

**Sicherheit**  
**Safety**

**Umwelt**  
**Environment**

**Zukunft**  
**Future**

**Tagungsband der 12. Internationalen  
Motorradkonferenz 2018**  
**Proceedings of the 12<sup>th</sup> International  
Motorcycle Conference 2018**

**Herausgeber / edited by**  
**Institut für Zweiradsicherheit e.V.**  
**Institute for Motorcycle Safety e.V.**

Active motorcycle safety with Rider Assistance Systems –  
BASt research

Aktive Motorradsicherheit durch Fahrerassistenz –  
Forschung der BASt

Julia Bräutigam, Adrian Hellmann, Patrick Seiniger  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt), Bergisch Gladbach, Germany

## Abstract

Motorcycle riders are one of the most endangered groups in modern traffic. Due to the specific driving dynamics of one-track vehicles and the location of the predominantly driven roads, the severity of accidents tends to be considerably above average. Analyses of available accidentology data showed that the cause for a typical accident with a motorcycle on rural roads is loss of control over the vehicle. Prevention of mistakes by the rider in addition to occurring roll angles and braking while cornering are promising starting points for a reduction in motorcycle accidents on rural roads.

The Federal Highway Research Institute (BAST) is supporting external research projects for increasing traffic safety. It focused specifically on one-track vehicles in 2016 and established the research program “roadmap – active motorcycle safety” which includes basic research topics as well as vehicle and rider behaviour related approaches. Research aspects include “applications for riding simulators”, “motorcycle cornering ABS”, “autonomous emergency braking for motorcycles” and “roll angle anxiety”.

In passenger car development driving simulators are a common tool for various research questions. For applications in motorcycle research simulators are scarcely evaluated. The aim is to determine fields of use and develop a validation methodology for riding simulators.

Commercially sold cornering ABS are a new development. The objective is to assess the benefit for average riders. Additionally, these systems could be key technology for future autonomous emergency braking systems. Initially, constraints in driving dynamics to ensure autonomous braking without influence on riding safety as well as possible deceleration levels are to be defined.

For rider behaviour, roll angles for different rider profiles in everyday and critical scenarios should be evaluated. The methodology should contribute to detailed accidentology and development of training methods.

With the research roadmap BAST aims to contribute to active motorcycle safety. The results are used for further research on Advanced Rider Assistance Systems (ARAS) which support the rider in critical situations.

## Kurzfassung

Motorradfahrer zählen auch heute noch zu den gefährdetsten Verkehrsteilnehmergruppen im Straßenverkehr. Aufgrund der fahrdynamischen Besonderheiten von Einspurfahrzeugen und der Ortslage der überwiegend befahrenen Straßen ist die Schwere der auftretenden Unfälle überdurchschnittlich hoch. Auswertungen verfügbarer Daten der Unfallstatistik zeigen, dass die typischen Motorradunfälle auf Landstraßen in der Regel durch einen Kontrollverlust über das Fahrzeug bedingt sind. Die Vermeidung von Fahrerfehlern in Zusammenhang mit Schräglage und Bremsen in Kurven sind daher vielversprechende Ansatzpunkte zur Reduktion von Motorradunfällen auf Landstraßen.

Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) fördert externe Forschungsprojekte zur Erhöhung der Sicherheit im Straßenverkehr. Sie hat daher im Jahr 2016 den Fokus verstärkt auf Einspurfahrzeuge gelegt und das Forschungsprogramm „Forschungsroadmap-aktive Motorradsicherheit“ ins Leben gerufen, das Grundlagenforschung, fahrzeugtechnische Ansätze und Untersuchungen zum Fahrerverhalten umfasst. Die Forschungsaspekte sind „Anwendungsmöglichkeiten von Motorradsimulatoren“, „Motorrad Kurven-ABS“, „Automatische Notbremssysteme für Motorräder“ und „Schräglagenangst“.

Aus dem PKW-Sektor sind Simulatoren zur Erforschung vielfältiger Fragestellungen bereits nicht wegzudenken. Dieses Forschungswerkzeug befindet sich für Anwendungen im Motorradbereich allerdings noch in einem sehr frühen Stadium. Das Ziel im Grundlagenbereich ist es daher zunächst, Anwendungsfelder zu definieren und eine Validierungsmethodik für Motorradfahrersimulatoren zu erarbeiten.

Neuartige Kurven-ABS-Systeme sind erst seit kurzem auf dem Markt. Ziel der Forschung ist es, den Nutzen für durchschnittliche Fahrer dieser Systeme zu bewerten. Zusätzlich könnten diese Kurven-ABS-Systeme eine Schlüsseltechnologie für zukünftige automatische Notbremssysteme sein. Für letztere ist es zunächst notwendig, Fahrdynamikbereiche zu identifizieren, in denen gefahrlos automatische Bremsengriffe erfolgen können sowie die bereichsabhängige Höhe der Verzögerung zu erarbeiten.

Im Bereich Fahrerverhalten sollen zukünftig über einen möglichst breiten Fahrerquerschnitt gefahrene Schräglagen im Alltag als auch in Gefahrensituationen evaluiert werden. Die entwickelte Methodik soll zur detaillierten Unfallanalyse und zur Entwicklung zukünftiger Trainingsmethoden herangezogen werden können.

Mit diesem umfassenden Forschungspaket will die BASt einen Beitrag zur Verkehrssicherheit von Motorradfahrern leisten. Die Erkenntnisse sollen in weitere Forschung an aktiven Fahrerassistenzsystemen, die den Fahrer in kritischen Fahrsituationen unterstützen, einfließen.

Active motorcycle safety with Rider Assistance Systems –  
BASt research

## Introduction

It is the task of the Federal Highway Research Institute (German: Bundesanstalt für Straßenwesen, abbreviation: BASt) to pursue a target-oriented research strategy regarding the improvement of traffic safety. For this reason, BASt issues a yearly research program that addresses questions of known or expected safety shortcomings to provide consolidated findings to the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure (German: Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur; abbreviation: BMVI). This interdisciplinary program is based on current safety issues, but also aims to address foreseen upcoming potentials for traffic safety. Funding external research provides a suitable possibility of reaching the best expertise from research facilities as well as free economy and of finding the best consensus for recommendations. At the end of each project a final overall project report is provided and published by BASt.

The safety research program of 2016 focuses on motorcycle safety on rural roads. In the following the basic principles of this concept are introduced. In addition, this paper includes background information on the research focus and on the content of the projects funded by this motorcycle targeted program.

## Background

Motorcycle riders are one of the most endangered groups in traffic. Due to the specific dynamics of one-track vehicles and the location of the predominantly used roads, the severity of accidents tends to be considerably above average and as rather unprotected road users they often suffer from high severity injuries. Age, experience, attitude and life style influence the driving behavior especially of motorcycle riders and therefore the individual risk of being involved in an accident. Analyses of accident data of motorcycle riders in comparison with the overall status and development of traffic safety in Germany support this thesis.

In 2017, 29.024 motorcycle drivers were involved in accidents with physical injuries. This equals 4.98 % of all casualties. The number of killed motorcyclists adds up to 18.3 % of all killed persons (583 out of 3180). Even though the risk of dying an accident continuously decreased for motorcyclists since the 1990s, the risk is still multiple times higher than for car occupants. Regarding the amount of vehicles, it is more than three times higher (factor: 3.375) and regarding the kilometers driven, the risk is increased by 15 times. The overall decrease of killed motorcyclist is minus 41 % since 1991 and therefore far below the trend of minus 72 % for all traffic participants.

38 % of accidents with physical injuries with motorcyclists and 73 % of the killed motorcycle users occur on rural roads. Therefore, motorcyclists build the second largest group of killed persons directly after car drivers in inter-urban areas. Since 2000 the overall trend for accidents on rural roads is

developing positively. The accidents with physical injuries have decreased by a third until 2017 (see Figure 1). Unfortunately, this positive trend is not as feasible for motorcyclists. In the shown time frame the accidents decreased only by -16% (13.443 accidents in 2000 and 11.275 in 2014).

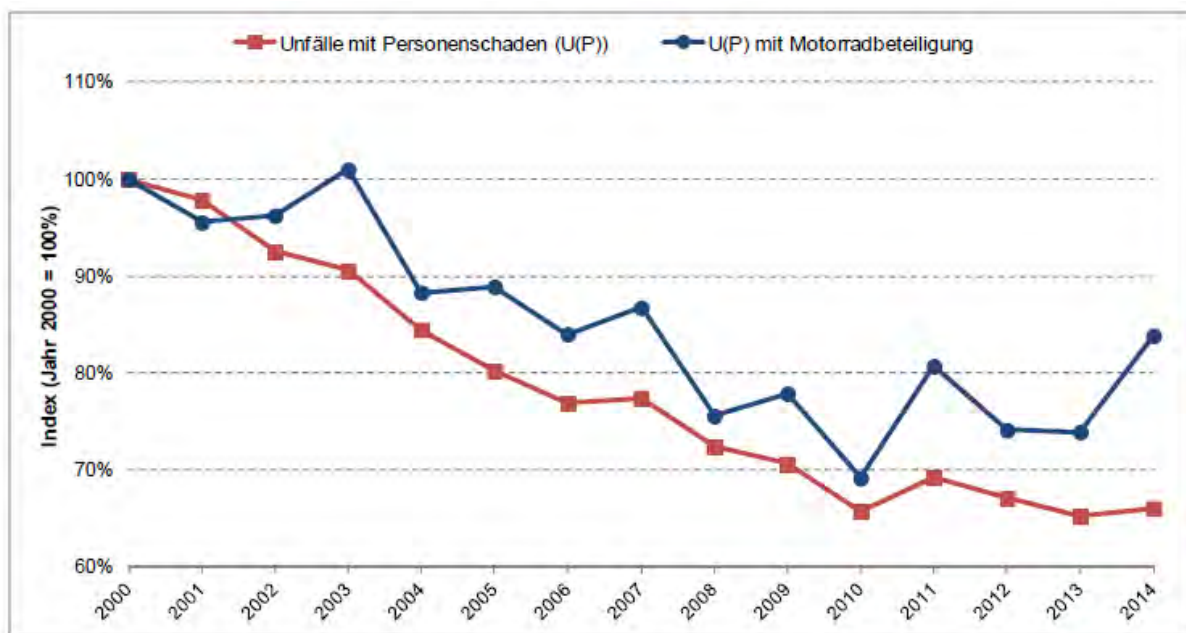


Fig. 1: Development of accidents with physical injuries overall (red line) and with involvement of motorcycles (blue line) from 2000 until 2014 on rural roads.

The development for the number of casualties shows a similar trend. Since 2000 the casualties on rural roads decreased considerably (see Figure 2). While in 2000 almost 168.000 casualties occurred on rural roads, the casualties in 2014 are decreased by 36 % to about 107.000. In comparison, the casualties including motorcyclists only decreased by 17 % (from 14.553 to 12.076 casualties). Considering only severe injuries and killed people, the development is even more distinct. While severe injuries on rural were overall decreasing by 45 %, the casualties including motorcyclists only decreased by 20% in the shown time frame.

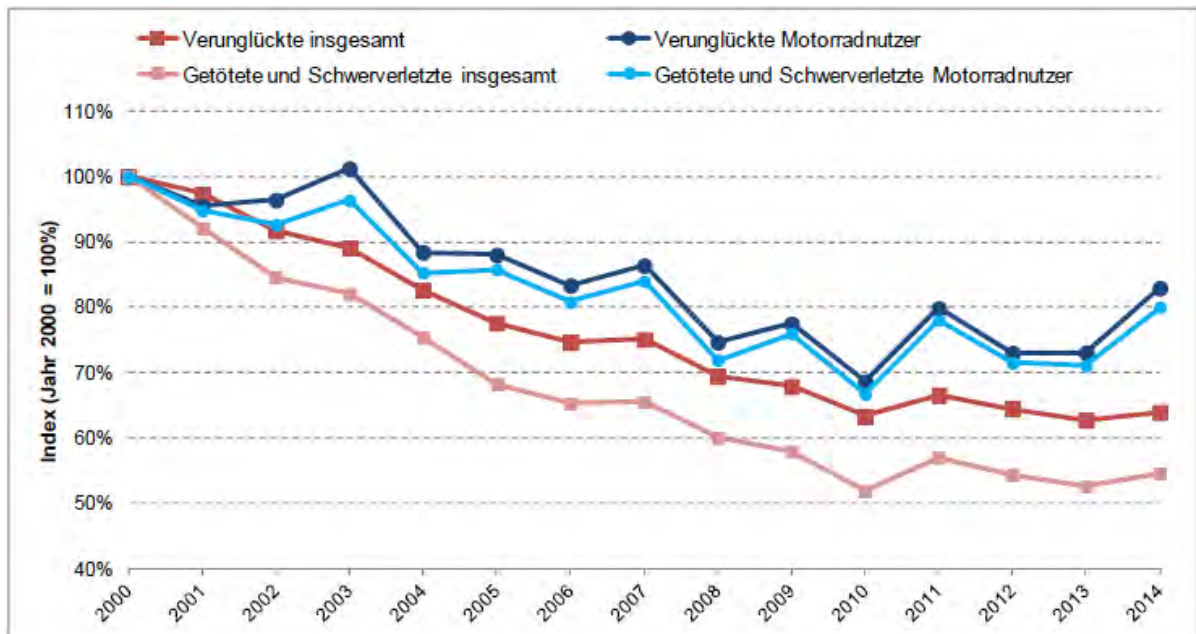


Fig. 2: Development of accidents overall (red: physical injuries, rose: killed) and with involvement of motorcycles (dark blue: physical injuries, light blue: killed) from 2000 until 2014 on rural roads.

Report M209 by BASt regarding accident analyses on rural roads from 2010 stresses the following main points for accidents with motorcyclists on rural roads:

- 41 % of accidents with motorcyclists on rural roads happen without involvement of a second party
- 35 % of the accidents are not caused by the motorcycle driver. The focus is set on collisions while crossing or turning in an intersection or with an oncoming vehicle.
- In 43 % of the accidents caused by the motorcycle riders the motorcyclist is leaving the track. The predominant reason is a not adapted velocity. These accidents happen most often in curves and on a dry surface during the day.
- 12 % of the accidents caused by the motorcycle riders include collisions with oncoming vehicles. These accidents often involve heavy severities and claim 38 % of accidents with killed motorcyclists within the self-caused motorcyclist accidents on rural roads. Common reasons are mistakes while overtaking, not using the right sight of the lane as well as not adapted velocities.

As a summary, the typically seen accidents including motorcyclists on rural roads feature loss of control over the vehicle (“non-adapted velocity”). As a result, the vehicle is leaving the track or collides with an oncoming vehicle. Most often, the reason is not the entering of critical states regarding the driving dynamics, but riding mistakes. A study that reconstructed deadly accidents of motorcyclists in detail showed that many motorcyclists crash in curves. It was shown that none of the riders involved in the



accidents exceeded a roll angle of 20°. Almost all accidents could have been prevented without reducing the velocity by increasing the roll angle. Additionally, 30 % of the riders already in the curve tried to reduce the velocity before the accident by braking. In those cases, either the blocking limit of the tires was met or the riders were not capable of compensating the occurring momentum resulting in a roll angle reduction. As a result, they ended up in oncoming traffic. The prevention of mistakes by the rider in addition with appropriate roll angles and safe braking while cornering are promising starting points for a reduction in motorcycle accidents on rural roads.

Accidents in longitudinal scenarios have a certain impact as well. Here, mostly mistakes while overtaking and not complying with riding on the right side of the lane. Unfavorable environmental conditions like wetness or darkness do not have a measurable impact.

Based on the presented situation in traffic safety, assisting motorcycle riders is chosen as a focus to reduce the numbers of killed motorcyclists. Moreover, rural roads are targeted as well, because 60 % of all registered accidents with killed people occur in this field. The current research program consists of four parts to address the problem, namely “basic research”, “driving dynamics”, “infrastructure” and “rider behavior”. In the following sections the objectives of the studies are outlined.

## Research projects

With regard to the item “basic research” BAST focuses on the following two main topics. The first one addresses the assessment of exposition measures and mobility structures and in the second one BAST aims to take initiative in building a foundation for future research with motorcycle simulators.

For the detailed assessment of accidents mobility structures and exposition measures play a major role. The most important exposition measure for evaluation of the accident frequency is the kilometers travelled. Additionally, the amount of vehicles or drivers license inhabitants are important values. Mobility structures or patterns describe the time and spatial frame of using transportation devices and are often used for explaining the course of accidents. The knowledge of this context is of specific importance, because motorcycles are often used in leisure time and in dependence of weather conditions. Additionally, the group of motorcycle riders is a very specific user group, because of ongoing changes of individual history (e.g. no usage of a motorcycle while having small children and restarting in middle age).

Several data regarding the mentioned features was already collected in prior studies. To date, a systematic overview on the available findings is missing. An additional question is which measure is the best for evaluating the safety of motorcycle riders and which measures can be used to answer different types of questions.

In the current research project at BASt all available knowledge should be collected, evaluated and summarized to get an overview over the current situation in German traffic. Moreover, already available data sets should be used to complete the existing findings regarding mobility structures and exposition measures in detail. Expected gaps should be identified, documented and reviewed regarding their relevance to evaluate accidents and traffic safety. Potential concepts for collect missing data are to be identified.

Secondly, BASt observes that a lot of studies regarding traffic safety of car occupants are conducted in driving simulators. To which extent these studies reflect the behavior of drivers in real traffic situation is already highly reviewed.

In contrast, motorcycle simulators have been rarely used in research facilities. Systematic approaches to assess the comparability of results regarding the rider behavior in the simulation and real environments are not available. Most often those simulators are used to evaluate human-machine-interface (HMI) concepts. Studies with the focus on relevance of driving dynamics for the rider behavior are hardly conducted. One reason might be that the complexity of driving dynamics and especially the steering behavior while cornering is a difficult challenge. Compared to car characteristics, the shifting of weight is an important aspect.

The idea of this project is to provide a scientific method to be able to evaluate validity and portability of motorcycle simulator studies.

Taking driving dynamics into account is important when looking at motorcycle traffic safety. BASt has a long history in providing fundamental research in this field. In prior projects funded by BASt the advantages of ABS systems for motorcycles were shown. A blocking of the front tire is prevented and braking distances are significantly shortened by such systems. Feasibility of vehicle stability control was examined as well.

Today, braking in curves is a challenging scenario recently addressed by the motorcycle industry. These newly developed systems aim to use the potential of ABS systems also under roll angle and to support especially new riders in challenging situations. Since there are no public studies available evaluating the benefits of the current systems, BASt claims to provide an overview of the potentials for traffic safety and user acceptance. The characteristics of current systems on the market are to be evaluated objectively as well as from a subjective rider point of view. Finally, the options for future rider trainings are to be assessed.

This comparison of objective and subjective assessments can also serve as a basis for the performance and the limits of future AEB motorcycle safety systems. The currently ongoing project aims to identify boundaries of potential systems in which an AEB systems could work to benefit the safety of the

motorcycle rider. Several braking strategies are investigated and compared. Moreover, possible deceleration values feasible for the rider are determined. To gain a substantial insight on this topic, potential challenges and negative effects regarding driving dynamics and rider behavior are taken into account. Linking the findings to accidents statistics is to provide to future development of such systems.

Further important influences on traffic safety for motorcycles are motorcycle friendly road surfaces and infrastructural facilities. To prevent accidents an even distribution of friction throughout the road is essential, especially in curves. BASt is going to initiate research regarding open questions on the effect of lane markings for the safety of motorcyclists. It is to be evaluated whether the grip requirements for current lane markings are suitable also for the needs of motorcyclists or whether they need to be improved.

Another infrastructural facility with potential for optimization is the crash barrier. Depending on the shape, crash barriers can be more motorcycle friendly with less sharp edges. As of today, no general assessment and definition regarding sharp edges has been provided. An initial step is to find criteria for a proper evaluation of crash barriers and the impact on motorcycle safety. The criteria are going to be based on prior research in several European countries and an accident analysis study. For validation purposes experiments are to be conducted to verify the effects of different barrier shapes on human body parts.

Finally, the behavior of the rider is far more important for the vehicle dynamics than in the car segment. Due to high physical requirements on the rider, a safe behavior is crucial for safety as mistakes quickly lead to dangerous scenarios. As mentioned above, accident analyses show that rider mistakes in combination with chosen roll angles while cornering are an important factor for causing critical situations. The claim is that riders often, especially during challenging maneuvers, stay below the maximum roll angle for the given friction coefficient. The focus of the research is to establish a method to evaluate chosen roll angles in a huge variety of situations and over a wide range of rider types. This knowledge builds a basis for developments in future driver trainings or technical solutions.

## Summary

Overall, motorcycle safety is an important topic addressed by BASt. The results from the various research projects to enhance motorcycle safety on rural roads addressing research including human factors, vehicle dynamics and infrastructure will be published by BASt within the next years. The results from this program are expected to provide detailed knowledge in various fields of motorcycle safety. For example, the background from these current projects is valuable for future development of active motorcycle safety systems in regard to their impact in safety and acceptance by the users. Since

interesting and valuable ideas will most probably arise from current projects, it can be foreseen that the funding of motorcycle safety related projects are going to be in the scope of BAST in the future as well.

Motorcycle Safety In Germany:  
Attitudes And Behavior With Special View On Advanced Rider  
Assistance Systems For Powered Two Wheelers

– Interim Report –

Motorradsicherheit in Deutschland:  
Einstellungen und Verhaltensweisen mit speziellem Blick auf  
Fahrer-Assistenzsysteme an Krafträdern

– Zwischenbericht –

Dr.-Ing. Achim Kuschefski, Dipl.-Päd. Matthias Haasper,  
André Vallese B.A., Markus Krüsemann Soz. M.A.

Institut für Zweiradsicherheit (ifz), Essen, Germany  
Institute for Motorcycle Safety (ifz), Essen, Germany

## Abstract

A study on the safety awareness of motorcycle riders in Germany was carried out by ifz the last time in 2006. Today, 12 years later, the status quo will be re-evaluated based on an ongoing online-survey. Moreover that, the German motorcycle riders are surveyed about the topic of Advanced Rider Assistance Systems for Powered Two-Wheelers (ARAS-PTW). The final study will show the level of awareness of this modern technology as well as the riders knowledge and attitudes towards different current systems.

The analysis of the participants' answers provides information regarding behavior on the motorcycle as well as attitudes to the topic "motorcycle safety" in general. Numerous aspects play a role, self-assessment, risk thoughts while motorcycling, the behavior in wearing motorcycle clothing as well as the participation in motorcycle trainings. The comparison of central statements with the results of the present study from 2006 shall show in which direction the safety awareness of German motorcycle riders has developed.

One focus of the study is the analysis of the attitudes of the surveyed motorcyclists to Rider Assistance Systems for Powered Two-Wheelers (ARAS-PTW). In recent years, assistance systems for motorcycles have become more important. But how well known are the various ARAS and how much knowledge about individual systems exists? Considering already existing analyses, the study provides a corresponding insight into the usage habits, handling skills and user acceptance. Additionally, tendencies regarding a possible over- or underestimation of the potentials of common, safety-relevant ARAS are analyzed. Among other things the results of the study shall help to assess the image and user know-how of safety-related ARAS.

## Zusammenfassung

Wie es um das Sicherheitsbewusstsein von Motorradfahrern in Deutschland bestellt ist, hat das ifz zuletzt im Jahr 2006 analysiert. Heute, zwölf Jahre später, soll anhand einer laufenden Umfrage der Status Quo diesbezüglich evaluiert werden. Zugleich geht es dabei um das Thema Fahrer-Assistenzsysteme an Krafträdern (FAS-M). Die aktuelle Studie zeigt den Bekanntheitsgrad moderner Technik auf, ebenso Wissen und Einstellungen der Teilnehmer zu verschiedenen Systemen aus dem Motorradbereich.

Die vorläufigen Auswertungen der Teilnehmerantworten (n= 3.543; Stand 21.06.18) liefern Auskünfte über sicherheitsrelevantes Verhalten auf dem Motorrad sowie zu Einstellungen gegenüber dem Thema „Motorradsicherheit“ allgemein. Dabei spielen zahlreiche Aspekte eine Rolle. Kernpunkte bilden Angaben zu verschiedenen Bereichen der Motorradsicherheit, zu Risikogedanken beim Motorradfahren und über das Trageverhalten von Motorradbekleidung. Der Vergleich zentraler Aussagen mit der vorliegenden Studie aus 2006 soll zeigen, in welche Richtung sich das Sicherheitsbewusstsein der deutschen Motorradfahrer entwickelt hat.

Ein Schwerpunkt der Studie liegt in der Analyse der Einstellungen der befragten Motorradfahrer zu Fahrer-Assistenzsystemen an Krafträdern (FAS-M). Insbesondere in den letzten Jahren haben Assistenzsysteme für Motorradfahrer an Bedeutung gewonnen. Doch wie bekannt sind die verschiedenen FAS-M und wie ist das Wissen über einzelne Systeme ausgeprägt? Die Studie liefert unter Berücksichtigung bereits existierender Erkenntnisse einen entsprechenden Einblick in die Nutzungsgewohnheiten, Kompetenzen im Umgang und die Akzeptanz beim Nutzer. Analysiert werden zudem Tendenzen hinsichtlich einer möglichen Über- oder Unterschätzung der Potentiale gängiger, sicherheitsrelevanter FAS. Die Ergebnisse der Studie sollen unter anderem dabei behilflich sein, das Image sowie das Nutzer-Know-how sicherheitsrelevanter Systeme einschätzen zu können.

**Die folgenden Ausführungen stellen einen Überblick erster, komprimierter Ergebnisse der Studie, basierend auf den Antworten der Umfrageteilnehmer bis zum 21.06.2018 dar. Die für die finale Auswertung zugrunde liegende Umfrage läuft bis zum 31. Oktober 2018. Anschließend wird das gesamte vorliegende Datenmaterial ausgewertet und analysiert. Die Ausführungen in diesem Teil sind also als vorläufig anzusehen, liefern in den meisten behandelten Punkten aber schon einen wegweisenden Beitrag.**

Motorradsicherheit in Deutschland:  
Einstellungen und Verhaltensweisen mit speziellem Blick auf  
Fahrer-Assistenzsysteme an Krafträdern

– Zwischenbericht –

Anmerkungen:

Aus Gründen der leichteren Lesbarkeit wird auf eine geschlechterspezifische Differenzierung verzichtet. Entsprechende Begriffe gelten im Sinne der Gleichbehandlung für beide Geschlechter.

In den folgenden Ausführungen und Ergebnisdarstellungen wird überwiegend die Kurzform „FAS-M“ stellvertretend für den Begriff „Fahrer-Assistenzsystem(e) an motorisierten Zweirädern“ genutzt.



# Inhalt

## **1 Informationen zur Studie und zum Kollektiv**

### 1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

### 1.2 Methode

- 1.2.1 Fragebogen
- 1.2.2 Online-Umfrage
- 1.2.3 Zeitrahmen

### 1.3 Die Teilnehmer

## **2 Das Sicherheitsbewusstsein der Motorradfahrer in Deutschland**

### 2.1 Rückblick Studie 2006

### 2.2 Erste zentrale Ergebnisse 2018

- 2.2.1 Relevanz des Themas Sicherheit beim Motorradfahren
- 2.2.2 Interesse an sicherheitsrelevanten Informationen auf Messen/Veranstaltungen
- 2.2.3 Einfluss sicherheitsrelevanter Aspekte (Fahrzeug) beim Motorradkauf
- 2.2.4 Regelmäßiger Sicherheits-Check des Motorrades
- 2.2.5 Risikogedanken beim Motorradfahren
- 2.2.6 Tragen von Motorradbekleidung

### 2.3 Status Quo: Sicherheitsbewusstsein und Entwicklung

- 2.3.1 Erste Ergebnisse Sicherheitsbewusstsein 2018 im Überblick
- 2.3.2 Theoretischer und praktischer Anteil
- 2.3.3 Entwicklung Sicherheitsbewusstsein
- 2.3.4 Fazit Sicherheitsbewusstsein 2018

## **3 Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Krafträdern (FAS-M)**

### 3.1 Notwendigkeit von FAS-M

### 3.2 Definition der FAS-M

### 3.3 Bekanntheitsgrad der FAS-M

### 3.4 Allgemeines Wissen der Teilnehmer über FAS-M

- 3.4.1 Allgemeine Kenntnisse zum Thema FAS-M
- 3.4.2 Quelle der FAS-M-Kenntnisse
- 3.4.3 Spezifische Kenntnisse über ausgewählte FAS-M

- 3.5 Kenntnisse im Umgang mit FAS-M
  - 3.5.1 Nutzung von Fahrer-Assistenzsystemen
  - 3.5.2 Funktionskenntnisse vorhandener FAS-M
  - 3.5.3 Fahrer-Info für FAS-M
- 3.6 Persönlicher Nutzen durch FAS-M
  - 3.6.1 Eigene Erfahrungen mit FAS-M
  - 3.6.2 Sturz-/Unfallvermeidung durch FAS-M
- 3.7 Einstellungen zu FAS-M
  - 3.7.1 FAS-M aus Gründen der Verkehrssicherheit sinnvoll
  - 3.7.2 Einzelbetrachtung FAS-M: Nutzen für die Sicherheit von FAS-M
  - 3.7.3 Sicherheitsgefühl durch FAS-M
  - 3.7.4 Weniger „Fahrerkönnen“ durch FAS-M
  - 3.7.5 Risikokompensation durch FAS-M
  - 3.7.6 Einfluss von FAS-M auf zukünftige Unfallzahlen

## **4 Intelligent Transportation Systems**

- 4.1 Konnektivität
  - 4.1.1 Bekanntheit des Begriffs „Konnektivität“
  - 4.1.2 Konnektivität: Sinnvoll?
- 4.2 Vehicle-To-Vehicle-Communication (V2V)

## **5 Zusammenfassung der vorläufigen Ergebnisse**

# 1 Informationen zur Studie und zum Kollektiv

## 1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Ergebnisse dieser Studie sollen einen Einblick in die Einstellungen und Verhaltensweisen von Motorradfahrern ermöglichen – insbesondere mit Blick auf sicherheitsrelevante Aspekte des Motorradfahrens – und damit den Status Quo des Sicherheitsbewusstseins der Motorradfahrer in Deutschland aufzeigen. Die Auswertungen einer eigens dafür angelegten Online-Umfrage sollen Auskünfte hinsichtlich des sicheren Verhaltens auf dem Motorrad sowie zu Einstellungen zum Thema „Motorradsicherheit“ allgemein liefern und dabei behilflich sein, die Entwicklungen in diesem Bereich im Vergleich zu vorliegenden, älteren Ergebnissen aufzuzeigen. Mit Blick auf technische Entwicklungen etc. ist das Thema FAS von großem Interesse. Neben diesen technischen Aspekten, die medial derzeit großen Anklang finden, gibt es im Gegensatz zum Pkw-Sektor für den Bereich der motorisierten Zweiräder bislang kaum fahrerzentrierte Untersuchungen. Aus diesem Grund möchten wir erfahren, wie Motorradfahrer in Deutschland über diese technischen Helfer denken und wo sie zukünftige Herausforderungen sehen.

Dafür wird im zweiten Teil der Studie das Thema „Fahrer-Assistenzsysteme an Krafträdern“ beleuchtet. Insbesondere in den letzten Jahren haben Assistenzsysteme für Motorradfahrer enorm an Bedeutung gewonnen. Doch wie bekannt sind die einzelnen Systeme und was wissen Motorradfahrer über den fachgerechten Umgang mit ihnen? Die Studie liefert – auch unter Berücksichtigung bereits existierender Studien – einen Einblick in die Nutzungsgewohnheiten, die Kompetenzen im Umgang und die Akzeptanz beim Nutzer. Analysiert werden zudem Tendenzen einer möglichen Über- oder Unterschätzung der Potentiale gängiger, sicherheitsrelevanter FAS. Die Ergebnisse der Studie sollen unter anderem dabei behilflich sein, das Image sowie das Nutzer-Know-how sicherheitsrelevanter Systeme darstellen zu können und die Kenntnisse der Fahrerinnen und Fahrer hinsichtlich sicherheitsrelevanter Systeme besser einschätzen zu können, um hier langfristig Lücken zu schließen.

Mit der noch bis Ende Oktober 2018 laufenden Online-Umfrage wurden bislang Aussagen von über 3.500 Teilnehmern gewonnen.

## 1.2 Methode

### 1.2.1 Fragebogen

Vor dem Hintergrund der in Kapitel 1 beschriebenen Beweggründe wurde ein umfassender Fragebogen erstellt, um detaillierte Aussagen der in Deutschland aktiven Motorradfahrer zu erhalten. Der Fragenkatalog hat einen Umfang von maximal 70 Kernfragen. Je nach individueller Antwort eines

Teilnehmers konnten aufeinander aufbauende Fragekonstellationen auch dazu führen, dass bei einer Verneinung der Filter-Fragen der Umfang an Fragen insgesamt individuell reduziert wurde.

Die Beantwortung der einzelnen Fragen wurde über verschiedene Wege vorgegeben. Es handelte sich hierbei um die Möglichkeiten im Rahmen von Multiple-Choice eine Auswahl zu treffen oder auch ergänzend freie Antworten zu formulieren.

Bei einigen Fragen waren bezüglich der Multiple-Choice-Lösungen Mehrfachantworten möglich. Das heißt, es konnten nicht nur eine, sondern auch mehrere Antworten angekreuzt werden. Auch die Kombinationsmöglichkeit von vorgegebenen und freien Antworten war gegeben.

Eine weitere Antwortmöglichkeit bestand bei zahlreichen Fragen darin, auf einer fünfstufigen Likert-Skala eine persönliche Wertung/Gewichtung vorzunehmen.

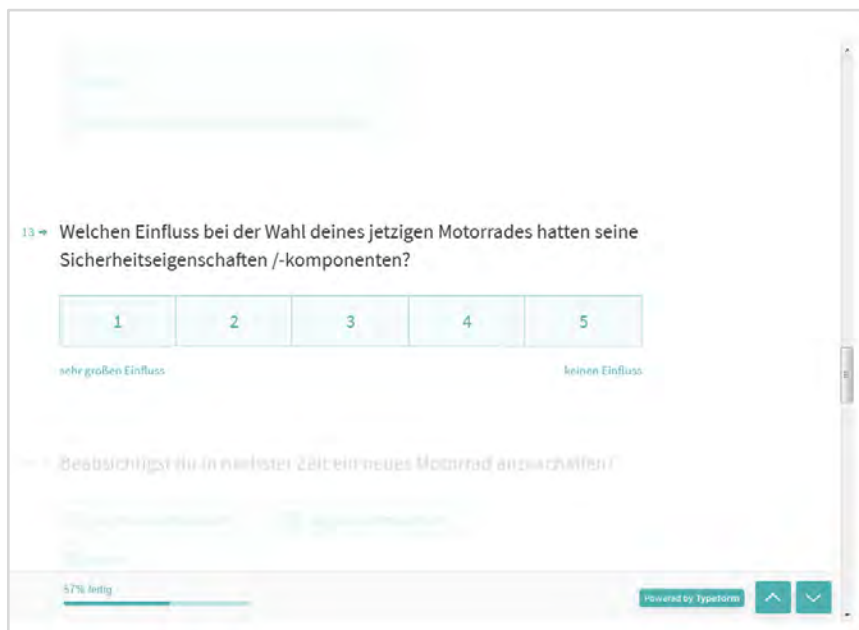
The image shows a screenshot of an online survey interface. The main question is: "13 → Welchen Einfluss bei der Wahl deines jetzigen Motorrades hatten seine Sicherheitseigenschaften /-komponenten?". Below the question is a five-point Likert scale with buttons labeled 1, 2, 3, 4, and 5. Under button 1 is the text "sehr großen Einfluss" and under button 5 is "keinen Einfluss". Below the scale, there is a second question: "Beabsichtigst du in nächster Zeit ein neues Motorrad anzuschaffen?". At the bottom of the survey, there is a progress indicator showing "57% fertig" and a "Powered by Typeform" logo with navigation arrows.

Abb. 1: Muster, Fragebogen online unter [www.ifz.de](http://www.ifz.de).

## 1.2.2 Online-Umfrage

Am 1. März 2018 wurde die Möglichkeit zur Teilnahme an der Umfrage online bereitgestellt und veröffentlicht. Die Umfrage erfolgte anonym.

Die Motorradfahrer hatten die Möglichkeit, an der Online-Befragung über die Internetseite des ifz ([www.ifz.de](http://www.ifz.de)) teilzunehmen. Aufrufe dazu erfolgten sowohl über die Fach- als auch die Tagespresse sowie über die gängigen sozialen Medien. Der Fragebogen konnte direkt online ausgefüllt und an das ifz übermittelt werden.

Auch auf Veranstaltungen wie der Motorradmesse „MOTORRÄDER Dortmund 2018“ wurde den Besuchern die Gelegenheit gegeben, den Fragebogen auf dem Messestand des ifz über Online-Terminals auszufüllen. Ebenso wird dies für die Besucher der „INTERMOT Köln 2018“ der Fall sein.

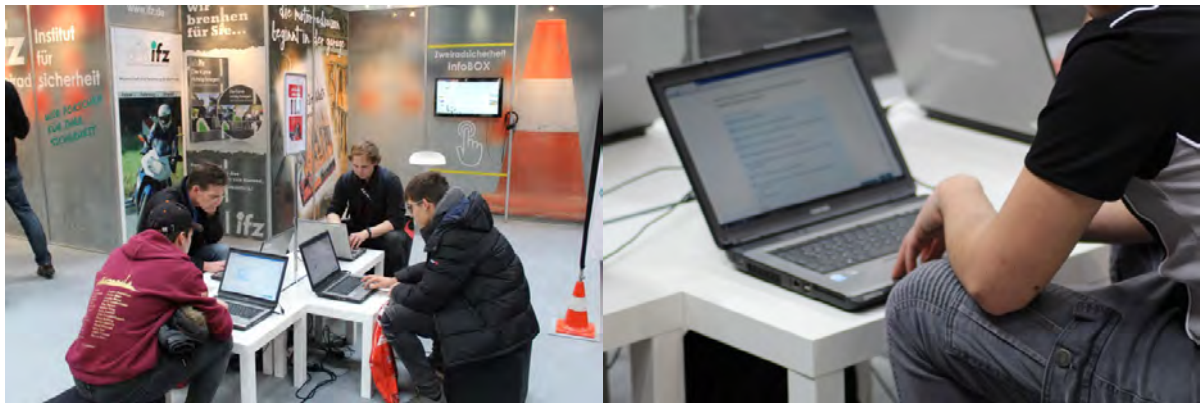


Abb. 2: Studienteilnahme im Rahmen einer Motorradmesse.

### 1.2.3 Zeitrahmen

Beginn der Studie: Juni 2017

Start der Umfrage: 1. März 2018

Veröffentlichung Zwischenergebnis: 1. Oktober (12. Internationale Motorradkonferenz, Köln)

Ende der Umfrage: 31. Oktober 2018

Finale Ergebnisse: Voraussichtlich Mai 2019

### 1.3 Teilnehmer

#### Umfang

An der Online-Umfrage des ifz haben im Rahmen dieser Studie bislang<sup>1</sup> 3.543 Motorradfahrer teilgenommen. Ausgewertet wurden alle Antworten von Motorradfahrern mit einem Mindestalter von 18 Jahren. Der Anteil der Umfrageteilnehmer, die zum Zeitpunkt der Teilnahme auch aktiv Motorrad fahren, liegt bei 97,3 Prozent. Dies war uns wichtig, sollen doch gerade mit Blick auf die sicherheitsrelevanten Nutzungsgewohnheiten Aussagen aktiver Fahrer in die Ergebnisse einfließen.

---

<sup>1</sup> Die Online-Umfrage läuft bis zum 31. Oktober 2018. Die hier vorliegende erste Zusammenfassung der Ergebnisse wurde anhand des bis dato (21.06.2018) vorliegenden Umfangs von 3.543 gültigen Teilnehmerauswertungen bearbeitet.

## Fahraktivität

Bei 97,3 Prozent der Teilnehmer handelt es sich um aktive Motorradfahrer.

## Geschlecht

Das Kollektiv der Befragung besteht zu 88,5 Prozent aus männlichen und 8,5 Prozent aus weiblichen Personen. 3,0 Prozent haben hierzu keine Auskunft erteilt. Die Verteilung der Geschlechter entspricht damit annähernd dem des Gesamtbestands an Krafträdern in Deutschland (Quelle: Kraftfahrtbundesamt (KBA)<sup>2</sup>)

## Alter

60,2 Prozent der Befragten finden sich in der Altersklasse „ab 50 Jahre“ wieder. Den zweitgrößten Anteil stellen die 40- bis 49-Jährigen mit 17,8 Prozent, gefolgt von der Altersgruppe der 20- bis 29-Jährigen (10,2 %). Etwa gleichauf folgen mit einem Anteil von 9,5 Prozent die 30- bis 39-Jährigen. Junge Fahrer bis 20 Jahre sind nur mit 2,3 Prozent vertreten. Diese Altersverteilung deckt sich annähernd mit der Verteilung des Halteralters gemäß des deutschen Motorradbestands.

Im Mittel beträgt das Alter der Befragten 49,3 Jahre (Median: 52,0 Jahre), was laut KBA ziemlich genau dem Durchschnittsalter der Motorradfahrer in Deutschland entspricht (49,9 Jahre gemäß Kraftfahrtbundesamt<sup>3</sup>).

## Schulabschluss

Um Aussagen der Teilnehmer auch vor dem Hintergrund ihres Bildungsstandes zu untersuchen, wurden die entsprechenden Schulabschlüsse abgefragt. 1,1 Prozent der Teilnehmer haben an dieser Stelle keine Antwort gegeben. Den größten Anteil machen die Teilnehmer mit Abitur aus (53,7 %). Danach folgt mit 31,7 Prozent der Realschulabschluss. 13,5 Prozent des Kollektivs haben einen Hauptschulabschluss.

## Einstiegsalter „Motorisiertes Zweirad“

Bei der Frage, seit wann die Teilnehmer auf einem motorisierten Zweirad unterwegs sind, zeigt sich, dass 43,1 Prozent ein Mofa gefahren haben (durchschnittliches Einstiegsalter hier zwischen dem 15. und 16. Lebensjahr). 53,4 Prozent des Kollektivs haben ihre „Zweiradkarriere“ mit einem Klein- oder Leichtkraftrad begonnen (durchschnittliches Einstiegsalter hier zwischen dem 16. und 17. Lebensjahr).

---

<sup>2</sup> Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg, 1. Januar 2018

<sup>3</sup> Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg, FZ 23, 1. Januar 2017

Demnach ist die Hälfte der teilnehmenden Motorradfahrer bereits seit dem 15. oder 16. Lebensjahr auf zwei Rädern unterwegs. Diese Motorradfahrer sind also bereits seit ihrer Jugend mit dem motorisierten Zweirad unterwegs und kamen über versicherungspflichtige Fahrzeuge (Kleinkrafträder) sowie Leichtkrafträder zum Motorrad.

38,1 Prozent der 3.543 Studienteilnehmer haben unabhängig der Klein- oder Leichtkraftraderfahrungen im Alter von 18 Jahren mit dem Motorradfahren begonnen.

In den unmittelbar folgenden Altersjahren sind es je etwa 5 Prozent, die mit 19 (5,1 %) und 20 Jahren (4,6 %) anfangen Motorrad zu fahren. 3,6 Prozent haben mit 21 Jahren begonnen (Direkteinstieg bis Januar 2013) und weitere 3,3 Prozent im Alter von 25 Jahren (Direkteinstieg ab Januar 2013). Fast 10 Prozent steigen zwischen ihrem 30. und 39. Lebensjahr (9,7 %) ein, 10,1 Prozent zwischen dem 40. und 49. Lebensjahr. Die restlichen „Anfangsalter“ verteilen sich bis hin zum Einstiegsalter von 71 Jahren. Bis einschließlich des 50. Lebensjahres haben 95,4 Prozent der Teilnehmer den Einstieg ins Motorradfahren gefunden. Ab 51 aufwärts sind es nur noch 4,5 Prozent.

#### Motorradbesitz, -typen, Baujahr

97,2 Prozent des Gesamtkollektivs besitzen ein eigenes Motorrad oder auch mehrere. Hinsichtlich der verschiedenen Motorradtypen gestaltet sich der studienspezifische Teilnehmerbestand folgendermaßen: Der Großteil der Teilnehmer bewegt mit 30,9 Prozent ein Kraftrad aus der Kategorie „Tourer“. Es folgt die Gruppe der „Enduros“ mit 23,4 Prozent gleichauf mit der Kategorie „Naked Bike/Klassik“ (23,3 %). Mit einem Anteil von jeweils 5,0 Prozent liegen auch die Typen Chopper und Supersportler gleichauf.

Kraftroller und Sonstige machen 3,0 Prozent aus. Fahrer von sportlichen Maschinen („Sportler“) sind insgesamt mit einem Anteil von 10,0 Prozent vertreten. Diese Verteilung entspricht größtenteils den Marktanteilen der Segmente laut Angaben des KBA/IVM<sup>4</sup>.

Während die Bereiche „Enduro“, „Klassik“, „Supersport“ und „Chopper“ annähernd deckungsgleich mit der Bestandsstatistik sind, fällt auf, dass der Anteil der „Tourer“ in der Studie größer ausfällt, der der „Sportler“ kleiner. Die Marktanteile gemäß der Bestandsstatistik des Industrie-Verbands Motorrad Deutschland (IVM) fallen hier gegenteilig aus. Die Summe der beiden Segmente (Tourer + Sportler) ist jedoch mit der Summe der entsprechenden Anteile des deutschen Motorradbestands vergleichbar. Abweichungen für die ungleiche Verteilung an dieser Stelle können dadurch verursacht werden, dass es den teilnehmenden Motorradfahrern nicht immer gelungen ist, ihr Fahrzeug konkret einzugruppieren. Ob „Sportler“ oder „Tourer“ ist bei einigen Modellen recht schwierig zu trennen. Viele Motorrad-

---

<sup>4</sup> Industrie-Verband Motorrad Deutschland, IVM-Jahresbericht 2017

modelle gelten als so genannte „Sport-Tourer“, so dass sich die Teilnehmer hinsichtlich der Eingruppierung für eine der beiden Gruppen entscheiden mussten.

### Baujahr

Mit einem Anteil von 39,3 Prozent fahren die meisten Teilnehmer ein Motorrad der Jahrgänge 2014 bis 2018. Zweitgrößter Bereich: Die Baujahre 2009 bis 2013 mit 19,3 Prozent, relativ dicht gefolgt von Motorrädern des Baujahrs zwischen 2004 und 2008 (17,2 %). Mit 24,2 Prozent fährt mehr als ein Fünftel der Teilnehmer Fahrzeuge, die bis 2003 gebaut wurden.

### Jahreskilometer

Nur 7,3 Prozent der Befragten fahren unter 2.000 km im Jahr. 29,1 Prozent der Befragten geben an, bis zu 5.000 km im Jahr unterwegs zu sein. Der Großteil des Kollektivs (40,3 %) fährt bis zu 10.000 km pro Jahr. Nur 3,5 Prozent fahren über 20.000 km im Jahr mit ihrem Motorrad.

Das arithmetische Mittel dieser Angaben liegt bei 8.509 km pro Jahr, der Median bei exakt 7.000 km. Die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) ermittelte anhand der Fahrleistungserhebung 2014<sup>5</sup> zuletzt eine mittlere Jahresfahrleistung für Krafträder von 2.982 km pro Fahrzeug.

---

<sup>5</sup> Marcus Bäumer, Heinz Hautzinger, Manfred Pfeiffer, Wilfried Stock, IVT Research GmbH, Mannheim  
Barbara Lenz, Tobias Kuhnimhof, Katja Köhler, Institut für Verkehrsforschung DLR, Berlin; BASt-Bericht  
V290, 2017



## 2 Das Sicherheitsbewusstsein der Motorradfahrer in Deutschland

### 2.1 Rückblick Studie 2006

Wie sieht es mit dem Sicherheitsbewusstsein von Motorradfahrern in Deutschland konkret aus? Wie verhalten sich Motorradfahrer, wenn es um die Frage der Sicherheit geht? Welche Gedanken spielen sich bei ihnen ab und wo liegen Einstellungs-Schwerpunkte bezüglich der eigenen Sicherheit? In der gleichnamigen Studie aus dem Jahr 2006 hat das ifz mit einer umfangreichen Befragung von 422 Motorradfahrerinnen und -fahrern einen Einblick über die Einstellungen und Verhaltensweisen der Motorradfahrer in Deutschland zum Thema „Motorradsicherheit“ geliefert. Setzen sich die meisten Motorradfahrer eher unbedarft und gedankenlos auf ihre Maschine oder spielt die Sicherheit eine bedeutende Rolle? Langfristig sinkende Unfallzahlen in Relation zum Bestand, steigende Teilnehmerquoten von Motorradsicherheitstrainings und auch steigende Tragequoten von Motorradbekleidung lassen vermuten, dass bei den meisten Motorradfahrern in Deutschland das Thema „Sicherheit“ von großer Bedeutung ist. Analysiert wurden verschiedenste Angaben, wobei auch Ergebnisse miteinander verknüpft wurden. Viele Erkenntnisse zu den Themengebieten der Selbsteinschätzung, zum Kenntnisstand in Sicherheitsfragen, zu Unfallhergängen, zum Trageverhalten und zur Investitionsbereitschaft von Motorradbekleidung, zum Motorradfahrersicherheitstraining und weiteren Aspekten der Einstellungen von Motorradfahrern zum Thema „Sicherheit“ wurden präsentiert.

Die Ergebnisse aus dem Jahr 2006 dokumentieren, dass die in der Studie befragten Motorradfahrer ein hohes Sicherheitsbewusstsein aufweisen. Diese Tendenz wurde bei der Zusammenfassung der differenzierten Auswertung von Einzelaspekten deutlich. Als zentrales Ergebnis konnte die damalige Studie repräsentativ ein hohes Niveau des Sicherheitsbewusstseins der deutschen Motorradfahrer auf den Punkt bringen. Doch wie sieht es heute aus, 12 Jahre später?

### 2.2 Erste zentrale Ergebnisse 2018

Die folgenden Ergebnisse der aktuellen Umfrage dienen dazu, Rückschlüsse auf das derzeitige Sicherheitsbewusstsein von Motorradfahrern ziehen zu können. Dazu dienen Einzelaussagen zu zentralen sicherheitsrelevanten Einstellungs- und Verhaltensmustern. Zu Gunsten der Vergleichbarkeit mit der 2006er Studie werden an dieser Stelle nur die relevanten, maßgeblichen Fakten zusammengetragen.

#### 2.2.1 Relevanz des Themas Sicherheit beim Motorradfahren (T1)

Abbildung 3 zeigt die gruppierten Antworten mit Blick auf das Thema „Sicherheit beim Motorradfahren“. Demnach bekunden gerade einmal 0,7 Prozent der Befragten überhaupt kein Interesse am Thema

„Sicherheit“ im Straßenverkehr und halten dies für „unwichtig“. Weitere 1,0 Prozent halten das Thema nur für „etwas wichtig“.

Die Intensität der Wichtigkeit des Themas „Sicherheit“ unter den Motorradfahrern spiegelt sich jedoch bei den restlichen Antworten recht eindeutig wieder. Für 98,3 Prozent der Befragten ist das Thema „Sicherheit“ ein wichtiges.



Abb. 3: Wie wichtig ist das Thema „Sicherheit“ beim Motorradfahren?

Das Thema „Sicherheit“ ist in allen Altersklassen ähnlich gewichtet, gewinnt mit zunehmendem Alter aber mehr an Bedeutung. Doch auch in den Altersklassen der jüngeren Fahrer wird die Sicherheit eindeutig als wichtig eingestuft. Eine ähnliche Tendenz ist mit Blick auf das Geschlecht zu verzeichnen. Tendenziell stufen die weiblichen Teilnehmer das Thema „Sicherheit“ noch höher ein als die männlichen Befragten.

## 2.2.2 Interesse an sicherheitsrelevanten Informationen auf Messen/Veranstaltungen (T2)

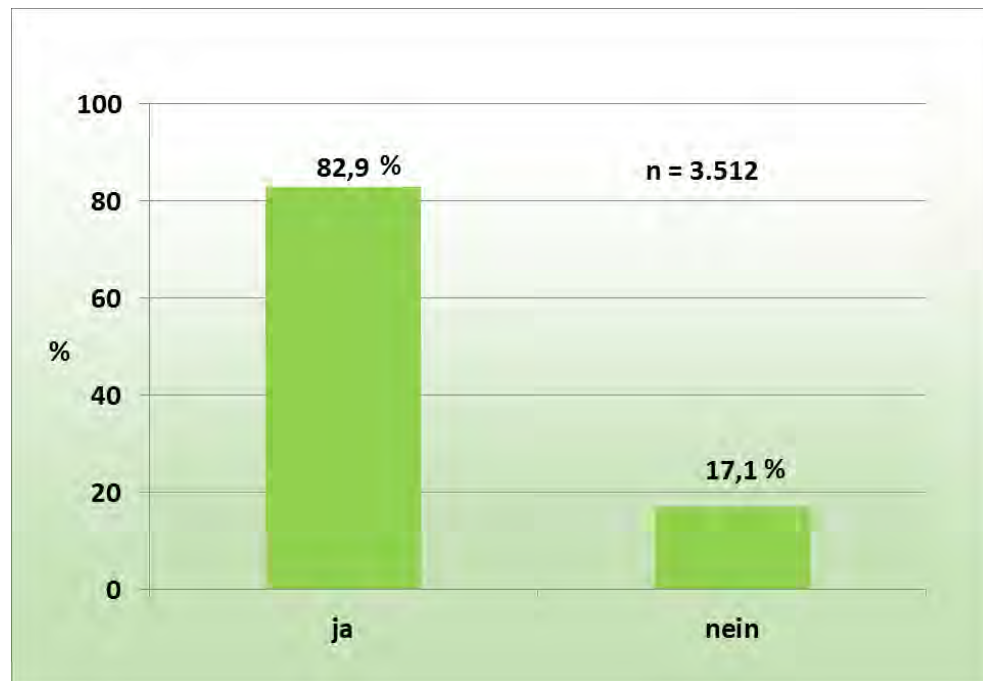


Abb. 4: Interesse an Sicherheits-Infos auf Veranstaltungen.

82,9 Prozent des Kollektivs äußern ein großes Interesse an Informationen auf Messen und Veranstaltungen hinsichtlich sicherheitsrelevanter Informationen. Fast ein Fünftel der befragten Motorradfahrer (17,1 %) ist an solchen Informationen jedoch nicht interessiert. Der Großteil des Kollektivs interessiert sich demnach aber für zweiradspezifische Sicherheits-Infos auf Veranstaltungen.

Der geschlechterspezifische Vergleich belegt auch hier, dass die weiblichen Teilnehmer ein signifikant größeres Interesse bekunden. Auch das Alter zeigt Einflüsse auf das Interesse. Die höheren Altersklassen stehen den Informationen rund um das Thema „Sicherheit“ aufgeschlossener gegenüber.

Während bei der allgemeinen Haltung zum Thema „Motorradsicherheit“ (siehe 2.2.1) ein hoher Prozentsatz, diese als wichtig einzuordnen, zu erwarten war, liegt die Vermutung nahe, dass das Interesse bzw. die Umsetzung sicherheitsrelevanter Verhaltensweisen und Konsequenzen abflacht, wenn es konkreter wird. Insofern ist das Ergebnis, dass fast 83 Prozent der Befragten auf Messen und Veranstaltungen Interesse am Thema „Motorradsicherheit“ angeben, sehr erfreulich. Noch interessanter wird es, wenn man sieht, inwieweit diese Haltung sich auch in konkreten Handlungen und Entscheidungen niederschlägt. Am Beispiel Motorradkauf konnten wir nachweisen, dass die Sicherheitseigenschaften oder Sicherheitskomponenten von Motorrädern bei nahezu drei Viertel der Befragten (siehe 2.2.3) auf den Kaufentscheid für ihre aktuelle Maschine großen bis sehr großen Einfluss ausübten.

### 2.2.3 Einfluss sicherheitsrelevanter Aspekte (Fahrzeug) beim Motorradkauf (T3)

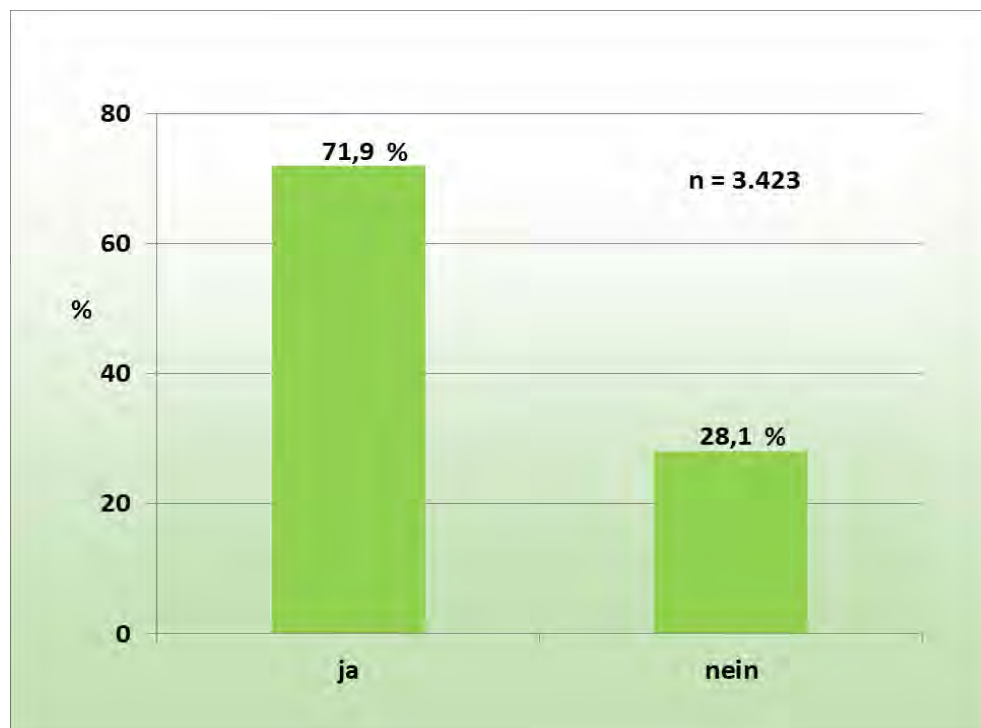


Abb. 5: Sicherheitsrelevanz beim Motorradkauf.

