

CARSENSE – FAHRZEUGE ALS MOBILE SENSOREN FÜR INFRASTRUKTURBETREIBER

CarSense – Zur Nutzbarmachung des Potentials von fahrzeugseitigen Sensoren als Datenquelle für die ASFINAG ermittelte, testete und bewertete das Projekt CarSense existierende und mögliche zukünftig massentaugliche Fahrzeugsensoren als potentielle Datenquellen.

Die Ergebnisse im Projekt CarSense wurden in **vier Arbeitspaketen** erarbeitet. In **Arbeitspaket 1** wurden mögliche fahrzeugseitige Sensoren und deren Daten hinsichtlich ihrer **potentiellen Einsetzbarkeit** bei typischen Aufgaben der ASFINAG ermittelt. Anhand von Bestandsaufnahmen von fahrzeugseitigen Sensoren sowie bestehender Sensorik der ASFINAG wurden mögliche Einsatzgebiete sowie vielversprechende Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen ermittelt.

In **Arbeitspaket 2** wurde eine **Evaluierung** von vielversprechenden Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen durchgeführt, um zum Beispiel neue Möglichkeiten von Datenerfassung, Datenaufbereitung und Datenauswertung zu evaluieren. Dabei wurde die Erfassung von fahrzeugseitigen Daten über OBDII, CAN-Bus oder Smartphones evaluiert. Die größten Potentiale ergaben sich im Bereich des **Verkehrsmanagements** sowie der **Verkehrsinformation**, in der **Verkehrssicherheit** sowie im **Erhaltungsmanagement**.

Anhand der Ergebnisse der beiden vorangegangenen Arbeitspakete wurde in **Arbeitspaket 3** die Bewertung der potentiell einsetzbaren Sensoren im Hinblick auf ihren **Mehrwert** und die **Umsetzbarkeit** durchgeführt, sodass ein Empfehlungskatalog erarbeitet werden konnte. Ergebnis dieses Empfehlungskatalogs sind **10 verschiedene Mehrwertszenarien zur Datennutzung** sowie **8 konkrete Handlungsempfehlungen**.

Abschließend wurde innerhalb von **Arbeitspaket 4** ein Vorschlag erarbeitet, wie die zukünftige **Integration der Daten in die Systeme der ASFINAG** gelingen kann. Im Rahmen eines **Feldversuchs mit 5 Fahrzeugen** konnte die Integration von fahrzeugseitig generierten Daten in die Systeme der ASFINAG auch in der Praxis getestet werden.

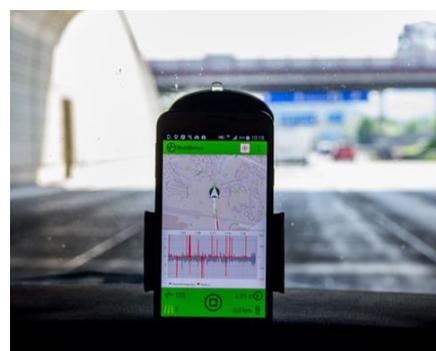


ABB 1. Erfassung der Fahrbahnqualität mit der Smartphone-App RoadSense

Facts:

- Kurztitel: CarSense
- Laufzeit: 08/2014-10/2015
- Auftragnehmer:
Salzburg Research
Forschungsgesellschaft mbH

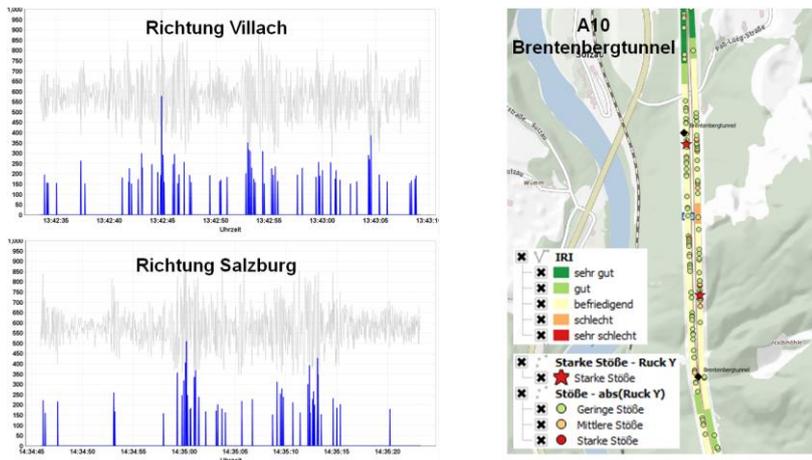


ABB 2. Auswertung der gemessenen Fahrbahnqualität auf einem Abschnitt der A10 Tauernautobahn in Salzburg

Kurzzusammenfassung

Problem

Im Projekt CarSense wurde der Frage nachgegangen, welche fahrerseitig-generierten Daten zukünftig für Straßeninfrastrukturbetreiber von Nutzen sein können.

Gewählte Methodik

Innerhalb des Projekts wurden unterschiedliche Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen mittels einer Bestandsaufnahme ausgewählt und im Rahmen von Testfahrten evaluiert.

Ergebnisse

Für ausgewählte Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen konnte ein Mehrwert für das **Verkehrsmanagement**, die **Verkehrsinformation**, die **Verkehrssicherheit** sowie für das **Erhaltungsmanagement** festgestellt werden. Auf Basis dieser Mehrwertbewertung wurden **8 Handlungsempfehlungen** für die ASFINAG abgeleitet.

Schlussfolgerungen

Bereits heute ist es für Straßeninfrastrukturbetreiber möglich, fahrerseitig generierte Daten zu nutzen. In den nächsten Jahren ist eine breite Verfügbarkeit von fahrerseitig-generierten Daten aus unterschiedlichen Quellen zu erwarten. Die Ergebnisse des Projekts CarSense dienen dazu, um Bewusstsein für das Thema bei Straßeninfrastrukturbetreibern zu schaffen und wichtige Entscheidungen vorzubereiten.

English Abstract

Being equipped with 80 to 100 sensors, modern vehicles offer enormous potential for different use cases in the context of intelligent transport systems. The goal of the CarSense project was to raise the potential of vehicle-originated sensor information for infrastructure operators. This was done by evaluating different sensor-data-task-combinations with specific test drives. The highest potential of vehicle-originated data could be revealed for use cases in the area of traffic management, traffic information, traffic safety as well as road maintenance. Based on the evaluation CarSense proposes 8 recommendations how to address the topic in the future.

Impressum:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie

DI Dr. Johann Horvatits,
Abt. IV/ST 2 Technik und
Verkehrssicherheit
johann.horvatits@bmvit.gv.at,

DI (FH) Andreas Blust,
Abt. III/14 Mobilitäts- und
Verkehrstechnologien
andreas.blust@bmvit.gv.at,
www.bmvit.gv.at

ASFINAG

DI (FH) René Moser, Leiter Strategie,
Internationales und Innovation
rene.moser@asfinag.at,
www.asfinag.at

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH

DI Dr. Christian Pecharda,
Programmleitung Mobilität
Sensengasse 1, 1090 Wien
christian.pecharda@ffg.at,
www.ffg.at

Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH

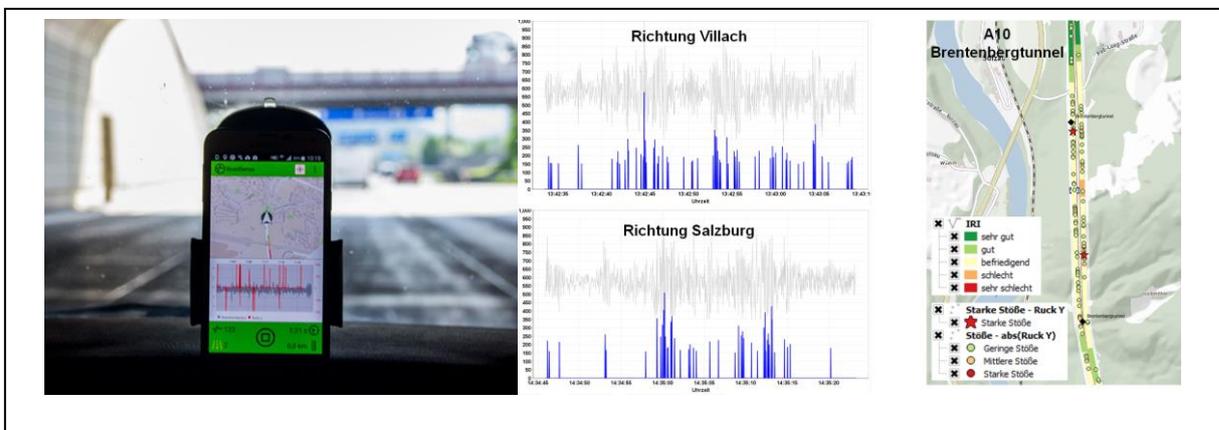
Dr. Karl Rehl,
Mobile und webbasierte
Informationssysteme,
Jakob-Haringer-Str. 5/3, 5020 Salzburg
karl.rehl@salzburgresearch.at,
www.salzburgresearch.at

Oktober 2015

Fahrzeuge als mobile Sensoren für Infrastrukturbetreiber CarSense

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung 2013
(VIF2013)

Oktober 2015



Impressum:

Herausgeber und Programmverantwortung:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Abteilung Mobilitäts- und Verkehrstechnologien
Radetzkystraße 2
A – 1030 Wien



Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs
Aktiengesellschaft
Rotenturmstraße 5-9
A – 1010 Wien



Für den Inhalt verantwortlich:

Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH
Jakob-Haringer-Straße 5/3
A – 5020 Salzburg



Programmmanagement:

Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH
Bereich Thematische Programme
Sensengasse 1
A – 1090 Wien



Fahrzeuge als mobile Sensoren für Infrastrukturbetreiber CarSense

Ein Projekt finanziert im Rahmen der
Verkehrsinfrastrukturforschung
(VIF2013)

AutorInnen:

Dipl.-Ing. Dr. Karl Rehl

Dipl.-Ing. Mag. Dr. Richard Brunauer

Auftraggeber:

Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Autobahnen- und Schnellstraßen-Finanzierungs-Aktiengesellschaft

Auftragnehmer:

Salzburg Research Forschungsgesellschaft mbH



Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	6
2	Arbeitspaket 1: Potentiale von fahrzeugseitigen Sensoren	7
2.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	7
2.2	Ergebnisse im Detail.....	9
3	Arbeitspaket 2: Evaluierung von Sensorsystemen	34
3.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	34
3.2	Ergebnisse im Detail.....	36
4	Arbeitspaket 3: Empfehlungskatalog.....	66
4.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	66
4.2	Methodik und Ziele	68
4.3	Mehrwertbewertungen und Mehrwertszenarien	69
4.4	Thesen, Handlungsfelder, Handlungsempfehlungen	89
4.5	Handlungsempfehlungen.....	93
5	Arbeitspaket 4: Systemintegration	102
5.1	Zusammenfassung der Ergebnisse	102
5.2	Hintergrund und Ziele	104
5.3	Schnittstelle für die Übertragung von fahrzeugseitigen Daten.....	106
5.4	Erweiterte Informationen.....	114
5.5	Ergebnisse der Feldtests	119
6	Literatur	131

1 EINLEITUNG

Zur Nutzbarmachung des Potentials von fahrzeugseitigen Sensoren als Datenquelle für die ASFINAG ermittelte, testete und bewertete das **Projekt CarSense** existierende und mögliche zukünftig massentaugliche Fahrzeugsensoren als potentielle Datenquellen. Das Vorhaben bestimmte den technischen, wirtschaftlichen und/oder inhaltlichen Mehrwert für den Einsatz, erarbeitete konkrete Empfehlungen, welche Daten zukünftig effizient und nutzbringend über fahrzeugseitige Sensorik erhoben werden können, und schlägt eine Systemarchitektur für eine reibungslose Integration der Daten in die Systeme der ASFINAG vor.

Die Ergebnisse im Projekt CarSense wurden in **vier Arbeitspaketen** erarbeitet. In **Arbeitspaket 1** wurden mögliche fahrzeugseitige Sensoren und deren Daten hinsichtlich ihrer **potentiellen Einsetzbarkeit** bei typischen Aufgaben der ASFINAG ermittelt. Im Anschluss wurde in **Arbeitspaket 2** eine **Evaluierung** für vielversprechende Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen durchgeführt, um zum Beispiel neue Möglichkeiten von Datenerfassung, Datenaufbereitung und Datenauswertung evaluieren zu können. Anhand der Ergebnisse der beiden vorangegangenen Arbeitspakete wurde in **Arbeitspaket 3** die Bewertung der potentiell einsetzbaren Sensoren im Hinblick auf ihren **Mehrwert und die Umsetzbarkeit** durchgeführt, sodass ein Empfehlungskatalog erarbeitet werden konnte. Abschließend wurde innerhalb von **Arbeitspaket 4** eine Systemarchitektur erarbeitet, welche für eine zukünftige **Integration der Daten in die Systeme der ASFINAG** angestrebt werden könnte.

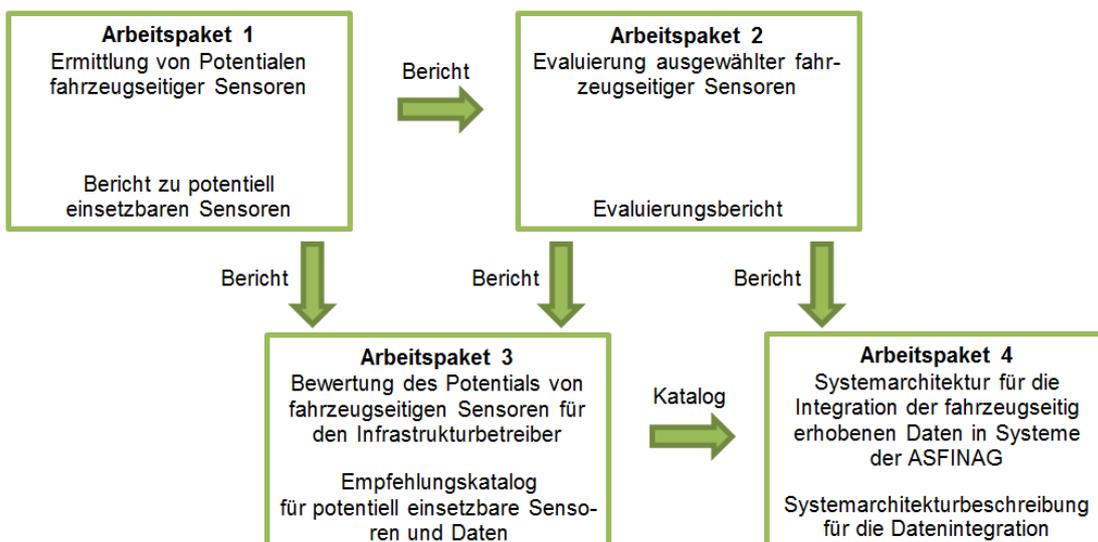


Abbildung 1: Arbeitspakete im Projekt CarSense

2 ARBEITSPAKET 1: POTENTIALE VON FAHRZEUGSEITIGEN SENSOREN

2.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Arbeitspaket 1 diente zur Ermittlung der Potentiale von fahrzeugseitigen Sensoren. Speziell wurde der Frage nachgegangen, welche fahrzeugseitigen Sensoren für die Unterstützung von Aufgaben im Bereich des Straßenerhalts und des Straßenbetriebs Daten von potentiell Interesse liefern könnten. Hierbei wurden sowohl ein Bottom-up- als auch ein Top-down-Ansatz verfolgt. In einem ersten Bottom-up-Schritt wurde innerhalb einer Recherche eine Bestandsaufnahme von fahrzeugseitigen Sensoren durchgeführt (2.2.1). Ziel war es, festzustellen, welche Datenquellen heute bereits existieren und möglicherweise eingesetzt werden könnten. Im Top-down-Schritt wurde zuerst eine Bestandsaufnahme von bestehenden Sensoren bei der ASFINAG durchgeführt (2.2.2) und parallel dazu mögliche bestehende oder neue Einsatzgebiete für Daten und Informationen aus Sensoren ermittelt (2.2.3). Im letzten Schritt wurden die Ergebnisse aus den vorangegangenen Schritten integriert, um die Potentiale zu beschreiben (2.2.4).

(AP 1) Ermittlung von Potentialen fahrzeugseitiger Sensoren	
(Z 1)	Im Vorhaben sollen mögliche fahrzeugseitige Sensoren und deren Daten hinsichtlich ihrer potentiellen Einsatzbarkeit bei typischen Aufgaben der Infrastrukturbetreiber ermittelt werden.
(1.1)	Bestandsaufnahme fahrzeugseitiger Sensoren
(1.2)	Bestandsaufnahme Sensoren ASFINAG
(1.3)	Ermittlung potentieller Einsatzgebiete
(1.4)	Ermittlung potentiell einsetzbarer fahrzeugseitiger Sensoren

Tabelle 1: Ziel (Z), Deliverable (D) und Teilaufgaben von Arbeitspaket (AP) 1

Im Konkreten bestand die Bestandsaufnahme der fahrzeugseitigen Sensoren aus einer Sensorrecherche und der Aufbereitung der Ergebnisse aus Vorprojekten. Die Bestandsaufnahme der Sensoren der ASFINAG und die Ermittlung potentieller Einsatzgebiete erfolgten innerhalb zweier Workshops bei der ASFINAG mit hierfür ausgearbeiteten Fragenkatalogen. Die Ergebnisse dieser Workshops wurden von Salzburg Research zusammengefasst und beim Folgetermin präsentiert und diskutiert. Die Fragekataloge wurden von der ASFINAG als Vorbereitung zu den Workshops erarbeitet.

Im Rahmen der Workshops kristallisierten sich für die ASFINAG folgende **Schwerpunkte** heraus: (1) das Monitoring des aktuellen **Verkehrszustands** (Reisezeiten, Level-of-Services, Referenzreisezeiten), (2) die Information zur **Verkehrssicherheit** (Nebel, schlechte Sicht, Gefahrenstellen) und (3) die Information zum **aktuellen Fahrbahnzustand** (verminderter Griffbarkeit, Schleudern bei Regenbeginn, Schneefahrbahn, mögl. Glatteis, Aquaplaning) sowie (4) die Erkennung von **Fahrbahnschäden** (Risse, Fugen, Ausbrüche, Blow Ups, Längsunebenheiten, Versatz an Fahrbahnübergängen, Spurrinnen, Längsrinnen, Griffbarkeit) und (5) die Bestimmung der **Fahrbahnbelastung** (dynamische Achs- oder Radlast). Für diese möglichen Einsatzgebiete wurden jeweils **geeignete Daten** und **geeignete Sensoren oder Datenquellen** in Fahrzeugen angeführt. Das heißt, es besteht potentiell die Möglichkeit, die angeführten Aufgaben mit Daten aus fahrzeugseitigen Sensoren zu unterstützen. Als mögliche Sensoren oder Datenquellen wurden hierzu untersucht: (1) Sensoren oder Sensorsysteme welche vom Fahrzeughersteller verbaut werden, (2) Sensoren in mobilen Geräten wie Smartphones und (3) Sensoren oder Sensorsysteme zum Nachrüsten.

Als besonders **vielversprechende Daten**, aus denen Informationen für die Aufgaben extrahiert werden könnten, ergaben sich die **Beschleunigung in Vertikalrichtung** (Fahrbahnschäden), die **Raddrehzahl** oder Geschwindigkeit der einzelnen Räder (Griffbarkeit, Glätte), die **Achslast** (Fahrbahnbelastung), der **Regensensor** oder die **Aktivität der Scheibenwischer** (Witterung), der **Status der Fahrzeugbeleuchtungen** (Fahrsituationen) und die **Aktivität des ABS- und ASR-Systems** (Griffbarkeit, Glätte). Auf Basis dieser Daten könnten für die einzelnen Aufgaben die notwendigen Informationen extrahiert werden, zum Beispiel liefert die Beschleunigung in Vertikalrichtung Informationen über Längsunebenheit, Schlaglöcher oder Unebenheiten an Fahrbahnübergängen.

Als besonders **vielversprechende Sensoren und Datenquellen** gelten der **Zugriff auf die On-Board-Sensorik** der Fahrzeuge (OBD II-Schnittstelle bei PKWs, div. CAN-Busse, FMS-Bus bei LKWs) sowie der Einsatz von **Smartphones** als Multisensor und zur Positionsbestimmung, Vorverarbeitung und Datenübertragung. Aus technischer Sicht war im weiteren Projektverlauf zu klären, welche Zugriffstechnik auf die On-Board-Sensorik, also **OBD II-Schnittstelle** bei PKWs, div. **CAN-Busse** oder **FMS-Bus** bei LKWs, sich als praktikabel herausstellt, da sich Inhalt und Kodierung zwischen Fahrzeughersteller, Fahrzeugtyp und Baujahr unterscheiden.

Bezüglich der **Positionierung** bleibt hier noch zu ergänzen, dass aufgrund der geforderten Lagegenauigkeit die Positionierung über **GNSS (Global Navigation Satellite System)** als einzig sinnvolle Variante erscheint. Vor allem auch deshalb, weil GNSS-Technologien bei

aktuellen Smartphones ohnehin vorhanden sind und viele Geräte zum Auslesen der On-Board-Sensorik standardmäßig auch GNSS-Sensoren verbaut haben.

2.2 Ergebnisse im Detail

In diesem Abschnitt werden die detaillierten Ergebnisse von Arbeitspaket 1 präsentiert.

2.2.1 Bestandsaufnahme fahrzeugseitiger Sensoren

Für einen Infrastrukturbetreiber geht es bei der Verwendung von Fahrzeugen als Sensoren nicht unmittelbar um die Aufzeichnung von Daten „über das Fahrzeug“, es geht vielmehr um Daten mit deren Hilfe Informationen über den aktuellen Zustand der Infrastruktur gewonnen werden können. Hieraus ergibt sich die Notwendigkeit, aufgezeichnete Daten innerhalb der Infrastruktur zu verorten, da die Daten etwas über die Infrastruktur oder einen bestimmten Abschnitt der Infrastruktur zu einem bestimmten Zeitpunkt aussagen sollen. Für die Wahl der Sensoren gibt es keine wesentlichen Einschränkungen, da es nicht erheblich ist, woher die Daten innerhalb des Fahrzeuges kommen. Es ist sowohl denkbar, dass die Aufzeichnung der Daten über bestehende oder nachgerüstete Sensorsysteme erfolgt.

Verortung von Daten

Die gängigste Methode Daten innerhalb einer Straßeninfrastruktur zu verorten ist die Verwendung eines **Global Navigation Satellit Systems** (GNSS) wie GPS, Glonass, Beidou oder Galileo. Bei GNSS-Systemen werden die Positionen eines Empfängergerätes auf der Erdoberfläche anhand von Signalen mehrerer aktuell sichtbarer Satelliten bestimmt. Die Bestimmung erfolgt ähnlich einer Triangulierung über Position und Entfernung. Letztere berechnen sich aus dem Signal anhand der bekannten Satellitenposition und der Signallaufzeit. Das Ergebnis ist eine Position in einem globalen Koordinatensystem (z.B. UTM). Eine ähnliche Variante zur Bestimmung der Position, jedoch mit terrestrischen Signalen, bietet der **Mobilfunk**. Auch hier kann ein entsprechendes Empfängergerät, z.B. ein Smartphone, anhand von bekannten Sendemastpositionen und Signalstärken die Position auf der Erdoberfläche als Koordinate über eine Triangulierung bestimmen. Gegenüber GNSS ist diese Variante jedoch ungenauer, benötigt aber neben dem Empfängergerät keine weitere Ausrüstung in Infrastruktur oder Fahrzeugen.

Die Position von Fahrzeugen kann aber auch über die Infrastruktur bestimmt werden. Zwei im Einsatz befindliche Methoden bietet die **WLAN-** oder **Bluetooth-Technologie**. Z.B. kann über eine aktuelle Verbindung zwischen fahrzeugseitigem Sender und einer Basisstation in der Infrastruktur eine ungefähre Position bestimmt werden, wenn die Position der

Basisstationen bekannt ist. Über eindeutige Sender-IDs kann die Route nachverfolgt werden. Mit einer zusätzlichen Messung der Signalstärken kann die Schätzung der Position verbessert werden. Dies erfordert aber fahrzeugseitige Adaptionen. Der Nachteil dieser Variante ist, dass WLAN und Bluetooth zusätzliche Infrastruktur (Basisstationen) benötigen. Sie sind daher aufwendig und teurer, benötigen aber in der einfachsten Variante keine zusätzliche Ausrüstung in den Fahrzeugen.

Technische Möglichkeiten

GNSS: In vielen gängigen Fahrzeugmodellen der Mittel- und Premiumklasse sind standardmäßig GNSS-Empfänger (hauptsächlich GPS, aber auch andere Systeme werden unterstützt) eingebaut. Bei den deutschen Autoherstellern sind diese Empfänger innerhalb eines Multifunktionsgeräts mit Radio, MP3-Player, Navigation, Multimediaeinheit, Monitor usw. verbaut. Die Antennen für GNSS sind mit Mobilfunk kombiniert und befinden sich auf dem Fahrzeugdach (meist als „Finne“ erkennbar). Ein Zugriff auf die Positionsdaten für zusätzliche Dienste ist aber derzeit in der Regel nicht möglich. Für die Verwendung von GNSS zur Positionsbestimmung bleiben daher nur zwei weitere Möglichkeiten: Erstens, der Einbau von eigenen Empfängergeräten, sogenannte Telematiksysteme, oder zweitens, die Verwendung der GNSS-Positionierung von Smartphones o.ä. Beides sind zwei kostengünstige und etablierte Varianten bei der Aufzeichnung von Daten. Telematiksysteme finden zum Beispiel bei Floating Car Data (FCD) oder Flottenmanagement ihren Einsatz. Da Telematiksysteme oft auch mit Mobilfunk ausgerüstet sind, können sie auch zur Datenübertragung genutzt werden. Sowohl Telematiksysteme als auch Smartphones können daher gleichzeitig zur Positionsbestimmung und Datenübertragung herangezogen werden.

Mobilfunk: Die Bestimmung der Position mittels Mobilfunk wird zurzeit von Smartphones genutzt. Sie erfolgt, wenn kein GNSS-Empfänger verbaut ist, GNSS deaktiviert wurde oder wenn zu wenige Satelliten die Bestimmung mit GNSS nicht ermöglicht. Zusätzlich kann auch die GNSS-Positionierung mit Mobilfunk-basierten Daten unterstützt werden (Assisted GNSS). Da die Positionierung auf Basis von GNSS in der Regel wesentlich genauer ist, ist die Positionierung mit Mobilfunk eher als Fallback-Variante für CarSense zu betrachten.

WLAN- und Bluetooth-Technologie: Die Positionsbestimmung mittels dieser Technologien ist heute überall dort im Einsatz, wo das überwachte Objekt passiv (also ohne eigenes Zutun) beobachtet werden soll/muss/darf, wo möglichst viele Objekte überwacht werden sollen, wo bei den Objekten nichts installiert oder angebracht werden kann und wo ausschließlich die Position relevant ist. Z.B. bei der Verfolgung (Tracking) von Kunden in einem Einkaufszentrum oder bei der Bestimmung von Reisezeiten oder Verkehrsflüssen in

Straßennetzen. Für Straßennetze eignet sich diese Methode insbesondere, da viele Fahrzeuglenker heute Smartphones, Handys, Tablets o.ä. mit in ihr Fahrzeug nehmen und die WLAN- oder Bluetooth-Funktion aktiviert haben. Zusätzlich haben viele Fahrzeuge für die Freisprecheinrichtung eine integrierte Bluetooth-Sendeeinheit. Sobald eines dieser Geräte aktiviert ist, kann eine Empfängereinheit in der Infrastruktur die Signale und IDs auswerten und aktuelle Positionen bestimmen. Eine Positionsbestimmung kann aber nur dort erfolgen, wo eine Empfangseinheit in der Infrastruktur vorhanden ist, eine lückenlose Bestimmung ist daher sehr teuer und aufwendig.

Zusammenfassung

In CarSense ist es vorgesehen, mehr als nur die Position von Fahrzeugen zu bestimmen. Neben der Position ist auch eine flächendeckende Übertragung der Daten in Echtzeit relevant (z.B. aktuelle Event-Meldungen für Stau, rutschige Fahrbahnabschnitte o.ä.). D.h., Daten werden unmittelbar oder sehr zeitnahe zu ihrer Entstehung benötigt. Der Einsatz von WLAN- oder Bluetooth-Technologie scheidet damit wegen der fehlenden flächendeckenden Infrastruktur bzw. wegen der hohen Kosten der Errichtung derzeit aus. Bei Mobilfunkbasierter Übertragung sind die variablen Bandbreiten und die hohen Latenzzeiten zu berücksichtigen. Es gibt derzeit keine Garantie einer gesicherten Übertragung von Daten. Da auch die Genauigkeit eine Rolle spielt, z.B. bei der Erkennung von Schlaglöchern, ist GNSS als Technologie unbedingt der Vorzug zu geben. Für Positionsbestimmung bleibt daher nur die **Kombination GNSS und Mobilfunk** über. Dies kann sowohl mittels **Smartphones** (o. Tablets) oder mittels **Telematiksystem** mit inkludiertem Mobilfunk erfolgen. Beide Möglichkeiten implizieren aber, dass in den Fahrzeugen etwas nachgerüstet werden muss. Aufgrund der etablierten Technik sind die Kosten aber bei einer Teilausrüstung, z.B. der hauseigenen Fahrzeugflotte, verhältnismäßig gering.

Zumindest für den Zweck der Datenübertragung könnte sich in Zukunft wieder ein Einsatzgebiet für WLAN- oder Bluetooth-Technologie ergeben. Im Zuge der Car2Car- und Car2Infrastructure-Kommunikation könnte der Einsatz von infrastrukturseitigen Sende- und Empfangseinheiten wieder relevant werden. Eine interessante Entwicklung ergibt sich vor allem durch die kommende Mobilfunkgeneration 5G (Zeitraum: 2020), da damit das erste Mal eine gemeinsame Nutzung von Mobilfunk und weiteren lokalen Netzen wie WLAN oder Bluetooth ermöglicht werden soll¹.

¹ <http://en.wikipedia.org/wiki/5G>

Mögliche Datenquellen

Das Hauptinteresse im Projekt CarSense bilden die Daten die innerhalb eines Fahrzeugs kostengünstig, effizient und auch bei mehreren Fahrzeugen ausgelesen oder gemessen werden können. Für diesen Zweck ist es sinnvoll die Datenquellen anhand der folgenden Einteilung zu unterscheiden:

1. Sensoren, Sensorsysteme, die vom Hersteller im Fahrzeug verbaut sind
Z.B. Regensensor, Rückfahrkamera, Kraftstoffverbrauch, Temperatursensor
2. Sensoren oder Sensorsysteme zum Nachrüsten
Z.B. Multisensoren, Einzelsensor, Sensor-Plattformen
3. Sensoren in mobilen Geräten wie Smartphones oder Tablets
Z.B. Beschleunigungssensor, Lichtsensor, Mikrofon

Vom Hersteller im Fahrzeug verbaute Sensoren und Sensorsysteme

In einem modernen Fahrzeug, das gilt sowohl für PKWs als auch für LKWs, gibt es eine Vielzahl von verbauten Sensoren, Aktuatoren und Steuereinheiten. Die interne Kommunikation dieser Geräte erfolgt in den meisten Fällen mit der CAN-Bus-Technologie. Aus Sicherheitsgründen werden für verschiedene Aufgabenbereiche unterschiedliche CAN-Bussysteme (z.B. Fahrzeugsteuerung, Insasseninformation) verwendet, an denen oft wiederum einzelne Subsysteme (z.B. ABS-System, Klimaanlage, Bordelektrik, Motorsteuerung) mit ihren Sensoren und Aktuatoren hängen. Welche CAN-Bussysteme und Subsysteme in einem Fahrzeug vorhanden sind, ist vom Hersteller und vom Fahrzeugtyp abhängig. Allgemein können aber folgende CAN-Bussysteme unterschieden werden:

- **Powertrain-CAN** oder **Motor-CAN**: Ist der zentrale CAN-Bus zur Steuerung des Fahrzeugs. Neben der Motorsteuerung (Engine Control Unit (ECU)) übertragen auch die Motor- und Getriebeelektronik, das elektronische Stabilitätsprogramm (ESP), das Antiblockiersystem (ABS), die Antriebsschlupfregelung (ASR), die Airbag-Einheit, die elektrische Feststellbremse (EPB), die Dämpfer, die Beleuchtungssteuerung und die Bordelektronik die Daten über dieses Bussystem.
- **Diagnose-CAN**: Seit 2000 ist in der EU bei jedem PKW eine so genannte Diagnose-Schnittstelle (OBD II oder EOBD) Pflicht. Sie ist mittels CAN-Bus mit der Steuereinheit des Fahrzeugs verbunden und dient zum standardisierten Auslesen von Werten aus den abgasbeeinflussenden Systemen (z.B. Funktion der Lambda-Sonde). Diese Schnittstelle wird aber auch für weitere „Diagnosedienste“ genutzt.
- **Comfort-CAN**: Mit diesem CAN-Bus werden Komfortdaten innerhalb der Fahrgastzelle übertragen. Es werden z.B. Daten zur Klimaanlage, zur Standheizung, der Einparkhilfe, der Tür- und Fenstersteuerung übertragen.

- **Infotainment-CAN:** Mit diesem CAN-Bus werden Informationen innerhalb der Fahrgastzelle übertragen. Es werden z.B. Daten zur Fahrt, wie Geschwindigkeit, Verbrauch, zurückgelegte Strecke, Außen- und Innentemperatur, übertragen.
- **Fleet Management System (FMS):** FMS bezeichnet einen CAN-Bus und eine Schnittstelle bei LKWs, welche seit 2002 standardisierte Daten für das Flottenmanagement bereitstellt. Es werden z.B. Daten des Tachographen, zum Verbrauch, zur Beladung übermittelt.

Neben diesen CAN-Bussystemen gibt es noch weitere Bussysteme, welche aber für CarSense keine Relevanz haben. Darunter fällt der MOST-Bus zur schnellen Übertragung von Multimediadaten oder das LIN zur kostengünstigen Vernetzung innerhalb eines Subsystems (z.B. innerhalb einer Fahrzeugtür).

Zugriff: Abgesehen von der technischen Vielfalt der verbauten Subsysteme und deren Komponenten, ist ein **direkter Zugriff auf Sensoren** der Subsysteme aus sicherheits- bzw. haftungstechnischen Gründen **nicht ratsam**. Die CAN-Bus-Technologie bietet hier zumindest den kleinsten gemeinsamen Nenner, um Daten standardisiert aus einem Fahrzeug auszulesen. Hier ist aber wichtig, dass der Standard nur die Technik der Datenübertragung standardisiert. Welche Systeme angeschlossen sind, welche Daten wie oft übertragen werden und wie die Daten kodiert werden, sind vom Hersteller, Typ und Baujahr abhängig. Ein **Anschluss an einen CAN-Bus** bildet somit die erste Datenquelle. Dieser Anschluss kann invasiv (Anstecken eines Geräts mittels Zwischenstecker) oder nichtinvasiv erfolgen (Umklammern der Drähte ohne diese zu beschädigen). Neben dieser Möglichkeit kann bei PKWs die **OBD II-Schnittstelle** zum standardisierten Auslesen aus dem Diagnose-CAN und bei LKWs die **FMS-Schnittstelle** zum standardisierten Auslesen aus dem FMS verwendet werden. Abbildung 3 zeigt eine Übersicht über die verschiedenen Anschlussmöglichkeiten bei einem PKW (Das FMS bei LKWs ist analog zum Infotainment-CAN als invasiver CAN-Busanschluss zu sehen). Beispielhafte Geräte für einen Anschluss werden in Abbildung 2 gezeigt.

	CAN-Bus	OBD II	FMS
Fahrzeugart	PKW & LKW	nur PKW	nur LKW (und Bus)
Vorgeschrieben	-	seit 2000	seit 2002 (2004)
Daten	je nach CAN-Bussystem: Motor-CAN, Comfort-CAN und Infotainment-CAN	abgasbeeinflussende Systeme; siehe weiter unten	Tachograph; siehe weiter unten

Standardisiert	nur Übertragungstechnik, nicht der Inhalt, dieser ist abhängig vom Hersteller, Typ und Baujahr	Auslesen der abgasbeeinflussende Systemen im Standard definiert; der Rest ist abhängig vom Hersteller, Typ und Baujahr	Auslesen aller Werte, die im Standard definiert sind
Anschluss	invasiv mit Stecker oder nichtinvasiv mit Klemme	standardisierter Stecker	kein standardisierter Stecker
Gerät	eigenes GPS-Gerät oder GPS & Mobilfunk-Gerät	Dongle mit Bluetooth, WLAN oder USB-Kabel; Kabel zum Anschluss an Diagnosegerät oder Notebook	eigenes GPS-Gerät oder GPS & Mobilfunk-Gerät
Anwendung	Flottenmanagement, Versicherung, Autovermietung, Überwachung des Fahrverhaltens	Diagnose durch Werkstatt	Flottenmanagement

Tabelle 2: Vergleich der Anschlussmöglichkeiten an die Fahrzeugbussysteme



invasiver CAN-Bus-Anschluss

nichtinvasiver CAN-Bus-Anschluss

OBD II

FMS

Abbildung 2: Geräte für den Anschluss Fahrzeugbussysteme

Nichtinvasiver Anschluss

Produkte (unvollständig):

- [CANCrocodile](#): in Verbindung mit einem Tracking Device für LKW, hat GPS-Empfänger

Anschluss an CAN-Bus

Produkte (unvollständig):

- [Falcom: Fox 3](#)
- [AMV Networks: ASG](#)
- [Taipaletematics](#): siehe Projekt WiSafeCar / leider keine Infos

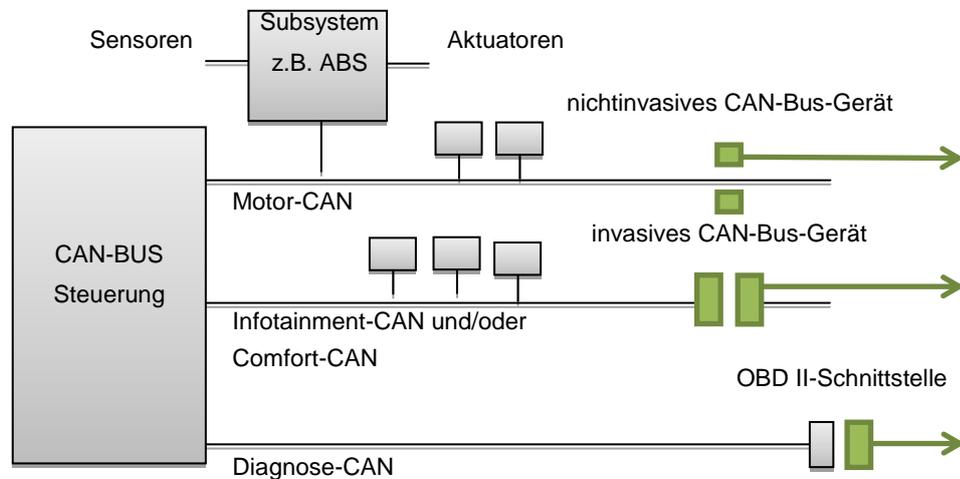


Abbildung 3: Übersicht über mögliche Anschlüsse an das Bussystem von PKWs

OBD II Bluetooth Geräte + Sonstiges (bei www.amazon.de)

www.amazon.de

- ELM327 (= Prozessor in verschiedenen Produkten)
- OBD Scan / Tiny Paradise DE
- OBD2 Bluetooth / DNT
- HHOBd Torque / SHS
- [TEXA OBD Log](#) (Profigerät)

Sonstige:

- OBD-Smart IDD-212G: kleiner Stecker, Logger für Flottenmanagement
- [Varlam OBD II-Schnittstelle](#): interessant
- ecoRoute HD / Garmin: Überträgt Daten auf Garmin-Navi.

Test (USA):

- <http://gas2.org/2014/02/26/turn-car-smart-car-bluetooth-obd-ii-adapter/>

7€ bis 60€

Daten über CAN-Bus: Die übertragenen Daten hängen vom CAN-Bussystem, Hersteller, Fahrzeugtyp und Baujahr ab. Eine allgemeine Aussage kann daher nicht getroffen werden. Hersteller von Geräten zum Auslesen der CAN-Bus-Daten geben jedoch „übliche“ Werte an, welche in der Regel aus einem **Infotainment-CAN oder Comfort-CAN** ausgelesen werden können. Eine Übersicht über solch „übliche“ Werte gibt Tabelle 3. Für ein konkretes Fahrzeug ist aber zu überprüfen, ob die gewünschten Daten auf dem Bus übertragen und dekodiert werden können. Das Auslesen des **Motor-CAN** ist mit einem invasiven Anschluss

zwar möglich, aber nicht zu empfehlen. Hier würden eher nichtinvasive Geräte zum Einsatz kommen können.

Daten	Einheit
Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h
Kupplungspedal gedrückt	Flag
Bremspedal gedrückt oder Stellung	Flag, %
Stellung Gaspedal	%
Drehzahl	UpM
Motorlast	%
Füllstand Tank	%, l
Momentanverbrauch	l/h, l/km, µl
Kilometerstand	m
Bremslicht	Flag
Blinker (links, rechts, beide)	Modus
Abblendlicht	Flag
Fernlicht	Flag
Nebelschlussleuchte	Flag
Nebelscheinwerfer	Flag
Diverse Warnleuchten	Flag
Scheibenwischer	Flag ,Stufe
Regenintensität	%, Flag
Umgebungstemperatur	°C

Tabelle 3: Auswahl an üblichen Werten aus dem Infotainment- oder Comfort-CAN-Bus

Daten über OBD II: Die Daten aus der OBD II-Schnittstelle werden von Werkstätten mit einem Diagnosegerät oder Notebook mit geeigneter Diagnosesoftware ausgelesen. Einfacher und günstiger ist die Verwendung eines Dongles zum Auslesen. Für das Auslesen der Werte ist in beiden Fällen das Service 01 im Diagnoseprotokoll definiert. Die Abfrage einzelner Werte erfolgt mit einem Parameter Identifier (PID). Tabelle 4 gibt eine Auswahl von relevanten Daten der standardisierten PIDs. Der verbleibende Teil der 256 PIDs wird vom Standard nicht weiter geregelt. Hersteller verwenden diese PIDs zum Auslesen beliebiger anderer Werte. Die Interpretation ist daher abhängig vom Hersteller, Typ und Baujahr. Die Interpretation wird zusätzlich erschwert, da die Hersteller die Informationen über die kodierten Werte nicht zur Verfügung stellen. Für das Auslesen der standardisierten Werte gibt es eine Reihe von sehr günstigen Dongles und Softwarelösungen (z.B. für Smartphones).

Sensor	PID
Berechnete Motorlast	4
Motorumdrehungen, RPM	12
Fahrzeuggeschwindigkeit	13
Ansauglufttemperatur	15
Absolute Gaspedalposition	17
Zeit seit Motorstart	31
Tankinhalt	47
Barometrischer Druck	51
Absolute Motorlast	67
Relative Gaspedalposition	69
Umgebungstemperatur	70

Tabelle 4: Auswahl an standardisierten Werten an der OBD II-Schnittstelle

Daten über FMS: Die Daten am FMS-Bus sind in SAE J1939 standardisiert. Je nach Hersteller, Typ und Baujahr kann sich aber der Umfang an den bereitgestellten Daten ändern. Als Überblick über die bereitgestellten Daten liefert Tabelle 5 eine Auswahl von relevanten Werten.

Daten	Einheit
Fahrzeuggeschwindigkeit am Rad gemessen	km/h
Kupplungspedal gedrückt	Flag
Bremspedal gedrückt	Flag
Stellung Gaspedal	%
Füllstand Tank	%
Drehzahl	UpM
Achsposition	speziell
Radposition	speziell
Achsgewicht	kg
Kilometerstand	m
Kilometer bis zum nächsten Kundendienst	m
Tachograph – Fahrzeug in Bewegung	Flag
Tachograph – Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h
Motorlast	%
Umgebungstemperatur	°C
Momentanverbrauch	l/h
Momentanverbrauch	km/l
Zulässiges Gesamtgewicht	kg

Tabelle 5: Auswahl an standardisierten Werten am FMS-Bus

Teil der Evaluierung in Arbeitspaket 2 ist, ob und in welcher Qualität die gewünschten Daten aus dem CAN-Bus, der OBD II-Schnittstelle und der FMS-Schnittstelle ausgelesen werden können.

