



1. Einleitung und Motivation

Die Positionsbestimmung des eigenen Verkehrsmittels hat ihre Wurzeln in der Schifffahrt. Wichtig war es hierbei, sich auf dem Meer zu orientieren und dadurch den Zielhafen zu finden. In der Nähe von Küsten konnte dies einfach durch Landmarken, wie Leuchttürme oder bestimmte Küstenstrukturen geschehen. Je weiter sich jedoch das Schiff von der Küste entfernte, desto schwieriger wurde die Positionsbestimmung. Mit Hilfe von Kompassen, Seekarten, Theodoliten, Sextanten und Uhren konnte eine astronomische Ortsbestimmung durchgeführt werden. Der Ort des Schiffes wurde mit der Lage der Sterne am Himmel abgeglichen und somit die Position in der Karte bestimmt. Der Standort konnte mit diesem Verfahren nur sehr grob in der longitudinalen Ablage bestimmt werden, da die Zeitmessung noch sehr ungenau war. Durch die Entwicklung einer Schiffsuhr oder auch Längenuhr von John Harrison im Jahre 1735 wurde das Problem gelöst. Erst 1759 konnte er sich mit der Weiterentwicklung der Schiffsuhr durchsetzen. Ungefähr 80 Jahre später waren alle Schiffe mit der Längenuhr ausgestattet (vgl. [1], [2] und [3]).

Vor der ersten technischen Entwicklung des Kompasswagens im Jahre 2600 v. Chr. in China, wurde die Positionierung des Verkehrsmittels ebenfalls durch Landmarken, wie Felsen, Bäume oder andere prägnante Merkmale in der Umwelt berechnet. Der Kompasswagen ermöglichte es, durch eine Figur, die sich über einem Zahnradmechanismus befand, jederzeit die Ausrichtung des Fahrzeugs gegenüber Süden zu bestimmen. Zur Messung der zurückgelegten Strecke wurde im Jahre 100 v. Chr. die Odometrie entwickelt. Die Odometrie beschreibt die Wissenschaft der Positionsbestimmung eines mobilen Systems anhand der Daten seines Vortriebsystems. Durch die Erfindung des magnetischen Kompasses zwischen dem 12. und 13. Jahrhundert konnte die Orientierung des Fahrzeugs einfacher bestimmt werden. Daraufhin wurden in den USA, Großbritannien und Europa begonnen, Systeme zu entwickeln, die über eine fortlaufende Ortung, Kurs-



1. Einleitung und Motivation

und Geschwindigkeitsbestimmung das Fahrzeug positionierten. Vor allem durch die Erfindung des Automobils und den damit einhergehenden rasanten Ausbau der Infrastruktur im 19. und 20. Jahrhundert gewann die Genauigkeit der Positionierung weiter an Bedeutung. Eine weitere Iterationsstufe in der Positionsbestimmung wurde erst mit dem Aufkommen der digitalen Karten um 1970 erreicht. Damit war es möglich, das Fahrzeug auf der zugehörigen Straße zu lokalisieren. Mit der Integration des *Global Positioning Systems* (GPS) in kommerzielle Navigationssysteme wurde die Ortung für Navigationssysteme Anfang der 1990er Jahre für die Gesellschaft nutzbar (vgl. [2]).

In heutigen Fahrzeugen werden die für die Odometrie verwendeten relativen Sensoren, wie Geschwindigkeitssensor oder Gyrometer, durch geeignete Verfahren mit absoluten Sensoren, die für die Positions- und Ortungsbestimmung genutzt werden, fusioniert (vgl. [1]). Durch diese Verfahren ist für bisherige Ansprüche eine verlässliche Fahrzeugpositionierung möglich.

