise Fahrzeugelektronikdaten mit Hilfe von OBD-Schnittstelle und Smartphone (als OBU) im Sinne von XFC-D zu Erfassen und die raumbezogene Analyse und Visualisierung zu ermöglichen. Hierbei soll neben einer Auswahl potentiell geeigneter Software-Komponenten eine kurze Betrachtung der einzelnen Stationen der Verarbeitungskette und deren spezifischen Aufgaben vorgenommen werden. In Bezug auf die eingangs aufgeführte Problemstellung wird für die gesamte Verarbeitungskette ausschließlich quelloffene und kostenfreie Open Source Software verwendet. Der bereits vorgestellte technische Ablauf sieht einen Systemaufbau mit serverseitiger Verarbeitung vor. Aus Darstellungsgründen und zur einfacheren Handhabung in einer prototypischen Entwicklungsumgebung wird ein zentraler Server verwendet. Es ist jedoch auch möglich, die einzelnen Funktionsbereiche bzw. Softwarekomponenten in einem verteilten Systemaufbau zu realisieren. Anzustreben ist eine Kombination von Funktionen, die (im Sinne des Client/Server-Prinzips) durch den Server und den Client bereitgestellt werden. Hierbei soll die Datenhaltung und -aufbereitung auf dem Server erfolgen, die Visualisierung (Anwendung) soll letztendlich auf Seiten des Client rein auf Basis eines (modernen) Webbrowsers ohne spezielle Erweiterungen oder Zusatzkomponenten möglich sein.

7.1. Auswahl der Software-Komponenten

Im Folgenden werden nun konkrete Software-Komponenten für das genannte Vorgehen ausgewählt und kombiniert, um auf dieser Basis eine Entwicklungsumgebung bereitzustellen. Der durch diese Auswahl entstandene Systemaufbau ist in Abb. 21 zusammengefasst dargestellt und soll kurz begründet werden:

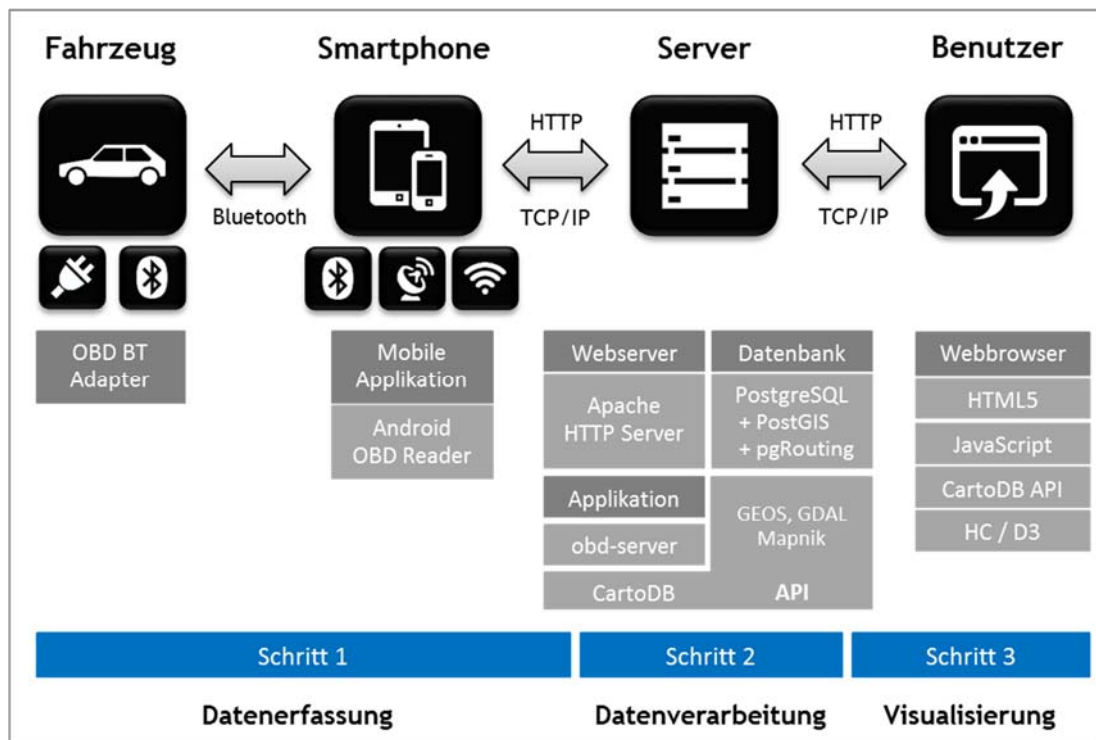


Abb.21: Implementierungsansatz und Aufbau der Entwicklungsumgebung.

OBD-Hardware

Entsprechend der Darstellung in Kap. 3.3 eignet sich ELM327-basierte OBD-Hardware mit drahtloser Bluetooth-Verbindung im vorliegenden Zusammenhang in besonderem Maße. Diese sind in zahlreichen Varianten (mit und ohne Zertifizierung) erhältlich. Um eine zertifizierte und ELM-konforme original Hardware im Rahmen dieser Arbeit für Tests und das Sammeln von Beispieldaten verwenden zu können, wurde freundlicherweise ein Exemplar des „APOS BT OBD 327“ (vgl. Kap. 3.3, Abb. 8) durch den Hersteller „APOS GmbH Embedded Systems“ zur Verfügung gestellt, welches als „wohl kleinstes Diagnose-Interface mit Bluetooth und ELM327“ bezeichnet werden kann (SCHÄFFER 2012, 129).

Mobile Applikation

Wie bereits aufgezeigt existiert eine Reihe an mobilen Applikationen für Smartphones, welche die Kommunikation mit OBD-Hardware (z.B. mit ELM327) mittels Bluetooth-Verbindung (Punkt-zu-Punkt-Verbindung) ermöglichen. Hierbei handelt es sich jedoch meist um kommerzielle Anwendungen, z.T. mit reinem Fokus auf das Auslesen von DTC (vgl. Kap. 3.4). Im Bereich der Open Source Software ist die Auswahl bei aktiven und in ihrer Entwicklung fortgeschrittenen Projekten sehr eingeschränkt. Für das Open Source Betriebssystem Android von Google kann als ein Beispiel die (überwiegend in der Programmiersprache Java entwickelte) Applikation „android-obd-

reader“ (unter der Apache License Version 2.0) genannt werden, welche auch in den weiteren Schritte verwendet wird (vgl. AOBDR 2014A). Im Rahmen der vorliegenden Arbeit hat sich eine konstruktive Zusammenarbeit mit Beteiligten dieses Open Source Projekts entwickelt, um die mit Hilfe der mobilen Applikation gesammelten OBD-Daten im Sinne von XFCD nutzbar zu machen.

Server

Als Grundlage für eine Entwicklungsumgebung und für die Installation der einzelnen Softwarekomponenten wird für den Server als Open Source Betriebssystem exemplarisch Debian Linux gewählt. Im Folgenden soll nun die konkrete Auswahl für die entsprechenden serverseitigen Funktionsbereiche erfolgen: In einem ersten Schritt muss eine Lösung gefunden werden, um die von der mobilen Applikation gesammelten Daten empfangen zu können. Im Rahmen der zuvor geschilderten Zusammenarbeit wurde die Entwicklung einer serverseitigen Software-Komponente („obd-server“) im Sinne eines Dienstes, an den die Daten gesendet werden können, begleitet (vgl. AOBDR 2014c). In diesem Zusammenhang wurde ebenfalls die Möglichkeit geschaffen, auf der Seite der mobilen Applikation den Daten-Upload an den Server (bzw. an die serverseitige Software-Komponente) vornehmen zu können.

Befinden sich die Daten technisch auf dem Server, stellt sich die Frage nach einer sinnvollen Speicherung. Hierzu eignen sich Datenbanksysteme (DBS; als Oberbegriff), welche neben der Datenbank (DB) auch ein Datenbankmanagementsystem (DBMS) enthalten. Die Auswahl einer konkreten Lösung für ein DBS ist mit einer wohlüberlegten Abwägung verbunden. Sofern es (wie im vorliegenden Zusammenhang) gefordert ist, möglichst auf eine Vielzahl von datenbankseitig bereits implementierter Funktionen zur räumlichen Datenverarbeitung zurückgreifen zu können, empfehlen sich spez. etablierte relationale DBS unter Verwendung von SQL („Structured Query Language“), wie z.B. PostgreSQL (mit „PostGIS“-Erweiterung) oder MySQL (mit „Spatial Extensions“) (vgl. KUHN & RAITH 2013, 20). Vor dem Hintergrund eines Produktiv-Systems mit hohem Datenaufkommen und kontinuierlichem Anstieg der Datenmenge („big data“) stellen sich neue Anforderungen an Performanz und Skalierung. Hier eignen sich DBS, die eine dynamische Skalierung bieten (ebenda, 31). Beispiele hierfür sind auf dem NoSQL-Ansatz basierte DBS (wie z.B. Apache Cassandra oder Google BigTable), oder auf dem ursprünglich von Google entwickelten MapReduce-Algorithmus (wie z.B. Apache Hadoop oder Stratosphere) (vgl. ebenda, 96 ff). Diese Systeme bieten jedoch meist nicht die Vielzahl an raumbezogenen Operationen und erfordern umfangreiche eigene Implementierungen. Im vorliegenden Zusammenhang fällt daher die Wahl auf das relationale DBS PostgreSQL mit PostGIS-Erweiterung. Es ist jedoch zu erwähnen, dass aktuell Bestrebungen bestehen, spezielle Funktionen zur räumlichen Datenverarbeitung in die oben

genannten DBS zu integrieren, z.B. im Projekt Hadoop-GIS mit Apache Hadoop und MapReduce (vgl. AJI ET AL. 2013).

Die auch im Rahmen der Experteninterviews deutlich gewordene Anforderung nach fahrspurgenauer Zuordnung (der Trajektorien) mit Hilfe von Map-Matching ist ein zwingend notwendiger Schritt für eine sinnvolle Weiterverwendung der Daten. Da hierfür ein digitales Straßennetz benötigt wird, fällt die Wahl schnell auf die frei verfügbaren OpenStreetMap-Daten (OSM). Mit Hilfe der Erweiterung „pgRouting“ (für PostgreSQL und PostGIS) kann auf Basis von OSM-Daten ein routingfähiges Straßennetzwerk generiert und ein Map-Matching implementiert werden (vgl. PGRROUTING 2014). Die Schwierigkeit hierbei liegt neben der Implementierung speziell in der Auswahl bzw. Entwicklung eines qualitativ hochwertigen Map-Matching-Algorithmus (vgl. WINNER 2008, 603; Kap 4.3, EXP1/EXP2). Da das Map-Matching eine komplexe Aufgabe darstellt, soll diese in die praktische Umsetzung im Rahmen dieser Arbeit nicht einbezogen, jedoch auf Grund Ihres Stellenwerts später kurz betrachtet werden.

Zur Visualisierung der Daten werden zahlreiche Funktionen, speziell zur Verarbeitung und Generierung von Raster- und Vektordaten (als Geodaten) benötigt. Für diesen Bereich existieren mittlerweile einige Open Source Projekte, welche einzelne Software-Werkzeuge und –Bibliotheken zu Rahmenwerken (engl. frameworks) zum Zwecke der Datenverarbeitung und Visualisierung bereitstellen. Als Beispiele können neben „CartoDB“ auch „Mapbox“ (auf Basis von TileMill) und der umfangreiche „Geoserver“ genannt werden (vgl. MAPBOX 2014, GEOSERVER 2014). Für das weitere Vorgehen fällt die Wahl auf CartoDB, welches die folgende Open Source Software zusammenführt: PostgreSQL/PostGIS als DBS, GEOS und GDAL zur Verarbeitung von Raster- und Vektordaten, Mapnik zur Generierung von Kartenkacheln (engl. map tiles), also Raster- aus Vektordaten und Leaflet als „Viewer“ zum Betrachten der Karte (vgl. CARTODB 2014A). Für das Erstellen von graphischen Stilvorlagen wird CartoCSS verwendet, welches auf den in der Webentwicklung gebräuchlichen CSS (Cascading Style Sheets; vgl. TANENBAUM & WETHERALL 2012, 762) basiert. CartoDB umfasst für die Implementierung in eigenen Anwendungen eine API (Application Programming Interface; vgl. DE LANGE 2013, 48) als Schnittstelle zu den CartoDB-spezifischen Funktionen, welche eine spezielle SQL API einschließt, die einen direkten Lese- und Schreibzugriff auf die PostgreSQL/PostGIS-Datendank ermöglicht (vgl. CARTODB 2014B). Beide API bieten Unterstützung für eine Vielzahl an Programmiersprachen, wie z.B. JavaScript, Java, PHP, R, Python und Ruby (in der die Software überwiegend umgesetzt ist) und Ausgabe-Formate, wie JSON, GeoJSON, CSV und Shapefile. Die Besonderheit der SQL API liegt darin, dass die verwendete Semantik und Syntax den üblichen PostgreSQL/PostGIS Konventionen entspricht (vgl. CARTODB 2014B). Die (in

SQL) zu formulierenden Datenbank-Abfragen können somit potentiell in CartoDB, also auch direkt in PostgreSQL/PostGIS verwendet werden, da eine Übersetzung der Befehle nicht erforderlich ist.

Im letzten Schritt muss die Wahl der Webserver-Software vorgenommen werden, um die auf Basis der genannten (serverseitigen) Software bereitgestellten Anwendung dem Benutzer zur Verfügung zu stellen. Da der Fokus speziell auf der clientseitigen Visualisierung liegt und ein großer Teil der Datenverarbeitung direkt durch CartoDB (bzw. das DBS) vorgenommen werden kann, sind die Anforderungen an den Webserver (im vorliegenden Fall) als eher gering einzustufen. Als Webserver kann daher der verbreitete „Apache HTTP Server“ verwendet werden (vgl. TANENBAUM & WETHERALL 2012, 767). Hier kann bei Bedarf auf die serverseitige Unterstützung zurückgegriffen werden, welche beispielsweise durch PHP („PHP – Hypertext Preprocessor“) geliefert wird (vgl. ebenda, 765). Alternativ wäre die Entwicklung beispielsweise auch in Java, Ruby oder Python möglich, dann aber mit entsprechender Webserver-Unterstützung bzw. geeigneter Server-Software.

Benutzer

Auf der Seite des Benutzers (bzw. Client) erfolgt das Öffnen bzw. Starten der Anwendung durch Aufrufen der (Web-)Server-Adresse im Webbrowser. Als Antwort (HTTP-Response) auf die durchgeführte Anfrage (HTTP-Request) werden die notwendigen Inhalte vom Server geladen, vom Webbrowser des Client interpretiert und dargestellt (vgl. TANENBAUM & WETHERALL 2012, 735 ff + 775 ff). Die Grundlage hierfür bilden HTML (Hypertext Markup Language), CSS und speziell JS (JavaScript) als Skriptsprache zur clientseitigen dynamischen Erzeugung von Webseiten (vgl. ebenda, 767). Durch clientseitig initiierte Kommunikation mit den durch CartoDB auf dem Server bereitgestellten API erfolgt dann mittels Interaktion des Benutzers (z.B. Verschieben der Karte, Maßstabsänderungen) das weitere Abrufen von Daten (z.B. Kartenkacheln bzw. Rasterdaten). In Bezug auf den vorgestellten Visualisierungsansatz eignen sich für das Einbinden von (dynamischen) Diagrammdarstellungen beispielsweise die auf JS basierenden Open Source Bibliotheken „D3.js“ (Data Driven Documents) und „HighCharts“ (vgl. MURRAY 2013, 7 ff). Die von CartoDB bereitgestellte Bibliothek „torque“ ermöglicht unter Verwendung von JS, CartoCSS und HTML5 (HTML Version 5; spez. HTML5 Canvas) die kartenbasierte dynamische Darstellung von Bewegungen (vgl. CARTODB 2014c). Um in diesem Zusammenhang die effiziente Übertragung großer Mengen an Daten vom Server an den Client zu ermöglichen, wird ein komprimiertes „datacube“-Format im Sinne eines mehrdimensionalen OLAP-Datenwürfels (Online Analytical Processing) eingesetzt, wobei die Kanten des Datenwürfels den Dimensionen der Daten entsprechen (vgl. ABTS & MÜLDER 2009, 87; KUHN & RAITH 2013, 126). Hierdurch kann

eine erhebliche Reduzierung des Datenumfangs für die Übertragung erreicht werden, nach Angaben von CartoDB beispielweise von 70 Megabyte im Rohdaten-Format bis zu 2 Megabyte im „datacube“-Format (vgl. CARTODB 2012D).

7.2. Mobile Applikation

Eine bedeutende Rolle im vorliegenden Implementierungsansatz nimmt die mobile Applikation auf dem Smartphone ein. Die verwendete Applikation „android-obd-reader“ enthält als Kernstück die rein in Java programmierte Komponente „obd-java-api“, welche die eigentliche Kommunikation mit ELM327 vornimmt (vgl. AOBDR 2014B). Dieser Aufbau ermöglicht die Integration der Komponente in weitere bzw. eigene Applikationen sowie die Portabilität auf andere Systemplattformen (vgl. RECHENBERG & POMBERGER 2006, 1149). Die Aufgaben der mobilen Applikation können wie folgt zusammengefasst werden können:

- Auswahl von OBD PID und Konfiguration des Abfrageintervalls,
- Kommunikation mit OBD via ELM327-basierter Bluetooth-Hardware (Senden von Anfragen und Verarbeiten der Antworten),
- Generieren von Datensätzen: Auslesen von Werten und Hinzufügen eines raumzeitlichen Bezuges (Koordinaten und Zeitstempel, spez. durch GPS),
- sofortiges Senden (bzw. Hochladen; engl. upload) der Datensätze an den bereitgestellten Server bei bestehender Datenanbindung bzw. Zwischenspeichern der Datensätze und späteres Senden (sofern keine Datenanbindung vorliegt).

Da „android-obd-reader“ (sowie „obd-java-api“) Open Source sind, kann der Quellcode frei bezogen, angepasst und erweitert werden. Um die Software auf einem Android Smartphone installieren und nutzen zu können, ist es zu allererst notwendig das Kompilieren des Quellcodes zu einem APK-Paket (engl. android application package file) vorzunehmen. Dies erfordert (unabhängig von der Entwicklungsumgebung für den gesamten technischen Ablauf) die folgende Softwareumgebung: Java Development Kit 7 (JDK7), Android Studio, Gradle (für das Build-Management), Git (für das Quellcode-Management) sowie das Android Software Development Kit (SDK) (vgl. AOBDR 2014A). Nach dem Installieren dieser Umgebung kann der Quellcode heruntergeladen (Befehl: „git clone -b upload https://github.com/pires/android-obd-reader/“) und mit Hilfe der Software Android Studio entsprechend modifiziert werden (vgl. Anh. M, 1). Da sich die Upload-Funktion der mobilen Applikation noch im Entwicklungsstadium befindet, ist die Konfiguration mit Hilfe der graphischen Benutzeroberfläche innerhalb der Applikation noch nicht möglich. Zum Aktivieren der

Upload-Funktion und Festlegen des Ziel-Servers (mit „obd-java-api“) müssen geringfügige Änderungen am Quellcode vorgenommen werden (vgl. Anh. M, 2). Die Kompilierung als APK-Paket (für die jeweilige Android API Version) erfolgt dann durch die Verwendung von Gradle (Befehl: „gradle clean build installDebug). Anschließend kann die Installation auf einem Android Smartphone erfolgen. Die Benutzeroberfläche der Applikation ist in Anh. N exemplarisch abgebildet.

Da OBD-Anfragen und -Antworten im Hexadezimalsystem vorgenommen werden (vgl. Kap. 3.3), muss eine Umrechnung der ausgelesenen Informationen in (sinnvoll) weiterverwendbare Werte erfolgen. Dies erfordert jedoch nicht nur die Umrechnung von hexadezimal in dezimal. Sofern es sich bei der Abfrage eines OBD PID um einen physikalischen Wert (wie bei Sensoren) handelt, muss auf Seiten der mobilen Applikation eine weitere Berechnung durchgeführt werden (vgl. SCHÄFFER 2012, 97). Da es sich hierbei um eine Kernaufgabe der mobilen Applikation handelt, die in dieser Weise bei jeder direkten Kommunikation mit OBD durchgeführt werden muss, soll die Berechnung an einem kurzen Beispiel verdeutlicht werden (vgl. List. 1):

List. 1

Berechnung von OBD-Diagnosewerten

Formel zur Berechnung von physikalischen Messwerten aus OBD

$$\text{Messwert} = \frac{\text{Bytewert}}{2^{\text{Anzahl der Bits}} - 1} * (\text{Maximalwert} - \text{Minimalwert}) + \text{Minimalwert}$$

Beispiel: Motordrehzahl

Erforderlich: Motordrehzahl (RPM, PID 0C), z.B.

Byte A = 24h (hexadezimal) bzw. 36 (dezimal),

Byte B = A5h (hexadezimal) bzw. 165 (dezimal)

ID (Hex)	Kurzform	Datenbytes	Minimalwert	Maximalwert	Einheit
0C	RPM	A, B	0	16.383,75	1/min

1) *Bytewert* = 36 * 256 + 165 = 9.381 (entspricht 24A5h in Hexadezimal)

$$2) \text{ Motordrehzahl} = \frac{9.381}{2^{16} - 1} * (16.383,75 - 0) + 0 = 2.345,25 \frac{\text{Umdrehungen}}{\text{Minute}}$$

List. 1: Berechnung von OBD-Diagnosewerten.

Die Spezifikation der OBD PID (vgl. SCHÄFFER 2012, 205 ff) enthält neben den zulässigen Minimal- und Maximalwerten die Maßeinheit der gelieferten Werte sowie die Anzahl der Datenbytes der Antwort. Besteht die Antwort aus zwei Datenbytes (wie beispielsweise bei der Motordrehzahl), wird das erste Byte (A, z.B. 24h in hex. bzw. 36 in dez.) mit 256 multipliziert und mit dem zweiten Byte (B, z.B. A5h in hex. bzw. 165 in dez.) addiert. Auf diese Weise wird der vollständige Bytewert der Antwort zusammengesetzt. Ein Byte entspricht 8 Bit – daher entspricht die Anzahl der Bits bei zwei Datenbytes der Antwort 16. Nun kann die allgemeingültige Formel für die Berechnung des Messwertes verwendet werden und ergibt im vorliegenden Beispiel das Ergebnis: 2.345,25 Umdrehungen pro Minute (vgl. ebenda, 96-98).

Im Augenblick des in einem festgelegten zeitlichen Intervall wiederholenden Auslesens zuvor festgelegter PID erfolgt das Hinzufügen der Koordinaten sowie des Zeitstempels. Die von GPS gelieferten Koordinaten liegen dabei im geodätischen Referenzsystem WGS84 (World Geodetic System 1984) vor (vgl. DE LANGE 2013, 159). Auf Basis der gewählten Konfiguration (OBD PID, zeitliches Abfrageintervall) entstehen auf diese Weise Datensätze mit räumlichem und zeitlichem Bezug (XFCD), welche anschließend an den Server (bzw. die in der Applikation hinterlegte Ziel-Server-Adresse) im strukturierten JSON-Datenformat (JavaScript Object Notation; vgl. KUHN & RAITH 2013, 295) gesendet werden.

7.3. Datenempfang und -speicherung

Wie bereits erörtert wird für den Empfang und die Speicherung der von der mobilen Applikation gelieferten Daten ein (zentraler) Server sowie die Open Source Software „obd-server“ benötigt. Das Kompilieren der Software erfordert folgende Umgebung: Git, Java Development Kit 7 sowie Apache Maven (vgl. AOBDR 2014c). Nach dem Herunterladen des Quellcodes (Befehl: „git clone <https://github.com/pires/obd-server/>“) und dem Kompilieren der Software (Befehl: „mvn clean package“) kann der Dienst auf dem Server gestartet werden (Befehl: „java -jar server/target/server-<version>.jar --port 8080“), wobei der verwendende Server-Port frei gewählt werden kann. Dieser Dienst überwacht den eingehenden Datenverkehr auf dem ausgewählten Port (z.B. 8080), erkennt den von der mobilen Applikation an den Server gerichteten Datentransfer und nimmt diesen entgegen. Es handelt sich hierbei um eine sog. REST-HTTP-Schnittstelle (Representational State Transfer; vgl. KUHN & RAITH 2013, 102). Aus Gründen der Performanz und Datensicherheit werden die empfangenen Datensätze (bis zum Abschluss des Datentransfers) in einer „In-Memory-Datenbank“ (auf Basis von HSQLDB; HyperSQL Database), d.h. im Arbeitsspeicher des Servers

zwischen gespeichert (vgl. ebenda, 129). Anschließend kann das Abrufen der Daten (mittels Abfrage über denselben Server-Port) und das Abspeichern in einer Datenbank auf einem nicht flüchtigen Medium erfolgen, z.B. bei PostgreSQL/PostGIS direkt via psql-Befehl. Da dieses DBS Bestandteil von CartoDB ist, kann für den Datenbankimport die ImportsController-Funktion von CartoDB verwendet werden (vgl. CARTODB 2014B). Das Austauschformat, d.h. das Format in dem die Daten von der mobilen Applikation gesendet, von der Server-Komponente entgegen genommen und auch wieder bereitgestellt werden, ist JSON. Dieses Format wird nativ durch PostgreSQL/PostGIS als auch CartoDB unterstützt. List. 2 zeigt exemplarisch den Aufbau einer JSON-Ausgabe sowie den entsprechenden Datenbankeintrag bei Direktimport mittels CartoDB.

List. 2

JSON-Ausgabe und Datenbank-Eintrag (exemplarisch)

JSON-Ausgabe (android-obd-reader / obd-server)

```
[{"latitude":40.0,"longitude":-8.1,"timestamp":1395076830,"vin":"testvin", "readings":
{"aat":"30","maf":"95","rpm":"2000","vss":"50"}}]
```

Datenbank-Eintrag (Direktimport in CartoDB)

cartodb_id	the_geom	latitude	longitude	time	vin	readings
1000	-8.1000, 40.0000	40.0	-8.1	13950 76830	1234	{"aat":"30","maf":" 95","rpm":"2000", "vss":"50"}

List. 2: JSON-Ausgabe und Datenbank-Eintrag (exemplarisch).

Da jeder Datenbank-Eintrag (bzw. Zeile; engl. row) einen XFCD-Punkt repräsentiert, werden die Inhalte der JSON-Objekte „latitude“ und „longitude“ beim Datenbankimport (automatisch) für die Geometriespalte („geom“ bzw. „the_geom“, Geometriotyp point), d.h. für die Georeferenzierung in PostGIS verwendet. Das Array „readings“ beinhaltet die von der mobilen Applikation ausgewerteten OBD PID (Maßeinheit entsprechend der OBD-Spezifikation). Der Zeitstempel im Objekt „time“ entspricht Unix-Konventionen, z.B. 1395076830 = 17.03.2014, 18:20:30 Uhr (vgl. GENNICK 2010, 25-26). Das Objekt „vin“ enthält die fahrzeugspezifische Identifikationsnummer (im vorliegenden Beispiel anonymisiert) bzw. einen (in der mobilen Applikation) festlegbaren Anzeigenamen.

