



Ralph Mayer *Hrsg.*

XXXVII. Internationales μ -Symposium 2018 Bremsen-Fachtagung

XXXVII. International μ -Symposium 2018
Brake Conference

*October 26th 2018, Bad Neuenahr/Germany
Held by TMD Friction EsCo GmbH, Leverkusen*



TMDFRICTION
A NISSHINBO GROUP COMPANY

 Springer Vieweg

Proceedings

Ein stetig steigender Fundus an Informationen ist heute notwendig, um die immer komplexer werdende Technik heutiger Kraftfahrzeuge zu verstehen. Funktionen, Arbeitsweise, Komponenten und Systeme entwickeln sich rasant. In immer schnelleren Zyklen verbreitet sich aktuelles Wissen gerade in Konferenzen, Tagungen und Symposien in die Fachwelt. Den raschen Zugriff auf diese Informationen bietet diese Reihe Proceedings, die sich zur Aufgabe gestellt hat, das zum Verständnis topaktueller Technik rund um das Automobil erforderliche spezielle Wissen in der Systematik aus Konferenzen und Tagungen zusammen zu stellen und als Buch in Springer.com wie auch elektronisch in SpringerLink und Springer für Professionals bereit zu stellen.

Die Reihe wendet sich an Fahrzeug- und Motoreningenieure sowie Studierende, die aktuelles Fachwissen im Zusammenhang mit Fragestellungen ihres Arbeitsfeldes suchen. Professoren und Dozenten an Universitäten und Hochschulen mit Schwerpunkt Kraftfahrzeug- und Motorentechnik finden hier die Zusammenstellung von Veranstaltungen, die sie selber nicht besuchen konnten. Gutachtern, Forschern und Entwicklungsingenieuren in der Automobil- und Zulieferindustrie sowie Dienstleistern können die Proceedings wertvolle Antworten auf topaktuelle Fragen geben.

Weitere Bände in der Reihe

<http://www.springer.com/series/13360>

Ralph Mayer
(Hrsg.)

XXXVII. Internationales μ -Symposium 2018 Bremsen-Fachtagung

XXXVII. International μ -Symposium 2018
Brake Conference

*October 26th 2018, Bad Neuenahr/Germany
Held by TMD Friction EsCo GmbH, Leverkusen*



Springer Vieweg

Hrsg.

Ralph Mayer
Ingolstadt, Deutschland

ISSN 2198-7432

ISSN 2198-7440 (electronic)

Proceedings

ISBN 978-3-662-58023-3

ISBN 978-3-662-58024-0 (eBook)

<https://doi.org/10.1007/978-3-662-58024-0>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Springer Vieweg

© Springer-Verlag GmbH Deutschland, ein Teil von Springer Nature 2019

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Verantwortlich im Verlag: Markus Braun

Springer Vieweg ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer-Verlag GmbH, DE und ist ein Teil von Springer Nature

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Heidelberger Platz 3, 14197 Berlin, Germany

VORWORT

Sehr geehrte Mitglieder des μ -Clubs und Gäste des μ -Symposiums,
liebe Leser unseres Tagungsbands,

die TMD Friction Gruppe unter neuer Leitung von Herrn Tetsuya Kumakawa (CEO) ermöglicht es uns auch in diesem Jahr wieder, das XXXVII. Internationale μ -Symposium am 26.10.2018 in Bad Neuenahr durchführen zu können.

Die Publikation der Beiträge im Tagungsband, der erstmals beim Verlag Springer Vieweg erscheint, wird im Nachgang der Fachwelt auch online zur Verfügung stehen.

Mit einem leicht veränderten Tagungskonzept soll auch den strengeren Anforderungen der Industrieunternehmen Rechnung getragen werden und die Teilnahme in bewährter Vielfalt ermöglicht werden. Nicht verändert wurden die Anzahl der Beiträge und der jeweils zeitliche Rahmen hierfür. So werden bei der diesjährigen Konferenz sowohl die konventionellen Themen eines Bremsensystems wie Bremsleitung (TU Chemnitz) und Eigenfrequenzen von Bremscheiben (Fritz Winter Eisengießerei) behandelt, als auch die Aspekte zukünftiger Anforderungen bei automatisierten Realfahrversuchen (TU Dresden) und die Entwicklung eines Straßenzustandsbeobachters (Continental) berücksichtigt. Den Herausforderungen bezüglich Umweltverträglichkeit widmen sich zwei Referenten. Dazu gehören die Entstehung und Messmethodik von Bremsabrieb (Institut für Energie- und Umwelttechnik) und der Leichtbau mittels additiver Fertigung (Fraunhofer Gesellschaft).