In der Automobilindustrie war die Fahrzeugpositionierung hauptsächlich Bestandteil des Navigationssystems. Navigationssysteme definieren sich nach [2] über ein sicheres Hinführen zu einem Zielobjekt entlang einer vordefinierten Route durch Zusammenspiel von aktueller Position und Führungszintelligenz. Durch immer höhere Ansprüche an Navigationssysteme reichen die bisherigen im automotiven Bereich verbreiteten Positionierungsverfahren, die eine durchschnittliche Genauigkeit von ca. 6m erreichen, nicht mehr aus. Geforderte realitätsnähere Anzeigen der Navigationshinweise, anhand deren der Fahrer sich leichter orientieren kann, können aktuell nicht realisiert werden. Entwicklungen gehen in Richtung einer augmentierten Anzeige des Pfeils in einem Videobild oder durch ein kontaktanaloges HeadUp-Display. Hierbei soll der Navigationspfeil durch die Windschutzscheibe auf die Straße projiziert und umgebungsgetreu abgebildet werden. Für die Ablage des Pfeils spielt neben einer exakten Streckenkrümmungsprädiktion auch der Winkel des Fahrzeugs zur Straße eine wichtige Rolle. Somit ist für eine wirklichkeitsnahe Darstellung, in der sich der Fahrer leichter zurecht finden kann, eine weitere Verbesserung der Fahrzeugposition auch relativ zur Straße notwendig. Für die Korrektheit der angezeigten Manöver ist eine fehlerfreie digitale Karte erforderlich.

Neben der Navigation nutzen immer mehr Fahrerassistenzsysteme digitale

Karten und somit die Fahrzeugposition zur Verbesserung ihrer Funktionalität. In [4] wird hierzu das Potential der Nutzung von Kartendaten für intelligente Fahrzeuge diskutiert.

Erste Systeme der AUDI AG sind hierbei Advanced Cruise Control (ACC) [5] und die Lichtsteuerung [6]. ACC erweitert das Geschwindigkeitsregelsystem um eine automatische Distanzregelung. Hierbei wird mit Hilfe von Radarsensoren zum Vorderfahrzeug ein eingestellter Abstand gehalten. Bei früheren Systemständen trat der Fall ein, dass das System, vor allem in Kurvenfahrten, auf ein anderes Fahrzeug als auf das Vorderfahrzeug regelte. Durch den unbekanntem Krümmungsverlauf der Straße interpretierte das System ein Fahrzeug auf der Nebenspur als relevantes Objekt. Durch die Verwendung des Straßenverlaufs kann die Kurve erfasst und somit eine Fehldetektion bzgl. des Vorderfahrzeugs verhindert werden (vgl. [7]).

Die Lichtsteuerung nutzt die Informationen der Kartendaten, um die Straße abhängig von der Straßenklasse optimal auszuleuchten. Die an die Straßenklasse angepassten Scheinwerferverteilungen helfen dem Fahrer, die bestmögliche Sicht auch bei Nacht zu gewährleisten. In Städten hilft dem Fahrer zusätzlich das Kreuzungslicht, um mit einer möglichst breiten Ausleuchtung der Kreuzung den Überblick zu behalten. Bei der Weiterentwicklung dieses Systems, dem Kurvenlicht, spielt die Fahrzeugpositionierung eine wichtige Rolle. Anhand der Navigationsdaten ist es möglich, den Lichtkegel prädiktiv in die Kurve zu schwenken, auch wenn noch keine Lenkbewegung des Fahrers durchgeführt wurde. Somit erhält der Fahrer frühestmögliche eine optimale Ausleuchtung der Kurve. Ist die Fahrzeugposition hier nicht genau genug, so wird der Lichtkegel zu früh oder zu spät in die Kurve geschwenkt, was die Qualität des Systems negativ beeinflusst. Neben einer sehr genauen Streckenkrümmungsvorausschau vor dem Fahrzeug ist für die Systeme ACC und prädiktives Kurvenlicht eine genaue Ausrichtung des Fahrzeugs gegenüber der Straße wichtig. Es wird eine Positionierungsungenauigkeit von maximal $10m$ in der longitudinalen und eine spurgenaue Positionierung in lateraler Ablage gefordert. Weist die Ortung des Fahrzeugs eine größere Ungenauigkeit auf, so geschehen Fehler in der Ausführung der Applikation. Bei der in der Automobilindustrie heute verwendeten Lokalisierung kann es sogar zu einer Ungenauigkeit von $20m$ und mehr kommen.

Diese geforderten Genauigkeiten reichen jedoch für die auf Car2X-Technologien aufbauenden Kundenfunktionen noch nicht aus: Ein Fahrerassi-



1. Einleitung und Motivation

stanzsystem, das auf Basis von Positionsaustausch verschiedener Fahrzeuge mögliche Kollisionen berechnet und davor warnt (vgl. [8]), fordert eine Genauigkeit an die Fahrzeugortung von $1m$. Zudem ist hierbei das Wissen über die aktuell befahrene Spur des Fahrzeugs notwendig. Hieraus ergibt sich die im nächsten Kapitel beschriebene Zielsetzung der Arbeit.

