

Verbundprojekt:

ViFa - Virtueller Fahrtrainer

Entwicklung eines virtuellen Fahrtrainers zur Unterstützung einer verbrauchs- und verschleißoptimierten Fahrweise

Schlussbericht der MAN Truck & Bus AG

Beitrag des

Zuwendungsempfänger: MAN Truck & Bus AG (MAN)
Dachauer Straße 667
80995 München

Autoren: Daniel Heyes, Karlheinz Dörner

Laufzeit: 01.10.2010 – 30.09.2013

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie unter dem Förderkennzeichen **19 G 10013A** gefördert.

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren

Gefördert durch das



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

München, 31.03.2014

Inhaltsverzeichnis

I Kurzdarstellung zu Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Planung und Ablauf	4
I.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung	4
I.2 Voraussetzungen, unter denen der FE-Auftrag durchgeführt wurde.....	6
I.3 Planung und Ablauf des Auftrags	7
I.4 Stand der Technik zu Beginn des Projektes.....	8
I.5 Fahrerschulungen	8
I.6 Derzeitige technische Lösungen	8
I.7 Digitale Karten	12
I.7.1 Bisherige Arbeiten der Antragssteller	12
I.8 Zusammenarbeit mit anderen Stellen	12
II Eingehende Darstellung (erzielte Ergebnisse und Nutzen)	13
II.1 AP1 Anforderungsanalyse	13
II.2 AP2 Fahranalyse.....	15
II.2.1 Systematik der Situationseinteilung	15
II.2.2 Durchführung der Fahranalyse	16
II.3 AP3 Sensorik	18
II.3.1 Topografiedaten.....	19
II.3.2 Infrastrukturdaten	22
II.4 AP4 Mensch-Maschine-Schnittstelle.....	24
II.4.1 Sammlung von Anforderungen.....	24
II.4.2 Abstraktionsniveau der Fahrhinweise	27
II.4.3 Meldungsinhalte	29
II.4.4 Integration ins Fahrzeug.....	30
II.5 AP5 Akzeptanzprüfung Mensch-Maschine-Schnittstelle	30
II.6 AP6 Realisierung Prototyp	30
II.6.1 Implementierung der Fahrfehlererkennung.....	31
II.7 AP7 Aufbau Demonstrator	35
II.8 AP8 Funktionsvalidierung und Optimierung	37
II.9 AP9 Erprobung in Fahrten mit Probanden	38
II.9.1 Versuchsstrecke	39
II.9.2 Versuchsdesign	40
II.9.3 Einflüsse auf die Fahrweise	41
II.10 AP10 Projektkoordination.....	43



III	Literaturverzeichnis	44
------------	-----------------------------------	-----------

I Kurzdarstellung zu Aufgabenstellung, Voraussetzungen, Planung und Ablauf

I.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Aus heutiger Sicht ist der Schritt zum autonomen Fahren im öffentlichen Verkehr in naher Zukunft nicht erreichbar. Obwohl die Anzahl der Assistenzsysteme ständig ansteigt, bleiben vor allem der Fahrer und dessen Umgang mit dem Fahrzeug die wesentliche Einflussgröße bei der Einsparung von Kraftstoff und dem Verschleiß von Komponenten. Während aus umweltpolitischer Sicht die Reduzierung der CO₂-Emissionen und Schonung der Ressourcen von zentraler Bedeutung sind, stehen bei Fuhrunternehmern vielmehr Kostenreduzierung und Total Cost of Ownership (TCO) im Vordergrund. Diese Ziele müssen sich jedoch nicht widersprechen, wenn die weitere Reduzierung der Emissionen und Schonung der Ressourcen nicht mit aufwändigen und teuren Techniken erkaufte werden muss. Bisher lag der Fokus überwiegend auf der Verbesserung der Technik; der Fahrer blieb weitgehend außen vor. Dabei schlummert gerade im Fahrer ein erhebliches Potential, das ohne teuren technischen Aufwand genutzt werden kann.

Kostenanalysen zeigen, dass der Anteil der Kraftstoffkosten im Jahr 2007 mehr als 25 % der Gesamtkosten im Lkw-Fernverkehr betrug – dies mit steigender Tendenz. Dies verdeutlicht die Relevanz dieses Kostenanteils für Fuhrunternehmer.

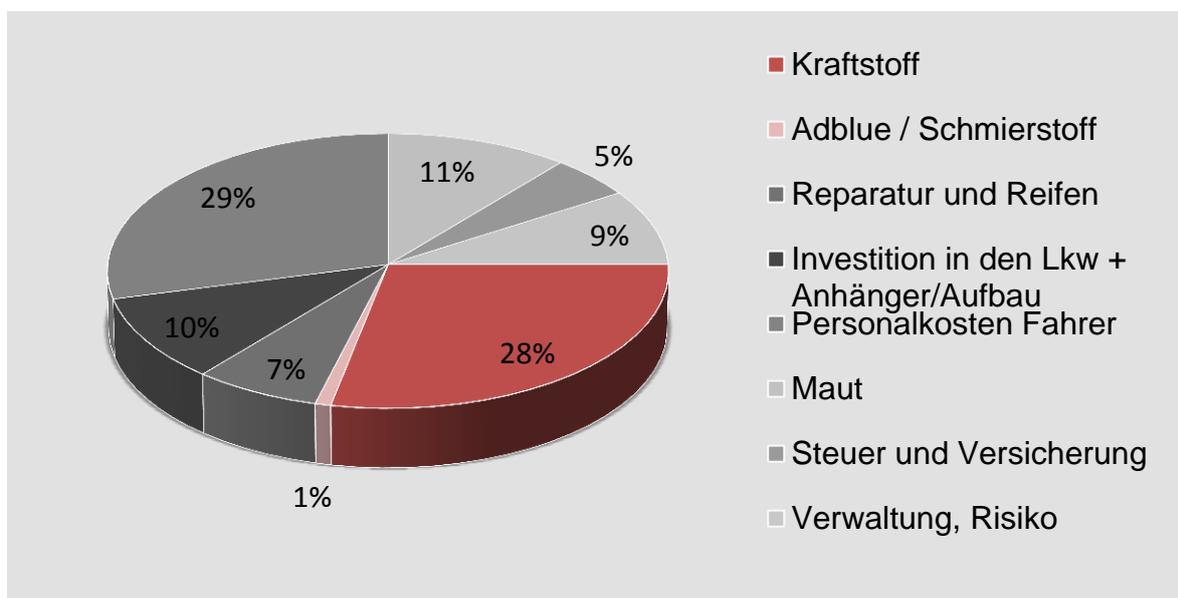


Abbildung 1: Kostenstruktur Fernverkehrs-Lkw [Wit11].

Beim Fahrer muss ein Bewusstsein zur Senkung des Verbrauchs und des Verschleißes geschaffen werden. Dies wird derzeit abgedeckt durch Fahrerschulungen und Fahrweisenoptimierung durch geschulte Trainer, die mit den Fahrern bei der Schulung mitfahren und dem Fahrer mitteilen, wann er welche Eingriffe bei seinem Fahrzeug für ein verbrauchs- und verschleißoptimiertes Fahren vornehmen soll. Die dabei durchgeführten Messungen zeigen ein deutliches Einsparpotential auf. Diese Erfolge sind allerdings häufig nur von kurzer Dauer, weil viele Fahrer nach den Schulungsmaßnahmen wieder sehr schnell in alte Gewohnheitsmuster zurückfallen. Das erlernte Wissen wurde noch nicht verinnerlicht

oder Fahrsituationen werden falsch eingeschätzt. Hinzu kommt, dass bislang nur ein Bruchteil der Fahrer an entsprechenden Fahrerschulungen teilnimmt.

Um auch langfristige Effekte zu erzielen und den Aufwand für individuelle Schulungsfahrten zu reduzieren, erscheinen technische Systeme sinnvoll, die dem Fahrer während oder nach der Fahrt verbrauchsoptimierende und verschleißmindernde Verhaltensweisen vorschlagen bzw. ein mögliches Fehlverhalten kommunizieren können. Dies entspricht der Idee eines „Virtuellen Fahrtrainers“ (ViFa), eines Assistenzsystems, das aus einer Vielzahl von Eingangsgrößen, wie Bedieneingaben und Umweltbedingungen, die Fahrweise analysiert und bei Bedarf Fahrempfehlungen an den Fahrer zurückmelden kann.

Ziel dieses Vorhabens ist die Entwicklung eines Virtuellen Fahrtrainers zur Unterstützung des Fahrers für eine verbrauchs- und verschleißoptimierte Fahrweise. Zur Erreichung dieses Ziels muss ermittelt werden, welche Signale zur Erkennung von verbrauchserhöhenden Fahrfehlern herangezogen werden können, in welcher Weise diese Signale analysiert werden müssen und welche Korrelationen es gibt, um daraus letztlich ein optimierungsbedürftiges Fahrerverhalten zu erkennen und dem Fahrer geeignete Empfehlungen zu geben. Hier soll zwischen Meldungen unterschieden werden, die dem Fahrer sofort angezeigt werden und Meldungen, die dem Fahrer als Zusammenfassung z. B. am Ende der Fahrt mitgeteilt werden.

Bei den Meldungen muss die Art und Weise der Informationsübermittlung an den Fahrer erarbeitet werden, damit die vorgeschlagenen Eingriffe auch vom Fahrer verstanden und umgesetzt werden. Dies ist nur zu erreichen, wenn die Informationsübermittlung für den Fahrer motivierend wirkt.

Neben dieser Mensch-Maschine-Schnittstelle (HMI), die den Fahrer zur Befolgung der Hinweise motivieren muss und die er nicht als bevormundend oder gar störend empfinden darf, ist die eigentliche Problemstellung der Erkennung ungeeigneter, verbrauchserhöhender Fahrweisen zu lösen. Eine besondere Herausforderung ergibt sich daraus, dass die Fahrweise nicht allein vom Fahrer bestimmt wird, sondern auch vom Umgebungsverkehr, den Straßen- und Umweltbedingungen und der Topografie der Straßen. Aus der Fülle der Einflüsse gilt es den Fahrereinfluss herauszufiltern. Dieser muss dann bewertet werden, wozu geeignete Bewertungskriterien gefunden werden müssen. Als Ergebnis dieser Bewertungen kann dem Fahrer dann ein Hinweis zur Optimierung seiner Fahrweise gegeben werden.

Aufgrund der Vielzahl der Einflüsse und der für eine Bewertung zu findenden Bewertungskriterien stellt die Analyse eine hochkomplexe Aufgabe dar. Ein realer Fahrtrainer, der neben dem Fahrer sitzt und dessen Fahrverhalten bzw. Fahrzeugbedienung beobachtet, nimmt auch die für ihn sichtbare Fahrumgebung wahr und bezieht diese bei der Analyse des Fahrerverhaltens mit ein. Er erkennt zum Beispiel, wenn eine Ampel auf Rot umschaltet und das Fahrzeug ausrollen sollte, oder wenn vor ihm ein Fahrzeug rechts abbiegt und der LKW trotz schneller Annäherung nicht abbremsen muss, da sich abschätzen lässt, ob der Abbieger rechtzeitig die Fahrspur verlassen wird. Solche Informationen sind mit heutiger Onboard-Sensorik nicht erfassbar. Für die Aufgabenstellung wird davon ausgegangen, dass das Fahrzeug hinsichtlich der Umgebungserfassung über eine Sensorik zur Erfassung des Abstands des vorausfahrenden Fahrzeugs verfügt, da diese ab 2013 wegen des dann vorgeschriebenen Notbremssystems für neue LKW-Typen obligatorisch sein wird. Ferner wird davon ausgegangen, dass im Fahrzeug das Höhenprofil der vorausliegenden Fahrstrecke in ausreichender Genauigkeit verfügbar ist. Da die Kenntnis des vorausliegenden Höhenprofils jedoch zu einer verbrauchsoptimierten Fahrweise beitragen kann, werden einem solchen System große Marktchancen eingeräumt. Wie vorausliegende Höhenprofile in ausreichender Genauigkeit bereitgestellt werden, war zum Start des Projekts noch unklar und wurde daher in diesem Projekt näher betrachtet. Aufbauend auf fahrzeuginterner Sensorik sowie vorgenannten Umgebungsdaten soll untersucht werden, welches Fehlverhalten des Fahrers hinsichtlich des

Kraftstoffverbrauchs erkennbar ist. Darüber hinaus wird betrachtet, welche optimierungsbedürftigen Verhaltensweisen des Fahrers zusätzlicher Umgebungssensorik bedürfen, um erkannt werden zu können.

Neben der verbrauchsoptimierten Fahrweise ist auch eine verschleißmindernde Fahrweise von Bedeutung. Hierzu gilt es die Fahrweise eines Fahrers hinsichtlich des Komponentenverschleißes (z. B. Motor, Kupplung, Getriebe, Bremsen) zu analysieren und negative Einflüsse des Fahrerverhaltens auf den Komponentenverschleiß zu identifizieren. Auch hierbei ist zu berücksichtigen, dass die Fahrzeugführung nicht isoliert betrachtet werden kann, sondern stark von den Umgebungsbedingungen mitbestimmt wird.

I.2 Voraussetzungen, unter denen der FE-Auftrag durchgeführt wurde

Ziel des virtuellen Fahrtrainers ist die Erkennung optimierungsbedürftiger Verhaltensweisen des Fahrers, um den Fahrer mittels geeigneter Fahrerhinweise zu schulen. Soweit möglich und sinnvoll, sollen diese Schulungshinweise situationsbezogen erfolgen und nicht erst im Nachhinein, damit der Fahrer den Transfer der Schulungshinweise auf sein Verhalten schafft und unmittelbar die Möglichkeit hat, es besser zu machen. Auf diese Weise soll das Bewusstsein für energieeffizientes Fahren geschaffen und dem Fahrer die nötigen Kenntnisse vermittelt werden.

Mit dem virtuellen Fahrtrainer wird **nicht** das Ziel verfolgt, technische Systeme zu verbessern und es werden auch keine Techniken einbezogen, deren großflächige Einführungen derzeit nicht absehbar sind (z.B. Ausrüstung von Infrastruktur). So ist es mit dem Virtuellen Fahrtrainer nicht möglich, dem Fahrer an Ampelstrecken eine optimale Fahrweise zu empfehlen. Hierzu wäre eine Fahrzeug-Infrastruktur-Kommunikation zur Ampel erforderlich, damit der Virtuelle Fahrtrainer die Ampelphasen kennt.

Hinsichtlich der Analyse des Anfahrverhaltens eines Fahrers kann der Virtuelle Fahrtrainer neben der Verschleißanalyse darum lediglich bewerten, ob der Fahrer zügig beschleunigt und dabei frühzeitig hochschaltet oder ob er unnötig langsam die einzelnen Gänge durchfährt.

Der Fokus des Virtuellen Fahrtrainers liegt in der Schulung des Fahrers zur kraftstoff- und verschleißminimierten Fahrweise. Der virtuelle Fahrtrainer umfasst keine Auswertungen von Umgebungssensorik zur Erhöhung der Verkehrssicherheit.

Für die Untersuchung von Anzeige- und Bedienkonzepten sowie neuartigen Fahrerassistenzsystemen im Lkw verfügt der Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik über einen dynamischen Lkw-Fahrsimulator. Dessen Sichtsimation basiert auf einer fünf-kanaligen Fixed-Screen-Rückprojektion, die dem Fahrer einen horizontalen Sichtwinkel von 210° ermöglicht, sowie drei Flachbildschirmen zur Realisierung der Rückspiegelansichten. Für eine gesteigerte Immersion sorgt die Bewegungssimulation mit sechs Freiheitsgraden, die an die Besonderheiten der Lkw-Fahrdynamik und zu Gunsten einer guten Verträglichkeit abgestimmt wurde. Das verwendete MAN-Serienfahrerhaus trägt zu einer weiteren Erhöhung des Präsenzepfindens bei und ermöglicht die Durchführung anwendungsnaher Forschungsreihen. Mithilfe einer grafischen Bedienoberfläche können spezifische Umgebungs- und Verkehrsszenarien geplant, sowie individuelle Straßenverläufe anhand eines Streckeneditors generiert werden. Für die Analyse der Probandenversuche steht eine Messtechnik zur zeitsynchronen Datenaufzeichnung zur Verfügung, womit zum Beispiel Bedieneingaben des Fahrers, fahrdynamische Größen des simulierten Fahrzeugs sowie Umfelddaten erhoben werden. Des Weiteren können Videoaufnahmen des Fahrers mitgeschnitten und bei Bedarf zusätzlich über ein Messsystem Blick- und Kopfrichtung ermittelt werden. Seit der Inbetriebnahme des Simulators im Jahr 2004 wurde bereits eine Vielzahl an Versuchsreihen zu nutzfahrzeugspezifischen Forschungsthemen durchgeführt.

I.3 Planung und Ablauf des Auftrags

Die Forschungsarbeiten des Forschungsprojekts Virtueller Fahrtrainer sind in neun Arbeitspakete mit untergliederten Unterarbeitspaketen aufgeteilt [Dör10, S.22ff]. Die Bearbeitung der Arbeitspakete erfolgte in Kooperation der Projektpartner. In einem zusätzlichen Arbeitspaket wird die Projektkoordination gebündelt.

- **AP1 Anforderungsanalyse:** Ziel dieses Arbeitspakets ist es, zunächst eine umfassende Liste mit möglichen Fahrsituationen zu erstellen, in welchen die Fahrer unökonomisch in Bezug auf Kraftstoffverbrauch und Verschleiß fahren. Des Weiteren werden zu den jeweiligen Situationen eine optimale Fahrweise und eine Handlungsanweisung für den Fahrer abgeleitet.
- **AP2 Fahranalyse:** Zu den einzelnen, im Situationskatalog genannten fehlerhaften Verhaltensweisen des Fahrers werden jeweils Konzepte dazu erstellt, wie die Fahrweise mit Hilfe eines technischen Systems analysiert werden kann, um dann ein solches Fahrfehlerverhalten erkennen zu können. Wichtig dabei ist die Vermeidung fehlerhafter Analyseergebnisse, damit der Fahrer bei korrektem Fahrerverhalten keine ungeeigneten Fahrempfehlungen aufgrund einer fehlerhaften Analyse erhält.
- **AP3 Sensorik:** In diesem Arbeitspaket wird untersucht, inwieweit die bisher im LKW verbaute Sensorik für den Virtuellen Fahrtrainer geeignet ist. Schwerepunktmäßig wird die Eignung digitaler Karten bewertet, da diese imstande sind, den Horizont des Virtuellen Fahrtrainers erheblich zu erweitern.
- **AP4 Mensch-Maschine-Schnittstelle:** Die Akzeptanz eines virtuellen Fahrtrainers hängt maßgeblich von der Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ab. Hier gilt es geeignete Kommunikationsmöglichkeiten zu identifizieren und die Schnittstelle fahrerfreundlich zu gestalten. Ziel dieses Arbeitspakets ist die Definition der Mensch-Maschine-Schnittstelle sowie einer Schulungsstrategie, die eine dedizierte Filter- und Priorisierungsstrategie enthält.
- **AP5 Akzeptanzprüfung:** Einsparungen in Bezug auf Kraftstoffverbrauch und Verminderung des Komponentenverschleißes lassen sich durch den Virtuellen Fahrtrainer nur erzielen, wenn das System vom Fahrer auch angenommen und angewendet wird. Daher ist die Akzeptanz des Virtuellen Fahrtrainers beim Nutzer, also dem Fahrer, von enormer Bedeutung und Optimierungsmöglichkeiten zur Sicherstellung der Nutzerakzeptanz müssen frühzeitig bestimmt werden.
- **AP6 Realisierung Prototyp:** Zielsetzung des Arbeitspakets ist die Realisierung und Evaluierung des Konzepts für Fehler- und Situationserkennung.
- **AP7 Aufbau Demonstrator:** Ziel dieses Arbeitspakets ist der Aufbau eines Demonstrators zur Untersuchung und Demonstration der entwickelten Funktionen. Dies umfasst die Integration von Steuergeräten und deren Anbindung an die Fahrzeugstruktur, die Anpassung und den Einbau von Sensorik sowie die Umsetzung und die Einbindung der Mensch-Maschine-Schnittstelle.
- **AP8 Funktionsvalidierung:** Der Schwerpunkt der Arbeiten in diesem Arbeitspaket liegt in der Funktionsvalidierung und der Optimierung des realisierten Systemkonzepts. Die Erprobung erfolgt in realen Verkehrssituationen. Zunächst werden Erprobungsfahrten von den Entwicklern durchgeführt, die dann nach erster Validierung des Systems von erfahrenen Fahrtrainern begleitet werden. Nicht zufriedenstellende Systemreaktionen werden im Rahmen von Versuchsfahrten identifiziert, bei Bedarf in der Offline-HIL-Simulation nachgestellt und die Ursachen der unzulänglichen Systemreaktion untersucht. Hierbei sollen Funktionsmängel

erkannt und die Funktionalität optimiert oder notfalls eingeschränkt werden, bevor in einem nachfolgenden Probandenversuch Akzeptanztests durchgeführt werden.