Auch wenn der Automobilsektor derzeit dominiert wird von Fragen zur Antriebstechnik und automatisierten Fahrfunktionen, so zeigen sich Bedarf und Potenzial auch im Bereich Fahrwerk und insbesondere bei der Bremsentechnik. Dem Anspruch als führendes Podium hierzu mit ausführlichen Präsentationen und intensiver fachlicher Diskussion möchten wir wiederum gerecht werden und wünschen allen Teilnehmern des diesjährigen μ -Symposiums eine interessante Konferenz und einen nutzbringenden kollegialen Austausch.

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer
Präsident μ -Club

Tetsuya Kumakawa
CEO TMD Friction Group SA

PREFACE

Dear members and guests of the μ -Club,
dear reader of our conference programme,

TMD Friction Group, now headed by Mr Tetsuya Kumakawa (CEO), has once again made it possible to host this year's 37th International μ -Symposium on 26.10.2018 in Bad Neuenahr.

The publication of contributions in the conference programme, released for the first time by Verlag Springer Vieweg, will be subsequently made available online for experts everywhere.

A slightly modified conference set-up should meet even the exacting standards of businesses from the industry sector and ensure, as usual, that a real variety of guests are in attendance. The number of contributions and the time allotted for each one has not been changed. This year's conference will provide an opportunity both to discuss conventional brake-system topics such as brake lines (TU Chemnitz) and natural frequencies of brake pads (Fritz Winter Eisengießerei) and to consider aspects of future requirements for automated live test-drives (TU Dresden) and the development of a road condition monitoring device (Continental). Two of the speakers will focus on the challenges of environmental sustainability. This encompasses the causes and measuring processes of brake friction (Institut für Energie und Umwelttechnik) and lightweight construction using additive manufacturing (Fraunhofer Gesellschaft).

Although the automotive sector is currently dominated by issues surrounding drive technology and automated driving functions, there is also a clear need and a great deal of potential in the chassis sector, in particular in brake technology. We would like to continue to offer a pioneering platform for these developments through extensive presentations and in-depth specialist discussions, and hope that this year's μ -Symposium provides an interesting and informative opportunity for all those who attend, offering the possibility for a fruitful exchange with fellow industry members.

Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer
President of μ -Club

Tetsuya Kumakawa
CEO of TMD Friction Group SA

INHALTSVERZEICHNIS

| | |
|---|----|
| Automatisierte Realfahrversuche zur Bewertung aktiver Sicherheitssysteme | 1 |
| Dipl.-Ing. T. Rinnert, Prof. Dr.-Ing. G. Prokop | |
| Gewicht vs. Performance – Einfluss der Bremsleitung auf das Ansprechverhalten von Radbremsen | 13 |
| Falko Wagner, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer | |
| Entwicklung eines Road Condition Observers im Projekt “Vehicle Motion Control” | 29 |
| Dr. Thomas Raste, Peter Lauer, Bernd Hartmann | |
| Entstehung und Möglichkeiten zur Messung von Fein- und Ultrafeinstaub beim Bremsen | 45 |
| Dr.-Ing. Christof Asbach, Ana Maria Todea, Marco Zessinger, Heinz Kaminski | |
| Der dynamische E-Modul – der große Unbekannte bei der praxismgerechten Eigenfrequenzverzielung von Bremsscheiben | 69 |
| Reiner Becker, Wilfried Strauß | |
| Neue Möglichkeiten in der Bremsentechnologie durch Additive Produktionstechnologien am Beispiel eines Bugatti Bremssattels | 85 |
| Dipl.-Ing. T. M. Wischeropp, M.Sc. H. Hoch, Dipl.-Ing. Frank Beckmann, Prof. Dr.-Ing. C. Emmelmann | |