Für über 70 Prozent der Befragten haben die sicherheitsrelevanten Komponenten Einfluss bei der Wahl bzw. beim Kauf ihres Motorrades (Abb. 5). Fast drei Viertel aller Teilnehmer legt also großen Wert auf sicherheitstechnische Aspekte am eigenen Kraftrad.

Das Alter beeinflusst dieses Interesse beim Kaufverhalten deutlich. Jüngere Fahrer legen weniger Wert auf die Sicherheitsfeatures. Obwohl der Sicherheitsgedanke beim Motorradfahren allgemein (2.2.1) und das Interesse an sicherheitsrelevanten Informationen auf Veranstaltungen (2.2.2) bei den Motorradfahrerinnen stärker ausgeprägt ist, kann dies bei der Wahl des Motorrades mit Blick auf Sicherheitsrelevanzen nicht beobachtet werden. Die männlichen Befragten sind in diesem Bereich relativ stark vertreten.

Im Vergleich zum Pkw-Kauf scheinen Motorradfahrer wesentlich sicherheitsbewusster eingestellt. Gemäß einer Umfrage des Deutschen Verkehrssicherheitsrates (DVR)<sup>6</sup> kommt bei deutschen Autofahrern die Sicherheitsausstattung noch hinter dem Kraftstoffverbrauch an fünfter Stelle.

<sup>6</sup> Pressemitteilung des DVR vom 27.06.2018: „Die Deutschen und ihre Prioritäten beim Autokauf“

## 2.2.4 Regelmäßiger Sicherheits-Check des Motorrades (P1)

Auf die Frage „Überprüfst du regelmäßig dein Motorrad hinsichtlich der Sicherheit?“ sehen die Ergebnisse folgendermaßen aus:

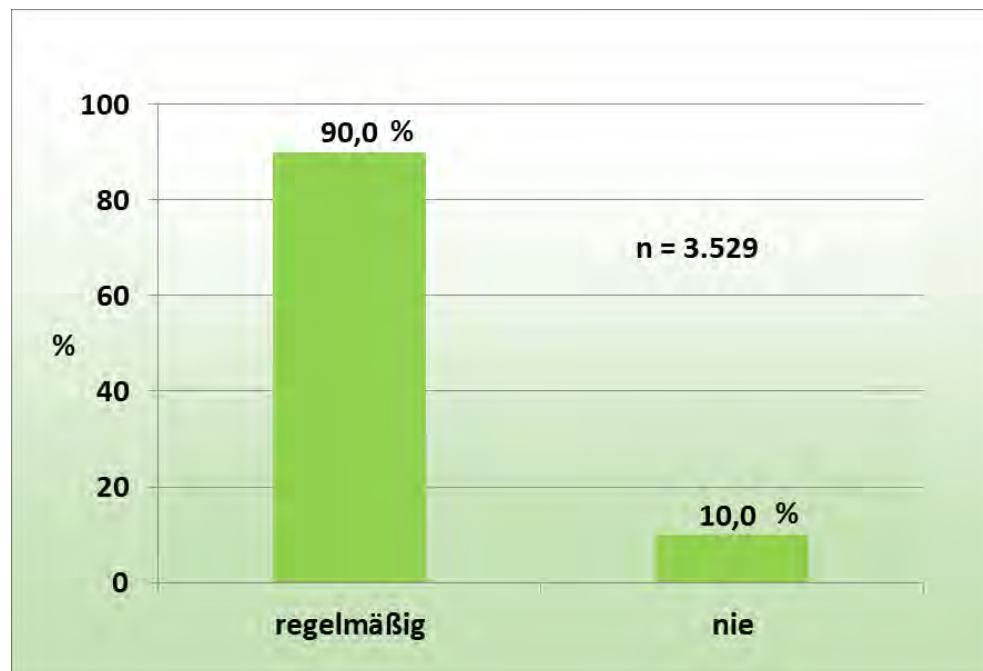


Abb. 6: Sicherheits-Check der Maschine.

90,0 Prozent der befragten Teilnehmer überprüfen ihr Motorrad in regelmäßigen Abständen hinsichtlich sicherheitsrelevanter Belange. Ein Zehntel des Kollektivs tut dies gar nicht bzw. nur, wenn ihm etwas auffällt.

Auch an dieser Stelle bleibt festzuhalten, dass der Einfluss des Alters auf dieses Verhalten einen ausgeprägten Einfluss ausübt. Die konsequenten „Prüfer“ sind in den Altersklassen ab 40 Jahren gegenüber der Gruppe der Fahranfänger unter 20 Jahren fünf bis sechs Mal so häufig anzutreffen.

Geschlechtsspezifische Unterschiede sind ebenfalls festzustellen. Die männlichen Befragten fallen durch mehr Sicherheits-Checks auf.

## 2.2.5 Risikogedanken beim Motorradfahren (P2)

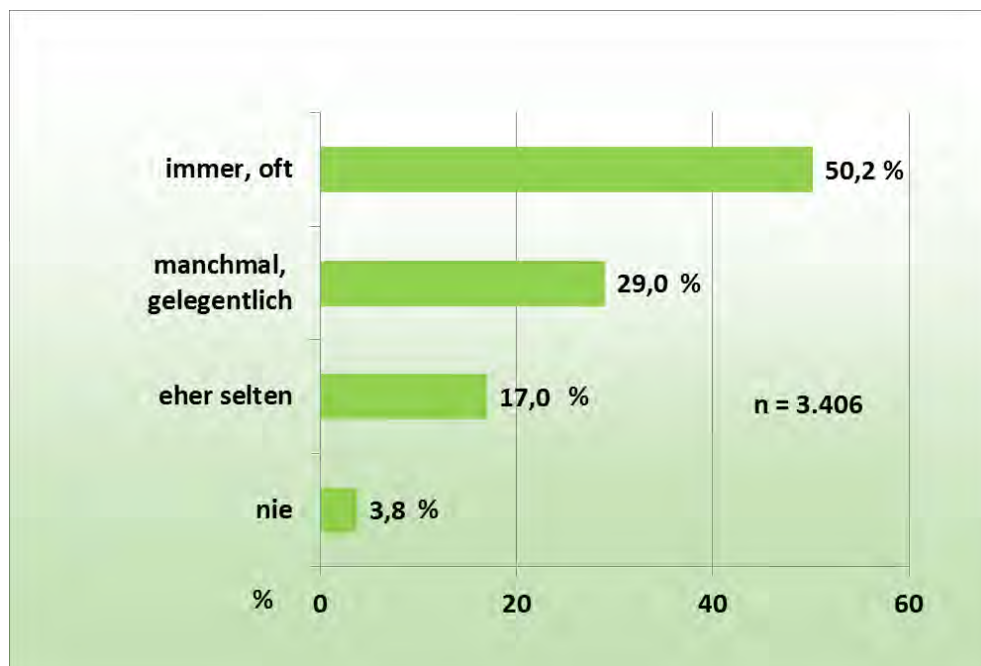


Abb. 7: Mögliche Gefahren während der Fahrt gedanklich präsent.

Die Teilnahme am Straßenverkehr birgt Risiken, so auch das Motorradfahren. Für mehr als die Hälfte der Teilnehmer (50,2 %) vergeht kaum eine Fahrt, bei der die Risiken auf dem motorisierten Zweirad im Straßenverkehr nicht präsent sind und berücksichtigt werden. Weitere 29,0 Prozent der Befragten denken beim Motorradfahren manchmal bzw. gelegentlich an mögliche Risiken im Straßenverkehr, während 17,0 Prozent mögliche Gefahren eher selten in den Sinn kommen. 3,8 Prozent machen sich hier gar keine Gedanken über potenzielle Risiken.

Im Vergleich zu den unter 20-Jährigen denken die 20- bis 50-jährigen Teilnehmer bereits drei Mal so häufig während der Fahrt an mögliche Risiken. Die über 50-Jährigen sogar vier Mal so häufig. Mit zunehmendem Alter steigt der Risikogedanke unterwegs deutlich an. Aussagen verschiedener Studien belegen diese Tendenzen in der altersspezifischen Risikowahrnehmung. Die prozentuale Verteilung der Risikogedanken zwischen Männern und Frauen zeigt keinerlei Besonderheiten.

Erste Analysen der sehr umfangreichen Antworten liefern den folgenden Einblick hinsichtlich möglicher Risiken, die während der Motorradfahrt Beachtung finden:

### Platz 1: „Übersehen werden“

Häufigste Nennung ist die Sorge, von anderen Verkehrsteilnehmern nicht rechtzeitig wahrgenommen zu werden. Hier kommen verschiedene Situationen zum Tragen, etwa das Übersehen bei einem Linksabbiegevorgang oder auch „Tote-Winkel-Situationen“.

#### Platz 2: „Straßenzustand“

Wechselnde Fahrbahnbeläge, Bitumen, Sand und Rollsplitt: Die „Sorge“ um den Straßenzustand ist gedanklich bei vielen Motorradfahrern verankert. Aber auch wetterbedingte Fahrbahnzustände spielen hier eine Rolle.

#### Platz 3: „Können“

Gedanken über das eigene Können spielen bei den Teilnehmern ebenfalls eine zentrale Rolle. Die richtige Selbsteinschätzung, situatives Verhalten sowie Tagesform sind Dinge, die die Befragten während der Motorradfahrt „beschäftigen“.

#### Platz 4: „Kurve“

Sicherlich kreisen viele Gedanken beim Motorradfahren um alle möglichen Aspekte des Kurvenfahrens. Konkreter geht es an dieser Stelle jedoch um Gedanken wie die korrekte Kurvengeschwindigkeit, den Radius der Kurve etc. Ebenso wird das Wegrutschen häufig genannt oder die Sorge, nach einem Sturz gegen ein Hindernis zu prallen.

Weitere detaillierte Ausführungen wird die finale Auswertung der Studie beinhalten.

Die Angst vor einem anderen Verkehrsteilnehmer, der das Motorrad übersehen könnte, dominiert (51,3%) bei der Frage, um welche Gedanken es sich bei einem möglichen Risiko handeln würde.

Auch das Thema Straßenbau ist auffällig. Probleme infolge von Straßenschäden bzw. problematischen Fahrbahnoberflächen sind 18,3 Prozent der Teilnehmer gegenwärtig. Mehr als über die Risiken vor oder während einer Kurvenfahrt (7,2 %) machen sich die Studienteilnehmer Gedanken über ihr eigenes Können. Knapp 10 Prozent reflektieren die eigene Selbsteinschätzung auch unterwegs.

## 2.2.6 Tragen von Motorradbekleidung (P3)

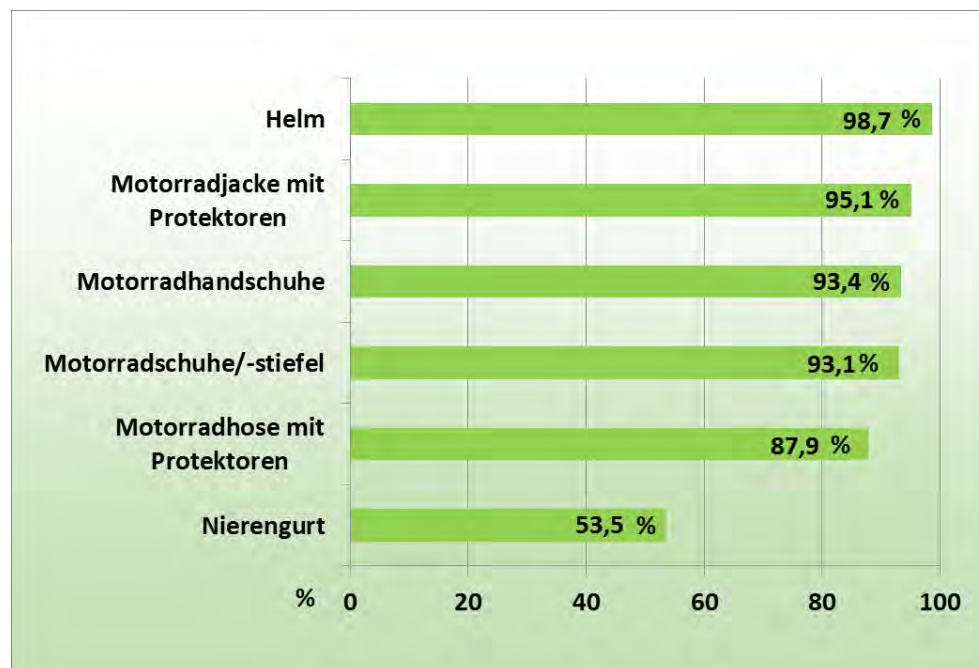


Abb. 8: Trageverhalten Motorradbekleidung.

Abbildung 8 gibt Auskunft über das Trageverhalten von Motorradbekleidung. Erfreulicherweise sind die Tragequoten sehr hoch. Angesichts der gesetzlichen Helmpflicht überrascht die hohe Tragequote beim Kopfschutz nicht: 98,7 Prozent der Befragten nutzen einen Motorradhelm. Diese Zahl ist nahezu deckungsgleich mit der ermittelten Tragequote der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)<sup>7</sup>, die im Jahr 2017 bei 99,0 Prozent lag.

Auch Motorradjacken und -hosen werden gemäß der Zahlen aus Abbildung 8 sehr häufig getragen. 95,1 Prozent der Befragten tragen eine Motorradjacke, 87,9 Prozent dazu die passende Hose. Die aktuelle Tragequote der BASt<sup>7</sup> von Schutzkleidung ergänzend zum Helm liegt hier mit 59,0 Prozent deutlich niedriger. Angemerkt sei an dieser Stelle, dass die Erhebung der BASt auf Beobachtungen des gesamten Zweiradverkehrs (also auch der Kleinkrafträder) innerorts beruht. Die vorliegende ifz-Studie bezieht sich jedoch nur auf die Gruppe der Motorradfahrer. Die klein motorisierten Fahrzeuge mit Versicherungskennzeichen wie Mofa oder Roller, deren Fahrer in der Regel weniger Motorradbekleidung nutzen, wurden nicht berücksichtigt.

<sup>7</sup> Wissenschaftliche Informationen der Bundesanstalt für Straßenwesen: „Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung – 2017“, in BASt Info 01/18



Motorradhandschuhe sowie entsprechend geeignetes Schuhwerk werden mit Werten über 90 Prozent ebenfalls recht häufig genutzt. Der mittlerweile „aus der Mode gekommene“ Nierengurt liegt mit 53,5 Prozent weit unterhalb der Nutzung der restlichen Motorradausrüstung.

94,0 Prozent der Teilnehmer achten beim Kauf neuer Motorradbekleidung darauf, dass Protektoren enthalten sind. Weiterhin legen 64,9 Prozent der Teilnehmer Wert auf eine gute Sichtbarkeit bzw. Erkennbarkeit der Bekleidung.

### 2.3 Status Quo: Sicherheitsbewusstsein und Entwicklung

Die Analyse zentraler Aspekte des Themas „Sicherheit beim Motorradfahren“ ist ein wesentlicher Teilbereich dieser Studie. Um die eingangs gestellte Frage nach dem Status Quo hinsichtlich des Sicherheitsbewusstseins der Motorradfahrer in Deutschland sowie dessen Entwicklung beantworten zu können, schauen wir uns den Vergleich zwischen den aktuellen sowie den Ergebnissen aus dem Jahr 2006 an.

Dafür wurde eine konzentrierte Auswahl sicherheitsspezifischer Fragen und deren Antworten entsprechend dem Vorgehen in 2006 extrahiert. Insgesamt sechs wegweisende Merkmale sind dabei ausgewählt worden, die Aufschluss über das Sicherheitsbewusstsein geben. Hierbei haben wir zwei übergeordnete Bereiche festgelegt.

Zum einen den eher theoretisch orientierten Bereich T, der das Interesse an sicherheitsrelevanten Themen und sicherheitsorientiertes Verhalten über das Fahren hinaus darstellt; zum anderen den Bereich P, der die unmittelbar mit dem Motorradfahren verbundenen Ergebnisse hinsichtlich des Sicherheitsbewusstseins aufzeigt (praktisch orientiert). Um beide Bereiche mit einem vergleichbaren Maßstab beurteilen zu können, wurde exakt die gleiche Anzahl von Merkmalen (hier jeweils drei) verknüpft.

Wie schon in 2006, wurden auch diesmal die genannten prozentualen Angaben jeweils auf ein Kollektiv mit 100 Prozent Antworten, also ohne Berücksichtigung des geringen Anteils der Befragten ohne jegliche Antwort, bezogen.

### 2.3.1 Erste Ergebnisse Sicherheitsbewusstsein 2018 im Überblick

Tabelle 1: Gegenüberstellung Studienergebnisse 2006 und 2018.

Bereich T		2018	2006	Trend
T1	Relevanz des Themas Sicherheit allgemein	98,2 %	94,7 %	+ 3,7 % <sup>8</sup>
T2	Interesse an Sicherheitsinfos auf Messen/Veranstaltungen	82,9 %	84,1 %	- 1,4 %
T3	Interesse an Sicherheitsfeatures beim Motorradkauf	71,9 %	84,7 %	- 15,1 %
Bereich P				
P1	Regelmäßiger Sicherheitscheck des Motorrades	90,0 %	82,5 %	+ 9,1 %
P2	Risikogedanken beim Motorradfahren	79,2 %	74,4 %	+ 6,5 %
P3	Tragen von Motorradbekleidung „Jacke und Hose“	87,9 %	72,4 %	+ 21,4 %

Tabelle 1 liefert uns komprimiert die aktuellen Ergebnisse der ifz-Befragung aus dem Jahr 2018. Anhand dieser lässt sich festhalten, dass das Interesse am Thema „Sicherheit“ bei den befragten Motorradfahrern in allen zentralen Bereichen sehr stark ausgeprägt und gegenüber 2006 insgesamt noch gewachsen ist.

Wie der Bereich T1 (siehe Tab.1) zeigt, halten 98,2 Prozent der Motorradfahrer das Thema „Sicherheit im Straßenverkehr“ generell für wichtig. Schaut man sich darauf basierend weitere Ergebnisse an, so fallen insbesondere die Merkmale T2, P1 und P3 auf. Auch hier können überall Werte von über 80 % verzeichnet werden. Der Bereich P2 behandelt das Thema der Gedanken beim Motorradfahren an mögliche Risiken, die unterwegs auftreten können. Die 80 Prozent wurden in 2006 nicht ganz erreicht (74,4 %), in 2018 aber nur knapp verfehlt. Damit ist der Wert mit 79,2 Prozent ebenfalls ein sehr guter, der einen aussagekräftigen Hinweis auf das Sicherheitsbewusstsein der befragten Motorradfahrer liefert.

Unter T3 geben die Teilnehmer mit einer Häufigkeit von 71,9 Prozent an, dass sicherheitsrelevante Komponenten Einfluss bei der Wahl bzw. beim Kauf ihres Motorrades haben. Unabhängig von den anderen ausgewählten Bereichen ist auch dieser Wert als hoch einzustufen, spielt doch für nahezu drei

<sup>8</sup> Die jeweiligen Veränderungen der Werte zwischen 2006 und 2018 sind prozentuale Veränderungen und sind nicht mit der Angabe der Prozentpunkte zu verwechseln.

Viertel der Befragten das Thema Sicherheit mit in die Kaufentscheidung hinein. Dennoch fällt hier auf, dass dieser Bereich schwächer ausgeprägt ist, als die anderen.

### 2.3.2 Theoretischer und praktischer Anteil

#### Bereich T

Um eine zusammenfassende Aussage über die Einstellungen der Teilnehmer hinsichtlich des Themas „Motorradsicherheit“ zu bekommen, werden die Merkmale T1 (Relevanz des Themas Sicherheit allgemein), T2 (Interesse an Sicherheitsinformationen auf Messen/Veranstaltungen) und T3 (Interesse an Sicherheitsfeatures beim Motorradkauf) miteinander verknüpft. Das ermittelte Ergebnis lautet 60,9 Prozent. Diese Zahl gibt den Anteil der Motorradfahrer wieder, die in diesen drei Merkmalen mit der entsprechenden positiven Antwort vertreten sind.

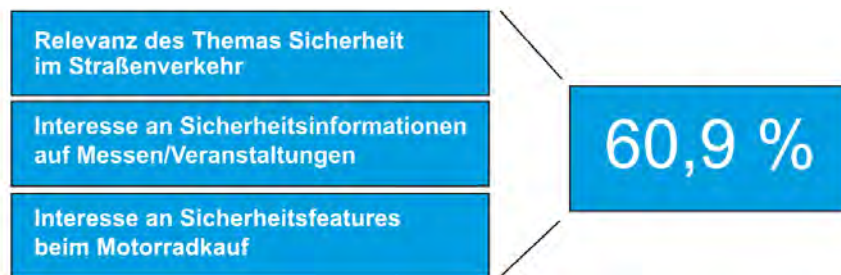


Abb. 9: Bereich T.

#### Bereich P

Für den Bereich P wird genauso verfahren wie zuvor für den Bereich T (2.3.2). Es werden also die Merkmale P1 (Regelmäßiger Sicherheits-Check des Motorrades), P2 (Risikogedanken beim Motorradfahren) und P3 (Tragen von Motorradbekleidung) verknüpft, um eine zusammenfassende Aussage über das sicherheitsbewusste Verhalten der Teilnehmer mit Blick auf das Motorradfahren unmittelbar vor und während der Fahrt zu bekommen. Als Ergebnis dieser Verknüpfung können wir die Zahl 62,1 Prozent festhalten. Wie zuvor für den Bereich P auch, wird diese Zahl aus den Motorradfahrern der Befragung bestimmt, die genau in diesen drei Merkmalen mit der entsprechenden positiven Antwort vertreten sind.

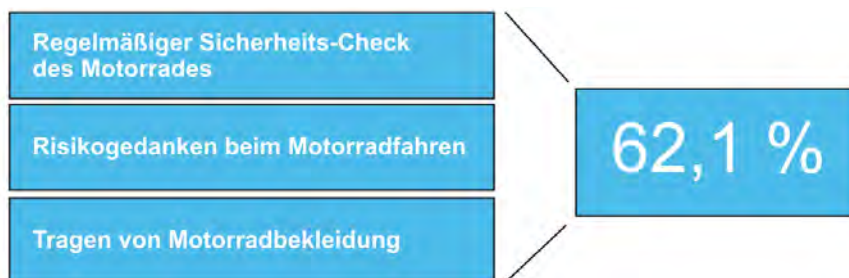


Abb. 10: Bereich P.

### 2.3.3 Entwicklung Sicherheitsbewusstsein

Wie zu Beginn des Kapitels 2.3 bereits beschrieben, soll in dieser Studie neben der Ermittlung des Status Quo des Sicherheitsbewusstseins der Motorradfahrer in Deutschland ebenfalls dessen Entwicklung untersucht werden. Dazu liegen uns die Ergebnisse einer früheren ifz-Studie aus dem Jahr 2006 vor. Schauen wir uns also den Vergleich zwischen den aktuellen sowie den Ergebnissen aus dem Jahr 2006 an. Tabelle 1 liefert dafür das entsprechende Zahlenmaterial, das hier folgend auszugsweise genutzt wird. Vorab bleibt anzumerken, dass das Sicherheitsbewusstsein der deutschen Motorradfahrer im Jahr 2006 anhand der damaligen Analyse als sehr hoch eingestuft werden konnte.

T1	Relevanz des Themas Sicherheit allgemein	98,2 %	94,7 %	+ 3,7 %
----	--	--------	--------	---------

Das bereits sehr gute Ergebnis aus 2006 von 94,7 Prozent hat in den letzten 12 Jahren um 3,7 Prozent zugenommen. Mit 98,2 Prozent ist die Relevanz des Themas „Zweiradsicherheit“ bei den deutschen Motorradfahrern fest verankert. Betrachtet man parallel die langfristige Entwicklung der Verunglücktenzahlen, wird dieser Trend bestätigt. Waren es im Jahr 2006 noch fast 800 getötete Motorradfahrer (793) so ist diese Zahl bis 2018 auf unter 600 Personen (583) gesunken.

T2	Interesse an Sicherheitsinfos auf Messen/Veranstaltungen	82,9 %	84,1 %	- 1,4 %
----	--	--------	--------	---------

Mit über 80 Prozent sind beide Ergebnisse sehr gut und nahezu gleichauf. Trotz des leichten Rückgangs kann das gute Ergebnis aus 2006 als bestätigt gesehen werden. Möglicherweise ist durch die starke Zunahme bzw. Einführung eines Informationsflusses auf medialer Ebene (z. B. Soziale Medien) das Interesse an sicherheitsrelevanten Aspekten auf Messen und Veranstaltungen vor Ort leicht zurückgegangen.

T3	Interesse an Sicherheitsfeatures beim Motorradkauf	71,9 %	84,7 %	- 15,1 %
----	--	--------	--------	----------

Die auffälligste Zahl in der Entwicklung des Sicherheitsbewusstseins findet sich in diesem Bereich. Mit einem Minus von 15,1 Prozent ist das Interesse an sicherheitsrelevanten Aspekten beim Kauf des Motorrads nicht mehr ganz so hoch wie in 2006. Die aktuellen 71,9 Prozent stellen aber dennoch ein durchaus positives Verhalten der Motorradfahrer bei der Wahl ihres Motorrads dar. Ursachen dafür können natürlich nur spekulativ angegeben werden. Neue Motorräder sind sicherer denn je. Die modernen Maschinen genießen den Ruf, technisch sehr sicher zu sein, so dass ein gezieltes Interesse in dieser Richtung möglicherweise allgemein nachlässt. Zahlreiche Fahrer-Assistenzsysteme haben bereits Einzug genommen und auch der Klassiker ABS ist seit Januar 2017 an allen Neufahrzeugen verbaut. Lässt

das Interesse nach? Aufschluss liefern die weiteren Auswertungen innerhalb dieser Studie, wenn es konkret um diese Thematik geht (siehe ab Kapitel 3.3).

P1	Regelmäßiger Sicherheitscheck des Motorrades	90,0 %	82,5 %	+ 9,1 %
----	--	--------	--------	---------

Fast jeder Motorradfahrer weiß, wie wichtig es ist, sein Motorrad hinsichtlich sicherheitsrelevanter Aspekte zu prüfen. Nahezu alle Motorradfahrer tun dies auch, satte 90,0 Prozent erfreulicherweise regelmäßig. Mit einem Zuwachs von 9,1 Prozent prüfen noch mehr Motorradfahrer ihre Fahrzeuge in 2018 als in 2006. Auch damals war das Ergebnis schon überdurchschnittlich. Auswertungen der Hauptuntersuchung von Motorrädern bestätigen dieses Verhalten. Nur selten werden hier erhebliche Mängel festgestellt. Verschiedene TÜV-Meldungen liefern hier Auskünfte über diese positiven Zahlen. So veröffentlichte beispielsweise die TÜV Nord Mobilität im Jahr 2013, dass fast 85 Prozent aller untersuchten Motorräder ohne Mängel vorfuhren<sup>9</sup>. „Motorradfahrer kümmern sich in besonderer Weise um den verkehrssicheren Zustand ihrer Bikes“, heißt es hier. Pkw-Besitzer schneiden hier deutlich schlechter ab, die Zahl liegt nur bei knapp 62 Prozent.

P2	Risikogedanken beim Motorradfahren	79,2 %	74,4 %	+ 6,5 %
----	------------------------------------	--------	--------	---------

Von Mitte 70 auf fast 80 Prozent gestiegen. Auch in diesem Bereich gibt es nichts zu beanstanden. Motorradfahrer, die sich der Risiken unterwegs bewusst sind, fahren sicherheitsorientierter. Insofern kann die Steigerung hier als positive Entwicklung verzeichnet werden.

Das gedankliche Kreisen um mögliche Risiken und Gefahren beim Motorradfahren ist dienlich, um vorausschauend unterwegs zu sein. Wer die Situationen kennt und bedenkt, in denen es immer wieder zu Unfällen kommt, kann kritische Begegnungen bereits im Vorfeld erkennen und Unfälle vermeiden. Der Bereich P2 stellt damit einen zentralen Baustein mit Blick auf das Sicherheitsbewusstsein.

P3	Tragen von Motorradbekleidung „Jacke und Hose“	87,9 %	72,4 %	+ 21,4 %
----	--	--------	--------	----------

Die Veränderungen in den 12 Jahren zwischen den beiden ifz-Erhebungen sehen folgendermaßen aus: Die drei Bereiche „Helm“, „Schuhwerk“ und „Handschuhe“ blieben konstant. Deutliche Veränderungen sind aber in den restlichen drei Bereichen „Jacke“, „Hose“ und „Nierengurt“ festzustellen. Das Tragen von geeigneten Motorradjacken hat einen Zuwachs von 9,8 Prozent (86,6 % → 95,1 %) erlebt,

<sup>9</sup> Statistische Auswertung der TÜV Nord Mobilität GmbH, 2013:

<https://www.tuev-nord-group.com/de/newsroom/aktuelle-pressemeldungen/details/article/tuev-nord-mobilitaet-motorraeder-sind-beim-tuev-oft-technisch-tiptopp/>

bei den Motorradhosen können wir sogar eine Zunahme von 19,9 Prozent (73,3 % → 87,9 %) festhalten. Ein Indiz für ein steigendes Sicherheitsbewusstsein der Motorradfahrer. Die altersspezifische Auswertung zeigt, dass gerade junge Fahrer vermehrt von Motorradbekleidung Gebrauch machen. Die Befragten aus den jüngeren Altersklassen fallen durch recht hohe Tragequoten auf. Lediglich in den Bereichen „Hose“ und „Schuhwerk“ zeigen sich bei den älteren Fahrern höhere prozentuale Ausprägungen. Mögliche Ursachen für ein steigendes Sicherheitsbewusstsein, dass im Rahmen des Bekleidungsstrageverhaltens bei den jüngeren Fahrern sichtbar wird, könnten sich in medialen Kampagnen, einer verbesserten Aufklärung seitens der Fahrschulen sowie mit dem Stichwort „Lifestyle“ begründet sein.

Lediglich im Bereich der Nierengurte ist ein deutlicher Rückgang in der Nutzung auszumachen, 2018 sind es 35,2 Prozent weniger als zwölf Jahre zuvor. Daran ist auszumachen, dass Motorradjacken, -hosen und -kombinationen die Tragequote eines separaten Nierengurtes verringern.

Insgesamt kann im Bereich „Tragen von Motorradbekleidung“ mit 21,4 Prozent die größte Steigerung ausgemacht werden. Ein deutliches Indiz für das ansteigende Sicherheitsbewusstsein der Motorradfahrer.

#### 2.3.4 Fazit Sicherheitsbewusstsein 2018

Die Analyse der Bereiche T und P – den Einstellungen und dem Interesse am Thema „Motorradsicherheit“ sowie relevanter Verhaltensweisen im fahrpraktischen Alltag – liefert in beiden Fällen ein positives Ergebnis.

Schauen wir uns an dieser Stelle noch einmal die Gesamtergebnisse der Bereiche T und P zusammenfassend im Vergleich an. Die aktuellen Werte liegen hier mit 60,9 und 62,1 Prozent ziemlich nah beieinander. In 2006 gab es diesbezüglich eine größere Kluft. Während der Bereich T mit 60,8 Prozent damals fast gleichhoch ausfiel wie in der aktuellen Studie, lag der praktisch orientierte Bereich P mit 46,3 Prozent deutlich darunter. Dies lässt schlussfolgern, dass bei der Umsetzung sicherheitsrelevanter Verhaltens in die alltägliche Praxis wachsendes Potenzial besteht. Die 2018er Ergebnisse belegen an dieser Stelle quasi ein „Aufholen“ auch in diesem Bereich. Der aktuelle Status Quo des Sicherheitsbewusstseins der Motorradfahrer in Deutschland sowie dessen Entwicklung in den letzten 12 Jahren kann also anhand dieser ersten Auswertung der Studienergebnisse als bemerkenswert positiv festgehalten werden. Die Motorradfahrer interessieren sich in zunehmendem Maße für diesen Teilbereich der Motorradsicherheit.

Die Ergebnisse der zentralen Aussagen über sicherheitsrelevante Aspekte beim Motorradfahren lassen zu dem Schluss kommen, dass die bislang 3.543 in der Studie befragten Motorradfahrer – repräsentativ für die Motorradfahrer in Deutschland – ein hohes Sicherheitsbewusstsein aufweisen.

**Auf den Punkt: Auch in 2018 befindet sich das Sicherheitsbewusstsein der Motorradfahrer in Deutschland auf einem überdurchschnittlich hohen Niveau. Die generelle Einstellung der Motorradfahrer zum Thema Sicherheit ist sehr intensiv ausgeprägt, zudem hat sich in den zentralen theoretischen und praktischen Bereichen in den letzten 12 Jahren eine positive Entwicklung vollzogen.**

### 3 Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Krafträdern (FAS-M)

Ein ausgeprägtes Sicherheitsbewusstsein und ein entsprechendes Verhalten im Straßenverkehr bilden die Grundlage für die Reduzierung der Verunglücktenzahlen. Den Nutzern von Kraftfahrzeugen, egal welcher Art, obliegt dabei eine große Verantwortung. Aber auch auf der Seite des Fahrzeugs greifen die Möglichkeiten für mehr Sicherheit stärker denn je. Ein Großteil aller Unfälle ist auf menschliches Versagen zurückzuführen, da beispielsweise Gefahren gar nicht oder zu spät erkannt bzw. falsch interpretiert werden. Auch ist das fahrerische Können der Verkehrsteilnehmer unterschiedlich ausgeprägt, was insbesondere beim Einspurfahrzeug in Extremsituationen zu unterschiedlichen Resultaten führen kann. Eine zentrale Maßnahme zur Verbesserung der Verkehrssicherheit liegt deshalb in der Unterstützung des Fahrers durch technische Systeme.

Wie die Ergebnisse der vorherigen Kapitel zeigen, bewegt sich das Sicherheitsbewusstsein der deutschen Motorradfahrer auf hohem Niveau. Neben den bereits durchleuchteten Aspekten der technischen Sicherheit der Maschine, der Fahrer-Sicherheit oder der Bedeutung der Fahrerausstattung möchten wir im weiteren Verlauf der Studie überprüfen, wie es um das Wissen, die Einstellungen und den Umgang der befragten Motorradfahrer in Bezug auf Fahrer-Assistenzsysteme (FAS) an Krafträdern steht.

Studien aus dem Bereich des Pkw zeigen auf, dass die Kenntnisse über einzelne Systeme verbesserungsbedürftig sind. Doch wie bekannt sind die verschiedenen FAS und wie sind Kenntnisse über einzelne Systeme unter Motorradfahrern ausgeprägt? Insbesondere in den letzten Jahren haben Assistenzsysteme für Motorradfahrer stark an Bedeutung zugenommen, und es ist absehbar, dass sie den Markt auch weiterhin durchdringen werden. Die folgenden Ergebnisse sollen unter anderem dabei behilflich sein, das Image sowie das Nutzer-Know-how sicherheitsrelevanter Systeme im Bereich des Motorradsektors genauer einschätzen zu können.

#### 3.1 Notwendigkeit von FAS-M

Wer mit einem Kraftfahrzeug im öffentlichen Straßenverkehr unterwegs ist, kommt zwangsläufig in Situationen, die gefährlich sein können, sowohl für ihn selbst als auch für andere Verkehrsteilnehmer.

Dies bestätigen auch die Ergebnisse auf die Frage, ob die Teilnehmer in den letzten 12 Monaten mindestens einmal auf ihrem Motorrad in eine der unten aufgeführten Situationen geraten sind.

Abbildung 11 veranschaulicht, dass 53,0 Prozent der Studienteilnehmer von einem anderen Verkehrsteilnehmer übersehen wurden. Interessant ist, dass bereits an zweiter Stelle die Notwendigkeit einer Bremsung im Kurvenbereich genannt wird: Bei 39,0 Prozent war ein Bremsen in Schräglage erforderlich, was nicht unbedingt einen gefährlichen Auslöser gehabt haben muss. Dennoch birgt es für Fahrer, die in diesem Bereich unerfahren sind, Risiken, die mit entsprechender technischer Hilfe deutlich minimiert werden können.

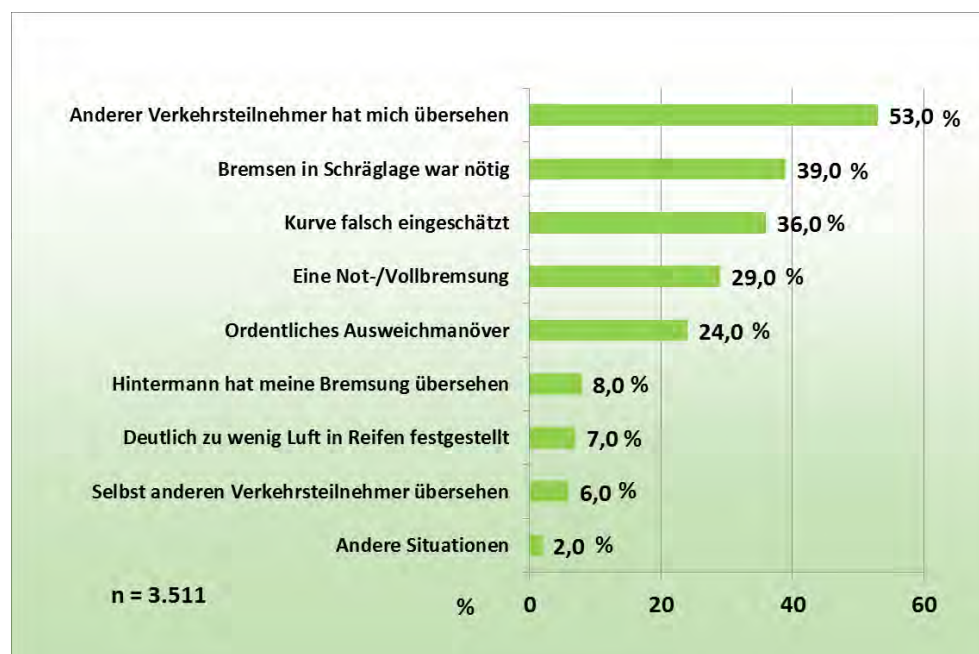


Abb. 11: Kritische Situationen unterwegs.

In den meisten Fällen gehen solche Situationen glücklicherweise gut aus. Dies hat mitunter auch mit Glück zu tun, dennoch sind die meisten Verkehrsteilnehmer in der Lage, aufgrund ihrer Ausbildung sowie ihrer Erfahrungswerte mit diesen Situationen umzugehen. Leider ist das aber nicht immer der Fall. Moderne Technik stellt hier also eine willkommene Möglichkeit dar, derartige Konflikte zu entschärfen und die Fahrer bei der Bewältigung komplexer Fahraufgaben zu entlasten.

### 3.2 Definition der FAS-M

Bereits im Jahr 2010 beschäftigte sich das ifz im Rahmen seiner Studie „Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern (FAS-M)<sup>10</sup>“ mit Fahrer-Assistenzsystemen. Im Verlauf der damaligen

<sup>10</sup> Kuschefski, A.; Haasper, M.; Vallese, A.: Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern (FAS-M), Studie des Instituts für Zweiradsicherheit, 2010.



Forschungsarbeit wurde festgestellt, dass in der Literatur unterschiedlichste Definitionen von Fahrer-Assistenzsystemen vorherrschen. Aus diesem Grunde wurde mit der damaligen Studie der Versuch unternommen, eine Definition für Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern zu formulieren, die dem motorisierten Zweirad bzw. dem Fahren eines motorisierten Zweirades und seinen spezifischen Eigenschaften gerecht werden.

Auch in der nun vorliegenden Studie nehmen FAS-M einen großen Raum ein und insofern scheint es hilfreich und sinnvoll, die damals formulierte Definition der Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern kurz zu umreißen. Die Definition bezieht sich ausschließlich auf die Fahrzeugebene, also auf Systeme, die dem Fahrzeug zuzuordnen sind. Es wurde hier ganz bewusst eine Trennung vorgenommen, obwohl für Fahrer motorisierter Zweiräder zahlreiche Lösungen existieren, die auf der Ebene der persönlichen Fahrerausstattung ansetzen. Hintergrund für diese Entscheidung ist die Anlehnung an den Automobil-Bereich, bei dem keine Fahrerausstattung vonnöten ist.

*Definition:*

**Ein „Fahrer-Assistenzsystem an motorisierten Zweirädern“ (Abk.: FAS-M) ist ein technisches Ausrüstungsteil an motorisierten Zweirädern, welches den Fahrer bei seiner Fahraufgabe unterstützt bzw. ihm assistiert und/oder die Belastung und somit die Beanspruchung des Fahrers mindert. Es dient der Aktiven Sicherheit (Unfallvermeidung), aber auch, um Unfallfolgen während einer Pre-Crash-Phase positiv beeinflussen zu können. Ein FAS-M muss mindestens einer der drei Ebenen der Fahraufgabe (Navigationsebene, Manöverebene, Bedienungsebene) zuzuordnen sein.**

Nach dieser Definition dienen Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern überwiegend der Aktiven Sicherheit. Demnach fallen Systeme wie eCall oder solche, die z. B. den Kraftstoffverbrauch und somit die Emissionen senken, nicht in die Gruppe der FAS-M.

Eine Eigenschaft nach obiger Definition von FAS-M besteht darin, dass die Belastung und somit die Beanspruchung des Fahrers u. a. durch Komfort fördernde Systeme gemindert wird. Zu den FAS-M zählen auch Systeme, die auf ein motorisiertes Zweirad und seinen „ungeschützten Fahrer“ aufmerksam machen (Selbstschutz), indem sie akustisch und/oder optisch andere Verkehrsteilnehmer warnen. Dies können z. B. Vehicle-to-Vehicle-Systeme sein, die momentan noch in der Entwicklung sind.

*In den folgenden Ausführungen und Ergebnisdarstellungen wird überwiegend die Kurzform „FAS-M“ stellvertretend für den Begriff „Fahrer-Assistenzsystem(e) an motorisierten Zweirädern“ genutzt.*

### 3.3 Bekanntheitsgrad der FAS-M



Abb. 12: Häufigkeiten der Nennungen von FAS-M.

Im Rahmen der bereits unter 3.1 aufgeführten ifz-Studie aus dem Jahr 2010<sup>10</sup> wurden 2.317 Teilnehmer unter anderem dazu befragt, welche „Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern (FAS-M)“ sie kennen bzw. benennen können. Die Antworten ließen auf deutliche Defizite im Wissen um Fahrer-Assistenzsysteme schließen. Acht Jahre später liegt die Vermutung nahe, dass den Teilnehmern der aktuellen Studie aufgrund einer voranschreitenden Marktdurchdringung von FAS-M die Systeme geläufiger sind. Um hier Klarheit zu schaffen, wurden die Teilnehmer auch in der aktuellen Studie befragt, ob und welche FAS-M ihnen bekannt sind. Zu beachten hierbei ist, dass den Teilnehmern an dieser Stelle keinerlei Vorgaben geliefert wurden. Es sollten also frei formuliert bis zu fünf FAS-M genannt werden, die den Teilnehmern bekannt sind. Im Rahmen der Antworten wurden von einigen Teilnehmern mitunter Systeme aufgeführt, die nicht zu den FAS-M zu zählen sind, wie beispielsweise der Airbag. Die insgesamt aber selten notwendige Streichung dieser Angaben führte zu obigem Ergebnis (siehe Abb. 12).

Es überrascht wenig, dass ABS mit 42,9 Prozent die häufigste Antwort darstellt. Zweifellos handelt es sich hier um das bekannteste FAS-M. An zweiter Stelle folgt das ebenfalls recht populäre FAS-M „Traktionskontrolle“ (26,5 %). Schon an dritter Stelle nannte der Großteil der Teilnehmer das Kurven-ABS. Bis auf diese drei zentralen Nennungen sind Häufigkeiten weiterer genannter Systeme recht schwach ausgeprägt.

Es dürfte nicht überraschen, dass auch im Jahr 2018 noch nicht alle Motorradfahrer eine konkrete Vorstellung davon haben, worum es sich bei FAS-M genau handelt. Mit Blick auf die vorangegangene

Umfrage aus 2010<sup>10</sup> kann aber festgehalten werden, dass der Anteil derer, die gar kein FAS-M benennen konnten, deutlich zurückgegangen ist.

### 3.4 Allgemeines Wissen der Teilnehmer über FAS-M

#### 3.4.1 Allgemeine Kenntnisse zum Thema FAS-M vorhanden

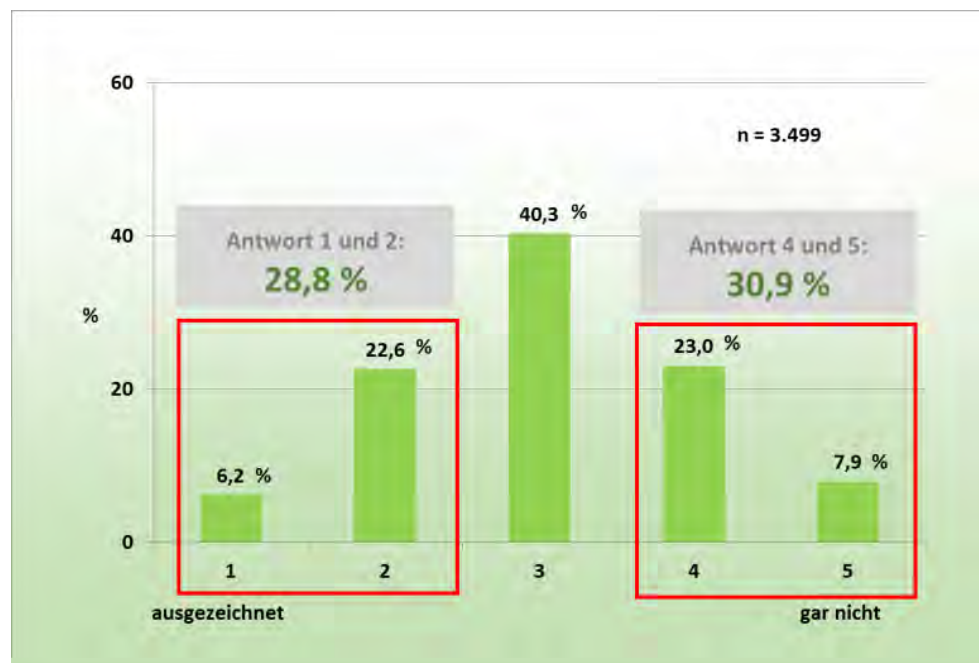


Abb. 13: Allgemeine Kenntnisse der Teilnehmer über FAS-M.

Bei dieser Frage konnten die Teilnehmer auf einer fünfstufigen Likert-Skala ihre Kenntnisse zwischen den Polen 1 = „ausgezeichnet“ und 5 = „gar nicht“ einordnen. Für die Auswertung wurden die ersten und letzten beiden Einordnungen über- und unterhalb des „neutralen“ Wertes „3“ zusammengefasst.

Die gesamte Gruppe bewertete die eigenen Kenntnisse demnach zu 28,8 Prozent als positiv und zu 30,9 Prozent (eher) als negativ bzw. als nicht vorhanden. Der Großteil mit 40,3 Prozent sieht sich mit seinem Wissen rund um die FAS-M im Mittelfeld. Gerade einmal 6,2 Prozent der Befragten schätzen ihr FAS-M-Wissen als ausgezeichnet ein, ein Fünftel meint gut informiert zu sein (22,6 %).

Summiert man die eher positiv zu wertenden Bereiche 1 und 2 mit Antwort 3, also denen, die sich hinsichtlich ihres Wissens im Mittelfeld eingruppierten, ergibt sich der Wert von 69,1 Prozent. Es sind also knapp 70 Prozent der Teilnehmer, die ihre allgemeinen Kenntnisse rund um das Thema „FAS-M“ im Bereich von ausgezeichnet bis mittelmäßig einschätzen.

Zwischen den Geschlechtern klafft in dieser Selbsteinschätzung eine große Lücke. Während Fahrerinnen ihre Kenntnisse beim Thema FAS-M nur zu 11,6 Prozent als gut und besser beurteilen, sind dies

bei den Fahrern mit 30,5 Prozent deutlich mehr. Die Gruppe derer, die die eigenen Kenntnisse eher negativ beurteilt, ist bei den männlichen Teilnehmern mit 28,2 Prozent recht groß. Bei den weiblichen Teilnehmern sind es mit 58,1 Prozent sogar mehr als die Hälfte. Geschlechterspezifische Interessenlagen können hier eine Rolle spielen.

Mit zunehmendem Alter steigt bei den Teilnehmern auch der Anteil derer, die Ihre eigenen Kenntnisse in diesem Bereich positiv beurteilen, signifikant.

### 3.4.2 Quelle der FAS-M-Kenntnisse

Die allgemeinen Kenntnisse über das Thema „FAS-M“ stammen in erster Linie (38,4 %) aus eigenen Erfahrungen mit den Systemen, die am eigenen Motorrad verbaut sind. Hierbei ist zu beachten, dass über 60 Prozent der Studienteilnehmer ein Motorrad bewegen, das älter als vier Jahre ist. Dies erklärt den geringeren Kenntnisstand hinsichtlich neuerer Systeme, wie die Ergebnisse unter 3.3 aufzeigen.

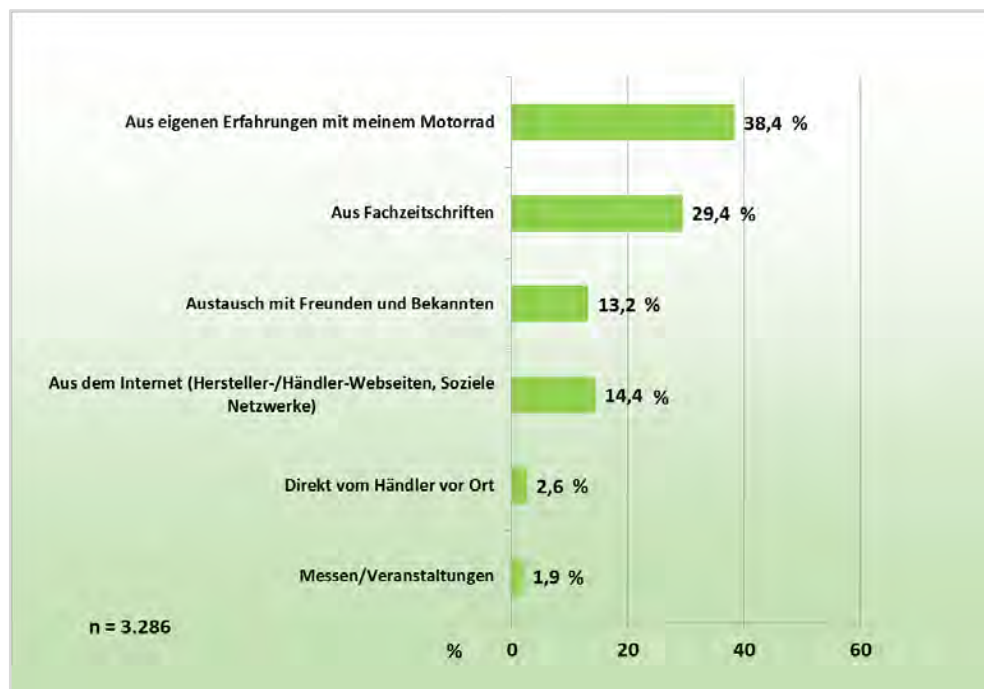


Abb. 14: Herkunft der allgemeinen Kenntnisse bezüglich FAS-M.

Nahezu ein Drittel (29,4 %) des Wissens über Fahrer-Assistenzsysteme ist auf das Lesen von Fachzeitschriften zurückzuführen. Mit 13,2 Prozent sind Informationen von Freunden und Bekannten etwa gleichauf mit fachlichen Informationen aus dem Internet (14,4 %) inklusive sozialer Netzwerke.

Auskünfte seitens des Motorradhändlers spielen vor dem Hintergrund des allgemeinen Wissens über FAS-M keine große Rolle (2,6 %), werden aber bei spezifischen Informationen wichtiger (siehe 3.5.2).

Messen und Veranstaltungen stellen mit 1,9 Prozent den kleinsten Bereich für die Einholung bzw. Aufnahme fachspezifischer Informationen über FAS-M dar.

### 3.4.3 Spezifische Kenntnisse über ausgewählte FAS-M

Die Deutsche Fahrlehrer-Akademie hat das fachspezifische Wissen von Pkw-Fahrern hinsichtlich verschiedener Fahrer-Assistenzsysteme untersucht und kam dabei schlussfolgernd zu dem Ergebnis, dass bei den Befragten teilweise ein Wissen über die Funktionalität der FAS vorliegt, die genauen Wirkweisen aber noch unzureichend bekannt sind<sup>11</sup>. Wie es mit den Fachkenntnissen bei der Gruppe der Motorradfahrer aussieht, veranschaulicht die nächste Abbildung.

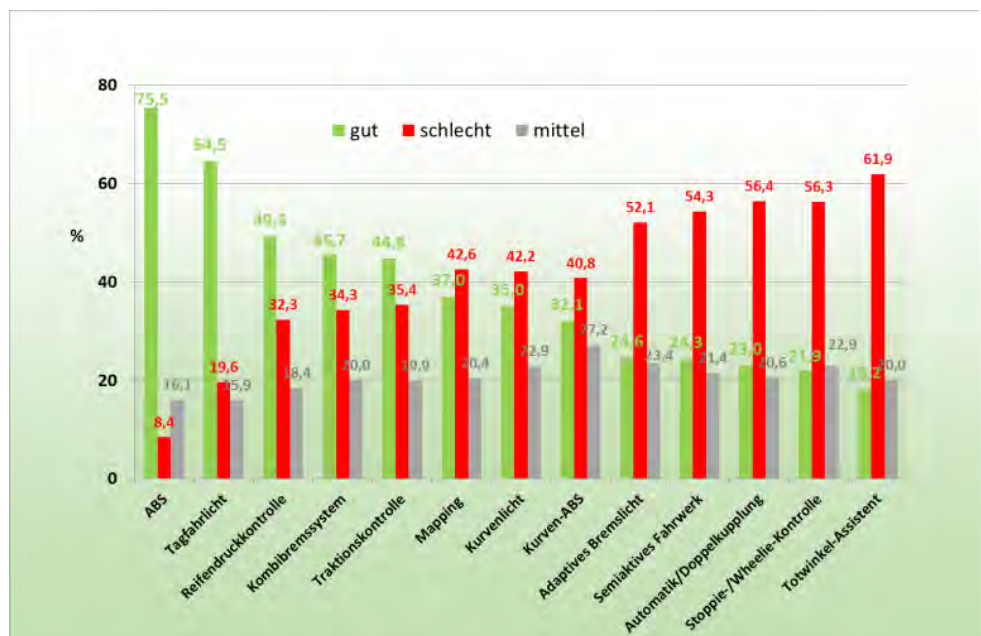


Abb. 15: Kenntnisstand der Teilnehmer bei FAS-M.

Auch bei dieser Frage konnten sich die Teilnehmer auf einer fünfstufigen Likert-Skala hinsichtlich ihres Wissens bzw. ihrer Fachkenntnisse zu verschiedenen Fahrer-Assistenzsystemen einschätzen (1 = „ausgezeichnet“; 5 = „gar nicht“).

Die grünen Balken in Abbildung 15 zeigen auf, wie viele der Teilnehmer ihr Wissen als positiv (= 1–2 auf der Skala) eingeschätzt haben.

Deren absteigende Anordnung in der Abbildung veranschaulicht, dass größere Kenntnisse vor allem bei den Systemen ausgeprägt sind, die bereits länger auf dem Markt und demnach auch bekannter sind.

<sup>11</sup> Maier, F.: Wirkpotentiale moderner Fahrerassistenzsysteme und Aspekte ihrer Relevanz für die Fahrausbildung, Korntal-Münchingen: Deutsche Fahrlehrer-Akademie e.V., 2014

Gegenläufig steigt entsprechend der prozentuale Anteil der Aussagen an (rote Balken), die eher schlechte Kenntnisse bezeugen.

Dies zeigt sich beispielsweise bei dem Fahrer-Assistenz-Klassiker ABS. Das wohl bekannteste Fahrer-Assistenzsystem wurde bereits 1988 erstmals serienmäßig am Motorrad verbaut. Über drei Viertel der Teilnehmer geben hier an, gut über Antiblockiersysteme informiert zu sein. Aber schon bei der nächsten Entwicklungsstufe des ABS, nämlich dem Kurven-ABS, das technisch kontrollierte Bremsungen auch in Schräglage ermöglicht, werden die Zahlen deutlich geringer. Mit nur noch 32,1 Prozent wähen sich hier weniger als die Hälfte der befragten Motorradfahrer als „im Thema“.