- **AP9 Erprobung mit Probanden:** Zur Bewertung des prototypisch realisierten Virtuellen Fahrtrainers aus Fahrersicht werden Fahrtests mit Probanden durchgeführt. Hierbei soll die Akzeptanz des Systems sowie das Interaktionsverhalten zwischen Fahrer und System mit Probanden geprüft werden. Des Weiteren soll auch der Schulungserfolg des Virtuellen Fahrtrainers betrachtet werden. In der abschließenden Erprobung und Akzeptanzprüfung wird der Prototyp von unterschiedlichen Probanden gefahren und anhand eines Fragebogens bewertet.
- **AP10 Projektkoordination:** In diesem Arbeitspaket werden die Projektorganisation und das Projektcontrolling, sowie die Abstimmungen mit dem Projektpartner gebündelt. Die Koordination der Zwischenberichtserstellung sowie des Projektabschlusses ist ebenfalls Inhalt dieses Arbeitspaketes.

I.4 Stand der Technik zu Beginn des Projektes

Die folgenden Abschnitte geben den Stand der Technik zu Beginn des Projekts wieder und sind im Wesentlichen dem unveröffentlichten Förderantrag [Dör10, S.11ff] des Projekts Virtueller Fahrtrainer entnommen.

I.5 Fahrerschulungen

Zur Verbesserung des Fahrstils werden von allen Herstellern spezielle Trainingskurse angeboten. Dabei fahren die Teilnehmer in Begleitung erfahrener Fahrtrainer bestimmte Strecken ab. Der Trainer beobachtet das Fahrerverhalten und gibt dem Fahrer Hinweise zu verbrauchs- und verschleißoptimierter Fahrweise. Diese Trainings dauern meist wenige Tage und führen zu deutlichen Verbrauchsreduzierungen. Leider sind diese jedoch nicht nachhaltig, d.h. das Gelernte wird noch eine gewisse Zeit angewendet und im Laufe der Zeit dann immer weniger [Gei08] [Wah07]. Neben diesem Problem bedeutet die Fahrerschulung für den Unternehmer auch einen Ausfall des Fahrers während der Schulungszeit und es fallen Schulungskosten an. Nicht zuletzt aus diesen Gründen nimmt nur ein Bruchteil der LKW-Fahrer an solchen Schulungen teil.

I.6 Derzeitige technische Lösungen

Heutige Fahrzeuge haben zwar bereits diverse Anzeigen, die den Fahrer für ein verbrauchoptimiertes Fahren unterstützen sollen, jedoch sind diese Anzeigen rein informativer Gestalt. Der Fahrer kann dazu mit den erforderlichen technischen Kenntnissen sein Fahrverhalten anpassen, er wird dazu aber weder animiert noch motiviert. Beispiele hierfür sind der grüne und rote Bereich des Drehzahlmessers, Kraftstoffverbrauchsanzeigen und vereinfachte Schaltpunktanzeigen (Abbildung 2).

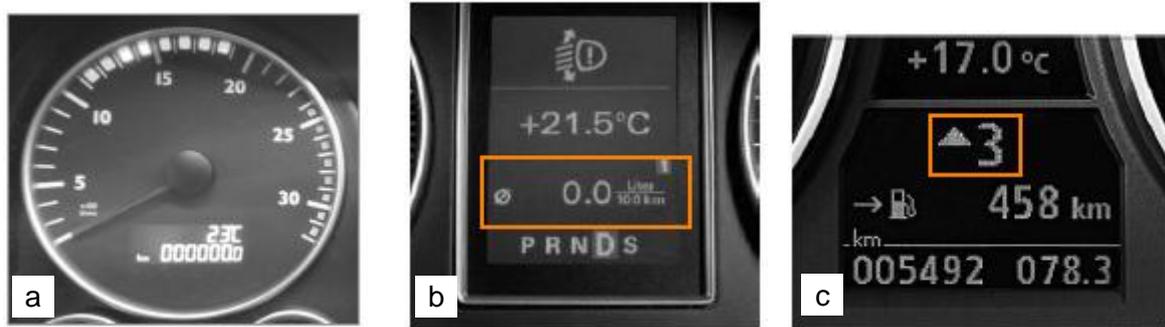


Abbildung 2: Anzeigen zur Unterstützung des verbrauchsoptimierten Fahrens: a Drehzahlmesser (MAN TGX); b Kraftstoffverbrauchsanzeige (Audi A4 B7); c Schaltpunktanzeige (BMW E87) [BMW07]

In 2009 führten Nissan, Audi und Scania Systeme ein, die gegenüber den vorgenannten dem Fahrer besser vermitteln sollen, wie er verbrauchsoptimal fährt (Abbildung 3).

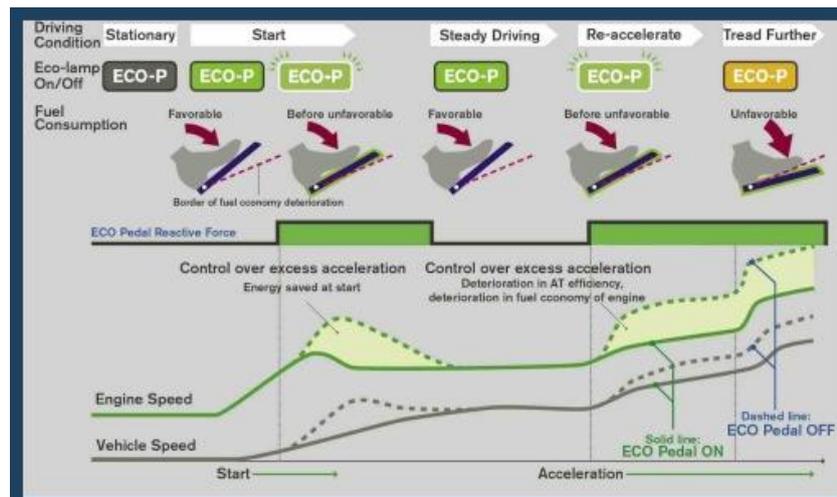


Abbildung 3: Nissan (PKW) Fahrpedalauswertung, 2009 (ECO-Gaspedal) [Sue07]

Nissan führte im PKW ein aktives Gaspedal ein zur Vermeidung unnötig hoher Beschleunigungen. Dazu wird bei zunehmender Gaspedalauslenkung die voraussichtliche eintretende Beschleunigung berechnet. Erscheint diese als unnötig hoch, so wird der Gegendruck im Gaspedal erhöht und dem Fahrer somit ein haptisches Feedback gegeben.

Audi stellte in 2009 einen **BordComputer mit Effizienzprogramm (BCmE)** vor. Dieser kann dem Fahrer Schalteempfehlungen und verschiedene "Sparhinweise" geben (Abbildung 4, Abbildung 5).



Abbildung 4: Audi Schaltempfehlung [Aut09]



Abbildung 5: Audi Sparhinweise [Aut09]

In seiner schweren Lkw-Reihe führte Scania 2009 ein System ein, das das Fahrerverhalten in vier Kategorien bewertet. Die Kategorien sind gegliedert in "hill driving", "brake use", "choice of gears" und "anticipation". Die Hinweise zu diesen vier Kategorien werden dem Fahrer in Form von "driving tips" angezeigt (Abbildung 6).



Abbildung 6: Scania Driving Tips: a hill driving; b choice of gears; c brake use; d anticipation [And10]

Das optimale Rollen über Kuppen und durch Senken erfordert viel Erfahrung. Es ist für den Fahrer kaum möglich, wirklich den optimalen Zeitpunkt zu treffen, an dem er das Gaspedal lösen oder den Tempomaten oder ACC ausschalten sollte. Ein allgemeiner Hinweis, dass der Fahrer bei der nächsten Kuppe früher vom Gas gehen sollte, hilft nur bedingt. Zur genauen Bestimmung des optimalen Zeitpunkts muss das vorausliegende Höhenprofil berücksichtigt werden. In dem von Scania eingeführten System wird weder das vorausliegende Höhenprofil ausgewertet, noch wird dem Fahrer ein konkreter Zeitpunkt genannt, an dem er vom Gas gehen sollte.

Mit der angezeigten Schaltempfehlung (choice of gears) wird der Fahrer darauf hingewiesen, dass er schalten sollte, um den Motor im verbrauchsgünstigen Kennfeldbereich zu betreiben. Die Schaltempfehlung baut auf quasistationären Zuständen auf, in denen erkannt wird, dass der Motor nicht im optimalen Kennfeldbereich betrieben wird. Eine Streckenvorausschau erfolgt dabei nicht. So kann es vorkommen, dass das System ein sinnvolles vorausschauendes Schalten des Fahrers bemängelt, z. B. wenn dieser vor einer Steigung frühzeitig in einen kleineren Gang schaltet. Da das System die Steigung nicht "sieht", fordert es den Fahrer auf, einen Gang hochzuschalten.

In der Bremsennutzung (brake use) wird hinsichtlich Komponentenverschleiß der Einsatz der Betriebsbremsen in Relation zum Einsatz der Dauerbremsen bewertet.

Kennzeichnend ist am derzeitigen Stand der Technik, dass mit Ausnahme von Schaltempfehlungen, die jedoch auch nur auf quasistationären Zuständen basieren, die Hinweise an Fahrer immer erst nach Ablauf der Fahrsituationen oder rein statistisch ausgegeben werden.

Ergänzend zu den genannten Onboard-Fahrerinformationen gibt es Telematiksysteme (z. B. [Man10]), die Daten aus dem Fahrzeug heraus an den Fuhrunternehmer senden. Dabei werden relevante Verbrauchsdaten als klassifiziert in einem Fahrzeugsteuergerät abgelegt und per Mobilfunk an den Fuhrunternehmer übermittelt. Dieser hat somit die Möglichkeit zu beurteilen, ob seine Fahrer das Fahrzeug verbrauchsorientiert fahren und kann seinen Fahrern dafür auch besondere Anreize bieten.

I.7 Digitale Karten

Der Markt für kommerziell angebotene digitale Kartendaten wird von zwei Herstellern dominiert: Navteq [Dur11] und Tele Atlas (TomTom) [Tel10]. Beide arbeiten daran, vorausliegende Streckendaten für Assistenzsysteme bereitzustellen. Für die vorgesehene Anwendung zur Optimierung der wirtschaftlichen Fahrweise ist ein sehr genaues Höhenprofil bzw. Steigungsprofil der Fahrstrecke erforderlich. Bisher werden die Höhendaten aus digitalen Karten ausschließlich für optimierte Routenberechnungen in der LKW-Navigation verwendet. Hierfür müssen die Höhendaten nicht so genau sein wie für die wirtschaftliche Optimierung der Fahrweise entlang einer Fahrroute. Seitens der Kartenhersteller liegen Höhendaten für die primären Straßen (Autobahnen, Bundesstraßen) vor. Diese werden beim Abfahren der Strecken von den Kartenherstellern mit aufgenommen.

Für Straßen untergeordneter Kategorien (z. B. Landstraßen) lagen zum Projektstart größtenteils noch keine Höhenprofile in den digitalen Karten vor. Tele Atlas (TomTom) verfolgt hier das Ziel, die Höhenprofile solcher Straßen aus Community-Inputs zu generieren, ohne die Straßen gezielt abzufahren. Das bedeutet, dass TomTom-Navigationsgeräte, die von Kunden verwendet werden, Daten an TomTom senden, und dass in diesen Daten neben der jeweiligen Fahrzeugposition und der Fahrgeschwindigkeit auch die jeweilige Höhe enthalten ist. Werden die Straßen ausreichend oft von Kunden mit solchen TomTom-Geräten gefahren, kann TomTom daraus ein Höhenprofil der Strecke generieren.

I.7.1 Bisherige Arbeiten der Antragssteller

Die MAN Nutzfahrzeuge AG beschäftigt sich im Rahmen einer Promotionsarbeit, durchgeführt am Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik (FTM) der Technischen Universität München, mit dem Thema des Onboard Verbrauchsassistenten [Moh13]. Der Fokus der Arbeit liegt auf der Gestaltung der Mensch-Maschine-Schnittstelle, speziell ausgerichtet auf eine hohe Akzeptanz des Systems beim Nutzer, einer intuitiven Bedienbarkeit und einer geeigneten Methode, die den Nutzer zur Verwendung des Systems motiviert. Der angewandte Entwicklungsprozess wurde von Mohra [Moh09] im Vortrag „Kraftstoffeinsparung im Nutzfahrzeug – Entwicklung eines Onboard-Verbrauchsassistenten“ aufgezeigt. Das Ergebnis der Arbeit ist ein erster Ansatz für eine nutzergerechte Mensch-Maschine-Schnittstelle eines Virtuellen Fahrtrainers.

I.8 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die inhaltlichen Arbeiten im Forschungsprojekt Virtueller Fahrtrainer wurden vollständig durch die beiden Projektpartner durchgeführt. Eine direkte Zusammenarbeit anderer Institutionen erfolgte nicht. Natürlich wurden die Entwicklungen im industriellen und wissenschaftlichen Umfeld beobachtet und die Arbeiten daraufhin abgestimmt. Vor allem mit dem Förderprojekt ecoMove bestand ein reger Austausch.

II Eingehende Darstellung (erzielte Ergebnisse und Nutzen)

II.1 AP1 Anforderungsanalyse

Die Anforderungsanalyse bildet die Basis für die weiteren Entwicklungsaktivitäten und bestimmt maßgeblich die spätere Ausgestaltung des Virtuellen Fahrtrainers.

Die Erstellung der Anforderungsbeschreibungen für die Fahrsituations- und Fahrfehlererkennung muss methodisch erfolgen, damit einerseits keine relevanten Fahrsituationen übersehen werden, jedoch andererseits die Vielzahl an Informationen verdichtet und nur solche Fahrsituationen in größerer Tiefe betrachtet werden, die ein hohes Einsparpotential versprechen (Abbildung 7) [Hey14].

Mit dieser Methodik wurde bei der MAN Truck & Bus AG ein Situationskatalog erstellt, der neben einer umfassenden Sammlung von denkbaren Fahrfehlern auch eine Beschreibung der wirtschaftlichen Fahrweise enthält.

Die Abschätzung der Häufigkeit und des Kraftstoffeinsparpotentials wurde durch Experten der MAN Truck & Bus AG durchgeführt. Dadurch wurden die Situationen priorisiert und der Funktionsumfang des Virtuellen Fahrtrainers festgelegt.

Ausgangspunkt für die Anforderungsbeschreibung ist die Erstellung eines umfassenden Situationskatalogs mit potenziellen Fahrfehlern. In einem mehrstufigen Prozess wird zuerst der allgemeine Wissensstand zur Schulung einer wirtschaftlichen Fahrweise festgestellt, indem einschlägige Schulungsunterlagen gesichtet und Schulungsprogramme analysiert werden. Dieses Erfahrungswissen wird mit dem aktuellen Stand der Forschung abgeglichen und Erkenntnisse aus bereits durchgeführten oder laufenden Forschungsprojekten werden berücksichtigt. Diese Informationen fließen in einen fragmentarischen Situationskatalog ein, der Experten innerhalb der MAN Truck & Bus AG vorgelegt und mit deren Angaben ergänzt wird. Daraus leitet sich ein umfassender Situationskatalog ab. Aus den durch Literatur und Expertenbefragung gewonnen Erkenntnissen wird für jeden Fahrfehler das Einsparpotential angegeben, das voraussichtlich durch den Einsatz eines Virtuellen Fahrtrainers erzielt werden kann. Dabei wird berücksichtigt, dass sich das Einsparpotential aus der Fahrfehlerhäufigkeit, der Umsetzungswahrscheinlichkeit der Fahrempfehlung des Virtuellen Fahrtrainers und der Kraftstoff- oder Verschleißreduzierung zusammensetzt. Da die genaue Bestimmung des Einsparpotentials für eine Vielzahl von Fahrfehlern oftmals nur mit einem unverhältnismäßig hohen Aufwand möglich ist, wird auf Basis der vorhandenen Informationen eine Experteneinschätzung vorgenommen, um Fahrfehler nach ihrem Einsparpotential zu priorisieren.

Dadurch gelingt es, den Umfang von ursprünglich 150 Fahrsituationen auf ungefähr 30 relevante Fahrsituationen zu reduzieren.

Für diese geringere Zahl relevanter Fahrsituationen werden Anforderungen an Funktionen beschrieben, die die jeweilige Fahrsituation und die in der Fahrsituation möglichen Fahrfehler erkennen können. Als Grundlage für die Formulierung der Anforderungen werden die im priorisierten Situationskatalog erarbeiteten Informationen herangezogen und fehlende Daten durch Fahrversuche und Simulationen ergänzt. In einem abschließenden Expertenreview werden die Einheitlichkeit und Vollständigkeit der Anforderungsbeschreibungen überprüft.

