



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen

Etude de recherche sur l'utilisation de détecteurs de mouvement durant le temps de conduite pour des applications de télématique routière

Research study for movement sensors to be used in driving time based traffic telematics applications

Rapp Trans AG
R. Suter, Informatiktechniker TS
S. Benz, dipl. Elektroing. HTL
B. Oehry, dipl. Elektroing. TU
L. Haas, MSc ETH in Elektrotechnik und Informationstechnologie

Forschungsprojekt VSS 2008/902 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Der Inhalt dieses Berichtes verpflichtet nur den (die) vom Bundesamt für Strassen unterstützten Autor(en). Dies gilt nicht für das Formular 3 "Projektabschluss", welches die Meinung der Begleitkommission darstellt und deshalb nur diese verpflichtet.

Bezug: Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Le contenu de ce rapport n'engage que les auteurs ayant obtenu l'appui de l'Office fédéral des routes. Cela ne s'applique pas au formulaire 3 « Clôture du projet », qui représente l'avis de la commission de suivi et qui n'engage que cette dernière.

Diffusion : Association suisse des professionnels de la route et des transports (VSS)

La responsabilità per il contenuto di questo rapporto spetta unicamente agli autori sostenuti dall'Ufficio federale delle strade. Tale indicazione non si applica al modulo 3 "conclusione del progetto", che esprime l'opinione della commissione d'accompagnamento e di cui risponde solo quest'ultima.

Ordinazione: Associazione svizzera dei professionisti della strada e dei trasporti (VSS)

The content of this report engages only the author(s) supported by the Federal Roads Office. This does not apply to Form 3 'Project Conclusion' which presents the view of the monitoring committee.

Distribution: Swiss Association of Road and Transportation Experts (VSS)



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Département fédéral de l'environnement, des transports, de l'énergie et de la communication DETEC
Dipartimento federale dell'ambiente, dei trasporti, dell'energia e delle comunicazioni DATEC

Bundesamt für Strassen
Office fédéral des routes
Ufficio federale delle Strade

Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen

Etude de recherche sur l'utilisation de détecteurs de mouvement durant le temps de conduite pour des applications de télématique routière

Research study for movement sensors to be used in driving time based traffic telematics applications

Rapp Trans AG
R. Suter, Informatiktechniker TS
S. Benz, dipl. Elektroing. HTL
B. Oehry, dipl. Elektroing. TU
L. Haas, MSc ETH in Elektrotechnik und Informationstechnologie

Forschungsprojekt VSS 2008/902 auf Antrag des Schweizerischen Verbandes der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Impressum

Forschungsstelle und Projektteam

Projektleitung

Rolf Suter

Mitglieder

Simon Benz

Bernhard Oehry

Lukas Haas

Federführende Fachkommission

Fachkommission 9: Verkehrstelematik

Begleitkommission

Präsident

Beat Zumsteg

Mitglieder

Roland Aellen

Kurt Amstad

Stefan Brendel

Beat Hiller

Bruno Hofstetter

Rolf Mürger

Markus Schlup

Nikolaus Seifert

Erich Schwizer

Antragsteller

Schweizerischer Verband der Strassen- und Verkehrsfachleute (VSS)

Bezugsquelle

Das Dokument kann kostenlos von <http://www.mobilityplatform.ch> heruntergeladen werden.

Inhaltsverzeichnis

	Impressum	4
	Zusammenfassung	9
	Résumé	12
	Summary	15
1	Einleitung	19
1.1	Ausgangslage	19
1.2	Abgrenzung	19
1.2.1	Fahrzeugtypen.....	19
1.2.2	Geräteeigenschaften.....	20
1.3	Untersuchte Fragestellungen.....	20
2	Analyse der Anforderungen	22
2.1	Analyse-Methodik.....	22
2.2	Potentielle Anwendungen.....	22
2.2.1	Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD).....	22
2.2.2	Crash-Recorder Funktionalität.....	23
2.2.3	Erhebung Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung	24
2.2.4	Emissionsreduktion	25
2.2.5	Überwachung von Rasern	26
2.2.6	Durchsetzung von Fahrverboten.....	27
2.2.7	Ermittlung von Parkzeiten.....	28
2.2.8	Fahrzeitabhängige Abgaben.....	28
2.3	Charakterisierung der Geräteanforderungen.....	29
2.3.1	Ermittlung Fahrdauer und Fahrzeit	29
2.3.2	Ermittlung Fahrdistanz	31
2.3.3	Ermittlung Fahrzeugposition.....	31
2.3.4	Ermittlung Fahrstil	31
2.3.5	Ermittlung Fahrzeugnutzung.....	31
2.3.6	Fahrererkennung	31
2.3.7	Datenspeicher.....	31
2.3.8	Stromversorgung und Autarkie	32
2.3.9	Manipulationsschutz.....	32
2.3.10	Human Machine Interface (HMI).....	32
2.4	Berücksichtigte Anwendungen	32
2.5	Resultierende Geräteanforderungen.....	34
2.5.1	Einführung	34
2.5.2	Messwerte Fahrdauer und Fahrzeit	35
2.5.3	Messwerte Fahrstil	36
2.5.4	Benutzereingaben	36
2.5.5	Autarkie, Datenspeicherung und Übertragung	36
2.5.6	Zusammenfassung.....	37
2.6	Betriebliche Aspekte	37
2.6.1	Einbau und Wartung	37
2.6.2	Mitwirkungspflicht.....	38
2.6.3	Datenübermittlung.....	38
2.6.4	Manipulations- und Erfassungssicherheit.....	39
3	Pflichtenheft Erfassungsgerät	41
3.1	Einleitung.....	41
3.2	Funktionale Kernanforderungen	41
3.2.1	Fahrterkennung und Aufzeichnung.....	41
3.2.2	Messwernerfassung Fahrstil.....	42
3.2.3	Referenzdaten	42
3.3	Technische Geräteanforderungen	43
3.3.1	Autarkie und Stromversorgung	43
3.3.2	Datenspeicherung	43

3.3.3	Datenübermittlung.....	43
3.3.4	Montage Erfassungsgerät.....	44
3.3.5	Benutzerschnittstelle (HMI).....	44
3.3.6	Bekannte Rahmenprobleme.....	45
3.4	Definition einer Fahrt/Reise für das Auswertungssystem.....	45
4	Beschreibung Testgerät.....	46
4.1	Geräteeigenschaften.....	46
4.2	Funktionsweise Fahrererkennung.....	46
4.2.1	Sensor und Driver.....	46
4.2.2	Acceleration Server.....	46
4.2.3	Advanced Move Detection.....	47
4.2.4	Konfiguration.....	49
5	Testspezifikation.....	50
5.1	Teststrategie.....	50
5.1.1	Testgliederung.....	50
5.1.2	White-Box Teststrategie.....	51
5.1.3	Labortests.....	51
5.1.4	Rahmenbedingungen.....	51
5.2	Testszenario Fahrererkennung.....	52
5.2.1	Anfahrt.....	52
5.2.2	Beschleunigung.....	52
5.2.3	Fahrt.....	53
5.2.4	Zusammenhängende Fahrt.....	53
5.2.5	Abbremsen.....	54
5.2.6	Anhalten.....	54
5.2.7	Sonderfälle.....	55
5.3	Testszenario Fahrverhalten.....	55
5.3.1	Anfahrt.....	55
5.3.2	Beschleunigung.....	56
5.3.3	Fahrsituationen.....	57
5.3.4	Abbremsen.....	58
5.3.5	Anhalten.....	58
5.4	Genereller Testaufbau.....	58
5.5	Testdurchführung.....	59
5.5.1	Durchführung Labortests.....	59
5.5.2	Durchführung Fahrsituationen.....	59
5.6	Auswertung und Analyse der Testdaten.....	59
6	Erkenntnisse, Resultate.....	61
6.1	Fahrterkennung.....	61
6.1.1	Testaufbau.....	61
6.1.2	Interpretation Grafiken und Tabellen.....	62
6.1.3	Anfahrt.....	63
6.1.4	Beschleunigung.....	67
6.1.5	Fahrt.....	67
6.1.6	Abbremsen.....	70
6.1.7	Anhalten.....	70
6.1.8	Sonderfälle.....	74
6.1.9	Zusammenfassung Fahrererkennung.....	77
6.1.10	Verbesserungsmöglichkeiten Algorithmus Fahrererkennung.....	77
6.2	Testszenario Fahrverhalten.....	78
6.2.1	Testaufbau.....	78
6.2.2	Geschwindigkeitsänderungen.....	79
6.2.3	Fahrsituationen.....	80
6.2.4	Zusammenfassung Fahrverhalten.....	83
6.3	Autarkie.....	84
6.3.1	Fahrleistung.....	84
6.3.2	Abschätzung Stromverbrauch.....	85
6.3.3	Speicherbedarf.....	87

7	Autarkie möglicher Seriengeräte.....	90
7.1	Grundlagen.....	90
7.2	Integrale Sensor-Lösung.....	90
7.3	CPU-Lösung.....	91
7.4	Roh-Daten-Lösung.....	92
7.5	Vergleich der Konzepte.....	93
8	Umsetzung in die Praxis, Anwendung und Wirkungsbeurteilung	95
8.1	Allgemeine Aspekte	95
8.2	Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD).....	97
8.3	Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung.....	97
8.4	Fahrzeitabhängige Abgaben.....	97
	Abkürzungen.....	99
	Literaturverzeichnis	101
	Projektabschluss	103
	Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen	106

Zusammenfassung

Projektübersicht

Für viele Anwendungen in der Verkehrstelematik ist die Erfassung eines Fahrprofils erforderlich. Aktuelle Geräte, welche diese Informationen aufzeichnen können, sind verhältnismässig teuer und benötigen eine externe Stromversorgung oder Verbindungen zu anderen Fahrzeugschnittstellen. Der Einbau muss daher meist in einer Fachwerkstatt durchgeführt werden. Bei Anwendungen, für welche weniger die Fahrroute als vielmehr die Fahrzeit, der Zeitpunkt der Fahrt und Informationen zur Fahrweise von Interesse sind, könnten möglicherweise viel einfachere Geräte eingesetzt werden, welche die geforderten Werte auf Basis von Beschleunigungssensoren ermitteln und darüber hinaus vollständig autark arbeiten. Dadurch würde sich ein aufwändiger Einbau erübrigen.

Ziel des Projektes war es, die Möglichkeiten und Grenzen des bewegungssensorbasierten Lösungsansatzes zu untersuchen. Dabei sollte ermittelt werden, wie präzise die Fahrdauer und Fahrweise sowie deren Zeitpunkt ermittelt werden können. Die Fahrzeugzielgruppe ist auf PKW beschränkt, da andere Fahrzeuggruppen wie LKW, Busse oder landwirtschaftliche Fahrzeuge für diesen "Low-Cost" Ansatz weniger interessant sind. Motorräder scheiden aufgrund einer zwingend komplexeren Montage des Erfassungsgerätes aus (siehe Kap. 1.2.1).

Im Weiteren sollte geklärt werden, für welche verkehrstelematischen Anwendungen sich dieser Ansatz grundsätzlich eignet. Für alle in Frage kommenden Anwendungen wurde das Grobkonzept beschrieben. Zudem wurde danach pro Anwendung analysiert, welche Informationen aufgezeichnet werden müssen, wie die Datenübermittlung aussehen könnte und welche Autarkieanforderung die Anwendung mit sich bringt (Kap. 2.2). Daraus abgeleitet wurden Anwendungen ausgeschlossen, welche zusätzliche, technisch nicht innerhalb des Systemansatzes zu realisierende Funktionen (wie beispielsweise Positionsbestimmung) benötigten (Kap.2.3). Im Projektverlauf reduzierten sich dadurch die in Frage kommenden Anwendungen auf deren drei (Kap. 2.4): Für diese wurden die resultierenden Anforderungen an ein Erfassungsgerät definiert (Details siehe Kap. 2.5). Diese verbliebenen Anwendungen und deren Anforderungen sind:

Funktionen: Anwendung:	Erfassung Fahrdauer und Fahrzeit	Erfassung Fahrstil	Benutzer-eingaben	Manipulationschutz	Intervall Autarkie, Datenspeicherung und Übertragung
1) Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)	Ja	Ja	Nein	Ja	6 Monate (Reserve 2 Monate)
2) Erhebungen zur Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung	Ja	Ja	Erfassung Fahrzeugnutzung	Nein	3 Monate (Reserve 2 Monate)
3) Fahrzeitabhängige Abgaben	Ja	Nein	Erfassung Anhänger Ja/Nein	Ja	12 Monate (Reserve 3 Monate)

Neben den Anforderungen an das Erfassungsgerät müssen ausserdem auch die betrieblichen Aspekte für die drei verbliebenen Anwendungen berücksichtigt werden (siehe Kap. 2.6). Dabei wurde festgelegt, dass der Einbau durch den Benutzer erfolgen soll. Eine Grundvoraussetzung für die erfolgreiche Umsetzung der Anwendungen ist allerdings eine Mitwirkungspflicht des Benutzers.

Aufgrund dieser Analysen wurde ein funktionales Pflichtenheft für ein Erfassungsgerät zur Testdurchführung definiert (Kap. 3). Bei der Umsetzung dieses Testgerätes wurde auf ein existierendes Seriengerät zur Fahrzeuglokalisierung zurückgegriffen. Der implementierte Algorithmus zur Fahrterkennung ist in der Lage, die drei Achsen x/y/z des Bewegungssensors anhand der Erdbeschleunigung zu normalisieren, sodass die Einbaulage des Erfassungsgerätes keinen Einfluss auf die Fahrterkennung mehr hat (siehe Kap.

4.2). Das Testgerät lieferte neben den Daten zur Fahrterkennung auch die Rohdaten des Bewegungssensors. Mit Hilfe eines Referenzsystems konnten so zusätzlich Auswertungen der Testdaten vorgenommen werden.

Die vielfältigen Testszenarios zur Fahrterkennung und zur Erkennung des Fahrverhaltens wurden mit verschiedenen Fahrzeugen durchgeführt. Bei den Testfahrten wurden zudem alle heute gängigen Antriebstypen (Verbrennungsmotor, Hybrid und Elektroantrieb) eingesetzt. Ziel war es, mögliche Unterschiede bei der Fahrterkennung aufgrund anderer Beschleunigungswerte abhängig von Fahrzeugtypen und Antriebskonzepten zu erkennen. Die Testfahrten umfassten eine grosse Bandbreite an denkbaren Verkehrssituationen und berücksichtigten nahezu alle Strassentypen. Als letzter Teil der Testphase ermöglichten die berechneten Stromverbrauchswerte die benötigten Aussagen zur Geräteautarkie (Testspezifikation siehe Kap.5).

Testresultate und Erkenntnisse

Testauswertung

Die Fahrzeit kann mit dem gewählten Ansatz unabhängig vom Fahrzeugtyp oder der Antriebsart grundsätzlich gut ermittelt werden. Das Erkennen des Fahrtbeginns ist dabei wesentlich einfacher als das Erkennen des Fahrtendes. Während ein Fahrtbeginn durch das Testgerät nach rund 2 Sekunden erkannt wird, kann ein Fahrtende erst 4 Sekunden nach dem effektiven Stillstand des Fahrzeuges erkannt werden. Die Werte liessen sich durch Optimierung allenfalls noch etwas verkleinern, sind aber grundsätzlich ansatzbedingt immer unterschiedlich. Der beim Fahrtbeginn durch den Stillstand klar definierte Anfangszustand ist beim Fahrtende nicht vorhanden, sondern muss durch den Algorithmus anhand der Datenvergangenheit ermittelt werden. Daraus ergibt sich in der Praxis ein systematischer Fehler bei der Fahrzeitermittlung. Konkret sind die einzelnen ermittelten Fahrtabschnitte (Anfahrt bis zum nächsten Stopp) jeweils um einige Sekunden zu lang. In einer Start-and-Stop Situation kann daraus schnell ein Fehler im Minutenbereich resultieren. Allerdings liesse sich der Fehler verhältnismässig einfach kompensieren, z.B. durch einen fixen Abzug bei der Fahrzeit pro Start-and-Stop Vorgang. Eine weitere Systembedingte Herausforderung bei der Fahrterkennung besteht darin, dass nicht erkannt wird ob es sich um eine Fahrt mit Eigenantrieb oder um eine Mitfahrt (z.B. auf einem Anhänger) handelt. Eine weitere Schwäche ist die Anfälligkeit des im Testgerät implementierten Algorithmus auf Störimpulse wie Musik und extern verursachte starke Erschütterungen, welche zu einer falschen Fahrterkennung führen. Allerdings stehen mehrere theoretische Ansätze und Massnahmen zur Minimierung dieses Problems zu Verfügung, wie z.B. die beschriebenen Verbesserungen am Algorithmus zu Fahrterkennung. Die Wirksamkeit und das Zusammenspiel dieser Massnahmen wurden jedoch im Rahmen der Forschungsarbeit nicht weiter untersucht.

Als wesentlich schwieriger erwies sich die Ermittlung des Fahrverhaltens. Zwar konnte anhand der Fahrversuche wie erwartet ein messbarer Unterschied im Direktvergleich zwischen aggressiver und gemächlicher Fahrweise festgestellt werden. Die Messwerte haben aber auch gezeigt, dass die reinen Beschleunigungswerte keinen Rückschluss auf das konkrete einzelne Fahrmanöver zulassen. Hierfür fehlen wesentliche Informationen zum Ort des einzelnen Ereignisses und der dort vorherrschenden Verkehrssituation. Ob ein einzelner auffälliger Beschleunigungswert das Resultat einer aggressiven Fahrweise oder einer nicht durch den Fahrer verschuldeten Fahrsituation ist, kann anhand der Daten aus dem Erfassungsgerät ebenfalls nicht beurteilt werden. Einzig eine entsprechend aufwändige Auswertung der Vorgeschichte des Ereignisses anhand der Rohdaten wäre zumindest theoretisch denkbar.

Keine umsetzungsverhindernden Probleme sind aus dem Bereich der Autarkie der Erfassungsgeräte zu erwarten. Sowohl bezüglich der Stromversorgung als auch in Bezug auf die Datenspeicherung sind die angenommenen Anforderungswerte voraussichtlich problemlos erreichbar. Zudem ist zu erwarten, dass die ständige Weiterentwicklung der relevanten Einzeltechnologien die Grenzen weiter zugunsten des Systemansatzes verschiebt.

Betriebliche Aspekte

Als grundsätzlich ebenfalls unproblematisch ist die Frage nach dem Geräteeinbau zu betrachten. Die unterschiedlichen Tests haben gezeigt, dass der Einbaulage des Gerätes zumindest für die Fahrzeitermittlung keine entscheidende Rolle zukommt. Dementsprechend steht einem Selbsteinbau durch den Nutzer aus technischer Sicht nichts entgegen.

Die Frage, welches die beste Variante für die Datenübertragung ist, konnte aber nicht abschliessend beantwortet werden. Dies ist vom Gesamtkonzept der Umsetzung abhängig. Auch die Frage welche Massnahmen für den Manipulationsschutz nötig sind, lässt sich nur im Rahmen eines Gesamtkonzeptes vollständig beantworten. Wichtige Punkte hier sind sicher eine Geräteautarkie über den geforderten Zeitraum, ein gegen (unbemerkt) unerlaubtes Öffnen geschütztes Gehäuse sowie eine Überwachung der Fahrzeugbindung.

Die Fahrzeugbindung bildet die wesentliche Frage in Bezug auf die Manipulationssicherheit. Denn praktisch unabhängig vom Anwendungsgebiet liegt die grösste Bedrohung für die Erfassungssicherheit darin, dass das Erfassungsgerät nicht oder nur teilweise im Fahrzeug, oder aber in einem falschen Fahrzeug eingebaut ist. Auf diese Weise kann beispielsweise die Fahrzeit zugunsten des Nutzers nach unten „korrigiert“ werden. Es ist folglich wichtig, dass das Erfassungsgerät einerseits im richtigen Fahrzeug eingebaut ist und andererseits nicht (unbemerkt) temporär entfernt werden kann. Die Technik kann lediglich zu letzterem Punkt Lösungen anbieten. Dass das Erfassungsgerät im richtigen Fahrzeug eingebaut ist, kann dagegen nur mit betrieblichen Massnahmen wie einem Einbau durch eine autorisierte Stelle – also nicht mehr durch den Benutzer - oder entsprechenden Kontrollen sichergestellt werden.

Wird für eine Anwendung die Uhrzeit benötigt, so muss die ohnehin benötigte geräteinterne Uhr ab Werk gestellt werden. Ausserdem sollte die Abweichung der Uhr im Betrieb, d.h. über die geforderte Autarkiezeit hinweg, möglichst klein sein. Diese Anforderungen sind jedoch verhältnismässig einfach zu erfüllen.

Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)

Für eine risikogerechte Prämieinstufung (PAYD) müssen die Risikoexposition sowie das Risikoverhalten ermittelt werden können. Die Risikoexposition lässt sich mit Hilfe des untersuchten Systemansatzes relativ gut ermitteln. Sowohl die reine Fahrdauer als auch die Information zu welcher Tageszeit die Fahrt stattgefunden hat, ist anhand der erfassten Daten zuverlässig feststellbar. Schlechter sieht es für die Ermittlung des Risikoverhaltens aus. Zwar können auffällig hohe Beschleunigungswerte erkannt und dokumentiert werden. Nachdem aber keine Informationen zur zugehörigen Fahrsituation vorliegen, ist eine Beurteilung des Risikoverhaltens praktisch nicht möglich.

Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Der untersuchte Systemansatz stellt eine gute Option dar, vor allem wenn nur die Art der Fahrzeugnutzung und deren Dauer erfasst werden soll. Wenn allerdings der Schwerpunkt auf der Untersuchung des Fahrverhaltens liegt, treten dieselben Einschränkungen auf wie beim Risikoverhalten im Anwendungsfall PAYD.

Fahrzeitabhängige Abgaben

Die funktionale Hauptanforderung, nämlich die Erfassung von Fahrdauer und Fahrzeitpunkt, kann mit dem Systemansatz generell gelöst werden. Allerdings existieren zwei kritische Punkte. Es ist dies einerseits die Unterscheidung zwischen einer Fahrt mit Eigenantrieb und einer Mitfahrt (z.B. auf einem Anhänger) und andererseits die Frage nach der Sicherstellung der durchgängigen Fahrzeugbindung. Für beide Punkte gibt es keine rein technische Lösung. Vielmehr müssten im konkreten Anwendungsfall Gesamtsystemlösungen mit einem Mix aus rechtlichen, betrieblichen und technischen Massnahmen geschnürt werden.

Résumé

Aperçu du projet

Pour plusieurs applications dans le domaine de la télématique des transports, l'enregistrement d'un profil de conduite est nécessaire. Les dispositifs actuels, qui peuvent afficher ces informations, sont relativement chers et demandent une alimentation en courant externe ou une connexion à d'autres interfaces de véhicules. L'installation doit donc généralement être effectuée dans un atelier spécialisé. Pour les applications dont l'itinéraire et le temps de trajet mais également le moment de la course et les informations sur le style de conduite sont sans intérêt, des dispositifs beaucoup plus simples pourraient être utilisés. Ceux-ci déterminent directement les valeurs requises sur la base des capteurs d'accélération et agissent ainsi complètement de manière indépendante. Une installation complexe devient donc inutile. L'objectif du projet était d'étudier les possibilités et les limites des approches de solution à base de capteurs de mouvement. Pour atteindre ce but, il convenait de déterminer la précision de la durée du trajet et du style de conduite ainsi que le moment du trajet. Le groupe de véhicules cible est limité aux voitures individuelles car les autres groupes de véhicules comme les poids lourds, les autobus ou les véhicules à vocation d'agriculture sont moins intéressants pour ces solutions « Low-Cost ». Les motos sont exclues en raison de la complexité du montage du dispositif de détection (voir chapitre 1.2.1).

En outre, il faut préciser quelles applications de la télématique des transports sont appropriées pour cette approche. Tout ce qui concerne les prochaines applications a été décrit dans le concept de base. Une analyse pour chaque application permet d'établir quelles informations doivent être enregistrées, à quoi ressemble la transmission des données et quelle exigence d'autosuffisance requiert l'application (voir chapitre 2.2). Sur la base de l'analyse, certaines applications qui ont besoin de fonctions techniques non sujettes aux approches du système (comme par exemple, la détermination de la position) ont été exclues (voir chapitre 2.3). En cours du projet, les applications en question ont été réduites à seulement trois (voir chapitre 2.4). Pour celles-ci, les exigences qui en résultent seront définies à un appareil de saisie (voir chapitre 2.5). Les applications restantes et leurs exigences sont listées ci-dessous:

Fonctions: Applications	Enregistrement de la durée et du temps du trajet	Enregistrement du style de conduite	Données de l'utilisateur	Protection anti-manipulation	Intervalle d'autosuffisance, Sauvegarde et transfert des données
1) Classification des primes en fonction du risque (PAYD)	Oui	Oui	Non	Oui	6 mois (réserve de 2 mois)
2) Enquêtes sur les comportements de conduite et sur l'utilisation du véhicule	Oui	Oui	Enregistrement de l'utilisation du véhicule	Non	3 mois (réserve de 2 mois)
3) Redevance sur la base du temps d'utilisation	Oui	Non	Enregistrement des remorques Oui / Non	Oui	12 mois (réserve de 3 mois)

En plus des exigences du dispositif d'enregistrement, les aspects opérationnels des trois applications restantes doivent aussi être tenus en compte (voir chapitre 2.6). Il a été défini que l'installation devrait être accomplie par l'utilisateur. Toutefois, une condition préalable pour une mise en œuvre réussie des applications est la collaboration des utilisateurs.

Suivant cette analyse, un cahier des charges fonctionnel a été défini pour la réalisation d'un test au niveau du dispositif (ou appareil) d'enregistrement (voir chapitre 3). La mise en œuvre de cet appareil-test recourut à un dispositif existant de la série servant à la localisation des véhicules. L'algorithme implémenté pour la reconnaissance du trajet consiste en fait aux trois axes x/y/z du détecteur de mouvement à normaliser en se fon-

dant sur l'accélération gravitationnelle. De cette manière, la position du montage de l'appareil de saisie n'a pas d'incidence sur la reconnaissance du trajet (voir chapitre 4.2). En plus des données sur la reconnaissance du trajet, l'appareil-test livre les données brutes du détecteur de mouvement. Avec l'aide d'un système de référence, des évaluations supplémentaires sur les données de test peuvent être effectuées. -- Les divers scénarios de test pour la reconnaissance du trajet et du comportement de la conduite furent réalisés avec différents véhicules. Dans le cadre de ces tests, tous les systèmes de propulsion d'aujourd'hui (moteur à combustion, hybride et propulsion électrique) furent également utilisés. L'objectif était de reconnaître toutes les différences possibles de reconnaissance du trajet causées par d'autres valeurs d'accélération en fonction des types de véhicules et des types de propulsion. Les tests comprenaient un large éventail de situations de circulation (ou trafic) possibles et tenaient en compte presque toutes les types de routes. Lors de la dernière partie de la phase de test, les valeurs calculées de consommation énergétique ont permis d'établir les réponses requises concernant l'autosuffisance de l'appareil (voir chapitre 5).

Résultat des tests et connaissances

Evaluation du test

Le temps de trajet peut être en principe déterminé avec l'approche choisie indépendamment du type de véhicule et du type de propulsion. L'identification du départ du trajet est de loin plus facile que l'identification de la fin du trajet. Tandis que le démarrage d'un trajet est détecté par l'appareil-test après 2 secondes, la détection de la fin du trajet peut prendre jusqu'à 4 secondes seulement une fois que le véhicule est en arrêt effectif. Grâce à une optimisation, les valeurs pourraient être éventuellement quelque peu réduites, mais elles sont fondamentalement toujours différentes, selon l'approche retenue. En ce qui concerne le départ du trajet, la position du véhicule définit clairement son état initial. Par contre, l'état initial pour la fin du trajet n'existe pas et doit être déterminé par l'algorithme à l'aide des données antérieures. Par conséquent, il en découle à l'usage une erreur systématique au niveau de la détermination du temps de trajet. Concrètement, les sections de trajet déterminées (départ jusqu'au prochain arrêt) sont chacune quelques secondes trop longues. Dans une situation Start-Stop, il peut en résulter rapidement une erreur de l'ordre d'une minute. Cependant, celle-ci peut être relativement facilement compensée par une déduction du temps de trajet pour chaque opération Start-Stop. Un autre défi relié au système de la reconnaissance du trajet réside dans l'identification du type de véhicule, respectivement à la possibilité qu'on ne puisse pas identifier correctement s'il s'agit d'un trajet effectué par un véhicule à propulsion ou un véhicule sans moteur (comme par exemple, une remorque). Une autre faiblesse de l'appareil-test se décrit par la vulnérabilité de l'algorithme implémenté aux parasites comme la musique et d'autres vibrations externes qui conduisent à une fausse identification du trajet. Toutefois, plusieurs mesures et approches théoriques sont à disposition pour minimiser ce problème, comme par exemple, les améliorations décrites à l'algorithme de l'identification du trajet. Par contre, l'efficacité et l'interaction de ces mesures n'ont pas été étudiées dans le cadre de ce travail de recherche.

Il a été prouvé que le comportement au volant est difficile à déterminer. Certes, on peut constater, comme il était attendu, une différence mesurable entre une conduite agressive et tranquille, et ce sur la base des tests de conduite. Les valeurs mesurées ont cependant aussi démontrées que les valeurs absolues d'accélération ne permettent pas de conclure à des manœuvres de conduite spécifiques individuelles. A cette fin, il manque les informations clés sur l'emplacement des événements particuliers et leurs conditions de trafic respectifs. Si une valeur d'accélération suspecte est le résultat d'un comportement de conduite agressif ou n'est pas causée par la situation de conduite du conducteur, elle ne peut pas être jugée à partir des données tirées de l'appareil de saisie. Seule une évaluation complexe de l'historique de l'événement sur la base des données brutes serait théoriquement à tout de moins envisageable. Aucune contraintes de mise en œuvre ne sont à prévoir au niveau de l'auto-suffisance de l'appareil de saisie. Autant au sujet de l'alimentation en énergie qu'en ce qui concerne l'enregistrement des données, les valeurs requises acceptées sont atteignables sans problème. En outre, on peut s'attendre que le développement continu sans cesse des technologies individuelles pertinentes repousse les limites en faveur de l'approche du système choisi.

Aspects opérationnels

Bien qu'en principe sans problème, la question de l'installation de l'appareil de saisie est tout de même à considérer. Les différents essais ont montré que la position du montage de l'appareil ne joue aucun rôle décisif dans la détermination du temps de trajet. En conséquence, rien n'empêche, d'un point de vue technique, l'installation faite par l'utilisateur.

La question à savoir quelle est la meilleure variante pour le transfert des données n'est cependant pas répondue de façon concluante. Celle-ci dépend du concept d'ensemble de la mise en œuvre. C'est également le cas de la question à savoir quelles sont les mesures nécessaires à prendre pour la protection de la manipulation, qui pourrait être seulement répondue précisément dans le cadre d'un concept général. Les points importants ici sont certainement une autonomie de l'appareil de saisie durant la période de temps requise, contre une ouverture non autorisée de l'appareil de saisie. De plus, il est important de surveiller que l'appareil de saisie est fixé au bon véhicule.

Le contrôle de la liaison entre l'appareil de saisie et le bon véhicule représente la question essentielle concernant la sécurité de la manipulation. Etant donné qu'elle est pratiquement indépendante de l'environnement de l'application, la plus grande menace pour la sécurité d'enregistrement est que le dispositif d'enregistrement ne soit pas ou partiellement dans le véhicule, ou qu'il soit installé dans le mauvais véhicule. De cette façon, le temps de trajet peut être par exemple « corrigé » vers le bas en faveur de l'utilisateur. Il est donc important d'une part que le dispositif d'enregistrement soit installé dans le bon véhicule et d'autre part qu'il ne puisse pas se décrocher momentanément sans qu'on s'en aperçoive. A ce propos, la technologie ne peut offrir de solutions à ce problème. Le fait que le dispositif d'enregistrement soit installé dans le bon véhicule, peut être en revanche assuré de manière sécuritaire seulement avec des mesures opérationnelles comme l'installation par un organisme autorisé – et non pas par l'utilisateur lui-même – ou au moyen des contrôles appropriés.

Au cas où le temps de l'horloge pour une application est nécessaire, l'horloge interne du dispositif doit être réglée par un atelier. En outre, la différence de l'horloge devrait être en service, ce qui veut dire aussi petite que possible au cours de la période de temps d'auto-suffisance requise. Néanmoins, ces défis sont facilement réalisables dans le cadre de la mise en œuvre.

Primes d'assurance basées sur le risque

Pour une classification des primes en fonction du risque, l'exposition au risque ainsi que les comportements à risque doivent être identifiés. Au niveau de l'exposition, on arrive relativement bien à l'établir avec l'aide des approches de systèmes étudiées. Autant la durée absolue du trajet que l'information sur l'heure du trajet sont détectables de manière fiable sur la base des données enregistrées. Cela semble pire pour la détermination des comportements à risque. Certes, des valeurs étonnamment élevées d'accélération peuvent être identifiées et documentées. Mais vu qu'il n'existe aucune information sur la situation de conduite correspondante, une appréciation des comportements à risque est pratiquement impossible.

Comportement de conduite et utilisation des véhicules

L'approche du système étudiée représente une bonne option, surtout si ce n'est que le type d'utilisation du véhicule et sa durée qui devraient être enregistrés. Si toutefois, l'accent est mis sur l'étude des comportements de conduite, les mêmes limitations apparaissent comme pour les comportements dans le cas des applications PAYD.

Données basées sur le temps de conduite

L'exigence fonctionnelle principale, à savoir l'enregistrement de la durée du moment précis du trajet peuvent être généralement accomplis avec l'approche du système. Cependant il existe deux points critiques. Il s'agit, d'une part, de la distinction entre un trajet d'un véhicule avec ou sans propulsion. D'autre part, il y a la question de la garantie que l'appareil de saisie soit relié constamment au bon véhicule. Pour ces deux points, il n'y a pas de solution purement technique. Plus exactement, les solutions globales du système au niveau des cas concrets d'applications doivent être ficelées avec un ensemble de mesures juridiques, opérationnelles et techniques.

Summary

Project overview

For many traffic telematics applications the recording of a motion profile is required. Currently available devices capable of recording this information are quite expensive and require an external power supply or connections to other vehicle interfaces. Therefore the installation is required to be done in a specialist workshop. For applications focusing less on the driving route but rather on travel time, the time of driving and driving style, most likely simpler devices can be used. Such devices determine the required values based on accelerometers and work without external power supply. As a result a professional installation is not required.

The aim of the project was to investigate the possibilities and limitations of a motion sensor-based approach. Among others it had to be determined how precisely the driving duration and driving style as well as the time of driving can be recorded. The vehicle group is limited to cars, because other vehicles such as trucks, buses and agricultural vehicles are not attractive for such a low-cost approach. Due to the complicated installation method for such devices, motorcycles are not included in the scope of this project (see section 1.2.1).

Additionally it should be clarified for which traffic telematics applications such an approach can be used. First a basic concept has been described for all eligible applications. As a next step each application was then analysed regarding the information that must be recorded, what the transmission of data could look like and which requirements apply in context of the self-sufficiency of an on-board unit (see section 2.2). Applications with additional requirements outside of the features of the system approach (e.g. position determination) have been excluded (see section 2.3). Thus, the number of relevant applications has been reduced to three during the project (see section 2.4): For the remaining three applications the requirements for a recording device, i.e. an on-board unit have been elaborated (for details see Section 2.5). The remaining applications and their requirements are:

Function: Application:	Recording of driving duration and time of trip	Recording of driving style	User input	Fraud protection	Interval self-sufficiency, data storage and transmission
1) Pay as you drive insurance (PAYD)	Yes	Yes	No	Yes	6 months (Back-up 2 months)
2) Survey of driving style and use of vehicle	Yes	Yes	Use of vehicle recording	No	3 months (Back-up 2 months)
3) Driving time dependent fees	Yes	No	Trailer Status recording Yes / No	Yes	12 months (Back-up 3 months)

In addition to the on-board unit requirements, the operational aspects for the three remaining applications need to be considered as well (see section 2.6). It is assumed that the installation of the OBU is done by the user. However, a pre-condition for the successful implementation of each application is the user obligation to co-operate.

Based on this analysis a functional specification for a test on-board unit has been elaborated (see section 3). The test on-board unit is based on an existing device used for vehicle localisation. The implemented algorithm for trip detection is able to adjust the three axis x / y / z of the motion sensor based on the gravity of acceleration to standardised output. Hence, the installation position of the OBU has no impact on the recording of the trip data (see section 4.2). Additional analysis of the test data was possible while using of a reference system.

The numerous test scenarios for trip and driving style detection were conducted with different vehicles. The tests covered all current engine types (combustion, hybrid and electric engine). The aim was to identify potential differences of the trip detection due to diverging acceleration values based on vehicle types and drive concepts. The tests covered a wide range of traffic situations and almost all road types. Last but not least the calculated power consumption resulted in statements about the self-sufficiency of the on-board unit (test specification see chapter 5).

Test results und lessons learnt

Test Evaluation

The chosen approach allows a good determination of the trip duration, independent of vehicle type and drive concept. Detecting the start of a trip is much easier than the detection of the end of the trip. The start of a trip is recognised by the OBU after approx. 2 seconds, whereas the end a trip can only be detected 4 seconds after stopping the vehicle. The result could probably be optimised a little bit, but a system approach related difference between the two statuses will remain, in any case. At the start of a trip the standstill is an unambiguous status which does not exist at the end of a trip. The end of the trip must be identified by the implemented algorithm based on the recently collected data. Based on these facts the time length of a trip comprises a systematic error. Consequently the time length of each single determined trip section (from start to stop) is a few seconds too long. In stop-and-go traffic situations this can easily accumulate to an error in the region of minutes. However such an error can easily be mitigated by deducting for each single identified trip section a fix value of seconds. A more demanding challenge is the unambiguous recognition of a self-propelled trip or piggyback transport e.g. on a trailer. Another weakness is the vulnerability of the algorithm regarding external vibrations caused by music or other events resulting in wrong trip detections. However some approaches and measures exist in order to minimise the false trip detections mentioned above. The effectiveness of a single or combinations of the various measures were not subject of the current research work.

It is much more difficult to determine the driving style. As expected the tests showed a measurable difference between aggressive and unhurried driving style. But the measurements have also shown that the pure acceleration values do not allow a conclusion regarding specific and individual driving behaviour. For this purpose some key information like location or prevailing traffic conditions are missing. A single conspicuous acceleration value recorded by the OBU cannot be assigned either to an aggressive driving style or a driving situation provoked by another vehicle. Only a complex analysis of previously recorded data could theoretically support a better differentiation.

No problems are expected in context of the self-sufficiency of the OBU. Both power supply and data storage capacity requirements can be fulfilled. Future technological developments will continue to enhance the current situation and support the analysed system approach.

Operational aspects

The installation of the OBU is considered to be possible without difficulties. The numerous driving tests have shown that the installation position has no impact on the recording of the trip duration. Accordingly, a self-installation by the user can be envisaged.

The question about the preferred approach for data transmission could not be answered. One of the decision triggers is the overall system approach. The same applies for fraud protection. Relevant points in the context of fraud protection are self-sufficiency during the entire measurement period, a housing preventing unauthorized opening and monitoring of the permanent installation in the assigned vehicle.

The monitoring of the permanent installation in the assigned vehicle is of high relevance. The biggest risk of fraud is, independent from the application, either part-time or no installation of the on-board unit in the assigned vehicle or even installation in another vehicle. Actions such as the ones mentioned above can lead to the driving time of a user decrease. Therefore, on one hand a correct installation of the OBU is of high relevance and, on the other hand measures must be taken that the OBU cannot temporarily be removed without notice. A check on the permanent installation of an OBU can technically be

solved. The installation into the correct vehicles can only be guaranteed with operational measures e.g. the installation must to be done in an authorised workshop or systematic checks e.g. during vehicle inspections. If an application requires the time of day, the internal clock must already be calibrated in the factory. Also the deviation of the clock should be as small as possible during the entire required self-sufficiency period. However, the fulfilment of these requirements should be quite easy to achieve.

Pay as you drive insurance (PAYD)

For a pay as you drive insurance (PAYD) application the risk exposure and risk behaviour needs to be recorded. With the help of the analysed system approach the risk exposure can be determined quite well. Based on the recorded data both the travel duration as well as the information on what time of day the journey has taken place can reliably be assessed. Much more difficult is the determination of risk behaviour. Conspicuous acceleration values are easy to identify and record, but without information about the associated driving situation, an assessment of risk behaviour is basically impossible.

Driving behaviour and vehicle usage

The analysed system approach offers good options for recording the type of vehicles usage and the according time period. However, if a possible application focuses on the driving behaviour, the same limitations as mentioned above for the PAYD application apply.

Driving time dependent charges

The main functional requirement, namely the recording of travel period and travel time can be achieved with the system approach. However, there are two crucial points. This is on the one hand the unambiguous differentiation between a self propelled trip and a piggyback transport (e.g. on a trailer) and on the other hand the necessity to guarantee a permanent installation of the OBU in the correct vehicle. For both issues, no pure technical solution exists. The only way to solve these challenges is a complex solution based on a mix of legal, operational and technical measures.

1 Einleitung

1.1 Ausgangslage

Für viele Anwendungen in der Verkehrstelematik ist die Erfassung eines Fahrprofils erforderlich (Geschwindigkeit, Beschleunigung über Ort oder Zeit). Heute erfolgt die Erfassung häufig über GPS-basierte Geräte. Diese sind aber verhältnismässig teuer und aufgrund ihres hohen Stromverbrauches meist auf eine Stromversorgung über das Fahrzeug-Bordnetz angewiesen. Entsprechend aufwändig gestaltet sich insbesondere der feste Einbau in die Fahrzeuge bzw. die permanente Anbindung an die Fahrzeugstromversorgung (ohne Nutzung vorhandener, unterbrechbarer Steckverbindungen wie z. B. Zigarettenanzünder). Der Einbau kann damit nicht mehr durch Laien erfolgen, sondern erfordert entsprechend geschultes Fachpersonal. Dieser Umstand bringt ausserdem auch diverse betriebliche Konsequenzen. Neben der Notwendigkeit, ein entsprechendes Einbaustellennetz aufzubauen, vergeht automatisch bedeutend mehr Zeit bis ein Fahrzeug ausgerüstet und damit das Erfassungsgerät einsatzbereit ist. Noch wesentlicher ist allerdings, dass die Lösung für Gelegenheitsnutzer damit nicht mehr in Frage kommt. Fazit: Aus betrieblichen Gründen ist ein einfach zu montierendes günstiges Erfassungsgerät auf jeden Fall wünschenswert und teilweise gar eine zwingende Anforderung für die Machbarkeit.