Es zeigt sich, dass das Ergebnis bei (manuellem) Direktimport nicht ausreichend ist. Grundsätzlich sind zwei mögliche Anwendungsfälle zu unterscheiden: Handelt es sich um den erstmaligen Import in eine neu zu erstellende Datenbank oder um einen

wiederholten (kontinuierlichen) Import bei bereits eingerichteter Datenbank. In Bezug auf den ersten genannten Fall ist eine Lösung erforderlich, welche neben einer möglichst automatisierten Ausführung auch die Einrichtung der Datenbanktabelle, d.h. das Umsetzen eines geeigneten Tabellenschemas (z.B. Spaltenbezeichnungen, Datentypen, etc.) ermöglicht. Zu diesem Zweck wurde ein Shell-Skript in der Sprache „Bash“ erstellt, dessen Ausführung manuell gestartet oder auch zeitgesteuert (z.B. durch „cronjobs“: Ausführung alle X Sekunden) vorgenommen werden kann (vgl. Anh. O, 1, unter Verwendung des CartoDB-Import-Skript Anh. O, 2). Das erstellte Skript bietet die Möglichkeit wichtige Parameter konfigurieren zu können, z.B. Server-Adressen, CartoDB Benutzername und API-Zugriffsschlüssel, Name der zu erstellenden Datenbanktabelle. Auf Grund der einstellbaren Server-Adressen ist es unerheblich, ob die Bereitstellung von CartoDB mittels (z.T. kostenpflichtig) angebotenem Online-Account oder mittels selbst bereitgestellter Umgebung (Installation im Eigenbetrieb) vorgenommen wird. Für die Implementierung wurden überwiegend durch SQL-Befehle repräsentierte Datenbankabfragen verwendet. Des Weiteren wurden Werkzeuge bzw. Funktionen genutzt, die in einer Vielzahl von Programmiersprachen zur Verfügung stehen (spez. „cURL“ bzw. „libcurl“). Beide genannten Punkte ermöglichen potentiell die einfache Umsetzung und Anwendung unter Verwendung anderer Programmiersprachen sowie rein auf Basis von PostgreSQL/PostGIS (ohne CartoDB). Das Skript umfasst exemplarisch vier OBD PID (BARO, MAF, RPM, VSS), ist jedoch bei Bedarf darüber hinaus flexibel erweiterbar. Der Aufbau der (durch das Skript umgesetzten) Datenbanktabelle bzw. das Datenbankschema kann Abb. 22 entnommen werden.

obd_dump		
PK	cartodb_id	[PRIMARY KEY / unique]
	the_geom	[GEOMETRY / point]
	timestamp	[NUMERIC / integer]
	vin	[STRING / varchar]
	obd_aat	[NUMERIC / numeric]
	obd_baro	[NUMERIC / numeric]
	obd_rpm	[NUMERIC / numeric]
	obd_vss	[NUMERIC / numeric]
	created_at	[TIMESTAMP]
	updated_at	[TIMESTAMP]

Abb. 22: Aufbau der Datenbanktabelle in CartoDB (als Ergebnis des Skripts „obds2cdb.sh“).

Hierbei zeigen sich geringfügige Unterschiede von CartoDB im Vergleich zur direkten Verwendung von PostgreSQL/PostGIS: Der Primärschlüssel (engl. primary key; PK) einer Datenbanktabelle wird in CartoDB durch die Spalte „cartodb_id“ vorgegeben und ist nicht veränderbar. Die Spalten „created_at“ und „updated_at“ (PostgreSQL Timestamp) werden ebenfalls von CartoDB benötigt und automatisch erstellt sowie verwaltet (vgl. CARTODB 2014B). Das Entfernen der drei genannten Spalten ist in CartoDB nicht möglich, ohne die einwandfreie Funktion zu gefährden.

Die kompakte Schreibweise des Zeitstempels (Spalte „timestamp“, als Unix Timestamp; Datentyp numeric/integer, Länge 10) wurde beibehalten. Bei Bedarf kann jedoch eine Umrechnung in Datum und Uhrzeit (im Sinne eines menschenlesbaren PostgreSQL Timestamp) durchgeführt werden. Ein mögliches Vorgehen hierzu (Anlegen einer neuen Spalte, Umrechnung von Unix in Postgres Timestamp, Schreiben der Ergebnisse) ist im Skript auskommentiert, d.h. bei Bedarf aktivierbar, enthalten (vgl. Anh. O, Zeile 92-95).

Der Ablauf zu Datenempfang und -speicherung kann somit zusammenfassend wie folgt beschrieben werden: Die Server-Komponente „obd-server“ empfängt kontinuierlich Daten von der mobilen Applikation „android-obd-reader“. Die eintreffenden Daten können mittels Bildschirmausgabe am Server eingesehen werden (vgl. Anh. P, 1). Bei (manueller oder automatischer) Ausführung des Skripts erfolgt in einem ersten Schritt das Auslesen der in „obd-server“ vorliegenden Datensätze (aller verfügbaren Fahrzeuge bzw. VIN) sowie in einem zweiten Schritt die Erstellung der Datenbanktabelle, der (erstmalige) Import in CartoDB und eine kurze Säuberung von Daten bzw. Datenbank. Bei erneuter Ausführung wird eine weitere (bzw. neue) Datenbanktabelle erstellt. Das Skript liefert ebenfalls eine Rückmeldung mittels Bildschirmausgabe (vgl. Anh. P, 2).

7.4. Datenaufbereitung und -verarbeitung

Die Aufbereitung und Verarbeitung auf Seiten des Servers ist ein wichtiger Bestandteil zur Erhöhung von Qualität und Informationsgehalts der gesammelten Daten. Hierbei sind z.T. komplexe Verfahren notwendig, welche im Rahmen dieser Arbeit nicht praktisch implementiert werden können. Es soll daher im Folgenden lediglich kurz auf einige wichtige Aspekte der Datenaufbereitung und -verarbeitung eingegangen werden.

Map-Matching

Da die Positionsbestimmung (z.B. via GPS) aus verschiedenen Gründen zu einem unzureichenden bzw. ungenauen Ergebnis führen kann, müssen Techniken angewandt werden, um auf die korrekte Position eines Fahrzeugs (bzw. dessen durch mathematische Verfahren errechnete wahrscheinliche Aufenthaltsposition zu einem bestimmten Zeitpunkt) schließen zu können (vgl. SHEKHAR & XIONG 2008, 633). Dies erfolgt mit Hilfe von Map-Matching-Algorithmen (spez. auf Basis des sog. Kalman-Filters), welche bereits bei der Erfassung der Daten (onboard) als auch bei der späteren Verarbeitung auf einem Server (offboard; bei Datenimport oder in einem nachgelagerten Verarbeitungsschritt) angewendet werden können: „Dabei wird die aus der Koppelnavigation gewonnene Position einem Straßensegment der digitalen Karte zugeordnet“ (REIF 2012B, 347). Dieses Verfahren „[...] berücksichtigt auch die Vorgeschichte der bereits ermittelten Messwerte sowie Messfehler und bestimmt damit die aktuelle Fahrzeugposition“ (ebenda). Die Notwendigkeit von Map-Matching-Algorithmen wurde auch in den Experteninterviews betont (vgl. Kap. 4.3). Demnach besteht besonders aus Sicht der Verkehrserfassung (zur fahrspurbezogenen Auswertung) die Anforderung an eine hohe Genauigkeit in der Positionsbestimmung. Wie bereits ausgeführt, kann das genannte Verfahren potentiell mit Hilfe von Open Source Software wie „pgRouting“ als PostgreSQL/PostGIS-Erweiterung einem Straßennetzwerk (mit oder ohne Routingfähigkeit; vgl. BILL 2010, 480) auf Basis von OSM-Daten sowie der darauf aufbauenden Implementierung eines Map-Matching-Algorithmus vorgenommen werden.

Ableitung von Trajektorien

Da es sich bei XFCD im Allg. um geometrisch punktbezogene Daten handelt, müssen Verfahren angewendet werden, um aus allen aufgenommenen Punkten die entsprechenden Trajektorien der jeweiligen Fahrzeuge ableiten bzw. zuordnen zu können. Dieser Schritt kann bereits mit dem Map-Matching kombiniert sein. Erst dann kann eine sinnvolle Auswertung für eine Vielzahl an Fragestellungen und Anwendungsfällen vorgenommen werden. Entsprechend der Darstellung in Kap. 5.2, erfolgt die Aufbereitung (je nach Fragestellung bzw. angestrebter Aufbereitungsstufe) mit Hilfe von speziellen Algorithmen (z.B. nach semantischen Methoden). Bereits bei einer einfachen Aufbereitung bzw. Ableitung von Trajektorien im Sinne einzelner Routen (bzw. „Tracks“) der jeweiligen Fahrzeuge zeigt sich ein Problem in Bezug auf die Datenhaltung. Da in räumlichen DBS (wie auch in PostgreSQL/PostGIS) üblicherweise eine Trennung von unterschiedlichen Geometrietypen vorgenommen wird, kann eine Datenbanktabelle lediglich Daten eines festgelegten Typs enthalten (z.B. Punkt, Linie, Polygon). Da es bei der Ableitung von Trajektorien zu einer Transformation von Punkt-Geometrie (point) in Linien-Geometrie (line) kommt,

erfordert dies Datenbanktabellen unterschiedlichen Geometrietyps und somit einen veränderten Aufbau der Datenbank bzw. des gesamten Datenbankschemas. Ein möglicher Ansatz hierzu ist in Abb. 23 schematisch dargestellt und besteht aus drei Datenbanktabellen (mit jeweils einem PK), welche mittels Relationen miteinander in Beziehung stehen. Relationen werden üblicherweise in Form von ER-Modellen (Entity Relationship Models) dargestellt und „[...] über Abhängigkeiten von Attributen (Zeilen) ausgedrückt, die einen Wert in einer anderen Tabelle referenzieren“ (KUHN & RAITH 2013, 96-97). Die Datenbanktabelle „waypoint“ enthält die punktbezogenen Ausgangs- bzw. Rohdaten (als Punkt-Geometrie) und die Tabelle „track“ enthält die Trajektorien der einzelnen Fahrzeuge (als Linien-Geometrie). Lediglich die Tabelle „vehicle“, welche die im System vorhandenen Fahrzeuge beinhaltet benötigt keinen Raumbezug.

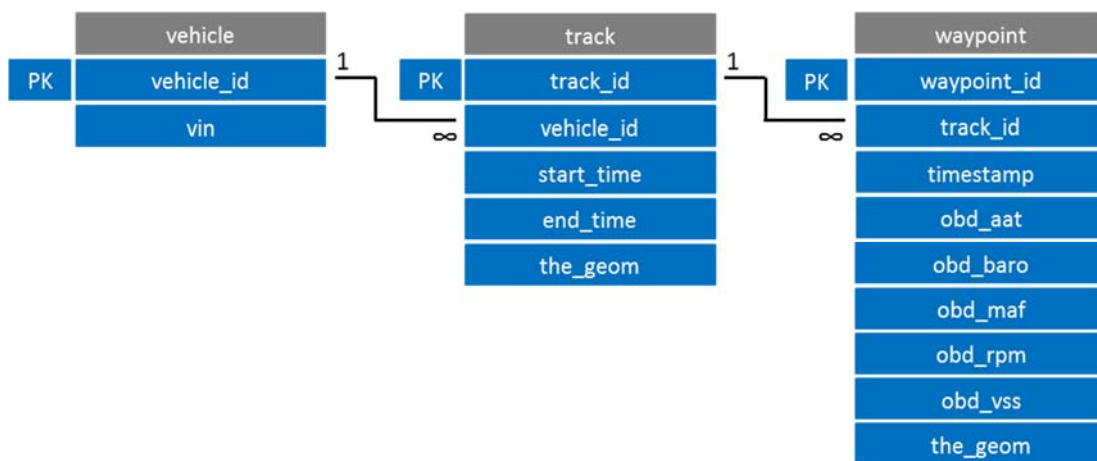


Abb. 23: Möglicher Ansatz für ein Datenbankschema unter Einbezug von Punkt- und Linien-Geometrien.

Ein Datenbankaufbau entsprechend des vorliegenden Ansatzes (unter Verwendung von Relationen) kann beispielsweise dazu dienen, Redundanzen zu vermeiden und eine effiziente Haltung und Abfrage der Daten zu ermöglichen (vgl. RECHENBERG & POMBERGER 2006, 947; DE LANGE 2013, 309). Auf Grund der bereits genannten Unterschiede zwischen CartoDB und PostgreSQL/PostGIS ist der vorgestellte Aufbau jedoch für eine mögliche Umsetzung rein auf Basis von PostgreSQL/PostGIS gedacht.

Anonymisierung

Die Anonymisierung der Daten (zur Wahrung der Privatsphäre des Benutzers als Erzeuger) stellt eine wichtige Anforderung aus datenschutzrechtlicher Sicht dar (vgl. Kap. 3.5). Auch in den Experteninterviews wurde diese Notwendigkeit von beiden Experten betont (vgl. Kap. 4.3). Die Durchführung sollte dabei möglichst früh im Verlauf der Prozesskette vorgenommen werden. Je nach technischer Umsetzung kann das bereits vor dem Übertragen im Fahrzeug oder direkt nach der Übertragung an den Server

erfolgen – wobei zumindest die Anonymisierung fahrzeug- bzw. fahrerspezifischer Daten vor dem Übertragen vorgenommen werden sollte. Da die Möglichkeit besteht, aus den vorliegenden Daten die Trajektorien der einzelnen Fahrzeuge abzuleiten, diese im Sinne von Bewegungsprofilen auszuwerten und auf diese Weise potentiell Rückschlüsse auf die angesteuerten Start- und Zielorte zu ziehen, kann die Anonymisierung der Trajektorien durch Veränderung der individuellen Start- und Zielkoordinaten bzw. -punkte ein Ansatz bilden. In diesem Zusammenhang können exemplarisch drei Vorgehensweisen genannt werden, welche in Abb. 24 schematisch dargestellten sind:

Anonymisierungsstrategien (Modifikation der Start- und Zielpunkte einer Trajektorie)

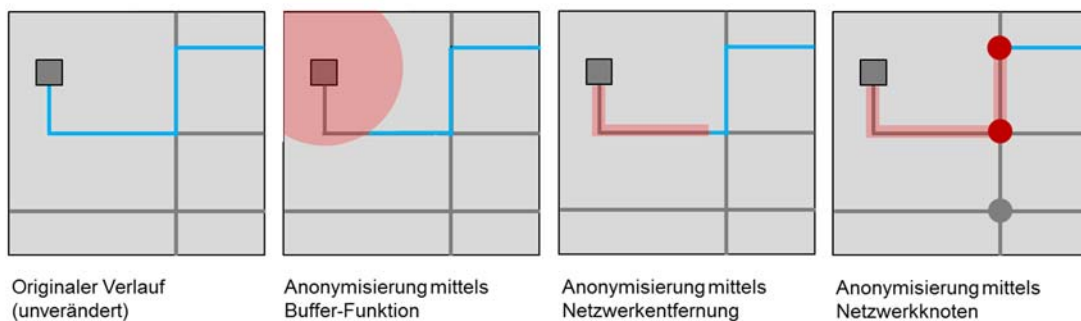


Abb. 24: Anonymisierungsstrategien für XFC D durch Veränderung der Start- und Zielpunkte einer Trajektorie.

Ein mögliches Vorgehen bei der Anonymisierung der Trajektorien kann in der Anwendung einer Buffer-Funktion liegen, d.h. Entfernen eines Abschnittes der Trajektorie, welcher innerhalb eines definierten kreisförmigen Buffer- bzw. Puffer-Bereichs vom Start- bzw. Zielpunkt liegt (vgl. EGNER 2011, 136). Eine zweite Möglichkeit kann im Entfernen von Abschnitten der Trajektorien entsprechend einer definierten Entfernung von Start- und Zielpunkt liegen. Da hierbei die Bewegung und Entfernung im Straßennetz betrachtet wird, kann diese auch als „Netzwerkentfernung“ bezeichnet werden. Ein mögliches drittes Vorgehen kann im Entfernen von Abschnitten der Trajektorien bis zu einer definierten Anzahl von passierten Netzwerkknoten vom Start- bzw. Zielpunkt aus bestehen. Zur Erhöhung der Sicherheit sollten in allen der drei genannten Fälle für die zu definierenden Größen möglichst zufällig generierte Werte (in einem festgelegten Bereich) verwendet werden. Im Rahmen der Experteninterviews wurde den Experten die genannten Vorgehensweisen im Sinne eines Vorschlags zur Anonymisierung präsentiert und als Ansatz angenommen, wobei zu betonen ist, dass dieser sicherlich nicht in jedem Fall anwendbar oder ausreichend sein kann (vgl. Kap. 4.3).

Generierung weiterer Daten

Die Informationsgewinnung aus einem Datenbestand ist auf verschiedenen Wegen möglich. Es eignen sich beispielsweise Methoden des „Data Mining“ als „Zusammenfassung verschiedener statistischer Verfahren mit dem Ziel, aus riesigen Datenmengen relevante Informationen herauszufiltern“, z.B. durch intelligentes Identifizieren von Beziehungen und Verteilungsmustern (BOLLMANN & KOCH 2005). Eine weitere Möglichkeit besteht darin, gezielt weitere Daten aus den vorliegenden zu berechnen. Da in den Experteninterviews der Zusammenhang von Fahrzeuggeschwindigkeit, Kraftstoffverbrauch und CO₂-Emissionen angesprochen wurde (vgl. Kap. 4.3, EXP1/EXP2), soll im Folgenden kurz ein möglicher Berechnungsweg aufgezeigt werden.

List. 3

Berechnung des Kraftstoffverbrauchs (Momentanverbrauch)

Formel

$$\text{Momentanverbrauch} = \frac{\left(\frac{\text{Luftmasse}}{\text{Luftmenge Verbrennung}} \right) * 3600}{\frac{\text{Kraftstoffdichte}}{\text{Geschwindigkeit}}} * 1000 \frac{l}{100 km}$$

Beispiel: Berechnung des Momentanverbrauchs

Erforderlich: Luftmasse (MAF PID 10, z.B. 0,2 g/s),
 Geschwindigkeit (VSS PID 0D, z.B. 50 km/h),
 Luftmenge zum vollst. Verbrennen von 1l Benzin (14,7 kg),
 Durchschnittliche Dichte von Benzin (740 kg/m³)

PID (Hex)	Kurzform	Datenbytes	Minimalwert	Maximalwert	Einheit
10	MAF	A, B	0	655,35	g/s
0D	VSS	A	0	255	km/h

$$\frac{\left(\frac{0,2 \frac{g}{s}}{14,7 kg} \right) * 3600}{\frac{740 \frac{kg}{m^3}}{50 \frac{km}{h}}} * 1000 \frac{l}{100 km} = 7 \frac{l}{h}$$

List. 3: Berechnung des Kraftstoffverbrauchs (Momentanverbrauch).

Der Kraftstoffverbrauch eines Fahrzeugs kann auf verschiedene Weise ermittelt werden, sofern dieser nicht direkt (z.B. bei neueren Fahrzeugen mit OBD PID 5E FUEL_RATE) abgerufen werden kann (vgl. SCHÄFFER 2012, 214). Je nach verfügbaren

(fahrzeug- und kraftstoffspezifischen) Daten ist die Berechnung potentiell auf Basis einer Vielzahl an verschiedenen Formeln mit unterschiedlicher Genauigkeit möglich. Der folgende Berechnungsweg stützt sich auf die Werte des Luftmassesensor (MAF, vgl. Kap. 3.2) sowie die Information über die Art des verwendeten Kraftstoffs, welche zusätzlich vorliegen muss (oder ggf. mit OBD PID 51 FUEL_TYP ermittelt werden kann, vgl. SCHÄFFER 2012, 213). Entsprechend der Art des Kraftstoffs (für die weitere Betrachtung Benzin) müssen spezifische Konstanten in die Berechnung einfließen: die benötigte Luftmenge zum vollständigen Verbrennen von einem Liter Kraftstoff (14,7kg) und die durchschnittliche Dichte von Benzin (740kg/m^3). Auf Basis der genannten Informationen kann nun für jeden einzelnen der punkthaft aufgezeichneten Datensätze der auf den spezifischen Zeitpunkt bezogene Kraftstoffverbrauch (sog. Momentanverbrauch) des jeweiligen Fahrzeugs berechnet werden. Die hierzu verwendete Formel, eine Zusammenstellung der benötigten Informationen sowie eine exemplarische Berechnung anhand von Beispielwerten kann List. 3 entnommen werden (vgl. ebenda, 183).

List. 4**Beispiel für die Berechnung der durchschn. CO₂-Emissionen****Formel**

$$\text{CO}_2 \text{ Emissionen (kg)} = \text{Kraftstoffverbrauch (l)} * \text{Emissionsfaktor } \left(\frac{\text{kg}}{\text{l}}\right)$$

Beispiel: Berechnung der CO₂-Emissionen (Benzin)

Erforderlich: Kraftstoffverbrauch (FUEL_RATE PID 5E oder Berechnung, z.B. 7 Liter), Emissionsfaktor Benzin (2,874 kg/l)

$$7\text{l} * 2,874 \frac{\text{kg}}{\text{l}} = 19,51 \text{ kg CO}_2 \text{ Emissionen (auf 7l Benzinverbrauch)}$$

List. 4: Beispiel für die Berechnung der durchschn. CO₂-Emissionen.

Auf Basis des so festgehaltenen Verlaufs könnten weitere (statistische) Berechnungen angestellt werden, z.B. durchschnittliche Verbrauchswerte (bezogen auf eine Anzahl von Kilometern, eine Trajektorie bzw. Route, einen Zeitraum oder aggregiert auf Straßenabschnitte). Anhand der Informationen über den Momentanverbrauch kann nun eine Berechnung der verursachten CO₂-Emissionen vorgenommen werden (vgl. List. 4). Hierzu ist es notwendig den spezifischen Emissionsfaktor, also das Verhältnis von eingesetzter Menge eines Kraftstoffs zur Menge der daraus resultierenden Emissionen (CO₂ und CO₂-Äquivalente), zu kennen. Der angepasste Emissionsfaktor (inklusive CO₂-Äquivalente) wird für Benzin mit 2,874 kg/l angegeben, d.h. der

Verbrauch von einem Liter Benzin erzeugt rund 2,87kg CO₂-Emissionen (vgl. BLFU 2013). Diese einzelnen (für jeden Punkt) berechneten Werte können ebenfalls über ihren Verlauf betrachtet und für statistische Auswertungen verwendet werden. Auf diese Weise könnten Aussagen darüber getroffen werden wo, wie viel und sogar durch welche spezifischen Fahrzeuge Emissionen verursacht wurden.

Es zeigt sich, dass durch weitere (spez. serverseitige) Verarbeitung und Berechnung eine Vielzahl zusätzlicher Informationen (durchaus für jeden einzelnen aufgenommen XFGD-Punkt) erzeugt werden können. Bereits bei den genannten Beispielen wird deutlich, dass der Umfang der Datenmenge durch zusätzliche Verarbeitung schnell ansteigen kann. Für die zuverlässige Berechnung von Verbrauchs- und Emissionswerten kann festgehalten werden, dass mitunter zusätzliche kraftstoff- und/oder fahrzeugspezifische Informationen notwendig sind.

7.5. Anwendung und abschließende Bemerkungen

Die Anwendung des vorgestellten Ansatzes unter Verwendung der mit Open Source Software vorgenommenen prototypischen Implementierung (ausgenommen der angeführten Aufgaben zur Datenaufbereitung und -verarbeitung) konnte erfolgreich mit verschiedenen Kraftfahrzeugen, Smartphones und OBD-Bluetooth-Hardware getestet werden. Da es bei der Entwicklung (von OBD-bezogenen Anwendungen) häufig nicht möglich ist, permanent mit einem Kraftfahrzeug arbeiten zu können, eignet sich potentiell die Verwendung von sog. OBD-Simulatoren (vgl. SCHÄFFER 2012, 117-120). Je nach Ausführung ermöglichen diese die Simulation eines oder mehrere Datenbusse, ECU, DTC und OBD PID. Da im Rahmen der durchgeführten Entwicklungsarbeit auf diese Möglichkeit zurückgegriffen wurde, soll die Durchführung am Beispiel des angewendeten experimentellen Aufbaus kurz erläutert werden.

Der verwendete OBD-Simulator „ECUSim mOByDic 1610“ des Herstellers Ozen Elektronik (auf Basis eines OE91C1610 Chips bzw. PIC-Mikrocontrollers; vgl. Anh. Q, 1) ermöglicht die Simulation des CAN-Bus (nach ISO 15765-4) sowie drei unterschiedlicher ECU (Motorsteuergerät ECM, Getriebesteuergerät TCM und ABS-Steuergerät). Mittels Drehregler (Dreh-Potentiometer) können die Werte einzelner PID (z.B. MAF, RPM und VSS) beeinflusst werden. Das Erzeugen von DTC ist ebenfalls möglich. Im ersten Schritt wird nun die OBD-Bluetooth-Hardware (APOS OBD BT 327) mit dem Diagnose-Anschluss des Simulators verbunden. Bei erstmaliger Verwendung mit einem Smartphone muss die Einrichtung der Bluetooth-Kopplung (engl. pairing) zwischen Smartphone und OBD-Bluetooth-Hardware erfolgen. Da die Verwendung

des Simulators an einem festen Arbeitsplatz durchgeführt wird, erfolgt keine räumliche Bewegung (wie bei der Anwendung im Fahrzeug). Um dennoch durch GPS bereitgestellte Positionsdaten nutzen zu können, wird ein GPS-Simulator im Sinne einer Software-Lösung benötigt, die auf dem Smartphone ausgeführt wird. Zu diesem Zweck wird die kostenfreie Android-Applikation „GPS Route Simulator“ verwendet (vgl. Anh. Q, 2 links). Diese ermöglicht (bei bestehender Datenanbindung) die Bereitstellung bzw. Simulation von GPS-Daten unter Angabe eines Start- und Zielpunktes (bzw. -adresse) oder einer KML-Datei (Keyhole Markup Language) mit Routeninformationen sowie einer Zeitspanne (in der die Route durchlaufen werden soll). Dabei wird auf Basis des von Google bzw. der Google Maps API bereitgestellten Straßennetzwerks ein Routing durchgeführt. Nachdem die Aktivierung der GPS Simulation vorgenommen wurde, kann die Applikation „android-obd-reader“ auf dem Smartphone sowie die Datenerfassung und -übermittlung gestartet werden (vgl. Anh. Q, 2 rechts). Der Server („obd-server“) empfängt nun kontinuierlich vom Smartphone gesendete Daten. Hierbei wurde ein zeitliches Abfrageintervall von 2 Sekunden gewählt. Der so umgesetzte experimentelle Aufbau kann Anh. Q, 3 entnommen werden. Nach Ausführung des erstellten Skripts („obd2cdb.sh“) für die Überführung der Daten in CartoDB ist die auf diese Weise generierte Datenbanktabelle über die Benutzeroberfläche von CartoDB erreichbar (vgl. Anh. Q, 4). Die Daten können in dieser Ansicht sofort eingesehen, abgefragt, gefiltert oder modifiziert werden. In einer weiteren Ansicht („Map View“) kann die kartenbasierte Visualisierung der Daten vorgenommen werden (vgl. Anh. Q, 5). Hierbei stehen dem Benutzer zahlreiche interaktive Werkzeuge zur Verfügung (wie z.B. ein CartoCSS-Editor und „Visualization Wizard“). Die dynamische Visualisierung von (raumzeitlicher) Bewegung mit Hilfe der CartoDB „torque“-Bibliothek (welche mittlerweile auch Bestandteil des „Visualization Wizard“ ist) ist nun ebenfalls möglich. Für die Entwicklung von Visualisierungen mit „torque“ eignet sich speziell eine gemeinsam mit der Bibliothek bereitgestellte Beispiel-Anwendung inkl. CartoCSS-Editor (vgl. Anh. Q, 6).