Detaillierte Aussagen zu den einzelnen Systemen werden nach Abschluss der Umfrage und Studie in der finalen Auswertung zu finden sein.

### 3.5 Kenntnisse im Umgang mit FAS-M

74,5 Prozent der Studienteilnehmer verfügen über eigene praktische Erfahrungen mit Motorrädern, die mit Fahrer-Assistenzsystemen ausgerüstet sind. Sind dies bei den Männern über drei Viertel der Befragten, die praktische Erfahrungen mit FAS-M nachweisen können, ist der Anteil mit knapp zwei Dritteln bei den Frauen etwas geringer. Mit zunehmendem Alter steigen diese Erfahrungswerte leicht aber erkennbar an.

#### 3.5.1 Nutzung von Fahrer-Assistenzsystemen

Obwohl das Thema Assistenzsysteme nicht nur im Motorradsektor boomt, ist es dennoch kein neues. Fahrer-Assistenzsysteme sind bereits seit vielen Jahren, einige bereits seit Jahrzehnten, im Einsatz.

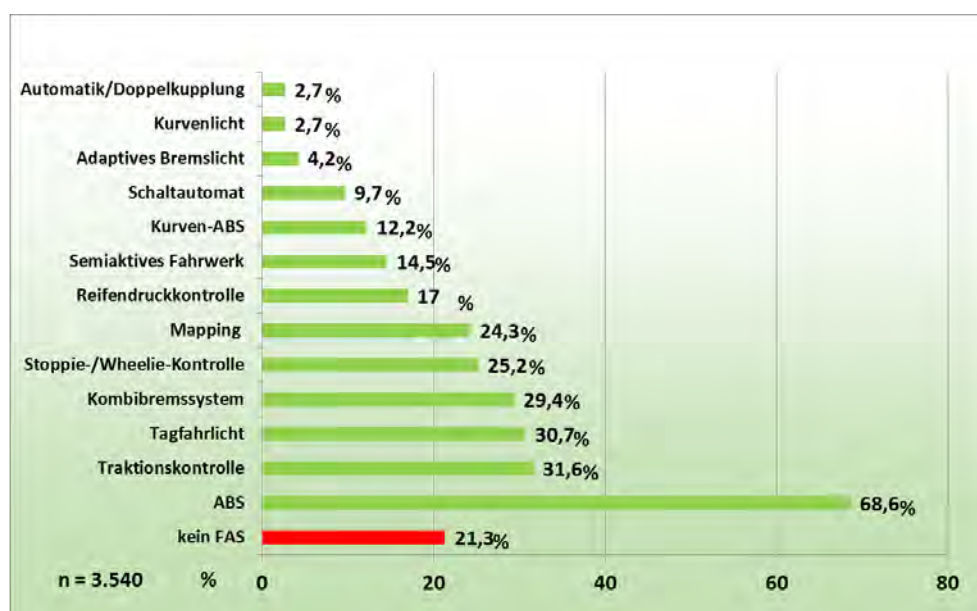


Abb. 16: Vorhandene/genutzte FAS-M.

Dennoch verfügt ein Fünftel (21,3 %) der genutzten Fahrzeuge der Teilnehmer über gar kein FAS-M, was sich vorrangig über das Baujahr begründen lässt. Am Beispiel ABS zeigt sich, dass die genutzten Fahrzeuge, die 1998 oder früher hergestellt wurden, nur zu 19,9 Prozent mit ABS ausgerüstet sind. Mit zunehmendem Fahrzeugalter steigt hier parallel der Anteil der Fahrer, die über keine praktischen Erfahrungen mit FAS-M verfügen, deutlich an.

Es war zu vermuten, dass das ABS auch dann weit vorne liegen wird, wenn es darum geht, welche Fahrer-Assistenzsysteme bei den Studienteilnehmern praktisch zum Einsatz kommen. 68,6 Prozent besitzen bzw. bewegen ein Motorrad mit diesem technischen Bremshelfer.

### 3.5.2 Funktionskenntnisse vorhandener FAS-M



Abb. 17: Wissen: Bedienbarkeit genutzter FAS-M.

Mehr als drei Viertel aller Befragten (77,9 %) geben an, zu wissen, wie die von Ihnen am eigenen Fahrzeug genutzten FAS-M funktionieren bzw. einzusetzen sind. 14,3 Prozent sind sich hierbei unsicher, während 7,9 Prozent klar Stellung beziehen und einräumen, keine Ahnung davon zu haben. Die Geschlechterauswertung zeigt hierbei einen deutlichen Unterschied. Während die männlichen Teilnehmer mit 74,9 Prozent angeben, dass Kenntnisse vorhanden sind, liegen die weiblichen Befragten mit 53,0 Prozent deutlich darunter. Eine signifikante Abhängigkeit ist ebenfalls beim Blick auf das Alter der Teilnehmer auszumachen. Jüngere Fahrer wissen hier weniger Bescheid als die älteren. So steigt die Selbsteinschätzung, zu wissen, wie die eigenen FAS-M einzusetzen sind, mit dem Alter. Die Gruppe der jüngeren Fahrer (bis 29 Jahre) ist die einzige, die sich diese Kompetenz zu weniger als 70% zuschreibt (69,3%). Ältere Fahrer wähen sich kompetenter (Gruppe 50-59: 81,4%; Gruppe 70-79: 83,7%).

Auf die Frage woher die Kenntnisse über die eigenen, genutzten FAS-M stammen, antworten die Teilnehmer folgendermaßen:

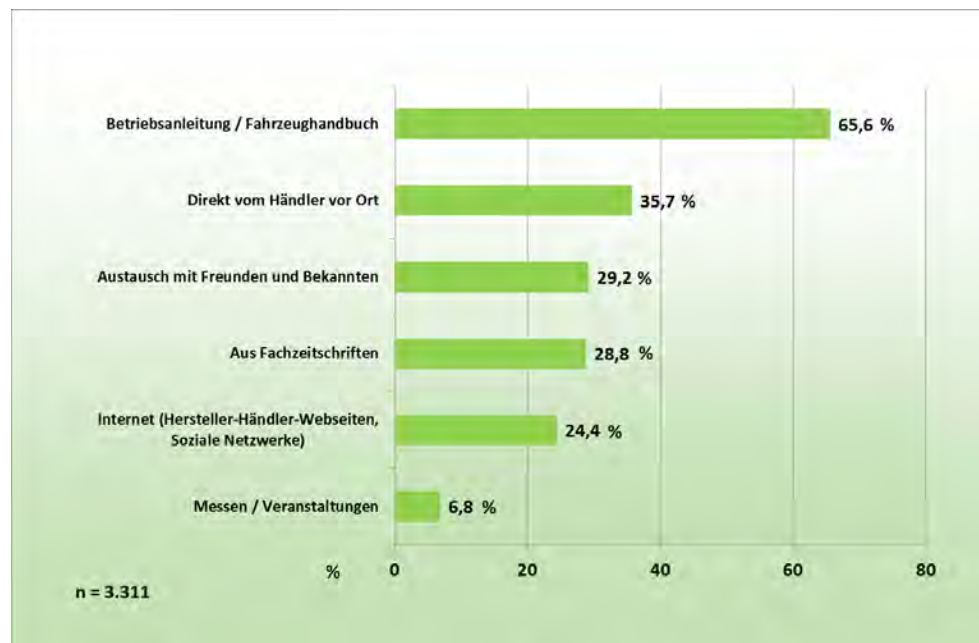


Abb. 18: Herkunft: Wissen Bedienbarkeit genutzter FAS-M.

Die Betriebsanleitung des eigenen Fahrzeugs ist mit 65,6 Prozent die vorrangige Quelle, wenn es darum geht, Informationen über die Funktionsweise und den Umgang mit FAS-M zu erhalten. Während bei der Quelle der allgemeinen Kenntnisse bezüglich FAS-M der Motorradhändler kaum eine Rolle gespielt hat (2,6 %; s. 3.4.2), stellt er hier mit 35,7 Prozent die zweithäufigste Antwort dar. Wenn es also um detaillierte Fachfragen zum eigenen Motorrad bzw. den hier verbauten FAS-M geht, spielt der Fachmann eine größere Rolle als beim Wissen zu allgemeinen Themen, das man sich lieber aus Fachmagazinen und Gesprächen mit Freunden und Bekannten holt. Oftmals finden Erklärungen der FAS-M bei der Fahrzeugübergabe statt.

Auch Messen und Veranstaltungen scheinen im direkten Vergleich für gezielte Fachfragen beliebter (6,8 %) als für allgemeine Informationen über FAS-M (1,9 %; s. 3.4.2). „Benzingespräche“ mit Gleichgesinnten (Freunde und Bekannte) sind in beiden Bereichen gleich stark vertreten und stellen eine oftmals genutzte Möglichkeit dar, Wissen auszutauschen.

Die meisten Teilnehmer (90,1 %) nutzen natürlich auch den Pkw für ihre Mobilität. Sicherlich spielen auch die Erfahrungen aus diesem Bereich eine gewisse Rolle, zumindest im Rahmen der theoretischen Auseinandersetzung mit dem Thema „FAS“. FAS im Pkw-Bereich blicken bereits auf eine lange Geschichte zurück. Zwar sind die hier verbauten Systeme nicht Eins zu Eins auf das motorisierte Zweirad übertragbar, dennoch liefern Sie einen Grundstein an Erfahrungswerten.



### 3.5.3 Fahrer-Info für FAS-M

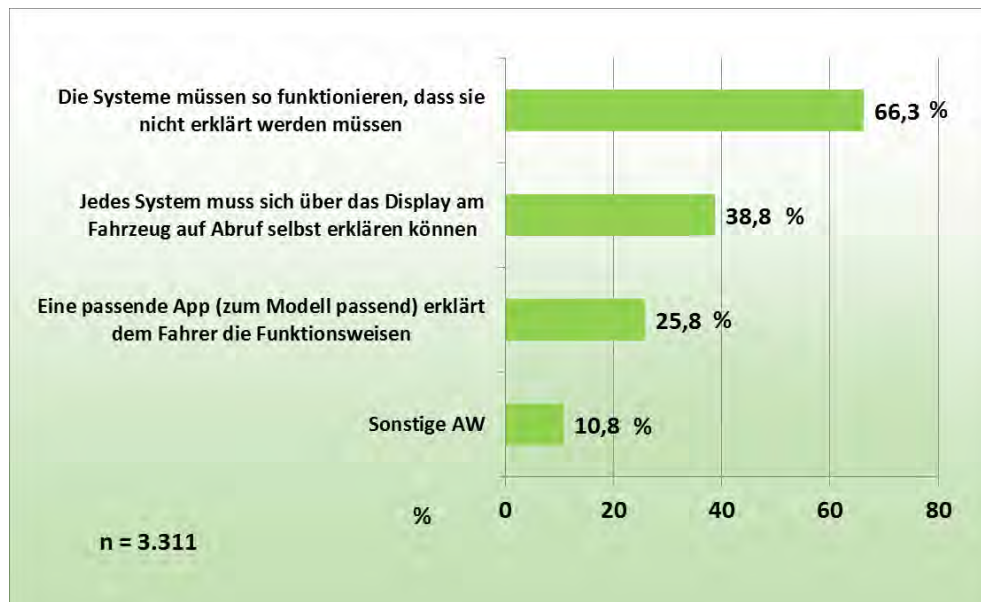


Abb. 19: Wunsch: Wissen Bedienbarkeit genutzter FAS-M.

Sicherlich ist es wichtig und notwendig, dass man sich mit den meisten der FAS-M bereits vor der Fahrt beschäftigen bzw. auseinandersetzen muss, um ihre Wirkungsweise zu verstehen und sie optimal einsetzen zu können. Darum wurden die Studienteilnehmer auch befragt, wie Motorradfahrer über die verbauten FAS-M, also über das „individuelle Können ihres Fahrzeugs“ am besten informiert werden sollten.

Abbildung 19 zeigt die häufigsten Antworten auf diese Frage. Zwei Drittel der Befragten sind der Meinung, dass ein sicherheitsdienliches System so funktionieren muss, dass es keinerlei Erklärung bedarf. Sobald aber ein System über verschiedene Modi verfügt, die beispielsweise für unterschiedliche Einsatzzwecke dienlich sind, wird es schwierig. 38,8 Prozent wünschen sich, dass sich das jeweilige FAS-M über das Display am Motorrad (falls vorhanden) auf Abruf erklärt. Wer sich schon zuhause auf dem Sofa über das Können seiner FAS-M informieren möchte, könnte dies über eine entsprechende App erledigen. Ein Viertel der Teilnehmer würde dies bevorzugen.

### 3.6 Persönlicher Nutzen durch FAS-M

Einige Fragen der Studie beschäftigen sich mit dem persönlichen Nutzen von FAS-M. Es geht dabei um die Frage, ob bei den Teilnehmern sowohl positive als auch negative Erfahrungen mit den technischen Helfern vorhanden sind. Diese können unter Umständen maßgeblichen Einfluss auf generelle Einstellungen zum Thema „FAS-M“ auslösen.

### 3.6.1 Eigene Erfahrungen mit FAS-M

Mit 65,2 Prozent haben gut zwei Drittel der Teilnehmer positive Erfahrungen mit FAS-M vorzuweisen. Bei der Angabe auf welchem System die Erfahrungen beruhen, dominiert klar das ABS, gefolgt von der Traktionskontrolle.

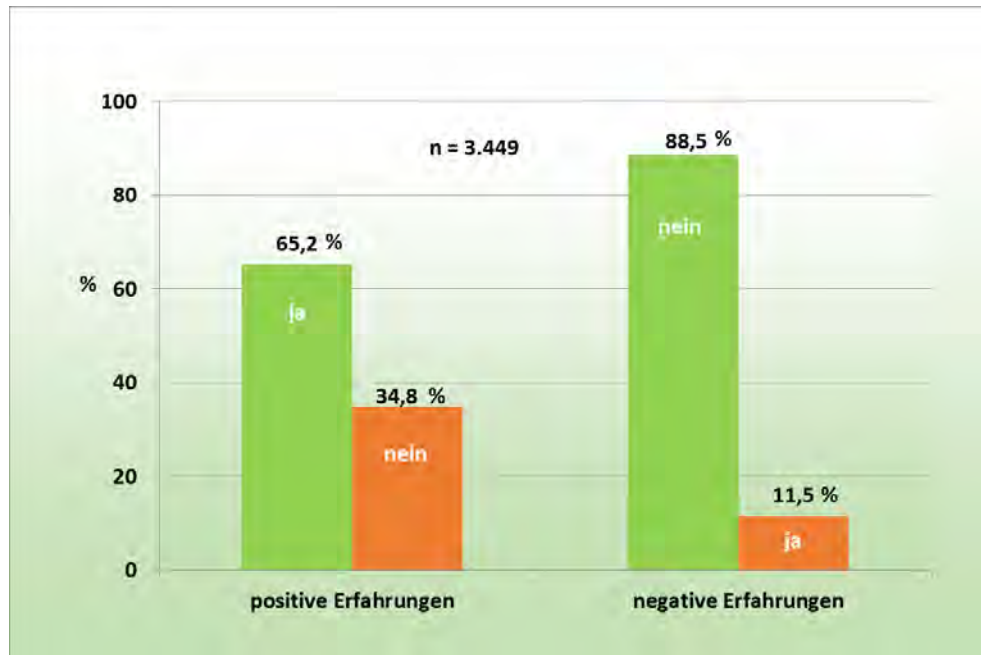


Abb. 20: Positive Erfahrungen mit FAS-M.

Auf der anderen Seite bleibt mit 34,8 Prozent mehr als ein Drittel, das diese positiven Erfahrungswerte nicht hat. Das bedeutet aber nicht, dass dieser Anteil FAS-M negativ bewertet. Es liegen lediglich keine positiven Erfahrungen vor. Die direkte Gegenfrage nach negativen Erfahrungen verschafft hier mehr Klarheit. Der Großteil hat mit 88,5 Prozent der Teilnehmer keine negativ behafteten Dinge mit FAS-M erlebt. Gerade einmal 11,5 Prozent der Teilnehmer sind es, die hier konkrete negative Erfahrungen anbringen können. Geschlechterspezifisch gibt es hierbei keinerlei Auffälligkeiten.

### 3.6.2 Sturz-/Unfallvermeidung durch FAS-M

64,2 Prozent der Teilnehmer haben bereits einen Sturz/Unfall mit ihrem Motorrad erlebt. Ganz konkret möchten wir von dieser Gruppe wissen, ob ein entsprechendes FAS-M diesen Sturz/Unfall hätte verhindern können.

Mit 63,7 Prozent ist der Großteil dieser Gruppe der Meinung, dass ein passendes (die Ursache des Sturzes/Unfalls betreffendes) FAS-M den Unfall nicht verhindert hätte. Unentschieden waren 16,0 Prozent, während 20,4 Prozent meinten, dass ein FAS-M mindestens einen ihrer Unfälle hätte vermeiden können. Dieses Bild zieht sich ohne große Schwankungen durch die verschiedenen Altersgruppen.

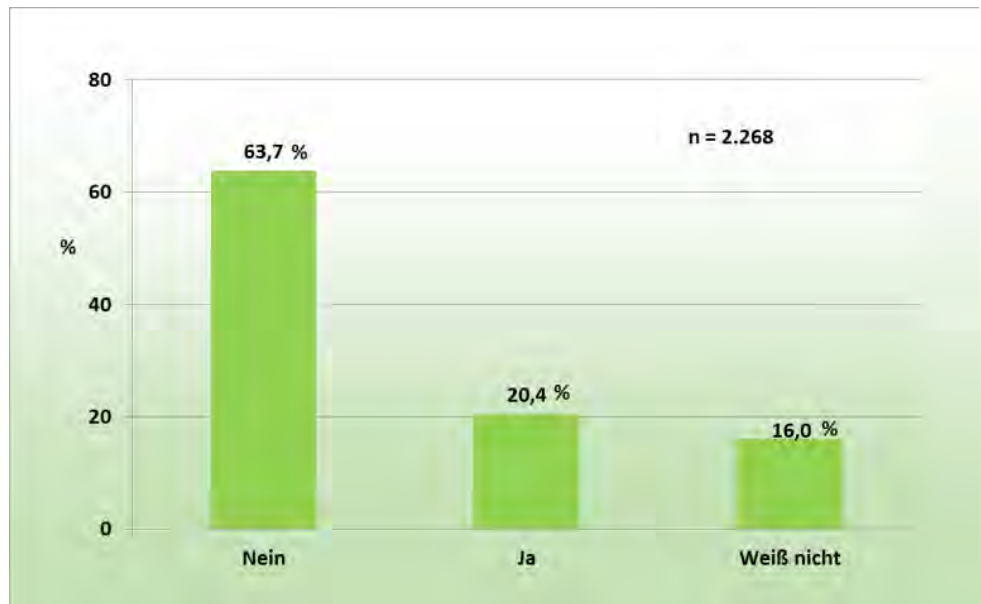


Abb. 21: Rückblick: Sturzverhinderung mit FAS-M.

Unterschiede liegen aber geschlechterspezifisch vor. Während 21,0 Prozent der männlichen Teilnehmer sicher sind, dass ein FAS-M einen Sturz/Unfall hätte verhindern können, trifft dies lediglich auf 13,1 Prozent der weiblichen Teilnehmer zu, da diese in der Regel weniger „technikverliebt“ sind als die Männer und dieser auch weniger zutrauen.

Dieses subjektive Erleben der Teilnehmer hat großen Einfluss auf die Meinungsbildung bzw. die Einschätzung der zukünftigen Wirksamkeit von FAS-M auf die Unfallsituation allgemein (siehe 3.7.6). So zeigt sich, dass 74,5 Prozent derjenigen, die der Meinung sind, dass ein entsprechendes FAS-M ihren eigenen Sturz hätte verhindern können, davon ausgehen, dass FAS-M in Zukunft die Unfallzahlen weiter senken werden. Bei denen, die diese Erfahrung nicht haben, sind es nur 55,9 Prozent. Auch ist in dieser zweiten Gruppe der Anteil derjenigen größer, die diesbezüglich unsicher sind.

### 3.7 Einstellungen zu FAS-M

#### 3.7.1 FAS-M aus Gründen der Verkehrssicherheit sinnvoll

Hier zeigt sich ein eindeutiges Votum: 94,8 Prozent der Teilnehmer sehen in FAS-M an Motorrädern einen Sicherheitsgewinn. Kaum Einfluss auf die Einschätzung haben Fahreralter und Geschlecht. Relevant sind jedoch die Erfahrungswerte aus dem Pkw. Positiver werden FAS-M für die Verkehrssicherheit von denjenigen bewertet, die bereits über Erfahrungen mit FAS aus dem Pkw verfügen. Ein vergleichbarer Zusammenhang zeigt sich auch von anderer Seite: „Autofahrer, die täglich die Unterstützung von Fahrerassistenzsystemen (FAS) erfahren, sind auch für andere FAS offen. Wer hingegen keine

oder nur wenig Erfahrung mit FAS hat, ist eher skeptisch“, so heißt es in einer Pressemitteilung des Deutschen Verkehrssicherheitsrates (DVR)<sup>12</sup> im Rahmen der Aktion „Bester Beifahrer“.



Abb. 22: Einschätzung Sicherheitsgewinn durch FAS-M.

### 3.7.2 Einzelbetrachtung FAS-M: Nutzen für die Sicherheit von FAS-M

Die grünen Säulen der folgenden Abbildung zeigen die Beurteilung verschiedener FAS-M hinsichtlich ihrer Sicherheitsrelevanz. Die Systeme, die bereits länger auf dem Markt und damit schon eher etabliert sind, heben sich hier besonders ab. Auf der anderen Seite fallen insbesondere zwei eher jüngere Systeme auf: Zum einen das Kurven-ABS. Anlehnend an den Klassiker ABS hat dieses System bei seiner Einführung vor erst wenigen Jahren für große Aufmerksamkeit gesorgt. Die Möglichkeit in der Kurve bis zu einem gewissen Grad bremsen zu können, wurde bis dahin von vielen Motorradfahrern aus Furcht vor einem Sturz eher selten genutzt. Das Kurven-ABS ist und wird hier weiterhin dabei dienlich sein, Motorradfahrern diese Ängste zu nehmen und damit die Sicherheit in Extremsituationen zu erhöhen. Auffälliger aber ist an dieser Stelle der Totwinkel-Assistent. Dieser wird von den Teilnehmern als überdurchschnittlich sicherheitsfördernd eingeschätzt, obwohl er doch bislang noch „gar keinen“ Einzug in den Motorradsektor vollzogen hat. Lediglich ein Kraftroller eines renommierten Herstellers ist mit diesem System ausgerüstet. Die allgemein recht populäre Problematik des Toten-Winkels sowie die Erfahrungen der Befragten aus dem Pkw-Bereich spielen hierbei vermutlich eine große Rolle.

<sup>12</sup> Pressemitteilung des DVR vom 07.06.2016: „Auf den Geschmack gekommen: Fahrerassistenzsysteme überzeu- gen in der Praxis“



Abb. 23: Einschätzung Sicherheitsgewinn durch FAS-M – Wunsch.

Betrachten wir die blauen Säulen in Abbildung 23, können wir die Ausprägungen zu den verschiedenen FAS-M entnehmen, die uns Auskunft darüber geben, ob das nächste Motorrad mit solch einem System ausgerüstet sein soll. Generell fällt auf, dass die Befragten die verschiedenen FAS-M häufiger für sinnvoll halten, als sie diese Systeme als Ausstattung für ihr zukünftiges Motorrad für notwendig bzw. wünschenswert erachten. Die Diskrepanzen sind in den meisten Fällen recht deutlich ausgeprägt. Am besten schneidet hier das Kurven-ABS ab, bei welchem die Abweichung der beiden Haltungen am geringsten ausfällt. 89,5 Prozent der Befragten halten das System für sinnvoll und für 73,5 Prozent der Befragten soll auch das nächste eigene Motorrad damit ausgestattet sein. Das sind anteilig 82,1 Prozent derjenigen, die das Kurven-ABS generell für sinnvoll halten. Ebenfalls recht positiv schneiden mit über 70 Prozent „Wunsch-Anteil“ auch die Systeme „Mapping“ und „Traktionskontrolle“ ab.

Besonders groß ist die Diskrepanz bei den Systemen "Totwinkelassistent" und "Automatik / Doppelkupplung". 59,6 Prozent der Befragten halten einen Totwinkel-Assistenten für sinnvoll, aber nur 31,5 Prozent von ihnen wollen ihr nächstes Motorrad damit ausgerüstet sehen. Hier spielt vielleicht das Wissen oder die Vermutung über die bereits erwähnte noch sehr geringe Verfügbarkeit dieses Ausstattungsmerkmals eine Rolle.

ABS wurde an dieser Stelle lediglich im Rahmen Einschätzung platziert, die die Sicherheitsrelevanz betrifft. Der Wunsch mit Blick auf den nächsten Kauf bleibt unberücksichtigt, da ABS seit Januar 2017 für alle Neuzulassungen verpflichtend ist und keine Option mehr darstellt.

### 3.7.3 Sicherheitsgefühl durch FAS-M

Bei dieser Frage wurden die Studienteilnehmer darum gebeten, die Aussage „Auf einem Motorrad, das mit Fahrer-Assistenzsystemen ausgestattet ist (z.B. ABS, Kurven-ABS, Traktionskontrolle etc.) fühle ich mich wohler“, auf einer Likert-Skala von 1 („Stimmt genau“) bis 5 („Stimmt überhaupt nicht“) zu bewerten.



Abb. 24: Wohlfühlfaktor FAS-M.

Abbildung 24 zeigt einen klaren linksgewichtigen Trend in Richtung „Stimmt genau“. Bündeln wir die beiden Werte ober- und unterhalb des mittleren Wertes 3, also 1 und 2 sowie 4 und 5, erhalten wir die eher „zustimmenden“ und „ablehnenden“ Antworten zusammengefasst. Demnach stimmen der Aussage mit 66,7 Prozent zwei Drittel der Teilnehmer zu, sie und fühlen sich mit der Unterstützung von FAS-M wohler. Lediglich 12,5 Prozent fühlen sich auf einem mit FAS-M ausgerüsteten Motorrad nicht wohler. Wir können daraus ableiten, dass FAS-M einen wichtigen Beitrag für ein positiveres Fahrgefühl leisten. Es zeichnet sich dabei ab, dass sich dieses Empfinden mit steigendem Alter verstärkt. Während sich 67,8 Prozent der Männer auf einem mit FAS-M ausgestatteten Motorrad wohler fühlen, gilt dies für 55,4 Prozent der Frauen. Ob das an unterschiedlichen Vorerfahrungen liegt, am genutzten Motorradtyp etc. wird noch Gegenstand weiterer Auswertungen der gewonnenen Daten sein.

### 3.7.4 Weniger „Fahrerkönnen“ durch FAS-M?

Auch bei dieser Frage wurde um die Meinung der Teilnehmer gebeten. Die fünf Antwortbereiche der Likert-Skala (1 = „Stimmt genau“ bis 5 = „Stimmt überhaupt nicht“) liefern ein recht gleichverteiltes Bild. Und auch hier haben wir die ober- und unterhalb des mittleren Wertes 3 aufgeführten beiden Wahlmöglichkeiten zusammengefasst.

Bei der Betrachtung einer Bündelung ergibt sich ein ausgewogenes Bild zwischen Zustimmung zu der Aussage (36,4 %), Unentschiedenheit (30,9 %) und Ablehnung (32,7 %). Offensichtlich ist es unter Motorradfahrern noch nicht ausgemacht, in welche Richtung sich die Nutzung von FAS-M auf das eigene Fahrkönnen auswirken wird. Hier könnte sich in Zukunft mit der fortschreitenden Verbreitung solcher Systeme ein klareres Stimmungsbild abzeichnen.

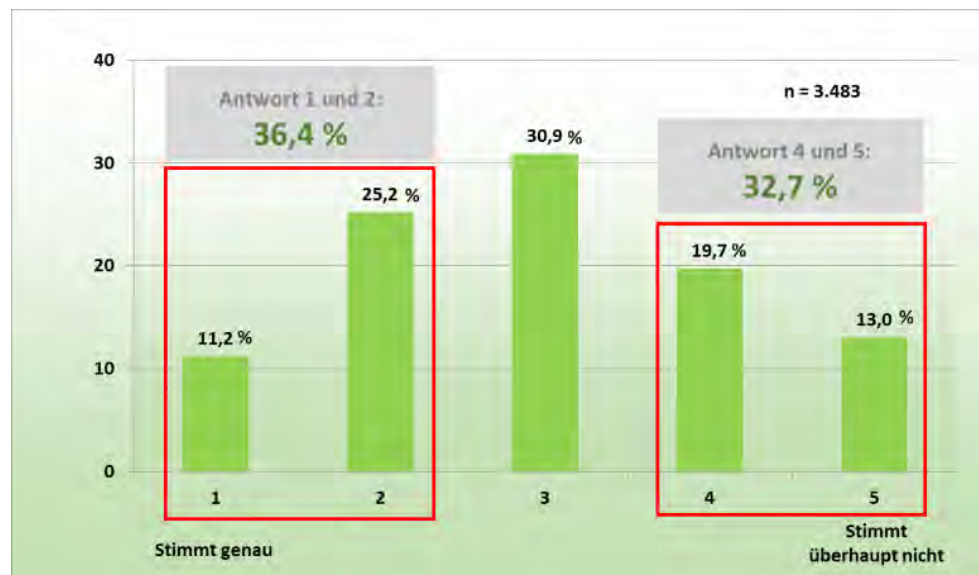


Abb. 25: Verlernen der Fahrfertigkeiten durch FAS-M.

Bei der Betrachtung der Altersgruppen fällt zunächst auf, dass die Einschätzungen nicht stark variieren. Interessant ist dennoch, dass die Gruppe der jüngeren Fahrer (bis 29 Jahre) am deutlichsten dazu tendiert, einer eher skeptischen Beurteilung zuzustimmen (41,1 %). Sind es doch gerade die Fahrer der jüngeren Generationen, die im Rahmen ihrer Fahrschul Ausbildung schon Erfahrungen auf modernen, mit FAS-M ausgestatteten Motorrädern von Beginn an sammeln konnten und es in vielen Fällen gar nicht mehr ohne diese Systeme kennen. Die Möglichkeit, dass FAS-M dazu beitragen können, wichtige Fahrfertigkeiten zu verlernen, sehen vor allem Vielfahrer (47,3% bei über 20.000 km Jahresfahrleistung).

Eine Unterscheidung nach den Geschlechtern zeigt keine Auffälligkeiten.

### 3.7.5 Risikokompensation durch FAS-M



Abb. 26: Riskante Fahrweise durch FAS-M.

Wie bei vielen Fragen dieser Studie wurde auch hier für die Beantwortung der Frage standardgemäß eine fünfstufige Likert-Skala genutzt. Die Frage zielt darauf ab, ob FAS-M, wenn auch unbewusst, dazu verleiten, mehr zu riskieren bzw. eine riskantere Fahrweise erzeugen, da man sich aufgrund der technischen Unterstützung sicherer bzw. bevorteilt fühlt. Die Betitelung der Eckpunkte: 1 = „Stimmt genau“ und 5 = „Stimmt überhaupt nicht“. Abbildung 26 zeigt eine starke Tendenz der Antworten, diese Behauptung abzulehnen.

Für die weitere Analyse fassten wir die ober- und unterhalb der mittleren Antwortoption gegebenen Paare zusammen. Durch FAS-M zu einer riskanteren Fahrweise verleitet wähnen sich demnach lediglich 13,2 Prozent der Teilnehmer. Eine getrennte Betrachtung der Geschlechter liefert keine auffallende Abweichung von diesem Ergebnis.

Was diese Einschätzung jedoch eindeutig bezüglich einer möglicherweise riskanteren Fahrweise aufgrund der Ausstattung mit FAS-M beeinflusst, ist das Fahreralter. Mit zunehmendem Alter scheinen die Fahrer immer seltener den Sicherheitspotenzialen der FAS-M mit einer riskanteren Fahrweise zu begegnen. Während die jüngeren Fahrer (bis 29 Jahre) zu 23% einräumen, riskanter zu fahren, sinkt dieser Anteil von Dekade zu Dekade (30-39 Jahre: 17%; 40-49 Jahre: 14,9%; 50-59 Jahre: 10,9%; 60-69 Jahre: 9,5%; 70-79 Jahre: 4,1%).



### 3.7.6 Einfluss von FAS-M auf zukünftige Unfallzahlen

Bei dieser Frage sollten die Teilnehmer den Einfluss von FAS-M auf künftige Unfallzahlen einschätzen. Werden diese durch vermehrten Einsatz von FAS-M sinken, unverändert bleiben oder sogar steigen?

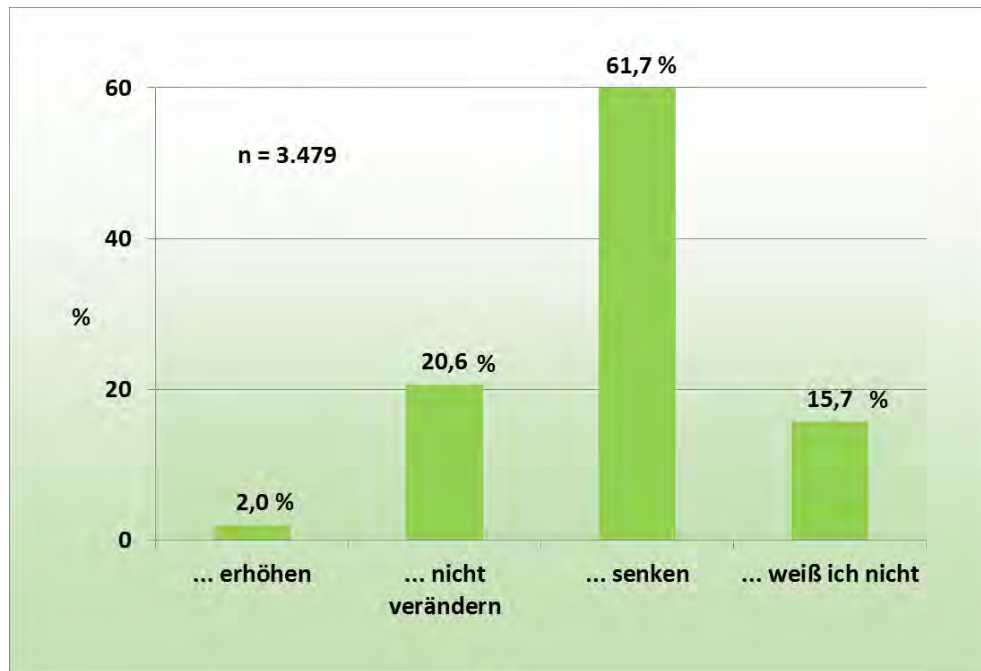


Abb. 27: Einfluss FAS-M auf Entwicklung der Unfallzahlen.

Die Teilnehmer glauben mit 61,7 Prozent zum überwiegenden Teil an den positiven Einfluss der FAS-M auf künftige Unfallzahlen. Lediglich 2,0 Prozent erwarten durch FAS-M steigende Unfallzahlen. Ein Meinungsbild, das sich durch alle Alters- und Jahresfahrleistungsgruppen zieht.

Lediglich bei der getrennten Betrachtung der Geschlechter lässt sich eine Auffälligkeit feststellen: Während Männer zu 62,9 Prozent durch FAS-M sinkende Unfallzahlen erwarten, sind Frauen hinsichtlich des Einflusses der FAS-M skeptischer und erwarten diese Entwicklung lediglich zu 46,9 Prozent.

Wie unter 3.6.2 bereits beschrieben, spielen die persönlichen Erfahrungswerte der Teilnehmer bei dieser Meinungsbildung eine große Rolle. Teilnehmer, die Stürze/Unfälle erlebt haben, bei denen sie der Meinung sind, dass ein FAS-M sie hätte vermeiden können, messen dem zukünftigen Einfluss der FAS-M auf das Unfallgeschehen eine wesentlich größere Bedeutung bei.

## 4 Intelligent Transportation Systems

Bei der Betrachtung der Verkehrsunfallzahlen in Deutschland fällt der langfristig sinkende Trend auf. Sowohl die Verunglückten- als auch die Getötetenzahlen im Bereich motorisierter Zweiräder sinken, was gelegentliche Abweichungen von diesem Trend nicht ausschließt.

Nach wie vor sind Pkw-Fahrer die Hauptunfallgegner motorisierter Zweiräder in Deutschland. Im Durchschnitt sind jährlich bei rund drei Viertel aller Kollisionen zwischen Pkw und Motorrad die Pkw-Lenker die Hauptverursacher. Die Ursachen liegen hier meistens im Übersehen bzw. „falsch einschätzen“ eines sich nähernden Motorradfahrers. Zudem ist das Verletzungsrisiko des Zweiradaufsassens als so genanntem „Äußeren Verkehrsteilnehmer“ bei einem Zusammenstoß höher, auch wenn moderne Motorradhelme und Motorradbekleidung die Folgen eines Aufpralls spürbar mindern können.

Dort, wo der menschlichen Wahrnehmung Grenzen gesetzt sind, kann die Technik eine Kommunikation zwischen den Fahrzeugen und der Verkehrsinfrastruktur ermöglichen, die die Fahrer unterstützt. Das Stichwort lautet hier: Vernetzung. Auf diese Weise kann z.B. auf andere, gegebenenfalls für den Fahrer noch nicht sichtbare Verkehrsteilnehmer hingewiesen und das Risiko einer Kollision reduziert werden. An dieser Stelle könnte zukünftige Technik – wie schon bereits bei anderen FAS-M – den Fahrer sinnvoll unterstützen. Das Potential der Entwicklungen in diesem Bereich lässt für die Zukunft der Zweiradsicherheit hoffen. Zahlreiche Hersteller sind auf diesem Gebiet schon seit längerer Zeit aktiv und entwickeln unter Hochdruck geeignete Systeme.

Im Rahmen dieser Studie wurden die Teilnehmer hinsichtlich ihres Kenntnisstands über die modernen und zukünftigen Möglichkeiten befragt.

### 4.1 Konnektivität

#### 4.1.1 Bekanntheit des Begriffs „Konnektivität“

Häufig werden u.a. in den Medien Begrifflichkeiten verwendet, die sich relativ schnell etablieren. Hinterfragt man aber die Bedeutung einiger Begrifflichkeiten, stellt sich oftmals heraus, dass vielen gar nicht genau bewusst ist, worum es eigentlich geht. An dieser Stelle haben wir die Teilnehmer darum gebeten, uns mitzuteilen, ob Ihnen der Begriff „Connectivity“ oder „Konnektivität“ bekannt ist, bzw. wofür dieser steht. Neben der richtigen Angabe wurden bei den Antwortvorgaben auch zwei falsche Antwortmöglichkeiten platziert. Ebenso bestand die Möglichkeit anzugeben, dass man unsicher sei bzw. noch nie davon gehört habe. 47,6 Prozent der Teilnehmer waren in der Lage, die richtige Antwort „Ja, er steht für die Vernetzung von Fahrer, Fahrzeug und Verkehrsumfeld“ auszuwählen. 18,8 Prozent der Teilnehmer haben den Begriff „noch nie gehört“, weitere 23,7 Prozent haben „schon davon gehört,

wissen aber nicht genau, was er bedeutet“. 9,9 Prozent der Befragten verbinden falsche Inhalte mit diesem Begriff und wählten Definitionen aus, die schlicht nicht korrekt sind. Nicht einmal die Hälfte der teilnehmenden Motorradfahrer wusste also genau, worum es beim Thema „Connectivity“ genau geht.

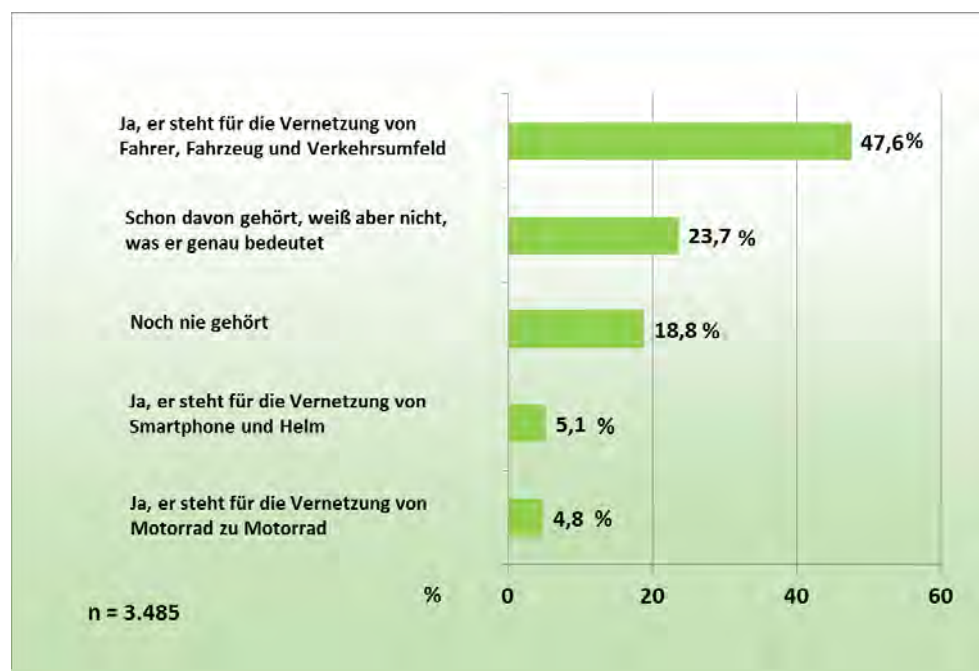


Abb. 28: Bekanntheitsgrad „Konnektivität“.

Bringt man die Aussagen mit der Variablen der Altersgruppen in Verbindung, zeigt sich, dass Unklarheit über diesen Begriff am ehesten bei den jüngsten und den ältesten Fahrern anzutreffen ist, während die Gruppen dazwischen bessere Ergebnisse erzielen. Sehr stark variieren die Ergebnisse bei getrennter Betrachtung der Geschlechter. Während lediglich 16,8% der Männer angeben, diesen Begriff noch nie gehört zu haben, gilt diese Aussage für 41,2% der Frauen. Während 49,5% der Männer die richtige Antwort geben, trifft dies auf 24,9% der Frauen zu.

#### 4.1.2 Konnektivität: Sinnvoll?

Zu Beginn dieser Frage wurde den Teilnehmern eine Definition geliefert, worum es bei dem Begriff „Konnektivität“ in Verbindung mit dem Motorrad überhaupt geht. Danach sollten sie ihre Meinung dazu kundtun, die sich wie folgt darstellt:

Der Großteil der Befragten sieht in der Konnektivität auf dem Motorrad ein Werkzeug, „das der Sicherheit unterwegs dienlich“ ist (46,7%). Ein weiterer großer Teil ist unentschieden („Weiß nicht“: 40,6 %), während der kleinste Anteil von 12,7 Prozent der Konnektivität auf dem Motorrad eine eher nachteilige Wirkung auf die Verkehrssicherheit zuspricht.

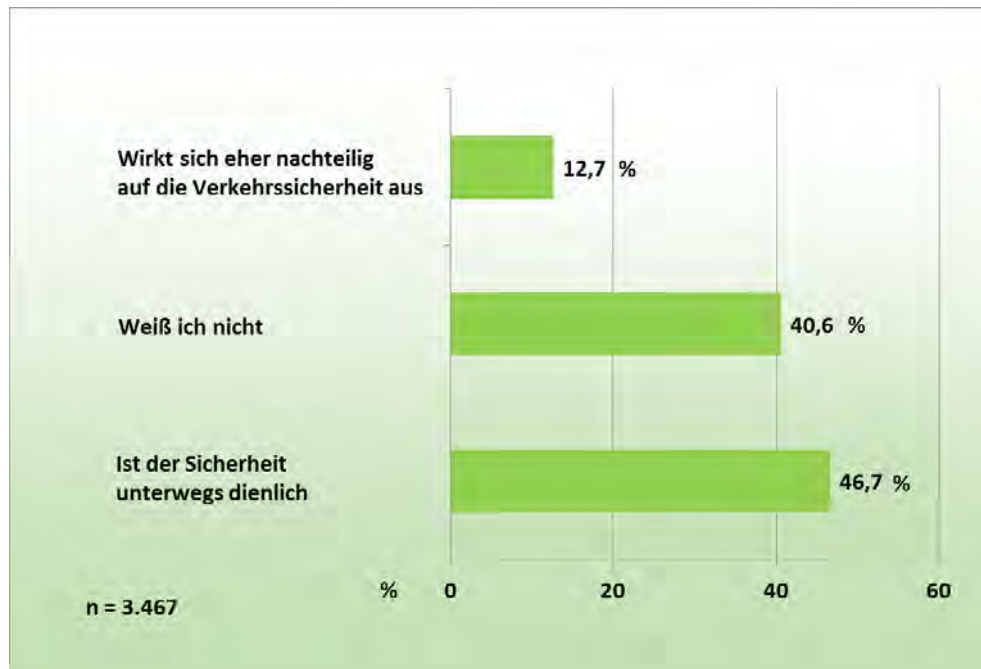


Abb. 29: Beurteilung Konnektivität hinsichtlich Motorradsicherheit.

Betrachtet man die unterschiedlichen Altersgruppen, fällt bei zunehmendem Alter ein Anstieg bei der Zustimmung „Ist der Sicherheit unterwegs dienlich“ auf.

Weiterhin fällt auf, dass in Verbindung mit dem Thema „Konnektivität“ zwar weniger Misstrauen, jedoch eine große Portion Unsicherheit vorhanden ist. Die Unsicherheit in dieser noch recht jungen Thematik ist bei einem Großteil der Teilnehmer dem derzeit noch niedrigen Kenntnisstand geschuldet (siehe 4.1.1).

## 4.2 Vehicle-To-Vehicle-Communication (V2V)

Die intelligente Vernetzung innerhalb und außerhalb des Fahrzeugs wird in Zukunft eine immer wichtigere Rolle spielen. Experten sind sich einig, dass darin langfristig eine große Möglichkeit besteht, Unfall- und Verunglücktenzahlen deutlich zu reduzieren. Wie bereits unter 3.1 aufgezeigt, haben über 53 Prozent der Teilnehmer Situationen erlebt, in denen sie von anderen Verkehrsteilnehmern übersehen wurden. Dies deckt sich auch mit den vordringlich geäußerten Gedanken über riskante Situationen während der Motorradfahrt. Hier sind es 50,2 Prozent der Befragten, die an erster Stelle das Übersehenwerden angeben. Gerade in diesen Situationen kann die zukünftige Technik helfen, Unfälle zu verhindern.

Nachdem den Teilnehmern kurz umrissen wurde, worum es sich beim Thema „V2V“ handelt, wurden sie gebeten, das Potential der Vehicle-To-Vehicle-Communication für die Erhöhung der Motorradsicherheit einzuschätzen. Während sich 50,6 Prozent der Teilnehmer nicht sicher sind, gehen 13,5 Prozent

davon aus, dass V2V keine Verbesserungen bringen wird. Die restlichen 35,9 Prozent hingegen sind der Meinung, dass sich dadurch Unfallzahlen reduzieren werden.

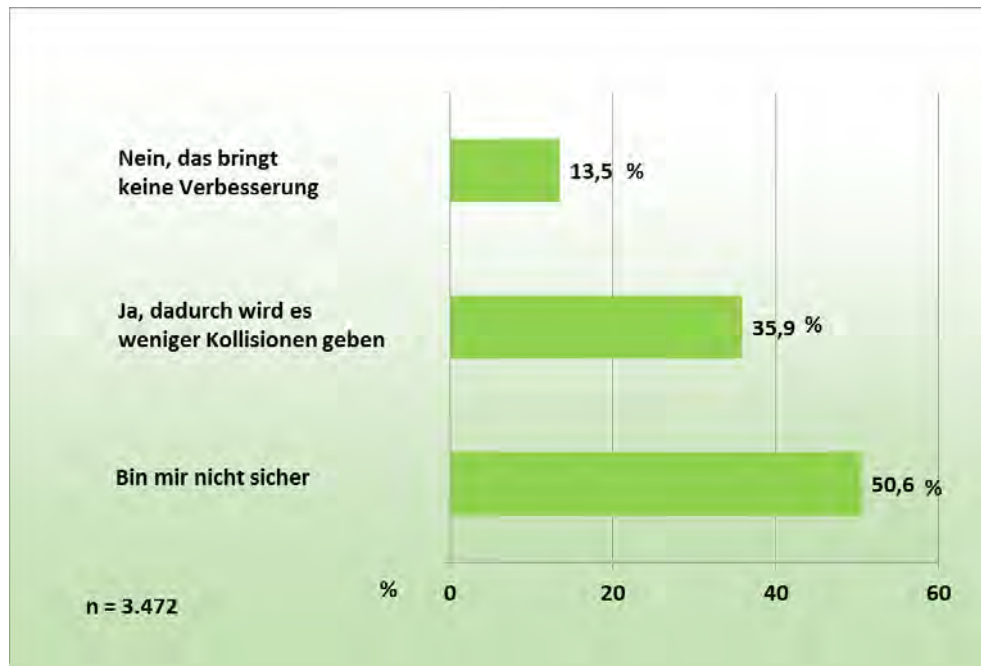


Abb. 30: Beurteilung V2V hinsichtlich Motorradsicherheit.

Dieses Ergebnis zieht sich im Prinzip durch alle Altersgruppen. Die Resultate variieren nur marginal, lediglich ein leichter Anstieg bei der Erwartung sinkender Kollisionen ist mit steigendem Alter zu verzeichnen. Männer glauben anteilig mit 37,1 Prozent deutlich stärker an eine Verbesserung der Verkehrssicherheit durch V2V als Frauen (23,3 %).

## 5 Zusammenfassung der vorläufigen Ergebnisse

Der Einsatz von Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern (FAS-M) ist bereits in vollem Gange und wird zukünftig noch stärker zum Einsatz kommen. Dies geschieht vor dem Hintergrund, dem Fahrer mehr Fahrkomfort und vor allem mehr Sicherheit zu verschaffen und die Verunglücktenzahlen langfristig zu senken. Wie der Begriff „Assistenz“ schon verrät, soll der Fahrer in komplexen Situationen durch die neuen Technologien entlastet und damit das Fahren sicherer gemacht werden.

Beim motorisierten Zweirad sind vor allem Systeme mit Blick auf die Aktive Sicherheit im Einsatz und bewirken, dass es möglichst gar nicht erst zu einem Sturz bzw. Unfall kommt. Viele Verbesserungen wurden dabei erst durch moderne Messtechnik und entsprechende Steuer- und Regelungssysteme zuverlässig möglich. Die voranschreitende Technik wird auch zukünftig weitere Dienste leisten, gerade mit Blick auf die Vernetzung der Fahrzeuge bzw. der Verkehrsteilnehmer untereinander. Kooperative Systeme reagieren hier auf der einen Seite im Rahmen der Infrastruktur, etwa auf Ampeln oder

Verkehrsleitsysteme. Auf der anderen Seite kommunizieren die Fahrzeuge untereinander, reagieren dann automatisiert oder geben sicherheitsrelevante Informationen an den Fahrer weiter.

Doch wie reagieren die Fahrer auf die Technik? Was spielt sich in ihren Köpfen ab, welche Einstellungen und Kenntnisse sind hinsichtlich der modernen Systeme vorhanden?

Neben technischen Aspekten rund um das Thema „FAS-M“, die medial derzeit großen Anklang finden, gibt es im Gegensatz zum Pkw-Sektor für den Bereich der motorisierten Zweiräder bislang kaum Informationen, die sich diesbezüglich mit dem Fahrer beschäftigen. Aus diesem Grund liefert die vorliegende Studie einen umfassenden Einblick in zentrale Einstellungen und Verhaltensweisen der Motorradfahrer zu dieser Thematik.

Im Rahmen dieses Zwischenberichts zur noch laufenden Erhebung kann festgehalten werden, dass die Bereitschaft bei den Fahrern, das Thema „Motorradfahren“ sicher anzugehen, sehr präsent ist. Die Auswertungen der zentralen Aussagen über sicherheitsrelevante Aspekte beim Motorradfahren zeigen auf, dass die bislang 3.543 in der Studie befragten Motorradfahrer – repräsentativ für die Motorradfahrer in Deutschland – ein hohes Sicherheitsbewusstsein aufweisen. Beide Ergebnisse aus den Bereichen T und P – nämlich den Einstellungen und dem Interesse am Thema „Motorradsicherheit“ (60,9 %) sowie relevanter Verhaltensweisen im fahrpraktischen Alltag (62,1 %) – bringen es auf den Punkt. In beiden Fällen kann ein überdurchschnittlich gutes Ergebnis festgehalten werden. Verkehrssicherheit, insbesondere Motorradsicherheit, ist für die Motorradfahrer von sehr großer Bedeutung. Dieses Empfinden nimmt mit dem Alter zu, Frauen stufen das Thema etwas wichtiger ein als Männer.

Eine hervorragende Basis also, um sicherheitsrelevante Themen wie das der FAS-M unter Motorradfahrern weiter auszubauen, um die Potenziale der einzelnen Systeme noch besser nutzen zu können. Das sehen auch die befragten Motorradfahrer so: 94,8 Prozent der Teilnehmer halten FAS-M an Motorrädern aus Sicherheitsgründen für sinnvoll. Eigene Erfahrungen mit FAS-M verstärken die Einstellungen gegenüber diesen Helfern auf positive Weise. Viele der behandelten Systeme sind den Motorradfahrern ein Begriff. Dabei zeigt sich, dass Systeme, die schon länger auf dem Markt sind, in der Regel einen höheren Bekanntheits- und Beliebtheitsgrad erreichen als neuere Assistenzsysteme.

Dennoch wissen noch lange nicht alle Motorradfahrer ausreichend über die modernen Systeme Bescheid. Es geht an dieser Stelle konkret um das allgemeine Wissen rund um das Thema „FAS-M“. Während knapp 30 Prozent die eigenen Kenntnisse positiv einschätzen, sprechen über 30 Prozent der Motorradfahrer von wenig bis gar nicht vorhandenen Kenntnissen. Mit 40 Prozent sieht sich der Großteil mit seinem allgemeinen Wissen rund um die FAS-M im Mittelfeld.

Geht es um spezifischere Kenntnisse einzelner Systeme, sind es insbesondere die bereits etablierteren FAS-M, mit denen sich die Teilnehmer besser auskennen. Klare Favoriten hier sind ABS,

Traktionskontrolle und Kombibremssysteme. Über ein Fünftel der befragten Motorradfahrer nutzt selbst kein FAS-M bzw. hat kein System am eigenen Motorrad verbaut, was sich vorrangig mit dem Baujahr der genutzten Maschine begründen lässt. Sind jedoch FAS-M am eigenen Motorrad vorhanden, geben fast 80 Prozent der Teilnehmer an, über deren Funktion und Bedienung Bescheid zu wissen. Als Quelle dieses Wissens wird an erster Stelle die Betriebsanleitung des Fahrzeugs angegeben (65,6 %). Danach sind es an zweiter Stelle die Motorradhändler, bei denen sich knapp 36 Prozent der Teilnehmer den speziellen Umgang mit der Technik erklären lassen. Mit fast 30 Prozent dient der Freundes- und Bekanntenkreis als Informationsquelle. Was die spezifischen Erfahrungswerte mit den FAS-M angeht, können diese durchaus als positiv resümiert werden. Während knapp zwei Drittel der Befragten gezielt positive Erlebnisse mit den Systemen angeben, sind es fast 90 Prozent, die auf der anderen Seite keine negativen Erfahrungen mit FAS-M vorweisen können.

Auch stimmen nahezu 70 Prozent der Motorradfahrer der Aussage zu, dass sie sich mit der Unterstützung von FAS-M auf dem Motorrad wohler fühlen. Lediglich 12,5 Prozent fühlen sich auf einem mit FAS-M ausgerüsteten Motorrad nicht wohler.

Wir können daraus ableiten, dass FAS-M einen wichtigen Beitrag für ein positiveres Fahrgefühl leisten. Mit Blick auf das Thema „Risikokompensation“ fühlen sich lediglich 13,2 Prozent der Teilnehmer durch vorhandene FAS-M zu einer riskanteren Fahrweise verleitet. Dennoch sind fast 40 Prozent der Teilnehmer der Meinung, durch den Einsatz von FAS-M Fahrfertigkeiten zu verlernen.

Ebenso interessant bleibt die leicht ambivalente Einstellung der Befragten hinsichtlich ihrer generellen Einschätzung von FAS-M mit Blick auf eine Förderung der Motorradsicherheit sowie ihrer zukünftigen Kaufabsichten. Die verschiedenen FAS-M werden durchgängig für sinnvoller bzw. hilfreicher erachtet, als das sie als Ausstattung für ihr zukünftiges Motorrad gewünscht/ingeplant werden. Hier spielen möglicherweise finanzielle Aspekte eine Rolle. Oftmals sind die neuen Systeme nur gegen Aufpreis erhältlich, was die Teilnehmer natürlich in ihre Entscheidung diesbezüglich einbeziehen. Auch technikbedingte Folgekosten können dabei eine Rolle spielen.

Das durchaus positive Image der FAS-M spiegelt sich auch in den Erwartungen zukünftiger Entwicklungen wieder. So sind über 60 Prozent der Motorradfahrer der Meinung, dass FAS-M weiter dazu beitragen werden, die Unfallzahlen im Bereich der motorisierten Zweiräder zu reduzieren. Knapp 37 Prozent erwarten keine Änderungen und nur zwei Prozent erwarten eine Zunahme der Unfallzahlen infolge des Technikzuwachses.