Bei Anwendungen, für welche weniger die Fahrroute als vielmehr die Fahrzeit, der Zeitpunkt der Fahrt und Informationen zur Fahrweise von Interesse sind, könnten möglicherweise auch auf Beschleunigungsmessung basierende Systeme eingesetzt werden. Die für eine solche Messung notwendige Beschleunigungssensorik ist heute bereits in vielen Smartphones und Navigationssystemen standardmässig verbaut. Aufgrund des geringeren Stromverbrauches sind auch batteriebetriebene Geräte möglich.

Dadurch ergeben sich zusätzliche potentielle Einsatzmöglichkeiten wie beispielsweise:

- Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)
- Crash-Recorder Funktionalität
- Erhebungen zur Fahrzeugnutzung
- Emissionsreduktion
- Erhebungen zum Fahrverhalten
- Durchsetzung von Fahrverboten
- Überwachung von Rasern
- Fahrzeitabhängige Abgaben

Ziel des Projektes ist es, die Möglichkeiten und Grenzen des bewegungssensorbasierten Lösungsansatzes zu untersuchen. Insbesondere soll auch der Einsatz in Hybrid- und Elektromobilen untersucht werden, da die Beschleunigungs- und Vibrationsprofile teilweise deutlich von jenen Fahrzeugen mit konventionellem Verbrennungsmotorantrieb abweichen.

Untersucht wird nicht ein spezifisches Produkt, sondern ein genereller Systemansatz. Der Einsatz von handelsüblicher Technologie bei den Testgeräten stellt dabei sicher, dass die Resultate allgemeingültige Aussagekraft haben und uneingeschränkt vom Versuchsträger und dessen Hersteller angewendet werden können.

1.2 Abgrenzung

1.2.1 Fahrzeugtypen

Die **Fahrzeugzielgruppe** für das Forschungsprojekt beschränkt sich auf **Personenwagen** mit den unterschiedlichen Antriebstypen (Verbrennungsmotor, Elektromotor und Hybridantrieb). Auf andere Fahrzeugtypen wird aus verschiedenen Gründen verzichtet. Im Folgenden werden die Gründe für den Ausschluss der weiteren denkbaren Fahrzeug-

zielgruppen kurz erläutert:

- **Lastwagen** (Schwerverkehrsfahrzeuge) sind in der Regel bereits mit dem LSVA-Erfassungsgerät ausgerüstet. Diese Fahrzeuge mit einem zusätzlichen in dieser Studie untersuchten Erfassungsgerät auszurüsten wird als nicht sinnvoll erachtet, da das LSVA-Erfassungsgerät eine Fahrzeugstromversorgung besitzt und theoretisch (aus rein technischer Sicht) alle untersuchten Anwendungen über GPS und Tachosignal abdecken könnte.
- **Reisecars**, ÖV-Busse und schwere Wohnmobile wurden vom Einbau des LSVA-Erfassungsgerätes befreit, welches aber für diese Fahrzeuggruppe durchaus geeignet wäre. Zudem handelt es sich bei dieser Fahrzeugkategorie um eine kleine Fahrzeuggruppe, welche bei einem Miteinbezug einen erheblichen Mehraufwand verursachen würde. Dies ohne dass nennenswerte zusätzliche Erkenntnisse für die eigentlichen Kernfragen zu erwarten sind.
- Bei leichten und schweren **Motorrädern** ist die Montage des Erfassungsgerätes generell schwierig und nicht einheitlich möglich. Zudem stellen sich aufgrund der freien Zugänglichkeit zum Gerät sehr spezifische Fragen hinsichtlich der Gefahr von Manipulationen, Vandalismus und Diebstahl durch Dritte. Die Behandlung dieser Themen würde den Umfang der Forschungsarbeit erheblich erweitern, ohne zusätzliche Erkenntnisse für die eigentlichen Kernfragen zu liefern.
- **Landwirtschaftliche Fahrzeuge** repräsentieren eine grosse und durch ihre Vielfalt aufwändig zu testende Fahrzeugzielgruppe. Der Zusatzaufwand würde den Rahmen der Forschungsarbeit klar sprengen. Zudem steht diese Fahrzeuggruppe für die definierten Anwendungsgebiete weniger im Fokus. Der Mehrnutzen bei einem Miteinbezug wäre daher beschränkt.

1.2.2 Geräteeigenschaften

Im Rahmen des Forschungsprojektes sind die grundlegenden Eigenschaften der möglichen Fahrzeug-Erfassungsgeräte bereits durch die Fragestellungen vorgegeben. Der Funktionsumfang und die Eigenschaften eines Erfassungsgerätes können daher wie folgt skizziert werden:

- Bewegungs- und Beschleunigungssensoren zur Fahrt- und Ereigniserkennung
- Schnittstelle zur Datenauslesung
- Interne, autarke Stromversorgung (Akku oder Batterie)
- Montage durch den Benutzer, keine Schnittstelle zu Fahrzeuggeräten und Sensoren
- Bestmöglicher Schutz vor Missbräuchen

Von entscheidender Bedeutung ist zudem die Autarkie des Erfassungsgeräts. Unter einem autarken Erfassungsgerät wird in der Folge ein Gerät verstanden, welches – abgesehen von der Montage – keinerlei physikalische Schnittstellen zum Fahrzeug benötigt. Lediglich autarke Erfassungsgeräte kommen für die Selbstmontage durch den Nutzer in Frage.

1.3 Untersuchte Fragestellungen

Im vorliegenden Forschungsprojekt werden eine Reihe von Fragestellungen zu den Möglichkeiten und Grenzen des bewegungssensorbasierten Lösungsansatzes mit den oben genannte Geräteeigenschaften untersucht. Als Fahrzeugzielgruppe sind dabei nur Personenwagen mit verschiedenen Antriebstypen vorgesehen (siehe Kap. 1.2.1).

Es stellt sich zunächst die übergeordnete Frage nach den potentiellen Anwendungen:

- Welche Anwendungen sind für diesen Systemansatz potentiell geeignet? Welche Informationen zur Fahrt werden in den jeweiligen Anwendungen benötigt?

Welche Anforderungen an das Erfassungsgerät stellen die in Frage kommenden Anwendungen:

- Messgenauigkeit der Betriebs- und Fahrzeit?
- Genauigkeit der Erkennung von aussergewöhnlichen Ereignissen?

- Autarkie der internen Stromversorgung? Ermittlung der Einsatzdauer und des Stromverbrauches?
- Wie und wo muss das Erfassungsgerät montiert werden? Wie gross darf das Gerät sein?
- Welche Datenschnittstelle wird benötigt?
- Welche Manipulationsgefahren müssen berücksichtigt werden und welche Sicherheitsmassnahmen können bzw. müssen dagegen ergriffen werden?

2 Analyse der Anforderungen

2.1 Analyse-Methodik

In einem ersten Schritt erfolgt die Untersuchung der potentiell denkbaren Anwendungen. Jede Anwendung stellt gewisse funktionale und technische Anforderungen. Diese müssen später durch ein den Rahmenbedingungen gemäss Kapitel 1.2.2 entsprechendes Erfassungsgerät erfüllbar sein. Zusätzliche Komponenten für eine Anwendung sind nur zulässig sofern:

- diese Komponenten bereits bei anderen Verkehrstelematik-Anwendungen eingesetzt werden (z.B. DSRC) oder
- deren technische Funktionalität bereits genügend bekannt und erforscht ist und
- deren technischer Einfluss auf die untersuchten Messwerte vernachlässigt werden kann und
- diese nicht im Widerspruch zu den vorgegebenen Geräteeigenschaften stehen (z.B. Elemente welche keine zusätzliche externe Stromversorgung benötigen).

Im zweiten Schritt werden die Kernanforderungen an das Erfassungsgerät analysiert und im Detail definiert. Anhand der möglichen Anwendungen werden die Qualitätskriterien (u.a. Zuverlässigkeit und Benutzbarkeit) sowie die verschiedenen Ausprägungen der Kernanforderungen festgelegt. Ziel ist ein grobes Umsetzungskonzept für die spätere Synthese, also der Skizzierung des eigentlichen Fahrzeuggeräts.

Mithilfe dieses Konzepts kann in einem dritten Schritt festgelegt werden, welche Anwendungen für die spätere Untersuchung weiter berücksichtigt werden. Die Selektion muss mit den vorgegebenen Geräteeigenschaften und den zulässigen Zusatzkomponenten als machbar beurteilt werden.

Abschliessend werden weitere benötigte Funktionalitäten für den Betrieb des Geräts untersucht. Dazu gehören unter anderem die Bereiche Einbau, Wartung, Mitwirkungspflicht oder Datenübermittlung (keine abschliessende Auflistung). Diese erweiterte Betrachtung ist im Sinne einer praxisgerechten Behandlung des Themas unerlässlich, da sich daraus Anforderungen mit Auswirkungen auf die Testspezifikation ergeben.

Ziel der Analyse ist eine Auflistung der verschiedenen ermittelten Einzelanforderungen an ein Erfassungsgerät (OBU). Dabei ist es durchaus möglich, dass einzelne Anforderungen – da aus verschiedenen Bereichen abgeleitet – im Widerspruch zueinander stehen.

2.2 Potentielle Anwendungen

2.2.1 Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)

Bei den risikoabhängigen Versicherungsprämien (pay as you drive, PAYD) wird die Prämie für die Fahrzeugversicherung vom Fahrverhalten des Kunden mitbestimmt.

Relevante Informationen

Der Ansatz bei einer risikoabhängigen Versicherungsprämie liegt darin, die tatsächliche Risikoexposition des Versicherungsnehmers differenzierter zu erfassen und zu berücksichtigen. Die Risikoexposition ist von folgenden wesentlichen (individuellen) Faktoren abhängig:

- Wann haben die einzelnen Fahrten stattgefunden (Wochentag, Tageszeit plus ev. die Jahreszeit)?
- Dauer der Risikoexposition total (= totale Fahrzeit über eine Periode)?
- Dauer der einzelnen Fahrt (Stichwort Fahrpausen)?
- In welcher Strassenumgebung (innerorts, ausserorts, Autobahn) haben die einzelnen Fahrten stattgefunden?
- In welchem Land hat die Fahrt stattgefunden?

- Wie ist der Fahrstil („sportlich“/ „gemütlich“)?

Die Informationen sollen über sämtliche Fahrten erhoben werden. Wie genau das individuelle Risiko aus den Daten heraus abgeleitet wird, ist nicht Gegenstand der Forschungsarbeit. Es kann aber davon ausgegangen werden, dass die Informationen nur dann brauchbar sind, wenn sie mit einer hohen Reproduzierbarkeit und Zuverlässigkeit ermittelt werden können.

Datenübermittlung

Damit die Daten verarbeitet werden können, müssen sie periodisch an eine zentrale Stelle übermittelt werden. Es wird davon ausgegangen, dass die Periode für die Auslesung sich an der Periode für die Risikobeurteilung orientiert, wobei diese wiederum vom Zahlungsintervall der Versicherung abhängig sein dürfte. Bei Fahrzeugversicherungen ist eine jährliche oder halbjährliche Periode üblich. Eine halbjährliche Datenauslesung muss deshalb betrieblich umsetzbar sein.

Autarkie

Es wird davon ausgegangen, dass die Autarkie – d.h. der Zeitraum, in welchem das Erfassungsgerät ohne Auslesen der Daten und ohne Auswechslung oder Aufladen der internen Stromversorgung Daten erheben und speichern kann – sich am Intervall für die Datenübermittlung orientiert. Um einen Datenverlust und/oder eine Erfassungslücke möglichst zu vermeiden, muss die Autarkiezeit idealerweise der doppelten Intervalldauer für die Datenübermittlung entsprechen. Im absoluten Minimum muss sie diese um 30 % überschreiten.

Manipulationsschutz

Da anhand der Daten aus dem Gerät der Versicherungstarif mitbestimmt wird, besteht zumindest potentiell die Gefahr, dass der Nutzer versucht, die Daten zu seinen Gunsten zu manipulieren. Als besonders heikel muss in diesem Zusammenhang die temporäre Entfernung des Erfassungsgerätes aus dem Fahrzeug oder die temporäre Ausserbetriebnahme (z.B. durch Entfernen der internen Stromversorgung) des Erfassungsgerätes eingestuft werden. Es muss deshalb sichergestellt werden, dass Manipulationen nicht unbemerkt, d.h. ohne physische oder elektronische Spuren zu hinterlassen, durchgeführt werden können. Eine Verhinderung von Manipulationen wird dagegen als nicht ganz so wichtig erachtet. Sofern die Manipulation erkannt wird, können solche Fälle vertraglich abgefangen werden (z.B. durch einen Bonusverlust im Falle eines Manipulationsversuches).

Betriebliche Aspekte

Da die Fahrzeugbindung eine grosse Rolle spielt (vgl. Manipulationsschutz), kommt dem Einbauvorgang grosse Bedeutung zu. Es muss sichergestellt werden, dass der Einbau in das richtige Fahrzeug erfolgt. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass der Einbau nicht durch einen x-beliebigen Nutzer, sondern durch eine Vertrauensperson / Stelle der Versicherung erfolgt.

2.2.2 Crash-Recorder Funktionalität

Die Crash-Recorder Funktionalität dient den Behörden und Motorfahrzeugversicherungen im Schadensfall zur Analyse des Unfallablaufes.

Relevante Informationen

Die Aufzeichnung von extremen Längs- und Querbeschleunigungen sowie Verzögerungen dienen als Indikatoren für ein aussergewöhnliches Ereignis wie beispielsweise einen Unfall. Zudem erlauben die aufgezeichneten Werte vor dem Unfall eventuell Rückschlüsse auf ein nicht korrektes Fahrverhalten (z.B. hohe Fahrzeugbeschleunigung, zu hohe Kurvengeschwindigkeit, usw.). Folgende Informationen sind dabei von Interesse:

- Wann ereignete sich der Unfall? (Unfallzeitpunkt)
- Wie heftig war der Aufprall, d.h. wie gross waren die Verzögerungswerte – die negative Beschleunigung – während des Unfallereignisses?

- Welche Verzögerungs- und Beschleunigungswerte (längs und quer) waren unmittelbar vor dem Unfallereignis aufgetreten?
- War unmittelbar vor oder während des Unfalls der Blinker gesetzt und das Licht ein- oder ausgeschaltet?

Datenübermittlung

Es ist keine zyklische Datenübermittlung notwendig, die Daten werden lediglich im Schadensfall ausgelesen.

Autarkie

Da eine Manipulation durch den Nutzer – Details dazu im nächsten Abschnitt – praktisch ausgeschlossen werden kann, weil ein funktionstüchtiger Crash-Recorder im Interesse des Nutzers ist, ist eine Mitwirkung des Nutzers oder der Autowerkstätte beim Austausch der internen Stromversorgung ca. einmal jährlich oder im schlechtesten Fall halbjährlich durchaus denkbar. Um keinen Datenverlust infolge vergessenen, bzw. verspäteten Wechsel der Stromversorgung zu erleiden, sollte die Autarkie im Minimum zwei Monate länger gewährleistet sein als der Intervall der Auswechslung.

Manipulationsschutz

Die Verwendung eines Crash-Recorders basiert (in der Regel) auf Freiwilligkeit. Der Nutzer möchte eine objektive Unfallrekonstruktion und kann möglicherweise von einer reduzierten Versicherungsprämie profitieren. Eine Manipulation durch den Nutzer kann eigentlich ausgeschlossen werden, da bei einem fehlenden oder funktionsuntüchtigen Crash-Recorder im Unfallereignis die Vorteile – objektive Unfallrekonstruktion und rückwirkend die reduzierte Versicherungsprämie – verloren gehen würden. Für nicht fakultative Crash-Recorder kann das Problem der Gerätemanipulation durch Androhung und Durchsetzung drakonischer Massnahmen gelöst werden (z.B. keine Unfalldeckung, falls der Crash-Recorder nicht angebracht oder funktionsuntüchtig war).

2.2.3 Erhebung Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Bei Erhebungen zum Fahrverhalten und zur Fahrzeugnutzung werden Werte über die einzelnen Fahrten der ausgerüsteten Fahrzeuge zu statistischen Zwecken gesammelt.

Relevante Informationen

Abhängig von der Art der zu erstellenden Statistik sind dabei folgende Informationen zu den einzelnen Fahrzeugnutzungen (d.h. einzelnen Fahrten) von Interesse:

- Wann hat die Fahrt begonnen, wie lange hat sie gedauert und wie gross war dabei die zurückgelegte Distanz?
- Welche Fahrtroute – im Minimum von wo nach wo – wurde dabei auf welchen Strassentypen (Autobahn, ausserorts, innerorts) gefahren?
- Wie war der Fahrstil der Fahrt („sportlich“/ „gemütlich“)?
- Wozu wurde das Fahrzeug bei dieser Fahrt genutzt?
- Wann stand das Fahrzeug wie lange im Stau?

Die gesammelten Daten können zu Statistiken bezüglich der Entwicklung des Verkehrs- und Stauaufkommens verwendet werden. Zudem können dabei möglicherweise auch Aussagen zu den Ursachen von Verkehrsstörungen gemacht werden. Anhand solcher Statistiken können Rückschlüsse bezüglich Bau, Unterhalt und Betrieb der Verkehrsinfrastruktur gemacht werden. Solche Statistiken dienen des Weiteren als Grundlage, um volkswirtschaftliche Entwicklungen im Bereich der Mobilität auf politischer, konzeptioneller und operativer Ebene zu analysieren.

Datenübermittlung

Bei befristeten kürzeren Datenerfassungen – ca. ein bis drei Monate – werden die Daten mit der Rückgabe des Erfassungsgerätes übermittelt. Im Falle einer längeren oder permanenten Erfassung müssen die Daten periodisch an die Stelle übertragen werden, welche die Daten zu statistischen Informationen weiter verarbeitet. Das Übermittlungsintervall sollte dabei den möglicherweise freiwilligen Nutzer nicht übermässig mit Arbeit belasten und sollte daher einige Monate betragen, denkbar und sinnvoll wären drei Monate.

Autarkie

Im Idealfall verfügt das Erfassungsgerät über eine Autarkiezeit, welche der Dauer der Datenerfassung für die Statistik entspricht (z.B. ein bis drei Monate). Im Falle einer Datenerfassung, bei der laufend aktuelle Daten über einen längeren Zeitraum (mehrere Jahre) gesammelt werden, um die Statistik ständig aktuell zu halten, sollte die Autarkie der doppelten Intervalldauer für die Datenübermittlung entsprechen. Im absoluten Minimum muss sie diese um 30 % überschreiten, um Datenverluste und/oder Erfassungslücken zu vermeiden.

Manipulationsschutz

Der Fahrer hat kein Interesse, die Datenerfassung zu beeinflussen oder zu verfälschen, da er dadurch keinen Vorteil hat. Ein Geräteeinbau dürfte meistens auf freiwilliger Basis erfolgen und daher dürfte auch eine böswillige Datenmanipulation äusserst selten vorkommen.

2.2.4 Emissionsreduktion

Bei der Emissionsreduktion geht es in erster Linie um die Reduktion des Treibstoffverbrauches. Daneben stellt sich auch die Frage, in welcher Form ein Fahrzeug den Treibstoff nutzt und welche Emissionen (u.a. Abgase) dabei freigesetzt werden. Um die Emissionen seines Fahrzeuges durch seinen Fahrstil zu reduzieren, muss der Nutzer den Ist-Zustand kennen, also seinen eigenen sogenannten CO₂-Fussabdruck. Danach müssen die möglichen Massnahmen eruiert werden, damit der Nutzer eine Entscheidung treffen kann.¹

Relevante Informationen

Bei der Emissionsreduktion sind Informationen zur Fragestellung "Wie ökologisch wurde gefahren?" von Interesse. Die Informationen zum ökologischen Fahrstil sind teilweise stark vom Antriebstyp des Fahrzeuges abhängig. Speziell ein Hybridfahrzeug muss anders gefahren werden als ein Fahrzeug mit Verbrennungsmotor. Mögliche Messwerte bezüglich Emission sind z.B.

- Motordrehzahl und Gaspedalstellung
- Fahrkontinuität (möglichst wenig Brems- und Beschleunigungskombinationen)
- Treibstoffverbrauch pro gefahrene Distanzeinheit oder gefahrene und aufgezeichnete Fahrstrecke

Datenübermittlung

Die Informationen und Rückschlüsse aus den vorhandenen relevanten Informationen, vor allem der aktuelle Treibstoffverbrauch, müssen dem Nutzer idealerweise in Echtzeit während der Fahrt zurückgemeldet werden. Nur so kann der Fahrer sein Fahrverhalten zur Reduktion der Emissionen verändern. Eine nachträgliche Auswertung der Daten ist nur sinnvoll wenn die Fahrstrecke inklusive Streckenprofil ebenfalls aufgezeichnet wird oder mehrmals dieselbe Strecke gefahren und analysiert wird.

Autarkie

Wird das Gerät zur Emissionsreduktion als Trainingsgerät für den Fahrer eingesetzt, so sollte die Autarkie im Minimum einer Trainingseinheit entsprechen. Diese wäre in so einem Fall in Fahrstunden zu beziffern, da das Gerät durch den Fahrer bei Fahrbeginn ein- und danach ausgeschaltet würde. Im Falle einer aufgebrauchten Stromversorgung könnten diese ebenfalls durch den Fahrer ersetzt werden. Die Autarkie sollte deshalb im Minimum der durchschnittlichen monatlichen Fahrzeit eines normalen privaten Fahrzeugnutzers von ca. 25 bis 50 Stunden entsprechen.

¹ Bei der Emissionsreduktion dürfen theoretisch neben den direkten Emissionen (CO₂-Ausstoss des Fahrzeuges) nie die indirekten, versteckten Emissionsquellen (z.B. Herstellung) vergessen werden. Diese haben oft einen grösseren Einfluss auf den Gesamt Fussabdruck des Fahrzeuges, weshalb sie bei der Emissionsreduktion ebenso Berücksichtigung finden sollten. Allerdings kann dies nach dem Fahrzeugkauf wenn überhaupt nur noch durch eine lange Fahrzeugnutzung positiv beeinflusst werden.

Manipulationsschutz

Der Fahrer hat kein Interesse, die Datenerfassung zu beeinflussen oder zu verfälschen, da er dadurch keinen Vorteil hat. Im Gegenteil, bei korrekter Anwendung kann der Fahrer Treibstoff und damit Kosten sparen.

2.2.5 Überwachung von Rasern

Ziel der Überwachung von Rasern ist das Einhalten der erlaubten Höchstgeschwindigkeit mit einer Null-Toleranz.

Relevante Informationen

Es wird davon ausgegangen, dass die Erkennung der Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit durch das Gerät selbst nicht möglich ist. Daher müssen sämtliche relevanten Fahrdaten mit einer ausreichend detaillierten Abschnittsauflösung zur nachträglichen Auswertung aufgezeichnet werden:

- Der Fahrabschnitt (wo wurde gefahren),
- die gefahrene Höchstgeschwindigkeit im Fahrabschnitt,
- der Zeitpunkt der Fahrt und
- die Fahreridentifikation.

Die Abschnittsauflösung muss dabei so gestaltet sein, dass sie die Beurteilung der Einhaltung der gefahrenen Geschwindigkeit bei einem Wechsel der zulässigen Höchstgeschwindigkeit (z.B. ausserorts zu innerorts) korrekt, d.h. dem Gesetz entsprechend erlaubt.

Datenübermittlung

Da es sich bei der Überwachung von Rasern vermutlich um eine Vollzugsmassnahme bei einer Straftat mit einem Bewährungsverfahren handeln dürfte, ist eine kurze Intervalldauer für die Datenübermittlung durch den sich in der Bewährungsfrist befindlichen Fahrer zumutbar. Das heisst eine Übermittlungsperiode von maximal einem Monat ist durchaus denk- und zumutbar. Dabei müssen sämtliche aufgezeichneten Fahrdaten an die Überwachungsbehörde übermittelt werden.

Autarkie

Die Betriebsautarkie sollte dem Zeitraum entsprechen, in welchem der zu überwachende Raser seine Fahrdaten der zuständigen Behörde übermitteln muss. Um einen Datenverlust, bzw. eine Überwachungslücke zu vermeiden, muss die Autarkiezeit der doppelten Intervalldauer für die Datenübermittlung entsprechen. Da es sich hier um eine gesetzlich verankerte Überwachung handelt, müssen das Fahrzeug und das Überwachungsgerät einer periodischen Inspektion unterzogen werden. Dieser Zeitraum entspricht ebenfalls der minimalen Autarkie für das Überwachungsgerät. Nötige Wartungsarbeiten (z.B. Ersetzen der Stromversorgung) können dann ebenfalls ausgeführt werden (siehe auch "Betriebliche Aspekte").

Manipulationsschutz

Da das Gerät zur Überwachung und nicht aus freiem Willen eingesetzt wird, besteht eine erhebliche Gefahr, dass der Nutzer versucht, die Daten zu seinen Gunsten zu manipulieren. Als besonders heikel muss in diesem Zusammenhang die temporäre Entfernung des Erfassungsgerätes aus dem Fahrzeug oder die temporäre Ausserbetriebnahme (z.B. durch Entfernen der internen Stromversorgung) des Erfassungsgerätes eingestuft werden. Es muss deshalb sichergestellt werden, dass eine Verletzung der Fahrzeugbindung, eine Ausserbetriebnahme oder der Versuch von Datenmanipulationen nicht unbemerkt, d.h. ohne physische oder elektronische Spuren zu hinterlassen, durchgeführt werden können. Eine Verhinderung von Manipulationen wird dagegen als nicht ganz so wichtig erachtet. Sofern die Manipulation erkannt wird, können solche Fälle durch gesetzliche Regelungen abgefangen werden (z.B. durch Aufhebung der Bewährung im Falle eines Manipulationsversuches).

Eine weitere Herausforderung stellt die zuverlässige Fahreridentifikation dar, da eigentlich nicht das Fahrzeug, sondern der Fahrer überwacht werden soll. Dies kann technisch

nur über biometrische Identifikationsverfahren zuverlässig gelöst werden. Bei allerdings nicht erfolgter Identifikation müsste das Fahrzeug blockiert, d. h. fahruntüchtig gemacht werden. Zudem kann der zu überwachende Fahrer immer noch ein anderes, nicht ausgerüstetes Fahrzeug verwenden. Als einzige mit vernünftigem Kostenaufwand realisierbare Lösung verbliebe eigentlich nur eine gesetzliche Verfügung, dass der zu überwachende Fahrer nur dieses Fahrzeug verwenden darf und zudem für alle Übertretungen, auch durch andere Fahrer, haftbar wäre. Dies ist allerdings eine sehr diskriminierende, juristisch und politisch kaum durchsetzbare Lösung.

Betriebliche Aspekte

Da die Fahrzeugbindung eine grosse Rolle spielt (vgl. Manipulationsschutz), kommt dem Einbauvorgang grosse Bedeutung zu. Es muss sichergestellt werden, dass der Einbau in das richtige Fahrzeug erfolgt. Es wird deshalb davon ausgegangen, dass der Einbau und die Personalisierung nicht durch einen x-beliebigen Nutzer, sondern durch eine Vertrauensperson der Überwachungsbehörde erfolgt.

Anmerkung: Theoretisch wäre es auch denkbar, das Raser als Ereignis (der massiven Überschreitung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit) zu überwachen. Im Gegensatz zur Raser-Überwachung dürfte es bei dieser Anwendung aus Gründen des Datenschutzes aber schwer zu rechtfertigen sein, ein Fahrprofil zu erstellen, wenn der Lenker zuvor noch nicht als Raser überführt wurde. Nachdem eine komplett autarke Überwachung durch das Erfassungsgerät aber als nicht machbar erachtet wird, wird auf eine genauere Betrachtung dieser Anwendung verzichtet.

2.2.6 Durchsetzung von Fahrverboten

Zeit- und benutzerabhängige² Fahrverbote gelten an vielerlei Orten. Die Einhaltung solcher Fahrverbote könnte durch ein Erfassungsgerät überwacht werden.

Relevante Informationen

Bei der Überwachung von Fahrverboten muss festgestellt werden können, ob eine unerlaubte Nutzung einer Strasse vorliegt. Fahrverbote gelten für ein bestimmtes Gebiet oder eine einzelne Strassen. Möglicherweise gelten sie nur zu einer bestimmten Zeit und/oder für eine bestimmte Fahrzeugart (LKW, PKW) und/oder für eine bestimmte Nutzergruppe (z.B. Ausnahme Anwohner). Es wird davon ausgegangen, dass das Erfassungsgerät nicht selbst bestimmen kann, ob eine Verletzung eines Fahrverbotes vorliegt. Folgende Informationen müssen für die Überwachung von Fahrverboten daher aufgezeichnet werden:

- Der Fahrtabschnitt (wo wurde gefahren),
- der Zeitpunkt der Fahrt und
- optional die Fahreridentifikation.

Die Übertretung des Fahrverbotes wird anhand dieser Daten im Nachhinein ermittelt. Der Fahrzeugtyp ist durch den Einbau in ein definiertes Fahrzeug gegeben. Einzig Fahrverbote für Fahrzeugkombinationen mit Anhänger müssten, falls vorhanden, speziell erfasst werden.

Datenübermittlung

Es wird nicht davon ausgegangen, dass ein Gerät zur Überwachung von Fahrverboten in alle Fahrzeuge eingebaut wird. Diese Anwendung könnte zum Beispiel in eine Vollzugs-massnahme bei einer Straftat mit einem Bewährungsverfahren bei potentiellen Wiederholungstätern angewendet werden. In diesem Fall ist eine kurze Intervalldauer für die Datenübermittlung durch den sich in der Bewährungsfrist befindlichen Fahrer zumutbar. Das heisst eine Übermittlungsperiode von maximal einem Monat ist durchaus denk- und zumutbar. Dabei müssen sämtliche aufgezeichneten Fahrdaten an die Überwachungsbehörde übermittelt werden.

² Zur gesetzlichen Ruhezeitüberwachung von Fahrern existieren bereits komplexe Systeme wie z.B. der digitale Tachograph. Diese Benutzer sind deshalb nicht in dieser Überwachung von Fahrverboten enthalten.

Autarkie

Siehe "Autarkie" in 2.2.5 „Überwachung von Rasern“.

Manipulationsschutz

Siehe "Manipulationsschutz" in 2.2.5 „Überwachung von Rasern“.

Betriebliche Aspekte

Siehe "Betriebliche Aspekte" in 2.2.5 „Überwachung von Rasern“.

2.2.7 Ermittlung von Parkzeiten

Die Ermittlung von Parkzeiten dient hauptsächlich der Erhebung der anfallenden Parkgebühren.

Relevante Informationen

Es wird davon ausgegangen, dass das Erfassungsgerät nicht selbstständig erkennt, ob ein Fahrzeug auf einem gebührenpflichtigen Parkfeld abgestellt wurde. Dies wäre eigentlich nur möglich, wenn jedes Parkfeld oder die Ein- und Ausfahrt zu einem Parkhaus oder einem Parkplatz mit einer DSRC-Bake ausgerüstet wäre, die dann auch gleich den Parktarif übermittelt. Deshalb muss das Gerät folgende Daten pro Parkereignis aufzeichnen:

- Parkposition, d.h. Strasse oder Gebiet
- Beginn und Ende der Parkzeit

Datenübermittlung

Damit die Daten verarbeitet werden können, müssen sie periodisch an eine zentrale Stelle übermittelt werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Periode am Rhythmus der Rechnungslegung orientiert. Aus praktischen Gründen sollte diese mit anderen periodischen Rechnungen abgestimmt sein und es sollten sich nicht zu grosse Rechnungsbeträge aufkumulieren. Ein Rechnungs- und damit Auslesungsintervall von ein bis drei Monaten erscheint daher realistisch.

Autarkie

Es wird davon ausgegangen, dass die Autarkie sich am Intervall für die Datenübermittlung orientiert. Um einen Datenverlust und/oder eine Erfassungslücke möglichst zu vermeiden, muss die Autarkiezeit im Minimum die Intervalldauer für die Datenübermittlung um einen Monat überschreiten.

Manipulationsschutz

Da anhand der Daten aus dem Gerät der Parktarif bestimmt wird, besteht potentiell die Gefahr, dass der Nutzer versucht, die Daten zu seinen Gunsten zu manipulieren. Als besonders heikel muss in diesem Zusammenhang die temporäre Entfernung des Erfassungsgerätes aus dem Fahrzeug oder die temporäre Ausserbetriebnahme (z.B. durch Entfernen der internen Stromversorgung) des Erfassungsgerätes eingestuft werden. Es muss deshalb sichergestellt werden, dass Manipulationen nicht unbemerkt, d.h. ohne physische oder elektronische Spuren zu hinterlassen, durchgeführt werden können. Eine Verhinderung von Manipulationen wird dagegen als nicht ganz so wichtig erachtet. Sofern die Manipulation erkannt wird, können solche Fälle durch Androhung von Bussen abgefangen werden.

2.2.8 Fahrzeitabhängige Abgaben

Fahrzeitabhängige Abgaben basieren auf der innerhalb einer definierten Zeitdauer auf einem gebührenpflichtigen Strassennetz gefahrenen Zeit. Diese Abgaben können von der Tageszeit, zu welcher gefahren wird, oder der Fahrzeugzusammenstellung abhängig sein. Ein vorhandener Anhänger ist bei LKWs nahezu immer ein entscheidender Tariffaktor. Dies kann auch bei Personenwagen der Fall sein.

Relevante Informationen

Das Erfassungsgerät muss die folgenden Informationen pro Einzelfahrt aufzeichnen können:

- Zeit des Beginns und Ende der Fahrt (= Fahrdauer)

- Fahrzeugzusammenstellung (falls benötigt)

Da die Abgabe nur auf gebührenpflichtigen Strassen erhoben wird (als Flächen- oder Netzmaut), benötigt das Erfassungsgerät ebenfalls eine Funktion zur Erkennung, ob die Fahrt innerhalb oder ausserhalb des abgabepflichtigen Gebietes stattfindet (z.B. durch die Gebietserkennung über Ein-/Ausschaltung der Geräteaufzeichnung über DSRC an jeder möglichen Ein- bzw. Ausfahrt aus dem abgabepflichtigen Gebiet). Diese Funktion darf nicht durch den Nutzer beeinflussbar sein. Kann das Erfassungsgerät nicht selbstständig entscheiden ob auf einem gebührenpflichtigen Strassenabschnitt gefahren wird, muss es alle Fahrten über Positionsdaten mit einer genügenden Abschnittsauflösung speichern.

Datenübermittlung

Damit die Daten verarbeitet werden können, müssen sie periodisch an eine zentrale Stelle übermittelt werden. Es wird davon ausgegangen, dass sich die Periode am Rhythmus der Rechnungslegung orientiert. Aus Gründen der Analogie und damit sich nicht zu grosse Rechnungsbeträge aufkumulieren, sollte dieses Intervall gleich sein wie bei der LSVA, also ein Rechnungs- und damit Auslesungsintervall von einem Monat.

Autarkie

Es wird davon ausgegangen, dass die Autarkie sich am Intervall für die Datenübermittlung orientiert. Um einen Datenverlust und / oder eine Erfassungslücke möglichst zu vermeiden, muss die Autarkiezeit im Minimum der doppelten Intervalldauer für die Datenübermittlung entsprechen.

Manipulationsschutz

Da anhand der Daten aus dem Gerät der Tarif bestimmt wird, besteht zumindest potentiell die Gefahr, dass der Nutzer versucht, die Daten zu seinen Gunsten zu manipulieren. Als besonders heikel muss in diesem Zusammenhang die temporäre Entfernung des Erfassungsgerätes aus dem Fahrzeug oder die temporäre Ausserbetriebnahme (z.B. durch Entfernen der internen Stromversorgung) des Erfassungsgerätes eingestuft werden. Es muss deshalb sichergestellt werden, dass eine Verletzung der Fahrzeugbindung, eine Ausserbetriebnahme oder der Versuch von Datenmanipulationen nicht unbemerkt, d.h. ohne physische oder elektronische Spuren zu hinterlassen, durchgeführt werden können. Eine Verhinderung von Manipulationen wird dagegen als nicht ganz so wichtig erachtet. Sofern die Manipulation erkannt wird, können solche Fälle durch Androhung von Bussen abgefangen werden.

Betriebliche Aspekte

Falls die erhobene Abgabe fahrzeugabhängig ist (z.B. aufgrund von unterschiedlichen Emissionsklassen oder Gewichtskategorien), kommt dem Einbauvorgang grosse Bedeutung zu. Es muss sichergestellt werden, dass der Einbau in das richtige Fahrzeug erfolgt. In einem solchen Fall muss davon ausgegangen werden, dass der Einbau nicht durch einen x-beliebigen Nutzer, sondern durch eine Vertrauensperson / die gebührenerhebende Behörde erfolgt. Bei einer für alle Fahrzeuge gleich hohen Gebühr muss nur sichergestellt sein, dass der Einbau durch den Nutzer den Manipulationsschutz aktiviert (z.B. durch ein Siegel in der Klebeverbindung zwischen Erfassungsgerät und Windschutzscheibe analog zur Autobahnvignette).

2.3 Charakterisierung der Geräteanforderungen

Aus den grundlegenden Anforderungen der denkbaren Anwendungen lassen sich die wesentlichen benötigten Funktionen und Eigenschaften des Fahrzeuggeräts detailliert beschreiben.

2.3.1 Ermittlung Fahrdauer und Fahrtzeit

Für eine Vielzahl der Anwendungen sind die Erkennung der Fahrt und die damit verbundene Berechnung der Fahrdauer – wie lange wurde gefahren – von entscheidender Bedeutung. Die Ermittlung der Fahrdauer kann auf verschiedene technische Arten erfolgen. Benötigt werden die Erkennung von Beginn und Ende einer Fahrt sowie ein Timer

(Stoppuhr) für die Messung der Fahrdauer. Entscheidend dabei ist, wie eine Fahrt überhaupt definiert wird. Hierbei kommen mehrere Möglichkeiten in Frage:

- Zündung ein/aus
- Motor ein/aus
- Fahrzeug rollt/steht

Je nach Definition sind unterschiedliche technische Umsetzungen denkbar. Der Zustand Zündung ein/aus wäre nur über eine nicht zulässige Schnittstelle zum Fahrzeug erkennbar. Da bei einem Elektromotor kein Motor ein/aus über Vibrationen erkennbar ist bzw. dies einem Fahrzeug rollt/steht gleichzusetzen ist, bleibt als mögliche Lösung für die Ermittlung der Fahrdauer nur die Variante Fahrzeug rollt/steht. Der Zustand Fahrzeug rollt/steht muss anhand der Vibrations- und Beschleunigungswerte ermittelt werden.

Für die Ermittlung der Fahrzeit – wann wurde gefahren – werden wie bei der Fahrdauer die Erkennung von Beginn und Ende einer Fahrt sowie eine Echtzeituhr für die Zeitstempel bei Beginn und Ende der Fahrt benötigt. Aus den beiden Zeitstempeln lässt sich ebenfalls die Fahrdauer berechnen.

Definition für Start und Ende einer Fahrt

- Zündung ein/aus:
→ Nicht geeignet, weil dafür eine Schnittstelle zum Fahrzeug nötig wäre
- Motor ein/aus:
→ Nicht geeignet, weil neue Fahrzeugkonzepte (Elektro- oder Hybridantrieb) keine Motorenvibrationen verursachen
- Fahrzeug rollt/steht (Räder bewegen sich):
→ Geeignet, da durch autarke Messung (zumindest theoretisch) messbar

Wahrnehmung des Nutzers

Die Definition einer Fahrt über *Fahrzeug rollt/steht* ist zwar technisch klar definiert, wird aber durch den Nutzer nicht als „Fahrt“ wahrgenommen. Der Nutzer wird unter einer Fahrt eher eine kleinere oder grössere Reise von A nach B (z.B. die Fahrt von Zuhause zur Arbeit) wahrnehmen. Allerdings ist der Begriff der Reise technisch nicht klar definiert. Welche Einzelfahrten müssen zu einer Reise zusammengefasst werden? Es wird davon ausgegangen, dass diese Zusammenfassung nicht zwingend durch das Erfassungsgerät erfolgen muss, sondern auch durch einen nachgelagerten Prozess erfolgen kann. Das Gerät ermittelt die einzelnen Fahrten (im Sinne der Definition rollt/steht) als Basis dafür.

Fragestellung zur Fahrt

Wann hält ein Fahrzeug innerhalb der Fahrt temporär an (Fahrtpausen)?

- Halt vor Ampeln
- Halt an Kreuzungen
- Halt vor Fussgängerstreifen
- Fahrzeug-Rangiermanöver
- Stop and go Verkehrssituationen
- Weitere Situationen mit Haltevorgängen

Wie unterscheidet sich ein temporäres Anhalten vom Ende einer Fahrt?

- Durch die Dauer der Fahrtpause (einzige messbare Grösse).

Fragestellungen zur Messung der Fahrt:

- In welchen Situationen ist das Erkennen von Beginn oder Ende einer Fahrt für das Erfassungsgerät nicht möglich?
- Existiert z.B. eine Geschwindigkeitsuntergrenze für die Erkennbarkeit einer Fahrt?

- Können kurzzeitige Fahrtpausen zuverlässig erkannt werden?
- Wo liegt die Schwelle für die Erkennbarkeit von Fahrtpausen?

2.3.2 Ermittlung Fahrdistanz

Bei der Erhebung des Fahrverhaltens und Fahrzeugnutzung ist die zurückgelegte Distanz von Interesse. Die Distanz kann theoretisch anhand der Informationen eines Beschleunigungssensors ermittelt werden. Dazu wird anhand der Beschleunigung die Geschwindigkeit und daraus wiederum die vom Fahrzeug zurückgelegte Distanz ermittelt. Das Problem dabei ist, dass bereits kleinste Messfehler, welche nie gänzlich verhindert werden können, die Genauigkeit der Daten massiv beeinflussen. Genügend präzise Fahrdistanzermittlung ist nur mit GPS oder über eine Tachoschnittstelle möglich. Beide Lösungen sind im untersuchten Systemansatz (und damit auch die Ermittlung der Fahrdistanz) per Definition ausgeschlossen.

2.3.3 Ermittlung Fahrzeugposition

Bei mehreren Anwendungen wird die Bestimmung der Fahrzeugposition, zum Beispiel für die Ermittlung der Position oder des Gebietes einer Fahrt (wo wurde gefahren bzw. wo wurde geparkt?) benötigt. Dies ist technisch entweder über eine strassenseitige Signalisierung (z.B. über DSRC) oder eine Lokalisierung über GPS möglich. Eine strassenseitige Signalisierung der Position über DSRC ist nur dann praktikabel und kosteneffizient, wenn nicht zu viele DSRC-Baken auf dem Strassennetz installiert werden müssen. Eine GPS-basierte Lösung ist im untersuchten Systemansatz grundsätzlich ausgeschlossen.