Sensoren in mobilen Geräten wie Smartphones oder Tablets

Die angebotenen Daten sind abhängig vom Modell des Smartphones und dem eingesetztem Betriebssystem. Es ist zu unterscheiden, ob die Daten mittels Sensors gemessen oder aus anderen Werten berechnet werden. Tabelle 6 zeigt Daten, welche bei aktuellen Smartphone-Modellen der oberen Preiskategorie über eine API abrufbar sind. Viele dieser Werte (z.B. Beschleunigung bei Samsung Galaxy S5) können mit einer Frequenz von bis zu 50 Hz (alle 20 ms) aufgezeichnet werden. Dies hängt aber wieder vom Hersteller, Modell und Sensor ab.

Verbaute Sensoren / bereitgestellte Daten (Hiegelsperger 2014)	
Beschleunigungssensor	[m/s ²] in 3 Raumrichtungen, Beschleunigungsvektor
Lineare Beschleunigung	[m/s ²] in 3 Raumrichtungen, Beschleunigungsvektor um die Gravitation bereinigt
Gravitationssensor	[m/s ²] in 3 Raumrichtungen, Beschleunigungsvektor aus der Gravitation
Gyroskop	[Winkel/s] in 3 Raumrichtungen, Vektor der Winkelgeschwindigkeit
Rotationsvektorsensor	[Winkel] in 3 Raumrichtungen mit Bezug auf Erdmittelpunkt und Horizontebene
Magnetfeldsensor	[μ Tesla] in 3 Raumrichtungen, Vektor des Magnetfelds
Barometer	[mbar] Luftdruck; bedingt zur Höhenbestimmung
Außentemperatur	[°C]
Hygrometer	[%] relative Luftfeuchtigkeit
Lichtsensor	[Lux]
Mikrofon	[dB] Umgebungslautstärke
Näherungssensor	Abstand zum Display

Tabelle 6: Sensordaten eines gängigen Smartphones

Sensoren oder Sensorsysteme zum Nachrüsten

Neben den Daten aus dem CAN-Bus besteht auch die Möglichkeit zusätzliche Sensoren in ein Fahrzeug einzubauen. Hierfür geeignete Sensorsysteme werden hier vorgestellt. Gängige Sensoren oder Sensorsysteme zum Nachrüsten bei Fahrzeugen sind in erster Linie Kombinationssensoren für **Beschleunigung und Rotation** (Accelerometer und Gyroskop). Aus heutiger Sicht lassen sich diese Werte aber bereits mit einem Smartphone sehr genau

Endbericht CarSense

und mit hohem Samplingintervall erheben. Für die Evaluation in Arbeitspaket 2 wird daher die einfachere Variante über Smartphones gewählt. Wesentlich interessanter als Accelerometer und Gyroskope sind hingegen Kombigeräte, welche auch einen OBD II-Anschluss und/oder Mobilfunk integriert haben.

OBD II, GPS, 3D-Accelerometer, 3D-Gyroskop, Temperatur

Kombigerät: OBD II, GPS, 3D-Accelerometer, 3D-Gyroskop und Temperatur. Daten werden aber nur gespeichert und nicht übertragen.

Produkte:

- [OBD-II + GPS + G-force data logger](#) / arduinodev
- [Arduino OBD-II Logger Kit #3](#) / Freematics: mit Display & microSD, 160\$

Ähnliche Produkte:

- [OBDII TTL Adapter - Accelerometer and GYRO](#): ohne GPS, ohne Datenspeicher, viel kompakter, 70\$ (gibt's auch bei Amazon)
- [C4 OBD2 Dongle](#) Munic Box / Mobile Devices: genauere Info nur nach Anfrage

OBD II, GPS, 3D-Accelerometer und Übertragung via GPRS

Zur Überwachung des Fahrverhaltens: OBD II, GPS, 3D-Accelerometer und Übertragung via GPRS. Ist daher nicht für die Aufzeichnung im Fahrzeug, sondern für die Übertragung der Daten zum Server.

Produkte:

- [iTrac3c-3000](#) / 2 track
- [GV500](#) / Queclink: wurde schon von uns getestet
- [DA3100](#) / HUAWEI

Unter dem Begriff ‚Vehicle Tracking‘ sind noch viele weitere Produkte zu finden.

OBD II, 3D-Accelerometer und Bluetooth

Zur Überwachung des Fahrverhaltens: OBD II, 3D-Accelerometer und Übertragung via Bluetooth. Ist ein interessantes Produkt, vermutlich weniger geeignet für die Anforderungen in CarSense, da für die Übertragung zum Server ein weiteres Gerät verwendet werden müsste.

Produkte:

- [Automatic Link](#) / Automatic

Für das Projekt CarSense sind neben Beschleunigungs- und Rotationssensoren auch noch all jene Sensoren relevant, welche relativ klein, kostengünstig, energiesparend Daten erheben und diese an ein Smartphone oder Notebook übertragen können. Letzteres gewährleistet, dass die Daten vorverarbeitet und in Echtzeit an einen Server übertragen werden können. Für diesen Zweck würden zwei unterschiedliche Möglichkeiten in Frage kommen:

- Kleine Einzelsensoren (z.B. Valarm) oder Multisensoren (z.B. VIFDAQ) die mit USB-Kabel, Bluetooth oder WLAN die Daten an ein Smartphone oder Notebook

übertragen.

- Kleine Computerplattformen zur Eigenentwicklung (z.B. Arduino) von Multisensorplattformen die mit USB-Kabel, Bluetooth oder WLAN die Daten an ein Smartphone oder Notebook übertragen oder selbst Daten per Mobilfunk übertragen können.

Valarm

Der Slogan „Monitor Anything, Anywhere“ ist Programm. Es wird eine Reihe von günstigen, mobilen Sensoren mit USB-Abschluss angeboten. Ein Cloud-Service und Analyseprogramme sind auch Teil der Produktpalette. Auch eine [OBD II-Schnittstelle](#) wird angeboten.

Für weitere Sensoren siehe auch [Yocto](#).

DATEN: CO2, Wetter, Temperatur, Bodenzusammensetzung, ...

WEB: <http://shop.valarm.net/collections/sensors>

VIFDAQ

Multifunktionale Miniature Messplattform

DATEN: 3D Beschleuniger, 3D Magnetometer, 3D Gyroskop, Temperatur, Feuchtigkeit, Luftdruck, Kapazität

WEB: <http://www.v2c2.at/produkte/vifdaq/>

Arduino

Die Arduino-Plattform liefert Hard- und Software für die Eigenentwicklung. Die Hardware besteht aus einem einfachen I/O-Board mit einem Mikrocontroller und analogen und digitalen Ein- und Ausgängen. Mit Arduino können eigene Sensor-, Datenverarbeitungs- und Datenübertragungseinheiten konstruiert werden. Ein Beispiel ist das bereits vorgestellte [Arduino OBD-II Logger Kit #3](#).

DATEN: offen für mehrere Sensoren

WEB: <http://de.wikipedia.org/wiki/Arduino-Plattform>

2.2.2 Bestandsaufnahme Sensoren ASFINAG

Ziel der Bestandsaufnahme war es, einen Überblick über die bereits bei der ASFINAG erhobenen Daten und der dabei eingesetzten Sensortechniken zu bekommen. Dieser Überblick soll einen möglichen Ersatz oder Ergänzung durch fahrzeugseitige Sensoren erkennbar machen. Des Weiteren liefert er einen ersten Einblick in jene Aufgabenbereiche, für welche derzeit bereits Daten erhoben werden. Die Bestandsaufnahme wurde mit Hilfe eines Fragenkatalogs durchgeführt. Dieser wurde vor dem Workshop an die ASFINAG Servicegesellschaft und die ASFINAG Mautservicegesellschaft versendet. Das Ergebnis wurde innerhalb eines Workshops diskutiert und ergänzt. In der folgenden Tabelle 7 befindet sich eine strukturierte Zusammenfassung der Ergebnisse. Eine Analyse dieser Ergebnisse bzw. eine Einarbeitung erfolgt in Abschnitt 2.2.4.

Daten	Sensortechnik / Quelle	Aufgabe
Verkehrsdaten		
Fahrzeuganzahl und Fahrzeugklasse (2+0 o. 8+1) am Querschnitt	Induktionsschleife o. Überkopfdetektor: Tripels. Radar, Infrarot, Ultraschall	Erstellung einer Verkehrsstatistik und Verkehrslage
Fahrzeuggeschwindigkeit am Querschnitt		
Reisezeiten und Reisegeschwindigkeiten im Abschnitt	FCD von kommerziellen Anbietern oder aus dem LKW-Mautsystem	
Verkehrsmeldungen	Externe Quelle: Ö3 und BMI; manuelle Erhebung durch Mitarbeiter	Information von Verkehrsteilnehmer; Steuerung des Verkehrs
Achslast	Wiegeplatten, LKW-Kontrollstation	Überprüfung von Verkehrsteilnehmer
Videodaten		
Videodaten: Freiland Tunnel	Videokameras verschiedener Hersteller	Überwachung des Verkehrsgeschehens; Überwachung der Funktionstüchtigkeit der Infrastruktur; Information für Winterdienst
Extrahiert aus Videodaten: Stau, Geisterfahrer, stehengebliebene Fahrzeuge, LOS (Freiland), Rauch (Tunnel)		Überwachung des Verkehrsgeschehens; Information von Verkehrsteilnehmer; Steuerung des Verkehrs
Umfelddaten		
Lufttemperatur	Straßenwetterstation,	Steuerung von VBAs oder Warnanzeigen
Luftfeuchtigkeit	Umfelddatensensoren an VBAs.	
Fahrbahntemperatur		
Feuchtigkeitsmenge auf der Fahrbahn		
Sichtweite		
Helligkeit		
Wetterdaten	Externe Quelle: Austro Control	Information für Winterdienst
Instandhaltungsdaten		
Fahrbahnschäden: Risse, Blow-ups, Ausbrüche, Spurrinnen	Komplettbefahrung des Netzes mit RoadStar dauert 5 Jahre	Zustandsdokumentation und Bewertung der Fahrbahn und des Fahrbahnumfelds; Dokumentation von Verkehrszeichen
Bilddaten: Fahrbahntextur Fahrbahnumfeld (stereoskopisch) Verkehrszeichenstandorte		

Zustandswerte:
 Griffigkeit, bewertetes
 Längsprofil, Querebenheit

Tabelle 7: Bei der ASFINAG bereits erhobene Daten und deren Einsatzgebiet

2.2.3 Ermittlung potentieller Einsatzgebiete

Das Ziel in diesem Abschnitt ist es, mögliche potentielle Einsatzgebiete von fahrzeugseitigen Sensoren bei der ASFINAG herauszuarbeiten. Von Seiten Salzburg Research wurde in einem ersten Teil über eine Recherche versucht, bereits bestehende Beispiele von fahrzeugseitigen Sensoren für Aufgaben von Infrastrukturbetreibern zu finden. In einem zweiten Teil wurden über einen Fragenkatalog und nachfolgende Workshops mögliche Einsatzgebiete bei der ASFINAG direkt identifiziert. Das Ergebnis wird im Folgenden präsentiert.

Recherche – Instandhaltung

Die Instandhaltung der Infrastruktur enthält in erster Linie die Instandhaltung der Fahrbahn und der damit verbundenen Bauwerke wie Brücken und Tunnel. Das enthält vor allem das Erkennen, Vermeiden und Ausbessern von Schäden an der Infrastruktur.

Zur Erkennung von Schlaglöchern, Rissen usw. (sowie zur Bewertung des Fahrverhaltens) anhand von Accelerometerdaten wurden bereits mehrere wissenschaftliche Arbeiten präsentiert (vgl. Tabelle 8). Diese unterscheiden sich anhand der Datenquelle: Smartphone / Tablet, andere Geräte, CAN-Bus / OBD II. Ein Überblick über wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema bietet die linke Spalte von Tabelle 8.

	Schlaglöcher, Unebenheiten	Fahrverhalten & Sicherheit
Smartphone Tablet	Schlagloch: (N.N 2014) Proposal; (Astarita et al. 2012); (Mednis et al. 2011) (Mohan et al. 2008b) Unebenheit: (Douangphachanh & Oneyama 2013); (Forsslöf 2012)	Verhalten: (Jensen et al. 2011); (Mohan et al. 2008a) Sicherheit: (Vaiana et al. 2014); (Ruta et al. 2010)
CAN-Bus / OBD II	X	Verhalten: (Choi et al. 2007) Sicherheit: (Ruta et al. 2010) Eco-drive: (Jakobsen et al. 2013)
Andere Geräte	Unebenheit: (Chen et al. 2011); (Mednis et al. 2012); (De Silva et al. 2008)	Verhalten: (Jensen et al. 2011)

Tabelle 8: Überblick über wissenschaftliche Arbeiten zum Einsatz von Accelerometerdaten

Parameter des Fahrbahnbelags

Für die Instandhaltung der Straßeninfrastruktur ist der Zustand des Fahrbahnbelags von größter Relevanz. Das frühzeitige Erkennen von Rissen, Ausbrüchen, Schlaglöchern, Spurrinnen oder kaputten Fahrbahnübergängen ist nicht nur zur Vermeidung von größeren Folgeschäden relevant, sondern auch zur Gewährleistung der Verkehrssicherheit.

RSI – Road Status Information / Göteborg University, Department of Earth Sciences / (Bogren & Gustavsson 2014)

FCD-Projekt zur Erfassung von Wetter-, Umwelt- und Fahrbahnbedingungen über FCD und CAN-Bus-Daten sowie über externe Datenquellen. Das Auslesen der CAN-Bus-Daten wurde durch eine Kooperation mit Volvo (20 Fahrzeuge) möglich. Das Auslesen der Accelerometerdaten war an der OBD II-Schnittstelle möglich. Andere Datenquellen sind das Road Weather Information System und Wettervorhersagen. Daten sind teilweise aus dem MOBI-ROMA-Projekt.

ZIEL: Fahrbahnbedingung im Winter, Qualität des Fahrbahnbelags, Luftverschmutzung und Haftung

DATEN: RFE-Wert (Reibungswert von Volvo entwickelt) (+ Wetter) für Fahrbahnbedingung; nicht näher spezifizierter CAN-Bus-Wert (+ Wetter) für Haftung; Accelerometer aus OBD II / CAN-Bus für Fahrbahnbelag; sonst werden externe Quellen verwendet.

STANDORT: Schweden (Göteborg)

ORGANISATION: <http://www.gvc.gu.se/english/>

PROJEKT: <http://www.roadstatus.info/about-rsi/>

MOBI-ROMA / ERA-NET ROAD / (Saarikivi et al. 2014)

MOBI-ROMA Mobile Observation Methods for Road Maintenance Assessments (2012–2014): Instandhaltung von Straßen und Ermittlung von Fahrbahnbedingungen durch low-cost Sensoren, bzw. FCD. Daten wurden innerhalb verschiedener Projekte aus den CAN-Bus-Systemen von Volvo (60 Fahrzeuge) und SAAB (40 Fahrzeuge) gesammelt. Mit eigenen Geräten wurden Daten aus GPS, Accelerometer und Gyroskop gesammelt. Lt. Paper wurden nur die Accelerometer-Daten aus der OBD II-Schnittstelle ausgelesen. Im Paper werden einige allgemeine Schlussfolgerungen präsentiert.

Dieses Projekt ist Grundlage des Projekts RIS (siehe oben). Die Vorstudie zu diesem Projekt ist das Projekt BiFi (Gustavsson et al. 2012).

ZIEL: Fahrbahnbedingung, Qualität des Fahrbahnbelags und Haftung auf Webplattform

DATEN: Accelerometer aus OBD II / CAN-Bus für Straßenbelag, Abtauen im Frühling (seitliche Vibrationen)

STANDORT: Schweden (Göteborg), Daten wurden transnational erhoben

ORGANISATION: <http://www.eranetroad.org> (Initiator)

Parameter des Straßenumfelds

In unmittelbarer Nähe zur Fahrbahn, dem Straßenumfeld, sind meist eine Reihe weiterer Bauwerke (Lärmschutzwände, Sicherheitssystem, Beschilderung) angesiedelt. Deren Überwachung könnte zum Beispiel mittels Kamerasystemen automatisch oder halbautomatisch erfolgen. Ein Beispiel hierfür ist der von der ASFINAG bereits selbst eingesetzte RoadStar. Dieser nimmt während der Fahrt über stereometrische Kameras das Straßenumfeld auf. Durch eine Bildverarbeitung werden Verkehrszeichen erkannt und verortet.

Recherche – Betrieb

Der Betrieb fasst die Aufgaben zur Reinigung, Wartung und Pflege der Infrastruktur zusammen. In einem weiteren Sinn umfasst er auch alle Services und Informationen, die der Straßenbetreiber den Verkehrsteilnehmern zur Verfügung stellt. Außerdem fällt auch das Verkehrsmanagement, also das Monitoring, Steuern und Regeln, in diesen Bereich.

Verkehrsmonitoring

Für die Erkennung von aktuellen Verkehrsbedingungen werden Fahrzeuge bereits sehr häufig eingesetzt. Unter den Stichwörtern ‚Floating-Car-Data‘ (FCD) oder ‚Vehicle-Probe-Data‘ sind eine unüberschaubare Anzahl von Projekten zu finden. Bei diesen Projekten werden am häufigsten GPS-Positionsdaten ausgewertet. Eine andere Möglichkeit bieten aktive Bluetooth-Geräte. Stationäre Empfangsgeräte in der Infrastruktur können anhand einer eindeutigen ID die Routen und somit auch die Reisegeschwindigkeit ermitteln.

Im Rahmen des Projekts FCD Modellregion Salzburg werden bereits für das gesamte Bundesland Salzburg und damit auch für das Straßennetz der ASFINAG Daten mit Hilfe von FCD erhoben. Durch die praxisnahe, großräumige Ausrichtung des Projekts, bietet es einen sehr guten Einblick in die Möglichkeiten einer GNSS-basierten Verkehrslageberechnung: Echtzeitverkehrsüberwachung & Monitoring, Erzeugung von Verzögerungsmeldungen, Erstellung von Prognosen auf Basis von historischen Daten sowie die Analyse und Auswertung von historischen Daten.

FCD Modellregion Salzburg, ITS AustriaWest / Salzburg Research Forschungsgesellschaft
FCD-Projekt zur Erfassung und Historisierung von Reisezeiten, Verspätungen und Level-of-Services in einer großräumigen urbanen und ruralen Umgebung sowie unabhängig von Straßenklassen.
ZIEL: Reisezeiten, Level-of-Service, Verspätungen, Staus, Verkehrsmeldungen
DATEN: GPS-Trajektorien, (CAN-Bus)
STANDORT: Salzburg
ORGANISATION: http://www.salzburgresearch.at/
PROJEKT: http://www.its-austriawest.at/home/projekt/fcd/

Wetter-, Umwelt- und Fahrbahnbedingungen

Die flächige Sensierung von Wetterdaten, Umweltdaten und Fahrbahnbedingungen bietet die Möglichkeit, den Verkehrsteilnehmern sicherheitsrelevante Informationen in Echtzeit bereitzustellen. Darüber hinaus können diese Daten auch zur Dokumentation gespeichert werden.

RSI – Road Status Information / Göteborg University, Department of Earth Sciences / (Bogren & Gustavsson 2014)

Siehe oben.

MOBI-ROMA / ERA-NET ROAD / (Saarikivi et al. 2014)

Siehe oben.

WiSafeCar – Cooperative traffic safety information / VTT / (WiSafeCar 2012)

Im Projekt (2009–2012) wurde eine dedicated short-range Kommunikation mit dem Ziel, Echtzeitverkehrssicherheitsinformationen zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur auszutauschen, implementiert. Die Daten werden durch ein eigenes Gerät von der Firma [TaipaleTelematics](#) (keine Infos) im Fahrzeug gesammelt. Für die Analyse wurde eine eigene Klassifikation entwickelt.

ZIEL: V2V- und V2I-Kommunikation für Wetter-, Glätte- und Unfallinformation in Echtzeit.

DATEN: Wetterdaten, Kamera, Gerät im Fahrzeug: 3D-Accelerator, Fahrbahntemperatur, ABS, ESP, Airbag, Lufttemperatur, Scheibenwischer, Licht, Nebellicht, Warnblinker

STANDORT: Finnland

ORGANISATION: <http://www.vtt.fi>

PROJEKT: http://www.vtt.fi/references/cooperative_traffic_safety_information.jsp?lang=en

Recherche – Flottenbetrieb

Den Flottenbetrieb mit Hilfe von Lokalisierungstechnologien (z.B. GNSS) und Mobilfunk zu unterstützen, ist heute Standard. Die Positionen aus den eingesetzten Telematiksystemen werden zum Beispiel zur Disposition, Positionsüberwachung, Dokumentation, automatisierten Fahrtenbuchführung eingesetzt. Da solche Systeme bei PKWs und LKWs bereits vielfach Standard sind, werden diese hier nicht weiter betrachtet. Interessanter sind hingegen Systeme, die zusätzlich auch Daten aus den CAN-Bussen von Fahrzeugen auslesen, um zum Beispiel detailliertere Auswertungen (Stehzeiten) zu machen, den Kraftstoffverbrauch zu optimieren, das Fahrverhalten der Fahrer zu analysieren und zu optimieren oder Umweltschadstoffe zu dokumentieren. Die folgende exemplarische Auflistung soll dafür einen ersten Überblick geben. Zusätzlich sind in der rechten Spalte in Tabelle 8 einige wissenschaftliche Arbeiten zu diesem Thema aufgelistet.

Flotten Datenmanagement / DPL Telematics (USA)

Diese Firma bietet Flottenmanagement mit Daten aus CAN-Bus oder OBD II an (+GPS). Die Homepage zeigt einige Beispiele, welche Daten wie ausgewertet werden.

DATEN: Betriebsdauer, Verbrauch, Odometer, Stehzeiten, Standort, ...

WEB: <http://www.dpltelematics.com>

Flotten Datenmanagement / r2p – Rail and Road Protec GmbH (D)

Diese Firma bietet Flottenmanagement mit Daten aus CAN-Bus (+GPS, +Kamera, +Beschleunigungssensor).

DATEN: Betriebsdauer, Verbrauch, Odometer, Stehzeiten, Standort, ...

WEB: <http://www.r2protec.de/systeme-bus/flotten-datenmanagement/>

Überwachung des Fahrverhaltens / VeriLocation (GB)

Zur Überwachung des Fahrverhaltens in einer Flotte bietet diese Firma u.a. ein Produkt auf Basis von CAN-Bus-Daten. Ausgewertet werden Verbrauch, Sicherheit und CO2.

DATEN: Verbrauch, ...

WEB: <http://www.verilocation.com/driver-behaviour-monitoring/>

Überwachung des Fahrverhaltens / Transics (D)

Zur Überwachung des Fahrverhaltens in einer Flotte bietet diese Firma u.a. ein Produkt auf Basis von CAN-Bus-Daten. Die Überwachung ist aber nur Teil einer sehr umfangreichen Produktpalette zum Flottenmanagement.

DATEN: Verbrauch, ...

WEB: <http://www.transics.com/de/glossar/can-bus/>

Recherche – Sonstiges

Dieser Abschnitt listet sonstige Anwendungsfälle bei denen Sensoren in einem Fahrzeug zum Einsatz kommen:

- Überwachung von Vibrationen (CAN-Bus-Daten: Beschleunigungssensor) bei Transport-LKWs zum Erkennen von loser/gelöster Ladung (Wang et al. 2013)

Ergebnisse des Fragenkatalogs und der Workshops

Sowohl Fragenkatalog und Diskussionen zielten darauf ab, Informationen zu identifizieren, welche in Zukunft von Interesse sein würden, wenn diese flächendeckend, günstig und regelmäßig mittels Fahrzeugen gemessen werden könnten. Aus Fragebogen und Diskussionen kann zusammenfassend festgehalten werden, dass für die ASFINAG in erster Linie folgende Aufgabengebiete mit fahrzeugseitigen Daten unterstützt werden könnten:

1. Steigerung der **Verkehrssicherheit** durch flächendeckende Informationen (z.B. Witterungsdaten, Wetterdaten, Fahrbahntemperatur), punktuelle Ereignisdaten (z.B. abgestellte Fahrzeuge am Pannestreifen, Fahrbahnschäden) oder lokale Gefahrenstellen (z.B. Aquaplaning-Stellen, temporär reduzierte Griffbarkeit nach Regen o.ä.)
2. Erkennen von **Ursachen für Verkehrsbehinderungen** durch Ereigniserkennung

(Stau, Unfall, Fahrzeugbrand, verlorenes Ladegut, Hagel, Baumbruch, Reifenteile, Nebel, Blendung)

3. Steigerung der **Effizienz des Winterdienstes** durch flächendeckende Information (z.B. Fahrbahntemperatur, Lufttemperatur, Restsalz, Fahrbahnfeuchtigkeit, Griffigkeit, Niederschlagsart, Reifbildung, Bewölkung und Nebel)
4. **Verfeinertes Verkehrsmonitoring** durch feinere flächendeckende Überwachung des Verkehrsflusses (z.B. Reisegeschwindigkeiten).
5. **Überwachung des Fahrbahnzustands** und rasche Erkennung von Schäden (z.B. Schlaglöcher, Risse, Griffigkeit, Rütteloberflächen, Hitzeschäden) durch eine flächendeckende und regelmäßige Befahrung auch zwischen den 5-jährigen Befahrungen des RoadStars.

In einem nächsten Schritt werden die Aufgabengebiete etwas differenzierter mit möglichen Informationen in Verbindung gebracht, welche die jeweilige Aufgabe unterstützen könnten. Tabelle 9 stellt das Ergebnis dieses Prozesses zusammengefasst dar und skizziert bereits erste Potentiale von relevanten fahrzeugseitigen Sensoren für typische Aufgaben bei der ASFINAG.

Information	Sensortechnik / Quelle	Aufgabe
Reisegeschwindigkeit	flächendeckende und regelmäßige Messung mit einem fahrzeugseitigen Sensor	Erstellung einer Verkehrslage
Geschwindigkeitslimit		Erkennung von Veränderungen an der Ausschilderung
Reduzierte Reisegeschwindigkeit		Erkennung von Verzögerungen; Erstellung einer Verkehrslage
Aktivität der Fahrstabilisierung (ABS, EPS, ...)		Erkennung von temporären Gefahrenstellen; Information von Verkehrsteilnehmer;
Sichtweite, Lichtverhältnisse		
Aquaplaninggefahr		
Feuchtigkeit auf der Fahrbahn		
Regenintensität Niederschlag, Niederschlagsart, Reifbildung		
Fahrzeugabstand		
Fahrzeuge auf Pannestreifen		Erkennung von temporären Gefahrenstellen; Information von Verkehrsteilnehmer;
Gegenstände auf der Fahrbahn		Informiere Streckendienst;

Ausgefallene Beleuchtung	
Außentemperatur	Erkennung von temporären Gefahrenstellen;
Fahrbahntemperatur	Information von Verkehrsteilnehmer;
Restsalzgehalt	Information für Winterdienst
Schnee auf der Fahrbahn	
Fahrbahnschäden: Risse, Blow-ups, Ausbrüche, Versatz an Fahrbahnübergängen, Längsunebenheiten	Frühzeitige Erkennung von Schäden; Zustandsdokumentation und Bewertung der Fahrbahn; Erkennung von Stoßbelastungen

Tabelle 9: Für die ASFINAG zukünftig relevante Informationen und deren Einsatzgebiete

Mit Ausnahme der Daten zur Überwachung des Fahrbahnzustands müssen alle anderen Daten Echtzeit-nahe verarbeitet und übertragen werden. Das impliziert, dass die eingesetzte Technik die Daten zumindest vorverarbeitet und im Anschluss z.B. per Mobilfunk Echtzeit-nahe überträgt. Die Weiterverarbeitung, z.B. als Ereignismeldungen erfolgt dann serverseitig. Für die Überwachung des Fahrbahnzustands würde hingegen eine Speicherung im Fahrzeug ausreichen.

2.2.4 Ermittlung potentiell einsetzbarer fahrzeugseitiger Sensoren

Das Ziel in diesem Abschnitt ist es, die vorangegangenen Ergebnisse zu integrieren, um ein Liste von potentiell einsetzbaren fahrzeugseitigen Sensoren zu erhalten. Im Detail werden für potentielle Einsatzgebiete (aus Abschnitt 2.2.3) und für bereits bestehende Datenerhebungen (aus Abschnitt 2.2.2) mögliche fahrzeugseitige Sensoren bzw. Datenquellen (aus Abschnitt 2.2.1) gegenübergestellt. Das Ergebnis ist eine Liste von Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen, welche grundsätzliche Möglichkeiten, also die Potentiale für Datenquellen, darstellen. Die potentiell einsetzbaren Sensoren sind noch unabhängig von einer konkreten Bewertung zur unmittelbaren Umsetzbarkeit erstellt worden. Für diese Bewertung werden in Arbeitspaket 2 einzelne Sensorsysteme und/oder Datenquellen auf ihre praktische Umsetzbarkeit evaluiert. Erst in Arbeitspaket 3 erfolgt eine Bewertung, auf deren Basis ein Empfehlungskatalog erstellt wurde.

Tabelle 10 zeigt das Ergebnis der Integration in Tabellenform. Auf der linken Seite werden mögliche Einsatzgebiete von fahrzeugseitigen Sensoren als Aufgaben dargestellt. Die Aufgaben sind in die Schwerpunkte Verkehrszustand, Verkehrssicherheit und aktuelle Fahrbahnbedingungen sowie in Fahrbahnbelag und Fahrbahnbelastung gegliedert. Jede Aufgabe enthält zusätzlich die zur Erfüllung benötigte Information. Den Aufgabenbereichen gegenübergestellt werden Daten aus fahrzeugseitigen Sensoren, aus denen die benötigten Informationen gewonnen werden könnten. Bei den Daten wird unterschieden, ob diese die

Information direkt oder indirekt enthalten. Z.B. kann aufgrund des Rollgeräusches nur indirekt auf eine Schneefahrbahn geschlossen werden, die Reisezeit zwischen zwei GPS-Positionen wird hingegen direkt gemessen. Weiters wird angegeben, aus welcher Datenquelle die Daten kommen könnten und ob bereits Referenzprojekte oder wissenschaftliche Literatur zu diesen Einsatzgebieten existieren.

In der folgenden Tabelle wird zusätzlich unterschieden nach:

- bestehende Sensoren
- nachrüstbare Sensoren
- zukünftige Sensoren

FMS ... Fleet Management System bei LKWs, seit 2002 freiwillig, Daimler AG, MAN AG, Scania, Volvo, DAF Trucks und IVECO
 OBD II ... On-Board-Diagnose bei PKW, seit 2000 europaweit verpflichtend, alle Hersteller.

Aufgabenbereiche			Potentielle Datenquellen				
Schwerpunkt	Aufgabe	Information	Daten	Erkennung	Datenquelle	Referenz	
Verkehrszustand	informierte mit ...	Reisezeiten	GPS-Positionen	direkt	GPS-Dachantenne	FCD Mod. Sbg. ;	
			GPS-Positionen	direkt	eig. GPS-Tracker	umfassende Lit.;	
			GPS-Positionen	direkt	Navigationssystem	TomTom	
				Bluetooth-Signal	indirekt	Bluetooth-fähiges Gerät + Straßeninfrastruktur	umfassende Lit.
				Mobilfunksignal	indirekt	Mobilfunk-fähiges Gerät	umfassende Lit. GoogleMaps
				wie bei Reisezeiten	wie vor	wie vor	FCD Mod. Sbg. ;
				Bremsaktivität	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
	informierte mit ...	Referenzreisezeiten	wie bei Reisezeiten	statistisch	wie vor	FCD Mod. Sbg. ;	
						umfassende Lit.;	
						viele Projekte	

Verkehrssicherheit	warne vor ...	Nebel	Nebelschlussleuchte	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
			Bilddaten	direkt	optischer Sensor	Lit. seit 2006, BMW
	warne vor ...	schlechter Sicht	Nebelschlussleuchte	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
			Bilddaten	direkt	optischer Sensor	Lit. seit 2006, BMW
	weise hin auf ...	zu engen Abstand	Abstand (Radar- oder LIDAR-Sensor)	direkt	CAN-Bus, OBD II (?)	bereits Standard
	warne vor ... erkenne ...	möglicher Gefahr Gefahrenstelle	Warnblinkanlage	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine Literatur

aktuelle Fahrbahnbedingung	warne vor ...	verminderter Griffigkeit	Raddrehzahlen	indirekt	ABS- u. ASR-System CAN-Bus, OBD II (?)	MobiRoma 2011
	warne vor ...	Schleudern bei Regenbeginn	Regenintensität	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
			Scheibenwischeraktivität	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
			Rollgeräusch	indirekt	Mikrofon	Lit. seit 2011
	warne vor ...	Schneefahrbahn	Raddrehzahl	indirekt	ABS- u. ASR-System, CAN-Bus, OBD II (?)	MobiRoma 2011
			Rollgeräusch	indirekt	Mikrofon	link
			Bilddaten	direkt	optischer Sensor	
			Bild- & Spektraldaten	direkt	optischer & Spektralsensor	Lit.
	warne vor ...	(mögl.) Glatteis	Umgebungstemperatur	indirekt	OBD II	MobiRoma 2011
			Fahrbahntemperatur	indirekt	IR-Sensor	Lit. nicht fahrzeugseitig
		Bild- & Spektraldaten	direkt	optischer &	Lit.	

					Spektralsensor	
	warne vor ...	Aquaplaning	Regenintensität + Verortung von Spurrinnen	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
			Scheibenwischeraktivität + Verortung von Spurrinnen	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
Fahrbahnbelag	erkenne ...	Risse & Fugen	3D-Beschleunigung	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	viel Lit. seit 2011
			3D-Beschleunigung	indirekt	3D-Beschl.sensor	
	erkenne ...	Ausbrüche, Blow Ups	3D-Beschleunigung	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	
			3D-Beschleunigung	indirekt	3D-Beschl.sensor	
	erkenne ...	Längsunebenheiten	3D-Beschleunigung	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	
			3D-Beschleunigung	indirekt	3D-Beschl.sensor	
	erkenne ...	Versatz oder Brüche an Fahrbahnübergänge	3D-Beschleunigung + Verortung der Brücken	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine
			3D-Beschleunigung + Verortung der Brücken	indirekt	eig. 3D-Beschl.sens.	keine
	erkenne ...	Spurrinnen & Längsrinnen	3D-Beschleunigung	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	keine;
		3D-Beschleunigung	indirekt	eig. 3D-Beschl.sens.	Lit. nur zu Laserscanner	
erkenne ...	Griffigkeit	Raddrehzahlen	indirekt	ABS- u. ASR-System	MobiRoma 2011	
Fahrbahnbelastung	bestimme ...	(dynamische) Achslast oder Radlast	Achsgewicht	direkt	FMS	keine
			Raddrehzahlen	indirekt	FMS / OBD II	keine

	Reifendruck ² (bedingt geeignet)	indirekt	Sensor ab 2014 bei Neuwagen (PKW) vorgeschrieben	keine
--	--	----------	--	-------

Tabelle 10: Potentiell einsetzbare fahrzeugseitige Sensoren und Datenquellen

Grundlegend ist festzuhalten: Wegen der notwendigen Verortung auf den Straßengraphen der ASFINAG ist in allen Fällen eine GNSS-Positionierung notwendig. Aus heutiger Sicht wird hierfür ein eigenes Gerät zu verwenden sein, da die fahrzeugintern ermittelte GNSS-Position vom Navigationsgerät nicht an die internen Bussysteme übergeben wird. Dieses zusätzliche Gerät zur Positionierung ist bei der Erstellung der Tabelle nicht berücksichtigt.

Die folgende Tabelle 11 fasst noch einige Parameter zusammen, welche lt. ASFINAG von allgemeinem Interesse sind, jedoch noch keiner konkreten Aufgabe zugeordnet werden konnten.

Aufgabenbereiche			Potentielle Datenquellen			
Schwerpunkt	Aufgabe	Information	Daten	Erkennung	Datenquelle	Referenz
		Außentemperatur	Umgebungstemperatur	direkt	CAN-Bus, OBD II (?)	FCD Mod. Sbg;
		Regenintensität	Regenintensität	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	FCD Mod. Sbg;
		Luftfeuchtigkeit	Relative Luftfeuchtigkeit	direkt	Hygrometer	Keine
		Geschwindigkeit	Momentangeschwindigkeit	indirekt	CAN-Bus, OBD II (?)	FCD Mod. Sbg;

Tabelle 11: Weitere fahrzeugseitige Sensoren und Datenquellen

² Physikalische Details und Formeln: <http://physics.stackexchange.com/questions/132892/does-car-tire-pressure-change-with-weight-of-car-load>

3 ARBEITSPAKET 2: EVALUIERUNG VON SENSORSYSTEMEN

3.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Innerhalb des Arbeitspaketes 1 wurden für bestimmte betriebliche Aufgaben der ASFINAG Sensoren, Sensorsysteme und Datenquellen ermittelt, welche potentiell zur Erhebung von Betriebsdaten einsetzbar sind. Das Arbeitspaket 2 dient dazu, besonders aussichtsreiche Sensorsysteme und Datenquellen näher zu betrachten und auf deren technische und innerbetriebliche Einsetzbarkeit zu evaluieren. Angepasst an das jeweilige Sensorsystem bzw. an die jeweilige Datenquelle werden folgende Fragestellungen betrachtet: (2.1) Können die gewünschten Daten ausgelesen und übertragen werden? (2.2) Können die Daten soweit verarbeitet werden, dass die gewünschten Informationen extrahiert werden? (2.3) Können die Informationen innerhalb eines Testbetriebs gewonnen werden? Durch die Beantwortung dieser Fragen werden im Anschluss die Daten ausgewertet und die Ergebnisse bewertet (2.4).

(AP 2) Evaluierung ausgewählter fahrzeugseitiger Sensoren	
(Z 2)	Im Vorhaben soll zumindest für eine relevante Sensor-Daten-Aufgaben-Kombination eine Evaluierung erfolgen, die das Ziel hat, neue Möglichkeiten von Datenerfassung, Datenaufbereitung, Datenauswertung und Datenvisualisierung evaluieren zu können.
(2.1)	Sensorsystem und Datenübertragung
(2.2)	Algorithmen und Datenverarbeitung
(2.3)	Testbetrieb und Datengenerierung
(2.4)	Auswertung und Evaluierung der Testfahrten

Tabelle 12: Ziel (Z), Deliverable (D) und Teilaufgaben von Arbeitspaket (AP) 2

Für die Evaluierung wurde im Detail vereinbart, dass für einen zukünftigen Einsatz bei der ASFINAG ein möglichst breiter Überblick über die technische und praxistaugliche Einsetzbarkeit verschiedener Datenquellen gewonnen werden kann. Hierzu wurden die vielversprechendsten Datenquellen, das sind **OBD II-Schnittstelle**, **CAN-Bus** und **Smartphone**, genauer untersucht. Für die OBD II-Schnittstelle und den CAN-Bus wurde ermittelt, ob die für das Verkehrsmanagement bzw. die Verkehrsinformation benötigten Daten (z.B. Temperatur, Regen, ABS- und ESP-Informationen) aus der Fahrzeugelektronik ausgelesen werden können (vgl. Abbildung 4). Im Bereich des Erhaltungsmanagements wurden hingegen die Sensoren in Smartphones auf ihre Praxistauglichkeit für den Einsatz zur Bestimmung des Erhaltungszustands der Fahrbahnoberfläche untersucht.

Die Evaluierung fokussierte sich auf die Datenquellen OBD II-Schnittstelle, CAN-Bus und Smartphone. Für die beiden ersten stellte sich die Frage, ob relevante Daten aus der Fahrzeugelektronik ausgelesen werden können. Beim Smartphone stand im Fokus, ob die gesuchten Informationen zur Unebenheit der Fahrbahn aus den Beschleunigungsdaten extrahiert und genügend genau verortet werden können.

Aus der **OBD II-Schnittstelle** wurden mehrere Zugriffsvarianten, OBD II-Stecker und Softwaretools getestet. Das Auslesen der Daten über das OBD II-Diagnoseprotokoll war für die standardisierten Werte erfolgreich. Da es sich dabei um Werte der abgasbeeinflussenden Systeme handelt, ergaben sich neben Außentemperatur, Motorlast, Geschwindigkeit, Verbrauch keine weiteren relevanten Daten. Neben dem OBD II-Diagnoseprotokoll gibt es auch die Möglichkeiten auf einzelne Steuersysteme direkt über die Transportprotokolle zuzugreifen. Diese Variante stellte sich zwar als erfolgreich heraus, ist aber für den praktischen Einsatz nicht relevant: (1) Das Herausfinden der Steuergeräadressen, der Nachrichten-IDs und der Dekodierung ist sehr aufwendig und kann sich zwischen Fahrzeugherstellern, Fahrzeugtypen und Baujahren unterscheiden. Die benötigten Informationen sind auch nicht über die Hersteller zu beziehen, da sie nicht veröffentlicht werden. (2) Beim Auslesen des ABS-Steuergeräts schaltete dieses beim Testfahrzeug (Golf V der VW AG) in einen Diagnosemodus und bei höheren Geschwindigkeiten wird die Verbindung abgebrochen. Eine Verwendung der OBD II-Schnittstelle ist daher aus heutiger Sicht und ohne die Kooperation eines Fahrzeugherstellers nicht zu empfehlen.

Der **CAN-Bus** konnte mit Hilfe eines handelsüblichen CAN-Bus-Geräts ausgelesen werden. Das verwendete CAN-Bus-Gerät besitzt auch einen GNSS-Empfänger und ein Mobilfunkmodul zur Übertragung der Daten. Derartige Geräte besitzen daher die komplette Funktionalität, welche auch für den praktischen Einsatz notwendig ist. Als Nachteil stellte sich heraus, dass sich die Kosten für Ein- und Ausbau aufgrund der benötigten Montagezeit stark unterscheiden können. Des Weiteren kann ein Einbau aus sicherheitstechnischen Überlegungen nur an nicht sicherheitskritischen CAN-Bus-Systemen, wie dem Comfort-CAN bei VW, angeschlossen werden. Auch wenn am Motor-CAN wesentlich interessantere Daten vorhanden wären, kann ein Anschluss ohne Abstimmung mit dem Fahrzeughersteller nicht empfohlen werden. Ähnlich wie bei der OBD II-Schnittstelle müssen für die auszulesenden Daten die jeweiligen Nachrichten-IDs und die Dekodierungen bekannt sein. Beides wird nicht von den Fahrzeugherstellern veröffentlicht. Die hierfür benötigten Informationen findet man mit viel Glück in Internet-Foren. Somit ist auch der Einsatz von CAN-Bus-Geräten generell mit viel Aufwand und ohne Garantie auf Erfolg verbunden. Im Zuge der Evaluierung konnten für mehrere Fahrzeuge von VW 13 relevante Werte aus dem Comfort-CAN ausgelesen werden. Beim getesteten Ford konnte, mangels Informationen, nur die Geschwindigkeit ausgelesen werden. Auch hier bedürfte es im Grunde einer Kooperation mit dem Endbericht CarSense

Fahrzeughersteller. Aus heutiger Sicht kann aber der Einsatz von CAN-Bus-Geräten zumindest für Fahrzeuge der VW AG empfohlen werden. Anhand von Foreneinträgen lässt sich vermuten, dass die 13 Werte auch für andere Marken der Volkswagen AG-Gruppe, wie Audi, Škoda usw., ausgelesen werden können. Dies wäre aber im Detail noch zu prüfen.

Beim **Smartphone** ergab sich, dass nach Entwurf eines ersten einfachen Analysealgorithmus, relevante Stoßinformationen aus dem Beschleunigungssignal extrahiert werden konnten. Die Stoßinformationen dienen als Indikator für Längsunebenheiten der Fahrbahn. Für die Evaluierung wurden mehrere Testfahrten auf der A1 und A10 durchgeführt und mit dem International Roughness Index (IRI) aus einer Befahrung des RoadStars aus dem Jahr 2014 verglichen. Es zeigte sich, dass IRI und Stoßinformationen aus mehreren Gründen nicht deckungsgleich sind. Es ist aber ersichtlich, dass dennoch Häufungspunkte bei schlechterem IRI erkennbar sind. Bei zukünftigen Vergleichen mit dem RoadStar sollte nicht mehr der IRI, sondern die Messung für „Risse Gesamt“ herangezogen werden. Eine völlige Übereinstimmung ist aber auch hier nicht zu erwarten, da nicht alle Risse Unebenheiten bedingen und umgekehrt. Als Ergebnis des Vergleichs und der gemachten Erfahrung kann der Einsatz von Smartphones empfohlen werden, wenn die gesammelten Smartphone-Daten als ASFINAG-interner Indikator für Verschlechterungen über die Zeit dienen, nicht jedoch als standardisierter Index verstanden werden. Es ist daher für den Einsatz ein regelmäßiges Sammeln von Daten anzustreben. Weiters ist noch festzuhalten, dass der benötigte Extraktionsalgorithmus erst anhand von konkreten Anforderungen entwickelt werden kann. Der vorgestellte einfache Analysealgorithmus soll dazu als Anhaltspunkt dienen.