CONTENT

| | |
|---|-----|
| Automated Real-World Driving Tests for the Assessment of Active Safety | 99 |
| Dipl.-Ing. T. Rinnert, Prof. Dr.-Ing. G. Prokop | |
| Lightweight vs. Performance – Influence of the Brake Pipe on the Response of Wheel Brakes | 111 |
| Falko Wagner, Univ.-Prof. Dr.-Ing. Ralph Mayer | |
| Development of a Road Condition Observer for the “Vehicle Motion Control” Project | 127 |
| Dr. Thomas Raste, Peter Lauer, Bernd Hartmann | |
| Generation of Fine and Ultrafine Particles During Braking and Possibilities for Their Measurement | 143 |
| Dr.-Ing. Christof Asbach, Ana Maria Todea, Marco Zessinger, Heinz Kaminski | |
| The Dynamic E-Module – the Great Unknown in the Practical Procedure to Determine the Natural Frequency Target Value of Brake Discs | 165 |
| Reiner Becker, Wilfried Strauß | |
| Opportunities for Braking Technology Due to Additive Manufacturing Through the Example of a Bugatti Brake Caliper | 181 |
| Dipl.-Ing. T. M. Wischeropp, M.Sc. H. Hoch, Dipl.-Ing. Frank Beckmann, Prof. Dr.-Ing. C. Emmelmann | |

Automatisierte Realfahrversuche zur Bewertung aktiver Sicherheitssysteme

Dipl.-Ing. T. Rinnert, Prof. Dr.-Ing. G. Prokop

1 Einleitung und Motivation

Seit Mitte des vergangenen Jahrhunderts stieg die Zahl der im Straßenverkehr getöteten und verletzten Personen sowohl in Deutschland als auch global stetig an [1]. Die Ursachen hierfür lagen bspw. in einer kontinuierlich steigenden Zahl an Verkehrsteilnehmern durch die zunehmende Verbreitung des Automobils und an einem Mangel an Sicherheitssystemen in den Fahrzeugen der damaligen Zeit.

Um diesem Trend entgegenwirken zu können wurden ab den 70er Jahren erste Fahrzeuge während ihrer Entwicklung auch hinsichtlich sicherheitserhöhender Maßnahmen und Funktionen ausgelegt und unter anderem mit Kopfstützen und Sicherheitsgurten ausgerüstet. Zu diesen ersten Maßnahmen kamen sukzessive weitere hinzu, wie z.B. der Airbag, das Anti-Blockier-System (ABS) oder später die Erweiterung in Form des Elektronischen-Stabilitäts-Programms (ESP).

Neben den genannten Systemen, welche die Insassen eines Fahrzeugs schützen sollen, müssen zudem die lange Zeit unbeachteten sogenannten schwachen Verkehrsteilnehmer¹, also Fußgänger und Radfahrer, in die gesamtheitliche Bewertung der Verkehrssicherheit mit einbezogen werden. Zu ihrem Schutz werden seit einigen Jahren passive Maßnahmen eingesetzt (siehe Kapitel 2.1), bei denen die Folgen des Zusammenpralls mit einem Fahrzeug möglichst geringgehalten werden sollen. Hierfür werden bspw. aktive Motorhauben oder möglichst weiche Karosserieteile im Frontbereich der Fahrzeuge verbaut. Zudem werden zahlreiche aktive Maßnahmen implementiert (siehe Kapitel 2.2), die den Zusammenprall im Voraus durch eine Änderung der Fahrzeugbewegung verhindern oder in kritischeren Situationen die Kollisionsgeschwindigkeit reduzieren sollen.

Für die Effektivitätsbewertung der genannten bzw. weiterer Systeme kommen diverse Methodiken zum Einsatz, die virtuell, halb virtuell oder real durchgeführt werden können. So existieren Softwareumgebungen, die das Crashverhalten des Fahrzeugs oder die Verlagerung der Insassen in einem frühen Stadium der Entwicklung beleuchten können und damit eine Aussage bzgl. der Wirksamkeitsbewertung passiver Fahrzeugsysteme erlauben. Daneben ist es möglich mit komplexen virtuellen Methoden aktive Sicherheitssysteme und ihren Einfluss auf die Fahrzeug- bzw. Verkehrssicherheit im Gesamtverbund zu evaluieren. Mit Hilfe von Fahr simulatoren lassen sich zudem Effekte in einer virtuellen Umgebung mit einem realen Fahrer in einem realen Fahrzeugmodell untersuchen und damit vor allem Fragestellungen hinsichtlich der Mensch-Maschine-Interaktion und dem Fahrerverhalten in definierten Szenarien beantworten.