2.3.4 Ermittlung Fahrstil

Der Fahrstil (z.B. "sportlich" oder "gemütlich") wird anhand der Längs- und Querb beschleunigung sowie -verzögerung kontinuierlich mit Zeitstempeln versehen aufgezeichnet. Die eigentliche Ermittlung des Fahrstils erfolgt nicht im Erfassungsgerät, sondern nach Übertragung der Daten auf einen Computer mit Hilfe einer speziellen Software. Bei der Analyse des Fahrstils müssen aber eigentlich auch geografische und strassenspezifische Eigenheiten berücksichtigt werden. So sind z. B. die Querb beschleunigungen in einer kreisförmigen Autobahnauffahrt auch bei gemüthlicher Fahrweise unter Umständen weit aus höher als normal für den Fahrstil definiert.

2.3.5 Ermittlung Fahrzeugnutzung

Die Ermittlung der Fahrzeugnutzung (wozu wurde das Fahrzeug genutzt?) kann nur durch eine Eingabe des Fahrers erfasst werden. Über ein minimales HMI ist die Eingabe „Fahrzeugnutzung“ aus einer vorgegebenen Liste von z.B. zehn Fahrzeugnutzungsarten denkbar, ohne die interne Stromversorgung durch ein grosses Display übermässig zu belasten. Der auszuwählende Listeneintrag wird nur über eine Zahl auf einer einfachen Anzeige angegeben.

2.3.6 Fahrererkennung

Bei einigen Anwendungen ist die Erkennung des Fahrers von Bedeutung. Diese Erkennung kann einerseits freiwillig (Erhebung von Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung) oder verpflichtend (Überwachen von Rasern) sein. Eine freiwillige Fahrererkennung kann über ein einfaches HMI mit vordefinierten Fahrererkennungen (z.B. Fahrer 1 bis 5) realisiert werden. Eine technische Lösung der verpflichtenden Fahrererkennung kann technisch nur über biometrische Identifikationsverfahren zuverlässig gelöst werden. Zudem müsste bei nicht erfolgter Identifizierung das Erfassungsgerät das Fahrzeug blockieren bzw. stilllegen können. Ein biometrisches Identifikationsverfahren ist einerseits technisch zu aufwendig. Zudem wird die nötige Fahrzeugschnittstelle zur Blockierung des Fahrzeuges per Definition durch das System ausgeschlossen, da keine Schnittstelle zum Fahrzeug vorhanden ist (vgl. Kap. 1.2.2).

2.3.7 Datenspeicher

Sämtliche oben aufgeführten Informationen müssen ständig aufgezeichnet werden. Im

Normalfall werden die Daten nach einer gewissen Zeit wieder durch neue überschrieben, zum Beispiel immer nachdem die Daten ausgelesen oder übermittelt wurden. Es ist also keine dauerhafte Speicherung nötig. Je nach Anwendung erfolgt die Aufzeichnung im Ereignisfall – also beispielsweise bei ungewöhnlich starker Verzögerung (=Unfall) – in erhöhter Auflösung (mehr gespeicherte Sensordaten pro Zeiteinheit). Ausserdem wird die entsprechende Sequenz gekennzeichnet, sodass sie in der Folge nicht mehr überschrieben wird. Entscheidend dabei ist, dass die markierte Sequenz auch den Verlauf vor und nach dem Ereignis (Pre- und Post-Crash Phase) mit einschliesst. So kann im Nachhinein anhand der Sequenz ein Unfall rekonstruiert und damit auch die Schuldfrage besser beurteilt werden. Um zu verhindern, dass Daten unbemerkt manipuliert werden können, sind sie durch entsprechende Sicherheitsmechanismen geschützt.

2.3.8 Stromversorgung und Autarkie

Per Definition ist ein autarkes Gerät gefordert, weshalb die Stromversorgung intern mit einer Batterie oder Akku als Stromquelle erfolgt. Der Nachteil ist, dass dem zulässigen Stromverbrauch des Gerätes enge Grenzen gesetzt sind. Dies wiederum hat Einfluss auf die Wahl des technischen Konzepts und der technischen Komponenten. Zwar gibt es eine Vielzahl von verschiedenen Batterietypen auf dem Markt, allerdings eignen sich bei Weitem nicht alle für den Einsatz im Gerät. Für eine lange Autarkiezeit sind die Kapazitätsansprüche (mAh) sehr hoch. Anspruchsvoll für die Stromversorgung sind auch die physikalischen Bedingungen in einem Fahrzeug. Vor allem tiefe Temperaturen führen (oft) zu einer stark reduzierten Betriebsdauer.

2.3.9 Manipulationsschutz

Anhand der Daten aus dem Fahrzeuggerät wird bei bestimmten Anwendungen die Höhe einer zu bezahlenden Gebühr ermittelt (z.B. Versicherungstarif, Strassenbenutzungsgebühr etc). Dadurch besteht zumindest potentiell die Gefahr, dass der Nutzer versucht die Daten zu seinen Gunsten zu manipulieren. Es gibt mehrere Möglichkeiten, dieser Gefahr zu begegnen. Eine Möglichkeit liegt darin, das Gerät mit Mechanismen auszustatten, die eine Manipulation verhindern oder zumindest erkennen lassen. Die Erkennung von Manipulationsversuchen sollte zumindest dadurch sicher gestellt sein, dass sich das Gerät nicht öffnen lässt ohne Spuren zu hinterlassen (z.B. Zerstörung einer Plombe). Dies stellt ebenfalls sicher, dass eine zeitweise Entfernung der internen Stromversorgung nicht unentdeckt bleibt.

2.3.10 Human Machine Interface (HMI)

Das HMI umfasst sämtliche Komponenten eines Gerätes, welche zur Kommunikation mit dem Nutzer benötigt werden. Dabei kann unterschieden werden zwischen Komponenten zur Daten-Eingabe (Nutzer teilt dem Gerät etwas mit) und Komponenten zur Daten-Ausgabe (Gerät teilt dem Nutzer etwas mit). Das HMI des Erfassungsgerätes sollte im Minimum über eine Taste und ein LED oder Summer zum Funktionscheck und je nach Anwendung über weitere ein bis zwei Tasten und zugehöriger LEDs zur Eingabe von minimalen zusätzlich zu erfassenden Daten verfügen.

2.4 Berücksichtigte Anwendungen

Die soeben vorgenommene Charakterisierung der Geräteeigenschaften führt nun zu einer Selektion der denkbaren Anwendungen. Denn einige funktionale Anforderungen können nicht mittels vorgegebenen Geräteeigenschaften oder weiteren zulässigen Zusatzkomponenten realisiert werden. Folglich werden die entsprechenden Anwendungen für den Systemansatz fallengelassen und nicht weiter verfolgt.

Jede Anwendung wird nachfolgend kurz auf die prinzipielle Realisierbarkeit überprüft:

Die Anwendung **Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)** ist für den Systemansatz **geeignet**. Geschwindigkeitswerte sind zwar gewünscht, aber nicht zwingend notwendig.

Die **Crash-Recorder Funktionalität** wäre für den Systemansatz **grundsätzlich geeignet**.

net. Sie wird in diesem Projekt aber nicht weiter verfolgt, da keine Crash-Test durchgeführt werden können.

Die **Erhebung von Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung** ist für den Systemansatz **geeignet**. Das Fahrverhalten ist fahrerabhängig und sofern dieser identifiziert werden soll, ist dies über eine einfache (quasi) freiwillige Identifikation ohne Konsequenzen möglich. Über ein minimales HMI ist auch die Eingabe der Art der Fahrzeugnutzung aus einer vorgegebenen Liste von z.B. zehn Fahrzeugnutzungsarten denkbar.

Die **Emissionsreduktion** ist für den Systemansatz **nicht geeignet**. Es existiert keine Möglichkeit, dem Fahrer ein sinnvolles Feedback über Fahrstil und Treibstoffverbrauch oder andere, die Emissionen bestimmende Werte zu übermitteln. Zu statistischen Zwecken könnte einzig der eingeschaltete Verbrennungsmotor im Stillstand erfasst werden, was wenig Nutzen bringt.

Die **Überwachung von Rasern** ist für den Systemansatz **nicht geeignet**. Weder besteht eine Schnittstelle zum Tachographen um die Geschwindigkeit festzustellen, noch ist ein GPS-Modul für die Berechnung der Geschwindigkeit vorhanden. Theoretisch liesse sich die Geschwindigkeit über Beschleunigung x Zeit zwar berechnen, aber die Genauigkeit ist doch zweifelhaft. Es ist ebenfalls nicht möglich, die Geschwindigkeit genügend zuverlässig anhand der im Fahrzeug vorhandenen Vibrationen zu messen. Ohne GPS-Modul kann das Gerät auch nicht erkennen, wo sich das Fahrzeug befindet und welche Höchstgeschwindigkeit gerade zulässig ist (120 km/h ist auf Autobahnen zulässig, nicht aber innerorts). Die Überwachung von Rasern hat aber noch eine ganz andere zu lösende Ausprägung: Nicht das Fahrzeug selbst, sondern die Person müsste überwacht werden und die Fahreridentifikation wäre nur in ausgerüsteten Fahrzeugen mit viel zu hohem Aufwand möglich.

Das **Durchsetzen von Fahrverboten** ist für den Systemansatz **nicht geeignet**. Fahrverbote gelten jeweils in einem bestimmten Gebiet. Daher muss das Gerät erkennen können, ob das Fahrverbot gilt. Also muss das Gebiet in oder die Strasse auf welcher sich das Fahrzeug befindet, identifiziert werden können. Dies könnte beispielsweise mittels Gebiets Ein- und Ausfahrtserkennung basierend auf DSRC-Technologie erfolgen. Ein GPS-Modul zur Bestimmung der Ortsreferenz ist aus Gründen mangelnder Stromversorgung und vom Systemansatz aus nicht vorgesehen. Zudem können personengruppenbezogene Fahrverbote ebenfalls nicht überwacht werden, da die Identifikation von Personengruppen (z.B. Anwohner vom Fahrverbot ausgenommen) nicht lösbar erscheint.

Die **Ermittlung von Parkzeiten** ist für den Systemansatz **nicht geeignet**. Parkzeiten gelten jeweils für einen bestimmten Ort. Die Positionserkennung ist unumgänglich. Dies ist basierend auf den vorgegeben Geräteeigenschaften höchstens mit einer DSRC-Lösung möglich. Dann würde aber keine Fahrererkennung über Bewegungs- und Vibrationssensoren mehr benötigt. Das komplette System wäre in diesem Fall basierend auf der DSRC-Technologie implementiert.

Die Anwendung **Fahrzeitabhängige Abgaben** für ein definiertes Gebiet ist für den Systemansatz **geeignet**. Um unerlaubte Manipulationen des Benutzers erkennen zu können, muss der Betriebszustand der OBU – Funktionstüchtigkeit, innerhalb-/ausserhalb abgabepflichtigem Gebiet und Fahrzeugkonfiguration mit Zeitstempel – von einer Kontrolleinrichtung aus einem vorbeifahrenden Fahrzeug via DSRC ausgelesen werden können und mit der externen Beobachtung verglichen werden. Die Erkennung des abgabepflichtigen Gebietes über Positionsbestimmung ist aufgrund des fehlenden GPS-Moduls nicht möglich. Denkbar wäre beispielsweise eine Umschaltung nach dem Vorbild des LSVA-Systems. Je nach Beschaffenheit des pflichtigen Gebiets zieht die Errichtung der strassenseitigen Infrastruktur aber einen erheblichen Aufwand mit sich.

Die nachfolgende Liste und Abb. 2.1 fassen die Gründe für die denkbaren weiter verfolgten sowie die ausgeschlossenen Anwendungen zusammen:

- Lokalisierung über GPS → nicht möglich

- Fahrererkennung → nur auf freiwilliger Basis möglich
- Benutzereingaben über ein HMI → nur minimale Funktionen realisierbar
- Kommunikation via DSRC → zur Gebietserkennung und Kontrolle einsetzbar (Aufwand Strassenseite, nicht Gerät)
- Zeiterfassung → durch interne Uhr realisierbar
- Erfassung Beschleunigungswerte (u. a. Fahrterkennung) → Grundfunktion

	Lokalisierung (GPS)		Fahrererkennung		Benutzereingabe (HMI)		DSRC		Zeiterfassung		Beschleunigungswert (u.a. Fahrterkennung)		Denkbare Anwendung
Risikoabhängige Versicherungsprämien													✓
Crash-Recorder Funktionalität													✓
Erhebung Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung													(✓)
Emissionsreduktion													✗
Überwachung von Rasern													✗
Durchsetzung von Fahrverboten													✗
Ermittlung von Parkzeiten													✗
Fahrzeitabhängige Abgaben													(✓)

Abb. 2.1 Berücksichtigte Anwendungen

Die Anwendung Crash-Recorder kann nicht weiter verfolgt werden, da im Rahmen des vorhandenen Budgets keine reellen Crash-Tests durchgeführt werden können. Daher werden nur folgende drei denkbaren Anwendungen im weiteren Verlauf zur Definition des Pflichtenheftes und der Fahrversuche weiter verfolgt:

- Anwendung 1: Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)
- Anwendung 2: Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung
- Anwendung 3: Fahrzeitabhängige Abgaben

2.5 Resultierende Geräteanforderungen

2.5.1 Einführung

Anhand der verbleibenden berücksichtigten Anwendungen können nun die einzelnen benötigten Messgrößen und deren geforderte Genauigkeit festgelegt werden. Die Messgrößen und deren benötigte Genauigkeit werden für jede Anwendung im Einzelnen definiert.

Für alle drei Anwendungen wird die Ermittlung der Fahrdauer (wie lange wurde gefah-

ren) und die Fahrzeit (wann wurde gefahren) erforderlich. Für die ersten zwei Anwendungen werden die Messgrößen zur Ermittlung des Fahrstils – die Quer- sowie Längsbeschleunigungs- und Verzögerungswerte – benötigt. Zudem sind für die Anwendungen 2 und 3 Benutzereingaben zur vollständigen Datenerfassung notwendig. Die Summenbildungen – z.B. Total der Fahrzeit über eine Periode – oder statistische Auswertungen könnten zwar direkt im Erfassungsgerät vorgenommen werden, würde aber eine erhöhte Rechenleistung erfordern und damit voraussichtlich erhöhten Stromverbrauch verursachen, was sich negativ auf die Autarkie auswirken würde. Zudem ist in der Praxis im Software-Fehlerfall ein Update nur aufwendig möglich. Deshalb werden diese Funktionen besser nach der Datenübertragung im Hintergrundsystem ausgeführt.

2.5.2 Messwerte Fahrdauer und Fahrzeit

Dieses Kapitel beschreibt die Erwartungen an die Messgenauigkeit der Fahrdauer und Fahrzeit für die einzelnen Anwendungen. Die Fahrzeit wird über eine Echtzeituhr bestimmt. Diese hat basierend auf der heutigen Technik selten eine Abweichung von mehr als ein paar Sekunden. Für alle drei Anwendungen ist allerdings eine absolute Zeitgenauigkeit (bezüglich wann die Fahrt stattgefunden hat) von einer Minute ausreichend.

Nachfolgend werden die Anforderungen an die Genauigkeit der Erfassung bezüglich Fahrdauer im Detail analysiert.

Anwendung 1: Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)

Bei PAYD kann davon ausgegangen werden, dass eine Versicherung Nutzer bezüglich Fahrdauer und Fahrzeit in Gruppen einteilen wird. Zum Beispiel in Vielfahrer und Wenigfahrer. Wenigfahrer sind Nutzer, die pro Monat weniger als 20 Stunden fahren, was bei einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 50 km/h rund 2'000 km pro Monat entspricht. Bei einer solchen Nutzergruppe wäre der über PAYD bestimmte Tarif vermutlich direkt von der Anzahl gefahrener Stunden abhängig. Dies würde einer Auflösungsgenauigkeit der erfassten Fahrzeit in Stunden mit einer Fehlertoleranz von +/- 30 Minuten pro Messperiode (Monat) entsprechen. Bei den Vielfahrern ist anzunehmen, dass die den Tarif beeinflussende Abstufung eine Auflösung von mehreren Stunden haben wird, die sich nicht zwingend linear, sondern mit zunehmender Fahrzeit vergrössern wird. Im Fokus bezüglich Messgenauigkeit liegen deshalb die Wenigfahrer. Bei den angenommenen 20 Stunden und einem gesamten zulässigen Fehler von +/- 30 Minuten pro Monat ergibt sich deshalb eine zulässige Abweichung von 5%.

Anwendung 2: Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Die Einteilung der Nutzer bei der Auswertung bezüglich Fahrdauer und Fahrzeugnutzung in Statistiken dürfte eine noch höhere Auflösung haben als bei den Wenigfahrern bei PAYD. Bei einer Abstufung von minimal zwei Stunden in dieser Wenigfahrer-Nutzergruppe würde sich der zulässige Fehlerfaktor verdoppeln, was einer zulässigen Abweichung von ca. 10% entspricht.

Anwendung 3: Fahrzeitabhängige Abgaben

Der zulässige Fehler bei der Distanzerfassung durch den Tachographen darf gemäss Strassenverkehrsgesetz (und deshalb auch für die LSVA) 4% nicht überschreiten. Dieser Wert ist historisch bedingt und basiert auf alten mechanischen Tachographen. Zum Teil beeinflussten auch anderen Faktoren, wie z.B. abgenutzten Reifen die Festlegung der verhältnismässig hohen Toleranz. Diese 4% stellen daher die oberste Fehlerlimite bei der Erfassung der Fahrzeit zur Beurteilung der Tauglichkeit für die fahrzeitabhängigen Abgaben dar.

Die Anforderungen an die Reproduzierbarkeit bezüglich Erkennung und Erfassung der Fahrdauer für fahrzeitabhängige Abgaben sind aus Gründen der Gleichbehandlung aller Nutzer höher zu gewichten. Die Differenz bei der Erkennung einer wiederholten Fahrt (dieselbe Strecke mit demselben Fahrstil bez. Beschleunigungen und Bremsvorgängen) mit demselben Fahrzeug sollte kleiner als 1%, bei unterschiedlichen Fahrzeugen kleiner als 2% sein.

Bei der LSVA ist die Distanzauflösung für die Abgabe auf 0.1 km genau. Eine Auflösung

der Fahrzeit in Sekunden ist völlig ausreichend, da 1 Sekunde auch bei einer Geschwindigkeit von 120 km/h nur einer Distanz von 33 Metern entspricht. Die Auflösung ist damit auch im schlechtesten Fall (bei einer Geschwindigkeitsüberschreitung in der Schweiz) immer noch mehr als doppelt so genau wie bei der LSVA.

2.5.3 Messwerte Fahrstil

Die Idee des Messwertes Fahrstil ist, die Fahrweise in einem (oder mehreren) Wert(en) abzubilden. Die möglichen Input-Größen für die Ermittlung eines solchen Risiko-Faktors sind beschränkt. Die dabei wohl wichtigste Information dürfte von einem Beschleunigungssensor kommen. Denkbar ist es, die Geschwindigkeitsinformation als zusätzliche Größe mit einzubeziehen.

Anwendung 1: Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)

Es wird angenommen, dass eine Versicherung die Risikoabstufung für die Tarifbestimmung anhand des Fahrstils in Risikostufen einteilen wird. Eine solche Abstufung wird kaum mehr als zehn Risikogruppen umfassen. Die Verteilung dieser Risikostufen ist eventuell nicht linear und umfasst zum Beispiel bei einer 9-stufigen Einteilung in den Stufen 4 bis 6 grössere und in den Stufen 1 bis 3, bzw. 7 bis 9 jeweils feinere Messbereiche. Daher sollten Beschleunigungssensoren eine Auflösung aufweisen, die dem 50- bis 100-fachen der Anzahl Risikostufen entspricht.

Mangels vergleichbaren Erfahrungswerten kann keine Aussage bezüglich des zulässigen Messfehlers gemacht werden. Einzig Anforderungen und Erwartungen an die Reproduzierbarkeit der Messungen mit demselben Fahrzeug können spezifiziert werden. Diese Reproduzierbarkeit von Messwerten sollte keine Abweichungen grösser als 1 bis 2 Prozent aufweisen. Problematisch wird der Vergleich von Messwerten auf derselben Strecke mit unterschiedlichen Fahrzeugen, da diese durch denselben Fahrer kaum in einem Bereich mit so kleinen Abweichungen identisch beschleunigt werden können.

Anwendung 2: Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Bei der statistischen Auswertung des Fahrverhaltens werden die Fahrstile voraussichtlich ebenfalls in Gruppen eingeteilt. Es kann angenommen werden, dass keine feinere Abstufung zur Anwendung kommt. Im Gegenteil: Eine niedrigere Auflösung der Abstufung ist eher wahrscheinlich. Deshalb ist die benötigte Auflösung bei den Messwerten ca. um den Faktor 2 kleiner als bei PAYD.

Es dürften allerdings dieselben Anforderungen wie PAYD an Reproduzierbarkeit der Messungen gestellt werden.

2.5.4 Benutzereingaben

Anwendung 2: Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Das HMI muss bei dieser Anwendung die Fahreridentifikation ermöglichen. Da anzunehmen ist, dass ein Fahrzeug normalerweise nicht von vielen Fahrern genutzt wird, bei privaten Personenwagen sicher nicht von mehr als vier bis sechs Fahrern, erfolgt die Identifikation des Fahrers über eine ihm zugewiesene Nummer am HMI. Dies ist mit einer einzelnen Taste und einer einfachen, einstelligen Zahlenanzeige möglich. Über ein identisches minimales HMI ist auch die Eingabe der Art der Fahrzeugnutzung aus einer vorgegebenen Liste von z.B. zehn Fahrzeugnutzungsarten denkbar.

Anwendung 3: Fahrzeitabhängige Abgaben

Bei der Eingabe der Fahrzeugzusammenstellung bei fahrzeitabhängigen Abgaben wird ebenfalls nur eine Taste benötigt um zwischen Anhänger an/ab zu unterscheiden. Der deklarierte Zustand wird dabei bei der Umschaltung für einige Sekunden über eine oder zwei LED angezeigt.

2.5.5 Autarkie, Datenspeicherung und Übertragung

Die Autarkie orientiert sich grundsätzlich für alle drei Anwendungen am Intervall für die Datenübertragung. Daraus folgt, dass für die Autarkiezeit sowohl die Stromversorgung

als auch die zu speichernde Datenmenge gewährleistet sein müssen.

Anwendung 1: Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)

Bei der Anwendung hat die Datenauslesung bzw. Datenübertragung als kürzestes Intervall sechs Monate plus minimal zwei Monate Reserve.

Anwendung 2: Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Bei der Anwendung 2 wird davon ausgegangen, dass die Datenübermittlung am Ende der Erhebungsperiode mit der Rückgabe, bzw. dem Austausch des Gerätes erfolgt. Die Rückgabe oder der Austausch erfolgt nach maximal drei Monaten mit einem Monat Autarkiereserve.

Anwendung 3: Fahrzeitabhängige Abgaben

Bei den fahrzeitabhängigen Abgaben könnte die Datenübermittlung analog zur LSVA monatlich vorgesehen werden. Die Autarkiereserve würde dann ebenfalls einen Monat betragen, was eine Autarkie von zwei Monaten ergäbe. Dazu müsste aber eine Datenschnittstelle vorgesehen werden, welche eine bequeme und einfache monatliche Datenübermittlung ermöglichen würde. Eine Chipkarten- oder Datenträgerlösung ähnlich wie bei der LSVA ist für eine hohe Anzahl von Privatfahrzeugen nicht praktikabel und nicht genügend benutzerfreundlich. Eine Online-Übermittlung scheidet aus Komplexitätsgründen und dem zu hohem Stromverbrauch ebenfalls aus. Deshalb wird das Intervall für die Datenauslesung sowie die Abgabeperiode auf ein Jahresintervall erhöht und eine dreimonatige Autarkie Reserve vorgesehen.

Wiederherstellung der Autarkie

Im Rahmen der Datenübermittlung muss der Nutzer gegebenenfalls die Autarkie, d.h. die interne Stromversorgung wieder auf die volle Kapazität erhöhen. Dies kann durch Aufladen oder Auswechseln des Akkus erfolgen. Für die Anwendungen 1 und 3 birgt dieser Vorgang die Gefahr von Geräteoperationen des Benutzers zu seinen Gunsten. Wie dies verhindert oder zumindest erkannt werden kann, wird später im Kap. 2.6.4 beschrieben.

2.5.6 Zusammenfassung

Die resultierenden Geräteanforderungen sind in der unten stehenden Tabelle pro Anwendung und Gerätefunktion zusammengefasst.

Funktionen:	Erfassung Fahrdauer und Fahrzeit (zulässige Abweichung)	Erfassung Fahrstil	Benutzer-eingaben	Manipulationsschutz	Intervall Autarkie, Datenspeicherung und Übertragung
Anwendung:					
1) Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)	Ja (max. 5%)	Ja	Nein	Ja	6 Monate (Reserve 2 Monate)
2) Erhebungen zur Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung	Ja (max. 10%)	Ja	Erfassung Fahrzeugnutzung	Nein	3 Monate (Reserve 2 Monate)
3) Fahrzeitabhängige Abgaben	Ja (max. 2%)	Nein	Erfassung Anhänger Ja/Nein	Ja	12 Monate (Reserve 3 Monate)

2.6 Betriebliche Aspekte

2.6.1 Einbau und Wartung

Der Einbau muss durch den Benutzer erfolgen. Da die OBU keine Schnittstelle zu Fahrzeuggeräten und/oder Sensoren aufweisen darf, und ausserdem auch nicht an das Fahrzeugstromnetz angeschlossen wird, reduziert sich der Einbau auf die Anbringung der OBU am vorgeschriebenen Montageplatz. Dies könnte beispielsweise durch eine einfache Klebeverbindung erfolgen.

Für den Fall, dass während der Einsatzdauer der OBU im Fahrzeug eine Wartung vorgenommen werden muss, z.B. Batteriewechsel, ist dies ebenfalls Aufgabe des Benutzers.

2.6.2 Mitwirkungspflicht

Durch die Mitwirkungspflicht wird der Nutzer verpflichtet, die korrekte Datenerfassung nach seinen Möglichkeiten zu unterstützen. Sowohl fahrlässige als auch absichtliche Nichterfüllung der Mitwirkungspflicht wird mit Sanktionen geahndet. Die Mitwirkungspflicht wird entweder vertraglich (bei PAYD) oder gesetzlich (z.B. bei fahrzeitabhängigen Abgaben) geregelt.

Das Ziel der Mitwirkungspflicht besteht darin, eine möglichst hohe Qualität der Datenerfassung zu erreichen. Durch die Androhung von Sanktionen soll der Nutzer einerseits motiviert werden, die korrekte Funktion der OBU zu gewährleisten, aber andererseits auch von Verfälschungen der Datenerfassung zu seinen Gunsten abgehalten werden.

2.6.3 Datenübermittlung

Für die Datenübermittlung stehen grundsätzlich die folgenden technischen Übertragungsmedien und Vorgänge zur Verfügung;

- Funkschnittstelle
- Kabelverbindung
- Datenträger
- OBU-Austausch

Die Verwendung einer Funkschnittstelle kann ausgeschlossen werden, da einerseits kein Bedarf für die Echtzeitverfügbarkeit der Daten besteht und andererseits eine drahtlose Datenübermittlung, auch aufgrund der zu erwartenden Datenmengen, zu viel Strom verbraucht.

Der Entscheid für die Art der Datenübermittlung muss aufgrund der optimierten betrieblichen Prozesse gefällt werden. Das Intervall für die Datenübermittlung ist auf die OBU-Autarkie abgestimmt. D.h. mit der Datenauslesung wird gleichzeitig auch die Batteriekapazität wieder hergestellt. Es bieten sich somit folgende Optionen an:

- OBU-Austausch bei Datenübermittlung
- Aufladen OBU-Akku bei Datenübermittlung (z.B. via USB)
- Batterie-Austausch als zusätzliche Tätigkeit im Rahmen der Datenübermittlung

Bei der Beurteilung der Optionen müssen neben technischen und logistischen auch Aspekte zur Erfassungssicherheit mitberücksichtigt werden (siehe auch Kap. 2.6.4). Diesbezüglich ist der Austausch der OBU gleichzusetzen mit dem Ersteinbau. Dem Nutzer wird eine neue OBU für die nächste Erfassungsperiode zugestellt. Im Gegenzug sendet er die alte OBU mit den aufgezeichneten Daten zurück.

Die Datenübermittlung und das gleichzeitige Laden des Akku via Kabelverbindung muss als wenig praxistauglich eingestuft werden. Es ist fraglich, ob alle Nutzer über die notwendige Ausrüstung (Computer mit Internetzugang) und das erforderliche Geschick verfügen. Zudem stellen sich technische Fragen; z.B. hinsichtlich der unterstützten Betriebssysteme. Nicht jeder Nutzer verfügt über einen Computer mit Internetanschluss. Zudem müsste die OBU zur Datenübermittlung aus dem Fahrzeug ausgebaut werden, was weitere Probleme mit sich bringt. Nicht zuletzt besteht keine Gewähr, dass die OBU ausreichend aufgeladen wurde, was wiederum ein Risiko für die Erfassungssicherheit darstellt.

Im Falle eines Batterie-Austausches muss dem Nutzer die neue Batterie ebenfalls zugesandt werden. Dabei könnte ihm ebenfalls ein Datenträger zur Auslesung der OBU-Daten zugestellt werden.

In beiden Fällen, Datenauslesung über Kabel oder auf Datenträger, müssen die Daten gegen Manipulation geschützt werden. Dies wird am einfachsten durch einen kryptographischen Authentifikator gewährleistet.

Eine abschliessende Beurteilung hinsichtlich der Bestvariante für ein Seriengerät kann hier nicht erfolgen. Dies muss, wie bereits erwähnt, im Zusammenhang mit den optimierten betrieblichen Prozessen des Gesamtsystems entschieden werden.

2.6.4 Manipulations- und Erfassungssicherheit

In Kap. 2.3.9 wurde bereits erläutert, weshalb die Manipulations- und Erfassungssicherheit eine wichtige Rolle spielt.

Manipulationsschutz

Manipulationsschutz ist die Verhinderung von unentdeckter Veränderung von gespeicherten oder übertragenen Daten. Der Schutz von gespeicherten Daten wird durch eine OBU erreicht, welche den Zugriff auf die internen Daten verhindert. Dies wird durch ein entsprechendes Gehäuse, welches sich nur öffnen lässt indem man Spuren hinterlässt (z.B. durch Zerstörung von Gehäuseplomben) erreicht. Dazu gehört natürlich auch der Schutz vor Manipulation über vorhandene Datenschnittstellen. Bei der Datenübertragung wird dies meistens durch einen kryptographischen Authentifikator gewährleistet. Dazu wird ein in der OBU gespeicherter und gesicherter Schlüssel verwendet.

Erfassungssicherheit

Der Begriff Erfassungssicherheit erweitert im Bezug auf die OBU den Manipulationsschutz, indem er die korrekte Aufzeichnung der (Fahr-)Daten im korrekten Fahrzeug (Fahrzeugbindung) mit einbezieht. In der Erfassungssicherheit ist auch enthalten, dass die Erfassung der Daten durch das Gerät für den ganzen vorgesehenen Zeitraum zuverlässig erfolgt. Diese Erfassungssicherheit kann nur über betriebliche Massnahmen des gesamten Erfassungssystems sichergestellt werden.

Fahrzeugbindung

Die Fahrzeugbindung wird durch logische Zuordnung des Gerätes zum Fahrzeug vor dessen Einbau hergestellt. Dies kann z.B. durch Speicherung des Fahrzeugkennzeichens im Gerät erfolgen.

Der Nutzer könnte z.B. nach dem Einbau „mogeln“, indem er das Gerät bei einigen Fahrten aus dem Fahrzeug entfernt und nachträglich wieder einbaut. Um dieses unbemerkte zeitweise Entfernen zu verhindern, muss die Fahrzeugbindung überwacht werden können. Allgemein gilt: Die Überwachung der Fahrzeugbindung ist immer als Gesamtkonzept zu betrachten. Nur wenn technische Funktionen und prozedurale Abläufe aufeinander abgestimmt sind, kann die Fahrzeugbindung zuverlässig überwacht werden.

So wäre für die Fahrzeugbindung beispielsweise entscheidend, dass der erstmalige Einbau durch eine vertrauenswürdige Instanz erfolgt, da dabei z.B. die Verbindung zwischen Fahrzeug und Gerät mit einer Plombe gesichert werden könnte. Diese Massnahme ist aber wiederum schlecht vereinbar mit der Vorgabe der Selbstmontage durch den Benutzer. Es dürfte damit schwierig sein, eine durchgehende Lösung zur Überwachung der Fahrzeugbindung zu finden.

Um dem Benutzer das oben beschriebene "Mogeln" zu erschweren, könnte man sich auch eine Klebmontage wie bei der Autovignette vorstellen, die nur einmalig anwendbar ist und bei der Entfernung der OBU von der Scheibe so zerstört wird, dass man das Wiederanbringen erkennen kann. Wie zuverlässig so ein Mechanismus bei erfinderischen Nutzern funktioniert, bleibt allerdings offen.

Kontrolle

Die Kontrolle der Fahrzeugbindung und des OBU-Manipulationsschutzes kann entweder durch Stichprobenkontrolle während der Fahrt oder im Rahmen einer zyklischen Wartung (z.B. der periodischen Datenübermittlung) erfolgen. Im Rahmen der Kontrolle müssen ausserdem folgende Punkte überprüft werden:

- die korrekte OBU-Montage, z.B. zur Vermeidung einer möglichen "Vibrationsdämpfenden Montage" durch den Nutzer
- die korrekte Funktion der OBU
- die Restkapazität der internen Stromversorgung

OBU Autarkie

Die Gewährleistung der OBU-Autarkie, also einer ausreichenden internen Stromversorgung der OBU für die Aufzeichnung der Daten für die vorgesehene Erfassungsperiode, ist ein weiterer Faktor zur Erfüllung der Erfassungssicherheit. Ein Wechsel der internen Stromversorgung während der Erfassungsperiode muss auf jeden Fall verhindert werden.

3 Pflichtenheft Erfassungsgerät

3.1 Einleitung

Es ist weder sinnvoll noch möglich, sämtliche Einzelanforderungen aus der Analyse im weiteren Verlauf der Forschungsarbeit zu berücksichtigen. In Betracht gezogen werden müssen ausschliesslich Anforderungen, für welche die folgenden Kriterien zutreffen:

- Anforderungen, deren technische Machbarkeit bzw. die zu erreichende Qualität/Genauigkeit unzureichend bekannt ist UND
- Anforderungen, welche massgeblichen Einfluss auf die Testresultate (z.B. Stromverbrauch) haben bzw. haben könnten ODER welche im Sinne einer praxisnahen Betrachtung miteinbezogen werden sollten.

Anhand dieser Kriterien wird nachfolgend das Pflichtenheft für das Testgerät definiert. Dabei ist es denkbar, dass einzelne Anforderungen mit Varianten versehen werden müssen, um eventuell unterschiedliche Anforderungen (aus unterschiedlichen Anwendungen) mit abdecken zu können.

Folgende funktionalen Anforderungen werden für die Spezifikation der Testgeräte nicht berücksichtigt:

- Manipulationssicherheit: Die Anforderungen an die technische Manipulationssicherheit wurden in Kap. 2 im Bericht zwar spezifiziert, kommen aber bei den Testgeräten nicht zur Anwendung.
- DSRC-Modul: Die Funktionsweise und die technischen Eigenschaften von DSRC-Modulen in Erfassungsgeräten sind hinreichend bekannt. Auch der Einfluss auf den Stromverbrauch ist bekannt. Bei passiven DSRC-Modulen beschränkt sich der Stromverbrauch auf die Kommunikation zwischen DSRC-Modul und Hauptrechner des Erfassungsgerätes.

3.2 Funktionale Kernanforderungen

3.2.1 Fahrererkennung und Aufzeichnung

Funktionsdefinition

In Kap. 2.3.1 wurde bereits dargelegt, dass zur Fahrererkennung nur die Beschleunigungs- (und Vibrationssensoren) verwendet werden können. Es muss also anhand von Beschleunigungs- und Vibrationswerten ermittelt werden, ob sich das Fahrzeug bewegt oder im stillsteht.

Die Fahrererkennung muss die Unterschiede bei Fahrzeugen mit Verbrennungsmotor, Elektroantrieb und Hybridantrieb berücksichtigen.

Das Erfassungsgerät soll jeweils die Ereignisse Fahrtbeginn und Fahrtende aufzeichnen und mit einem Zeitstempel versehen. Dieser Zeitstempel soll die Ereignisse sekundengenau in folgendem Format aufzeichnen: TT:MM:YY HH:MM:SS. Dabei soll die Echtzeituhr bereits ab Werk korrekt eingestellt sein, sodass sie nicht nachträglich eingestellt werden muss.

Erfassung des Anfahrts- und Anhaltezeitpunktes (Fahrzeug rollt/steht) bzw. Fahrtbeginn und Fahrtende:

- Bei Fahrzeugbewegungen mit einer Geschwindigkeit grösser als 5 km/h.
- In mindestens 98% der Fälle.
- Mit einer minimalen Genauigkeit von +/- 5 Sekunden (Differenz Zeitstempel zu effektivem Ereignis Fahrzeug rollt/steht).

- Eine erkannte Fahrt soll eine konfigurierbare Mindestdauer aufweisen → ev. wird diese erst im Auswertungssystem berücksichtigt (z.B. ist die Ausfahrt von der Garage auf den Vorplatz bereits eine Fahrt?)

Benötigt wird eine Echtzeituhr, deren maximale Zeitabweichung 5 Minuten innerhalb eines Jahres nicht überschreiten darf.

3.2.2 Messwernerfassung Fahrstil

Zur Ermittlung des Fahrstils soll das Erfassungsgerät sowohl Längs- als auch Querschleunigungswerte aufzeichnen. Beschleunigungswerte in der Längsachse repräsentieren Fahrzeugbeschleunigungen oder Bremsvorgänge, Querschleunigungen ergeben sich aus Kurvenfahrten.

Das Testgerät soll jeweils Längs- als auch Querschleunigungen die über einem definierbaren Mindestwert und länger als eine ebenfalls definierbare Mindestdauer auftreten aufzeichnen. Diese beiden Werte sind individuell für Längs- und Querschleunigungen konfigurierbar. Zudem müssen diese Grenzwerte einfach für unterschiedliche Testfahrten veränderbar sein. Die konfigurierbare Mindestzeit muss im Bereich von 0 bis 10 Sekunden mit einer Auflösung von 0.05 Sekunden einstellbar sein. Die minimale Beschleunigung soll im Bereich von 0 bis 2 m/s² mit einer Auflösung von 0.05 m/s² einstellbar sein.

Aufgezeichnet werden pro Ereignis jeweils der höchste gemessene und der durchschnittliche Beschleunigungswert sowie die Dauer der Beschleunigungsphase. Für die Beurteilung der Überschreitung des Mindestwerts wird der höchste Wert der Beschleunigungsphase verwendet.

Moderne Fahrzeuge erreichen beim Bremsen Verzögerungswerte von bis zu 10 m/s². Dies definiert den oberen Grenzwert der zu messenden Beschleunigungswerte.

3.2.3 Referenzdaten

Um die Resultate der Fahrterkennung, der gemessenen Fahrdauer und des Fahrstiles bezüglich ihrer Genauigkeit bewerten zu können, werden Referenzdaten benötigt. Dabei sind folgende Arten der Erfassung denkbar:

Manuelle Erfassung durch Testfahrer (z.B. Fahrtenbuch):

- Potentiell ungenau, fehleranfällig und unvollständig
- Aufwendig in der Erfassung (benötigt ev. Beifahrer)
- Aufwendig in der Auswertung (manuelle Eingabe in Auswertungssystem)

Automatisches, elektronisches Referenzmesssystem:

- Zuverlässig und einfach in der Handhabung
- Erfassen zusätzlicher Daten möglich (z.B. mit GPS: Distanz, Fahrstrecke, Geschwindigkeit)
- Nachteil: Erweiterte Anforderungen für Testgerät

Da beide Methoden ihre Vorteile aufweisen, müssen beide möglich sein. Daher resultieren folgende Anforderungen an das Testgerät:

- Testgerät mit geeignetem (gekoppeltem) Referenzmesssystem.
- Durch das Testgerät unterstützte manuelle Erfassung als optionale Ergänzung wo nötig

Idealerweise verfügt das Testgerät über ein entsprechendes gekoppeltes Referenzmesssystem. So kann bereits bei der Datenaufzeichnung eine Korrelation zwischen den eigentlichen Testdaten und den Referenzdaten hergestellt werden, was eine massive Ver-

einfachung der Auswertung darstellt. Ein Referenzmesssystem kann zudem zur Überwachung von definierten Testfahrten, z.B. als Testqualitätskriterium bei wiederholten Fahrten verwendet werden. Ein Testfahrer wird voraussichtlich kaum in der Lage sein, dieselbe Fahrtstrecke in einer Wiederholung im realen Strassenverkehr wirklich 100% identisch bezüglich der benötigten Zeit zu fahren. Deshalb kann auf ein automatisches Referenzmesssystem nicht verzichtet werden.

Die Testgeräte sollen daher im Minimum über ein geeignetes Referenzmesssystem zur Fahrzeit- und Fahrdistanzmessung verfügen. Eine Aufzeichnung der Fahrtroute ist wünschenswert, aber nicht zwingend nötig. Bei wiederholten Fahrten kann die Qualität der Wiederholung anhand von Abweichungen der Fahrdistanz genügend genau bewertet werden.

Ein solches Referenzmesssystem könnte z.B. auf einem GPS-Empfänger basieren, da dieser sowohl Beginn und Ende einer Fahrt inkl. der zurückgelegten Distanz erfassen kann.

Anmerkung: Es ist auch vorgesehen, eine manuell bediente Stoppuhr oder Videoaufnahmen der Fahrt inkl. Testgerät zur Messung von einzelnen Testfahrten zu verwenden.

3.3 Technische Geräteanforderungen

3.3.1 Autarkie und Stromversorgung

Da die Testgeräte mit einem Referenzmesssystem ausgestattet werden sollen und die Autarkiezeiten anhand von Labormessungen abgeschätzt werden, ist eine rein autarke Stromversorgung über einen Akku nicht zwingend notwendig und für längere Testfahrten unter Umständen auch nicht praktikabel. Für die Testgeräte ist somit auch eine 12V Stromversorgung vom Fahrzeug aus zulässig. Damit aber Messfehler bei Unterbrechungen der externen Stromversorgung nicht zu Verfälschungen der Testresultate und Messfehlern führen (z.B. unbeabsichtigtes Ausziehen des Steckers, Wackelkontakte, usw.), muss das Testgerät über eine minimale Betriebsautarkie von 30 Minuten verfügen. Der dazu benötigte Akku sollte automatisch bei vorhandener externer Stromversorgung wieder aufgeladen werden.