1.1. Zielsetzung

Aufgrund immer höher werdender Anforderungen an die Genauigkeit der Fahrzeugposition soll in dieser Arbeit untersucht werden, inwieweit es möglich ist, die aktuell befahrene Spur des Fahrzeugs anhand aktueller Seriensensorik zu ermitteln. Hierfür wird das Fahrzeugumfeld sensorisch erfasst, interpretiert und mit Kartendaten abgeglichen. Grundlage ist die aktuell berechnete globale Fahrzeugposition des Navigationssystems.

Die Leistungsfähigkeit des Algorithmus soll auf verschiedenen Straßenklassen, Verkehrslagen sowie Witterungsbedingungen getestet werden.

1.2. Aufbau

In diesem Kapitel wird der Aufbau der Arbeit beschrieben. Hierbei soll die Motivation für die Herangehensweise und die Datengrundlage für die Auswertungen der einzelnen Algorithmen näher erläutert werden.

1.2.1. Herangehensweise

Arbeiten von [9] und [10] nutzen Differential Global Positioning System (DGPS) in Fusion mit Dead-Reckoning und erweiterten Kartendaten zur Ermittlung einer fahrstreifengenauen Position des Fahrzeugs. Da jedoch DGPS-Verfahren u.a. aus Kostengründen nicht in Serienfahrzeuge integriert werden können, beschäftigen sich weitere aktuelle Arbeiten (vgl. [11] oder [12]) damit, dies anhand von LowCost-Sensorik zu realisieren. Zur Erweiterung dieser Ansätze wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Ansatz verfolgt, der untersucht, inwieweit es mit Umfeldsensorik aktueller Serienfahrzeuge möglich ist, die aktuell befahrene Spur des Fahrzeugs zu bestimmen.

Erste Überlegungen für die Ermittlung der aktuell befahrenen Spur basieren auf der Verknüpfung der Anzahl der Spuren aus den Kartendaten mit der Interpretation der Linienarten aus einer Linienerkennung einer Monovideokamera. Die Spuren werden hierbei von rechts nach links nummeriert (vgl. Abbildung 1.1).



Abbildung 1.1.: Nummerierung der Spuren

Dieses Vorgehen wird anhand des folgenden Beispiels erläutert: Befindet sich das Fahrzeug durch Abgleich der bestimmten globalen Fahrzeugposition und den Kartendaten auf einer dreispurigen Straße, so können anhand der Linienarten neben dem Fahrzeug folgende Aussagen über die aktuelle Spur getroffen werden (vgl. Abbildung 1.2):

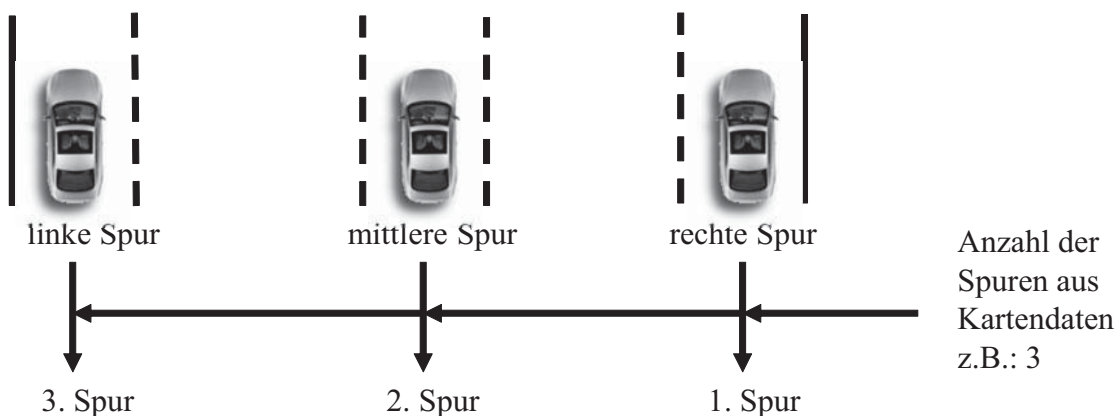


Abbildung 1.2.: Erster Ansatz zur Bestimmung der aktuell befahrenen Spur

- Wurde eine gestrichelte Linie links und eine durchgezogene Linie rechts vom Fahrzeug erkannt, so befindet sich das Fahrzeug auf der ersten von drei Spuren.