1 Im Englischen **Vulnerable Road Users** (VRU): schwache Verkehrsteilnehmer

In der Realität werden passive Systeme in Crashversuchen erprobt, bei denen das Fahrzeug teilweise oder vollständig zerstört wird. Sie liefern damit den abschließenden Beweis zur Wirksamkeit der passiven Maßnahmen.

Der Realfahrversuch hingegen vervollständigt die Methodenlandschaft zur Wirksamkeitsbewertung aktiver Fahrzeugsicherheitssysteme und wird zum Ende des Entwicklungsprozesses angewendet, da hierfür ein real existierendes Fahrzeug bzw. ein Prototyp benötigt wird. Er ermöglicht es, die Funktionalität der eingebauten Systeme und damit den Sicherheitsgewinn in konkreten Szenarien zu testen und zudem die Absicherung nach technischen Richtlinien oder im Sinne eines Verbraucherschutztests, wie dem EuroNCAP, durchzuführen.

Unter der Prämisse einer zuverlässigen und konstanten Reproduzierbarkeit ist der Realfahrversuch seitens des EuroNCAP oder anderer Verbraucherschutzorganisationen² genau spezifiziert. Dadurch lassen sich die von unterschiedlichen Herstellern, Instituten oder Laboren erzielten Ergebnisse zwischen unterschiedlichen Fahrzeugen vergleichen. Gleichzeitig impliziert dieser Umstand hohe Anforderungen an die Testdurchführung, um die geforderten Randbedingungen und geringen Toleranzen einhalten zu können. Dazu werden die zu testenden Fahrzeuge mit Messtechnik, Robotik und Datenerfassungssystemen ausgerüstet und zusätzlich mit Targetsystemen gekoppelt, die jedoch ein gewisses Maß an Komplexität und damit an möglichen Fehlerquellen bei der Versuchsdurchführung und der Datenerfassung aufweisen.

Eine naheliegende Schlussfolgerung liegt damit in der Automatisierung dieser Realfahrversuche, wodurch zudem die benötigte Zeit sowohl bei der Durchführung selbst als auch bei der Datenauswertung und damit der Ergebnisermittlung, also letztendlich der Bewertung der Wirksamkeit des getesteten Assistenzsystems, minimiert werden kann. Im Hinblick auf die stetig steigende Zahl an durchzuführenden Absicherungstests, welche neue Sicherheitsfunktionen und -systeme adressieren sollen, zeigt sich deutlich, dass insbesondere der Faktor zur Zeiteinsparung, neben dem Komfortgewinn und der Sicherstellung eines validen Tests, von hoher Bedeutung ist.

Zur Umsetzung dieser Anforderung wird in diesem Beitrag eine technische Lösung präsentiert, deren Aufbau und Funktionsweise erläutert sowie Einsatzmöglichkeiten aufgezeigt werden. Außerdem sollen mögliche zukünftige Themen im Bereich der Fahrzeugsicherheit aber auch in anderen Feldern der Automobilentwicklung angesprochen werden.

² Weitere NCAP, wie China, US oder Global, und bspw. NHTSA

2 Grundlagen

Zu Beginn werden die Grundlagen, verwendeten Begriffe und zugehörige Abkürzungen erläutert, mit denen das Verständnis für die nachfolgenden Inhalte sichergestellt werden kann.

Prinzipiell werden Fahrzeugsicherheitssysteme in passive und aktive Systeme unterschieden, wobei es zusätzlich den Begriff der integralen Sicherheit gibt, die den fließenden zeitlichen Übergang zwischen beiden beschreibt. [2]

2.1 Passive Fahrzeugsicherheit

Die passive Fahrzeugsicherheit befasst sich mit allen Maßnahmen, die die Unfallschwere mindern sollen, wobei nachfolgende Intentionen im Grundsatz verfolgt werden [3]:

- den Fahrer im Fahrzeug zu halten
- die auf ihn wirkenden Kräfte bzw. Beschleunigungen möglichst gering zu halten
- nicht von den Teilen des Fahrzeuginnenraums verletzt zu werden

Zu den heutzutage verbauten Sicherheitssystemen, welche diese Anforderungen adressieren sollen, gehören unter anderem folgende Komponenten:

- Sicherheitsgurte und Warnsysteme bei Nichtanlegen des Sicherheitsgurtes
- Kopfstützen, mitunter aktiv
- Airbags
- Knautschzonen

Für weitere Informationen sei an dieser Stelle auf die einschlägige Literatur verwiesen, bspw. [3].