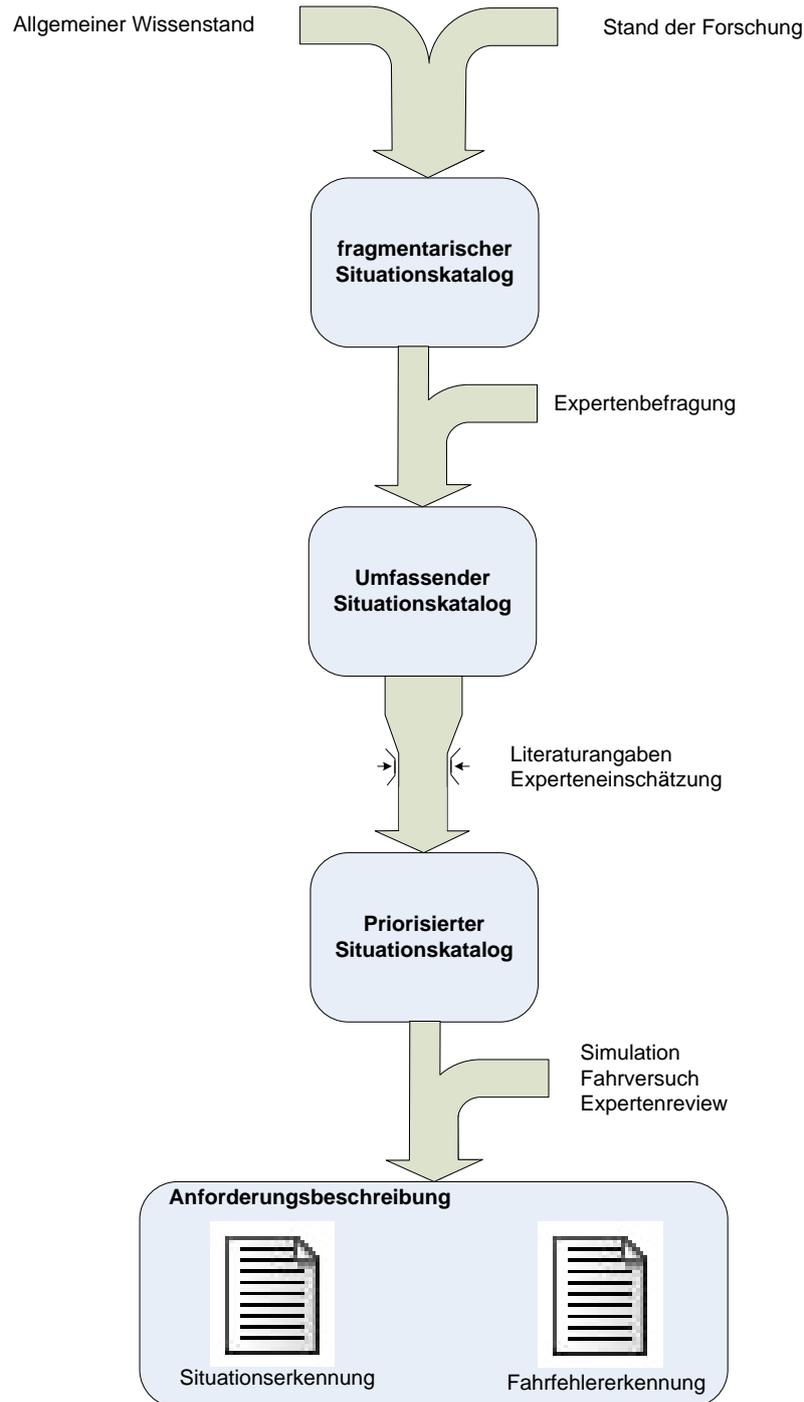


Abbildung 7: Methodisches Vorgehen zur Identifikation von Anforderung zur Situations- und Fahrfehlererkennung [Hey12].

Zur übersichtlichen Gliederung lassen sich die Fahrfehler in die Bereiche der Fahrzeugführung, der Fahrweise und der Fahrzeugbedienung einordnen (Abbildung 8). Der Virtuelle Fahrtrainer gibt vorausschauende Fahrhinweise und Hinweise zur Verbesserung des Fahrstils. Die vorausschauenden Fahrhinweise helfen dem Fahrer, frühzeitig auf die Topografie, Infrastruktur und andere Verkehrsteilnehmer zu reagieren. Zur Verbesserung des Fahrstils wird die Fahrweise des Fahrers analysiert. Dabei wird beobachtet, wie der Fahrer die Geschwindigkeit des Fahrzeugs beeinflusst (z. B. Nutzung der

Geschwindigkeitsregelanlage, Einhaltung einer maximalen Reisegeschwindigkeit), wie der Motor betrieben wird (z. B. Motor im Stillstand abstellen, bei Handschaltfahrzeugen im verbrauchsgünstigen Drehzahlbereich fahren) und das Bremssystem und Kupplung verschleißgünstig betätigt wird (z. B. Einsatz des Retarders bei leichter Verzögerung, verschleißarmes Schließen der Kupplung) [Hip13].

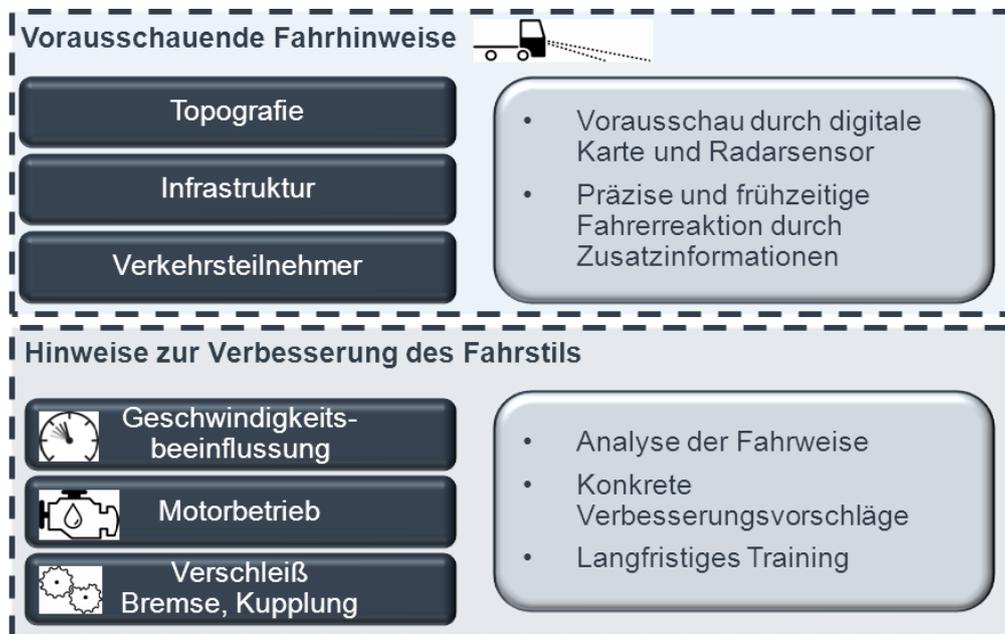


Abbildung 8: Einteilung der Fahrhinweise in vorausschauende Fahrhinweise und Hinweise zur Verbesserung des Fahrstils [Hip13].

II.2 AP2 Fahranalyse

Für die Fahranalyse und die weiteren Entwicklungsarbeiten werden die Einzelfunktionen des Virtuellen Fahrtrainers in die Kategorien vorausschauendes Fahren, Fahrweise, Fahrzeugbedienung und Handschaltempfehlungen eingeteilt. Die MAN Truck & Bus AG konzentrierte sich schwerpunktmäßig auf das vorausschauende Fahren und Handschaltempfehlungen.

Für die Durchführung der Situationserkennung wurde von der MAN Truck & Bus AG eine Systematik zur Situationseinteilung entwickelt und darauf aufbauend eine Methode vorgeschlagen, wie Fahrdaten strukturiert analysiert und daraus die notwendige algorithmische Informationsverknüpfung abgeleitet werden kann (Abbildung 9).

Für die Fahranalyse wurde ein Messtrecke ausgewählt, die eine möglichst vollständige Abdeckung unterschiedlicher Fahr- und Verkehrssituationen verspricht und mit einem Fernverkehrs-Zugmaschine des Typs MAN TGX 18.440 mit voll beladenden Auflieger befahren (Abbildung 10).

II.2.1 Systematik der Situationseinteilung

Nach Fastenmeier [Fas95] [Fas07] wurde eine Unterteilung der Gesamtsituation in Verkehrssituation und Fahrsituation vorgenommen, wodurch eine Situationsklassifikation durch Analyse weniger komplexer Teilsituationen ermöglicht wird.

Als Grundlage für die Beschreibung der **Verkehrssituation** wird die Taxonomie nach FASTENMEIER [Fas95] verwendet. Dadurch lassen sich die statischen Elemente der Gesamtsituation systematisch beschreiben.

Eine ähnliche Systematik zur Einteilung von **Fahrsituationen** ist in der Literatur nicht zu finden und muss für den Virtuellen Fahrtrainer entwickelt werden. Dabei wird ein besonderes Augenmerk auf eine modulare Aufteilung gelegt, um Entwicklungen der Projektpartner nahtlos zusammenführen zu können. Hierfür wird das Konzept der Situationsvariablen nach v. BENDA [Ben83] modifiziert. Eine Situationsvariable stellt darin die kleinste, unabhängige Beschreibungseinheit einer Situation dar. Die jeweiligen Situationen können durch Kombination der Ausprägungen ihrer Situationsvariablen vollständig beschrieben werden. Dies hat den Vorteil, dass die Ausprägungen der Situationsvariablen nur einmalig in einem vorgelagerten Funktionsblock erkannt werden müssen. Die nachgelagerte Situationserkennung muss dann die Situationsvariablen geeignet verknüpfen, um die jeweilige Situation festzulegen.

II.2.2 Durchführung der Fahranalyse

Raudszus [Rau11, S.30] entwickelte im Rahmen des Projekts eine Methode, die Fahranalyse systematisch durchzuführen (Abbildung 9).

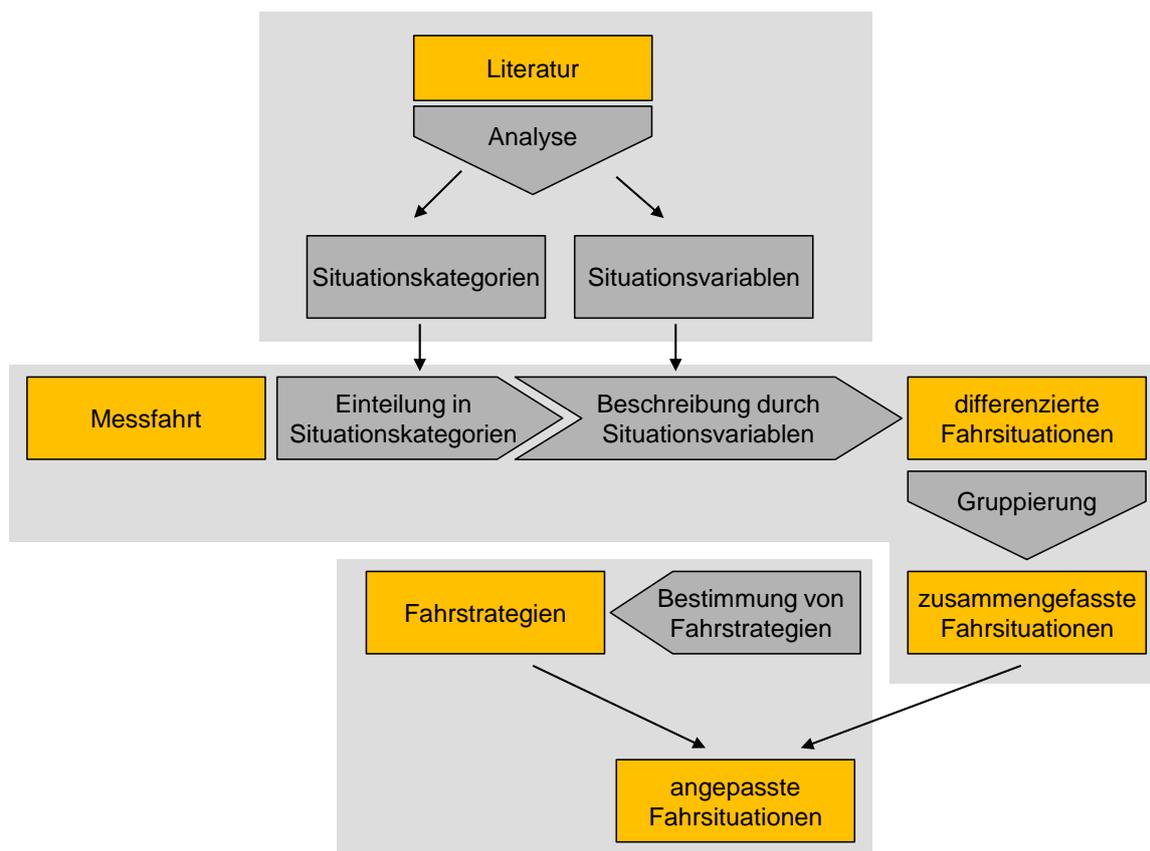


Abbildung 9: Methodisches Vorgehen zur Fahrsituationseinteilung [Rau11, S.31]

Dafür werden zunächst aus der Literatur bekannte Situationseinteilungen analysiert und Situationskategorien und Situationsvariablen abgeleitet. Damit können Messfahrten systematisch eingeteilt und differenzierte Fahrsituationen über die alle auftretenden

Kombinationen der Situationsvariablen gefunden werden. Die differenzierten Fahrsituationen werden gruppiert und dadurch zusammengefasste Fahrsituationen gefunden. Im letzten Schritt werden die kraftstoffeffizienten Fahrstrategien mit den zusammengefassten Fahrsituationen abgeglichen und daraus ein endgültiger Satz an angepassten Fahrsituationen gefunden [Rau11, S.31].

Für die Fahranalyse wurde eine Messstrecke ausgewählt, die eine möglichst vollständige Abdeckung unterschiedlicher Fahr- und Verkehrssituationen ermöglicht und mit einer Fernverkehrs-Zugmaschine des Typs MAN TGX 18.440 mit voll beladendem Auflieger befahren (Abbildung 10).



Abbildung 10: Verlauf der Messstrecke [Goo12]

Die Anwendung der Methode wird am Beispiel eines Fahrhinweises bei einer Folgesituation exemplarisch gezeigt. Nach der Literaturanalyse bieten sich für die Beschreibung der relevanten Situationskategorie „Folgen“ die Situationsvariablen

- Beziehung zum Vorderfahrzeug
- Geschwindigkeit des Vorderfahrzeugs
- Beschleunigung des Vorderfahrzeugs
- Überholabsicht

an.

Die Messdaten werden hinsichtlich ihrer Situationsvariablen klassifiziert. Dazu werden die Ausprägungen der Situationsvariablen zu differenzierten Fahrsituationen kombiniert (Tabelle 1).

	Beziehung zum VF	Geschwindigkeit des VF	Beschleunigung des VF	Überholabsicht
Fahrsituation 18: <i>Nahes Folgen</i>	Nahes Folgen	Hoch	Konstante Geschwindigkeit	Keine Überholabsicht
Fahrsituation 19: <i>Fernes Folgen</i>	Fernes Folgen	Gering	Konstante Geschwindigkeit	Keine Überholabsicht
Fahrsituation 20: <i>Unkonstantes Folgen</i>	Nahes Folgen	Hoch	Unkonstante Geschwindigkeit	Keine Überholabsicht

Tabelle 1: Häufigste Kombinationen von Situationsvariablen in der Situationskategorie Folgen [Rau11, S. 44]

Von den theoretisch 36 möglichen Kombinationsmöglichkeiten treten nur 6 Kombinationen auf der Messstrecke auf (Abbildung 11), wobei die Fahrsituationen 21, 22 und 23 jeweils den Fahrsituationen 18, 19 und 20 zugeordnet werden können.

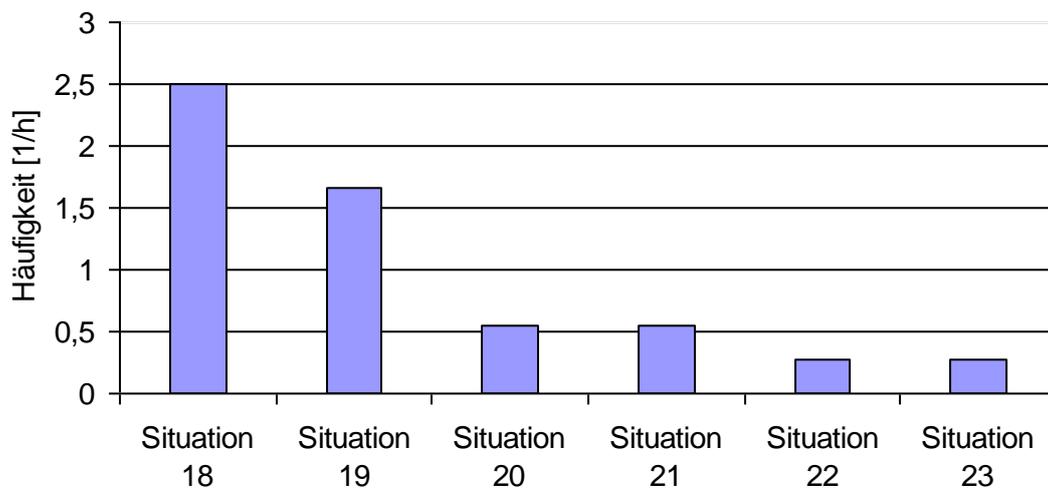


Abbildung 11: Häufigkeit von Fahrsituationen in der Situationskategorie Folgen [Rau11, S.42]

II.3 AP3 Sensorik

Für die Funktionsweise des Virtuellen Fahrtrainers wird digitalen Karten zur vorausschauenden Topografieerkennung eine große Bedeutung zugemessen. Daher wurde die Qualität von digitalen Karten zu bewerten.

Die MAN Truck & Bus AG nahm dafür mit führenden Kartenherstellern Kontakt auf. Ziel war es, festzustellen, in welchem Umfang und Qualität ausgewählte Kartenattribute zur Verfügung stehen.

Für weitergehende Untersuchungen wurden Steuergeräte zur Ausgabe der vor dem Fahrzeug liegenden Kartenattribute in einen Versuchsträger integriert. In umfangreichen Versuchen wurde die Qualität der Topografie- und Infrastrukturdaten analysiert.

Als Ergebnis kann festgestellt werden, dass der in kommerziellem Kartenmaterial hinterlegte vorausliegende Steigungsverlauf sich eignet, die Fahrzeugreaktion zu präzisieren. Ebenfalls sind Informationen zu Infrastrukturobjekten in ausreichender Abdeckung und Qualität vorhanden, um vorausschauende Fahrhinweise zu berechnen.

Ein Abgleich vorhandener Fahrzeugsensorik mit den Anforderungen aus der Fahranalyse ergab, dass die vorhandenen Sensoren den Genauigkeitsanforderungen der Situations- und Fahrfehlererkennung genügen und nur digitales Kartenmaterial zusätzlich in den Sensorverbund integriert werden muss.

II.3.1 Topografiedaten

II.3.1.1 Abdeckung

Es wurde damit begonnen, die in dem Kartenmaterial zur Verfügung stehenden Steigungsdaten einer Offline-Analyse zu unterziehen. Ziel der Untersuchung ist es, die Genauigkeit und die Abdeckung von Steigungsdaten zu beurteilen. Hierzu werden Referenzdaten mit einer hochgenauen Kreiselplattform aufgenommen und mit den Steigungsdaten einzelner digitaler Karten verglichen.