1. Einleitung und Motivation

- Wurde eine durchgezogene Linie links und eine gestrichelte Linie rechts vom Fahrzeug erkannt, so befindet sich das Fahrzeug auf der dritten von drei Spuren.
- Wurde eine gestrichelte Linie jeweils links und rechts vom Fahrzeug erkannt, so befindet sich das Fahrzeug auf der zweiten von drei Spuren.

Voraussetzungen für dieses Verfahren sind:

- Das Fahrzeug ist auf die richtige Straße positioniert
- Die Anzahl der Spuren aus den Kartendaten ist korrekt und kleiner als vier Spuren
- Die Linienerkennung erkennt alle Linienarten korrekt

Diese Prämissen werden jedoch in der Realität nicht immer erfüllt: Fehlerkennungen aus der Linienerkennung können durch diverse Umwelteinflüsse, schlechte Markierungsqualität oder durch Verdeckung auftreten. Zudem ist die Anzahl der Spuren häufig in der Kartendatenbank fehlerhaft hinterlegt. Die Ergebnisse der Evaluierung dieses Algorithmus zeigen, dass die ermittelte Fahrspur oft falsch ist oder wechselt, obwohl sich das Fahrzeug weiterhin auf der gleichen Spur befindet.

Aufgrund dieser Sachverhalte wurden folgende Herausforderungen zum zentralen Bestandteil und folglich als Arbeitspakete für die Arbeit definiert:

1. Erfassung des Straßenumfeldes:

- Untersuchung der Möglichkeit zur Ermittlung der Anzahl der Spuren aus Linienerkennung und Objektdaten
- Analyse und Ergänzung des Krümmungsverlaufes der Streckenvorausschau (vgl. Abbildung 1.3)

2. Bestimmung der aktuellen Spur:

- Analyse der Linien-, Eigenbewegungs-, Objekt- und Kartendaten zur spurgenaue Positionierung



Abbildung 1.3.: Krümmungsverlauf der Straße vor dem Fahrzeug

- Aussagen zur Erkennung eines Spurwechsels und Ermittlung des Winkels zur Fahrbahn durch die Linienerkennung und Abgleich des Eigenbewegungsverhaltens mit dem Straßenverlauf (vgl. Abbildung 1.4)



Abbildung 1.4.: Winkel des Fahrzeugs zur Straße

Anhand dieser Herausforderungen und Arbeitspakete hat sich das Schema in Abbildung 1.5 für die Optimierung der Fahrzeugposition auf der Straße entwickelt.

Es gliedert sich in vier Phasen: "Datenquellen", "Umfeldmodellierung", "Dateninterpretation" und "Bestimmung der aktuell befahrenen Fahrspur". In Kapitel 2 werden die Datenquellen erläutert. Hierbei handelt es sich um Eigenbewegungsdaten, eine Multifunktionskamera, Fernbereichsradar und das Navigationssystem. Diese Sensorik ist in den aktuellen Serienfahrzeugen verbaut. Kapitel 3 beschreibt die Umfeldmodellierung, die durch eine komplementäre Sensordatenfusion generiert wird (vgl. [13]). Dieses Umfeldmodell liefert, neben einer Streckenkrümmungsvorausschau, das Er-