Auf Basis von gesammelten Beispieldaten ist ein Vergleich der mittels Simulator und mittels Fahrzeug erzeugten Daten möglich. Bei einer ersten Betrachtung werden in diesem Zusammenhang bereits erwartete Phänomene deutlich. Die Genauigkeit der Positionsbestimmung (vgl. Abb. 25 oben) ist bei den simulierten Daten (links), als Ergebnis eines Routings innerhalb des von Google (bzw. der Google Maps API) bereitgestellten Straßennetzwerks als hoch einzustufen. Bei der durch GPS vorgenommenen Positionsbestimmung im Fahrzeug lassen sich teilweise deutliche Abweichungen erkennen (rechts), wobei die bereits angesprochene Notwendigkeit eines Map-Matching deutlich wird.



Abb. 25: Vergleich der durch Simulator und Fahrzeug erzeugten Daten: Genauigkeit der Positionsbestimmung (oben) und Verfügbarkeit der Daten (unten).

Des Weiteren zeigen sich Unterschiede in der Verfügbarkeit bzw. Vollständigkeit der Daten. Während die Datenverfügbarkeit bei der Verwendung von Simulations-Hard- und Software durchgehend gegeben ist, zeigen sich unter Verwendung von GPS im Fahrzeug (und bei deaktivierter Zwischenspeicherung in der mobilen Applikation „android-obd-reader“) vereinzelt Lücken bzw. fehlende Werte (vgl. Abb. 25 unten). Als Ursache hierfür konnte in den betreffenden Bereichen der Abbruch der Mobilfunk- bzw. Datenanbindung (auf Grund schlechten Netz-Empfangs) identifiziert werden. Der Hinweis auf die flächenhaft unterschiedlich ausgeprägte Qualität der Netzabdeckung sowie die Problematik der Bereitstellung von Echtzeit-Daten für Bereiche, in denen eine Übertragung nicht möglich ist, erfolgte ebenfalls bereits in den Experteninterviews (vgl. Kap. 4.3; EXP2, 1-1). Daher zeigt sich, dass die Datenqualität einen wichtigen Aspekt darstellt. Ein möglicher Ansatz zur Einordnung der Qualität von XFC-D bzw. Daten der Verkehrstelematik kann nach einem Schema erfolgen, welches die Merkmale „Vollständigkeit“, „Präzision“ und „Konsistenz“ auf die Kriterien „inhaltlich“, „räumlich“ und „zeitlich“ (bzw. deren Dimensionen) bezieht (vgl. WIDMANN 1999).

Es kann festgehalten werden, dass es auf Grundlage der vorgenommenen Überlegungen und Durchführung möglich ist, den vollständigen technischen Ablauf, von der Datenerfassung (onboard) bis zur Überführung und Visualisierung in CartoDB,

zu realisieren. Eine umfassende Implementierung entsprechend des vorgestellten Visualisierungsansatzes kann aus Zeitgründen und einer fehlenden (umfangreichen) Datenbasis nicht vorgenommen werden, ist jedoch mit Hilfe der genannten Bibliotheken und Werkzeuge aus technischer Sicht potentiell möglich. In Bezug auf das vorliegende Kapitel bietet sich nun die Gelegenheit für einige abschließende Bemerkungen. Bei der Recherche zu technischen Lösungen wurde deutlich, dass in Bezug auf XFC-D nur wenige frei verfügbare Standards existieren. Es finden sich Informationen zu einem Datenstandard „DOPUX 1“, welcher durch das Unternehmen „AMV Networks GmbH“ entwickelt wird und nach eigener Angabe für die anonyme Erfassung und Bereitstellung gemeinnütziger XFC-D dienen soll (vgl. DOPUX 2012). Es scheint sich hierbei jedoch nicht um einen freien Standard zu handeln – auch die angegebene offizielle Webseite war durchweg nicht erreichbar. Als einzige aufgefundene Alternative bieten sich die freien und offenen Standards des „Open Geospatial Consortium“ (OGC), besonders das „Sensor Web Enablement“ (SWE) an (vgl. OGC 2014). Die Berücksichtigung spezieller XFC-D-Datenstandards wurde daher im Rahmen der durchgeführten Überlegungen nicht vorgenommen. Bei der Entwicklung im Open Source Projekt „android-obd-reader“ wurde für den Datenaustausch das JSON-Format und nicht die raumbezogene Variante GeoJSON gewählt. Dieses Vorgehen stellt einen Kompromiss dar, da nicht jeder Anwender und Entwickler (des Projekts) primär eine raumbezogene Verarbeitung der Daten anstrebt.

Ein weiteres Problem bei der durchgeführten Recherche zeigte sich im Auffinden einer frei verfügbaren (anonymisierten) Datenbasis bzw. -quelle für XFC-D. Als einzige Lösung kann das Open Source Projekt „enviroCar“ genannt werden, welches jedoch erst während der Bearbeitung der vorliegenden Arbeit durch die Organisation „52°North“ sowie das Institut für Geoinformatik der Universität Münster gegründet wurde (vgl. ENVIROCAR 2014). Das Projekt finanziert sich aus Spenden bzw. Crowdfunding-Mitteln und befindet sich derzeit im Aufbau (offene Beta-Phase). Das Ziel des Projekts liegt nach eigenen Angaben in der Etablierung einer (durch Crowdsourcing geschaffenen; vgl. BILL 2010, 259) freien und offenen Plattform sowie Datenbasis für XFC-D, wobei der Fokus (aktuell) auf der technischen Bereitstellung (und weniger der Visualisierung) liegt. Unter Verwendung von OBD-Bluetooth-Hardware, einer entwickelten Smartphone-Applikation (für Android) und einer Server-Komponente sowie MongoDB als DBS wird hierbei ein technischer Aufbau (bzw. Architektur) verfolgt, welcher grundsätzlich in Bezug auf den in dieser Arbeit vorgestellten Ansatz als ähnlich angesehen werden kann (vgl. JIRKA ET AL. 2014). Als Datenformat für den Austausch wird JSON und GeoJSON eingesetzt. Nach einer Anonymisierung (durch Modifikation der einzelnen Trajektorien bzw. Routen) werden die Daten (sofern nicht anders vom Benutzer festgelegt) unter der ODbL-Lizenz (Open

Database License) öffentlich bereitgestellt, wobei aktuell fast ausschließlich Daten für den Raum Münster zur Verfügung stehen (vgl. ENVIROCAR 2014). Neben einer Schnittstelle zur Statistik-Software „R“ wird die Analyse sowie Visualisierung der Daten spez. mit Hilfe der „ArcGIS Online“-Plattform des Anbieters ESRI vorgenommen, der auch offizieller Partner des Projekts ist (vgl. ebenda; Anh. C, 4).

Eine letzte Bemerkung und weitergehende Überlegung bezieht sich auf zwei in den Experteninterviews festgehaltenen Aussagen: Es besteht die Forderung nach einer (gewissenhaften) kontextbezogenen Definition von (an einem System beteiligten) Benutzerrollen und damit verbundenen Frage- und Zielstellungen sowie einer dementsprechenden Umsetzung der Visualisierung, d.h. von Benutzeroberfläche, -interaktion und graphischer Gestaltung. In diesem Zusammenhang wird die Unterscheidung zwischen einem Daten- und einem Softwarekern als möglicher Ausgangspunkt für eine entsprechende Umsetzung angesehen (vgl. Kap. 4.3, EXP1 + EXP2). Um dies zu ermöglichen wird (in der Praxis) bei der Entwicklung produktiver Systeme häufig auf das sog. MVC-Modell (Model View Controller) zurückgegriffen: „Das Model ist dabei die interne Repräsentation der Daten in Form von Objekten, ein View-Objekt ist für die Darstellung der Daten auf dem Bildschirm zuständig, und ein Controller-Objekt behandelt Benutzereingaben zur Bearbeitung der Daten. Diese Trennung ermöglicht die gleichzeitige Anzeige mehrerer Sichten [...] auf dieselben Daten [...]“ (vgl. RECHENBERG & POMBERGER 2006, 593-594). Ein möglicher Entwurf für eine (konkrete) kontextbezogene Visualisierung wurde bereits im Rahmen dieser Arbeit im Ansatz geliefert und kann potentiell auch auf dem genannten Weg (mit den beschriebenen Mitteln) in eine praktische Implementierung überführt werden. In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach einer Möglichkeit zur Automatisierung, d.h. auf Basis von festgelegten und beschriebenen Benutzerrollen automatisiert geeignete Visualisierungen generieren zu können. Ein strategisches Vorgehen hierbei (als objektorientierter Entwurf; spez. aus dem Bereich des Software-Engineering) kann in der Definition und Anwendung von Entwurfsmustern (engl. design patterns) auf Basis bewährter Lösungsansätze für wiederkehrende Teilaufgaben und Gestaltungsfragen bestehen (vgl. ebenda, 593; DE LANGE 2013, 127). Die einzelnen Entwurfsmuster (beispielweise Elemente von Benutzeroberfläche und – Interaktion) können zu ganzen Bibliotheken zusammengefasst werden. In Bezug auf kartographische Medien (bzw. Geovisualisierung) kann dabei das Konzept der „GeoViz Patterns“ genannt werden, diese „[...] bestehen aus der Beschreibung eines wiederkehrenden kartographischen Gestaltungsproblems mit der dazugehörigen Lösung. Als quasi wieder verwertbare Bausteine erleichtert der Einsatz die Entwicklung von ergonomischen und attraktiven kartographischen Medien sowohl für einzelne Karten als auch darüber hinaus Device-übergreifend für ganze

Applikationsfamilien“ (HEIDMANN 2012, 66-67). Vor diesem Hintergrund zeigt sich das Definieren und Anwenden von Regeln im Sinne einer Regel-Orientierung als potentiell geeignet. Als interessant kann hierbei das Konzept eines „CartoService“ als webbasierte Lösung zur automatisierten Generierung und Bereitstellung von (statistischen) Qualitätskarten aus Geodaten (z.B. für die Atlas-Produktion) nach ASCHE & ENGEMAIER 2012 genannt werden: „The CS map modeling system uses an automated, rule-based workflow to create meaningful quality maps from web-based input data and visualisation requirements. [...] In compliance with the principles of (thematic) cartography, the modelling and visualization process facilitates the mental processing of a non-graphic data model (primary model) from geospatial raw data to a graphic-orientated cartographic model (secondary model), i.e. a purpose and user-defined quality map which can be explored and analysed.“ (ebenda, 415-416). Dabei wird eine dienst- bzw. service-orientierte (Software-)Architektur (SOA; engl. service-oriented architecture) verwendet: „Vorhandene IT-Komponenten [wie Datenbanken, Server und Webseiten] werden so in Dienste gekapselt und gebündelt (man spricht dann von Orchestrierung), dass ihre Leistungen zu höheren Diensten zusammengefasst und anderen zur Verfügung gestellt werden können“ (BILL 2010, 143). Die Besonderheit des „CartoService“ liegt neben der Dienst- und Regel-Orientierung in der Anordnung und Umsetzung entsprechend der Visualisierungspipeline (bzw. „cartographic modelling pipeline“): „The [...] components of map modelling and visualisation are arranged in a map processing pipeline which implements the process flow in an automated production sequence“ (ASCHE & ENGEMAIER 2012, 417).

Es zeigt sich, dass über die genannten Überlegungen hinaus neue Ansätze benötigt werden, um das Problem der automatisierten Generierung und Bereitstellung interaktiver (Geo-)Visualisierungen (auch für XFCD) zu lösen. Dies erfordert im ersten Schritt die Formulierung geeigneter Ansätze für die Visualisierung von XFCD. Ein möglicher Weg könnte darin bestehen, aufbauend auf den bereits vorgestellten (elementaren) Grundlagen und Regeln graphischer Gestaltung (spez. in Kartographie, Geovisualisierung, z.B. graphische Variablen, kartographische Darstellungsmethoden, etc.), graphischer Benutzeroberfläche und -interaktion sowie damit verbundenen Fragen, welche mit Hilfe von Entwurfsmustern potentiell gelöst werden können, einen regelbasierten Ansatz zu formulieren. Die Kombination von MVC-Modell und Service-orientierter Architektur, Entwurfsmustern (bzw. Bibliotheken) im Rahmen eines regelbasierten Ansatzes (welcher den Produktionsablauf und somit die Stufen der Visualisierungspipeline abbildet) kann eine Lösung darstellen, bietet jedoch mit Sicherheit eine komplexe und umfangreiche Aufgabe, welche eine weiterführende Betrachtung erfordert.

8. Fazit und Schlussfolgerungen

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit konnte ein Ein- und Überblick zur Verwendung von (raum- und zeitbezogenen) Daten der Kraftfahrzeugelektronik im Sinne des XFCD-Konzepts geliefert werden. Die hieraus resultierenden Erkenntnisse können in folgende Bereiche gegliedert werden:

- Anforderungen, Nutzen und Potentiale von XFCD
- Visualisierungsansatz
- Implementierungsansatz
- Kontextbezogene Generierung von Visualisierungen
- Datenschutz

Es zeigt sich, dass XFCD eine Vielzahl an Anwendungen (onboard und offboard) ermöglicht, wobei besonders die Daten der vielfältigen Sensorik, spez. zur Erfassung des Umfeldes bzw. der Umwelt des Fahrzeugs, hervorgehoben werden können. Als Erweiterung des FCD-Konzepts, welches im VM bereits umfangreich Anwendung findet, bieten XFCD und somit Kraftfahrzeuge als mobile Sensoren daher spez. im UM einen deutlichen Mehrwert (z.B. Abschätzung von Emissionswerten). Es war zudem möglich den vollständigen Ablauf zur Nutzbarmachung, der Datenerfassung im Fahrzeug bis zur (externen) Verarbeitung und Visualisierung zu betrachten und in einem Arbeitsablauf (Smartphone-gestützt und webbasiert nach dem Client/Server-Prinzip) zu realisieren. Die gesetzlich vorgeschriebene OBD-Diagnoseschnittstelle kann in diesem Zusammenhang einen Zugang zum Datenbussystem des Kraftfahrzeugs ermöglichen. Dies bietet durchaus einen breiten, jedoch (bei regulärer Verwendung nur) eingeschränkten Zugriff auf spezifische vordefinierte Parameter (OBD PID). Smartphones in Kombination mit OBD-Diagnose-Hardware bieten sich dabei als leistungsfähige Verarbeitungseinheiten an, ermöglichen (spez. mittels GPS) das Bereitstellen des Raum- und Zeitbezugs sowie die Datenübertragung und stellen im vorgestellten Ansatz daher eine Alternative zu fest verbauten und zum Teil kostenintensiven OBU dar.

Die durchgeführten Experteninterviews konnten eine Vielzahl an interessanten Informationen und Erkenntnisse zu Anforderungen, Nutzen und Potentialen von XFCD (nicht nur für die Bereiche UM und VM) liefern, wobei leider nicht alle der angesprochenen Aspekte in die Betrachtungen dieser Arbeit einbezogen werden konnten. Es zeigt sich, dass XFCD als umfangreiche, massenhafte Daten („big data“) angesehen werden können, welche für den Menschen nicht (ohne weiteres)

überschaubar oder beherrschbar sind. Daher stellt neben Methoden der EDV, spez. die Visualisierung (welche den Menschen mit seinen Fähigkeiten im Fokus hat) ein geeignetes und sogar notwendiges Mittel zur Analyse solcher Daten dar. In diesem Zusammenhang besitzt die kartographische Visualisierung (welche mit weiteren Visualisierungsmethoden kombiniert werden kann) auf Grund des Raumbezugs der Daten einen sehr hohen Stellenwert. Dynamik, (intuitive) Interaktion sowie die Verwendung von Animationen können zudem als potentiell hilfreiche Bestandteile (einer interaktiven Visualisierung) identifiziert werden.

Ausgangspunkt für den vorgestellten Visualisierungsansatz bilden die allgemeinen Einflussfaktoren und Anforderungen an Visualisierungen sowie die Betrachtung vor dem Hintergrund der Visualisierungspipeline. Dabei wird deutlich, dass die Sichtbarmachung von (in den XFCDD enthaltenen) Informationen maßgeblich durch den Schritt des Filtering bestimmt wird. Des Weiteren stehen (für das Mapping und Rendering) die Grundlagen und Regeln der graphischen Verarbeitung von Informationen (wie die graphischen bzw. visuellen Variablen) der Kartographie (wie die kartographischen Darstellungsmethoden, Klassifikation und Generalisierung) sowie der Gestaltung von Benutzeroberfläche und der Benutzerinteraktion zur Verfügung. Der formulierte Visualisierungsansatz, welcher sich auf die genannten Grundlagen stützt, bezieht sich auf ein exemplarisches Anwendungsszenario sowie ausgewählte Parameter und kann daher nur einen beispielhaften Charakter besitzen.

Mit dem entwickelten Implementierungsansatz konnte aufgezeigt werden, dass die praktische Umsetzung des allgemein formulierten Arbeitsablaufs und der Visualisierung durchaus ausschließlich unter Verwendung von Open Source Software möglich sein kann. Zentrale Komponenten bilden in diesem Zusammenhang die mobile Applikation und die auf dem Server eingesetzte Software (raumbezogene Datenbank zur Speicherung der Daten sowie Bereitstellung der Visualisierung). Neben einem (ggf. bereits verfügbaren) Smartphone stellt dann lediglich die OBD-Hardware einen Kostenfaktor dar. Die Qualität der erhobenen Daten kann aus verschiedenen (z.B. technischen) Gründen unzureichend sein. Je nach betrachtetem Anwendungskontext (bzw. Fragestellung) sind unterschiedliche (z.T. komplexe) Maßnahmen zur Aufbereitung der Daten (spätestens im Filtering) notwendig, wobei spez. das Map-Matching, die Ableitung von Trajektorien, die Anonymisierung und die Generierung weiterer Daten (z.B. mit Methoden des ‚Data Mining‘) genannt werden können. Da (wie bereits eingangs geschildert) aus Gründen des Umfangs keine umfassende praktische Umsetzung des Visualisierungsansatzes möglich war, wurde die Implementierung (als Ausschnitt) vorgenommen. Dieses Vorgehen ermöglicht die Erfassung und Bereitstellung von XFCDD (in einer raumbezogenen Datenbank bzw. im Softwaresystem CartoDB) und kann auf diese Weise zur Demonstration des

(gesamten vorgestellten) Ablaufs sowie als Basis für weitere Arbeiten dienen. Als problematisch können fehlende (Daten-)Standards sowie fehlende frei zugängliche Datenquellen bzw. Datenbasen (für anonymisierte XFCD auf möglichst geringer Aggregationsstufe) genannt werden. Letztere können zukünftig möglicherweise durch Crowd-Sourcing Projekte geliefert werden, welche sich jedoch erst langsam entwickeln.

Die im Rahmen der Arbeit vorgestellten Anwendungsbereiche bieten aus Sicht der Visualisierung potentiell vielfältige Betätigungsfelder. Da Visualisierungen oft als Grundlage für Entscheidungen und Handlungen dienen sollen, stellt deren Ausarbeitung eine wichtige und umfassende Aufgabe dar, welche stets gewissenhaft auf den spezifischen Kontext (Anwendungskontext, Benutzerkontext, Darstellungsmedium) zu beziehen und zu bearbeiten ist. Es zeigt sich, dass eine dezidierte Auseinandersetzung mit der Visualisierung von XFCD bisher nicht ausreichend vorgenommen wurde. Daher müssen geeignete und kontextbezogene Lösungen (zur graphischen bzw. visuellen Repräsentation) für diese neue Art an (massenhaften und raumzeitlichen) Daten gefunden werden, um die Generierung effektiver Visualisierungen zu ermöglichen. Ein strukturiertes Vorgehen könnte möglicherweise in der Definition und Anwendung von Entwurfsmustern („Design Pattern“) im Rahmen eines (kartographisch) regelorientierten Vorgehens vor dem Hintergrund der Visualisierungspipeline liegen. In diesem Zusammenhang zeigt sich, dass zur Lösung der Aufgabe die Kompetenz unterschiedlicher Fachdisziplinen (wie Informatik, Kartographie, Interface und Interaction Design) benötigt wird.

Abschließend kann davon ausgegangen werden, dass die Erfassung und Verwendung von XFCD noch an ihrem Anfang steht und die (z.T. bereits vorgestellten) aktuellen Entwicklungen unseren Alltag zukünftig (durch eine Vielzahl an Anwendung und Diensten) massiv beeinflussen werden. Zur Übertragung der Daten werden hohe Anforderungen an die (flächendeckende) Qualität der mobilen Kommunikationsnetze gestellt (spez. Bandbreite und Verfügbarkeit). In den kommenden Jahren werden voraussichtlich (große) Datensammlungen in den verschiedensten Bereichen (wie bei Wirtschaft und Staat) entstehen. Daher kann festgehalten werden, dass das Thema Datenschutz einen wichtigen Aspekt von XFCD darstellt. Die Anonymisierung durch Entfernen von fahrzeug- oder fahrerspezifischen Identifikationsmerkmalen stellt dabei ein Mindestmaß (zur Wahrung der Privatsphäre) dar. Weitere Verfahren sind vor dem Hintergrund des jeweiligen Kontextes bzw. der Fragestellung durchzuführen. Sofern für eine Anwendung die möglichst hohe Genauigkeit in Bezug auf Start- und Zielpunkte notwendig ist, kann die Modifikation der Trajektorien nur schwer umgesetzt werden. In diesem Zusammenhang zeigen sich (mögliche) Probleme in der Vereinbarkeit von gewünschtem Informationsgehalt und Datenschutz bzw.

Anonymisierung, welche wie folgt auf den Punkt gebracht werden können: „Im Grunde haben umfassende [Umwelt-]Informationssysteme genau das Ziel, was der Datenschutz verhindern muß oder will: Das Zusammenführen von (eben oft auch personenbezogenen) Daten, das Erzielen von Synergieeffekten durch Datenintegration“ (ZÖLITZ-MÖLLER 1999, 185).

9. Ausblick

„Unsere Autos sind heute schon rollende Rechenzentren mit 1,5 Kilometer Kabeln, mehr als 50 Steuergeräten und der Rechnerleistung von 20 hochmodernen PCs. Jetzt geht es um die große Aufgabe, gemeinsam mit der IT-Branche die Mobilität noch intelligenter und noch vernetzter zu gestalten. [...] Ich sage deutlich: Ja zu Big Data. Ja zu mehr Sicherheit und Komfort. Aber Nein zu Bevormundung und Big Brother.“ (Martin Winterkorn, CeBIT 2014; VWAG 2014)

Wie aktuell und zunehmend interessant die vorgestellte Thematik ist, zeigt sich derzeit an den (z.T. bereits vorgestellten) Entwicklungen einer Vielzahl an Akteuren. Neben Automobilherstellern und Versicherungsanbietern platzieren sich auch zunehmend Wirtschaftsunternehmen auf diesem Markt, die speziell für die Entwicklung und Vermarktung von Softwarelösungen (wie Betriebssystemen) bekannt sind. So bietet beispielsweise Microsoft in Kooperation mit Automobilherstellern unter der Bezeichnung „Windows Embedded Automotive“ neuerdings eine Software-Plattform für „Infotainment-Anwendungen“ im Fahrzeug sowie die Kombination mit mobilen Endgeräten wie „Windows Phone“ an (vgl. HEISE 2014B). Auch das Unternehmen Apple verfolgt in Zusammenarbeit mit verschiedenen Herstellern durch die Entwicklung der Plattform „CarPlay“ einen ähnlichen Ansatz (vgl. HEISE 2014C). Diese Entwicklungen zeigen, dass Unternehmen bereits das wirtschaftliche Potential der aktuellen und zukünftigen Entwicklung von Kraftfahrzeugen erkannt haben. Die (Weiter-)Entwicklung von OBU im Sinne von Boardcomputern als zentrale Rechen- und Bedieneinheiten (auch in Kombination mit mobilen Endgeräten) sowie darauf aufbauende Anwendungen und Dienstleitungen werden in den nächsten Jahren sicherlich den Alltagsgegenstand Kraftfahrzeug in hohen Maße beeinflussen.

Des Weiteren können besondere Potentiale im Anwendungsfeld der Elektromobilität identifiziert werden, welche auch im Rahmen der geführten Experteninterviews betont wurden (vgl. Kap. 4.3). Vor dem Hintergrund von aktuellen Konzepten für „Smart Grids“ bzw. „intelligente Stromnetze“ werden Elektrofahrzeuge potentiell zu mobilen Speichern und somit zu Bausteinen einer „kohlendioxidfreien und regenerativen Elektrizitätsversorgung“ (QUASCHNING 2013, 109). Das Ziel der Bundesregierung liegt nach eigenen Angaben darin, dass bis zum Jahr 2020 in Deutschland eine Million Elektrofahrzeuge auf den Straßen im Einsatz sind (vgl. PIAB 2014). Auch, wenn der Absatz bisher noch schleppend voran geht, bestätigt eine Studie des Fraunhofer Institut für System- und Innovationsforschung (ISI), dass die von der

Bundesregierung gesetzten Ziele durchaus (auch ohne staatliche Subventionen) möglich sind (vgl. HEISE 2014D; FRAUNHOFER ISI 2014).