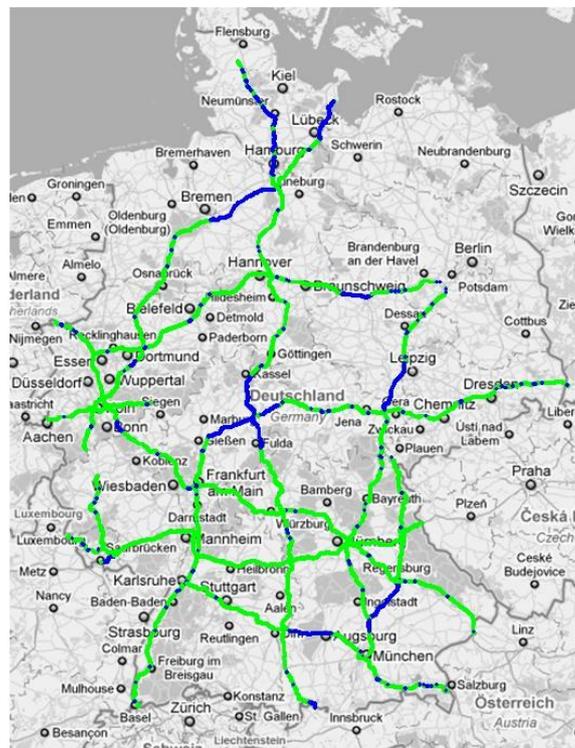


Abbildung 12: Ergebnis einer Offline-Analyse von Kartenmaterial zur Bestimmung der Verfügbarkeit von Steigungsdaten auf einem Teil des deutschen Autobahnnetzes. Abschnitte in blauer Farbe stellen Datenlücken dar.

II.3.1.2 Steigungsgenauigkeit

In weiteren Untersuchungen werden die bisher nur offline analysierten digitalen Kartendaten in einen Versuchsträger integriert und die echtzeitfähige Bereitstellung der vor dem Fahrzeug liegenden Topografie erprobt.

Hierzu wurden zwei fahrzeugtaugliche Steuergeräte, die jeweils auf unterschiedliche kommerziell erhältliche Datenbasen zurückgreifen, in einen Versuchsträger integriert. Damit können die Daten der beiden derzeit am Markt befindlichen relevanten Kartendatenhersteller direkt verglichen werden.

Die Steuergeräte werden über den neuen Standard ADASISv2 an die Fahrzeuginfrastruktur angekoppelt. ADASISv2 ist eine Spezifikation eines Protokolls, um den vorausliegenden Straßenverlauf, insbesondere die Fahrbahnsteigung, mittels definierter Attribute zu charakterisieren. Für die Bereitstellung der Steigungsdaten für die Funktionen des Virtuellen Fahrtrainers wurde ein ADASISv2-Rekonstruktor entwickelt, der das Protokoll interpretiert und es für weitere Berechnungen zugänglich macht.

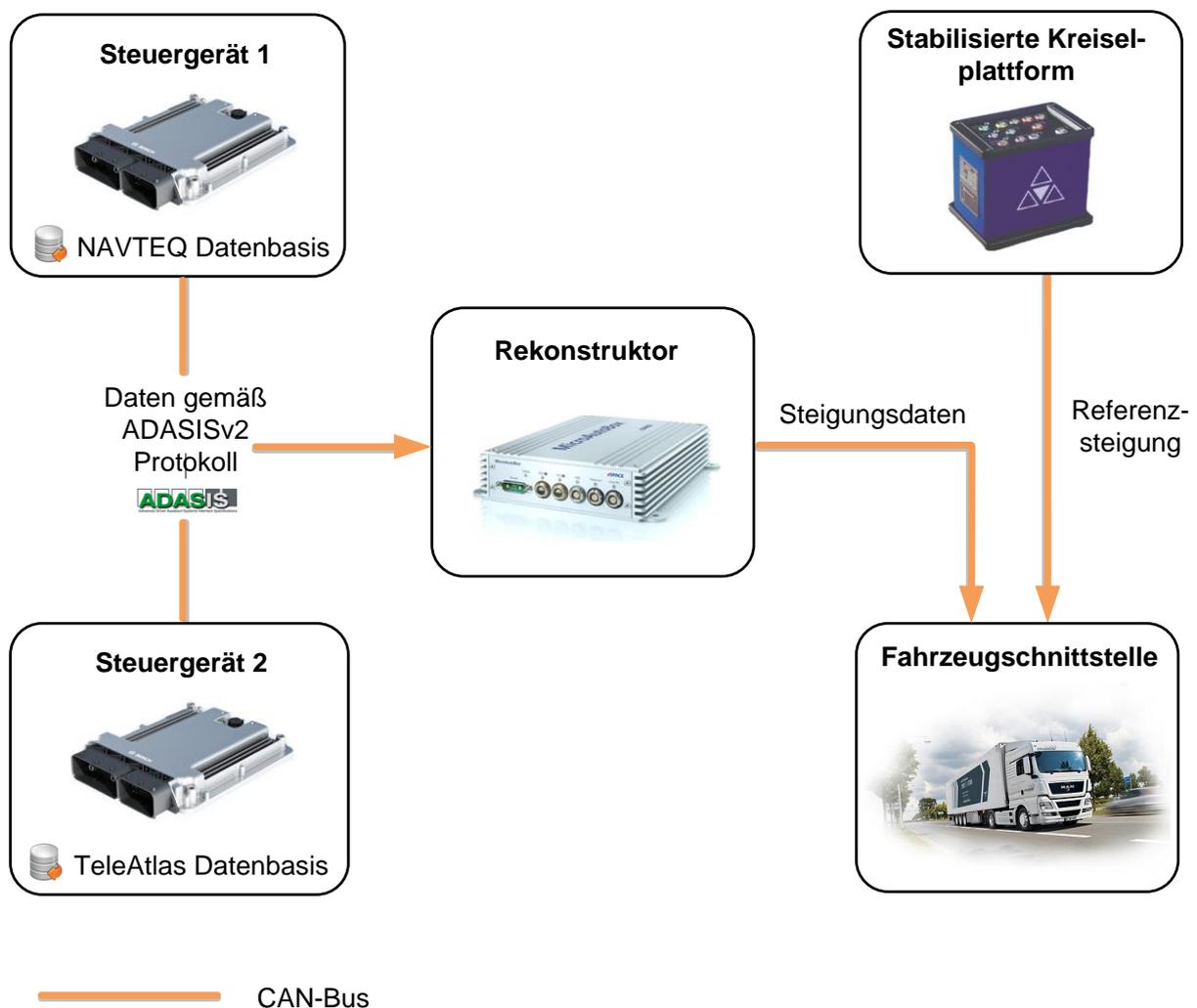


Abbildung 13: Vernetzung der Steuergeräte im Versuchsträger. Die Datenbanken der Kartenhersteller werden durch Softwareroutinen gemäß dem ADASISv2-Protokoll in den Steuergeräten codiert und mittels CAN-Bus übertragen. Der entwickelte Rekonstruktor interpretiert diese Daten und gibt sie in für die Anwendung aufbereiteter Form an das Fahrzeug weiter.

Für die Bewertung der Steigungsdaten wurden die funktionalen Anforderungen an die Steigungsdaten in Expertengesprächen definiert und die Auswertung wird dahingehend abgestimmt. Demnach muss ermittelt werden, auf welchem Streckennetz die Steigungsdaten bereitgestellt werden können und ob vor allem die im Fernverkehr befahrenen Strecken abgedeckt sind. Diese Information dient der Abschätzung des Wirkpotentials der vorausschauenden Fahrzeugfunktionen und damit auch der Argumentation gegenüber dem Kunden.

Die auf den Strecken vorhandenen Steigungsdaten müssen in einer für die Fahrzeugfunktionen ausreichenden Genauigkeit vorliegen. Dabei ist nicht nur die Abweichung der Steigungsdaten bezüglich einer Referenz von Bedeutung, sondern es ist ebenso wichtig, dass die Position von topografischen Elementen wie Kuppen und Senken richtig zugeordnet wird. Im Hinblick auf zeitkritische Anwendungen gilt es ferner zu untersuchen, wie schnell Steigungsdaten nach dem Verlassen der von den Steuergeräten vorausberechneten Route bereitgestellt werden können.

Zur Referenzmessung werden derzeit typische Fernverkehrsstrecken mit dem Versuchsträger abgefahren und mittels einer mit DGPS stabilisierten Kreiselplattform hochgenaue Referenzdaten aufgenommen. Für die Überprüfung wurden Messfahrten über eine Strecke von circa 4000 km durchgeführt, wobei für ca. 3000 km auswertbares Datenmaterial gewonnen werden konnte.

Abbildung 14 zeigt die prozentuale Aufteilung der gefahrenen Strecke untergliedert nach den einzelnen Kategorien. Insbesondere der Autobahnanteil entspricht mit 80 % ungefähr dem Einsatzprofil des nationalen Fernverkehrs laut Umfrage des Bundesverbandes für Güterkraftverkehr, Entsorgung und Logistik e.V.

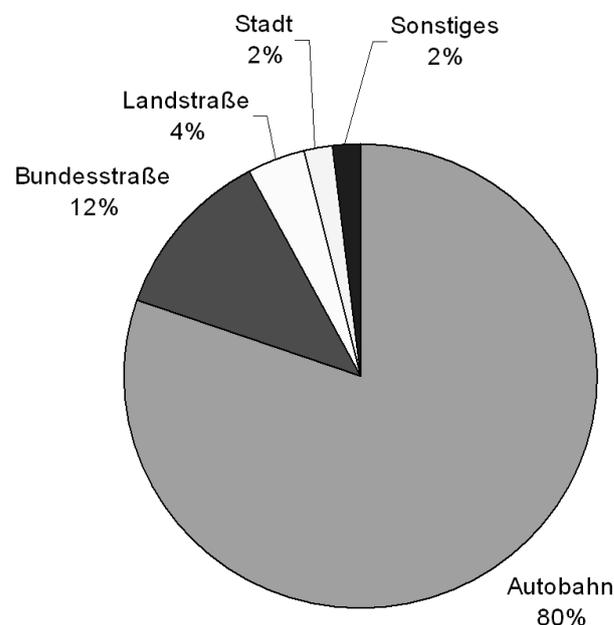


Abbildung 14: Prozentuale Zusammensetzung der gefahrenen Strecke

Auf den in Abbildung 15 ausgewerteten Streckenabschnitten konnte bei beiden Kartenherstellern eine Abdeckung von über 90 % ermittelt werden. Dies kann für die Umsetzung des Virtuellen Fahrtrainers als ausreichend angesehen werden.

Ebenfalls wird die Steigung mit einem Fehler von 0,2 Steigungsprozenten hinreichend genau in den Karten abgebildet.

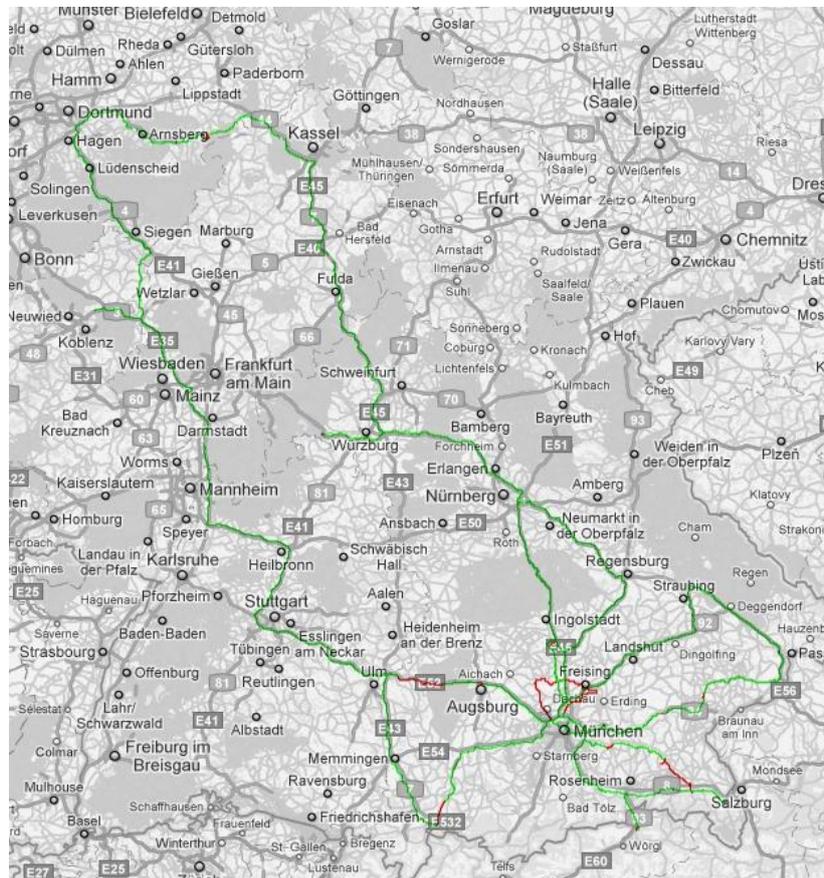


Abbildung 15: Streckenabdeckung der Steigungsdaten (grün: Steigungsdaten verfügbar, rot: keine Steigungsdaten verfügbar)

II.3.2 Infrastrukturdaten

In einem ersten Schritt wurden die geschwindigkeitsbeeinflussenden Infrastrukturelemente auf einer etwa 400 km langen repräsentativen Referenzstrecke messtechnisch erfasst. Dabei konnten 260 für infrastrukturbedingte Geschwindigkeitsbegrenzungen bestimmt werden (Abbildung 16).

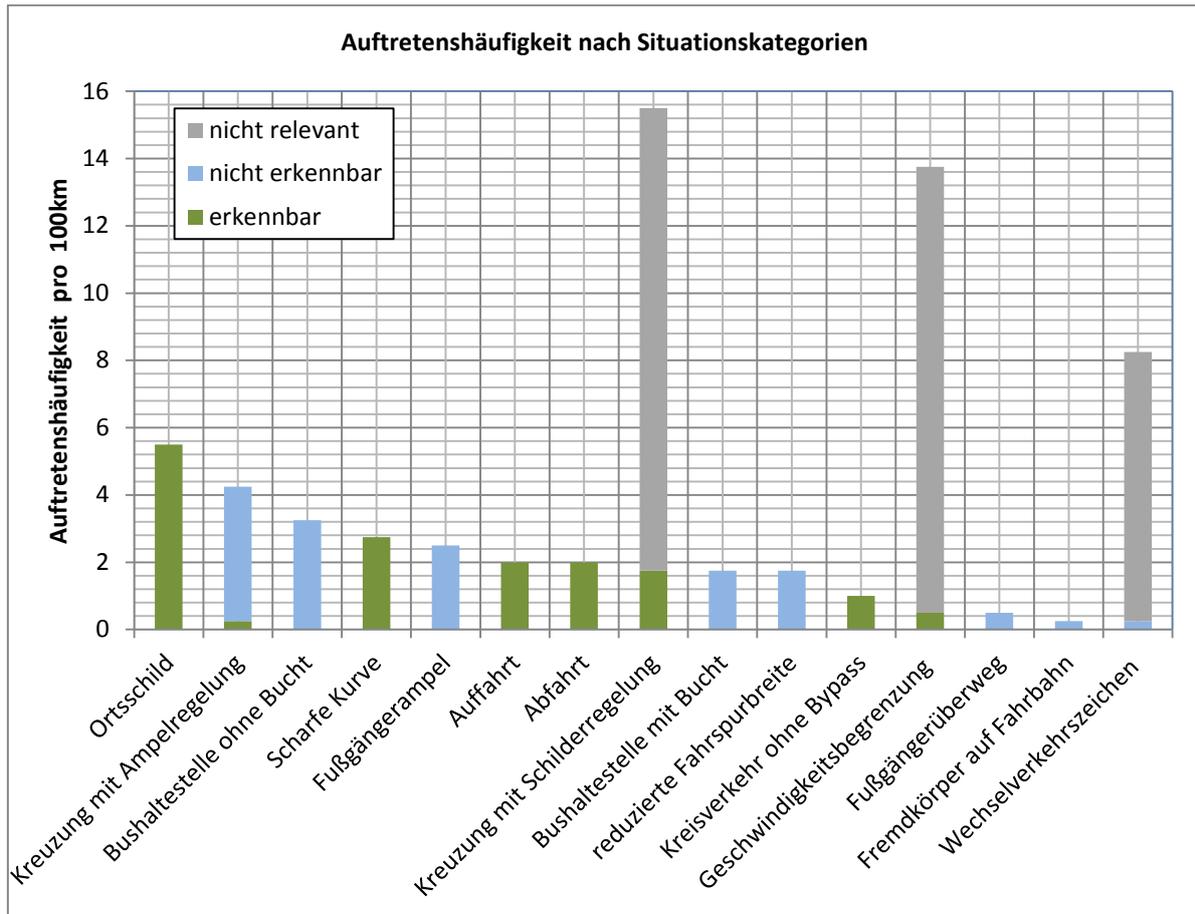


Abbildung 16: Verteilung der aufgetretenen Situationskategorien infrastrukturbedingter Geschwindigkeitsbegrenzungen und ihre Einteilung in Situationen, die keine zusätzliche Geschwindigkeitseinschränkung darstellen (grau), nicht mit derzeitigem statischem Kartenmaterial erkennbar sind (blau) oder die mit den Attributen des statischen Kartenmaterials eine Prädiktion der Höchstgeschwindigkeit zulassen (grün).

Dabei ist ein Teil der Situationen nicht für schwere Nutzfahrzeuge relevant. Liegen die Geschwindigkeitsbegrenzungen nicht unter den gesetzlich vorgeschriebenen Höchstgeschwindigkeiten (Autobahn 80 km/h, Überlandstraße 60 km/h), stellen diese keine zusätzliche Einschränkung dar. Ebenfalls haben vorfahrtsberechtignte, schildergeregelte Kreuzungen in der Regel keinen Einfluss auf die Geschwindigkeitswahl.

Von den verbleibenden Situationen lässt sich ein weiterer Teil mittels statischen Kartenmaterials nicht erkennen. Dies betrifft insbesondere ampelgeregelte Kreuzungen, die nur dann sicher als geschwindigkeitsbeeinflussend erkannt werden können, wenn ein Abbiegevorgang abzusehen ist.

Ebenso lassen dynamisch genutzte Infrastrukturelemente, wie Bushaltestellen, Fußgängerampeln und Fußgängerüberwege, keine Prädiktion der Höchstgeschwindigkeit zu.

Denkbar ist, dass zukünftig Fahrspurverengungen in statischen Karten abgelegt werden. Jedoch sind sie in den derzeit kommerziell erhältlichen Daten nicht enthalten.

Für die verbleibenden Situationen stellt das statische Kartenmaterial Attribute bereit, die es erlauben, eine Fahrzeugmaximalgeschwindigkeit zu präzisieren:

- **Ortsschild / Geschwindigkeitsbegrenzung:** Ortsschilder und unter der generell zulässigen Höchstgeschwindigkeit liegende Geschwindigkeitsbegrenzungen werden zur Bestimmung der Fahrzeugmaximalgeschwindigkeit herangezogen.
- **Abbiegevorgang:** Kann aus der navigierten Route abgeleitet werden, dass an einer vorausliegenden Kreuzung ein Abbiegevorgang zu erwarten ist, so wird die Fahrzeugmaximalgeschwindigkeit für den Abbiegevorgang in Abhängigkeit des Abbiegewinkels ermittelt.
- **Stoppschild:** Wird die Vorfahrt eine schildergeregelte Kreuzung durch ein Stoppschild geregelt, kann das Fahrzeug frühzeitig an eine niedrige Geschwindigkeit herangeführt werden.
- **Scharfe Kurve:** In Abhängigkeit des Kurvenradius lässt sich die Fahrzeugmaximalgeschwindigkeit ableiten.
 - Kreisverkehr: Ein Kreisverkehr stellt einen Sonderfall einer engen Kurve dar, auf den der Fahrer gesondert hingewiesen wird.
 - Abfahrt: Bei Abfahrten wird die Fahrzeugmaximalgeschwindigkeit vom Kurvenradius am Ausgang des Verzögerungsstreifens bestimmt. Hierbei muss die Ausrollstrategie die Nutzung des Verzögerungsstreifens mit einbeziehen, um Behinderungen nachfolgender Fahrzeuge zu vermeiden.
 - Auffahrten: Auffahrten werden analog einer scharfen Kurve behandelt.