2.2 Aktive Fahrzeugsicherheit

Aktive Fahrzeugsicherheitssysteme dienen zur Unfallvermeidung bzw. Unfallschwereminderung und wirken vor der eigentlichen Kollision, also bis zum Zeitpunkt Time-To-Collision (TTC) gleich Null. Sie umfassen damit die Zustände der Normalfahrt und der kritischen Situation, welche abstrakt oder konkret ausgeprägt sein können, und verfolgen grundlegend folgende Ziele [2]:

- Den Fahrer vor potentiellen oder existierenden Gefahren zu warnen
- Den Fahrer bei der Entschärfung einer kritischen Situation zu unterstützen
- Selbsttätig (autonom) die Situation zu entschärfen

Hierfür werden die Stellgrößen des Fahrzeugs, also die Lenkung, das Gaspedal und die Bremse in unterschiedlichen Konstellationen angesprochen, je nachdem, ob eine Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer durch Bremsen oder Ausweichen oder möglicherweise eine Beschleunigung vermieden werden kann. Das Zusammenspiel aus den Bewegungsgrößen beider Verkehrsteilnehmer ist dabei entscheidend.

2.3 Adressierte Tests des EuroNCAP – Safety Assist

Der erwähnte EuroNCAP, im speziellen die Rubrik des Safety Assist, bietet im Rahmen seiner Verbraucherschutzrolle spezielle, genau definierte Tests an, die eine Bewertung der aktiven Sicherheitssysteme und damit einen Vergleich zwischen verschiedenen Fahrzeugen ermöglicht. Zu diesen gehören vor einer Kollision warnende Systeme, sogenannte Forward-Collision-Warning (FCW) Systeme, selbsttätig eingreifende Notfallbremsassistenten, sogenannte Autonomous-Emergency-Braking (AEB) Systeme und selbsttätig eingreifende Spurhalteassistenten, wie Lane-Departure-Warning (LDW), Lane-Support-Systems (LSS), Emergency-Lane-Keeping (ELK), bis hin zu selbsttätig eingreifenden Lenksystemen, den sogenannten Autonomous-Emergency-Steering (AES). Im Gegensatz zu den Spurhalteassistenten orientieren sich diese nicht an den Fahrstreifenmarkierungen, sondern versuchen die Kollision durch ein Ausweichen zu vermeiden ohne dabei andere Verkehrsteilnehmer zu gefährden [4].

Der EuroNCAP liefert damit umfängliche Versuchsreihen zu Vergleichszwecken und hat sich als ein wichtiges Instrument zur Qualitätsbeurteilung eines Fahrzeugmodells etabliert. Aus diesem Grund werden dessen Regularien als Basis zur Auslegung der automatisierten Realfahrversuche verwendet und das Gesamtsystem, wie es im Folgenden Kapitel beschrieben wird, zur Durchführung der EuroNCAP Tests befähigt.³

³ Ungeachtet dessen ist das System nach einer kurzen softwareseitigen Anpassung in der Lage, jegliche Anforderungen anderer Testvorschriften zu erfüllen.

3 Versuchstechnik

Die für die Durchführung benötigte und bereits angesprochene Hardware stammt von verschiedenen Herstellern und ist im Sinne einer Automatisierung aufeinander abzustimmen. Dazu wurde die Driveability Testing Alliance (DTA) gegründet, eine Kompetenzpartnerschaft bestehend aus vier Firmen⁴, in der das Know-How und die jeweiligen Kompetenzen der Partner in einer Plug&Play Komplettlösung mit allen benötigten Hard- und Softwarekomponenten gebündelt vorliegen (Bild 1, 2). Die umfangreichen Testszenarien und die zugehörigen Bewertungsschemata können damit effizient, mit festgelegter Ergebnisqualität, in definierter Zeit und somit prozesssicher durchgeführt werden. Der Einbau der benötigten Hardware ist schnell und unkompliziert für nahezu alle Fahrzeugklassen möglich und es müssen keinerlei Änderungen am zu testenden Fahrzeug vorgenommen werden.