Ebenfalls in den Experteninterviews angesprochen wurden die aktuellen Bestrebungen der Europäischen Union zur Verringerung der Folgen von schweren Verkehrsunfällen ein EU-weit verbindliches (automatisches) „eCall“-System einzuführen (vgl. Kap. 4.3): „Anhand der Beschleunigungssensoren aus dem ABS- und Airbag-System kann die Schwere eines Unfalls abgeleitet und übermittelt werden. Das Navigationsgerät liefert die genauen GPS Positionsdaten, und über das integrierte Telefon wird der Notruf abgesetzt [...]“ (SCHÄFFER 2012, 41). Die übertragenen Daten können somit direkt auf das XFCD-Konzept bezogen werden. Bereits im Jahr 2013 lieferte die Europäische Kommission Vorschläge für die rechtliche Umsetzung: „Das ‚eCall‘-System wählt bei einem schweren Unfall automatisch die 112 - Europas einheitliche Notfallnummer. Es übermittelt den Standort des Fahrzeugs an die Notfalldienste, auch wenn der Fahrer bewusstlos oder aus anderen Gründen nicht in der Lage ist, einen Telefonanruf zu tätigen. Es wird erwartet, dass so bis zu 2500 Menschenleben pro Jahr gerettet werden könnten“ (EU 2013). Das Ziel soll darin bestehen „[...] die Einrichtung eines voll funktionsfähigen eCall-Dienstes in der gesamten Europäischen Union (sowie in Island, Norwegen und der Schweiz) bis zum Jahr 2015 [...] vorzunehmen (ebenda). Die genannten Vorschläge für einen künftigen Rechtsakt wurden bereits durch den EU-Rat als Gesetzentwurf verabschiedet (vgl. HEISE 2014E). Es konnte jedoch bisher keine Einigung darüber erzielt werden, ob die verbindliche Verpflichtung bereits (wie aktuell geplant) für Neufahrzeuge ab Oktober 2015 gilt oder eine Übergangsfrist (bis spätestens 2018) eingeräumt wird (vgl. ebenda). Ungeklärt bleiben indes auch Fragen zum Datenschutz. So wurden beispielsweise mehrfach Änderungsanträge abgewiesen, die ein manuelles Abschalten des Systems im Fahrzeug fordern (vgl. HEISE 2014F). Es kann jedoch festgehalten werden, dass bei Einführung die Datenanbindung im Fahrzeug zur Pflicht wird. Es ist davon auszugehen, dass diese Entwicklung die Bedeutung von XFCD und somit auch die Notwendigkeit geeigneter raumzeitlicher Visualisierung durchaus für die unterschiedlichsten Kontexte (d.h. Anwendungen und Nutzer) beschleunigen wird.

Die in dieser Arbeit genannten Technologien (von Sensor- und Assistenzsystemen, XFCD, bis Car2Car- und Car2Infrastructure) bilden zudem die Voraussetzungen für eine weitere Anwendung, welche bereits heute entwickelt wird, dem autonomen Fahren bzw. selbstfahrenden Fahrzeug (vgl. BRAESS 2011, 612). So zeigt beispielsweise das Unternehmen Daimler mit dem Forschungsfahrzeug „Mercedes-Benz S500 Intelligence Drive“, dass bereits heute das autonome Fahren in komplexen Umgebungen wie dem Stadtverkehr technisch möglich ist (vgl. DAIMLER AG 2014). Neben klassischen Automobilherstellern forscht das US-amerikanische Unternehmen

Google ebenfalls bereits seit einigen Jahren in diesem Bereich und hat ein selbstständig fahrendes Fahrzeug entwickelt, welches auf über 140.000 Meilen getestet wurde und bereits über eine offizielle Straßenzulassung im US-Bundesstaat Nevada verfügt (vgl. GOOGLE 2010). Bis diese Technologie ausgereift bzw. alltagstauglich ist und in Fahrzeugen serienmäßig zu finden sein wird, sind nach Meinung von Experten jedoch zahlreiche weitere Forschungen notwendig: „Damit dies in 20 bis 30 Jahren Alltag auf unseren Straßen sein kann, brauchen wir nicht nur autonome Systeme, sondern auch eine funktionierende Kommunikation zwischen den unterschiedlichsten autonomen Systemen“ (KIT 2011).

Vor dem Hintergrund der massiven Mengen an Daten („big Data“), die in Kraftfahrzeugen anfallen und diese nun auch potentiell verlassen, sollten Aspekte der (Daten-)Sicherheit und des Datenschutzes eine nicht untergeordnete Rolle spielen. Neben aktuellen Datenschutz- und Überwachungsskandalen haben in der Vergangenheit Sicherheitsexperten und Hacker bereits mehrfach aufgezeigt, welche Probleme und Gefahren durch schlecht abgesicherte Systeme entstehen können. So war es beispielsweise möglich, mittels der OBD-Diagnoseschnittstelle (und nicht genormten Befehlssatz) sicherheitsrelevante Funktionen wie Bremsen zu beeinflussen (vgl. FORBES 2013). Weitere Manipulationen reichen vom künstlichen Auslösen von Fehlern (um Fahrzeuge auf diese Weise vollständig „stillzulegen“) bis zur Veränderung der Ausgabe von Anzeigeelementen, z.B. Geschwindigkeit und Tankstand: “Remote, targeted, and cross-device attacks as well as unintended infections are becoming increasingly possible as the car-makers are trying to find new ways of integrating Internet access and mobile device interaction into their vehicles” (KASPERSKY 2013). Diese Ergebnisse zeigen somit treffend die Probleme und Gefahren der technischen Entwicklung auf. Vor dem Hintergrund der potentiellen Aussagekraft der Daten (welche Begehrlichkeiten unterschiedlicher Akteure hervorrufen kann), besteht die Notwendigkeit einer künftig intensiveren Auseinandersetzung mit den Themen Privatsphäre und Datenschutz.

Quellenverzeichnis

ABTS, D. & MÜLDER, W. (2009): "Grundkurs Wirtschaftsinformatik - Eine kompakte und praxisorientierte Einführung". 6. überarb. u. erw. Aufl., Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

AG (2014): "Luftgütesensor - Wie der Luftgütesensor für gute Innenraumluft sorgt". Informationsportal der AutoScout24 GmbH, München. Online verfügbar unter: <http://www.autogenau.de/ratgeber/auto-lexikon/autolexikon-1/luftguetesensor.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

AJI, A. ET AL. (2013): "Hadoop-GIS: A High Performance Spatial Data Warehousing System over MapReduce". In: Scholl, M. H. et al. (Hg.), Proceedings VLDB Endowment (PVLDB) 6/2013, S. 1009 ff. Online verfügbar unter: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC3814183/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

ALT, O. (2009): "Car Multimedia Systeme Modell-basiert testen mit SysML". Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

AMBROSE, G. & HARRIS, P. (2010): "Design thinking. Fragestellung, Recherche, Ideenfindung, Prototyping, Auswahl, Ausführung, Feedback". Stiebner Verlag, München.

ANDRIENKO, G. & ANDRIENKO, N. (2009): "Visual Analytics for Geographic Analysis, Exemplified by Different Types of Movement Data". In: Popovich, V. et al. (Hg.), Information Fusion and Geographic Information Systems, Lecture Notes in Geoinformation and Cartography 2009, S. 3-17. Proceedings of the International Workshop Information Fusion and Geographic Information Systems (IF&GIS) 2009, St. Petersburg. Springer-Verlag, Heidelberg.

ANDRIENKO, G. & ANDRIENKO, N. (2006): "Exploratory analysis of spatial and temporal data - A systematic approach". Springer-Verlag, Berlin.

AOBDR (2014A): "Android-OBDR-Reader". Open Source Projekt, unter Mitarbeit von Pires, P.; Online verfügbar unter: <https://github.com/pires/android-obd-reader> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

AOBDR (2014B): "OBDR-II Java API". Open Source Projekt, unter Mitarbeit von Pires, P.; Online verfügbar unter: <https://github.com/pires/obd-java-api> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

AOBDR (2014C): "Webapp responsible for storing OBDR (Android OBDR Reader) readings". Open Source Projekt, unter Mitarbeit von Pires, P.; Online verfügbar unter: <https://github.com/pires/obd-server> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

APOS (2014): "APOS BT OBD 327 Produktabbildung". APOS GmbH Embedded Systems. Online verfügbar unter: <http://www.apos-gmbh.de/ressources/img/OBD.png> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

ASCHE, H. (2001): "Internet- und Papieratlanten - welchen Mehrwert bieten die neuen Meiden?". In: Asche, H. & Herrmann, C. (Hg.), Web.Mapping 1 - Raumbezogene Information und Kommunikation im Internet. Ergebnisse des ersten Symposiums "Web.mapping" 1999 an der Hochschule für Technik Karlsruhe. Wichmann Verlag, Heidelberg.

ASCHE, H. & ENGEMAIER, R. (2012): "From Concept to Implementation: Web-Based Cartographic Visualisation with CartoService". In: Murgante, B. et al. (Hg.), Computational Science and Its Applications ICCSA 2012. Proceedings of the 12th International Conference on Computational Science and Its Applications ICCSA 2012, Salvador de Bahia. Springer-Verlag, Berlin. Online verfügbar unter: http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-31075-1_31 (letzter Aufruf am 01.07.2014).

BAGLIONI, M. ET AL. (2009): "Towards Semantic Interpretation of Movement Behavior". In: Sester, M. et al. (Hg.), Advances in GIScience. Proceedings of the 12th AGILE Conference on Geographic Information Science. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer-Verlag, Berlin. Online verfügbar unter http://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-642-00318-9_14 (letzter Aufruf am 01.07.2014).

BARCELÓ, J. & KUWAHARA, M. (2010): "Traffic data collection and its standardization". In: Price, C. (Hg.), International series in operations research & management science, Vol. 144, S. 243 ff. Springer-Verlag, New York.

BARON, P. (2012): "Big Data für IT-Entscheider - Riesige Datenmengen und moderne Technologien gewinnbringend nutzen". Carl Hanser Verlag, München.

BDSG (2010): "Bundesdatenschutzgesetz". Bundesrepublik Deutschland, Stand: 11.06.2010 aufgrund Gesetzes vom 29.07.2009 (BGBl. I S. 2355). Online verfügbar unter: <http://dejure.org/gesetze/BDSG> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

BEDERSON, B. & SHNEIDERMAN, B. (2003): "The craft of information visualization. Readings and reflections". Morgan Kaufmann Elsevier Inc., London.

BERTIN, J. (1982): "Graphische Darstellungen und die graphische Weiterverarbeitung der Information". Walter de Gruyter, Berlin.

BIAT (2011): "E-OBD-Komponenten". Berufsbildungsinstitut Arbeit und Technik, Universität Flensburg (Hg.). Online verfügbar unter: http://www.biat.uni-flensburg.de/msc/ueberblick/Abgas/E_OBD_Komponenten.htm (letzter Aufruf am 01.07.2014).

BILL, R. (2010): "Grundlagen der Geoinformationssysteme". 5. vollst. neu bearb. Aufl., Wichmann Verlag, Berlin.

- BLFU (2013): "Berechnung der CO₂-Emissionen". Infozentrum UmweltWirtschaft des Bayrischen Landesamts für Umwelt, Augsburg. Online verfügbar unter: http://www.izu.bayern.de/praxis/detail_praxis.php?pid=0203010100217 (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- BMW (2013): "ConnectedDrive Spezial". Bayerische Motoren Werke AG, München. Online verfügbar unter: https://www.bmw.de/dam/brandBM/marketDE/countryDE/topics/fascination-bmw/connecteddrive/pdf/BMW_ConnectedDrive_Special.pdf. download.1378991016098.pdf (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- BOLLMANN, J. & KOCH, W.-G. (2005): "Lexikon der Kartographie und Geomatik". Digitale Ausgabe (CD-ROM). Spektrum Akademischer Verlag, Heidelberg.
- BOSCH (2013): "Neue fun2drive-App von Bosch bringt Fahrzeugdiagnose und Bordcomputer auf das Smartphone". Presseinformation PI8128, Robert Bosch GmbH, Stuttgart. Online verfügbar unter: <http://www.bosch-presse.de/presseforum/details.htm?txtID=6259> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- BRAESS, H.-H. (2011): "Vieweg-Handbuch Kraftfahrzeugtechnik". 7. aktual. Aufl., ATZ/MTZ-Fachbuch. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.
- BREITENBERGER, S. ET AL. (2004): "Extended Floating Car Data - Potenziale für die Verkehrsinformation und notwendigen Durchdringungsraten". In: Rohleder, M. (Hg.), Straßenverkehrstechnik, Heft 10/2004, S. 522–531. Kirschbaum Verlag, Bonn.
- BREWER, C. & HARROWER, M. (2014): "ColorBrewer 2.0 - color advice for cartography". The Pennsylvania State University. Online verfügbar unter: <http://www.colorbrewer2.com/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- BULLINGER, H. (2007): "Technologieführer - Grundlagen, Anwendungen, Trends". Springer-Verlag, Berlin.
- CARTODB (2014B): "CartoDB Developers Documentation". Vizzuality Inc., New York. Online verfügbar unter: <http://developers.cartodb.com/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- CARTODB (2014A): "Geospatial database for the cloud". Vizzuality Inc., New York. Online verfügbar unter: <https://github.com/CartoDB/cartodb> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- CARTODB (2014C): "torque - Temporal mapping for CartoDB using the SQL API". Vizzuality Inc., New York. Online verfügbar unter: <https://github.com/CartoDB/torque> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- CARTODB (2012D): "Mapping time using CartoDB to enable bigdata on the client". Unter Mitarbeit von Hill, A. & Tokumine, S., Vizzuality Inc., New York. Online verfügbar unter: http://gijs.github.io/images/cartodb_datacubes.pdf (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- CRAMPTON, J.. W. (2002): "Interactivity Types in Geographic Visualization". John Wiley & Sons, Hoboken.

- DAIMLER AG (2013): "S 500 Intelligent Drive fährt autonom auf den Spuren von Bertha Benz". Daimler AG, Stuttgart. Online verfügbar unter: <http://www.daimler.com/dccom/0-5-1625161-49-1625165-1-0-0-1625162-0-0-135-0-0-0-0-0-0-0.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- DAIMLER AG (2014): "Autonome Langstreckenfahrt - Forschungsfahrzeug Mercedes-Benz S500 Intelligent Drive". Daimler AG, Stuttgart. Online verfügbar unter: <http://www5.mercedes-benz.com/de/innovation/autonome-langstreckenfahrt-forschungsfahrzeug-s-500-intelligent-drive/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- DIAMEX (2014): "Diagnosegerät AGV4000 Produktabbildung". Diamex Produktion und Handel GmbH, Berlin. Online verfügbar unter: <http://www.agv4000.de/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- DIETSCHKE, K.-H. & REIF, K. (2011): "Kraftfahrtechnisches Taschenbuch". 27., überarb. u. erw. Aufl., Kfz-Fachwissen kompakt. Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.
- DOBORJGINIDZE, G. (2005): "Analyse der Entwicklung intermodaler Logistik-Netzwerke in mittel- und osteuropäischen Ländern". Kölner Wiss.-Verlag, Köln.
- DOCTOROW, C. (2011): "The Coming War on General Purpose Computation". Vortrag auf dem 28. Chaos Communication Congress 2011 (28C3), Berlin. Online verfügbar unter: <http://boingboing.net/2011/12/27/the-coming-war-on-general-purp.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- DOPUX (2012): "Was ist DOPUX 1?". DOPUX Konsortium (www.dopux.eu), AUDIO MOBIL Elektronik GmbH, Ranshofen. Online verfügbar unter: http://telematikmarkt.de/sites/default/files/dopuxr1_produktblatt_d_v1.03.pdf (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- DRANSCH, D. (1997): "Computer-Animation in der Kartographie - Theorie und Praxis". Springer-Verlag, Berlin.
- DTAG (2013): "Vernetzte Fahrzeuge bringen Big Data ins Rollen". Deutsche Telekom AG, Bonn. Online verfügbar unter: <http://www.telekom.com/medien/medienmappen/179578> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- EDSALL, R. ET AL. (2009): "Interactive maps for exploring spatial data". In Madden, M. (Hg.): Manual of geographic information systems. American Society for Photogrammetry and Remote Sensing, Bethesda.
- EGNER, H. (2011): "Diercke Wörterbuch Geographie - Raum, Wirtschaft, Gesellschaft und Umwelt". 15. völlig überarb. Aufl., Westermann Verlag, Braunschweig.
- EMOND, J. & STEINS, C. (2011): "Pro web project management". Expert's voice in Web development. Apress, Springer Science + Business Media, New York.
- ENVIROCAR (2014): "enviroCar Projekt Webseite". 52°North GmbH und Institut für Geoinformatik der Universität Münster. Online verfügbar unter: <https://www.envirocar.org/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

- ESURANCE (2014): "DriveSafe". Esurance Insurance Services Inc., Atlanta. Online verfügbar unter: <https://www.esurance.com>, <http://blog.esurance.com/drivesense-discount/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- RADU, A. ET AL. (2013): "Digital Traveler Assistant". In: Ferrier, J.-L. et al. (Hg.), Informatics in control, automation and robotics. Proceedings of the 8th International Conference on Informatics in Control, Automation and Robotics ICINCO 2011, Noordwijkerhout, S. 201, Springer-Verlag, Berlin.
- FISCHER, D. (2000): "PKW-Klimatisierung - Klimakonzepte, Regelungsstrategien und Entwicklungsmethoden für Fahrzeuge mit deutlich reduziertem Kraftstoffverbrauch". Expert-Verlag, Renningen-Malmsheim.
- FORBES (2013): "Hackers Reveal Nasty New Car Attacks". Unter Mitarbeit von Andy Greenberg. Forbes Inc., New York. Online verfügbar unter: <http://www.forbes.com/sites/andygreenberg/2013/07/24/hackers-reveal-nasty-new-car-attacks-with-me-behind-the-wheel-video/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- FRAUNHOFER ISI (2014): "Markthochlaufszszenarien für Elektrofahrzeuge". Fraunhofer-Institut für System- und Innovationsforschung (ISI). Online verfügbar unter: <http://www.isi.fraunhofer.de/isi-wAssets/docs/e/de/publikationen/Fraunhofer-ISI-Markthochlaufszszenarien-Elektrofahrzeuge-Langfassung.pdf> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- GENNICK, J. (2010): "SQL pocket guide". 3. Aufl., O'Reilly Verlag, Sebastopol.
- GEO SERVER (2014): "GeoServer is an open source server for sharing geospatial data". The GeoServer Open Source Project. Online verfügbar unter: <http://www.geoserver.org/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- GERIGK, P. (2009): "Kraftfahrzeugtechnik". 7. aktual. Aufl., Westermann Verlag, Braunschweig.
- GOOGLE (2010): "What we're driving at". Google Inc., Mountain View. Online verfügbar unter: <http://googleblog.blogspot.de/2010/10/what-were-driving-at.html#!/2010/10/what-were-driving-at.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- GOOGLE (2014): "Vehicle connector lockout apparatus and method of using same". Google Inc., Mountain View. Online verfügbar unter: <http://www.google.ca/patents/US7553173> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- GROSSKOPF, L. (2002): "Rechte an privat erhobenen Geo- und Telemetriedaten". In: Angewandte Geoinformatik 2012, Beiträge zum 24. AGIT-Symposium Salzburg. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- HAKE, G. ET AL. (2002): "Kartographie. Visualisierung raum-zeitlicher Informationen". 8. neu bearbeitete und erw. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin.
- HALBRITTER, G. ET AL. (2008): "Strategien für Verkehrsinnovationen - Umsetzungsbedingungen, Verkehrstelematik, internationale Erfahrungen". In: Banse,

G. et al. (Hg.), Global zukunftsfähige Entwicklung - Perspektiven für Deutschland, Band 14. Edition Sigma, Berlin.

HAMMER, N. (2008): "Mediendesign für Studium und Beruf - Grundlagenwissen und Entwurfssystematik in Layout, Typografie und Farbgestaltung". X.press.media, Springer-Verlag, Berlin.

HBS (2009): "Handbuch für die Bemessung von Strassenverkehrsanlagen". Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen FGSV Verlag, Köln.

HEIDMANN, F. (2012): "Interaktive Karten und Geovisualisierungen". In: Weber, W.; Burmester, M.; Tille, R. (Hg.), Interaktive Infographiken. X.media.press, Springer-Verlag, Berlin.

HEISE (2014C): "Apple stellt CarPlay vor". Unter Mitarbeit von mfz@heise.de, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover. Online verfügbar unter: <http://www.heise.de/autos/artikel/Apple-stellt-CarPlay-vor-2130763.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

HEISE (2014F): "EU-Parlament: Automatischer Auto-Notruf eCall ab 2015". Unter Mitarbeit von jk@ct.de, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover. Online verfügbar unter: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/EU-Parlament-Automatischer-Auto-Notruf-eCall-ab-2015-2125118.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

HEISE (2014E): "EU-Rat beschließt Auto-Notruf eCall". Unter Mitarbeit von anw@ct.de, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover. Online verfügbar unter: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/EU-Rat-beschliesst-Auto-Notruf-eCall-2198684.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

HEISE (2014B): "Metro-Look im Auto: Microsoft verbindet Infotainment und Windows Phone". Unter Mitarbeit von nij@ct.de, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover. Online verfügbar unter: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Metro-Look-im-Auto-Microsoft-verbindet-Infotainment-und-Windows-Phone-2164485.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

HEISE (2014A): "T-Systems will Autofahrer mit Händlern vernetzen". Unter Mitarbeit von anw@ct.de, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover. Online verfügbar unter: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/T-Systems-will-Autofahrer-mit-Haendlern-ernetzen-2140586.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

HEISE (2014D): "Warum Elektroautos noch nicht ins Rollen kommen". Unter Mitarbeit von anw@ct.de, Heise Zeitschriften Verlag, Hannover. Online verfügbar unter: <http://www.heise.de/newsticker/meldung/Warum-Elektroautos-noch-nicht-ins-Rollen-kommen-1947351.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

HOEPKE, E. & BREUER, S. (2013): "Nutzfahrzeugtechnik - Grundlagen, Systeme, Komponenten". 7. überarb. u. erw. Aufl., Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

IKG (2014): "RainCars - Rainfall estimation using moving cars as rain gauges". Unter Mitarbeit von Sester, M. et al., Institut für Kartographie und Geoinformatik der

Universität Hannover. Online verfügbar unter: <http://www.ikg.uni-hannover.de/raincars.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

Invent (2010): "Netzausgleich Individualverkehr NIV". Intelligent Traffic and userfriendly technology (Invent) - Eine Forschungsinitiative deutsche Unternehmen, gefördert vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF). Online verfügbar unter: <http://www.invent-online.de/downloads/NIV-handout-D.pdf> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

IPPISCH, T. & THIESSE, F. (2007): "Das Pay-as-you-drive (PAYD)-Konzept in der Versicherungswirtschaft - Innovative Services und attraktive Prämienmodelle durch vermehrten Technologieeinsatz in der Versicherungsbranche". The Mobile and Ubiquitous Computing Lab (M-Lab), Universität St. Gallen. Online verfügbar unter: [http://www.m-lab.ch/docs/WP34_Das_Pay-as-you-drive_\(PAYD\)-Konzept_in_der_Versicherungswirtschaft.pdf](http://www.m-lab.ch/docs/WP34_Das_Pay-as-you-drive_(PAYD)-Konzept_in_der_Versicherungswirtschaft.pdf), zuletzt aktualisiert am 26.02.2014 (letzter Aufruf am 01.07.2014).

JÄGER, U. & REINECKE, S. (2009): "Das Expertengespräch als zentrale Form einer qualitativen Befragung". In: Baumgarth et al. (Hg.): Empirische Mastertechniken der Marketing- und Managementforschung. Gabler Verlag, Wiesbaden.

JIRKA, S. ET AL. (2014): "enviroCar - Crowdsourcing automobiler Sensordaten für den nachhaltigen Straßenverkehr". In: Seyfert, E. et al. (Hg.): Geoinformationen öffnen das Tor zur Welt. 34. Wissenschaftlich-Technische Jahrestagung der Deutsche Gesellschaft für Photogrammetrie, Fernerkundung und Geoinformation e.V. (DGPF) 2014, Hamburg, DGPF-Tagungsband 23. Online verfügbar unter: <http://www.dgpf.de/neu/Proc2014/proceedings/papers/Beitrag136.pdf> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

KAHMEN, H. (2006): "Angewandte Geodäsie und Vermessungskunde". 20. vollst. neu bearb. Aufl., Walter de Gruyter, Berlin.

KASPERSKY (2013): "Is It Possible to Hack My Car?" Unter Mitarbeit von Donohue, B., Kaspersky Labs ZAO, Moskau. Online verfügbar unter: <http://blog.kaspersky.com/is-it-possible-to-hack-my-car/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

KIT (2011): "Ohne Fahrer, aber im Windschatten". Presseinformation 073/2011, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Karlsruhe. Online verfügbar unter: http://www.kit.edu/besuchen/pi_2011_6778.php (letzter Aufruf am 01.07.2014).

KOHLSTOCK, P. (2004): "Kartographie - Eine Einführung". 2. überarb. Aufl., Verlag Ferdinand Schöningh, Paderborn.

KRAAK, M.-J. & MAC EACHREN, A. M. (2001): "Research Challenges in Geovisualization". In: Leitner, M. (Hg.), Cartography and Geographic Information Science, Band 28/1. International Cartographic Association, Taylor & Francis, Oxford.

KRAAK, M.-J. ET AL. (2002): "Cartographic Animation and legends for temporal maps: exploration and interaction". In: Cartwright, W. et al. (Hg.), Multimedia Cartography, Second Edition. Springer-Verlag, Berlin.