Anmerkung: Die eigentlichen Erkenntnisse zur möglichen Autarkie eines Erfassungsgerätes werden anhand von Berechnungen und durch Labormessungen für die Anwendungen 1 bis 3 individuell ermittelt.

3.3.2 Datenspeicherung

Der Datenspeicher des Erfassungsgerätes sollte die Daten von Testfahrten eines Monats aufzeichnen können.

Damit keine Testdaten verloren gehen, sollen die Testgeräte den Testbenutzer warnen falls der Datenspeicher knapp wird. Der Testnutzer sollte in diesem Fall die bisher gesammelten Daten auslesen können und damit die Warnung quittieren bzw. den Speicher zum Überschreiben freigeben. Optional kann die Aufzeichnung von Sensor-Rohdaten im Bedarfsfall auf einen zusätzlichen, grösseren externen Datenspeicher erfolgen.

Anmerkung: Die Abschätzungen zur Grösse des benötigten Datenspeichers erfolgt anhand der Testauswertungen. Die Abschätzung erfolgt pro Anwendungsgebiet und berücksichtigt die ermittelten Datenmengen (pro Fahrt) sowie die geforderte Autarkiezeit für die Datenspeicherung.

3.3.3 Datenübermittlung

Die Datenübermittlung sollte idealerweise über dieselben Schnittstellen wie beim angenommenen Seriengerät erfolgen. Dadurch könnten Aussagen zur Benutzerfreundlichkeit gemacht werden. Da aber die Testfahrer geschult werden und nicht den späteren Benutzern entsprechen, wären diese Aussagen nicht repräsentativ. Das Testgerät kann daher auch andere, später nicht vorgesehene Schnittstellen zur Datenübermittlung verwenden.

Zusätzlich werden weit mehr Daten erfasst (z.B. die schon erwähnten Sensor-Rohdaten), die nicht zwingend über eine Seriengeräteschnittstelle (z.B. DSRC) übermittelt werden können.

Das Testgerät muss demnach über eine Datenschnittstelle verfügen, welche die unterschiedlichen funktionalen Anforderungen aus den Testszenarien erfüllt:

- Übermittlung der erfassten Anwendungsdaten (Fahrzeit, Fahrtzeitpunkt, Fahrstil etc.)
- Übermittlung der Sensor-Rohdaten (unter Umständen sehr grosse Datenmengen)

Zum Beispiel ist denkbar, dass die Sensor-Daten permanent über ein GSM/GPRS Modul an einen Server übermittelt werden.

3.3.4 Montage Erfassungsgerät

Eine Montage des Testerfassungsgerätes an der Windschutzscheibe ist für alle drei zu untersuchenden Anwendungen zulässig und möglich. Um repräsentative Messergebnisse in den Testfahrten zu erhalten, sollte die Montageart möglichst gleich gestaltet sein wie bei einem denkbaren Seriengerät. Da anzunehmen ist, dass die Testgeräte grösser ausfallen als mögliche Seriengeräte, muss z.B. eine Klebeverbindung eine entsprechend grössere Fläche aufweisen als in einer Serienfertigung. Nur so kann sichergestellt werden, dass die gemessenen Werte auch die richtigen Rückschlüsse zulassen.

Obwohl auch andere Montageorte als die Windschutzscheibe denkbar sind, ist aus Gründen der Bedienbarkeit und der bestmöglichen einheitlichen Montage – bei der Vielzahl von unterschiedlichen Personenfahrzeugen sind Scheiben der einzige einheitliche Montageort – die beste Wahl. Dies vor allem wenn in Betracht zieht, dass die Montage durch den Nutzer erfolgen soll.

Anmerkung: In einzelnen Testfahrten können die Test-Erfassungsgeräte zusätzlich an einem anderen Ort, z.B. falls vorhanden an der Heckscheibe montiert werden. Dadurch können grundsätzliche – nicht absolute - Aussagen über den Einfluss des Montageortes und der Montageart (z.B. Scheibenneigung) auf die Messergebnisse gemacht werden.

3.3.5 Benutzerschnittstelle (HMI)

Die Benutzerschnittstelle, das Human Maschine Interface (HMI), soll so einfach wie möglich gehalten werden. Es wird auf ein HMI zur Eingabe von spezifischen Daten für einzelne Anwendungen verzichtet, da diese Funktionen nicht untersucht werden müssen. Diese Technologien sind genügend bekannt und der Einfluss auf die Grösse, den Preis und den Stromverbrauch somit abschätzbar. Die entsprechenden Informationen werden im Rahmen der Auswertung der Forschungsergebnisse miteinbezogen.

Aus Gründen der Auswertungsfreundlichkeit muss das Testgerät den Grundzustand sowie die Primärfunktion der Fahrdetektion optisch anzeigen (z.B. mittels einer LED). Dabei sind folgende Werte zu visualisieren:

- Gerät bzw. Messsystem defekt (z.B. weder rote noch grüne LED leuchtet)
- keine Fahrt (z.B. rote LED leuchtet)
- erkannte Fahrt (z.B. grüne LED leuchtet)

Diese Informationen können durch den oder die Testfahrer zur Kontrolle der gemessenen Fahrzeit verwendet werden.

Andere Warnmeldungen wie "Akku nahezu leer" oder "Datenspeicher nahezu voll" können falls möglich auch ausgegeben werden. Zudem muss das HMI, falls nötig, die Datenübermittlung unterstützen.

3.3.6 Bekannte Rahmenprobleme

Es ist unklar ob ein solches Erfassungsgerät den Unterschied zwischen der Bewegung des Fahrzeugs aus eigener Kraft (= Fahrt) oder durch Fremdbewegung (z.B. auf einem Autozug oder einer Autofähre) erkennen kann. Diese Unklarheit wird im Rahmen der Tests untersucht.

3.4 Definition einer Fahrt/Reise für das Auswertungssystem

Bei der Definition des Begriffs und der relevanten Daten bezüglich einer Fahrt/Reise müssen die verschiedenen verkehrstechnischen Situationen und Manöver, die für ein Fahrzeug im normalen Strassenverkehr auftreten, berücksichtigt werden.

Ein Ziel der Untersuchung liegt unter anderem darin, die Geschwindigkeitsuntergrenze für die Erkennbarkeit einer Fahrt/Reise zu ermitteln. Zudem sollen auch Erkenntnisse bezüglich der Definierbarkeit des Begriffes Fahrt/Reise gewonnen werden.

Eine Fahrt/Reise, die das Erfassungsgerät erkennen und erfassen soll, wird daher für die Testfahrten wie folgt definiert:

- Fahrtpausen (z.B. Stopp vor Ampeln oder an einem Stoppschild), die kürzer als ein konfigurierbarer Wert sind (z.B. 30 Sekunden), sollen nicht als Fahrtunterbruch, d.h. das Ende einer Fahrt und der Beginn einer neuen Fahrt, erkannt werden.
- Unmittelbare Wechsel von Vorwärts- zu Rückwärtsfahrt oder umgekehrt (Stoppzeit ebenfalls z.B. kleiner 30 Sekunden) sind ebenfalls kein Fahrtunterbruch und sollen in einer Fahrt zusammen gefasst werden.
- Parkmanöver, z.B. das seitliche Einparken in eine Parklücke, müssen nicht explizit als solche detektiert werden.
- Stop-and-Go Situationen in Staus und Kolonnenverkehr sollen nach Möglichkeit zu einer Fahrt zusammengefasst werden. Das heisst das Erkennen dieser Situation beendet die vorherige Fahrt und startet eine neue Spezielle Stop-and-Go Fahrt. Das bedeutet, dass der letzte Stopp diese spezielle Fahrt beendet und eine neue Fahrt startet.

Qualitätsziele

Als Ziel für die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit der Fahrterkennung werden die Anforderungen aus Kap. 2.5.2 für die Anwendung 3: Fahrzeitabhängige Abgaben verwendet. Diese Anforderungen sind:

- Maximale Fehlerrate (falsch erfasste Fahrzeit pro Einzelfahrt): <4%
- Maximale Abweichung bei der Zeiterfassung einer wiederholten identischen Fahrt: <2%

Die Testfahrten sollen zeigen, ob diese Qualitätsanforderungen erfüllt werden können. Dabei soll insbesondere auch herausgefunden werden, welchen Einfluss die tatsächliche Fahrdauer auf die Ergebnisqualität hat, und bis zu welcher minimalen Fahrdauer die Qualitätsziele eingehalten werden können (z.B. Fahrdauer ab 10 Minuten).

4 Beschreibung Testgerät

4.1 Geräteeigenschaften

Anhand der funktionalen und technischen Geräteanforderungen aus Kap. 3 wurden zusammen mit dem Hersteller (FELA) die benötigten Funktionen der Testgeräte für die Durchführung der Tests festgelegt.

Das Testgerät wurde auf der Basis eines FELA Seriengerätes aufgebaut. Es verfügt über einen Mikroprozessor mit integrierter Echtzeituhr, welche zur Aufzeichnung der Zeitstempel für die Start- und Stopperkennung und anderer Ereignisse verwendet wird. Der Mikroprozessor wertet die Daten des 3-Achsen Bewegungssensors über eine Zustandsmaschine aus. Der komplette Algorithmus ist in Kap. 4.2 im Detail beschrieben.

Die Start- und Stopperkennung wird dem Testfahrer über eine LED angezeigt.

Die Start- und Stoppdata inklusive der Rohdaten des Bewegungssensors werden während der Testfahrten über eine serielle Schnittstelle an einen Datenlogger (AntiLog RS232 Data Logging System) zur Aufzeichnung ausgegeben. Über dieselbe serielle Schnittstelle können die Daten nachher zur detaillierten Auswertung vom Datenlogger auf einem PC eingelesen werden.

Das Testgerät hat keine interne Batterie und wird über eine externe 12 V Stromquelle mit Energie versorgt werden. Der externe Datenlogger wird hingegen über eine 9 V Batterie mit Strom versorgt.

Das Testgerät wird bevorzugt an einer (Windschutz-) Scheibe mittels doppelseitigem Klebestreifen montiert. Andere Einbaulagen mit fester oder loser Montage sind abhängig vom Fahrzeug möglich.

4.2 Funktionsweise Fahrterkennung

Das nachfolgende Blockschema illustriert die verschiedenen verwendeten funktionalen Komponenten zur Fahrterkennung.

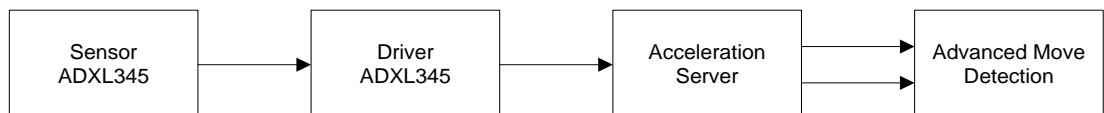


Abb. 4.2 Blockschema Fahrterkennung

4.2.1 Sensor und Driver

Der eingesetzte Sensor ist ein 3-Achsen Bewegungssensor vom Typ ADXL345 von Analog-Device.

Über den Treiber (Driver) können Einstellungen am Sensor wie zum Beispiel das Einstellen der Sample Rate etc. vorgenommen werden. Der Treiber selbst liefert einen Datenstrom (Stream), der die Samples des ADXL345 Sensors enthält, an den Acceleration Server.

4.2.2 Acceleration Server

Der Acceleration Server konvertiert den Stream vom Treiber zum sogenannten „Converted Sample“ und stellt sie den Clients innerhalb der Advanced Move Detection (AMD) zur Verfügung.

Beim „Converted Sample“ Stream handelt es sich um Sensorwerte, deren x-Achse in Fahrrichtung rotiert wurde. Dazu werden die Rohdaten vom Sensor (das sogenannte

“Native Sample“ zuerst) auf Fixpoint umgerechnet (32-bit pro Achse). Aus diesem Wert kann für jede Achse separat die Beschleunigung in g berechnet werden.

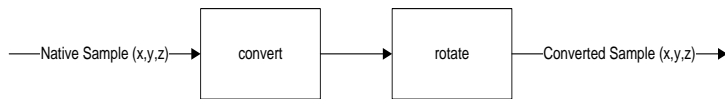


Abb. 4.3 Umrechnung des Native Samples zum Converted Sample

Um die Beschleunigungen korrekt interpretieren zu können, muss die Einbaulage des Gerätes geschätzt werden. Dazu wird die Erdbeschleunigung g zur Kalibrierung und Rekalibrierung verwendet. Diese sogenannte “Orientation Detection“ benutzt ein Filter, um die durchschnittliche Beschleunigung über eine lange Zeit (1 bis 60 Minuten) in alle Richtungen zu erkennen. Sie ist damit in der Lage, ein schief eingebautes Gerät oder ein Offset des Sensors zu eliminieren. Die Kalibrierung ist nur im Zustand STOPPED möglich (siehe Abschnitt State Machine im nächsten Kapitel).

Das “Converted Sample“ ist also ein virtuell rotiertes Sample, dessen neue x-Achse für die weitere Berechnung in Fahrtrichtung zeigt.

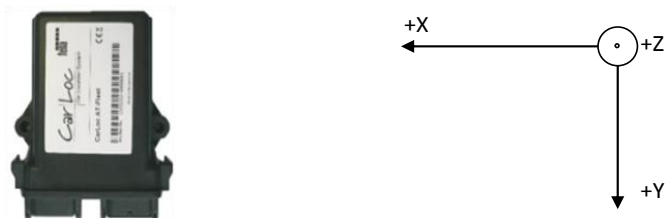


Abb. 4.4 Definition der Achsen

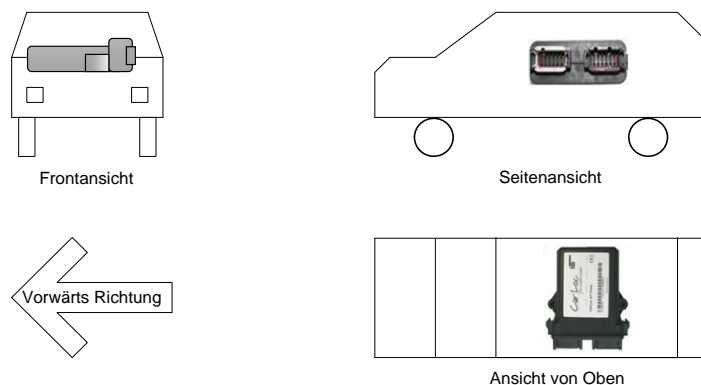


Abb. 4.5 Das Gerät wird virtuell so rotiert, dass die x-Achse immer in Fahrtrichtung zeigt

Bemerkung: Für einzelne Testfälle innerhalb von Kapitel 6.1 werden die aufgezeichneten Sensorwerte dargestellt. Hierbei handelt es sich nachwievor um die ursprüngliche Achsenausrichtung gemäss der Einbaulage des jeweiligen Testgeräts. Die Sensorwerte entsprechen somit dem Native Sample. Es ist also darauf zu achten, wie der jeweilige Sensor im Fahrzeug positioniert war, um zu verstehen, welche Achse die Längs-, Quer- und Horizontalbeschleunigung beschreibt.

4.2.3 Advanced Move Detection

Die Komponente Advanced Move Detection (AMD) errechnet, ob sich das Gerät bewegt oder nicht. Grundsätzlich hat die AMD des Testgeräts, welches auf einem FELA Seriengerät basiert, zwei Quellen, um dies zu erkennen: GPS und Beschleunigungssensor. In dieser Arbeit wurde die GPS Quelle abgeschaltet. Die Bewegung wird also nur mit dem Beschleunigungssensor erkannt.

Fahrterkennung

Für die Fahrterkennung werden die "Converted Samples" vom "Acceleration Server" den beiden Clients "Acceleration Observer" und "Activity / Inactivity Detection" zur Verfügung gestellt.

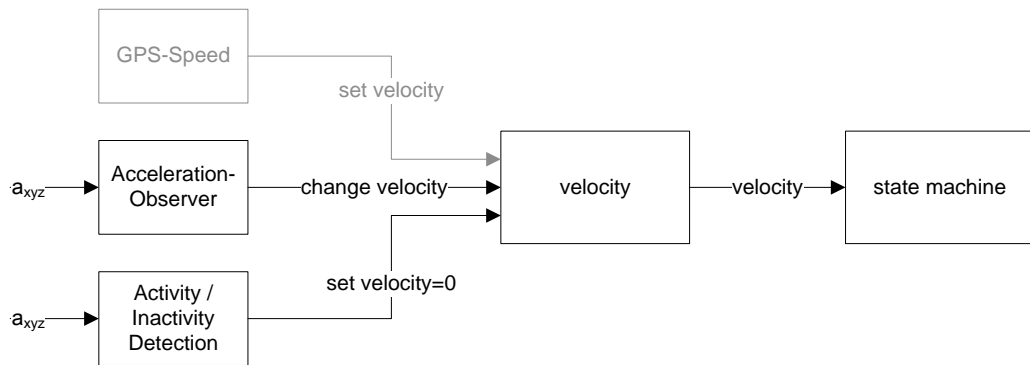


Abb. 4.6 Fahrtserkennung, Quelle GPS-Speed ist nicht verfügbar

Der **Acceleration Observer** errechnet mithilfe der Beschleunigungswerte Geschwindigkeitsveränderungen. Dazu werden alle x-Beschleunigungen innerhalb einer Sekunde integriert und daraus die Geschwindigkeitsänderung gebildet. Die Information, um welchen Wert sich die Geschwindigkeit verändert hat, wird an die nächste Komponente übermittelt ("change velocity"). Der Acceleration Observer kann nicht die absolute Geschwindigkeit erkennen.

Die **Activity / Inactivity Detection** (AID) ist in der Lage, den Zustand ACTIVE und INACTIVE zu detektieren. Im Falle von INACTIVE setzt die AID die Geschwindigkeit in der velocity Komponente auf den Wert 0 zurück.

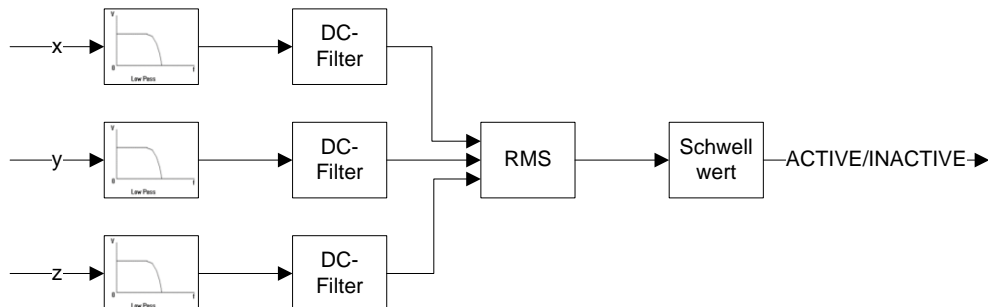


Abb. 4.7 Activity / Inactivity Detection

Die AID verwendet das "Converted Sample" als Quelle. Zur Filterung von hochfrequenten Anteilen werden die Signale der drei Achsen mit einem Tiefpassfilter gefiltert. Zum Einsatz kommt folgender Filter:

Typ: Chebychef 2pol, Tiefpass
 Grenzfrequenz: 10Hz
 Rippel: 2%

Der Zweck des DC-Filters ist die Elimination der Erdanziehungskraft. Im Idealfall enthält das "Converted Sample" nur einen negativen z-Anteil. Parkt ein Fahrzeug aber beispielsweise auf einer steilen Strasse, führt das zu veränderten Werten in der x- und z-Achse. Diese permanente Beschleunigung wird mithilfe des DC-Filters weggefiltert.

Aus allen Samples der letzten Sekunden wird der Durchschnitt gebildet. Dieser Durchschnitt (DC-Anteil der letzten Sekunde) wird von jedem Sample abgezogen. Diese Samples stehen dann zur Weiterverarbeitung zur Verfügung.

Sobald die Erdbeschleunigung herausgefiltert ist, kann aus den Werten für alle drei Achsen das quadratische Mittel (im Englischen root mean square oder kurz RMS) berechnet werden. Der RMS verwendet dazu jeweils die (gefilterten) Samples der letzten Sekunde:

$$rms = \sqrt{\frac{\sum_{i=0}^{i=SampleRate-1} x_i^2 + y_i^2 + z_i^2}{SampleRate * 3}}$$

Als letztes wird der nun berechnete RMS Wert einmal pro Sekunde mit einem Schwellwert verglichen. Ist der RMS Wert grösser als die Schwelle, meldet die AID ACTIVE, in jedem anderen Fall INACTIVE.

Die Fahrdetektion erfolgt mittels einer Zustandsmaschine (im Englischen **State Machine**). Die AMD kennt folgende Zustände:

MOVING
STOPPED

Um von einem Zustand in den anderen zu wechseln, müssen bestimmte Bedingungen erfüllt sein bzw. Ereignisse eintreffen. Beispielsweise muss der Wert aus dem Acceleration Observer für eine entsprechende Zeitdauer über einem bestimmten Limit liegen, damit die State Machine vom Zustand STOPPED in den Zustand MOVING wechselt.

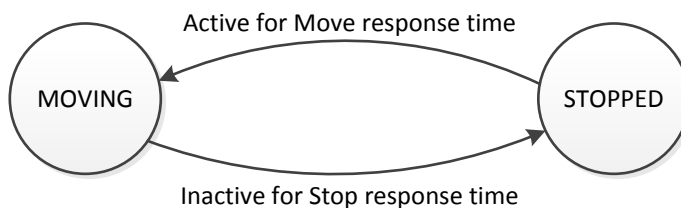


Abb. 4.8 Vereinfachte State Machine

4.2.4 Konfiguration

Parameter	Beschreibung	Eingestellter Wert
sample_rate	Sample Frequenz (25 – 1600Hz)	800 Hz
range	Sensorempfindlichkeit in g für alle Achsen (4-16 mg)	4 mg (empfindlichste Einstellung)
speed_limit	Geschwindigkeits-Schwellwert um zu entscheiden, ob sich das Gerät bewegt oder nicht.	3 km/h
activity_threshold	Oberer Schwellwert der AID	200 mg
inactivity_threshold	Unterer Schwellwert der AID	200 mg
response_time_move	Zeit bis das Gerät zum Zustand MOVING wechselt.	2 s
response_time_stop	Zeit bis das Gerät zum Zustand STOPPED wechselt.	4 s

5 Testspezifikation

5.1 Teststrategie

Ziel der Tests ist es, Qualitätsaussagen über das Fahrzeuggerät beziehungsweise über die darin enthaltenen Sensoren zu machen. Die Resultate sollen den Leser in die Lage versetzen, eine Aussage über den möglichen Einsatz der Sensoren für die entsprechende Anwendung zu treffen.

5.1.1 Testgliederung

Getestet werden sollen die typischsten Verwendungen des Fahrzeuggeräts. Um diese ausfindig zu machen, wurde ein Mind-Map mit möglichen Fahrsituationen erstellt.

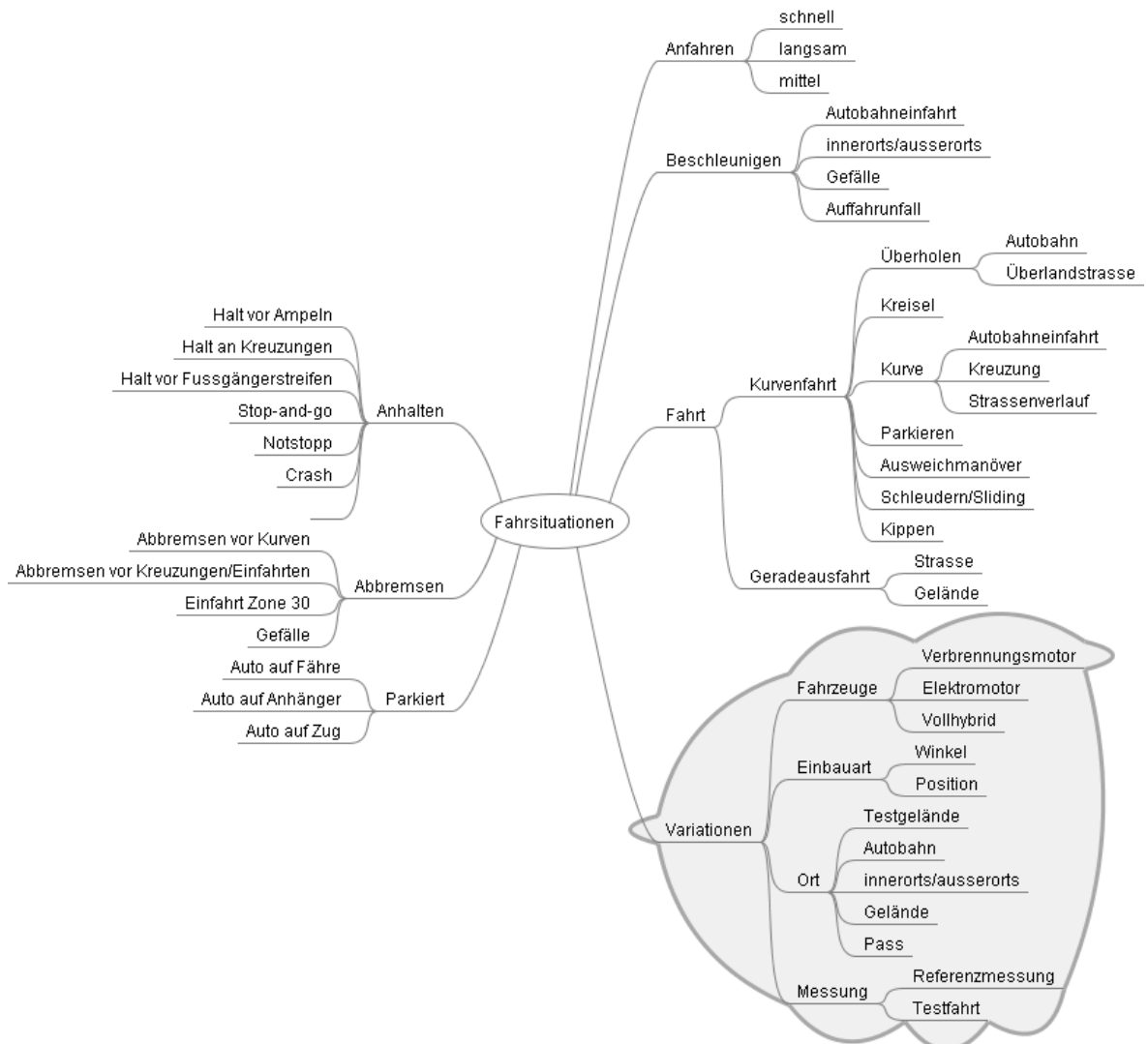


Abb. 5.9 Mind-Map zu denkbaren Fahrsituationen

In jeder dieser Fahrsituationen müssen die funktionalen Anforderungen an das Fahrzeuggerät erfüllt werden. Diese Anforderungen müssen daher durch geeignete Tests systematisch abgedeckt werden. Dazu werden unterschiedliche (teilweise aufeinander aufbauende) Tests definiert, welche am Ende die Gesamtheit der relevanten Anforderungen abdecken. Es wird dabei zwischen zwei übergeordneten Testszenarien unterschieden:

- Testfälle für die **Fahrterkennung** verfolgen primär das Ziel, herauszufinden, ob anhand von Beschleunigungs- und Vibrationswerten ermittelt werden kann, ob sich das Fahrzeug bewegt oder stillsteht.
- Mit den Testfällen für das **Fahrverhalten** soll hingegen eruiert werden, ob Beschleunigungswerte in der Längs- und Querachse repräsentative Aussagen zum Fahrstil zulassen (Beschleunigung- und Bremsvorgänge sowie Querbeschleunigungen bei Kurvenfahrten).

Für die beiden Testszenarien werden die einzelnen Testfälle skizziert (Kurzbeschreibung und Testziel) und die notwendige Vorbereitung zur Durchführung und Auswertungen bestimmt. Für jeden Testfall wird ein Testziel festgelegt, anhand dessen festgestellt werden kann, ob die Geräteeigenschaften die Anforderungen für die entsprechende Fahrsituation erfüllen. Testfälle für gleichartige Fahrsituation und infolgedessen mit ähnlichem Testziel werden in einem Testkatalog zusammengefasst.

Im Testkatalog wird ebenfalls variiert, in welchem Winkel und in welchem Fahrzeug das Fahrzeuggerät eingebaut ist. Die Tests werden nach Möglichkeit und Bedarf mit zwei Geräten durchgeführt, wobei diese möglichst unterschiedlich positioniert eingebaut werden.

Die Tests werden teilweise auf einem separaten Testgelände und teilweise unter realen Voraussetzungen, d.h. auf öffentlichen Strassen, durchgeführt.

5.1.2 White-Box Teststrategie

Im Gegensatz zu einem Funktionstest einer Software oder eines Gerätes, bei dem (meistens) eine Black-Box Teststrategie zur Anwendung kommt, basiert die Testplanung auf einer White-Box Teststrategie. Dabei werden zur Festlegung der Tests bereits die bekannten und erwarteten Stärken und Schwächen der Technologie bzw. des Testgerätes berücksichtigt. Es werden also im Besonderen die Fälle gezielt getestet, bei denen die grössten Probleme bzw. die wichtigsten Aussagen und Resultate erwartet werden.

Aufgrund der White-Box Teststrategie kann bei der Planung auch festgelegt werden, welche Testfälle wie intensiv getestet werden sollen. Testfälle mit Priorität 1 haben einen hohen Stellenwert und müssen zwingend mehrmals durchgeführt werden (Regressionstest). Testfälle mit Priorität 2 werden nur durchgeführt, soweit genügend Zeit vorhanden ist. Testfälle mit Priorität 3 sind zwar aufgelistet, können aber unter Berücksichtigung der verfügbaren Ressourcen und des Budgets nicht durchgeführt werden.

5.1.3 Labortests

Parallel zu den Testfällen waren ursprünglich auch umfangreichere Labortests geplant. Diese sollten zusätzliche Informationen über die Geräteeigenschaften liefern, welche in den Testfällen zu den Fahrsituationen nur schwer oder gar nicht ermittelt werden können. Es zeigte sich jedoch, dass nur die Werte bezüglich des Stromverbrauches im Labor eventuell gemessen werden müssen. Diese Messungen und die Angaben aus den Datenblättern zur Stromaufnahme der OBU-Komponenten dienen dann als Grundlagen für die rechnerische Ermittlung der Geräteautarkie. Diese wird für die unterschiedlichen, theoretischen Seriengeräte berechnet. Zur Ermittlung des benötigten OBU-Speicherbedarfs sind keine Labortests oder Messungen nötig. Diese Angaben können rein rechnerisch ermittelt werden.

5.1.4 Rahmenbedingungen

Bei der Festlegung der Tests müssen auch gesetzliche und sicherheitstechnische Rahmenbedingungen berücksichtigt werden. Daher können keine Tests mit hohen Geschwindigkeiten oder riskanten Fahrsituationen im realen Strassenverkehr geplant werden. Ebenfalls sind Einschränkungen bez. Geschwindigkeit und Fahrtszenarien durch die eingeschränkten Platzverhältnisse auf dem Testgelände zu berücksichtigen.

5.2 TestszENARIO Fahrterkennung

Bei der Fahrterkennung wird das Fahrtende, also das Erkennen des Anhaltens als kritischer betrachtet als die Erkennung des Fahrtbeginns. Der genaue Zeitpunkt des Stillstandes ist technisch schwerer zu erkennen. Deshalb soll bei der Planung, spätestens aber bei der Durchführung der Tests, das Schwergewicht eher auf die Erkennung des Fahrtendes gelegt werden.

5.2.1 Anfahrt

Bei einer zuverlässigen Fahrterkennung sind niedrige Beschleunigungen als kritisch zu betrachten. Bei den Testfällen sollen daher die Genauigkeit und der Zeitpunkt der Erkennung eruiert werden.

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.1	1	Beschleunigung von 0 auf 30 km/h in 10 s (Beschleunigung \varnothing 0.83 m/s ²)	Geschwindigkeit und Zeitpunkt der Erkennung der Fahrt bei kleiner Beschleunigung (Fehlertoleranz)
A.2	2	Beschleunigung von 0 auf 30 km/h in 4 s (Beschleunigung \varnothing 2.08 m/s ²)	Geschwindigkeit und Zeitpunkt der Erkennung der Fahrt bei hoher Beschleunigung

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
A.1	X	X	X			X	X	X
A.2	X		X			X		

5.2.2 Beschleunigung

Testen des Einflusses von Beschleunigungen nach Erkennen des Zustandes "Fahrt".

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.3	3	Beschleunigung von 10 auf 30 km/h in 10 s (Beschleunigung \varnothing 0.56 m/s ²)	Permanentes Erkennen der Fahrt
A.4	3	Beschleunigung von 30 auf 50 km/h in 20 s (Beschleunigung \varnothing 0.28 m/s ²)	Permanentes Erkennen der Fahrt

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
A.3	X	X	X			X	X	X
A.4	X		X			X		

5.2.3 Fahrt

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.5	1	Fahrtszenario 1: Beschleunigen und Abbremsen	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug-Stopps.
A.6	1	Fahrtszenario 2: Stop and Go	Richtiges Erkennen von Stop und Go
A.7	1	Fahrtszenario 3: Fahrt mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Anfahrt und Anhalten	Korrekte Erkennung der Fahrt zu jedem Zeitpunkt (Zuverlässigkeit)
A.7.1	1	Fahrtszenario 4: Beschleunigung, danach konstante Fahrt auf glattem Untergrund (z.B. in Wohnstrasse mit max. 20 km/h)	Beibehalten des Zustandes Fahrt erkannt

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
A.5	X	X	X			X	(X)	(X)
A.6	X	X	X		(X)	X	(X)	(X)
A.7	X	X	X			X	(X)	(X)
A.7.1	X	X		X			X	

A.6 Spezialverkehr = Stau auf Autobahn

5.2.4 Zusammenhängende Fahrt

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.8	1	Fahrtszenario 4: Stadtrundkurs	Messgenauigkeit bei Wiederholungen längerer Fahrten
A.9	1	Fahrtszenario 5: Stadt/Land (Wiederholungen/Pendlerstrecke)	Messgenauigkeit bei Wiederholungen längerer Fahrten
A.10	1	Fahrtszenario 6: Langstrecke	Messgenauigkeit bei Wiederholungen längerer Fahrten

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
A.8	X			X		X		
A.9	X			X		X		
A.10	X			X		X		

5.2.5 Abbremsen

Wie zuverlässig ist die Fahrererkennung, wenn ein Fahrzeug auf eine niedrigere Geschwindigkeit abbremsst?

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.11	2	Abbremsen von 50 auf 10 km/h in 10 s (Beschleunigung \varnothing -1.11 m/s ²)	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug-Stopps.
A.12	1	Abbremsen von 30 auf 10 km/h in 20 s (Beschleunigung \varnothing -0.28 m/s ²)	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug-Stopps.

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
A.11	X	X	X			X	X	X
A.12	X		X			X		

5.2.6 Anhalten

Wie zuverlässig wird das Anhalten, also keine Fahrt mehr, erkannt?

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.13	1	Abbremsen von 30 auf 0 km/h in 20 s (Beschleunigung \varnothing -0.42 m/s ²)	Geschwindigkeit und Zeitpunkt der Erkennung des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug-Stopps bei kleiner Bremsverzögerung
A.14	2	Abbremsen von 30 auf 0 km/h in 4 s (Beschleunigung \varnothing -2.08 m/s ²)	Geschwindigkeit und Zeitpunkt der Erkennung des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug-Stopps bei hoher Bremsverzögerung

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
A.13	X	X	X			X	X	X
A.14	X		X			X		

5.2.7 Sonderfälle

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.15	2	Auto auf Anhänger	Bewegungserkennung gleichbleibend wie Fahrererkennung
A.16	3	Auto auf Zug	Bewegungserkennung gleichbleibend wie Fahrererkennung
A.17	3	Auto auf Fähre	Bewegungserkennung gleichbleibend wie Fahrererkennung
A.18	3	Einfluss von Störquellen auf geparktes Fahrzeug (z.B. Musik, Klopfen auf Steuer- rad, Scheibenwischer, vorbeifahrendes Fahrzeug, usw.)	Wie hoch ist die Rate der falschen Fahrerker- nungen anhand der Störquellen.

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
A.15	X				X	X		
A.16	X				X	X		
A.17	X				X	X		
A.18	X		X	X		X		

5.3 TestszENARIO Fahrverhalten

5.3.1 Anfahrt

Wie exakt kann die Beschleunigung erfasst werden, um damit einen aussagekräftigen Vergleich zwischen einem „normalen“ und einem „aggressiven“ Fahrstil zu unterscheiden? Dazu sollen die Messwerte anhand zweier Testfälle miteinander verglichen werden, wobei der normale Fahrstil als Referenzmessung verwendet wird.

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.1	1	Normale Beschleunigung von 0 auf 50 km/h	Referenzmessung
B.2	1	Schnellstmögliche Beschleunigung von 0 auf 50 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
B.1	X		X			X		
B.2	X	X	X			X		

5.3.2 Beschleunigung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.3	2	Normale Beschleunigung von 30 auf 60 km/h	Referenzmessung
B.4	2	Schnellstmögliche Beschleunigung von 30 auf 60 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
B.3	X		X			X		
B.4	X	X	X			X		

5.3.3 Fahrsituationen

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.5	1	Ausweichmanöver ruhig	Referenzmessung
B.6	1	Ausweichmanöver abrupt	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.7	3	Normales Überholen auf Überlandstrasse	Referenzmessung
B.8	3	Aggressives Überholen auf Überlandstrasse	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.9	2	Normales Überholen auf Autobahn	Referenzmessung
B.10	2	Aggressives Überholen auf Autobahn	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.11	1	Abbiegen an Kreuzung bei normalem Tempo	Referenzmessung
B.12	1	Abbiegen an Kreuzung bei überhöhtem Tempo	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.13	2	Kurvenreiche Strasse bei normalem Tempo	Referenzmessung
B.14	2	Kurvenreiche Strasse bei überhöhtem Tempo	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.15	2	Kreisel bei normalem Tempo	Referenzmessung
B.16	2	Kreisel bei überhöhtem Tempo	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
B.5	X		X	X		X		
B.6	X	X	X	X		X		
B.7	X			X		X		
B.8	X			X		X		
B.9	X					X		
B.10	X					X		
B.11	X		X	X		X		
B.12	X		X	X		X		
B.13	X		X	X		X		
B.14	X	X	X	X		X		
B.15	X		X	X		X		
B.16	X		X	X		X		

5.3.4 Abbremsen

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.17	2	Normales Abbremsen von 60 auf 30 km/h	Referenzmessung
B.18	2	Abruptes Abbremsen von 60 auf 30 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
B.17	X		X			X		
B.18	X	X	X			X		

5.3.5 Anhalten

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.19	1	Normales Abbremsen von 30 auf 0 km/h	Referenzmessung
B.20	1	Abruptes Abbremsen von 30 auf 0 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Variation

Test ID	Einbauart		Testort			Fahrzeugtyp		
	Standard	Geneigt	Testgelände	Standardverkehr	Spezialverkehr	Verbrennung	Elektro	Hybrid
B.19	X		X			X		
B.20	X	X	X			X		

5.4 Genereller Testaufbau

Der in diesem Kapitel beschriebene generelle Testaufbau wird je nach Bedarf zusammen mit den Erkenntnissen und Resultaten in Kapitel 6 detailliert und ergänzend beschrieben.

Grundsätzlich wird das Test-Fahrzeuggerät mit einer Videokamera ausgestattet. Die Aufzeichnung soll gleichzeitig das Erfassungsgerät (mit Indikator LED Fahrterkennung ja/nein), den Fahrzeugtacho sowie das Geschehen auf der Strasse aufzeichnen. .

Fahrterkennung

Primär: Auswertung der Videoaufzeichnung der Testfahrt. Anhand der Bilder kann die Reaktionszeit und die Zuverlässigkeit der Fahrterkennung beurteilt werden. Zudem werden die Geschwindigkeitswerte über die OBD-Schnittstelle (On-Board-Diagnose) zur

Auswertung ausgelesen.

Sekundär: Auswertung der vom Fahrzeuggerät gelieferten Sensordaten.

Fahrverhalten

Primär: Auswertung der vom Fahrzeuggerät gelieferten Sensordaten, Überprüfung der Fahrdauererfassung, grafische und numerische Auswertung

Sekundär: Video-Auswertung (mit mündlichem Fahrerprotokoll über beabsichtigtes Fahrverhalten) für mögliche stichprobenartige Überprüfung. Zusätzliche Aufzeichnung der Fahrstrecke über GPS.

5.5 Testdurchführung

5.5.1 Durchführung Labortests

Wie schon in Kap. 5.1.3 beschrieben, müssen im Labor ausschliesslich Messungen zum Stromverbrauch der OBU durchgeführt werden. Die so gewonnenen Werte sind allerdings aus mehreren Gründen nur beschränkt auf zukünftige Geräte übertragbar:

- Die Werte entsprechen nur dem heutigen technologischen Entwicklungsstand (August 2013) der Hardware.
- Die Werte können nur bei 100 % Gerätelaufzeit direkt verwendet werden. Ein Akku, der die gesamte Autarkiezeit bei 100 % Laufzeit abdeckt, ist wohl kaum in den nächsten Jahren vorstellbar. Deshalb wird von einer OBU mit einem "Standby" Modus mit viel geringerem Stromverbrauch, der den intensiveren Hauptmodus der OBU aktiviert, ausgegangen.

Aufgrund der oben definierten Einschränkungen wird anstelle der exakten Berechnung eine Abschätzung des Stromverbrauches der theoretischen Seriengeräte vorgenommen. Dabei werden die folgenden Werte pro OBU Variante basierend auf den Messwerten und Datenblättern der Bauteile geschätzt:

- Stromverbrauch im Standby (keine Fahrt)
- Stromverbrauch bei Fahrt
- Durchschnittlicher Stromverbrauch einer zweistündigen Fahrt.

5.5.2 Durchführung Fahrsituationen

Die definierten Testszenarien werden entsprechend ihrer Priorität durchgeführt. Im Laufe der Tests können sich anhand von neuen Erkenntnissen möglicherweise sinnvolle Abweichungen vom ursprünglichen Testplan ergeben. Die Durchführung der Testszenarien und möglicher Abweichungen werden dabei so dokumentiert, dass die Ergebnisse jederzeit nachträglich verifiziert werden könnten. Die Durchführung bzw. Begleitung erfolgt durch Rapp Trans.

5.6 Auswertung und Analyse der Testdaten

Anhand der Auswertung und Analyse der Testresultate soll ermittelt werden, ob das Fahrzeuggerät die gestellten Anforderungen erfüllen kann. Die Aufbereitung erfolgt so, dass die Resultate auch zu einem späteren Zeitpunkt jederzeit nachvollzogen und verifiziert werden können.