Den Abschluss der Evaluation bilden die in Abschnitt 3.2.4 gezeigten Tabellen der Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen aus dem Bericht zu potentiell einsetzbaren Sensoren. Sie wurden um die in diesem Arbeitspaket gewonnenen Erkenntnisse erweitert und dienen der Bewertung in Arbeitspaket 3 als Grundlage.

3.2 Ergebnisse im Detail

In diesem Abschnitt werden die detaillierten Ergebnisse der oben genannten Arbeiten von Arbeitspaket 2 präsentiert.

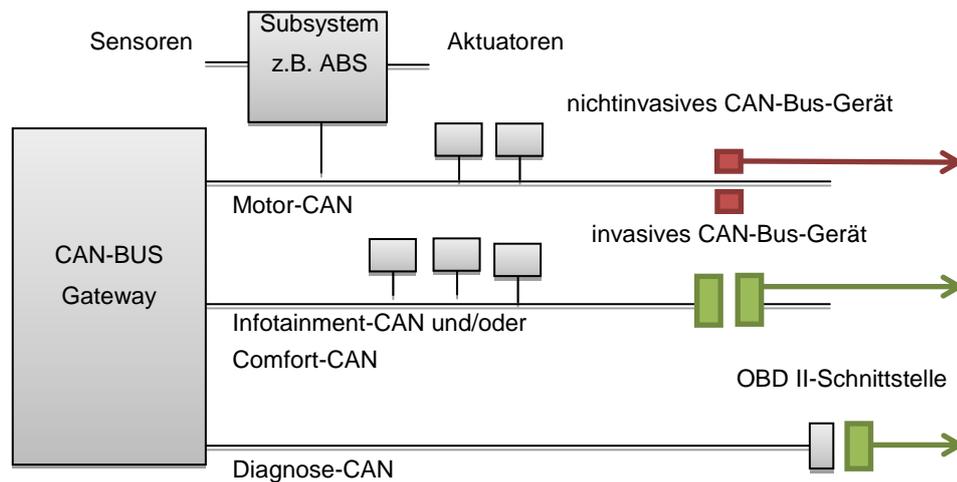


Abbildung 4: Übersicht über mögliche Anschlüsse an das Bussystem von PKWs

3.2.1 Evaluierung des Zugriffes über die OBD II-Schnittstelle

Das Ziel der Evaluierung der OBD II-Schnittstelle war es, festzustellen, ob neben den im OBD II-Standard standardisierten Werten (siehe Bericht zu potentiell einsetzbaren Sensoren, Tabelle 12) auch andere für CarSense relevante Werte aus der Fahrzeugelektronik auslesbar sind. Hierbei handelt es sich um Werte (Tabelle 13), die Rückschlüsse auf **aktuelle Fahrbahnbedingungen** erlauben und so zur **Steigerung der Sicherheit** (z.B. über Sicherheits- und Warnmeldungen) beitragen können.

Gesuchte Werte über die OBD II-Schnittstelle	
Außentemperatur	ABS- oder ESP-Aktivität
Raddrehzahlen	Regensensor oder Scheibenwischeraktivität
Abstandsensor	Aktivität der Fahrzeugbeleuchtungen
Beschleunigungswerte	Verbrauch

Tabelle 13: Im Zuge der Evaluierung aus der OBD II-Schnittstelle auszulesende Werte.

Die OBD II-Schnittstelle bietet zumindest zwei Möglichkeiten zum Auslesen der Daten:

Zugriff 1: Das Auslesen der im OBD II-Standard geforderten Kennwerte zur Diagnose der abgasbeeinflussenden Systeme mit Hilfe des Service 0x01 des OBD II-Diagnoseprotokolls.

Zugriff 2: Das Auslesen von herstellerspezifischen (Diagnose-)Daten aus der Fahrzeugelektronik zum Zwecke der Fahrzeugservicierung über einen direkten Zugriff außerhalb des OBD II-Diagnoseprotokolls.

Variante 2 hat unmittelbar nichts mit dem OBD II-Standard zu tun, die Daten werden jedoch über die gleiche physische Schnittstelle aber über eigene Protokolle ausgelesen. Die

unterschiedlichen Zugriffe verarbeitet der CAN-Bus-Gateway (vgl. Abbildung 4). Im Hinblick auf CarSense ergeben sich daher in Summe folgende Fragestellungen:

Fragestellung 1: Können relevante Daten durch mithorchen, also ohne das Senden von Abfragebefehlen, ausgelesen werden?

Fragestellung 2: Können relevante Daten mit Hilfe des Services 0x01 des OBD II-Diagnoseprotokolls abgefragt werden?

Fragestellung 3: Können relevante Daten durch Zugriff über das CAN-Bus-Gateway auf einzelne Steuergeräte abgefragt werden?

Beschreibung der Evaluierung

Der Schwerpunkt der Evaluierung lag bei der OBD II-Schnittstelle auf der Datenerfassung und der Möglichkeit, auch während der Fahrt Daten auszulesen. Das beinhaltete u.a. das Testen verschiedener Hardware und Software-Produkte sowie das Testen verschiedener Kommunikationsprotokolle zum Auslesen.

Datenerfassung und Datenübertragung

Zur Beantwortung der Fragestellungen wurden daher verschiedene Hardware- und Software-Produkte getestet, da der Umfang der auszulesenden Daten und die bereitgestellten Funktionen vom verwendeten Chipsatz und der benutzten Software abhängen.

Bei den Geräten, die die Daten via **Bluetooth** (Abbildung 5) an ein Empfängergerät übertragen (in der Regel Smartphone, Tablet oder Laptop), wurde getestet:

- APOS BT OBD 327: verwendet den original ELM 327 v2.1 Chipsatz
- Konnwei ELM 327 Mini: verwendet eine verbreitete Billigkopie (v1.5) des ELM 327
- Scantool OBDLink MX Bluetooth: Verwendet den STN1170 chip³ Chipsatz



Abbildung 5: Beispiel eines OBD II-Steckers mit Bluetooth.

Die für diese Zwecke geeignete **Software am Empfangsgerät**, meist eine mobile App am Smartphone, übernimmt die Ansteuerung und Adressierung des Chipsatzes sowie die Dekodierung und die Visualisierung der ausgelesenen Daten. Eine direkte Kommunikation

³ <http://www.obdlink.com/mx/bt/>

mit dem OBD II-Gateway ist nicht vorgesehen. Die Funktionalität der Software ist meist sehr eingeschränkt, und beschränkt sich auf die standardisierten Werte vom OBD II-Service 0x01 (vgl. Bericht zu potentiell einsetzbaren Sensoren, Tabelle 12). Getestet wurden hierbei bekanntere Software-Produkte wie *Android OBDII Reader*, *Torque (free)*, *DashCommand*, *OBDLink MX Bluetooth* und *PCMSCAN*. Erweiterte Möglichkeiten bieten hingegen die Produkte:

- *ELM 327 Terminal* (Android): erlaubt direkte Kommunikation mit dem ELM 327 für erweiterte Befehle und direkte Kommunikation
- *EOBD Facile*: erlaubt Adressen der Steuergeräte zu ermitteln
- *OBD Car Doctor free*: erlaubt das Logging der Kommunikation zwischen Chipsatz und OBD II-Gateway und somit Logging der gesendeten Befehle

Bei professionellen Produkten, z.B. für Werkstätten, liest eine auf einem Laptop befindliche Software die OBD II-Schnittstelle über eine **Kabelverbindung** aus. Bei dieser Variante wurden getestet:

- *HEX+CAN USB Interface*, USB-Kabelverbindung, *VCDS Pro* Software
- *Autodia 509*, USB-Kabelverbindung, *Carport* Software

Die VCDS-Software ist eine professionelle Diagnosesoftware der Firma Ross-Tech für Fahrzeuge der Volkswagen AG, also für VW, Audi, Seat und Škoda. Die Software kann aber auch bei Fahrzeugen anderer Hersteller verwendet werden, bietet aber in diesem Fall nicht den vollen Funktionsumfang. Eine günstigere Variante zu VCDS bietet die Software Carport, ebenfalls optimiert für Fahrzeuge der Volkswagen AG.

Algorithmen und Datenverarbeitung

Innerhalb der Evaluierung wurden keine speziellen Algorithmen für die Verarbeitung der Daten entwickelt. Die Daten wurden als Rohsignale gespeichert und anschließend visualisiert.

Hiervon ist aber zu unterscheiden, dass einige getestete Produkte bzw. Kommunikationsmöglichkeiten nur den Byte-Wert, also nicht dekodierte Daten, zurückliefern. Hierfür wurden Decoder geschrieben, die den Wert in den entsprechenden Dezimalwert übersetzen. Nähere Informationen sind im übernächsten Abschnitt beschrieben.

Testbetrieb und Datengenerierung

Getestet wurden die oben genannten Hardware- und Software-Produkte an drei verschiedenen Fahrzeugen:

- Mazda 6 Kombi, Baujahr 2007
- VW Golf V, Baujahr 2007
- VW Sharan, Baujahr 2011

Bei den Fahrzeugen wurde das Auslesen der Daten sowohl während der Fahrt als auch bei Stillstand getestet. Für spezielle Daten, wie Daten aus dem ABS- und ESP-System, wurden Ereignisse wie durchdrehende Räder provoziert. Die Ergebnisse dieser Tests werden im folgenden Abschnitt zusammengefasst.

Auswertung und Evaluierung der Testdaten

Fragestellung 1 – Mithorchen des Datenverkehrs am OBD II-CAN-Bus

Bei den untersuchten Fahrzeugen wurde zuerst mittels Scan versucht, ob der CAN-Bus, welcher die OBD II-Schnittstelle und das OBD II-Gateway verbindet, kontinuierlich mit Daten aus dem Fahrzeug versorgt wird. Hierzu dient der CAN-Bus-Befehl `AT MA` (monitor all). Es stellte sich heraus, dass bei den VW-Fahrzeugen keine Botschaften vorliegen. Beim Mazda 6 werden hingegen permanent CAN-Bus-Botschaften übertragen. Letzteres würde ein „Mithorchen“ ermöglichen. Hier sei noch zu ergänzen, dass ältere Fahrzeuge von VW noch die k-Line als Datenbus zwischen OBD II-Schnittstelle und OBD II-Gateway verwenden. Dies ist eine andere und mittlerweile veraltete Technik. Die wurde daher nicht weiter untersucht.

Fragestellung 2 – Service 0x01 des OBD II-Protokolls

Im Verhalten zwischen den drei getesteten Bluetooth-Geräten, OBDLink MX BT, BT OBD 327 und ELM 327 Mini, konnten keine nennenswerten Unterschiede erkannt werden. Die standardisierten Werte der OBD II-Schnittstelle können mit den Geräten problemlos aufgezeichnet werden, sind aber mit Ausnahme der Außentemperatur (PID 70) für CarSense wenig relevant (siehe Bericht zu potentiell einsetzbaren Sensoren, Tabelle 4). Generell sind aber nicht alle standardisierten Werte bei allen Fahrzeugen abrufbar.

Ein Beispiel für das Ergebnis einer Abfrage beim Mazda 6 ist in Abbildung 6 zu sehen. Für die PIDs 4, 5, 17 und 36, das sind berechnete Last, Temperatur des Kühlwassers, Drosselklappenstellung und Lambdawert & Spannung, dargestellt. Zusätzlich wird die Adresse 0x7e8 der Datenquelle angegeben, in diesem Fall vom Motorsteuergerät.

Fragestellung 3 – Direkter Zugriff über OBD II-Gateway auf Steuergeräte

Direkte Kommunikation über Diagnoseprotokolle

Das Diagnoseprotokoll von OBD II steckt hinter den Services 0x01 bis 0x0A. Ein gezielter Zugriff über das CAN-Bus-Gateway zu den einzelnen Steuergeräten erfolgt hingegen über andere Services. Für den Zugriff auf die Steuergeräte wurden die Services 0x1A (ReadEcuIdentification), 0x22 (ReadDataByCommonIdentifier) und 0x21 (ReadDataByLocalIdentifier) getestet, welche die Kommunikation über die

Diagnoseprotokolle UDS oder KWP2000 abwickeln. Das verwendete Diagnoseprotokoll hängt vom Fahrzeug ab, wird aber durch Software und Chipsatz weitgehend verschleiert.

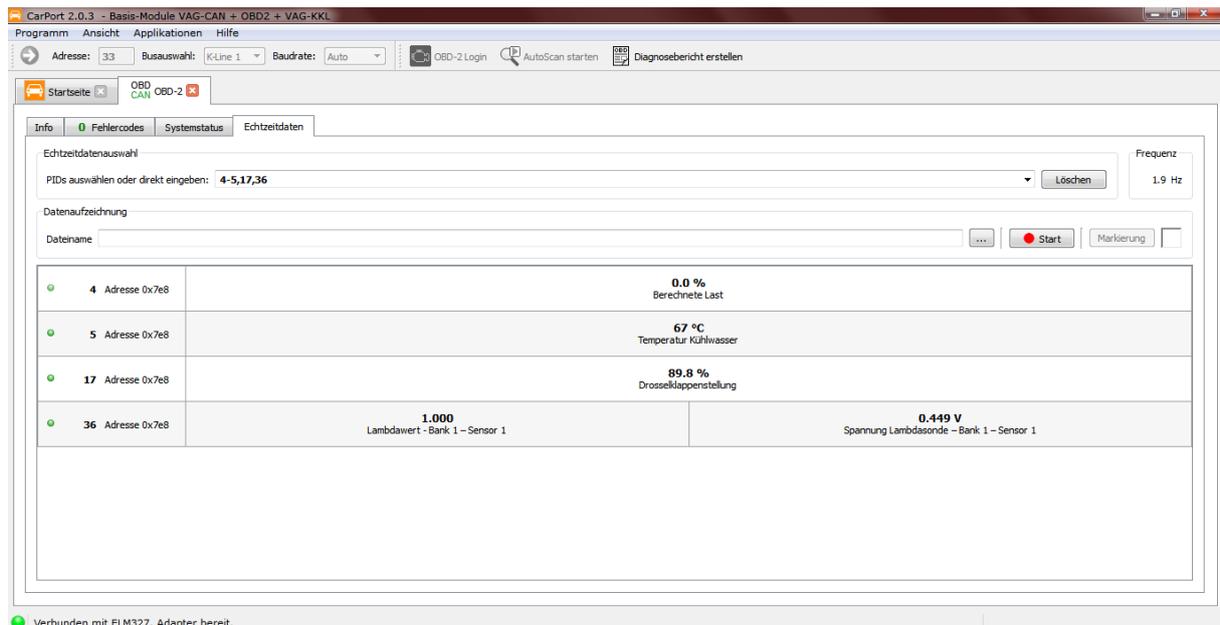


Abbildung 6: Screenshot Carport 2.0.3 mit BT OBD 327

Die einfachen Apps, die über Bluetooth mit dem Gateway kommunizieren, ermöglichen keine Kommunikation über die oben genannten Services bzw. Diagnoseprotokolle. Hierfür eignet sich eine professionellere Software wie Carport oder VCDS Pro. VCDS bietet eine zusätzliche Informationsquelle, da für VW-Fahrzeuge so genannte Label-Dateien bereitgestellt werden. Diese Dateien enthalten die entsprechenden Informationen über die Adressen der Steuergeräte und Messwertblöcke der gesuchten Werte. Zum Beispiel hat das ABS-Steuergerät beim getesteten VW Golf V die Adresse 0x03. Der Messwertblock 1 enthält die Messwerte der Raddrehzahlen aller vier Räder.

Mit Hilfe der Software Carport konnten für das ABS-Steuergerät einige Werte ausgelesen werden. Problemlos konnten die Werte der vier Raddrehzahlsensoren [km/h], des Lenkwinkels [°], der Quereschleunigung [m/s²], der Drehrate [°/s] und der Bremslichtaktivität [aus/ein] auch während der Fahrt aufgezeichnet werden. Es gibt jedoch keine direkten Informationen über ABS-Eingriff und ESP-Eingriff. Lediglich der Warnleuchtenzustand (ABS aus/ein, ESP aus/ein, Bremswarnleuchte aus/ein) könnte einen Rückschluss bieten. Da beim VW Golf V der ABS-Eingriff grundsätzlich nicht über die Warnleuchte angezeigt wird, bietet der Warnleuchtenzustand keine Information. Bei einem ESP-Eingriff blinkt beim VW Golf V die ESP-Warnleuchte. Vermutlich aus Sicherheitsgründen beginnen jedoch alle drei Warnleuchten zu blinken, wenn ein Diagnosegerät mit dem ABS-Steuergerät verbunden ist. Das gleiche Verhalten tritt auch bei Zugriff über die Software VCDS auf. Die Informationen der Warnleuchten sind daher nicht geeignet. Zusätzlich beendet das ABS-Steuergerät die

Diagnosesitzung, wenn das Fahrzeug schneller als 40km/h unterwegs ist. Der Direkte Zugriff auf das ABS-Steuergerät ist daher für CarSense nicht weiter zielführend.

Alternativ wurde versucht den Zustand der ABS-Warnleuchte und ESP-Warnleuchte von anderen Steuergeräten auszulesen, um daraus auf einen ABS- oder ESP-Eingriff rückschließen zu können. Auf den dafür in Frage kommenden Steuergeräten 0x17 (Schalttafeleinsatz), 0x19 (Diagnoseinterface), 0x44 (Lenkhilfe), 0x46 (Zentralmodul Komfortsystem), 0x09 (elektronische Zentralelektrik) sind diese Informationen jedoch nicht vorhanden.

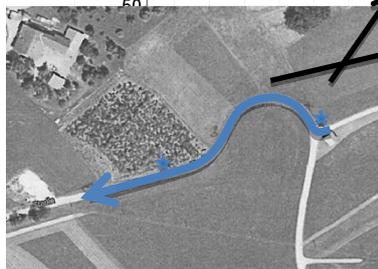
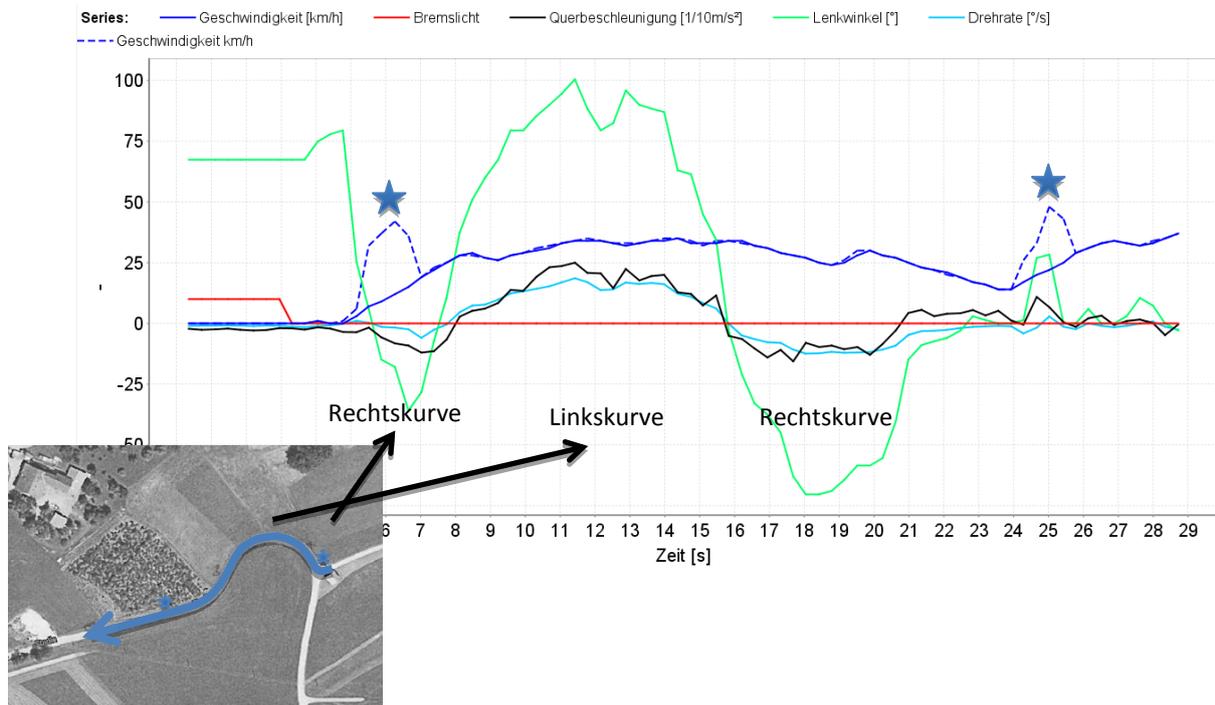
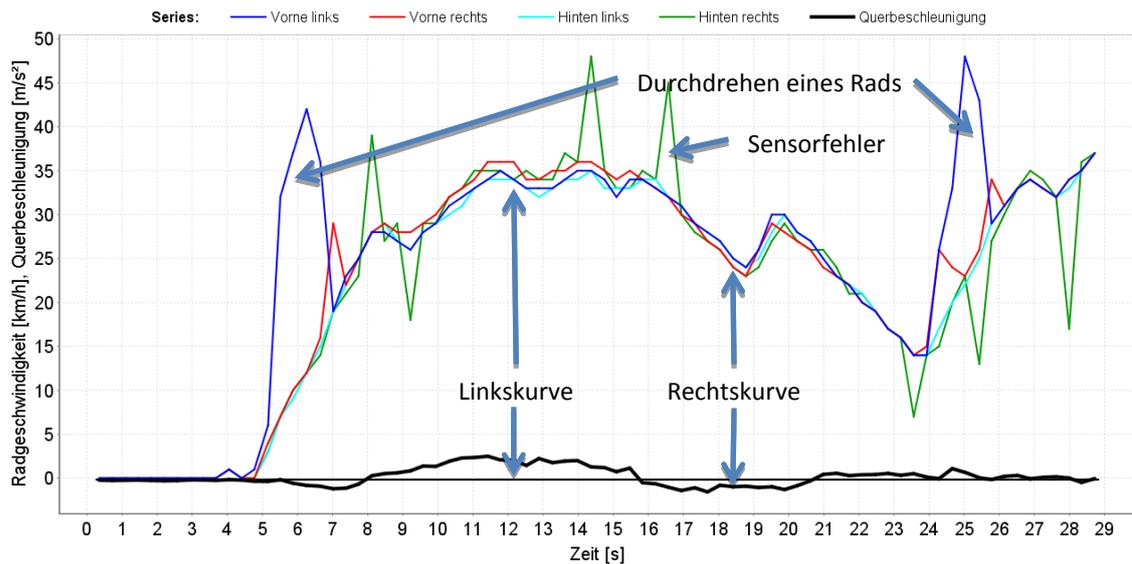


Abbildung 7: Beispielhafte Daten aus dem ABS-Steuergeräts

Direkte Kommunikation über Transportprotokolle

Die oben genannten Diagnoseprotokolle OBD II, KWP 2000 und UDS verwenden die darunterliegenden Transportprotokolle des CAN-Bus-Systems für die Kommunikation. Das heißt, Diagnoseanfragen werden von der Diagnosesoftware über das Transportprotokoll an den CAN-Bus-Gateway gesendet, wobei die Diagnosesoftware die gesamte Kodierung und Kommunikation übernimmt. Man kann daher auch ohne Diagnoseprotokolle nur über die Transportprotokolle auf die Steuergeräte zugreifen. Interessant sind hierbei das neuere ISO TP und das ältere TP 2.0. Das verwendete Protokoll hängt vom Fahrzeugtyp und Baujahr ab. Für diese direkte Kommunikation, also dem manuellen Senden von Transportprotokollbefehlen über den ELM 327 Chipsatz, wurden getestet:

- *ELM 327 Terminal* für ISO TP bei VW Sharan 2011
- *VAG Blocks* für TP 2.0 bei VW Golf, 2007
- *Speckmobil* für TP 2.0 bei VW Golf, 2007

Bei den Verbindungsversuchen war das unmittelbare Ziel, die von Steuergeräten bereitgestellten Werte zu identifizieren (Adressen der Steuergeräte, Listen und Adressen von Werten). Im Falle von ISO TP konnten beim Sharan diverse Steuergerätadressen gefunden und angesprochen werden. Aus manchen der Steuergeräte konnten auch Werte, wie z. B. Seriennummern, Softwareversion, ausgelesen werden. Beim VW Golf V war es hingegen nicht möglich eine Verbindung mit den Steuergeräten aufzubauen, die Steuergeräte wurden nur gefunden.

Aufgrund des Aufwands für die Tests und der Tatsache, dass das ABS-Steuergerät die Verbindung bei Geschwindigkeiten von mehr als 40 km/h abbricht, wurde dieser Weg nicht mehr weiterverfolgt.

Zusammenfassung und technische Bewertung

Das Auslesen von Daten aus der OBD II-Schnittstelle kann über bloßes „mithorchen“, durch Zugriff über das OBD II-Protokoll oder durch Zugriff über andere Protokolle erfolgen. Für einen breiten Überblick wurden daher im Zuge der Evaluierung

- verschiedene Fahrzeugtypen (Mazda 6 Kombi, VW Golf V, VW Sharan),
- die wichtigsten Services der wichtigsten Diagnoseprotokolle (OBD II, KWP 2000 und UDS),
- die wichtigsten Transportprotokolle (TP 2.0, ISOTP) und
- unterschiedliche Software (frei und professionell), Hardware (ELM 327 Original/Kopie, STN1170) und Übertragungstechniken (USB-Kabel, Bluetooth)

getestet. Dabei ergab sich ein ernüchterndes Ergebnis. Neben den im OBD II-Standard standardisierten Werten (PIDs im Service 0x01 des OBD II-Protokolls; Tabelle 14) war es nicht möglich, weitere relevante Werte praxistauglich auszulesen. Beim direkten Zugriff stellte sich heraus, dass ein Zugriff auf die einzelnen Steuergeräte möglich ist, das Auslesen von bereitgestellten Werten ist hingegen technisch und zeitlich viel aufwendiger. Beim für Carsense relevanten ABS-Steuergerät konnten alle relevanten Daten ausgelesen werden, das Auslesen wurde aber – vermutlich aus Sicherheitsgründen – beim VW Golf V vom ABS-Steuergerät bei Geschwindigkeiten größer 40 km/h abgebrochen. Zusätzlich beginnen die ABS- und ESP-Warnleuchte zu blinken. Somit ist dieser Ansatz während der Fahrt nicht anwendbar.

Zusätzlich kommt hinzu, dass mit Ausnahme der standardisierten OBD II-Werte die unterschiedlichen Zugriffsarten, Protokolle und Adressen sich von Fahrzeughersteller, Fahrzeugtyp und Baujahr in der Regel unterscheiden. Für VW sind hierzu zumindest über professionelle Software, z.B. VCDS, die meisten benötigten Hintergrundinformationen zum Auslesen der Fahrzeugelektronik zu gewinnen. Ein breiter Einsatz ist aber dennoch nicht sinnvoll, vor allem nicht, wenn unterschiedliche Hersteller betroffen sind, da der zeitliche Aufwand nicht abgeschätzt werden kann und ein Erfolg ungewiss ist. Hinzu kommt, dass die Ausbeute aus den standardisierten Werten, das ist Außentemperatur und Verbrauch, nicht in Relation zum Aufwand stehen. Die OBD II-Schnittstelle ist daher aus technischer Sicht ohne die Unterstützung von Fahrzeugherstellern keine Option für den massenhaften Einsatz, auch wenn sie grundsätzlich Zugriff auf die gesamte Fahrzeugelektronik bietet.

Erfolgreich aus der OBD II-Schnittstelle ausgelesene relevante Werte	
Außentemperatur (über Service 0x01)	ABS- oder ESP-Aktivität
Raddrehzahlen	Regensensor oder Scheibenwischeraktivität
Abstandsensor	Aktivität der Fahrzeugbeleuchtungen
Beschleunigungswerte	Verbrauch (über Service 0x01)

Tabelle 14: Im Zuge der Evaluierung aus der OBD II-Schnittstelle ausgelesene Werte.

3.2.2 Evaluierung des Zugriffes über den CAN-Bus

Bei der Evaluierung des CAN-Busses waren die gleichen Werte (Tabelle 15) wie bei der OBD II-Schnittstelle relevant. Das betrifft daher auch hier Werte, die Rückschlüsse auf **aktuelle Fahrbahnbedingungen** erlauben und so zur **Steigerung der Sicherheit** beitragen können.

Gesuchte Werte am CAN-Bus	
Außentemperatur	ABS- oder ESP-Aktivität
Raddrehzahlen	Regensensor oder Scheibenwischeraktivität

Abstandsensor	Aktivität der Fahrzeugbeleuchtungen
Beschleunigungswerte	Verbrauch

Tabelle 15: Im Zuge der Evaluierung aus dem CAN-Bus auszulesende Werte.

Für das Auslesen der Daten aus dem CAN-Bus-System von Fahrzeugen ist bereits eine Reihe von professionellen Geräten erhältlich. Diese werden aus sicherheitstechnischen Gründen an untergeordnete CAN-Busse, wie Comfort-CAN (Volkswagen AG) oder Infotainment-CAN (Volkswagen AG) angeschlossen. Die Benennungen sind vom Hersteller abhängig. Ein Anschluss an den Motor-CAN ist zwar technisch möglich, ist aber bei den Geräten nicht vorgesehen und nicht anzuraten⁴. Zusätzlich wird aus sicherheitstechnischen Gründen nur ein Horchen am CAN-Bus unterstützt/angestrebt. Anders als bei OBD II ist kein gezieltes Senden von Abfragen an bestimmte Steuergeräte oder an das CAN-Bus-Gateway vorgesehen.

Zugriff 1: Das Auslesen von Werten durch Mithorchen am Comfort-CAN, Infotainment-CAN oder ähnliche CAN-Busse.

Für die Evaluierung ergibt sich daher nur eine Fragestellung:

Fragestellung 1: Können relevante Daten durch Mithorchen, also ohne das Senden von Abfragebefehlen, aus Comfort-CAN, Infotainment-CAN o.ä. mit Hilfe handelsüblicher Geräte ausgelesen werden?

Darüber hinaus dient dieser Teil der Evaluierung, ein vollständiges System „von der Datenerhebung über die Datenübertragung und Verarbeitung bis zur Bereitstellung von Echtzeitereignisinformationen“ prototypisch umzusetzen. Die Evaluierung versucht zusätzliche Anforderungen für einen späteren Betrieb eines FCD-Systems zu ermitteln.

Fragestellung 2: Welche zusätzlichen Anforderungen ergeben sich an ein späteres FCD-System, welche die Daten in Echtzeit der ASFINAG bereitstellt?

Diese Fragestellung dient bereits dazu, notwendige Informationen für die Systemintegration in AP 4 zu gewinnen.

⁴ Lt. einer unverbindlichen Rechtsauskunft des ÖAMTC gibt es keine dezidierten Regeln in Österreich. Es gilt aber allgemein: Nachträglich eingebaute Geräte dürfen die „Verkehrs- und Betriebssicherheit des Fahrzeuges nicht gefährden“. In Deutschland gibt es Regelungen, die für nachträglich eingebaute Geräte ECE-Prüfzeichen (§21a StVZO) fordern. Selbiges gilt auch für OBD II-Geräte.

Beschreibung der Evaluierung

Für die erste Fragestellung liegt der Schwerpunkt bei der Evaluierung darauf, welche Werte am jeweiligen angeschlossenen CAN-Bus mitgehört werden können. Dies beinhaltet zum einen, welche Werte kontinuierlich übertragen werden können und zum anderen, welche dieser Werte auch dekodiert werden können?

Datenerfassung und Datenübertragung

Die im Fahrzeug verbauten Steuergeräte tauschen in Fahrzeugen die Daten über CAN-Busse aus (Abbildung 4). Jede CAN-Botschaft hat eine eindeutige ID, meist eine dreistellige hexadezimale Zahl (z.B. 0x7EF).

Welche Botschaften die Steuergeräte senden und wie deren Inhalt zu dekodieren ist, wird von den Fahrzeugherstellern nicht veröffentlicht. Im Internet existiert eine kleine Anzahl von Foren, die sich damit befassen, die CAN-IDs herauszufinden, um die Werte der Botschaften zu dekodieren.⁵

Für Fahrzeuge der Volkswagen AG-Gruppe sind in einschlägigen Foren relativ viele Informationen zu finden, für Fahrzeuge von Ford beispielsweise nur wenige. Bei den Fahrzeugen der Volkswagen AG lassen sich mit Hilfe der Informationen aus den Foren 13 gängige Werte am Comfort-CAN dekodieren (Tabelle 3), die für CarSense prinzipiell relevant sind.

Hat man Information zu CAN-IDs und Dekodierungen gefunden, sind die CAN-Bus-Geräte noch für das Mithören zu konfigurieren. Aus der bisherigen Erfahrung von Salzburg Research hat sich hier vor allem die FCD-Gerät *FOX3* der Firma *FALCOM* als für den Masseneinsatz geeignet herausgestellt. Dieses Gerät kann anhand einer Kabelverbindung oder per SMS konfiguriert werden. Dazu wird dem Gerät mitgeteilt, welche CAN-ID abgehört werden soll und wie die Botschaften zu dekodieren sind (welche Bits/Bytes wie umgerechnet werden müssen). Sind die notwendigen Informationen zu CAN-IDs und Dekodierung nicht im Internet eruiert, bleibt nur ein sehr zeitaufwendiges Reverse Engineering. Mit Hilfe dieser Methode kann zumindest bei bekannter CAN-IDs noch einfach bestimmt werden, ob eine Nachricht abgehört werden könnte.

Neben den erwähnten 13 gängigen Werten wurde auch versucht die relevanten ABS- und ESP-Informationen (Raddrehzahlen, ABS-Warnleuchte, Bremsengriffe usw.) sowie Beschleunigungsinformationen (Beschleunigungssensor) auszulesen. Aus den Foreneinträgen zu VW-Fahrzeugen konnte dazu ermittelt werden, dass am Comfort-CAN ABS- und ESP-Informationen nicht übertragen werden. Diese Informationen sollten lt. Foren nur am Motor-CAN auslesbar sein.

⁵ Zum Beispiel: <http://www.canhack.de>, <http://www.canhack.org>, <http://www.canhack.net>

Die Übertragung der Daten erfolgt über die eingebaute Mobilfunkfunktion (SIM-Karte mit Datenvolumen notwendig). An der Gegenstelle übernimmt ein Server eines FCD-Systems die Daten für die Speicherung und Weiterverarbeitung.

Algorithmen und Datenverarbeitung

Nach erfolgter Übertragung der Daten zu den Servern des FCD-Systems von Salzburg Research werden die Daten als so genannte „extended FC-Daten“ (xFCD) verarbeitet. Hierzu waren in Summe nur kleinere Anpassungen am bestehenden FCD-System notwendig. Die Verarbeitung im bestehenden FCD-System kann daher für einen zukünftigen Einsatz als exemplarisch angesehen werden und besteht aus folgenden Schritten:

1. **Zusammenbau** der übertragenen xFC-Daten und GPS-Punkte zu einer zusammenhängenden Trajektorie
2. **Anonymisierung** der xFCD-Trajektorie durch Beschneidung
3. **Zuweisung** der GPS-Punkte der xFCD-Trajektorie zum Straßengraphen (z.B. Graph der GIP) durch Map-Matching
4. **Verarbeitung** der xFCD-Trajektorien durch Methoden der Signalverarbeitung
5. **Extraktion** der xFCD-Ereignisse durch Analysealgorithmen auf den verarbeiteten Signalen
6. **Informationsbereitstellen** aller relevanter Informationen durch definierte Schnittstellen

Während der Evaluierung wurden folgende Daten aus dem FCD-System von Salzburg Research als für die ASFINAG relevant ermittelt:

- **Travels** beschreiben eine Fahrt über ein bestimmtes Straßensegment.
- **Delay Patterns** beschreiben Bewegungsmuster die Verzögerungen verursachen.
- **Level-of-Service-Werte** werden aus den Delay Patterns abgeleitet und beschreiben die momentane Verkehrsqualität auf einer dreistufigen Skala (Grün, Gelb und Rot).
- **xFCD-Ereignisse** beschreiben aus xFC-Daten generierte Punkt- oder Streckenergebnisse, z.B. „Temperatur unter null auf einem bestimmten Segmentabschnitt“.

Details zur Datenstruktur der hier genannten Daten sind bei den Ergebnissen zu Arbeitspakets 4 zu finden.

Testbetrieb und Datengenerierung

Der Testbetrieb wurde mit je drei Testfahrzeugen der Salzburg Research und drei Fahrzeugen der ASFINAG-Flotte durchgeführt:

- 2x VW Touran, Baujahr 2011 (ASFINAG)
- Ford C-Max, Baujahr 2011 (ASFINAG)

- VW Passat Alltrack, Baujahr 2014 (Salzburg Research)
- VW Golf V, Baujahr 2007 (Salzburg Research)
- VW Beetle, Baujahr 2015 (Salzburg Research)

Das schon erwähnte FCD-Gerät der Firma FALCOM vom Typ FOX3 (ECE- und CE-Prüfzeichen) wurde Anfang 2015 von Werkstätten in die Fahrzeuge eingebaut. Hier ergab sich schon ein erster Unterschied zwischen den Herstellern: Der Ein- und Ausbau bei den VW-Fahrzeugen kostet ca. 80 €, wohingegen der Ein- und Ausbau bei den stark verbauten Ford-Fahrzeugen durch den erhöhten Zeitaufwand ca. 450 € kostet.

Bei den VW-Fahrzeugen wurde das FCD-Gerät an den Comfort-CAN angeschlossen und beim Ford an den Highspeed-CAN. Nach anschließender Aktivierung und Konfigurierung der Geräte, senden die Fahrzeuge seit 10.02.2015 ihre GPS-Positionen und die VW-Fahrzeuge senden auch die xFCD-Werte (Tabelle 3) an das FCD-System von Salzburg Research. Die beiden Fahrzeuge der ASFINAG legten zwischen 10.02.2015 und 22.04.2015 ca. 13.771 km bei 603 Fahrten zurück.

Auswertung und Evaluierung der Testdaten

Fragestellung 1 – Mithorchen des Datenverkehrs am CAN-Bus

Die Auswertung zeigte, dass für die VW-Fahrzeuge alle 13 xFCD-Werte (Tabelle 3) ausgelesen, übertragen und plausibilisiert (Abbildung 8) werden konnten.

Daten	Einheit	VW	Ford
Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h	✓	✓
Motordrehzahl	UpM	✓	✗
Akkumulierter Verbrauch	µl	✓	✗
Bremslicht	Flag	✓	✗ (nicht plausibel)
Blinker (links, rechts, beide)	Modus	✓	✗ (nicht plausibel)
Abblendlicht	Flag	✓	✗ (nicht plausibel)
Fernlicht	Flag	✓	✗
Nebelschlussleuchte	Flag	✓	✗ (nicht plausibel)
Nebelscheinwerfer	Flag	✓	✗
Warnblinkanlage	Flag	✓	✗
Scheibenwischer	Flag, Stufe	✓	✗ (nicht plausibel)
Regensensor	Stufe	✓ (wenn verbaut)	✗
Außentemperatur	°C	✓	✗ (nicht plausibel)

Tabelle 16: Aus Foren bekannte Werte am Comfort-CAN der Volkswagen AG.

Für die korrekte Dekodierung der 13 xFCD-Werte waren lediglich einige kleinere Anpassungen für die VW-Fahrzeuge notwendig, da die für Carsense eingebauten FOX3-Geräte eine neuere Firmware-Version verwendeten als jene, die im Projekt FCD Modellregion Salzburg verwendet wurde. Diese Anpassung erforderte ca. 2 Tage Arbeitsaufwand und musste nur einmal durchgeführt werden. Die Werte unterschieden sich nicht zwischen den evaluierten VW-Modellen. Am Ende der Evaluierung wurde noch ein VW Beetle, Baujahr 2015 in die Flotte integriert. Dieses VW-Modell hat nur mehr einen Highspeed-Can und einen Lowspeed-CAN. Am Lowspeed-CAN konnten bis auf den Verbrauch auch weiterhin alle Werte ausgelesen werden.

Für den Ford konnte zumindest mit beträchtlichem Aufwand und durch Anpassung der Dekodierung die Geschwindigkeit plausibilisiert werden. Für andere CAN-IDs konnten zwar Werte abgerufen werden, diese sind jedoch nicht plausibel (Tabelle 3). Das kann einerseits daran liegen, dass VW und Ford nicht die gleichen CAN-IDs für die gleichen Werte benutzen oder, dass die Bytewerte unterschiedlich dekodiert werden müssen. Auch die Durchsicht von Internet und Foren brachten beim Ford keine weiteren Hilfestellungen. Aufgrund des Aufwands und der hohen Einbaukosten wurde von einem weiteren Reverse Engineering abgesehen.

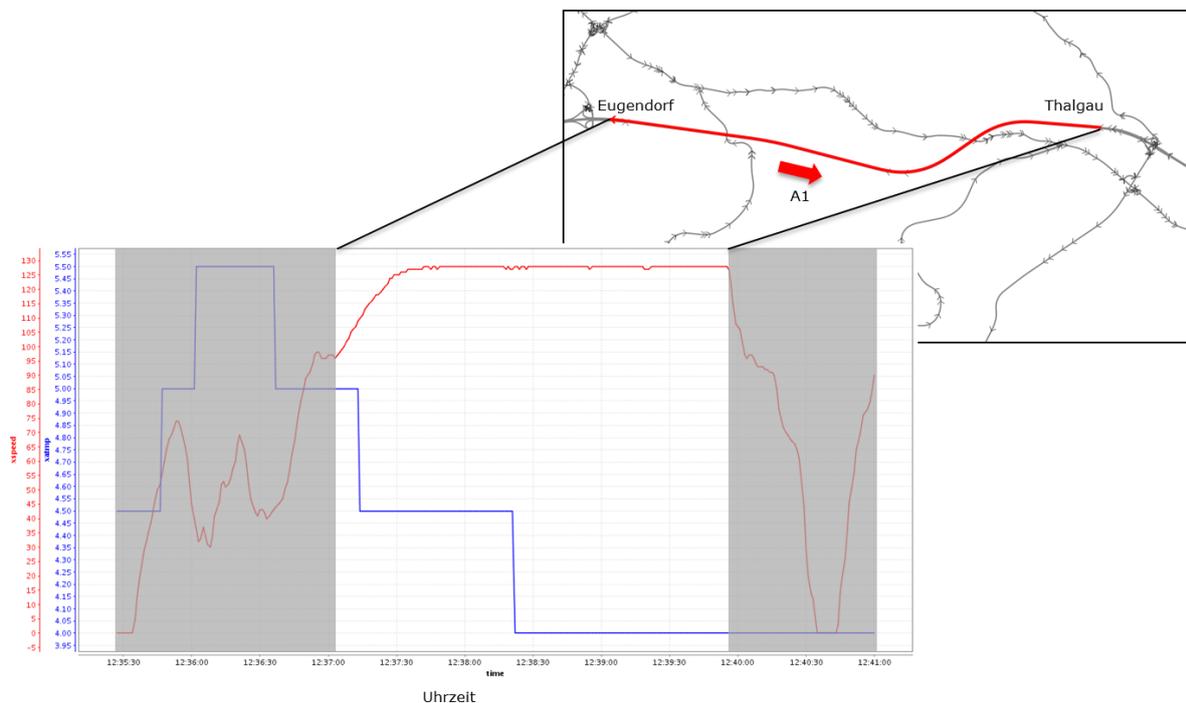


Abbildung 8: Beispiel für ein xFCD-Signal: Geschwindigkeit (rot), Außentemperatur (blau) einer Autobahnfahrt vom 10.02.2015, A1, zwischen Eugendorf und Thalgau

Fragestellung 2 – Zusätzliche Anforderungen an das FCD-System

Gegenüber dem bestehenden FCD-System ergaben sich während der prototypischen Umsetzung des Echtzeitbetriebs zusätzliche Anforderungen, die bei der Systemintegration in Arbeitspakete 4 berücksichtigt werden mussten. Zentral ist hierbei, dass die ASFINAG weniger an den Rohsignalen (Abbildung 8) der xFCD-Werte interessiert ist, als vielmehr an „veredelten“ Ereignisinformationen (Abbildung 9). Hierbei ist zu unterscheiden, dass Ereignisse entweder als Punkt- (z.B. für Unfallstellen) oder als Streckeninformationen (z.B. für Nebel) bereitzustellen sind. Jedes Ereignis wird über einen Typ und optionale Zusatzwerte genauer spezifiziert (Tabelle 17). Zum Beispiel das Ereignis: „Glätte auf Segment X zwischen Offset Y und Z“.