- KRAMPE, ET AL. (2013): "FCD Modellregion Salzburg - Einsatz und Nutzen von Extended Floating Car Data im Bundesland Salzburg". In: Strobl, J. et al. (Hg.): Angewandte Geoinformatik 2013, Beiträge zum 25. AGIT-Symposium Salzburg. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- KRISP, J. M. (2013): "Progress in location-based services". In: Lecture notes in geoinformation and cartography. Springer-Verlag, New York.
- KUHN, D. & RAITH, M. (2013): "Performante Webanwendungen - Client- und serverseitige Techniken zur Performance-Optimierung". dpunkt Verlag, Heidelberg.
- DE LANGE, N. (2013): "Geoinformatik in Theorie und Praxis". 3. vollst. überarb. Aufl., Springer-Verlag, Berlin.
- LIEBOLD, R. & TRINCZEK, R. (2009): "Experteninterview". In: Kühl, S. et al. (Hg.), Handbuch Methoden der Organisationsforschung - Quantitative und Qualitative Methoden. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- LOHSE, D. & SCHNABEL, W. (2011): "Grundlagen der Straßenverkehrstechnik und Verkehrsplanung". 3. vollst. überarb. Aufl., Beuth Verlag, Berlin.
- LORKOWSKI, S. ET AL. (2003): "Erste Mobilitätsdienste auf Basis von Floating Car Data". In: Beckmann, J. K. et al. (Hg.): Stadt, Region, Land - Tagungsband zum 4. Aachener Kolloquium "Mobilität und Stadt" (AMUS). Institut für Stadtbauwesen der RWTH Aachen.
- MACEACHREN, A. M. (2004): "How maps work - representation, visualization, and design". Guilford Press, New York.
- MAPBOX (2014): "Mapbox - Design and publish beautiful maps". Mapbox, Inc., Washington. Online verfügbar unter: <https://www.mapbox.com/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- MCKINSEY (2011): "Big data: The next frontier for innovation, competition, and productivity". McKinsey Global Institute, McKinsey & Company, Inc., New York. Online verfügbar unter: https://www.mckinsey.com/~media/McKinsey/dotcom/Insights%20and%20pubs/MGI/Research/Technology%20and%20Innovation/Big%20Data/MGI_big_data_exec_summary.ashx (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- METROMILE (2014): "Per-mile insurance". MetroMile, Inc., San Francisco. Online verfügbar unter: <https://www.metromile.com/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- MEUSER, M. & NAGEL, U. (2009): "Das Experteninterview - konzeptionelle Grundlagen und methodische Anlage". In: Pickel, S. et al. (Hg.): Methoden der vergleichenden Politik- und Sozialwissenschaft - Neue Entwicklungen und Anwendungen. VS Verlag für Sozialwissenschaften, Wiesbaden.
- MONMONIER, M. (1990): "Strategies for the visualization of geographic time-series data". In: Cartographica, Vol. 27, No. 1, S. 30-45. University of Toronto Press. Online verfügbar

- unter: <http://utpjournals.metapress.com/content/u558h73765778u31/fulltext.pdf> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- MURRAY, S. (2013): "Interactive data visualization for the web - An Introduction to Designing with D3". First Edition, O'Reilly Verlag, Sebastopol.
- NCAST (2013): "National OBD Clearinghouse". National Center for Automotive Science and Technology, Weber State University, Ogden. Online verfügbar unter: <http://www.obdclearinghouse.com/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- OCS (2014): "Oakland Crime Spotting". Stamen Design LLC, San Francisco. Online verfügbar unter: <http://oakland.crimespotting.org/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- OGC (2014): "Sensor Web Enablement (SWE)". Open Geospatial Consortium (OGC). Online verfügbar unter: <http://www.opengeospatial.org/ogc/markets-technologies/swe/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- PFADENHAUER, M. (2009): "Das Experteninterview - Ein Gespräch auf gleicher Augenhöhe". In: Buber, R. (Hg.): Qualitative Marktforschung - Konzepte, Methoden, Analysen. 2. überarb. Aufl., Gabler Verlag, Wiesbaden.
- pgROUTING (2014): "pgRouting extends the PostGIS / PostgreSQL geospatial database to provide geospatial routing functionality". pgRouting Open Source Community. Online verfügbar unter: <http://www.pgrouting.org/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- PIAB (2014): "Leitmarkt und Leitanbieter für Elektromobilität". Presse- und Informationsamt der Bundesregierung (PIAB). Online verfügbar unter: http://www.bundesregierung.de/Webs/Breg/DE/Themen/Energiewende/Mobilitaet/podcast/_node.html (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- PLÖSSL, K. (2009): "Mehrseitig sichere Ad-hoc-Vernetzung von Fahrzeugen". Gabler Verlag, Wiesbaden.
- PROGRESSIVE (2014): "Auto Insurance Snapshot". The Progressive Corporation, Mayfield Village. Online verfügbar unter: <http://www.progressive.com/auto/snapshot-how-it-works/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- QUASCHNING, V. (2013): "Erneuerbare Energien und Klimaschutz - Hintergründe, Techniken Anlagenplanung, Wirtschaftlichkeit". Carl Hanser Verlag, München.
- RÄBER, S. & JENNY, B. (2003): "Karten im Netz - ein Plädoyer für mediengerechte Kartengrafik". In: Asche, H. & Herrmann, C. (Hg.): Web.Mapping 2 - Telekartographie, Geovisualisierung und mobile Geodienste. S. 57-76. Wichmann Verlag, Heidelberg.
- RAUTENSTRAUCH, C. (2001): "Informatik für Wirtschaftswissenschaftler und Wirtschaftsinformatiker". Springer-Verlag, Berlin.
- RECHENBERG, P. & POMBERGER, G. (2006): "Informatik-Handbuch". 4. aktual. u. erw. Aufl., Carl Hanser Verlag, München.

- REIF, K. (2012B): "Automobilelektronik - Eine Einführung für Ingenieure". 4. überarb. Aufl., Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.
- REIF, K. (2012A): "Sensoren im Kraftfahrzeug". 2. Aufl., Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.
- REMON (2013): "REMON - Real Time Monitoring of Urban Transport". Institute for International Urban Research International Academy (INA) der Freien Universität Berlin (FUB). Online verfügbar unter: <http://www.remon-hanoi.net/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- SCHÄFFER, F. (2012): "OBD - Fahrzeugdiagnose in der Praxis". Franzis Verlag, Haar bei München.
- SCHNABEL, O. (2007): "Benutzerdefinierte Diagrammsignaturen in Karten - Konzepte, Formalisierung und Implementierung". Dissertation, Eidgenössische Technische Hochschule (ETH), Zürich.
- SCHUMANN, H. & MÜLLER, W. (2000): "Visualisierung - Grundlagen und allgemeine Methoden". Springer-Verlag, Berlin.
- SDV (2014): "S-Drive, der erste Telematik-Sicherheits-Service in Deutschland". Sparkassen Direktversicherung AG (S-Direkt). Online verfügbar unter: <https://www.sparkassen-direkt.de/telematik.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- SHEKHAR, S. & XIONG, H. (2008): "Encyclopedia of Geographical Information Sciences". Springer-Verlag, New York.
- SHNEIDERMAN, B. (1996): "The Eyes Have It: A Task by Data Type Taxonomy for Information Visualizations". In: Proceedings of the IEEE Symposium on Visual Languages 1996 at Boulder, S. 336-343. IEEE Computer Society, Washington.
- STAPELKAMP, T. (2010): "Interaction- und Interfacedesign - Web-, Game-, Produkt- und Systemdesign. Usability und Interface als Corporate Identity". X.media.press, Springer-Verlag, Berlin.
- STIGLER, H. & FELBINGER, G. (2005): "Der Interviewleitfaden im qualitativen Interview". In: Stiegler, H. (Hg.): Praxisbuch Empirische Sozialforschung: in den Erziehungs- und Bildungswissenschaften. S. 129-134. StudienVerlag, Innsbruck.
- TANENBAUM, A. S. & WETHERALL, D. J. (2012): "Computernetzwerke". 4. aktual. Aufl., Addison-Wesley Verlag, München.
- VGT (2014): "Empfehlungen der Arbeitskreise". 52. Deutsche Verkehrsgerichtstag (VGT), Goslar. Online verfügbar unter: http://www.deutscher-verkehrsgerichtstag.de/images/empfehlungen_pdf/Gesamt_Empfehlungen_52._VGT_2014.pdf (letzter Aufruf am 01.07.2014).
- VMZ BERLIN (2014): "Geschäftsbereich Verkehrsinformationszentrale (VIZ)". VMZ Berlin Betreibergesellschaft mbH. Online verfügbar unter: <http://www.vmzberlin.com/viz/> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

VWAG (2014): "Volkswagen Konzern erwartet neue Ära der Digitalisierung". Vorstandsvorsitzender Prof. Dr. Martin Winterkorn anlässlich, der Eröffnungsfeier der CeBIT 2014 in Hannover. Volkswagen AG, Wolfsburg. Online verfügbar unter: http://www.volkswagenag.com/content/vwcorp/info_center/de/themes/2014/03/CeBIT.html (letzter Aufruf am 01.07.2014).

WALLACE, T. & WOODRUFF, A. (2011): "MBTA Bus Speeds Map". Online verfügbar unter: http://bostonography.com/wp-content/uploads/2011/11/mbta_1104_labels.jpg (letzter Aufruf am 01.07.2014).

WINNER, H. (2008): "Handbuch Fahrerassistenzsysteme - Grundlagen, Komponenten und Systeme für aktive Sicherheit und Komfort". Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

WOHLGEMUTH, S. (2009): "Privatsphäre durch die Delegation von Rechten". Vieweg + Teubner Verlag, Wiesbaden.

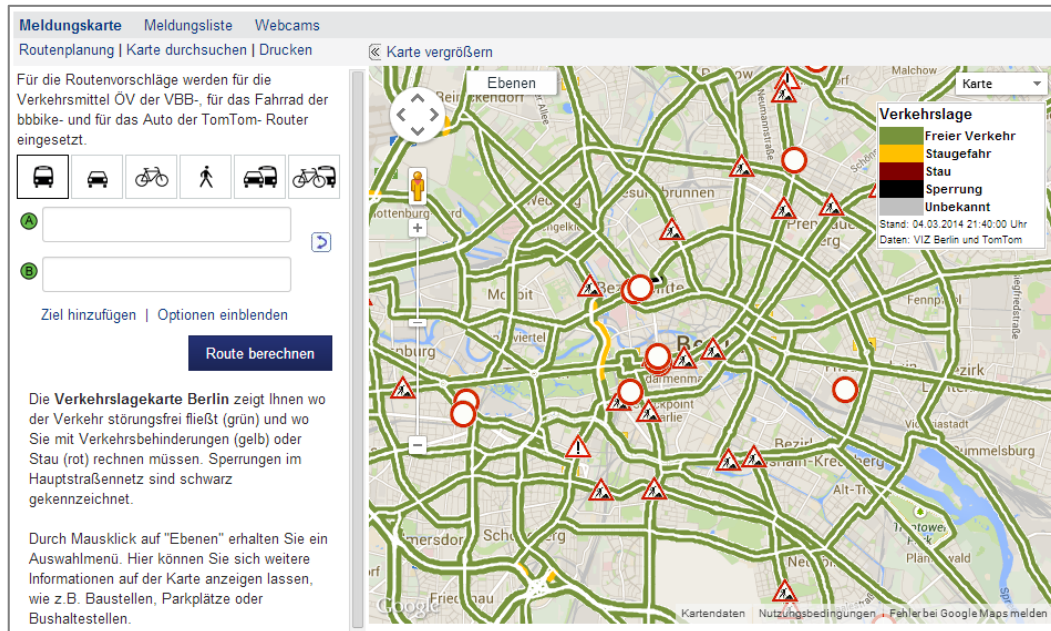
WOLFF, M. & ASCHE, H. (2009): "Towards Geovisual Analysis of Crime Scenes - A 3D Crime Mapping Approach". In: Bernard, L. et al (Hg.), Advances in GIScience, Proceedings of the 12th AGILE Conference 2009, Hannover. Lecture Notes in Geoinformation and Cartography, Springer-Verlag, Berlin.

XXLTECH (2014): "Diagnosegerät NX200 Produktabbildung". KWP2000 Ltd. & Co. KG, Fürstenwalde. Online verfügbar unter: <http://www.xxltech.com/nx200-features.html> (letzter Aufruf am 01.07.2014).

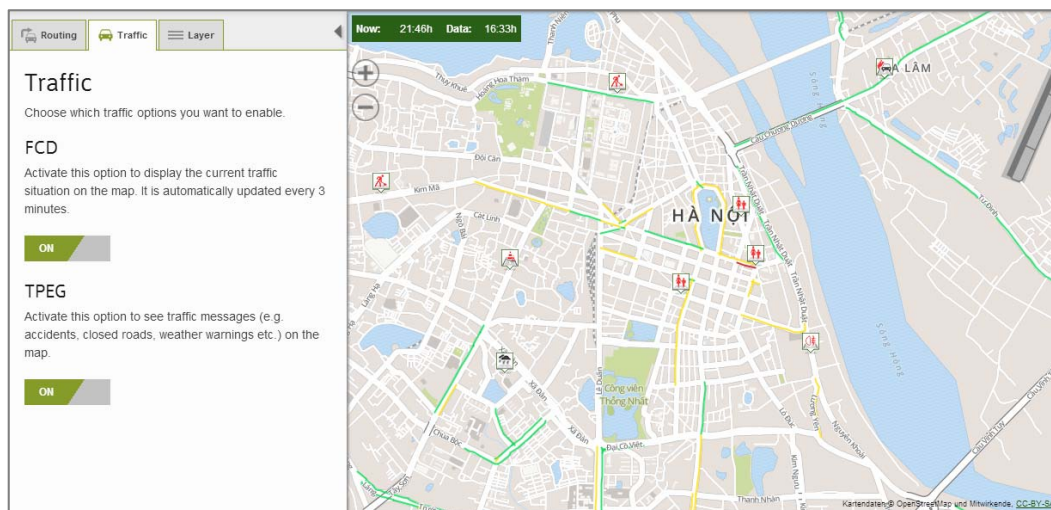
ZIMMERMANN, A. (2011): "Basismodelle der Geoinformatik - Strukturen, Algorithmen und Programmierbeispiele in Java". Carl Hanser Verlag, München.

Anhang

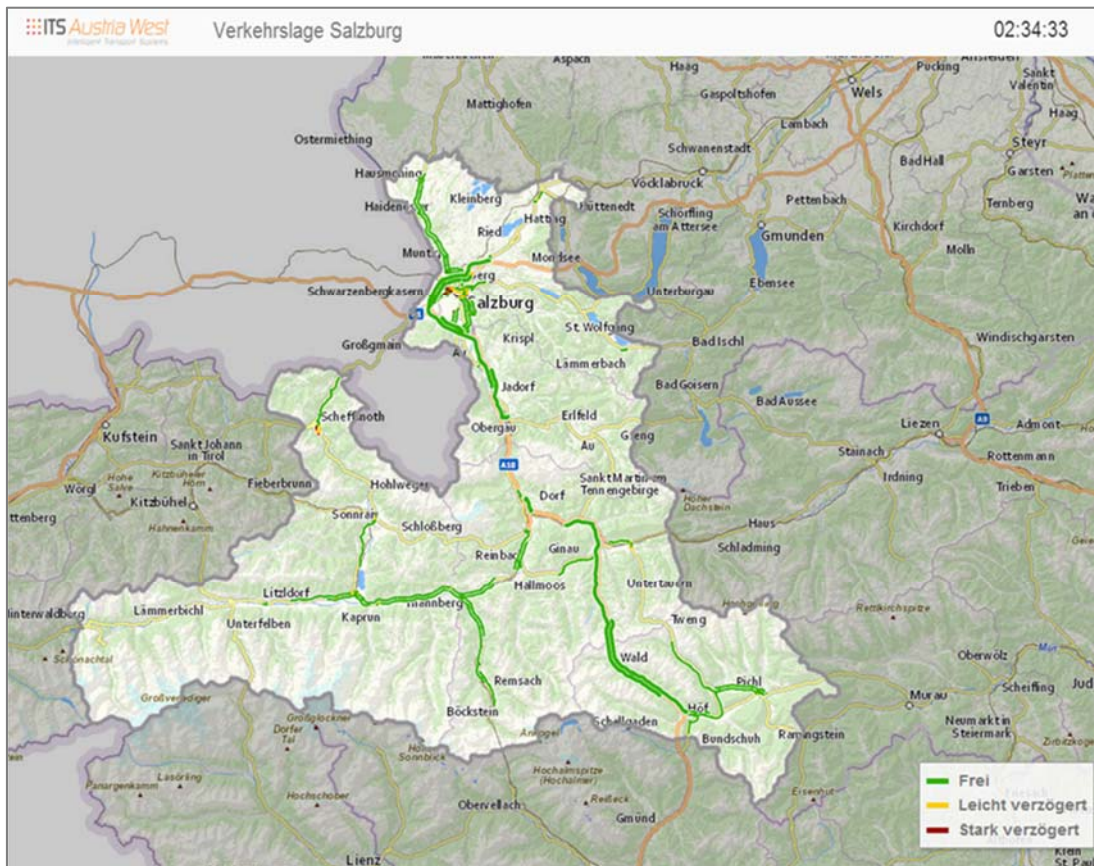
Anhang A: Verkehrslagekarten durch FCD u. XFC



1) Webbasierte Verkehrslagekarte von Berlin (Verkehrsinformationszentrale Berlin).
Quelle: <http://viz-info.de/2>



2) Webbasierte Verkehrslagekarte von Hanoi (REMON TrafficViewer).
Quelle: <http://www.remon-hanoi.net/>

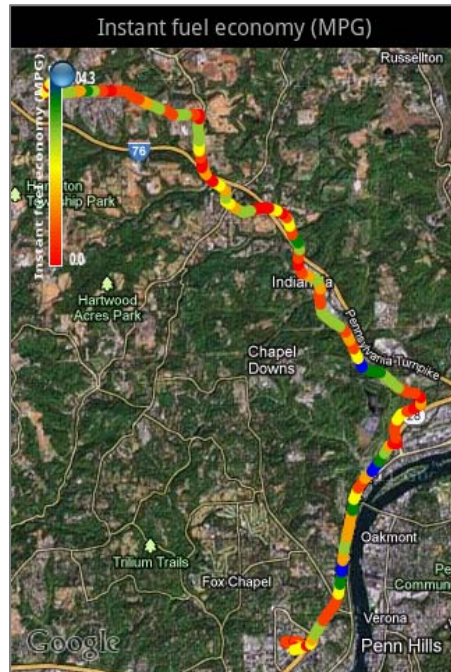
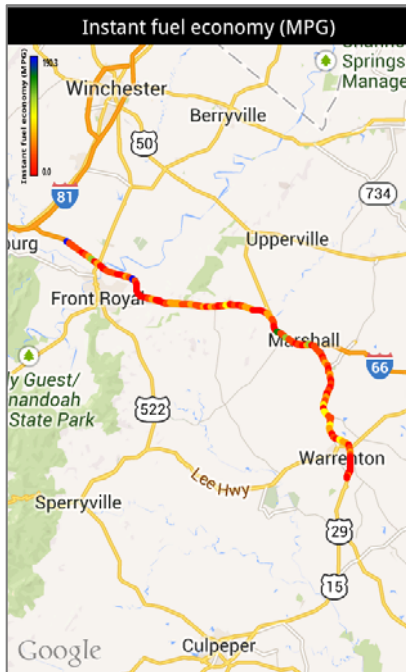


3) Webbasierte Verkehrslagekarte des Landes Salzburg (Projekt „FCD Modellregion Salzburg“). Quelle: <https://www.its-austriawest.at/salzburg/verkehrslage/>

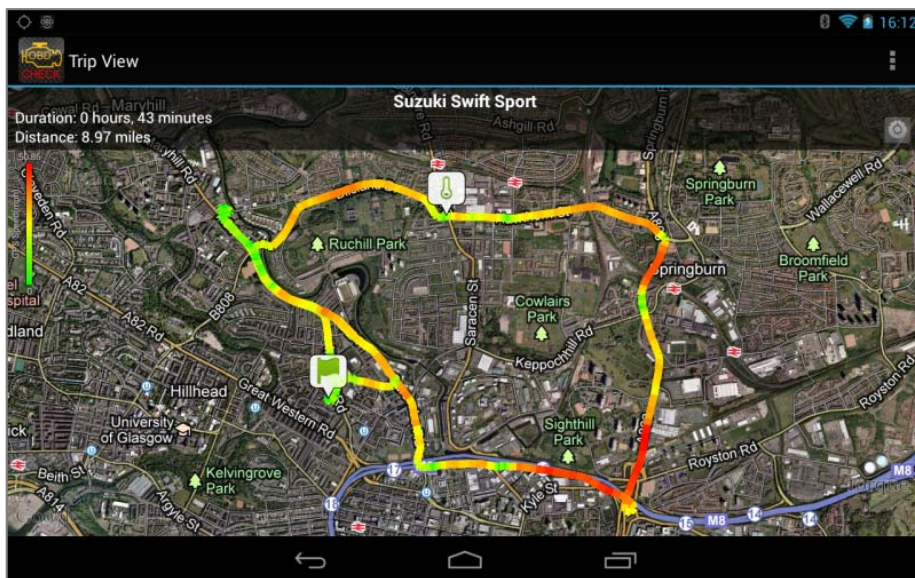
Bereich	Sensor	Fahrzeugsystem
Antrieb	Drucksensor	Getriebesteuerung, Motorsteuerung
	Ladedrucksensor	Motorsteuerung, Dieselregelung
	Luftmassesensor	Motorsteuerung
	Temperatursensor	Motorsteuerung
	Klopfsensor	Motorsteuerung
	Umgebungsdrucksensor	Motorsteuerung
	Hochdrucksensor	Motorsteuerung
	Lambda Sonde	Motorsteuerung, On Board Diagnose
	Drehzahlsensor	Getriebesteuerung, Motorsteuerung
	Tankdrucksensor	On Board Diagnose
	Pedalweggeber	Elektr. Gaspedal, Bremse
Winkel-/Positionsgeber	Motorsteuerung	
Komfort	Drehratesensor	Navigation
	Luftgütesensor	Klimaregelung
	Temperatursensor	Heizungs- und Klimaregelung
	Feuchtesensor	Heizungs- und Klimaregelung
	Drucksensor	Zentralverriegelung
	Regensensor	Scheibenwischersteuerung
	Abstandssensor	Rückraumüberwachung
Sicherheit	Abstandsradar	Geschwindigkeitsregelung ACC
	Neigungssensor	Scheinwerferverstellung
	Hochdrucksensor	Elektr. Stabilitätsprogramm ESP
	Drehmomentsensor	Servolenkung
	Lenkradwinkelsensor	Elektr. Stabilitätsprogramm ESP
	Beschleunigungssensor	Airbag
	Sitzbelegungssensor	Airbag
	Drehratesensor	ESP, Überrollsensierung
	Beschleunigungssensor	Anti Blockier System ABS
	Neigungssensor	Sicherungssysteme
Drehzahlsensor	Anti Blockier System ABS	

2) Tabellarische Übersicht zu Sensoren mit Zuordnung zu Anwendungsbereich und Fahrzeugsystem. Quelle: nach REIF 2012A, 10.

Anhang C: Kartenbasierte Visualisierung von XFCD



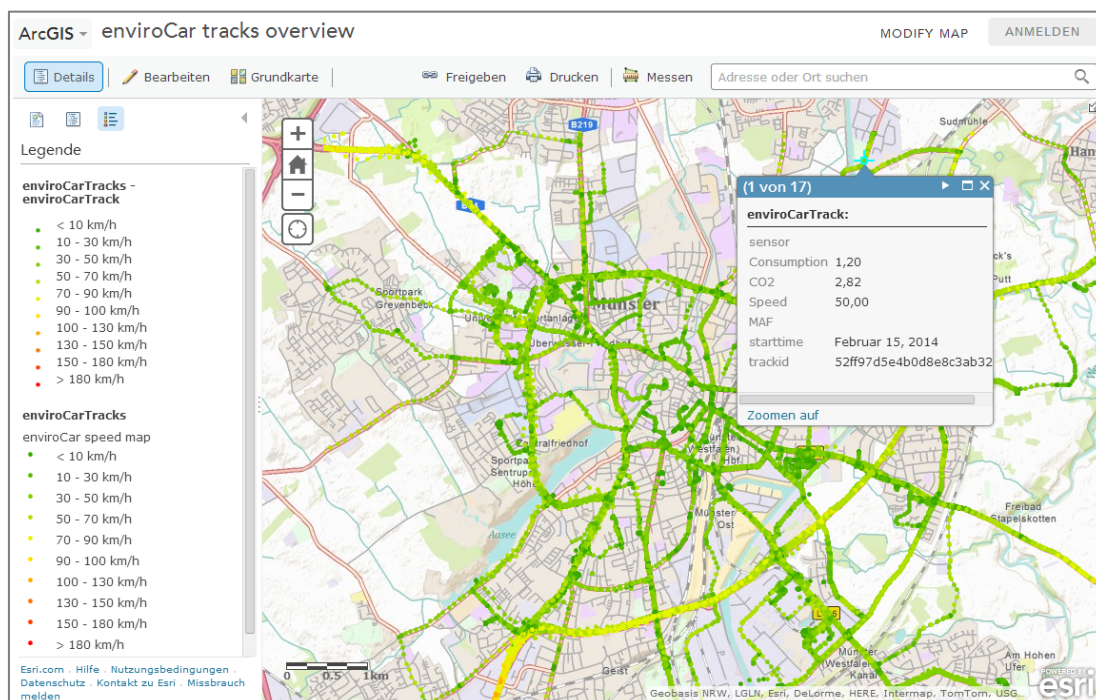
1) Visualisierung auf Grundlage von Google Maps in der Android App „TouchScan”.
Quelle: <http://www.obdsoftware.net/>



2) Visualisierung auf Grundlage von Google Maps in der Android App „Torque Pro”.
Quelle: http://i39.photobucket.com/albums/e195/pc_wilson/



3) Visualisierung mit Google Earth in „OBD GPS Logger“ (Mac, Linux, Windows).
Quelle: <http://www.icculus.org/obdgpslogger/>



4) Visualisierung mit ESRI ArcGIS-Online im Projekt „EnviroCar“.
Quelle: <http://www.envirocar.org/>

Anhang D: Interviewleitfaden Experteninterviews

Geschätzter Zeitbedarf pro Interview: ca. 60 Minuten

Abschnitt I) Einleitung / Vorspann

- Erlaubnis des Experten das Interview aufzuzeichnen
- Vorstellung von Idee und geplantem Vorgehen
- Begründung für Auswahl des jeweiligen Experten
- erhoffte Erkenntnisse aus dem Interview

Abschnitt II) Hauptteil

Block 1: Anwendungen und Potentiale von FCD und xFCD

Nr.	Frage
1-1	<p>FCD (Floating Car Data) = Position + Zeit XFCD (Extended Floating Car Data) = FCD + Fahrzeugelektronikdaten</p> <p>Wie denken Sie über den Einsatz von FCD/XFCD für das Umwelt-/Verkehrsmonitoring? Sind Ihnen Anwendungsbeispiele bzw. Projekte bekannt, bei denen FCD/XFCD zum Zwecke des Umwelt-/Verkehrsmonitoring erfasst und verwendet werden?</p>
1-2	<p>Welche dieser beiden Formen räumen Sie mehr Gewicht ein? Ist es überhaupt notwendig zusätzlich zu FCD auch weitere (Fahrzeugelektronik-)Daten zu erheben und wenn ja, wie schätzen sie den Mehrwert von XFCD zu FCD ein?</p>
1-3	<p>Durch XFCD werden Kraftfahrzeuge zu mobilen Sensoren. Gibt es Ihres Wissens andere Technologien (Auswertung von Kamerabilder, Induktionsschleifen, Road Side Units,...), die in Bezug auf Aufwand und Nutzen mit der Verwendung von XFCD in Konkurrenz stehen?</p>

Block 2: Anforderungen aus Sicht des Umwelt-/Verkehrsmonitoring

Nr.	Frage
2-1	Welche Anforderungen und Ziele der Nutzung und Verarbeitung von XFCD sehen Sie speziell für den Bereich des Umwelt-/Verkehrsmonitoring?
2-2	Welche nützlichen Informationen über das (allgemeine) Fahrverhalten können durch Fahrzeugelektronik bzw. XFCD geliefert werden und welcher Mehrwert kann aus diesen Informationen für Entscheidungsträger in der Stadt-/Umwelt-/Verkehrsplanung generiert werden? Kurz: Welche Anwendungen, Sensordaten und Sachverhalte sind aus Ihrer Sicht besonders interessant?
2-3	Welche Eigenschaften sollte ein Softwaresystem zum Zwecke des Umwelt- und Verkehrsmonitoring bieten? Bestehen spezielle Anforderungen an Visualisierung, Funktion und Benutzerinteraktion?
2-4	Neben der Anforderung, dass die verwendeten XFCD Daten möglichst aktuell vorliegen sollten, ist die möglichst feingliedrige Erfassung anzustreben. Wie ist in diesem Zusammenhang das Abfrageintervall der Fahrzeugelektronikdaten zeitlich bzw. räumlich (oder auch ereignisorientiert) anzusetzen?