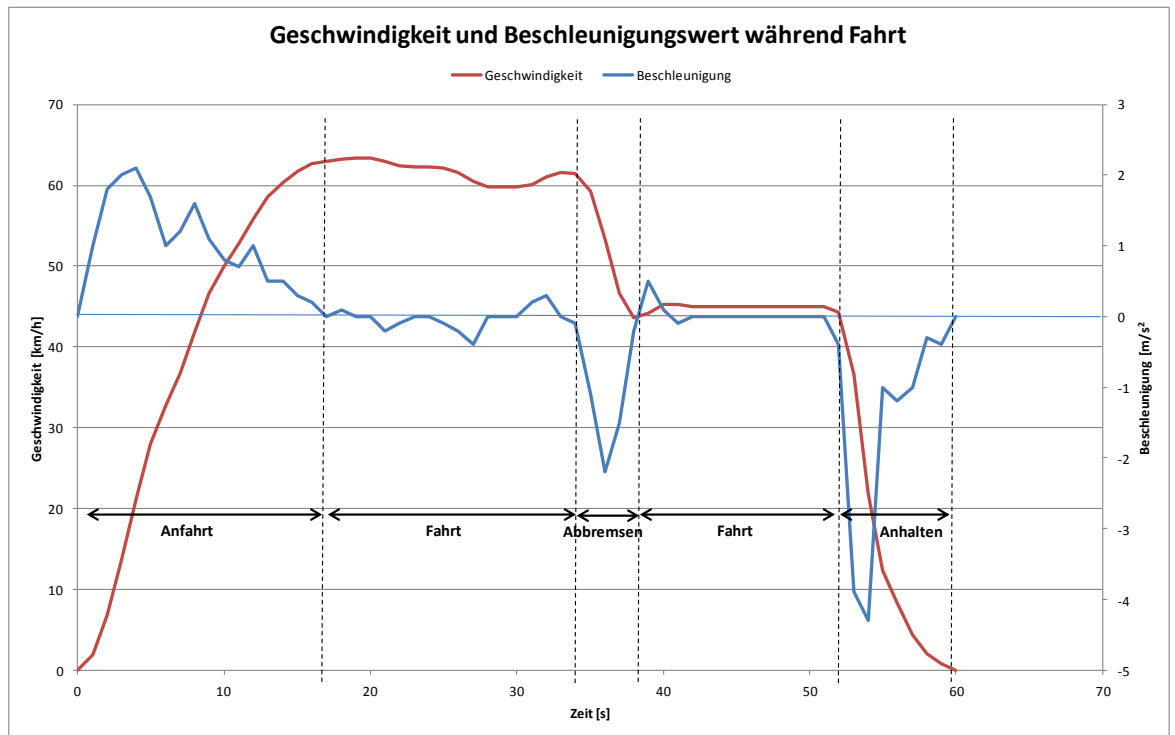


Abb. 5.10 Beispiel für die grafische Auswertung

6 Erkenntnisse, Resultate

6.1 Fahrterkennung

6.1.1 Testaufbau

Die Testszenarien wurden mit den nachfolgenden unterschiedlichen Fahrzeugen durchgeführt:

- Smart, Verbrennungsmotor
- VW Golf V, Verbrennungsmotor
- Chrysler Voyager, Verbrennungsmotor
- Renault ZOE, Elektroantrieb
- Honda JAZZ, Hybridantrieb

Die drei Testgeräte waren jeweils unterschiedlich angebracht und zeichneten parallel die Sensordaten des Beschleunigungssensors ADXL345 von Analog-Device sowie die Fahrzustände (Fahrzeug fährt/Fahrzeug fährt nicht) auf.

Zur Veranschaulichung der Einbauart und jeweiligen Ausrichtung der Beschleunigungsachsen der drei Testgeräte können die untenstehenden Abbildungen herangezogen werden. Zwei Geräte waren jeweils in unterschiedlicher Anordnung (ca. 90° gedreht) an der Windschutzscheibe angebracht. Ein weiteres Gerät lag unbefestigt im Seitenfach der Beifahrertüre.

Die Geräte lieferten so unterschiedliche Sensorwerte für die drei Beschleunigungsachsen. Ziel war es, dass unabhängig von der Einbauart der Zeitpunkt der Erkennung der Fahrt in allen drei Anordnungen und für alle Testfälle jeweils derselbe war oder zumindest innerhalb des vorgegebenen Toleranzbereichs lag (zur Erinnerung: Fahrterkennung bei Fahrzeugbewegungen mit einer Geschwindigkeit grösser als 5 km/h in mindestens 98% der Fälle sowie mit einer minimalen Genauigkeit von +/- 5 Sekunden). Ein durchgeführter Eichtest stellte zudem sicher, dass alle Geräte dieselben Werte liefern, wenn sie exakt gleich angebracht waren.

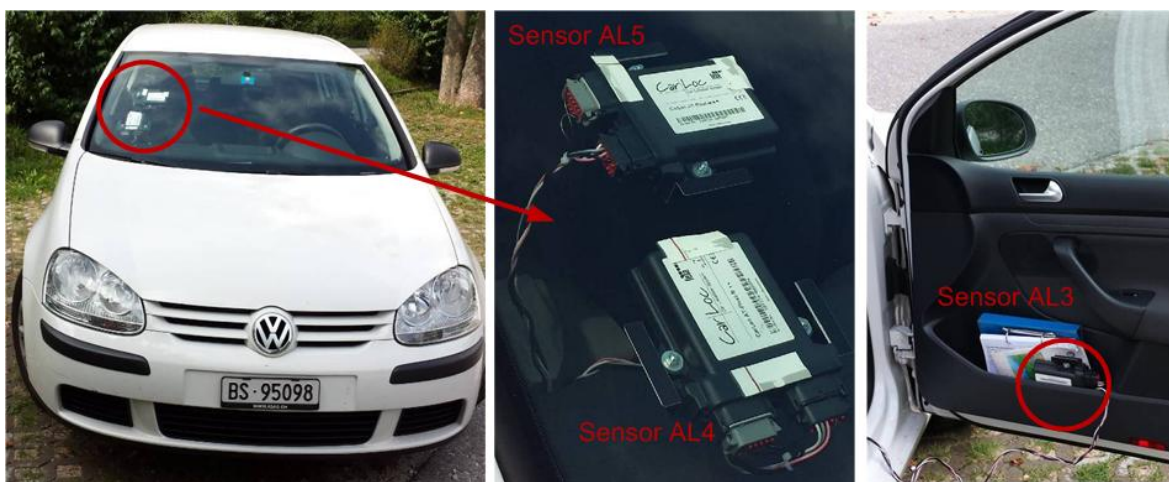


Abb. 6.11 Anordnung der Bewegungssensoren AL3, 4 und 5 im Testfahrzeug Golf V (Automatik)



Abb. 6.12 Ausrichtung des Bewegungssensors AL3

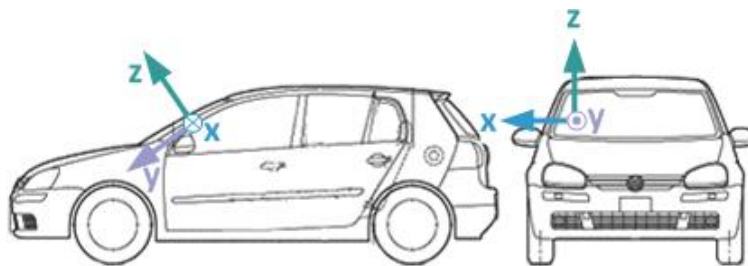


Abb. 6.13 Ausrichtung des Bewegungssensors AL4

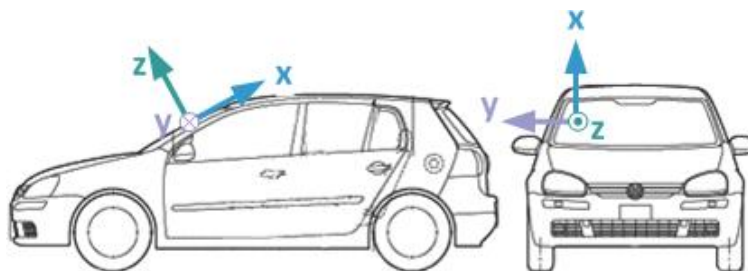


Abb. 6.14 Ausrichtung des Bewegungssensors AL5

6.1.2 Interpretation Grafiken und Tabellen

Für die einzelnen Testfälle innerhalb Kapitel 6.1, in denen besondere Eigenheiten festgestellt wurden, wird vertieft auf die aufgezeichneten Sensorwerte eingegangen. In den jeweils dargelegten Grafiken werden immer die Werte für die drei Achsen x (=blau), y (=violett) und z (=grün) gezeigt. Diese gelten in allen Fällen für die Einbauweise, wie sie oben exemplarisch für die drei Sensoren dargestellt ist. Es ist also darauf zu achten, um welchen Sensor (AL3, AL4 oder AL5) es sich jeweils handelt, um zu verstehen, welche Achse die Längs-, Quer- und Horizontalbeschleunigung beschreibt.

In einer weiteren Grafik werden jeweils die ungefähre Geschwindigkeit, sowie der Zeitpunkt der Fahrt- bzw. Stopperkennung dargestellt. Während letztere Information aus der Datenaufzeichnung der Testgeräte stammt, wird für die Geschwindigkeit die Datenausgabe aus der OBD-Schnittstelle verwendet. Hierbei gilt es zu beachten, dass diese Geschwindigkeitsangabe nur 1x pro Sekunde ausgelesen wurde und erfahrungsgemäss leicht zeitverzögert bezüglich der effektiv anliegenden Geschwindigkeit ausgegeben wird. Das bedeutet, dass die Geschwindigkeitsgrafiken jeweils nur als ungefähre Referenz herangezogen werden können. Die Berechnung des Zeitpunkts der Statusdetektion erfolgt jeweils mittels Stoppuhr und kann nicht zwingend aus der Grafik abgelesen werden.

6.1.3 Anfahrt

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.2	1	Beschleunigung von 0 auf 50 km/h in 5 s (Beschleunigung \varnothing 2.78 m/s ² oder 283.2 mg)	Geschwindigkeit und Zeitpunkt der Erkennung der Fahrt bei starker Beschleunigung (Fehlertoleranz)

Testfahrzeuge: Smart, VW Golf V und Renault ZOE

Testresultat

Die Beschleunigung aus dem Stand heraus wird in allen Fällen detektiert. Der Algorithmus benötigt ca. 2.2 s bis eine Fahrt erkannt wird. Die Art der Beschleunigung (linear, exponentiell, beschränkt, S-förmig) ist dabei irrelevant. Kritisch ist einzig ganz langsames Anfahren (\varnothing Beschleunigung $< 0.5 \text{ m/s}^2$ siehe nächstes Szenario A.1), wobei auch da die Fahrt nach ein paar Sekunden registriert wird.

Zeitdauer Fahrererkennung	Geschwindigkeit bei Erkennung
ca 2.2 s	ca. 7 km/h

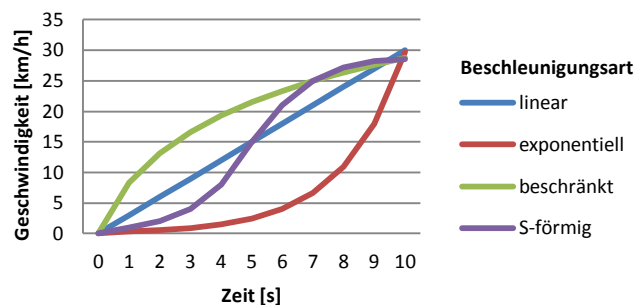


Abb. 6.15 Beschleunigungsarten

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.1	1	Beschleunigung von 0 auf 5 km/h in 5 s (Beschleunigung \varnothing 0.28 m/s ² oder 28.3 mg)	Geschwindigkeit und Zeitpunkt der Erkennung der Fahrt bei kleiner Beschleunigung (Fehlertoleranz)

Testresultat

Bei ganz langsamen Beschleunigungen (kleiner $\varnothing 0.5 \text{ m/s}^2$) kann es etwas länger dauern, bis eine Fahrt erkannt wird. Der Zustand des Fahrbahnbelages spielt dabei ebenso eine Rolle. Bei Schlaglöchern und Unebenheiten führt selbst eine kleine abrupte Beschleunigung nach den mindestens benötigten 2.2 s zur Fahrererkennung. Rollt das Fahrzeug allerdings ganz ruhig an (z.B. Flüsterbelag), kann die Fahrererkennung bis zu 10 s dauern. Die Einbauart spielt nur dann eine Rolle, wenn wie im hier dargestellten Beispiel Sensor AL3 durch die gegebenen Bewegungsfreiheiten automatisch etwas gedämpft wird und daher länger für die Fahrererkennung benötigte. Dies lässt sich schön am deutlich erhöhten Grundrauschen erkennen. Es ist allerdings festzuhalten, dass wir in diesem Grenztest von ganz kleinen Geschwindigkeiten sprechen (kleiner 5 km/h). Für grössere Geschwindigkeiten wurde immer eine Fahrt detektiert.

Sensor	Zeitdauer Fahrererkennung	Geschwindigkeit bei Erkennung
AL3	10.0 s	4.4 km/h
AL4	4.2 s	4.2 km/h
AL5	4.4 s	4.4 km/h

Die nachfolgenden drei Abbildungen zeigen die detaillierten Auswertungen des Tests A.1 für die Beschleunigung von 0 auf 5 km/h in 5 s.

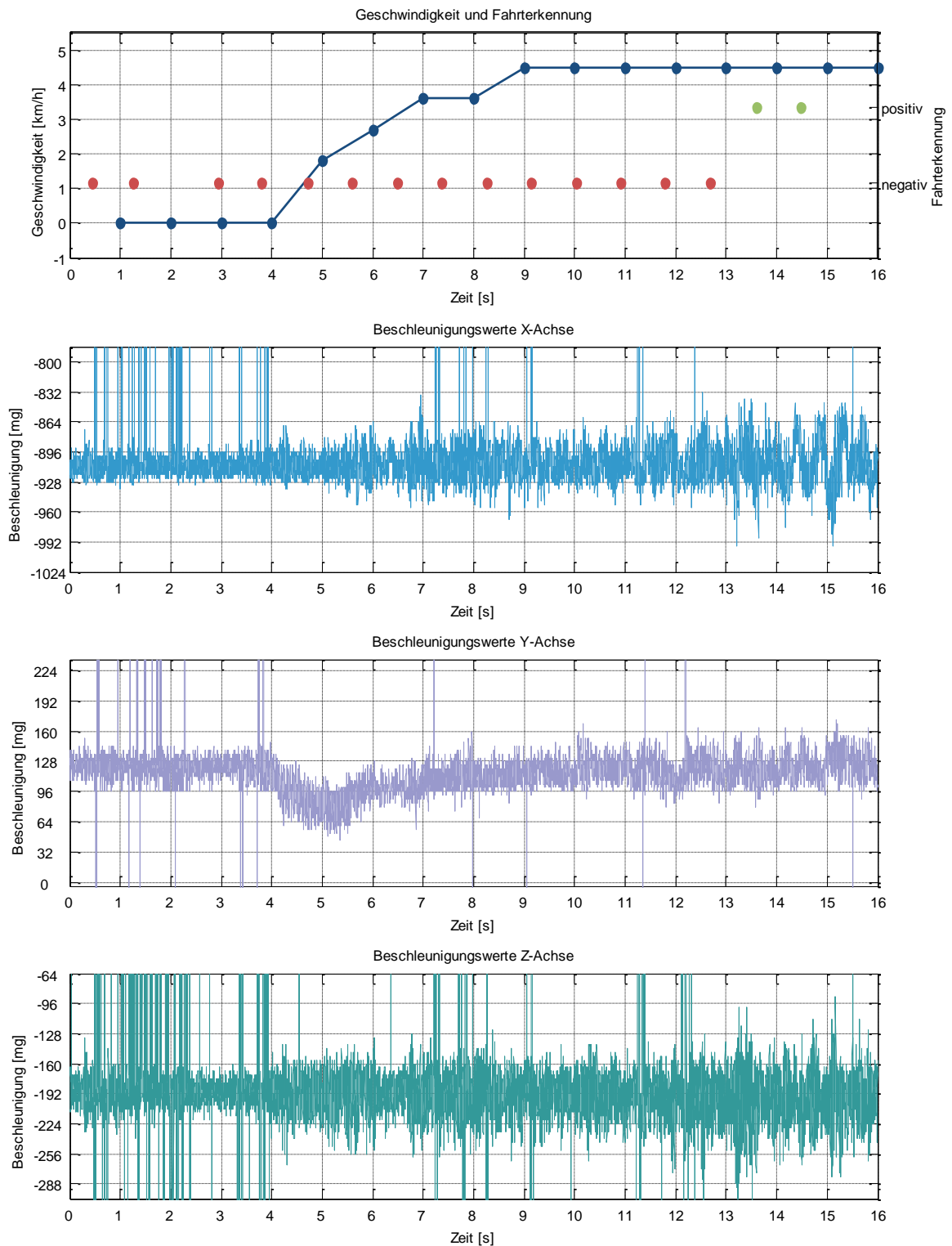


Abb. 6.16 Beschleunigung von 0 auf 5 km/h in 5 s (Sensor AL3)

Anmerkung:

In den Abbildungen sind die ungefilterten Rohdaten des Bewegungssensors abgebildet. Die vorhandenen extremen Ausschläge sind Abtastfehler des Sensors.

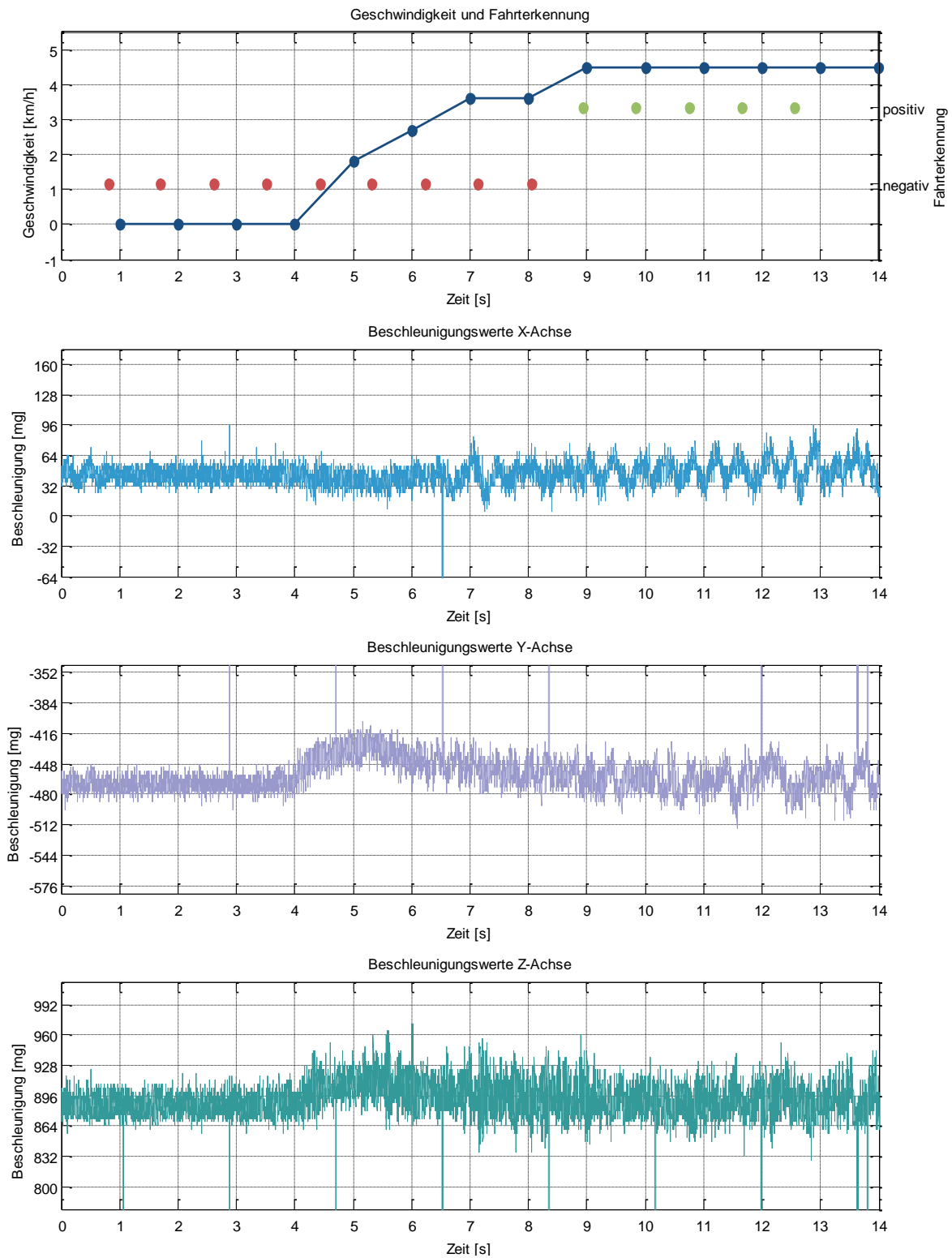


Abb. 6.17 Beschleunigung von 0 auf 5 km/h in 5 s (Sensor AL4)

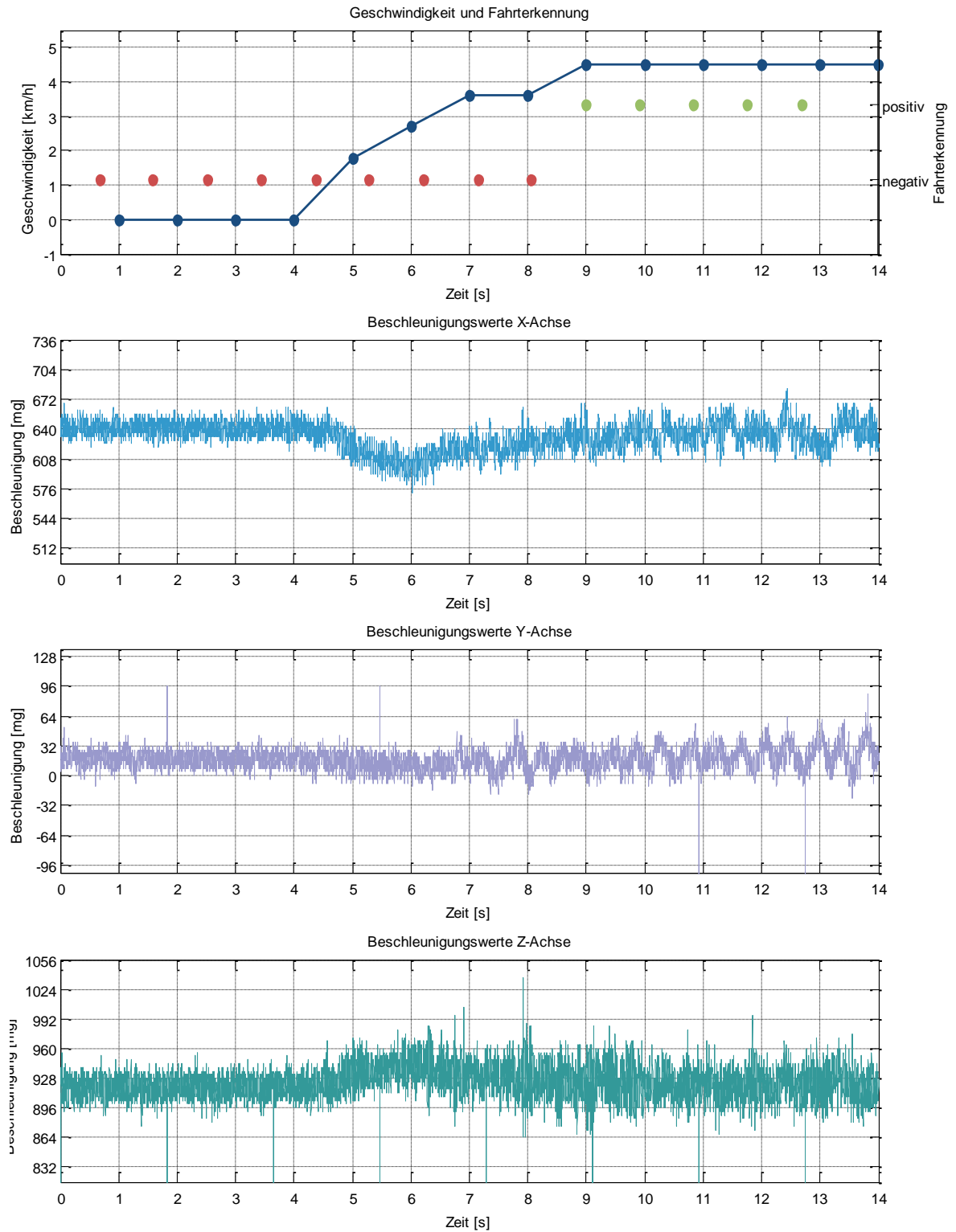


Abb. 6.18 Beschleunigung von 0 auf 5 km/h in 5 s (Sensor AL5)

6.1.4 Beschleunigung

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.3	3	Beschleunigung von 10 auf 30 km/h in 10 s (Beschleunigung \varnothing 0.56 m/s ²)	Permanentes Erkennen der Fahrt
A.4	3	Beschleunigung von 30 auf 50 km/h in 20 s (Beschleunigung \varnothing 0.28 m/s ²)	Permanentes Erkennen der Fahrt

Testfahrzeuge: Smart und VW Golf V

Testresultat

Ein permanentes Erkennen der Fahrt ist in allen Fällen gegeben. Es gab keine Situation, in welcher der Algorithmus während der Fahrt (unabhängig von gleichbleibender Geschwindigkeit, Beschleunigung oder Abbremsen) fälschlicherweise zu einer Fehlerkennung (d.h. Verlust des Zustandes Fahrt) führte.

6.1.5 Fahrt

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.5	1	Fahrtszenario 1 - Beschleunigen und Abbremsen	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug Stopp.
A.6	1	Fahrtszenario 2 - Stop and Go	Richtiges Erkennen von Stop und Go
A.7	1	Fahrtszenario 3 - Fahrt mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten, Anfahrt und Anhalten	Korrekte Erkennung der Fahrt zu jedem Zeitpunkt (Zuverlässigkeit)
A.7.1	1	Fahrtszenario 4: Beschleunigung, danach konstante Fahrt auf glattem Untergrund (z.B. in Wohnstrasse mit max. 20 km/h)	Beibehalten des Zustandes Fahrt erkannt
A.8	1	Fahrtszenario 4 – Stadtrundkurs	Messgenauigkeit bei Wiederholungen längerer Fahrten
A.9	1	Fahrtszenario 5 - Stadt/Land (Wiederholungen/Pendlerstrecke)	Messgenauigkeit bei Wiederholungen längerer Fahrten
A.10	1	Fahrtszenario 6 – Langstrecke	Messgenauigkeit bei Wiederholungen längerer Fahrten

Testfahrzeuge: Smart, VW Golf V, Renault ZOE und Honda JAZZ

Testresultat

Ein permanentes Erkennen der Fahrt ist auch hier in allen Fällen gegeben. Es gab keine Situation, in welcher der Algorithmus während der Fahrt (unabhängig von gleichbleibender Geschwindigkeit, Beschleunigung oder Abbremsen) fälschlicherweise zu einer Fehlerkennung führte.

Wie in Kapitel 4.2 beschrieben, benötigt der Algorithmus jeweils im Minimum 2 s bis das Gerät zum Zustand MOVING wechselt (`response_time_move`), bzw. mindestens 4 s bis das Gerät zum Zustand STOPPED wechselt (`response_time_stop`). Daraus ergeben sich konfigurationsbedingt leicht unterschiedliche Werte für die gesamte Fahrtdauer, da jeweils 4 s nach dem Stopp die Fahrt als (vorübergehend) beendet angesehen wird.

Gemäss der Anforderung dürften Fahrpausen, die kürzer als 30 s sind, aber nicht als Fahrtunterbruch erkannt werden. Selbiges gilt für unmittelbare Wechsel von Vorwärts- zu Rückwärtsfahrt oder umgekehrt. Diese Anforderung könnte jedoch leicht mittels zusätzlicher Logik im Algorithmus umgesetzt werden. Die Erfassungsgenauigkeit hängt also einzig und alleine von den beiden Werten `response_time_move` und `response_time_stop` ab und lag in allen Fällen über den vorgegebenen 98%.

Um diese leichten Verzögerungen bei Fahrt- bzw. Stopperkennung zu veranschaulichen,

dienen die folgenden drei Grafiken.

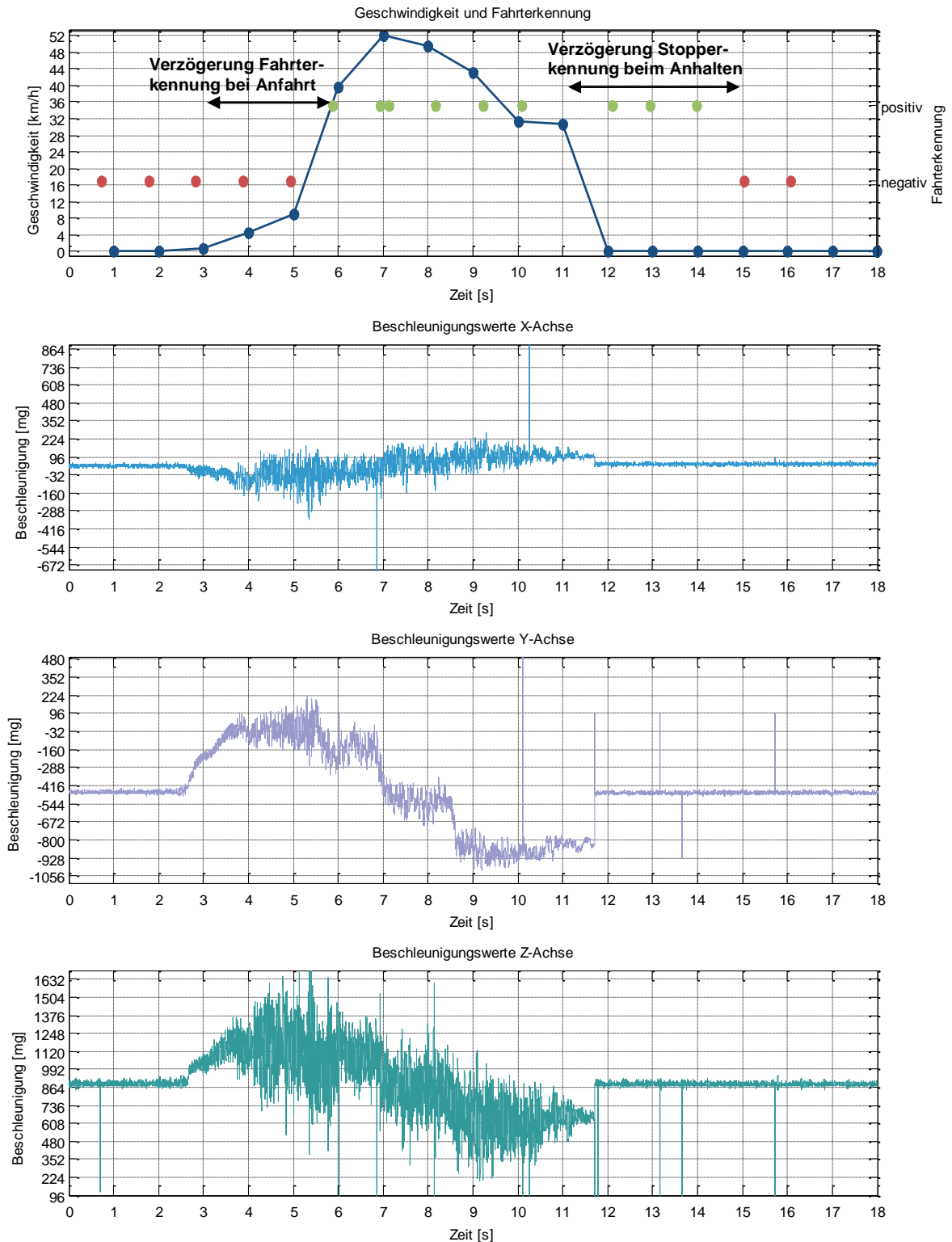


Abb. 6.19 Beschleunigung von 0 auf 50 km/h in 5 s und Abbremsen von 50 auf 0 km/h in 3 s (Sensor AL4)

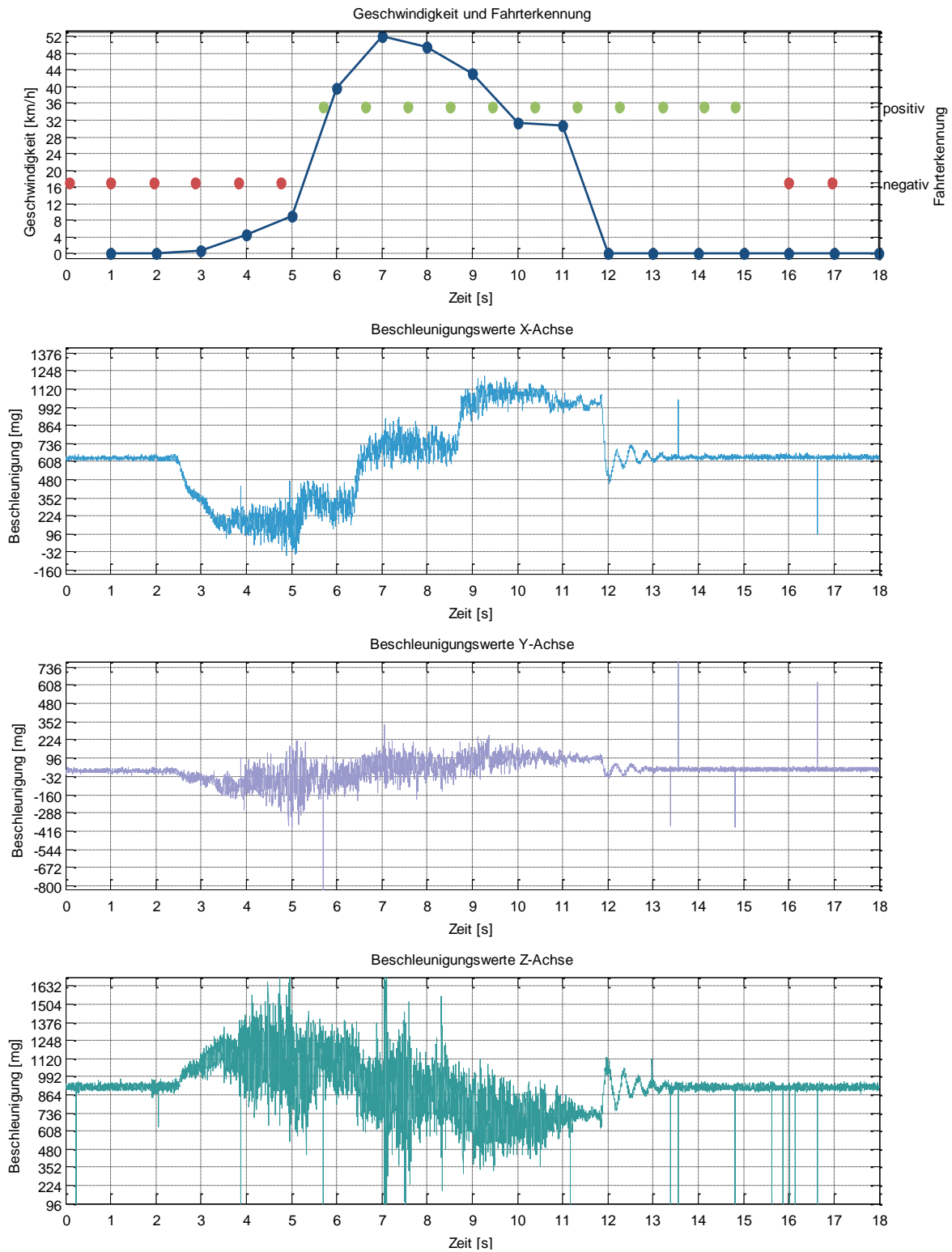


Abb. 6.20 Beschleunigung von 0 auf 50 km/h in 5 s und Abbremsen von 50 auf 0 km/h in 3 s (Sensor AL5)

6.1.6 Abbremsen

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.11	2	Abbremsen von 50 auf 10 km/h in 10 s (Beschleunigung \varnothing -1.11 m/s ²)	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug Stopp.
A.12	1	Abbremsen von 30 auf 10 km/h in 20 s (Beschleunigung \varnothing -0.28 m/s ²)	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug Stopp.

Testfahrzeuge: Smart und VW Golf V

Testresultat

Ein permanentes Erkennen der Fahrt ist in allen Fällen gegeben. Es gab keine Situation, in welcher der Algorithmus während der Fahrt (unabhängig von gleichbleibender Geschwindigkeit, Beschleunigung oder Abbremsen) fälschlicherweise zu einer Fehlerkennung führte. Die bleibende Fahrererkennung, auch wenn ein Fahrzeug auf eine niedrigere Geschwindigkeit abbremst, ist zuverlässig.

6.1.7 Anhalten

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.13	2	Abbremsen von 30 auf 0 km/h in 3 s (Beschleunigung \varnothing -2.78 m/s ² oder -283.2 mg)	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug Stopp.

Testfahrzeuge: Smart, VW Golf V und Renault ZOE

Testresultat

Sensor	Zeitdauer Stopperkennung
AL3	4.6 s
AL4	4.6 s
AL5	4.4 s

Das Erkennen des Fahrtendes ist sehr zuverlässig. Aufgrund der Konfiguration des Algorithmus vergehen immer mindestens 4 s, bis das Gerät zum Zustand STOPPED wechselt (response_time_stop).

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.14	2	Abbremsen von 5 auf 0 km/h in 10 s (Beschleunigung \varnothing -0.14 m/s ²)	Kein versehentliches Erkennen des Fahrtendes, bzw. Fahrzeug Stopp bei ganz geringen Verzögerungen.

Testresultat

Sensor	Zeitdauer Stopperkennung
AL3	-5.6 s
AL4	-3.9 s
AL5	-6.6 s

Als Sonderfall wurde das Ausrollen des Fahrzeuges bei ganz kleinen Geschwindigkeiten getestet. Dabei kann es tatsächlich vorkommen, dass der Algorithmus ein Ende der Fahrt detektiert, während das Fahrzeug noch am Ausrollen ist. Die Geschwindigkeit beträgt dann aber lediglich 1-2 km/h.

Diese vor- oder frühzeitige Stopperkennung veranschaulichen die folgenden drei Grafiken.