II.4 AP4 Mensch-Maschine-Schnittstelle

Die Akzeptanz eines virtuellen Fahrtrainers hängt maßgebend von der Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle ab. Nur wenn der Fahrer die Hinweise motivierend und nicht als störend oder bevormundend empfindet, wird er auch bereit sein, sie zu befolgen.

Die Arbeiten der MAN Truck & Bus AG konzentrierten sich auf der Definition und Gestaltung des Anzeigeconzepts. Im Gegenzug legte der Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München seinen Schwerpunkt auf die Auslegung der Filter- und Priorisierungsstrategie. So konnten beide Partner die Arbeiten fokussiert und effizient durchführen. Durch einen reger Austausch gelang es, die spezifischen Fragestellungen aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu betrachten und ein gemeinsames Verständnis der Mensch-Maschine-Schnittstelle aufzubauen.

Für die Definition des Anzeigeconzepts wurden zuerst von der MAN Truck & Bus AG die Anforderungen und die grundlegende Motivation der Fahrer im Rahmen einer Fokusgruppe ermittelt. Als zentraler Aspekt wurde dabei der Präzisionsgrad der Fahrhinweise genannt. Diese Fragestellung zur konkreten Ausgestaltung der Fahrhinweise wurde in einen Probandenversuch geklärt.

Darauf aufbauend wurden unterschiedliche Darstellungskonzepte der Fahrhinweise entworfen und iterativ ein Konzept ausgewählt, das den Anforderungen nach einfacher Verständlichkeit und ausreichender Informationsübermittlung genügt.

Die eigentliche Darstellung der Fahrhinweise erfolgt über ein Tertiärdisplay. Für dieses Anzeigegerät wurden Softwarealgorithmen entwickelt, die eine Schnittstelle zu dem Fahrzeugsteuergeräteverbund bereitstellen und die Fahrhinweise zur Anzeige bringen. Diese Arbeiten erfolgten teilweise im Rahmen eines Unterauftrags.

II.4.1 Sammlung von Anforderungen

Für die Bestimmung von Anforderungen für die Schnittstellengestaltung wurde im ersten Schritt ein grundlegendes Verständnis der Beweggründe für die Nutzung des Virtuellen Fahrtrainers durch eine qualitative Studie geschaffen.

Es ist davon auszugehen, dass ein technisches System zur Unterstützung der wirtschaftlichen Fahrweise nur dann dauerhaft genutzt wird, wenn es einen langfristigen Nutzen verspricht. Um zu einem Verständnis für die Beweggründe für die Nutzung zu gelangen, wurde von Kornberger [Kor12] im Rahmen des Projekts ein strukturiertes Expertengespräch in Form einer Fokusgruppe mit den zukünftigen Systemnutzern durchgeführt. Diese Art der qualitativen Studie bewährt sich vor allem, wenn zu einem spezifischen Thema die Gedanken und Gefühle von Personen identifiziert und Meinungen, Einstellungen, Wahrnehmungen und Ideen gesammelt werden sollen [Kor12, S.40] [Kru94].

Für die Fokusgruppe wurden 5 Berufskraftfahrer und 1 Spediteur eingeladen und die folgenden Fragestellungen diskutiert:

- Wie ist die generelle Einstellung der Teilnehmer zum Virtuellen Fahrtrainer?
- In welchen Fahrsituationen ist eine Unterstützung besonders sinnvoll?
- Welche Faktoren beeinflussen die Motivation ein solches System zu nutzen?

Die insgesamt dreistündige Diskussion wurde durch Mitschriften sowie Audio- und Videoaufnahmen dokumentiert.



Abbildung 17: Teilnehmer der Fokusgruppe [Kor12].

Bei der Ermittlung der generellen Einstellung zu einem virtuellen Fahrtrainer wird vom Konstrukt der wahrgenommenen Nützlichkeit ausgegangen. Nach Davis [Dav89a, S.319f] beschreibt es „das subjektive Empfinden einer Person, dass die Anwendung einer Technologie ihre Arbeitsleistung verbessert“. Mehrere Autoren [Hsu07, S.1642ff] [Moo01, S.217ff] [Ven00, S.186ff] sehen darin den zentralen Aspekt der extrinsischen Motivation und schreiben der wahrgenommenen Nützlichkeit eine große Vorhersagekraft für die Nutzung von Systemen zu [Kor12].

Demnach ist bei der Entwicklung des Virtuellen Fahrtrainers eine Maximierung der wahrgenommenen Nützlichkeit anzustreben. Um aus dem Konstrukt der wahrgenommenen Nützlichkeit Aussagen für die Gestaltung des Virtuellen Fahrtrainers zu gewinnen, werden die Determinanten der wahrgenommenen Nützlichkeit gemäß dem Technikakzeptanzmodell [Ven00, S.186ff] bestimmt (Abbildung 18).

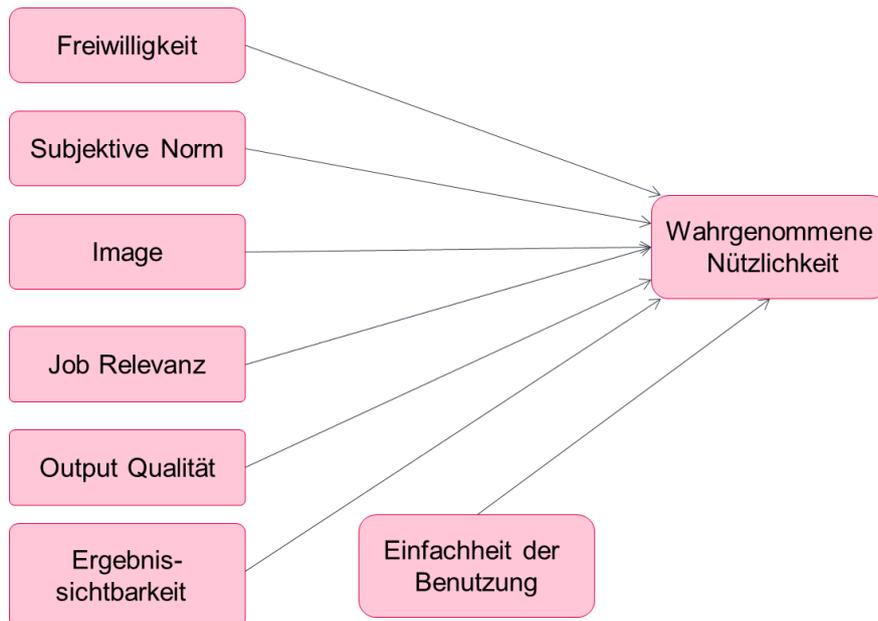


Abbildung 18: Technikakzeptanzmodell [Ven00, S.186ff].

Die Determinanten der wahrgenommenen Nützlichkeit wurden durch die Teilnehmer der Fokusgruppe während der Diskussion bewertet. Dabei lässt sich feststellen, dass den sozialen Faktoren wie subjektive Norm, Freiwilligkeit oder Image nur eine kleine Rolle beigemessen wird. Insbesondere der Aspekt der Freiwilligkeit wird nicht hinterfragt, sondern eine Nutzung des Systems als Pflichtaufgabe angesehen. Wesentlich sind dagegen die instrumentellen Faktoren:

- **Job-Relevanz:** Den Fahrern ist bewusst, dass sie durch ihre Fahrweise Einfluss auf die Kosten ihres Arbeitgebers nehmen. Jedoch wird dies nur dann für sie „job-relevant“, wenn der Arbeitgeber auf eine wirtschaftliche Fahrweise Wert legt und dies auch überprüft und gegebenenfalls sanktioniert.
- **Output-Qualität:** Die Qualität der Systemmeldung ist zentral und wird verstanden als Präzisionsgrad der Meldung
- **Einfachheit der Bedienung:** Einfache und unkomplizierte Umsetzung wird vorausgesetzt
- **Ergebnissichtbarkeit:** Die Auswertung des Fahrverhaltens interessiert nur sekundär

Aus den Ergebnissen der Fokusgruppe lassen sich für die Auslegung des Virtuellen Fahrtrainers folgende Anforderungen ableiten:

1. Eine korrekte Umsetzung der Fahrhinweise muss einen signifikanten Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit haben und dem Fahrer die Sicherheit geben, eine gute Bewertung bei seinem Arbeitgeber zu erzielen.
2. Die Fahrhinweise müssen zeitgerecht zur richtigen Situation ausgegeben werden
3. Der Meldungsinhalt muss eine präzise Umsetzung zulassen.
4. Der Fahrtrainer muss einfach zu bedienen sein.

Für die Erfüllung der ersten beiden Anforderungen ist in erster Linie die richtige Funktionalität der Fahrfehlererkennung verantwortlich. Die beiden letzten Anforderungen betreffen die Mensch-Maschine-Schnittstelle und werden im Folgenden näher ausgeführt.

II.4.2 Abstraktionsniveau der Fahrhinweise

Bei der Anforderungsermittlung wurde insbesondere die Präzision der Systemmeldungen als entscheidender Motivator identifiziert. Für die Gestaltung der Fahrerschnittstelle ergab sich daraus die Fragestellung, welches Abstraktionsniveau sich für Anwendung des Virtuellen Fahrtrainers hinsichtlich Umsetzungsgenauigkeit besonders eignet.

Prinzipiell lassen sich zwei Arten von Fahrhinweisen darstellen:

- **Bedienebene:** Der Fahrhinweis teilt dem Fahrer mit, welche Bedienelemente er betätigen muss, um kraftstoffeffizient zu fahren. Durch diese sehr präzisen Anweisungen auf Bedienebene muss der Fahrer den Fahrhinweis nicht weiter interpretieren, doch dies setzt auch systemseitig ein sehr detailliertes Situationswissen voraus.
- **Manöverebene:** Fahrhinweise werden auf einer höheren Abstraktionsebene übermittelt und dem Fahrer wird ein Manöver vorgeschlagen, das sich aus mehreren Bedienschritten zusammensetzen kann. Dem Fahrer fällt die Aufgabe zu, die notwendigen Handlungsschritte aus dem Manöverschlag abzuleiten und umzusetzen. Es ist zu erwarten, dass dieser Denkprozess die Ausführung verzögert oder auch zu fehlerhaften Bedienschritten führen kann. Jedoch lässt sich vermuten, dass ein größerer Lerneffekt erzielt werden kann, da eine intensivere Auseinandersetzung mit dem situativen Geschehen gefördert wird.

Abbildung 19 zeigt diesen Unterschied im Abstraktionsniveau am Beispiel einer Folgesituation. Im Allgemeinen ist es wirtschaftlich, einen größeren Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug aufzubauen. Dadurch ergeben sich zusätzliche Handlungsspielräume, um auf Geschwindigkeitsänderungen des Vorderfahrzeugs wirtschaftlich zu reagieren. Um einen größeren Abstand zum Vorderfahrzeug aufzubauen, sollte der Fahrer möglichst während Geschwindigkeitsspitzen des Vorderfahrzeugs mit einer niedrigeren, konstanten Geschwindigkeit folgen. Ein Fahrhinweis auf Bedienebene gibt in diesem Fall konkret an, den Tempomat auf eine bestimmte Geschwindigkeit zu setzen. Auf Manöverebene bekommt der Fahrer die Aufgabe gestellt, den Abstand zu vergrößern. Die Umsetzung dieses Manövers bleibt dem Fahrer überlassen und kann je nach Situation unterschiedlich ausfallen.



Abbildung 19: Fahrhinweise auf unterschiedlichem Abstraktionsniveau. Auf dem linken Bild wird der Fahrer zu einer Bedienhandlung aufgefordert, während im rechten Bild ein Fahrmanöver umgesetzt werden soll.

Zur Klärung dieser Fragestellung wurde an einem Prüfstand der MAN Truck & Bus AG ein Probandenversuch mit 27 Teilnehmern durchgeführt und dabei überprüft, welches Abstraktionsniveau sich für die Anwendung des Virtuellen Fahrtrainers hinsichtlich Umsetzungsgenauigkeit und langfristigem Lernerfolg besser eignet [Kor12, S. 61].



Abbildung 20: Ein Proband am Prüfstand der MAN Truck & Bus AG [Kor12, S. 63]

Um unterschiedliche Bewertung durch unterschiedliche optische Gestaltung auszuschließen, wurden die Systemmeldungen nur textuell dargestellt (Abbildung 21:Abbildung 21). Die Probanden durchfuhren jeweils zweimal eine identische Versuchsstrecke mit acht für den Virtuellen Fahrtrainer relevanten Situationen und wurden jeweils entweder mit präzisen oder unpräzisen Fahrhinweisen konfrontiert.

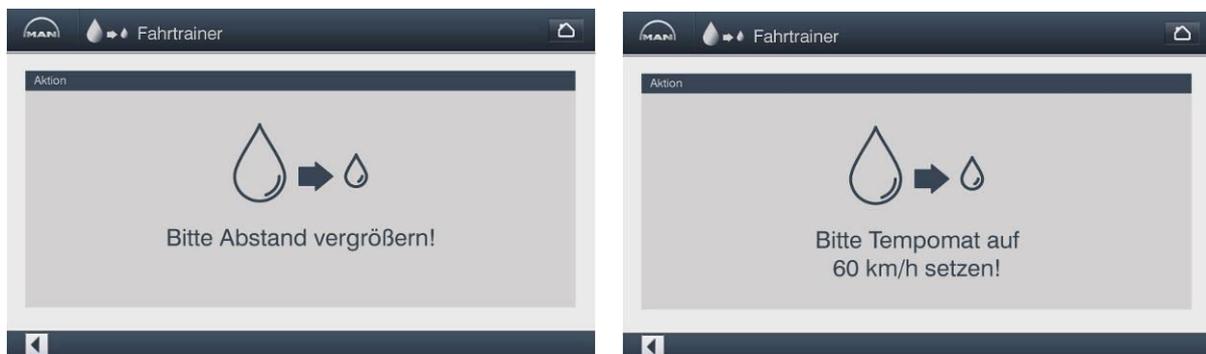


Abbildung 21: Exemplarischer Fahrhinweis auf Bedienebene (links) und auf Manöverebene (rechts)

Die zentrale Fragestellung der Meldungspräzision wurde in zwei Hypothesen operationalisiert [Kor12, S.72f]:

- H1: „Je präziser die Systemmeldungen, desto höher die wahrgenommene Nützlichkeit des Systems“
- H2: „Je präziser die Systemmeldungen, desto höher die Kraftstoffeffizienz“

Die wahrgenommene Nützlichkeit wurde mittels einer der TAM2-Skala erfasst [Ven00]. Für die Bestimmung der Kraftstoffeffizienz wurde auf die Verbrauchsdaten des Prüfstands zurückgegriffen und für die jeweiligen Situationen der situative Verbrauch bestimmt.

Durch den Versuch konnte die Hypothese H1 nicht signifikant bestätigt werden. Aus Fahrersicht unterscheidet sich die Meldungspräzision hinsichtlich wahrgenommener Nützlichkeit nicht. Jedoch konnte Hypothese H2 bestätigt werden. Durch eine präzise Handlungsanweisung gelingt es den Fahrern einen niedrigeren situativen Verbrauch zu erzielen. Insbesondere die Handlungsanweisung dem Vorderfahrzeug in größerem Abstand zu folgen konnte von den Fahrern nicht vollständig im gewünschten Maß umgesetzt werden. Erst durch die konkrete Geschwindigkeitsvorgabe gelang es den gewünschten kraftstoffsparenden Effekt zu erzielen.

Für die Systementwicklung leitet sich daraus ab, dass die Meldungen einen möglichst hohen Präzisionsgrad aufweisen müssen und den Fahrer zu konkreten Bedienhandlungen auffordern sollten. Dies stellt jedoch auch erhöhte Anforderungen an die Situations- und Fahrfehlererkennung, die diese präzisen Informationen in hoher Robustheit zur Verfügung stellen muss.

II.4.3 Meldungsinhalte

Aus systemergonomischer Sicht ist für den Lernerfolg entscheidend, die durchzuführende Handlung sowie die zugrundeliegende Begründung für die Handlung zu übermitteln [Moh13, S. 105]. In der automobilen Anwendung muss darüber hinaus eine schnelle Erfassbarkeit der Informationen sichergestellt werden [Man00, S.9]. Deshalb wurde eine großflächige Darstellung der Informationen angestrebt und der Handlungshinweis und die dazugehörige Begründung wurden jeweils mit intuitiv erfassbaren Symbolen visualisiert.



Abbildung 22: Anzeige des Fahrhinweises und der Begründung [Hey13].

Für die bereits im Projekt identifizierten, relevanten Fahrsituationen wurden jeweils ein passender Handlungshinweis und die dazugehörige Begründung erarbeitet und mit entsprechenden Symbolen hinterlegt. Im Vordergrund steht dabei die schnell während der Fahrt erfassbare Handlungsanweisung.

II.4.4 Integration ins Fahrzeug

Für die Darstellung der Fahrhinweise wird ein Tertiärdisplay verwendet, das auch für andere Anwendungen als Zusatzoption für die Kunden der MAN Truck & Bus AG erhältlich ist. Das Anzeigeelement ist im Sichtbereich des Fahrers positioniert und kann durch das Touchdisplay einfach bedient werden (Abbildung 23). Ist der Fahrtrainer einmal ausgewählt, sind während der Fahrt keine zusätzlichen Bedieneingriffe notwendig.



Abbildung 23: Integration des Anzeigeelements in den Demonstrator

II.5 AP5 Akzeptanzprüfung Mensch-Maschine-Schnittstelle

Dieses Arbeitspaket wird schwerpunktmäßig vom Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München bearbeitet.

Für die Fahrsimulatoruntersuchung zur Akzeptanzprüfung der Mensch-Maschine-Schnittstelle war die MAN Truck & Bus AG unterstützend tätig. Das Anzeigeelement zur Darstellung der Fahrhinweise wurde in den Steuergeräteverbund des Fahrsimulators integriert. Während der Versuchsvorbereitung wurden Versuchsablauf und -strecke intensiv abgestimmt. Um eine gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Fahrsimulatorversuchs mit dem noch anstehenden Realversuch zu gewährleisten, wurde der Algorithmus zur Situations- und Fahrfehlererkennung im Fahrsimulator in Betrieb genommen und auf eine externe Triggerung der Fahrhinweise verzichtet.

Durch die enge Kooperation konnte das Verhalten des Virtuellen Fahrtrainers realitätsnah nachgebildet werden. Ebenfalls konnte durch die Inbetriebnahme des Fahrtrainers im Fahrsimulator die Situations- und Fahrfehlererkennung effizient optimiert werden. Dank der gemeinsamen Hardwareplattform kann das verbesserte Softwaremodul direkt im realen Fahrzeug übernommen werden.