Block 3: Visualisierung von XFCD

Nr.	Frage
3-1	Ist für die Analyse einer XFCD-Datenmenge („bigdata“) neben automatisierten Methoden eine visuelle Analyse Ihrer Meinung nach wichtig und wenn ja, warum?
3-2	Welchen Anforderungen muss die Visualisierung von XFCD speziell zum Zweck des Monitorings und der Planung gerecht werden?
3-3	Wie schätzen Sie den Stellenwert einer kartographischen Visualisierung (zur Analyse) ein?
3-4	Stellt die Kombination aus kartographischen Darstellungsmethoden bzw. kartographischer Visualisierung und Informations-visualisierung ein geeignetes Mittel dar?

- 3-5 Welche Maßstabsebenen kommen hierbei zum Einsatz und bestehen aus Ihrer Sicht spezielle Anforderungen in Bezug auf Generalisierung und Klassifizierung?

Block 4: Daten, Datenschutz und kritische Betrachtung

Nr.	Frage
4-1	Die flächendeckende Auswertung von XFCD erfordert einen zentralen Dienst, zumindest zur Datenhaltung. Sofern ein solcher Dienst bzw. eine zentrale Datenhaltung anzustreben ist, bei welcher Institution wäre dieser am ehesten anzusiedeln (z.B. Automobil- bzw. Privatwirtschaft, Staat, NGO)?
4-2	In Bezug auf Datenübermittlung und Datenhaltung: Sollten möglichst alle verfügbaren XFCD-Rohdaten eines Fahrzeugs an einen zentralen Dienst übermittelt werden oder ist es vorzuziehen, die zu übermittelnde Datenmenge möglichst gering zu halten, z.B. in dem onBoard-Einheiten die Berechnung von Kenngrößen übernehmen (z.B. Verkehrslage, auch in Kooperation mit anderen Fahrzeugen via Car2Car) und somit nur ausgewählte und aufbereitete Daten übermittelt werden?
4-3	Ist eine Anonymisierung der Daten sinnvoll und erforderlich? Wenn ja, stellt die Modifizierung von Start- und Endpunkt (des indiv. Fahrzeug-Tracks durch Löschen) mittels Buffer, Länge oder Netzwerkknoten (bzw. deren random-Varianten) geeignete Methoden dar?
4-4	Ist aus datenschutz- und sicherheitsrelevanten Gründen eher OnBoard-Einheiten und proprietären Systemen der Vorzug gegenüber der Verwendung von Smartphones zur Datenerfassung und -übermittlung einzuräumen?
4-5	FCD und XFCD Daten werden meist von speziell ausgestatteten Fahrzeugflotten generiert. Wie schätzen Sie (aktuell und zukünftig) die Bereitschaft der Autofahrer/Fahrzeugführer ein, XFCD zu erfassen (und der Allgemeinheit) zur Verfügung zu stellen? Sind Anreizsysteme notwendig?
4-6	Ein aktuelles Anwendungsbeispiel ist die (freiwillige Bereitstellung und) Verwendung von XFCD für die Berechnung der Versicherungssumme von Autofahrern. Wie bewerten Sie diese Entwicklung?

BLOCK 5: Konzeption eines Prototyps

Nr.	Frage
5-1	Welchen Anforderungen muss eine Umsetzung aus technischen Gesichtspunkten gerecht werden?
5-2	Wir bewerten Sie die angedachte/geplante Vorgehensweise im Rahmen der Masterarbeit? Stellt die skizzierte (Desktop-)Anwendung in Bezug auf Benutzeroberfläche (Oberflächenelemente), Funktion und Benutzerinteraktion (linking, brushing) eine geeignete Lösung dar?

BLOCK 6: Zukünftige Entwicklungen & Ausblick

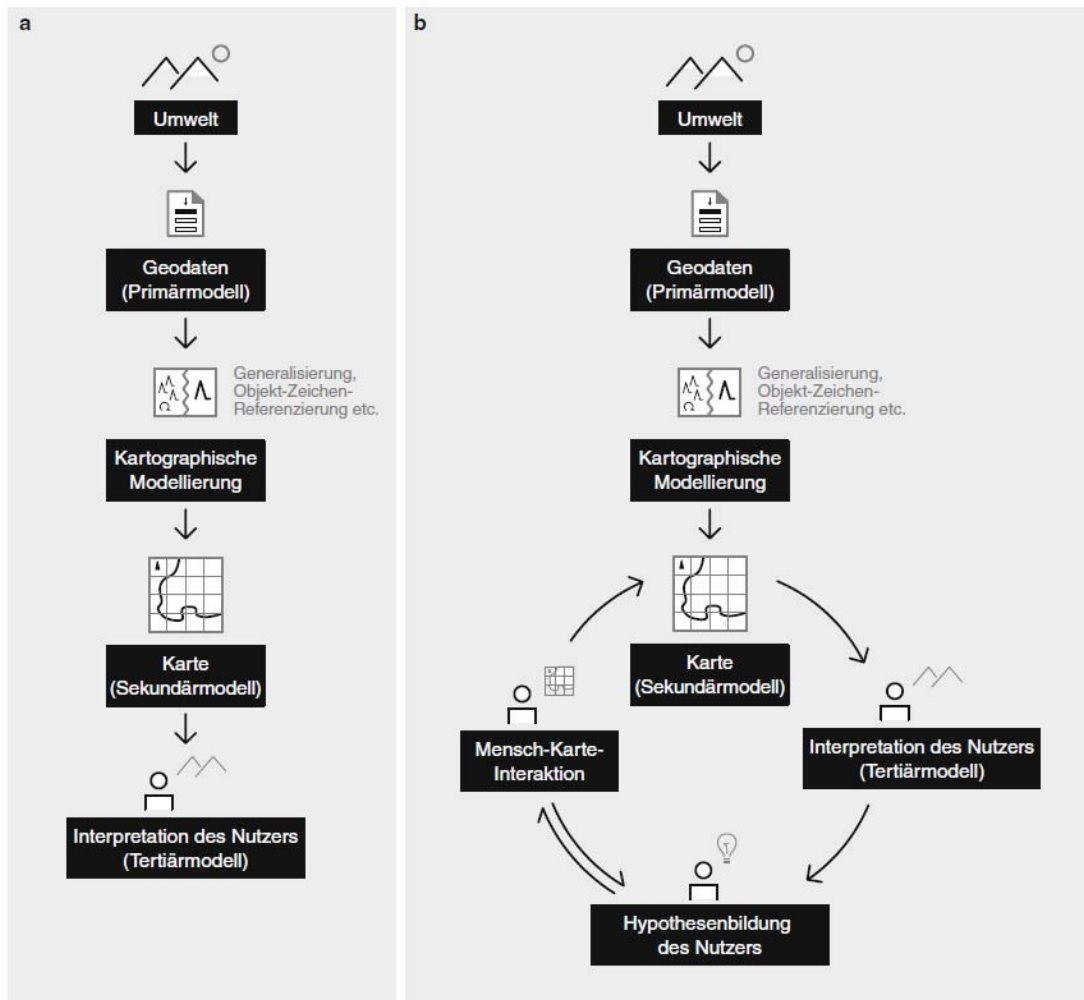
Nr.	Frage
6-1	Welche weiteren bzw. zukünftigen Anwendungsfelder sehen Sie für die Verwendung von xFCD? Sehen sie bestimmte Tendenzen in der aktuellen Entwicklung?
6-2	Wie schätzen Sie die technische Entwicklung (aktuell und zukünftig) bei Fahrzeug- Kommunikationssystemen (Car2Car, Car2Web, Car2X) ein? Sehen sie bestimmte Tendenzen in der aktuellen Entwicklung?
6-3	Wie schätzen Sie den aktuellen und zukünftigen Stellenwert von XFCD ein und welche Chancen aber auch Risiken birgt diese Technologie aus Ihrer Sicht?

Abschnitt III) Abschluss / Abgang

<ul style="list-style-type: none"> - Abschlussfrage: Gibt es (neben den bereits diskutierten Fragen) Aspekte in Zusammenhang mit der vorliegenden Thematik, die aus Ihrer Sicht (im Forschungsprozess) detaillierter beleuchtet werden sollten und/oder haben Sie weitere Anmerkungen? - Kann Experte evtl. ergänzende schriftl. Unterlagen (Studien, Statistiken,...) bereitstellen? - Soll das Gesprächsprotokoll zur Durchsicht vorgelegt werden? - Erlaubnis des Experten zur telefonischen (Nach-)Befragung? - Abschluss: Danksagung an den interviewten Experten

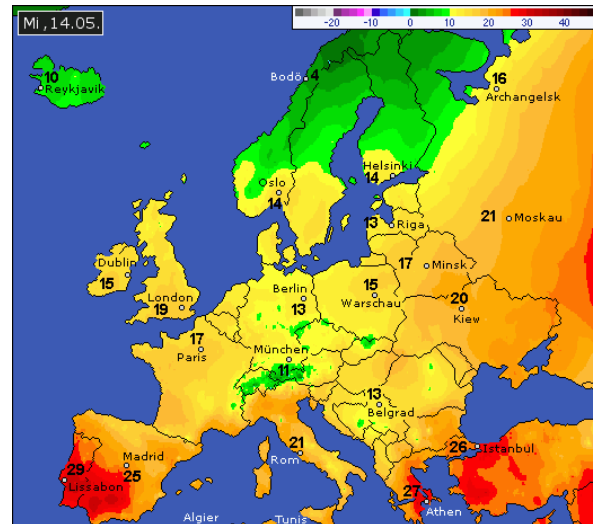
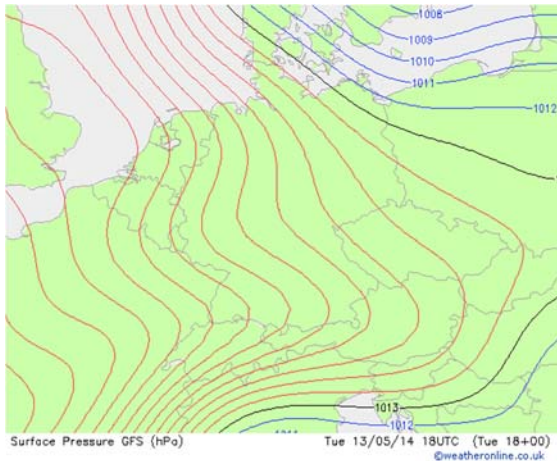
Seiten 133 – 155 entfernt

Anhang G: Modelle der Kartennutzung



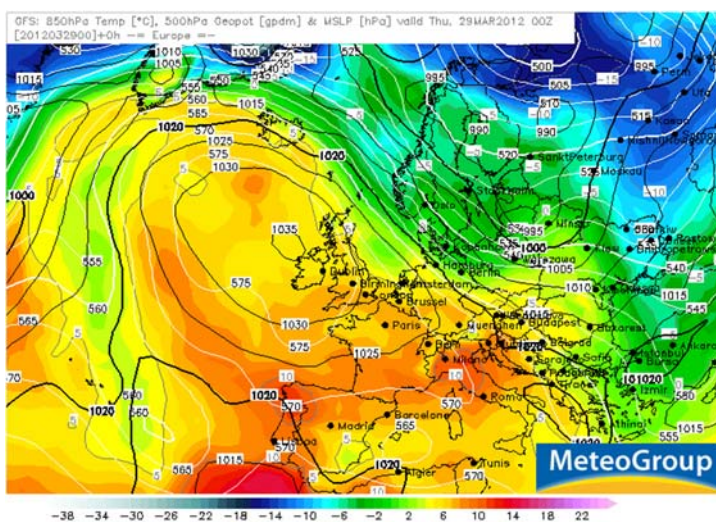
1) Vergleich traditionelles Sender-Empfänger-Modell (a) und nutzer-zentriertes Kommunikationsmodell mit spezifischen Mensch-Karte-Interaktionsoptionen (b),
 Quelle: HEIDMANN 2012, 44 (in Anlehnung an EDSALL ET AL. 2009, 2).

Anhang H: Beispiele für die Visualisierung von Luftdruck und Temperatur



1) Luftdruck-Karte, Visualisierung von Bodendruck (in hPa, Deutschland): Isolinien bzw. Isobaren, Quelle: priv. Wetterdienst „Weather Online“, Quelle: <http://www.weatheronline.de/>

2) Temperatur-Karte, Visualisierung der Höchsttemperatur (in °C, Europa): Einfärbung der Flächen zwischen den (nicht dargestellten) Isolinien bzw. Isotherme, Quelle: priv. Wetterdienst „Wetter Online“, Quelle [http:// www.wetter-online.de/temperatur-karte/europa/](http://www.wetter-online.de/temperatur-karte/europa/)



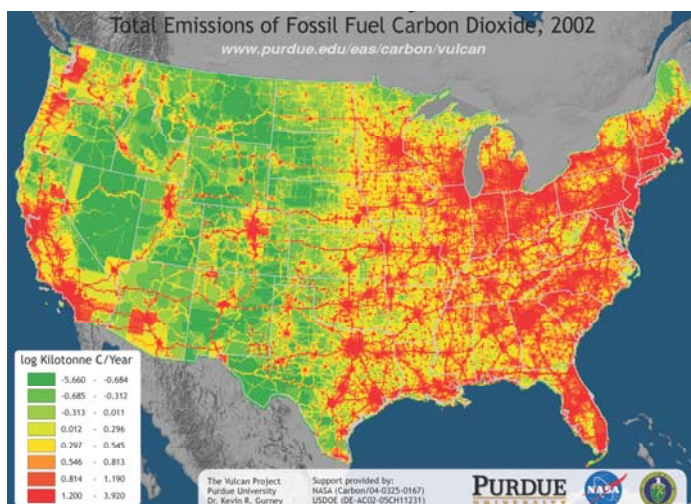
3) Wetter-Karte, Visualisierung von Luftdruck und Temperatur (in hPa bzw. °C, Europa): Isolinien bzw. Isobaren (Luftdruck), flächenhafte Einfärbung (Temperatur), Quelle: priv. Wetterdienst „MeteoGroup / wetter24.de“, Online“, Quelle: http://www.wetter24.de/uploads/pics/Europe_2012032900_thgt850_0.png

Anhang I: Beispiele für die Visualisierung von CO₂-Emissionen

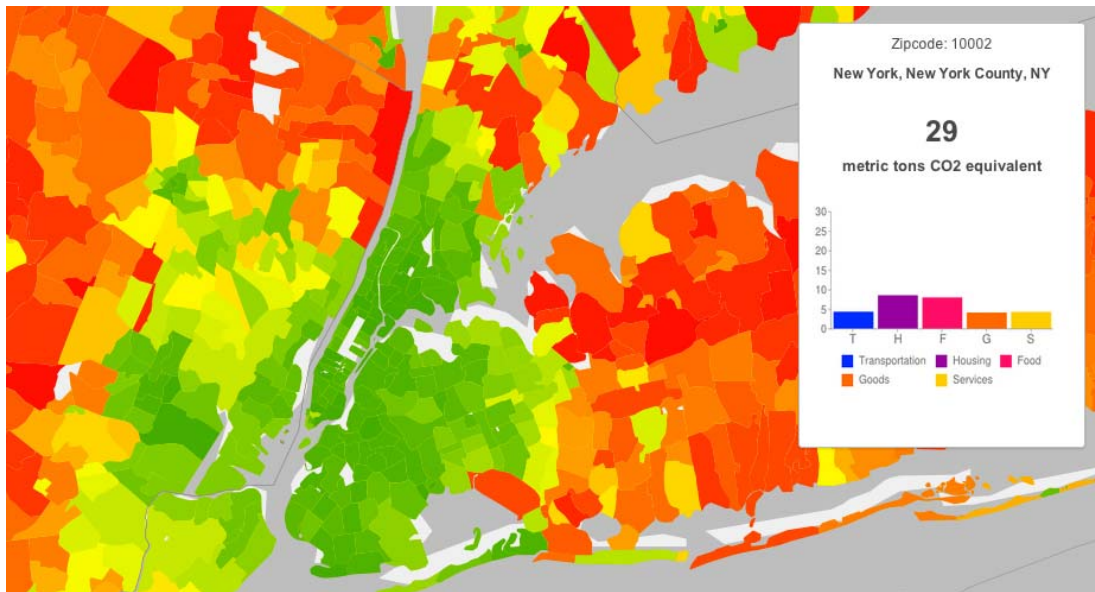


1) Visualisierung von CO₂-Emissionen verursacht durch Kraftfahrzeuge: punkthaft (Messpunkte; Klassifikation und Einfärbung), Quelle: Projekt „EnviroCar“, <http://www.envirocar.org>

2) Visualisierung von CO₂-Emissionen verursacht durch Kraftfahrzeuge: flächenhaft (Heatmap; Klassifikation und Einfärbung), Quelle: Projekt „EnviroCar“, <http://www.envirocar.org>

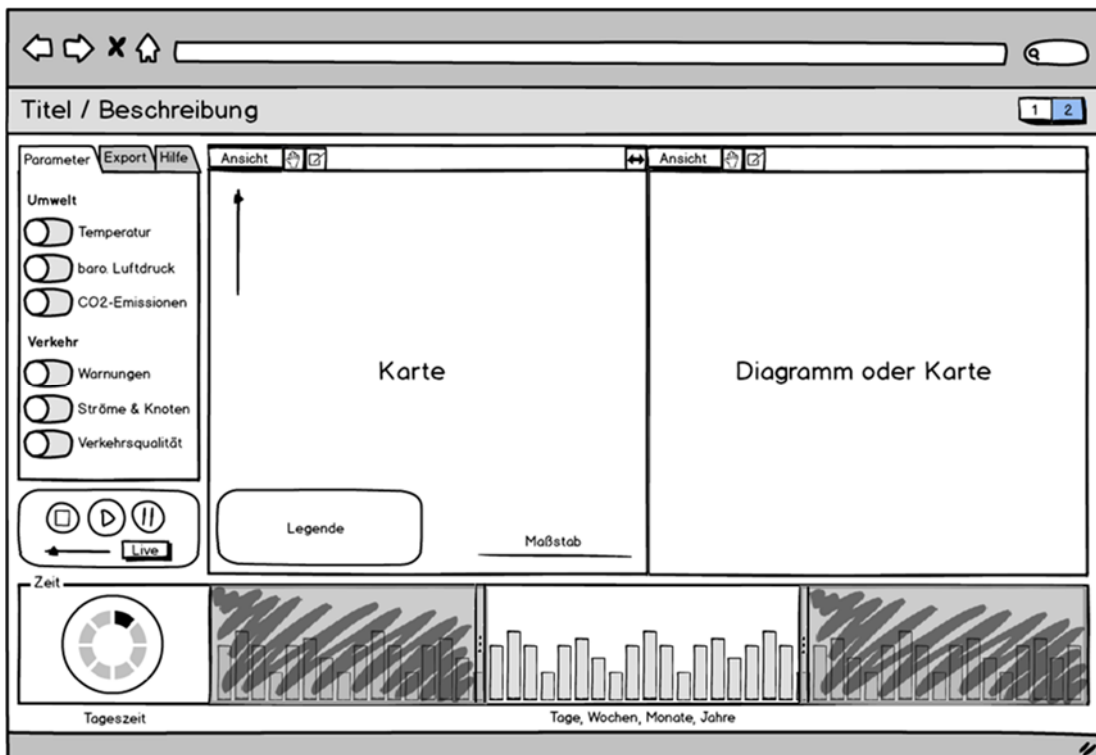
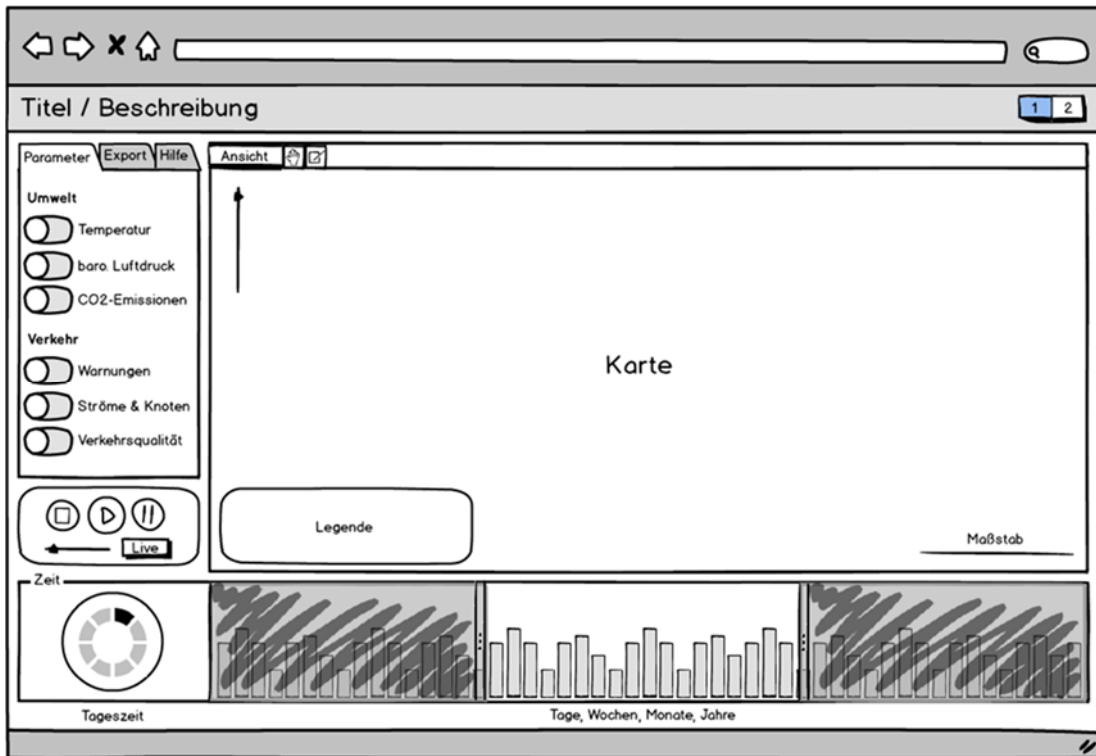


3) Visualisierung von CO₂-Emissionen verursacht durch Kraftfahrzeuge: flächenhaft (durch räumliche Interpolation, bezogen auf Zellenraster; Klassifikation und Einfärbung), Quelle: Projekt „Vulcan“, http://vulcan.project.asu.edu/images/vlcPoster_yuyu
Total.pdf

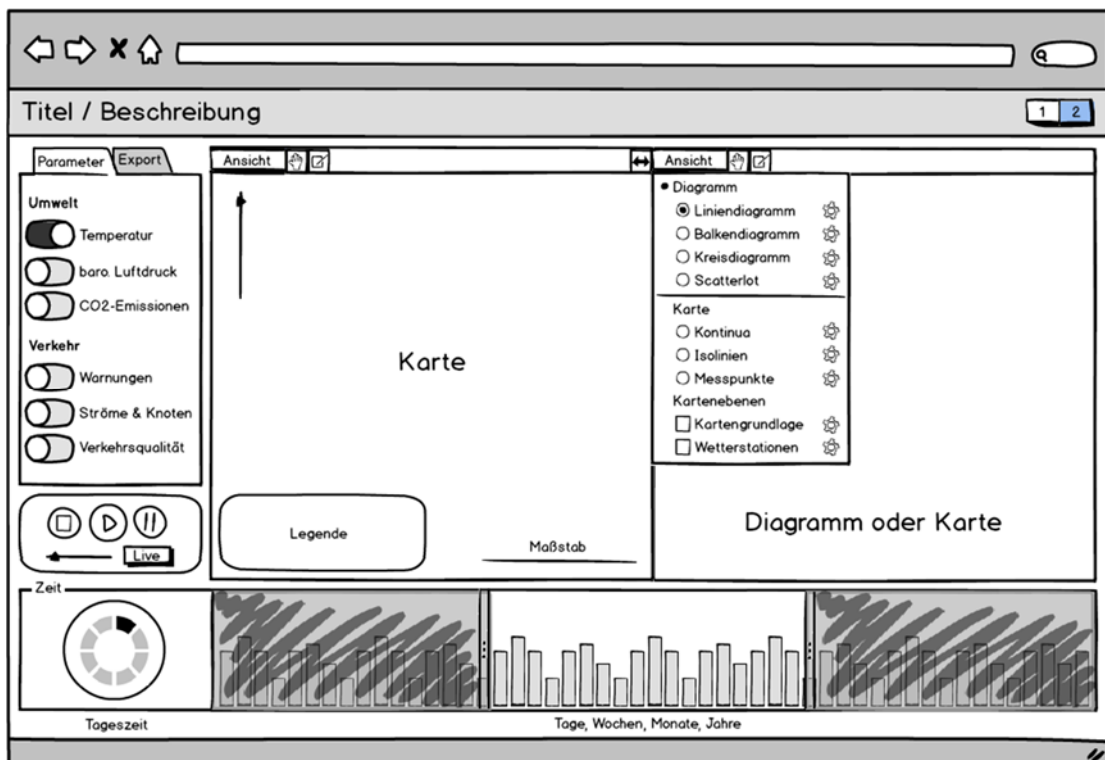
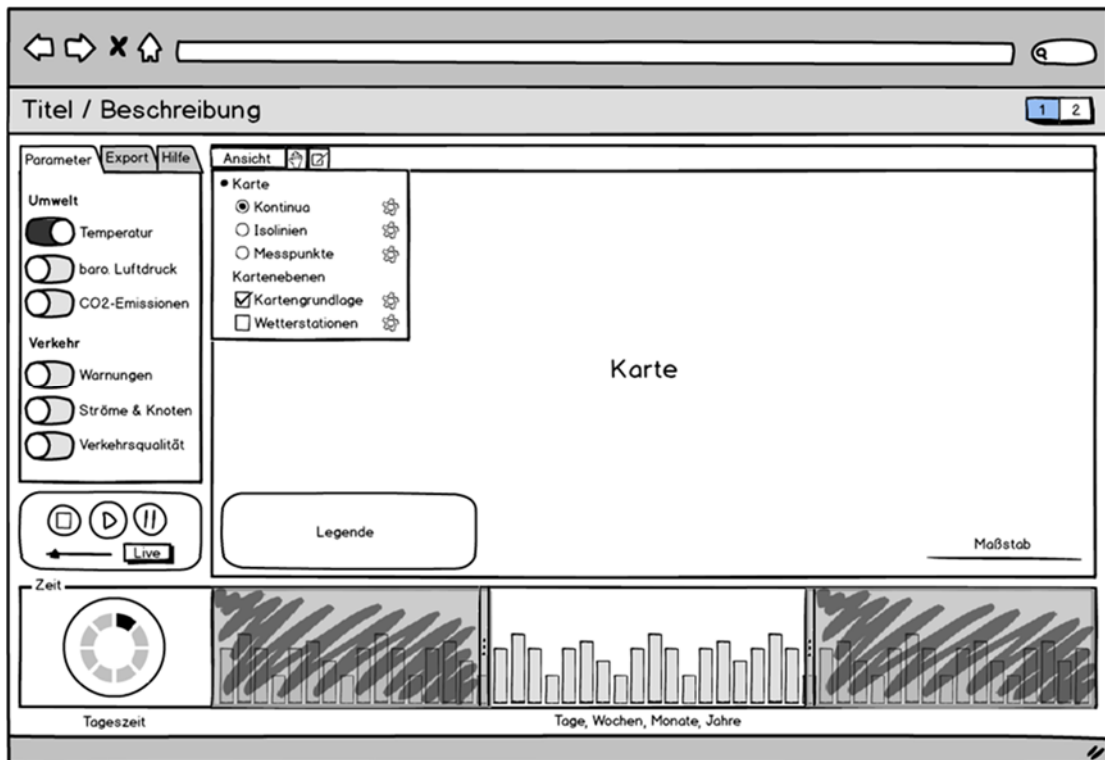