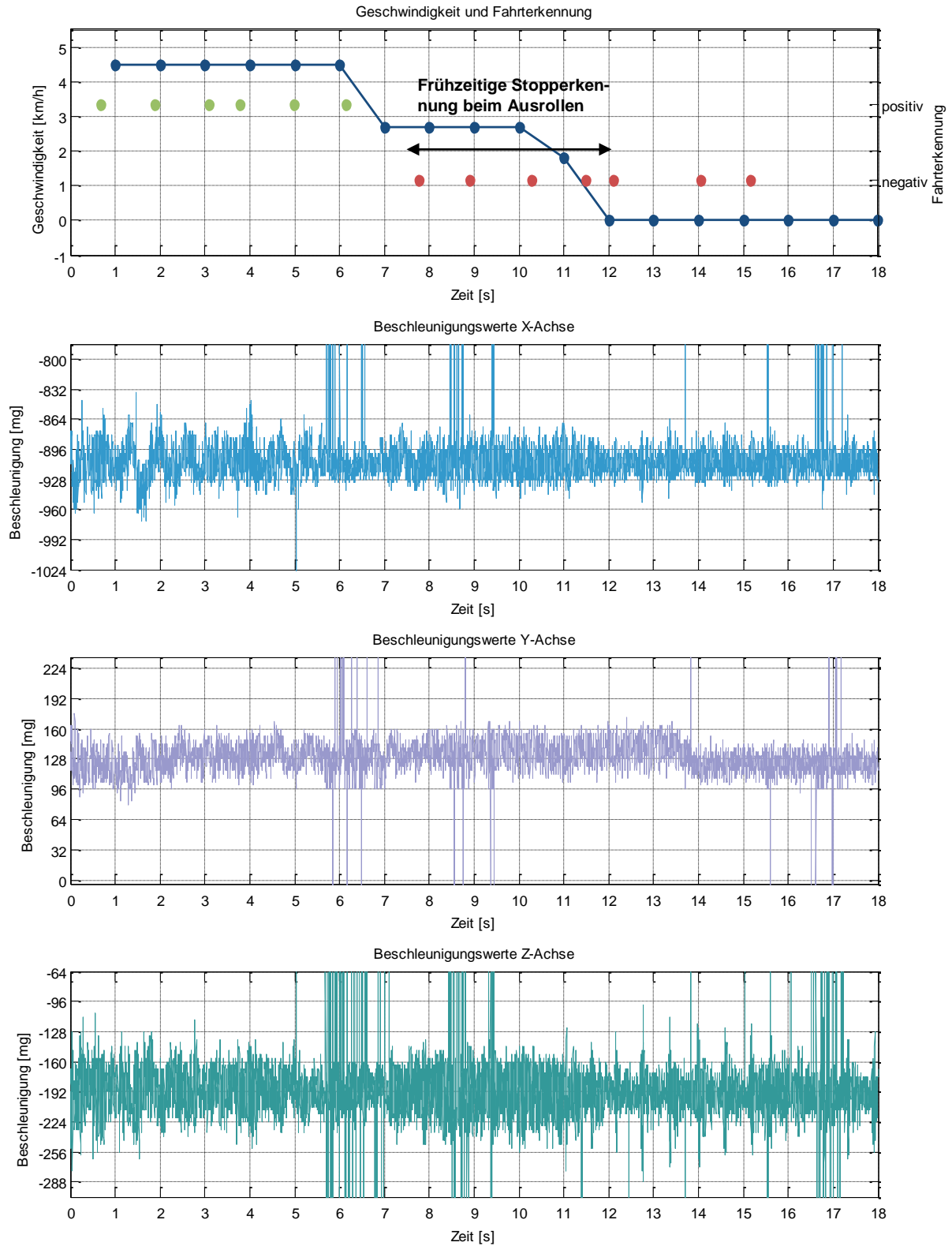


Abb. 6.21 Ausrollen von 5 km/h auf 0 km/h in 10 s (Sensor AL3)

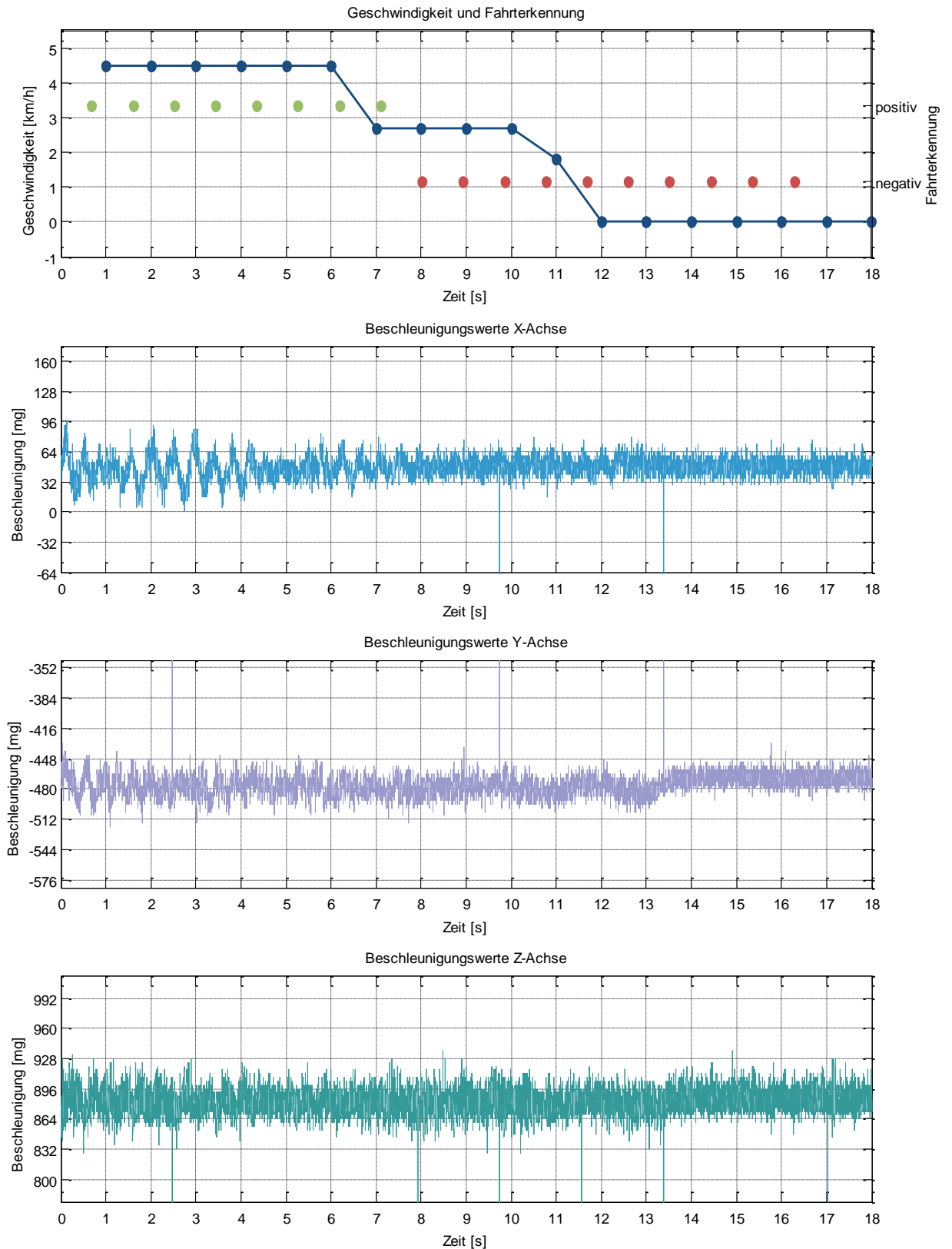


Abb. 6.22 Ausrollen von 5 km/h auf 0 km/h in 10 s (Sensor AL4)

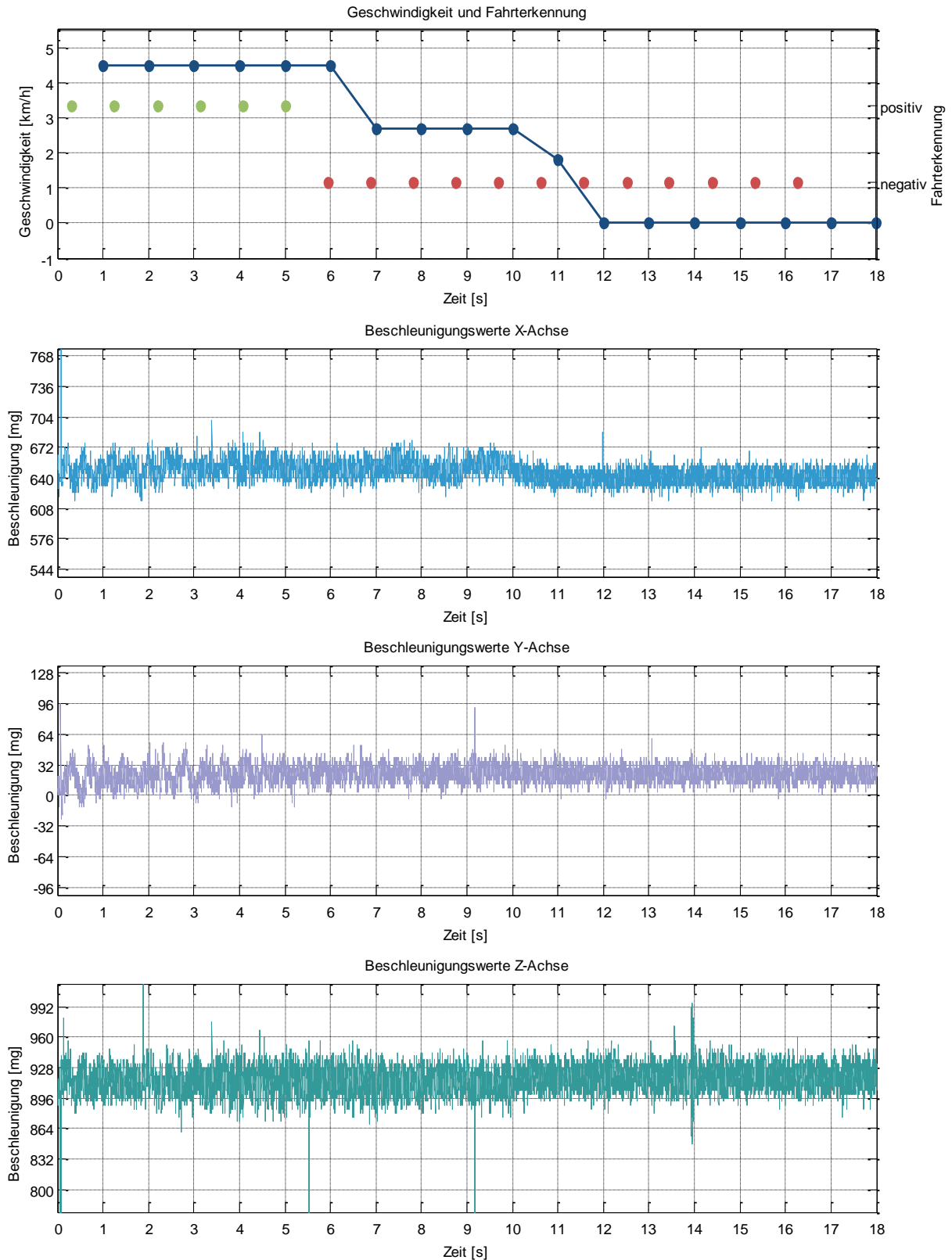


Abb. 6.23 Ausrollen von 5 km/h auf 0 km/h in 10 s (Sensor AL5)

6.1.8 Sonderfälle

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.15	2	Auto auf Anhänger	Bewegungserkennung gleichbleibend wie Fahrererkennung
A.16	3	Auto auf Zug	Bewegungserkennung gleichbleibend wie Fahrererkennung
A.17	3	Auto auf Fähre	Bewegungserkennung gleichbleibend wie Fahrererkennung

Testresultat

Die Tests A.15 bis A.17 wurden aus Zeitgründen und aufgrund ihrer niedrigen Priorität nicht durchgeführt.

Aufgrund der gemachten Erfahrungen bei den anderen Testszenarien ist die Vermutung zulässig, dass zumindest für A.15 (Auto auf Anhänger) aufgrund identischer Vibrations- und Beschleunigungswerte eine Fahrererkennung vergleichbar mit eben diesen Testszenarien erfolgen wird.

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
A.18	3	Einfluss von Störquellen auf geparktes Fahrzeug (z.B. Musik, Klopfen auf Steuer- rad, Scheibenwischer, vorbeifahrendes Fahrzeug, usw.)	Wie hoch ist die Rate der falschen Fahrererkennung anhand der Störquellen.

Testresultat

In allen vorangegangenen Testfällen detektierte der Algorithmus eine Fahrt immer korrekt. Ziel dieses Testfalls war es, Einflüsse zu identifizieren, die bei einem stehenden Fahrzeug fälschlicherweise zu einem Fahrtzustand führen. Bereits kleinste Beschleunigungen am Gerät werden vom Sensor erfasst. Damit aber eine Fahrt erkannt wird, müssen die Werte (nach Filterung und Mittelung, siehe Kap. 4.2) einen gewissen Schwellwert erreichen, damit Zustand von STOPPED auf MOVING geändert wird. Wichtig ist zu verstehen, dass hierbei nur absolute Werte betrachtet werden. Der in dieser Forschungsarbeit verwendete Algorithmus weiss an dieser Stelle nicht, welche Richtung die Beschleunigungswerte beschreiben.

Gesucht waren also messbare Erschütterungen/Beschleunigungen, deren Summierung über dem Schwellwert des Algorithmus liegen, obwohl sich das Fahrzeug nicht bewegt. Folgende Phänomene führten unter bestimmten Gegebenheiten zu einer Fehldetektion:

- laute Musik
- starke Erschütterungen am Chassis (z.B. Türe fest zuschlagen) oder an den Armaturen (z.B. Trommeln auf Lenkrad)
- Scheibenwischer
- vorbeifahrendes Fahrzeug oder Tram

Die Tests waren nicht immer reproduzierbar. Beispielsweise verursachte ein vorbeifahrendes Fahrzeug äusserst selten eine Fehldetektion. Auch laute Musik führte nicht zwingend zu einer Fahrtdetektion. Nur gewisse rhythmische Schwingungen (v.a. verursacht durch die Bässe), welche via Armaturen und/oder Windschutzscheibe an den Sensor übertragen werden, rufen das Phänomen hervor.

Das Beispiel in Abb. 6.24 zeigt einen Fall, in welchem die Lautstärke des Basses für ein

paar Sekunden aufgedreht wurde. In allen drei Achsen sind die Einflüsse zu erkennen, besonders aber in der z-Achse, wo kurzzeitige Schwerelosigkeit besteht (hervorgerufen durch die Vibration). Bis fälschlicherweise eine Fahrt detektiert wird, dauert es jedoch ein paar Sekunden.

Diese Gegebenheit kann damit begründet werden, dass eine Fehldetektion im Grunde genommen nur auftritt, weil das System zu stark von genau solchen Schwingungen beeinflusst wird. Die Berechnung des RMS über alle drei Achsen bildet dann eine Summe, welche über dem definierten Schwellwert liegt. Sobald ein Gerät nicht mehr komplett starr montiert ist, führt dies zu einer natürlichen Dämpfung und die Amplitude der Schwingung (folglich auch das RMS) nimmt rasch in der Zeit ab. Entscheidend ist somit die Ausbreitung des Störeinflusses vom Ort der Entstehung bis zum Sensor hin.

Ist die natürliche Dämpfung stark genug, tritt keine Fehldetektion auf. Werden hingegen die Schwingungen (ausgelöst durch Erschütterungen) ausgeprägt an den Sensor weitergegeben und liegen gleichzeitig die Frequenzen in Bereichen, die durch die Tiefpassfilter nicht eliminiert werden können (< 10 Hz), sind Fehldetektionen durchaus möglich – unter idealen Voraussetzungen bereits bei an und für sich geringen Vibrationen oder Stößen.

Das Auftreten der aufgelisteten Erscheinungen hängt also physikalisch bedingt stark von Einbauart und Einbauort sowie von den Fahrzeugeigenschaften ab.

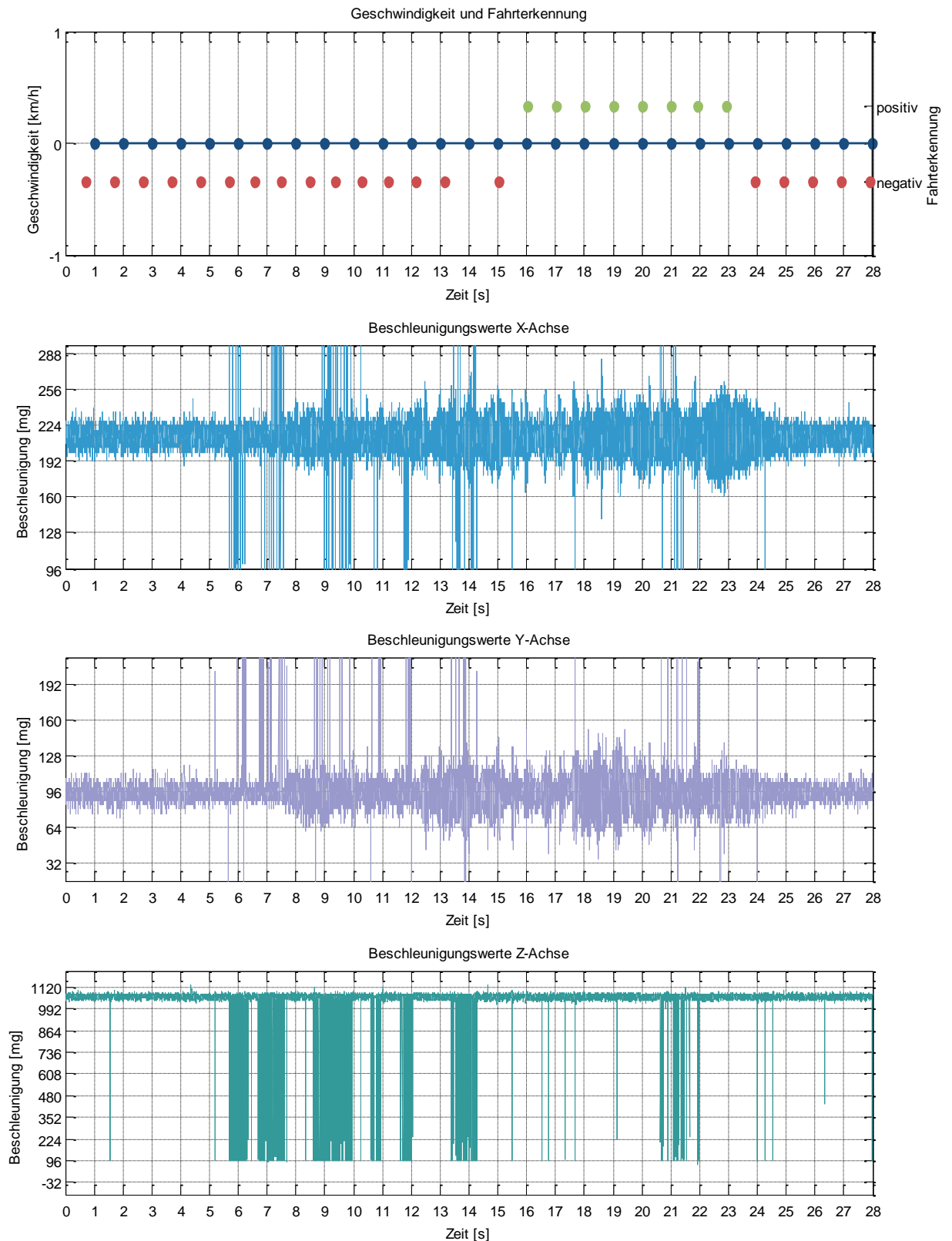


Abb. 6.24 Aufdrehen der Musiklautstärke zwecks Basseinfluss. In diesem Fall liegt die Z-Achse in der Horizontalen, da der Sensor flach auf den Fussboden gelegt wurde (Sensor AL5)

6.1.9 Zusammenfassung Fahrterkennung

Die Testresultate zeigen, dass die Erkennung von Fahrtbeginn und Fahrtende in allen Situationen unabhängig vom Fahrzeugtyp und der Antriebsart (Verbrennungs-, Elektro- oder Hybridantrieb) grundsätzlich gewährleistet ist. Dabei ist das Erkennen des Fahrtbeginns einfacher, da von einem klar definierten Zustand der Ruhe in einen vibrierenden Fahrtzustand gewechselt wird. Entsprechend erfolgt die Detektion praktisch unmittelbar. Die Erkennung des Fahrtendes gestaltet sich dagegen komplexer. Dabei muss anhand von vergangenen Messwerten (der Fahrt) der definierte Zustand des Stillstands ermittelt (man könnte auch sagen abgewartet) werden. Um zu verhindern dass aufgrund ruhiger Fahrt bereits ein Fahrtende detektiert wird, muss das Gerät über einen gewissen Zeitraum den Zustand Stillstand erkannt haben. Im Testgerät beträgt dieser Zeitraum rund 4 Sekunden. Zur Vermeidung dieser falschen Fahrtende-Erkennung darf über eine definierte Zeit – im Testgerät 4 Sekunden – keine Fahrt erkannt werden.

Die Erkennung des Fahrtbeginns ist in allen Tests innerhalb der geforderten Toleranzwerte für das Testgerät. Eine Fahrt von > 5 km/h wird bei normaler Beschleunigung innerhalb von rund 2 Sekunden erkannt. Auch das Fahrtende wurde in fast allen Fällen innerhalb der Gerätetoleranz - die minimale Genauigkeit von ± 5 Sekunden war gefordert - erkannt. Beim Fahrtende vergehen aufgrund der Konfiguration des Algorithmus immer mindestens 4 Sekunden, bis das Gerät den Zustand Stopp erkennt. Bei sehr kleinen Bremsverzögerung des Fahrzeuges kann es vorkommen, dass der Algorithmus ein Ende der Fahrt detektiert, während das Fahrzeug in Wahrheit noch am ausrollen ist. Die Geschwindigkeit beträgt dann aber lediglich 1-2 km/h.

Weil damit das Gerät den Fahrtbeginn systembedingt schneller erkennt als das Fahrtende, ist die ermittelte Fahrzeit systembedingt einige Sekunden länger als die tatsächliche Fahrzeit. Da ebenfalls eine minimale Verzögerung beim Erkennen des Fahrtbeginns auftritt, welche die zu lange gemessene Zeit beim Fahrtende etwas kompensiert, dürfte der gesamte, systematische positive Fehler einer Einzelfahrzeit im Bereich von 2 bis 4 Sekunden liegen.

Eine weitere Schwäche ist die Anfälligkeit des im Testgerät implementierten Algorithmus auf Störimpulse wie Musik und extern verursachte Erschütterungen. Es sind mehrere Lösungsansätze für dieses Problem denkbar. Die möglichen Verbesserungen am Algorithmus werden in Kap. 6.1.10 beschrieben. Kurzfristige Störungen von wenigen Sekunden – z.B. verursacht über ein vorbeifahrendes anderes Fahrzeug - könnten auch über Filtermechanismen in der Auswertungssoftware in einem Hintergrundsystem nach der Datenübertragung eliminiert werden. Längere Störungen, z.B. verursacht durch laute Musik oder Bauarbeiten blieben dann aber ein ungelöstes technisches Problem.

Filtermechanismen in der Auswertungssoftware

Kurze Fahrten, welche eine minimale konfigurierbare Fahrdauer von z.B. 30 Sekunden nicht überschreiten, können eliminiert werden, sofern darauf eine Fahrtpause von mehreren Minuten (z.B. minimal 5 Minuten) folgt. Es wird angenommen, dass dadurch auch Pseudofahrten durch Erschütterungen des Fahrzeuges verursacht durch Fremdeinflüsse (z.B. be- und entladen des Fahrzeuges, Druckwellen und Erschütterungen durch vorbeifahrender Fahrzeuge, usw.) eliminiert werden.

6.1.10 Verbesserungsmöglichkeiten Algorithmus Fahrterkennung

Die gewissermassen einzige Schwäche des implementierten Algorithmus ist die falsche Fahrterkennung zum Beispiel durch laute Musik im Fahrzeug oder andere Einflüsse wie Scheibenwischer oder vorbeifahrende Fahrzeuge. Wie im Kapitel 6.1.8 erklärt, sind sich ausbreitende Schwingungen mit genügend grosser Amplitude sowie geringer Frequenz der Auslöser dieser Fehldetektionen. Für die Verbesserung des Algorithmus sind mehrere Ansätze denkbar. An dieser Stelle sollen einige Konzepte kurz vorgestellt werden. Es ist zu erwarten, dass nicht eine einzelne Massnahme, sondern die geeignete Kombination mehrerer dieser Massnahmen ein optimales Ergebnis bringen würde. Wie sich diese Massnahmen gegeneinander verhalten (Trade-off) und welche Kombination letztlich die besten Ergebnisse liefert, wurde im Rahmen des Projekts nicht weiter untersucht.

Anpassung der Sensitivität

Durch Anpassen des Schwellwertes kann die Sensitivität beeinflusst werden. Dies birgt jedoch die Gefahr, dass bei konstant ruhiger Fahrweise (z.B. Tempomat, geradeaus) fälschlicherweise das Ereignis INACTIVE detektiert wird.

Provozierte Dämpfung

Die gute Detektionsrate des sich im Seitenfach der Beifahrertüre befindenden Testgeräts hat gezeigt, dass eine starre Montage an der Windschutzscheibe nicht zwingend erforderlich ist. Da bei diesem Gerät seltener als bei den an der Windschutzscheibe befestigten Sensoren Fehldetektionen auftraten, könnte unter Umständen bereits schon eine provozierte Dämpfung für bessere Resultate sorgen. Als Schwingungsdämpfung ist eine im Gerät eingebaute Federung oder auch ein schwingungsabsorbierendes Verbindungsmaterial zwischen Gerät und Befestigungsfläche denkbar.

Ausgereiftere Filter

Anhand der beiden Filter (Tiefpass chebychef und DC-Filter) sollten Störungen, welche nicht durch die Fahrt verursacht werden, gefiltert werden. Problematisch sind jedoch Frequenzen, die innerhalb des Tiefpasses liegen (< 10 Hz). Denkbar wäre es, mit adaptiven Filtern zu arbeiten. Mit solchen könnte in etwa erreicht werden, dass wiederkehrende Muster (hervorgerufen durch einen Musikrhythmus) ignoriert werden. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, die Grenzfrequenzen der Filter anzupassen oder andere Filtertypen zu verwenden. Insbesondere aufgrund des DC-Filters kann zurzeit der errechnete RMS-Wert nur einmal pro Sekunde mit dem Schwellwert verglichen werden. Ein häufigerer Vergleich von vergangenen Sensorwerten mit dem Schwellwert könnte möglicherweise zu selteneren Fehldetektionen führen.

Gerätedämpfung

Die Vermeidung der falschen Fahrterkennung kann möglicherweise auch über Vibrationsdämpfung beim Einbau des Sensors selbst erfolgen. Dabei könnte das gesamte Gerät oder nur der Sensor innerhalb des Gerätes mit einer vibrationsdämpfenden Verbindung befestigt werden. Wie sich gezeigt hat, hat auch der Einbauort im Fahrzeug eine mögliche dämpfende Wirkung. Im Rahmen des Projekts wurde aber weder eine Untersuchung zum aus dieser Perspektive geeignetsten Einbauort, noch zu einer dämpfenden Montage gemacht.

6.2 Testscenario Fahrverhalten

6.2.1 Testaufbau

Der hier dargestellte Testaufbau wurde für die in Kap. 6.2.3 im Detail beschriebene und ausgewertete Kurvenfahrt verwendet. An diesem speziellen Tag waren nur zwei Testgeräte einsatzbereit, ansonsten wurden wie bei den Fahrversuchen immer 3 Testgeräte eingesetzt.

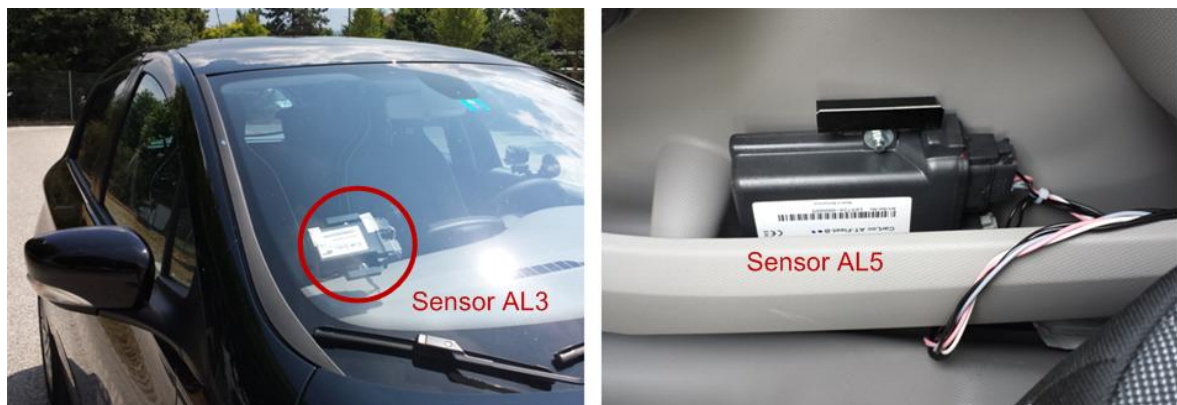


Abb. 6.25 Anordnung der Bewegungssensoren AL3 und AL5 im Testfahrzeug Renault ZOE (Elektromobil)



Abb. 6.26 Ausrichtung des Bewegungssensors AL3

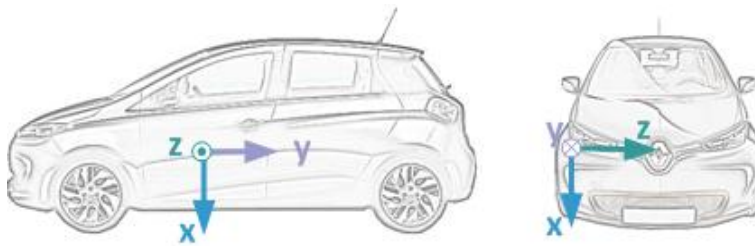


Abb. 6.27 Ausrichtung des Bewegungssensors AL5

6.2.2 Geschwindigkeitsänderungen

Sämtliche ursprünglich geplanten Testfälle zu Beschleunigung und Abbremsen lassen sich auf eine gemeinsame Fragestellung reduzieren. Wie exakt kann die Beschleunigung erfasst werden, um damit einen aussagekräftigen Vergleich zwischen einem „normalen“ und einem „aggressiven“ Fahrstil zu unterscheiden? Dazu sollen jeweils die Messwerte zweier Testfälle miteinander verglichen werden, wobei der normale Fahrstil als Referenzmessung für den aggressiven Fahrstil verwendet wird.

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.1	1	Normale Beschleunigung von 0 auf 50 km/h	Referenzmessung
B.2	1	Schnellstmögliche Beschleunigung von 0 auf 50 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.3	2	Normale Beschleunigung von 30 auf 60 km/h	Referenzmessung
B.4	2	Schnellstmögliche Beschleunigung von 30 auf 60 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.17	2	Normales Abbremsen von 60 auf 30 km/h	Referenzmessung
B.18	2	Abruptes Abbremsen von 60 auf 30 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.19	1	Normales Abbremsen von 30 auf 0 km/h	Referenzmessung
B.20	1	Abruptes Abbremsen von 30 auf 0 km/h	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Testfahrzeuge: VW Golf V und Renault ZOE

Testresultat

Die vom Testgerät aufgezeichneten Sensorwerte bei einer geradlinigen Geschwindig-

keitsänderung entsprechen den erwarteten – und berechenbaren – Werten. Die aus dem Vergleich resultierenden Differenzen der Beschleunigungswerte lassen die Erkennung von unterschiedlichem Fahrverhalten zu. Allerdings können diese Werte ohne den Umgebungskontext nicht für eine wertende Aussage bezüglich des Fahrstils verwendet werden. Folgende Beispiele illustrieren die Problematik:

- Eine starke Beschleunigung auf einer Autobahneinfahrt ist weniger risikoreich verglichen mit einer zaghaften Beschleunigung.
- Ein abruptes Abbremsen von 30km/h auf 0 km/h kann durch unverschuldetes Fremdverhalten zur Unfallvermeidung notwendig sein.

6.2.3 Fahrsituationen

Aufgrund der Erkenntnisse aus den Tests zur Geschwindigkeitsänderung wurde als erstes Testzenario zu den Fahrsituationen die kurvenreiche Strasse durchgeführt, da hier die höchste Anzahl von vergleichbaren Querbeschleunigungen aus zwei Fahrten auftreten.

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.13	2	Kurvenreiche Strasse bei gemässigtem Kurventempo	Referenzmessung
B.14	2	Kurvenreiche Strass bei hohem Kurventempo	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Testfahrzeug: Renault ZOE

Testresultat

Die vom Testgerät aufgezeichneten Sensorwerte stammen von zwei Fahrten auf der Passstrasse von Dornach nach Gempen. Die erste Fahrt auf der kurvenreichen Strasse bei gemässigtem Kurventempo und Herausbeschleunigung dauerte 06:53 Minuten (blaue Kurve), während für die zweite Fahrt mit hohem Kurventempo und (kurzer) maximaler Herausbeschleunigung am Berg 05:10 Minuten benötigt wurden (rote Kurve).

Bei rasanter Fahrt fallen hier primär die erhöhten Querbeschleunigungen auf, welche in den Kurven erreicht wurden. Die Querbeschleunigungen erreichen bei rasanter Fahrt bis zu 0.9 g, bei "normaler" Fahrt nie über 0.5 g

Die Differenzen der Längsbeschleunigung fallen nicht gar so hoch aus, da u.a. die zulässige Höchstgeschwindigkeit von 80 km/h verständlicherweise nicht überschritten wurde. Die typische Beschleunigung bei gemächlicher Fahrt lag im Bereich von 0.3 g, bei rasanter Fahrt bei rund 0.5 g.

Als Vergleichswert: Die mittlere Längsbeschleunigung beim Anfahren mit einem PKW für den Geschwindigkeitsbereich von 0 bis 60 km/h liegt zwischen 3 m/s^2 (~0.3 g) und 7 m/s^2 (~0.7 g). Die Fahrzeugbelastung bei Auffahrunfällen zweier PKW mit Geschwindigkeitsunterschieden im Bereich von 10 km/h liegt zwischen 40 m/s^2 (~4 g) und 70 m/s^2 (~7 g). Typische maximale Querbeschleunigungen von PKW betragen auf trockener Fahrbahn zwischen 8 m/s^2 (~0.8 g) und 10 m/s^2 (~1 g).

Die Frage, ab wann eine Fahrt als aggressiv gilt, kann nicht so einfach beantwortet werden. Eine Notbremsung darf beispielsweise nicht als aggressives Fahren gewertet werden. Einerseits spielt hier also die Häufung von Ereignissen eine Rolle. Andererseits werden für die Erstellung von Fahrprofilen Referenzdaten benötigt.

Mit dem Testfall konnte gezeigt werden, dass die Geräte die Beschleunigungswerte exakt genug aufzeichnen, um im Anschluss an die Fahrt das Verhalten auszuwerten. Die Ausgabe von Spitzenwerten wäre möglich. Präzise Aussagen zum Fahrverhalten können hingegen nur mittels nachträglicher (offline) Berechnung und Vergleichsanalyse auf einer

genügend grossen Datenmenge (resultierend aus einer längeren Aufzeichnungsperiode und von mehreren Fahrern) gemacht werden. Auf die Auswertung weiterer Testfälle zum Fahrverhalten wurde deshalb verzichtet.

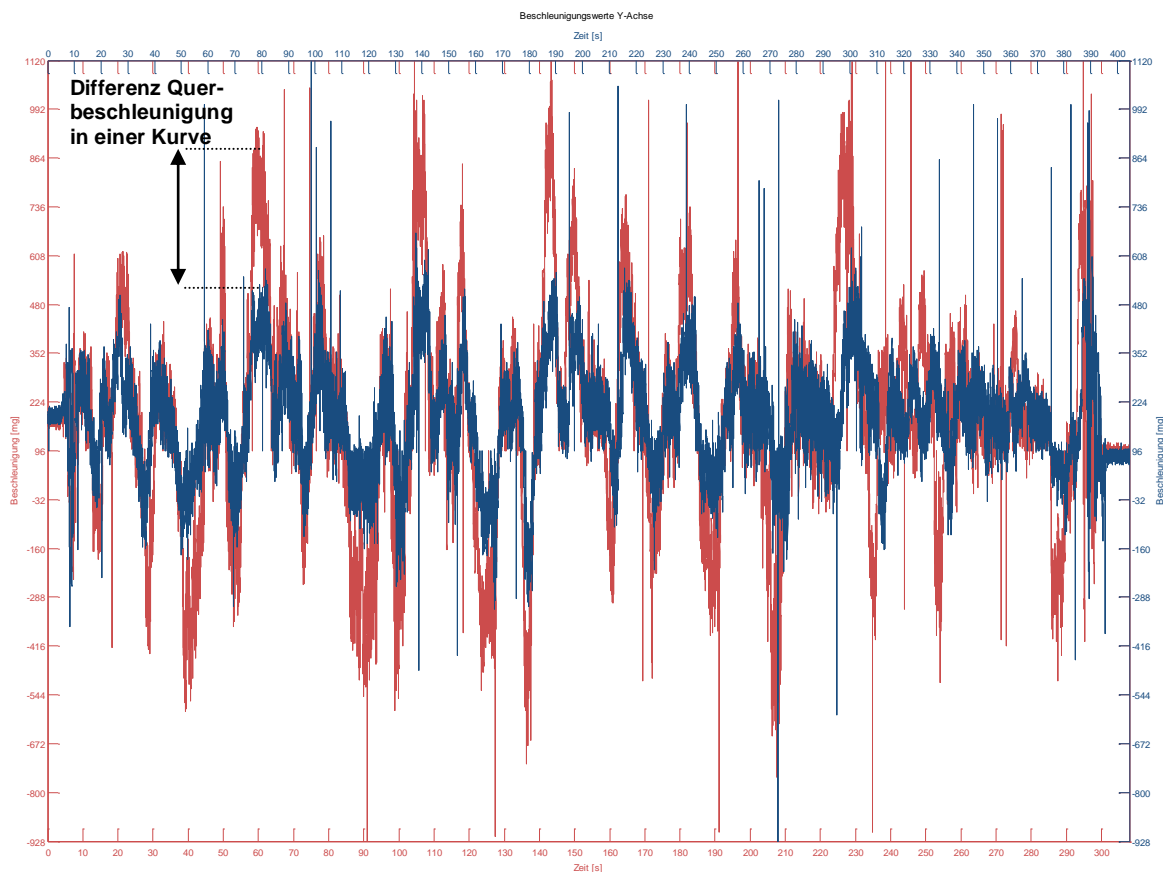


Abb. 6.28 Referenzmessung kurvenreiche Strasse (blau) und bei rasanter Kurvenfahrt (rot) (Sensor AL3); Die Zeitachsen wurden so skaliert, dass die gefahrenen Kurven übereinander liegen, um so die Unterschiede bei den Querbeschleunigungen sichtbar zu machen.

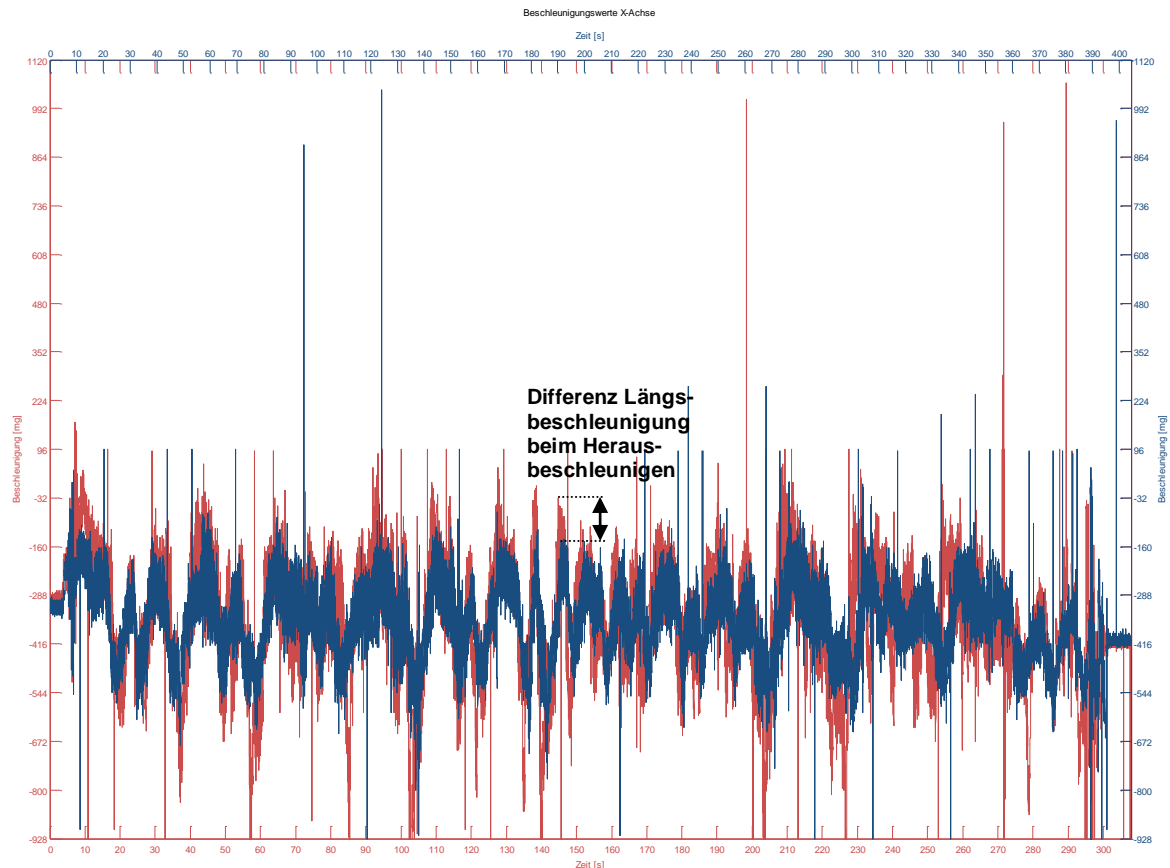


Abb. 6.29 Referenzmessung kurvenreiche Strasse (blau) und bei erhöhter Beschleunigung und abruptem Abbremsen (rot) (Sensor AL3); Die Zeitachsen wurden so skaliert, dass die gefahrene Strecke ungefähr übereinander liegt, um so die Unterschiede bei den Längsbeschleunigungen sichtbar zu machen.

Testbeschreibung

Test ID	Prio	Testfall	Testziel
B.5	1	Ausweichmanöver ruhig	Referenzmessung
B.6	1	Ausweichmanöver abrupt	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.7	3	Normales Überholen auf Überlandstrasse	Referenzmessung
B.8	3	Aggressives Überholen auf Überlandstrasse	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.9	2	Normales Überholen auf Autobahn	Referenzmessung
B.10	2	Aggressives Überholen auf Autobahn	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.11	1	Abbiegen an Kreuzung bei normalem Tempo	Referenzmessung
B.12	1	Abbiegen an Kreuzung bei überhöhtem Tempo	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung
B.15	2	Kreisel bei normalem Tempo	Referenzmessung
B.16	2	Kreisel bei überhöhtem Tempo	Messgenauigkeit zwecks aussagekräftigem Rückschluss auf Beschleunigung

Testresultat

Die oben aufgelisteten Testfälle wurden mit Ausnahme von B.7 bis B.10 zum Fahrverhalten anhand zusätzlicher Fahrsituationen durchgeführt und die Daten aufgezeichnet. Auf eine vergleichende Darstellung der Messkurven wird im Bericht verzichtet, da deren Aussagekraft keine wirklich neuen Erkenntnisse liefert. Die gemessenen Werte entsprechen den fahrphysikalisch zu erwarteten Beschleunigungswerten.

Die Tests B.7 bis B.10 wurden zur Vermeidung von unnötigem Risiko nicht durchgeführt. Zudem ist bei einem Überholmanöver generell ein schnelles Überholen empfohlen und der Zweck einer Unterscheidung in normales und aggressives Überholen daher eher fraglich.

6.2.4 Zusammenfassung Fahrverhalten

Die Tests zeigen, dass Unterschiede im Fahrstil anhand von Beschleunigungswerten messbar sind. Die durchgeführten Fahrttests mit Referenzfahrt und aggressivem Fahrstil auf derselben Strecke zeigen aber auch klar auf, dass einzelne gemessene Beschleunigungswerte ohne Referenzangaben nicht zur Beurteilung des Fahrstils herangezogen werden können. Eine sinnvolle und zuverlässige Fahrstilerfassung ist damit nur dann möglich, wenn die gemessenen Beschleunigungswerte im Kontext der Fahrt ausgewertet werden können. Erst mit dem Wissen um die Strassen- und Verkehrssituation, in welcher der Messwert zustande kam, kann beurteilt werden, ob es sich um ein als aggressiv einzustufendes Manöver handelte. Genau diese Einordnung ist aber im untersuchten Geräteansatz nicht möglich, weil ausschliesslich Beschleunigungsdaten vorliegen.

Die gemessenen Beschleunigungswerte werden verursacht durch die Verkehrssituation, z.B. Autobahneinfahrt oder kurvenreiche Strasse, durch die Verkehrsdichte oder das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer, z.B. Abbremsen und Abbiegen ohne Blinken, und durch den Fahrstil des Fahrers. Dass heisst also, dass der Fahrstil selbst nur teilweise zu den gemessenen ausserordentlichen Beschleunigungswerten beiträgt. Abhängig von der Verkehrssituation ist der Einfluss auf die gemessenen extremen Werte in einzelnen Fällen möglicherweise sehr klein oder sogar gleich null.

Eine sinnvolle Fahrstilerfassung ist nur möglich, sofern eine Anzahl von Voraussetzungen erfüllt ist. Als erstes und wichtigstes muss bekannt sein, um welche Art von Ereignis es sich bei den aufgezeichneten ausserordentlichen Beschleunigungswerten handelt. Dabei muss zwischen stark beschleunigtem Anfahren, abruptem Abbremsen oder höher als normaler Querschleunigung aus Kurvenfahrten unterschieden werden können.

Diese erfassten Ereignisse müssen dann in Relation zur Fahrzeit beurteilt werden, da alle diese Ereignisse bei normalem Fahrstil mehrfach auftreten können. Einzelne Ereignisse können nicht zur Beurteilung eines Fahrstils herangezogen werden.