1. Einleitung und Motivation

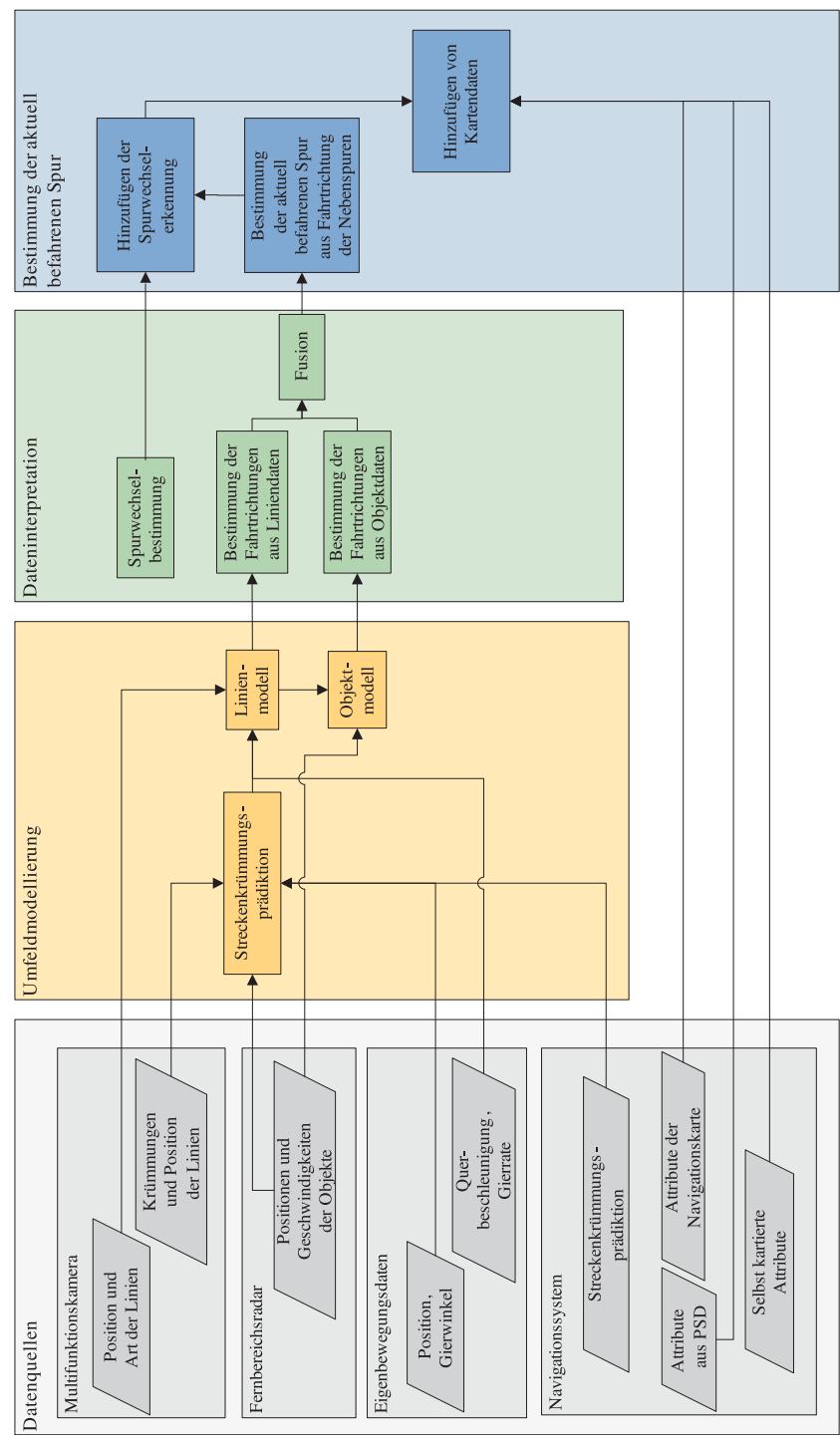


Abbildung 1.5.: Aufbau der Arbeit

gebnis für den Winkel des Fahrzeugs zur Straße und dient als Grundlage für die in Kapitel 4 beschriebene Dateninterpretation. Hierbei wird die zuverlässige Ermittlung des Spurwechsels und eine mögliche Bestimmung der Fahrtrichtungen auf den Spuren untersucht. In Kapitel 5 wird die Bestimmung der aktuell befahrenen Spur in Abhängigkeit unterschiedlicher Kartendaten analysiert. Jedes dieser Kapitel, wie auch die komplette Arbeit, wird mit einer Zusammenfassung abgeschlossen.

Ein wichtiger Abschnitt für jedes Kapitel ist die Evaluierung der beschriebenen Verfahren. Die Grundlage für diese Auswertung wird im nächsten Kapitel dargestellt.

1.2.2. Grundlage der Auswertungen

Zur Evaluierung der entwickelten Verfahren wurde eine 5-tägige Fahrt durch Süd- und Mitteldeutschland mit einem Audi A8 4.2 TDI, der als Versuchsträger dient, durchgeführt.