Die Ergebnisse des Lehrstuhls für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München sind im gemeinsamen Schlussbericht [Hey14] und bei Daun [Dau13] ausführlich beschrieben.

II.6 AP6 Realisierung Prototyp

Gemäß des vertikalen Entwicklungsansatzes nach Abbildung 24 wurde der Funktionsprototyp umgesetzt. Dabei wird für jede Teilfunktion der Entwicklungsprozess komplett durchlaufen. Dadurch wird sichergestellt, dass die Ergebnisse der einzelnen Schritte in kurzen Iterationen in die Entwicklung einfließen.

Für die Algorithmenentwicklung wurden Unteraufträge vergeben, um die internen Ressourcen zu entlasten.

Bei der Funktionsentwicklung bezüglich Fahrfehler der Fahrzeugbedienung unterstützte die MAN Truck & Bus AG den Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität München (FTM) bei der Beschaffung von situationsspezifischen Messdaten, so dass die Entwicklungsarbeiten am FTM effizient anhand realer Offlinedaten durchgeführt werden konnten.

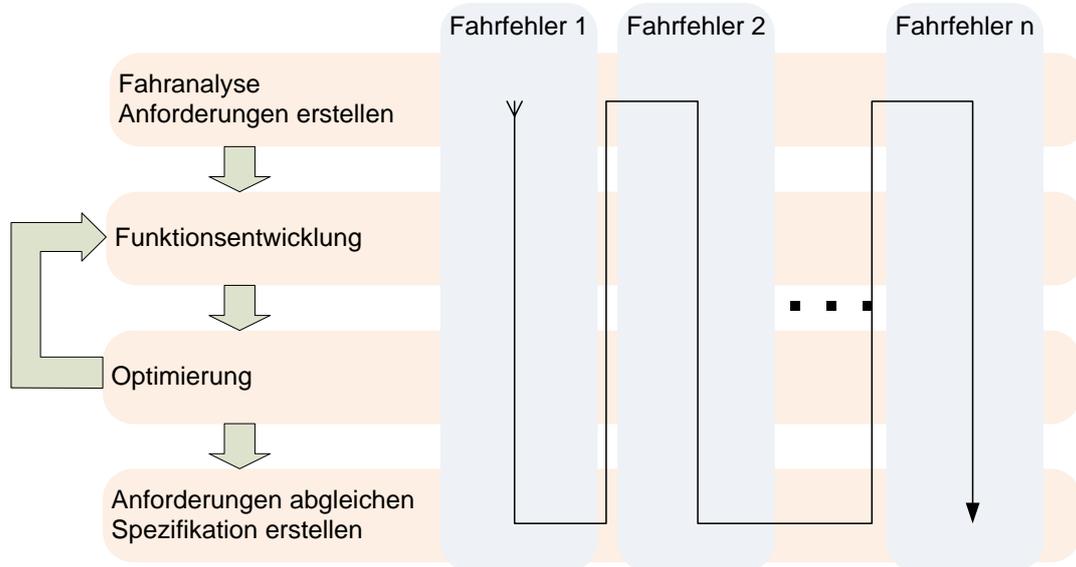


Abbildung 24: Vertikaler Entwicklungsansatz zum durchgängigen Entwurf von Funktionen zur Fahrfehler- und Situationserkennung

II.6.1 Implementierung der Fahrfehlererkennung

Die Entwicklung von Funktionen zur Situations- und Fahrfehlererkennung gliedert sich in vier Schwerpunktsbereiche:

- **Vorausschauendes Fahren:** Beim vorausschauenden Fahren kommt es vor allem darauf an, die kinetische Energie des Fahrzeugs kraftstoffeffizient auszunutzen. Die Funktionen des Fahrtrainers unterstützen den Fahrer bei dieser Aufgabe, indem vorausschauende Fahrhinweise generiert werden, die es dem Fahrer ermöglichen, frühzeitig die Fahrzeuggeschwindigkeit zu beeinflussen.
- **Fahrweise:** Neben der vorausschauenden Geschwindigkeitsbeeinflussung kann der Fahrer während Konstantfahrphasen durch die geeignete Wahl des Geschwindigkeitsniveaus den Kraftstoffverbrauch positiv beeinflussen, indem er beispielsweise die maximale Reisegeschwindigkeit drosselt oder die Geschwindigkeit durch die Wahl geeigneter Fahrerassistenzsysteme auf konstantem Niveau hält.
- **Fahrzeugbedienung:** Durch den sachgerechten Umgang mit den Fahrzeugbedienelementen kann Kraftstoff eingespart und Verschleiß reduziert werden. Beispielsweise wird durch Ausschalten des Motors während längerer Stillstandszeiten der Leerlaufverbrauch vermieden oder durch die Nutzung des Retarders der Bremsenverschleiß verringert.
- **Handschalttempfehlungen:** Der geeignete Umgang mit Handschaltfahrzeugen kann den Verschleiß der Antriebsstrangkomponenten reduzieren und die Kraftstoffeffizienz erhöhen, wenn der Motor im günstigen Motorbetriebsbereich arbeitet. Dafür wurden Funktionen entwickelt, die Anfahrvorgänge analysieren und dem Fahrer Hinweise

zum Anfahrang und zum Umgang mit Kupplung und Fahrpedal geben. Während Konstantfahrphasen wird der verbrauchsgünstige Gang ermittelt und gegebenenfalls dem Fahrer ein verbrauchsgünstigerer Gang empfohlen.

II.6.1.1 Vorausschauendes Fahren

Bisherige Untersuchungen lassen vermuten, dass eine frühzeitige Geschwindigkeitsanpassung unter Ausnutzung von Rollphasen ein sehr hohes Potential zur Kraftstoffreduktion aufweist, da hierbei unnötige Bremsengriffe vermieden werden können. Durch die hohe Fahrzeugmasse können die Rollphasen jedoch außerordentlich lang ausfallen, sodass oftmals auch versierte Fahrer nicht in der Lage sind geschwindigkeitsbegrenzende Elemente frühzeitig zu erkennen. Mittels Kartendaten ist es möglich, den vorausliegenden Streckenabschnitt zu analysieren und dem Fahrer frühzeitige Handlungshinweise zu geben.

Um den Ausrollzeitpunkt zu bestimmen, wird auf ein von Huber [Hub08] entwickeltes Verfahren zurückgegriffen. Dabei wird der vor dem Fahrzeug liegende Streckenabschnitt simulativ mit einem physikalischen Modell eines im Schubetrieb rollenden Fahrzeugs durchfahren. Die daraus gewonnene Geschwindigkeitstrajektorie wird, wie in Abbildung 25 exemplarisch dargestellt, mit der Fahrzeugmaximalgeschwindigkeit verglichen. Sobald sich ein Schnittpunkt ergibt, wird der Fahrer zum Ausrollen des Fahrzeugs aufgefordert, wobei mit einem unteren Geschwindigkeitsschwellwert sichergestellt wird, dass während des Rollvorgangs das Fahrzeug nicht zu langsam wird und dadurch nachfolgende Verkehrsteilnehmer behindert.

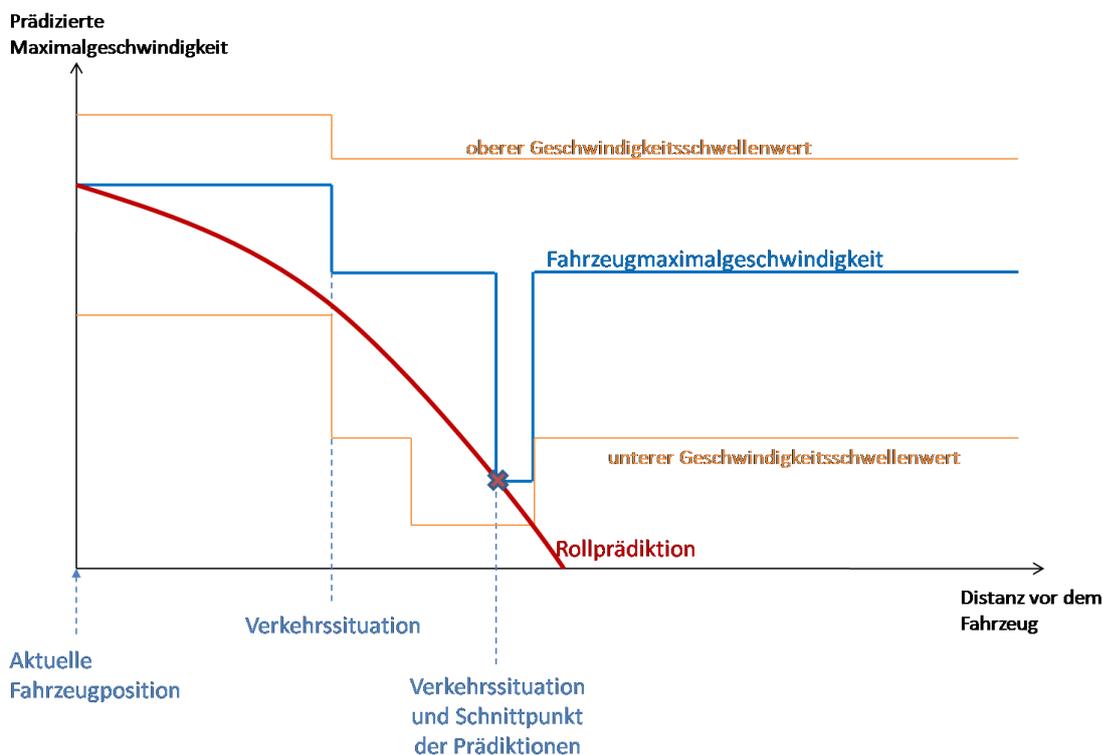


Abbildung 25: Bestimmung des Ausrollzeitpunkts durch Vergleich der Rollprädiktion mit der infrastrukturbedingten Fahrzeugmaximalgeschwindigkeit

Das Ergebnis dieser Berechnung wird an die Fahrerschnittstelle weitergegeben und wie in Abbildung 26 dargestellt an den Fahrer übermittelt.



Abbildung 26: Vorausschauender Fahrhinweis vor einer verdeckt liegenden Ortseinfahrt

II.6.1.2 Handschaltempfehlungen

Gegenüber Fahrzeugen mit automatisierten Schaltgetrieben besitzen Handschaltfahrzeuge zusätzliche Freiheitsgrade. Während sich bei einem automatisierten Schaltgetriebe die Fahrereingriffe hauptsächlich auf die topografische Anpassung der Gangwahl beschränken, hat der Fahrer bei einem Handschaltfahrzeug zusätzlich großen Einfluss auf den Kupplungsverschleiß beim Anfahren und den effizienten Motorbetrieb in einem verbrauchsgünstigen Motorkennfeldbereich während Konstantfahrten.

Beim Anfahrvorgang kommt es darauf an, den Kupplungsverschleiß und die Belastung des Antriebsstrangs zu reduzieren. Hierbei ergeben sich maßgeblich drei Handlungsfelder für den Fahrer:

- **Wahl des richtigen Anfahrgangs:** Der Anfahrang stellt den größten Einflussfaktor für den Kupplungsverschleiß dar. Dabei sinkt der Kupplungsverschleiß mit kleineren Anfahrängen. Jedoch ist das Anfahren im kleinsten Gang meist nicht praktikabel, da dadurch in der Folge mehr Schaltungen notwendig sind und der Anfahrvorgang unnötig verlängert wird. Daher ist es aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoll, einen Anfahrang zu wählen, der ein zügiges Anfahren ermöglicht, bei dem der Kupplungsverschleiß jedoch noch moderat ist. Hierfür wurde eine Anfahrangmatrix experimentell ermittelt. Damit kann aus der Fahrbahnsteigung und der Fahrzeugmasse der jeweilige Anfahrang ermittelt werden.
- **Zügiges und dosiertes Schließen der Kupplung:** Wurde der richtige Anfahrang gewählt, kann durch den richtigen Umgang mit der Kupplung der Verschleiß reduziert werden. Der Kupplungsverschleiß ist dabei maßgeblich davon abhängig, wie lange die Kupplungsscheiben mit einem Differenzmoment beaufschlagt werden. Der Kupplungsverschleiß ist minimal, wenn die Kupplung sehr schnell geschlossen wird. Jedoch treten dabei hohe Drehmomente auf, die den Antriebsstrang belasten. Daher muss ein Kompromiss zwischen Kupplungsverschleiß und Antriebsstrangbelastung gefunden werden. Experimentell konnte hier ein Zeitschwellwert ermittelt werden, der für einen geringen Kupplungsverschleiß nicht unterschritten werden sollte.
- **Niedrige Motordrehzahl:** In der Literatur und Fahrerausbildung wird – im Gegensatz zum Pkw - empfohlen, während des Anfahrvorgangs das Fahrpedal nicht zu

betätigen. Dies ermöglicht es der elektronischen Motorregelung eine niedrige Drehzahl einzuregeln, ohne den Motor abzuwürgen. Durch die geringere Differenzdrehzahl der Kupplungsscheiben wird der Verschleiß reduziert. Fahrversuche konnten zwar diesen Zusammenhang bestätigen, jedoch sind die Auswirkungen auf den Verschleiß deutlich geringen als bei einem falsch gewählten Anfahrang oder bei zu langsamem Schließen der Kupplung.

Wird bei den oben genannten Punkten ein Fahrfehler erkannt, so wird er nach der obigen Aufzählungsreihenfolge priorisiert und nur der relevante Fahrfehler ausgegeben.

Gegenüber den verschleißarmen Anfahrweisen kann es in speziellen Fällen zu Ausnahmen kommen:

- **Anfahren auf lockerem Untergrund:** Befindet sich das Fahrzeug auf lockerem Untergrund, kann es sinnvoll sein, einen höheren Anfahrang zu wählen, um den Kraftschluss zum Untergrund besser dosieren zu können. Die Situationserkennung wertet dazu die Eingriffe der Traktionshilfe und den Einsatz der Differentialsperre aus, um diesen Ausnahmefall zu erkennen.
- **Abwürgen des Motors:** Wurde der Motor im vorangegangenen Anfahrvorgang abgewürgt, so kann von einer schwierigen Anfahrangssituation (z. B. Offroadeinsatz) ausgegangen werden und ein zusätzlicher Fahrhinweis wäre in einer solchen Situation entweder fehlerhaft oder würde die Ablenkung erhöhen.

Demgegenüber ist jedoch eine Vielzahl an Sonderfällen denkbar, in denen eine spezielle Anfahrprozedur angepasst ist. Um Fehldetektionen zu vermeiden, wird vor Ausgabe einer Fahrangempfehlung stets geprüft, ob der Kupplungsverschleiß während des Anfahrvorgangs signifikant angestiegen ist. Als Maß für den Kupplungsverschleiß wird dazu die Kupplungsarbeit herangezogen, die integrativ über die Differenzdrehzahl und dem Differenzmoment der Kupplungsscheiben ermittelt wird. Nur wenn die Kupplungsenergie einen Schwellwert überschreitet, ist von einem verschleißerhöhenden Anfahrvorgang auszugehen.

Neben dem Anfahrvorgang ist bei Handschaltfahrzeugen das Ausnutzen des optimalen Drehzahlbereichs für eine kraftstoffeffiziente Fahrweise notwendig.

Je nach Betriebspunkt stellt der Motor die Leistung mit unterschiedlichem Wirkungsgrad zur Verfügung. Nach Abbildung 27 ist dabei im Allgemeinen der Verbrennungsprozess bei hohen Drehmomenten aber niedrigen Drehzahlen optimal.

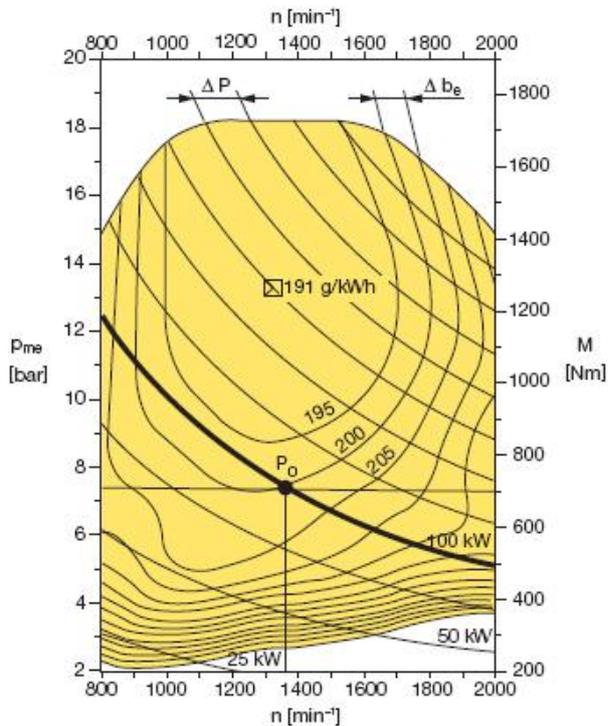


Abbildung 27: Motorkennfeld eines MAN D2866 [MAN08, S.181].

Ein niedriger Drehzahlbereich kann jedoch nur bei quasi-stationären Bedingungen gefordert werden. Bei Topografieänderungen kann es gegebenenfalls sinnvoll sein, frühzeitig einen niedrigeren Gang zu wählen, um Leistungsreserven vorzuhalten oder in Gefälle die Wirkung der verschleißfreien Bremsen zu unterstützen.

Daher wird zunächst ermittelt, ob das Fahrzeug mit einer annäherungsweise konstanten Geschwindigkeit bewegt wird und sich die Leistungsanforderung in einem moderaten Bereich befindet.

Während solcher Konstantfahrphasen wird die aktuelle Motorleistung bestimmt und für alle realisierbaren Gangstufen die sich einstellenden Motordrehzahlen und Drehmomente berechnet. Mittels eines vereinfachten Motorkennfelds wird für jede Gangstufe der spezifische Kraftstoffverbrauch ermittelt. Weicht der minimale spezifische Kraftstoffverbrauch signifikant vom Kraftstoffverbrauch im aktuellen Gang ab, wird der verbrauchsgünstigere Gang empfohlen.

II.7 AP7 Aufbau Demonstrator

Der Aufbau des Demonstrators wurde von der MAN Truck & Bus AG durchgeführt. In den Versuchsträger (Abbildung 28) wurden die notwendigen Steuergeräte zur prototypischen Funktionsdarstellung und zur Ermittlung der vorausliegenden Streckeneigenschaften verbaut.



Abbildung 28: Für das Projekt Virtueller Fahrtrainer eingesetzter Sattelzug

Das zur Meldungsübermittlung vorgesehene Tertiärdisplay wurde ins Fahrzeug integriert und an den Steuergeräteverbund angeschlossen (Abbildung 29).



Abbildung 29: Ansicht des Cockpits aus Fahrersicht. Die Fahrhinweise des Virtuellen Fahrtrainers werden über das im Sichtfeld positionierte Tertiärdisplay optisch und akustisch ausgegeben.

Für die Datenaufzeichnung dient ein PC-basiertes Messaufzeichnungssystem das mit den Fahrzeugdatenbussen gekoppelt ist. Eine hochauflösende Kamera zeichnet zeitsynchron aus Fahrerperspektive das Verkehrsgeschehen auf und ermöglicht bei der Auswertung eine visuelle Interpretation des Fahrzeugumfelds. Neben dem im Fahrzeug standardmäßig vorliegenden Kraftstoffverbrauchssignal wurde eine hochgenaue Kraftstoffverbrauchsmessanlage verbaut, um eine Auswertung des situativen Einsparpotentials vornehmen zu können.