Als Grundlage für die Ereignisextraktion aus xFC-Daten mussten gegenüber dem bestehenden FCD-System von Salzburg Research einige Anpassungen erfolgen. Dies beinhaltet die Integrierbarkeit von Extraktionsalgorithmen (siehe Punkt 4 der Auflistung von Abschnitt 0) sowie die Anpassung der Schnittstellen für die Lieferung von Echtzeitereignissen. Auch die Spezifikation der Ereignisse und der Extraktionsalgorithmen erfolgte im Zuge der Systemintegration. Details hierzu sind im Bericht bei den Ergebnissen zu Arbeitspaket 4 zu finden.

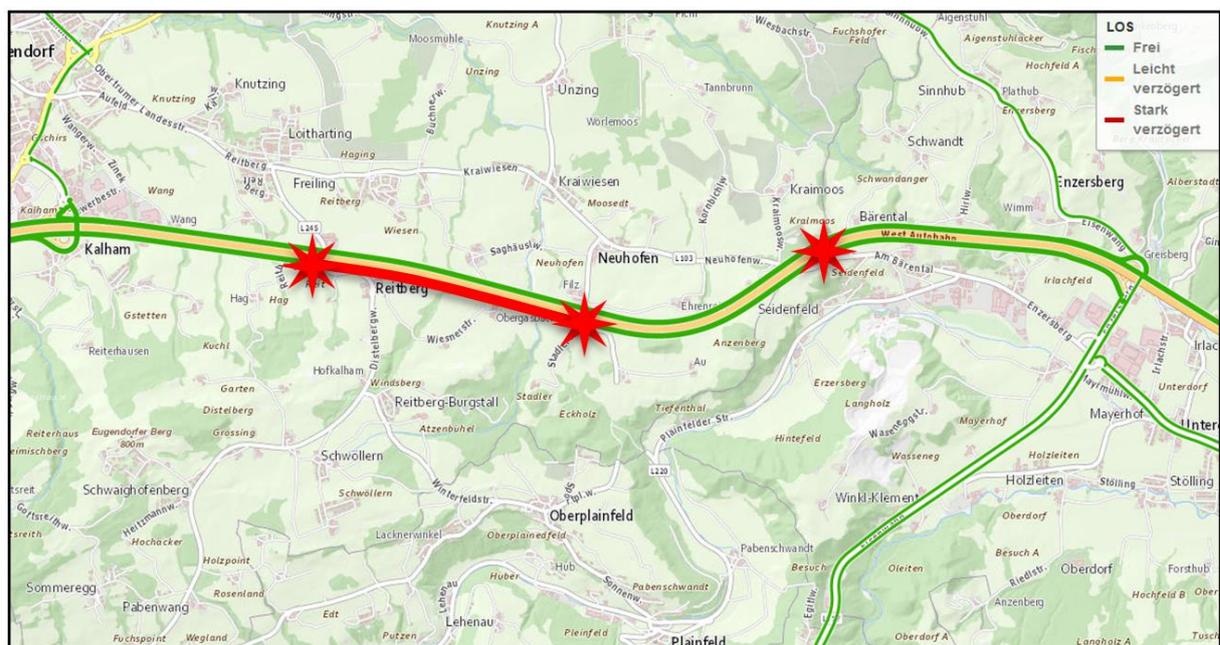


Abbildung 9: xFCD-Ereignis als Punkt- oder Streckeninformation

Ereignis	
Segment ID	Ereignistyp
Fahrtrichtung	Zeitstempel
Von	Zusatzinfos ...
Bis	

Tabelle 17: xFCD-Ereignisdatensatz

Zusammenfassung und technische Bewertung

Für den Anschluss an einen CAN-Bus eines Fahrzeuges sind im Handel bereits eine Reihe von professionellen und günstigen Produkten, sogenannte CAN-Bus-Geräte, erhältlich. Neben GNSS-Positionen zeichnen diese Geräte auch die Kommunikation am CAN-Bus auf und übertragen die Daten in der Regel per Mobilfunk an einen Server (so genannte Extended Floating Car Daten). Da aber die Fahrzeughersteller keine Informationen zu den übertragenen Daten, den CAN-Bus-IDs gesuchter Werte und deren Dekodierung veröffentlichen, bleibt die einzige Möglichkeit für die Nutzer der Geräte diese Informationen durch Internetrecherchen, Forenbeiträge und Reverse Engineering mühsam und zeitaufwändig zu eruieren.

Im Zuge der Evaluierung wurde somit versucht, den Aufwand und den Erfolg dieser Arbeiten genauer abschätzen zu können. Hierzu wurden drei Fahrzeuge der ASFINAG (2x VW Touran, Ford C-Max) und drei weitere von Salzburg Research (VW Passat Alltrack, VW Golf V, VW Beetle) mit dem FOX3-Gerät der Firma Falcom ausgerüstet. In Werkstätten wurden die Geräte an den nicht-sicherheitskritischen Comfort-CAN (VW) und High-Speed-CAN (Ford) angeschlossen. Während eines Testzeitraums von 8 Monaten (Februar – September 2015) wurde die Daten der Fahrzeuge an die Server von Salzburg Research übertragen.

Das Ergebnis der Feldtests ergab, dass bei den VWs 13 verschiedene Werte (Tabelle 3) aus dem Comfort-CAN ausgelesen und dekodiert werden können. Die relevanten Botschaften für Raddrehzahl, ASB- bzw ESP-Eingriff konnten am CAN-Bus nicht ausgelesen werden. Bei Volkswagen sind diese Informationen laut Foreneinträge am Motor-CAN-Bus zwar vorhanden, nicht aber am Comfort-CAN. Beim Ford C-Max konnte trotz erheblichen Zeitaufwands mangels Informationen nur die Fahrgeschwindigkeit ausgelesen werden. Zusätzlich ist bei Ford der Ein- und Ausbau sehr teuer.

Erfolgreich aus dem CAN-Bus ausgelesene relevante Werte	
Außentemperatur	ABS- oder ESP-Aktivität
Raddrehzahlen	Regensensor oder Scheibenwischeraktivität
Abstandsensor	Aktivität der Fahrzeugbeleuchtungen
Beschleunigungswerte	Verbrauch

Tabelle 18: Im Zuge der Evaluierung aus dem Comfort-CAN ausgelesene Werte.

Zusammenfassend kann daher festgehalten werden, dass für eine größere Ausrollung, zumindest innerhalb der ASFINAG-eigenen Flotte, CAN-Bus-Geräte grundsätzlich geeignet sind. Zum einen stellen sie rechtlich, technisch und sicherheitstechnisch kein Problem dar, zum anderen ist nach erfolgtem Einbau das Gerät für die Fahrzeuginsassen nicht zugänglich. Aus Kostengründen ist aber der Einsatz zurzeit auf Fahrzeuge des Herstellers VW (Tabelle 18) zu beschränken. Für den Einsatz bei anderen Fahrzeugherstellern ist zukünftig im Vorhinein zu prüfen: (1) Können relevante Informationen auf einem nicht-sicherheitskritischen CAN-Bus identifiziert und dekodiert werden? (2) Kann das verwendete Gerät auch kostengünstig (geringer Zeitaufwand) ein- bzw. ausgebaut werden?

Zusätzlich ergeben sich zwei weitere Verwendungsmöglichkeiten, wenn FCD-Geräte eingesetzt werden: Die GPS-Daten können (1) für ein elektronisches Fahrtenbuch bzw. zur Dokumentation und/oder (2) zur Bestimmung der Verkehrslage genutzt werden.

Es soll jedenfalls an dieser Stelle darauf hingewiesen werden, dass durch die potentielle Möglichkeit zur Überwachung von Mitarbeitern der Einsatz von FCD-Geräten die Zustimmung des Betriebsrates in einem Unternehmen zwingend erfordert. Bei einer möglichen Ausrollung innerhalb der ASFINAG ist daher der Betriebsrat unbedingt einzubeziehen. Im Rahmen des Tests in CarSense erfolgte die Datenerfassung mit Zustimmung der Fahrerinnen und Fahrer auf freiwilliger Basis.

Während des Feldtests wurde über die Server der Salzburg Research bereits ein vollständiges System von der Datenübertragung der Fahrzeuge bis hin zur Ergebnisübermittlung zu den Servern der ASFINAG aufgebaut. Hierbei konnten wichtige Erkenntnisse für (1) ein prototypisches FCD-System und (2) eine zukünftig anzustrebende Datenstruktur für Ereignismeldungen (Tabelle 17) herausgearbeitet werden. Details werden sind bei den Ergebnissen zu Arbeitspaket 4 zu finden.

3.2.3 Evaluierung der Erfassung mit Smartphones

Für die Evaluierung von Smartphones als Datenquelle wurde der Fokus auf die Beschleunigungswerte (Tabelle 19) gelegt. Beschleunigungsdaten sind in erster Linie für das Erhaltungsmanagement von Relevanz, da mit ihrer Hilfe der **Zustand der Fahrbahn und des Fahrbahnbelags** im Hinblick auf **Instandhaltung** bewertet werden kann. Für das Verkehrsmanagement könnte die Beschleunigung insofern von Relevanz sein, da starkes

Bremsen / Notbremsungen ebenfalls als negative Beschleunigungen aufgezeichnet werden. Dieser Aspekt wurde innerhalb der Evaluierung nicht näher betrachtet. Der Schwerpunkt lag auf der Ermittlung von Schlaglöchern, Längsunebenheiten und Unebenheiten an Fahrbahnübergängen.

Betrachtete Sensorwerte von Smartphones

Beschleunigung in drei Raumrichtungen

Lineare Beschleunigung in drei Raumrichtungen

Tabelle 19: Im Zuge der Evaluierung erhobene Sensorwerte von Smartphones.

Gegenüber den vorangegangenen Evaluierungen zur OBD II-Schnittstelle und zum CAN-Bus stellt sich bei Smartphones nicht die Frage, ob gewünschte Werte ausgelesen werden können. Dies kann im Falle von Smartphones (oder Tablets) relativ einfach anhand einer App bewerkstelligt werden. Die aufgezeichneten und vorverarbeitete Daten (inkl. GPS-Daten) werden von der App per Mobilfunk an einen Server übertragen. Wesentlich unklarer ist hingegen, ob die gewünschten Informationen aus den Signalen extrahiert werden können:

Fragestellung 1: Können relevante Informationen zu Schlaglöchern, Längsunebenheiten und Unebenheiten an Fahrbahnübergängen aus den Signalen eines Beschleunigungssensors am Smartphone extrahiert werden? Wie könnte ein Algorithmus dazu aussehen?

Neben dieser Frage stellt sich gerade für Smartphones noch die Frage für den Masseneinsatz, da unterschiedliche Fahrzeuge und Smartphones Stöße unterschiedlich stark aufzeichnen:

Fragestellung 2: Können gewonnene Informationen auch zwischen unterschiedlichen Smartphones und Fahrzeugen verglichen werden?

Abschließend ist noch zu klären, wie ein dazugehöriges System auf der Empfangsseite aussehen muss, das die Daten weiter auswertet, darstellt und speichert:

Fragestellung 3: Wie kann ein FCD-System, das bereits in Abschnitt 3.2.2 beschrieben wurde, auch die Daten von Smartphones verarbeiten bzw. was wäre anzupassen?

Beschreibung der Evaluierung

Für die Evaluierung der Beschleunigungsdaten liegt der Schwerpunkt auf der Informationsextraktion, also den Algorithmenentwurf und der Datenverarbeitung. Weitere offene Fragen betreffen auch die Verortung, da die hoch gesampelten Beschleunigungsdaten auch auf die Infrastruktur verortet werden müssen.

Datenerfassung und Datenübertragung

Für die Datenerfassung wurde in einer **ersten Testphase** die Salzburg Research Sensor-App *SmartSense* (Abbildung 10) für Android-Geräte eingesetzt. Diese zeichnet die Sensorwerte für einen ausgewählten Sensor und für eine ausgewählte Aufzeichnungsfrequenz auf. Während der ersten Testphase wurden die Daten allerdings noch nicht übertragen, sondern lokal am Smartphone aufgezeichnet. Die Auswertung erfolgte im Anschluss offline.

Da die erste Testphase erfolgreich abgeschlossen wurde, wurde für eine **zweite Testphase** die App *RoadSense* (Weiterentwicklung von *SmartSense*) genutzt (Abbildung 10). Die App *RoadSense* wurde innerhalb des Arbeitspakets 4 Systemintegration für einen erneuten Testlauf unter realen Bedingungen verwendet. Drei technikaffine Mitarbeiter der ASFINAG testeten die App im Sommer 2015 für ein Monat.

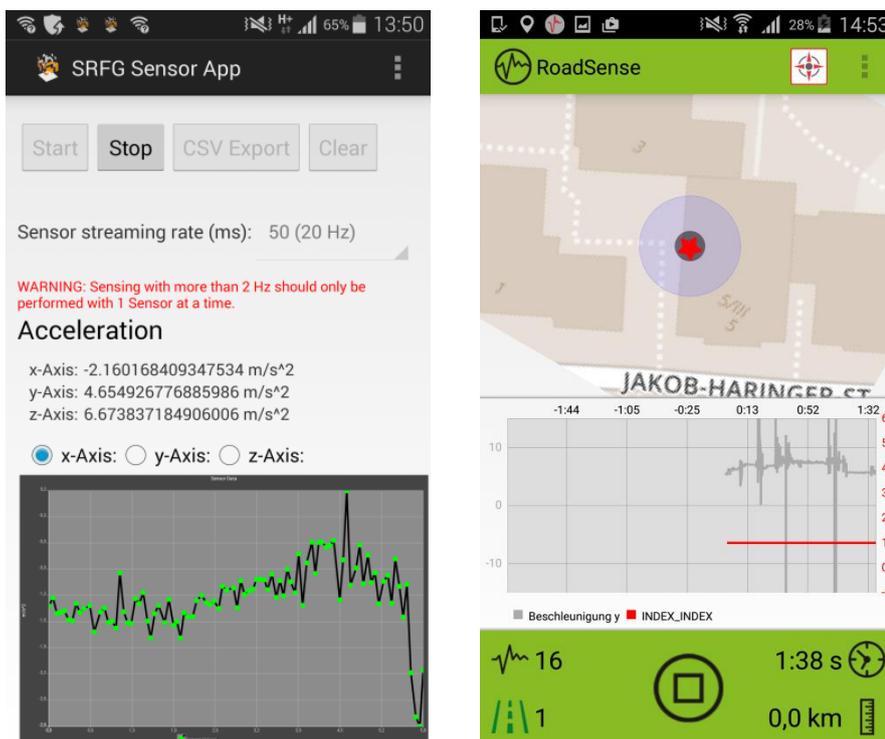


Abbildung 10: Sensor-App SmartSense (links) und RoadSense (rechts) zur Aufzeichnung von Sensorwerten von Smartphones

Algorithmen und Datenverarbeitung

Zur Erkennung von Schlaglöchern und Längsunebenheiten anhand von Beschleunigungsdaten gibt es bereits eine Reihe von wissenschaftlicher Literatur (siehe Bericht zu potentiell einsetzbaren Sensoren). Bei den vorgestellten Varianten werden meist einfache Signalverarbeitungsschritte angewendet, die auch als Vorlage für diese Evaluierung dienen. Allen gemeinsam ist, dass sie als Basissignal die Vertikalbeschleunigung (Abbildung Endbericht CarSense

11 (1)) verwenden. Im Anschluss wird in der Regel der Ruck (Ableitung, m/s^3) aus zwei aufeinanderfolgenden Beschleunigungswerten a_i und a_{i+1} mit $(a_{i+1} - a_i)/\Delta t$ berechnet (Abbildung 11 (2)). Der (mittlere) Vertikalruck beschreibt die Stöße, die ein Fahrer beim Überfahren von Längsunebenheiten spürt, vorausgesetzt, das Aufzeichnungsintervall ist kurz. Der bei stärkeren Unebenheiten entstehende Längsruck wurde beim Algorithmenentwurf noch nicht berücksichtigt. Nach der Berechnung des Vertikalrucks kann dieses Signal für kleinere positive und negative Werte ausgefiltert werden. Das bedeutet, dass z.B. alle Werte im Intervall $[-150,150]$ auf null gesetzt werden (Abbildung 11 (3)). Als Resultat verbleibt ein ausgedünntes Signal, welches nur stärkere Stöße anzeigt. Sofern es keinen Unterschied macht, ob ein Fahrzeug eine Erhebung oder Vertiefung überfährt, kann auch der Absolutbetrag des Vertikalrucks (Abbildung 11 (4)) verwendet werden.

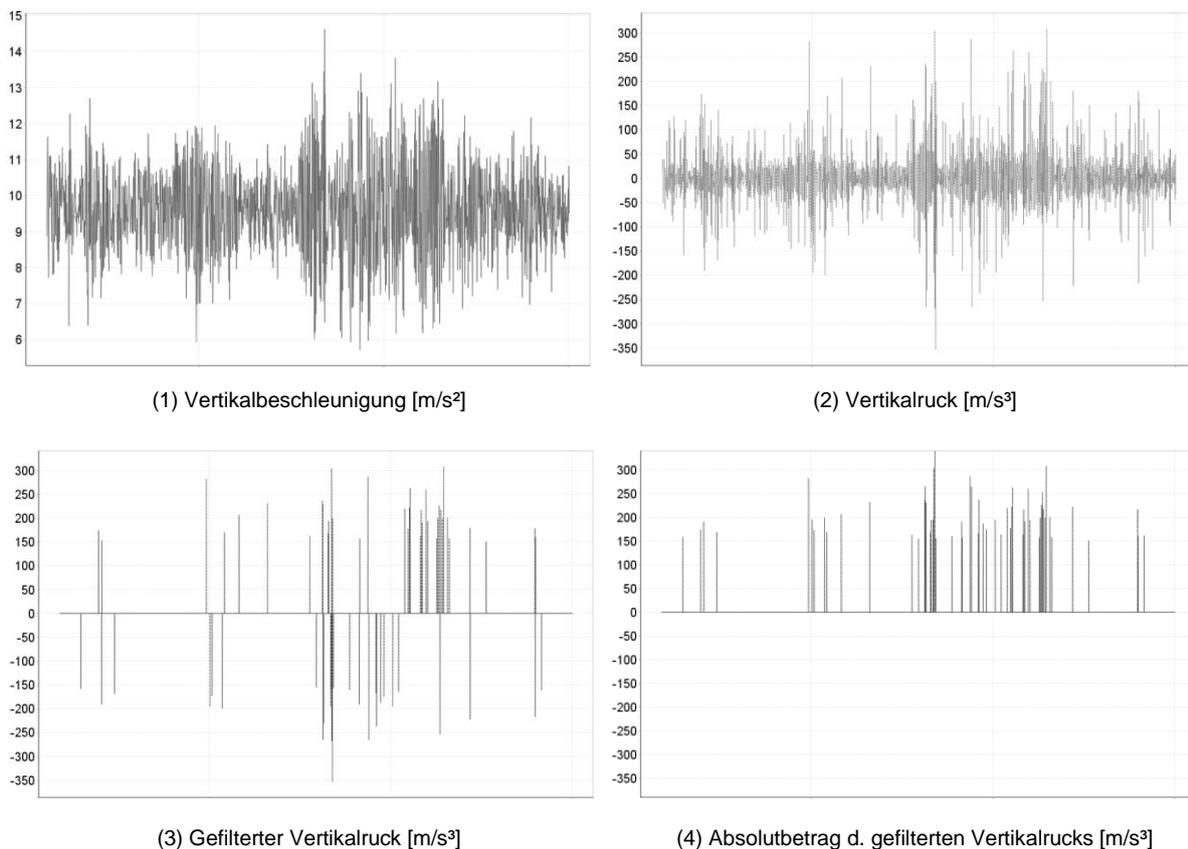


Abbildung 11: Verarbeitungsschritte der Signalverarbeitung

Der hier vorgestellte Algorithmus ist ein erster einfacher Vorschlag für die zweite Testphase mit der App *RoadSense*. Für eine Umsetzung innerhalb eines Produktsystems muss gesondert eine Entwicklung eingeplant werden.

Neben der Informationsextraktion dient die Signalverarbeitung auch der Datenreduktion. Für ein zukünftiges System ist nicht vorgesehen, die gesamten aufgezeichneten Beschleunigungsdaten zu übertragen. Dies würde bei einer Aufzeichnungsfrequenz von 50 Endbericht CarSense

Hz in der Sekunde im einfachsten Fall und ohne GPS-Signal $2 \times 50 = 100$ Dezimalzahlen pro Sekunde ergeben. Es ist daher vorgesehen, dass der Algorithmus die Daten soweit reduziert, dass nur mehr relevante Informationen an den Server übertragen werden.

Testbetrieb und Datengenerierung

Die Testdaten für die erste Testphase wurden anhand von Testfahrten auf der A1 und der A10 zwischen Salzburg Nord und Tauernalm am 29.01.2015 erhoben. Für die Testfahrt wurde ein Mazda 6 Kombi, Baujahr 2007 als Fahrzeug und bei den Smartphones ein Samsung Galaxy S3 und ein Samsung Galaxy S5 verwendet. Die Fahrten wurden mit beiden Geräten gleichzeitig mit einer Aufzeichnungsfrequenz von 50 Hz aufgezeichnet.

Für die Erkennung von Längsunebenheiten ist die Vertikalbeschleunigung von größter Relevanz. Um diese möglichst genau zu messen wurde das Smartphone senkrecht mit einer steifen Halterung an die Windschutzscheibe montiert. Die Steifigkeit der Halterung ist dabei wesentlich, um ein Nachschwingen zu verhindern. Somit konnte eine Dämpfung von Stößen und eine zeitliche Verlängerung eines Stoßes durch Schwingung vermindert werden. Die aufgezeichneten Signale, Beschleunigung und lineare Beschleunigung, liefern je drei Werte für die drei lokalen Raumrichtungen des Smartphones. Aufgrund der senkrechten Ausrichtung der Smartphones entspricht die Y-Achse in etwa der Vertikalbeschleunigung. Hier ist aber zu beachten, dass selbst bei perfekter senkrechter Ausrichtung, Y-Achse und Vertikalachse nicht dauerhaft übereinstimmen. Eine Übereinstimmung ist nur bei konstanter ebener Fahrt gewährleistet. Steigungen oder Bremsvorgänge verändern die Achsenlage. Bei Steigungen zum Beispiel ist ein Anteil des Z-Achsen-Werts durch die Erdbeschleunigung bedingt. Weiters ist zu beachten, dass die Vertikalbeschleunigung/Beschleunigung in Y-Richtung bei ruhendem Fahrzeug der Erdbeschleunigung von $9,81 \text{ m/s}^2$ entspricht. Bei der linearen Beschleunigung ist der Anteil der Erdbeschleunigung schon herausgerechnet.

Das Ergebnis der Befahrungen waren mehrere GPS-Tracks (Aufzeichnungsintervall 1Hz). Die Messungen der Beschleunigung und der linearen Beschleunigung (Aufzeichnungsintervall 50Hz) wurden mit Hilfe der Systemzeit mit den GPS-Punkten synchronisiert, um anschließend ihre genaue Lage zu interpolieren. Als Resultat erhielt jeder Messpunkt eine GPS-Koordinate und einen GPS-Zeitstempel. Die Daten sind daher innerhalb eines Geoinformationssystems (GIS) darstellbar.

In einem weiteren Verarbeitungsschritt wurde der in Abschnitt 0 beschriebene Algorithmus angewendet (Abbildung 12). Die so ermittelten Stöße wurden in die Klassen „geringe Stöße“ ($150 - 300 \text{ m/s}^3$), „mittlere Stöße“ ($300 - 400 \text{ m/s}^3$) und „starke Stöße“ ($> 600 \text{ m/s}^3$) eingeteilt. Es hat sich gezeigt, dass ein Ruck von mehr als 600 m/s^3 bereits auf ein Schlagloch oder ähnlich starke Unebenheiten hinweist.

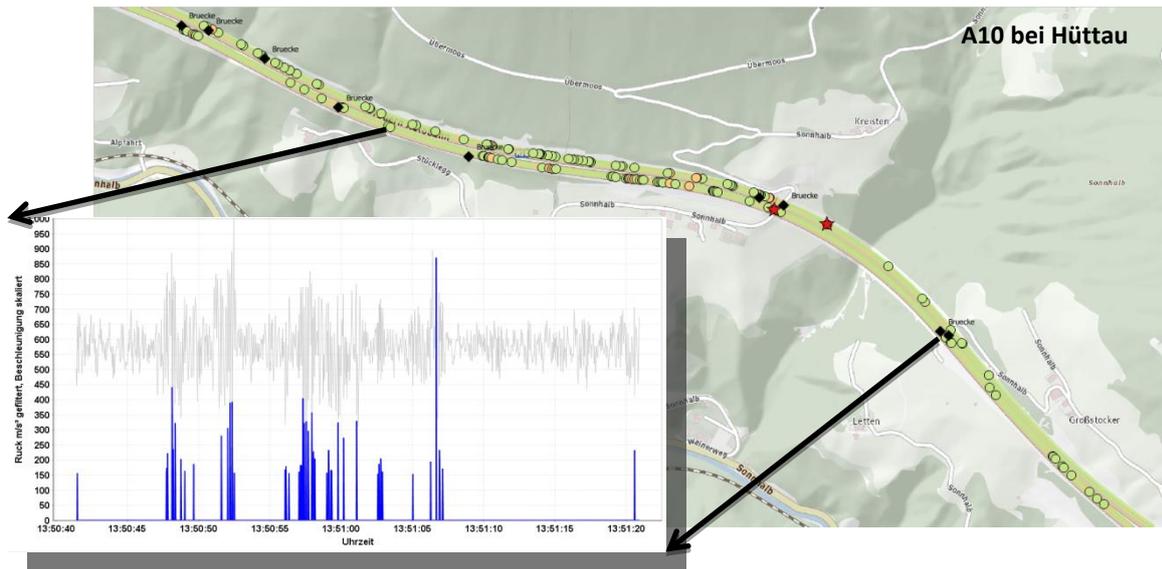


Abbildung 12: Beispiel für das verortete Ergebnis des Algorithmus: Beschleunigung (grau), Absolutbetrag d. Rucks (blau), verortet auf den Straßengraph mit Hilfe der Interpolation, Darstellung der qualitativen Klassen für geringe (grüne Punkte), mittlere (orange Punkte) und starke Stöße (rote Sterne).

Für eine Bewertung des Algorithmus wurden die Ergebnisse mit den Daten der letzten RoadStar-Befahrung der ASFINAG verglichen. Im Testgebiet wurde auf der ersten Spur eine RoadStar-Befahrung auf mehreren Etappen zwischen Juni und Nov. 2014 durchgeführt. Während der Entwicklung der App *RoadSense* wurden weitere Testfahrten zum Testen der App und zur Plausibilisierung des Algorithmus durchgeführt. Der eigentliche Testbetrieb der zweiten Testphase erfolgte erst im Laufe der Systemintegration durch Mitarbeiter der ASFINAG und ist bei den Ergebnissen zu Arbeitspaket 4 beschrieben.

Auswertung und Evaluierung der Testfahrten

Fragestellung 1 – Extraktion der relevanten Information

Diese Frage konnte vor allem anhand von Fahrbahnübergängen bei Brücken beantwortet werden. Fahrbahnübergänge sind während der Befahrung gut sichtbar und wurden mit einem weiteren Smartphone mittels GPS mitgeloggt. Die Stöße, die beim Überfahren der Fahrbahnübergänge entstanden, konnten so mit denen in den Signalen gut verglichen werden. Vereinzelt konnten auch Schlaglöcher mitdokumentiert werden (Abbildung 14).

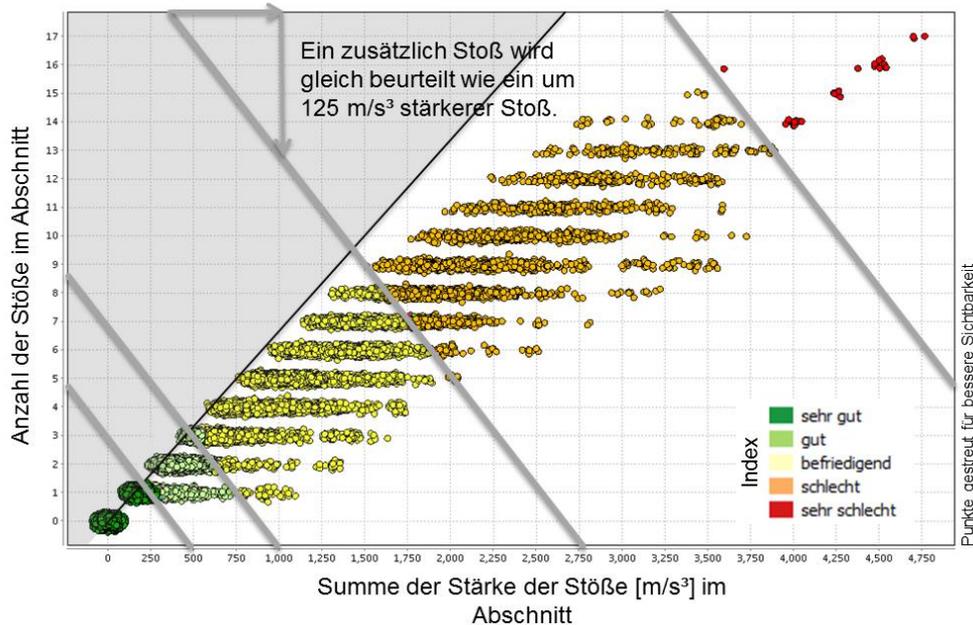


Abbildung 13: Definition des abschnittsbezogenen Index und Definition der qualitativen Klassen

Ergänzend zu den Stößen wurde ein abschnittsbezogener Index abgeleitet. Für Vergleichszwecke mit dem RoadStar wurde eine Abschnittsgröße von 50m gewählt. Der Index berechnet sich aus der Anzahl der Stöße in einem Abschnitt und der Summe der Stärke der Stöße (Abbildung 13). Der resultierende Index wurde in fünf qualitative Klassen eingeteilt. Anhand der aus den Beschleunigungsdaten extrahierten Werte wurde versucht, den International Roughness Index (IRI) der RoadStar-Befahrungen für die gesamte Teststrecke zu prognostizieren (Regressionsanalyse mit künstlichen neuronalen Netzen). Dies ergab eine Trefferquote von ca. 43%. Dies ist bei 5 Klassen als schlechtes Ergebnis einzustufen. Für den vorgestellten Algorithmus ist daher kaum ein Zusammenhang mit dem IRI erkennbar (vgl. auch (Abbildung 15)). Zur Vergleichbarkeit ist anzumerken: (1) Der RoadStar hat die Längsunebenheit nur auf der ersten Spur gemessen, die Befahrungen für die Evaluierung beinhalten Spurwechsel. (2) Der RoadStar misst genau einen Längsquerschnitt durch eine seitlich angebrachte Sensoreinrichtung. Smartphones zeichnen hingegen die Längsunebenheiten auf, welche mit den Reifen überfahren werden. Es werden daher nicht die gleichen Unebenheiten gemessen. (3) Der IRI basiert auf einer Frequenzanalyse der Längsunebenheiten und das Smartphone misst die Stärke der Stöße. Es kann daher nicht davon ausgegangen werden, dass beide Systeme das gleiche messen und aussagen. Es scheint daher zweckmäßig, für zukünftige Vergleiche mit dem RoadStar den Wert „Risse Gesamt“ (in Prozent) heranzuziehen. Eine 1:1-Übereinstimmung ist aber auch hier nicht zu erwarten. Nicht alle Risse resultieren in einer Unebenheit und vice versa. Generell sollte ein Index formuliert werden, der Unebenheiten ähnlich dem Handbuch PMS Austria beschreibt.

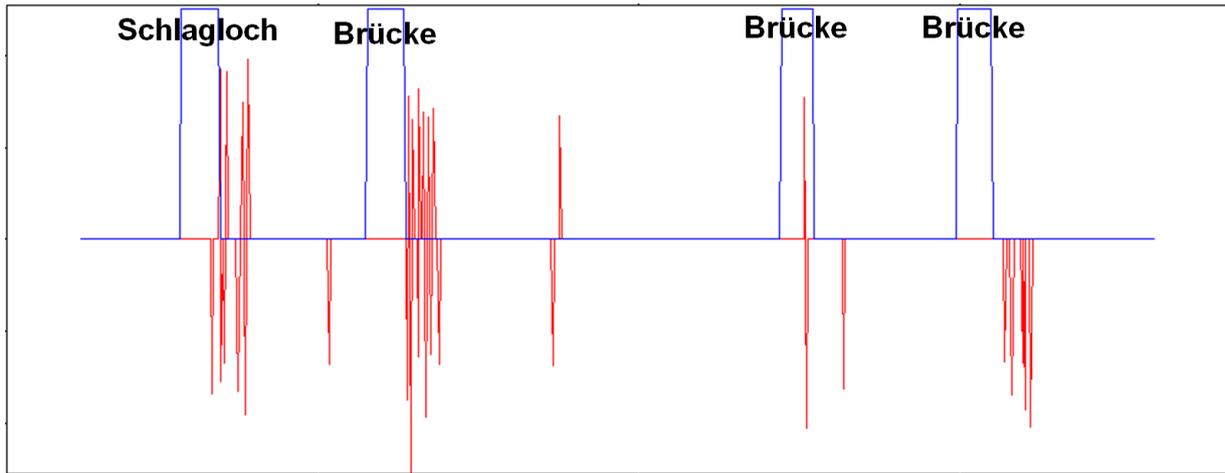


Abbildung 14: Vergleich zwischen Ruck (rot) und aufgezeichneten Ereignissen (blau). Der Versatz der beiden Signale ist durch eine Divergenz zwischen Systemuhr und GPS-Zeitstempel bedingt.

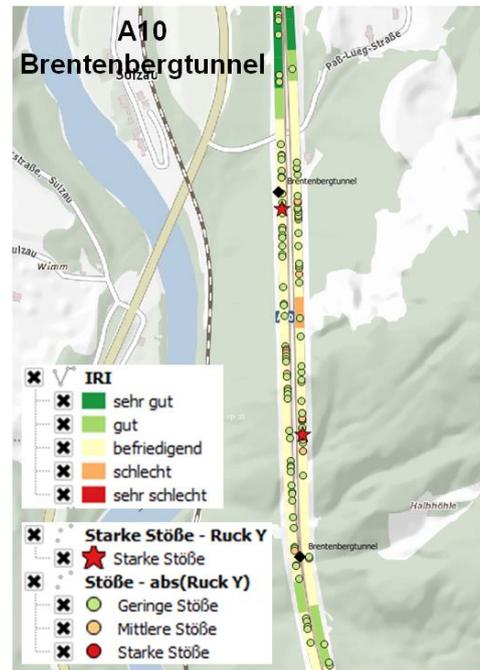
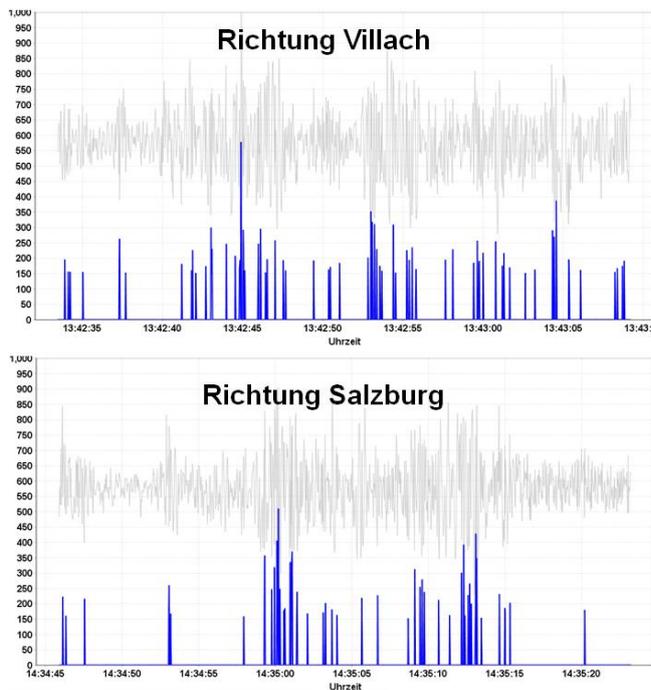


Abbildung 15: Vergleich zwischen RoadStar-Befahrung und Smartphone-Befahrung.

Fragestellung 2 – Vergleich unterschiedlicher Smartphones

Beim Vergleich zwischen den Beschleunigungssignalen der Smartphones konnte festgestellt werden, dass beide unterschiedlich messen. Das S3 hatte im Mittel $0,30 \text{ m/s}^2$ niedrigere Werte und streute um die Hälfte weniger. Diese Beobachtung war über mehrere Fahrten sehr ähnlich. Es konnte daher eine Korrektur anhand von Mittelwert und empirischer Standardabweichung vorgenommen werden. Eine detaillierte Untersuchung wurde aber innerhalb der Evaluierung nicht durchgeführt.

Für einen Einsatz von Smartphones bleibt daher festzuhalten, dass die Messungen für eine bessere Vergleichbarkeit für unterschiedliche Fahrzeuge, Smartphones und Halterungen Endbericht CarSense

kalibriert werden müssen. Es ist aber davon auszugehen, dass das Kalibrieren teilweise automatisiert erfolgen kann. Auch in dieser Frage hat die zweite Testphase mehr Aufschluss gebracht.

Fragestellung 3 – Anpassungen des FCD-Systems

Durch einen Umbau der Sensor-App konnten die Daten als xFC-Daten analog zu Daten aus anderen Quellen zum FCD-System von Salzburg Research gesendet werden. Die Daten konnten ohne größere Umbauten in das FCD-System von Salzburg Research eingebunden werden. Durch diesen Umbau macht es auch keinen Unterschied, ob die Daten als Rohsignal, z.B. das Beschleunigungssignal, oder verarbeitet, der gefilterte Ruck, übertragen werden. Beides sind xFC-Daten. Die Weiterverarbeitung der Daten am Server erfolgt analog zu den Daten aus dem CAN-Bus. Das heißt, ein Auswertungsalgorithmus kann zum Beispiel Ereignisinformationen extrahieren. Es ist geplant, die Daten direkt in ein GIS überzuführen.

Im Zuge der Evaluierung hat sich vor allem ein Anwendungsszenario herausgebildet: Für die Überwachung der Fahrbahn ist der ASFINAG weniger der genaue IST-Zustand wichtig. Diese Daten erhebt der RoadStar. Vielmehr interessiert sich die ASFINAG für die Verschlechterung in der Zeit zwischen den RoadStar-Befahrungen. Es soll zum Beispiel überwacht werden, ob sich die Qualität nach Ausbesserungen wieder verbessert oder, ob sich keine Verbesserungen mehr einstellen. Im zweiten Fall würde eine Sanierung angestrebt werden.

Zusammenfassung und technische Bewertung

Smartphones sind wegen der großen Anzahl an eingebauten Sensoren, des meist vorhandenen GNSS-Empfängers, der Möglichkeit der Datenübertragung, der verhältnismäßig günstigen Anschaffungskosten und der allgemeinen Verbreitung ein sehr guter Kandidat für den Einsatz als „fahrzeugseitiger“ Sensor. Im Zuge der Evaluierung ergab sich für den Einsatz von Smartphones zur Überwachung des Erhaltungszustands des Fahrbahnbelags (Erkennung von Schlaglöchern, Längsunebenheiten und Unebenheiten bei Fahrbahnübergängen), dass der Einsatz unter gewissen Umständen zielführend ist: (1) Die gewonnenen Informationen müssen keinem standardisierten Index, z.B. dem IRI, entsprechen, sondern sie beschreiben Schäden grundsätzlich relativiert auf Fahrzeug, Smartphone, Halterung, Fahrverhalten, Geschwindigkeit und Fahrspur. Die Abhängigkeit von Smartphone und Halterung sollten mittels Kalibrierungsalgorithmen ausgeglichen werden. Die verbleibenden Abhängigkeiten sollten aber als Mehrwert verstanden werden, da Unebenheiten aus der Sicht der Straßenbenutzer in ihrer ganzen Vielfalt aufgezeichnet werden. (2) Die aufgezeichneten Längsunebenheiten einer einzelnen Fahrt entsprechen

dem, was die Fahrerinnen und Fahrer während der Fahrt an vertikalen Stößen verspürt; sie sind keine abstrakte Kennzahl. (3) Längsunebenheiten werden nicht für einen bestimmten Längsquerschnitt erhoben, sondern für die jeweils gewählte Fahrspur. (4) Die aufgezeichneten Längsunebenheiten sind vor allem in der Masse für interne Zwecke wertvoll. Nicht einzelne Befahrungen sind relevant, sondern das Gesamtbild das über viele Fahrten entsteht. Lediglich einzelne starke Stöße, die nur durch Schlaglöcher verursacht werden können, sind auch einzeln von Relevanz. (5) Die so gewonnenen Daten dienen einer übergeordneten zeitlichen und räumlichen Analyse und stellen zum Beispiel zeitliche Verschlechterungen dar oder vergleichen unterschiedliche Streckenabschnitte.

Der vorgestellte Algorithmus zur Extraktion der Stoßinformationen bietet einen ersten Anhaltspunkt für den praktischen Einsatz. Für die weitere Entwicklung eines einsetzbaren Algorithmus sind noch notwendig: (1) Systematische Befahrungen mit unterschiedlichen Rahmenbedingungen (unterschiedliche Fahrzeuge, Geschwindigkeiten, Smartphones usw.) zum genauen Kennenlernen der Problemstellung. (2) Erhebung von genauen Anforderungen an Zielgröße zur Längsunebenheit (Kennzahl oder Einzelereignisse) und Abstimmung mit dem Handbuch PMS Austria. (3) Praktikable und einfache Umsetzung in den Fahrzeugen (Halterung, Anbringungsort, Kalibrierung) für einen möglichst fehlerfreien Einsatz. (4) Entwurf der übergeordneten zeitlichen und räumlichen Analysen sowie deren adäquate Visualisierung, z.B. über ein GIS.

3.2.4 Sensor-Daten-Aufgaben-Kombinationen

Die Ergebnisse der Evaluierung werden in der folgenden Tabelle wie folgt dargestellt:

Aufgabenbereich	Potentielle Datenquelle
Information für Aufgabe erfolgreich extrahiert	Datenquelle erfolgreich ausgelesen
Information für Aufgabe nicht erfolgreich extrahiert	Datenquelle nicht erfolgreich ausgelesen
Informationsextraktion nicht evaluiert	Datenquelle nicht evaluiert

FMS ... Fleet Management System bei LKWs, seit 2002 freiwillig, Daimler AG, MAN AG, Scania, Volvo, DAF Trucks und IVECO
 OBD II ... On-Board-Diagnose bei PKW, seit 2000 europaweit verpflichtend, alle Hersteller.