Bild 1: Eingebautes Komplettsystem Cockpitansicht

⁴ Auto Mobil Forschung Dresden GmbH, GeneSys Elektronik GmbH, STÄHLE GmbH, DEWETRON GmbH



Bild 2: Eingebautes Komplettsystem Fondbereich

3.1 Aufbau und Funktionsweise

Die angesprochenen strengen Testregularien erfordern während der Versuchsdurchführung ein exaktes Einhalten aller Randbedingungen zur Fahrzeuglängs- und querführung, wodurch die Reproduzier- und Vergleichbarkeit der Tests gewährleistet werden kann. Dieser Umstand impliziert direkt die Verwendung von Fahrrobotern, die gegenüber dem Fahrer über ein deutlich feineres Regelvermögen verfügen. Als Beispiel sei an dieser Stelle die Einhaltung der Testgeschwindigkeit in einem Toleranzbereich von $\pm 0,5$ km/h oder der Toleranzbereich der Querablage zur Fahrtrajektorie von ± 5 cm erwähnt [4].

Hierfür bietet die Stähle GmbH Lenk-, Gas- und Bremsaktuatoren zur testweisen Installation im Fahrzeug an und greift dabei auf ihre langjährigen Erfahrungen aus den Bereichen zur automatisierten Steuerung von Fahrzeugprüflingen auf stationären Prüfständen zurück. Diese Aktuatoren zur Fahrzeugführung werden über einen Controller gesteuert, der die Steuersignale entsprechend eines eingegebenen Fahrprogramms ermittelt. Dieses Fahrprogramm, oder auch Setup genannt, existiert für jedes Testszenario und ermöglicht dadurch die konstante und reproduzierbare Durchführung aller Testszenarien. Der Controller greift dabei auf die Soll-Größen aus dem Programm und die in Echtzeit ermittelten Ist-Messwerte zurück, vergleicht diese und regelt Differenzen anschließend aus.

Für diese Regelung benötigt die Robotik exakte, zeitsynchrone und verlässliche Messdaten. Zu diesen gehören die Positionen, Geschwindigkeiten, Beschleunigungen und weitere Messgrößen, um damit die Ist-Werte zur Regelung bereitstellen zu können. Hierfür wird ein GPS-gestütztes Ortungssystem verwendet, welches unter Einbeziehung von Korrekturdaten und die überlagerte Integration der Fahrzeugbeschleunigungen eine Positionsgenauigkeit von ± 1 cm ermöglicht. Weiterhin ist es bspw. für Car-to-Car⁵ oder VRU Versuche notwendig, die Daten zwischen zwei Objekten per WLAN auszutauschen und diese miteinander zu verrechnen (Bild 3). Die damit generierten Delta-Größen, welche auf diverse POI's⁶ in oder an den Objekten referenziert sein können, ermöglichen anschließend eine Kollisionsdetektion mit zugehöriger Differenzgeschwindigkeit beider Kollisionspartner und damit die prozesssichere Auswertung der relevanten Testparameter (Bild 4). Die zeitsynchrone Bereitstellung von Messgrößen verschiedener Objekte innerhalb des Testszenarios ist Aufgabe der Messtechnik der Firma GeneSys Elektronik GmbH. Die Aufzeichnung und Verarbeitung der Messdaten erfolgt in einem Messrechner der Firma Dewetron GmbH als zentraler Schnittstelle aller Komponenten. In dessen Software zur Datenaufzeichnung sind ähnlich zur Robotik Setups hinterlegt, die für jedes Testszenario die spezifisch benötigten Messdaten aufzeichnet und zudem allgemeine Informationen⁷ in das Messdaten-File integriert.

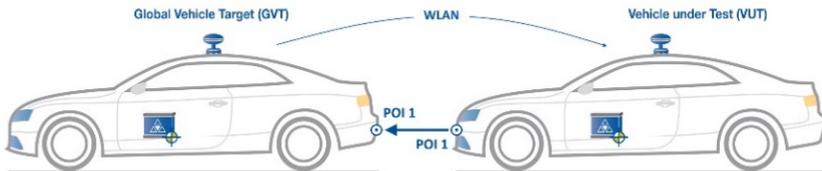


Bild 3: Kommunikation zwischen zwei Objekten

-
- 5 Auffahren des zu testenden Fahrzeugs auf ein stehendes, bewegtes oder verzögerndes Fahrzeug
 - 6 Point of Interest: Referenzpunkt
 - 7 Sogenannte Headerdaten: enthalten allgemeine Informationen zur Testspezifizierung (Testgeschwindigkeit, Überdeckung, verbaute Systeme, etc.)