Was die zukünftige „Vernetzung“ von Verkehrsteilnehmern und Infrastruktur betrifft, ist sich die Hälfte der Motorradfahrer nicht sicher, in welche Richtung sich die Unfallzahlen durch vermehrte Techniknutzung entwickeln werden. Rund 14 Prozent gehen davon aus, dass die Vernetzung keine Verbesserungen

bringt. Die restlichen 36 Prozent hingegen blicken zuversichtlich auf eine Technik, deren Bekanntheitsgrad allerdings noch nicht allzu groß ist.

Die hier präsentierten Ergebnisse und Aussagen werden in der finalen Auswertung der Studie nach dem Abschluss der Umfrage (Ende Oktober 2018) erneut überprüft und detaillierter betrachtet. Ebenso werden dann tiefergehende Interkorrelationen stattfinden, die weitere Erkenntnisse liefern werden.



Development of a Surrogate Motorcycle Soft Target for Use in  
ADAS Testing

Entwicklung eines Motorrad-Modells für Tests mit  
Fahrer-Assistenzsystemen

Jordan Y. Silberling, John F. Lenkeit, Joseph Kelly  
Dynamic Research, Inc., Torrance CA, USA

## Abstract

A previous study determined that motorcycles are not adequately identified as potential collision partners by contemporary production Forward Collision Warning systems (1). A recommendation of that study was that motorcycles or representations of motorcycles be included in future Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) test procedure development and retroactively introduced into existing ones. One step in achieving that goal is the development of an appropriate surrogate “soft” target for use in ADAS testing. In addition to requirements relating to durability and test safety, such surrogate targets must present, to the systems being evaluated, characteristics that are suitably representative of real world motorcycles.

A motorcycle soft target is being developed having radar characteristics demonstrated to be within the range of those for typical L3 motorcycles. This soft target is visually realistic and can be safely, reliably and efficiently used in typical ADAS testing scenarios. The characteristics of the target are such that it can be used for testing from any approach angle.

Fixed distance and fixed angle radar measurements were made of four motorcycles ranging from 50cc to 1750cc, using three production grade radar sensors. These measurements were analyzed to determine example bounds of radar response over the measurement conditions. A variety of soft target construction methods were evaluated using a proof-of-concept approach. When a suitable candidate method was identified, a concept soft target prototype was constructed and preliminary radar measurements and durability tests were conducted. Experiments with different radar treatments and construction materials are ongoing. Evolutionary prototypes are currently being developed and tested, including tests to simulate potential ADAS test conditions. This paper describes the process for making and analyzing the radar measurements. A future report will describe the full details of the soft target.

The availability of a surrogate motorcycle target that is representative of a real motorcycles over the full range of approach angles, and for sensing technologies currently in use should aid the development of conflict test scenarios involving motorcycles helping to ensure that motorcycles are properly considered in ADAS development.

# Development of a Surrogate Motorcycle Soft Target for Use in ADAS Testing

## Introduction

Over the last decade, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) have become increasingly available for light passenger vehicles (LPVs). During this time span the systems have become less expensive for the consumer, without decreasing performance. In addition, these systems may have contributed to a reduction in LPV fatalities in regions where they are in use. As the systems have gained acceptance, test procedures have been developed to verify system performance and to enable quantitative assessments of their effectiveness. These test procedures are generally part of New Car Assessment Program (NCAP) evaluations for consumer information. Such NCAP programs are in place in numerous locales worldwide. One of the first ADAS evaluations for NCAP involved simple in-line rear end LPV-LPV crash scenarios for evaluating Forward Collision Warning (FCW) systems. These tests could be conducted with two actual vehicles; test protocols instructed the driver (or driving robot) of the test vehicle to steer away from the Principal Other Vehicle (POV) when the appropriate test criteria were met. More recently procedures have been developed for evaluating Automatic Emergency Braking (AEB) systems in which the possibility of a collision with a POV is possible. These tests use some form of specially designed “soft” crash surrogate as the POV to ensure safety and minimize damage to test vehicles. Requirements for such soft crash surrogates include:

- The surrogate targets must present, to the systems being evaluated, repeatable and reproducible characteristics that are suitably representative of the real world objects they are intended to represent. The sensors on which these systems are typically based currently include, alone or in combination:
  - Radar
  - Cameras
  - Lidar
  - Infrared
- The surrogate target should avoid or minimize damage to the test vehicle from impact or abrasion.
- The surrogate target should not present any danger to test personnel.
- The surrogate target should be able to withstand multiple impacts and be returned to use quickly after an impact. In this regard, the characteristics presented to the sensors should not change substantially after a number of impacts.

Initially, test procedures were focused on LPV-LPV scenarios, but more recently procedures have been developed for scenarios involving pedestrians and bicyclists. Scenarios are also being developed that

involve more complicated trajectories including offset rear, crossing and turning maneuvers and eventually head-on conflicts. The Euro NCAP 2025 Roadmap (2) states *”Crossing and turning manoeuvres that occur at junctions create opportunities for vehicle-vehicle, vehicle-pedestrian, and vehicle-(motor)cycle conflicts, which often result in traffic crashes. Typically, crossing accidents are the result of running a red light, lack of visibility, driver inattentiveness or speeding. Turning crashes are often caused by misjudging or failing to observe oncoming traffic when turning left or right. In crossing scenarios, where the speed of the ego vehicle is relatively low, and in turning scenarios, an AEB intervention could effectively prevent a crash. Testing could include car, pedestrian, cyclist and Powered two-wheeler (PTW) targets and commence in 2020.”* If motorcyclists are to also realize some of the safety benefits of ADAS their characteristics must be considered in the development and testing of these systems and it is encouraging that Euro NCAP seems to be addressing this.

In order to perform the envisioned testing scenarios involving motorcycles where collision is likely or unavoidable, a soft PTW target will be needed. Toward this goal, Dynamic Research, Inc. (DRI) and others are currently developing such a target. DRI has a history of innovative approaches to test equipment related to ADAS testing. In particular, the concept of the guided, low-profile, over-runnable delivery system for a robust soft target was first described in 2009 as part of a joint research effort between the US NHTSA, Honda and DRI (3). This current paper describes DRI’s preliminary efforts to characterize radar properties of a range of PTWs.

In order to support the development of sensor algorithms that can detect PTWs, it is necessary to have a good understanding of what a typical automotive sensor detects when it encounters a PTW. The procedure and results described in this paper provide the data for several motorcycles in order to understand the common radar characteristics and variability across PTWs.

Radar measurements were made of four PTWs using three different automotive-grade radar sensors from three different Tier 1 suppliers. The PTWs included examples from four classes, namely a retro-standard bike, sport bike, touring bike, and scooter. The measurements were made with and without an appropriately-dressed rider to determine the contribution of the rider to the overall radar characteristic.

The radar measurements procedure that was used is currently being developed as part of efforts related to creation of standards documents such as SAE J3122 Test Target Correlation (under development) and ISO 19206-3 Requirements for Passenger Vehicle 3D Targets (under development) for use in characterizing objects. The use of an automatically-controlled DGPS/IMU-guided measurement device ensures the most repeatable and reliable results possible for in-field measurements.

## Radar measurement equipment, procedures, and analysis

This section outlines the equipment and procedures used for the radar measurements. The equipment consists of the radar sensors, the data acquisition system, and the means to move and measure sensor position relative to the object. The procedure can be used to measure the radar signature of any object.

### Equipment

Three automotive production-grade radar sensors from Bosch, Continental and Denso were used for these measurements. These were mounted on a measurement cart as shown in Figure 1 to allow for repeatable and consistent measurements. Figure 2 shows the sensors in greater detail.



Fig. 1: Equipment Cart.

### Measurement Cart

The measurement cart was designed and constructed by DRI to facilitate a range of repeatable radar measurements. The cart was designed to allow measurements both parallel and perpendicular to the carts direction of motion. The measurement cart consists of the following items:

- Radar Sensors mounted on a movable arm that allows height and heading adjustment;

- Oxford Technical Solutions D-GPS/IMU (2 cm position accuracy) with GPS antenna and radio antenna for differential corrections;
- Steering actuator that controls the path of the cart;
- dSPACE MicroAutoBox, which is used as the steer controller and data acquisition system for the GPS data as well as the Bosch and Continental sensors;
- Laptop with data acquisition Graphical User Interface (GUI);
- Operator push handle;
- Denso data acquisition system;
- 12 volt battery.

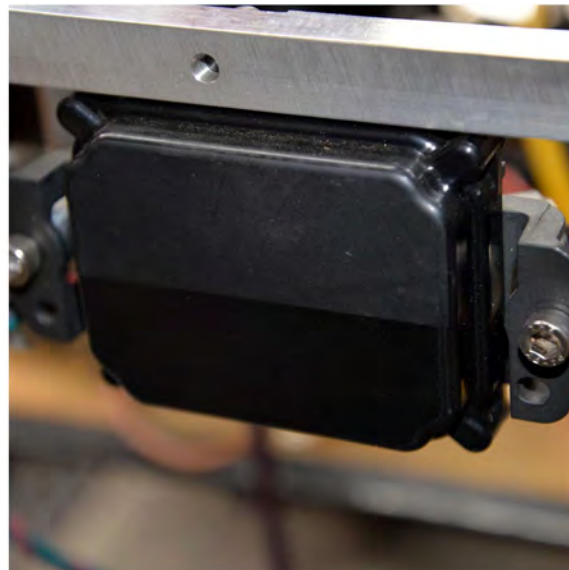


Fig. 2: Radar Sensors: (from top left) Denso, Bosch, Continental.

The measurement cart is manually pushed forward by the human operator. However, the path of the cart is controlled by the steering actuator based on the type of measurement being taken. The steering controller uses the current position of the cart as well as the previously surveyed position of the center of the object to determine the correct path for measuring.

For the measurements described in this report, the sensors were positioned 0.5 m above the ground, unless otherwise stated.

### Radar Sensors

The sensor provided by Denso was not configured to output data directly to the Dynamic Research, Inc. (DRI) data acquisition system. Denso engineers, on site during the measurements, recorded the data using their own equipment and these results were then post-processed offline and provided to DRI.

The Bosch sensor was a model LRR3. It was supplied with custom software to output Radar Cross Section (RCS) for the tracked objects. The LRR3 uses frequencies between 76 and 77 GHz and has a range of 250 m with a field of view of  $\pm 30^\circ$ .

The Continental sensor was a model ARS 408-21. It is a Premium Long Range radar sensor that operates at 77 GHz. The ARS-408-21 has two sensing areas. The near sensing area has a range of 60 m and a field of view of  $\pm 40^\circ$ . The far sensing area has a range of 250 m and a field of view of  $\pm 4^\circ$ .

Both the Bosch and Continental sensors output sensed object information at a fixed rate (typically 10 times per second). The Bosch sensor outputs data for “grouped” objects, meaning that it is applying an algorithmic filter to the individual reflections in order to determine which reflections likely came from the same object and the combined RCS of the object. The details of this grouping methodology are proprietary to Bosch.

Alternatively, the Continental sensor can be configured to output either instantaneous reflections (i.e., measurements without history or grouping) or objects, which have been grouped. For the purpose of these measurements, the Continental sensor was configured to output instantaneous reflections.

### Calibration Objects

To provide a standard reference for the three sensors, two calibration objects were used: a trihedral reflector and a spherical reflector. The trihedral reflector provides a relatively strong return and is generally insensitive to alignment (sensor and calibration object should be aligned within  $10^\circ$ ). The spherical reflector is completely insensitive to alignment and can be measured from all angles. Both objects were supported so their centers were at a height of 0.5 m and the support structure was covered in Radar Absorbing Material (RAM).



The interior edge length of the trihedral is 6 cm, resulting in a theoretical RCS of 5.5 dB-m<sup>2</sup> at 77 GHz. The RCS of the sphere with a 30 cm diameter is -11.4 dB-m<sup>2</sup>. The calibration objects are shown in Figure 3.

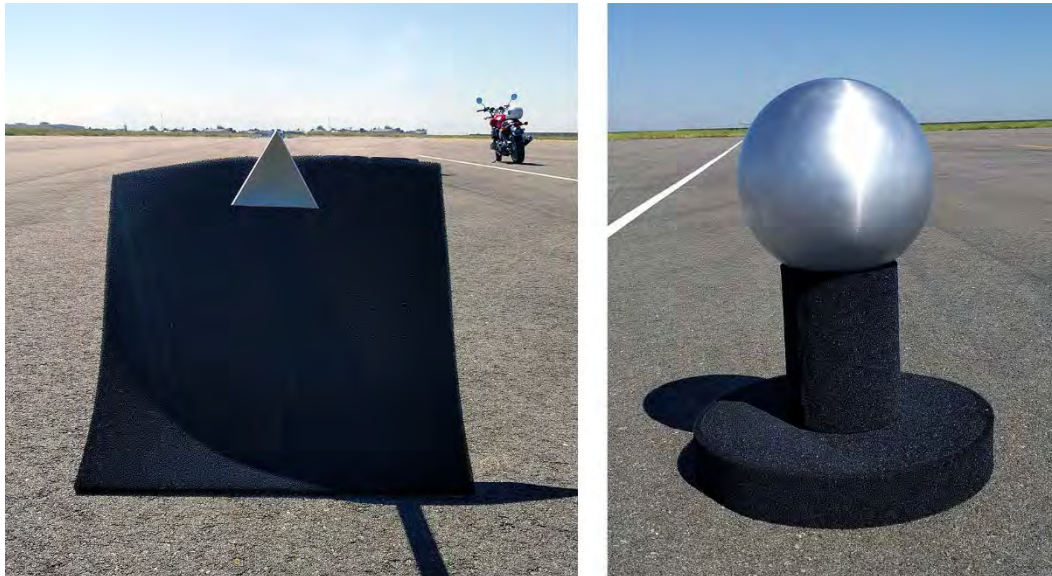


Fig. 3: Calibration Objects, Trihedral (left) and Sphere (right).

## Measurement Procedure

The procedures in this section were used to perform the motorcycle measurements discussed in this document. These procedures define the Fixed-Angle measurement and the Fixed-Distance measurement, depicted in Figure 4. For all of the measurements, the object being measured was positioned such that its geometric center was at a known point, defined as the origin ( $x=0$ ,  $y=0$ ).

### Fixed Distance Measurement

For a Fixed-Distance measurement, the radar sensors/ measurement cart moved counter-clockwise in a circular path at a fixed distance, or radius, from the origin. During these measurements, the sensors were pointed towards the center of the circle (and therefore at the object). The RCS of the object as well as the viewing angle were recorded continuously.

### Fixed Angle Measurement

For a Fixed-Angle measurement, the radar sensors/ measurement cart was moved towards the object (or origin) along a straight line that was at a fixed angle relative to the object. During these measurements, the sensors were aimed forward and directly at the object. The RCS of the object as well as the distance from the sensor to the object were recorded continuously. For this study these measurements were made continuously starting at 60 meters and ending at 5 meters.

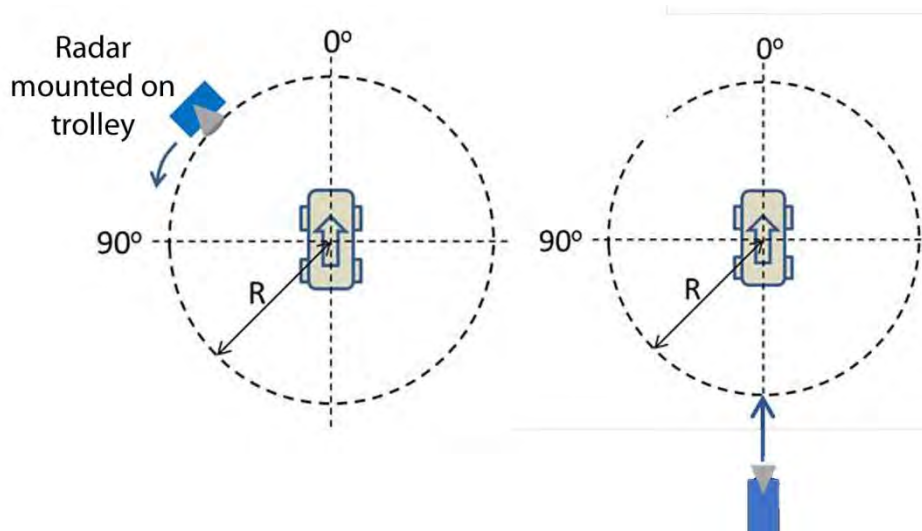


Fig. 4: Fixed- Distance (left) and Fixed-Angle (right) Measurements.

For each radar measurement, the object (e.g., motorcycle or calibration object) was placed at the origin. The measurement procedure was then as follows:

1. Indicate in the GUI if it is a Fixed-Distance or Fixed-Angle test.
2. In the GUI, specify the distance (for Fixed-Distance) or the angle (for Fixed-Angle).
3. Pre-position the cart using the Manual steering control mode to within 5 m of the path.
4. In the GUI, put the steering control mode to automatic.
5. Walk the cart forward or backward to get to the desired starting position for the measurement (the cart will automatically steer to follow the path).
  - a. For Fixed-Distance measurements, the starting position can be anywhere along the circle.
  - b. For Fixed-Angle measurements, the starting positions should be along the path with a starting distance of greater than 100 m.
6. Begin recording from the GUI.
7. Push the cart along the path.
8. Stop recording when the measurement is complete.
  - a. For Fixed-Distance measurements, the recording should be stopped once a full circle has been completed.
  - b. For Fixed-Angle measurements, the recording should be stopped once the sensor is within 1 m of the object.

## Calibration Procedure

To compare RCS data between sensors in a meaningful way, the data from a sensor must be “calibrated”<sup>1</sup> with respect to an object with a known RCS. This was done by determining a calibration scale factor,  $K$ , for each sensor and applying that calibration scale factor to data taken from the associated sensor.

All calibration calculations were performed using units of  $m^2$ . To convert between  $m^2$  and  $dB\text{-}m^2$ , the following equations were used.

$$\sigma_{dBm^2} = 10 \times \log_{10}(\sigma_{m^2})$$

$$\sigma_{m^2} = 10^{(\sigma_{dBm^2}/10)}$$

Where:

$$\sigma = RCS$$

$$\sigma_{dBm^2} = RCS \text{ expressed in } dBm^2$$

$$\sigma_{m^2} = RCS \text{ expressed in } m^2$$

The calibration procedure used was as follows:

1. Perform a Fixed-Angle measurement of the trihedral calibration object with known RCS of  $5.5 \text{ dB}\text{-}m^2$  or  $3.57 \text{ m}^2$ . The angle for this measurement is  $0^\circ$  (i.e., directly in front of the object). (The fixed angle measurement is described above.)
2. Calculate the average RCS output in units of  $m^2$ : (Note that if, by default, the data are reported by the sensor in  $dBm^2$  they must first be converted to  $m^2$ )

$$\overline{\sigma_{m^2}} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (\sigma_{m^2})_i$$

3. Given the known RCS of the trihedral, calculate the calibration scale factor,  $K$ , as:

$$K = \frac{3.57}{\overline{\sigma_{m^2}}}$$

Note that each sensor will have its own calibration scale factor.

---

<sup>1</sup> The term “calibration” in this context refers to a post processing method applied to data.

4. Each data point is then multiplied by the calibration scale factor associated with the sensor from which the data were taken :

$$\sigma_{calibrated, m^2} = K \times \sigma_{measured, m^2}$$

## Data Analysis

In general, the signal return data of a radar sensor may indicate one or several objects. This is due to the fact that a distributed object presents reflections from multiple locations, hence data may be reported for each of the object locations. This is less likely for a calibration object that tends to present as a point reflection.

For this study, in general, for each measurement cycle only the measurement with the largest RCS was analyzed. There are often many other reflections with lower RCS but their effect on the detectability of the object is minimal.

When calculating RCS as a function of range, a 2.5 m sliding window low-pass filter was applied to the data.

When calculating RCS as a function of aspect angle, a 2.5° sliding window low-pass filter was applied to the data.

In addition to RCS plots, it can be useful to plot the spatial location of reflections. This was accomplished by calculating the location of the reflection relative to the origin based on the measured GPS position of the measurement cart and the position of the reflection relative to the sensor. For spatial plots, all reflections are shown for each measurement sample (not only the reflection with the largest RCS) but the reflections are colored based on their RCS magnitude such that the largest RCS reflections are easily identifiable.

## Motorcycles

Four contemporary Powered Two-Wheelers (PTW) or motorcycles (MC) were used for these measurements. These are shown in Figures 5-8. They were selected to cover a range of PTW types and sizes. Each of the PTWs were measured with and without a rider. In each case, the rider was clothed as a typical rider of that PTW. The PTWs were held vertical using a stand. During the radar measurements the stand was covered by Radar Absorbing Material where possible. The PTWs used for these measurements were:

- Honda CB1100 (Retro-Standard)

- Honda CBR600RR (Sport bike)
- Honda Metropolitan (Scooter)
- Harley Davidson (H-D) Ultra Limited (Touring)



Fig. 5: Honda CB1100.



Fig. 6: Honda CBR600RR.



Fig. 7: Honda Metropolitan.



Fig. 8: Harley Davidson Ultra Limited.



## Results

In order to anonymize the sensor data, the data are labeled using a sensor number that was randomly assigned to the three sensors.

### Calibration Results

The calibration was performed according to the procedure described above. From previous experience, it was expected that the RCS of the trihedral would be affected by the multi-path ground effect. This can be understood by considering that radar waves may return to the sensor either directly from the trihedral or after bouncing off the ground. The two paths would be expected to result in regions of amplification and regions of cancellation. This can be seen in the measurements shown in Figure 9. It is for this reason that calibration should not be performed at a single location, which could be in a region of cancellation or amplification.

The calibration factors for the three sensors are listed in Table 1. Note the wide range of calibration factors for the three sensors, which leads to, and reinforces the idea that the RCS values, as output from the sensors, may be of little value in the absence of confirmation measurements of an object with known RCS. Also, note that the peaks and valleys generally occurred at the same ranges. The slight differences in the spatial location of the peaks and dips may be due to small differences in frequency or the vertical position of the receiver within the sensor. (Note: the geometric centers of the sensors were all at the same height but the sensing element within the sensor cannot be ascertained visually and might not be at the geometric center of the sensor casing).

Table 1: Calibration Factors for Each Sensor.

<b>Sensor Number</b>	<b>Calibration Factor, <math>K_i</math></b>
1	9.705
2	0.124
3	0.527

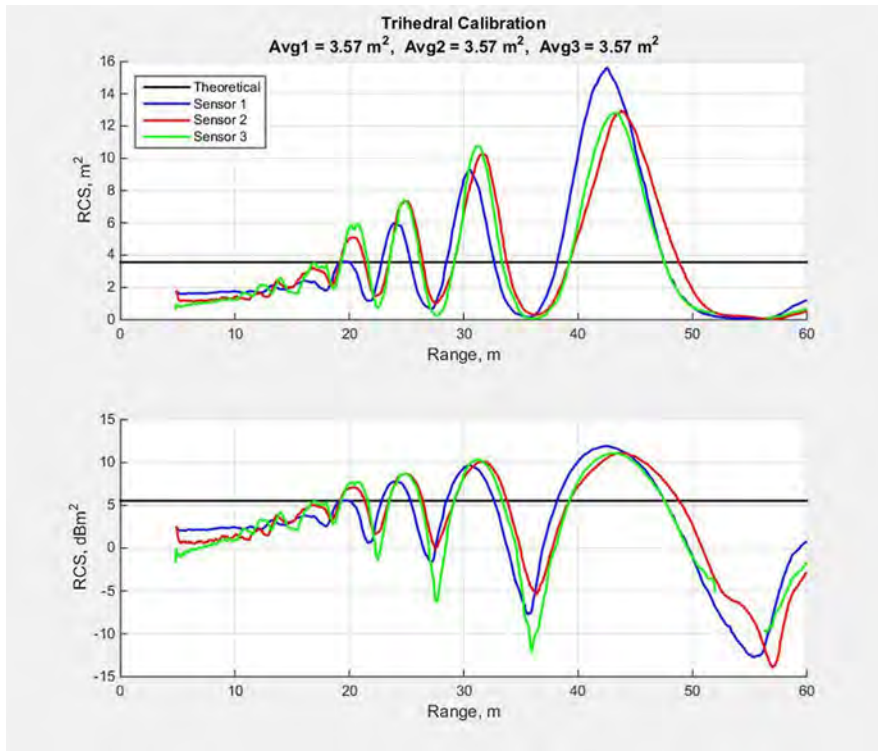


Fig. 9: Trihedral Calibration Plot.

Three measurements of the calibration sphere were conducted at distances of 10, 25, and 40 m. The measurements were used to confirm linearity of the sensor between the RCS values of the trihedral (5.5 dB-m<sup>2</sup>) and the sphere (-11.4 dB-m<sup>2</sup>). The results of the sphere calibration measurements are shown in Figure 10. Note that the data for the 10 m radius tends to be different than the larger radius measurements. This may be a result of near field effects (e.g., field of view limitations) at that distance that make these 10m data somewhat unreliable. Based on this, the additional analysis was conducted using only the fixed-distance measurements at 25 and 40 m.

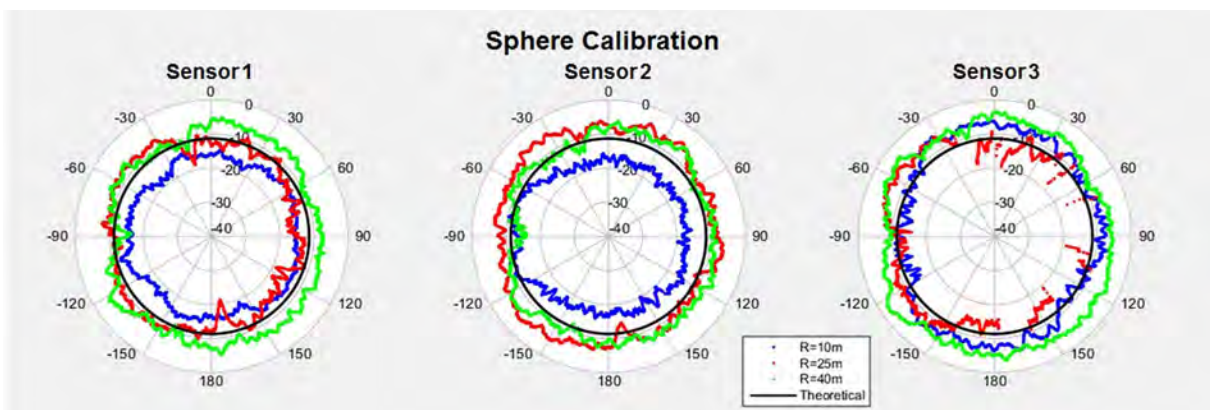


Fig. 10: Sphere Calibration Plot.

## Rider Contribution to RCS

One area of interest for this analysis was the contribution of the rider to the RCS of the MC + rider system. The fixed-distance measurements were each taken with and without the rider. Figure 11 through Figure 13 show the RCS of each PTW with and without the rider for sensors 1 through 3, respectively. In general, the presence of the rider appears to have little effect on the overall RCS.

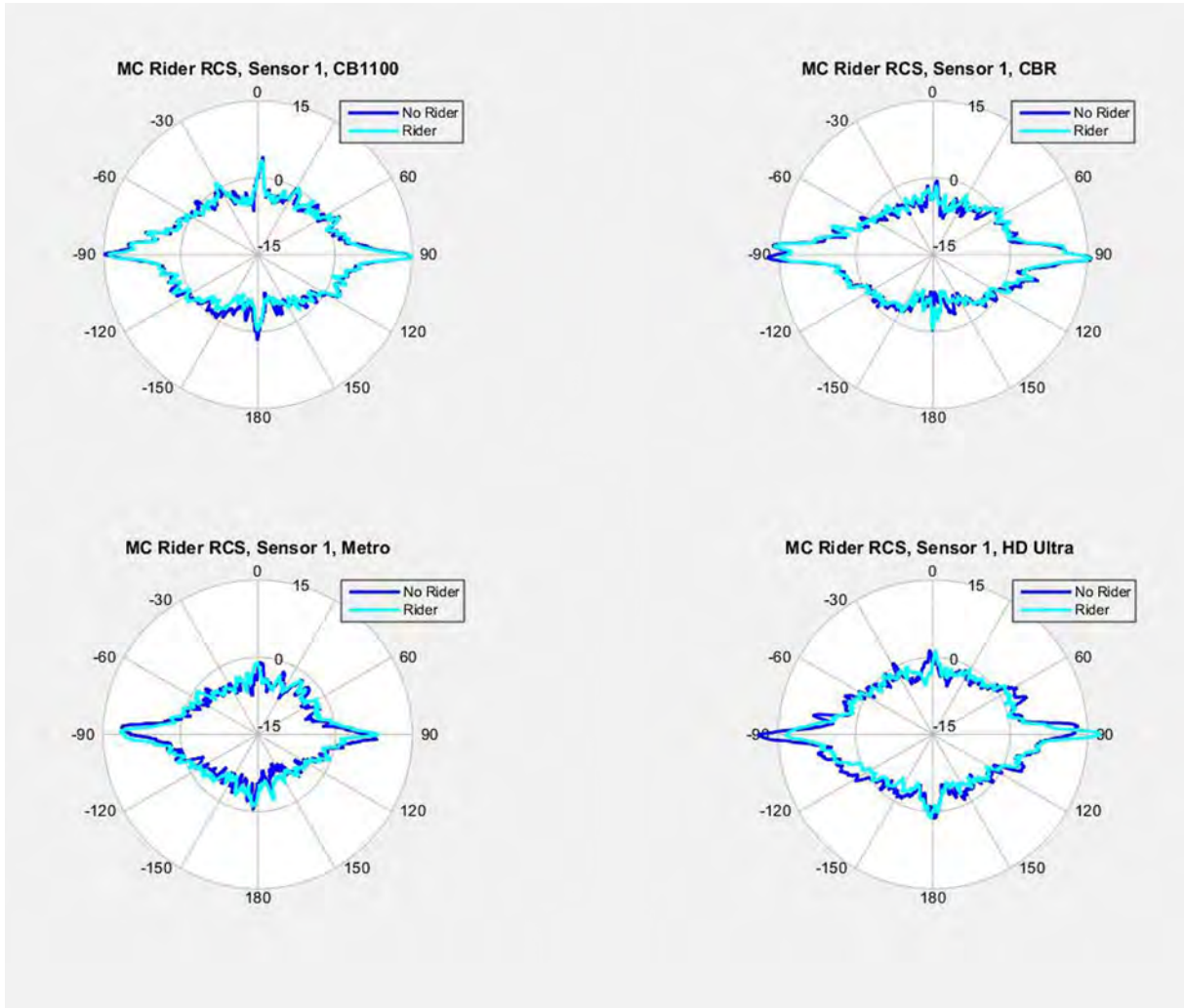


Fig. 11: Rider RCS Contribution, Sensor 1.

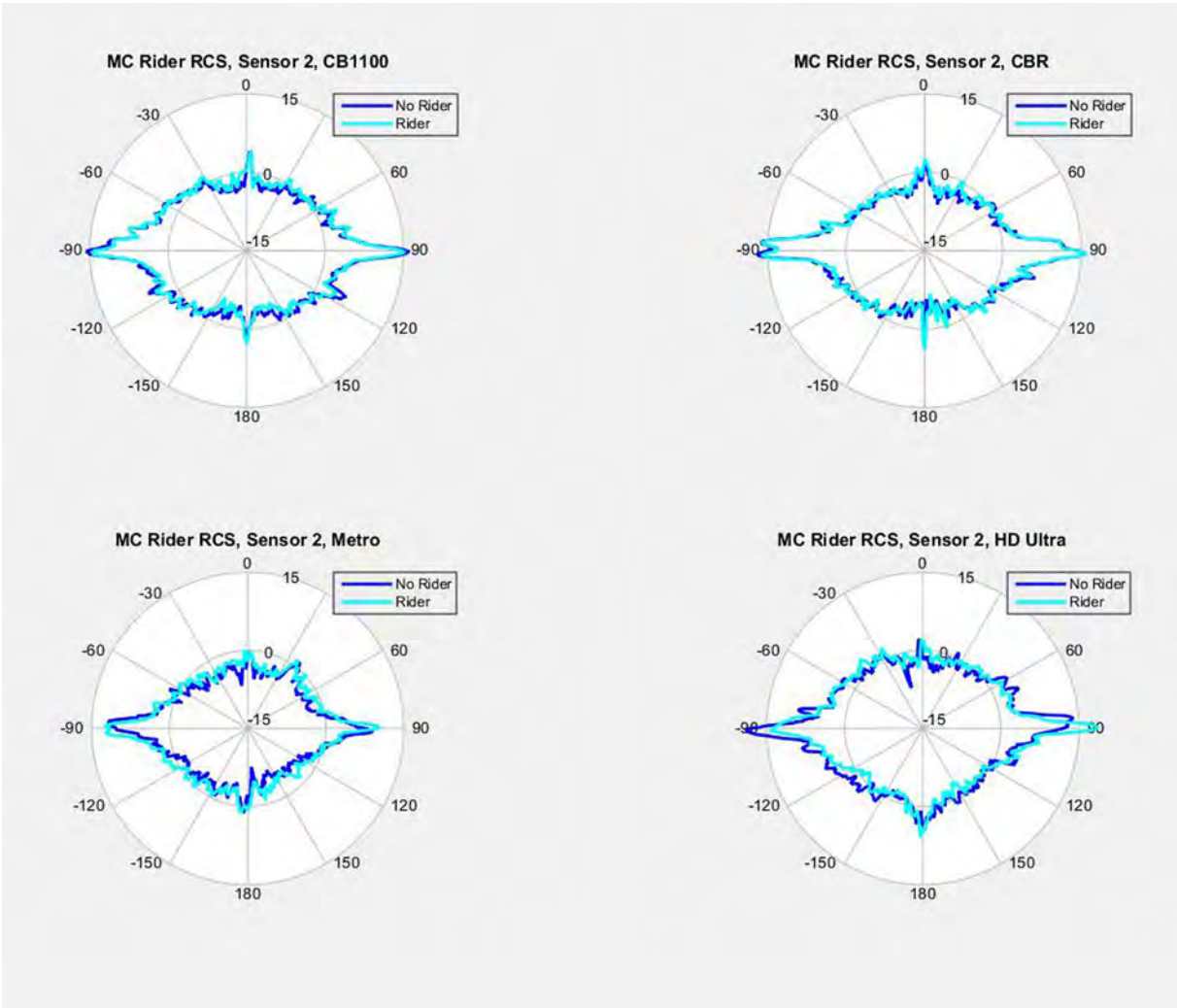


Fig. 12: Rider RCS Contribution, Sensor 2.

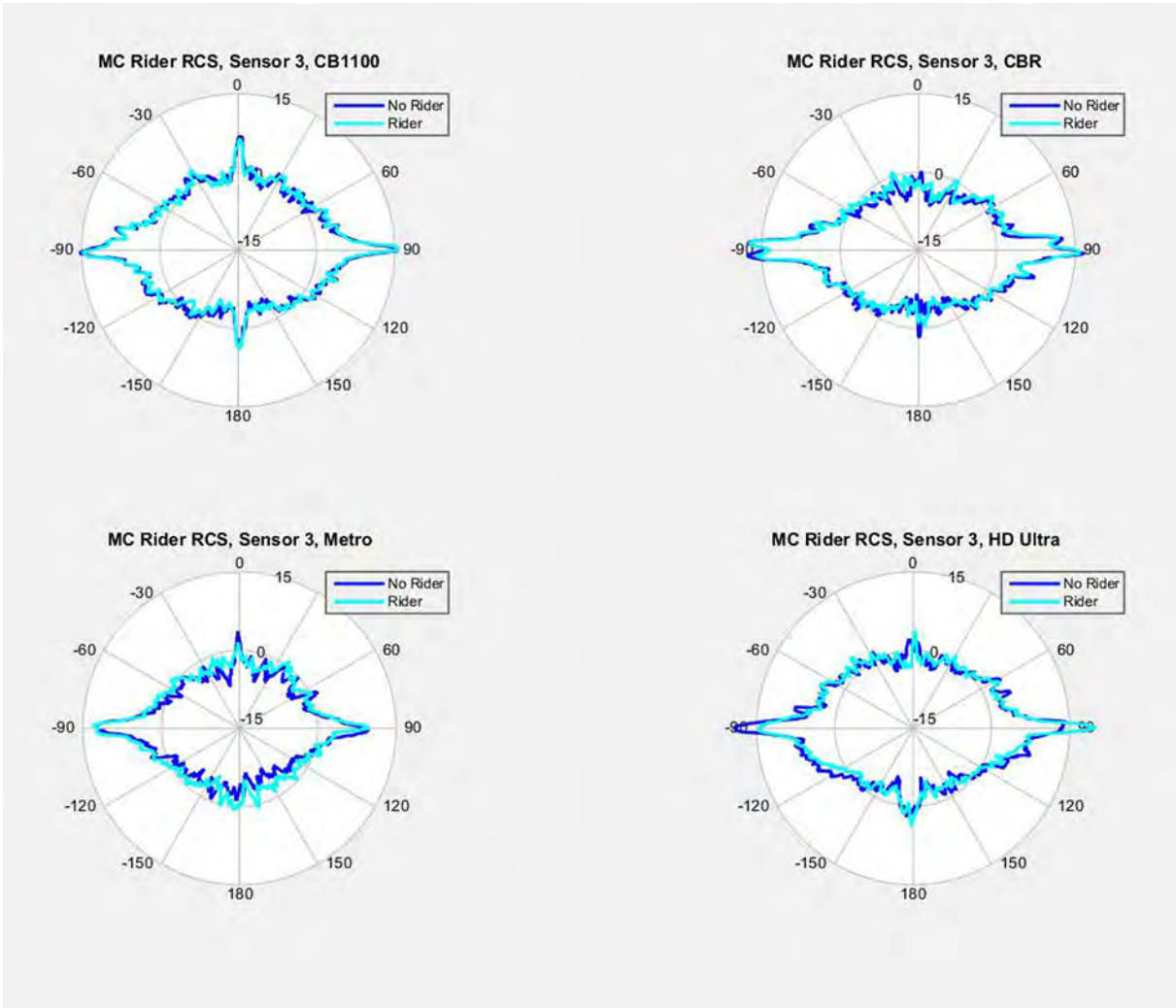


Fig. 13: Rider RCS Contribution, Sensor 3.

Table 2 gives the average and standard deviation of differences between the RCS with rider and without rider over  $\pm 180^\circ$  of viewing angle for the four PTWs. The differences are generally very small and are substantially smaller than the standard deviation in each case. This indicates that the differences between measurements made with and without a rider are not statistically different from zero, implying that the rider’s contribution to the overall RCS is negligible and can be ignored.

$$\delta(\theta) = \text{RCS}_{\text{with rider}} - \text{RCS}_{\text{without rider}}$$

Table 2: RCS Difference With and Without Rider.

Sensor	Object	Mean of $\delta(\theta)$	Std. Dev. of $\delta(\theta)$
1	CB1100	-0.30	1.06
	CBR600RR	0.08	1.22
	Metro	0.58	1.43
	H-D Ultra	-0.50	1.55
2	CB1100	-0.01	0.97
	CBR600RR	0.16	0.89
	Metro	0.89	1.26
	H-D Ultra	-0.19	1.68
3	CB1100	-0.06	0.87
	CBR600RR	-0.19	1.23
	Metro	-0.97	1.40
	H-D Ultra	-0.13	1.40

### Motorcycle RCS Comparison

Figures 14 – 16 show polar plots of the RCS of the four PTWs. These plots show substantial similarity among the four PTWs with regard to RCS as a function of viewing angle, for example, there is a large RCS “spike”<sup>2</sup> from the sides (at 90° and -90°) and a much smaller RCS spike from the rear (180°) and even smaller from the front (0°).

---

<sup>2</sup> For this discussion “spike” is the term used to describe a sharp increase in RCS over a relatively small angular range

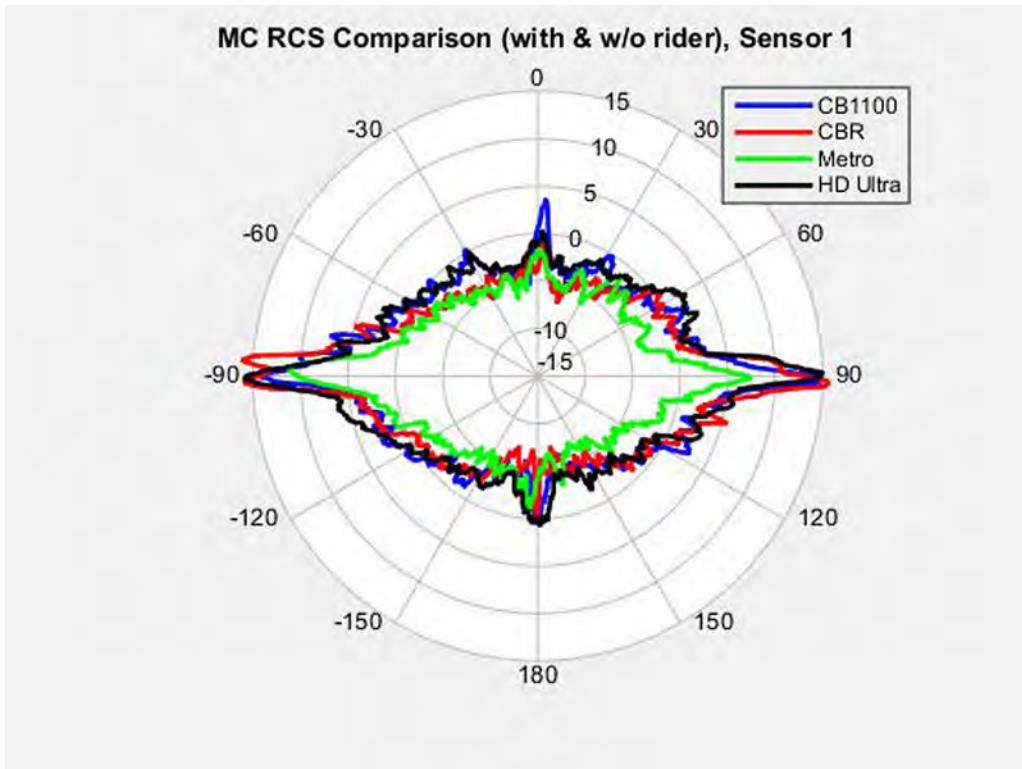


Fig. 14: MC RCS Comparison, Sensor 1.

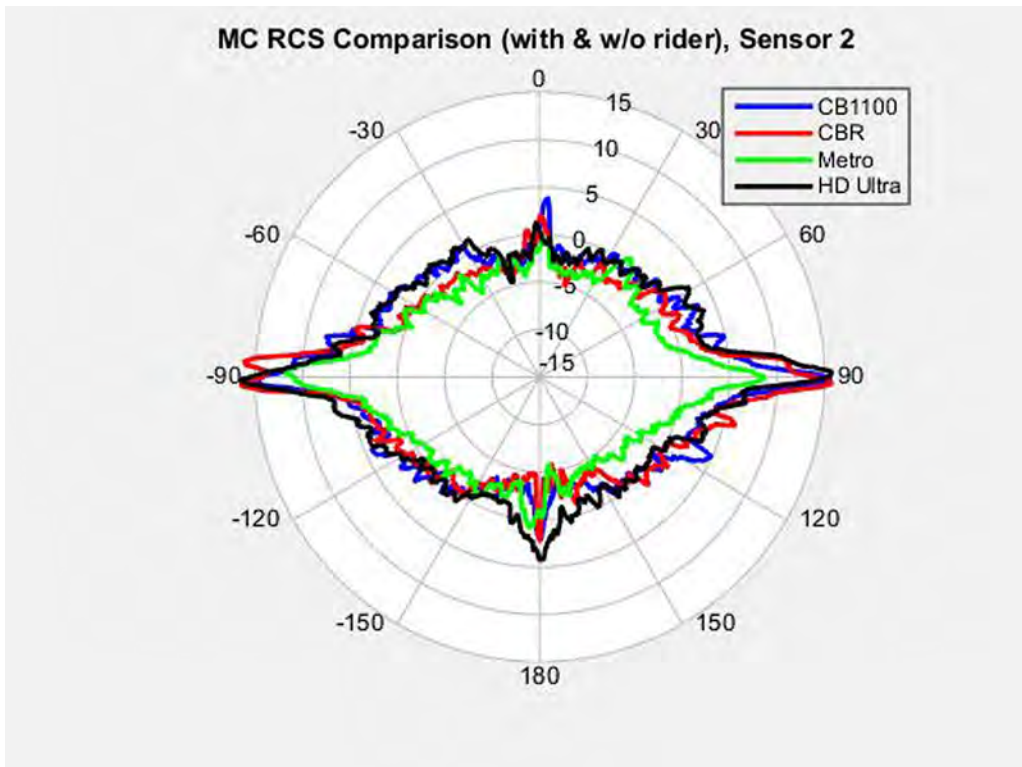


Fig. 15: MC RCS Comparison, Sensor 2.

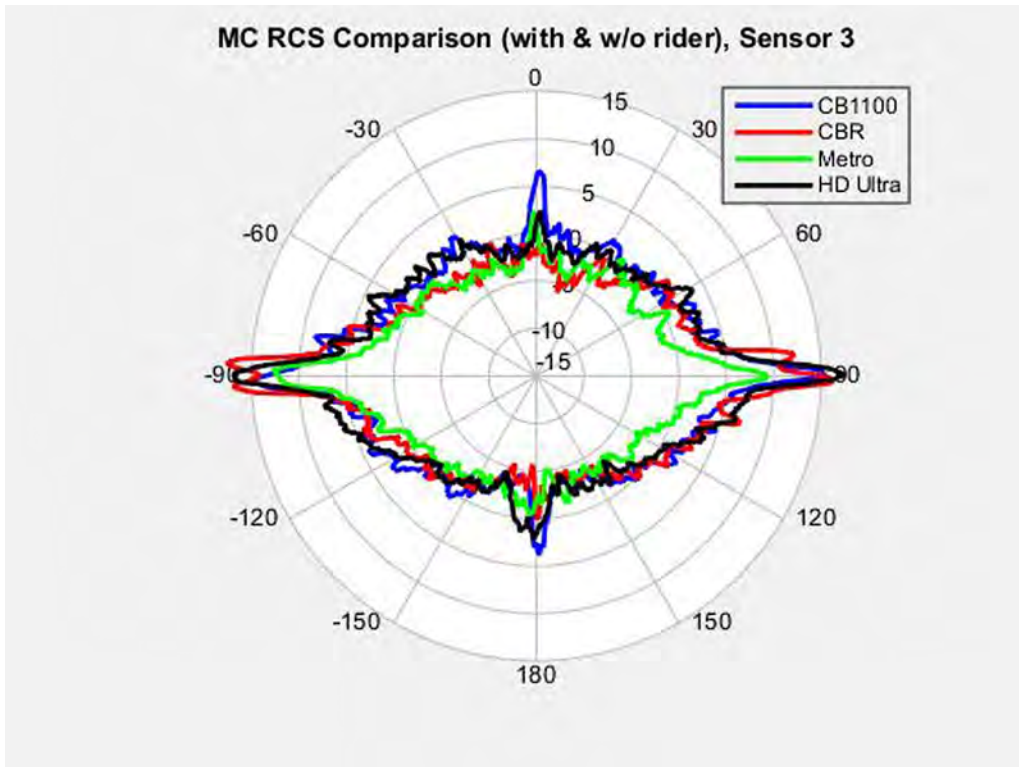


Fig. 16: MC RCS Comparison, Sensor 3.

In order to better understand how the motorcycles differ, it is necessary to do a statistical comparison of the RCS over a range of angles. For this analysis, five viewing angle windows have been created as listed in Table 3 and shown in Figure 17. The statistical distribution of the RCS within each window has been compared using the Cumulative Density Function (CDF) as shown in Figure 18 through Figure 22.

The Front analysis window indicates that the CB1100 and H-D Ultra have the largest RCS on average. The CB1100 has the largest front RCS spike but its angular width is quite narrow. The 50<sup>th</sup> percentile RCS for this analysis window ranges from -4.07 dB-m<sup>2</sup> (Metro with Sensor 1) to 0.92 dB-m<sup>2</sup> (H-D Ultra with Sensor 3). Note that the average RCS for the Front window is smaller than the average RCS for the Front Oblique window even though there is an RSC spike in the front. This can be attributed to the fact that the RCS on either side of the spike is low relative to the Front Oblique RCS.

The Front Oblique analysis window indicates that the CB1100 and H-D Ultra have the largest RCS on average and their RCS distributions are very similar. The Metro has the smallest front oblique RCS but the CBR600RR also has a small RCS. The 50<sup>th</sup> percentile RCS for this analysis window ranges from -3.16 dB-m<sup>2</sup> (Metro with Sensor 1) to 1.24 dB-m<sup>2</sup> (H-D Ultra with Sensor 3).

The Side analysis window indicates that the CB1100, CBR600RR, and H-D Ultra have similar magnitude RCS on average and their RCS distributions are very similar. The Metro has a much smaller side



RCS. The 50<sup>th</sup> percentile RCS for this analysis window ranges from 2.43 dB-m<sup>2</sup> (Metro with Sensor 1) to 8.00 dB-m<sup>2</sup> (H-D Ultra with Sensor 3).

The Rear Oblique analysis window indicates that the CB1100, CBR600RR, and H-D Ultra have similar magnitude RCS on average and their RCS distributions are very similar, although the CBR600RR is slightly lower than the CB1100 and the H-D Ultra. Again, the Metro has a much smaller side RCS. The 50<sup>th</sup> percentile RCS for this analysis window ranges from -3.78 dB-m<sup>2</sup> (Metro with Sensor 1) to 0.44 dB-m<sup>2</sup> (H-D Ultra with Sensor 2).

The Rear analysis window indicates that the H-D Ultra has the largest RCS on average. In this case the CBR600RR (not the Metro) has the smallest RCS. The CB1100 and Metro have an average RCS in between the other two PTWs and their RCS distributions are very similar. The 50<sup>th</sup> percentile RCS for this analysis window ranges from -5.65 dB-m<sup>2</sup> (CBR600RR with Sensor 1) to 0.94 dB-m<sup>2</sup> (H-D Ultra with Sensor 2).

Table 3: Motorcycle Analysis Windows.

Window Name	Range of Angles (deg)
Front	(-15 to 15)
Front Oblique	(-75 to -15) and (15 to 75)
Side	(-105 to -75) and (75 to 105)
Rear Oblique	(-165 to -105) and (105 to 165)
Rear	(-165 to -180) and (165 to 180)

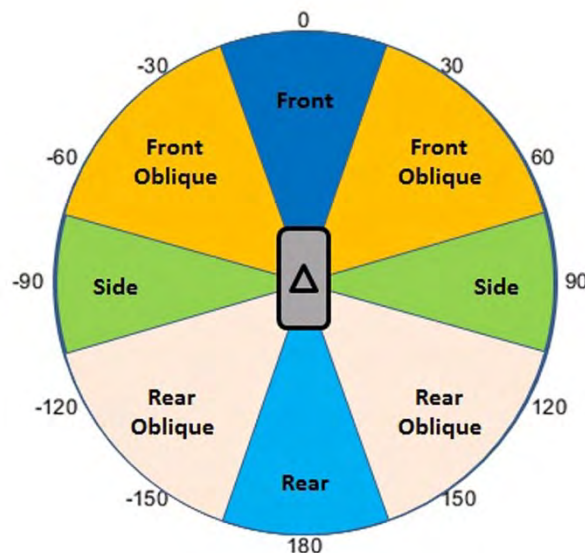


Fig. 17: Graphical Representation of the Analysis Window.

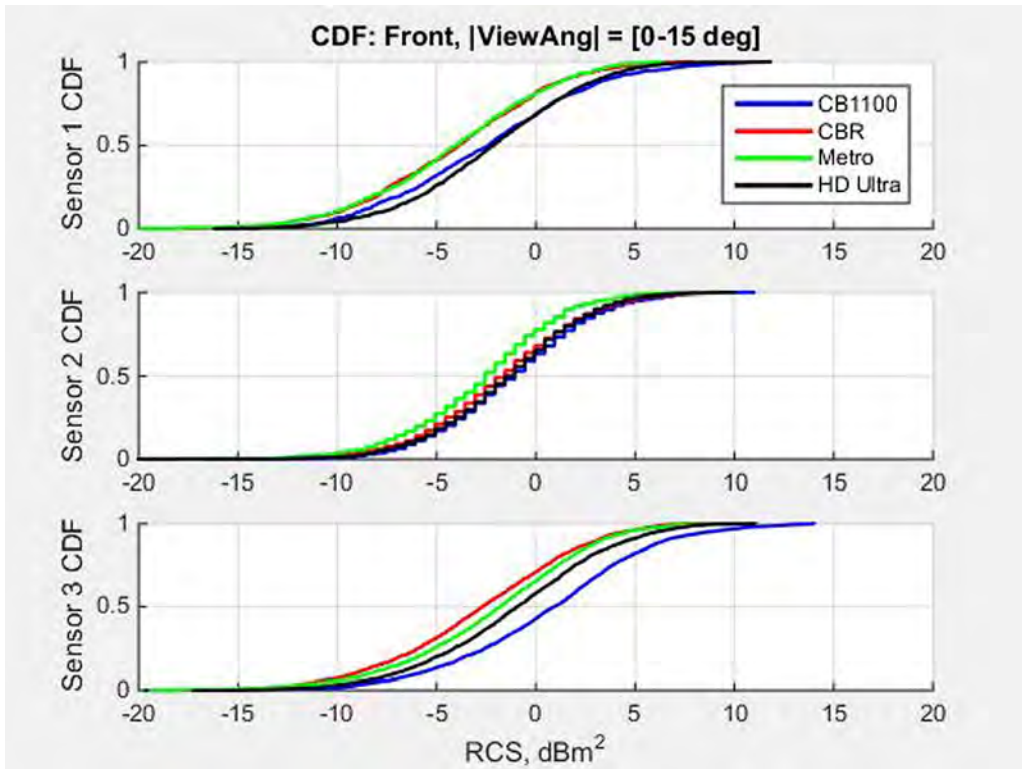


Fig. 18: CDF of Front Analysis Window.

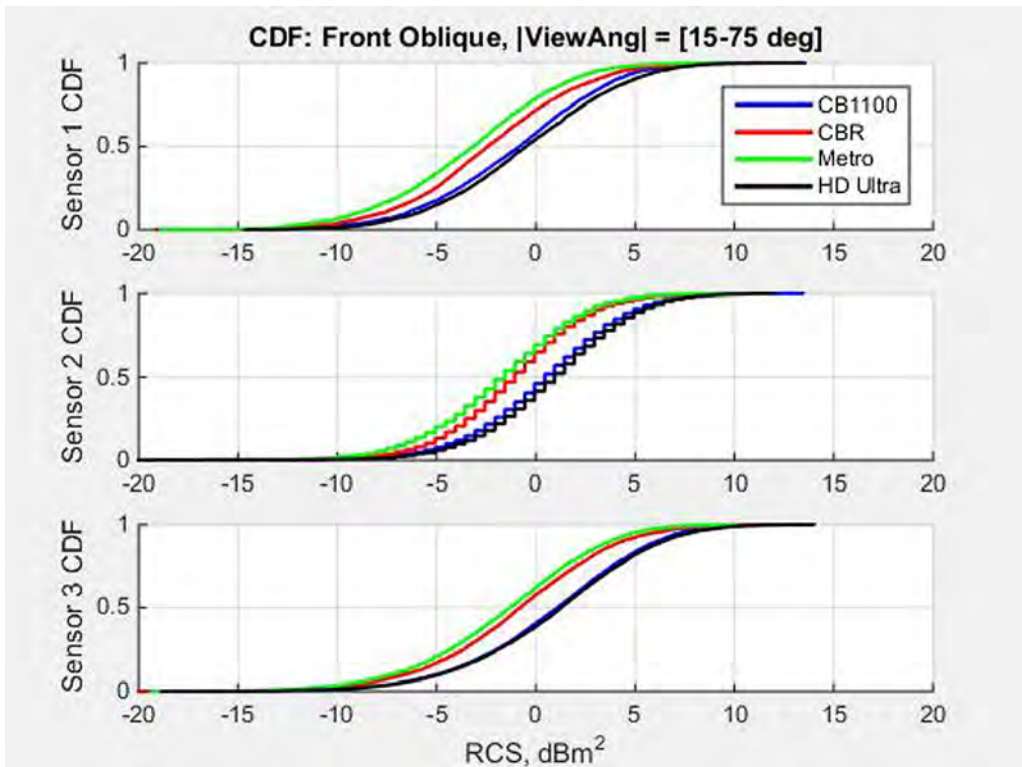


Fig. 19: CDF of Front Oblique Analysis Window.