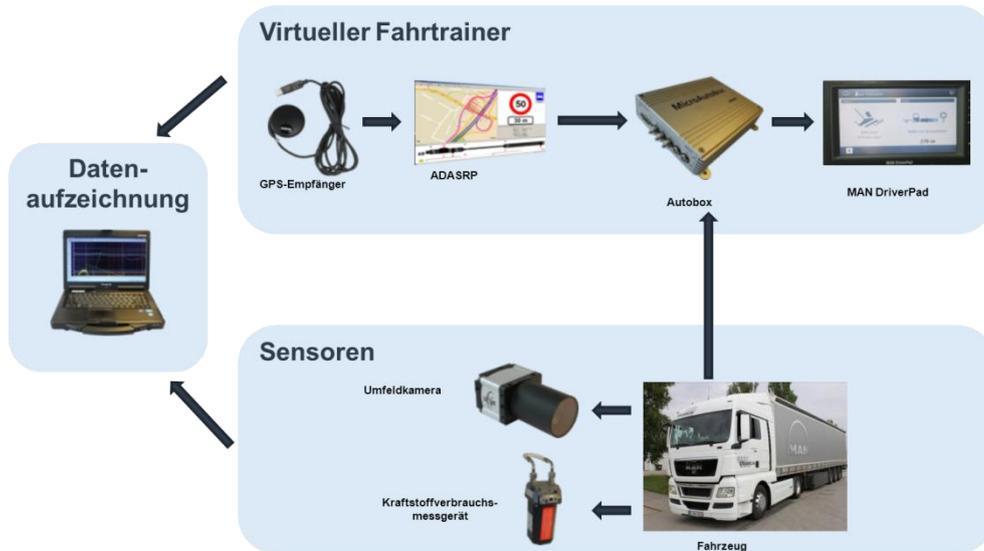


Abbildung 30: Messaufbau

II.8 AP8 Funktionsvailidierung und Optimierung

Die Funktionen zur Fahrfehler- und Situationserkennung wurden entwicklungsbegleitend durch Expertentests abgesichert. Um die Funktionsänderungen möglichst reproduzierbar testen zu können, wurde eine Referenzstrecke mit einer Streckenlänge von 95 km definiert (Abbildung 31), die sich aus einem topografisch anspruchsvollen Überlandstraßenanteil und einem Autobahnabschnitt zusammensetzt.

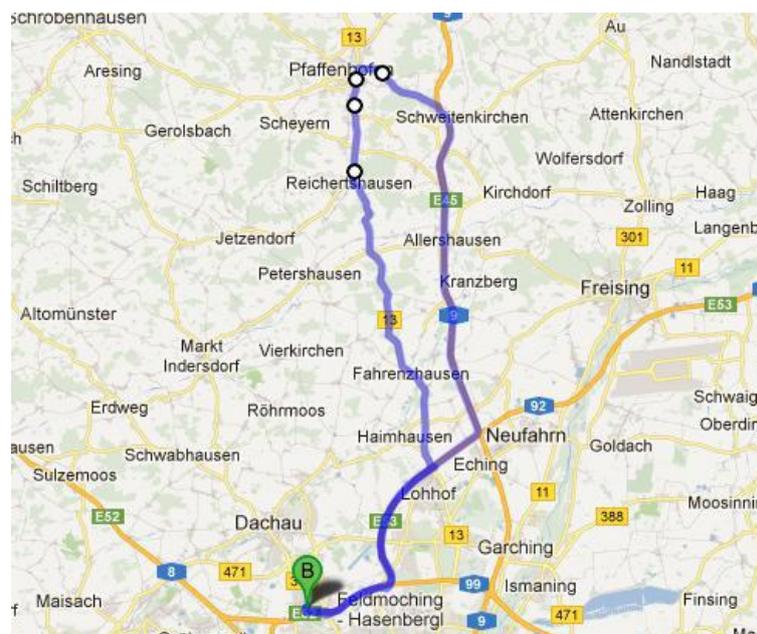


Abbildung 31: Überblick über die Referenzstrecke [Goo13]

Vor allem bei den vorausschauenden Fahrhinweisen ist eine akzeptanzangepasste Parametrierung der Mindestgeschwindigkeit von großer Bedeutung. In umfangreichen Versuchen wurde die Referenzstrecke von verschiedenen Experten befahren und iterativ ein Kompromiss zwischen möglichst hoher Kraftstoffeinsparung und geringem Zeitverlust gefunden.

Beispielhaft sind in Abbildung 32 die Situationshäufigkeit und Rolllängen eines Fahrers bei vorausschauenden Fahrhinweisen aufgetragen. Insgesamt wurden 19 vorausschauende Fahrhinweise ausgegeben, was zu einer Rolllänge von 10,6 km führte. Dabei hatten Geschwindigkeitsbegrenzungen mit 6,6 km Rolllänge den größten Anteil.

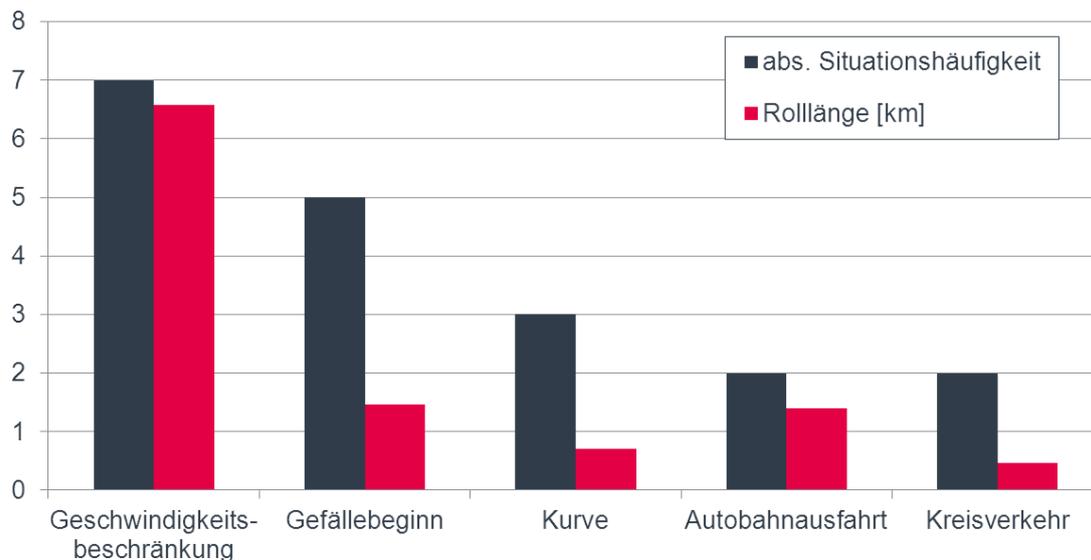


Abbildung 32: Häufigkeit vorausschauender Fahrhinweise und die daraus resultierende Rolllänge.

II.9 AP9 Erprobung in Fahrten mit Probanden

Mit der abschließenden Erprobung mit Probanden im Realbetrieb wurden untersucht, wie sich die Systemauslegung des Virtuellen Fahrtrainers unter realen Bedingungen auf die Akzeptanz und den Kraftstoffverbrauch auswirkt.

Das Arbeitspaket wurde größtenteils gemeinschaftlich bearbeitet. Dadurch konnten die Erfahrungen bei der Akzeptanzuntersuchung im Fahrtrainer genutzt werden und dadurch die Vorbereitungen und Durchführung des Probandenversuchs effektiv erfolgen.

Die MAN Truck & Bus AG stellte für die Versuchsvorbereitung und Durchführung einen Versuchsträger zur Verfügung. Die Messtechnik wurde entsprechend konfiguriert um eine zuverlässige Aufzeichnung aller notwendigen Messdaten zu ermöglichen.

Aus den Erfahrungen des Arbeitspaketes Funktionsvalidierung und Optimierung wurde von der MAN Truck & Bus AG eine Versuchsstrecke vorgeschlagen, die eine hohe Fahrhinweisrate verspricht. In enger Abstimmung der beiden Projektpartner wurde der Versuchsablauf geplant. Dabei stand vor allem im Vordergrund, einen Kompromiss zwischen kurzer Versuchsdauer und möglichst langandauernden Interaktion der Probanden mit dem System zu finden.

Um eine sichere Datenaufzeichnung und Befragung zu gewährleisten, fuhren jeweils zwei Versuchsbetreuer mit. Der technische Versuchsbetreuer stellte den Betrieb des Virtuellen Fahrtrainers und des Versuchsträgers sicher und kümmerte sich um die Messdatenaufzeichnung. Der Versuchsleiter koordinierte den Versuchsablauf und führte die Befragungen während der Fahrt durch.

Um den hohen Bedarf an Versuchsbetreuer zu decken wurde sie sowohl von der MAN Truck & Bus AG als auch dem FTM gestellt.

Die anschließende Bewertung des Kraftstoffeinsparpotentials des Virtuellen Fahrtrainers wurde von der MAN Truck & Bus AG durchgeführt.

II.9.1 Versuchsstrecke

Es wurde eine möglichst lange Versuchsstrecke ausgewählt, um den Probanden genügend Zeit zur Beurteilung des Virtuellen Fahrtrainers zu geben (Abbildung 33). Zuerst durchfahren die Probanden eine Eingewöhnungsstrecke, um das Versuchsfahrzeug kennenzulernen. Anschließend wurde die eigentliche Versuchstrecke mit einer Länge von 66 km gefahren, die von den Probanden in durchschnittlich 1 Stunde 10 Minuten absolviert wurde.



Abbildung 33: Versuchstrecke (blau) und Eingewöhnungsstrecke (grün) [Goo13]

Die Versuchsstrecke wurde in einzelne Abschnitte eingeteilt, um eine Analyse des Virtuellen Fahrtrainers auf verschiedenen Straßenkategorien vorzunehmen (Tabelle 2).

Der Anteil der Fahrstrecke beträgt innerorts 12 Prozent. Die Streckenanteile auf Autobahnen und Überlandstraßen sind mit etwa 40 Prozent ausgeglichen. Lichtsignalanlagen werden einer extra Kategorie zugeordnet. Dabei wird der Beginn des Abschnittes vor der Sichtlinie

der Lichtsignalanlage gewählt, das Ende des Abschnitts wird an einen Streckenpunkt gelegt, bei dem nach einem Halt an der Lichtsignalanlage wieder die typische Reisegeschwindigkeit auf diesem Streckenabschnitt erreicht werden kann. Ebenfalls werden Autobahnauffahrten separat erfasst, da diese keiner speziellen Straßenkategorie zugeordnet werden können.

Tabelle 2: Streckenanteile unterschiedlicher Straßenkategorien

Straßenkategorie	Anzahl	Streckenlänge [km]	Streckenanteil [%]
Innerorts	7	8,9	14
Überland	7	26,2	40
Autobahn	2	26,0	39
Lichtsignalanlagen	3	3,2	5
Autobahnauffahrt	2	1,7	3
Versuchsstrecke		66,1	100

II.9.2 Versuchsdesign

Die Probandengruppe setzt sich aus 22 Berufskraftfahrern zwischen 31 und 58 Jahren zusammen. Der Altersdurchschnitt betrug 45 Jahre. Es nahm eine weibliche Probandin teil. Für den Versuch wurden nur erfahrene Berufskraftfahrer ausgewählt, die durchschnittlich 32.440 km im Jahr zurücklegen und in der Summe bisher eine durchschnittliche Gesamtfahrleistung von 645.700 km aufweisen.

Alle Probanden wurden zuerst von dem Versuchsleiter mit der Fahrzeugbedienung vertraut gemacht. Insbesondere wurde die Nutzung der serienmäßigen Assistenzfunktionen erklärt. Während der anschließenden Fahrt auf der Eingewöhnungsstrecke (Abbildung 33) wurde die Anwendung der Assistenzfunktion von den Probanden geübt.

Die Probanden wurden in zwei Gruppen eingeteilt (Abbildung 34). Gruppe 1 befuhr die Versuchsstrecke zunächst ohne Fahrhinweise des Virtuellen Fahrtrainers. Erst in der zweiten Runde wurde der Fahrtrainer aktiviert (Systemfahrt). Um Reihenfolgeeffekte auszugleichen, fuhren die Probanden der Gruppe 2 zunächst mit Fahrhinweisen des Virtuellen Fahrtrainers und anschließend mit abgeschaltetem System.

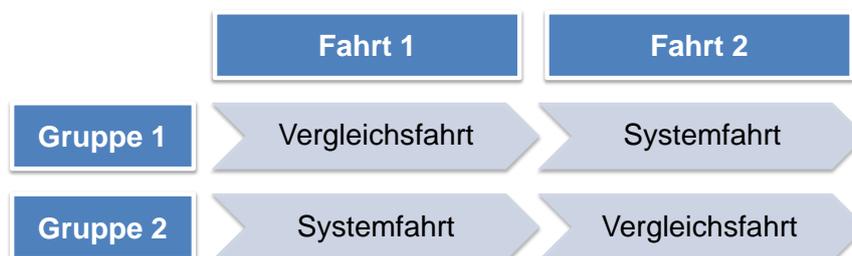


Abbildung 34: Aufteilung der Probanden in zwei Gruppen zum Ausgleich von Reihenfolgeeffekten. Gruppe 1 fährt zunächst ohne System, dann mit System. Bei Gruppe 2 ist die Reihenfolge vertauscht [Hey14].

II.9.3 Einflüsse auf die Fahrweise

Bei der Systemfahrt trat der Fahrhinweis zum Ausrollen vor Infrastruktur im Mittel zwischen 8 und 10 Mal am häufigsten auf (Abbildung 35). Ebenfalls traten die Fahrhinweise zum Ausrollen vor Gefälle, zum zügigen Beschleunigen und der Verwendung von ACC und Limiter regelmäßig auf. Die übrigen Fahrsituationen wurden von den Probanden meist so gut gelöst, dass auf einen Fahrhinweis verzichtet werden konnte. Gerade die geringe Häufigkeit des Fahrhinweises zur Anpassung der Reisegeschwindigkeit, der bei einer dauerhaften Fahrgeschwindigkeit über 85 km/h ausgelöst wird, deutet dies darauf hin, dass die Probanden unter den Versuchsbedingungen bemüht zurückhaltend fahren.

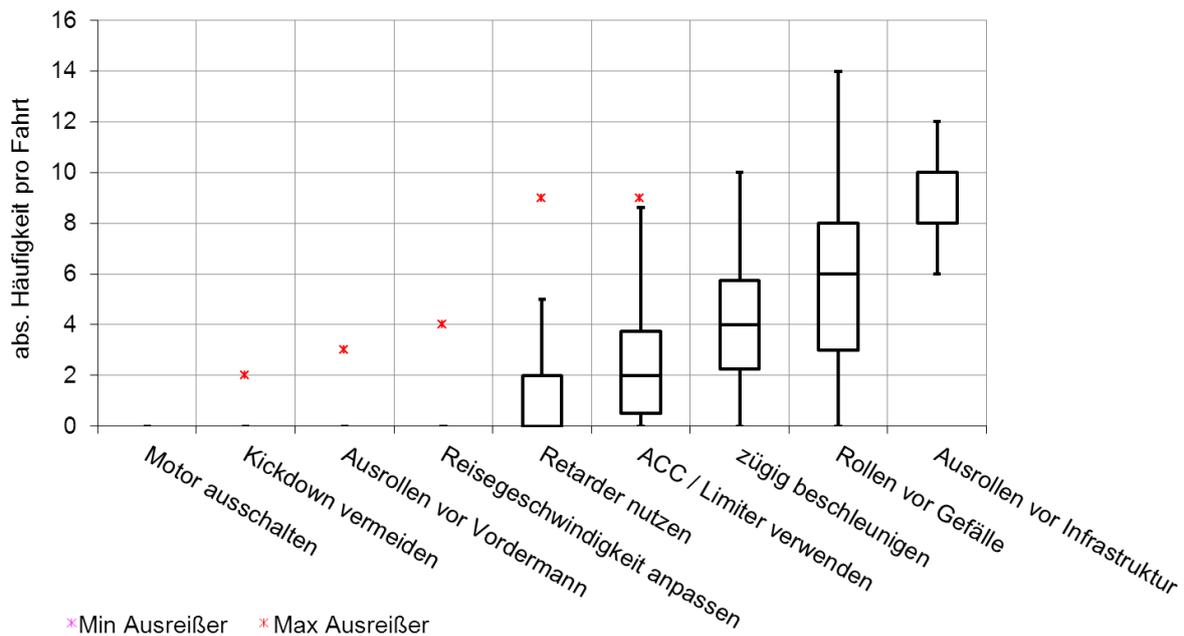


Abbildung 35: Absolute Häufigkeiten der Fahrhinweise während der Systemfahrt

Für die Bewertung der vorausschauenden Fahrhinweise ist vor allem die Rolllänge vor den einzelnen vorausliegenden Fahrsituationen von Bedeutung. Während dieser Phasen rollt das Fahrzeug im Schubbetrieb, ohne dass Kraftstoff verbraucht wird.

Für die Probandenfahrten betrug die mittlere potentielle Rolllänge vor Infrastrukturelementen 5700 m, für topografiebedingte Rollphasen 2800 m. Ein Fahrer, der alle Fahrhinweise exakt befolgt, könnte demnach diese Rolllängen erzielen. Bei den Vergleichsfahrten wurde diese Rolllänge vor Infrastrukturelementen von den Probanden zu 56 Prozent erreicht, mit Fahrhinweisen des Virtuellen Fahrtrainers stieg sie auf 83 Prozent. Besonders bei der Topografie zeigt sich, dass die Fahrer ohne Fahrhinweise mit 34 Prozent nur einen geringen Anteil der potentiellen Rolllänge ausnutzten und durch die Fahrhinweise eine Steigerung auf 79 Prozent erzielt wurde.