Ein aggressiver Fahrstil ist zudem – mit eventuell wenigen Ausnahmen - bei keinem Autofahrer permanent vorhanden. Vielfach beschränkt sich eine solche Phase auf einige Minuten bis zu in seltenen Fällen vielleicht eine oder zwei Stunden am Stück. Genaue Aussagen hierzu sind nicht Gegenstand des Forschungsberichts.

Um den Fahrstil beurteilen zu können muss man die Häufung der aufgezeichneten extremen Ereignisse über einen minimalen Zeitraum mit einer Referenzdatenbank abgleichen. So könnte z.B. das zu nahe Auffahren auf den vorderen Verkehrsteilnehmer anhand eines Musters von Abbremsen und Beschleunigung in dichtem Verkehr erkannt werden.

Die Ausarbeitung solcher Muster ist allerdings aufwändig und die Genauigkeit der Aussage ist noch nicht nachgewiesen.

Ein weiteres Problem der Fahrstilerfassung liegt in der Definition der Fahrstilgruppen. Eine Aufteilung in z.B. vier Fahrstilgruppen bestehend aus vorsichtigem, normalem, sportlichem und aggressivem Fahrstil ist denkbar. Hier liegt das Problem darin, die Grenzen zwischen den einzelnen Fahrstilen festzulegen. Wer definiert diese Grenzen anhand ei-

ner Beurteilung des Verhaltens von Fahrern im Alltagsverkehr? Im Gegensatz zur wertenden Einteilung ist eine rein mathematische, nicht wertende Gruppierung der Fahrstile anhand der gemessenen Werte auf Basis statistischer Analysen natürlich jederzeit möglich.

Schlussfolgerung

Das getestete Erfassungsgerät ist in der Lage, differenzierte Beschleunigungswerte anhand der möglichen unterschiedlichen Fahrstile zu liefern. Eine Beurteilung der Werte und das daraus abgeleitete Fahrprofil, also die Einteilung in eine Fahrstilgruppe, kann das Gerät nicht leisten.

Möglicherweise können die rohen Sensordaten des Erfassungsgerätes in einem Hintergrundsystem mit den entsprechenden weiterentwickelten Algorithmen ausgewertet werden, sodass eine Fahrstilbeurteilung möglich ist. Dies verlangt jedoch weiterführende Grundlagenforschungen zur Ermittlung von Beschleunigungsmustern, die einem entsprechenden Fahrverhalten zugeordnet werden können.

6.3 Autarkie

6.3.1 Fahrleistung

Sowohl für die Abschätzung des Stromverbrauchs, als auch für jene des Speicherbedarfes werden Werte zur Fahrleistung benötigt. Konkret muss bekannt sein, mit welcher typischen bzw. maximalen Fahrleistung pro Fahrzeug und Jahr gerechnet werden muss.

Jahresfahrleistung von PKW in Kilometern:

Als eine Basis der verwendeten Werte für die Jahresfahrleistung von PKW in Kilometern wird die unten abgebildete deutsche Statistik aus dem Jahr 2012 verwendet. In Schweizer Statistiken konnten mit Ausnahme der durchschnittlichen Jahresfahrleistung von Personenwagen von rund 12'000 km im Jahr 2010 (Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010) keine vergleichbaren Werte gefunden werden. Es ist zu vermuten, dass in der Schweiz ebenfalls etwa 1 bis 2 Prozent der PKW eine Jahresfahrleistung von über 35'000 km haben dürften. Einen Grossteil dieser Fahrleistung dürften diese PKW im Ausland zurücklegen, was aber für die Berechnung der Autarkie keine Rolle spielt. Zumindest für PAYD oder bei der Erhebung des Fahrverhaltens ist die gesamte Fahrleistung, Schweiz und Ausland zu berücksichtigen. Deshalb wird die Obergrenze der Jahresfahrleistung, welche 99% der Schweizer Autos umfassen dürfte, ebenfalls bei 50'000 km angenommen.

Bei einer Autarkieabdeckung von 100 % aller PKW muss wahrscheinlich eine weit größeren Jahresfahrleistung als 50'000 km angenommen werden. Wenn zum Beispiel ein PKW als Kleinlieferwagen im Zweischichtbetrieb genutzt wird und man die Fahrzeit anhand der durchschnittlichen Jahresarbeitszeit (rund 2'000 Stunden, Quelle <http://www.bfs.admin.ch/bfs/portal/de/index/themen/03/02/blank/data/06.html>) in der Schweiz annimmt, so kommt man bei zwei Fahrern (2 x 2000 h und einer Durchschnittsgeschwindigkeit von 38.6 km/h) auf rund 115'000 km Jahresfahrleistung, wenn man 25 % der Arbeitszeit für das Be- und Entladen berechnet.

Jahresfahrleistung von Pkw



Quelle: DAT

SP-X Infografik 2013-016

Abb. 6.30 Jahresfahrleistung von PKW in Deutschland

Jahresfahrleistung von PKW in Stunden:

Die mittlere Geschwindigkeit von Autos beträgt nach Mikrozensus Mobilität und Verkehr 2010 für gefahrene Strecken in der Schweiz 38,6 km/h. Bei einer mittleren Jahresfahrleistung von 12'000 km pro Jahr, die nur in der Schweiz zurückgelegt wird, ergibt dies eine theoretische jährliche Fahrzeit von rund 310 Stunden.

Bei der Berechnung der Fahrzeit eines "Vielfahrers" könnte vermutlich auch eine höhere mittlere Geschwindigkeit angenommen werden. Dies ist aber spekulativ, da konkrete Zahlen fehlen. Deshalb wird auch bei der Berechnung der Fahrzeiten der 99 % Grenzfahrleistung dieselbe Geschwindigkeit verwendet. Daraus ergibt sich für 50'000 km Jahresleistung eine Fahrzeit von rund 1'300 Stunden.

Die maximale Jahresfahrleistung in Stunden wird mit 3'000h angenommen. Dies wäre der Fall bei einem gewerblichen, im Zweischichtbetrieb genutzten PKW, z.B. als Lieferwagen unter der Annahme, dass die Fahrzeit 75% der Arbeitszeit beträgt.

Für die weiteren Betrachtungen werden die folgenden drei Werte verwendet:

- durchschnittlich jährliche Fahrleistung mit 12'000 km oder 310 h
- Obergrenze der jährlichen Fahrleistung bei 99 % der Fahrzeuge mit 50'000 km und 1'300 Stunden
- und maximale Fahrleistung eines Vielfahrers mit 115'000 km und 3'000 Stunden.

6.3.2 Abschätzung Stromverbrauch

Um die Abschätzung des Stromverbrauches nachvollziehbar und die Übertragung oder den Vergleich für eine reelle Anwendung zu ermöglichen, sind nachfolgende die bei der Abschätzung verwendeten Rahmenbedingungen beschrieben.

Definition der Fahrt

Für die Berechnung des Stromverbrauches wird für eine Fahrt/Reise, die das Erfassungsgerät erkennen und erfassen soll, die Definition in Kap. 3.4 vorausgesetzt.

Manipulationsschutz

Für die Berechnung des Stromverbrauches wird davon ausgegangen, dass der Manipulationsschutz rein mechanisch (z.B. Gehäuse-Plombierung) ausgeführt ist. → Kein zusätzlicher Stromverbrauch.

Datenübermittlung bei Seriengeräten

Eine permanente mobile Datenübermittlung kann und muss von vornherein ausgeschlossen werden. Diese wird nicht benötigt, da keine Echtzeitverfügbarkeit der Daten besteht. Ebenfalls ausgeschlossen wird aus Gründen der Energieersparnis eine drahtlose Datenübermittlung, welche OBU-seitig Strom verbraucht. Höchst wahrscheinlich werden die Daten via USB-Kabelverbindung ausgelesen. → Kein zusätzlicher Stromverbrauch.

Benutzereingaben

Die angenommenen Erfassungsgeräte verfügen jeweils über ein minimales HMI zu Eingabe der benötigten Werte. Die Anzeigeelemente des HMI werden bei Beginn der Eingabe aktiviert und nach deren Abschluss durch ein Timeout wieder ausgeschaltet. Dieses HMI sieht ungefähr wie folgt aus;

- Für "Erfassung Anhänger Ja/Nein" eine Taste inkl. eines LED, das nur während der Eingabe die Zustandsänderung anzeigt. Annahme: Durchschnittliche Anzahl Eingaben pro Tag = 2 (Anhänger an PKW 1x an- bzw. abhängen)
- Für "Erfassung Fahrzeugnutzung" wird eine Tastatur mit ca. 5-10 Tasten und minimalem Display vorausgesetzt. Dabei ist das Display nur während der Eingabe aktiv.

OBU 1 - Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)

Es werden nur die Fahrdauer und der Fahrstil erfasst. Dabei beschränkt sich das auf ein LED, welches die Funktionstüchtigkeit bei Fahrtbeginn oder bei Betätigung einer Testtaste kurz signalisiert.

OBU 2 - Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Erfasst werden Fahrdauer, Fahrstil und über ein HMI die Art der Fahrzeugnutzung.

OBU 3 - Fahrzeitabhängige Abgaben

Erfasst wird nur die Fahrdauer. Über ein minimales HMI kann die Funktionstüchtigkeit des Gerätes überprüft sowie ein Anhänger an- bzw. abgemeldet werden.

Resultat Abschätzung Stromverbrauch

Es war geplant, dass die Abschätzung des Stromverbrauches der in Kapitel 5.5.1 beschriebenen Fahrt-Szenarien durchgeführt werden. Es hat sich dann aber bei genauerer Betrachtung gezeigt, dass ein Standby-Modus (= keine Fahrt) bei einem Seriengerät logisch gar nicht möglich ist, da ja der Bewegungssensor diesen Fahrtbeginn, also das Verlassen des Standby-Modus, erkennen muss. Dies wiederum ist die Hauptfunktion des Bewegungssensors. Deshalb sind in nachfolgender Tabelle nur Werte für Fahrt (= Betrieb) des Erfassungsgerätes vorhanden.

Abschätzung Stromverbrauch	OBU 1 Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)	OBU 2 Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung	OBU 3 Fahrzeitabhängige Abgaben
keine Fahrt (Standby)			
Fahrt (= Betrieb)	94µA	94µA	optimiert 40µA (oder 94µA)
Durchschnitt Fahrt 2h			

Die Stromverbrauchswerte in der Tabelle entsprechen den berechneten Werten aus

Kap. 7. Da ohne Standby Modus von einem 100 % Betrieb (24 Stunden und 365 Tage pro Jahr) ausgegangen werden muss, sind für die geforderte Autarkie gemäss Kap. 2.5.5 jeweils folgende minimalen Energieversorgungen nötig:

- OBU 1 mit 8 Monate Autarkie: 570mAh
- OBU 2 mit 5 Monate Autarkie: 360mAh
- OBU 3 mit 15 Monate Autarkie: 450mAh (oder 1060mAh)

Bei diesen Werten muss bei der Umsetzung jeweils noch ein zusätzlicher Stromverbrauchswert anhand der Komplexität der HMI Funktionen addiert werden. Als Vergleichswert kann für die OBU 1 und 3 das HMI einer DSRC OBU wie z.B. die GO-Box in Österreich herangezogen werden, welche über eine Taste, ein LED und einen akustischen Summer verfügt. Für die LED-Anzeige und Taste wird dort Strom von max. 50 mA benötigt. Die Taste wird durchschnittlich dreimal täglich betätigt, so dass das LED ca. 10 Sekunden pro Tag leuchtet. Daraus ergibt sich ein Leistungsbedarf für das HMI für OBU 3 bei 15 Monaten Autarkie von 70mAh. Für die OBU 2 kann im schlechtesten Fall aufgrund des Displays eine Verdopplung des Stromverbrauches angenommen werden.

Beurteilung Stromverbrauch

Anhand der Abschätzungen zum Stromverbrauch können Erfassungsgeräte mit der geforderten Autarkiezeit bereits heute hergestellt werden. Relativ kleine Akkus (AAA Bauform) mit bis zu 1000mAh oder entsprechend grössere Akkus mit höherer Leistung sind verfügbar. Es stellt sich einzig die Frage, ob der benötigte Akku für die geplante Anwendung noch wirtschaftlich vertretbar ist.

6.3.3 Speicherbedarf

Für die Berechnung bzw. Abschätzung des Speicherbedarfs sind pro Anwendung die in Kap. 2.5.5 ermittelten Annahmen zu berücksichtigen. Diese sind:

- 6 + 2 Reservemonate = 8 Monate bei risikoabhängigen Versicherungsprämien (PAYD)
- 3 + 2 Reservemonate = 5 Monate bei Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung
- 12 + 3 Reservemonate = 15 Monate bei Anwendung 3: Fahrzeitabhängige Abgaben

Als Zweites ist der Speicherbedarf pro Ereignis zu ermitteln, sowie welche Ereignisse bei welcher Anwendung aufgezeichnet werden. Die möglichen Ereignisse sind:

- Start- /Stopp-Erkennung
- Fahrstilereignis
- Verwendungsart oder Anhänger an/ab

Die Berechnung basiert auf der Annahme dass pro gefahrenem Kilometer eine bestimmte maximale Anzahl Ereignisse aufgezeichnet werden müssen. Um nun den Speicherbedarf zu ermitteln, muss als letztes die Fahrleistung der Fahrzeuge pro Zeiteinheit bekannt sein. Die Werte wurden aus der Statistik in Kapitel 6.3.1 übernommen.

Die nachfolgenden Tabellen enthalten die Werte zur Berechnung des Speicherbedarfes. Die Berechnung beruht auf der Annahme eines optimierten, sequentiellen Ereignisspeichers mit fester Ereignisgrösse. Dabei reicht ein Byte für die Kodierung der Ereignisse. Zum Beispiel die Werte 0 und 1 für Start und Stopp, 2 und 3 für Anhänger an oder ab. Für den Fahrstil die Werte 128 bis 255 (was mehr Varianten zulässt als erkennbar sind) und 5 bis 127 für die Verwendungsart. Es wird zu jedem Ereignis ein Zeitstempel in z.B. Unix Zeitformat von 4 Byte gespeichert.

Zur Berechnung wird eine durchschnittliche Anzahl der jeweiligen Ereignisse pro zurückgelegtem Kilometer Fahrstrecke angenommen. Dabei wird für die Start-/Stopp-

Erkennung von 4 Ereignissen ausgegangen, was die Aufzeichnung von 500 Meter langen durchschnittlichen, einzelnen Fahrtstrecke erlaubt. Pro Kilometer wurden fünf Fahrstiler-eignisse angenommen, sowie eine Änderung der Verwendungsart oder An- bzw. Abkop-peln eines Anhängers.

Anhand der Werte in Kap. 2.5.6 wird der Speicherbedarf pro Anwendung und Kilometer schlussendlich zusammengefasst.

Speicherbedarf pro gefahrenem km	Ereignisse		
	Start- / Stop Erkennung	Fahrstilerereignis	Verwendungsart oder Anhänger an/ab
Speicherbedarf Ereigniskennung	1	1	1
Zeitstempel (Datum + Zeit)	4	4	4
Total pro Ereignis	5	5	5
Anzahl Ereignisse pro km	4	5	1
Speicherbedarf pro km in Bytes	20	25	5

Speicherbedarf pro gefahrenem km und Anwendung	Ereignis in Anwendung vorhanden (Bedarf in Bytes oder -)			Total Bytes
Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)	20	25	-	45
Erhebungen zur Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung	20	25	5	50
Fahrzeitabhängige Abgaben	20	-	5	25

Abb. 6.31 Speicherbedarf pro Anwendung und Kilometer

In den nachfolgenden Tabellen wird nun für die drei Fahrzeugprofile

- durchschnittliche jährliche Fahrleistung,
- Obergrenze der jährlichen Fahrleistung bei 99 % der Fahrzeuge
- und maximale Fahrleistung eines Vielfahrers

der Speicherbedarf bezüglich der geforderten Autarkiezeit abgebildet.

		Fahrleistung während Autarkiezeit in km			
Autonomie Monate:		8	5	15	
Fahrleistung pro Fahrzeug und Jahr	km	Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)	Erhebungen zur Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung	Fahrzeitabhängige Abgaben	
	Durchschn. Fahrzeugleistung	15'000	10'000	6'250	18'750
	Obergrenze bei 99% der Fahrzeuge	50'000	33'333	20'833	62'500
	Maximalleistung von Vielfahrern	115'000	76'667	47'917	143'750
		Speicherbedarf pro Fahrzeug- und Anwendungsart in Bytes			
Bytes pro gefahrenem km:		45	50	25	
Durchschn. Fahrzeugleistung		450'000	312'500	468'750	
Obergrenze bei 99% der Fahrzeuge		1'500'000	1'041'667	1'562'500	
Maximalleistung von Vielfahrern		3'450'000	2'395'833	3'593'750	

Abb. 6.32 Speicherbedarf pro Anwendung und Autarkiezeit

Trotz der grossen angenommenen jährlichen Fahrleistung von 115'000 Kilometern bei Vielfahrern bleibt der benötigte Speicherbedarf bei allen Anwendungen unter 5 MB.

7 Autarkie möglicher Seriengeräte

Dieses Kapitel beschreibt Konzepte für mögliche Seriengeräte für zeitabhängige Fahrzeug-Leistungs-Erfassung und analysiert den Energieverbrauch. Das Seriengerät soll autark eine möglichst lange Laufdauer aufweisen. Im Fokus steht somit der minimale Energieverbrauch.

7.1 Grundlagen

Analogie zu einem heutigen Beschleunigungssensor

Um den ungefähren Stromverbrauch für ein mögliches Seriengerät abschätzen zu können, werden die Kenndaten des Beschleunigungssensors ADXL345 von Analog-Device verwendet, welcher auch im Testgerät zum Einsatz kam. Dieser benötigt gemäss Datenblatt im Low-Power-Modus bei einer Abtastrate von 25 Hz einen Strom von permanent 40 μ A (@ 2.5 V).

Energiequelle

Als Referenz-Energiequelle werden zwei Lithium-Knopfzellenbatterien CR2032 verwendet. Diese liefern zusammen eine Energie von ca. 400 mAh (@ 3 V). Die CR2032 Knopfzellen haben ein Abmessung von 20 mm Durchmesser und eine Höhe von 3,2 mm. Anmerkung: Bei den Kapazitätsangaben von Akkus und Batterien ist zu beachten, dass die Streuung in der Praxis sehr hoch ist. In einer konkreten Umsetzung würde diesem Umstand mit einem zusätzlichen Reservefaktor begegnet, worauf in der hier vorliegenden Betrachtung verzichtet wurde.

Gerätekomponenten

Die zentrale Komponente des Gerätes ist der Beschleunigungssensor. Dieser erfasst permanent die Beschleunigungsdaten und muss somit auch permanent in Betrieb sein. Der Hauptenergiebedarf fällt somit auf den Sensor. Weiter benötigt ein Gerät eine Filterung und Aufbereitung der Beschleunigungsdaten sowie die Speicherung der Ereignisse und/oder Rohdaten. Abb. 7.33 zeigt ein vereinfachtes Blockdiagramm mit den Komponenten:

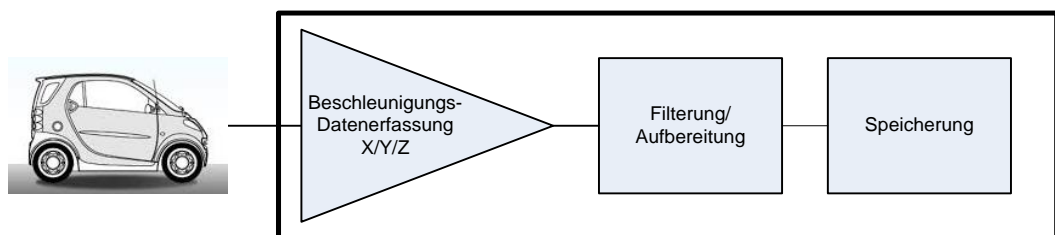


Abb. 7.33 Blockdiagramm Gerät

Die Filterung, Aufbereitung und Speicherung kann mit drei unterschiedlichen Gerätekonzepten realisiert werden:

- Integrale Sensor-Lösung
- CPU-Lösung
- Roh-Daten-Lösung.

Diese werden in den folgenden drei Kapiteln genauer beschrieben.

7.2 Integrale Sensor-Lösung

Bei der Integralen Sensor-Lösung wird die gesamte Funktionalität in einem Beschleunigungssensor integriert. Dazu muss voraussichtlich ein applikationsspezifischer, integrierter Chip entwickelt und gefertigt werden (ASIC). Dieser Chip hat folgende Funktionen:

- Beschleunigungsdatenerfassung in MEMS-Technologie
- Digitale Filterung
- Digitale Aufbereitung und Reduktion der Rohdaten auf die Ereignisse Start und Stopp
- Nachführen von Bewegungszeitählern „Stand-Zeit“ und „Fahr-Zeit“. Diese beiden Zähler sowie ein Ereignis-Journal (ZEIT, START oder STOP) werden gespeichert.

Diese Lösung umfasst keinen zusätzlichen Datenspeicher und ist somit nicht in der Lage, viele Rohdaten und/oder Informationen zum Fahrerverhalten zu speichern. Somit ist diese Lösung ausschliesslich geeignet für die Anwendung „Fahrzeitabhängige Abgaben“.

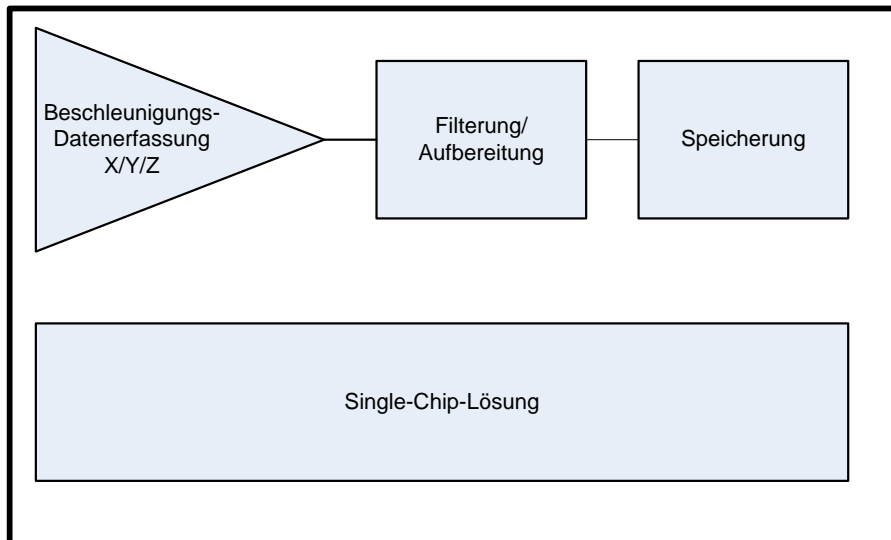


Abb. 7.34 Blockdiagramm Integrale Sensor-Lösung

Der Vorteil dieser Lösung liegt in der integrierten Umsetzung in einem Chip. Es werden keine externe CPU und Speicher benötigt. Der Stromverbrauch ist somit vergleichbar mit dem verwendeten Beschleunigungssensor, welcher ca. 25 bis 30 μA verbraucht. Anmerkung: Neuste Bewegungssensoren haben gemäss Datenblatt einen Stromverbrauch von 2 μA aufwärts. Über die Datenqualität dieser Sensoren lässt sich jedoch ohne Tests nichts aussagen.

7.3 CPU-Lösung

Bei der CPU-Lösung wird die Funktionalität aufgeteilt in einen Beschleunigungs-Sensor, CPU- und Speicher-Teil. Diese Lösung ist die flexibelste Lösung, da hier die Logik in der CPU je nach Anwendung erweitert werden kann. Somit ist diese Lösung für alle Anwendungen einsetzbar.

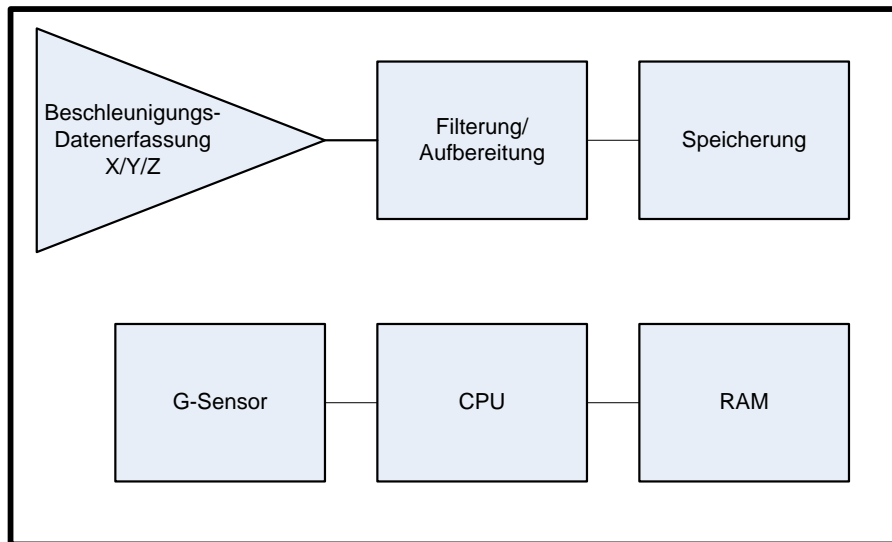


Abb. 7.35 Blockdiagramm CPU-Lösung

Der Nachteil dieser Lösung liegt im zusätzlichen Energieverbrauch der CPU. Diese muss periodisch laufen und die einkommenden Daten prozessieren. Als Berechnungsgrundlage gehen wir von der im Testsystem eingesetzten CPU STM32 von STMicroelectronics aus. Diese benötigt permanent ca. 40 mA bei 75 MHz Taktrate. Die CPU kann periodisch betrieben werden. Wir gehen davon aus, dass eine CPU für die bekannten Anwendungen ca. 100 μ s 1 x pro Sekunde laufen muss. Dies ist ein Duty-Cycle von 1/10000. Bei einer CPU-Taktung von 75 MHz ergeben sich somit pro Sekunde ca. 7500 Befehls-Zyklen. Somit reduziert sich der gemittelte Strombedarf auf ca. 4 μ A sowie zusätzlich der Sleepstrom von 40 μ A. Dazu kommt der Strom vom Static-RAM (z.B. Cypress CY62187EV30). Dieses benötigt typisch 8 μ A im Stand-By, im Betrieb liegt der Strom bei typisch 4 mA, was wir vernachlässigen, da die Zugriffszeit vernachlässigbar kurz ist.

Somit ergibt sich ein geschätzter Stromverbrauch von $40 \mu\text{A} + 44 \mu\text{A} + 8 \mu\text{A} = 92 \mu\text{A}$.

7.4 Roh-Daten-Lösung

Bei der Roh-Daten-Lösung werden ausschliesslich Rohdaten erfasst und aufgezeichnet. Im Gerät erfolgt keine Filterung und Aufbereitung. Diese Funktionalität erfolgt ausschliesslich offline, d.h. zum Zeitpunkt der Auswertung. Dieses Konzept ist die umfassendste Lösung, da alle möglichen Daten vorhanden sind und beliebig komplex ausgewertet werden können. Somit ist diese Lösung auch für alle Anwendungen einsetzbar. Der Nachteil besteht darin, dass ein relativ grosser Speicher für alle Rohdaten nötig wird.

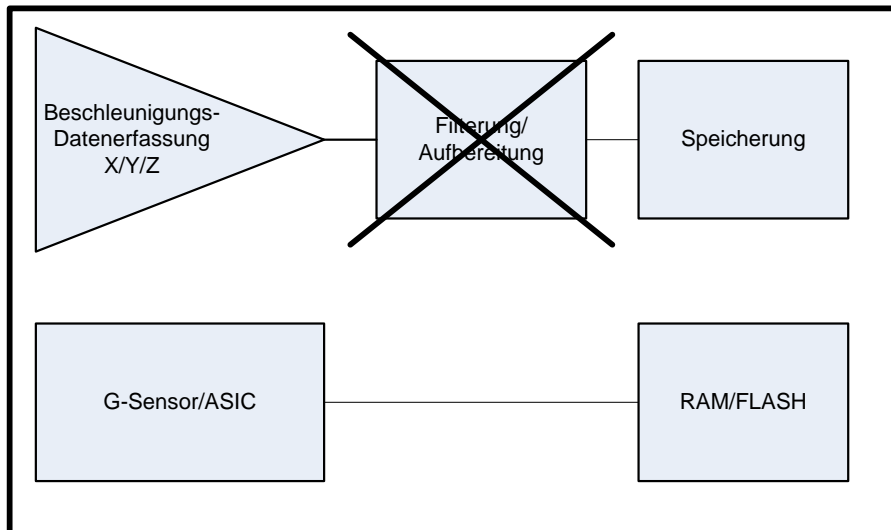


Abb. 7.36 Blockdiagramm CPU-Lösung

Bei dieser Lösung fällt der Stromverbrauch einerseits beim Beschleunigungssensor und andererseits beim Speicher an. Somit ergibt sich beim Einsatz eines NAND-FLASHs ein geschätzter Stromverbrauch von $40 \mu\text{A} + 4 \mu\text{A} + 50 \mu\text{A} = 94 \mu\text{A}$.

Speichergroße für Roh-Daten-Lösung

Für diese Lösung müssen alle Daten, die während 12 Monaten (+ 3 Monate Reserve) anfallen, gespeichert werden. Die Daten setzen sich zusammen aus: $3 \times \text{Beschleunigungswert } (x,y,z) = 3 \times 12 \text{ Bit} + \text{ca. } 4 \text{ Bit Zusatzinformation (z.B. Benutzereingabe)} = 40 \text{ Bit} = 5 \text{ Byte pro Sample}$. Bei $25 \text{ Hz Sample-Rate}$ ergibt das $25/\text{s} \times 5 \text{ Byte} \times 3600\text{s/h} \times 24 \text{ h} \times 30 \text{ d} = 324 \text{ MByte pro Monat} = 3.8 \text{ GByte pro Jahr (bzw. } 4.8 \text{ GByte in 15 Monaten)}$.

Als Speicher könnte das NAND-FLASH S34ML08G1 von Spansion eingesetzt werden (Kapazität von 8 GByte). Dieses benötigt im Stand-By-Mode $1 \mu\text{A}$. Der Schreibzugriff benötigt 50 mA , die Schreibzeit dauert $7.5 \mu\text{s}$ pro Byte. Bei $5 \text{ Byte} \times 25 \text{ Hz}$ führt dies zu $125 \text{ Byte} \times 7.5 \mu\text{s} = 1 \text{ ms Schreibzugriff pro Sekunde}$. Dies ergibt einen durchschnittlichen Schreib-Stromverbrauch von $50 \text{ mA} / 1000 = 50 \mu\text{A}$.

Verbesserungspotenzial

Mittels Optimierung der Speicher-Technologie könnte der Stromverbrauch weiter reduziert werden. Die Nutzung eines Kompressionsverfahrens würde zudem den Speicherbedarf reduzieren. Dies wiederum erlaubt den Einsatz einer optimalen, stromsparenden Speicher-Technologie.

7.5 Vergleich der Konzepte

In der nachfolgenden Tabelle wird verglichen, ob die Konzepte für den entsprechenden Einsatzzweck geeignet sind. Auch beinhaltet die Tabelle eine Abschätzung der Laufdauer eines entsprechenden Gerätes sowie einen groben Indikator bezüglich Bauteil-Aufwand bzw. Kosten eines Seriengeräts.

Einsatz\Konzept	Integrale Sensor-Lösung	CPU-Lösung	Roh-Daten-Lösung
Risikoabhängige Versicherungsprämie	nicht geeignet	geeignet	geeignet
Erhebung zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung	nicht geeignet	geeignet	geeignet
Fahrzeitabhängige Abgabe	geeignet	geeignet	geeignet
Durchschnittlicher Strom-Verbrauch (Schätzung) [μA]	40	92	94
Laufdauer mit 2 Knopfzellen CR2032 [Monate]	13.9	6.0	5.9
Bauteil-Aufwand (Kosten-Indikator)	klein	gross	mittel

Anmerkung: Die geschätzten Kosten für ein Seriengerät mit integraler Sensor-Lösung, ohne Berücksichtigung des Kostenanteils aus der Geräteentwicklung, betragen (Ende 2013) ca. CHF 25.– bis 35.– pro Gerät.

8 Umsetzung in die Praxis, Anwendung und Wirkungsbeurteilung

8.1 Allgemeine Aspekte

Bei der Gesamtbeurteilung der Möglichkeiten und Grenzen ist zunächst die Grundannahme des untersuchten Systemansatzes zu erwähnen. Die Kernüberlegung hinter dem Ansatz ist der Einsatz eines verhältnismässig einfachen und günstigen Erfassungsgerätes. Der Schlüssel dazu ist die Anforderung bzw. Voraussetzung, dass das Gerät, abgesehen von der mechanischen Montage, keinerlei Schnittstellen zum Fahrzeug besitzt in welches es eingebaut wird. Nur so lässt sich ein für den Gesamtpreis entscheidender, aufwändiger Einbau durch eine Werkstatt vermeiden. Anmerkung: Dass ein Besuch in der Werkstatt damit in jedem Fall unnötig ist, lässt sich daraus jedoch nicht ableiten, wie die nachfolgenden Ausführungen zeigen.

Die Grundanforderung nach einem einfachen Erfassungsgerät hat entscheidende Konsequenzen hinsichtlich der technischen Möglichkeiten und Grenzen des Ansatzes. So ist eine Positionsbestimmung durch das Erfassungsgerät unter diesen Vorgaben derzeit nicht realisierbar. Zu gross ist der Stromverbrauch der dafür notwendigen Systemkomponenten (z.B. GPS-Modul). Damit fallen sämtliche Anwendungen weg, bei denen die Verortung eines Ereignisses eine Rolle spielt. Dies ist beispielsweise bei der Überwachung von Rasern oder auch der Durchsetzung von Fahrverboten der Fall. Denkbar hingegen ist die Eingrenzung eines geografischen Gebietes über eine strassenseitige, DSRC-basierte Ein- und Ausschaltung der Erfassung wie z.B. bei der LSVA. Die je nach Anwendungsfall unterschiedlichen benötigten Informationen müssen sich damit einzig anhand der Messwerte eines Bewegungssensors (sowie einer Uhr) ableiten lassen. Wie in Kapitel 2.4 zusammengefasst, bleiben damit die folgenden drei untersuchten möglichen Anwendungsgebiete übrig:

- Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)
- Erhebungen zu Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung
- Fahrzeitabhängige Abgaben

Anhand der Fahrversuche können folgende vom Anwendungsbereich unabhängige Aussagen zur technischen Machbarkeit gemacht werden:

Die Fahrzeit kann mit dem gewählten Ansatz grundsätzlich gut ermittelt werden. Das Erkennen des Fahrtbeginns ist dabei aufgrund des definierten Anfangszustandes wesentlich einfacher als das Erkennen des Fahrtendes, welches anhand der unmittelbar vergangenen Beschleunigungswerte „erahnt“ werden muss. Während ein Fahrtbeginn durch das Testgerät nach rund 2 Sekunden erkannt wird, kann ein Fahrtende bedingt durch den verwendeten Algorithmus erst 4 Sekunden nach dem effektiven Stillstand des Fahrzeuges erkannt werden. Der Wert liesse sich durch Optimierung allenfalls noch etwas verkleinern, ist aber grundsätzlich ansatzbedingt immer vorhanden. Daraus ergibt sich in der Praxis ein systematischer Fehler bei der Fahrzeitermittlung. Konkret sind die einzelnen ermittelten Fahrtabschnitte (Anfahrt bis zum nächsten Stopp) jeweils um einige Sekunden zu lang. In einer Start-and-Stop Situation kann daraus schnell ein Fehler im Minutenbereich resultieren. Allerdings liesse sich der Fehler verhältnismässig einfach kompensieren, z.B. durch einen fixen Abzug bei der Fahrzeit pro Start-and-Stop Vorgang.

Eine festgestellte Schwäche, welche zumindest für das Testgerät zutrifft, ist die Anfälligkeit auf nicht (direkt) fahrbedingte Einflüsse auf das Erfassungsgerät. So wurden fälschliche Fahrtdetektionen im Stillstand aufgrund von lauter Musik, Trommelbewegungen auf dem Lenkrad, Scheibenwischer-Aktivität, Vorbeifahrt anderer (grosser) Fahrzeuge usw. festgestellt. Allerdings sind etliche Ansätze zur Minimierung dieses Problems vorhanden (siehe z.B. Kap. 6.1.10). Die Lösungsansätze müssen aber für eine konkrete Umsetzung des Ansatzes im Detail untersucht und getestet werden.

Anders sieht es aus bei der Unterscheidung zwischen dem Fall einer Bewegung des Fahrzeuges aus eigener Kraft (= effektive Fahrt) und dem Fall, wo das Fahrzeug bewegt wird (Huckepackfahrt, Fahrt auf einem Anhänger usw.). Die Erfahrungen aus der LSVA, wo das Erfassungsgerät einen solchen fremdbewegten Transport erkennen kann, zeigen, wie anspruchsvoll diese Unterscheidung selbst für komplexe Erfassungsgeräte ist. Für den betrachteten Ansatz eines einfachen Erfassungsgerätes gibt es praktisch keine technische Lösung für das Problem.

Eine Herausforderung stellt die Ermittlung des Fahrverhaltens dar. Zwar konnte anhand der Fahrversuche wie erwartet ein messbarer Unterschied im Direktvergleich zwischen aggressiver und gemächlicher Fahrweise festgestellt werden. Die Messwerte haben aber auch gezeigt, dass die reinen Beschleunigungswerte keinen Rückschluss auf das konkrete einzelne Fahrmanöver zulassen. Ob ein einzelner auffälliger Beschleunigungswert das Resultat einer aggressiven Fahrweise oder einer nicht durch den Fahrer verschuldeten Fahrsituation ist, kann anhand der Daten aus dem Erfassungsgerät praktisch nicht beurteilt werden. Hierfür fehlen wesentliche Informationen zum Ort des einzelnen Ereignisses und der dort vorherrschenden Verkehrssituation. Einzig eine entsprechend aufwändige Auswertung der Vorgeschichte des Ereignisses anhand der Rohdaten wäre zumindest theoretisch denkbar.

Keine umsetzungsverhindernden Probleme sind aus dem Bereich der Autarkie der Erfassungsgeräte zu erwarten. Sowohl bezüglich der Stromversorgung als auch im Bezug auf die Datenspeicherung sind die angenommenen Anforderungswerte voraussichtlich problemlos erreichbar. Zudem ist zu erwarten, dass die ständige Weiterentwicklung der relevanten Einzeltechnologien die Grenzen weiter zugunsten des Systemansatzes verschiebt.

Als grundsätzlich ebenfalls unproblematisch ist die Frage nach dem Geräteeinbau zu betrachten. Die unterschiedlichen Tests haben gezeigt, dass der Einbaulage des Gerätes – zumindest für die Fahrzeitermittlung – keine entscheidende Rolle zukommt. Dementsprechend steht einem Selbsteinbau durch den Nutzer aus technischer Sicht nichts entgegen. Ob der Einbau in einem konkreten Anwendungsfall dennoch durch eine Werkstatt erfolgen würde, hängt primär von betrieblichen Fragen ab. So ist es durchaus denkbar, dass eine Werkstatt eine zentrale, wenngleich wenig technische Rolle beim Einbau spielt, indem sie als Vertrauensinstanz die Fahrzeugbindung initial sicherstellt (vgl. nachfolgender Abschnitt).

Die Frage, welche Massnahmen für den Manipulationsschutz nötig sind, lässt sich nur im Rahmen eines Gesamtkonzeptes vollständig beantworten. Wichtige Punkte hier sind sicher eine Geräteautarkie über den geforderten Zeitraum sowie ein gegen (unbemerkt) unerlaubtes Öffnen geschütztes Gehäuse als auch eine Überwachung der Fahrzeugbindung. Die Fahrzeugbindung ist denn auch die wesentliche offene Frage im Bezug auf die Manipulationssicherheit. Denn praktisch unabhängig vom Anwendungsgebiet liegt die grösste Bedrohung für die Erfassungssicherheit darin, dass das Erfassungsgerät nicht oder nur teilweise im Fahrzeug oder aber in einem falschen Fahrzeug eingebaut ist. Auf diese Weise kann beispielsweise die Fahrzeit zugunsten des Nutzers nach unten „korrigiert“ werden. Es ist folglich wichtig, dass das Erfassungsgerät einerseits im richtigen Fahrzeug eingebaut ist und andererseits nicht (unbemerkt) temporär entfernt werden kann. Die Technik kann lediglich zu letzterem Punkt Lösungen anbieten. Dass das Erfassungsgerät im richtigen Fahrzeug eingebaut ist, kann dagegen nur mit betrieblichen Massnahmen wie einem Einbau durch eine autorisierte Stelle (vgl. oben) oder entsprechenden Kontrollen sichergestellt werden.

Wird für eine Anwendung die Uhrzeit benötigt, so muss die ohnehin benötigte geräteinterne Uhr ab Werk gestellt werden. Ausserdem sollte die Abweichung der Uhr im Betrieb, d.h. über die geforderte Autarkiezeit hinweg, möglichst klein sein. Diese Anforderungen sind jedoch bei einer Umsetzung einfach realisierbar.

8.2 Risikoabhängige Versicherungsprämien (PAYD)

Für eine risikogerechte Prämieinstufung (PAYD) müssen die Risikoexposition sowie das Risikoverhalten ermittelt werden können. Die Risikoexposition lässt sich mit Hilfe des untersuchten Systemansatzes relativ gut ermitteln. Sowohl die reine Fahrtdauer, als auch die Information zu welcher Tageszeit die Fahrt stattgefunden hat, ist anhand der erfassten Daten zuverlässig feststellbar. Einzig die Unterscheidung zwischen einer Fahrt mit Eigenantrieb und einer Mitfahrt (z.B. auf einem Anhänger) bereitet dabei Probleme. Die fehlende Verortung der Fahrten aufgrund der nicht vorhandenen Positionsbestimmung ist wohl als Nachteil, nicht aber als Killerkriterium einzustufen. Schlechter sieht es für die Ermittlung des Risikoverhaltens aus. Zwar können auffällig hohe Beschleunigungswerte erkannt und dokumentiert werden. Nachdem aber keine Informationen zur zugehörigen Fahrsituation vorliegen, ist eine Beurteilung des Risikoverhaltens praktisch nicht möglich. Einzig die Zahl der Ereignisse gibt möglicherweise einen gewissen Anhaltspunkt dazu. Allerdings muss bezweifelt werden, ob eine Risikobeurteilung aufgrund ausschliesslich dieser Information möglich und sinnvoll ist. Zusammenfassend kann man festhalten, dass eine Anwendung des Systemansatzes auf den Bereich der risikogerechten Prämieinstufung nur bedingt möglich ist. Die Ermittlung der Risikoexposition ist ohne weiteres möglich, wogegen das Risikoverhalten (aus dem Fahrstil) mit diesem Ansatz nicht zuverlässig ermittelt werden kann.