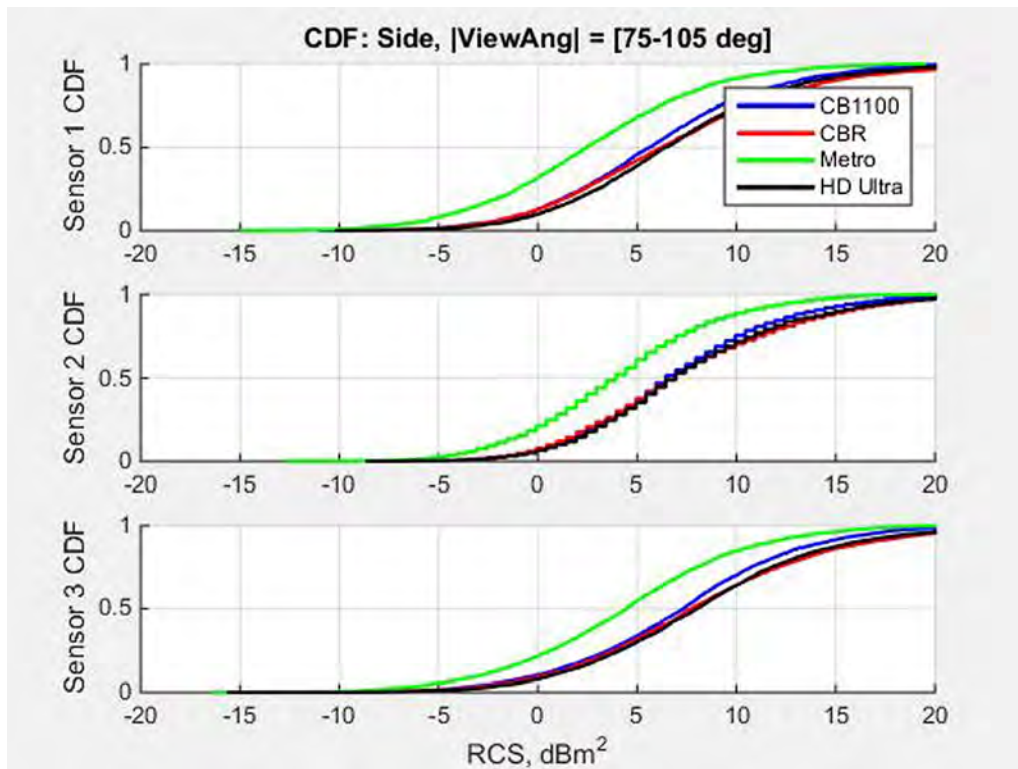


Fig. 20: CDF of Side Analysis Window.

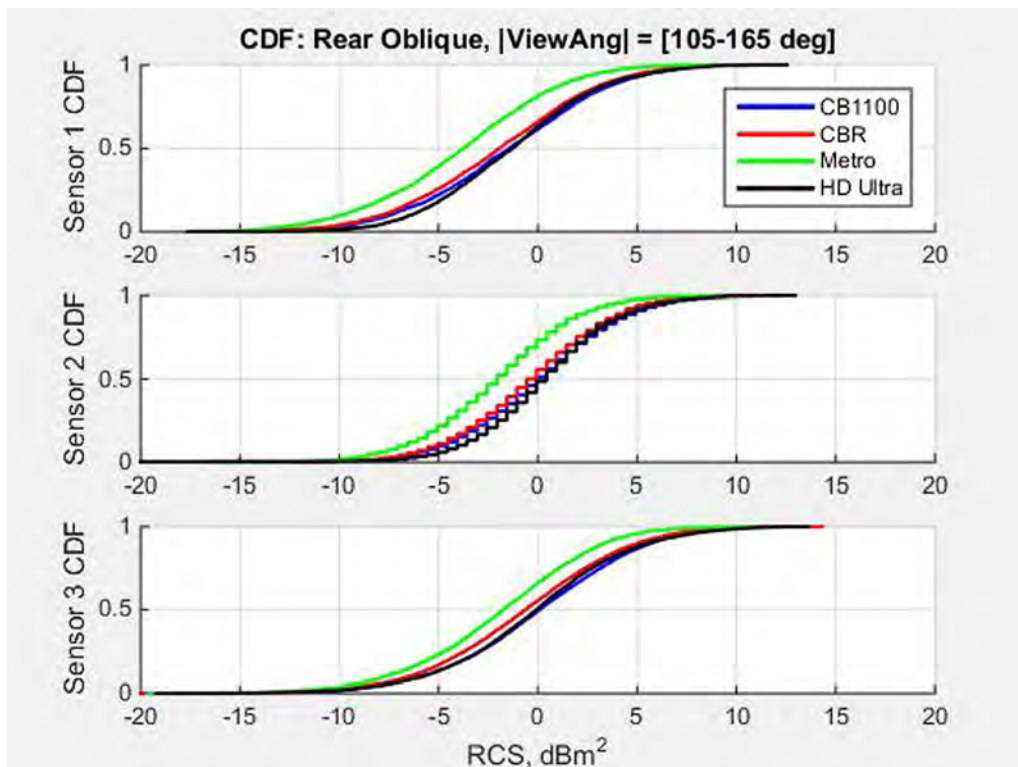


Fig. 21: CDF of Rear Oblique Analysis Window.

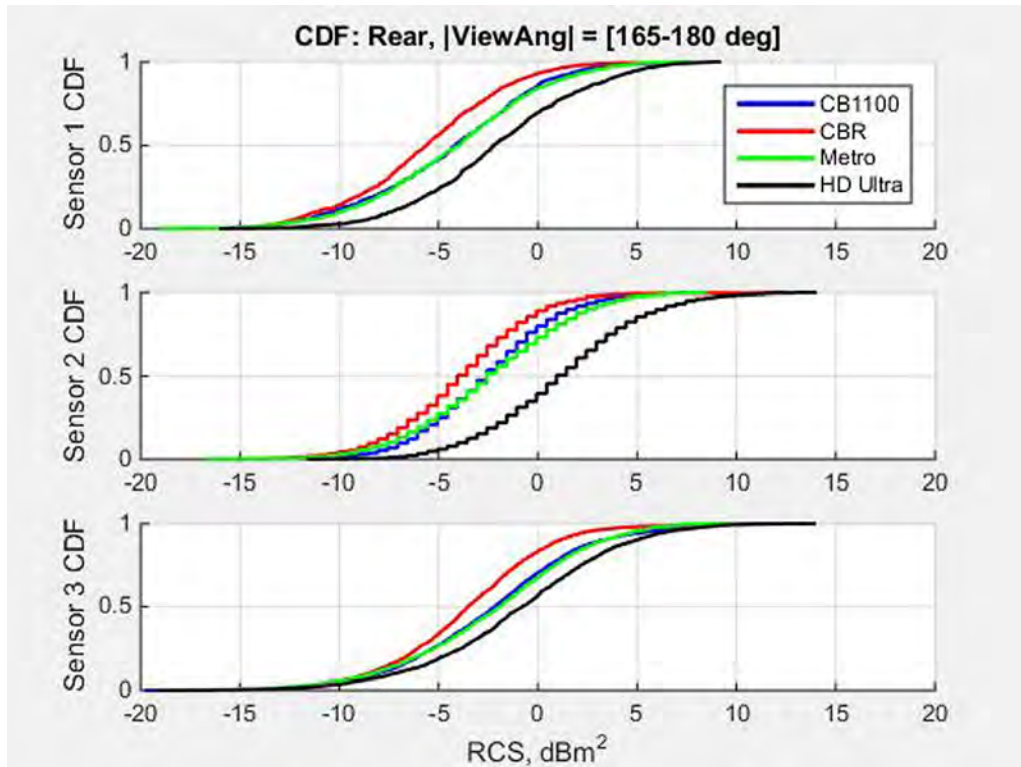


Fig. 22: CDF of Rear Analysis Window.

### Spatial RCS Distribution

For each measurement the sensor outputs the RCS as well as the relative position (laterally and longitudinally) from the sensor. Since the measurement cart used measures its own position to within 2 cm, heading to within  $0.1^\circ$ , and the relative position of the sensor on the cart is known, it is possible to calculate the location of the sensed reflection with respect to the origin (0, 0). This spatial plotting of the RCS allows determination of which physical components of the measured object generate the reflections and allows observation of the “sensed” extents of the measured object.

Figure 23 through Figure 26 show the spatial distribution of the objects for two of the sensors. It was not possible to record the relative position data for the third sensor so it was not possible to calculate the spatial location of the reflections relative to the origin.

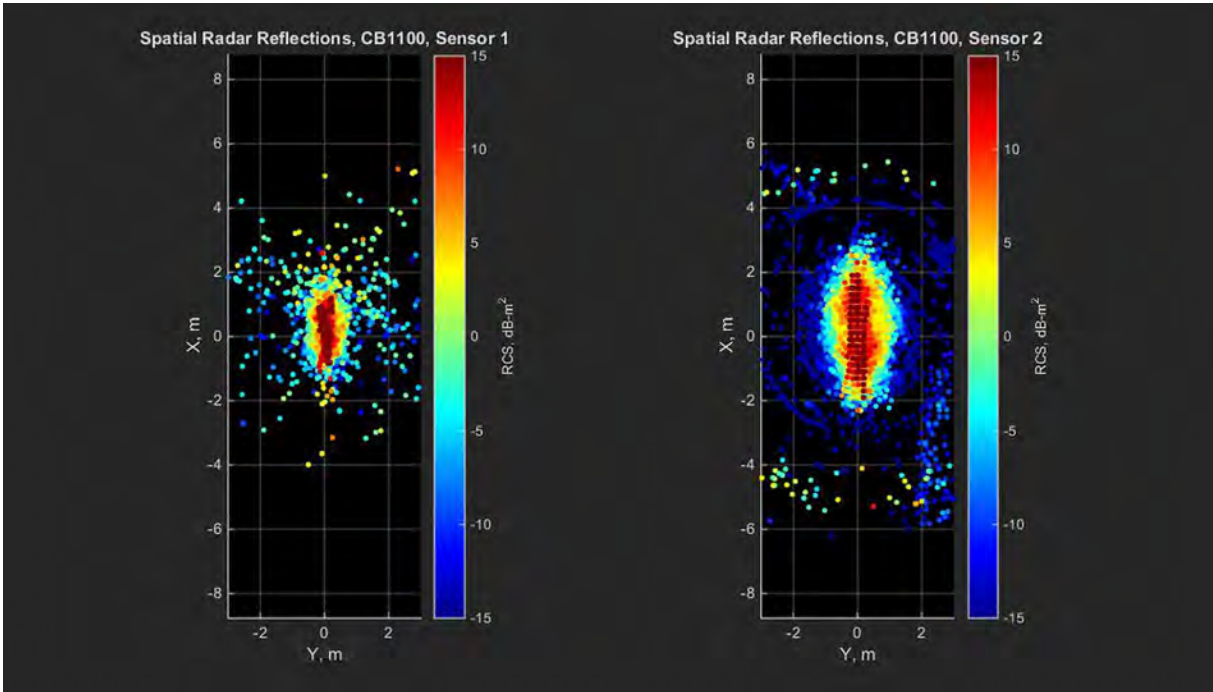


Fig. 23: Spatial RCS Reflections for the CB1100.

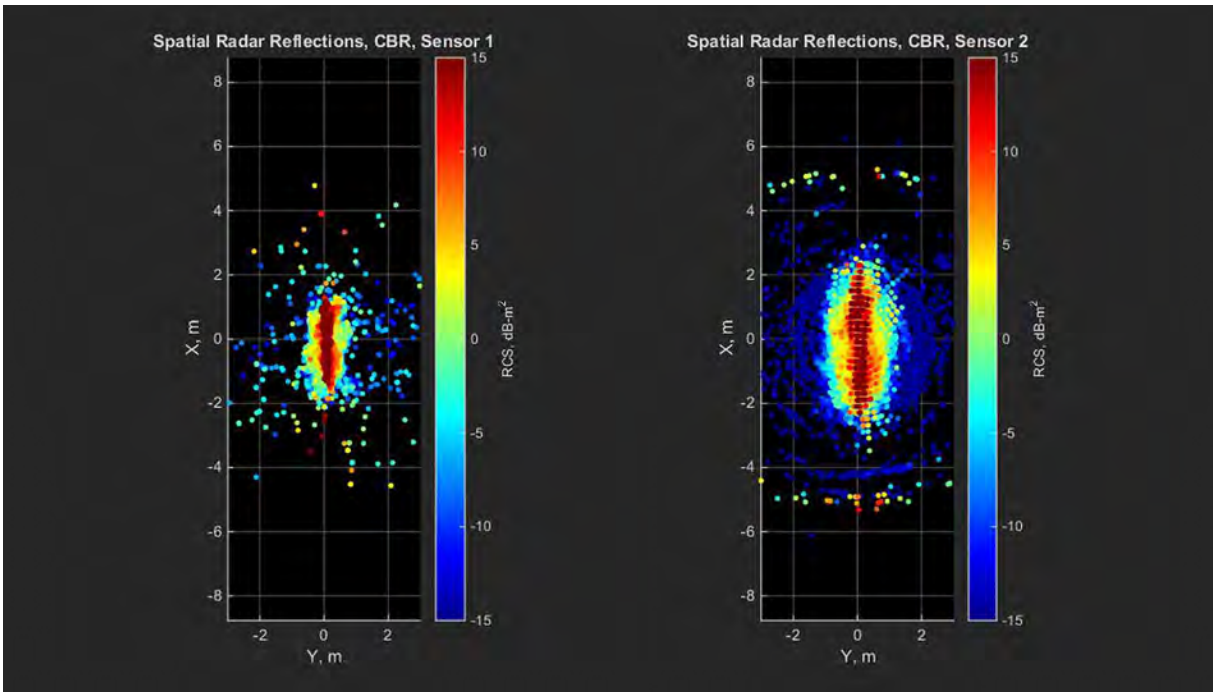


Fig. 24: Spatial RCS Reflections for the CBR600RR.

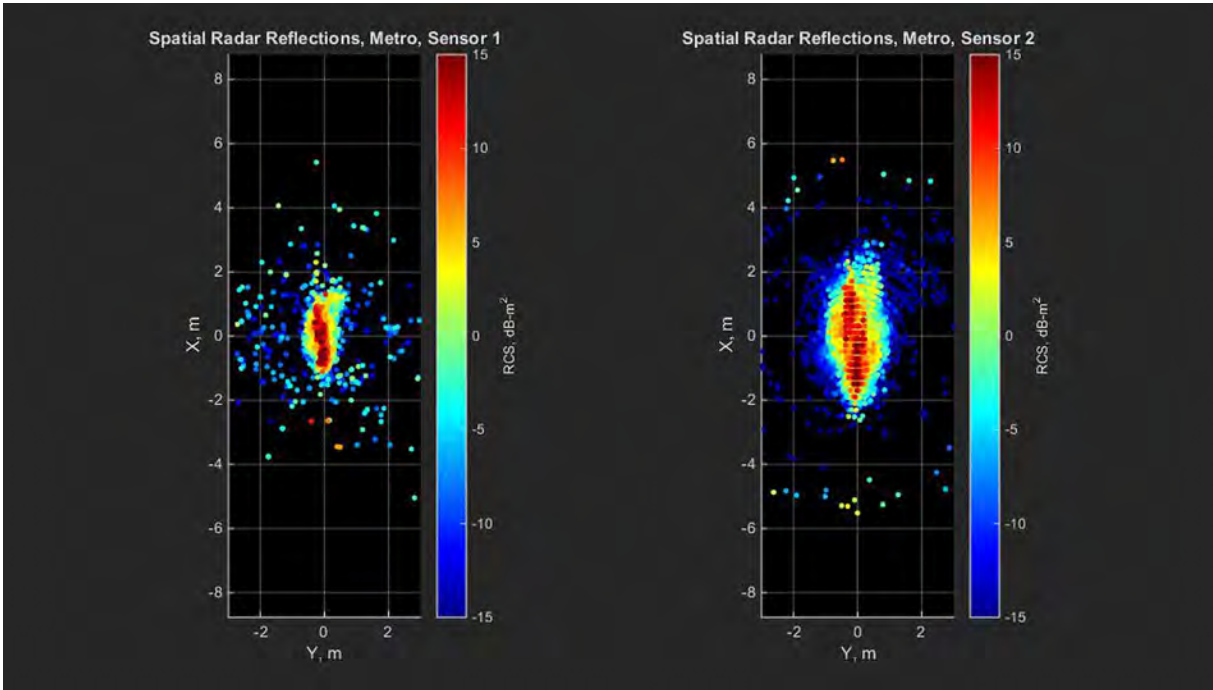


Fig. 25: Spatial RCS Reflections for the Metropolitan.

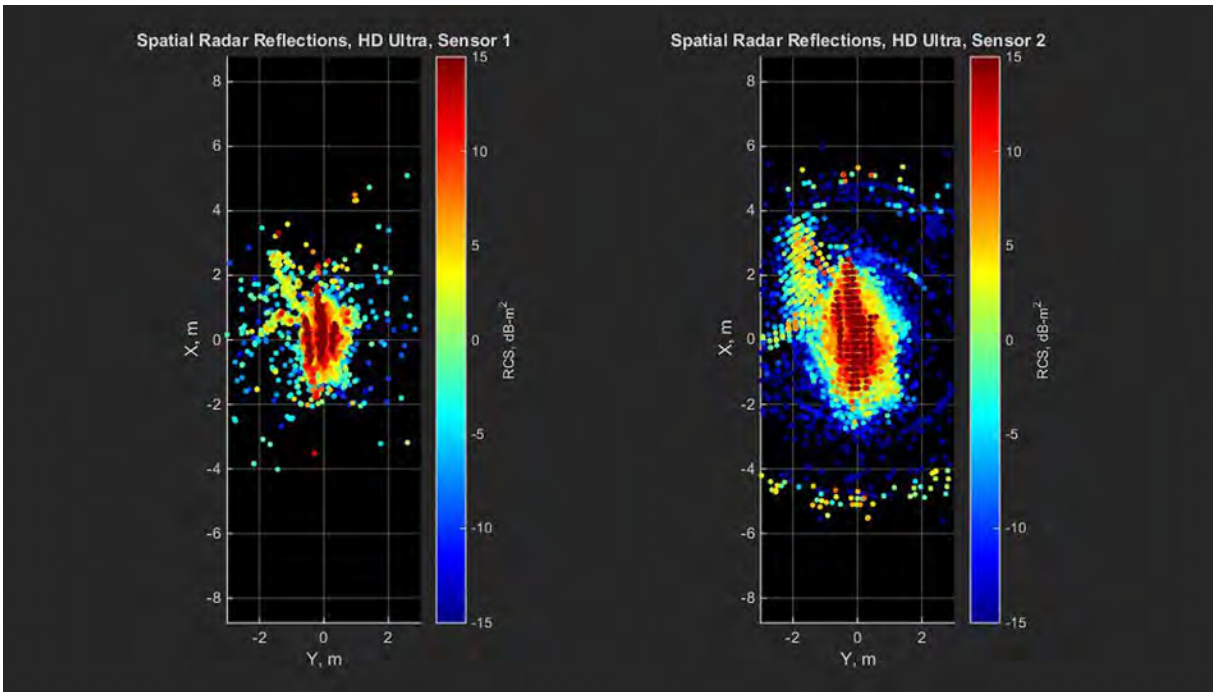


Fig. 26: Spatial RCS Reflections for the H-D Ultra.

## Discussion

An important observation resulting from this study is the variation, between sensors, in reported RCS of an object. Observed differences in reported RCS between the sensors<sup>3</sup> was nearly two orders of magnitude in some cases. While it may be useful to compare data from one sensor with other data taken from the same sensor, this situation does not allow data from one sensor to be compared, in any meaningful way, with analogous data from another sensor. To enable comparisons of data taken from different sensors, a data calibration procedure was developed. This procedure is sensor-specific and involved determining a data calibration scale factor, for each sensor, based on measurements of a calibration object with known RCS. These calibration scale factors were then applied to measurement data from each of the three sensors to allow comparison of results on an equal basis.

Measurements were made of four PTWs both with and without a rider. The results indicate that the rider's contribution to the overall RCS of the PTW-plus-rider is not statistically significantly different from that of the PTW alone. This could help simplify the PTW detection algorithm because it eliminates one variable. It also simplifies any future target development of PTWs, since the rider surrogate is not necessary for radar (although it might be necessary for lidar or camera systems).

The RCS measurements of the different PTWs provides information that can be used to better understand PTW radar characteristics. For example, from these data it can be seen that the Metro has an RCS that is typically lower than the other PTWs by several dB-m<sup>2</sup>, but the overall shape across all PTWs is quite similar regardless of type and size. The front of the PTWs ( $\pm 5^\circ$ ) generally had a small RCS spike. However, the RCS at angles just outside of the direct front ( $5^\circ$ - $20^\circ$ ) was very low. This region of low RCS, which could be as low as -5 dB-m<sup>2</sup>, could make PTWs very difficult to detect by radar when viewed from these angles, such as a head-on conflict with a slight offset. This conflict scenario, with large closing speed, is commonly found in accident data involving severe injuries, and is one of several that should be carefully studied to ensure that vehicles can detect a PTW and adequately respond.

The side RCS ( $90^\circ$ ) of the PTWs is quite large and is similar in magnitude to a typical passenger vehicle. However, the drop-off outside of  $90^\circ \pm 15^\circ$  is large (i.e., typically more than 10 dB-m<sup>2</sup>).

From the rear, it is interesting to note that the CBR600RR has the lowest RCS. This may be due to its aerodynamic shape and styling and absence of a rear fender. This result highlights the importance of

---

<sup>3</sup> In the context of this discussion a sensor is considered to represent its own sensor family, i.e. other sensors of the same make and model. Differences between example sensors from the same product line were not examined, and it is likely the case that such variations may be small.

object shape as a means to increase or decrease RCS of a PTW, and may have important ramifications on future motorcycle or target designs

The spatial distributions of each of the motorcycles as given by each of the two sensors show some differences with respect to RCS magnitude and point distribution. This probably results from a number of factors, including the manner in which the hardware and software interact to sense and interpret the raw reflection data, particularly with regard to clustering and grouping of the data. However, when comparing the spatial distributions of the four PTWs for each of the sensors, the general nature is that most of their RCS reflections come from a long but narrow area, aligned with the longitudinal axis of the PTW. The H-D Ultra did show some relatively high power reflections from areas approximately 0.3 m outboard from the center, which may be the result of the saddlebags. Overall, the RCS distributions of the PTWs tend to cluster near the center of the object, with all high power reflections being within  $\pm 2$  m longitudinally and  $\pm 1$  m laterally from the center. This is quite different from a typical car, which tends to have its high power reflections come from the front, sides, and rear faces but not the geometric center.

The development of a DRI's surrogate motorcycle soft target is a work in progress. The radar measurements described in this report provide the basis for how the surrogate should appear to radar. In addition to the radar measurements, DRI has experimented with various construction techniques, materials and capabilities in an effort to produce a surrogate that appears realistic to ADAS sensors, is durable and safe to use, and, ideally, not unreasonably expensive. It is DRI's intention to provide further updates as these efforts converge.



## Terminology and Abbreviations

CDF	Cumulative Density Function
D-GPS	Differential – Global Positioning System
DRI	Dynamic Research, Inc.
GPS	Global Positioning System
GUI	Graphical User's Interface
H-D	Harley-Davidson
IMU	Inertial Measurement Unit
PTW	Powered Two Wheeler A general term used for motorcycles and scooters
RCS	Radar Cross Section Expressed in either: $dBm^2$ or $m^2$
$\sigma$	RCS
$\sigma_{dBm^2}$	RCS expressed in $dBm^2$
$\sigma_{m^2}$	RCS expressed in $m^2$
$\overline{\sigma_{m^2}}$	Average of RCS values expressed in $m^2$

## References

- [1] Lenkeit, J. F. and Smith, T., “Preliminary Study of the Response of Forward Collision Warning Systems to Motorcycles,” 11th International Motorcycle Conference, Cologne, Germany, October 2016.
  
- [2] Anon.,”Euro NCAP 2015 Roadmap in Pursuit of Vision Zero”, Euro NCAP, (<https://www.euroncap.com/en/for-engineers/technical-papers/>).
  
- [3] Zellner, J.W., Van Auken, R.M., Chiang, D.P., Broen, P.C., Kelly, J., Sugimoto, Y., “Extension of the Honda-DRI “Safety Impact Methodology” (SIM) for the NHTSA Advanced Crash Avoidance Technology (ACAT) Program and Application to a prototype Advanced Collision Mitigation Braking System”, SAE Technical Paper 2009-01-0781, 2009.

Safety Potential Assessment Of Cornering ABS Systems  
Based On Riding Tests

Begutachtung des Sicherheitspotenzials von Kurven-  
ABS-Systemen basierend auf Praxistests

Alessio Sevarin, Michael Gruber, Ernst Tomasch  
Vehicle Safety Institute, Graz University of Technology, Graz, Austria

Christian Rathgeb  
KTM AG, Mattighofen, Austria

Lukas Hartwig, Karin Ausserer, Ralf Risser  
FACTUM OG, Wien, Austria

## Abstract

Motorcyclists are one of the most endangered users on the road. In order to improve their safety, innovative Advanced Rider Assistance Systems (ARAS) are developed and integrated into motorcycles. One of the latest developed systems is Cornering ABS, which claims to bring the advantages of ABS also during the leaning phase of the vehicle. Nevertheless, due to the recent introduction no study is available to assess the potential of the system

This study aims to assess the potential of Cornering ABS for the accident reduction, with an integrated statistical and experimental approach.

At first, the current accident scenarios for motorcycles, based on the data of the Austrian national database of road accidents, were analysed in order to observe the relevance of different crash configurations. Furthermore, about 100 motorcycle accidents were then reconstructed and used as baseline for the evaluation of the system.

Insights about the functioning of the analysed system were retrieved by logging and analysing the activation of the systems under riding conditions by motorcyclists with different experience. A model could therefore be developed to evaluate the triggering conditions of the systems.

An in-depth analysis of the baseline accidents after the virtual introduction of the system permits to define the potential of the system for the selected cases. The results can then be extrapolated to the entire national statistic in order to evaluate the real potential of the systems.

This study helps to define the relevance of the Cornering ABS for the current accidents scenarios and delineate the boundary working conditions of the systems, providing relevant information for possible improvements with the potential to lead to a further reduction of accidents.

The project was funded by the Austrian Road Safety Fund (VSF) of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology.

Safety Potential Assessment Of Cornering ABS Systems  
Based On Riding Tests

# 1 Introduction

Europe set the challenging goal to halve road fatalities between 2010 and 2020 [1]. In the year 2014 15 % of road fatalities were motorcyclists or motorbike passengers and, although in the years between 2007 and 2014 a decrease of more than 30 % of motorcycle fatalities in Europe was registered, the risk of being killed while riding a motorcycle calculated by driven kilometres is still twenty times higher than while driving a passenger car. [2] It is therefore clear that this vehicle category cannot be forgotten in order to meet the European road safety goals.

In order to reduce the number of fatalities and accidents, different systems were integrated into circulating motorcycles in the last years. [3] One system, which showed a relevant potential for the reduction of the accidents and/or their consequences is ABS. ABS regulates the brake pressure based on the measured slips of the front and rear wheel and avoids therefore the onset of a sliding behaviour of the wheels and of the vehicle. The system was extensively analysed in different studies.[4–12] In [10] the potential for the crash reduction of ABS calculated in three countries (Italy, Sweden and Spain) was found ranging between 24 % and 34 % while a still more relevant reduction for severe and fatal crashes (between 34 % and 42%) was identified.

One of the main advantages of ABS is the reduction of the braking distance, as evaluated by [7]. In this study, the braking distances in three configurations, inter alia while cornering, with different motorcycles with and without ABS were analysed. For the configurations in which the braking manoeuvre was developed with the motorcycle in an upright position, a difference in the stopping distance of 5 % was found between the best results with and without ABS. It has to be noted that the results of the braking manoeuvre with ABS were more consistent than those of the motorcycles without ABS. This indicates that more experience and practice is needed to achieve reduced braking distances with a motorcycle without ABS than with a motorcycle equipped with ABS. [7]

Nevertheless, the longitudinal and lateral forces that the tires can transfer to the road when the vehicle is upright can differ strongly from when the vehicle is in the cornering phase. Standard ABS does not have the possibility to measure the lean angle of the vehicle and, although it can provide some benefits if the lean angle remains smaller than 20 °, it cannot provide a perfect functionality in case of a braking manoeuvre in a bend with bigger angles. [13] This implies not only a not optimal braking distance but also a potential loss of control of the vehicle itself.

In the last years further improvements of the system were introduced in the market: thanks to the integration of an inertial unit and an improved brake pressure regulation algorithms and motorcycle dynamic status estimator, an improved version of the system, called cornering ABS, aims to bring the advantage of ABS also in with relevant lean angles. [13] As accidents in a bend are particularly relevant

for motorcycles, such a system could have high potential for both collision avoidance and impact speed reduction.

Frequent accident configurations for motorcycles were analysed by [14]. The author of the study considered motorcycle accidents in Austria between the years 2002 and 2011. Two accident configurations were exposed as particularly relevant: collisions at an intersections and single vehicle accidents. Collisions at an intersection were found responsible for more than 20% of the motorcycle fatalities in Austria and for more than 40% of minor injured motorcyclists. In [15] these accidents were often found representative of a “looked-but-failed-to-see” scenario: i.e. an accident in which the driver of one of the collision partners (typically a passenger car driver) failed to see the approaching motorcyclist, causing therefore the collision.

An opposite situation can be found observing the distribution of the severity of the injuries in single vehicle accidents. The accidents of this category cover only 24 % of the accidents with minor injuries in Austria but also 35 % of all motorcycle fatalities.

In particular, in case of single vehicle accidents, bends are relevant accident locations. The relevance of accidents in a bend was highlighted also in [13], which found that 46 % of fatal motorcycle accidents in Germany in 2011 happened in a bend. Therefore, cornering ABS could play an important role for the reduction of motorcycle fatalities. In [13] it was calculated that cornering ABS could have an influence in 16 % of motorcycle accidents with injuries in a bend, based on statistical and in-depth analyses.

Nevertheless, no test data were used to validate or define the possible intervention of the system. This study aims to define the potential for the cornering ABS system for the accidents reduction, with special focus on accidents in a bend, with the use of an integrated statistical and experimental approach.

## 2 Method

The evaluation of the potential of cornering ABS for the current accident scenarios was developed with the use of different techniques of the vehicle safety State of the Art.

At first, the Austrian road accidents statistical database was analysed to define not only the most frequent accident locations but also relevant configurations. Particular attention was posed on accidents happening in a bend, as this should be the situation in which the system should assess its potential.

Based on the accident distribution found in the Austrian road accidents statistical database, a sample representative of the accidents configuration distribution was extracted from an in-depth accident database. The sampled accidents were then reconstructed with the use of multibody simulations in order to evaluate the accident parameters (i.e. initial speed, cause of the accident, collision partner, etc.).

In order to evaluate the potential of the system, riding test were developed to define the working area of the system. The retrieved results were then compared to the accident parameters found in the accident reconstructions in order to evaluate the potential triggering of the system in the accident configuration. The influence of the system in the accident configuration was then evaluated with analytical calculations.

By extrapolating the results to the entire national statistic, an overall evaluation of the potential of the system can be developed.

## 2.1 Evaluation of theoretical potential of cornering ABS

The evaluation of the theoretical potential of a cornering ABS system is a necessary step for the definition of the real potential that the system can have in the current accident scenarios.

The first step of the analysis is the investigation of the accidents of the Austrian road accidents statistical database. The goal of this investigation is the definition of the accident configurations distribution in order to observe the relevance of accidents in a bend. Moreover, this accident category was further analysed in order to identify relevant accident configurations for motorcycles.

A second deeper step is anyway necessary for the definition of the accident cause and parameters. For this step the in-depth database CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study) is used [5,6]. The accidents were sampled following the same distribution observed in the analysis of the Austrian road accidents statistical database.

The sampled accidents from the CEDATU database were reconstructed using a multibody road accident reconstruction software. Reports from the police, hospital and court as well as photogrammetric analysis of the accident site were used for the definition of the accident parameters and causes. In particular the definition of the initial speed as well of the location of the accident were analysed with particular attention as relevant for the further analysis.

Analysing the causes of the accidents and comparing them with the functioning of the system a first theoretical potential of the system can be defined.

## 2.2 Evaluation of the working area of the system

The definition of the working area of the system plays an important role for the definition of the potential intervention of the system in the accidents. In order to retrieve this information riding tests were developed. As test vehicles for the analysis and representative of actual motorcycles two different motorcycles were used: a KTM 1290 Super Duke R and a KTM 790 Duke (see Figure 1).





Fig. 1: Photo of the two test motorcycle used in the riding tests:  
a KTM 1290 Super Duke R (a)[16] and a KTM 790 Duke (b) [16].

The vehicles were equipped with the data loggers LG-CANStick1C-000 of the company 2D Debus & Diebhold Meßsysteme GmbH for the logging of the relevant vehicle data and position. The data loggers were connected to the CAN of the vehicles in order to get access to the activation data of the system, while an extra GPS antenna was mounted behind the seat to get retrieve the position of the vehicle. All data were measured with a frequency of at least 25 Hz. The data used for the analysis are resumed in the following table (see Table 1).

Table 1: Resuming table of the information used in the analysis of the working area of the system.

Data	Retrieved from
Vehicle GPS coordinates	GPS system (data logger)
Vehicle speed	Motorcycle CAN (front wheel speed, rear wheel speed), GPS system (GPS speed)
Curve radius	GPS system (calculated from GPS data)
Activation ABS at front wheel	Motorcycle CAN
Activation ABS at rear wheel	Motorcycle CAN
Lean angle	Motorcycle CAN

In order to evaluate the system under different riding conditions, two different test scenarios were considered in the analysis.

A series of measurements was developed under race similar conditions at a racetrack in order to define the possible upper intervention limit of the system. Goal of these riding tests was the observation of the intervention of the system up to condition near to the physical lean angle limit of a motorcycle in a

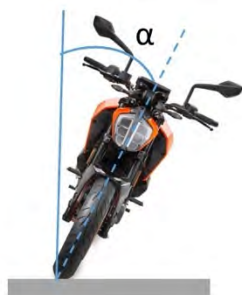
bend. Moreover, the measurement of the system activation under race similar conditions permits to assess a potential intervention of the system also at high speed without endangering the motorcyclists.

In order to evaluate the influence of the system under potential dangerous situations on public roads a second series of riding tests was developed based on the manoeuvres trained during a motorcycle safety course. The trained manoeuvres should represent the response to a potential dangerous situation, inter alia braking at high speed to avoid a collision, braking and avoiding an obstacle in a bend and braking until the stop of the vehicle in a bend.

The identification of the working area of the system can be developed based on the analysis of dynamic parameters at the system intervention. In particular, the working area can be defined based on the curve radius and speed at the system activations in order to adopt parameters that can be retrieved also by the accident reconstruction.

### 2.3 Potential evaluation of cornering ABS based on real accidents and riding tests

The potential evaluation of a cornering ABS system was developed with a multi-step approach. At first, the motorcycle theoretical lean angle of the reconstructed accidents for steady state cornering at the bends where the accidents happened was calculated. The theoretical lean angle ( $\alpha$ ) was calculated as in Equation 1, where  $v_i$  is the velocity of the motorcycle at the beginning of the bend,  $g$  is the earth gravity and  $r$  the bend radius.



$$\alpha = \arctan\left(\frac{v_i^2}{g * r}\right) \quad (\text{Equation 1})$$

Fig. 2: Representation of the lean angle  $\alpha$ .

In case the theoretical lean angle of the motorcycle was equal or minor to  $20^\circ$  the accident was considered not relevant for the cornering ABS system as a standard ABS system would already have had an effect, otherwise it was considered for the next steps of the analysis. Therefore, the potential evaluated in this study is always considered in addition to standard ABS.

The accidents parameters were then compared to the working area of the system in order to identify a possible intervention in such a situation. Moreover, considering a coefficient of friction  $\mu$  between tyres

and road of 0,8 in case of dry road an 0,5 in case of wet road, the accidents beyond the physical lean angle limit of the vehicle were excluded.

For the definition of the potential of the system, the accident causes were considered. In case of loss of control of the vehicle and fall before departing from the own lane, a positive accident avoidance potential was addressed to the system.

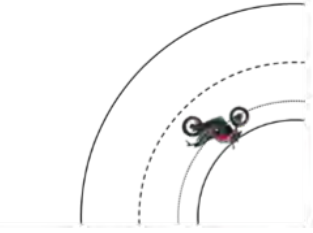
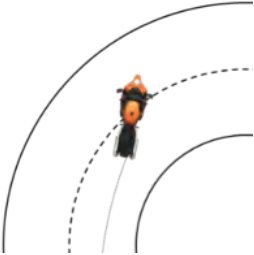
In case of lane departing or collision before lane departing due to insufficient or no braking, the distance between the beginning of the braking phase, in case of insufficient braking, and lane departure or collision was calculated. This distance was defined as available distance for braking by the system. In case no motorcyclist reaction was found in the accident reconstruction, the beginning of the curve was considered as starting point for the calculation of the available distance for braking.

Based on the vehicle speed, the theoretical lean angle, as described in Equation 1, was calculated and used for the estimation of the maximal braking force based on the circle of forces. In particular, the maximal deceleration for a lean angle of the vehicle  $\alpha$  and a coefficient of friction between tyres and road  $\mu$  can be calculated as:

$$dec_{max} = \sqrt{(g * \mu)^2 - [g * \tan(\alpha)]^2} \quad (\text{Equation 2})$$

Considering the maximal available distance for a braking manoeuvre, the maximal achievable deceleration as calculated in Equation 2, a brake pressure build up time of 0,3 s and no modification of the trajectory of the vehicle, collision avoidance potential of the system was assessed if the speed at the end of the available braking distance was equal to zero. In case of remaining speed different from zero, it was observed if the speed before lean departure could allow to ride the rest of the bend with a lean angle of 20 °. This value was chosen as representative of the maximal lean angle that most motorcyclists achieve in an unexpected situation.[17] In positive case an extra accident avoidance potential thanks to reduced lean angle needed to ride safely the bend was addressed to the system. For the remaining accidents the speed at the lane departure or at a collision before lane departure between the reconstructed accident and after the analysis of the influence of cornering ABS was compared in order to assess an lane departure or impact speed reduction potential (see also Table 2).

Table 2: Resuming table of the different possibilities considered for the evaluation of the potential of cornering ABS.

<p><b>Real accident</b></p>	 <p>Loss of control and fall before lane departure</p>	 <p>Lane departure or collision before lane departure due to inadequate reaction</p>		
<p><b>Influence of cornering ABS</b></p>	<p>Loss of control and fall is avoided</p>	<p>Improved braking phase and stop of the vehicle before lane departure or collision</p>	<p>Improved braking phase and achievement of a speed that allow to ride the bend with a lean angle of 20°</p>	<p>Improved braking phase and reduction of the lane departure or collision speed</p>
<p><b>Potential addressed</b></p>	<p>Potential for accident avoidance</p>	<p>Potential for accident avoidance</p>	<p>Potential for accident avoidance thanks to reduced lean angle needed</p>	<p>Potential for speed reduction before lane departure or collision</p>

### 3 Results

#### 3.1 Evaluation of theoretical potential of cornering ABS

##### 3.1.1 Statistical analysis of accident configurations for motorcycles

At first, the data of the Austrian road accidents statistical database were investigated in order to define the current accident configurations distribution and the relevance of curve accidents.

In total 52652 accidents in Austria with at least one motorcycle involved between the year 2002 and 2016 were considered. The accidents were divided into four categories based on the accident location. Accidents whose location was not known or could not be easily categorized (i.e offroad, etc.) were categorised as “Other”.

Considering the overall distribution, the most frequent accident location is a straight road (34 % of all considered accidents) while 33,2 % of all accidents were found on intersections. Bends are present as third most frequent accident location with 26,5 % of all accidents. Nevertheless a different situation appears if the distribution of fatalities is considered: 46,5 % of all fatalities are found to happen in bends

while accidents on straight sections and on intersections are responsible respectively for 29,3 % and 22,3 % of all fatalities (see Figure 3).

It is therefore clear that motorcyclists have a much bigger risk of being killed in an accident in a bend than in any other accident location.

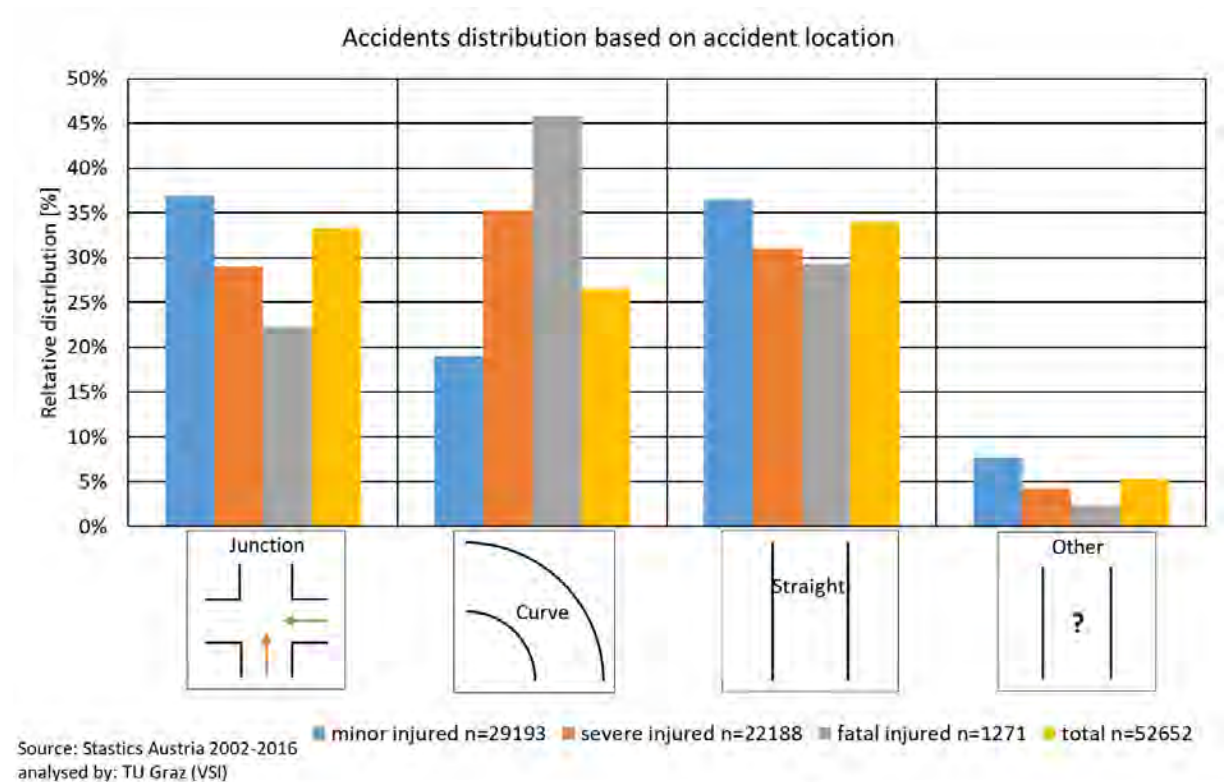


Fig. 3: Accidents distribution based on the accident location retrieved from the analysis of the data of the Austrian road accidents statistical database.

Accidents in a bend were then analysed further in order to define relevant accident configurations (see Figure 4). At first, the accident configurations were divided into three macro-categories: “single vehicle accidents”, “head-on accidents” and “rear-end accidents”

The analysis showed that single vehicle accidents are the most frequent accident category in a bend, covering more than 70 % of all accidents in a bend. The importance of single vehicle accidents in a bend does not appear only observing their overall frequency but also their relevance for the fatalities. In fact, single vehicle accidents count for almost 54 % of fatalities in a bend. The most frequent accident configuration for single vehicle accidents is a run-off-road to the right in a left curve (34 % of all accidents in a bend). The same configuration is also responsible for 30 % of all fatalities in a bend. The respective configuration for the right curve (run-off-road to the left in a right curve) is the second most frequent accident configuration in a bend (14 % of all accidents in a bend).

Head-on accidents play also an important role. A head-on collision with another vehicle represents a very dangerous impact configuration for a motorcyclist and this can be observed in the high percentage of accidents with fatal consequences. In fact, head-on accidents are responsible for 43 % of motorcycle fatalities in a bend although only 20 % of accidents in a bend are head-on accidents. The most frequent head-on collision configuration is a sideswipe collision (8 % of all accidents in a bend), nevertheless the accident configuration covering the most fatalities in this macro-category is a head-on collision (22 % of all motorcycle fatalities in a bend). Rear-end accidents cover only 6 % of accidents in a bend and are usually responsible for minor injuries (see Figure 4).

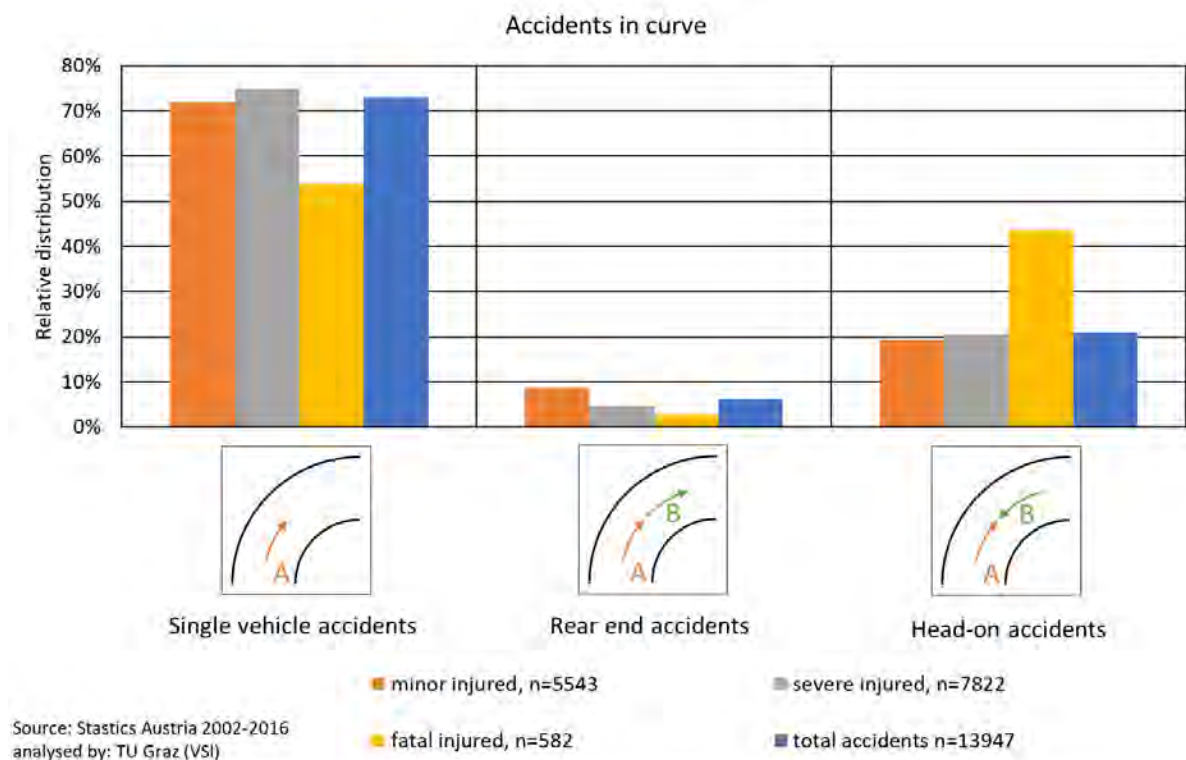


Fig. 4: Resuming chart of the distribution of the three identified macro categories of accidents in a bend for motorcycles.

### 3.1.2 In-depth analysis of motorcycle accidents in a bend

As in the Austrian road accidents statistical database is not possible to identify clearly the cause and the parameters of the accident, a sample of accidents based on the accident distribution found in the Austrian road accidents statistical database was retrieved from the CEDATU database. This sample contains 98 accidents, 37 of them happened in a bend. Based on the accidents reconstructions the accidents outside a bend were evaluated not representative for the analysis of the potential of cornering ABS as an upright position of the motorcycle at the collision was usually found. Only bend accidents were therefore considered for the evaluation of the cornering ABS system.

In 33 % of the sampled accidents in a bend, it was not possible to clearly define the accident cause based on the reports data. In these accidents, the motorcyclist usually departed from his/her lane, leading to a collision to another vehicle or an infrastructure object. Nevertheless no signs of strong decelerations or loss of control of the vehicle were observed in the accidents reports, leading to the conclusion that the motorcyclist did not react correctly (i.e. brake enough) or at all to the onset of the dangerous situation (i.e. approaching a curve at too high speed for his/her skills), departing from his/her lane and causing the accident. The problem of an inadequate reaction in case of approaching a curve at a subjective too high speed was found also by [17] and it is usually connected to the “lean angle fear”. This term indicates the fear to increase the lean angle of the vehicle in a bend due to felt inadequate skills or shock.

In 24 % of the analysed accidents in a bend the opposite situation was found: the motorcycle fell down before colliding with another vehicle or departing from the lane. The cause of the fall can be found in an inadequate braking manoeuvre: the motorcyclists did not apply the right braking pressure to maintain an adequate traction, therefore losing control of the vehicle.

The error of another road user and wrong road use were found as third most frequent cause of accidents in a bend (11 % of the analysed accidents). By an error of another road user, the vehicle departed from its lane and collided with the approaching motorcycle. In these accidents, usually, no action by the motorcyclists is found before the collision. Motorcyclists’ errors are found in 16 % of the analysed accidents in a bend; in particular 5 % of the analysed bend accidents were caused by an overtaking manoeuvre of the motorcycle that led usually to a collision with the vehicle approaching in the other direction. In 11 % of the cases, a wrong road use (i.e. driving on the wrong lane) was found as cause of the accident. Technical problems of the motorcycle or external factors were found as the cause of 8 % of the cases. Moreover in 8 % of the analysed accidents a loss of control was found not by braking but during the acceleration phase.

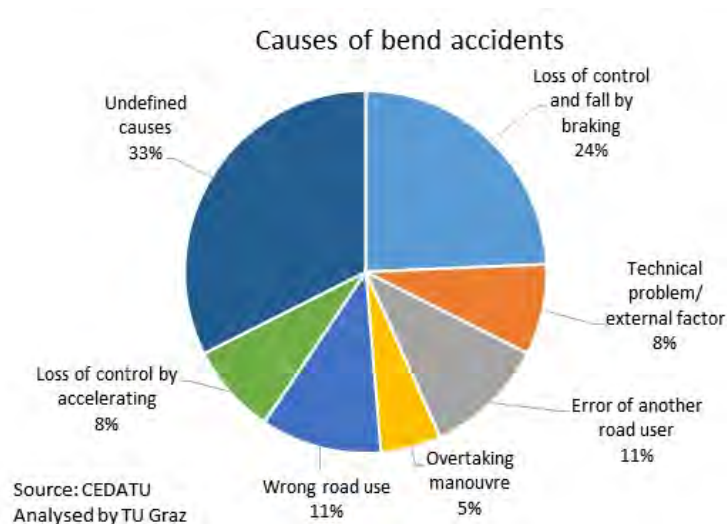


Fig. 5: Causes for accidents in a bend as found by the analysis of the reconstructed accidents from the CEDATU database.

Based on the accident causes a first theoretical evaluation of the potential of the cornering ABS is possible. Considering the workings of the system and supposing an adequate braking reaction of the rider, the system would have an impact in all accidents due to an inadequate braking by the rider (i.e.: accidents by “undefined causes” and “loss of control and fall by braking”) and therefore a theoretical potential influence based on statistical data in 57 % of all bend accidents. This result will be refined in the next steps of the investigation.

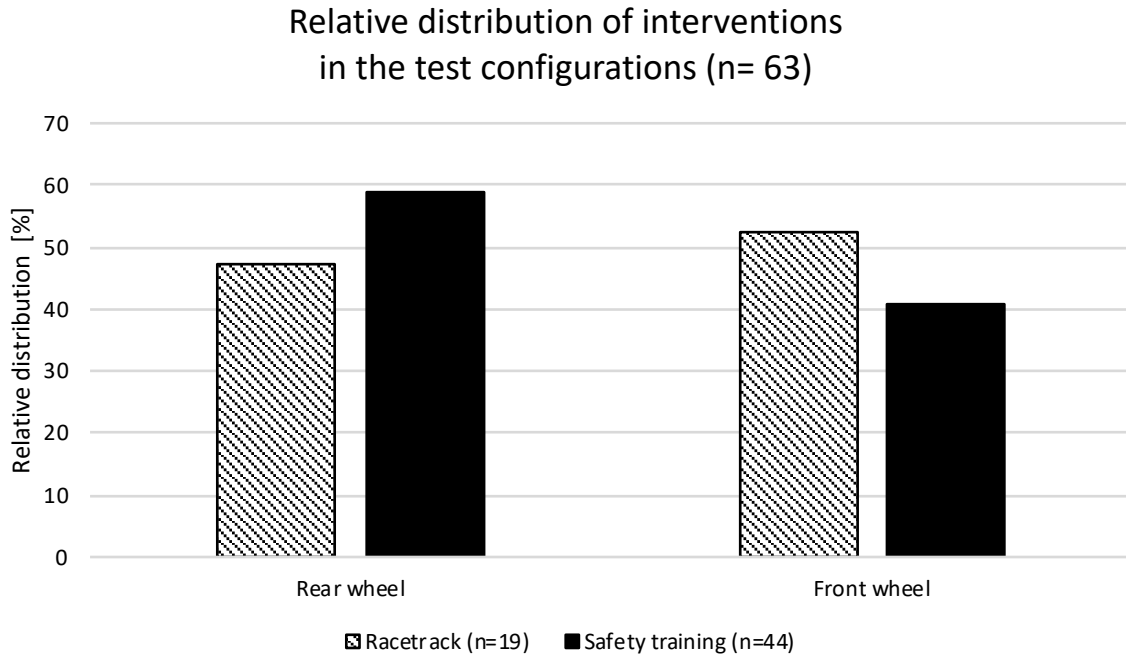
### 3.2 Evaluation of the working area of the system

In order to define the working area of the system riding tests based on two different scenarios were developed (see chapter 2.2). In total seventeen motorcyclists took part in the tests, nine at the racetrack tests and eight at the safety training tests. For the racetrack test three different KTM 1290 Super Duke R were used, while for the safety manoeuvre tests a KTM 1290 Super Duke R and a KTM 790 Duke were used (see Figure 1). All motorcycles were equipped with a cornering ABS system.

In total 63 valid activations of the ABS at the front or rear wheel while the absolute value of the lean angle of the motorcycle was more than 20 ° were found. The activations with a lean angle below 20 ° were not considered in this analysis as they are defined as representative activation for a standard ABS system.

During the racetrack tests, 19 activations were recorded, while 44 interventions were registered during the safety training tests. In order to observe the braking behaviour of the test riders, the interventions at the front and rear wheel were investigated. During the racetrack tests, 9 activations at the rear wheel were measured while 10 at the front wheel, for the safety training tests the activations were 26 at the rear wheel and 18 at the front wheel. This indicates that an activation of the system at the rear wheel is almost as frequent as on the front wheel in a “controlled” situation, as in case of the racetrack tests. In case of a potential sudden dangerous situation (i.e. avoiding a vehicle in a bend) as the manoeuvres of the safety training tests, the ABS was more often active on the rear wheel. This can be due to the tendency to avoid to apply too much braking power on the front wheel while cornering due to the potential onset of a sliding behaviour of the wheel.





*Fig. 6: Distribution of activation of the system on the front and rear wheel in the two test scenarios.*

Moreover, the distribution of the leaning angle at the system activation was analysed (see Figure 7). As it is possible to observe, the most interventions of the system are in the range  $20^{\circ}$ - $30^{\circ}$  in case of the measurement based on the safety training, while in case of the racetrack tests 50 % of the activations were detected while the motorcycle had a lean angle bigger than  $40^{\circ}$ . This is a proof of the wide working range of the system nevertheless, it has to be noted that these interventions were triggered by two test riders only.

More frequent interventions also at angles bigger than  $30^{\circ}$  were found in the case of the safety training scenario. In this scenario the riders were confronted with different situations in which a change of trajectory in a reduced time was needed (i.e. avoiding an obstacle), thus requiring a bigger leaning angle.

Relative distribution of lean angle at intervention (n=63)

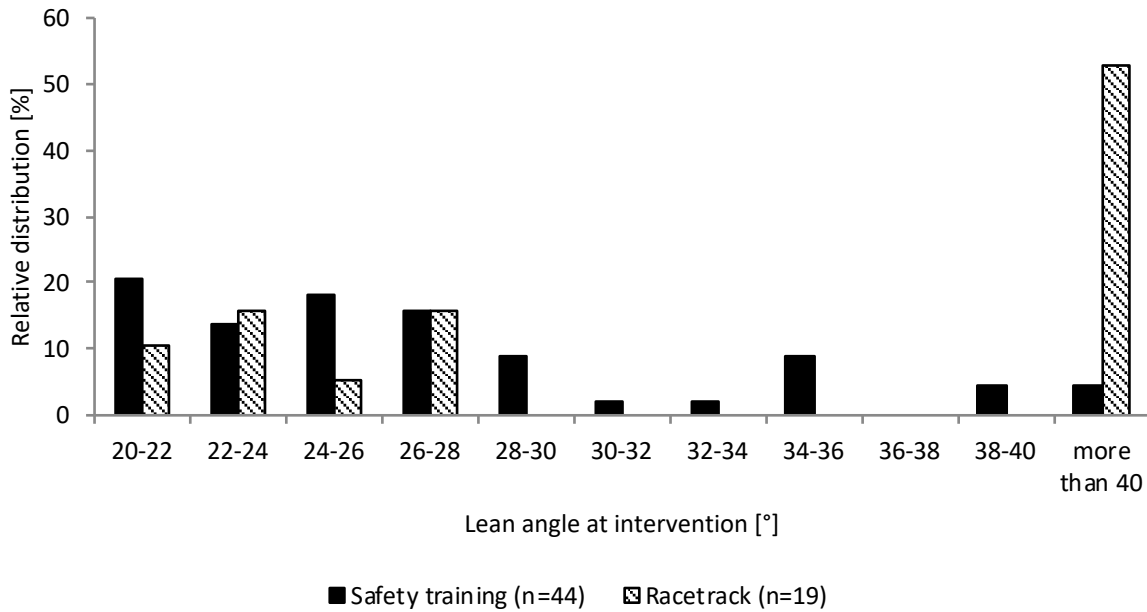


Fig. 7: Distribution of the lean angle at system activation for the two considered test scenarios.