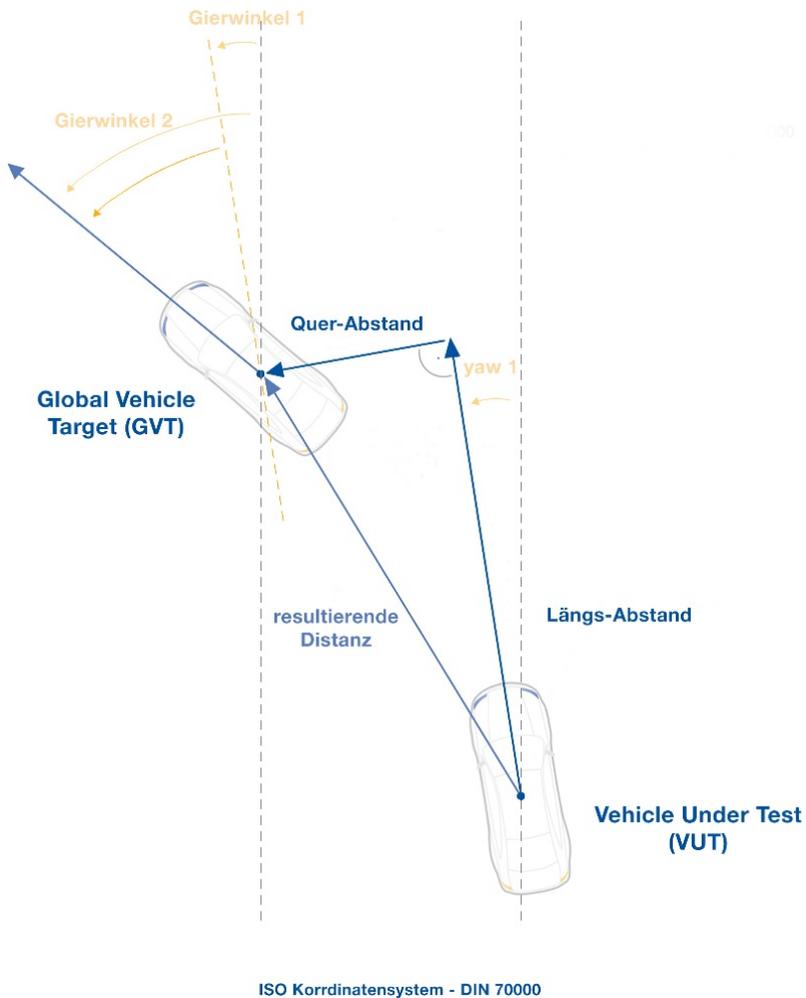


Bild 4: Darstellung zur Deltaberechnung

Mit Hilfe der genannten Komponenten ist die Testdurchführung möglich, jedoch sind die Abläufe in der Testdurchführung komplex und die Auswertung der Messdaten obliegt dem Anwender. Entscheidend ist jedoch die Berechnung der erreichten Punktzahl entsprechend der Testspezifikation, um das Fahrzeug bewerten und damit im Sinne eines Verbrauchertests vergleichbar machen zu können.

Im Verbund der DTA agiert die Auto Mobil Forschung Dresden GmbH (AMFD) als Dienstleister, indem sie die konkrete Durchführung dieser entwicklungs- und absicherungsbegleitenden Tests nach den Richtlinien des EuroNCAP übernimmt und das Post-Processing der aufgezeichneten Messdaten für die Bewertung des Fahrzeugs vornimmt. Möglich wird dies durch eine skriptbasierte Auswerteroutine, die in der Lage ist, bereits während der Testdurchführung eine Aussage zur Qualität der Messdaten treffen zu können, inwiefern die Randbedingungen erfolgreich eingehalten werden konnten und welches Ergebnis das Fahrzeug eingefahren hat. Fehlgeschlagene Tests können auf Basis dieser Erkenntnisse direkt wiederholt werden, wodurch eine vollständige und valide Aufzeichnung aller benötigten Messdaten sichergestellt werden kann.