4) Visualisierung von CO₂-Emissionen bezogen auf Haushalte (im jährlichen Durchschnitt): flächenhaft (räumliche Interpolation, bezogen auf Postleitzahlen-Bereiche als räumliche Einheiten; Chloroplethenkarte), Quelle: Projekt „CoolClimate“, <http://coolclimate.berkeley.edu/maps/>

Anhang J: Wireframes der Benutzeroberfläche



1) Wireframes der Benutzeroberfläche: Ein-Fenster-Ansicht (oben) und Zwei-Fenster-Ansicht (unten). Erstellt mit dem Softwarewerkzeug „Balsamiq“, Quelle: <http://balsamiq.com/>



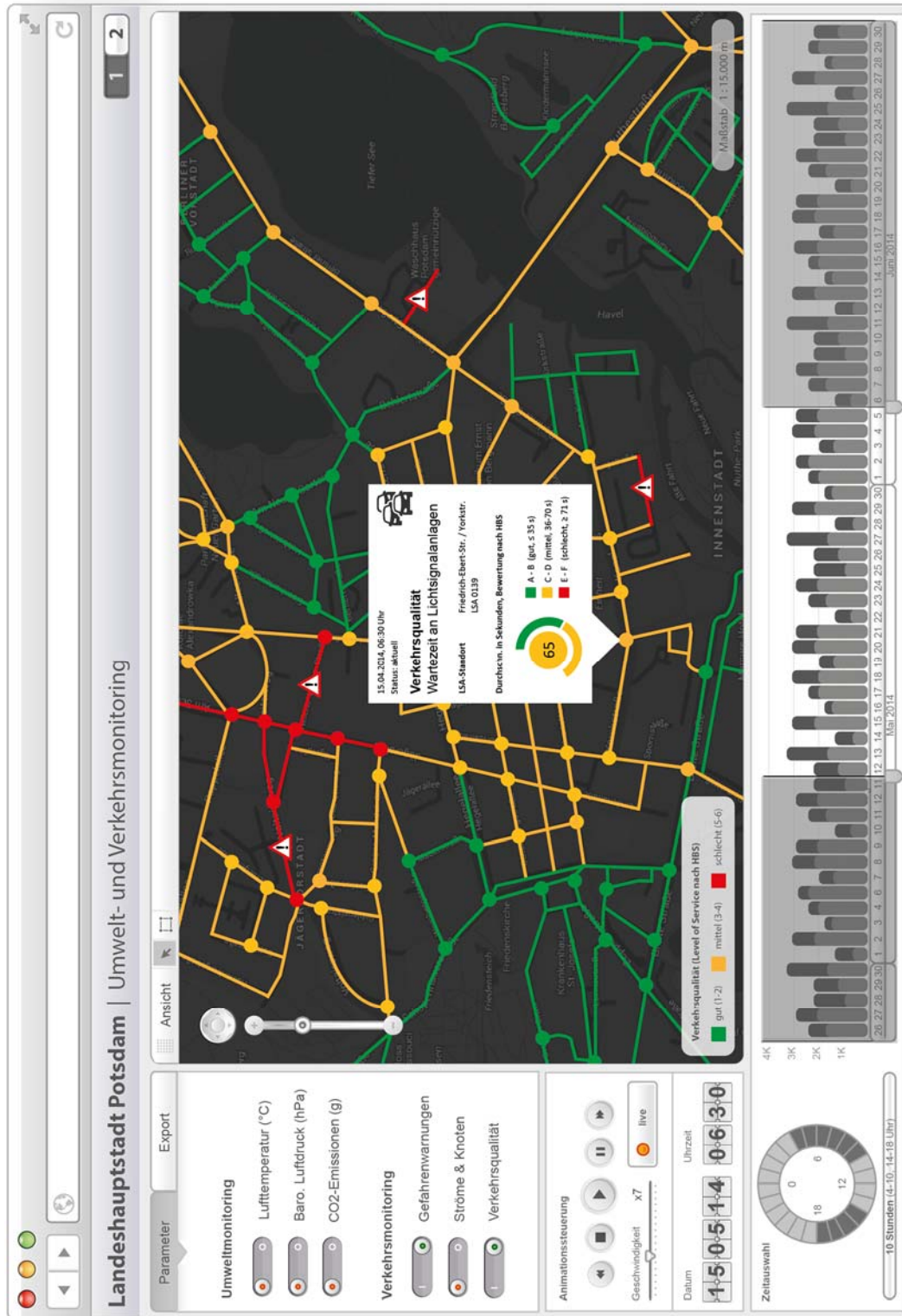
2) Wireframes der Benutzeroberfläche: Ein-Fenster-Ansicht (oben) und Zwei-Fenster-Ansicht (unten), jeweils mit aktiviertem „Ansicht“-Menü zur Auswahl und Konfiguration der Visualisierung. Erstellt mit dem Softwarewerkzeug „Balsamiq“, Quelle: <http://balsamiq.com/>

Anhang K: Übersicht zur Visualisierung

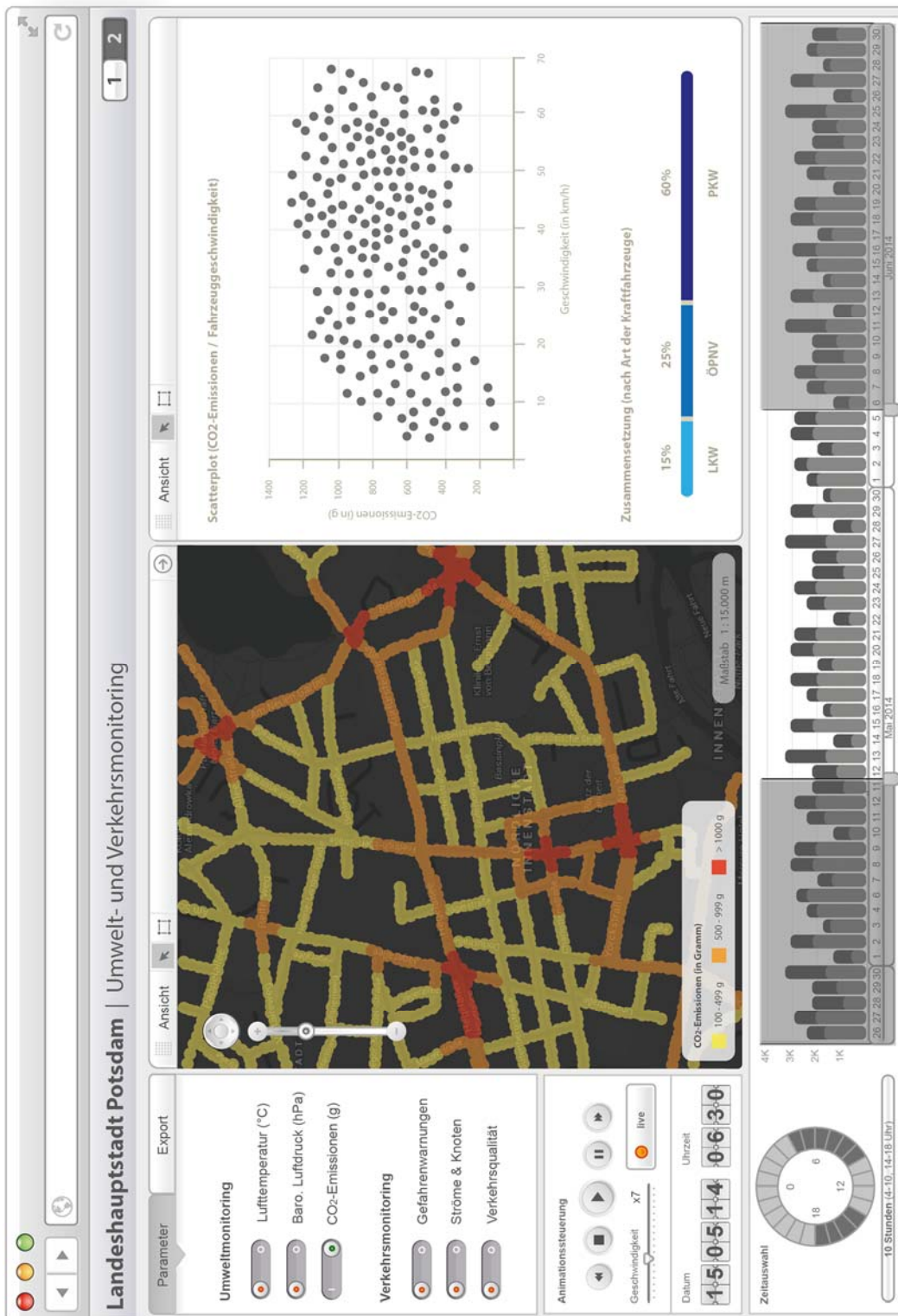
Ansicht	Kategorie	Parameter	Karte	Kartengrundlage	Weitere Kartenebenen	Vis. Diagramm	Optionen	
Ein-Fenster	UM	(Luft-)Temperatur	Punktsignaturen (Messpunkte), Isolinien bzw. Isotherme, Kontinua	Gelände bzw. Topographie	Wetterstationen	-	Auswahl der Kartengrundlage, Modifikation der Kartenzeichen (z.B. Farbe)	
		Barometrischer Luftdruck	Punktsignaturen (Messpunkte), Isolinien bzw. Isobaren, Kontinua	Gelände bzw. Topographie	Wetterstationen	-		
		CO2-Emissionen	Punktsignaturen (Messpunkte), Isolinien, Kontinua	Gelände bzw. Topographie	CO2-Messstationen, Räumliche Gliederung (z.B. Bezirke)	-		
	VM	Gefahrenwarnungen	Punkt-/Linearsignaturen	Verkehrs- bzw. Straßennetz (dunkel),				Auswahl der Kartengrundlage, Modifikation der Kartenzeichen (z.B. Farbe)
		Verkehrsströme & -Knoten	Bewegungen (Animation mit Helligkeitswert), Bandkartogramm	Verkehrs- bzw. Straßennetz (dunkel),				
		Verkehrsqualität	Linearsignaturen (Bewertung des Verkehrsfluss), Punktsignatur (Bewertung der Wartezeit an Knotenpunkten)	Verkehrs- bzw. Straßennetz (dunkel),				
Zwei-Fenster	UM	(Luft-)Temperatur	Punktsignaturen (Messpunkte), Isolinien bzw. Isotherme, Kontinua	Gelände bzw. Topographie	Wetterstationen	Balkendiagramm, Liniendiagramm, Scatterplot	Auswahl der Kartengrundlage, Modifikation des Diagramms (z.B. Achsen)	
		Barometrischer Luftdruck	Punktsignaturen (Messpunkte), Isolinien bzw. Isotherme, Kontinua	Gelände bzw. Topographie	Wetterstationen	Balkendiagramm, Liniendiagramm, Scatterplot		
		CO2-Emissionen	Isolinien, Punktsignaturen (Messpunkte), Flächenkartogramm	Gelände bzw. Topographie	CO2-Messstationen, Räumliche Gliederung (z.B. Bezirke)	Balkendiagramm, Liniendiagramm, Kreisdigramm, Scatterplot		
	VM	Gefahrenwarnungen	Punkt-/Linearsignaturen	Verkehrs- bzw. Straßennetz (dunkel),				Auswahl der Kartengrundlage, Modifikation des Diagramms (z.B. Achsen)
		Verkehrsströme & -Knoten	Bandkartogramm	Verkehrs- bzw. Straßennetz (dunkel),				
		Verkehrsqualität	Linearsignaturen (Bewertung des Verkehrsfluss), Punktsignatur (Bewertung der Wartezeit an Knotenpunkten)	Verkehrs- bzw. Straßennetz (dunkel),			Balkendiagramm, Liniendiagramm, Kreisdigramm	

1) Tabellarische Übersicht zur Visualisierung bzw. zum Visualisierungsansatz.
Quelle: eigene Zusammenstellung.

Anhang L: Mock-Up der Benutzeroberfläche

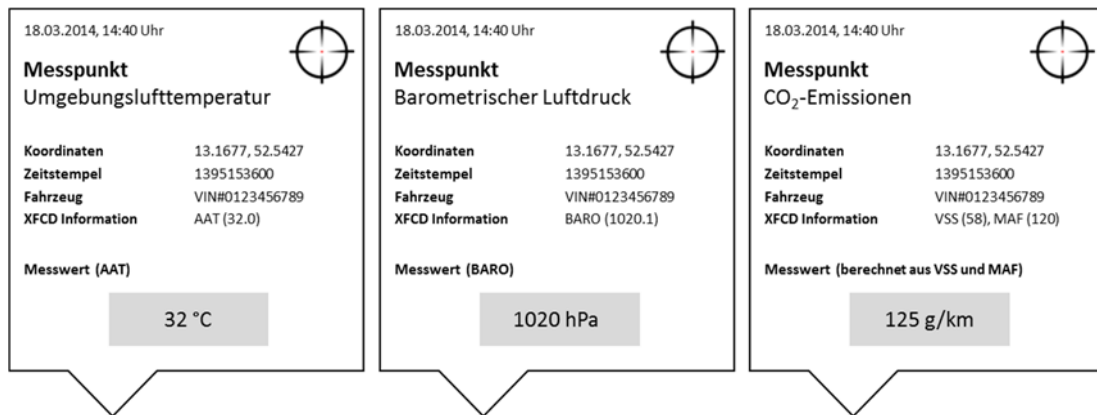


1) Mock-Up der Ein-Fenster-Ansicht: Visualisierung von Verkehrsqualität und Gefahrenwarnungen. Quelle: eigene Darstellung, Kartengrundlage Google Maps, erstellt mit Adobe Illustrator und „Design Patterns“ (Vektorgrafiken) von: <http://graphicdesignjunction.com/>

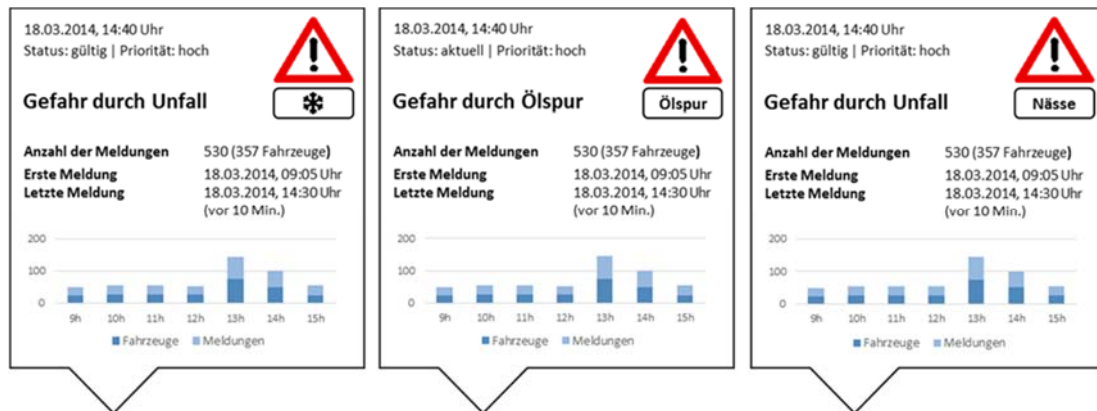


2) Mock-Up der Zwei-Fenster-Ansicht: Visualisierung von CO2-Emissionen.
 Quelle: eigene Darstellung, Kartegrundlage Google Maps, erstellt mit Adobe Illustrator unter Verwendung von „Design Patterns“ (Vektorgrafiken) von: <http://www.graphicdesignjunction.com/>

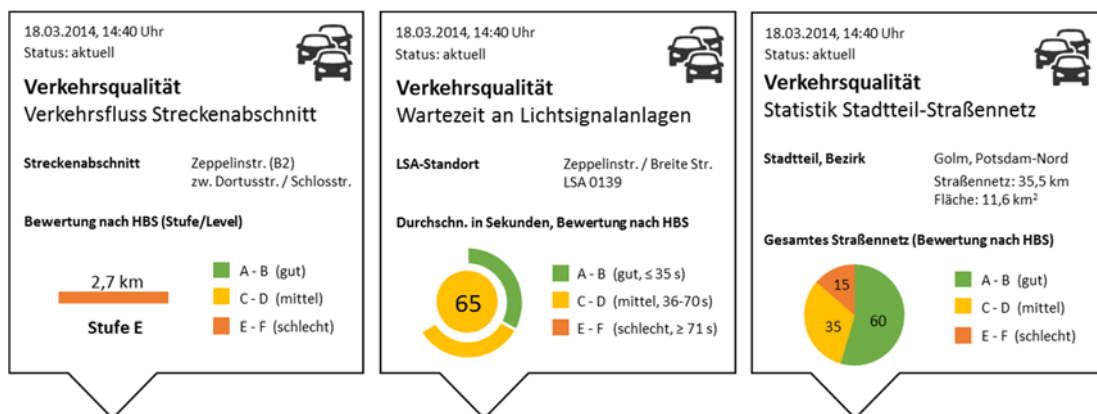
UM: Detail- bzw. Zusatzinformation zu einzelnen Messpunkten



VM: Detail- bzw. Zusatzinformation zu Gefahrenwarnungen

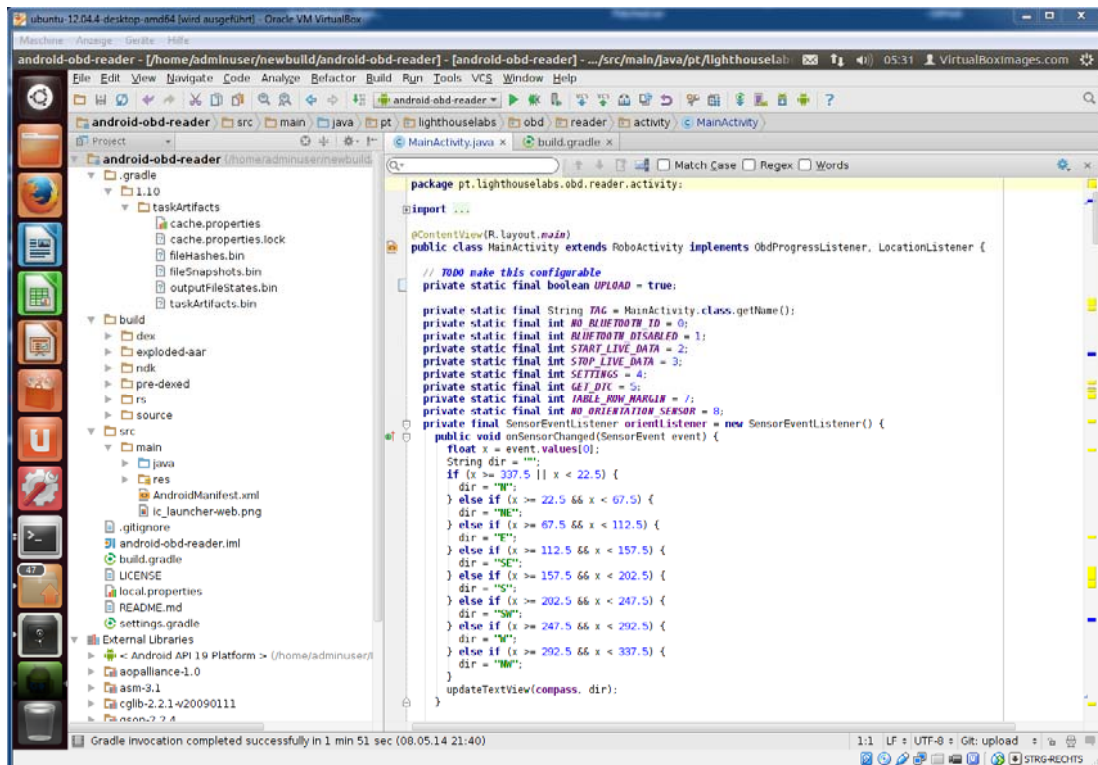


VM: Detail- bzw. Zusatzinformation zur Verkehrsqualität



3) Mögliche Beispiele für abrufbare Detail- bzw. Zusatzinformationen innerhalb des Karten-Fensters (Auswahl): Messpunkte (oben), Gefahrenwarnungen (mitte), Verkehrsqualität (unten). Quelle: eigene Darstellung.

Anhang M: Entwicklung mobile Applikation

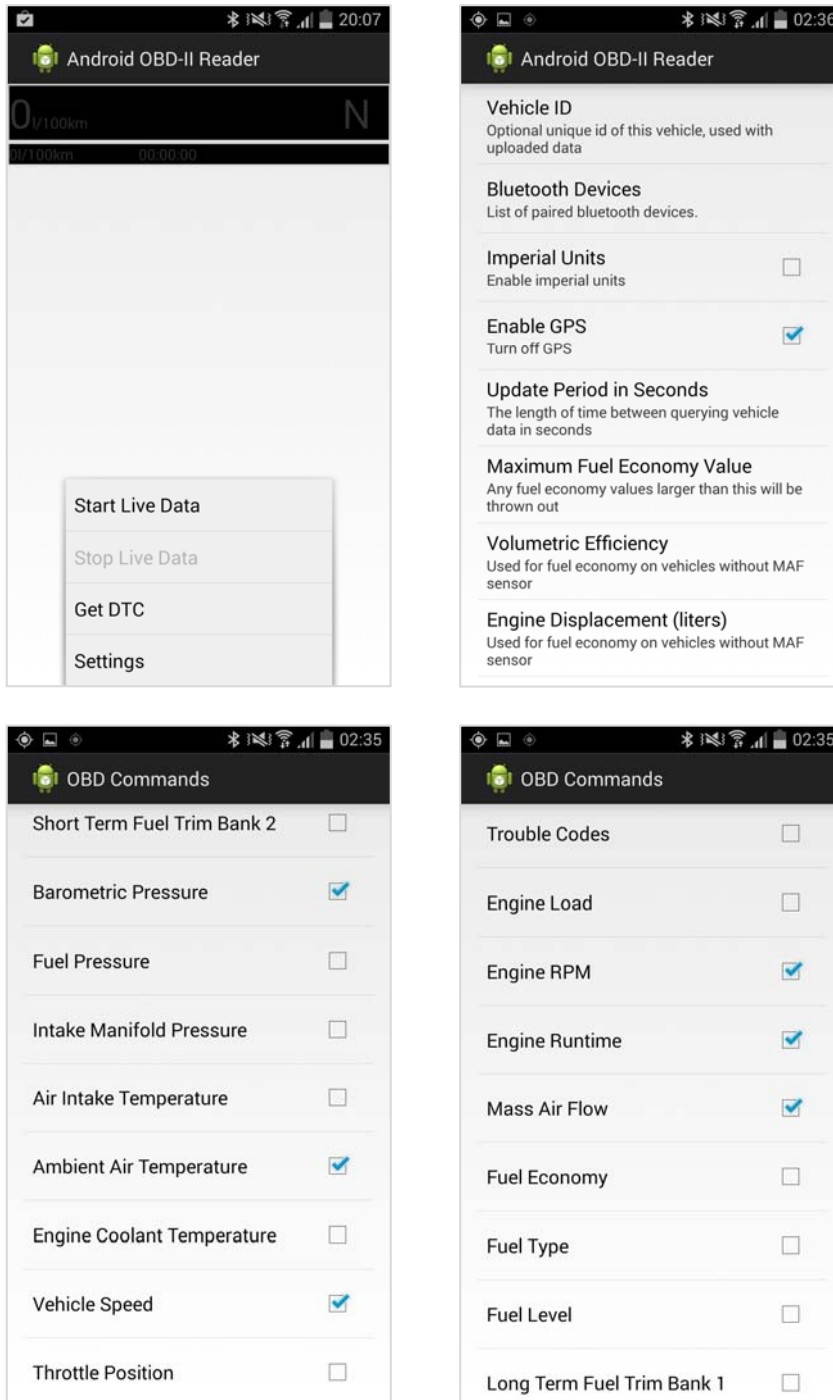


1) Entwicklung mit „Android Studio“ (<http://tools.android.com/build/studio>).
Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots)

...	
61	<code>// TODO make this configurable</code>
62	<code>private static boolean UPLOAD = true;</code>
...	
413	<code>// Uploading asynchronous task</code>
415	<code>private class UploadAsyncTask extends AsyncTask<ObdReading, Void, Void> {</code>
416	<code> @Override</code>
417	<code> protected void doInBackground(ObdReading... readings) {</code>
418	<code> Log.d(TAG, "Uploading " + readings.length + " readings.");</code>
429	<code> // instantiate reading service client</code>
420	<code> RestAdapter restAdapter = new RestAdapter.Builder()</code>
421	<code> .setEndpoint("https://141.89.191.232:8080/obd")</code>
422	<code> .build();</code>
423	<code> ObdService service = restAdapter.create(ObdService.class);</code>
424	<code> // upload readings</code>
425	<code> for (ObdReading reading : readings) {</code>
426	<code> Response response = service.uploadReading(reading);</code>
427	<code> assert response.getStatus() == 200;</code>
428	<code> }</code>
439	<code> Log.d(TAG, "Done");</code>
430	<code> return null;</code>
431	<code> }</code>
...	

2) Quellcode (MainActivity.java): Notwendige Änderungen zum Aktivieren der Upload-Funktion und festlegen des Ziel-Servers (fett hervorgehoben).
Quelle: android-obd-reader, <https://github.com/pires/android-obd-reader>

Anhang N: Benutzeroberfläche mobile Applikation



Benutzeroberfläche „android-obd-reader“: Haupt-Ansicht (oben links), Einstellungen (Menü „Settings“, oben rechts), Auswahl der OBD PID sofern vom Fahrzeug unterstützt (Menü „OBD Commands“, unten links u. rechts). Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots).