More evident differences can be found in the analysis of the distribution of the vehicle speed at the system intervention (see Figure 8). In case of the safety training tests the most frequent speed at activation was in the range 40-50 kph, while no intervention at a speed major than 90 kph was found. In case of the racetrack tests, a much wider range of intervention could be found (interventions between 50 and 230 kph). The differences can be explained considering the characteristic of the test scenarios. In the safety training scenario, manoeuvres were trained in order to avoid possible accidents on the road. Therefore, also the speed at which these manoeuvres were trained was in line with the allowed speed on public roads. On the other side in case of the racetrack tests, no speed limitations were present and higher speeds were also possible due to boundary conditions of the infrastructure itself.

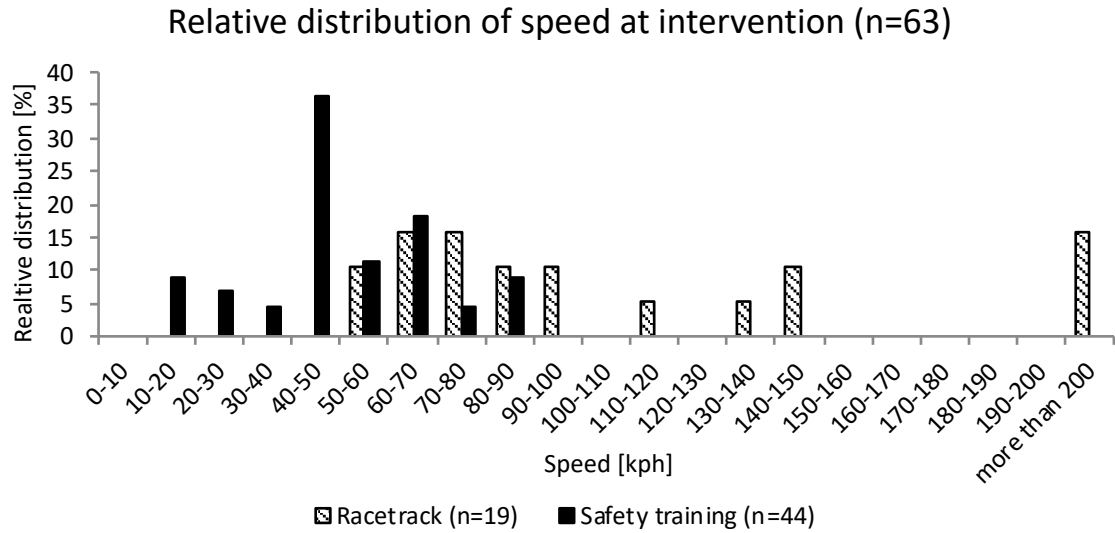


Fig. 8: Distribution of the speed at system activation with a lean angle bigger than 20 ° in the two test scenarios.

Based on the GPS coordinates, the curve radiuses of the vehicle trajectory at the system interventions were calculated. Observing the curve radiuses and the speed at the system activations it can be noted that the interventions in the safety training scenarios cover smaller radiuses and were observed at more reduced vehicle speeds than in case of the racetrack scenario. On the other side, the activations at the racetrack can be found at higher speed and beyond the upper limit of the activations found in during the safety training measurements (see Figure 9).

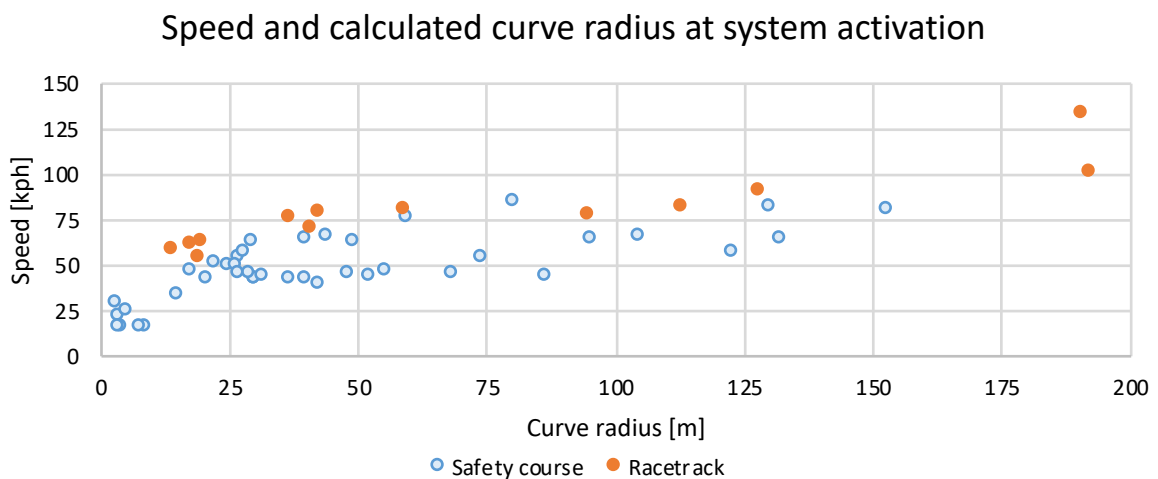


Fig. 9: Resuming chart of the calculated curve radius of the trajectory and speed at the system intervention for a curve radius minor than 200 m (92 % of the measured activations).

The working area of the system was defined based on the curve radius of the vehicle and speed at system activations as retrieved in the two test scenarios. While a more precise definition of the working area of the system based also on other data of the motorcycle CAN is possible (i.e. brake pressure gradient,

lateral acceleration, etc.), the lack of this information in case of the reconstructed accidents do not permit to follow this approach. The working area of the system was therefore evaluated based on the upper and lower limits of the speed at the system activations for the different curve radiuses.

### 3.3 Potential evaluation of cornering ABS based on real accidents and riding tests

For the further evaluation of the potential of cornering ABS just the accidents caused by an inadequate braking manoeuvre of the rider (n=21) were considered, as expressed in chapter 3.1.2.

At first the speed of the vehicle at the beginning of the bend for the reconstructed accidents was compared with the theoretical speed to ride the same curve with a lean angle of  $20^\circ$ . From the investigation it was found that in 11 % of the considered accidents (n=4), the calculated lean angle of the motorcycle in the bend was less than  $20^\circ$ , indicating therefore that a standard ABS would have already been beneficial. Therefore, these accidents were not considered in the further steps of the investigation.

The curve radiuses and speeds of the accidents, retrieved from the reconstruction, were then compared with the working area of the system defined with the riding tests. The analysis showed that all reconstructed accidents are included in the operating range of the system except two cases, in which the motorcyclist approached the curve with too high speed to ride the bend. These two cases were not considered for the further analysis as they were outside the physical lean angle limits of the vehicle. Two more accidents were excluded as the theoretical lean angle calculated with Equation 1 was beyond the physical limits. These accidents appear anyway inside the working area of the system as the friction coefficient between road and tyres in case of the riding tests was higher than the value supposed for the accidents.



Fig. 10: Comparison of the identified working area of the system with the accidents parameters for accidents in a bend. Note that only the accidents in a bend with a radius minor than 200 meters (94 % of the considered accidents) are displayed.

The remaining accidents were then analysed based on the method described in chapter 2.3. In particular four accidents were found in which the motorcyclist lost the control of the vehicle and fell down before departing from his/her lane. Based on the workings of the system, it is supposed that the system would have avoided a sliding behaviour while braking. Therefore, a positive impact for accident avoidance can be addressed to the system for these cases. Moreover, considering the accidents without loss of control and fall before lane departure three cases were found in which the system would have allowed a deceleration enough to stop the vehicle before departing from the lane or colliding with another vehicle. Therefore, the system could have avoided seven of the sampled 37 accidents in a bend and have thus an accident avoidance potential for accidents in a bend of 19 %, in addition to standard ABS.

Moreover, in other three accidents the deceleration allowed by the system would have permitted the motorcyclist to achieve a speed before lane departure adequate to allow him/her to ride the rest of the curve with a lean angle of 20 °. Therefore, an accident avoidance potential for accidents in a bend thanks to reduced lean angle needed to ride safely the bend equal to 8 % can be addressed to the system.

For the remaining accidents except one (n=2) a reduction of the speed with which the motorcyclist departed from the lane or collided with another vehicle was found after the analysis of the impact of the system. It can therefore be stated that the potential for speed reduction before lane departure or collision of cornering ABS in addition to standard ABS is 5 % (see also Figure 11).

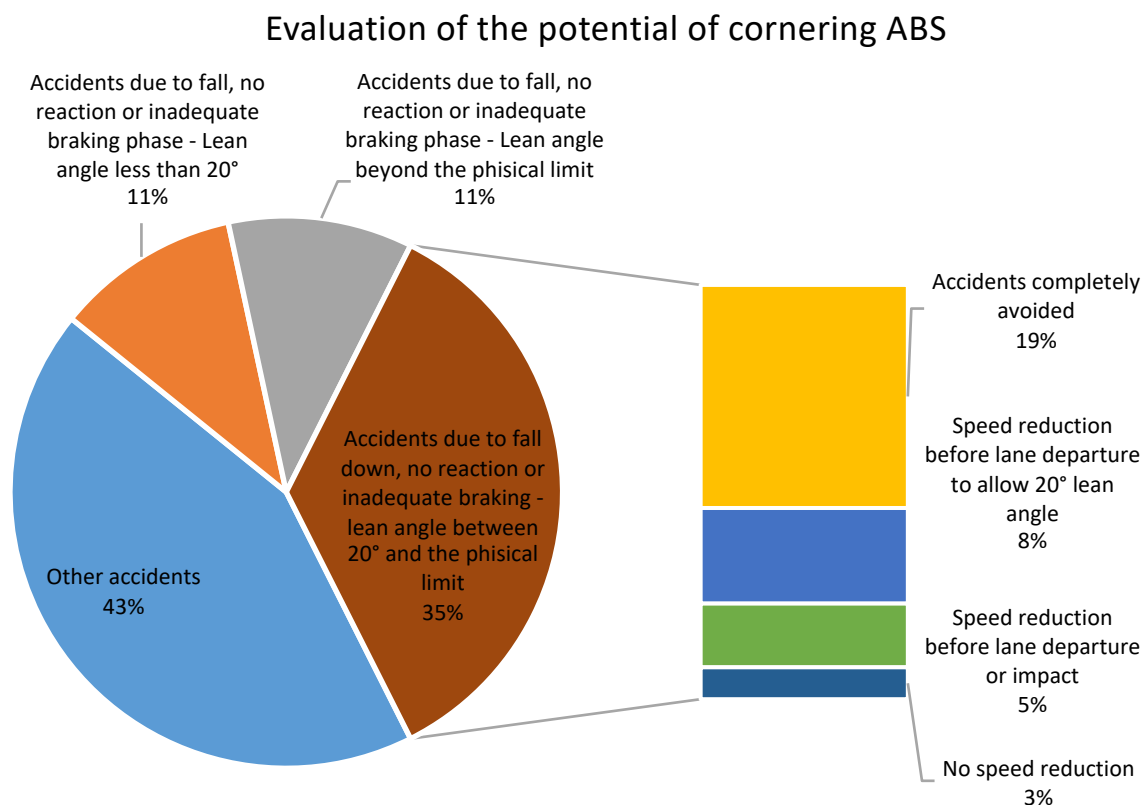


Fig. 11: Resuming chart of the results of the evaluation of the potential of cornering ABS.

It can therefore be stated that cornering ABS, in addition to standard ABS, can have a positive impact in 32 % of motorcycle accidents in a bend. In particular, based on the extrapolation of the results to the data of the Austrian road accidents statistical database, cornering ABS in addition to standard ABS would have a positive influence in 9 % of the motorcycle accidents with injuries in Austria and would have avoided almost 5 % of the accidents.

## 4 Conclusion and discussion

The presented study provides the evaluation of the potential of cornering ABS for the current accident scenarios. The relevance of bend accidents was evaluated based on 52652 motorcycle accidents with injuries of the Austrian road accidents statistical database. The results of the analysis were used also to retrieve a representative sample of accidents from the CEDATU database that were reconstructed with a multibody simulation software in order to define the accident parameters and causes.

Tests based on two different riding scenarios were developed to investigate the working area of the system. The working area was defined based on the parameters “curve radius” and “vehicle speed” in order to compare this information with the data retrieved from the accident reconstructions.

The retrieved working area showed good compatibility with the actual motorcycle accidents in a bend, moreover the evaluation of the influence of cornering ABS based on analytical calculations permitted the analysis of the potential of the system

The investigation demonstrated that cornering ABS in addition to standard ABS could avoid 19 % of accidents in a bend, both thanks to avoiding the loss of control of the vehicle and increasing the achievable deceleration by the motorcyclist. Moreover, the system shows a positive impact for the reduction of the vehicle speed before lane departure or collision in at least 5 % of motorcycle accidents in a bend. Extrapolating these result to the actual accident scenarios for motorcycles, it can be stated that cornering ABS in addition to standard ABS could have a positive impact in 9 % of motorcycle accidents with injuries in Austria and avoid almost 5 % of the accidents.

It has anyway to be noted that in the aforementioned analysis, an appropriate reaction of the motorcyclist was considered in every accident while analysing the influence of cornering ABS. During the accident reconstruction it was found that an inadequate braking manoeuvre or a lack of reaction was a frequent factor in the accidents. Therefore, in order to achieve the full potential of the system, the motorcyclists need to know the advantages of cornering ABS and be trained in its use. By doing so also, a bigger impact of the system in the actual motorcycle accidents it is possible due to the possibility to avoid a modification of the vehicle trajectory due to the dynamic influence of a braking manoeuvre.

## 5 Acknowledgment

The project was funded by the Austrian Road Safety Fund (VSF) of the Austrian Ministry for Transport, Innovation and Technology. The authors thank also KTM AG for providing the test motorcycles and the measurements instrumentation used during riding tests, GA Promotion and ÖAMTC for providing support for the riding tests.

## References

- [1] European Commission, Road Safety: Data show improvements in 2017 but renewed efforts are needed for further substantial progress, Brussels, 10th April 2018.
- [2] European Commission, “Traffic Safety Basic Facts on Motorcycles & Mopeds,” June 2016, [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2016/motomoped.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2016/motomoped.pdf).
- [3] Evaluation of the potential of advanced rider assistance systems for the actual accident scenarios, 2017.
- [4] Donovan Green, “A Comparison of Stopping Distance Performance for Motorcycles Equipped with ABS, CBS and Conventional Hydraulic Brake Systems,”.
- [5] National Highway Traffic Safety Administration, “Evaluation of Motorcycle Braking System Performance and Characteristics Relative to Current Regulatory Standards,”.
- [6] National Highway Traffic Safety Administration, “Motorcycle Antilock Braking Systems and Crash Risk Estimated from Case-Control Comparisons,”.
- [7] National Highway Traffic Safety Administration, “Motorcycle Brake System Comparison Tests,”.
- [8] National Highway Traffic Safety Administration, “Motorcycling braking test report,”.
- [9] National Highway Traffic Safety Administration, “Review of Motorcycle Brake Standards,”.
- [10] M. Rizzi, J. Strandroth, and C. Tingvall, “The effectiveness of antilock brake systems on motorcycles in reducing real-life crashes and injuries,” Traffic injury prevention, vol. 10, no. 5, pp. 479–487, 2009.
- [11] Roll G., Hoffmann O., König J., “Effectiveness Evaluation of Antilock brake Systems (ABS) for Motorcycles in real world accident scenarios,”.
- [12] Teoh Eric R., “Effects of Antilock Braking Systems on Motorcycle Fatal Crash Rates: An Update,” Insurance Institute for Highway Safety, May 2013.
- [13] Thomas Lich, Wilko Gordon Block, S N Prashanth, Brad Heiler, ed., Motorcycle Stability Control - The Next Generation of Motorcycle Safety and Riding Dynamics, 2015.



- [14] Michael Gruber, Christian Matt, Ernst Tomasch, Alessio Sevarin, Harald Kolk, Christian Ellersdorfer, Christian Rathgeb, Ralf Risser, Lukas Hartwig, Karin Ausserer, Elisabeth Füssl, ed., Effectiveness assessment of a generic collision mitigation system for motorcycles at junctions, 2018.
- [15] Christian Ellersdorfer, Alessio Sevarin, Ernst Tomasch, Wolfgang Sinz, Arno Ebner, Nina Deitermann, Martin Forster, ed., Battery Safety Evaluation of Electric Driven Motorcycles from the Perspective of Accident Research, 2017.
- [16] KTM AG, [www.ktm.com](http://www.ktm.com).
- [17] M. Winkelbauer, A. Soteropoulos, F. Schneider et al., “Unfallursachen bei Motorradunfällen,” vol. 2017, 2017.

Limits of Autonomous Emergency Brake Systems for  
Powered Two-Wheelers – an Expert Study

Einsatzgrenzen automatischer Notbremssysteme für  
motorisierte Zweiräder – eine Expertenstudie

Nora Merkel, Raphael Pless, Konstantin Scheid, Hermann Winner  
TU Darmstadt Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD), Darmstadt, Germany

## Abstract

Using autonomous emergency brake systems in one-track vehicles is much more challenging compared to two-track vehicles. This is after all caused by the fact that the rider of a two-wheeler firstly needs to actively stabilize the vehicle at low speeds and that he secondly could destabilize it by incorrect actions. Thus, the intervention of an emergency brake system must not force the rider to reactions that could destabilize the system. Furthermore, the rider still needs to be able to perform his stabilization task.

In order to fulfill the described conditions, the maximum deceleration value that a possibly unprepared rider can handle has to be determined. Furthermore, it is important to identify the gradient to build up the deceleration without overburdening the rider. These investigations are performed within a riding study with expert riders on a test track.

The test vehicle for the experiments is equipped with a system that allows to initiate a braking maneuver externally via remote control. During the tests, the deceleration level and the deceleration gradients are increased. The test riders are experienced riding instructors. They assess which deceleration values and gradients are acceptable for average riders who are not prepared for a braking intervention.

The results from the expert study shown in this paper will be the base line for further tests in which the reactions of average riders to unexpected brake actuations will be investigated. The aim of these studies is to determine an envelope curve for the design of autonomous emergency brake systems for motorcycles.

## Kurzfassung

Im Vergleich zu Zweispurfahrzeugen birgt der Einsatz von automatischen Notbremssystemen in Einspurfahrzeugen ungleich größere Herausforderungen. Dies ist insbesondere darin begründet, dass der Zweiradaufsassende zum einen im Niedriggeschwindigkeitsbereich aktiv zur Stabilisierung des Fahrzeugs beitragen muss, zum anderen das System aber auch durch fehlerhaftes Eingreifen destabilisieren kann. Der Eingriff eines Notbremssystems ist also so zu gestalten, dass der Assende nicht zu einer Reaktion gezwungen wird, die zur Destabilisierung des Systems führt. Außerdem muss es ihm nach wie vor möglich sein, seiner Stabilisierungsaufgabe nachzukommen.

Um die genannten Voraussetzungen zu erfüllen, ist die Höhe der Verzögerung zu ermitteln, die einem womöglich unvorbereiteten Fahrer zugemutet werden kann. Außerdem ist zu untersuchen, mit welchem Gradienten die Verzögerung aufgebaut werden kann, ohne ihn zu überfordern. Dies wird im Rahmen einer Fahrversuchsstudie mit Experten untersucht.

In den Versuchen kommt ein Versuchsfahrzeug zum Einsatz, das das Auslösen einer Bremsung per Funkfernbedienung erlaubt. Es werden Bremsungen mit steigenden Verzögerungen und steiler werdenden Gradienten durchgeführt. Der Test wird mit Fahrlehrern und –trainern durchgeführt, die bewerten, bis zu welcher Höhe Verzögerungen für nicht auf einen Eingriff vorbereitete Durchschnittsfahrer zumutbar sind.

Die Ergebnisse dieser Expertenstudie, die in diesem Beitrag vorgestellt werden, bilden die Basis für Folgeversuche, bei denen die Reaktionen von Durchschnittsfahrern untersucht werden sollen, die von einem Bremseneingriff überrascht werden. Damit soll die Hüllkurve für die Auslegung von automatischen Notbremssystemen für Motorräder ermittelt werden.

Einsatzgrenzen automatischer Notbremssysteme für  
motorisierte Zweiräder – eine Expertenstudie

*Diesem Bericht liegen Teile der im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur, vertreten durch die Bundesanstalt für Straßenwesen, unter FE-Nr. 82.0661/2015 durchgeführten Forschungsarbeit zugrunde. Die Verantwortung für den Inhalt liegt allein beim Autor.*

*This report is based on parts of the research project carried out at the request of the Federal Ministry of Transport and Digital Infrastructure, represented by the Federal Highway Research Institute, under research project No. 82.0661/2015. The author is solely responsible for the content.*

# 1 Einleitung

Die Anzahl der Verkehrstoten in Deutschland folgt einem rückläufigen Trend. Bei Betrachtung der Statistik fällt jedoch auf, dass der Rückgang bei getöteten Zweiradfahrern im Verhältnis zu Pkw-Insassen deutlich geringer ausfällt (siehe Abbildung 1). Daraus folgt, dass der Anteil der der Zweiradfahrer an der Gesamtzahl der getöteten Verkehrsteilnehmer steigt. Während 1991 noch 11 % der Verkehrstoten Zweiradfahrer waren, ist der Anteil bis 2015 auf 20 % angestiegen<sup>1</sup>.

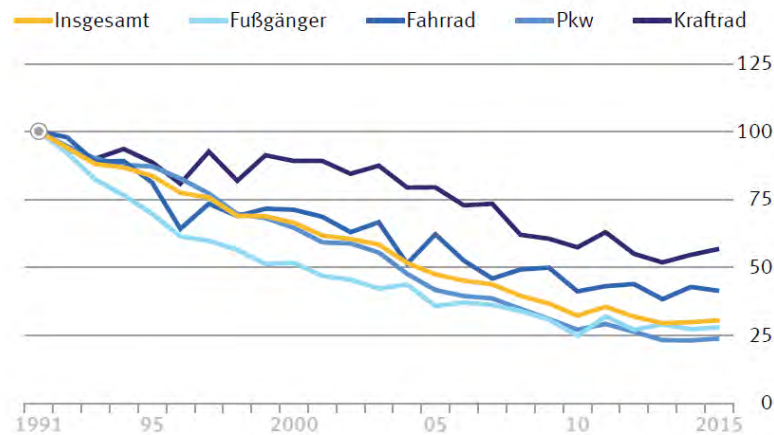


Abb. 1: Verkehrstote in Deutschland nach Verkehrsbeteiligung von 1991 bis 2015 (1991 = 100 %).<sup>1</sup>

Im Pkw-Bereich kommen bereits seit vielen Jahren Assistenzsysteme zum Einsatz, die zum Ziel haben, die Sicherheit zu verbessern. Beispielfhaft seien hier ABS (Anti-Blockier-System) und ESC (Electronic Stability Control) genannt, die mittlerweile verpflichtend für neu zugelassene Fahrzeuge sind. Aber auch weitere Systeme, wie automatische Notbremssysteme oder ACC (Abstandsregeltempomat) werden vermehrt eingesetzt. Eine Untersuchung der Unfallforschung des Gesamtverbands der Deutschen Versicherungswirtschaft (UDV) zeigt, dass der Einsatz von Fahrerassistenzsystemen sich positiv auf die Entwicklung von Sach- und Personenschäden auswirkt<sup>2</sup>.

Im Zweiradbereich fällt der Einsatz von Assistenzsystemen deutlich geringer aus. Die Ausrüstung neu zugelassener Fahrzeuge mit ABS ist seit 2017 gesetzlich vorgeschrieben. Auch Systeme Traktionskontrolle und Hinterrad-Abhebe-Kontrolle werden zunehmend eingesetzt. Dennoch befindet sich die Entwicklung weiterer Assistenzsysteme in einem sehr frühen Stadium. Dieser Rückstand vor allem darin begründet, dass sich durch die einspurfahrzeugspezifische Fahrdynamik im Vergleich zum Zweispurfahrzeug deutlich größere Herausforderungen ergeben. Es handelt sich beim Zweirad um ein grundsätz-

<sup>1</sup> Vgl. Statistisches Bundesamt: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen (2016), S. 29 f.

<sup>2</sup> Vgl. Hummel, T.: Ermittlung des Sicherheitspotentials (2011), S. 55.

lich instabiles System, das insbesondere im Niedriggeschwindigkeitsbereich durch den Aufsassen stabilisiert werden muss. Der Aufsasse besitzt mit bis zu 1/3 der Gesamtsystemmasse auch einen wesentlich höheren Einfluss auf die Fahrdynamik, beispielsweise durch Verlagerung seines Schwerpunkts. Eine weitere Herausforderung besteht im Fahrzeugverhalten unter Rollwinkel bei Kurvenfahrt. Beispielhaft seien hier Effekte wie das Bremslenkmoment und die enge Kopplung zwischen Lenkeingaben und Rollbewegung genannt. Aus den genannten Punkten ergibt sich, dass der Aufsasse eines Zweirads bei der Auslegung eines Assistenzsystems nicht außer Acht gelassen werden kann. Ein Eingriff kann nicht unabhängig vom Fahrer erfolgen, er muss vielmehr so gestaltet sein, dass der Fahrer weiterhin seiner Stabilisierungsaufgabe nachkommen kann und nicht zu einer unerwünschten Reaktion angeregt wird, die ggf. das Fahrzeug destabilisieren kann.

Insbesondere Notbremssysteme wurden durch den GDV als vielversprechende FAS für Motorräder identifiziert<sup>3</sup>. Im Bereich der automatischen Notbremssysteme sind bereits zahlreiche Forschungsaktivitäten bekannt. Einige Beispiele aus einem großen Umfang an Vorarbeiten werden im Folgenden kurz beschrieben.

Bereits im EU-geförderten PISA-Projekt (2006 bis 2010)<sup>4</sup> wurde ein Großroller mit einem automatischen Bremssystem ausgestattet. Basierend auf diesem System wurden Versuche durchgeführt, in denen nachgewiesen wurde, dass automatische Bremsungen mit einer mittleren Verzögerung von  $2,8 \text{ m/s}^2$  möglich sind, ohne dass der Fahrer einen Kontrollverlust verspürt<sup>5</sup>. In weiteren Arbeiten wurden Entscheidungslogiken diskutiert<sup>6</sup> und die Alternative des Ausweichens untersucht<sup>7</sup>. Des Weiteren wurde auch die (körperliche) Reaktion von Zweiradaufsassen auf eine unerwartete Verzögerung untersucht<sup>8</sup>.

Alle genannten Arbeiten befassen sich mit wichtigen Aspekten auf dem Weg zur Entwicklung automatischer Notbremssysteme für Motorräder. Insbesondere wird gezeigt, dass Verzögerungen im Bereich bis  $3 \text{ m/s}^2$  für Motorradaufsassen gut kontrollierbar sind und ihn in seiner Stabilität nicht negativ beeinflussen. Den Autoren ist jedoch keine Arbeit bekannt, in der Grenzen der maximalen Verzögerung ermittelt werden, bis zu der die Kontrollierbarkeit sichergestellt ist.

---

<sup>3</sup> Vgl. Hummel, T.: Ermittlung des Sicherheitspotentials (2011), S. 46.

<sup>4</sup> [www.pisa-project.eu/](http://www.pisa-project.eu/)

<sup>5</sup> Vgl. Savino, G. et al.: ITS development, implementation and testing (2010), S. 206.

<sup>6</sup> Vgl. Savino, G. et al.: Decision logic of MAEB (2012).

<sup>7</sup> Vgl. Giovannini, F. et al.: Minimum swerving distance for motorcycle autonomous braking (2013).

<sup>8</sup> Vgl. Symeonidis, I. et al.: Analysis of the stability of PTW riders in autonomous braking scenarios (2012).



Im Rahmen eines von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragten Projekts sollen deshalb Systemgrenzen ermittelt werden, innerhalb derer ein Einsatz automatischer Notbremssysteme im Motorrad möglich ist. Außerdem soll das Potential zur Unfallvermeidung bzw. Unfallfolgenminderung abgeschätzt werden, das sich aus diesen ermittelten Einsatzgrenzen ableitet.

Die Untersuchungen im Rahmen des Projekts setzen sich aus drei Versuchsreihen zusammen. Zunächst wird in einer Expertenstudie ermittelt, welche Verzögerungen für Normalfahrer im Probandenversuch zumutbar sind. Als Experten werden Fahrlehrer und Fahrtrainer herangezogen, die geübt darin sind, die Fähigkeiten von ungeübten Motorradfahrern einzuschätzen. Die Ergebnisse aus der Expertenstudie bilden die Grundlage für eine Fahrversuchsstudie mit Probanden, in der die Probanden in eine Situation gebracht werden, in der eine automatische Bremsung durch das Motorrad erfolgt. Ziel dieser Probandenstudie ist es, zu untersuchen, wie unvorbereitete Probanden auf einen automatischen Bremseingriff reagieren und inwiefern dieser geeignet ist, im Vergleich zur Bremsung durch den Fahrer selbst schneller Geschwindigkeit abzubauen. Aus Sicherheitsgründen werden im Fahrversuch nur Bremsungen in Geradeausfahrt und mit beiden Händen am Lenker durchgeführt. Um kritischere Szenarien wie einhändiges Fahren (z.B. Bedienung eines Navigationssystems) oder gar Freihandfahrt zu untersuchen, wird ergänzend eine Simulatorstudie mit dem dynamischen DESMORI-Motorradfahrersimulator<sup>9</sup> beim Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) durchgeführt.

## 2 Ziel der Expertenstudie

Eine automatische Notbremsung mit dem Motorrad setzt voraus, dass der Aufsasse bremsbereit ist. Diese Bremsbereitschaft zeichnet sich dadurch aus, dass der Fahrer in der Lage ist, die auf ihn wirkende Trägheitskraft abzustützen und im Verlauf eines Bremsvorgangs insbesondere im Niedriggeschwindigkeitsbereich seiner Stabilisierungsaufgabe nachzukommen. Die Bremsbereitschaft ist sicherzustellen, bevor eine maximale Verzögerung für ein Notbremsmanöver aufgebracht wird. Der Fahrer muss also dazu gebracht werden, den bremsbereiten Zustand einzunehmen. Dabei muss ihm unmissverständlich klarwerden, dass eine Bremsung bevorsteht. Eine Möglichkeit, eine intuitive Assoziation mit einer Bremsung hervorzurufen, besteht darin, vor der Notbremsung eine vorbereitende Teilbremsung durchzuführen. Diese Teilbremsung ist so auszulegen, dass sie das Fahrzeug nicht destabilisiert, aber dennoch den Fahrer zuverlässig zum Übergang in den bremsbereiten Zustand bewegt. Trotzdem sollte schon in der Phase der Teilbremsung so stark wie möglich verzögert werden, um möglichst viel Geschwindigkeit abzubauen.

---

<sup>9</sup> Vgl. Pleß, R. et al.: Manöverumsetzung auf einem Motorrad Fahrersimulator (2016).

Im Rahmen der Expertenstudie sollen verschiedene Bremsprofile untersucht werden, die als vorbereitende Teilbremsung in Frage kommen. Dabei geht es in erster Linie darum, herauszufinden, wie die Bremsprofile parametrisiert werden müssen, sodass sie für unvorbereitete Fahrer geeignet sind, was sich dadurch auszeichnet, dass der Fahrer wie zuvor beschrieben in der Lage ist, trotz des Bremsengriffs die Kontrolle über das Fahrzeug zu behalten.

Die im Expertenversuch parametrisierten Bremsprofile dienen dazu, in einer anschließenden Probandenstudie zu untersuchen, wie die verschiedenen Teilbremsungen sich auf den Übergang des Probanden in den bremsbereiten Zustand auswirken.

### 3 Methodik

#### 3.1 Vorgehen

Es werden drei Bremsprofile untersucht. Es handelt sich dabei um einen „Bremsimpuls“, einen langsamen Verzögerungsaufbau („Bremsrampe“) und eine konstante schwache Verzögerung („Blockbremsung“), siehe Abbildung 2. Das Versuchsfahrzeug ist so vorbereitet, dass die Bremsungen per Fernsteuerung ausgelöst werden können. Die Höhe der Verzögerung für Bremsimpuls und Blockbremsung bzw. der Gradient für die Bremsrampe können über das Messprogramm vorgegeben werden. Bei Bremsrampe und Blockbremsung wird zusammen mit der Aktuierung der Bremse auch die Kupplung ausgelöst.

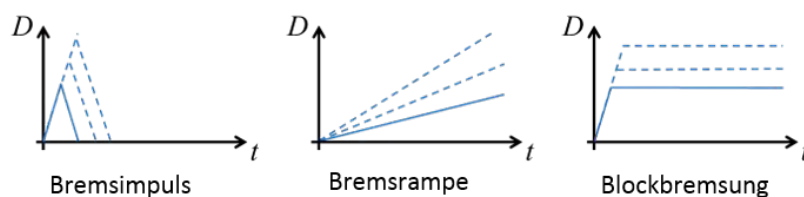


Abb. 2: Bremsprofile für vorbereitende Teilbremsung.

Die Testfahrer fahren mit einer vorgegebenen Startgeschwindigkeit und werden ferngesteuert gebremst. Dabei wird mit einer kleinen Verzögerung bzw. einem kleinen Gradienten begonnen. Die Intensität der Bremsungen wird solange gesteigert, wie der Experte die Bremsung als auch für einen unvorbereiteten Normalfahrer kontrollierbar einstuft. Der Versuch wird bei drei Startgeschwindigkeiten durchgeführt, um neben der Intensität der Bremsung auch den Einfluss der Geschwindigkeit auf die Kontrollierbarkeit zu untersuchen. Die Verzögerungsverläufe sind in Abbildung 3 schematisch dargestellt.

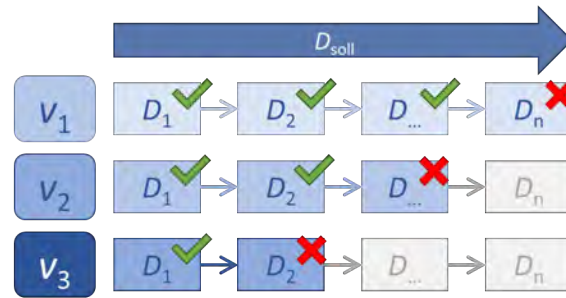


Abb. 3: Versuchsablauf in der Expertenstudie: Steigende Verzögerungsintensität bei verschiedenen Geschwindigkeiten.

Die untersuchten Geschwindigkeiten liegen bei 45 km/h, 70 km/h und 90 km/h. Es wird bei allen Probanden bei 70 km/h begonnen, da auch die späteren Probandenversuche bei dieser Geschwindigkeit durchgeführt werden sollen. Hier ist also eine möglichst unvoreingenommene Bewertung durch die Experten nötig. Die hier erzielten Ergebnisse dienen der Parametrierung der Probandenversuche. Anschließend werden die Versuche mit 45 km/h und 90 km/h durchgeführt, um den Einfluss der Ausgangsgeschwindigkeit auf die Kontrollierbarkeit zu untersuchen. Hierbei wird die Reihenfolge abgewechselt. Um bei der Auswertung einen Einfluss der unterschiedlichen Bremsprofile aufeinander zu minimieren, wird die Reihenfolge der Profile von Proband zu Proband variiert. Der Ablauf für fünf Expertenfahrer ist in Tabelle 1 dargestellt:

Tabelle 1: Permutation der Reihenfolge der Bremsprofile im Expertenversuch.

1.	Rampe	→	Impuls	→	Block
2.	Rampe	→	Block	→	Impuls
3.	Block	→	Impuls	→	Rampe
4.	Block	→	Rampe	→	Impuls
5.	Impuls	→	Rampe	→	Block

### 3.2 Messfahrzeug

Im Rahmen der Versuche kommt als Messfahrzeug ein Motorrad des Typs Honda NC700X zum Einsatz. Das Fahrzeug ist mit umfassender Messtechnik ausgestattet, die die Aufzeichnung des Fahrzustands (6-Achsen Inertialsensor, Federwege, Rad- und Motordrehzahlen, GPS) sowie der Fahrereingaben (Gasgriffstellung, Kupplungsweg, Bremsdrücke, Lenkwinkel- und Momente) erlaubt.

Neben der Sensorik ist das Fahrzeug mit einer Aktorik ausgerüstet, die eine Betätigung des Fußbremshebels erlaubt. Das System beaufschlagt mit Hilfe eines Elektromotors über ein Seilzugsystem den Hauptbremszylinder am Fußbremshebel mit Druck. Da das Fahrzeug mit einem Combined Brake Sys-

tem ausgestattet ist, erfolgt durch Betätigung des Fußbremshebels auch eine Teilbremsung am Vorderad. Die Ansteuerung des Bremsaktors ist in das Messsystem des Motorrads eingebunden und kann über eine Fernbedienung ausgelöst werden.

Um eine bessere Bremswirkung zu erzielen und um zu verhindern, dass bei einer ferngesteuert ausgelösten Bremsung durch unbeabsichtigte Eingaben am Gasgriff gegen die Bremsung beschleunigt werden kann, ist zusätzlich ein Kupplungsaktor verbaut, der über eine vorgespannte Feder bei Auslösung die Kupplung öffnet.

## 4 Ergebnisse

Die Expertenstudie wurde mit fünf Testpersonen auf dem Testgelände der TU Darmstadt auf dem August-Euler-Flugplatz in Griesheim durchgeführt. Es handelt sich bei den Teilnehmern um Fahrlehrer und Fahrtrainer, von denen drei schwerpunktmäßig in Fahrschulen tätig sind, also Fahranfänger unterrichten, während zwei hauptsächlich Trainings (Sicherheits-, Kurven-, Rennstreckentraining) anbieten. So ist sichergestellt, dass die Experten ein breites Spektrum an Fahrern kennen und einschätzen können. Jeder Proband durchlief Versuche mit allen drei Bremsprofilen bei 45 km/h, 70 km/h und 90 km/h. Die Probanden wurden nach jeder einzelnen Bremsung zu ihrer subjektiven Bewertung der Bremsung sowie zu ihrer Einschätzung bezüglich der Kontrollierbarkeit für Normalfahrer befragt.

### 4.1 Kontrollierbarkeit für Normalfahrer

Die Bewertung der Kontrollierbarkeit für Normalfahrer erfolgte durch eine Befragung im direkten Anschluss nach jeder einzelnen Bremsung, um möglichst unverfälschte Eindrücke des Experten zu erhalten. Die Bewertungsmöglichkeiten waren hierbei „zumutbar“ und „nicht zumutbar“. Sie werden im Folgenden durch die Symbole „✓“ (zumutbar) und „✗“ (nicht zumutbar) repräsentiert. An einigen Stellen zeigte sich, dass die Experten Bremsungen als „noch zumutbar, aber nah an der Grenze“ einstufen. Diese Einstufung wird als „zumutbar“ gewertet, wird in der Auswertung jedoch als „(✓)“ dokumentiert.

Die Kontrollierbarkeit für Normalfahrer wurde bei einer Startgeschwindigkeit von 70 km/h bewertet, da diese Geschwindigkeit auch als Versuchsgeschwindigkeit für die Probandenstudie vorgesehen ist. Die Startgeschwindigkeit wird von den Expertenfahrern nach Tachoanzeige eingestellt. Durch die Tachoabweichung liegen die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten bei ca. 62 bis 63 km/h.

### 4.1.1 Blockbremsung

Bei der Blockbremsung wird der Bremsdruck mit der maximal durch den Bremsaktor realisierbaren Geschwindigkeit aufgebaut. Der Aufbau von 30 bar Bremsdruck am hinteren Hauptbremszylinder geschieht in ca. 0,2 s. Die Kupplungsbetätigung erfolgt 0,1 s vor Bremsdruckaufbau. Der Bremsdruck wird bis zum Stillstand des Fahrzeugs aufrechterhalten. Ein Beispiel für eine Zielverzögerung von  $5 \text{ m/s}^2$  aus (nominellen)  $70 \text{ km/h}$  ist in Abbildung 4 dargestellt.

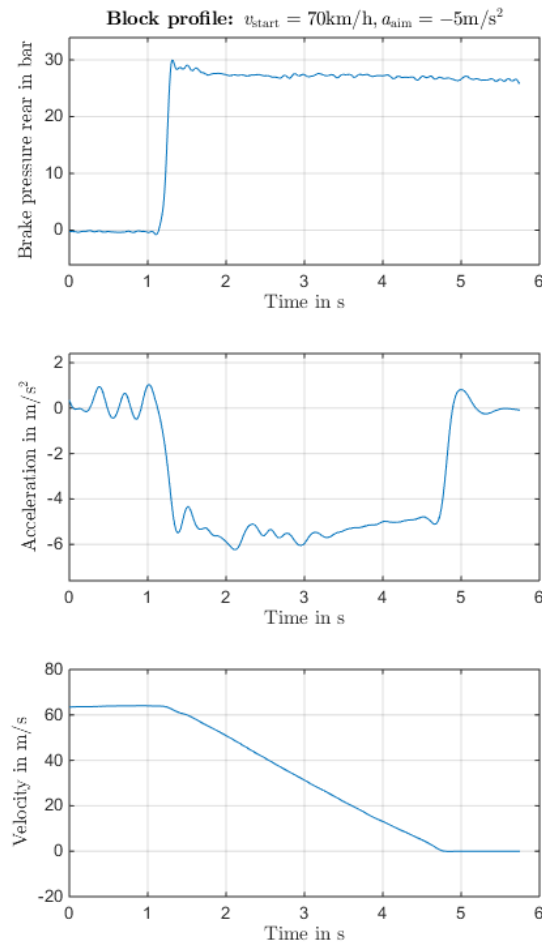


Abb. 4: Verzögerung Profil "Bremsblock" mit  $5 \text{ m/s}^2$  aus Zielgeschwindigkeit  $70 \text{ km/h}$ .

Ausgehend von einer Verzögerung von 2 bis  $2,5 \text{ m/s}^2$  wurden die Experten Bremsungen ausgesetzt, die sie im direkten Anschluss mit „zumutbar“ und nicht „zumutbar“ bewerteten. Die Bewertung bezieht sich hierbei immer auf einen unvorbereiteten Normalfahrer, der vom Eingriff überrascht wird. Es wurden von Bremsung zu Bremsung höhere Verzögerungen eingestellt. Die Zumutbarkeitsbewertung für das Blockprofil für eine nominelle Ausgangsgeschwindigkeit von  $70 \text{ km/h}$  kann Abbildung 5 entnommen werden.

Um die Grenze für zumutbare Verzögerungen für Normalfahrer festzulegen, wird zunächst die kleinste als „nicht zumutbar“ bewertete Verzögerung ermittelt. Ausgehend von dieser Verzögerung wird die nächstkleinere als „zumutbar“ bewertete Verzögerung identifiziert. Diese stellt die maximal für unvorbereitete Fahrer zumutbare Verzögerung dar. Für das Blockprofil ergibt sich eine maximal zumutbare Verzögerung von  $5 \text{ m/s}^2$ . Das Vorgehen ist in Abbildung 5 skizziert.

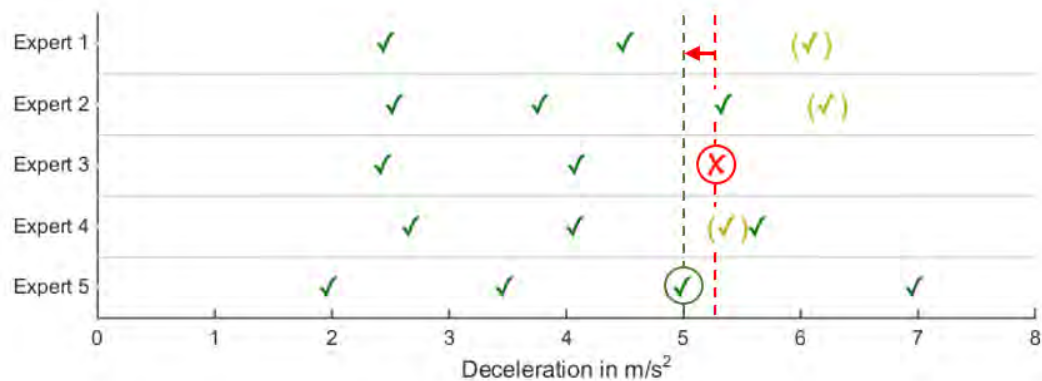


Abb. 5: Zumutbarkeitsbewertung des Blockprofils bei  $70 \text{ km/h}$  (Tachoanzeige).

Zusätzlich zur Bewertung der Zumutbarkeit hatten die Experten die Möglichkeit, eine Subjektivbewertung zu jeder Bremsung abzugeben. Hierbei sollten keine zusätzlichen Erkenntnisse bezüglich der Zumutbarkeit generiert werden, vielmehr dient die Subjektivbewertung der Dokumentation zusätzlicher Effekte, die einen positiven oder negativen Einfluss auf das Erreichen der Bremsbereitschaft beim Fahrer haben. Bei der Blockbremsung zeigte sich insbesondere, dass bereits das Öffnen der Kupplung und das damit einhergehende Wegfallen der Zugkraft die Aufmerksamkeit des Aufsassen fördert. Der Effekt wird durch das Hochschnellen der Motordrehzahl, das aus der noch nicht zurückgestellten Gasgriffstellung resultiert, verstärkt. Es wurde außerdem geäußert, dass die beginnende Verzögerung ein reflexartiges Greifen zu Kupplungs- und Bremshebel hervorruft. Die beschriebenen subjektiven Eindrücke der Experten weisen darauf hin, dass die Blockbremsung helfen kann, Bremsbereitschaft beim Aufsassen herzustellen. Ob der Effekt für unvorbereitete Normalfahrer in gleicher Weise zutrifft, bleibt im Rahmen der geplanten Probandenstudie mit einem größeren Teilnehmerkollektiv nachzuweisen.

Weiterhin stellte sich heraus, dass von manchen Experten stärkere Bremsungen sogar als angenehmer wahrgenommen wurden, da hier die Aufforderung an den Fahrer zu bremsen deutlicher wird.

#### 4.1.2 Bremsrampe

Zur Bewertung des Profils „Bremsrampe“ wird eine Zielverzögerung von  $5,5 \text{ m/s}^2$  mit verschiedenen Gradienten aufgebaut und hinsichtlich der Zumutbarkeit für unvorbereitete Normalfahrer bewertet.

Analog zur Blockbremsung wird auch hier die Kupplung 0,1 s vor Bremsdruckaufbau geöffnet. Abbildung 6 zeigt eine Bremsung des Profils „Rampe“ einer Zielgeschwindigkeit von 90 km/h mit einem Gradienten von  $3 \text{ m/s}^3$ . Systembedingt zeigt der Bremsdruck ein progressives Verhalten beim Anstieg. Der Effekt wird insbesondere bei niedrigen Gradienten deutlich, wie dem Bremsdruckverlauf in Abbildung 6 (oben) zu entnehmen ist.

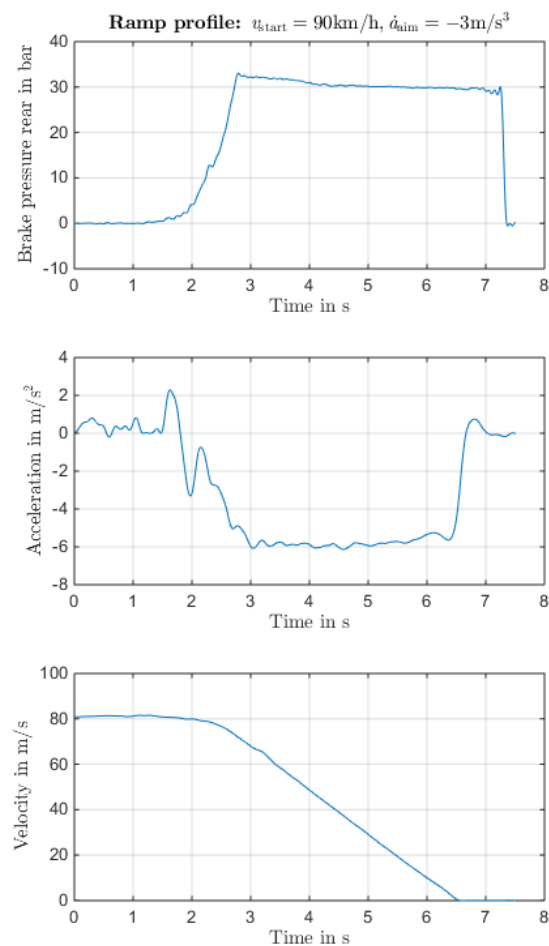


Abb. 6: Verzögerung Profil "Rampe" mit Gradient  $3 \text{ m/s}^3$  aus Zielgeschwindigkeit 90 km/h.

Auch hier erfolgt die Bewertung nach „zumutbar“ und „nicht zumutbar“. Wie Abbildung 7 zeigt, wurde im Fall des Profils „Rampe“ keine Bremsung als „nicht zumutbar“ eingeordnet, obwohl die maximal erreichte Verzögerung auf dem Plateau im Mittel mit  $5,5$  bis  $6 \text{ m/s}^2$  höher liegt, als die maximal zumutbare Verzögerung beim Blockprofil. Die Geschwindigkeit des Verzögerungsaufbaus scheint also einen messbaren Einfluss auf die maximal als zumutbar eingestuft Verzögerungen zu haben.

Die Experten schätzten Verzögerungsgradienten zwischen  $2,7$  und  $11,6 \text{ m/s}^3$  durchweg als für unvorbereitete Normalfahrer zumutbar ein. Davon ausgehend, dass also alle Gradienten in diesem Bereich

zumutbar sind, ist vor dem Hintergrund, dass mit einem Notbremssystem ein möglichst großer Geschwindigkeitsabbau angestrebt wird, ein großer Gradient für die Probandenstudie zu wählen. Da es sich bei den  $11,6 \text{ m/s}^3$  bei Experte 5 allerdings um einen systembedingten Ausreißer<sup>10</sup> handelt, der aus den gleichen Einstellungen wie die höchsten Gradienten bei Experte 2 und 4 resultieren, wird für die Probandenstudie der nächstniedrigere Gradient von  $9,1 \text{ m/s}^3$  festgelegt.

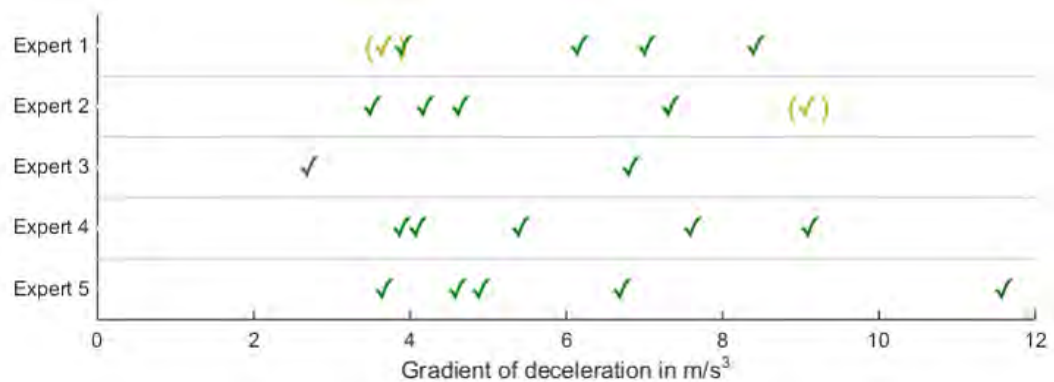


Abb. 7: Zumutbarkeitsbewertung des Rampenprofils bei 70 km/h (Tachoanzeige).

Die Subjektivbewertung zeigte, dass insbesondere bei niedrigen Gradienten der sehr langsame Bremsdruckanstieg nach Öffnen der Kupplung irritierend ist, da die Zugkraft wegfällt, die Situation aber nicht sofort als Bremsengriff verstanden wird. Zusätzlich negativ wurde bei niedrigen Gradienten der progressive Anstieg des Bremsdrucks wahrgenommen. Hierbei muss der Fahrer die Abstützung seiner Oberkörperbewegung kontinuierlich einem nichtlinearen Verzögerungsverlauf anpassen. Die kürzere Anpassungsphase bei stärkeren Gradienten wurde als einfacher umsetzbar beschrieben. Zusätzlich zum Vorteil des stärkeren Geschwindigkeitsabbaus spricht also auch die Subjektivbewertung für die Anwendung höherer Gradienten für das Rampenprofil.

Im Vergleich von Block- und Rampenprofil zeigte sich, dass die Experten sich bezüglich einer Präferenz nicht einig wurden. Teilweise wurde die Rampe als besser geeignet bewertet. Argument war hierbei, dass der Fahrer mehr Zeit hat, sich auf die Bremsung einzustellen als beim Blockprofil. Im Gegensatz dazu bewerteten andere Experten die Blockbremsung besser, was damit begründet wurde, dass sofort klar wird, dass das Fahrzeug eigenständig bremst und so schneller reagiert werden kann. Es bleibt abzuwarten, ob sich diese gegensätzlichen Subjektivbewertungen auch im Probandenversuch mit unvorbereiteten Normalfahrern zeigen.

<sup>10</sup> Der Motor zur Bremsbetätigung stellte sich nach der vorherigen Bremsung nicht korrekt zurück und erreichte dadurch einen höheren Zielwert, als vorgesehen.



### 4.1.3 Bremsimpuls

Beim Bremsimpuls wird der aufgebaute Bremsdruck nicht gehalten, sondern direkt wieder abgebaut. Im Gegensatz zu den beiden zuvor beschriebenen Profilen, wird hierbei die Kupplung nicht geöffnet und es erfolgt keine Verzögerung in den Stand. Wie Abbildung 8 zeigt, ist der Bremsimpuls im Geschwindigkeitsverlauf erkennbar, führt jedoch nicht wie bei den Profilen „Block“ und „Rampe“ zu einem deutlichen Geschwindigkeitsabbau.

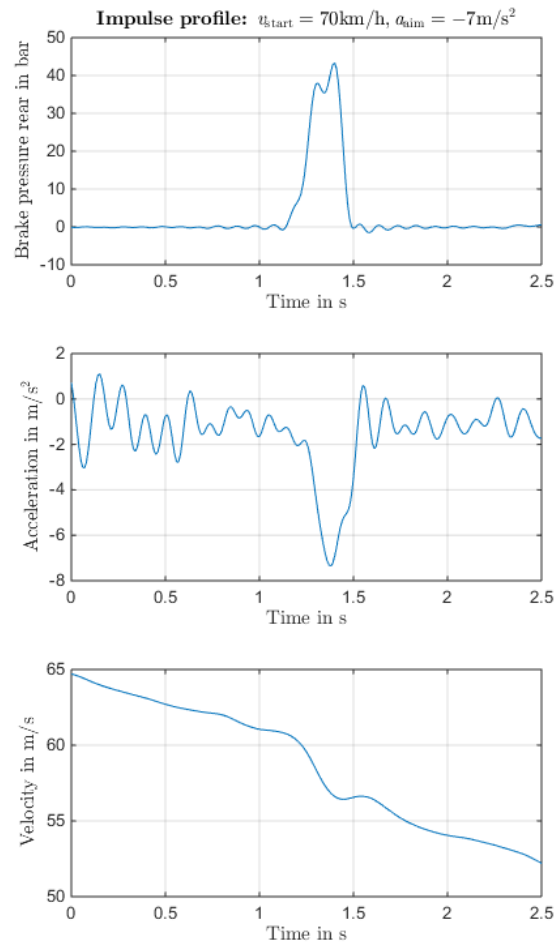


Abb. 8: Verzögerung Profil "Impuls" mit  $7\text{ m/s}^3$  aus Zielgeschwindigkeit  $70\text{ km/h}$ .

Die Bestimmung der Grenze der Zumutbarkeit für unvorbereitete Normalfahrer für das Profil „Impuls“ erfolgt analog zur Blockbremsung. Die niedrigste als „nicht zumutbar“ bewertete Verzögerung liegt bei  $5,6\text{ m/s}^2$ . Die nächstniedrigere als „zumutbar“ bewertete Verzögerung liegt bei  $4,7\text{ m/s}^2$ . Hier liegt somit die maximal zumutbare Verzögerung für den Ruck bei einer Startgeschwindigkeit von  $70\text{ km/h}$ .

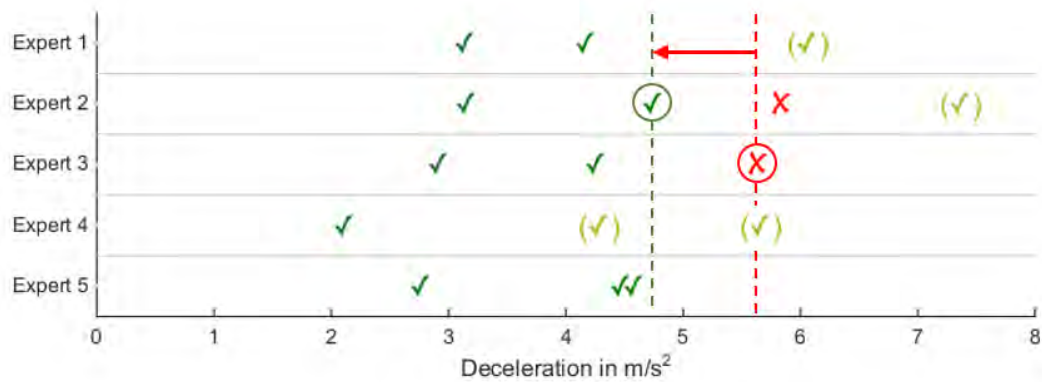


Abb. 9: Zumutbarkeitsbewertung des Impulsprofils bei 70 km/h (Tachoanzeige).