3.2 Weitere Einsatzmöglichkeiten

Das vorgestellte Gesamtsystem bietet neben der Möglichkeit einzelne Fahrzeuge und deren Sicherheitssysteme zu testen insbesondere ein weitreichendes Potential für zukünftig relevante Fragestellungen. So ist beispielsweise die Mess- und Kommunikationstechnik in der Lage, bis zu acht Akteure gleichzeitig und zeitsynchron zu betreiben und deren Daten zu erfassen, wodurch sich insgesamt komplexe Szenarien aufbauen und durchführen lassen. Die aktuellen Tests zu einzelnen Funktionen, wie einem Brems- oder einem Lenkeingriff, sind historisch mit den SAE Leveln 1 und 2 [5] und den dazu nötigen Assistenzsystemen entwickelt und in Fahrzeuge implementiert worden, stellen jedoch für höhere SAE-Level nicht das Mittel der Wahl für eine umfängliche und valide Sicherheitsbewertung dar.

Vielmehr ist gerade in Hinblick auf die zunehmende Komplexität der Fahrzeugsicherheitssysteme direkt ein Bedarf nach umfangreichen Testszenarien zur Entwicklung und Absicherung verbunden, bei denen nicht mehr die alleinstehende Brems- oder Lenkfunktion untersucht werden soll, sondern stattdessen die Entscheidung zum Bremsengriff oder Lenkeingriff vom Fahrzeug und dessen Intelligenz zu treffen ist. Ein automatisiert durchgeführter Realfahrversuch schafft die zur Generierung dieser Szenarien notwendige technische Basis und erlaubt zudem eine sichere Datenaufzeichnung.

Neben der Bewertung aktiver Sicherheitssysteme lässt sich das Gesamtsystem auch für andere Fahrversuche verwenden, bei denen eine hohe Reproduzierbarkeit entscheidend ist oder geringe Toleranzbereiche einzuhalten sind. Diverse Tests zur Bewertung der Fahrdynamik können mit Hilfe vorgefertigter Setups ebenso automatisiert durchgeführt werden, wie Versuche zur Fahrbarkeit, zum Fahrkomfort oder in der Dauerlauferprobung.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Das vorgestellte Gesamtsystem ermöglicht es, Fahrzeuge einzeln oder in einem größeren Verbund mit mehreren Akteuren automatisiert im Realfahrversuch zu testen. Insbesondere ermöglichen vorgefertigte Setups für die Robotik und die Datenerfassung eine schnelle und reproduzierbare Durchführung unterschiedlichster Testprozeduren inklusive einer Datenüberwachung in Echtzeit mit direkt angeschlossener Datenauswertung. Damit leistet die DTA einen Beitrag zur Bewältigung immer komplexer und umfangreicher werdender Prüfscenarien zur Bewertung aktiver Sicherheitssysteme und bedient gleichzeitig mögliche zukünftige Fragestellungen hin zum teil- und hochautomatisierten Fahren der SAE-Level 3 und 4 [5].

Für diese zukünftigen Fragestellungen liefern die beteiligten Firmen fortwährend einen Betrag, um die Versuchstechnik aktuell und für alle Arten von Testszenarien gerüstet zu halten. Dies beinhaltet notwendige Anpassungen an der Hardware aber vor allem an der Software. Damit lässt sich eine gewünschte Automatisierung der durchzuführenden Realfahrversuche auch zukünftig sicherstellen und die benötigte Versuchszeit für stetig komplexer werdende Prüfscenarien nachhaltig reduzieren.

5 Literaturliste

- [1] Statistisches Bundesamt: „Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2015“; Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 12. Juli 2016 in Berlin; Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2016
- [2] Prokop, G.: Vorlesungsskript Kraftfahrzeugtechnik 2 (Gesamtfahrzeugfunktionen SS 2018), Vorlesungsskript, Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik, Technische Universität Dresden, 2018
- [3] Kramer, F.: „Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen“, Biomechanik – Simulation – Sicherheit im Entwicklungsprozess, 3. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2009
- [4] European New Car Assessment Programme: „Test Protocol – AEB VRU systems” - Version 2.0.2, Euro NCAP, November 2017
- [5] SAE International: “Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles”, SAE J3016, Juni 2018