Der Versuchsträger ist mit einem CarPC ausgestattet, der mit dem im Fahrzeug vorhandenen Bussystemen verbunden ist, um alle nötigen Daten aufnehmen zu können. Zur Aufnahme der Daten wurde das Automotive Data and Time-Triggered Framework (ADTF) verwendet. Hierbei handelt es sich um ein Rapid-Prototyping-Framework. Dieses wurde von der Audi Electronics Venture GmbH entwickelt und wird aktuell in der zweiten Generation durch die Firma Elektrobit Automotive GmbH vertrieben. Anhand dieses Frameworks ist es möglich, Daten in Echtzeit aufzunehmen und diese später zu bearbeiten [14]. Für diese Arbeit sind folgende Daten der Sensoren interessant und werden aufgenommen:

- Monokamera: Bild, Linien
- Fernbereichsradar: Objekte
- Navigation: PSD, Global Positioning System (GPS)
- Elektronisches Stabilitätsprogramm (ESP): Geschwindigkeit
- Sensor Array Audi (SARA): Beschleunigungen, Drehraten

Diese Sensoren werden in Kapitel 2 näher beschrieben. In Abbildung 1.6 werden deren Verbauorte im Fahrzeug dargestellt.

1. Einleitung und Motivation



Abbildung 1.6.: Verbauorte der verwendeten Sensoren

Die abgefahrte Strecke von ca. 2000 km wird in Abbildung 1.7 anhand der gemessenen GPS-Positionen veranschaulicht.

Bei der Auswahl der Strecke wurde darauf geachtet, dass diese unterschiedliche Fahrbahnsituationen widerspiegelt: Stadt, Wohngebiete, Autobahn, Bundes- und Landstraßen. Es wurden 14 Städte (Ingolstadt, München, Ulm, Stuttgart, Neckarsulm, Heidelberg, Frankfurt, Wiesbaden, Mainz, Köln, Bonn, Dortmund, Kassel, Dresden) über die jeweiligen großen Verbindungsstraßen abgefahren. Während der Fahrt war es möglich, verschiedene Wettersituationen wie Sonne, Regen, Wolken oder Nebel und Tageszeiten aufzunehmen.

Um eine korrekte Datengrundlage für die Evaluierung der Algorithmen zu schaffen, wurde ein Referenzsystem ins Auto eingebaut. Es handelt sich hierbei um eine kompakte und stabile Box mit Inertial Navigation System (INS)/Real Time Kinematic (RTK)-Globale Navigation Satellite Systeme (GNSS)-Messtechnik. Bei dem verbauten Referenzsystem handelt es sich um das System "iTrace" der Firma iMAR. Dieses Messsystem stellt "alle kinematischen Messgrößen, wie Drehrate, Beschleunigung und Winkel (Rollen, Nicken, Wanken) des Trägerfahrzeugs sowie Position und Geschwindigkeit mit einer Datenrate von bis zu 200 Hz in Echtzeit zur