Schwerpunkt	Aufgabenbereiche		Potentielle Datenquellen			
	Aufgabe	Information	Daten	Erkennung	Datenquelle	Einschränkungen
Verkehrszustand	informierte mit ...	Reisezeiten	GPS-Positionen	direkt	GPS-Dachantenne	
			GPS-Positionen	direkt	CAN-Bus	
			GPS-Positionen	direkt	FCD-Gerät	keine
			GPS-Positionen	direkt	Smartphone (GPS)	
	Bluetooth-Signal	indirekt	Navigationssystem			
	Bluetooth-Signal	indirekt	Bluetooth-fähiges Gerät + Straßeninfrastruktur			
	Mobilfunksignal	indirekt	Mobilfunk-fähiges Gerät			
	informierte mit ...	Level-of-Services	wie bei Reisezeiten	wie vor	wie vor (FCD-Gerät)	keine
informierte mit ...	Level-of-Services	Bremslicht	indirekt	CAN-Bus	VW, Comfort-CAN	
informierte mit ...	Referenzreisezeiten	Beschleunigung	indirekt	Smartphone	keine	
		wie bei Reisezeiten	statistisch	wie vor (FCD-Gerät)	keine	

Verkehrssicherheit	warne vor ...	Nebel	Nebelschlussleuchte	indirekt	CAN-Bus OBID II	VW, Comfort-CAN
			Bilddaten	direkt	optischer Sensor	
	warne vor ...	schlechter Sicht	Nebelschlussleuchte	indirekt	CAN-Bus OBID II	VW, Comfort-CAN
			Bilddaten	direkt	optischer Sensor	
	weise hin auf ... erkenne ...	zu engen Abstand möglicher Gefahr Gefahrenstelle	Abstand	direkt	CAN-Bus, OBID II	
		Warnblinkanlage	indirekt	CAN-Bus	VW, Comfort-CAN	
aktuelle Fahrbahnbedingung	warne vor ...	verminderter Griffigkeit	Raddrehzahlen	indirekt	ABS- u. ASR-System CAN-Bus, OBID II	
			Regenintensität	indirekt	CAN-Bus OBID II	VW, Comfort-CAN
	warne vor ...	Schleudern bei Regenbeginn	Scheibenwischeraktivität	indirekt	CAN-Bus OBID II	VW, Comfort-CAN
			Rollgeräusch	indirekt	Mikrofon	
	warne vor ...	Schneefahrbahn	Raddrehzahl	indirekt	ABS- u. ASR-System CAN-Bus, OBID II	
			Rollgeräusch	indirekt	Mikrofon	
			Bilddaten	direkt	optischer Sensor	
			Bild- & Spektraldaten	direkt	optischer & Spektralsensor	
			Umgebungstemperatur	indirekt	CAN-Bus OBID II	VW, Comfort-CAN keine
	warne vor ...	(mögl.) Glatteis	Fahrbahntemperatur	indirekt	IR-Sensor	
			Bild- & Spektraldaten	direkt	optischer & Spektralsensor	
warne vor ...	Aquaplaning	Regenintensität + Verortung von Spurrinnen	indirekt	CAN-Bus OBID II	VW, Comfort-CAN	

			Scheibenwischeraktivität + Verortung von Spurrinnen	indirekt	CAN-Bus OBID II	VW, Comfort-CAN
Fahrbahnbelag	erkenne ...	Risse & Fugen	3D-Beschleunigung	indirekt	CAN-Bus, OBID II	
	erkenne ...	Längsunebenheiten, Ausbrüche, Blow Ups	3D-Beschleunigung	indirekt	Smartphone	keine
	erkenne ...	Versatz oder Brüche an Fahrbahnübergänge	3D-Beschleunigung + Verortung der Brücken	indirekt	CAN-Bus, OBID II	keine
	erkenne ...	Spurrinnen & Längsrinnen	3D-Beschleunigung	indirekt	Smartphone	keine
	erkenne ...	Griffigkeit	Raddrehzahlen	indirekt	ABS- u. ASR-System	
Fahrbahnbelastung	bestimme ...	(dynamische) Achslast oder Radlast	Achsgewicht	direkt	FMS	
			Raddrehzahlen	indirekt	FMS OBID II	
			Reifendruck (bedingt geeignet)	indirekt	Sensor ab 2014 bei Neuwagen (PKW) vorgeschrieben	

Tabelle 20: Potentiell einsetzbare fahrzeugeitige Sensoren und Datenquellen inkl. Ergebnisse der Evaluierung

Die folgende Tabelle 11 fasst noch einige Parameter zusammen, welche lt. ASFINAG von allgemeinem Interesse sind, jedoch noch keiner konkreten Aufgabe zugeordnet werden können:

Aufgabenbereiche			Potentielle Datenquellen			
Schwerpunkt	Aufgabe	Information	Daten	Erkennung	Datenquelle	Einschränkungen
		Außentemperatur	Umgebungstemperatur	direkt	CAN-Bus OBD II	VW, Comfort-CAN keine
		Regenintensität	Regenintensität	indirekt	CAN-Bus OBD II	VW, Comfort-CAN
		Luftfeuchtigkeit	Relative Luftfeuchtigkeit	direkt	Hygrometer	
		Geschwindigkeit	Momentangeschwindigkeit	indirekt	CAN-Bus OBD II	VW, Comfort-CAN keine
		Verbrauch	Verbrauch	direkt	CAN-Bus OBD II	VW, Comfort-CAN keine

Tabelle 21: Weitere fahrzeugseitige Sensoren und Datenquellen inkl. Ergebnisse der Evaluierung

4 ARBEITSPAKET 3: EMPFEHLUNGSKATALOG

4.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Dieser Empfehlungskatalog zeigt den **Mehrwert** von fahrzeugseitig generierten Daten für Straßeninfrastrukturbetreiber im Kontext von **aktuellen bzw. zukünftigen Entwicklungen und Trends** auf und gibt **konkrete Empfehlungen**, welche Maßnahmen von Straßeninfrastrukturbetreibern in diesem Themenfeld in den nächsten Jahren umgesetzt werden sollen.

Ausgangslage, Entwicklungen, Trends

In den letzten 10 Jahren hat sich die Erfassung und Nutzung von fahrzeugseitig generierten Daten für **Verkehrsflussanalysen, Reisezeitberechnungen** sowie die **Ableitung von Verkehrsqualitäten** vor allem im hochrangigen Straßennetz durchgesetzt. Durchdringungsraten von vernetzten Fahrzeugen, wie 2004 von Breitenberger et al. (2004) vorgeschlagen, sind mittlerweile im hochrangigen Straßennetz Realität. Unternehmen wie TomTom, Inrix oder Here nutzen die Daten, um daraus Echtzeit-Verkehrsinformationen abzuleiten. In den nächsten Jahren sind vor allem weiter **zunehmende Durchdringungsgrade** sowie eine **höhere zeitliche und räumliche Genauigkeit** (z.B. fahstreifengenaue Verkehrsinformationen) zu erwarten. Während bisher vorwiegend Bewegungsdaten aus den Fahrzeugen genutzt wurden, löst die **erweiterte Sensorik** im Bereich der **Fahrerassistenzsysteme** bzw. des **automatisierten Fahrens** ein zunehmendes Interesse an erweiterten Daten aus dem Fahrzeug aus. In den nächsten 3 Jahren sind hier vor allem Entwicklungen im Bereich von **sicherheitsrelevanten Daten** wie **Glättedetektion, Detektion von Sicht Einschränkungen** oder **Detektion von extremen Wetterereignissen** mit Hilfe von fahrzeugseitiger Sensorik zu erwarten. Erste Produkte wie beispielsweise von Inrix sind bereits angekündigt⁶. Im Bereich des Erhaltungsmanagements ist die **Bewertung der Fahrbahnqualität** bzw. die **Schlaglochdetektion** auf Basis von fahrzeugseitiger Sensorik als sich abzeichnende Entwicklung zu nennen. Auch in diesem Bereich sind bereits internationale Unternehmen wie Jaguar Land Rover aktiv⁷. Straßeninfrastrukturbetreiber können daher in den nächsten Jahren mit neuen Datenquellen und Datenarten rechnen, deren Nutzung im **Verkehrsmanagement** bzw. in der **Verkehrsinformation** sowie im **Erhaltungsmanagement** zu einem klaren Mehrwert führen kann.

⁶ <http://inrix.com/products/road-weather/>

⁷ <http://www.landrover.com/experiences/news/pothole-detection.html>

Mehrwert von fahrzeugseitig generierten Daten für Straßeninfrastrukturbetreiber

Hinsichtlich des **Verkehrsmanagements** und der **Verkehrsinformation** wird in folgenden Bereichen ein konkreter Mehrwert gesehen: Durch die Erfassung von **Bewegungsparametern** wie **Geschwindigkeitswerten** oder Daten zum **Bremsverhalten** können Informationen zum **Verkehrsfluss** bzw. zu **Staubereichen** abgeleitet werden. Werte aus dem **ABS-System** von Fahrzeugen wie die **Querbeschleunigung** oder die **Drehraten einzelner Räder** können Aufschluss über den Fahrbahnzustand (z.B. Glätte) liefern. Durch die Messung von **Umgebungsparametern**, wie der **Außentemperatur** bzw. der **Regenintensität** oder **Scheibenwischeraktivität**, lassen sich **sicherheitsrelevante Informationen** zu den **Wetterverhältnissen** entlang der Strecke ableiten. Die Aktivität der **Nebelschlussleuchte** kann als Indikator für **Sichteinschränkungen** verwendet werden. Die Aktivität der **Warnblinkanlage** deutet hingegen auf ein undefiniertes Gefahrenpotential hin. Werte aus dem Motormanagement, wie der **Kraftstoffverbrauch**, lassen Rückschlüsse auf **Emissionswerte** zu, die beispielsweise im Verkehrsmanagement genutzt werden können. Im Bereich des **Erhaltungsmanagements** ergibt sich ein konkreter Mehrwert in der Nutzung von fahrzeugseitigen Daten vor allem in der kontinuierlichen Messung der **Fahrbahnqualität** sowie in der **frühzeitigen Detektion von Fahrbahnschäden**.

Handlungsempfehlungen

Aus den Ergebnissen von **CarSense** konnten **8 Handlungsempfehlungen** mit unterschiedlichen Prioritäten abgeleitet werden. Prioritär wird die **Nutzung von FCD** für die Berechnung von **Reisezeiten und Reisezeitverlusten** empfohlen. Aufgrund der breiten Verfügbarkeit von FC-Daten aus unterschiedlichen Quellen (Flotten, Datenintermediäre, Apps) kann eine rasche Umsetzung mit guten Ergebnissen erwartet werden. Im Bereich der **sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen** wird die **Durchführung einer Pilotstudie** empfohlen, in der das Potential für die Ableitung von sicherheitsrelevanten Ereignissen, wie **extremen Wetterverhältnissen**, **Sichteinschränkungen** oder **Stauenden**, aus fahrzeugseitig generierten Daten detailliert untersucht wird. Ein dritter Bereich, der im Rahmen einer **Pilotstudie** untersucht werden sollte, ist die **Bewertung der Fahrbahnqualität bzw. Schlaglochdetektion** auf Basis von **Vertikalbeschleunigungsdaten**. In diesem Bereich wurden in CarSense bereits wesentliche Vorarbeiten geleistet und vielversprechende erste Ergebnisse erzielt, wodurch eine rasche Umsetzung zu erwarten ist. Die Durchführung einer weiteren **Pilotstudie** wird im Bereich der **dynamischen Achslast** empfohlen, da die dafür notwendigen Datenkategorien bereits in vielen Nutzfahrzeugen vorhanden sind.

Parallel wird die Durchführung einer **Studie** empfohlen, um die **(rechtlichen) Rahmenbedingungen** für die Einführung einer verpflichtenden Lieferung von Endbericht CarSense

sicherheitsrelevanten Daten aus Fahrzeugen an einen nationalen Zugangspunkt (vgl. EU-Direktive 2010/40/EU) zu untersuchen. Außerdem wird eine **Kooperation** der **führenden europäischen Straßeninfrastrukturbetreiber** zur Nutzung von fahrzeuggenerierten Daten vorgeschlagen. Dabei soll vor allem die **Erarbeitung von Rahmenbedingungen für eine EU-weite Regelung zur Datennutzung** (vgl. eCall-Verordnung) vorbereitet werden.

Als ergänzende Maßnahmen werden ein **Pilotprojekt zur Erweiterung des nationalen Zugangspunkts für Verkehrsinformationen** im Hinblick auf fahrzeuggenerierte Daten sowie eine **innovationsorientierte Beschaffung für Fahrzeuge von Straßeninfrastrukturbetreibern** mit einem Zugang zu fahrzeuggenerierten Daten als Muss-Kriterium vorgeschlagen.

4.2 Methodik und Ziele

4.2.1 Methodik

Das Projekt CarSense ist in **vier Arbeitspakete** unterteilt. In **AP 1** werden mögliche fahrzeugeitige Sensoren und deren Daten hinsichtlich ihrer **potentiellen Einsetzbarkeit** bei typischen Aufgaben der ASFINAG ermittelt. Im Anschluss wird in **AP 2** eine **Evaluierung** für mindestens eine vielversprechende Sensor-Daten-Aufgaben-Kombination durchgeführt, um zum Beispiel neue Möglichkeiten von Datenerfassung, Datenaufbereitung und Datenauswertung evaluieren zu können. Anhand der Ergebnisse der beiden vorangegangenen Arbeitspakete wird in **AP 3** die Bewertung der potentiell einsetzbaren Sensoren im Hinblick auf ihren **Mehrwert und die Umsetzbarkeit** durchgeführt, sodass ein Empfehlungskatalog erarbeitet werden kann. Abschließend wird innerhalb von **AP 4** eine Systemarchitektur erarbeitet, welche für eine zukünftige **Integration der Daten in die Systeme der ASFINAG** angestrebt werden könnte.

4.2.2 Ziele des Empfehlungskatalogs

Der vorliegende Empfehlungskatalog baut auf den Ergebnissen sowohl des Arbeitspakets 1 als auch des Arbeitspakets 2 auf und dient dazu, ausgewählte Sensoren, Sensortechniken und/oder Datenquellen auf ihre Eignung bzw. ihren Mehrwert für die ASFINAG auf Basis der Anforderungen zu bewerten, um daraus konkrete Mehrwertszenarien, Handlungsfelder sowie Handlungsempfehlungen abzuleiten.

(AP 3) Bewertung des Potentials von fahrzeugeitigen Sensoren für den Infrastrukturbetreiber

(Z 3) Im Vorhaben sollen die potentiell einsetzbaren Sensoren im Hinblick auf Mehrwert und Umsetzbarkeit bewertet werden.

(3.1)	Bewertung der potentiell einsetzbaren Sensoren, Mehrwert
(3.2)	Bewertung der potentiell einsetzbaren Sensoren, Rahmenbedingungen
(3.3)	Empfehlungskatalog für Sensoren und Daten

Tabelle 22: Ziele (Z), Deliverables (D) und Teilaufgaben im Arbeitspaket (AP) 3

Im ersten Teil zu **Mehrwertbewertungen und Mehrwertszenarien** (4.3) wird der Mehrwert der in CarSense untersuchten Datenarten im Hinblick auf die Eignung für das **Verkehrsmanagement** bzw. die **Verkehrsinformation** sowie im Hinblick auf das **Erhaltungsmanagement** bewertet. Darüber hinaus wird dargestellt, welcher Mehrwert sich für die ASFINAG zukünftig ergeben könnte. Ein Ausblick auf aktuelle Entwicklungen und Trends ergänzt die Bewertung. In **10 Szenarien** wird beschrieben, welche **Umsetzungsmöglichkeiten** sich für die ASFINAG in der Nutzung von fahrzeugseitig erhobenen Daten ergeben und welche Rahmenbedingungen dafür notwendig sind.

Im zweiten Teil zu **Thesen, Handlungsfelder und Handlungsempfehlungen** (4.4, 4.5) werden konkrete Maßnahmen vorgeschlagen, die von der ASFINAG im Bereich der Nutzung von fahrzeugseitigen Daten mit drei unterschiedlichen Prioritäten verfolgt werden sollten.

4.3 Mehrwertbewertungen und Mehrwertszenarien

4.3.1 Mehrwertbewertung

Bewertung von bereits verfügbaren Daten

In diesem Abschnitt werden die im Arbeitspaket 2 identifizierten Parameter anhand der Anforderungen aus Arbeitspaket 1 nach Ihrem Mehrwert für die ASFINAG bewertet. Ein Mehrwert ist dann gegeben, wenn

- (1) ein fahrzeugseitiger Sensor Daten liefert, welche aus technischer, wirtschaftlicher und/oder inhaltlicher Sicht effizienter gegenüber dem Bestand erhoben oder analysiert werden können oder,
- (2) für einen fahrzeugseitigen Sensor neue Anwendungsfelder für die Daten identifiziert werden können.

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Bewertung des Mehrwerts der Parameter in Bezug auf **Verkehrsmanagement/Verkehrsinformation** („VM/VI“) sowie **Erhaltungsmanagement** („EH“). Die Parameter werde je nach ihrem Messbereich in die Kategorien **Umgebungsparameter** („Environment“), **Bewegungsparameter** („Motion“) und **Fahrzeugparameter** („Vehicle“) unterteilt. Die Quelle gibt Auskunft darüber, wie der Wert im Rahmen von CarSense erfasst wurde.

Kategorie	Typ	Parameter	Quelle ¹	VM/VI ²	EH ³
Environment	Temperature	AmbientAirTemperature	CAN	++	+
Environment	Humidity	RainIntensity	CAN	++	+
Environment	RoadCondition	HeavyJerk	SMART	+	++
Environment	RoadCondition	JerkIndicator	SMART	+	++
Motion	Engine	EngineSpeed	CAN	-	--
Motion	Engine	FuelConsumption	CAN	+	--
Motion	Speed	VehicleSpeed	C/S	++	-
Motion	Speed	Braking	C/S	++	-
Vehicle	Wiper	FrontWiper	CAN	++	+
Vehicle	Wiper	RearWiper	CAN	+	+
Vehicle	Indicators	DirectionIndicator	CAN	+	--
Vehicle	Indicators	WarningLight	CAN	++	+
Vehicle	Indicators	FogLightFront	CAN	o	-
Vehicle	Indicators	FogLightRear	CAN	++	-
Vehicle	Indicators	FrontLight	CAN	-	--

(1) Datenquellen: CAN ... CAN-Bus, SMART ... Smartphone, C/S ... CAN-Bus und Smartphone; (2) VM/VI: Verkehrsmanagement / Verkehrsinformation; (3) EH: Erhaltungsmanagement

Tabelle 23: Bewertung des Mehrwerts von relevanten Parametern, die aus der Fahrzeugelektronik bzw. aus Smartphones ausgelesen werden können

Bewertung Umgebungsparameter (Environment)

Den größten Mehrwert in der Kategorie Umgebungsparameter im Bereich Verkehrsmanagement/Verkehrsinformation weisen die Parameter **Außentemperatur** und **Regenintensität** auf. Beides sind Parameter, die zu sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen bzw. zum Verkehrsmanagement beitragen können. Informationen zur **Fahrbahnqualität** sind im Verkehrsmanagement möglicherweise indirekt relevant, da bei starken Fahrbahnschäden eine Geschwindigkeitsreduktion eine geeignete Maßnahme sein kann. Im Bereich Erhaltungsmanagement hingegen sind die Parameter bzgl. **Fahrbahnqualität** von höchster Bedeutung, da damit einerseits eine kontinuierliche Beobachtung von Streckenabschnitten möglich wird und andererseits gefährliche **Fahrbahnschäden** (Schlaglöcher, beschädigte Dehnfugen, usw.) frühzeitig detektiert werden können.

Bewertung Bewegungsparameter (Motion)

Die Bewegungsparameter sind in erster Linie für die Verkehrsinformation bzw. das Verkehrsmanagement von Interesse, da aus den **Geschwindigkeitswerten** Aussagen zum Verkehrsfluss bzw. zu Reisezeiten und Reisezeitverlusten abgeleitet werden können. Aus dem **Bremsverhalten** kann auf Staubereiche geschlossen werden. Diese Information kann

entweder aus dem Brems- oder aus dem GPS-Signal abgeleitet werden kann. Der Parameter **Kraftstoffverbrauch** stellt eine gute Grundlage für die Berechnung von Emissionswerten dar, die in die dynamische Geschwindigkeitsanpassung einfließen könnten. Für den Parameter **Motordrehzahl** wird hingegen derzeit kein spezifischer Mehrwert gesehen. Für das Erhaltungsmanagement stellen die Bewegungsparameter nur geringen bzw. keinen Mehrwert dar.

Bewertung Fahrzeugparameter (Vehicle)

Bei den Fahrzeugparametern sind vor allem das **Nebelschlusslicht** sowie die **Warnblinkanlage** mit einem klaren Mehrwert für das Verkehrsmanagement bzw. die Verkehrsinformation hervorzuheben. Während sich aus der Aktivität der Nebelschlussleuchte Hinweise auf Sichteinschränkungen ableiten lassen, gibt die Aktivität der Warnblinkanlage Hinweise auf ein undefiniertes Gefahrenpotential (z.B. Staubereich aber auch Unfälle, Gegenstände auf der Fahrbahn usw.). Im Verkehrsmanagement könnte daher die Information genutzt werden, um Bereiche zu selektieren, die detailliert (z.B. Video-basiert) beobachtet werden sollten. Ein weiterer Mehrwert im Bereich des Verkehrsmanagements könnte sich aus der Auswertung der **Scheibenwischeraktivitäten**, vor allem des Frontscheibenwischers, ergeben. Aus den Aktivitäten lässt sich indirekt auf Regenintensitäten schließen, was vor allem für Fahrzeuge ohne Regensensor eine Informationsquelle sein könnte. Hinsichtlich der Nutzung der Daten der vorderen Fahrzeugbeleuchtung wird hingegen kein spezifischer Mehrwert gesehen. Für das Erhaltungsmanagement ergibt sich nur ein geringer bis kein Mehrwert durch die Nutzung der Fahrzeugparameter.

Bewertung von aktuellen Entwicklungen

Dieser Abschnitt gibt einen Einblick in aktuelle und zukünftige Entwicklungen und Trends (abseits von CarSense) und soll helfen, diese richtig einzuordnen.

Verkehrszustand, Reisezeiten, Verkehrsqualitäten

Im Bereich der Bewegungsdaten aus Fahrzeugen, die die Ableitung von Verkehrszuständen, Verkehrsqualitäten und Reisezeiten sowie Reiszeitverluste ermöglichen, ist mittlerweile von einer flächendeckenden Verfügbarkeit im hochrangigen Straßennetz auszugehen. Die Daten sind Echtzeit-nahe von unterschiedlichen Anbietern wie TomTom⁸, Inrix⁹ oder Here¹⁰ erhältlich. Alle drei Anbieter liefern Verkehrsflussinformationen für das hochrangige

⁸ <http://livetraffic.tomtom.com/>

⁹ <http://inrix.com/>

¹⁰ <https://company.here.com/>

Straßennetz in hoher Qualität. Darüber hinaus ist es auch möglich, GPS-Daten direkt aus Flottenmanagementsystemen zu nutzen und diese in die eigene Verkehrslageberechnung einfließen zu lassen (vgl. Vorgehensweise in der FCD Modellregion Salzburg¹¹). Beispielsweise entsprechen die in der FCD Modellregion Salzburg im hochrangigen Straßennetz erzielten Durchdringungsraten (z.B. A1 Westautobahn, Salzburg West – Flughafen) an FCD-Fahrzeugen mit durchschnittlich 2,5% (Fahrtrichtung Wien) bzw. 1,78% (Fahrtrichtung Salzburg) aller Fahrzeuge (Stand: September 2015) bereits den in Breitenberger et al. (2004) vorgeschlagenen Durchdringungsraten für die zuverlässige Detektion von Ereignissen.

In den nächsten Jahren sind durch weiter fortschreitende Durchdringungsraten von vernetzten Fahrzeugen vor allem Verbesserungen bei der räumlichen und zeitlichen Genauigkeit zu erwarten. Innovationen sind vor allem in **spurgenaue Informationen** sowie in der **Verkehrslageprognose** zu erwarten. Generell zählen hochwertige Prognosen zu den herausforderndsten Themen im Bereich der Verkehrsinformation. Die Qualität der am Markt erhältlichen Prognosedaten hinkt weit hinter den Echtzeit-Informationen hinterher. Weiters fehlt auch eine Bestrebung zur Standardisierung der Verkehrsinformationen, dadurch leidet nicht nur die Vergleichbarkeit von Verkehrsinformationen sondern auch deren qualitative Bewertung.

Sicherheitsrelevante Informationen

Viele der Anbieter versuchen mittlerweile neben den klassischen Verkehrsflussdaten auch weitere Geschäftsfelder zu erschließen. **Garmin** stattet beispielsweise seine Navigationsgeräte mit Beschleunigungssensoren und Kameras aus, um dadurch Unfälle bzw. Beinaheunfälle zu erkennen und Ereignisse auszulösen¹². Auch Schleudern kann durch die Beschleunigungssensoren erkannt werden. Prinzipiell wäre eine solche Erkennung auch in jedem Smartphone möglich. **Inrix** weitet sein Angebot in Richtung der Anzeige und Prognose von wetterbedingten Straßenverhältnissen aus¹³. Auch Prognosen der Straßenverhältnisse sollen durch eine Kooperation mit dem Wetterdienst Global Weather Cooperation möglich werden. **Volvo** hat in Kooperation mit **Ericsson** eine Private Cloud-Lösung für die Sammlung von sicherheitsrelevanten Fahrzeugdaten angekündigt¹⁴. Dadurch soll sich beispielsweise Blitzeis erkennen lassen, wodurch nachfolgende Volvo-Fahrzeuge gewarnt werden können. Volvo verweist darauf, dass es sich um eine Pilotinitiative handelt und, dass der echte

¹¹ <http://www.fcd-modellregion.at/>

¹² <http://www.welt.de/wirtschaft/article140601811/Wer-braucht-denn-heute-noch-ein-Navi.html>

¹³ <http://inrix.com/products/road-weather/>

¹⁴ <http://techcrunch.com/2015/03/04/volvo-brings-cloud-to-the-car-to-transmit-safety-data-automatically/>

Mehrwert erst durch eine Beteiligung auch anderer Fahrzeugmarken gegeben ist. Auch **Here** arbeitet im Rahmen der Live Road-Initiative an der Analyse von Fahrzeugdaten auf Basis einer Cloud-Lösung. Im Juni 2015 hat das Unternehmen einen Industrie-Standard zur Übertragung und zum Austausch von Fahrzeugdaten vorgeschlagen (siehe Sensor Ingestion-Initiative). Mit dem Kauf von Here durch die deutschen Fahrzeughersteller Daimler, Audi und BMW wird sich die Zusammenarbeit zwischen Fahrzeughersteller und Datenintermediären wahrscheinlich intensivieren. Here wird damit wahrscheinlich in den nächsten Jahren eine zentrale Rolle in der Nutzung von Daten aus Fahrzeugen spielen. Generell werden sicherheitsrelevante Verkehrsinformationen im Hinblick auf automatisiertes bzw. assistiertes Fahren in den nächsten Jahren an Bedeutung gewinnen; auch die Qualität der Datenerfassung wird massiv steigen, wodurch sich auch für Straßeninfrastrukturbetreiber neue Chancen in der Datennutzung ergeben. Hier hängt es aber stark davon ab, wie sich Infrastrukturbetreiber gegenüber Fahrzeughersteller, Datenintermediären, Verkehrsteilnehmer positionieren und welche Rolle sie in Zukunft übernehmen. Diese Rolle wird in den nächsten Jahren zu definieren sein.

Bewertung der Fahrbahnqualität und Schlaglochdetektion

Die Detektion von Schlaglöchern bzw. die Ableitung der Fahrbahnqualität aus Fahrzeugdaten scheint zunehmend das Interesse von internationalen Konzernen auf sich zu ziehen. **Jaguar Land Rover** hat beispielsweise mit der **Pothole Alert Technology** eine entsprechende Technologie angekündigt¹⁵. Allerdings ist schwer zu sagen wie serienreif die Technologie bereits ist und in welcher Form sie in zukünftigen Fahrzeugen des Konzerns verwendet wird. **Google** hat im August 2015 ein US-Patent zugesprochen bekommen, das speziell die Bewertung der Straßenqualität aus Beschleunigungsdaten adressiert¹⁶. Und auch die deutsche **Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST)** hat im Juni 2015 einen Dienstleistungsauftrag zur Nutzung von Fahrzeugsensoren für die Bewertung der Straßenqualität ausgeschrieben¹⁷. Mittlerweile werden auch aus der Forschung viele Lösungsansätze publiziert. Aufgrund des regen Interesses an dieser Thematik ist in den nächsten Jahren mit einer hohen Dynamik, sowohl von Seiten der Forschung auch von Seiten des Marktes zu rechnen. Bewertung der Straßenqualität könnte nach der Verkehrsflussinformation einer der nächsten Geschäftsfelder in der Nutzung von Fahrzeugdaten werden.

¹⁵ <https://www.youtube.com/watch?v=NPiynbknYVE&feature=youtu.be>

¹⁶ <http://www.freepatentsonline.com/9108640.pdf>

¹⁷ Ausschreibung der Bast: FE 04.0296/ARB/2015 Fahrzeugsensoren als Echtzeit-Informationsquelle für die Qualität der Straßenverkehrsinfrastruktur
Endbericht CarSense

OpenXC: Vorschlag von Ford für einen standardisierten Zugriff auf Fahrzeugdaten

Mit OpenXC¹⁸ hat Ford bereits vor längerer Zeit einen offenen Standard für den Zugriff auf Fahrzeugdaten im Fahrzeug vorgeschlagen. Derzeit wird der Standard vor allem in den USA von Ford in mehreren Forschungsprojekten genutzt, in Europa ist er weniger bekannt. Es gibt auch eine aktive Entwickler-Community, die den Standard nutzt, allerdings auch vorwiegend in den USA. Derzeit ist nicht klar, in welche Richtung sich der Standard entwickeln wird bzw. ob auch andere Hersteller den Standard unterstützen werden.

Sensor Ingestion-Initiative: Vorschlag von Here für einen Industriestandard für die Datenübertragung aus dem Fahrzeug in die Cloud

Mit der Sensor Ingestion-Initiative¹⁹ hat Here im Juni 2015 eine Schnittstelle für die Übertragung von Daten aus Fahrzeugen vorgestellt. Die Schnittstellenbeschreibung gibt einen guten Eindruck davon, welche Daten in Fahrzeugen bereits heute anfallen bzw. zukünftig anfallen werden. Neben hochgenauen Positionsdaten sowie den in CarSense betrachteten Datenkategorien sind vor allem Daten aus der **Verkehrszeichenerkennung**, aus der **Spurkennung** oder aus der **Objekterkennung** zu nennen. Gleichzeitig hat Here auch die Kooperation mit Continental bekannt gegeben und zur Unterstützung des Standards von Fahrzeugherstellern und anderen Partnern aufgerufen. Aufgrund der zunehmenden Positionierung von Here im Bereich des autonomen Fahrens und der zu erwartenden Marktmacht durch die Übernahme der Fahrzeughersteller könnte ein Erfolg des Standards gegeben sein.

4.3.2 Mehrwertszenarien

In diesem Abschnitt werden **10 mögliche Mehrwertszenarien** für die Nutzung von fahrzeugseitigen Daten durch Straßeninfrastrukturbetreiber beschrieben. Die Szenarien wurden anhand der in Arbeitspaket 1 identifizierten Anforderungen sowie der in Arbeitspaket 2 durchgeführten Evaluierung von Sensortechnologien ausgewählt. Zusätzlich orientieren sich die Szenarien auch an der in Priority Action c der EU-Direktive 2010/40/EU („ITS Direktive“) beschriebenen sicherheitsrelevanten Nachrichten („Safety Related Messages“). Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die Szenarien.

Nr.	Szenario	Kategorie	Bereich¹
1	Reisezeit / Reisezeitverluste	Verkehrszustand	VM/VI
2	Verkehrsqualität (Level-of-Service)	Verkehrszustand	VM/VI

¹⁸ <http://openxcplatform.com/>

¹⁹ <https://company.here.com/automotive/new-innovations/sensor-ingestion/>

3	Stauwarnung (Stauende)	Verkehrssicherheit	VM/VI
4	Glättewarnung (Schleudergefahr)	Verkehrssicherheit	VM/VI
5	Warnung vor abnormalen Wetterereignissen (Starkregen, starker Schneefall)	Verkehrssicherheit	VM/VI
6	Warnung vor Sichteinschränkung (Nebel)	Verkehrssicherheit	VM/VI
7	Warnung vor Gefahrenstellen (Unfall, liegengebliebenes Fahrzeug usw.)	Verkehrssicherheit	VM/VI
8	Schlaglochdetektion	Fahrbahnbelag	EH
9	Qualitätsindikator Fahrbahn	Fahrbahnbelag	EH
10	Dynamische Achslast	Fahrbahnbelastung	EH

(1): VM/VI: Verkehrsmanagement/Verkehrsinformation, EH: Erhaltungsmanagement

Tabelle 24: 10 Mehrwertszenarien für die Nutzung von fahrzeuggenerierten Daten

Szenario 1 „Reisezeit / Reisezeitverluste“

Szenario 1	Reisezeit / Reisezeitverluste
Beschreibung	Aus den Positionsfolgen von Fahrzeugen lassen sich zuverlässig Reisezeiten und Reisezeitverluste ableiten. Reisezeiten sind eine wesentliche Information für das Verkehrsmanagement sowie für die Verkehrsinformation.
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Positionen aus GPS, • Geschwindigkeit aus Positionen abgeleitet • Alternativ auch Geschwindigkeit aus dem CAN-Bus
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Daten liegen in Smartphones bzw. On-Board-Telematik-Einheiten vor • Die Einbindung kann relativ einfach über Smartphones oder Schnittstellen zu Flottenmanagementsystemen erfolgen • Im Fahrzeug selbst liegen die Daten ebenfalls auch vor, allerdings ist der Zugriff derzeit über den CAN-Bus nur auf Geschwindigkeiten, nicht aber auf GPS-Daten möglich
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (<1 Jahr): Erfassung mit Unterwegs-App • Kurzfristig (<1 Jahr): Einbindung von externen Flotten • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Kooperationen mit OEMs • Langfristig (>5 Jahre): Gesetzliche Verpflichtung zur

	Lieferung von Daten
Mehrwert VM/VI	<ul style="list-style-type: none"> • Reisezeiten und Reisezeitverluste von PKWs • Feinere räumliche Auflösung und genauere Einblicke im Vergleich zu Daten aus Mautsystem • Exakte Lokalisierung von Störungen • Vergleich von Reisezeiten zwischen PKWs und LKWs • Detektion von Rampen

Szenario 2 „Verkehrsqualität (Level-of-Service)“

Szenario 2	Verkehrsqualität (LOS)
Beschreibung	Aus den Reisezeiten bzw. Geschwindigkeiten lassen sich (in Kombination mit der straßenseitigen Sensorik) zuverlässig Verkehrsqualitäten für Straßenabschnitte ableiten.
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Positionen aus GPS • Geschwindigkeit aus Positionen abgeleitet • Alternativ auch Geschwindigkeit aus dem CAN-Bus
Realisierungspotential	Es gilt dasselbe Realisierungspotential wie für Reisezeiten.
Realisierungszeitraum	Es gelten dieselben Realisierungszeiträume wie für Reisezeiten.
Mehrwert VM/VI	<ul style="list-style-type: none"> • Moderater Mehrwert • Verkehrsqualitäten können bereits heute relativ zuverlässig aus straßenseitiger Sensorik (Überkopfdetektion, Mautsystem, Schleifen) detektiert werden • Ein spezifischer Mehrwert würde sich aus den Daten der PKWs speziell für das Verkehrsmanagement ergeben (Unterscheidung PKWs / LKWs, fahstreifenbezogene Verkehrsqualität).

Szenario 3 „Stauwarnung (vor allem Stauende)“

Szenario 3	Stauwarnung (vor allem Stauende)
Beschreibung	Aus den GPS-Daten von Fahrzeugen lassen sich zuverlässig Staubereiche ableiten. Aufgrund des abrupten Geschwindigkeitseinbruchs lässt sich auch das Stauende bis auf wenige Meter genau bestimmen. Allerdings muss darauf hingewiesen werden, dass das Stauende nur zum detektierten

	<p>Zeitpunkt das gültige Stauende ist. Aufgrund der dynamischen Veränderung des Stauendes muss dieses in kurzen Abständen (z.B. minütlich) wieder neu bestimmt werden. Eine solche zuverlässige Bestimmung setzt eine hohe Durchdringungsrate von Fahrzeugen voraus, die Positionsdaten senden.</p>
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Positionen aus GPS • Geschwindigkeit aus Positionen abgeleitet • Alternativ auch Geschwindigkeit aus dem CAN-Bus • Bremsaktivität (über CAN-Bus oder aus GPS abgeleitet) • Warnblinkanlage (über CAN-Bus)
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Bereits aus den GPS-Daten kann das exakte Stauende zuverlässig ermittelt werden. • Als zusätzlicher Parameter können auch die Bremsaktivität oder das Signal der Warnblinkanlage vom CAN-Bus verwendet werden. • Für eine zuverlässige und lückenlose Detektion des Stauendes bei einer Verkehrsstärke von 2.500 Fhz/Std. ist eine Durchdringungsrate von ca. 1,5% der Fahrzeuge notwendig (BREITENBERGER et al. 2004). • Aufgrund von fortschreitenden Durchdringungsraten kann bereits heute von einer vollständigen und zuverlässigen flächendeckenden Detektion ausgegangen werden.
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (<1 Jahr): Datenerfassung mit Unterwegs-App • Kurzfristig (<1 Jahr): Einbindung von externen Flotten (um Durchdringungsraten möglichst rasch zu erzielen) • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Kooperation mit OEMs zur Lieferung der Daten, z.B. über gemeinsames Pilotprojekt • Langfristig (>5 Jahre): Gesetzliche Verpflichtung zur Lieferung von Daten der Fahrzeuge
Mehrwert VM/VI	<ul style="list-style-type: none"> • Hoher Mehrwert im Bereich der sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen (Warnung vor Stauende). • Eine exakte Detektion von Stauenden würde vor allem für das Verkehrsmanagement (Schaltung von Wechselverkehrszeichen, Geschwindigkeitsreduktion) einen erheblichen Mehrwert durch mehr Automatisierung bieten. • Positionierung gegenüber OEMs und Datenintermediären

	<ul style="list-style-type: none"> • Schaffung der Ausgangsbasis für gesetzliche Regelungen
--	--

Szenario 4 „Glättewarnung (Schleudergefahr)“

Szenario	Glättewarnung (Schleudergefahr)
Beschreibung	Warnung vor Glätte ist eine wesentliche Information im Bereich der sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen (Safety Related Messages).
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Außentemperatur aus dem CAN-Bus • Zusätzlich Daten des Regensensors oder der Scheibenwischeraktivität • Radumdrehungszahlen, Querschleunigung aus dem ABS-System
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung dieses Szenarios setzt den Zugriff auf Daten aus dem CAN-Bus voraus. • Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte ist kurzfristig möglich (Zugriff auf Außentemperatur, Regensensor und Scheibenwischeraktivität) • Daten aus dem ABS-System sind derzeit nicht automatisiert auslesbar, ev. bei Kooperation mit einem OEM innerhalb eines Pilotprojekts • Mittelfristig lässt sich das volle Potential nur durch die Kooperation mit einem OEM realisieren. • Längerfristig ist die verpflichtende Lieferung von Kennwerten auf Basis einer gesetzlichen Regelung anzustreben.
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (<1 Jahr): Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung aller Fahrzeuge der Volkswagen AG in der eigenen Flotte • Langfristig (3-5 Jahre): Ausstattung im Rahmen einer innovationsorientierten Beschaffung von Fahrzeugen der eigenen Flotte • Langfristig (>5 Jahre): Gesetzliche Regelung zur Bereitstellung der Daten aus den Fahrzeugen
Mehrwert VM/VI	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrwert für das Verkehrsmanagement bzw. die

	Verkehrssteuerung (z.B. temporäre Geschwindigkeitsbeschränkungen) <ul style="list-style-type: none"> • Verbesserung der Verkehrsinformation (Safety Related Messages) • Sammlung von Erfahrungen, inwieweit solche Daten für den Betrieb nützlich sein können • Positionierung gegenüber OEMs bzw. Datenintermediären • Schaffung der Ausgangsbasis für gesetzliche Regelungen
--	--

Szenario 5 „Warnung vor abnormalen Wetterereignissen“

Szenario 5	Warnung vor abnormalen Wetterereignissen (Starkregen, starker Schneefall)
Beschreibung	Warnung vor abnormalen Wetterereignissen ist eine wesentliche Information im Bereich der sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen (Safety Related Messages).
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Außentemperatur aus dem CAN-Bus • Regenintensität aus dem CAN-Bus • Scheibenwischeraktivität aus dem CAN-Bus
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung dieses Szenarios setzt den Zugriff auf Daten aus dem CAN-Bus voraus. • Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte ist kurzfristig möglich (Zugriff auf Außentemperatur, Regensensor und Scheibenwischeraktivität) • Mittelfristig lässt sich das volle Potential nur durch die Kooperation mit einem OEM realisieren. • Längerfristig ist die verpflichtende Lieferung von Kennwerten auf Basis einer gesetzlichen Regelung anzustreben.
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (<1 Jahr): Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung aller Fahrzeuge der Volkswagen AG in der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Kooperation mit einem OEM oder Datenintermediär zur Lieferung der Daten im Rahmen eines Pilotprojekts

	<ul style="list-style-type: none"> • Langfristig (3-5 Jahre): Ausstattung im Rahmen einer innovationsorientierten Beschaffung von Fahrzeugen der eigenen Flotte • Langfristig (>5 Jahre): Gesetzliche Regelung zur Bereitstellung der Daten aus den Fahrzeugen
Mehrwert VM/VI	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrwert für das Verkehrsmanagement bzw. die Verkehrssteuerung (z.B. temporäre Geschwindigkeitsbeschränkungen) • Verbesserung der Verkehrsinformation (Safety Related Messages) • Sammlung von Erfahrungen, inwieweit solche Daten für den Betrieb nützlich sein können • Positionierung gegenüber OEMs bzw. Datenintermediären • Schaffung der Ausgangsbasis für gesetzliche Regelungen

Szenario 6: „Warnung vor Sichteinschränkung (Nebel)“

Szenario 6	Warnung vor Sichteinschränkung (Nebel)
Beschreibung	Warnung vor Sichteinschränkung ist eine wesentliche Information im Bereich der sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen (Safety Related Messages). Durch die Daten aus Fahrzeugen können die stationären Nebelwarnanlagen ergänzt werden.
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Aktivität des Nebenschlusslichtes aus dem CAN-Bus • Regenintensität aus dem CAN-Bus • Scheibenwischeraktivität aus dem CAN-Bus • Außentemperatur aus dem CAN-Bus
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung dieses Szenarios setzt den Zugriff auf Daten aus dem CAN-Bus voraus. • Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte ist kurzfristig möglich (Zugriff auf Nebelschlusslicht, Regensensor, Scheibenwischeraktivität sowie Außentemperatur) • Mittelfristig lässt sich das volle Potential nur durch die Kooperation mit einem OEM realisieren. • Längerfristig ist die verpflichtende Lieferung von Kennwerten auf Basis einer gesetzlichen Regelung anzustreben.

Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (< 1 Jahr): Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung aller Fahrzeuge der Volkswagen AG in der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Kooperation mit einem OEM oder Datenintermediär zur Lieferung der Daten im Rahmen eines Pilotprojekts • Langfristig (3-5 Jahre): Ausstattung im Rahmen einer innovationsorientierten Beschaffung von Fahrzeugen der eigenen Flotte • Langfristig (>5 Jahre): Gesetzliche Regelung zur Bereitstellung der Daten aus den Fahrzeugen
Mehrwert VM/VI	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrwert für das Verkehrsmanagement bzw. die Verkehrssteuerung (z.B. temporäre Geschwindigkeitsbeschränkungen) • Verbesserung der Verkehrsinformation (Safety Related Messages) • Sammlung von Erfahrungen, inwieweit solche Daten für den Betrieb nützlich sein können • Positionierung gegenüber OEMs bzw. Datenintermediären • Schaffung der Ausgangsbasis für gesetzliche Regelungen

Szenario 7: „Warnung vor Gefahrenstellen (Unfall, liegengebliebenes Fahrzeug, ...)“

Szenario 7	Warnung vor Gefahrenstellen (Unfall, liegengebliebenes Fahrzeug,...)
Beschreibung	<p>Warnung vor Gefahrenstellen ist eine wesentliche Information im Bereich der sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen (Safety Related Messages). Die Daten aus Fahrzeugen können jedoch nur als Indikation genutzt werden, dass möglicherweise eine Gefährdung vorliegt (durch Aktivität der Warnblinkanlage, Geschwindigkeitsreduktion). Die Ursache der Gefährdung kann in der Regel nicht festgestellt werden.</p>
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Positionen aus GPS • Geschwindigkeit aus Positionen abgeleitet • alternativ auch Geschwindigkeit aus CAN-Bus • Bremsaktivität (über CAN-Bus)

	<ul style="list-style-type: none"> • Warnblinkanlage (über CAN-Bus)
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung dieses Szenarios setzt den Zugriff auf Daten aus dem CAN-Bus voraus. • Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte ist kurzfristig möglich (Zugriff auf Nebelschlusslicht, Regensensor, Scheibenwischeraktivität sowie Außentemperatur) • Mittelfristig lässt sich das volle Potential nur durch die Kooperation mit einem OEM realisieren. • Längerfristig ist die verpflichtende Lieferung von Kennwerten auf Basis einer gesetzlichen Regelung anzustreben.
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (<1 Jahr): Ausstattung von Testfahrzeugen der Volkswagen AG innerhalb der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung aller Fahrzeuge der Volkswagen AG in der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Kooperation mit einem OEM oder Datenintermediär zur Lieferung der Daten im Rahmen eines Pilotprojekts • Langfristig (3-5 Jahre): Ausstattung im Rahmen einer innovationsorientierten Beschaffung von Fahrzeugen der eigenen Flotte • Langfristig (>5 Jahre): Gesetzliche Regelung zur Bereitstellung der Daten aus den Fahrzeugen
Mehrwert für MSG	<ul style="list-style-type: none"> • Moderater Mehrwert für das Verkehrsmanagement bzw. die Verkehrssteuerung (z.B. temporäre Geschwindigkeitsbeschränkungen) • Möglicherweise nützlich als Indikator, auf welchem Abschnitt eine Gefährdung vorliegen könnte und daher eine genauere Beobachtung (z.B. auf Basis Videoüberwachung) notwendig sein könnte. • Verbesserung der Verkehrsinformation (Safety Related Messages) • Sammlung von Erfahrungen, inwieweit solche Daten für den Betrieb nützlich sein können

Szenario 8: „Schlaglochdetektion“

Szenario 8	Schlaglochdetektion
Beschreibung	Zeitnahe und flächendeckende Detektion von Schlaglöchern kann für die Instandhaltung von Bedeutung sein. Anhand der Aktivitäten von verschiedenen internationalen Konzernen (Land Rover / Jaguar, Google Patent) kann auf ein hohes Interesse an der Thematik geschlossen werden.
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Vertikalbeschleunigung aus dem Smartphone • Vertikalbeschleunigung aus der Fahrzeugelektronik • Vertikalbeschleunigung aus speziellen On-Board-Units
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Die Umsetzung mit Smartphones kann sofort erfolgen. Die notwendigen Algorithmen wurden in CarSense entwickelt und erprobt. • Die Technik kann einfach und relativ kostengünstig in bestehenden Fahrzeugen nachgerüstet werden. Neben Smartphones könnte auch der Einsatz von spezialisierten On-Board-Units angedacht werden. • Eine Ausrollung kann sofort in ausgewählten Fahrzeugen (potentiell alle Fahrzeuge) der eigenen Flotte erfolgen. • Der Zugriff auf Vertikalbeschleunigungsdaten aus der Fahrzeugelektronik ist nach derzeitigem Kenntnisstand nicht möglich. Hierfür müsste eine Kooperation mit einem OEM erfolgen.
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (<1 Jahr): Ausstattung von Testfahrzeugen innerhalb der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung aller Fahrzeuge der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Auslotung von Kooperationsmöglichkeiten mit einem OEM, der diese Daten zur Verfügung stellen könnte (Hinweis auf das Projekt von Jaguar)
Mehrwert EH	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrwert für das Erhaltungsmanagement • Zeitnahe Detektion von Schlaglöchern bzw. extremen Fahrbahnschäden • Kurzfristige Sammlung von Erfahrungen, inwieweit solche Daten für die Erhaltung nützlich sein können

	<ul style="list-style-type: none"> • Nutzen von Erfahrungen für die Verhandlungen mit OEMs
--	---

Szenario 9: „Qualitätsindikator Fahrbahn“

Szenario 9	Qualitätsindikator Fahrbahn
Beschreibung	Anhand der kontinuierlichen Auswertung der Vertikalbeschleunigung eines Fahrzeuges lässt sich auf die Qualität der Fahrbahn schließen. Anhand der Daten aus der RoadSense-App wurde im Projekt CarSense ein Verfahren für die Ableitung eines 5-stufigen Indikators entwickelt und erprobt.
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Vertikalbeschleunigung aus dem Smartphone • Vertikalbeschleunigung aus der Fahrzeugelektronik • Vertikalbeschleunigung aus speziellen On-Board-Units
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Die Umsetzung mit Smartphones kann sofort erfolgen. Die notwendigen Algorithmen wurden in CarSense entwickelt und in ersten Tests erprobt. Obwohl die ersten Ergebnisse bereits sehr vielversprechend sind, sind eine Reihe von weiteren Tests und Anpassungen vor einem breiter angelegten Feldtest notwendig. • Die Technik kann einfach und relativ kostengünstig in bestehenden Fahrzeugen nachgerüstet werden. Neben Smartphones könnte auch der Einsatz von spezialisierten On-Board-Units angedacht werden. • Eine Ausrollung kann sofort in ausgewählten Fahrzeugen (potentiell alle Fahrzeuge) der eigenen Flotte erfolgen. • Der Zugriff auf Vertikalbeschleunigungsdaten aus der Fahrzeugelektronik ist nach derzeitigem Kenntnisstand nicht möglich. Hierfür ist die Kooperation mit OEMs notwendig.
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Kurzfristig (<1 Jahr): Ausstattung von Testfahrzeugen innerhalb der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Ausstattung aller Fahrzeuge der eigenen Flotte • Mittelfristig (1-3 Jahre): Auslotung von Kooperationsmöglichkeiten mit einem OEM, der diese Daten zur Verfügung stellen könnte (Hinweis auf das Projekt von Jaguar)

Mehrwert EH	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrwert für das Erhaltungsmanagement • Kontinuierliche Detektion von Veränderungen im Fahrbahnzustand • Frühzeitiges Reagieren auf Veränderungen • Qualitative Entscheidungsgrundlage für Maßnahmen im Erhaltungsmanagement • Kurzfristige Sammlung von Erfahrungen, inwieweit solche Daten für die Erhaltung nützlich sein können • Nutzen von Erfahrungen für die Verhandlungen mit OEMs
--------------------	--

Szenario 10: „Dynamische Achslast“

Szenario 10	Dynamische Achslast
Beschreibung	Viele LKWs sind bereits mit einem System zur Messung der Achslast ausgestattet. Von jenen LKWs, die über eine Ausstattung mit einem Telematiksystem verfügen, kann diese Achslast potentiell ausgelesen werden. Bei vielen Flotten liegt diese Information bereits vor. Aus der Geschwindigkeit sowie der Achslast kann die dynamische Achslast berechnet werden.
Fahrzeugseitige Sensorik	<ul style="list-style-type: none"> • Achslast aus dem CAN-Bus von LKWs • Geschwindigkeit (aus GPS oder CAN-Bus)
Realisierungspotential	<ul style="list-style-type: none"> • Hohes Realisierungspotential • Die Daten liegen oftmals bereits in einem Telematiksystem beim Flottenbetreiber vor • Die Herausforderung besteht vor allem in der Bereitschaft der Spediteure die Daten der ASFINAG zur Verfügung zu stellen • Ein Pilotprojekt könnte zur Vorbereitung einer gesetzlichen Regelung genutzt werden
Realisierungszeitraum	<ul style="list-style-type: none"> • Mittelfristig (1-3 Jahre): Durchführung eines Pilotprojekts mit ausgewählten Spediteuren • Mittelfristig (1-3 Jahre): Auslotung der Bereitschaft der Branche, diese Daten zur Verfügung zu stellen • Langfristig (3-5 Jahre): Vorbereitung einer gesetzlichen Regelung
Mehrwert EH	<ul style="list-style-type: none"> • Mehrwert für das Erhaltungsmanagement • Vorbereitung von gesetzlichen Regelungen

4.3.3 Überblick über Ausrollungsszenarien

Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über mögliche Ausrollungsszenarien für die Nutzung von fahrzeuggenerierten Daten von einzelnen Testfahrzeugen bis hin zu einer flächendeckenden Datengenerierung.

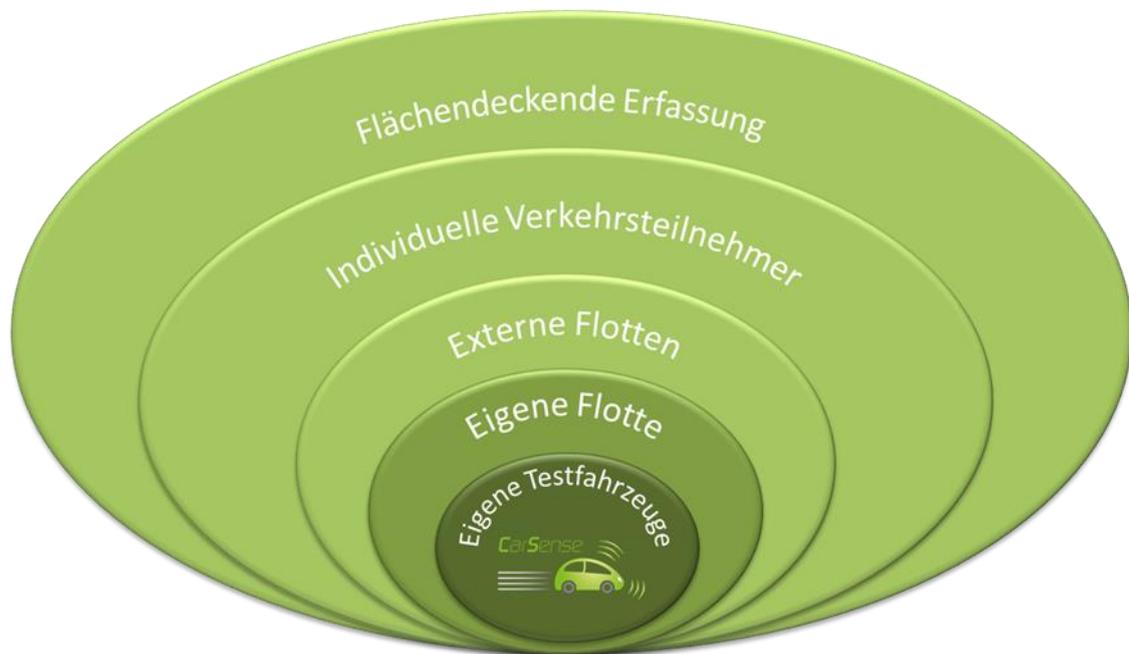


Tabelle 25: Szenarien zur Ausrollung

Eigene Testfahrzeuge: Im Rahmen von Pilotstudien oder Pilotprojekten kann eine Ausrollung auf Testfahrzeuge der eigenen Flotte erfolgen. Dieses Szenario ist vor allem für erste Proof-of-Concept-Tests von sehr neuen technologischen Ansätzen gedacht. Die Datenerfassung kann entweder auf Basis von Smartphones oder Tablets (fixe Monate im Fahrzeug) oder spezifischen Erfassungsmodulen (xFCD-Modulen) erfolgen. Eine solche Umsetzung wurde auch in CarSense mit ausgewählten Fahrzeugen und individueller Zustimmung der Fahrer durchgeführt. Der Umsetzungszeitraum beträgt im Allgemeinen nur wenige Wochen. Für spezielle Fragestellungen und Sensordaten, z.B. Fahrbahntemperatur über Infrarottemperaturmessung, ist aufgrund der immer mehr werdenden Sensorplattformen und Selbstbaukits (z.B. Arduino²⁰) auch die Entwicklung eigener Sensormodule denkbar. Aufgrund der Kosten und des Aufwands wäre dieses Vorgehen aber nur für Machbarkeitsstudien sinnvoll.

Eigene Flotte: Wenn die Technologien erfolgreich an mehreren Testfahrzeugen erprobt wurden, kann die Ausrollung auf einen Teil oder alle Fahrzeuge der eigenen Flotte erfolgen.

²⁰ <https://www.arduino.cc/>

Dadurch lassen sich für Pilotstudien oder Pilotprojekte bereits Teilabschnitte des Netzes abdecken. In diesem Fall ist eine Zustimmung der zuständigen Personalvertretungen erforderlich. Außerdem müssen geeignete Fahrzeuge selektiert und mit Erfassungsmodulen ausgestattet werden. Auf Basis der Ergebnisse aus CarSense wird derzeit eine Beschränkung von Pilotprojekten mit fahrzeugseitiger Sensorik auf Fahrzeuge aus dem Volkswagen-Konzern empfohlen. Sofern technisch und wirtschaftlich möglich kann auch eine flächendeckende Ausstattung von Fahrzeugen der eigenen Flotte erfolgen. Eine solche Ausstattung würde sich für Fahrzeuge aus dem VW-Konzern definitiv als Folgeprojekt nach CarSense anbieten. Alternativ kann auch eine Ausstattung mit Smartphones oder Tablets für die Erfassung der Fahrbahnqualität erfolgen.

Externe Flotten: Die Einbindung von externen Flotten bietet sich derzeit vor allem im Bereich der Reisezeit- sowie Reisezeitverlustmessung an. Da es dafür bereits Dienstleister gibt, die solche Daten kommerziell anbieten bzw. Flotten gefunden werden können, die bereit sind, die Daten zur Verfügung zu stellen (vgl. die Erfahrungen aus der FCD Modellregion Salzburg), wird die Einbindung von externen Flotten zur Datenlieferung empfohlen. In der Regel müssen dazu Verträge mit den jeweiligen Flotten zur Datenüberlassung abgeschlossen sowie eine Schnittstelle zur Datenübernahme implementiert werden. Es bietet sich auch eine Kooperation mit externen Flotten an, im Rahmen derer die Flotten nicht nur Daten liefern, sondern auch die Verkehrsinformationen der ASFINAG in der Flottensteuerung genutzt werden. Eventuell würde sich im Rahmen einer solchen Kooperation auch die Möglichkeit ergeben, externe Fahrzeugflotten mit xFCD-Erfassungsgeräten auszustatten. Jedenfalls sollte die Einbindung von externen Flotten nur nach Zustimmung der Personalvertretungen der Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter erfolgen.

Individuelle Verkehrsteilnehmer: Für individuelle Verkehrsteilnehmer empfiehlt sich die Einbindung über Smartphones, z.B. über die Unterwegs-App. Eine Ausrollung von Erfassungsgeräten ist aufgrund des hohen Aufwands nicht zu empfehlen. Daher können derzeit vor allem die Daten aus Smartphones genutzt werden (GPS, Beschleunigungswerte), nicht jedoch die Daten aus der Fahrzeugelektronik. Durch Kooperationen mit Datenintermediären oder OEMs könnte zukünftig allerdings auch der Zugriff auf Daten der Fahrzeugelektronik ermöglicht werden. Dabei sollte jedoch immer darauf geachtet werden, dass die Fahrzeuglenkerinnen und -lenker über die Datennutzung informiert sind.

Flächendeckende Erfassung: Eine flächendeckende Erfassung von Daten aus Fahrzeugen ist aus heutiger Sicht nur auf Basis einer gesetzlichen Regelung zur verpflichtenden Lieferung von fahrzeugseitigen Daten mit öffentlichem Interesse möglich (vgl. europäische eCall-Verordnung). Eine solche gesetzliche Verpflichtung muss langfristig auf europäischer Ebene

vorbereitet werden. Als Vorbereitung können allerdings bereits jetzt inhaltliche Vorschläge über die bestehenden Gremien eingebracht werden. Auch eine Diskussion zwischen den Infrastrukturbetreibern wäre zu empfehlen, um das nötige Bewusstsein zu schaffen und die zukünftige Rolle der Infrastrukturbetreiber beim Thema „Nutzung von Daten aus Fahrzeugen“ zu schärfen. Die Gefahr die derzeit besteht ist, dass im Zuge der Entwicklung des autonomen Fahrens und des vernetzten Fahrzeugs, welche im Wesentlichen durch Fahrzeughersteller, Zulieferer und Datenintermediäre getrieben wird, vorzeitig Fakten geschaffen werden. In diesem Fall kann davon ausgegangen werden, dass fahrzeugseitig generierte Daten von Infrastrukturbetreibern nur über (kostenpflichtige) Dienste und/oder mit stark eingeschränkten Nutzungsrechten bezogen werden können.

4.3.4 Überblick über erwartete zeitliche Verfügbarkeiten

Nachfolgende Tabelle gibt einen Überblick über die erwarteten zeitlichen Verfügbarkeiten von unterschiedlichen Datenkategorien.

Kategorie	Kurzfristig <1 Jahr	Mittelfristig 1–3 Jahre	Langfristig 3–5 Jahre	Langfristig >5 Jahre
Verkehrszustand	App Testfahrzeuge Ext. Flotten Drittanbieter	App Eigene Flotte Ext. Flotten Drittanbieter	App Eigene Flotte Ext. Flotten Drittanbieter	Gesetzliche Regelung
Sicherheitsrelevante Informationen	Testfahrzeuge	Eigene Flotte Drittanbieter	Externe Flotten Drittanbieter	Gesetzliche Regelung
Fahrbahnqualität	Testfahrzeuge	Eigene Flotte Eigene App	Eigene Flotte Eigene App Drittanbieter	Eigene Flotte Eigene App Drittanbieter
Fahrbahnbelastung		Testfahrzeuge Externe Flotten	Externe Flotten	Gesetzliche Regelung

Tabelle 26: Überblick über erwartete Entwicklungen hinsichtlich der Verfügbarkeit von unterschiedlichen Datenkategorien

Je nach Datenkategorie wird sich die Verfügbarkeit unterschiedlich gestalten. Während aus Fahrzeugen generierte Verkehrszustandsinformationen bereits flächendeckend verfügbar sind (z.B. von kommerziellen Anbietern wie Inrix, TomTom oder Here), beginnt die Entwicklung von Diensten im Bereich der erweiterten Datenkategorien erst (z.B. Detektion von außergewöhnlichen Wetterereignissen bzw. Detektion der Fahrbahnqualität). Daher wird die Verfügbarkeit von solchen Daten kurz- bzw. mittelfristig vor allem von Pilotprojekten abhängen. Erste Verfügbarkeiten von Drittanbietern sind bereits in 1-3 Jahren, breitere Verfügbarkeiten aber erst in 3–5 Jahren zu erwarten. Mit einer gesetzlichen Regelung auf

Endbericht CarSense

EU-Ebene kann in den nächsten 3-5 Jahren nicht gerechnet werden. Es ist aber davon auszugehen, dass es in den nächsten Jahren intensive Überlegungen und Beratungen zu diesem Thema geben wird. Im Bereich der dynamischen Achslast ist möglicherweise im Zuge der Einführung von digitalen Tachographen mit einer früheren gesetzlichen Regelung zu rechnen. In diesem Bereich wird es sicher am schwierigsten sein ohne gesetzliche Regelung an Daten zu gelangen.

4.4 Thesen, Handlungsfelder, Handlungsempfehlungen

In diesem Kapitel werden aus den Ergebnissen von CarSense sowie weiteren aktuellen Entwicklungen verschiedene Thesen zur Nutzung von fahrzeugseitig generierten Daten abgeleitet. Auf Basis dieser Thesen werden kurzfristige und mittelfristige Handlungsempfehlungen vorgeschlagen, wie das Thema der fahrzeugseitigen Daten von Seiten der ASFINAG weiter verfolgt werden sollte.

4.4.1 Thesen

Die nachfolgenden Thesen gehen davon aus, dass die zunehmende Vernetzung von Fahrzeugen einen der großen Trends der nächsten Jahre darstellt und stetig zunimmt. Die Thesen greifen unterschiedliche Aspekte dieser Entwicklung auf.

These 1: Fahrzeugseitige Daten stellen eine hochqualitative Datengrundlage nicht nur für das autonome Fahren, sondern auch für die Aufgaben von Straßeninfrastrukturbetreibern dar.

Im Projekt CarSense wurde eindrucksvoll gezeigt, wie fahrzeugseitige Daten bereits heute für verschiedene Aufgaben eines Straßeninfrastrukturbetreibers, wie Verkehrsmanagement, Verkehrsinformation oder Erhaltungsmanagement, genutzt werden können. Vor allem für eine streckenbezogene Zustandserfassung sind die Daten geeignet und können dadurch vor allem die Bereiche zwischen der stationären Sensorik abdecken. Ein effizienter Betrieb der Straßeninfrastruktur wird zukünftig eine bidirektionale Kommunikation mit Fahrzeugen voraussetzen. Daher ist ein Know-how-Aufbau beim Infrastrukturbetreiber, welche Daten aus Fahrzeugen in welcher Form erfolgreich genutzt werden können, zwingend erforderlich.

These 2: Die Technologien zur Nutzung von fahrzeugseitigen Daten sind vorhanden, um zeitnahe mit ausgewählten Testflotten wichtige Erfahrungen zu sammeln. Für den Straßeninfrastrukturbetreiber ist es wichtig, sich gegenüber Fahrzeughersteller, Zulieferer und Datenintermediären zu positionieren und sich eine Vorreiterrolle im Bereich der vernetzten Fahrzeuge zu sichern.

Pilotprojekte wie C-ITS Corridor²¹ oder CarSense zeigen, dass die Technologien für die Nutzung von fahrzeugseitigen Daten soweit gereift sind, dass Pilotprojekte im realen Verkehrsgeschehen möglich sind. Es ist daher ein guter Zeitpunkt, um in Pilotprojekten die unterschiedlichen Möglichkeiten von vernetzten Fahrzeugen und fahrzeugseitig generierten Daten zu testen, um praktische Erfahrungen zu sammeln. Aufgrund der hohen Dynamik der Entwicklungen kann noch keine Empfehlung abgegeben werden, welche der Technologien sich durchsetzen wird bzw. in welcher Form fahrzeugseitig generierte Daten zukünftig zur Verfügung stehen werden. Bereits heute ist allerdings ersichtlich, dass es zukünftig unterschiedliche Quellen für solche Daten geben wird. Die Bandbreite dieser Quellen reicht von Schnittstellen in Fahrzeugen bis hin zu Drittanbietern, die solche Daten in veredelter Form kommerziell zur Verfügung stellen werden. Um zukünftig die Qualität der unterschiedlichen Datenquellen richtig einschätzen zu können bzw. um auch die richtigen Entscheidungen treffen zu können, sind praktische Erfahrungen mit den unterschiedlichen Technologien auf jeden Fall hilfreich.

These 3: Eine flächendeckende Nutzung von fahrzeugseitig generierten Daten für Straßeninfrastrukturbetreiber erfordert eine gesetzliche Regelung.

Der Zugriff auf relevante Daten aus der Fahrzeugelektronik ist derzeit noch äußerst aufwendig und nicht standardisiert. Die Fahrzeughersteller selbst versuchen die Fahrzeugelektronik gegenüber Zugriffen von Dritten abzuschotten. Kommende Schnittstellen für Drittanbieter wie Apple CarPlay²², MirrorLink²³ oder Android Auto²⁴ dienen hauptsächlich dazu, leistungsfähige Smartphone Apps auf das Multimediasystem des Fahrzeugs zu bringen, um dadurch eine integrierte Bedienung im Fahrzeug zu ermöglichen. Ein Zugriff auf Daten des Fahrzeugs ist für die Apps von Drittanbietern nicht vorgesehen. Derzeit gibt es auch keine (öffentlichen) Pläne der Hersteller, offene Schnittstellen für einen Zugriff anzubieten. OpenXC²⁵ von Ford ist hier als Ausnahme zu nennen, allerdings ist die Verbreitung von OpenXC fraglich, da es sich bisher ausschließlich um eine Forschungsschnittstelle von Ford in den USA handelt.

Ein weiterer Stolperstein bei der Nutzung der Daten aus Fahrzeugen betrifft die rechtliche Grundlage, vor allem die Frage nach den Nutzungsrechten an den entstehenden Betriebsdaten. Die Fahrzeughersteller gehen bisher größtenteils davon aus, dass sie weitreichende Nutzungsrechte an den Daten besitzen und daher auch darüber entscheiden

²¹ <http://c-its-corridor.de/>

²² <http://www.apple.com/ios/carplay/>

²³ <http://www.mirrorlink.com/>

²⁴ <https://www.android.com/auto/>

²⁵ <http://openxcplatform.com/>

dürfen, wie sie die Daten verwenden wollen (z.B. ob die Daten an einen Server zur weiteren Verarbeitung gesendet werden, ob die Daten an Dritte weitergegeben werden usw.). Datenschützer weisen jedoch darauf hin, dass es sich bei den im Fahrzeug generierten Daten in der Regel um personenbezogene Daten handle und unterschiedliche Nutzungsinteressen an den Daten bestünden²⁶. Daher sollte ein abgestuftes Rechtssystem zum Einsatz kommen, mit dem Fahrzeuginhaber entscheiden können, welchem Dienstleister welche Daten für welche Zwecke zur Verfügung gestellt werden sollen. Außerdem könnte ein solches Rechtssystem die Datenweitergabe im öffentlichen Interesse regeln.

Straßeninfrastrukturbetreiber wären demnach als Datennutzer zu behandeln, denen ein zeitlich und geographisch beschränkter Zugriff auf bestimmte Datenkategorien für den Betrieb der Straßeninfrastruktur bzw. das Verkehrsmanagement gewährt werden könnte. Diese Gewährung müsste im Rahmen einer gesetzlichen Regelung erfolgen.

4.4.2 Handlungsfelder

Aus den Ergebnissen von CarSense lassen sich drei wesentliche Handlungsfelder ableiten, in denen konkrete Handlungen im Bereich der vernetzten Fahrzeuge in den nächsten Jahren empfohlen werden können: **Pilotprojekte, Kooperationen, Rahmenbedingungen**.

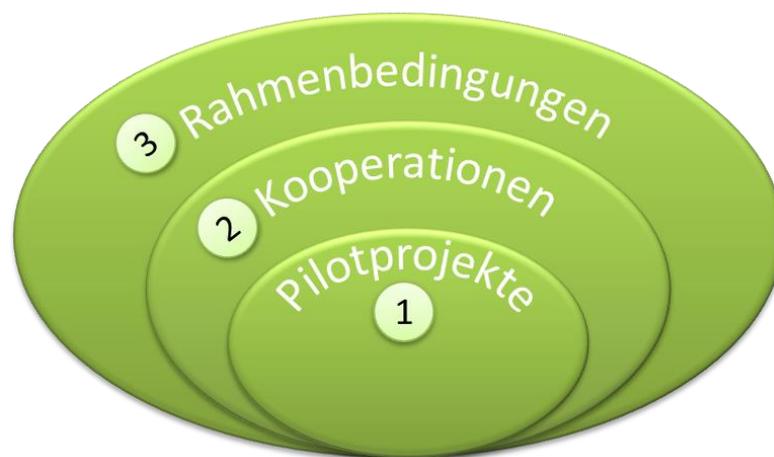


Tabelle 27: Die drei wichtigsten Handlungsfelder

Handlungsfeld 1: Pilotprojekte

Pilotprojekte sind vor allem dazu geeignet, neue Technologien frühzeitig in der Anwendung zu erproben, um dadurch Erfahrungen mit den Technologien zu sammeln. Klar definierte Pilotprojekte können entweder intern durchgeführt oder beispielsweise auch ausgeschrieben werden. Dabei kann beispielsweise auch auf die eigene Fahrzeugflotte zurückgegriffen

²⁶ http://www.gruene-bundestag.de/themen/verkehr/vernetztes-auto-chancen-und-risiken/seite-4-wem-gehoren-die-daten-und-wie-koennen-sie-geschuetzt-werden_ID_4395610.html

werden. Durch die Nachrüstung von Fahrzeugen mit Sensorik lassen sich relativ kostengünstige Pilotversuche durchführen. Pilotprojekte dienen vor allem auch dazu, um sich einen Know-how-Vorsprung zu erarbeiten bzw., um für Kooperationen im Bereich der vernetzten Fahrzeuge gerüstet zu sein. Außerdem ermöglichen sie die Erprobung von Technologien, ohne bereits eine Entscheidung vorweg zu nehmen. Konkrete Pilotprojekte werden im Abschnitt Handlungsempfehlungen vorgeschlagen.

Handlungsfeld 2: Kooperationen

Die gesamte Mobilitätsbranche ist derzeit einem massiven Wandel ausgesetzt. Die Digitalisierung von Mobilitätsdiensten, Fahrzeugen sowie der Infrastruktur bringt weitreichende Veränderungen in der gesamten Landschaft mit sich. Der Trend zur Vernetzung bringt neue Dienstleister sowie neue Dienstleistungen ins Spiel. Ein Beispiel für diese massiven Veränderungen ist der Kauf des Anbieters von digitalen Kartendaten Here durch ein Konsortium der drei konkurrierenden deutschen Fahrzeughersteller Daimler, Audi und BMW. Durch diesen Kauf könnten auch die Karten im Bereich der Vernetzten Fahrzeuge wieder neu gemischt werden, denn Here bietet neben den Kartendaten auch eine Cloud-Lösung für die Sammlung und Analyse von fahrzeugseitigen Daten. Derzeit ist noch nicht vollständig absehbar, in welche Richtung sich die Landschaft in den nächsten Jahren entwickeln wird. Es ist jedoch bereits ersichtlich, dass es zukünftig mehrere Quellen für den Zugriff auf fahrzeugseitige Daten geben wird. Frühzeitige Kooperationen mit Dienstleistern können die eigene Position schärfen und die Entscheidungsgrundlagen verbessern.

Handlungsfeld 3: Rahmenbedingungen

Sowohl für die Durchführung von Pilotprojekten als auch für die Umsetzung von unterschiedlichen Maßnahmen im Bereich der vernetzten Fahrzeuge bedarf es der Schaffung notwendiger Rahmenbedingungen. Damit sind einerseits rechtliche Rahmenbedingungen wie beispielsweise im Hinblick auf das autonome Fahren oder die Nutzung von fahrzeugseitigen Daten gemeint. In diesem Bereich sollte man zumindest versuchen die Rahmenbedingungen mitzugestalten. Andererseits können auch Standardisierungen, wie sie beispielsweise in ECo-AT²⁷ vorbereitet werden, helfen, um Entwicklungen mitzugestalten bzw. in bestimmte Richtungen zu lenken.

²⁷ <http://eco-at.info/>

4.5 Handlungsempfehlungen

Aufbauend auf den Ergebnissen von CarSense wurden 8 konkrete Handlungsempfehlungen abgeleitet. Die Handlungsempfehlungen berücksichtigen sowohl die in Arbeitspaket 1 identifizierten Anforderungen der ASFINAG sowie die in Arbeitspaket 2 evaluierten technologischen Möglichkeiten. Sie sind nachfolgend aufgelistet sowie im Detail beschrieben.

Nr.	Handlungsempfehlung	Priorität
1	Umsetzung Reisezeiterfassung mit FCD	1
2	Pilotstudie Verkehrssicherheit	1
3	Pilotstudie Schlaglochdetektion / Detektion der Fahrbahnqualität	1
4	Pilotstudie Dynamische Achslast	2
5	Studie zur verpflichtenden Lieferung von sicherheitsrelevanten Daten aus Fahrzeugen an einen nationalen Zugangspunkt	2
6	Kooperation von Straßeninfrastrukturbetreibern zur Nutzung von fahrzeugseitig generierten Daten	2
7	Pilotprojekt xFCD-Erweiterung des nationalen Zugangspunkts	3
8	Pilotprojekt Innovationsorientierte Beschaffung xFCD-Fahrzeuge	3

4.5.1 Handlungsempfehlungen mit Priorität 1

Empfehlung 1: Umsetzung Reisezeiterfassung mit FCD	
Empfehlungsart	Umsetzung
Priorität	1
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • FCD-Erfassung mittels Unterwegs-App • Ausstattung der eigenen Flotte mit einem Telematiksystem • Anbindung von externen FC-Datenquellen (z.B. ADAC) • Kooperation mit externen Anbietern (z.B. Here, TomTom, Inrix) • Spurgenaue Auswertungen
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Umsetzung eines Erfassungsmoduls für die Unterwegs App • Angepasste Nutzungsvereinbarung für die Unterwegs-App

	<ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung der eigenen Flotte mit einem Telematiksystem • Vereinbarung mit den Personalvertretungen der ASFINAG-Gesellschaften zur Datenerfassung • Verträge zur Nutzung der ADAC-Daten • Kooperationsvereinbarungen mit externen Anbietern • Erweiterung Backend-System zur Verarbeitung der FCD (ggf. externer Dienstleister)
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung Unterwegs App • Datenzukauf ADAC • Beschaffung eines Telematiksystems • Ausstattung der Fahrzeuge • Erweiterung Backend-System

Begründung: Für die Szenarien zum Thema „Messung von Reisezeiten, Reisezeitverlusten und Verkehrsqualitäten“ wird eine sofortige Umsetzung empfohlen. Die für die Informationen notwendigen GPS-Daten aus Fahrzeugen sind breit verfügbar. Die Technologien für die Verarbeitung der Daten sind verfügbar und bereits ausgereift. Zuerst sollte mit der Nutzung der Daten aus der Unterwegs-App begonnen werden. Ein entsprechendes Erfassungsmodul wurde im Projekt FCD Modellregion Salzburg sowie im Projekt VAO 2 bereits erarbeitet. Gleichzeitig bietet sich auch die Anbindung von bestehenden Datenquellen, wie jene des ADACs, an. Diese Anbindung ist auch bereits für das 2015 startende Projekt EVIS (Echtzeit-Information Straße Österreich) geplant. Zusätzlich wird auch empfohlen, im Rahmen dieses Projekts die ASFINAG-eigene Flotte mit einem Telematiksystem auszustatten. Diese Flotte kann als weitere Datenquelle genutzt werden. Gleichzeitig bietet sich dadurch auch die Möglichkeit für Pilotversuche. Anhand dieser drei Datenquellen sollte dann eine Evaluierung durchgeführt werden, ob und in welchem Ausmaß die Anbindung von weiteren Datenquellen bzw. Flotten notwendig ist. Eine Kooperation mit der FCD Modellregion Salzburg würde sich für die weitere Umsetzung anbieten, um auf das bereits vorhandene Know-how zurückzugreifen.

Empfehlung 2: Pilotstudie Verkehrssicherheit	
Empfehlungsart	Pilotstudie
Priorität	1
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausstattung von ausgewählten Fahrzeugen (Volkswagen AG) der eigenen Flotte mit einem Telematiksystem zur Lieferung von xFCD

	<ul style="list-style-type: none"> • Kooperation mit einem OEM zur Lieferung von fahrzeuggenerierten Daten • Integration der Daten in die Verkehrsmanagementsysteme der ASFINAG auf Basis der Ergebnisse aus CarSense • Bewertung der generierten Ereignisse im Hinblick auf den Nutzen im Verkehrsmanagement, in der Verkehrssteuerung und in der Verkehrsinformation
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Geeignete Fahrzeuge in der ASFINAG-Flotte • Beschaffung des Telematiksystems • Kooperationsbereitschaft eines OEMs • Vereinbarung mit den Personalvertretungen der ASFINAG-Gesellschaften • Backend-System zur Veredelung der Daten und Nutzung im Verkehrsmanagement
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Beschaffung eines Telematiksystems • Ausstattung der Fahrzeuge • Integration der Daten in die ASFINAG-Systeme

Begründung: Für die Szenarien zum Thema Verkehrssicherheit wird eine Pilotstudie empfohlen. Die für die Umsetzung der Szenarien benötigten Daten sind zwar in den Fahrzeugen vorhanden, aber der Zugriff auf die Daten ist aufwendig und nicht standardisiert möglich. Manche der Daten können über geeignete Telematiksysteme aus Fahrzeugen (empfohlen werden die Fahrzeuge der Volkswagen AG) ausgelesen werden. Anders als bei GPS-Daten sind die Datenarten proprietär. Geeignete Verfahren zur Extraktion und Verarbeitung sind zu definieren. Dennoch sind die Daten aus dem Blickwinkel der Verkehrssicherheit für die ASFINAG von höchstem Interesse. Da international viele Aktivitäten im Bereich der Connected Vehicles am Laufen sind, sollten die Handlungen möglichst bald erfolgen, um die Themenführerschaft aus Sicht eines Straßeninfrastrukturbetreibers zu erlangen und eine Vorreiterrolle zu übernehmen. Daher wird vorgeschlagen, möglichst bald mit einem Pilotversuch zu starten. Dabei sollten ausgewählte Fahrzeuge der eigenen Flotte (Volkswagen AG) mit Telematiksystemen ausgestattet werden. Die Ausstattung von einzelnen Testfahrzeugen wurde bereits im Projekt CarSense erfolgreich vorgenommen. Der Pilotversuch sollte dazu dienen, die Potentiale der Sensordaten im Hinblick auf die unterschiedlichen Szenarien im Rahmen eines Feldtests zu untersuchen. Dabei sollen vor allem folgende Fragen beantwortet werden: In welcher Form müssen die Daten zu Ereignissen verarbeitet werden, sodass sie für das

Verkehrsmanagement verwendbar sind? In welcher Form müssten diese Daten von den Fahrzeugen geliefert werden? Welche Szenarien können erfolgreich umgesetzt werden? Für welche Szenarien würde man weitere Datenkategorien benötigen? Welcher Nutzen entsteht aus den Szenarien für das Verkehrsmanagement? Welcher Nutzen entsteht aus den Szenarien für die Verkehrsinformation? Welche Durchdringungsrate von Fahrzeugen würde man benötigen, um gesicherte Informationen zu erhalten?

Die Durchführung der Pilotstudie wird vor allem deshalb empfohlen, um möglichst frühzeitig Erfahrungen mit den Daten im Verkehrsmanagement und in der Verkehrsinformation zu sammeln. Die Erfahrungen können in der Diskussion im Hinblick auf gesetzliche Rahmenbedingungen sowie in der Diskussion mit OEMs genutzt werden. Es stärkt die Position, wenn man bereits weiß, welche Daten in welcher Form einen Mehrwert generieren können.

Empfehlung 3: Pilotstudie Schlaglochdetektion / Detektion der Fahrbahnqualität	
Empfehlungsart	Pilotstudie
Priorität	1
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Einsatz der RoadSense-App in ausgewählten Fahrzeugen der ASFINAG-Flotte • Untersuchung der generierten Ereignisse im Hinblick auf den Nutzen im Erhaltungsmanagement • Bei Erfolg kann eine Integration des Erfassungsmoduls in die Unterwegs-App erfolgen
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • ASFINAG-Flotte (z.B. Mautfahrzeuge) • Vereinbarung mit den Personalvertretungen der ASFINAG-Gesellschaften • Software zur Auswertung und Visualisierung der Daten, evtl. auch als Service der FCD Modellregion
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Beschaffung der Endgeräte für den Einsatz der App • Kosten für den Betrieb der App • Kosten für die Datenauswertung

Begründung: Für die Szenarien zur Schlaglochdetektion bzw. Bewertung der Qualität des Fahrbahnzustands wird ein sofortiger Beginn von internen Tests mit der RoadSense-App und ausgewählten Fahrzeugen / Fahrerinnen empfohlen, da ein großes, kurzfristig lukrierbares Umsetzungspotential vorhanden ist. Die internen Tests sollten zur Sammlung von Erfahrungen dienen, ob die erzielbaren Ergebnisse für die Instandhaltung von Nutzen sein können und wie die Daten möglichst einfach, regelmäßig und zuverlässig erhoben werden

können. Auf Basis der Ergebnisse der internen Tests soll dann die Entscheidung für eine mittelfristige Ausrollung eines Erfassungssystems getroffen werden. Mögliche Szenarien wären die Ausstattung der eigenen Betriebsflotte mit Erfassungsmodulen bzw. die Integration des Erfassungsmoduls in die Unterwegs-App.

4.5.2 Handlungsempfehlungen mit Priorität 2

Empfehlung 4: Pilotstudie Dynamische Achslast	
Empfehlungsart	Pilotstudie
Priorität	2
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung einer Pilotstudie mit ausgewählten Spediteuren • Bewertung des Potentials einer flächendeckenden Erfassung der Achslast von LKWs für die Instandhaltung
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Bereitschaft von Spediteuren zur Teilnahme an der Pilotstudie
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung der Pilotstudie

Begründung: Aufgrund der Verfügbarkeit der Achslastdaten bei LKW-Flotten wird eine kurzfristige Verfolgung des Themas vorgeschlagen. Achslast- und GPS-Daten könnten dazu verwendet werden, um die Belastung von Brücken oder Unterbau auf Basis einer dynamischen Achslast abschätzen zu können. Das so gewonnene Wissen kann wiederum bei der Materialauswahl, Konstruktionsweise und Bemessung berücksichtigt werden. Die nächsten Schritte wären nun mit ausgewählten LKW-Flotten bzw. Anbietern von Flottenmanagementsystemen Kontakt aufzunehmen, um die Bereitschaft für die Teilnahme an einer Pilotstudie auszuloten. Bei entsprechender Bereitschaft könnte man kurz- bzw. mittelfristig ein Pilotprojekt starten. Auf Basis der Ergebnisse des Pilotprojekts könnten dann die nächsten, mittelfristigen Schritte geplant werden.

Empfehlung 5: Studie zur Einführung einer verpflichtenden Übermittlung von fahrzeugseitigen Daten öffentlichen Interesses an einen nationalen Zugangspunkt	
Empfehlungsart	Studie
Priorität	2
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Ausschreibung einer Studie zur Klärung, welche Rahmenbedingungen für die verpflichtende

	Übermittlung von fahrzeugseitigen Daten öffentlichen Interesses an einen nationalen Zugangspunkt gegeben sein müssen
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Abklärung mit dem Gesetzgeber zu den genauen Inhalten der Studie • Berücksichtigung der Ergebnisse aus relevanten Vorprojekten wie CarSense, Testfeld Telematik, ECo-AT usw.
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Erstellung der Studie

Begründung: Längerfristig erscheint es sinnvoll, dass eine gesetzliche Regelung auf europäischer Ebene in Anlehnung an die eCall-Verordnung definiert wird, die regelt, welche Daten eines Fahrzeugs im öffentlichen Interesse stehen und daher öffentlichen Infrastrukturbetreiber bei Straßenbenützung bereitgestellt werden sollten. Insbesondere soll der Fokus auf sicherheitsrelevante Informationen wie Stop&Go-Verkehr, Starkregen, Sichteinschränkung usw. gelegt werden. Aber auch die Informationen zur Fahrbahnqualität könnten ein Bestandteil dieser Informationskategorien sein. Es wird die Ausschreibung einer Studie empfohlen, in der die rechtlichen Rahmenbedingungen erarbeitet werden: Welche Daten sind im öffentlichen Interesse? In welcher Form sollen die Daten geliefert werden? Wie geht man mit dem Schutz persönlicher Daten um? Wie soll/kann die Anonymisierung der Daten gewährleistet werden? Wie kann ein Missbrauch verhindert werden?

Die Studie soll vor allem eine hochwertige Diskussionsgrundlage schaffen, um eine sachliche Diskussion zur Nutzung von fahrzeugseitigen Daten durch öffentliche Infrastrukturbetreiber zu ermöglichen und um gezielte Vorgaben für Fahrzeughersteller, Datenintermediäre sowie die Telematik Industrie zu erarbeiten. Außerdem wird eine solche Studie als notwendige Grundlage für die Vorbereitung einer gesetzlichen Regelung erachtet.

Empfehlung 6: Kooperation von Straßeninfrastrukturbetreibern zur Nutzung von fahrzeugseitig generierten Daten auf europäischer Ebene	
Empfehlungsart	Kooperation
Priorität	2
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Initiierung und Koordination einer Kooperation von führenden europäischen Straßeninfrastrukturbetreibern um gemeinsame Positionen zur Nutzung von Daten aus Fahrzeugen zu erarbeiten und die Interessen gegenüber Dritten zu vertreten.

Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Kooperationswillige Straßeninfrastrukturbetreiber • Bewusstsein für den Mehrwert von fahrzeugseitigen Daten für Straßeninfrastrukturbetreiber • Berücksichtigung der Ergebnisse aus relevanten Vorprojekten wie CarSense, Testfeld Telematik, ECo-AT usw.
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Kosten für die Initiierung und Koordination der Kooperation

Begründung: Im Bereich der vernetzten Fahrzeuge bzw. des autonomen Fahrzeugs besteht die Gefahr, dass die entstehenden Daten von Fahrzeugherstellern, Zulieferern oder Datenintermediären gewinnbringend verwertet werden. Straßeninfrastrukturbetreiber werden als eine der Abnehmer dieser Daten gesehen. Daher ist es äußerst wichtig sich frühzeitig zu positionieren um einen Gegenpol zu den agierenden Akteuren zu schaffen bzw. um sich in dieser entstehenden Landschaft zu positionieren. Ansonsten besteht die Gefahr, dass fahrzeugseitig generierte Daten von Straßeninfrastrukturbetreibern nur kostenpflichtig genutzt werden können. Durch eine frühzeitige Kooperation kann auch eine zukünftige gesetzliche Regelung vorbereitet werden.