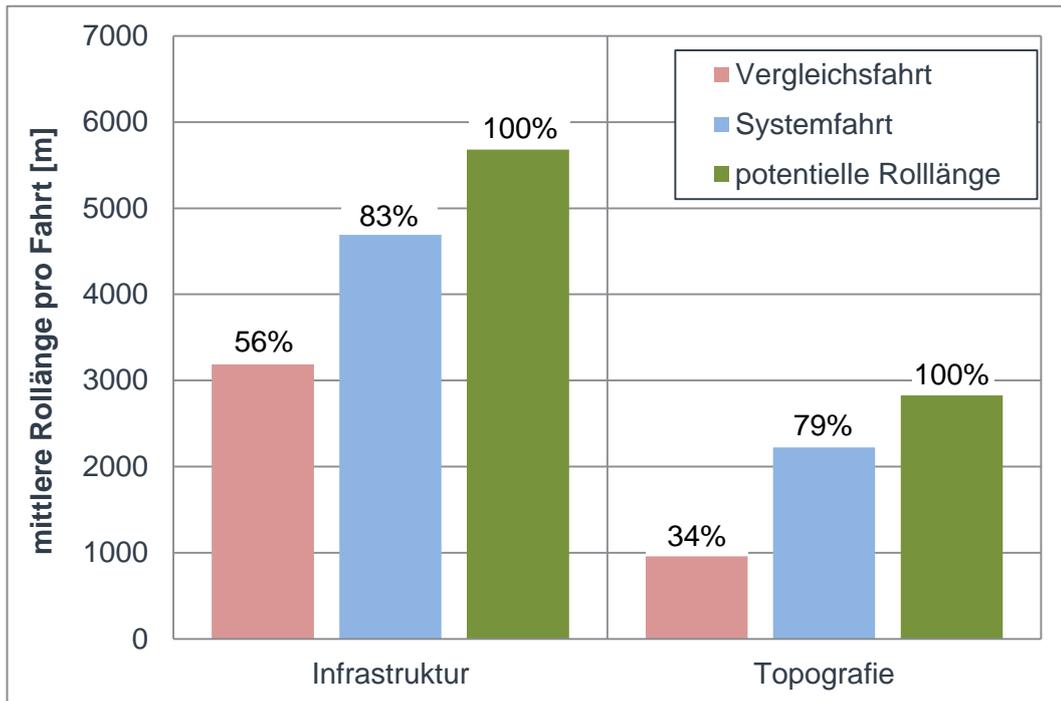


Abbildung 36: Vergleich der Rolllängen vor Infrastrukturelementen und topografisch bedingten Ausrollsituationen

Für die Auswertung der Kraftstoffverbräuche ist es notwendig, Verkehrsstörungen von der Auswertung auszuschließen. Beispielsweise würden einzelne Stausituationen bei dem versuchsbedingt geringen Fahrumfang eine Versuchsgruppe überproportional belasten. Daher wurden die Notizen der Versuchsleiter und das während des Versuchs aufgenommene Video analysiert. War zu erkennen, dass der Proband aufgrund eines nicht typischen Ereignisses (z. B. Fahrradfahrer, landwirtschaftliches Fahrzeug, Wanderbaustellen, Stau) seine Geschwindigkeit anpassen musste, wurde dieser Abschnitt markiert und von der Auswertung ausgeschlossen. Ebenfalls wurden Streckenabschnitte mit Lichtsignalanlagen von der Bewertung ausgenommen.

Mit den Fahrhinweisen des Virtuellen Fahrtrainers konnten die Probanden auf Überlandstraßen mit 3,3 Prozent die höchste Kraftstoffeinsparung erzielen. Innerorts und auf Autobahnen fällt die Kraftstoffersparnis mit 0,8 Prozent beziehungsweise 1,6 Prozent geringer aus. Insgesamt ergibt sich für die Versuchstrecke eine Einsparung von 2,1 Prozent.

Auch beim Geschwindigkeitsverlust zeigt sich, dass der Virtuelle Fahrtrainer seine Stärken auf Überlandstraßen ausspielen kann. Mit 0,6 Prozent ergibt sich im Vergleich zur Autobahn ein nahezu gleicher Geschwindigkeitsverlust, jedoch bei deutlich höherem Einsparpotential. Innerorts ergibt sich zwischen Vergleichsfahrt und Systemfahrt nur ein geringer Unterschied.

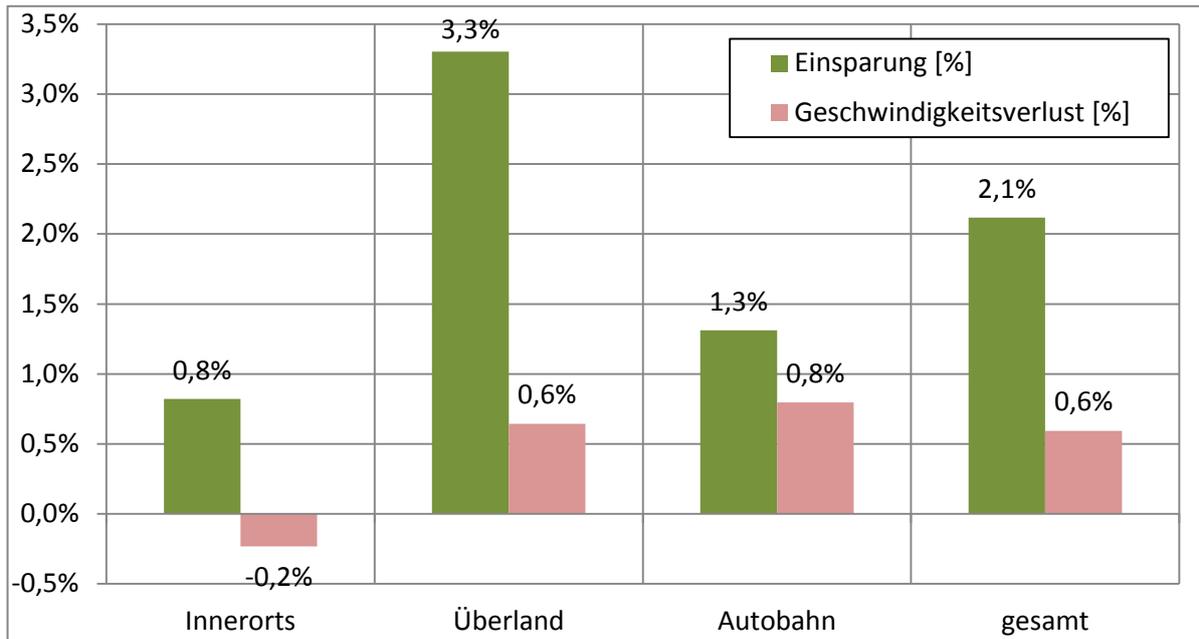


Abbildung 37: Kraftstoffverbrauchseinsparungen und Geschwindigkeitsverluste der Systemfahrt für unterschiedliche Straßenkategorien

II.10 AP10 Projektkoordination

Der Virtuelle Fahrtrainer ist ein interdisziplinäres Forschungsprojekt bei dem eine Vielzahl von Experten aus den unterschiedlichen Bereichen zusammengebracht werden müssen. Daher wurde innerhalb der MAN Truck & Bus AG auf eine sorgfältige Implementierung des Projekts geachtet.

Zwischen den beiden Projektpartnern – der MAN Truck & Bus AG und dem Lehrstuhl für Fahrzeugtechnik der Universität München - fanden mehrere Projekttreffen statt, bei denen die Aufgabenverteilung detailliert und das weitere Vorgehen festgelegt wurde.

Die Arbeiten im Projekt Virtueller Fahrtrainer wurden auf unterschiedlichen Ebenen koordiniert. Von der MAN Truck & Bus AG wurde am 05. Mai 2011 eine Plenumsveranstaltung organisiert, bei der die in der Vorhabenbeschreibung festgelegte Zielsetzung überprüft und die Maßnahmen zur Zielerreichung zwischen den Projektpartnern abgestimmt wurde.

Auf Arbeitsebene fanden Projekttreffen zum Thema Situationserkennung sowie zur Abstimmung der studentischen Arbeiten statt:

- Die MAN Truck & Bus AG organisierte die Arbeitstreffen zur Situationserkennung. Bei diesen Terminen wurden die Funktionsanforderungen an die Situationserkennung abgestimmt und die Softwareentwicklung koordiniert.
- Das FTM organisierte die Projekttreffen zu den studentischen Arbeiten, die vor allem beim Projektpartner FTM durchgeführt wurden, abzustimmen.

III Literaturverzeichnis

- [And10] Andersson, J.: Applying Model-Based Design to an on-board driver support system for economic driving, MathWorks Automotive Conference, 2010
- [Aut09] Auto-News: Mehr Effizienz: Neue Spritsparmaßnahmen von Audi; Online in Internet: http://www.auto-news.de/auto/news/anzeige_Mehr-Effizienz-Audi-bringt-neues-Start-Stopp-System-auf-den-Markt_id_24363/, 2009 [Stand 2014-02-25]
- [Ben83] v. Benda, H.: Klassifikation und Gefährlichkeit von Straßenverkehrssituationen Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach, 1983.
- [Bmw07] BMW AG: BMW EfficientDynamics. Schaltpunktanzeige. Online in Internet: http://www.bmw.com/com/de/insights/technology/efficient_dynamics/phase_2/technologies/gearshift_change_indicator.html [Stand 2009-01-07]
- [Bun09] Bundesverband Güterverkehr Logistik und Entsorgung: Informationen zur LKW-Maut, 2009
- [Dai07] Daimler AG: Actros. Betriebsanleitung Online. 09/2007. Online in Internet: <http://www4.mercedes-benz.com/d/trucks/actros/betriebsanleitung/vertiefen/N140D8.html#N140F2> [Stand 2011-07-16]
- [Dau13] Daun, T. J.; Braun, D. G.; Frank, C.; Haug, S.; Lienkamp, M.: Evaluation of driving behavior and the efficacy of a predictive eco-driving assistance system for heavy commercial vehicles in a driving simulator experiment. In: 2013 16th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems - (ITSC 2013), 2013, S. 2379–2386
- [Dav89a] Davis, F.D.: Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. MIS quarterly, 1989.
- [Dör10] Dörner, K.; Zimmermann, A.; Kahle, J.; Tigges, G.; Heyes, D.: Projekt Vifa-Virtueller Fahrtrainer, Vorhabenbeschreibung, unveröffentlicht, 2010.
- [Dur11] Durekovic, S.: Architectures of Map-Supported ADAS. IEEE Intelligent Vehicles Symposium, Baden-Baden, 2011
- [Fas95] Fastenmeier, W.: Autofahrer und Verkehrssituation, Neue Wege zur Bewertung von Sicherheit und Zuverlässigkeit moderner Straßenverkehrssysteme Verlag TÜV Rheinland, Köln, Bonn, 1995
- [Fas07] Fastenmeier, W.; Gstalter, H.: Driving task analysis as a tool in traffic safety research and practice Safety Science 45, S. 952-979, 2007
- [Gei08] Geiler, M., Kerwien, H.: Wirksamkeitsstudie zu einem Training ökonomischen Fahrens. Z. f. Verkehrssicherheit 54 Nr. 3, S.138, 2008.
- [Goo12] Google: Google Maps. <http://maps.google.de/maps?hl=de&tab=wl> (Datum des Zugriffes: 09.10.2012)
- [Goo13] Google: Google Maps. <http://maps.google.de/maps?hl=de&tab=wl> (Datum des Zugriffes: 21.10.2013)
- [Hey12] Heyes, D.; Hipp, E.; Zimmermann, A.; Römersperger, X.; Raudszus, D.; Lienkamp, M.: Systematische Bewertung des Fahrereinflusses auf die Transporteffizienz von Nutzfahrzeugen, 5. Tagung Fahrerassistenz, München, 2012

- [Hey13] Heyes, D.; Zimmermann, A.; Daun, T.; Lienkamp, M.: Der Virtuelle Fahrtrainer – ein prädiktives Verbrauchsassistenzsystem für schwere Nutzfahrzeuge, 6. Tagung Fahrerassistenz, München, 2013
- [Hey14] Heyes, D.; Daun, T.; Dörner, K.; Lienkamp, M.: Schlussbericht Forschungsprojekt Virtueller Fahrtrainer, München, 2014
- [Hip13] E. Hipp, K. Dörner, M. Seitz, D. Heyes, "Beanspruchungsadaptive Fahrerunterstützung, der Weg zum sicheren und effizienten Fahren" 6. Darmstädter Kolloquium. Darmstadt, 2013
- [Hsu07] Hsu, C.L.; Lu, H.P.: Consumer behavior in online game communities: A motivational factor perspective. Computers in Human Behavior, 23(3), 2007
- [Hub08] M. Huber, "Verfahren zum Betreiben eines Fahrzeugs, insbesondere eines Nutzfahrzeugs, Steuerung / oder Auswerteeinrichtung, Fahrerassistenzsysteme für ein Nutzfahrzeug sowie Nutzfahrzeug", Patent DE 10 2998 023 135 A1, 2008.
- [Kor12] Kornberger, T.: Entwicklung eines Motivationskonzeptes für ein digitales Fahrerassistenzsystem zum kraftstoffeffizienten Fahren; Diplomarbeit, Ludwig-Maximilians- Universität München, 2012
- [Kru94] Krueger, R.A.: Focus Groups. A Practical Guide for Applied Research. 2. Auflage, Thousand Oaks: SAGE, Publications Inc., 1994
- [Man08] MAN Nutzfahrzeuge Gruppe: Grundlagen der Nutzfahrzeugtechnik, München, 2008
- [Man10] MAN Nutzfahrzeuge AG: MAN Support TeleMatics. Benutzerhandbuch TeleMatics. München: MAN Nutzfahrzeuge AG, 2010
- [Man00] Manser, M.; Rakauskas, M.; Graving, J.; Jenness, J.: Fuel Economy Driver Interfaces: Develop Interface Recommendations (Report on Task 3), National Highway Traffic Safety Administration, DOT HS 811 319, Minneapolis, 2010
- [Moh09] Kraftstoffeinsparung im Nutzfahrzeug – Entwicklung eines Onboard-Verbrauchsassistenten, VDI-Tagung, München, 2009
- [Moh13] Mohra, H.: Fahrerassistenzsystem zur Unterstützung einer energieeffizienten Fahrweise, Dissertation Technische Universität München, 2013
- [Moo01] Moon, J.W.; Kim, Y.G.: Extending the TAM for a World-Wide-Web context. Information & management, 38(4), 2001
- [Rau11] Raudszus, D.: Situationsanalyse und Potentialabschätzung zur Kraftstoff- und Verschleißreduktion durch vorausschauendes Fahrerverhalten, Diplomarbeit, 2011
- [Sue07] sueddeutsche.de GmbH: Öko-Pedal von Nissan. Gruß vom Gaspedal. 04/08/2008. Online in Internet: <http://www.sueddeutsche.de/automobil/923/304895/text/> [Stand 2009-01-07]
- [Tel10] Tele Atlas: Advanced Driving Attributes - Map support for driving safety and efficiency, Herstellerinformation, 2010
- [Ven00] Venkatesh, V.; Davis, F.D.: A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. Management science, 2000.
- [Wah07] Wahlberg, A.: Long-term effects of training in economical driving: Fuel consumption, accidents, driver acceleration behavior and technical feedback. In International journal of industrial ergonomics, Vol. 37, No. 4, S. 333-343, 2007

[Wit11] Wittenbrink, P: Transportkostenmanagement im Straßengüterverkehr,
Wiesbaden: Gabler 2011

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht der MAN Truck & Bus AG		
3. Titel Verbundprojekt: ViFa - Virtueller Fahrtrainer - Entwicklung eines virtuellen Fahrtrainers zur Unterstützung einer verbrauchs- und verschleißoptimierten Fahrweise Schlussbericht der MAN Truck & Bus AG			
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Heyes, Daniel Dörner, Karlheinz	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2013	6. Veröffentlichungsdatum 31.03.2014	
	7. Form der Publikation öffentlicher Schlussbericht		
	8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) MAN Truck & Bus AG Abteilung ERE Dachauer Str. 667 80995 München		
9. Ber. Nr. Durchführende Institution		10. Förderkennzeichen 19 G 10013A	
		11. Seitenzahl 47 Seiten	
		12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW i) 53107 Bonn	
13. Literaturangaben 35.		14. Tabellen 2	
		15. Abbildungen 37	
		16. Zusätzliche Angaben k.A.	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) TÜV Rheinland Consulting GmbH, PT MVt, 51101 Köln, 31.03.2014			
18. Kurzfassung <p>Aus heutiger Sicht ist der Schritt zum autonomen Fahren im öffentlichen Verkehr in naher Zukunft nicht erreichbar. Obwohl die Anzahl der Assistenzsysteme ständig ansteigt, bleiben vor allem der Fahrer und dessen Umgang mit dem Fahrzeug die wesentliche Einflussgröße bei der Einsparung von Kraftstoff und dem Verschleiß von Komponenten. Ziel des vom Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMW i) geförderten Projekts war es, ein Assistenzsystem – den Virtuellen Fahrtrainer - zu entwickeln, das den Fahrer im kraftstoffeffizienten Umgang mit seinem Fahrzeug schult. Der Virtuelle Fahrtrainer gibt konkrete Fahrhinweise, die den Fahrer bei einer wirtschaftlichen Fahrweise unterstützen. Für vorausschauende Fahrhinweise ermittelt er die Topografie und Infrastrukturelemente aus einer kommerziellen, digitalen Karte.</p> <p>Die MAN Truck & Bus AG legte dabei ein besonderes Augenmerk auf die Entwicklung einer robusten Situations- und Fahrfehlererkennung. Dies schloss eine umfangreiche Bewertung von digitalem Kartenmaterial und anschließende Validierungsfahrten mit ein. Bei der Auslegung der Mensch-Maschine-Schnittstelle wurde ein Konzept gefunden, wie Fahrhinweise einfach verständlich und gleichzeitig motivierend dem Fahrer übermittelt werden können.</p> <p>In einem umfangreichen Realversuch wurden dem Virtuellen Fahrtrainer eine hohe Praxistauglichkeit und ein großer Einfluss auf den Kraftstoffverbrauch bestätigt. Besonders mit den vorausschauenden Fahrhinweisen konnten die Probanden eine Kraftstoffeinsparung von über 2 Prozent erzielen.</p>			
19. Schlagwörter Virtueller Fahrtrainer, Fahrerassistenzsystem, Kraftstoffeffizienz			
20. Verlag	21. Preis		

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) final report
3. title Verbundprojekt: ViFa - Virtueller Fahrtrainer - Entwicklung eines virtuellen Fahrtrainers zur Unterstützung einer verbrauchs- und verschleißoptimierten Fahrweise Schlussbericht der MAN Truck & Bus AG	
4. author(s) (family name, first name(s)) Heyes, Daniel Dörner, Karlheinz	5. end of project 30.09.2013
	6. publication date 31.03.2014
	7. form of publication final report
8. performing organization(s) (name, address) MAN Truck & Bus AG Abteilung ERE Dachauer Str. 667 80995 München	9. originator's report no.
	10. reference no. 19 G 10013A
	11. no. of pages 47
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi) 53107 Bonn	13. no. of references 35
	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 37
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) TÜV Rheinland Consulting GmbH, PT MVt, 51101 Köln, 31.03.2014	
18. abstract Seen from today's perspective, it will not be possible to achieve the step towards autonomous driving on public roads in the near future. Although the number of assistance systems is constantly increasing, the driver in particular and his handling of the vehicle remain the most important influencing factors in relation to reducing both fuel consumption and component wear. The goal of the project supported by the German Federal Ministry for Economic Affairs and Energy (BMWi) was to develop an assistance system – the Virtual Driving Trainer - which trains the driver in fuel-efficient use of his vehicle. The Virtual Driving Trainer provides specific driving instructions that assist the driver in achieving an economical driving style. In order to provide predictive driving instructions, the system determines the topography and infrastructure elements from a commercial digital map. MAN Truck & Bus AG placed particular emphasis on developing a method for robust situation and driving error recognition. This included extensive evaluation of digital map material and subsequent validation test drives. When designing the man-machine interface, a concept was found that made it possible to convey the driving instructions to the driver so that they are easily comprehensible and also motivating. An extensive trial under real conditions confirmed the high practical suitability of the Virtual Driving Trainer as well as its significant influence on fuel consumption. The test persons were able to achieve a fuel saving of over 2 percent with the predictive driving instructions in particular.	
19. keywords Virtual Driving Trainer, driver assistance system, fuel efficiency	
20. publisher	21. price