Die Subjektivbewertung ergab, dass beim Bremsimpuls durch das fehlende Öffnen der Kupplung bei niedrigen Verzögerungen von 2 bis 3 m/s<sup>2</sup> der Eingriff kaum zuzuordnen war. Mehrere Experten meldeten zurück, dass der Bremsimpuls kaum von einer Bodenwelle zu unterscheiden sei. Stärkere Impulse wurden dahingegen als sehr geeignete Warnung oder Aufforderung zum Bremsen wahrgenommen. Es wurde jedoch auch angemerkt, dass der Impuls den größten Überraschungseffekt hat und damit am meisten Gefahr für eine fehlerhafte Reaktion des Fahrers birgt.

Eine Auffälligkeit, die außerdem beobachtet wurde, besteht in der Oberkörperbewegung. Der Oberkörper wird – wie bei Blockbremsung und Rampe auch – während der Bremsung nach vorne verlagert. Durch das sofort darauffolgende Nachlassen der Bremsung folgt eine Oberkörperbewegung nach hinten relativ zum Fahrzeug. Hier wurde angemerkt, dass diese Rückverlagerung des Oberkörpers insbesondere bei mittleren Verzögerungen genau in dem Moment stattfindet, in dem der Fahrer als Reaktion auf den Eingriff zu Kupplung und Bremse greifen möchte. Diese durchaus gewünschte Reaktion wird dadurch verhindert, dass die Rückverlagerung des Oberkörpers durch Festhalten am Lenker abgefangen werden muss. Bei höheren Verzögerungen wurde der beschriebene Effekt nicht mehr wahrgenommen, da hier eine stärkere Oberkörperverlagerung stattfindet, die genügend Zeit für die gewünschte Reaktion lässt.

In der geplanten Probandenstudie ist hier ein Augenmerk auf störende Einflüsse durch den Eingriff durch einen Bremsimpuls zu legen.

## 4.2 Parametrierung der Probandenstudie

Mit der Zumutbarkeitsbewertung durch die Normalfahrer wurden für die drei Bremsprofile „Blockbremsung“, „Bremsrampe“ und „Bremsimpuls“ Verzögerungen bzw. Verzögerungsgradienten ermittelt, die einem unvorbereiteten Normalfahrer bei einer nominellen Ausgangsgeschwindigkeit von 70 km/h maximal zugemutet werden können. Die ermittelten Maximalwerte sind in Tabelle 2 zusammengefasst.

Tabelle 2: Zumutbarkeit der verschiedenen Bremsprofile bei 70 km/h.

Bremsprofil	Variierter Parameter	Ermittelter Maximalwert
Blockbremsung	Verzögerung	5 m/s <sup>2</sup>
Bremsrampe	Verzögerungsgradient	9,1 m/s <sup>3</sup>
Bremsimpuls	Verzögerung	4,7 m/s <sup>2</sup>

Die ermittelten Parameter dienen als Grundlage für eine nachfolgende Probandenstudie, in der ermittelt werden soll, inwiefern die untersuchten Bremsprofile als vorbereitende Teilbremsung geeignet sind. Die zumutbaren Verzögerungen bzw. Verzögerungsgradienten wurden bei einer nominellen Ausgangsgeschwindigkeit von 70 km/h ermittelt und dürfen auch nur bei unvorbereiteten Probanden auch nur bei dieser Versuchsgeschwindigkeit angewendet werden, da nicht ausgeschlossen ist, dass die maximal zumutbare Verzögerung von der Ausgangsgeschwindigkeit abhängt. Erste Untersuchungen zum Geschwindigkeitseinfluss auf die Zumutbarkeit von Verzögerungen liefert das folgende Kapitel.

### 4.3 Geschwindigkeitseinfluss

Neben der Zumutbarkeit der Bremsungen bei der für den Probandenversuch geplanten Geschwindigkeit von 70 km/h wurde die Zumutbarkeit der verschiedenen Bremsprofile von den Experten auch bei den Zielgeschwindigkeit 45 km/h und 90 km/h bewertet. Das Ziel besteht hierbei darin, zu untersuchen, ob die Ausgangsgeschwindigkeit einen Einfluss auf die Maximal zumutbare Verzögerung hat.

Um den Geschwindigkeitseinfluss zu betrachten, wird die Zumutbarkeitsbewertung bei verschiedenen Verzögerungen über den zugehörigen Startgeschwindigkeiten aufgetragen. Abbildung 10 zeigt die Bewertungen für das Blockprofil.

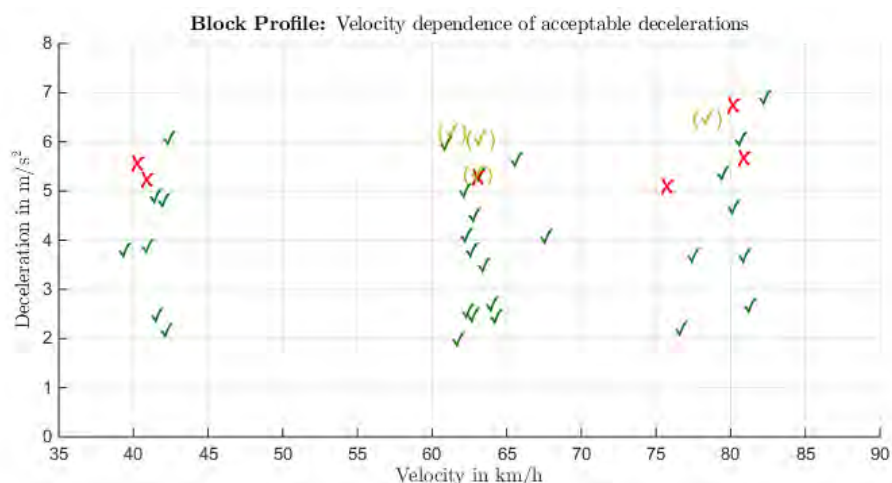


Abb. 10: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Zumutbarkeit beim Blockprofil.

Hier ist zunächst keine Tendenz zu verschiedenen Zumutbarkeitsschwellen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten ersichtlich. Für alle getesteten Geschwindigkeitsbereiche werden Verzögerungen ab ca.  $5 \text{ m/s}^2$  erstmals als nicht mehr zumutbar bewertet. Zu beachten ist jedoch, dass mit allen Experten zuerst die Versuche bei  $70 \text{ km/h}$  durchgeführt wurden, um für die Parametrierung der Probandenversuche eine möglichst unvoreingenommene Bewertung sicherzustellen. Somit ist nicht auszuschließen, dass bei den späteren Versuchen bei niedrigeren und höheren Geschwindigkeiten Gewöhnungseffekte zeigen. Um den Geschwindigkeitseinfluss detaillierter zu untersuchen, sind weitere Versuche mit unvoreingenommenen Experten durchzuführen. Die ermittelte maximal zumutbare Verzögerung gilt zunächst nur bei einer nominellen Versuchsgeschwindigkeit von  $70 \text{ km/h}$ .

Für das Rampenprofil zeigte sich bereits bei der Zumutbarkeitsbewertung bei  $70 \text{ km/h}$  in Kapitel 4.1.2, dass die Rampe im Vergleich zu den anderen Bremsprofilen als unkritischer eingeschätzt wird. Im Rahmen der Untersuchung der Geschwindigkeitsabhängigkeit zeigt sich, dass das Rampenprofil auch für die anderen Versuchsgeschwindigkeiten für alle getesteten Gradienten als zumutbar bewertet wird (siehe Abbildung 11). Es ist also davon auszugehen, dass innerhalb der betrachteten Geschwindigkeitsspanne (nominelle Versuchsgeschwindigkeiten  $45$  bis  $90 \text{ km/h}$  Rampenprofile mit dem genannten Gradienten angewendet werden können. Wie für das Blockprofil gilt jedoch auch hier, dass Gewöhnungseffekte nicht ausgeschlossen werden können und daher die Anwendung des ermittelten maximal zumutbaren Verzögerungsgradienten von  $9,1 \text{ m/s}^3$  zunächst nur für Versuchsgeschwindigkeiten von  $70 \text{ km/h}$  erfolgt.

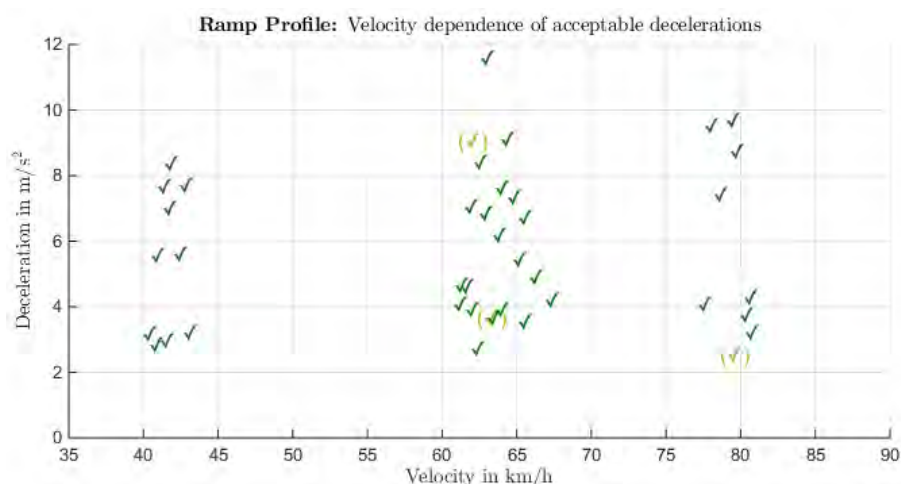


Abb. 11: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Zumutbarkeit beim Rampenprofil.

Für den Bremsimpuls zeigen sich bei Variation der Versuchsgeschwindigkeit im Vergleich zu Block und Rampe deutlichere Unterschiede. Bei der kleinsten Geschwindigkeit ( $45 \text{ km/h}$  Tachoanzeige) bewerten alle Experten alle untersuchten Verzögerungen als zumutbar. Bei  $70 \text{ km/h}$  erfolgt die erste Bewertung als „nicht zumutbar“ bei einer Verzögerung von  $5,6 \text{ m/s}^2$ , während bei  $90 \text{ km/h}$  bereits eine Verzögerung von  $5 \text{ m/s}^2$  als nicht mehr zumutbar eingeschätzt wurde. Es zeigt sich somit eine leichte

Tendenz zu sinkenden maximal zumutbaren Verzögerungen bei steigenden Versuchsgeschwindigkeiten. Wie auch bei den anderen Bremsprofilen gilt jedoch auch hier, dass Gewöhnungseffekte möglich sind und außerdem die Datenbasis nicht ausreicht, um sichere Aussagen bei niedrigeren und höheren Geschwindigkeiten zu treffen. Es sind also zusätzliche Versuche nötig, um die gezeigte Tendenz zu bestätigen.

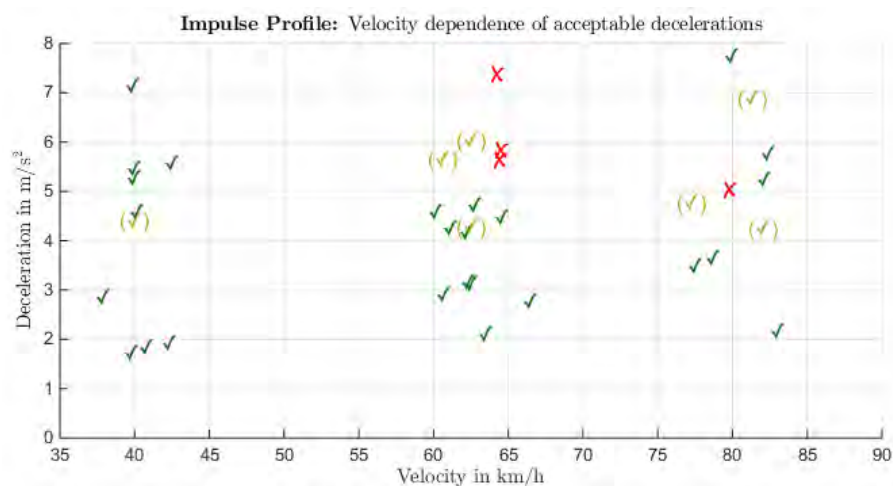


Abb. 12: Geschwindigkeitsabhängigkeit der Zumutbarkeit beim Impulsprofil.

## 5 Diskussion und Ausblick

Im Rahmen der Expertenstudie konnten Verzögerungen bzw. Verzögerungsgradienten für die Bremsprofile „Blockbremsung“, „Bremsrampe“ und „Bremsimpuls“ ermittelt werden, die unvorbereiteten Probanden im Fahrversuch zugemutet werden können. Die Ergebnisse der Expertenstudie bilden somit die Einhüllende und somit die Parametrierung für die anschließende Probandenstudie.

Hierbei sind jedoch einige Einschränkungen hinsichtlich des Vertrauens in die Ergebnisse zu beachten. Die Experten waren zuvor über den Versuchsablauf aufgeklärt und wussten somit, dass eine ferngesteuerte Bremsung erfolgt. Die Experten wurden explizit aufgefordert, trotzdem eine Einschätzung für unvorbereitete Normalfahrer abzugeben. Trotz der Tatsache, dass die Fahrer nicht wussten, zu welchem Zeitpunkt die Auslösung erfolgt, ist der Überraschungseffekt nicht vergleichbar mit einem Probanden im Fahrversuch, der von einem automatischen Bremsengriff überrascht wird.

Des Weiteren wurden die Maximalwerte bei einer nominellen Versuchsgeschwindigkeit von 70 km/h ermittelt und sind somit zunächst nur bei dieser gültig. Weitere Versuche, ob die gefahrene Geschwindigkeit die maximal zumutbare Verzögerung beeinflusst stehen aus. Außerdem gelten die in der Expertenstudie ermittelten Parameter nur für die Geradeausfahrt.

Beim Versuchsfahrzeug (Honda NC700X) handelt es sich um ein sehr fahrstabiles Fahrzeug mit einer aufrechten Sitzposition. Da anzunehmen ist, dass die Fahrzeuggeometrie einen großen Einfluss auf die Zumutbarkeit von automatischen Verzögerungen hat, sind die ermittelten maximal zumutbaren Verzögerungen bzw. Verzögerungsgradienten nur für diesen Fahrzeugtyp gültig.

Weiterhin wurden in der Expertenstudie Subjektiveindrücke zu den verschiedenen Bremsprofilen gesammelt. Sind in der nachfolgenden Probandenstudie mit unvorbereiteten Normalfahrern zu überprüfen. Außerdem ist zu untersuchen, ob subjektive Eindrücke durch Messdaten (Auswertung des Fahrzustands) bestätigt werden können.

Im nächsten Schritt wird in einer Probandenstudie mit Normalfahrern ein realistisches Notbremsszenario simuliert um zu überprüfen, inwiefern die Bremsprofile „Blockbremsung“, „Bremsrampe“ und „Bremsruck“ als vorbereitende Teilbremsung vor einer Notbremsung geeignet sind. Aus der Probandenstudie werden Hinweise zur zukünftigen Entwicklung von Motorrad-Notbrems-Systemen erwartet.

In zukünftigen Studien ist die Geschwindigkeitsabhängigkeit der zumutbaren Verzögerungen weiter zu untersuchen. Untersuchungen zu automatischen Notbremsungen in Kurvenfahrt sind ebenfalls durchzuführen. Außerdem ist der Einfluss verschiedener Fahrzeuggeometrien zu analysieren.

## Danksagung

Die Studie wurde im Rahmen des von der Bundesanstalt für Straßenwesen finanzierten Forschungsauftrags FE 82.0661/2015 „Automatische Notbremsysteme für Motorräder“ durchgeführt.

Beim Versuchsfahrzeug handelt es sich um eine Leihgabe durch die Honda R&D Europe GmbH.

Das Fachgebiet Fahrzeugtechnik bedankt sich außerdem bei den Fahrlehrern und Fahrtrainern, die die Expertenstudie unterstützt haben:

- Martin Fellmer, *Fahrschule Fellmer*, Plettenberg
- Rainer Gurke, *Bei uns kriegen Sie die Kurve*, Roßdorf
- Christine Melnyk, *Sicher-Fahren-Können Fahrbegleitung*, Frankfurt am Main
- Wolfgang Müller, *Fahrschule KVI UG*, Darmstadt
- Klaus Schwabe, *Motorradtraining & Consulting*, Petting

## Literaturnachweise

### **Hummel, T.: Ermittlung des Sicherheitspotentials (2011)**

Hummel, Thomas: Fahrerassistenzsysteme, Forschungsbericht / Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. FS, Fahrzeugsicherheit / Unfallforschung der Versicherer, Jahrgang 03, GDV, Berlin, 2011

### **Giovannini, F. et al.: Minimum swerving distance for motorcycle autonomous braking (2013)**

Giovannini, Federico; Savino, Giovanni; Pierini, Marco; Baldanzini, Niccolò: Analysis of the minimum swerving distance for the development of a motorcycle autonomous braking system, in: Accident Analysis and prevention, Jahrgang 59, S. 170–184, 2013

### **Savino, G. et al.: ITS development, implementation and testing (2010)**

Savino, Giovanni; Pierini, Marco; Grant, Rachel; Frampton, Richard; Talbot, Rachel; Peldschus, Steffen; Schuller, Erich; Oudenhuijzen, Aernout; Pauwelussen, Jasper; Scheepers, Bart; Teerhuis, Arjan; Karanam Venkata, Mangaraju; Babu, Rengarajan; Roessler, Bernd; Nanetti, Matteo; Guggia, Roberto; McCarthy, Michael; Hulshof, Wesley: PISa - Powered two-wheeler Integrated Safety. Development, implementation and testing of PTW integrated safety systems, in: Institut für Zweiradsicherheit e.V. (IFZ) (Hrsg.): ifz Forschungsheft Nr. 14, 2010

### **Savino, G. et al.: Decision logic of MAEB (2012)**

Savino, Giovanni; Pierini, Marco; Baldanzini, Niccolò: Decision logic of an active braking system for powered two wheelers, in: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering (8), Jahrgang 226, S. 1026–1036, 2012

### **Statistisches Bundesamt: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen (2016)**

Statistisches Bundesamt: Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2015, Begleitmaterial zur Pressekonferenz am 12. Juli 2016 in Berlin, Wiesbaden, 2016; [www.destatis.de](http://www.destatis.de), Zugriff 20.07.2018

### **Symeonidis, I. et al.: Analysis of the stability of PTW riders in autonomous braking scenarios (2012)**

Symeonidis, Ioannis; Kavadarli, Gueven; Erich, Schuller; Graw, Matthias; Peldschus, Steffen: Analysis of the stability of PTW riders in autonomous braking scenarios, in: Accident Analysis and prevention (49), S. 212–222, 2012

### **Pleß, R. et al.: Manöverumsetzung auf einem Motorrad Fahrsimulator (2016)**

Pleß, Raphael; Will, Sebastian; Hofmann, Marius; Winner, Hermann: Manöverumsetzung auf

einem dynamischen Motorrad Fahrsimulator, in: Institut für Zweiradsicherheit e.V. (IFZ)  
(Hrsg.): ifz Forschungsheft Nr. 17 Nr. 2016, 2016



The Influence of Rider Motion on Motorcycles and  
Riding Simulators

Einfluss der Fahrerbewegung auf Realfahrzeug und  
Motorradsimulator

Raphael Pleß, Alex Büttner, Nora Merkel, Hermann Winner  
TU Darmstadt Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD), Darmstadt, Germany

Sebastian Will, Thomas Hammer  
Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH),  
Veitshöchheim, Germany

## Abstract

In order to control and stabilize a motorcycle, the rider facilitates steering as well as leaning motions. As the motorcycle's velocity decreases, it is typically seen that the lateral movement of the rider increases. In order to reach a higher fidelity of motorcycle riding simulators it is thus mandatory to measure both control modes rather than using only the steering input as a control of the virtual vehicle. The rider's influence on the motorcycle due to leaning motions results from coupling forces and torques on the vehicle frame. It is common to use optical measurement techniques to identify the rider motions, as a holistic measurement of all coupling forces (on the footpegs, kneepads, saddle, handlebar) is hardly possible in real riding.

In the underlying investigation, a camera system is mounted on the motorcycle to gather information on the leaning behaviour of a rider and his dynamic influence at low speeds. The speed at which the vehicle becomes unstable is experimentally identified and the rider's influence on stabilizing the low speed weave mode is discussed. A part of the experiments is replicated on the DESMORI motorcycle riding simulator. The simulator mockup is fixed with a roll torque sensor that measures any torque around the motorcycle's longitudinal axis to allow for controlling the simulator via rider motion. The motion behavior on the simulator is evaluated for different simulator configurations.

It is shown, that the used vehicle simulation model lacks the stability of a realistic motorcycle. While determination of the rider motion improves the presence of the simulator, no reduction of the lowest achievable speed can be reached.

## Zusammenfassung

Die Steuerung eines Motorrades sowie dessen Stabilisierung erfolgen durch Lenk- und Lehnbewegungen des Fahrers. Insbesondere bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten werden im Realversuch größere Ausschläge in der Oberkörperbewegung beobachtet als bei höheren Geschwindigkeiten. Zur Steigerung der Wiedergabetreue eines Motorradfahrersimulators ist es daher erforderlich, beide Einflussgrößen abbilden zu können, anstatt die Steuerung des virtuellen Fahrzeugs allein durch Lenkeingaben zu realisieren. Die Einflussnahme des Fahrers auf das Fahrzeug mithilfe von Lehnbewegungen erfolgt durch das Einleiten von Kräften und Momenten auf den Fahrzeughahmen. In der Realfahrt ist eine ganzheitliche Messung dieser Koppelkräfte zwischen Fahrer und Fahrzeug (über Fußrasten, Knieschluss, Sattel, Lenker) kaum umsetzbar, weshalb hier auf optische Messverfahren zur Identifikation der Fahrerbewegung zurückgegriffen wird.

In der vorliegenden Untersuchung wird ein kamerabasiertes Bewegungsmesssystem an einem Messmotorrad angebracht, um Aussagen über das Lehnverhalten des Fahrers und dessen dynamischen Einfluss bei langsamer Fahrt zu erhalten. Der Niedriggeschwindigkeitsbereich für das verwendete Messfahrzeug wird experimentell bestimmt und der Einfluss von Fahrerbewegung auf die Stabilisierung der Niedriggeschwindigkeitspendelmode diskutiert. Anschließend wird ein Teil der Versuche auf dem DESMORI Motorradfahrersimulator nachgestellt. Die Anbindung des Motorrads auf der Simulatorplattform ermöglicht dabei die Bewegungserfassung über eine Rollmomentsensorik. Das Fahrerbewegungsverhalten auf dem Simulator wird für unterschiedliche Simulatorkonfigurationen ermittelt.

Es wird gezeigt, dass sich das genutzte Fahrdynamikmodell weniger stabil als ein reales Motorrad fährt. Während die Berücksichtigung der Fahrerbewegung das Fahrempfinden des Simulators verbessert, ist alleine durch sie keine Reduktion der niedrigsten erreichbaren Fahrgeschwindigkeit möglich.

## Einfluss der Fahrerbewegung auf Realfahrzeug und Motorrad Simulator

# 1 Einleitung

Die Anwendung von Fahrsimulatoren konnte sich fest in den Entwicklungsprozessen aller namhaften Automobilhersteller weltweit etablieren. Die Anwendungsfälle sind dabei vielfältig – von Untersuchungen im Bereich der Mensch-Maschine-Schnittstellen (MMS) bis zu hoch dynamischen Fahrwerksuntersuchungen. Seit einigen Jahren finden vermehrt Anstrengungen statt, die bestehenden Vorteile von Fahrsimulatoren gegenüber anderen Untersuchungswerkzeugen auch in der Motorradentwicklung nutzbar zu machen<sup>1,2,3</sup>.

Bei der Steuerung eines Motorrades spielt das Bewegungsverhalten des Aufsassen eine nicht zu vernachlässigende Rolle<sup>4</sup>. Der große Einfluss der Fahrerbewegung auf die Fahrdynamik resultiert aus der Ähnlichkeit der Massen von Fahrer und Fahrzeug. So trägt ein Aufsasse oftmals bis über 1/3 zur Gesamtsystemmasse bei. Diese Masse kann passiv dämpfend auf das Motorrad wirken, oder vom Fahrer aktiv zur Beeinflussung des Fahrverhaltens genutzt werden. Wenngleich die Lenkung den größten und dynamischsten Einfluss auf die Querführung eines Motorrades darstellt, besitzt das Bewegungsverhalten des Aufsassen somit eine hohe Relevanz für die Fahrdynamik. Zur Verbesserung des Fahrempfindens wird daher angestrebt, auch auf Fahrsimulatoren das Bewegungsverhalten des Aufsassen zu berücksichtigen.

Bei der Umsetzung von Fahrszenarien auf einem Motorradsimulator stellen bis heute insbesondere niedrige Fahrgeschwindigkeiten eine Herausforderung dar, was u.A. auf die systemimmanente Instabilität eines Motorrades und unzureichende Reifenmodelle zurückzuführen ist. Wenngleich ein Befahren des Niedriggeschwindigkeitsbereiches auf einem Simulator durch geeignetes Studiendesign häufig vermieden werden kann, ist ohne diesen bspw. keine Untersuchung solcher Assistenzsysteme und MMS möglich, die im urbanen Bereich angewandt werden sollen. Hier ist das langsame Durchfahren stark befahrener Streckenabschnitte oder das Anhalten an einer Kreuzung praktisch unvermeidbar.

Die vorliegende Arbeit konzentriert sich daher auf Stabilitätsuntersuchungen bei niedrigen Geschwindigkeiten. Zunächst wird dazu kurz auf die besonderen Herausforderungen im Niedriggeschwindigkeitsbereich eingegangen. Es werden anschließend Messmittel und Versuchsmethodik beschrieben, die Aussagen über das Bewegungsverhalten von Fahrern in Realfahrt sowie auf einem dynamischen Motorradsimulator ermöglichen. Erste Ergebnisse werden vorgestellt und diskutiert.

---

<sup>1</sup> Nehaoua, L. et al.: Design and Modeling of a New Motorcycle Riding Simulator (2007).

<sup>2</sup> Stedmon, A. W. et al.: 'MotorcycleSim' (2011).

<sup>3</sup> Cossalter, V. et al.: Development and validation of an advanced motorcycle riding simulator (2010).

<sup>4</sup> Cheli, F. et al.: Driver's movements influence on the lateral dynamic of a sport motorbike (2011).

## 2 Einspurfahrzeuge im Niedriggeschwindigkeitsbereich

Das Motorrad als Einspurfahrzeug ist für sich allein genommen ein instabiles System, das erst durch geeignete Fahrereingaben stabilisiert wird. So gleicht sein Verhalten im Stillstand dem eines inversen Pendels. Durch den geometrischen Nachlauf und die Rotation der Räder unter geeigneten Lenkeingaben erfährt dieses inverse Pendel eine Fußpunktverschiebung, wodurch ein Umkippen verhindert werden kann. Die senkrechte Projektion des Systemschwerpunktes auf die Fahrbahn liegt dann idealerweise über der Reifenaufstandslinie.

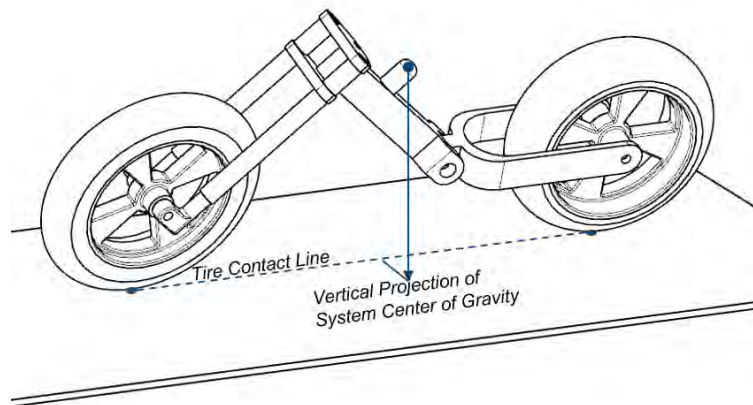


Abb. 1: Stabilisierung durch Angleichung von Systemschwerpunkt und Reifenaufstandslinie.

Erst bei steigenden Geschwindigkeiten des Motorrads nehmen stabilisierende Effekte beispielsweise durch Fliehwirkung, Nachlaufeffekt oder Kreismomente zu, sodass auch ohne Aufsassen eine stabile Fahrt des Systems möglich wäre. Gleichzeitig können diese dynamischen Effekte bei höheren Geschwindigkeiten zu Instabilitäten führen. Ersichtlich werden diese Verhältnisse bspw. bei der Betrachtung von Wurzelortskurven gängiger Starrkörper-Motorrad-Modelle<sup>5,6,7</sup>. Sie ermöglichen es, Aussagen über die Schwingungsmoden des Motorrads zu treffen, welche je nach gefahrener Geschwindigkeit stabil oder instabil sind. Abbildung 2 zeigt stark vereinfacht eine solche Wurzelortskurve mit den Polbahnen der Pendel-, Flatter-, und Kippmode für steigende Geschwindigkeiten (Pfeilrichtung).

<sup>5</sup> Limebeer, D. J. et al.: Motorcycle Steering Oscillations due to Road Profiling (2002).

<sup>6</sup> Tanelli, M. et al.: Modelling, Simulation and Control of Two-Wheeled Vehicles (2014).

<sup>7</sup> Sharp, R. S. et al.: Advances in the Modelling of Motorcycle Dynamics (2004).

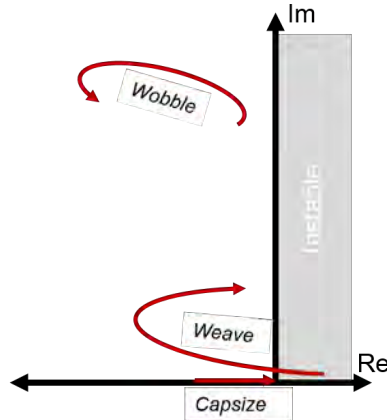


Abb. 2: Beispielhafte Wurzelortskurve. Eigene Darstellung, frei nach <sup>5</sup> (vorherige Seite).

Die genannten drei Moden treten in jedem Einspurfahrzeug auf, ihre Verläufe können sich jedoch je nach Fahrzeugtyp qualitativ und quantitativ stark unterscheiden. Bei kleinen Geschwindigkeiten kann sich die Pendel-Mode in der positiv-realen Halbebene befinden und dort ist das Motorrad-Fahrer-System damit instabil. Der Übergang in den stabilen Bereich findet in der Regel ab ca. 30 km/h statt. Zusätzlich zum Niedriggeschwindigkeitspendeln ist die Kipp-Mode relevant. Sie wird im Stillstand durch das Abstellen der Füße auf der Fahrbahn stabilisiert, was jedoch bei Geschwindigkeiten ungleich 0 selbstverständlich keine Option darstellt. Das Verhindern des Niedriggeschwindigkeitspendelns und Kippens stellt somit die Hauptfahraufgabe des Aufsassen bei Geschwindigkeiten unterhalb von ca. 30 km/h dar.

### 3 Fahrerkontrollgrößen

Dem Aufsassen eines Motorrades stehen grundsätzlich zwei Kontrollgrößen zur Verfügung: Das Lenken sowie die Gewichtsverlagerung. Beide nutzt der Aufsasse – teils unterbewusst – um den Schwerpunkt des Gesamtsystems möglichst senkrecht über der Reifenaufstandslinie zu halten, wie in Abbildung 1 gezeigt. Dabei kommt insbesondere der Lenkbewegung eine große Bedeutung zu, da sie eine schnelle Änderung der Lateralposition des vorderen Reifenaufstandspunktes ermöglicht.

Eine Veränderung der Position des Gesamtschwerpunktes durch Fahrerbewegung ist hingegen nicht direkt möglich. Da sich der Aufsasse lediglich am Fahrzeug und nicht an der Umwelt abstützen kann, tritt stets eine Bewegung des Motorradschwerpunktes entgegen der Bewegung des Aufsassenschwerpunktes auf. Abbildung 3 verdeutlicht diesen Sachverhalt. Bewegt sich der Aufsassenschwerpunkt  $S_F$  aus einer stabilen Gleichgewichtslage quer zur Fahrzeugmittelebene nach kurveninnen, so führt der Motorradschwerpunkt  $S_M$  eine Ausweichbewegung nach kurvenaußen aus. Der Gesamtschwerpunkt  $S_{ges}$  verweilt zunächst auf derselben Position (Aktio = Reaktio). Eine Änderung der Gesamtschwerpunktlage kann somit erst die Folge veränderter Verhältnisse aus Lenk- und Rollwinkel

bzw. Schräglauf- und Sturzseitenkräften  $F_\alpha$  und  $F_\lambda$  an den Reifen sein, die im Gleichgewicht zu den wirkenden Zentrifugalkräften  $F_y$  stehen müssen.

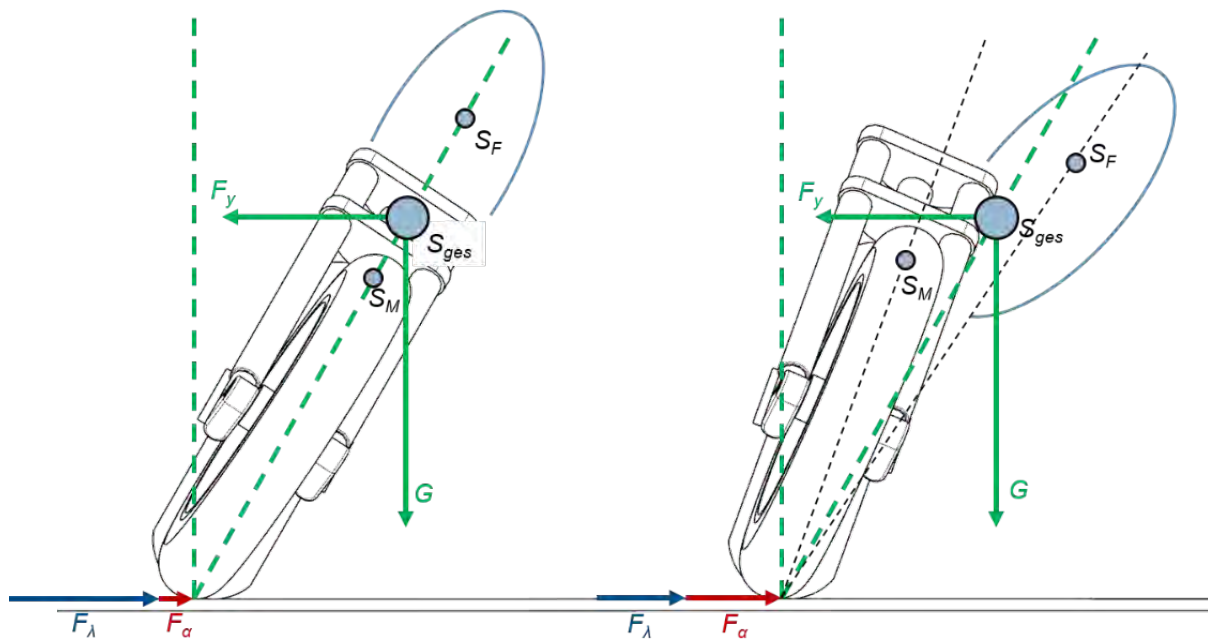


Abb. 3: Änderung der Aufteilung von Seitenkräften beim Wechsel von "Lean-With" zu "Lean-In".

Nahe dem Stillstand bewirkt die Änderung des Motorrad-Rollwinkels zudem aufgrund Reifenkontur eine Verlagerung des Reifenaufstandspunkts. Die Änderung des Motorrad-Rollwinkels durch ein Abstützen der Fahrer Masse am Rahmen ist somit – wenn auch in geringem Maße – in der Lage, eine Fußpunktverschiebung des inversen Pendels zu bewirken.

Auch wenn die Lenkung die Haupteingangsgröße zur Kontrolle des Motorrades darstellt, kann daher die Körperbewegung nicht vernachlässigt werden. Die im Vergleich zur Fahrzeugmasse große Fahrer Masse kann die Fahrdynamik des Motorrades deutlich beeinflussen. Sowohl bewusste als auch unbewusste Fahrerhandlungen können daher das Fahrzeug stabilisieren oder destabilisieren. Dennoch ist die Anzahl der in der Literatur auffindbaren Untersuchungen der Fahrerbewegung seit je her überschaubar<sup>8</sup>. In der Regel wird bei der Modellbildung und in Offlinesimulationen die Fahrer Masse als starre Punktmasse angesehen. Realfahrstudien betrachten indes eher die Fahrerbewegung in Kurvenfahrt<sup>9</sup>. Zur Untersuchung des Lehnverhaltens in realer und virtueller Umgebung wurden verschiedene Messwerkzeuge in Betrieb genommen, die nachfolgend beschrieben werden.

<sup>8</sup> Rice, R. S.: Rider Skill Influences on Motorcycle Maneuvering (1978).

<sup>9</sup> Cheli, F. et al.: Driver's movements influence on the lateral dynamic of a sport motorbike (2011).



## 4 Messwerkzeuge

Für die zugrundeliegende Arbeit wurden Untersuchungen auf einem Testfeld mit Realfahrzeug (Abbildung 4 links), sowie in virtueller Umgebung auf einem dynamischen Motorradfahr Simulator (Abbildung 4 rechts) durchgeführt.



Abb. 4: Messwerkzeuge – links Messmotorrad Honda NC700X, rechts DESMORI Motorradfahr Simulator.

### 4.1 Messmotorrad

Als Messmotorrad wird ein Fahrzeug vom Typ HONDA NC700X verwendet. In der aktuellen Ausbaustufe ermöglicht es die Messung einer Vielzahl von Fahrzeugzuständen: Lenkwinkel, Lenkmoment bzw. Lenkerabstützkraft, Federwege, Raddrehzahlen, Motordrehzahl. Die Bewegungsgrößen im Fahrzeugschwerpunkt werden über eine 6-Achsen-Inertialmesstechnik mit integriertem Kalman Filter sowie GPS gemessen. Dazu werden alle Fahrereingaben erfasst. Neben o.g. Lenkungsgrößen sind dies die Drosselklappenstellung, Kupplungsbetätigung, Gangwahl und Bremsdrücke. Alle Sensoren werden über eine Messkarte von National Instruments™ zeitsynchron mit einer Abtastfrequenz von 100 Hz ausgelesen und abgespeichert. Die gesamte Messelektronik ist im Helmfach in der Tankatrappe integriert (Abbildung 4 Mitte), sodass das Fahrzeug äußerlich kaum vom Serienzustand unterscheidet. Da das Fahrzeug in die Führerscheinklasse A2 eingestuft ist, sind Messfahrten auch mit Fahranfängern möglich.

### 4.2 Simulator

Der im Rahmen dieser Arbeit genutzte Motorradfahr Simulator (Abbildung 4 rechts) wurde im Projekt DESMORI<sup>10</sup> in Kooperation mit dem Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW) aufgebaut. Darauf werden Rahmen und Verkleidung einer BMW F800S als Fahrzeugatrappe genutzt. Die

---

<sup>10</sup> Will, S.: Diss., Development of a presence model for driving simulators based on speed perception in a motorcycle riding simulator (2017).

visuelle Szenariendarstellung erfolgt über eine zylindrische Leinwand mit einem Öffnungswinkel von 220°. Zur Verbesserung des Fahrempfindens kommt zusätzlich zur Bewegungsdarstellung über einen Hexapod ein Seilzugsystem zum Einsatz, das den Fahrer mit Zugkräften in Fahrzeuglängsrichtung beaufschlagen kann. Dadurch wird u.a. eine verbesserte Geschwindigkeitswahrnehmung erreicht<sup>11</sup>. Als Fahrdynamiksimulation wird Bike Real Time (BRT) von VI-grade verwendet. BRT wird über eine Co-Simulation mit Matlab/Simulink betrieben. Dort sind weitere Regler- und Assistenzmodule (bspw. Notbremsassistent, Abstandsregeltempomat) und die Berechnung der Bewegungsdarstellung (MCA – Motion Cueing Algorithm) integriert. Die Co-Simulation wird schließlich in C-Code kompiliert, der schließlich als Fahrdynamikmodul in das WIVW-eigene Simulationstool SILAB integriert wird. SILAB beinhaltet schließlich alle Simulatorkomponenten (Sensoren, Aktoren, Sicht- und Soundsystem, etc.), übernimmt die Synchronisation aller Subsysteme untereinander, die Szenariensteuerung sowie die Datenaufzeichnung. Die Fahrdynamiksimulation rechnet dabei in 1 ms-Schritten, während die Sensorik und Aktorik je nach Kommunikationsmethode (CAN, Ethernet, A/D Wandler) zwischen 100 Hz und 250 Hz abtasten. Die Aufzeichnung der Messdaten erfolgt schließlich mit 120 Hz. Der Aufbau ist schematisch in der nachfolgenden Abbildung dargestellt.

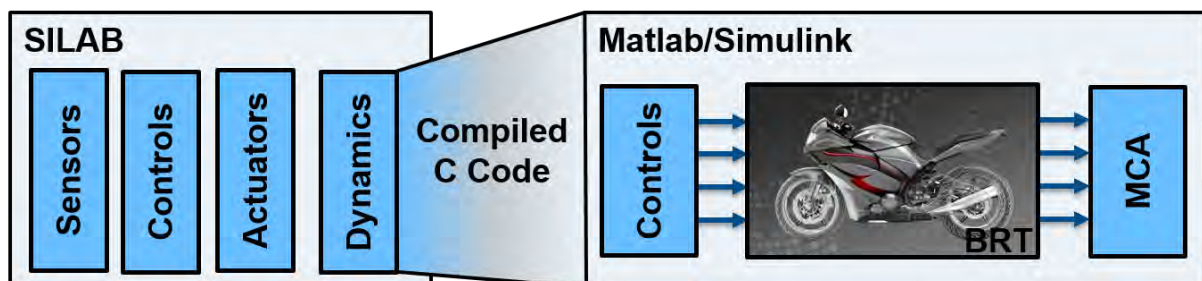


Abb. 5: Schematischer Aufbau der Simulationsumgebung.

Die Erfassung der Fahrerbewegung auf dem Simulator erfolgt über eine Rollmomentsensorik<sup>12,13</sup>. Dazu ist die Fahrzeugattrappe, wie in Abbildung 6 links dargestellt, auf eine Zwischenwelle montiert, die eine Rotation um die Längsachse des Fahrzeugs ermöglicht. Diese Rotation wird von einer Zug-/Druckkraftmessdose abgestützt. Ihr Messsignal ermöglicht nach einer Kompensation der Plattformbewegungen eine Aussage über das fahrerinduzierte Rollmoment. Diese Kompensation modelliert Plattform, Aufhängung und Fahrer als Starrkörper und errechnet einen Erwartungswert für die Kraftmessdose unter gegebener Plattformanregung. Die Differenz aus Mess- und Erwartungswert stellt schließlich das vom Fahrer induzierte Rollmoment dar<sup>14</sup>. Die vorgestellte Vorgehensweise ermöglicht im Vergleich zu

<sup>11</sup> Will, S. et al.: The use of proprioceptive cues in order to enhance presence in a dynamic motorcycle riding simulator (2017).

<sup>12</sup> Pless, R. et al.: Determining the rider induced roll torque on dynamic motorcycle riding simulator. (2015).

<sup>13</sup> Pleß, R. et al.: Manöverumsetzung auf Motorrad Fahrsimulator (2016).

<sup>14</sup> Hofmann, M.: Systemidentifikation am dynamischen Motorrad Fahrsimulator.

kamerabasierten Systemen eine ganzheitliche Betrachtungsweise der Koppelkräfte. So enthält der Messwert bspw. Bewegungen von Armen und Beinen, auch ohne dass diese mit Markern bestückt werden müssen und ermöglicht sogar die Erfassung einer veränderten Körperspannung.

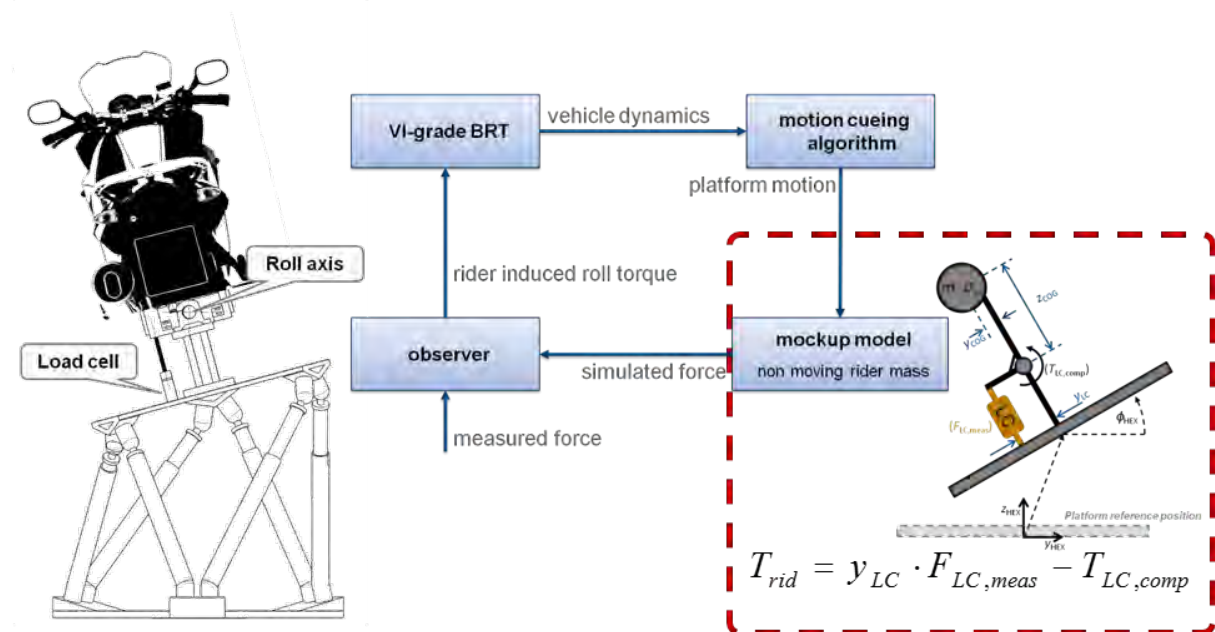


Abb. 6: Erfassung des Fahrerinduzierten Rollmoments.

### 4.3 Kamerabasierte Positionserfassung

Die zuvor erwähnte Erfassung eines fahrerinduzierten Rollmomentes ist lediglich am stationären Simulatorenaufbau möglich. In der Realfahrt ist die Umsetzung einer solchen ganzheitlichen Messung von Koppelkräften und-Momenten technisch kaum möglich. So wären dazu bspw. die Verwendung von Druckmatten an den Seiten des Fahrzeugs (Knieschluss), ein mit Kraftmesstechnik ausgerüsteter Sattel, Fußrasten und Lenker notwendig, um eine vollumfängliche Erfassung des fahrerinduzierten Rollmomentes zu ermöglichen.

Deutlich einfacher in der Umsetzung für eine Realfahrt zeigen sich kamerabasierte Erfassungsmethoden. Für die hier aufgeführten Untersuchungen wird vereinfachend eine Bewegung des Aufsassen allein in der Frontalebene angenommen. Im Vergleich gegenüber weiteren Messmethoden (Seilzugpotentiometer, Stereokamera, u.v.m.) stellt sich für die hier gegebenen Anforderungen eine Monokamera als tauglichstes Erfassungswerkzeug heraus.<sup>15</sup>

Die Kamera (GoPro Hero3+) wird über ein Gestell an der Gepäckbrücke des Messmotorrades bzw. der Fahrzeugattrappe des Simulators angebracht. Der Aufsasse trägt einen präparierten Rückenprotector,

<sup>15</sup> Alex Büttner, Analyse der Fahrerbewegung im Niedriggeschwindigkeitsbereich.

auf dem an definierten Positionen stark reflektierende Marker angebracht sind. Ein in Matlab umgesetzter Auswertalgorithmus ermittelt aus den Videodaten (59,94 fps, 1280x720p Bildauflösung) die Pixelpositionen der Marker und errechnet daraus Lage und Neigungswinkel der Sagittalebene des Aufsassen relativ zum Fahrzeug. Eine Überprüfung der Messgenauigkeit der Positionserfassung mittels stationärer Prüfpositionen ergibt maximale Positionsabweichungen von unter 1 mm. Die Synchronisation der Bild- und Messdaten erfolgt über eine blinkende LED im Bildbereich der Kamera, deren Spannungsverlauf zusammen mit den restlichen Messdaten aufgezeichnet wird. Das Blinken erfolgt ähnlich eines binären Pseudozufallsrauschens. Durch die zufälligen Ein- und Ausschaltzeiten der LED kann in der Datennachbereitung der gemessene Spannungsverlauf eindeutig dem im Video beobachteten Blinken zeitlich zugeordnet werden. Abbildung 7 stellt diesen Ablauf schematisch dar. Dazu wird eine Kreuzkorrelation dieses Spannungsverlaufes  $U_{LED}$  mit den aus den Bilddaten ermittelten Schaltzuständen  $L_{CAM}$  der LED durchgeführt und Bild- sowie Messdaten entsprechend zugeschnitten. Zuletzt findet ein Resampling aller Zeitverläufe auf 20 Hz statt, da angenommen wird, dass alle relevanten Signalinhalte mit weniger als 10 Hz auftreten.

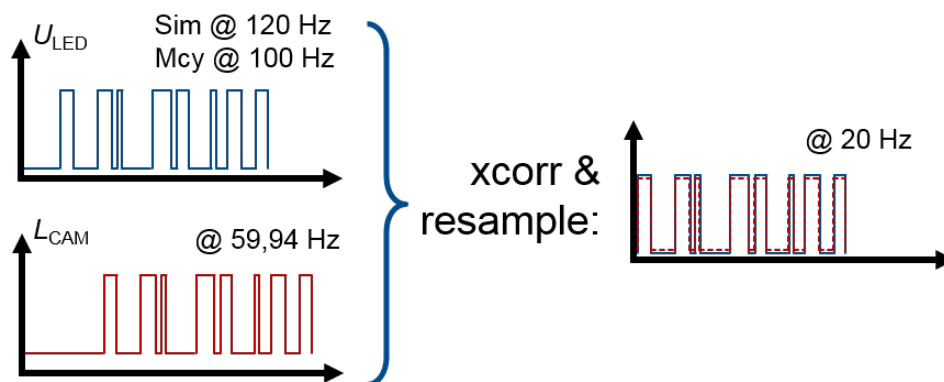


Abb. 7: Korrelation der Video- und Messdaten.

#### 4.4 Datenbasis

Durch die Zusammenführung von Video- und Messdaten liegen für die nachfolgenden Untersuchungen zeitsynchrone Verläufe von Fahrdynamik- und Bewegungsdaten, bzw. Simulatordynamik- und Bewegungsdaten vor. Während im Realfahrzeug allein die Videodaten Aufschluss über die Fahrerbewegung geben, steht auf dem Simulator zusätzlich die Kraftmessdose der Rollmomentenerfassung zur Verfügung. Somit können erstmals Bewegungs- und Koppelkraftgrößen des Aufsassen gleichzeitig beobachtet werden.



Abb. 8: Einzelaufnahmen der Positionserfassung in Realfahrt und auf dem Simulator.

## 5 Versuchsmethodik

Mit dem Ziel, das Fahrerstabilisierungsverhalten und insbesondere den Einfluss der Fahrerbewegung im Niedriggeschwindigkeitsbereich zu entschlüsseln, wurden verschiedene Testfahrten durchgeführt:

Realfahrt:

- 1) Freihändiges Ausrollen aus hoher Startgeschwindigkeit
- 2) Freihändiges Fahren mit konstanter Geschwindigkeit, Anregung einer Rollschwingung
- 3) Geradeausfahrten mit konstant niedrigen Geschwindigkeiten  $v < 25$  km/h
- 4) Freihändiges Fahren mit konstant niedrigen Geschwindigkeiten  $v < 25$  km/h

Simulator:

- 5) Geradeausfahrten mit konstanten Geschwindigkeiten bis 80 km/h

Die in der Realfahrt durchgeführten Manöver 1) & 2) dienen zunächst der Ermittlung der Grenzstabilen Geschwindigkeit des Versuchsfahrzeuges, ab der das in Abschnitt 2 beschriebene Niedriggeschwindigkeitspendeln auftritt. Manöver 3) ermöglicht durch Fahrereingriff einen bis zur Schrittgeschwindigkeit erweiterten befahrbaren Geschwindigkeitsbereich. Dabei ist von besonderem Interesse, in welcher Art und Ausprägung der Aufsasse die ihm gegebenen Steuerungsgrößen nutzt, um das Motorrad zu stabilisieren. Wird dem Aufsassen die Möglichkeit zur Lenkeingabe genommen, bleibt ihm alleine die Körperbewegung zur Stabilisierung des Motorrades erhalten. Manöver 4) ermittelt den allein mit Körperbewegung befahrbaren Geschwindigkeitsbereich.

Anschließend wird die Bewegungserfassungsmethode erstmals auf dem dynamischen Motorradfahrersimulator angewandt. Manöver 5) dient der Nachstellung von Manöver 3 der Realfahrt. Der dabei untersuchte Geschwindigkeitsbereich erstreckt sich von 10 km/h bis auf 80 km/h, da einige Probanden

auch bis in höhere Geschwindigkeiten oberhalb der Grenzgeschwindigkeit noch ein instabiles Fahrverhalten beklagen.

Alle den Autoren bekannten Motorradfahr simulatoren verwenden bislang externe stabilisierende Maßnahmen, ohne die eine Befahrung des Niedriggeschwindigkeitsbereiches auf dem jeweiligen Simulator nicht möglich ist. In der Regel handelt es sich dabei um virtuelle Stützräder oder Federn, die das virtuelle Fahrzeugmodell in eine vertikale Lage zwingen. Insbesondere im Stillstand, aber bereits bei sehr niedrigen Geschwindigkeiten, ergibt sich als zusätzliche Herausforderung die Reifenmodellbildung. Die nach Stand der Technik verwendeten Reifenmodelle basieren in der Regel auf Pacejkas Magic Formula<sup>16</sup> und sind nicht in der Lage, den Reifenstillstand zu simulieren, da es hier zu Singularitäten im Modell kommt.

Der hier genutzte Simulator verwendet zur Stabilisierung bei Geschwindigkeiten unterhalb 30 km/h je eine virtuelle Drehfeder um den Roll- und Gierfreiheitsgrad, die mit sinkenden Geschwindigkeiten eine zunehmende Steifigkeit besitzen. Unterhalb von 1 m/s wird zudem ein virtueller Lenkungsdämpfer eingesetzt, um Lenkschwingungen durch die angesprochenen Singularitäten zu verhindern.

Um den Einfluss der virtuellen Stabilisierung sowie der in Abschnitt 4.2 erläuterten Rollmomentenerfassung auf das Stabilisierungsverhalten des Aufsassen zu untersuchen, wurden die Versuche jeweils vierfach wiederholt: Mit und ohne virtuelle Stabilisierung, sowie mit und ohne Rollmomentenerfassung.

## 6 Auswertung

### 6.1-2 Ermittlung der grenzstabilen Geschwindigkeit

**Im ersten Teilversuch** wird das Fahrzeug auf eine Startgeschwindigkeit von 80 km/h beschleunigt. Nach Erreichen dieser Geschwindigkeit wird der Leerlauf des Fahrzeugs eingelegt. Der Aufsasse erhält die Anweisung, die Hände von der Lenkstange zu lösen und so lange wie möglich auf den Oberschenkeln aufliegen zu lassen, um den Einfluss der Armbewegung auf die Stabilisierung gering zu halten.

In Abbildung 9 ist der zeitliche Abschnitt dargestellt, ab dem das Motorrad in den Instabilen Bereich gerät. Der linke, obere Graph zeigt den Rollwinkel des Motorrads  $\varphi_{MCY}$  und den Lehnwinkel des Aufsassen  $\varphi_{RID}$  in den dünn gestrichelten Linien. Die dick durchgezogenen Hüllkurven wurden mittels Hilberttransformation gebildet und zeigen somit die um die Signalphase bereinigten, momentanen Amplituden  $\hat{A}_{MCY,RID}^{inst.}$  der Schwingungssignale. Darunter werden die Fahrgeschwindigkeit des Motor-

---

<sup>16</sup> Pacejka, H. B.: Tyre and vehicle dynamics (2006).

rades sowie das Lenkmoment gezeigt. Durch letzteres kann der Abbruchzeitpunkt des Fahrers klar identifiziert werden. Die grau hinterlegten Bereiche markieren jeweils die Zeiten vor Beginn der Schwingungen und das Ende des Versuchs entweder durch Abklingen der Schwingung, oder wie hier durch Fahrereingriff. Die beiden Graphen in der rechten Hälfte der Darstellung zeigen die Verläufe der momentanen Schwingungsamplituden respektive das Lenkmoment über der Geschwindigkeit auf.