4.5.3 Handlungsempfehlungen mit Priorität 3

Empfehlung 7: Pilotprojekt xFCD-Erweiterung des nationalen Zugangspunkts	
Empfehlungsart	Pilotprojekt
Priorität	3
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Der nationale Zugangspunkt für Verkehrsinformationen sollte derart erweitert werden, dass anonym generierte Daten von Fahrzeugen über eine standardisierte Schnittstelle übermittelt werden können (in Anlehnung an das Sensor Ingestion Interface von Here) • Etablierung von Kooperationen mit OEMs bzw. Datenlieferanten, die diesen Zugangspunkt in ihre Dienste einbinden
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Erweiterung des Zugangspunkts • Bereitschaft von OEMs zur Kooperation
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Durchführung des Pilotprojekts • Betrieb des Zugangspunktes

Begründung: Ähnlich wie für die öffentliche Bereitstellung von sicherheitsrelevanten Verkehrsinformationen über nationale Zugangspunkte (s. EU-Direktive 2010/40/EU) könnte in einem Pilotprojekt ein nationaler Zugangspunkt für die anonyme Übermittlung von sicherheitsrelevanten Ereignissen aus Fahrzeugen, die auf Basis von Sensordaten generiert wurden, eingerichtet werden. Dieser Zugangspunkt könnte von Fahrzeugherstellern oder Datenintermediären genutzt werden, um anonymisierte, sicherheitsrelevante Daten aus Fahrzeugen über eine standardisierte Schnittstelle zu übermitteln.

Empfehlung 8: Pilotprojekt Innovationsorientierte Beschaffung xFCD-Fahrzeuge	
Empfehlungsart	Pilotstudie
Priorität	3
Handlungen	<ul style="list-style-type: none"> • Innovationsorientierte Neubeschaffung von Fahrzeugen innerhalb der eigenen Flotte • Ausschreibungen sollten Anforderungen im Hinblick auf die Lieferung von Fahrzeugdaten beinhalten • Schnittstelle zu Fahrzeugdaten als Ausschreibungskriterium
Rahmenbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> • Anstehende Neubeschaffung von Fahrzeugen der ASFINAG-Flotte • Exakte Beschreibung der Schnittstelle und Datenkategorien als Ausschreibungsbestandteil (Muss-Kriterium) • Interessierte OEMs bzw. Konsortien, die sich an einer solchen Ausschreibung beteiligen würden • Vereinbarung mit dem Betriebsrat
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> • Evtl. Mehrkosten der innovationsorientierten Beschaffung • Evtl. Mehrkosten der Fahrzeuge • Evtl. Mehrkosten im Betrieb der Fahrzeuge • Kosten für die Begleitung des Pilotprojekts

Begründung: Vor allem die eigene Flotte der ASFINAG stellt ein enormes Potential für die Erprobung von Technologien im Bereich der vernetzten Fahrzeuge dar. Daher liegt die Empfehlung nahe, im Rahmen einer innovationsorientierten Beschaffung darauf zu achten, dass die Fahrzeuge die Fähigkeit aufweisen, Daten im laufenden Betrieb für Pilotversuche zur Verfügung zu stellen. Dies kann entweder durch die Öffnung von Schnittstellen durch den

OEM geschehen, oder als Nachrüstung durch eine Kooperation mit einem geeigneten Dienstleister.

5 ARBEITSPAKET 4: SYSTEMINTEGRATION

5.1 Zusammenfassung der Ergebnisse

Das Arbeitspaket 4 hat zum Ziel, eine geeignete Systemarchitektur für die Integration der fahrzeugseitig erhobenen Daten bei der ASFINAG zu ermitteln. Hierfür war geplant eine Bestandsaufnahme (4.1) durchzuführen, welche es ermöglicht, die genaue Schnittstelle bzw. das System zu identifizieren, welches für die Integration besonders geeignet ist. Für dieses System sollte im Anschluss (4.2) eine Systemarchitekturbeschreibung erstellt werden.

Während des Projekts ergab sich bei der Erarbeitung des Arbeitspakets 4 eine notwendige Anpassung. In Abstimmung mit der ASFINAG lag der Fokus der Systemintegration weniger auf den notwendigen technischen Komponenten als vielmehr auf den möglichen Informationen, welche aus den während der Evaluierung (AP 2) gesammelten xFC-Daten extrahiert werden können. In weiterer Folge wurden diese gewonnenen Informationen als sogenannte „erweiterte Informationen“ für eine Integration in die Systeme der ASFINAG bereitgestellt.

(AP 4) Systemarchitektur für die Integration der fahrzeugseitig erhobenen Daten in Systeme der ASFINAG	
(Z 4)	Im Vorhaben soll eine Systemarchitektur für die effiziente Integration der Daten von fahrzeugseitigen Sensoren geschaffen werden.
(4.1)	Bestandsaufnahme Systeme ASFINAG
(4.2)	Erstellen der Systemarchitekturbeschreibung
(D 4)	Systemarchitekturbeschreibung für die Datenintegration der empfohlenen potentiell einsetzbaren Sensoren und Daten

Tabelle 28: Ziel (Z), Deliverable (D) und Teilaufgaben von Arbeitspaket (AP) 4

Im Detail wurde im Arbeitspakete 4 versucht, aus den innerhalb des Projekts CarSense aufgezeichneten xFC-Daten, relevante Informationen zu extrahieren, über Schnittstellen bereitzustellen und für die Integration in die Informationssysteme der ASFINAG bereitzustellen. Für die Datenaufbereitung wurde das bestehende FCD-System der Salzburg Research genutzt. Die Datensammlung und Informationsextraktion erfolgte daher auf den Servern der Salzburg Research. Der Bericht befasst sich daher mit der Schnittstelle zu diesem System, einer sinnvollen Datenstruktur für die extrahierten Information und die extrahierten Informationen selbst. Zusätzlich wurde während des Arbeitspakets 4 ein erneuter Feldtest durchgeführt, um die Eignung der erhaltenen erweiterten Informationen besser einschätzen zu können. Für das Erhaltungsmanagement wurde zur Aufzeichnung von

Bodenunebenheiten hierzu die Smartphone App RoadSense von drei Personen getestet und für die MSG wurden die xFC-Daten aus dem CAN-Bus dreier Fahrzeuge ausgewertet.

Im Zuge der Systemintegration wurde gezeigt, wie die aus CAN-Bus und Smartphone während der Evaluierung erfolgreich ausgelesenen Daten in die Systeme der ASFINAG integriert werden können. Grundlage der Integration bilden die sogenannten **erweiterten Informationen**. Das sind **lineare oder punktuelle Informationen**, die aus xFC-Daten extrahiert werden können. Für die Verortung wird jede erweiterte Information mittels Map-Matching auf den Straßengraphen der Graphenintegrationsplattform (GIP) referenziert. Ein Vorteil der angewendeten Methode für Map-Matching und Konvertierung ist dabei, dass die **Abschnitte**, für die die erweiterten Informationen gelten, **völlig frei gewählt** werden können. Die Verortung bezieht sich dabei immer auf ein Straßensegment bzw. einen GIP-Link, eine Fahrtrichtung und einen frei wählbaren relativen Offsetwert in Fahrtrichtung (Werte zwischen 0 und 1) für Start und Ende der Information.

Die exemplarisch umgesetzten **Typen** von erweiterten Informationen (siehe Tabelle 40, Tabelle 41) wurden in **Kategorien** (siehe Tabelle 39) für erweiterte Informationen zu Bewegungsmuster, Umwelt, Bewegung, Fahrzeug, Umweltbedingungen, Verkehrsbedingungen und Straßenbedingungen gruppiert. Die drei Letzten beinhalten bereits an **DATEX II angelehnte** erweiterte Informationen (Tabelle 41). Hierunter fallen zum Beispiel Informationen zu Starkregen, starkem Schneefall, Nebel, Staubereiche, Stauenden, Gefahrenstellen, starke punktuelle Unebenheiten, unebene Abschnitte und Glätte.

Da die ASFINAG vor allem an den veredelten Daten, also den erweiterten Informationen, interessiert ist, werden nicht die Rohdaten (GPS-Punktdateien mit xFC-Daten), sondern nur die erweiterten Informationen über eine **Schnittstelle** bereitgestellt. Der Zugriff erfolgt über **HTTP(s)-GET-Anfragen**, und die Datenkodierung erfolgt im **JSON-Format**. Um in Zukunft möglichst flexibel zu sein und gegebenenfalls Änderungen und Ergänzungen an den erweiterten Informationen vornehmen zu können, ist die Schnittstellendefinition generisch. Ein Teil der Schnittstelle – die **Metadatenchnittstelle** (siehe Punkt 5.3.3) – spezifiziert die in Verwendung befindlichen Kategorien, Typen, Attribute und Datentypen der erweiterten Informationen. Der andere Teil ist die **Echtzeitschnittstelle** (siehe Punkt 5.3.2) zu den erweiterten Informationen. Die grundlegende Struktur (vgl. Abbildung 2) der Echtzeitdaten ist ein **Container aus** sogenannten Befahrungen bzw. **Travels**. Ein Travel beschreibt dabei die Befahrung eines Straßensegments von einem Fahrzeug. Können aus dieser Befahrung **erweiterte Informationen** extrahiert werden, so werden diese als **Liste je Kategorie** an das Travel angehängt (vgl. Abbildung 17).

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass die vorgestellten erweiterten Informationen sowie die ausgearbeitete Datenschnittstelle für eine Integration von xFC-Daten eine ideale Schnittstelle zwischen ASFINAG und Datenquelle bildet. Rohdaten und veredelte Endbericht CarSense

Daten bleiben getrennt. Dies ist auch ein wesentlicher Aspekt der Datensicherheit sowie in Bezug auf die Anonymität der Daten. Außerdem ist die präsentierte Schnittstelle ein erstes Beispiel, wie zukünftige kommerzielle Datenintermediäre (z.B. TomTom oder Inrix), Fahrzeughersteller oder nationale Zugangspunkte Echtzeitdaten mit der ASFINAG Daten austauschen könnten. In all diesen Fällen ist aus heutiger Sicht nicht von einer Übermittlung der Rohdaten zu rechnen. Abschließend bleibt auch der Betrieb eines eigenen FCD-Systems durch die ASFINAG eine Möglichkeit. Auch hier ist die Trennung zwischen Rohdaten und veredelten Daten eine Voraussetzung, um das Vertrauen in die Datensicherheit und Privatsphäre zu fördern.

5.2 Hintergrund und Ziele

Für die Integration der erweiterten Informationen wurde aus dem FCD-System der Salzburg Research eine Schnittstelle bereitgestellt. Diese Schnittstelle (API) wurde weitgehend generisch und ausreichend flexibel definiert, um eine Vielzahl an unterschiedlichen Informationen übertragen zu können. Das heißt, die Schnittstelle stellt nicht nur die **Echtzeitinformationen** bereit, sondern auch die Definitionen dieser als **Metadaten**.

Für die Echtzeitinformationen werden die xFC-Daten auf den Straßengraphen der Graphenintegrationsplattform (GIP) referenziert. Das heißt, alle erweiterten Informationen (Abbildung 2) basieren auf einer Befahrung (Travel) von GIP-Links durch einzelne Fahrzeuge, wobei eine Befahrung eine ganze Liste an erweiterten Informationen (z.B. Umgebungstemperatur, Schlagloch, starkes Bremsen) produzieren kann. Zu Übertragungszwecken werden die einzelnen Befahrungen in einem Container zusammengefasst (TravelsContainer).

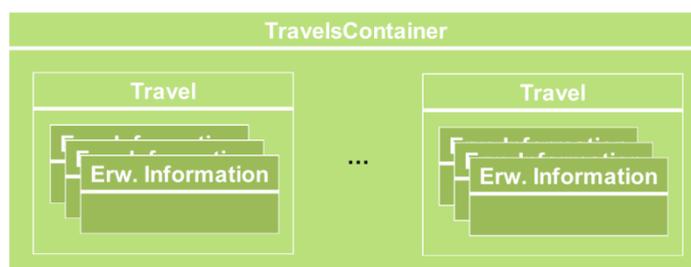


Abbildung 16: Übersicht zur Datenstruktur der Echtzeitdaten

Die Metadaten beinhalten **Kategorien**, **Typen** und **Attribute** der möglichen erweiterten Informationen. Zum Beispiel (Abbildung 17) gehört der Typ „Temperatur“ zur Kategorie „Umwelt“ und hat ein Attribut „Umgebungstemperatur“ mit einem Datentyp Float zur Kodierung der Temperatur in °C.

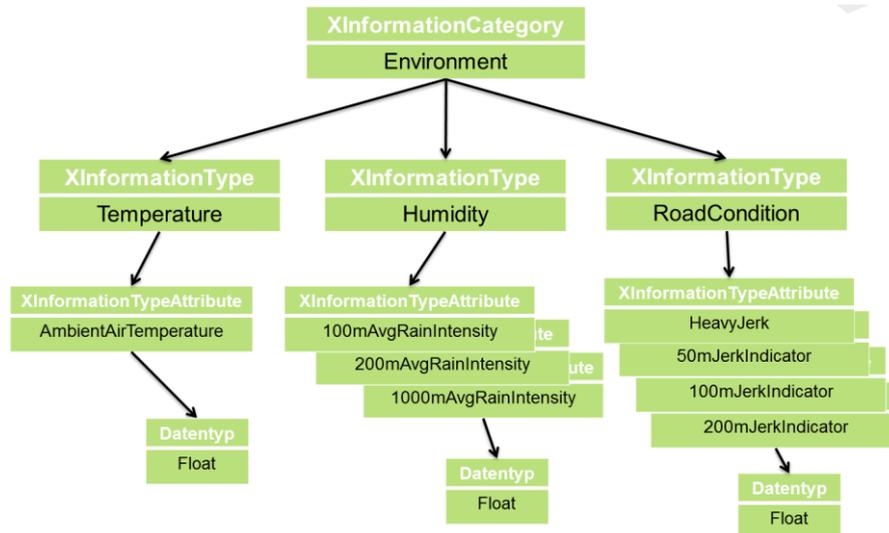


Abbildung 17: Beispiele für Kategorien, Typen und Attribute von erweiterten Informationen

Eine erweiterte Information hat neben Kategorie und Typ eine optionale Liste an Attributen. Diese Attribute bieten, wie z.B. die Umgebungstemperatur bei einer Glatteiswarnung, zusätzliche Informationen. Für die genaue Verortung verwenden erweiterten Informationen einen Start- und einen Endoffset. Der Start- und Endoffset ist eine Prozentangabe (Zahl zwischen 0 und 1) und bezieht sich dabei auf den Fortschritt am befahrenen Straßensegment in Fahrtrichtung. Mit diesem Konzept können sowohl Linieninformationen, z.B. Staubereiche, und auch Punktinformationen, z.B. Stauende, einfach abgebildet werden. Zusammen mit der dazugehörigen Befahrung können aus den erweiterten Informationen Ereignismeldungen generiert werden (Abbildung 18). Diese erweiterten Informationen bilden daher das eigentliche Ziel der Datenauswertung. Sie stellen den höchsten Grad der Datenveredelung innerhalb von CarSense dar.

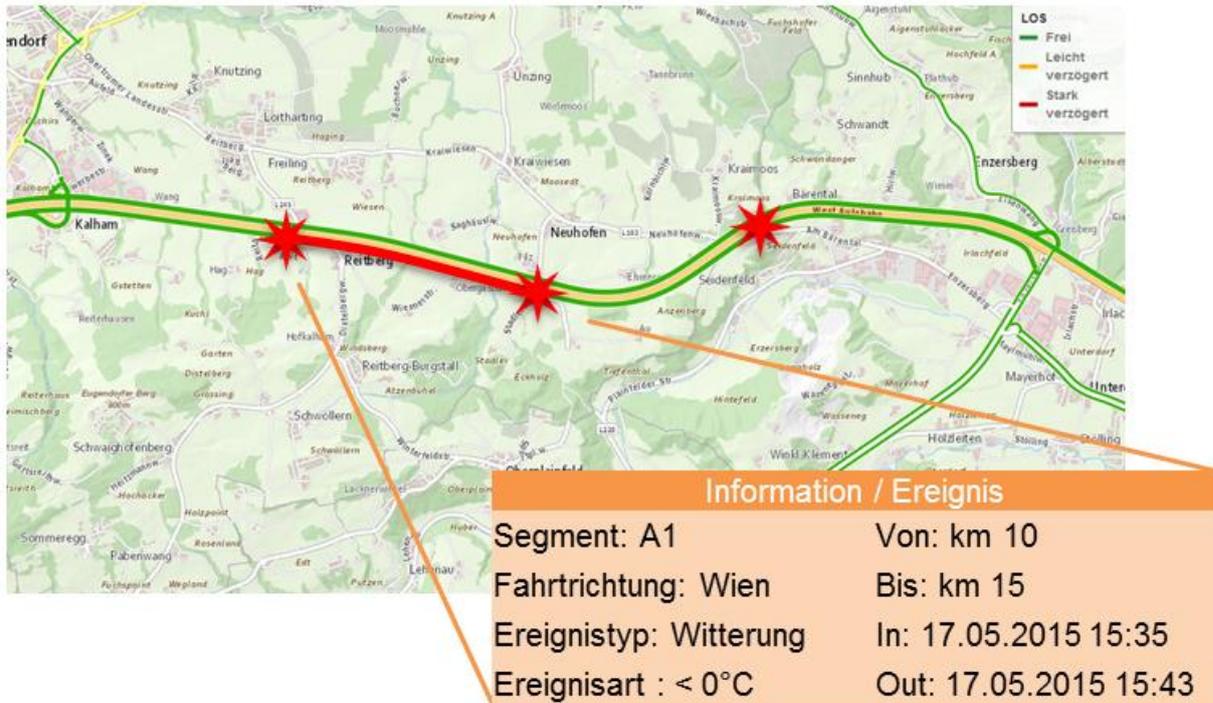


Abbildung 18: Ereignismeldung auf Basis einer erweiterten Information

5.3 Schnittstelle für die Übertragung von fahrzeugeseitigen Daten

5.3.1 Einleitung

Eine Straßensegmentbefahrung, kurz **Befahrung** oder **Travel** genannt, ist eine Aggregation von FC-Daten auf einem (gerichteten) Link der GIP. Mittels Map-Matching wird hierzu die Folge der GPS-Lokalisierungen auf das zugrunde liegende Straßennetz, d.h. auf einen Graphen aus topologisch verbundenen Straßensegmenten, projiziert. Für die Zuordnung der FC-Daten auf den Straßengraphen wird jeweils die aktuelle Version der Österreich GIP verwendet. Eine Befahrung bildet ab, wie sich ein einzelnes Fahrzeug über ein Straßensegment bewegt hat. Die Befahrung bildet die Grundlage für alle weiteren ergänzenden Daten und beinhaltet allgemeine Informationen, welche für die Aggregationsstufe eines gesamten Straßensegments sinnvoll sind. Hierunter fallen z.B. Eintrittszeit, Austrittszeit, die Zeit die das Fahrzeug benötigt hat oder die mittlere Geschwindigkeit.

Neben den segmentbezogenen Informationen, die für eine gesamte Befahrung gültig sind, können über die API detailliertere Informationen zu der Befahrung bzw. einen Abschnitt der Befahrung übermittelt werden. Diese Informationen werden als **erweiterte Informationen** bezeichnet. Beispiele für erweiterte Informationen wären z.B. Durchschnitte von xFCD-Werte, die ein Fahrzeug auf diesem Segment übermittelt hat oder Bewegungsmuster, die z.B. das Fahr- / Stillstandsverhalten des Fahrzeugs innerhalb des Segments näher beschreiben.

Charakteristisch für diese Informationen ist, dass sie einer Befahrung zugeordnet sind und entweder eine punktuelle oder lineare Information auf dem Straßensegment beschreiben.

Da es sich bei den erweiterten Informationen um semantisch unterschiedliche Informationen handeln kann, werden diese Informationen im Datenmodell kategorisiert ausgeliefert. Beispiele sind xFCD-basierte Daten wie Außentemperatur oder Bewegungsmuster. Innerhalb einer semantischen Gruppe werden die Datensätze weiter über Typen ausgeprägt. Z.B. hat die Gruppe Bewegungsmuster einen Typ für Stop&Go-Verkehr und einen für Einzelstopps. Alle Typen verfügen über eine Reihe von gemeinsamen Attributen, wie z.B. die räumliche Gültigkeit der Informationen. Typen können sich aber auch innerhalb einer Kategorie strukturell unterscheiden. Die Information über verfügbare Kategorien, deren Typen und der Attributausprägung dieser Typen werden über eine entsprechende **Metadaten-API** bereitgestellt.

Aus technischer Sicht werden die Abfragen als einfache HTTP(s)-GET-Anfragen durchgeführt. Entsprechende Parameter werden, wenn nötig, als URL-Parameter spezifiziert. Als Datenformat wird von den APIs derzeit JSON unterstützt.

5.3.2 Echtzeitinformationen

HTTP-GET-Abfragen: `https://{hostname}/v1_0/fcd/travels?`

Parameter:

- *querytimestamp*: **Number (long)**

Zeitpunkt der letzten erfolgreichen Anfrage als Unix-Timestamp (Zeitzone UTC). Daten werden ab diesem Zeitpunkt übermittelt. Es handelt sich hierbei um den Zeitpunkt des Eintreffens der Daten im System und nicht dem Startzeitpunkt der Messung!

Anlaufscenario: in diesem Fall ist der *querytimestamp* noch nicht bekannt. Eine parameterlose Anfrage führt dazu, dass Daten des maximalen Zeitfensters in die Vergangenheit geliefert werden.

Liegt der Parameter *querytimestamp* weiter in der Vergangenheit, wird ebenso nur das maximal erlaubte Zeitfenster an Daten zurückgeliefert.

Maximales Zeitfenster: **30 Minuten**

Response: Antwortobjekt stellt einen Container (Tabelle 29) mit einer Liste von Befahrungen (Tabelle 30) und einer jeweiligen Liste von erweiterten Information dar (Tabelle 31) dar.

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
queryTimestamp	Number (long)	Zeitstempel wann das Ergebnis produziert wurde. Definiert zeitliche Grenze, es können keine neuere Daten als dieser Zeitstempel enthalten sein. Wird als Parameter für die nächste Anfrage verwendet, um eine lückenlose Anfrage der Daten zu gewährleisten.
starttimestamp	Number (long)	Zeitstempel der unteren Grenze des Zeitfensters. Es können keine älteren Daten als dieser Zeitstempel enthalten sein.
travels	Array von Travel Objekten	Zeitstempel der unteren Grenze des Zeitfensters. Es können keine älteren Daten als dieser Zeitstempel enthalten sein.

Tabelle 29: JSON-Definition für TravelsContainer

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
startTimestamp	Number (long)	Startzeitpunkt der Befahrung, Eintritt des Fahrzeugs in den Link, linear referenziert.
endTimestamp	Number (long)	Endzeitpunkt der Befahrung, Austritt des Fahrzeugs aus dem Link bzw. Zeitpunkt der letzten Position wenn Link noch nicht vollständig befahren wurde.
v	Number (float)	Durchschnittsgeschwindigkeit der Befahrung des Links durch das Fahrzeug.
duration	Number (long)	Dauer der Befahrung des Fahrzeugs in Sekunden.
fleetType	Number (short)	Typ der Flotte, der das Fahrzeug zugeordnet ist. Mögliche Werte können über die Metadaten API für FCD abgerufen werden (siehe Flotten
avgSamplingRate	Number (float)	Durchschnittliche GPS Abtastrate (in Sekunden) der Teiltrajektorie die diese Befahrung erzeugt hat.
linkId	Number (long)	ID des Links
direction	Boolean	Befahrung in Digitalisierungsrichtung oder entgegen.
valid	Boolean	true: Link wurde bereits vollständig befahren und das Travel ist valide. False: Link wurde noch nicht vollständig befahren und das Travel kann sich ändern.

(XInformationCat1) <i>Property Name entspricht dem Namen der Category (z.B. motionpatterns)</i>	Array von XInformation-Objekten.	Liste von XInformation-Objekten der Category 1.
(XInformationCat2) <i>Property Name entspricht dem Namen der Category (z.B. xfcd)</i>	Array von XInformation-Objekten.	Liste von XInformation-Objekten der Category 2.
...		
(XInformationCatN) <i>Property Name entspricht dem Namen der Category</i>	Array von XInformation-Objekten.	Liste von XInformation-Objekten der Category N.

Tabelle 30: JSON-Definition für Travel

Anmerkung: Es können beliebig viele Listen von XInformation-Objekten vorhanden sein. Als Eigenschaftsname wird jeweils die Kategorie verwendet (siehe Abschnitt 0).

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
type	Number (int)	Id des Typs der XInformation. Bezieht sich auf den Wert der in der Metadaten API (siehe Abschnitt 0) ausgeliefert wird.
startOffset	Number (float)	Offset zwischen 0.0 und 1.0. Gibt den Startpunkt am Straßensegment an auf den sich die XInformation bezieht.
endOffset	Number (float)	Offset zwischen 0.0 und 1.0. Gibt den Endpunkt am Straßensegment an auf den sich die XInformation bezieht.

Tabelle 31: JSON-Definition für XInformation-Basisobjekt

Ausprägungen der XInformation-Objekte:

Die konkrete Ausprägung der XInformation-Objekte kann über die Metadaten-API ermittelt werden. Über die Typinformation (in Kombination der Kategorie in welcher die XInformation enthalten ist) kann im Metadatenservice abgefragt werden, welche weiteren Attribute für dieses Objekt vorhanden sein müssen / können.

Anmerkung:

- Identifier Start- und Endoffset bedeutet, dass sich die Information auf diesen Punkt am Straßensegment bezieht.
- startOffset 0.0 und endOffset 1.0 bedeutet die Information bezieht sich auf das komplette Straßensegment.

Beispiel Antwort:

```

{
  "queryTimestamp": 123225000,
  "startTimestamp": 123000000,
  "travels": [
    {
      "startTimestamp": 123100000,
      "endTimestamp": 123160000,
      "v": 60,
      "duration": 27,
      "fleetType": 2,
      "avgSamplingRate": 1.1,
      "linkId": 25,
      "direction": true,
      "valid": true,
      "motionPatterns": [
        {
          "type": 1,
          "startOffset": 0.0,
          "endOffset": 1.0,
          "delay": 30
        }
      ],
      "xfcd": [
        {
          "type": 1,
          "startOffset": 0.0,
          "endOffset": 1.0,
        }
      ]
    },
    {
      "startTimestamp": 123100000,
      "endTimestamp": 123160000,
      "v": 60,
      "duration": 20,
      "fleetType": 2,
      "avgSamplingRate": 8.7,
      "linkId": 25,
      "direction": false,
      "valid": true,
      "motionPatterns": [
        {
          "type": 2,
          "startOffset": 0.0,
          "endOffset": 0.5,
          "delay": 17
        }
      ],
      "xfcd": [
        {
          "type": -1,
          "startOffset": 0.5,
          "endOffset": 1.0,
          "delay": 0
        }
      ]
    }
  ]
},
{
  "xfcd": [
    {
      "type": 1,
      "startOffset": 0.0,
      "endOffset": 1.0,
      "xfcon": 1.2,
      "xespd": 30,
      "xatmp": 1.0
    },
    {
      "type": 2,
      "startOffset": 0.2,
      "endOffset": 0.4,
      "value": 1
    },
    {
      "type": 2,
      "startOffset": 0.4,
      "endOffset": 1.0,
      "value": 2
    }
  ]
}

```

5.3.3 Metadaten

Erweiterte Informationen

HTTP-GET-Abfragen: `https://{hostname}/v1_0/fcd/xinformation`

Parameter: -

Response: Antwortobjekt stellt einen Container mit den Metadaten zu Kategorie (Tabelle 32), Typ (Tabelle 33), Attribute (Tabelle 34) und Datentyp (Tabelle 35). Die Wertebereiche der Datentypen sind in Tabelle 36 dargestellt.

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
Id	Number (int)	ID der Kategorie.
Name	String	Name der Kategorie.
Description	String	Beschreibt die Bedeutung der in dieser Kategorie zusammengefassten Informationen.
Types	Array von XInformationType-Objekten	Liste der dieser Kategorie zugeordneten Typen.

Tabelle 32: JSON-Definition für xInformationCategory

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
Id	Number (int)	ID der Kategorie.
Name	String	Name / Kurzbezeichnung des Typs.
Description	String	Beschreibt die Bedeutung der Informationen in diesem Typ.
Attributes	Array von XInformationTypeAttribute-Objekten	Liste der Attribute über die dieser Type verfügt.

Tabelle 33: JSON-Definition für xInformationType

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
name	String	Name des Attributes.
description	String	Beschreibung über Bedeutung, Einheiten, erlaubte Zahlenwerte, ... des Attributes.
dataType	DataType-Objekt	Datentype des Attributes.
optional	Boolean	true wenn es sich um ein optionales Attribut handelt das nicht zwingend enthalten sein muss.

Tabelle 34: JSON-Definition für xInformationTypeAttribute

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
value	String	Datentype als String. Derzeit Unterstützt werden die Datentypen: <ul style="list-style-type: none"> • String • boolean • float • double • short • int • long

Tabelle 35: JSON-Definition für DataTyp**e**

Datentyp	Wertebereich
String	Zeichenkette, derzeit ohne Größenlimitierung.
boolean	true / false
short	16-bit-Zahlenwert (signed) Wertebereich: -32.768 bis 32.767
integer	32-bit-Zahlenwert (signed) Wertebereich: -2^{31} bis $2^{31} - 1$
long	64-bit-Zahlenwert (signed) Wertebereich: -2^{63} bis $2^{63} - 1$
float	Single-precision 32-bit IEEE 754 Floating Point
double	Single-precision 64-bit IEEE 754 Floating Point

Tabelle 36: Datentypen und Wertebereiche

Beispiel Antwort:

```
{
  "xInformationCategories": [
    {
      "id": 1,
      "name": "motionpatterns",
      "description": "description of motionpattern category",
      "xInformationTypes": [
        {
          "id": 1,
          "name": "single stop",
          "description": "pattern indicates a single stop of the vehicle on the referenced part of the segment",
          "xInformationTypeAttributes": [
            {
              "name": "delay",
              "description": "delay of the vehicle on this part of the segment in seconds",
              "dataType": {
                "value": "long"
              },
              "optional": false
            }
          ]
        },
        {
          "id": 2,
          "name": "delayed",
          "description": "pattern indicates a delay on the referenced part of the segment",
          "xInformationTypeAttributes": [
            {
              "name": "delay",
              "description": "delay of the vehicle on this part of the segment in seconds",
              "dataType": {
                "value": "long"
              },
              "optional": false
            }
          ]
        }
      ]
    }
  ],
  {
    "id": 2,
    "name": "xfcd",
    "description": "description of xfcd category",
    "xInformationTypes": [
      {
        "id": 1,
        "name": "averages",
        "description": "average xfcd values on the segment",
        "xInformationTypeAttributes": [
          {
            "name": "xfcon",
            "description": "average full consumption of the vehicle on the segment in micro liter",
            "dataType": {
              "value": "float"
            },
            "optional": true
          },
          {
            "name": "xespd",
            "description": "average engine speed of the vehicle on the segment in rotations per minute",
            "dataType": {
              "value": "short"
            },
            "optional": true
          },
          {
            "name": "xspeed",
            "description": "average speed of the vehicle on the segment in kilometers per hour",
            "dataType": {
              "value": "float"
            },
            "optional": true
          },
          {
            "name": "xrain",
            "description": "average value of rain sensor values on the segment. Scale from 0 to 7",
            "dataType": {
              "value": "short"
            },
            "optional": true
          }
        ]
      }
    ]
  },
  {
    "id": 2,
    "name": "wiper",
    "description": "wiper activity. Wiper was active between the start- and endoffset in the indicated intensity",
    "xInformationTypeAttributes": [
      {
        "name": "value",
        "description": "Allowed values 1 and 2. value 1 means low wiper intensity, value 2 means high wiper intensity",
        "dataType": {
          "value": "short"
        },
        "optional": false
      }
    ]
  }
]
}
```

Flottentypen

HTTP-GET-Abfragen: https://{hostname}/v1_0/fcd/fleettypes

Parameter: -

Response: Json-Objekt mit einem Array von FleetTypes-Objekten (Tabelle 37).

Datenfeld	Datentyp	Beschreibung
id	Number (long)	ID (Key) des Eintrags
busLane	Boolean	Dürfen Fahrzeuge der Flotte die Busspur befahren. Ist auch auf true gesetzt wenn es prinzipiell möglich ist, z.B. bei Smartphones.
ambulance	Boolean	Gibt an, dass es sich bei diesen Fahrzeugen um Einsatzkräfte handelt.
publicTransport	Boolean	Gibt an, dass es sich bei diesen Fahrzeugen um öffentliche Verkehrsmittel (z.B. Busse) handelt

Tabelle 37: JSON-Definition für FleetType

Beispiel Antwort:

```
{
  "fleetTypes": [
    {
      "id": 1,
      "busLane": false,
      "ambulance": false,
      "publicTransport": false
    },
    {
      "id": 2,
      "busLane": true,
      "ambulance": false,
      "publicTransport": false
    },
    ...
    {
      "id": 6,
      "busLane": true,
      "ambulance": false,
      "publicTransport": true
    }
  ]
}
```

5.4 Erweiterte Informationen

5.4.1 Einleitung

Die Datengrundlage für die Extraktion der erweiterten Informationen bilden zum einen die xFC-Daten aus der Smartphone App RoadSense (hauptsächlich für die Erhaltungsmanagement) und die xFC-Daten aus dem CAN-Bus (hauptsächlich für Verkehrsmanagement und Verkehrsinformation). Erste betreffen unterschiedliche Unebenheitsinformationen (Abbildung 19), die während der Fahrt mittels Smartphones Endbericht CarSense

aufgezeichnet werden; zweite ermöglichen Rückschlüsse über sicherheitsrelevante Ereignisse, Verkehrszustände und Ähnliches.

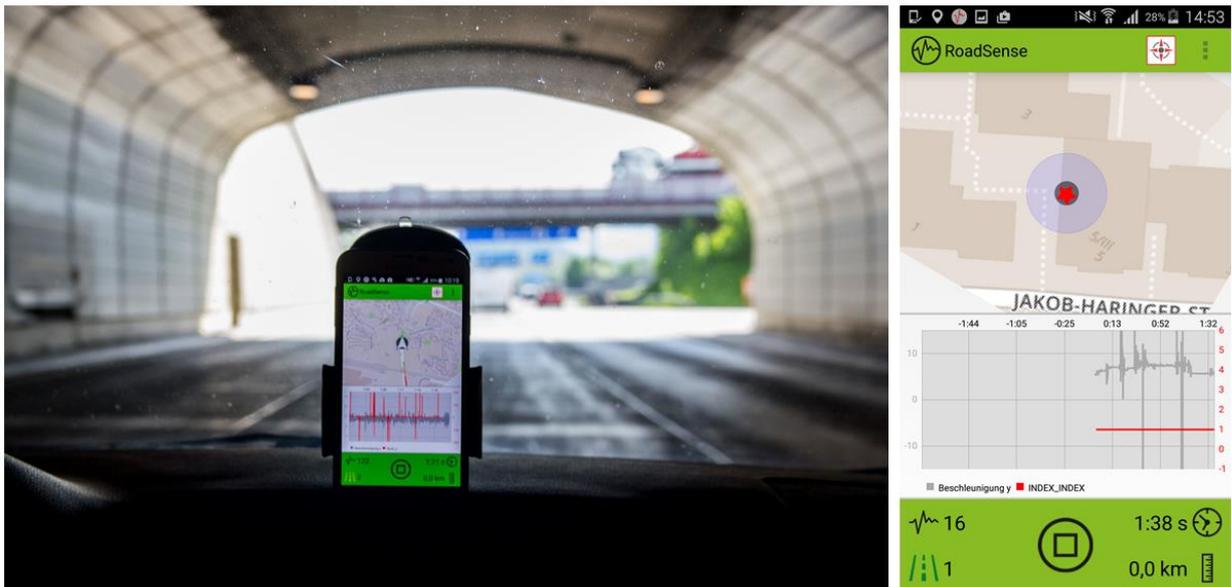


Abbildung 19: Einsatz (links) und Screenshot (rechts) der Smartphone App RoadSense

Die Smartphone App RoadSense verwendet für die Auswertung die Vertikalbeschleunigung als Grundlage. Hieraus wird der physikalische Ruck [m/s^3] abgeleitet und zu einem Index (Klassen 1 bis 5 für „sehr gut“ bis „sehr schlecht“) verarbeitet. Der Index berücksichtigt sowohl Stärke als auch Anzahl von Schlägen innerhalb eines X-Meter-Abschnitts. Der CAN-Bus liefert hingegen 13 Rohwerte (Tabelle 3), welche im Anschluss mit verschiedenen Algorithmen weiter verarbeitet werden. Für weitere Details zu den aufgezeichneten Daten und der Verarbeitung siehe Evaluierungsbericht (AP 2).

In den folgenden Abschnitten wird näher auf die extrahierten Informationen eingegangen.

xFCD-Bezeichnung	Daten	Einheit
xspeed	Fahrzeuggeschwindigkeit	km/h
xespd	Motordrehzahl	UpM
xfcon	Akkumulierter Verbrauch	µl
xbrlt	Bremslicht	Flag
xdind	Blinker (links, rechts)	Modus
xdibm	Abblendlicht	Flag
xfubm	Fernlicht	Flag
xrflj	Nebelschlussleuchte	Flag
xffl	Nebelscheinwerfer	Flag
xwrlt	Warnblinkanlage	Flag
xwiper	Scheibenwischer	Flag, Stufe
xrain	Regensensor	Stufe
xatmp	Außentemperatur	°C

Tabelle 38: Daten aus dem Comfort-CAN der Volkswagen AG.

5.4.2 Kategorien

Die extrahierten erweiterten Informationen wurden nach inhaltlichen Gesichtspunkten gruppiert, um deren weitere Verarbeitung zu erleichtern. Für diese Gruppierung wurden die Kategorien von Tabelle 39 gewählt. Hierbei wird zwischen allgemeinen erweiterten Information und Informationen, welche an DATEX II angelehnt sind, unterschieden.

Kategorie	Beispiele von erweiterten Informationen
Allgemeine erweiterte Informationen	
Environment	Niederschlag, Umgebungstemperatur
Motion	Verbrauch, Motorumdrehungen, Bremslicht
Vehicle	Blinkeraktivität, Scheibenwischeraktivität
An DATEX II angelehnte erweiterte Informationen	
Environment Condition	Starker Regen oder Schneefall, Nebel
Traffic Condition	Staubereich, Stauende
Road Condition	Starke Unebenheiten, Glätteiswarnung

Tabelle 39: Kategorien der erweiterten Information

5.4.3 Typen

Für die im vorherigen Abschnitt angeführten Kategorien zeigen Tabelle 40 und Tabelle 41 die aus den Daten extrahierten erweiterten Informationen.

Kategorie	Typ	Attribut	Datentyp
Environment	Temperature	AmbientAirTemperature	Float
Environment	Humidity	100mAvgRainIntensity	Float
Environment	Humidity	200mAvgRainIntensity	Float
Environment	Humidity	1000mAvgRainIntensity	Float
Environment	RoadCondition	HeavyJerk	Float
Environment	RoadCondition	50mAvgJerkIndicator	Float
Environment	RoadCondition	100mAvgJerkIndicator	Float
Environment	RoadCondition	200mAvgJerkIndicator	Float
Motion	Engine	50mAvgEngineSpeed	Integer
		50mFuelConsumption	Integer
Motion	Speed	50mAvgVehicleSpeed	Float
Motion	Speed	SpeedBelow30kmh	Float
Motion	Speed	Brake	
Vehicle	Indicators	DirectionIndicatorLeft	
Vehicle	Indicators	DirectionIndicatorRight	
Vehicle	Indicators	WarningLight	
Vehicle	Indicators	FogLightRear	
Vehicle	Indicators	FogLightFront	
Vehicle	Indicators	FrontLightDimmed	
Vehicle	Indicators	FrontLightFull	
Vehicle	Wiper	FrontWiper (slow, fast, very fast)	Short

Tabelle 40: Allgemeine erweiterte Information

Kategorie	Typ	Attribut	Datentyp
EnvironmentConditions	Weather	HeavyRain	Float
EnvironmentConditions	Weather	HeavySnowfall	Float
EnvironmentConditions	Weather	Fog	
TrafficConditions	Flow	QueuingTraffic	
TrafficConditions	Flow	EndOfQueue	
TrafficConditions	Flow	Hazard	
RoadConditions	Surface	HeavyJerk	
RoadConditions	Surface	JerkySegment	
RoadConditions	Surface	IcyRoadWarning	

Tabelle 41: An DATEX II angelehnte erweiterte Information

5.4.4 Attribute

Zur näheren Beschreibung der erweiterten Informationen dienen die schon erwähnten Attribute. Die Bestimmung der Attributwerte erfolgt anhand der Regeln in Tabelle 42 und

Tabelle 43 auf Basis der xFC-Daten aus der Smartphone App RoadSense und aus dem CAN-Bus. Die Berechnung der an DATEX II angelehnten erweiterten Informationen basiert auf den allgemeinen erweiterten Informationen. Die Berechnung ist daher zweistufig.

Attribut	Rohwert	Berechnungsmethode
AmbientAirTemperature	xatmp	Absoluter Wert, linearer Bezug mit Offset bei Wertwechsel, Werte als Ganzzahl, zwischen +4 und -4 Grad 0,5-Schritte
100mAvgRainIntensity	xrain	Distanz-basierter Mittelwert, 100 Meter Länge, linearer Bezug mit Offset, Werte mit einer Nachkommastelle
200mAvgRainIntensity	xrain	Distanz-basierter Mittelwert, 200 Meter Länge, linearer Bezug mit Offset, Werte mit einer Nachkommastelle
1000mAvgRainIntensity	xrain	Distanz-basierter Mittelwert, 1000 Meter Länge, linearer Bezug mit Offset, Werte mit einer Nachkommastelle
HeavyJerk	xjerk	m/s ³ , Ganzzahl, Punktbezug mit Offset
50mAvgJerkIndicator	xjerk	Distanz-basierter Mittelwert der Jerks, 50 Meter Länge, Mittelwertbildung nach Richard's Algorithmus, linearer Bezug mit Offset
100mAvgJerkIndicator	xjerk	Distanz-basierter Mittelwert der Jerks, 50 Meter Länge, Mittelwertbildung nach Richard's Algorithmus, linearer Bezug mit Offset
200mAvgJerkIndicator	xjerk	Distanz-basierter Mittelwert der Jerks, 50 Meter Länge, Mittelwertbildung nach Richard's Algorithmus, linearer Bezug mit Offset
50mAvgEngineSpeed	xespd	Distanz-basierter Mittelwert, 50 Meter Länge, Ganzzahl, linearer Bezug mit Offset
50mFuelConsumption	xfcon	Distanz-basierte Summe in µl, 50 Meter Länge, Ganzzahl, linearer Bezug mit Offset
50mAvgVehicleSpeed	xspeed	Distanz-basierter Mittelwert, 50 Meter Länge, eine Nachkommastelle, linearer Bezug mit Offset
SpeedBelow30kmh	xspeed	Distanz-basierter Mittelwert, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset, eine Nachkommastelle
Brake	xbrlt	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
DirectionIndicatorLeft	xdind	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
DirectionIndicatorRight	xdind	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
WarningLight	xwrlt	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
FogLightRear	xrfl	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
FogLightFront	xffl	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
FrontLightDimmed	xdibm	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
FrontLightFull	xfubm	Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset
FrontWiper	xwiper	Slow (1): Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset, (xwiper == 21x 22x) Fast (2): Boolscher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung

der Bedingung, linearer Bezug mit Offset, (xwiper == 23x || 24x || 3xx)

Very Fast (3): Boolescher Wert true, Länge ergibt sich aus der Erfüllung der Bedingung, linearer Bezug mit Offset, (xwiper == 4xx)

Tabelle 42: Attribute der allgemeinen erweiterten Information sowie deren Berechnungsmethode

Attribut	Rohwert	Berechnungsmethode
HeavyRain	andere Attribute	(200mAvgRainIntensity > 3 FrontWiperVeryFast) && AmbientAirTemperature ≥ 2
HeavySnowfall	andere Attribute	(200mAvgRainIntensity > 3 FrontWiperVeryFast) && AmbientAirTemperature < 2
Fog	andere Attribute	FogLightRear
QueuingTraffic	andere Attribute	SpeedBelow30kmh
EndOfQueue	andere Attribute	First Coordinate of QueuingTraffic
Hazard	andere Attribute	WarningLight
HeavyJerk	andere Attribute	HeavyJerk ≥ 600 m/s ³
JerkySegment	andere Attribute	50mAvgJerkIndicator > 3
IcyRoadWarning	andere Attribute	AmbientAirTemperature < 3

Tabelle 43: Attribute der an DATEX II angelegten erweiterten Informationen sowie deren Berechnungsmethode

5.5 Ergebnisse der Feldtests

In den beiden vorherigen Abschnitten wurde mögliche erweiterte Informationen (Tabelle 40 und Tabelle 41) sowie deren Schnittstelle definiert. Innerhalb des Feldtests wurde versucht, die erweiterten Informationen in Echtzeit aus den Daten zu extrahieren, auf GIP-Links zu verorten und über die Schnittstelle der ASFINAG bereitzustellen.