Anhang O: Quellcodes

```

1  #!/bin/bash
2
3  ##
4  ## Date: May 2014
5  ## Author: voland@uni-potsdam.de
6  ##
7  ## ANDROID-OBD-READER (https://github.com/pires/android-obd-reader)
8  ##
9  ## com.source:'obd-server' (https://github.com/pires/obd-server)
10 ## com.target:'cartodb' (https://github.com/CartoDB/cartodb)
11 ##
12
13 # Debug off
14 clear
15
16 # CONFIG: obd-server (ODBS)
17 OBDS_URL=http://localhost:8080/obd/vin/
18 OBDS_DUMP=/home/voland/obd-server/tests/
19
20 # CONFIG: CartoDB (CDB)
21 CDB_URL=cartodb.com/api/v2/sql
22 CDB_USER=voland
23 CDB_APIKEY=5910a4417e06d137b3391135d17d93583da3c5e5
24 CDB_TEMPT=temp
25 CDB_TABLE=obd_dump
26
27 #####
28
29 # general cleanup tasks
30 rm ${OBDS_DUMP}${CDB_TEMPT}.json > /dev/null
31 rm ${OBDS_DUMP}${CDB_TABLE}.geojson > /dev/null
32 curl -s "http://${CDB_USER}.${CDB_URL}?q=DROP TABLE ${CDB_TEMPT}&api_key=${CDB_APIKEY}" > /dev/null
33
34 # format script/text output
35 co=$(tput bold)
36 no=$(tput sgr0)
37
38 # OBDS: readout and process all vin
39 declare -a vins
40 vins=( $(cat "${OBDS_DUMP}vins") )
41 printf "\n\n${co}> OBD-SERVER: Readout ${#vins[@]} VIN"
42 printf '\n%s\n' "${COLUMNS:-$(tput cols)}" ' ' | tr ' ' -
43 printf "${no}"
44 for i in "${vins[@]}"
45 do
46     :
47     rm ${OBDS_DUMP}${i}
48     printf "\n${i}\n"
49     curl \
50         -i \
51         "${OBDS_URL}${i}" > ${OBDS_DUMP}${i}
52     sed -i '1,7d' ${OBDS_DUMP}${i}
53     sed -i 's/\[//;s/\]//' ${OBDS_DUMP}${i}

```

54	<code>sed -i 's/\$/,/' \${OBDS_DUMP}\$i</code>
55	<code>cat \${OBDS_DUMP}\$i >> \${OBDS_DUMP}\${CDB_TEMP}.json</code>
56	<code>done</code>
57	<code>sed -i 's/,,\$/' \${OBDS_DUMP}\${CDB_TEMP}.json</code>
58	<code>sed -i 's/^/[/' \${OBDS_DUMP}\${CDB_TEMP}.json</code>
59	<code>sed -i 's/\$/]/' \${OBDS_DUMP}\${CDB_TEMP}.json</code>
60	
61	# CDB: dump import to database
62	<code>./cdb_import.sh \${CDB_USER} \${CDB_APIKEY} \${OBDS_DUMP}\${CDB_TEMP}.json > /dev/null</code>
63	<code>printf "\n\n\${co}> CARTODB: Import to table '\${CDB_TABLE}', Processing & Cleanup"</code>
64	<code>printf "\n%s\n" "\${COLUMNS:-\$(tput cols)}" ' ' tr ' ' -</code>
65	<code>printf "\n\${no}"</code>
66	
67	# CDB: cleanup data
68	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} DROP COLUMN longitude&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
69	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} DROP COLUMN latitude&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
70	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=DELETE FROM \${CDB_TEMP} WHERE readings LIKE '%25OK%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
71	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=DELETE FROM \${CDB_TEMP} WHERE readings LIKE '%25Reset%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
72	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=DELETE FROM \${CDB_TEMP} WHERE readings LIKE '%25Level%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
73	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=DELETE FROM \${CDB_TEMP} WHERE readings LIKE '%25Economy%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
74	
75	# CDB: create columns 'rpm', 'vss', 'aat', 'maf'
76	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ADD COLUMN obd rpm text&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
77	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ADD COLUMN obd_vss text&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
78	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ADD COLUMN obd_aat text&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
79	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ADD COLUMN obd_maf text&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
80	
81	# CDB: copy conlums
82	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd rpm = readings WHERE readings LIKE '%25RPM%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
83	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd_aat = readings WHERE readings LIKE '%25Temperature%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
84	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd_vss = readings WHERE readings LIKE '%25Speed%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
85	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd_maf = readings WHERE readings LIKE '%25Mass Air Flow%25'&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
86	# CDB: remove unnecessary (first and last) characters from columns
87	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd rpm = trim(leading '%7BEngine RPM%3D%3E' from obd rpm), obd_aat = trim(leading '%7BAmbient Air Temperature%3D%3E' from obd_aat), obd_vss = trim(leading '%7BVehicle Speed%3D%3E', obd_maf = trim(leading 'g%2Fs%7D' from obd vss)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
88	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd rpm = trim(trailing 'RPM%7D' from obd rpm), obd_aat = trim(trailing 'C%7D' from obd_aat), obd_vss = trim(trailing 'km%2Fh%7D', obd_maf = trim(trailing 'g%2Fs%7D' from obd vss)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
89	
90	# CDB: format timetstamp
91	<code>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ALTER COLUMN timestamp TYPE varchar(10) using substring(timestamp from 1 for 10)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>
92	<code># curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ADD COLUMN timestamp pg text&api_key=\${CDB_APIKEY}"</code>

93	<pre># curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE {CDB_TEMP} SET timestamp_pg =(SELECT TIMESTAMP WITH TIME ZONE 'epoch' + NTERVAL '1 second' * timestamp::numeric AS postgres timestamp)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</pre>
94	<pre># curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ALTER COLUMN timestamp_pg TYPE varchar(19) using substring(timestamp_pg from 1 for 19)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</pre>
95	<pre># curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ALTER COLUMN timestamp_pg TYPE date USING CAST(timestamp_pg AS date)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</pre>
96	
97	<pre># CDB: set columns with numeric values to datatype numeric</pre>
98	<pre>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TEMP} ALTER COLUMN obd_aat TYPE numeric USING CAST(obd_aat AS numeric), ALTER COLUMN obd_rpm TYPE numeric USING CAST(obd_rpm AS numeric), ALTER COLUMN obd_vss TYPE numeric USING CAST(obd_vss AS numeric), ALTER COLUMN timestamp TYPE numeric USING CAST(timestamp AS numeric)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</pre>
99	
100	<pre># CDB: set data values from NULL to 0</pre>
101	<pre>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd_aat = 0 WHERE obd_aat IS NULL; UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd_rpm = 0 WHERE obd_rpm IS NULL; UPDATE \${CDB_TEMP} SET obd_vss = 0 WHERE obd_vss IS NULL&api_key=\${CDB_APIKEY}"</pre>
102	
103	<pre># finalization</pre>
104	<pre>curl "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=DELETE FROM \${CDB_TEMP} WHERE ctid IN (SELECT ctid FROM \${CDB_TEMP} ORDER BY cartodb_id LIMIT 1)&api_key=\${CDB_APIKEY}"</pre>
105	<pre>curl -s \</pre>
106	<pre>-i \</pre>
107	<pre>"http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?format=GeoJSON&q=SELECT the_geom, MAX(vin) as vin, MAX(obd_aat) as obd_aat, MAX(obd_rpm) as obd_rpm, MAX(obd_vss) as obd_vss, array_agg(readings) AS readings, MAX(timestamp) as timestamp, MAX(updated_at) as updated_at FROM \${CDB_TEMP} GROUP BY the_geom ORDER BY timestamp&api_key=\${CDB_APIKEY}" > \${OBDS_DUMP}\${CDB_TABLE}.geojson</pre>
108	<pre>sed -i '1,16d' \${OBDS_DUMP}\${CDB_TABLE}.geojson</pre>
109	<pre>curl -s "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=DROP TABLE \${CDB_TEMP}&api_key=\${CDB_APIKEY}" > /dev/null</pre>
110	<pre>./cdb_import.sh \${CDB_USER} \${CDB_APIKEY} \${OBDS_DUMP}\${CDB_TABLE}.geojson > /dev/null</pre>
111	<pre>curl -s "http://\${CDB_USER}.\${CDB_URL}?q=ALTER TABLE \${CDB_TABLE} DROP COLUMN %5Fupdated%5Fat0&api_key=\${CDB_APIKEY}"</pre>
112	<pre>printf "\n\n"</pre>

1) Quellcode (obds2cdb.sh): Bash-Skript zum Auslesen der Datensätze aller durch ‚android-obd-reader‘ erfassten Fahrzeuge bzw. VIN aus ‚obd-server‘, erstmaliger Import in CartoDB (auf Basis des CartoDB-Import-Skript), Erstellen des Datenbankschema, Aufbereiten und Säubern der Daten für die weitere Verwendung. Quelle: eigene Entwicklung.

1	<code>#!/bin/bash</code>
2	
3	<code># Disclaimer:</code>
4	<code># We are not actively maintaining this script. We can't assure it will work, but we'll do our best to keep it updated.</code>
5	<code># Credits:</code>
6	<code># Original author: https://gist.github.com/lbosque/5876697</code>
7	<code># Contributors:</code>
8	<code># https://gist.github.com/andrewxhill/5884845 Mac-compatible version</code>
9	<code># https://gist.github.com/kentr / http://maplight.org/ new uuid format bugfix + email notification</code>
10	
11	<code>CDB_USER=\$1</code>
12	<code>API_KEY=\$2</code>
13	<code>IMPORT_FILE=\$3</code>
14	<code>NOTIFICATION_EMAIL=\$4</code>
15	<code>PROTOCOL=https</code>
16	<code>DEBUG=true</code>
17	<code>ITEM_ID_REGEX='\("[[0-9a-f]{8}-[0-9a-f]{4}-[0-9a-f]{4}-[0-9a-f]{4}-[0-9a-f]{12})\''</code>
18	
19	<code>if [[-z \$CDB_USER]]</code>
20	<code>Then</code>
21	<code> echo "Missing user"</code>
22	<code> exit 1</code>
23	<code>Fi</code>
24	<code> if [[-z \$API_KEY]]</code>
25	<code>Then</code>
26	<code> echo "Missing api key"</code>
27	<code> exit 1</code>
28	<code>Fi</code>
29	<code>if [[-z \$IMPORT_FILE]]</code>
30	<code>Then</code>
31	<code> echo "Missing file"</code>
32	<code> exit 1</code>
33	<code>fi</code>
34	
35	<code>function log {</code>
36	<code> if [[\${DEBUG} == true]]</code>
37	<code> Then</code>
38	<code> echo \$1</code>
39	<code> Fi</code>
40	<code>}</code>
41	
42	<code>v1=\$(uname)</code>
43	
44	<code>log "Sending file '\${IMPORT_FILE}'"</code>
45	
46	<code>if [["\$v1" = Darwin]];</code>
47	<code>Then</code>
48	<code> job_id=`curl -s -F file=@\${IMPORT_FILE}</code> <code> "\${PROTOCOL}://\${CDB_USER}.cartodb.com/api/v1/imports/?api_key=\${API_KEY}" sed -E</code> <code> "s/\{"item_queue_id\":\${ITEM_ID_REGEX}.*\/\1/"`</code>
49	<code>else</code>
50	<code> job_id=`curl -s -F file=@\${IMPORT_FILE}</code> <code> "\${PROTOCOL}://\${CDB_USER}.cartodb.com/api/v1/imports/?api key=\${API_KEY}" sed -r</code> <code> "s/\{"item_queue_id\":\${ITEM_ID_REGEX}.*\/\1/"`</code>
51	<code>fi</code>
52	
53	<code>log "Waiting for job '\${job_id}' to be completed"</code>
54	

55	<code>while true</code>
56	<code>Do</code>
57	<code>if [["\$v1" = Darwin]];</code>
58	<code>Then</code>
59	<code>status=`curl -s "\${PROTOCOL}://\${CDB_USER}.cartodb.com/api/v1/imports/\${job_id}?api_key=\${API_KEY}" sed -E 's/(.*)\"state\":\\"([a-z]+)\\"(.*)/\2/'`</code>
60	<code>else</code>
61	<code>status=`curl -s "\${PROTOCOL}://\${CDB_USER}.cartodb.com/api/v1/imports/\${job_id}?api_key=\${API_KEY}" sed -r 's/(.*)\"state\":\\"([a-z]+)\\"(.*)/\2/'`</code>
62	<code>fi</code>
63	<code>log "JOB '\${job_id}' STATE: \${status}"</code>
64	
65	<code>if [[-n \$NOTIFICATION_EMAIL]]</code>
66	<code>then</code>
67	<code>log "\${PROTOCOL}://\${CDB_USER}.cartodb.com" mail -s "CartoDB import finished: \${IMPORT_FILE}" "\${NOTIFICATION_EMAIL}"</code>
68	<code>fi</code>
69	
70	<code>if [[\$status == 'complete']]</code>
71	<code>then</code>
72	<code>log "Import successful"</code>
73	<code>exit 0</code>
74	<code>elif [[\$status == 'failure']]</code>
75	<code>then</code>
76	<code>log "Failed import"</code>
77	<code>exit 1</code>
78	<code>fi</code>
79	<code>sleep 2</code>
80	<code>done</code>

2) Quellcode (cdb_import.sh): CartoDB-Import-Skript (Bash).

Quelle: CartoDB, <http://github.com/CartoDB/cartodb/blob/master/script/>

Anhang P: Bildschirmausgabe am Server

```

Terminal - voland@vm-voland-obd1:~/obd-server
Jun 06, 2014 3:28:53 AM pt.lighthouselabs.obd.server.rest.ObdReaderService handleNewObdReading
INFO: Received new reading pt.lighthouselabs.obd.server.rest.api.ObdReadingDTO@2e669d
Jun 06, 2014 3:28:53 AM org.glassfish.jersey.filter.LoggingFilter log
INFO: 3510 * LoggingFilter - Response received on thread http-listener-1(5)
3510 < 200

Jun 06, 2014 3:28:54 AM org.glassfish.jersey.filter.LoggingFilter log
INFO: 3511 * LoggingFilter - Request received on thread http-listener-1(3)
3511 > PUT http://141.89.192.232:8080/obd/
3511 > content-type: application/json; charset=UTF-8
3511 > user-agent: Dalvik/1.6.0 (Linux; U; Android 4.4.2; GT-I9505 Build/KOT49H)
3511 > host: 141.89.192.232:8080
3511 > connection: Keep-Alive
3511 > accept-encoding: gzip
3511 > content-length: 125

Jun 06, 2014 3:28:54 AM pt.lighthouselabs.obd.server.rest.ObdReaderService handleNewObdReading
INFO: Received new reading pt.lighthouselabs.obd.server.rest.api.ObdReadingDTO@6b1e5a
Jun 06, 2014 3:28:54 AM org.glassfish.jersey.filter.LoggingFilter log
INFO: 3511 * LoggingFilter - Response received on thread http-listener-1(3)
3511 < 200

Jun 06, 2014 3:28:54 AM org.glassfish.jersey.filter.LoggingFilter log
INFO: 3512 * LoggingFilter - Request received on thread http-listener-1(1)
3512 > PUT http://141.89.192.232:8080/obd/
3512 > content-type: application/json; charset=UTF-8
3512 > user-agent: Dalvik/1.6.0 (Linux; U; Android 4.4.2; GT-I9505 Build/KOT49H)
3512 > host: 141.89.192.232:8080
3512 > connection: Keep-Alive
3512 > accept-encoding: gzip
3512 > content-length: 122

```

1) Ausgabe (obd-server): Anfragen an den Server bzw. eingehende Daten.
Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots).

```

Terminal - root@vm-voland-obd1:/home/voland/obd-server/tests/new
> OBD-SERVER: Readout 2 VIN
-----
UNDEFINED_VIN
% Total % Received % Xferd Average Speed Time Time Time Current
Dload Upload Total Spent Left Speed
100 276k 0 276k 0 0 825k 0 --:--:-- --:--:-- --:--:-- 826k

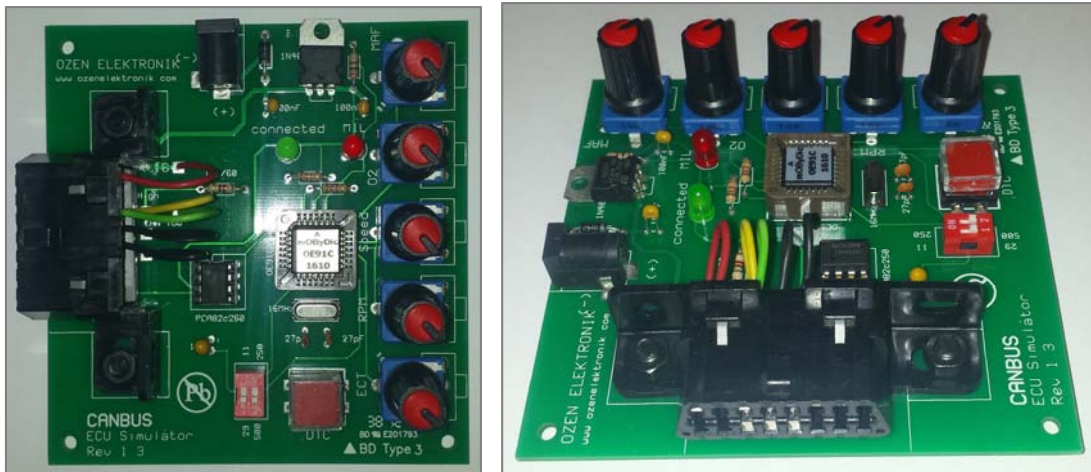
testvin
% Total % Received % Xferd Average Speed Time Time Time Current
Dload Upload Total Spent Left Speed
100 453 100 453 0 0 27207 0 --:--:-- --:--:-- --:--:-- 28312

> CARTODB: Import to table 'obd_dump', Processing & Cleanup
-----
{"time":0.006,"fields":{},"total_rows":5,"rows":[]}{time":0.198,"fields":{},"total_rows":1,"rows":[]}{time":0.005,"f
fields":{},"total_rows":null,"rows":[]}{time":0.003,"fields":{},"total_rows":null,"rows":[]}{time":0.017,"fields":{},"
total_rows":515,"rows":[]}{time":0.016,"fields":{},"total_rows":515,"rows":[]}{time":0.004,"fields":{},"total_rows"
:null,"rows":[]}{time":0.005,"fields":{},"total_rows":null,"rows":[]}{time":0.004,"fields":{},"total_rows":null,"row
s":[]}{time":0.047,"fields":{},"total_rows":515,"rows":[]}{time":0.037,"fields":{},"total_rows":516,"rows":[]}{time
":0.039,"fields":{},"total_rows":515,"rows":[]}{time":0.106,"fields":{},"total_rows":1546,"rows":[]}{time":0.105,"fi
elds":{},"total_rows":1546,"rows":[]}{time":0.089,"fields":{},"total_rows":null,"rows":[]}{time":0.076,"fields":{},"
total_rows":null,"rows":[]}{time":0.26,"fields":{},"total_rows":1031,"rows":[]}{time":0.013,"fields":{},"total_rows"
:1,"rows":[]}{time":0.004,"fields":{},"total_rows":null,"rows":[]}
root@vm-voland-obd1:/home/voland/obd-server/tests/new#

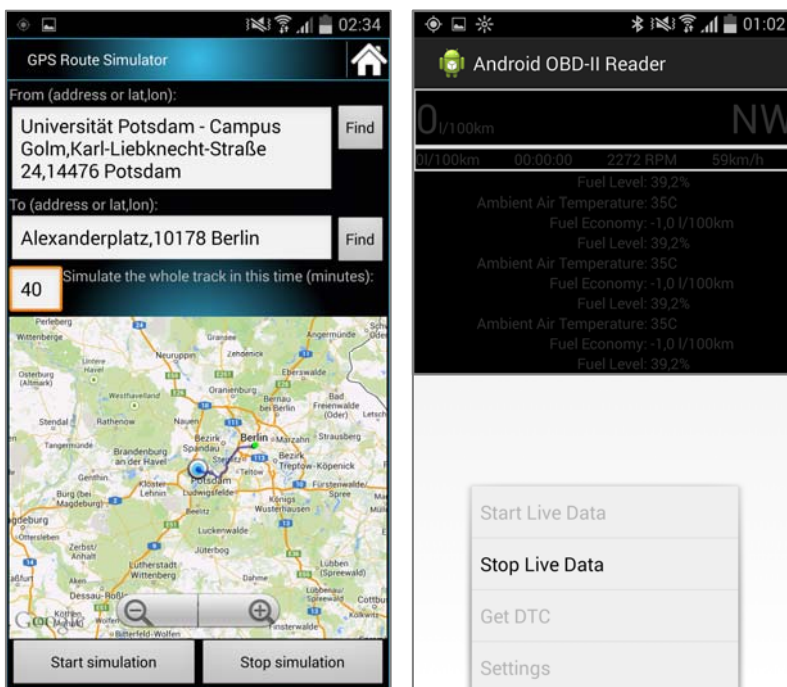
```

2) Ausgabe (obds2cdb.sh): Auslesen der VIN und verfügbaren Datensätze,
CartoDB-Import, Datenaufbereitung und Säuberung (formatierte Ausgabe).
Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots).

Anhang Q: Experimenteller Aufbau



- 1) OBD-Simulator: ECUSim mOByDic 1610 mit OE91C1610 und multipler ECU Unterstützung (ECM, TCM, ABS), Hersteller Ozen Elektronik.
Quelle: selbst erstelltes Bildmaterial.



- 2) Anwendung auf dem Smartphone: Aktivieren der GPS Simulation in „GPS Route Simulator“ (links) und der Datenerfassung und -Übermittlung in „android-obd-reader“ (rechts). Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots).



3) Experimenteller Aufbau zur Datenerfassung: OBD-Simulator (Ozen Elektronik ECUSim mOByDic 1610) mit angeschlossenem OBD-Bluetooth-Adapter (APOS BT OBD 327) und aktiver Bluetooth-Kopplung mit Smartphone und der mobilen Applikation (android-obd-reader). Quelle: selbst erstelltes Bildmaterial.

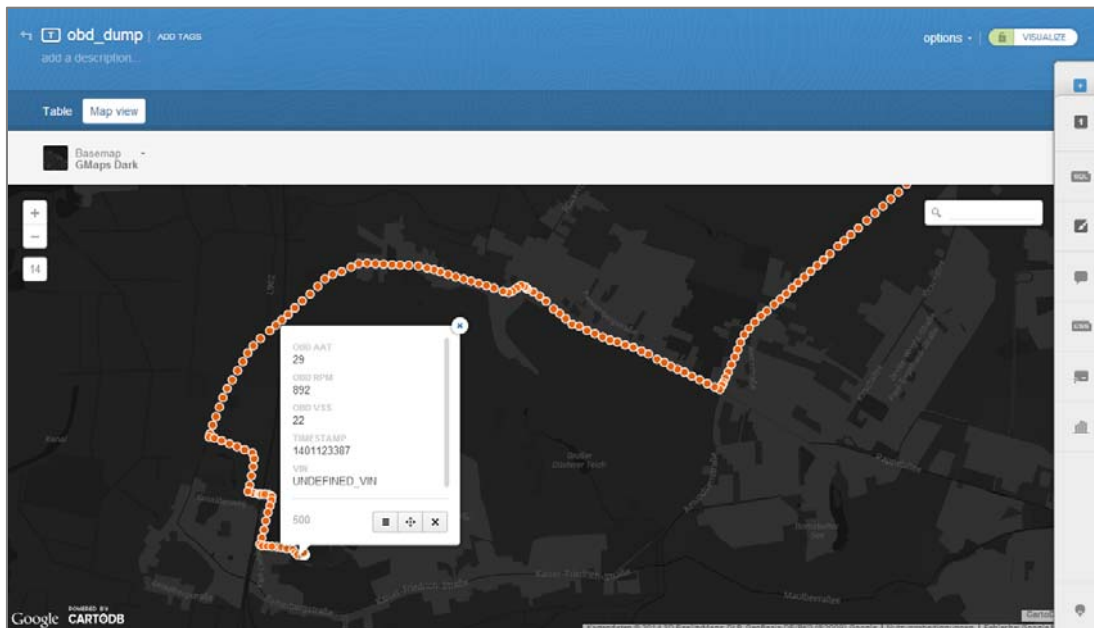
obd_dump | ADD TAGS | options - | VERFAHRT

add a description

Table | Map view

cartodb_id - number	the_geom - geometry	obd_ast - number	obd_maf - number	obd_rpm - number	obd_vss - number	readings - string	timestamp - number	vis - string	updated_at - date	created_at - date
6	13.1678, 52.5428	29	40	1609	2	["Engine RPM=>1609 RPM"; "Ambient Air Te..."]	1401121205	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:33:45+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
7	13.1678, 52.5428	29	95	1614	18	["Vehicle Speed=>18km/h"; "Ambient Air Te..."]	1401121209	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:33:56+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
8	13.1674, 52.5428	29	95	1662	34	["Engine RPM=>1662 RPM"; "Ambient Air T..."]	1401121213	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:34:08+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
9	13.1668, 52.5429	29	32	1548	33	["Vehicle Speed=>33km/h"; "Engine RPM=..."]	1401121217	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:34:17+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
10	13.1662, 52.5429	29	89	1518	31	["Ambient Air Temperature=>9C"; "Engine R..."]	1401121221	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:34:24+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
11	13.1656, 52.5429	29	88	1464	31	["Engine RPM=>1464 RPM"; "Ambient Air T..."]	1401121226	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:34:31+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
12	13.1651, 52.5429	29	79	1347	27	["Engine RPM=>1347 RPM"; "Ambient Air T..."]	1401121230	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:35:04+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
13	13.1646, 52.5429	29	90	1561	32	["Engine RPM=>1561 RPM"; "Vehicle Spee..."]	1401121234	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:34:58+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
14	13.1641, 52.5428	29	87	889	21	["Vehicle Speed=>21km/h"; "Engine RPM=..."]	1401121238	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:35:31+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
15	13.1638, 52.5427	29	75	1608	16	["Vehicle Speed=>16km/h"; "Engine RPM=..."]	1401121242	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:35:49+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
16	13.1637, 52.5425	29	81	1427	27	["Engine RPM=>1427 RPM"; "Vehicle Spee..."]	1401121246	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:35:59+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
17	13.1637, 52.5422	29	71	868	27	["Vehicle Speed=>27km/h"; "Engine RPM=..."]	1401121250	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:36:12+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00
18	13.1637, 52.5420	29	31	917	2	["Engine RPM=>917 RPM"; "Vehicle Spee..."]	1401121254	UNDEFINED_VN	2014-06-02T22:36:22+00:00	2014-05-26T17:10:22+00:00

4) Benutzeroberfläche CartoDB: Datenbanktabelle (Ansicht „Table“).
Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots).



5) Benutzeroberfläche CartoDB: Visualisierung (Ansicht „Map View“).
Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots).



6) Dynamische Visualisierung der Fahrzeugbewegung mit Hilfe der „torque“-
Bibliothek. Quelle: selbst erstellte Bildschirmfotos (Screenshots).

Erklärung

Der Verfasser erklärt, dass er die vorliegende Arbeit selbständig, ohne fremde Hilfe und ohne Benutzung anderer als der angegebenen Hilfsmittel angefertigt hat. Die aus fremden Quellen (einschließlich elektronischer Quellen) direkt oder indirekt übernommenen Gedanken sind ausnahmslos als solche kenntlich gemacht. Die Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form oder auszugsweise im Rahmen einer anderen Prüfung noch nicht vorgelegt worden.

Ort, Datum

Unterschrift