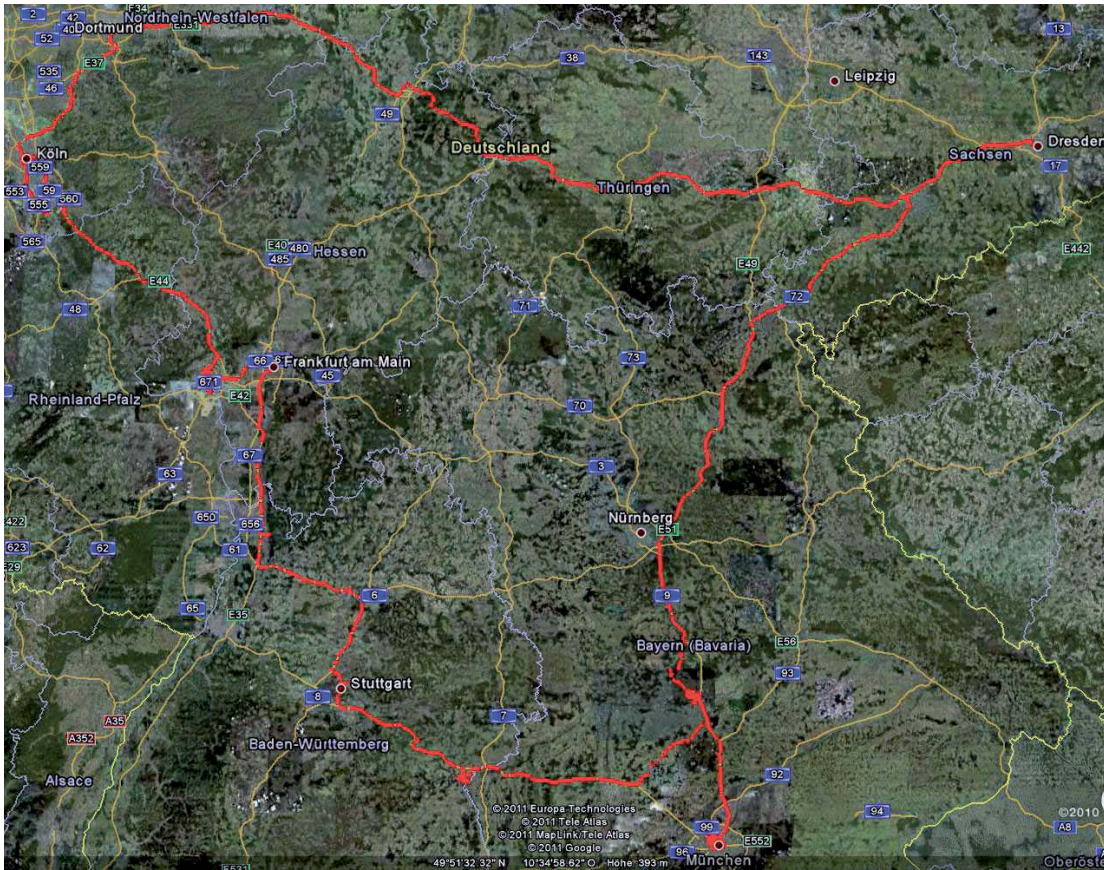


Abbildung 1.7.: Übersicht der Route zur Datenaufnahme



1. Einleitung und Motivation

Verfügung" [15]. Aus dem Datenblatt [15] ist eine Genauigkeit der Drehraten von 0.01° mit INS/RTK-GNSS-Empfang und 0.02° nach 30 Sekunden ohne RTK-GNSS Signal zu entnehmen. Zudem ist eine Positionierungsgenauigkeit von $\pm 2\text{cm}$ bei RTK-GNSS Empfang, $\pm 10\text{cm}$ bei 10 sekündigem Ausfall des GNSS Signals sowie $\pm 1,8\text{m}$ ohne Referenzstation angegeben. Um eine Referenz für die Auswertungen gegenüber der aktuell befahrenen Spur und den Kartendaten zu haben, wurden folgende Eigenschaften der Straßen und Situationen manuell im Nachhinein markiert:

- Aktuell befahrene Spur
- Anzahl der Spuren
- Sonderspuren: Bus, Fahrradweg, Standspur
- Besonderheiten der Fahraktionen: Kreuzung, Spurwechsel
- Straßenbelag: Beton, Asphalt (neu), Asphalt (alt), Asphalt verschieden, Kopfsteinpflaster, Schotter (subjektive Einschätzung)
- Besonderheiten des Fahrbahnbelages: Schienen, Teernähte
- Randbegrenzung rechts und links: durchgezogene breite Linie, durchgezogene schmale Linie, breite gestrichelte Linie mit kurzen Abständen, breite gestrichelte Linie mit langen Abständen, schmale gestrichelte Linie mit kurzen Abständen, schmale gestrichelte Linie mit langen Abständen, durchgezogen-gestrichelt, gestrichelt-durchgezogen, durchgezogen-durchgezogen, Grasnarbe, Bordstein, parkende Fahrzeuge, Leitplanke, keine
- Markierungsgüte: von keine bis sehr deutlich in einer subjektiven Abstufung in fünf Schritten
- Besonderheiten der Bebauung: Tunnel, Häuserschlucht, Allee, Baustelle
- Verkehrsaufkommen: von keinem bis sehr hoch in einer Abstufung in vier Schritten, hierbei teilen sich diese folgendermaßen nach der Anzahl der erkannten Objekte des Fernbereichsradars auf:
 - 1. Stufe: keine fahrenden Objekte



- 2. Stufe: weniger als drei fahrende Objekte pro Spur
- 3. Stufe: mehr als zwei jedoch weniger als zehn fahrende Objekte pro Spur
- 4. Stufe: mehr als zehn fahrende Objekte pro Spur
- weitere Besonderheiten: Einbahnstraße, Parkplatz, unübersichtliche Situation

Eine detaillierte Statistik der gefahrenen Situationen ist in Anhang A dargestellt.

Im nächsten Kapitel werden die schon in diesem Kapitel erwähnten Datenquellen beschrieben.