5.5.1 Einleitung

Die für die Generierung der erweiterten Informationen benötigten Daten wurden auf zwei Arten gewonnen. Zum einen wurde über die bereits in der Evaluierungsphase (AP 2) eingebauten xFCD-Geräte zum Auslesen des CAN-Busses weiter verwendet. Zum anderen wurde für die Generierung der Längsunebenheitsinformationen (Smartphone, Vertikalbeschleunigung) eine eigne RoadSense App (Abbildung 19) für den Einsatz im Fahrzeug entwickelt.

Die RoadSense App wurde für drei Smartphones (Samsung S5) kalibriert und auf Abschnitten der A1 Westautobahn und A10 Tauernautobahn sowie zwischen Wien und Krems (A1, S33) von Friendly-Usern getestet. Der Feldtest wurde zwischen Mitte August und Ende September 2015 während des normalen Dienstbetriebs durchgeführt (Tabelle 44); es gab keine gesonderten Testfahrten. Für den Feldtest mussten die Smartphones in der Mitte der Windschutzscheibe, senkrecht montiert werden. Nach dem Start der App wurde mit der Aufzeichnung der Daten, also GPS-Positionen, Uhrzeit und Vertikalbeschleunigung, begonnen. Nähere Details zum Algorithmus und zur Berechnung des Indexes befindet sich im Evaluationsbericht unter Punkt 3.3. Die während der Fahrten generierten Daten wurden an das FCD-System der Salzburg Research übertragen, ausgewertet und für historische Trendanalysen abgespeichert. Weiteres wurden die Daten über die Schnittstelle als erweiterte Informationen in Echtzeit bereitgestellt (vgl. Tabelle 40 und Tabelle 41). Hierunter fallen die folgenden erweiterten Informationen:

- Environment – HeavyJerk
- Environment – 50mAvgJerkIndicator
- Environment – 100mAvgJerkIndicator
- Environment – 200mAvgJerkIndicator
- Road Condition – HeavyJerk
- Road Condition – JerkySegment

Für den Test der verbleibenden erweiterten Informationen wurden die Regeln für die Attributberechnung (Tabelle 42 und Tabelle 43) implementiert und in das FCD-System von Salzburg Research integriert. Da sich während der Evaluierung herausstellte, dass nur Daten der VW-Gruppe aus dem CAN-Bus ausgelesen werden konnten, wurde die Flotte um weitere VW-Fahrzeuge ergänzt. Zu dem bestehenden VW im Bereich der A1 Westautobahn kam Mitte Juli ein weiteres Gerät für einen Abschnitt der A2 Südbahn hinzu. Zusätzlich wurden Daten von Fahrzeugen aus der Salzburg Research-internen xFCD-Flotte für das Autobahnnetz bereitgestellt. Für den Feldtest musste von den Fahrern der Fahrzeuge nichts zusätzlich gemacht werden. Die xFCD-Geräte sind fix unter dem Armaturenbrett eingebaut und senden, wenn die Zündung eingeschaltet wird. Die Auswertung der Daten basiert aber auf den gesammelten Daten von Anfang August bis Ende September (Tabelle 44).

Befahrungen	Fahrzeuge	Anzahl	Länge	Seit
RoadSense App	3	238	7998 km	Mitte August
CAN-Bus	3	1045	20874 km	Anfang August

Tabelle 44: Anzahl und Länge der aufgezeichneten xFCD-Fahrten

5.5.2 Ergebnisse der RoadSense App

Das vorrangige Ziel des Feldtests war, festzustellen, ob die aus der RoadSense App extrahierten Daten geeignet sind, die Längsunebenheit zu beurteilen. Im Detail war das Ziel, **stärkere Stöße als Indikatoren für Schlaglöcher** oder ähnliche Unebenheiten zu extrahieren. Ein zusätzlicher **Index der Längsunebenheit** (Wert zwischen 1 und 5) auf Basis der Anzahl und der Stärke der Stöße sollte eine qualitative Bewertung von Autobahnabschnitten angeben. Letzte sollte dazu dienen, **Veränderungen über die Zeit** zu dokumentieren. Hinsichtlich des Indexes stellte sich die Frage, ob innerhalb des 1½-monatigen Feldtest ein wiederkehrendes Muster erkennbar ist, ob unterschiedlichen Fahrspuren erkennbar sind und welche Abschnittsgrößen sinnvoll erscheinen.

Der Extraktionsalgorithmus für die starken Stöße als Indikator für Schlaglöcher wurde bereits während der Evaluation in AP 2 ausführlich beschrieben. Als geeigneter Grenzwert für die Erkennung stellten sich 600 m/s³ heraus. Für den Feldtest war es daher notwendig, die Grenzwertüberschreitungen auf den Straßengraph zu referenzieren und entsprechende Punktereignisse zu extrahieren. Während des Feldtests wurden 32 Verdachtspunkte gefunden. Eine Detailanalyse zeigte, dass alle Verdachtspunkte trotz mehrmaliger Befahrungen nur einmal gefunden wurden. In 4 Fällen wurde ein weiterer Verdachtspunkt unmittelbar vor dem ersten gesetzt. Dieser Umstand lässt eher auf ein Nachschwingen als auf einen zusätzlichen Verdachtspunkt schließen. Nur in einem Fall wurde ein Verdachtspunkt in 4 getrennten Fahrten an annähernd der gleichen Stelle nahe der Ausfahrt Alt Lengbach, Richtung Linz auf der A1 Westautobahn verortet. Satellitenbilder legen für diese Position nahe, dass ein Übergang zwischen einem alten und einem neuen Fahrbahnbelag für die Ausschläge verantwortlich sein könnte.

Für die Trendauswertung des Indexes der Längsunebenheit zeigt Abbildung 20 einen Stapelplot von 9 chronologisch aufeinanderfolgenden Befahrungen über ein Straßensegment der A10 zwischen Werfen und Pfarrwerfen, Fahrtrichtung Villach. Als Abschnittsgröße zur Indexberechnung wurden 100 m gewählt. Die Pfeile zeigen grob die aus den GPS-Koordinaten manuell ermittelte gewählte Fahrspur. Aus der Abbildung ist zu erkennen, dass sich der Erhaltungszustand zwischen linker und rechter Fahrspur unterscheidet – was sich auch mit der Realität deckt. Eine exakte Übereinstimmung zwischen einzelnen Fahrten ist aber nicht zu erwarten, da bei unterschiedlichen Fahrten nicht immer die gleiche Spur genommen wird und Unebenheiten oft nur punktuell sind. Anders verhält es sich bei Fahrbahnübergängen und Querfugen. Diese Unebenheiten werden bei jeder Befahrung aufgezeichnet. Zum Beispiel, bei den stärkeren Unebenheiten zwischen 400 und 700 m befindet sich eine Brücke.

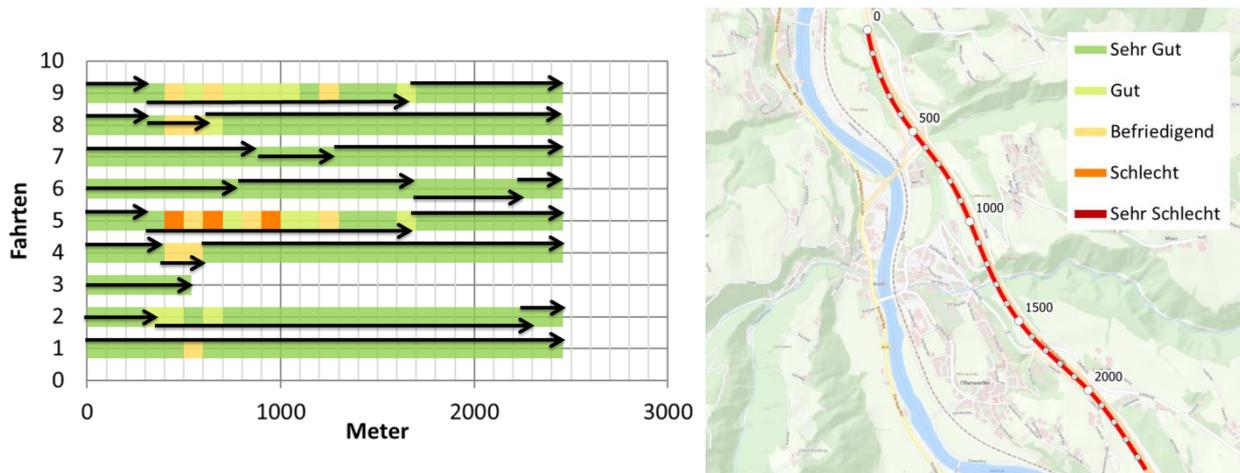


Abbildung 20: Index der Längsunebenheit für 100m-Abschnitte aus 9 Befahrungen für ein Straßensegment der A10 zwischen Werfen und Pfarrwerfen, Fahrtrichtung Villach

In Abbildung 21 werden für den gleichen Straßenabschnitt 33 Befahrungen für verschiedene Abschnittsgrößen (50, 100 und 200 m) verglichen. Auch hier ist bei den Abschnittsgrößen 100 m und 200 m eine Ähnlichkeit zu erkennen. Die 50m-Abschnitte sind hingegen wesentlich „chaotischer“. Neben der Spurwahl könnten einzelne Stöße auch durch die Genauigkeit von GPS-Signalen (~ 15 m) und der hohen Geschwindigkeit ($100 \text{ km/h} \hat{=} \sim 30 \text{ m/s}$) in verschiedenen Abschnitten verortet werden.

Die Abbildung 22 zeigt einen Straßenabschnitt auf der A1 zwischen Thalgau und Wallersee, Fahrtrichtung Salzburg. Hierbei ist zu erkennen, dass ohne eine spurgenaue Auswertung wenig Regelmäßigkeiten erkennbar sind. Auch die geringe Anzahl an Fahrten zeigen, dass der Wert in der Methode durch eine hohe Anzahl an Befahrungen und durch eine Bestimmbarkeit der gewählten Fahrspur gegeben ist. Zum Beispiel wurde bei der Fahrt Nr. 6 das gesamte Straßensegment auf der rechten Spur befahren, bei Nr. 7 hingegen links.

Durch den kurzen 1½-monatigen Feldversuch kann bezüglich eines Trends im Erhaltungszustand noch keine Aussage getroffen werden (vgl. Abbildung 21). Hierfür wäre ein Vergleich mit Daten nach dem Winter wesentlich zweckmäßiger.

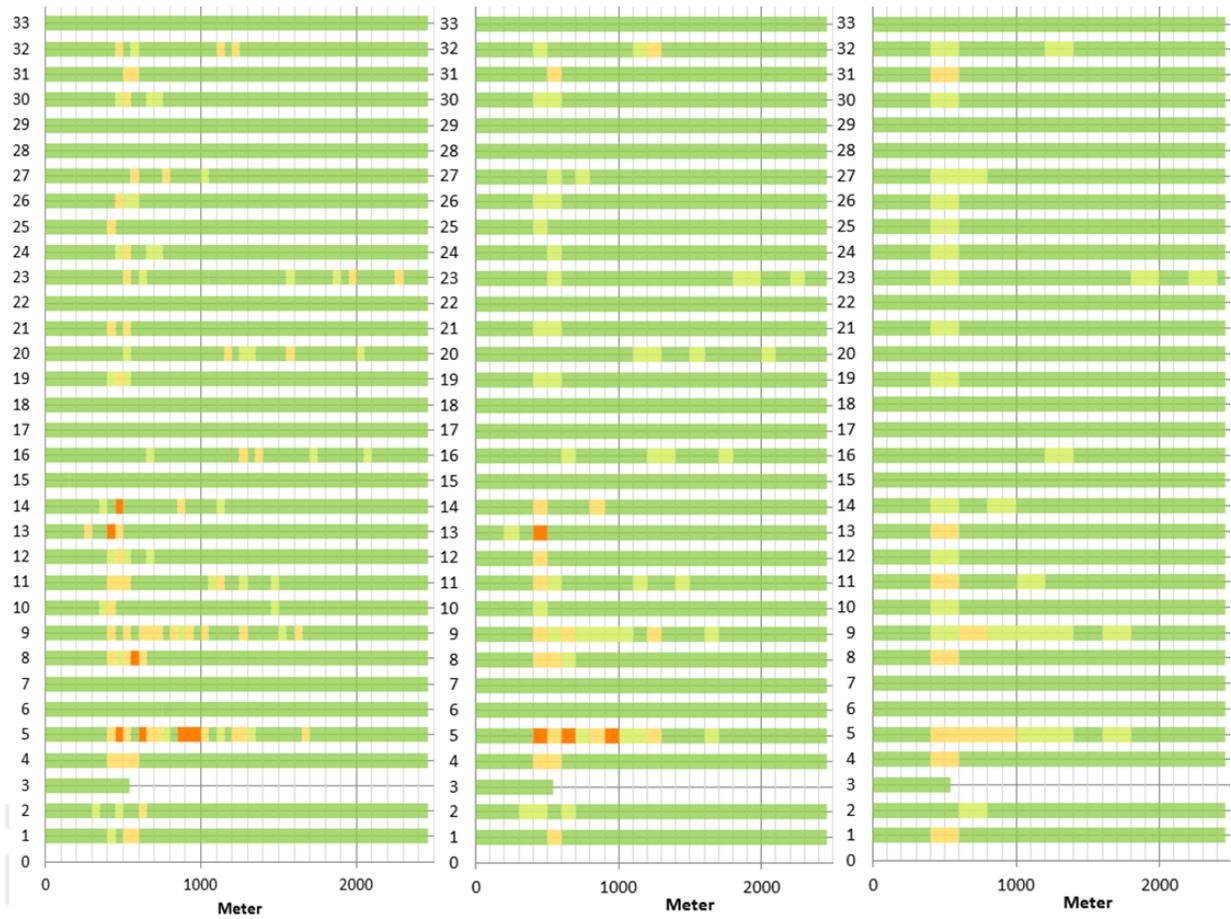


Abbildung 21: Index der Längsunebenheit für 50m-, 100m- und 200m-Abschnitte aus 33 Befahrungen für ein Straßensegment der A10 zwischen Werfen und Pfarwerfen, Fahrtrichtung Villach

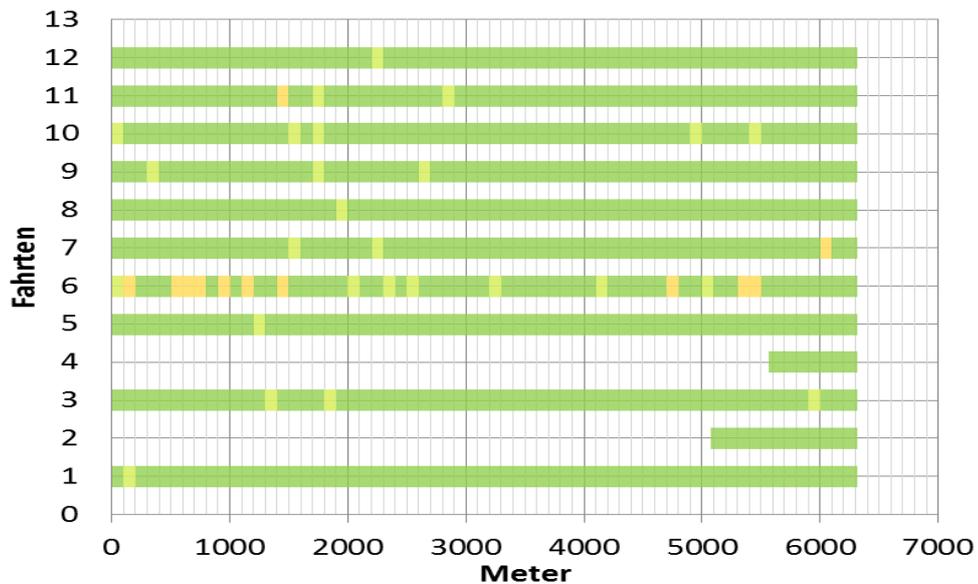


Abbildung 22: Index der Längsunebenheit für 100m-Abschnitte aus 12 Befahrungen für ein Straßensegment der A1 zwischen Thalgau und Wallersee, Fahrtrichtung Salzburg

Am Ende des Feldtests wurde eine Befragung der Friendly-User durchgeführt. Die einzelnen Friendly-User konnten sowohl Auskunft zu Bedienbarkeit als auch zur Plausibilität der Ergebnisse machen.

Hinsichtlich Bedienbarkeit kann festgehalten werden: Eine Montage in der Mitte der Windschutzscheibe wäre für einen Dauerbetrieb nicht optimal. Zum einen wird das Sichtfeld eingeschränkt und zum anderen ist eine Ablenkung durch die App nicht zu leugnen. Dies ist aber generell nicht problematischer, als bei Navigationsgeräten mit gleicher Montageart. Die Einfachheit der Bedienung und die Interpretation waren bei der RoadSense App sehr gut gelöst. Für ein Produktivsystem sollte lediglich eine Automatik (Start, Stopp, Pause) eingebaut werden. Das manuelle Ein- und Ausschalten der Datenaufzeichnung fördert das Vergessen. Auch die strikte senkrechte Montageanforderung sollte im Idealfall in einem Produktivsystem nicht vorhanden sein, da es eine Quelle von Fehlern darstellt. Bezüglich der Auswertungen ist Festzuhalten, dass auch von Seiten der Friendly-User eine spurgenaue Auswertung unbedingt notwendig ist, da die Fahrbahnen öfters getrennt saniert und sind unterschiedlich belastet werden (vgl. Abbildung 20).

Bezüglich der Relevanz der Ergebnisse ist festzuhalten, dass die Schlaglocherkennung aus ihrer Sicht von untergeordneter Priorität wäre. Hierfür eignet sich immer noch die regelmäßige Befahrung mit manueller, visueller Begutachtung. Dies bedeutet nicht, dass eine Erkennung von starken Schlägen generell nicht relevant ist. Eine regelmäßige Information von Verdachtspunkten, vor allem wenn diese von anderen Benutzern kommt, ist sinnvoll. Von großem Interesse und Nutzen wäre die Messbarkeit von starken Stößen an Fahrbahnübergängen (Querfugen, Brücken, Tunnels) und bei Schleppplatten. Diese Stöße können sonst nicht gemessen werden. Mit einer App wie RoadSense könnte aber ein interner und einfacher Nachweis für Unebenheiten erfolgen (zwischen Betrieb und Bau). Abschließend erwies sich noch der Index zur Längsunebenheit für die Friendly-User als nützliche Information, da diese vor allem mit der intendierten späteren Trendanalyse eine „gemessene“ Diskussionsgrundlage für die Kommunikation zwischen Erhaltung und Bau dienen kann. Ein ähnliches Nachweisproblem besteht lt. Friendly-User bei der Messung von Spurrinnen. Die Messung von Spurrinnen ist im laufenden Betrieb wegen des starken Verkehrsaufkommens sehr schwierig und gefährlich.

Eine abschließende Frage betraf noch die Datensicherheit und das Vertrauen, das die Daten nicht missbräuchlich verwendet werden. Die Friendly-User ist die Problematik der Datenaufzeichnung bewusst, trotzdem sehen sie eine permanente Aufzeichnung von Daten über eine App bzw. über CAN-Bus weniger problematisch, da die Daten nur für das Straßennetz der ASFINAG ausgewertet werden. Von Seiten der Friendly-User wird von einem verantwortungsbewussten Umgang mit den Daten ausgegangen. Für ein

Produktivsystem wird aber erwartet, dass die Datennutzung klar, z.B. mit dem Betriebsrat, geregelt wird.

5.5.3 Ergebnisse der CAN-Bus-Daten

Die Auswertung der CAN-Bus-Daten hatte zum Ziel, zu erkennen, ob die unterschiedlichen VW-Fahrzeuge die gewünschten Daten zur Generierung der erweiterten Informationen liefern und in Echtzeit verarbeitet und verortet werden können. Weiters diente der Feldtest als Eignungstest der Schnittstelle und als erstes Beispiel für die Integration von Echtzeitinformationen (punktuelle oder lineare Verortung) in ein System der ASFINAG.

Die auslesbaren Daten und technischen Hintergründe zum Thema „CAN-Bus“ wurden bereits im Evaluierungsbericht von AP 2 (Punkt 3.2) beschrieben. Das generelle Vorgehen bei der Echtzeitverarbeitung innerhalb des FCD-Systems von Salzburg Research ist unter Punkt 3.2.1 zu finden. Für den Feldtest war es lediglich notwendig, das FCD-System um die Ereignisextraktion und Verortung zu ergänzen und die veredelten Daten über die Schnittstelle bereitzustellen. Die größte Herausforderung die sich dabei ergab, war die korrekte Zuordnung der erweiterten Informationen zu den richtigen GIP-Links. Dies ist zwar generell kein Problem und gegenüber urbanen GPS-Trajektorien einfacher, kann aber trotzdem bei vielen Sonderfällen zu Problemen führen. Tunnels, Einhausungen und GPS-Abschattungen durch enge Täler erzeugen GPS-Signalausfälle und/oder erzeugen große Positionsfehler. Stopps auf Pannestreifen, Kehrtwenden, zur Autobahn parallel geführte Straßen (z.B. bei Parkplätzen), überschneidende Straßensegmente bei Autobahnknoten und Ausfahrten oder nicht komplett befahrene Straßensegmente erzeugen zu behandelnde Sonderfälle. Diese Sonderfälle müssen beim Map-Matching erkannt und anschließend behandelt werden, damit die extrahierten erweiterten Informationen korrekt und auf das richtige Straßensegment bzw. den richtigen GIP-Link bezogen werden.

Tabelle 45 gibt ein vereinfachtes Beispiel für vier erweiterte Informationen „Umgebungstemperatur“ (lt. Spezifikation: Kategorie 4, Typ 1) auf drei GIP-Links. Dabei ist erkennbar, dass auf dem GIP-Link 461002899 nach 93,71 % der zurückgelegten Segmentlänge die Temperatur von 17 auf 18 °C steigt. Die beiden anderen GIP-Links haben eine konstante Umgebungstemperatur.

Travel		Category		Extended Information			
Link Id	Direction		Category	Type	Start Offset	End Offset	Value
901419400	1		4	1	0,0000	1,0000	17
461002899	0		4	1	0,0000	0,9371	17
				1	0,9371	1,0000	18

461017426	1		4		1	0,0000	1,0000	18
-----------	---	--	---	--	---	--------	--------	----

Tabelle 45: Beispiel für vier erweiterte Informationen (Kategorie 4 entspricht Umwelt, Typ 1 entspricht Umgebungstemperatur) und den jeweils zugeordneten Travels (vgl. Abschnitt 4.2).

Da jedem der GIP-Links auch eine Geometrie in der Datenbank zugeordnet ist, können erweiterte Informationen auch in einem Geoinformationssystem (GIS) oder über einen Geo-Server visualisiert werden (Abbildung 23). Bei der Umgebungstemperatur handelt es sich um lineare erweiterte Informationen, bei denen sich Start- und Endoffset frei nach der gemessenen Temperatur richten.

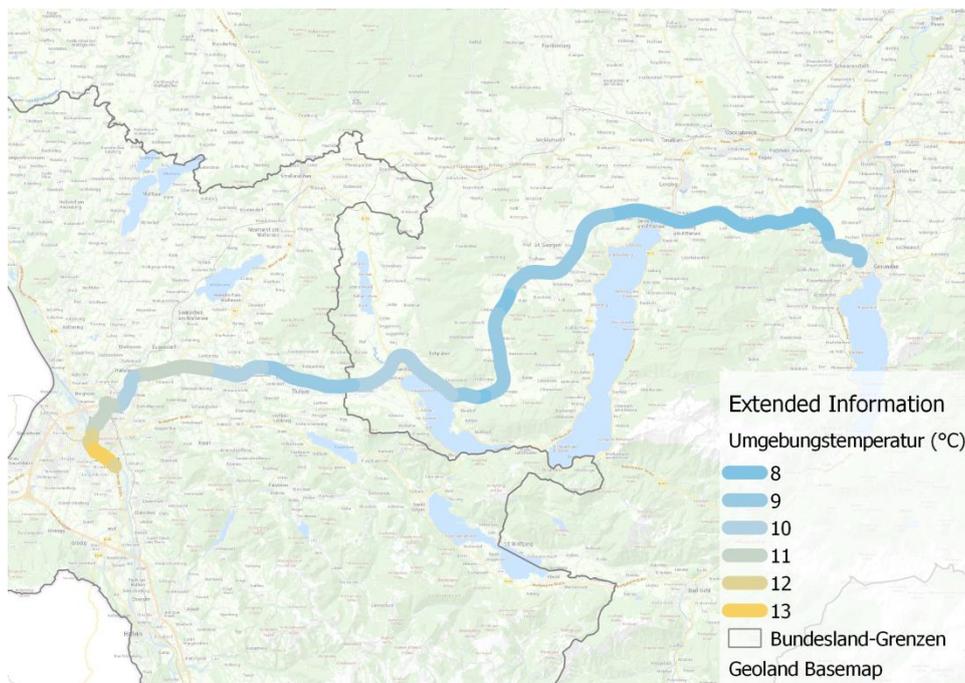


Abbildung 23: Auswertung von erweiterten Informationen vom Typ Umgebungstemperatur [°C] einer Fahrt von Salzburg nach Gmunden in einem GIS

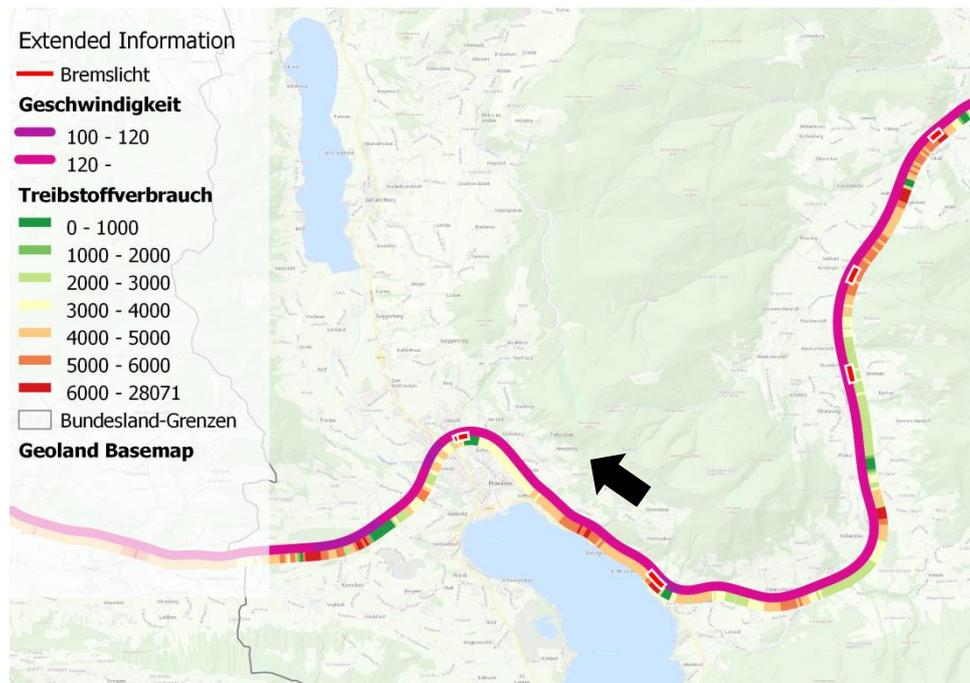


Abbildung 24: Auswertung von erweiterten Informationen vom Typ Engine, Kraftstoffverbrauch [$\mu\text{l}/50\text{m}$] und Geschwindigkeit [km/h] (beide für 50m-Abschnitte). Zusätzlich wird die Bremsaktivität dargestellt.

Alternativ werden erweiterte Informationen auch für fixe Abschnittsgrößen, z.B. 50m-Abschnitt, berechnet. Hierbei wird meist ein arithmetischer Mittelwert aller Messungen innerhalb des Abschnitts berechnet. Abbildung 24 zeigt hierfür ein Beispiel und zeigt einen Vergleich von 50m-Mittelwerten der Geschwindigkeit [km/h] und des Verbrauchs ($\mu\text{l}/50\text{m}$). Zusätzlich wird die Bremsaktivität eingeblendet. Am rechten Rand sind zum Beispiel stärkere Verbräuche im Bereich einer Steigung erkennbar, auf die grüne Verbräuche im Bereich eines Gefälles folgen. Würden die Daten noch mit Blinkeraktivität, Motordrehzahl und Beschleunigung verglichen werden, so könnten weitere Details zum genauen Fahrverhalten rekonstruiert werden.

Für die spätere Auswertung von erweiterten Informationen, die an DATEX II angelehnt sind, bildet die Regenintensität eine wichtige Grundlage (Abbildung 25). Der Regensensor, wie auch die Scheibenwischeraktivität, werden zum Beispiel zur Extraktion von Starkregenereignissen verwendet.

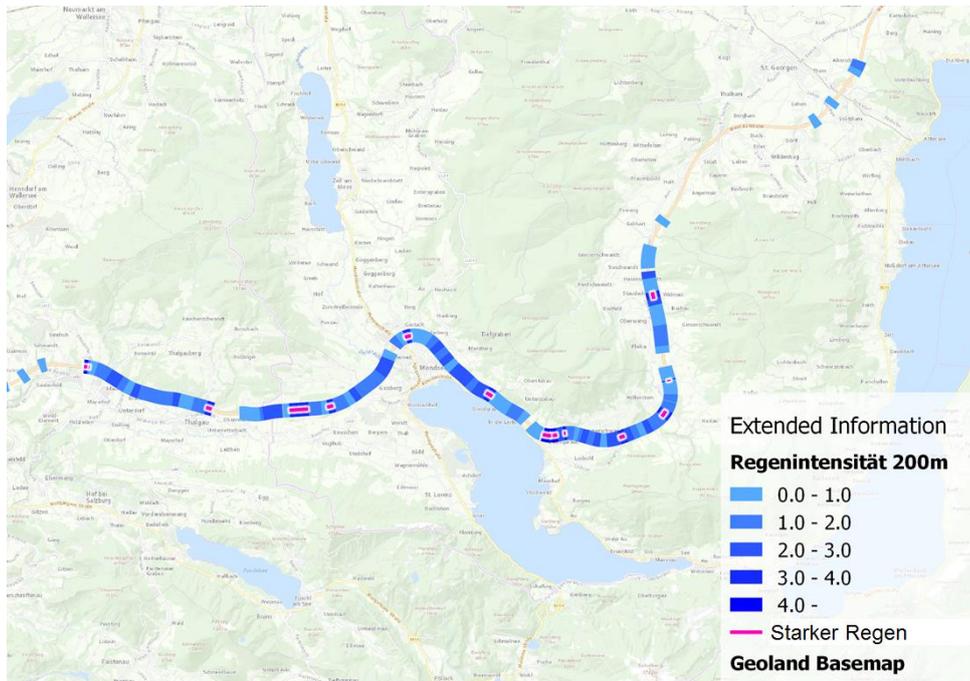


Abbildung 25: Auswertung von erweiterten Informationen vom Typ Regenintensität (fünfstufig, 200m-Abschnitte) und vom Typ Starker Regen

Neben der Nutzung als Echtzeitinformationen können die Daten analog wie beim Index der Längsunebenheit auch historisch ausgewertet werden. Abbildung 26 zeigt während des Feldtests aufgezeichnete Regenereignisse auf einem Autobahnabschnitt der A1 bei Mondsee, Fahrtrichtung Salzburg. Mit Hilfe dieser Analysen könnten zum Beispiel Abschnitte mit gehäuftem Auftreten von Starkregenereignissen identifizieren werden. Ähnliches wäre auch mit einer Analyse der Geschwindigkeit (Radarüberwachung), des Verbrauchs (Schadstoffe) oder der Umgebungstemperatur (Glatteis, Streuung) möglich. Die hieraus gewonnenen Informationen können in Planung, Betrieb, Verkehrssicherheit und Bau einfließen und liegen aufgrund der Methode flächendeckend vor.

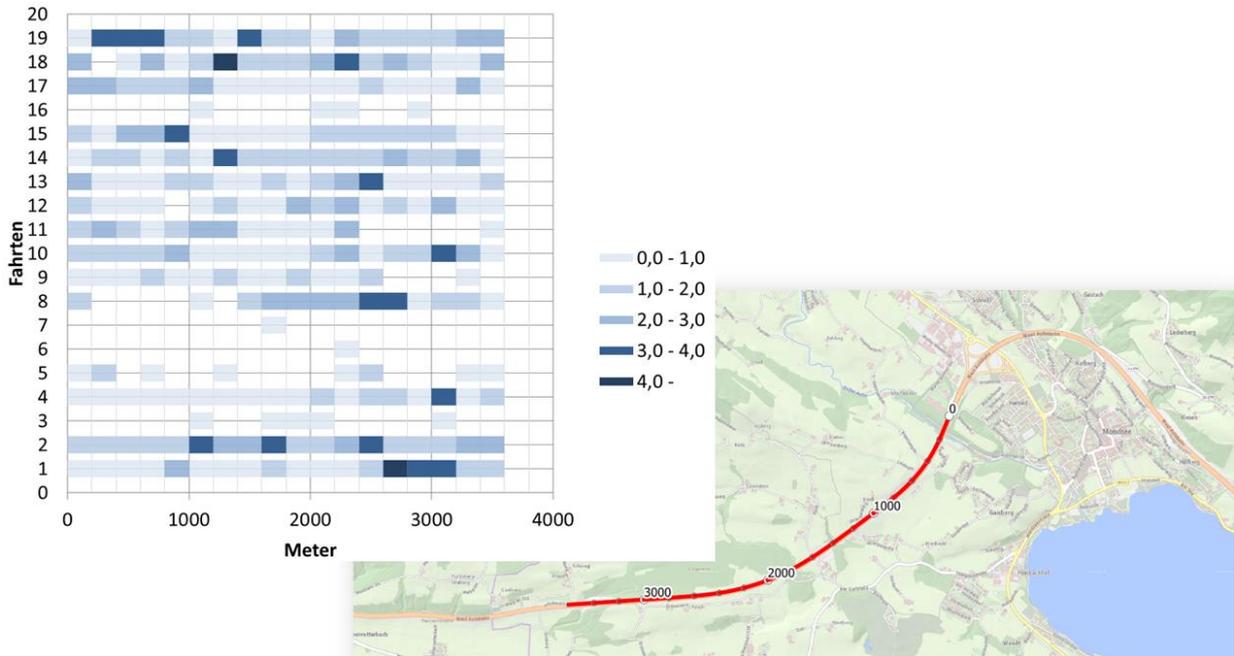


Abbildung 26: Erweiterten Informationen vom Typ Regenintensität (200m-Abschnitte) aus 19 Befahrungen mit Regen für ein Straßensegment der A1 bei Mondsee

Für die Regenintensität wurden die Abschnittsgrößen 100 m, 200 m und 1000 m berechnet. Abbildung 27 zeigt dazu einen Vergleich der berechneten Mittelwerte. Die in magenta eingerahmten Abschnitte stellen Abschnitte mit einem Starkregenereignis dar. Es ist erkennbar, dass die Regenintensität bei größeren Abschnitten abnimmt.

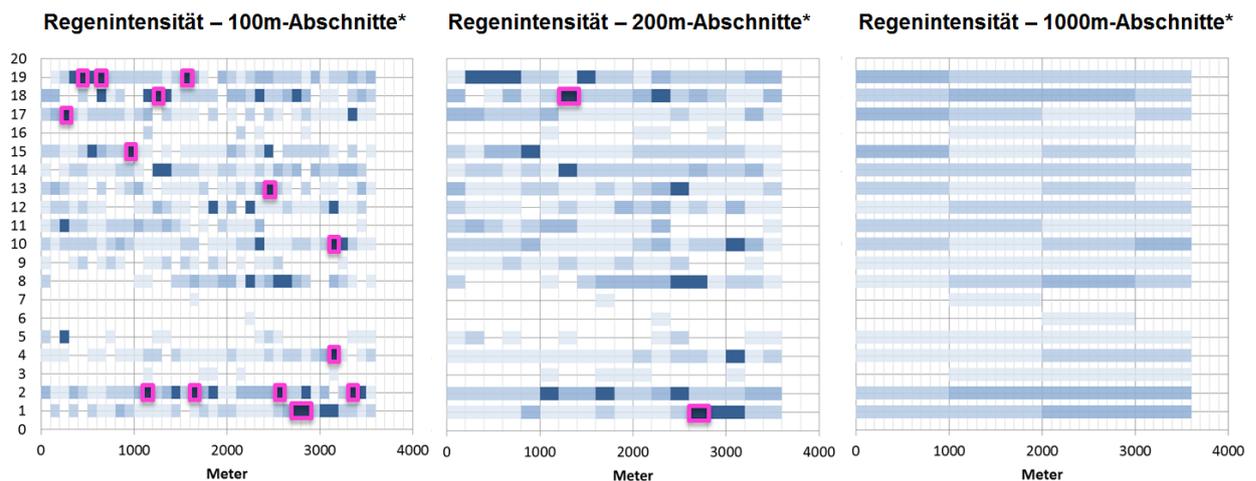


Abbildung 27: Erweiterten Informationen vom Typ Regenintensität aus 19 Befahrungen für 100m-, 200m- und 1000m-Abschnitte sowie daraus abgeleitete erweiterte Informationen vom Typ Starkregen (Magenta)

Abbildung 28 zeigt die beiden erweiterten Informationen für Verkehrsfluss, Staubereich und Verkehrsfluss, Stauende für einen Rückstau an einem Kreisverkehr bei der Autobahnausfahrt Salzburg Mitte der A1. In Abbildung 29 wird der Staubereich und das Stauende an der Mautstelle Sankt Michael auf der A10 gezeigt. Im rechten Teil der Abbildung wird die aus der gleichen Befahrung nur aus den GPS-Punkten errechnete Verkehrslage und Verkehrsmeldung dargestellt.

Abbildung 28: Auswertung von erweiterten Informationen vom Typ Verkehrsfluss, Staubereich (Linie) und Stauende (Punkt)

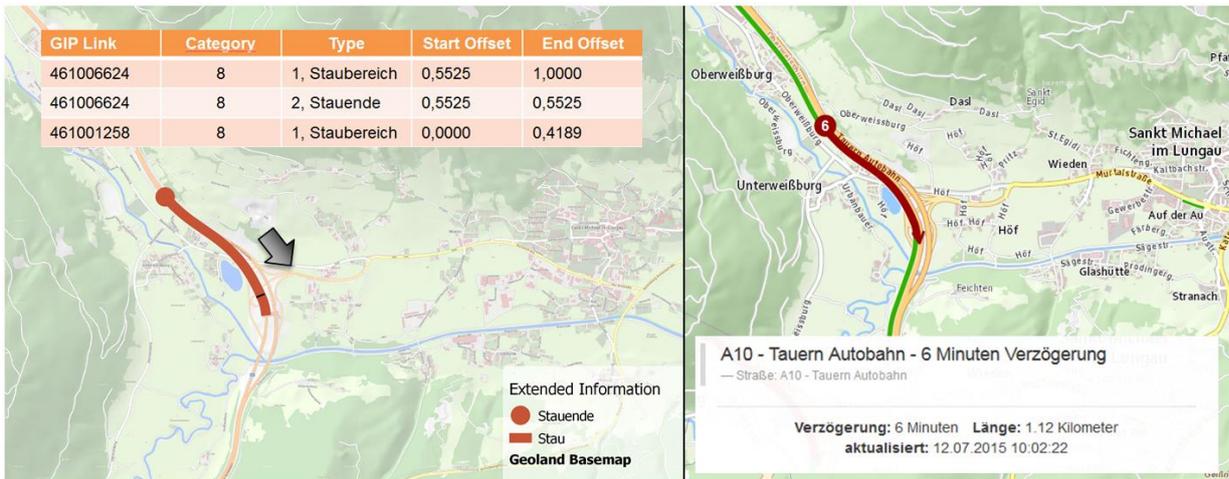


Abbildung 29: Auswertung von erweiterten Informationen (links) vom Typ Verkehrsfluss, Staubereich (Linie) und Stauende (Punkt); Vergleich mit Verkehrslage berechnet aus GPS-Punkten

6 LITERATUR

- Astarita, V. et al., 2012. A Mobile Application for Road Surface Quality Control: UNiquALroad. In *Procedia - Social and Behavioral Sciences, Proceedings of EWGT2012 - 15th Meeting of the EURO Working Group on Transportation*. pp. 1135–1144.
- Bogren, J. & Gustavsson, T., 2014. RSI – Road Status Information – A new method for detection of road conditions. In *10th ITS European Congress*. Helsinki.
- BREITENBERGER, S., GRUEBER, B. & NEUHERZ, M., 2004. Extended Floating Car Data - Potenziale fuer die Verkehrsinformation und notwendige Durchdringungsraten / Extended Floating Car Data - Potential for Traffic Information and required Floating Car Penetration. *Strassenverkehrstechnik*, 48(10).
- Chen, K. et al., 2011. Road Condition Monitoring Using On-board Threeaxis Accelerometer and GPS Sensor. In *6th International ICST Conference on Communications and Networking in China*. Harbin: IEEE, pp. 1032–1037.
- Choi, S. et al., 2007. Analysis and Classification of Driver Behavior using In-Vehicle CAN-Bus Information. In *Biennial on DSP for In-Vehicle & Mobile System*,.
- Douangphachanh, V. & Oneyama, H., 2013. A Study on the Use of Smartphones for Road Roughness Condition Estimation. In *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*.
- Forslöf, L., 2012. Roadroid – Smartphone Road Quality Monitoring. In *19th ITS World Congress*. Vienna, pp. 1–8.
- Gustavsson, T. et al., 2012. BiFi - Bearing information through vehicle intelligence. In *16th International Road Weather Conference*. Helsinki.
- Hiegelsperger, C., 2014. *Das Smartphone als Sensor – Möglichkeiten und Grenzen im praktischen Einsatz*. Fachhochschule Hagenberg.
- Jakobsen, K., Mouritsen, S.C.H. & Torp, K., 2013. Evaluating Eco-driving Advice using GPS and CANBus data. *Proceedings of the 21st ACM SIGSPATIAL International Conference on Advances in Geographic Information Systems*, pp.44–53.
- Jensen, M., Wagner, J. & Alexander, K., 2011. Analysis of in-vehicle driver behaviour data for improved safety. *International Journal of Vehicle Safety*, 5(3), pp.197–212.
- Mednis, A. et al., 2011. Real time pothole detection using Android smartphones with accelerometers. *International Conference on Distributed Computing in Sensor Systems and Workshops (DCOSS)*, pp.1–6.
- Mednis, A., Elsts, A. & Selavo, L., 2012. Embedded solution for road condition monitoring using vehicular sensor networks. *6th International Conference on Application of Information and Communication Technologies*, pp.1–5.
- Mohan, P., Padmanabhan, V.N. & Ramjee, R., 2008a. Nericell: Rich Monitoring of Road and Traffic Conditions using Mobile Smartphones. In *Proceedings of the 6th ACM conference on Embedded network sensor systems*. pp. 323–336.
- Mohan, P., Padmanabhan, V.N. & Ramjee, R., 2008b. *TrafficSense: Rich Monitoring of Road*
 Endbericht CarSense

and Traffic Conditions using Mobile Smartphones,

- N.N., 2014. Detecting Road Conditions with a Phone's Accelerometer. Available at: <https://cmsc434-f13.wikispaces.com/file/view/Formative+Research+&+Project+ProposalSmartRoad.pdf>.
- Ruta, M. et al., 2010. A Mobile Knowledge-based System for On-Board Diagnostics and Car Driving Assistance. In *International Conference on Mobile Ubiquitous Computing, Systems, Services and Technologies*. pp. 91–96.
- Saarikivi, P. et al., 2014. MOBI-ROMA tool for mobile road monitoring. In *Transport Research Arena*. Paris.
- De Silva, G.D. et al., 2008. *Automated Pothole Detection System*,
- Vaiana, R. et al., 2014. Driving Behavior and Traffic Safety: An Acceleration-Based Safety Evaluation Procedure for Smartphones. *Modern Applied Science*, 8(1), pp.88–96.
- Wang, E. et al., 2013. Vibration Monitoring System of Transportation on Road Based on CAN Bus. In *ICTIS 2013*. pp. 1677–1683.
- WiSafeCar, 2012. WiSafeCar - Wireless Traffic Safety Network Between Cars Communications. Available at: http://www.vtt.fi/files/WiSafeCar/wisafecar_mini-booth_posters.pdf.