Anmerkung: Nicht behandelt, weil nicht Teil der Aufgabenstellung, wurde die Frage, inwiefern ein aggressives Fahrverhalten und das Risiko für einen Schadensfall überhaupt in direktem Zusammenhang stehen. Ein solcher Kausalzusammenhang wäre die Grundvoraussetzung für ein entsprechendes Prämienmodell.

8.3 Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung

Bei der Ermittlung des Fahrverhaltens gelten grundsätzlich dieselben Einschränkungen wie beim Risikoverhalten im Anwendungsfall PAYD (siehe 8.2). Bei der Fahrzeugnutzung gelten wiederum die bereits beschriebenen Probleme bei der Unterscheidung zwischen einer Fahrt mit Eigenantrieb und einer Mitfahrt. Vereinfachend wirkt in diesem Anwendungsgebiet die Tatsache, dass es sich bei den Nutzern voraussichtlich um sogenannte „friendly user“ handelt. D.h. es kann davon ausgegangen werden, dass der Nutzer kein Interesse an einer Manipulation der Ergebnisse hat. Er könnte auch eine Mitfahrt am Gerät erfassen. Dementsprechend stellt die Sicherstellung der Fahrzeugbindung kein nennenswertes Problem dar. Generell kann davon ausgegangen werden, dass die vorhandenen Schwächen in diesem Anwendungsgebiet eher in Kauf genommen werden können als in den anderen beiden Anwendungsfällen. Ob der Ansatz für dieses Anwendungsgebiet tauglich ist, hängt aber letztlich von den konkreten Anforderungen an die Erhebung ab. Zusammenfassend kann man festhalten, dass auf jeden Fall Konstellationen denkbar sind, bei welchen der Ansatz eine gute Option darstellt, vor allem wenn nur die Art der Fahrzeugnutzung und deren Dauer erfasst werden soll. Bei anderen Anforderungen hingegen, speziell wenn der Schwerpunkt auf der Untersuchung des Fahrverhaltens liegt, müssen grössere Einschränkungen in Kauf genommen werden.

8.4 Fahrzeitabhängige Abgaben

Die Resultate der Untersuchungen haben klar gezeigt, wo die Problempunkte in diesem Anwendungsgebiet liegen. Es ist dies einerseits die Unterscheidung zwischen einer Fahrt mit Eigenantrieb und einer Mitfahrt (z.B. auf einem Anhänger) und andererseits die Frage nach der Sicherstellung der durchgängigen Fahrzeugbindung. Für beide Punkte gibt es keine rein technischen Lösungen. Vielmehr müssten im konkreten Anwendungsfall Gesamtsystemlösungen mit einem Mix aus rechtlichen, betrieblichen und technischen Massnahmen geschürt werden. Bei der Frage der Fahrzeugbindung sind solche denkbaren Lösungen klar erkennbar. Um die Frage der Unterscheidung von Mitfahrten bei der Fahrererkennung zu klären, müssten die Möglichkeiten bei Bedarf anhand eines konkreten Umsetzungsszenarios vertieft untersucht werden.

Abkürzungen

Begriff	Bedeutung
AID	Activity / Inactivity Detection, Teil des Algorithmus des Testgerätes
AL3, AL4, AL5	Die 3 verwendeten Testgeräte (Testsensoren)
AMD	Advanced Move Detection, Teil des Algorithmus des Testgerätes
CPU	Central Processing Unit
DAT	DAT GROUP (www.dat.de)
DSRC	Dedicated Short Range Communication (5.8 GHz Mikrowellen-Kommunikation)
DSRC-Bake	DSRC Sende- und Empfangsantenne
FELA	FELA Management AG
GPS	Global Positioning System
GSM	Global System for Mobile Communications, früher Groupe Spécial Mobile
HMI	Human Machine Interface, Benutzerschnittstelle
LED	Leuchtdiode (von englisch light-emitting diode)
LKW	Lastkraftwagen
LSVA	Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe
OBU	On-Board Unit, Erfassungsgerät
OBD	On-Board-Diagnose-System
ÖV	Öffentlicher Verkehr
PAYD	Pay As You Drive
PKW	Personenkraftwagen
RAM	Random-Access Memory, Datenspeicher
RMS	Englischen root mean square, Teil des Algorithmus des Testgerätes
USB	Universal Serial Bus

Literaturverzeichnis

-
- [Deuber 2007] Deuber, M. (2007). Road Pricing Parameter. Paradigmenwechsel von einer distanzabhängigen Gebühr hin zu einer zeitdauerbezogenen Gebühr. Masterarbeit Universität St. Gallen.
-
- [Hansen 2007] Hansen, P. S. & Rapp, M. H. (2007). Evaluation of different scenarios of a HGV charging system in Denmark.
http://www.rapp.ch/wAssets-de/docs/trans/fachartikel-referate/2007/dokumente/its-congress-aalborg/hgv_charging_denmark_rapp_skrumsager_final.pdf
-

Projektabschluss



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Version vom 09.10.2013

Formular Nr. 3: Projektabschluss

erstellt / geändert am: 10.12.2013

Grunddaten

Projekt-Nr.: VSS 2008/902

Projekttitel: Untersuchungen zum Einsatz von Bewegungssensoren für fahrzeitbezogene Verkehrstelematik-Anwendungen

Enddatum: 20.12.2013

Texte

Zusammenfassung der Projektergebnisse:

Ziel des Projektes war es, die Möglichkeiten und Grenzen des bewegungssensorbasierten "Low-Cost" Lösungsansatzes für die Erfassung von Fahrprofilen, bestehend aus Fahrdauer, Fahrweise sowie deren Zeitpunkt, zu untersuchen. Dazu ist ein durch den Benutzer montierbares Erfassungsgerät vorgegeben, welches die geforderten Werte auf Basis von Beschleunigungssensoren ermittelt und darüber hinaus vollständig autark arbeitet. Die Fahrzeugzielgruppe wurde auf PKW beschränkt, da andere Fahrzeuggruppen wie LKW, Busse oder landwirtschaftliche Fahrzeuge für diesen "Low-Cost" Ansatz weniger interessant sind. Motorräder scheiden aufgrund einer zwingend komplexeren Montage des Erfassungsgerätes aus.

Die für diesen Systemansatz grundsätzlich geeigneten Anwendungen sind eine Risiko abhängige Versicherungsprämie (PAYD), eine statistische Erhebungen zur Fahrverhalten und Fahrzeugnutzung sowie eine fahrzeitabhängige Abgabe. Aufgrund der Anforderungen dieser drei Anwendungen wurde ein Testgerät entwickelt, das einen speziellen Algorithmus zur Fahrererkennung verwendet. Dieser Algorithmus ist in der Lage die drei Achsen $x/y/z$ des Bewegungssensors anhand der Endbeschleunigung zu normalisieren, sodass die Einbaulage des Erfassungsgerätes keinen Einfluss auf die Fahrererkennung hat.

Die Fahrzeit kann mit dem gewählten Ansatz, unabhängig vom Fahrzeugtyp oder der Antriebsart grundsätzlich gut ermittelt werden. Das Erkennen des Fahrtbeginns ist dabei einfacher als das Erkennen des Fahrtendes. Während ein Fahrtbeginn durch das Testgerät nach rund 2 Sekunden erkannt wird, kann ein Fahrtende erst 4 Sekunden nach dem effektiven Stillstand des Fahrzeuges erkannt werden. Die Werte liessen sich durch Optimierung allenfalls noch etwas verkleinern, sind aber grundsätzlich ansatzbedingt immer unterschiedlich. Der Algorithmus muss die Übergänge immer basierend auf der Datenvergangenheit (Tiefpassfilter) ermitteln. Der beim Fahrtbeginn durch den vorgängigen Stillstand klar definierte Anfangszustand ohne Beschleunigung ist beim Fahrtende durch die vorgängige Fahrt mit undefiniert hohen Beschleunigungswerten nicht vorhanden. Daraus ergibt sich in der Praxis eine Asymmetrie mit einem systematischen Fehler bei der Fahrzeitemittlung. Konkret sind die einzelnen ermittelten Fahrtabschnitte (Anfahrt bis zum nächsten Stopp) jeweils um einige Sekunden zu lang. Allerdings liess sich der Fehler verhältnismässig einfach kompensieren, z.B. durch einen fixen Abzug bei der Fahrzeit pro Start-/Stop Vorgang. Eine zusätzliche systembedingte Schwäche bei der Fahrererkennung besteht darin, dass nicht erkannt werden kann, ob es sich um eine Fahrt mit Eigenantrieb oder um einer Mitfahrt (z.B. auf einem Anhänger) handelt. Eine weitere Schwäche ist die Anfälligkeit des im Testgerät implementierten Algorithmus auf Störimpulse. So haben beispielsweise laute Musik im Fahrzeug, oder extern verursachte starke Erschütterungen zu einer falschen Fahrererkennung geführt. Allerdings stehen mehrere theoretische Ansätze und Massnahmen zur Minimierung dieses Problems zur Verfügung. Die Wirksamkeit und das Zusammenspiel dieser Massnahmen wurden jedoch im Rahmen der Forschungsarbeit nicht getestet.

Eine grosse Herausforderung stellt die Ermittlung der Fahrweise und des Fahrverhaltens dar. Zwar konnte anhand der Fahrversuche wie erwartet ein messbarer Unterschied im Direktvergleich zwischen aggressiver und gemächlicher Fahrweise festgestellt werden. Die Messwerte haben aber auch gezeigt, dass die reinen Beschleunigungswerte keinen Rückschluss auf das konkrete einzelne Fahmanöver zulassen. Hierfür fehlen wesentliche Informationen zum Ort des einzelnen Ereignisses und der dort vorherrschenden Verkehrssituation als Referenz. Hier kann die Anforderungen zur Erfassung der Fahrweise aus den in Frage kommenden Anwendungen nicht erfüllt werden.

Keine umsetzungsverhindernden Probleme sind aus dem Bereich der Autarkie der Erfassungsgeräte zu erwarten. Sowohl bezüglich der Stromversorgung als auch in Bezug auf die Datenspeicherung sind die angenommenen Anforderungswerte voraussichtlich problemlos erreichbar. Zudem ist zu erwarten, dass die ständige Weiterentwicklung der relevanten Einzeltechnologien die Grenzen weiter zugunsten des Systemansatzes verschiebt.

Die Test haben gezeigt, dass die Einbaulage keinen Einfluss auf die Messresultate hat. Welches die beste Variante für die Datenübertragung ist, wie auch die Frage welche Massnahmen für den Manipulationsschutz nötig sind, lässt sich nur im Rahmen eines Gesamtkonzeptes der spezifischen Anwendung vollständig beantworten und wurde nicht untersucht.

Die Gewährleistung der Fahrzeugbindung ist die wesentliche Herausforderung zur Gewährleistung der Manipulationssicherheit. Denn praktisch unabhängig vom Anwendungsgebiet liegt die grösste Bedrohung für die Erfassungssicherheit darin, dass das Erfassungsgerät nicht oder nur teilweise im Fahrzeug eingebaut ist. Auf diese Weise kann beispielsweise die Fahrzeit zugunsten des Nutzers nach unten "korrigiert" werden.



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK
Bundesamt für Strassen ASTRA

Zielerreichung:

Die Projektergebnisse zeigen die Möglichkeiten und Grenzen des bewegungssensorbasierten Lösungsansatzes für die Erfassung von Fahrprofilen. Demnach eignet sich der Lösungsansatz zur Ermittlung von Fahrtzeit und Fahrdauer in der Fahrzeugzielgruppe PKW. Die Eignung gilt für alle derzeit existierenden Antriebskonzepte, also auch für Hybrid- und Elektrofahrzeuge. Die festgestellten Geräte- und Systemschwächen können innerhalb eines Systemkonzeptes als beherrschbar eingestuft werden. Entsprechende Lösungs- bzw. Verbesserungsansätze sind Teil der Ergebnisse. Nicht geeignet ist der rein bewegungssensorbasierte Lösungsansatz dagegen für die Ermittlung der Fahrweise. Die fehlende Referenzinformation (Position und Verkehrssituation) zum Zeitpunkt eines Ereignisses verhindert eine zuverlässige Interpretation der Bewegungssensorinformationen hinsichtlich der Fahrweise. Aus der Analyse der übergeordneten Themen der Geräteautarkie, dem Geräteeinbau, der Manipulationssicherheit sowie der Datenübertragung haben sich keine umsetzungsverhindernde Probleme ergeben. Die Schlüsselfragen und mögliche Lösungsansätze sind Teil des Berichtes.

Folgerungen und Empfehlungen:

Der bewegungssensorbasierte Lösungsansatz eignet sich für die Erfassung von Fahrprofilen, bestehend aus Fahrdauer und deren Zeitpunkt für eine begrenzte Anzahl von Verkehrstelematik Anwendungen. Allerdings muss die Fahrererkennung für ein Seriengerät anhand der Verbesserungsvorschläge für den Algorithmus oder anderer Lösungsansätze noch optimiert werden. Rückschlüsse auf die Fahrweise lassen sich mit dem bewegungssensorbasierten Lösungsansatz nicht ermitteln. Die gemessenen Beschleunigungswerte müssen im Zusammenhang mit der Fahrsituation, bestimmt durch den Strassenverlauf und Einflüsse verursacht durch andere Verkehrsteilnehmer, betrachtet werden. Einzig die Anzahl der Ereignisse und deren Verteilung über die Zeit erlauben möglicherweise einen gewissen Anhaltspunkt zum Fahrverhalten. Ob dies aber wirklich umsetzbar ist, müssten umfangreiche, statistisch repräsentative Tests und deren Auswertungen belegen.

Publikationen:

keine

Der Projektleiter/die Projektleiterin:

Name: Suter

Vorname: Rolf

Amt, Firma, Institut: Rapp Trans AG

Unterschrift des Projektleiters/der Projektleiterin:

FORSCHUNG IM STRASSENWESEN DES UVEK

Formular Nr. 3: Projektabschluss

Beurteilung der Begleitkommission:

Beurteilung:

Die Projektziele wurden erfüllt. Die Grenzen des auf einem Bewegungssensor basierenden Systemansatzes wurden abgesteckt. Die Eignung zur Erfassung der Fahrzeit, des Zeitpunktes der Fahrt und zur Fahrweise für PKW mit unterschiedlichen Antriebstechnologien wurde für die auf einem dreiaxsigem Beschleunigungssensor aufgebauten Lösung aufgezeigt.

Umsetzung:

Aktuell ist keine konkrete Anwendung vorhanden und daher ist auch keine Umsetzung geplant. Dies würde auch zusätzliche Optimierungen am eingesetzten Gerät bzw. Entwicklungsaufwendungen erfordern.

weitergehender Forschungsbedarf:

Zurzeit ist kein weitergehender Forschungsbedarf vorhanden.

Einfluss auf Normenwerk:

Kein Einfluss auf Normen.

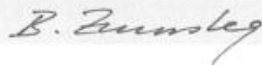
Der Präsident/die Präsidentin der Begleitkommission:

Name: Zumsteg

Vorname: Beat

Amt, Firma, Institut: R. Brüniger AG

Unterschrift des Präsidenten/der Präsidentin der Begleitkommission:



Verzeichnis der Berichte der Forschung im Strassenwesen

Stand: 31.10.2013

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1422	ASTRA 2011/006_OBF	Fracture processes and in-situ fracture observations in Gipskeuper	2013
1421	VSS 2009/901	Experimenteller Nachweis des vorgeschlagenen Raum- und Topologiemodells für die VM-Anwendungen in der Schweiz (MDATrafo)	2013
1420	SVI 2008/003	Projektierungsfreiräume bei Strassen und Plätzen	2013
1419	VSS 2001/452	Stabilität der Polymere beim Heisseinbau von PmB-haltigen Strassenbelägen	2013
1416	FGU 2010/001	Sulfatwiderstand von Beton: verbessertes Verfahren basierend auf der Prüfung nach SIA 262/1, Anhang D	2013
1415	VSS 2010/A01	Wissenslücken im Infrastrukturmanagementprozess "Strasse" im Siedlungsgebiet	2013
1414	VSS 2010/201	Passive Sicherheit von Tragkonstruktionen der Strassenausstattung	2013
1413	SVI 2009/003	Güterverkehrsintensive Branchen und Güterverkehrsströme in der Schweiz Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz Teilprojekt B1	2013
1412	ASTRA 2010/020	Werkzeug zur aktuellen Gangliniennorm	2013
1411	VSS 2009/902	Verkehrstelematik für die Unterstützung des Verkehrsmanagements in ausserordentlichen Lagen	2013
1410	VSS 2010/202_OBF	Reduktion von Unfallfolgen bei Bränden in Strassentunneln durch Abschnittsbildung	2013
1409	ASTRA 2010/017_OBF	Regelung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2013
1408	VSS 2000/434	Viellissement thermique des enrobés bitumineux en laboratoire	2012
1407	ASTRA 2006/014	Fusion des indicateurs de sécurité routière : FUSAIN	2012
1406	ASTRA 2004/015	Amélioration du modèle de comportement individuel du Conducteur pour évaluer la sécurité d'un flux de trafic par simulation	2012
1405	ASTRA 2010/009	Potential von Photovoltaik an Schallschutzmassnahmen entlang der Nationalstrassen	2012
1404	VSS 2009/707	Validierung der Kosten-Nutzen-Bewertung von Fahrbahn-Erhaltungsmassnahmen	2012
1403	SVI 2007/018	Vernetzung von HLS- und HVS-Steuerungen	2012
1402	VSS 2008/403	Witterungsbeständigkeit und Durchdrückverhalten von Geokunststoffen	2012
1401	SVI 2006/003	Akzeptanz von Verkehrsmanagementmassnahmen-Vorstudie	2012
1400	VSS 2009/601	Begrünte Stützgitterböschungssysteme	2012
1399	VSS 2011/901	Erhöhung der Verkehrssicherheit durch Incentivierung	2012
1398	ASTRA 2010/019	Environmental Footprint of Heavy Vehicles Phase III: Comparison of Footprint and Heavy Vehicle Fee (LSVA) Criteria	2012
1397	FGU 2008/003_OBF	Brandschutz im Tunnel: Schutzziele und Brandbemessung Phase 1: Stand der Technik	2012
1396	VSS 1999/128	Einfluss des Umhüllungsgrades der Mineralstoffe auf die mechanischen Eigenschaften von Mischgut	2012
1395	FGU 2009/003	KarstALEA: Wegleitung zur Prognose von karstspezifischen Gefahren im Untertagbau	2012
1394	VSS 2010/102	Grundlagen Betriebskonzepte	2012
1393	VSS 2010/702	Aktualisierung SN 640 907, Kostengrundlage im Erhaltungsmanagement	2012
1392	ASTRA 2008/008_009	FEHRL Institutes WIM Initiative (Fiwi)	2012
1391	ASTRA 2011/003	Leitbild ITS-CH Landverkehr 2025/30	2012

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1390	FGU 2008/004_OBF	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Belchentunnel	2012
1389	FGU 2003/002	Long Term Behaviour of the Swiss National Road Tunnels	2012
1388	SVI 2007/022	Möglichkeiten und Grenzen von elektronischen Busspuren	2012
1387	VSS 2010/205_OBF	Ablage der Prozessdaten bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1386	VSS 2006/204	Schallreflexionen an Kunstbauten im Strassenbereich	2012
1385	VSS 2004/703	Bases pour la révision des normes sur la mesure et l'évaluation de la planéité des chaussées	2012
1384	VSS 1999/249	Konzeptuelle Schnittstellen zwischen der Basisdatenbank und EMF-, EMK- und EMT-DB	2012
1383	FGU 2008/005	Einfluss der Grundwasserströmung auf das Quellverhalten des Gipskeupers im Chienbergtunnel	2012
1382	VSS 2001/504	Optimierung der statischen Eindringtiefe zur Beurteilung von harten Gussasphaltsorten	2012
1381	SVI 2004/055	Nutzen von Reisezeiteinsparungen im Personenverkehr	2012
1380	ASTRA 2007/009	Wirkungsweise und Potential von kombinierter Mobilität	2012
1379	VSS 2010/206_OBF	Harmonisierung der Abläufe und Benutzeroberflächen bei Tunnel-Prozessleitsystemen	2012
1378	SVI 2004/053	Mehr Sicherheit dank Kernfahrbahnen?	2012
1377	VSS 2009/302	Verkehrssicherheitsbeurteilung bestehender Verkehrsanlagen (Road Safety Inspection)	2012
1376	ASTRA 2011/008_004	Erfahrungen im Schweizer Betonbrückenbau	2012
1375	VSS 2008/304	Dynamische Signalisierungen auf Hauptverkehrsstrassen	2012
1374	FGU 2004/003	Entwicklung eines zerstörungsfreien Prüfverfahrens für Schweissnähte von KDB	2012
1373	VSS 2008/204	Vereinheitlichung der Tunnelbeleuchtung	2012
1372	SVI 2011/001	Verkehrssicherheitsgewinne aus Erkenntnissen aus Datapooling und strukturierten Datenanalysen	2012
1371	ASTRA 2008/017	Potenzial von Fahrgemeinschaften	2011
1370	VSS 2008/404	Dauerhaftigkeit von Betonfahrbahnen aus Betongranulat	2011
1369	VSS 2003/204	Rétention et traitement des eaux de chaussée	2012
1368	FGU 2008/002	Soll sich der Mensch dem Tunnel anpassen oder der Tunnel dem Menschen?	2011
1367	VSS 2005/801	Grundlagen betreffend Projektierung, Bau und Nachhaltigkeit von Anschlussgleisen	2011
1366	VSS 2005/702	Überprüfung des Bewertungshintergrundes zur Beurteilung der Strassengriffigkeit	2010
1365	SVI 2004/014	Neue Erkenntnisse zum Mobilitätsverhalten dank Data Mining?	2011
1364	SVI 2009/004	Regulierung des Güterverkehrs Auswirkungen auf die Transportwirtschaft Forschungspaket UVEK/ASTRA Strategien zum wesensgerechten Einsatz der Verkehrsmittel im Güterverkehr der Schweiz TP D	2012
1363	VSS 2007/905	Verkehrsprognosen mit Online -Daten	2011
1362	SVI 2004/012	Aktivitätenorientierte Analyse des Neuverkehrs	2012
1361	SVI 2004/043	Innovative Ansätze der Parkraumbewirtschaftung	2012
1360	VSS 2010/203	Akustische Führung im Strassentunnel	2012
1359	SVI 2004/003	Wissens- und Technologietransfer im Verkehrsbereich	2012
1358	SVI 2004/079	Verkehrsanbindung von Freizeitanlagen	2012
1357	SVI 2007/007	Unaufmerksamkeit und Ablenkung: Was macht der Mensch am Steuer?	2012
1356	SVI 2007/014	Kooperation an Bahnhöfen und Haltestellen	2011
1355	FGU 2007/002	Prüfung des Sulfatwiderstandes von Beton nach SIA 262/1, Anhang D: Anwendbarkeit und Relevanz für die Praxis	2011
1354	VSS 2003/203	Anordnung, Gestaltung und Ausführung von Treppen, Rampen und Treppenwegen	2011
1353	VSS 2000/368	Grundlagen für den Fussverkehr	2011
1352	VSS 2008/302	Fussgängerstreifen (Grundlagen)	2011
1351	ASTRA 2009/001	Development of a best practice methodology for risk assessment in road tunnels	2011
1350	VSS 2007/904	IT-Security im Bereich Verkehrstelematik	2011

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1349	VSS 2003/205	In-Situ-Abflussversuche zur Untersuchung der Entwässerung von Autobahnen	2011
1348	VSS 2008/801	Sicherheit bei Parallelführung und Zusammentreffen von Strassen mit der Schiene	2011
1347	VSS 2000/455	Leistungsfähigkeit von Parkieranlagen	2010
1346	ASTRA 2007/004	Quantifizierung von Leckagen in Abluftkanälen bei Strassentunneln mit konzentrierter Rauchabsaugung	2010
1345	SVI 2004/039	Einsatzbereiche verschiedener Verkehrsmittel in Agglomerationen	2011
1344	VSS 2009/709	Initialprojekt für das Forschungspaket "Nutzensteigerung für die Anwender des SIS"	2011
1343	VSS 2009/903	Basistechnologien für die intermodale Nutzungserfassung im Personenverkehr	2011
1342	FGU 2005/003	Untersuchungen zur Frostkörperbildung und Frosthebung beim Gefrierverfahren	2010
1341	FGU 2007/005	Design aids for the planning of TBM drives in squeezing ground	2011
1340	SVI 2004/051	Aggressionen im Verkehr	2011
1339	SVI 2005/001	Widerstandsfunktionen für Innerorts-Strassenabschnitte ausserhalb des Einflussbereiches von Knoten	2010
1338	VSS 2006/902	Wirkungsmodelle für fahrzeugseitige Einrichtungen zur Steigerung der Verkehrssicherheit	2009
1337	ASTRA 2006/015	Development of urban network travel time estimation methodology	2011
1336	ASTRA 2007/006	SPIN-ALP: Scanning the Potential of Intermodal Transport on Alpine Corridors	2010
1335	VSS 2007/502	Stripping bei lärmindernden Deckschichten unter Überrollbeanspruchung im Labor-massstab	2011
1334	ASTRA 2009/009	Was treibt uns an? Antriebe und Treibstoffe für die Mobilität von Morgen	2011
1333	SVI 2007/001	Standards für die Mobilitätsversorgung im peripheren Raum	2011
1332	VSS 2006/905	Standardisierte Verkehrsdaten für das verkehrsträgerübergreifende Verkehrsmanagement	2011
1331	VSS 2005/501	Rückrechnung im Strassenbau	2011
1330	FGU 2008/006	Energiegewinnung aus städtischen Tunneln: Systemevaluation	2010
1329	SVI 2004/073	Alternativen zu Fussgängerstreifen in Tempo-30-Zonen	2010
1328	VSS 2005/302	Grundlagen zur Quantifizierung der Auswirkungen von Sicherheitsdefiziten	2011
1327	VSS 2006/601	Vorhersage von Frost und Nebel für Strassen	2010
1326	VSS 2006/207	Erfolgskontrolle Fahrzeugrückhaltesysteme	2011
1325	SVI 2000/557	Indices caractéristiques d'une cité-vélo. Méthode d'évaluation des politiques cyclables en 8 indices pour les petites et moyennes communes.	2010
1324	VSS 2004/702	Eigenheiten und Konsequenzen für die Erhaltung der Strassenverkehrsanlagen im überbauten Gebiet	2009
1323	VSS 2008/205	Ereignisdetektion im Strassentunnel	2011
1322	SVI 2005/007	Zeitwerte im Personenverkehr: Wahrnehmungs- und Distanzabhängigkeit	2008
1321	VSS 2008/501	Validation de l'oedomètre CRS sur des échantillons intacts	2010
1320	VSS 2007/303	Funktionale Anforderungen an Verkehrserfassungssysteme im Zusammenhang mit Lichtsignalanlagen	2010
1319	VSS 2000/467	Auswirkungen von Verkehrsberuhigungsmassnahmen auf die Lärmimmissionen	2010
1318	FGU 2006/001	Langzeitquellversuche an anhydritführenden Gesteinen	2010
1317	VSS 2000/469	Geometrisches Normalprofil für alle Fahrzeugtypen	2010
1316	VSS 2001/701	Objektorientierte Modellierung von Strasseninformationen	2010
1315	VSS 2006/904	Abstimmung zwischen individueller Verkehrsinformation und Verkehrsmanagement	2010
1314	VSS 2005/203	Datenbank für Verkehrsaufkommensraten	2008
1313	VSS 2001/201	Kosten-/Nutzenbetrachtung von Strassenentwässerungssystemen, Ökobilanzierung	2010
1312	SVI 2004/006	Der Verkehr aus Sicht der Kinder: Schulwege von Primarschulkindern in der Schweiz	2010
1311	VSS 2000/543	VIABILITE DES PROJETS ET DES INSTALLATIONS ANNEXES	2010
1310	ASTRA 2007/002	Beeinflussung der Luftströmung in Strassentunneln im Brandfall	2010
1309	VSS 2008/303	Verkehrsregelungssysteme - Modernisierung von Lichtsignalanlagen	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1308	VSS 2008/201	Hindernisfreier Verkehrsraum - Anforderungen aus Sicht von Menschen mit Behinderung	2010
1307	ASTRA 2006/002	Entwicklung optimaler Mischgüter und Auswahl geeigneter Bindemittel; D-A-CH - Initialprojekt	2008
1306	ASTRA 2008/002	Strassenglätte-Prognosesystem (SGPS)	2010
1305	VSS 2000/457	Verkehrserzeugung durch Parkieranlagen	2009
1304	VSS 2004/716	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen	2008
1303	ASTRA 2009/010	Geschwindigkeiten in Steigungen und Gefällen; Überprüfung	2010
1302	VSS 1999/131	Zusammenhang zwischen Bindemiteleigenschaften und Schadensbildern des Belages?	2010
1301	SVI 2007/006	Optimierung der Strassenverkehrsunfallstatistik durch Berücksichtigung von Daten aus dem Gesundheitswesen	2009
1300	VSS 2003/903	SATELROU Perspectives et applications des méthodes de navigation pour la télématique des transports routiers et pour le système d'information de la route	2010
1299	VSS 2008/502	Projet initial - Enrobés bitumineux à faibles impacts énergétiques et écologiques	2009
1298	ASTRA 2007/012	Griffigkeit auf winterlichen Fahrbahnen	2010
1297	VSS 2007/702	Einsatz von Asphaltbewehrungen (Asphalteinlagen) im Erhaltungsmanagement	2009
1296	ASTRA 2007/008	Swiss contribution to the Heavy-Duty Particle Measurement Programme (HD-PMP)	2010
1295	VSS 2005/305	Entwurfsgrundlagen für Lichtsignalanlagen und Leitfaden	2010
1294	VSS 2007/405	Wiederhol- und Vergleichspräzision der Druckfestigkeit von Gesteinskörnungen am Haufwerk	2010
1293	VSS 2005/402	Détermination de la présence et de l'efficacité de dope dans les bétons bitumineux	2010
1292	ASTRA 2006/004	Entwicklung eines Pflanzenöl-Blockheizkraftwerkes mit eigener Ölmühle	2010
1291	ASTRA 2009/005	Fahrmuster auf überlasteten Autobahnen Simultanes Berechnungsmodell für das Fahrverhalten auf Autobahnen als Grundlage für die Berechnung von Schadstoffemissionen und Fahrzeitgewinnen	2010
1290	VSS 1999/209	Conception et aménagement de passages inférieurs et supérieurs pour piétons et deux-roues légers	2008
1289	VSS 2005/505	Affinität von Gesteinskörnungen und Bitumen, nationale Umsetzung der EN	2010
1288	ASTRA 2006/020	Footprint II - Long Term Pavement Performance and Environmental Monitoring on A1	2010
1287	VSS 2008/301	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit von komplexen ungesteuerten Knoten: Analytisches Schätzverfahren	2009
1286	VSS 2000/338	Verkehrsqualität und Leistungsfähigkeit auf Strassen ohne Richtungstrennung	2010
1285	VSS 2002/202	In-situ Messung der akustischen Leistungsfähigkeit von Schallschirmen	2009
1284	VSS 2004/203	Evacuation des eaux de chaussée par les bas-cotés	2010
1283	VSS 2000/339	Grundlagen für eine differenzierte Bemessung von Verkehrsanlagen	2008
1282	VSS 2004/715	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Zusatzkosten infolge Vor- und Aufschieben von Erhaltungsmassnahmen	2010
1281	SVI 2004/002	Systematische Wirkungsanalysen von kleinen und mittleren Verkehrsvorhaben	2009
1280	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit Verkehrspsychologischer Teilbericht	2010
1279	VSS 2005/301	Leistungsfähigkeit zweistreifiger Kreisel	2009
1278	ASTRA 2004/016	Auswirkungen von fahrzeuginternen Informationssystemen auf das Fahrverhalten und die Verkehrssicherheit - Verkehrstechnischer Teilbericht	2009
1277	SVI 2007/005	Multimodale Verkehrsqualitätsstufen für den Strassenverkehr - Vorstudie	2010
1276	VSS 2006/201	Überprüfung der schweizerischen Ganglinien	2008
1275	ASTRA 2006/016	Dynamic Urban Origin - Destination Matrix - Estimation Methodology	2009
1274	SVI 2004/088	Einsatz von Simulationswerkzeugen in der Güterverkehrs- und Transportplanung	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1273	ASTRA 2008/006	UNTERHALT 2000 - Massnahme M17, FORSCHUNG: Dauerhafte Materialien und Verfahren SYNTHESE - BERICHT zum Gesamtprojekt "Dauerhafte Beläge" mit den Einzelnen Forschungsprojekten: - ASTRA 200/419: Verhaltensbilanz der Beläge auf Nationalstrassen - ASTRA 2000/420: Dauerhafte Komponenten auf der Basis erfolgreicher Strecken - ASTRA 2000/421: Durabilité des enrobés - ASTRA 2000/422: Dauerhafte Beläge, Rundlaufversuch - ASTRA 2000/423: Griffigkeit der Beläge auf Autobahnen, Vergleich zwischen den Messergebnissen von SRM und SCRIM - ASTRA 2008/005: Vergleichsstrecken mit unterschiedlichen oberen Tragschichten auf einer Nationalstrasse	2008
1272	VSS 2007/304	Verkehrsregelungssysteme - behinderte und ältere Menschen an Lichtsignalanlagen	2010
1271	VSS 2004/201	Unterhalt von Lärmschirmen	2009
1270	VSS 2005/502	Interaktion Strasse Hangstabilität: Monitoring und Rückwärtsrechnung	2009
1269	VSS 2005/201	Evaluation von Fahrzeurückhaltesystemen im Mittelstreifen von Autobahnen	2009
1268	ASTRA 2005/007	PM10-Emissionsfaktoren von Abriebsparkeln des Strassenverkehrs (APART)	2009
1267	VSS 2007/902	MDAinSVT Einsatz modellbasierter Datentransfernormen (INTERLIS) in der Strassenverkehrstelematik	2009
1266	VSS 2000/343	Unfall- und Unfallkostenraten im Strassenverkehr	2009
1265	VSS 2005/701	Zusammenhang zwischen dielektrischen Eigenschaften und Zustandsmerkmalen von bitumenhaltigen Fahrbahnbelägen (Pilotuntersuchung)	2009
1264	SVI 2004/004	Verkehrspolitische Entscheidungsfindung in der Verkehrsplanung	2009
1263	VSS 2001/503	Phénomène du dégel des sols gélifs dans les infrastructures des voies de communication et les pergélisols alpins	2006
1262	VSS 2003/503	Lärmverhalten von Deckschichten im Vergleich zu Gussasphalt mit strukturierter Oberfläche	2009
1261	ASTRA 2004/018	Pilotstudie zur Evaluation einer mobilen Grossversuchsanlage für beschleunigte Verkehrslastsimulation auf Strassenbelägen	2009
1260	FGU 2005/001	Testeinsatz der Methodik "Indirekte Vorauserkundung von wasserführenden Zonen mittels Temperaturdaten anhand der Messdaten des Lötschberg-Basistunnels	2009
1259	VSS 2004/710	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Synthesebericht	2008
1258	VSS 2005/802	Kaphaltestellen Anforderungen und Auswirkungen	2009
1257	SVI 2004/057	Wie Strassenraumbilder den Verkehr beeinflussen Der Durchfahrtswiderstand als Arbeitsinstrument bei der städtebaulichen Gestaltung von Strassenräumen	2009
1256	VSS 2006/903	Qualitätsanforderungen an die digitale Videobild-Bearbeitung zur Verkehrsüberwachung	2009
1255	VSS 2006/901	Neue Methoden zur Erkennung und Durchsetzung der zulässigen Höchstgeschwindigkeit	2009
1254	VSS 2006/502	Drains verticaux préfabriqués thermiques pour la consolidation in-situ des sols	2009
1253	VSS 2001/203	Rétention des polluants des eaux de chaussées selon le système "infiltrations sur les talus". Vérification in situ et optimisation	2009
1252	SVI 2003/001	Nettoverkehr von verkehrintensiven Einrichtungen (VE)	2009
1251	ASTRA 2002/405	Incidence des granulats arrondis ou partiellement arrondis sur les propriétés d'adhérence des bétons bitumineux	2008
1250	VSS 2005/202	Strassenabwasser Filterschacht	2007
1249	FGU 2003/004	Einflussfaktoren auf den Brandwiderstand von Betonkonstruktionen	2009
1248	VSS 2000/433	Dynamische Eindringtiefe zur Beurteilung von Gussasphalt	2008
1247	VSS 2000/348	Anforderungen an die strassenseitige Ausrüstung bei der Umwidmung von Standstreifen	2009

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
1246	VSS 2004/713	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen: Bedeutung Oberflächenzustand und Tragfähigkeit sowie gegenseitige Beziehung für Gebrauchs- und Substanzwert	2009
1245	VSS 2004/701	Verfahren zur Bestimmung des Erhaltungsbedarfs in kommunalen Strassennetzen	2009
1244	VSS 2004/714	Massnahmenplanung im Erhaltungsmanagement von Fahrbahnen - Gesamtnutzen und Nutzen-Kosten-Verhältnis von standardisierten Erhaltungsmassnahmen	2008
1243	VSS 2000/463	Kosten des betrieblichen Unterhalts von Strassenanlagen	2008
1242	VSS 2005/451	Recycling von Ausbauphosphat in Heissmischgut	2007
1241	ASTRA 2001/052	Erhöhung der Aussagekraft des LCPC Spurbildungstests	2009
1240	ASTRA 2002/010	L'acceptabilité du péage de congestion : Résultats et analyse de l'enquête en Suisse	2009
1239	VSS 2000/450	Bemessungsgrundlagen für das Bewehren mit Geokunststoffen	2009
1238	VSS 2005/303	Verkehrssicherheit an Tagesbaustellen und bei Anschlüssen im Baustellenbereich von Hochleistungsstrassen	2008
1237	VSS 2007/903	Grundlagen für eCall in der Schweiz	2009
1236	ASTRA 2008/008_07	Analytische Gegenüberstellung der Strategie- und Tätigkeitsschwerpunkte ASTRA-AIPCR	2008
1235	VSS 2004/711	Forschungspaket Massnahmenplanung im EM von Fahrbahnen - Standardisierte Erhaltungsmassnahmen	2008
1234	VSS 2006/504	Expérimentation in situ du nouveau drainomètre européen	2008
1233	ASTRA 2000/420	Unterhalt 2000 Forschungsprojekt FP2 Dauerhafte Komponenten bitumenhaltiger Belagsschichten	2009
651	AGB 2006/006_OBF	Instandsetzung und Monitoring von AAR-geschädigten Stützmauern und Brücken	2013
650	AGB 2005/010	Korrosionsbeständigkeit von nichtrostenden Betonstählen	2012
649	AGB 2008/012	Anforderungen an den Karbonatisierungswiderstand von Betonen	2012
648	AGB 2005/023 + AGB 2006/003	Validierung der AAR-Prüfungen für Neubau und Instandsetzung	2011
647	AGB 2004/010	Quality Control and Monitoring of electrically isolated post-tensioning tendons in bridges	2011
646	AGB 2005/018	Interactin sol-structure : ponts à culées intégrales	2010
645	AGB 2005/021	Grundlagen für die Verwendung von Recyclingbeton aus Betongranulat	2010
644	AGB 2005/004	Hochleistungsfähiger Faserfeinkornbeton zur Effizienzsteigerung bei der Erhaltung von Kunstbauten aus Stahlbeton	2010
643	AGB 2005/014	Akustische Überwachung einer stark geschädigten Spannbetonbrücke und Zustandserfassung beim Abbruch	2010
642	AGB 2002/006	Verbund von Spanngliedern	2009
641	AGB 2007/007	Empfehlungen zur Qualitätskontrolle von Beton mit Luftpermeabilitätsmessungen	2009
640	AGB 2003/011	Nouvelle méthode de vérification des ponts mixtes à âme pleine	2010
639	AGB 2008/003	RiskNow-Falling Rocks Excel-basiertes Werkzeug zur Risikoermittlung bei Steinschlag-schutzgalerien	2010
638	AGB2003/003	Ursachen der Rissbildung in Stahlbetonbauwerken aus Hochleistungsbeton und neue Wege zu deren Vermeidung	2008
637	AGB 2005/009	Détermination de la présence de chlorures à l'aide du Géoradar	2009
636	AGB 2002/028	Dimensionnement et vérification des dalles de roulement de ponts routiers	2009
635	AGB 2004/002	Applicabilité de l'enrobé drainant sur les ouvrages d'art du réseau des routes nationales	2008
634	AGB 2002/007	Untersuchungen zur Potenzialfeldmessung an Stahlbetonbauten	2008
633	AGB 2002/014	Oberflächenschutzsysteme für Betontragwerke	2008
632	AGB 2008/201	Sicherheit des Verkehrssystem Strasse und dessen Kunstbauten Testregion - Methoden zur Risikobeurteilung Schlussbericht	2010
631	AGB 2000/555	Applications structurales du Béton Fibré à Ultra-hautes Performances aux ponts	2008
630	AGB 2002/016	Korrosionsinhibitoren für die Instandsetzung chloridverseuchter Stahlbetonbauten	2010

Bericht-Nr.	Projekt Nr.	Titel	Jahr
629	AGB 2003/001 + AGB 2005/019	Integrale Brücken - Sachstandsbericht	2008
628	AGB 2005/026	Massnahmen gegen chlorid-induzierte Korrosion und zur Erhöhung der Dauerhaftigkeit	2008
627	AGB 2002/002	Eigenschaften von normalbreiten und überbreiten Fahrbahnübergängen aus Polymerbitumen nach starker Verkehrsbelastung	2008
626	AGB 2005/110	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Baustellensicherheit bei Kunstbauten	2009
625	AGB 2005/109	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen bei Kunstbauten	2009
624	AGB 2005/108	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Risikobeurteilung für Kunstbauten	2010
623	AGB 2005/107	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Tragsicherheit der bestehenden Kunstbauten	2009
622	AGB 2005/106	Rechtliche Aspekte eines risiko- und effizienzbasierten Sicherheitskonzepts	2009
621	AGB 2005/105	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Szenarien der Gefahrenentwicklung	2009
620	AGB 2005/104	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Effektivität und Effizienz von Massnahmen	2009
619	AGB 2005/103	Sicherheit des Verkehrssystems / Strasse und dessen Kunstbauten / Ermittlung des Netzrisikos	2010
618	AGB 2005/102	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten: Methodik zur vergleichenden Risikobeurteilung	2009
617	AGB 2005/100	Sicherheit des Verkehrssystems Strasse und dessen Kunstbauten Synthesebericht	2010
616	AGB 2002/020	Beurteilung von Risiken und Kriterien zur Festlegung akzeptierter Risiken in Folge aussergewöhnlicher Einwirkungen bei Kunstbauten	2009