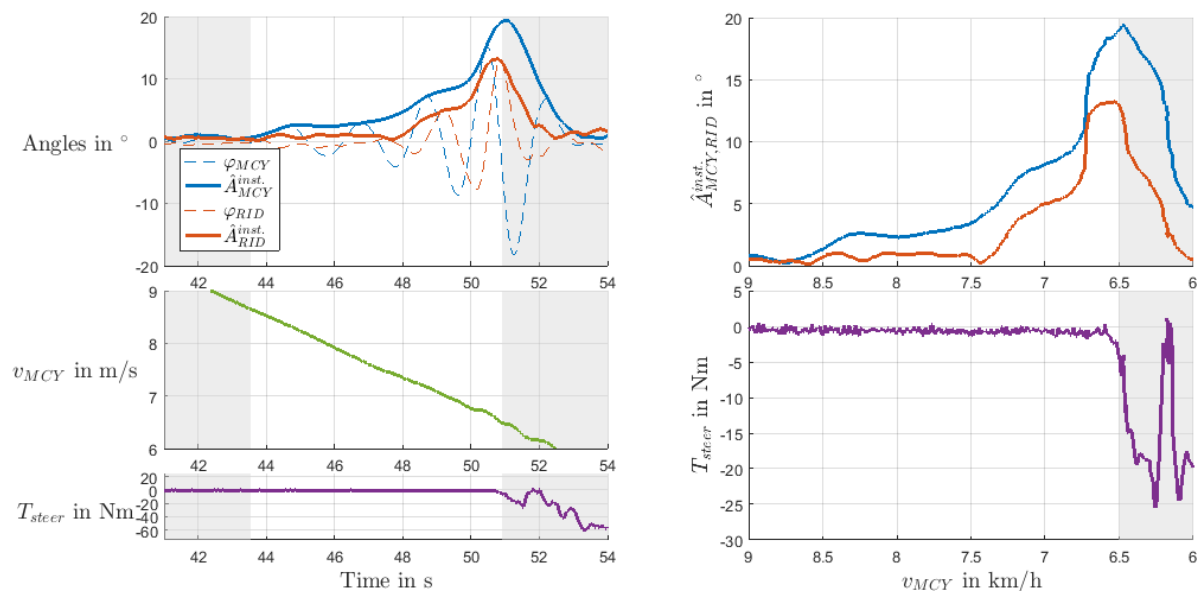


Abb. 9: Messung des Fahrzeugrollwinkels und Fahrerlehnwinkels im Ausrollversuch.

Abbildung 9 zeigt, dass ab ca.  $t = 44$  s eine leichte Rollschwingung auftritt, die im weiteren Verlauf in ihrer Amplitude zunimmt und bei ca.  $t = 51$  s ihr Maximum erreicht. Hier greift schließlich der Aufsasse in die Lenkung ein und beendet damit den Versuch, bevor es nach seiner Erwartung unvermeidbar zu einem Sturz kommen würde. In der Zwischenzeit eilt der momentane Fahrerlehnwinkel dem Fahrzeugrollwinkel mit einem Phasenversatz von ca.  $100^\circ$  nach. Zu Beginn des Auftretens der Rollschwingungen besitzt das Fahrzeug eine Restgeschwindigkeit von  $v = 8,6$  m/s ( $\approx 31$  km/h). Der Versuchsabbruch durch Fahrereingriff erfolgt schließlich bei  $v = 6,5$  m/s ( $\approx 24$  km/h). Es wird daher angenommen, dass der Übergang der Niedriggeschwindigkeits-Pendelmode von der linken in die rechte imaginäre Halbebene beim hier genutzten Fahrzeug mit Aufsasse zwischen 8,6 m/s und 6,5 m/s liegt. Die Schwingfrequenz von Roll- und Lehnwinkel liegen jeweils bei ca. 0,5 Hz. Wiederholungen des Experiments, wie in Abbildung 10 gezeigt, bestätigen die Ergebnisse. Darin ist im Gegensatz zu den vorangehenden Abbildungen lediglich die momentane Amplitude der Rollschwingung  $\hat{\varphi}_{MCY}^{inst}$  für vier Fahrten aufgezeigt. Die Dreiecke stellen das Ende des jeweiligen Versuchs dar, wobei als Abbruchkriterium das Überschreiten einer Lenkmomentschwelle von 5 Nm herangezogen wird.

Ein beginnender Anstieg der Rollwinkelschwingungen ist jeweils knapp unter  $v = 9$  m/s zu beobachten, der Versuchsabbruch geschieht jeweils bei ca.  $v = 6,5$  m/s. Dabei wird ein Rollwinkel von  $20^\circ$  nicht überschritten.

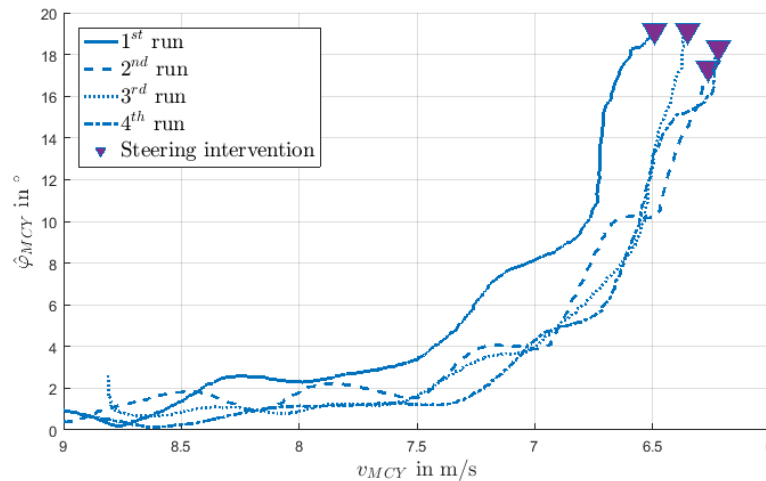


Abb. 10: Momentane Rollwinkelamplituden im Ausrollversuch.

**Im zweiten Teilversuch** wird das Fahrzeug auf bestimmte Zielgeschwindigkeiten (70 km/h, 60 km/h, 50 km/h, 40 km/h, 30 km/h) beschleunigt und die Gasgriffstellung dann mechanisch blockiert, um eine weitestgehend konstante Fahrgeschwindigkeit beizubehalten. Aufgrund von Lastschwankungen durch Fahrbahnwelligkeiten sowie die lateralen Oszillationen ist es jedoch im Versuch nicht möglich, die Geschwindigkeit exakt konstant zu halten. Der Aufsasse ist erneut angewiesen, freihändig zu fahren, um dann mithilfe einer ruckhaften Oberkörperauslenkung das Fahrzeug zu Rollschwingungen anzuregen.

Bei hohen Fahrgeschwindigkeiten sind neben einer kleinen Trajektorienänderung dabei kaum Fahrzeugreaktionen zu beobachten. Die stabilisierenden dynamischen Effekte sind hier stark genug ausgeprägt, um das Auftreten von Oszillationen zu verhindern. Erst unterhalb von 50 km/h können mehrere Rollschwingungsamplituden des Motorrads beobachtet werden, die jedoch weiterhin stark gedämpft sind.

Abbildung 11 zeigt bei einer nominellen Geschwindigkeit von 40 km/h, wie in Folge der Fahreranregung nach rechts (erster Peak in positiver Halbebene im rot gestrichelten Verlauf) das Fahrzeug zunächst eine Reaktionsbewegung nach links ausführt (siehe Abschnitt 3 & Abbildung 3) und schließlich zwei schnell abklingende Rollschwingungen durchführt. Die Niedriggeschwindigkeits-Pendelmode befindet sich somit noch in der linken (stabilen) imaginären Halbebene. Die Grenzgeschwindigkeit zum Übergang in die rechte, instabile Halbebene ist somit bei dieser Geschwindigkeit noch nicht erfolgt. Es



findet keine Intervention durch den Aufsassen in Form eines Lenkeingriffes statt. Dem ersten Teilversuch zufolge ist dieser Übergang bei einer Reduktion der Fahrgeschwindigkeit auf etwa 30 km/h zu erwarten.

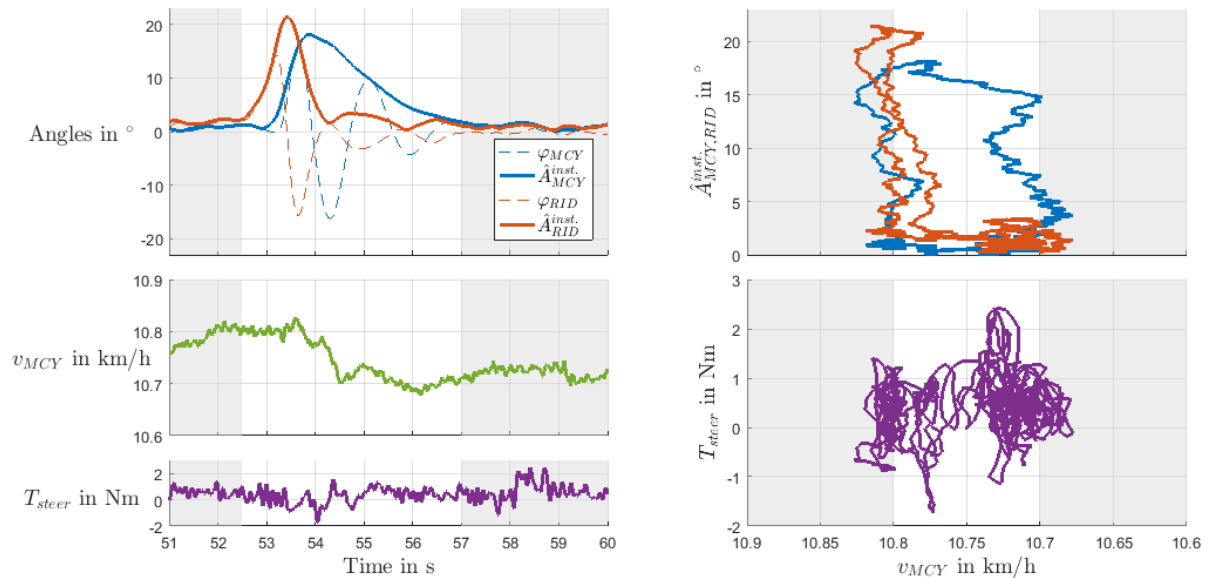


Abb. 11: Abklingende Rollschwingung nach Oberkörperanregung bei 40 km/h.

In Abbildung 12 wird eine Durchführung desselben Experiments bei einer nominellen Geschwindigkeit von 30 km/h gezeigt. Auf die Darstellung der Lenkmomentverläufe wird im Folgenden verzichtet. Lediglich das Erreichen eines Schwellwertes von 5 Nm als Abbruchkriterium wird durch Dreiecke in den Signalverläufen markiert. Neben den Verläufen von Roll- und Lehnwinkeln, deren momentanen Amplituden und der Geschwindigkeit ist jeweils noch die Phaseninformation der Roll- und Lehn-schwingungen sowie deren Phasendifferenz im jeweils rechten Plot aufgetragen.

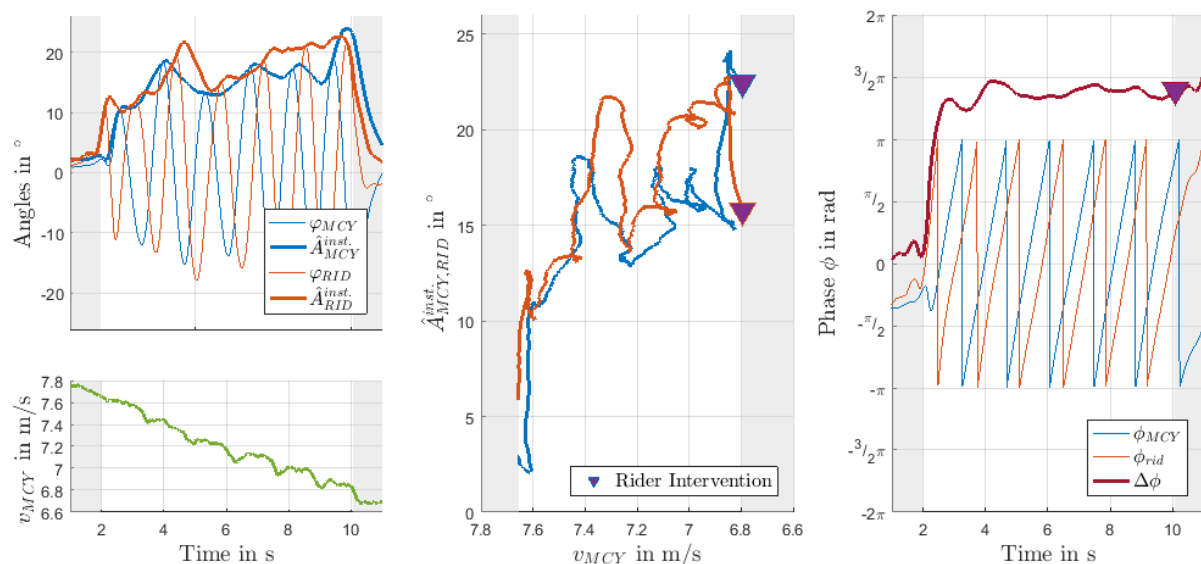


Abb. 12: Dauerschwingung nach Oberkörperanregung bei 30 km/h.

In Abbildung 12 ist ersichtlich, dass im Vergleich zu den vorangegangenen Versuchen mit höherer Ausgangsgeschwindigkeit nun keine ausgeprägte Dämpfung der Niedriggeschwindigkeits-Pendelmode vorliegt. Die Oszillationen werden über einen längeren Zeitraum aufrechterhalten. Im Versuchsverlauf tritt eine Absenkung der Geschwindigkeit um 0,8 auf, wodurch die Stabilitätsreserven des Motorrades weiter reduziert werden.

Infolge der Oberkörperanregung tritt zunächst erneut eine Auslenkung des Motorrades in entgegengesetzte Richtung auf. Die Schwingungsamplituden steigen innerhalb von ca. 8 s bzw. 6 Schwingungsperioden von jeweils  $10^\circ$  auf über  $20^\circ$  an, bevor das Experiment durch Lenkeingriff abgebrochen wird. Ohne geregelten Tempomaten am genutzten Messmotorrad ist es nicht möglich, die Geschwindigkeit konstant zu halten. Somit kann nicht abschließend sichergestellt werden, ob die Destabilisierung, welche den Aufsassen zum Eingriff zwingt, allein auf die verminderte Geschwindigkeit zurückzuführen ist. Ebenso können ein Überschreiten eines Grenzrollwinkels oder eine ungünstige Fahrereingabe letztlich zum Abbrechen des Versuchs führen. Der Phasenverlauf zeigt, dass über die Dauer der Schwingungen eine weitestgehend gleichbleibende Phasendifferenz von  $1,5 \pi$  (bzw.  $-0,5 \pi$ ) auftritt. Während aufgrund der Fahreranregung ein Vorseilen des Lehnwinkels zum Rollwinkel auftritt (positive Phasendifferenz), erscheint im späteren Verlauf jedoch die Annahme sinnvoller, dass die Lehnbewegung der Rollbewegung folgt und nicht umgekehrt.

Erneut wurden mehrfache Wiederholungen des Experiments durchgeführt. Es ergeben sich je nach Startbedingungen und Anregungsstärke drei verschiedene charakteristische Verläufe:

- a) Wie in Abbildung 12 gezeigt treten Dauerschwingungen auf, welche nach 6-8 Perioden durch Fahrereingriff abgebrochen werden (müssen).
- b) Bereits nach 1-2 Perioden ist in Folge eines schnellen Aufschwingens ein Abbruch des Experimentes nötig.
- c) Die Schwingung klingt nach wenigen Perioden ab, das Fahrzeug kann ohne Lenkeingriff stabilisiert werden.

Abbildung 13 zeigt den in b) beschriebenen Ablauf. Die Anregung erfolgt hier beinahe mit dem doppelten Lehnwinkel wie noch zuvor. Nach einer kurzen Einschwingphase gleichen sich die Schwingfrequenzen von Lehn- und Rollwinkel erneut an und eine Phasendifferenz von  $1,5 \pi$  ist für eine kurze Dauer zu beobachten, bevor der Versuch nach nur einer Vollständigen Periode abgebrochen wird. Obwohl die Startgeschwindigkeit hier  $0,4 \text{ m/s}$  über der zuvor beobachteten Geschwindigkeit liegt, reicht die dadurch gewonnene Stabilitätsreserve bei dieser Anregung nicht aus, um die Schwingung über mehrere Perioden aufrecht zu erhalten.

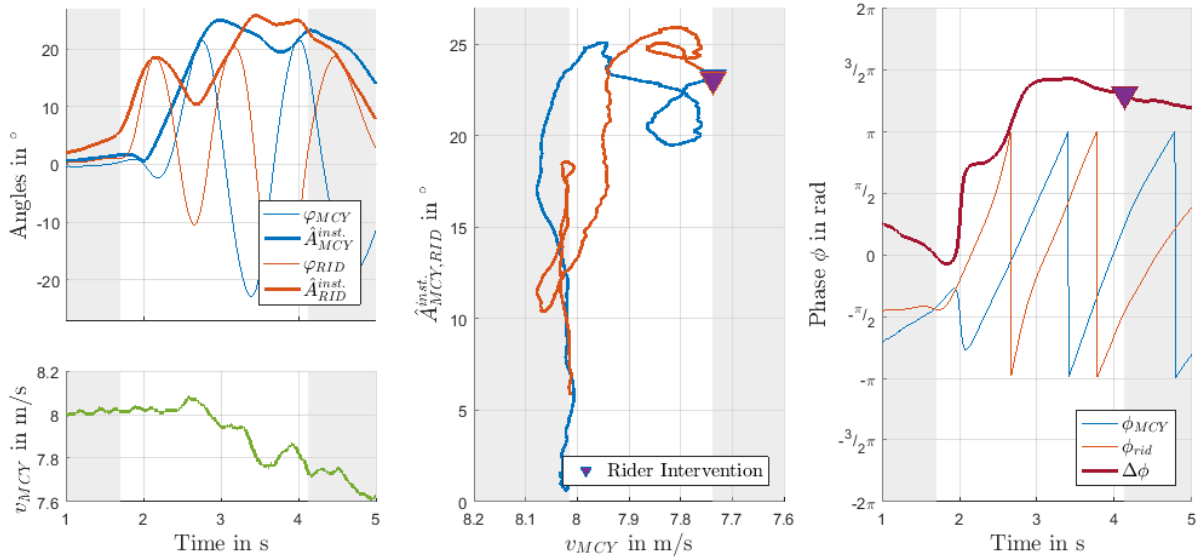


Abb. 13: Destabilisierung nach Oberkörperanregung bei 30 km/h.

Der in c) geschilderte Ablauf ist in Abbildung 14 dargestellt. Dabei ist die höchste Startgeschwindigkeit – und damit die höchste Stabilitätsreserve der gezeigten Versuche zu beobachten. Infolge der Schwingungsanregung ist nun kein Anstieg der Amplituden zu beobachten. Stattdessen nehmen diese zunächst nur leicht ab, bevor schließlich bei ungefähr  $t = 6$  s ein plötzlicher Rückgang der Rollwinkelamplitude und nachfolgend auch der Lehnwinkelamplitude zu beobachten ist. Dies macht sich ebenfalls in einem kurzen Einbruch der Phasendifferenz bemerkbar. Die Fahrgeschwindigkeit hat dabei um lediglich 0,1 m/s abgenommen.

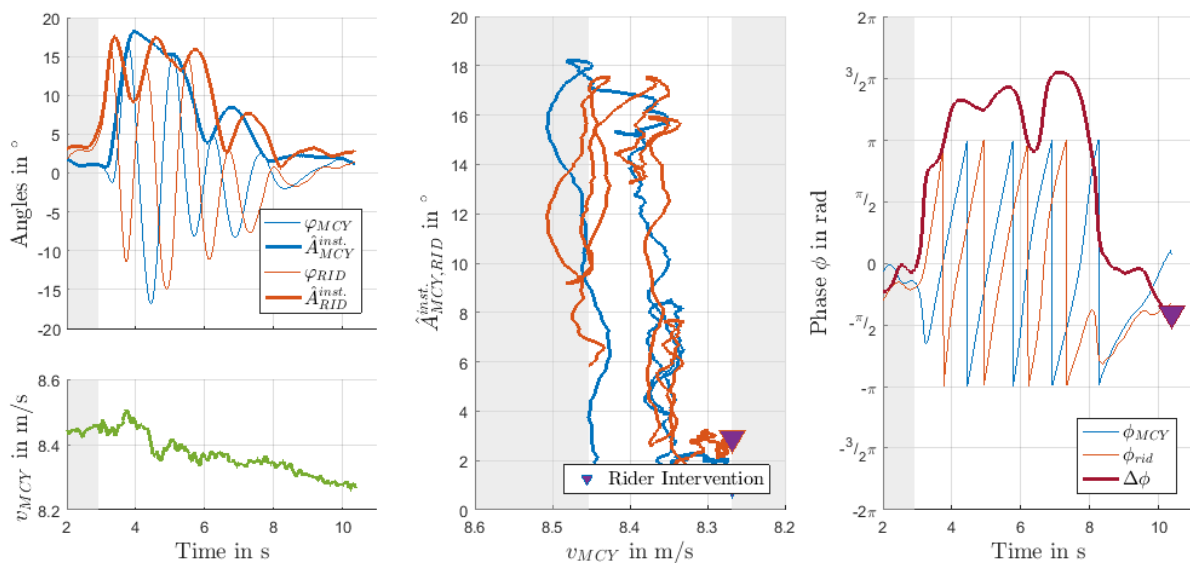


Abb. 14: Stabilisierung nach Oberkörperanregung bei 30 km/h.

Zum Vergleich aller Versuchswiederholungen werden nochmals die Verläufe der momentanen Rollwinkelamplituden über der Geschwindigkeit herangezogen. Abbildung 15 stellt diese zusammen mit

den momentanen Rollratenamplituden (rechter Plot) dar. Die oben genannte Unterteilung nach Dauer-schwingung (a), Aufschwingen (b) und Abklingen (c) ist durch Linienart und -dicke abgebildet.

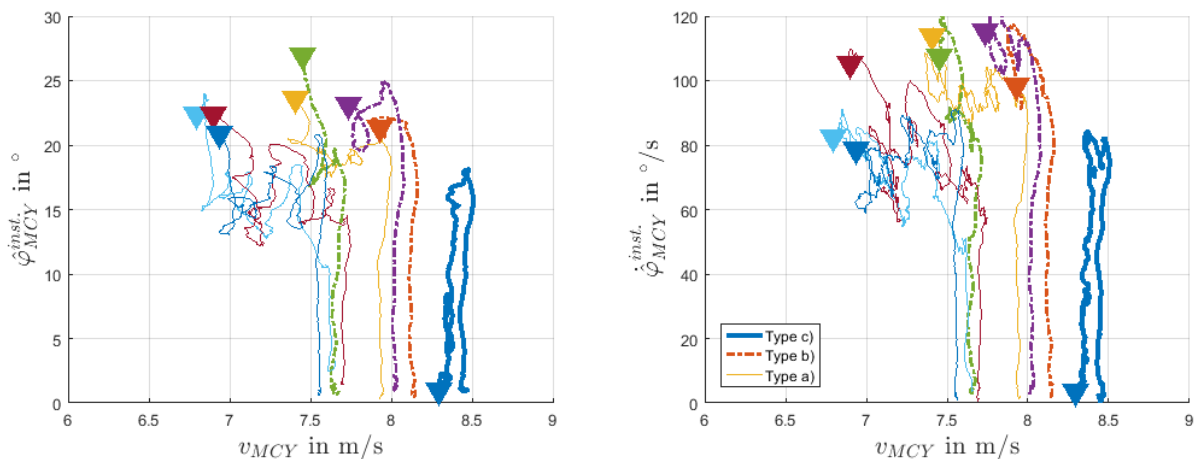


Abb. 15: Momentane Rollwinkel- und Rollratenamplituden über der Geschwindigkeit.

Es ist ersichtlich, dass die abklingende Schwingung c) die höchste Geschwindigkeit bei gleichzeitig geringsten Schwingungsamplituden aufweist. Da dies mit der höchsten Stabilitätsreserve verbunden ist, ist nicht verwunderlich, dass dies der einzige Versuch ohne Fahrerintervention ist. In den weiteren Versuchen ist zu beobachten, dass eine Intervention zwar bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (von 6,8 m/s bis 7,9 m/s) auftritt, jedoch niemals unterhalb einer Schwelle von 20° Rollwinkel. Insbesondere die Fahrten von Typ a) zeigen, dass die Niedriggeschwindigkeitspendelmode selbst bei Geschwindigkeiten unterhalb von 7,5 m/s noch über mehrere Perioden aufrechterhalten wird.

Die gezeigten Verläufe weisen nach, dass bei Geschwindigkeiten unter 8 m/s ein grenzstabiles, und bei Geschwindigkeiten unter 7 m/s ein instabiles Fahrzeugverhalten vorliegt. Sie legen den Niedriggeschwindigkeitsbereich für das genutzte Messmotorrad somit auf  $v_{low} < 7$  m/s fest. Ab dieser Geschwindigkeit sind passende Fahrereingaben zur Stabilisierung des Motorrades unabdingbar.

Es wird zudem gezeigt, dass die Rollschwingungen des Motorrades durch geeignete Oberkörperbewegung des Aufsassen abgebrochen werden können. Durch eine geeignete Phasenänderung der Oberkörperbewegung kann es so zu einer schnellen Stabilisierung der Pendelmode kommen.

#### 6.3-4 Fahrereingaben im Niedriggeschwindigkeitsbereich

Zur Untersuchung der Stabilisierung des Motorrades im Niedriggeschwindigkeitsbereich erhielten drei Probanden jeweils die Anweisung, mit konstanten Geschwindigkeiten (25, 20, 15, 10, 5, <5 km/h) in unterschiedlichen Reihenfolgen über eine Distanz von ca. 100 m auf gerader Linie zu fahren. Zur Auswertung der Fahrten dienen Häufigkeitsverteilungen der gefahrenen Oberkörperlehnwinkel eines Probanden sowie Lenk- und Rollwinkel des Motorrades bei verschiedenen Geschwindigkeiten. Aufgrund

eines durch Anbauteile außermittigen Fahrzeugschwerpunktes weisen die erfassten Messwerte einen Mittenversatz auf, welcher in den folgenden Darstellungen eliminiert wurde.  $\Delta\delta$  bezeichnet somit den um den Mittelwert bereinigten Lenkwinkel des Motorrads.

Abbildung 16 zeigt beispielhaft die Häufigkeitsverteilung des Lenkwinkels eines Fahrers bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten.

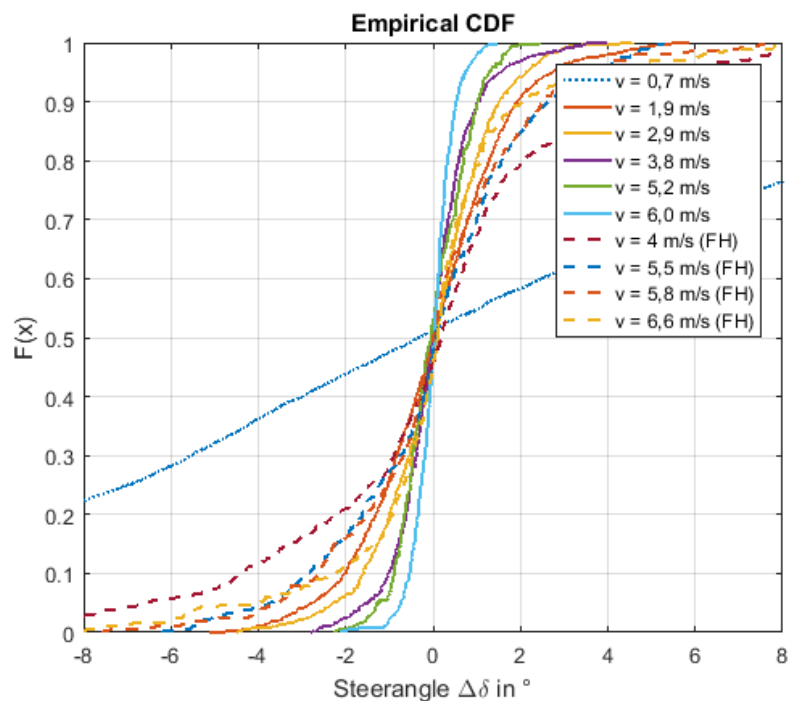


Abb. 16: Häufigkeitsverteilung von Lenkwinkeln für verschiedene Geschwindigkeiten.

In der Darstellung beziehen sich dabei die gestrichelten Linien auf freihändige Fahrt, während die durchgezogenen Verläufe in „normaler“ gelenkter Fahrt ermittelt wurden. Es ist schnell ersichtlich, dass die Häufigkeit großer Lenkamplituden bei fallenden Geschwindigkeiten ansteigt. Nochmals größer fallen indes die (nicht kontrollierten!) Lenkwinkel bei freihändiger Fahrt aus. Die Geschwindigkeiten liegen mit 6,6 m/s bis 4 m/s weit innerhalb des zuvor identifizierten instabilen Bereichs. Der Proband ist somit also gezwungen, durchgehend stabilisierende Bewegungen durchzuführen. Die größten Lenkwinkelausschläge sind bei der niedrigsten gemessenen Geschwindigkeit von 0,7 m/s zu beobachten. Obwohl die Differenzgeschwindigkeit zur nächsthöheren gemessenen Geschwindigkeit nicht größer ausfällt als zwischen den weiteren Messungen, ist ein überproportional großer Anstieg der Lenkwinkelamplituden festzustellen. Mehrere Einflussfaktoren können zu diesem Verhalten beitragen:

- Die Geschwindigkeit kann nur noch mit schleifender Kupplung befahren werden. Der Proband ist also neben der Querdynamikregelung nun auch verstärkt durch die Längsdynamikregelung beansprucht.

- Das Lenkmoment nimmt bei solch niedrigen Geschwindigkeiten stark zu. Damit steigt erneut die Fahrerbeanspruchung.

Zum Vergleich der Messreihen mehrerer Fahrten und verschiedener Probanden bietet sich die Darstellung der Häufigkeitsverteilungen in Boxplots an. Abbildung 17 stellt die Verteilung des 75. Perzentil der Auslenkungsamplituden von Roll-, Lehn- und Lenkwinkelamplituden von drei verschiedenen Fahrern über mehrere Versuchswiederholungen dar.  $v_{MCY}^{\approx}$  bezeichnet dabei die auf den Skalenwert gerundete, mittlere Geschwindigkeit des Motorrades. In einer Box werden somit alle Fahrten zusammengefasst, welche den geringsten Abstand zum Skalenwert besitzen. (Bspw. werden alle Versuche mit mittlerer Geschwindigkeit zwischen 0,75 m/s und 1,24 m/s in der 1 m/s Box zusammengefasst.)

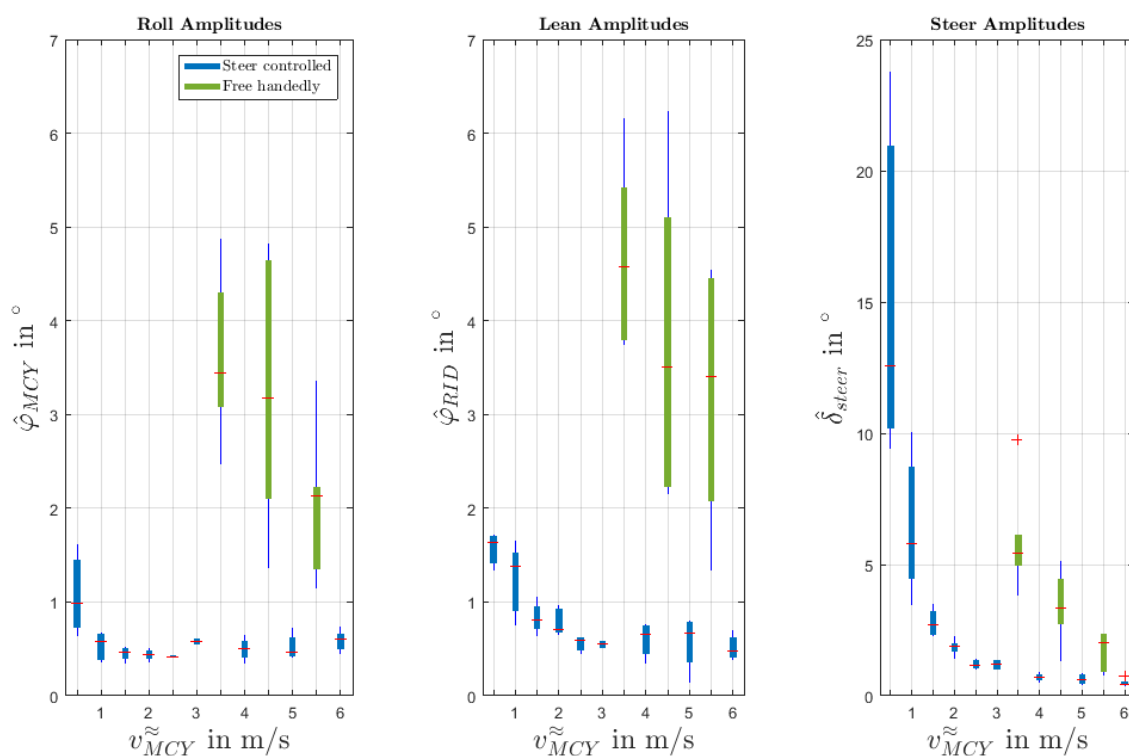


Abb. 17: Schwingungsgrößen bei unterschiedlichen nominellen Geschwindigkeiten in gelenkter und freihändiger Fahrt.

Die in Abbildung 17 gezeigten Diagramme zeigen deutlich den Anstieg von Roll-, Lehn- und Lenkaus-schlägen in Richtung niedrigerer Fahrgeschwindigkeiten für alle Probanden auf. Wie zuvor beschrieben, können in freihändiger Fahrt selbstverständlich nicht solch niedrige Geschwindigkeiten wie in gelenkter Fahrt erreicht werden. Die bei freihändiger Fahrt signifikant größeren Rollwinkelamplituden weisen nach, dass ohne Kontrolle der Lenkung die Möglichkeiten zur Stabilisierung durch den Aufsassen deutlich eingeschränkt sind. Unter Wegfall der Lenkeingabe fallen somit auch die Bewegungsamplituden über viermal so hoch aus, wie in gelenkter Fahrt. Jedoch zeigen die Messwerte ebenfalls, dass selbst ohne Lenkeingabe die rechte, imaginäre Halbebene durch geeignete Oberkörperbewegungen befahren werden kann.

## 6.5 Fahrereingaben im Motorradfahringsimulator

Neben den Realfahrmanövern wurden Versuche auf dem DESMORI Motorradfahringsimulator durchgeführt. Die Fahraufgabe für vier auf dem Simulator trainierte Probanden bestand erneut darin, lediglich geradeaus zu fahren. Dazu wurde zunächst auf eine Startgeschwindigkeit von 80 km/h beschleunigt. Diese wurde für eine Dauer von einer Minute gehalten, bevor der Proband angewiesen wurde, die Geschwindigkeit um jeweils 10 km/h zu verringern, bis er schließlich nach 8 einminütigen Abschnitten in den Stillstand bremsen soll.

Die Parametrierung des am Simulator implementierten Fahrdynamikmodells basiert zwar auf Daten des verwendeten Messmotorrades, jedoch ist das Modell nicht validiert, da bei der Entwicklung des Simulators eine valide Replikation eines bestimmten Realfahrzeuges nicht gefordert war und stattdessen im Vordergrund stand, grundsätzlich das Fahrgefühl „eines Motorrades“ zu erreichen um in den Probanden ähnliche Verhaltensmuster wie in der Realfahrt zu provozieren. Somit ist der Grenzstabile Bereich erneut ab einer Geschwindigkeit von ca. 30 km/h zu erwarten.

Wie in Abschnitt 5 erläutert nutzt der Simulator eine Kraftmessdose (LC) zur Erfassung des fahrerinduzierten Rollmomentes. Unterhalb von 30 km/h wird eine virtuelle Stabilisierung (Stabi) vorgenommen. Abbildung 18 stellt jeweils für vier Konfigurationen die von vier Probanden wie zuvor ermittelten 75. Perzentile der Winkelamplituden dar.

- Bei ausgeschalteter Rollmomentenerfassung („LC OFF“) ist die Steuerung des Simulators lediglich über Lenkeingaben möglich. Die Körperbewegung besitzt keinen Einfluss.
- Bei ausgeschalteter Stabilisierung („Stabi OFF“) muss das virtuelle Fahrzeug allein durch passende Fahrereingaben stabilisiert werden.

Abbildung 18 zeigt deutlich, dass ein Anstieg der Winkelamplituden bereits bei wesentlich höheren Geschwindigkeiten auftritt, als in realer Fahrt. So werden bereits bei 40 km/h (=11,11 m/s) Rollwinkel zwischen 2° und 7° beobachtet, was in der Realfahrt den bei freihändiger Fahrt mit unter 30 km/h ermittelten Werten entspricht. Das virtuelle Fahrzeug besitzt folglich deutlich geringere Stabilitätsreserven als das reale Vorbild. Der zur Erreichung niedriger Geschwindigkeiten hinzugenommene Stabilisator bewirkt unterhalb von 30 km/h gut sichtbar eine Reduktion der Winkelamplituden. Dies führt zwar zu einer besseren Kontrollierbarkeit des Simulators, jedoch ist kein realgetreues Empfinden der Systemimmanenten Instabilität mehr möglich. Die Verwendung der Rollmomentenerfassung bewirkt nach Will<sup>11</sup> eine Verbesserung des Fahrempfindens. In den gezeigten Verläufen könnte sich dies in der Verringerung der Streuung der Messwerte bei niedrigen Geschwindigkeiten widerspiegeln.

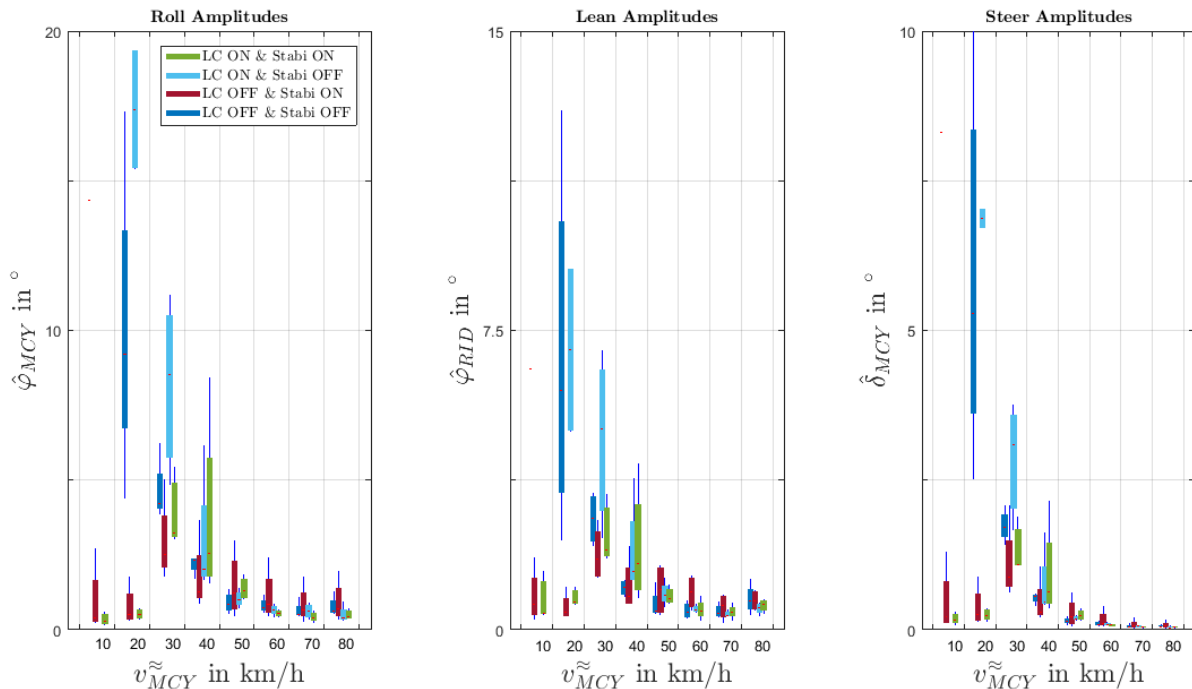


Abb. 18: Schwingungsgrößen bei unterschiedlichen nominellen Geschwindigkeiten für verschiedene Konfigurationen.

## 7 Fazit und Ausblick

Die durchgeführten Fahrversuche zeigen, dass der Niedriggeschwindigkeitsbereich experimentell identifizierbar ist. Durch Ausrollversuche konnte eine grenzstabile Geschwindigkeit ermittelt werden, ab welcher ein Niedriggeschwindigkeitspendeln beobachtbar ist. In folgenden Pendelversuchen konnte die Grenzgeschwindigkeit genauer bestimmt werden, ab welcher die Niedriggeschwindigkeitspendelmode nicht mehr gedämpft ist und das System instabil wird. Bei dieser Grenzgeschwindigkeit ist der große Einfluss der Fahrerbewegung sichtbar. Sie ist in der Lage, das Motorrad in einem Zustand anhaltender Schwingung zu halten, diese anzufachen oder abzuschwächen, sodass gar wieder ein stabiler Fahrzustand erreicht werden kann. In gelenkten und freihändigen Geradeausfahrten wurden zur Befahrung des Niedriggeschwindigkeitsbereiches erforderliche Lenk- und Lehnausschläge gemessen. Diese nehmen mit fallender Geschwindigkeit stetig zu. Die größte Zunahme ist kurz vor Erreichen des Stillstands zu beobachten, was auf eine erhöhte Fahrerbeanspruchung durch eine anspruchsvollere Längsdynamikregelung und gestiegene Lenkmomente zurückgeführt werden kann. Es wurde gezeigt, dass bei freihändiger Fahrt allein durch Körperbewegung der befahrbare Geschwindigkeitsbereich (hier bis ca. 4 m/s) weit bis in den Niedriggeschwindigkeitsbereich (hier unterhalb von ca. 7 m/s) erweitert werden kann. Auf dem Motorradfahrersimulator zeigt sich, dass das Fahrdynamikmodell geringere Stabilitätsreserven besitzt als das Realfahrzeug. Bereits bei hohen Geschwindigkeiten ab 60 km/h nehmen die Winkelausschläge zu. Sie werden – wie in der Realfahrt – bei sinkenden Geschwindigkeiten maximal. Die Be-



rücksichtigung der Körperbewegung allein ist nicht in der Lage, den Befahreren Geschwindigkeitsbereich auszuweiten. Erst eine virtuelle Stabilisierung des Fahrdynamikmodells ermöglicht das Befahren des Niedriggeschwindigkeitsbereichs. Dabei kann jedoch das reale Fahrverhalten und damit verbundene Fahrempfinden der Probanden nicht aufrechterhalten werden.

In weiteren Untersuchungen gilt es, die Stichprobenzahl der gezeigten Versuche zu vergrößern und die Versuchsparameter (bspw. Zielgeschwindigkeit, definierte Störanregungen) besser kontrollierbar zu machen um ein besseres Verständnis über die Fahrerbeeinflussungen zu erlangen. Auf dem Simulator besteht weiterhin die Herausforderung, ein zur Realfahrt vergleichbares Stabilitätsniveau zu erreichen. Dies kann z.B. durch eine Anpassung der Parameter des Fahrdynamikmodells oder virtuelle Stabilisierung erfolgen. Vielmehr ist es jedoch wünschenswert, lediglich durch eine geeignete Fahrereingabeerfassung und korrekte Bewegungsdarstellung eine Stabilisierung durch den Probanden zu ermöglichen.

## 8 Hinweise

Die hier gezeigten Entwicklungen fanden im ZIM (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) geförderten Projekt VIR2AL statt, das durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie unterstützt wurde.

## 9 Literaturnachweise

### **Büttner, A.: Analyse der Fahrerbeeinflussung im Niedriggeschwindigkeitsbereich (2018)**

Büttner, A.: Analyse der Fahrerbeeinflussung im Niedriggeschwindigkeitsbereich auf einem Einspurfahrzeug, Masterthesis, TU Darmstadt (2018)

### **Cheli, F. et al.: Driver's movements influence on the lateral dynamic of a sport motorbike (2011)**

Cheli, F.; Pezzola, M.; Taroni, N.; Mazzoleni, P.; Zappa, E.: Driver's movements influence on the lateral dynamic of a sport motorbike, in: 19th Mediterranean Conference on Control & Automation (MED), 2011, IEEE, Piscataway, NJ, 2011

### **Cossalter, V. et al.: Development and validation of an advanced motorcycle riding simulator (2010)**

Cossalter, V.; Lot, R.; Massaro, M.; Sartori, R.: Development and validation of an advanced motorcycle riding simulator, in: Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering (6), Jahrgang 225, S. 705–720, 2010

**Limebeer, D. J. et al.: Motorcycle Steering Oscillations due to Road Profiling (2002)**

Limebeer, D. J. N.; Sharp, R. S.; Evangelou, S.: Motorcycle Steering Oscillations due to Road Profiling, in: Journal of Applied Mechanics (6), Jahrgang 69, S. 724, 2002

**Nehaoua, L. et al.: Design and Modeling of a New Motorcycle Riding Simulator (2007)**

Nehaoua, L.; Hima, S.; Arioui, H.; Seguy, N.; Espie, S.: Design and Modeling of a New Motorcycle Riding Simulator, in: American Control Conference, 2007, IEEE Service Center, Piscataway, NJ, 2007

**Pacejka, H. B.: Tyre and vehicle dynamics (2006)**

Pacejka, Hans B.: Tyre and vehicle dynamics, 2. Auflage, Elsevier, Amsterdam, 2006

**Pless, R. et al.: Determining the rider induced roll torque on dynamic motorcycle riding simulator. (2015)**

Pless, R.; Guth, S.; Will, S.; Winner, H.: Determining the rider induced roll torque on dynamic motorcycle riding simulator., in: Driving Simulation Conference & Exhibition, 2015

**Pleß, R. et al.: Manöverumsetzung auf Motorrad Fahrsimulator (2016)**

Pleß, Raphael; Will, Sebastian; Hofmann, Marius; Winner, Hermann: Manöverumsetzung auf einem dynamischen Motorrad Fahrsimulator, in: Institut für Zweiradsicherheit e.V. (Hrsg.): ifz Forschungsheft Nr. 17 Nr. 2016, 2016

**Rice, R. S.: Rider Skill Influences on Motorcycle Maneuvering (1978)**

Rice, Roy S.: Rider Skill Influences on Motorcycle Maneuvering, in: , SAE Technical Paper Series, SAE International 400 Commonwealth Drive, Warrendale, PA, United States, 1978

**Sharp, R. S. et al.: Advances in the Modelling of Motorcycle Dynamics (2004)**

Sharp, R. S.; Evangelou, S.; Limebeer, D.J.N.: Advances in the Modelling of Motorcycle Dynamics, in: Multibody System Dynamics (3), Jahrgang 12, S. 251–283, 2004

**Stedmon, A. W. et al.: 'MotorcycleSim' (2011)**

Stedmon, A. W.; Hasseldine, B.; Rice, D.; Young, M.; Markham, S.; Hancox, M.; Brickell, E.; Noble, J.: 'MotorcycleSim', in: The Computer Journal (7), Jahrgang 54, S. 1010–1025, 2011

**Tanelli, M. et al.: Modelling, Simulation and Control of Two-Wheeled Vehicles (2014)**

Tanelli, M.; Corno, M.; Saveresi, S.: Modelling, Simulation and Control of Two-Wheeled Vehicles, Wiley, 2014

**Will, S.: Diss., Development of a presence model for driving simulators based on speed perception in a motorcycle riding simulator (2017)**

Will, Sebastian: Development of a presence model for driving simulators based on speed perception in a motorcycle riding simulator, Dissertation, Würzburg, 2017

**Will, S. et al.: The use of proprioceptive cues in order to enhance presence in a dynamic motorcycle riding simulator (2017)**

Will, Sebastian; Hammer, Thomas; Pleß, Raphael: The use of proprioceptive cues in order to enhance presence in a dynamic motorcycle riding simulator, Stuttgart, 2017

## Kontakt

Raphael Pleß M.Sc.

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Fahrzeugtechnik

Otto-Berndt-Straße 2

D-64287 Darmstadt

Tel: +49 (0)6151 - 16 24234

Fax: +49 (0)6151 - 16 24205

Mail: [pless@fzd.tu-darmstadt.de](mailto:pless@fzd.tu-darmstadt.de)

Preventing lateral sliding in curves

Verhinderung seitlichen Rutschens in Kurven

Matthias Klews, Anja Wahl, Andreas Georgi  
Robert Bosch GmbH, Germany

## Abstract

End of 2013 Bosch brought MSC (Motorcycle Stability Control) to the market. This system consists of an inertial sensor based lean angle estimation, a lean angle dependent ABS and traction control. While safety of braking and accelerating in curves are considerably increased by this system the range of use is still bounded by the physical limits of the friction between tire and road. If the motorcycle begins to slide laterally a one-sided intervention of single wheels as done for passenger cars (ESP<sup>®</sup>) is not possible. Therefore other possibilities to induce yaw torques or lateral forces to stabilize a sliding motorcycle are required.

With this understanding the world's first realization of a motorcycle safety system for the prevention of lateral sliding wheels is described. The core component of the system is an actuator which provides repulsion forces by fast escaping gas. The resulting force progression compensates the missing lateral tire friction force and is therefore able to prevent skidding of the motorcycle. At first, the concept has been analyzed extensively by riding dynamics simulation studies especially regarding friction changes in curves. For the build-up of the actuator prototype, gas pressure tanks from airbag units of passenger cars were integrated into the test bike apparatus. For the recognition of lateral sliding wheels, inertial sensors are used to estimate the wheel slip angles. First riding tests were performed by inducing sliding conditions provoked by applying strong brake forces when passing low friction patches in curves. The tests showed clearly that the feared scenario of a lowsider can be avoided, which is currently not addressed by any other active safety system on the market.

Preventing lateral sliding in curves

# 1 Introduction

In 2014, market research experts from the Spiegel Institute conducted an online user survey aiming German motorcycle riders. It was asked for experiences and most feared situations especially while riding curves. The target group was active motorcyclists experiencing accumulated riding mileage of at least 2000 km per year. Overall 506 riders participated, 47% using a motorcycle equipped with ABS and 28% with traction control systems. Within this survey, sudden friction changes and misjudgment of curves were evaluated as the most dangerous situation while curve riding. 30 participants suffered an accident in curves, most of them were lowsiders due to friction changes. The participants were asked about desired future assistance and safety systems currently not offered on the market without any further specified realizations. A system for the prevention of lateral sliding wheels was clearly the most favored one.

In the following, a newly introduced actuator concept generating repulsion forces from fast escaping gas to compensate a lack of tire forces in case of lateral sliding is described (fig. 1.1). The recognition of sliding situations using inertial sensors and first riding tests with prototypical implementations of this new kind of actuator is outlined. The goal of the corporate research project to prove the feasibility to stabilize incipient sliding by a suitable repulsion force intervention was achieved. However, it has to be outlined that the concept as described in the following is currently still in a prototypical stage.



Fig. 1.1: New actuator concept: repulsion forces offered by fast escaping gas

## 2 Investigation methods of lateral sliding initiated by friction changes

Since lateral sliding wheels of a powered two-wheeler often lead to an accident, it is obvious that simulations are the most suitable method for deep studies. For this purpose, the multibody simulation tool BikeSim was used to build up a model of a KTM Adventure 1190 which was the target bike for the first real-life tests. BikeSim was coupled with the ASCET environment including the original MSC software and runs in co-simulation mode with MATLAB/Simulink, which includes the models of actuator concepts to be investigated. The simulation model was validated extensively by comparing dynamical values like roll and pitch angles, side slip angles, spring travel etc. measured with the reference bike while riding maneuvers like slalom, strong braking/accelerating, drifting done by a professional rider with a bike extensively equipped with sensors (see below). With the validated simulation model more than 50 maneuvers were investigated including a wide parameter set of different curve radii, friction steps (short zones with lowered friction) and friction changes (friction stays low after the friction change). These parameters were combined in a way that lowsiders where the bike falls to the inside of the turn and highsiders where the bike straightens up suddenly and bucks off the rider occur. In a same manner maneuvers with simultaneous lateral sliding of both wheels with the motorcycle crashing and also close to crashing were reconstructed. BikeSim offers all relevant dynamical variables like roll and pitch angles, accelerations, turn rates and slip angles directly, so that a very deep understanding of the dynamics in situations like sudden friction changes could be achieved.

Beside the investigations in simulation, actual bike tests were conducted in a careful way. The test bike was equipped with customized outriggers (fig. 2.1) with roll angle adaptive kinematics and permanent ground contact to decrease the influence on the lateral moment of inertia in comparison with conventional rigid outriggers. The bike was equipped with standard MSC sensors, additionally a steering angle sensor, stroke sensors and the high-precision inertial reference system GeneSys ADMA were built in. Friction changes were prepared by gravel patches. A professional test rider consistently performed the maneuvers including sliding of the front wheel and/or rear wheel in a way that capsizes would be unavoidable without using outriggers.





Fig. 2.1: Test bike with outriggers

### 3 Inertial sensor based detection of lateral sliding wheels

The results of the simulations and the real bike measurements offered the possibility to develop an MSC sensor based algorithm for the estimation of the vehicle slip  $\alpha$  and wheel slip angles  $\alpha_{FW/RW}$ , which are illustrated in fig. 3.1.

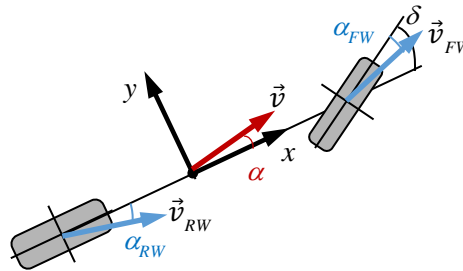


Fig. 3.1: Illustration of slip angles

The slip angle is defined as

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{v_y}{v_x}$$

where  $v_x$  and  $v_y$  are the lateral and longitudinal velocity at a defined point, usually at the center of mass of the vehicle for the vehicle slip angle and at the tire contact patch for the front and rear wheel slip angle. The expression of the front wheel slip angle also includes the steering angle  $\delta$ , therefore

$$\alpha_{FW} = \tan^{-1} \frac{v_{yFW}}{v_{xFW}} - \delta$$

The MSC algorithm is able to estimate the roll and pitch angle with very high accuracy. The algorithm as described in [2] uses the 5D inertial sensor MM5.10 which measures three acceleration components and two turn rate components. In case of lateral sliding wheels, the usage of a 6D sensor is obligatory for a high accuracy estimation of side slip angles. Therefore an additional turn rate sensor is added to the standard MM5.10. The software of the standard MSC vehicle state estimation was extended for the calculation of the slip angle at the sensor position. This slip angle was transformed to the wheel contact patches of the front and rear wheel, which is yielding the wheel slip angles. The results of the MSC based slip angle estimation was validated by results of the multibody simulation and also in real bike testing while riding over friction changes. Fig. 3.2 shows a simulation example of the front and rear wheel slip angles while riding a slalom including a short friction patch. The point in time when contact is made with the friction patch (~12.1s) can be identified by the wheel slip angles.

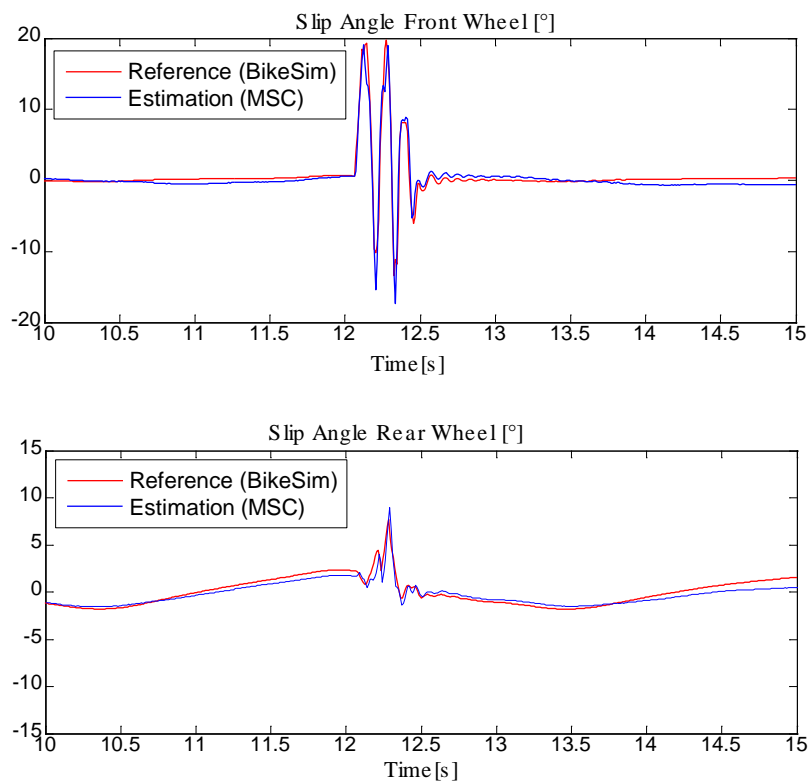


Fig. 3.2: Simulation of wheel slip angles

As is the case for passenger cars also applicable for motorcycles, the slip angles are crucial quantities to indicate sliding situations. Combining these quantities with further motorcycle state information based on the simulated maneuver catalogue a sliding detection criteria has been derived. This criteria also includes slip angle rates, roll angle and velocity and discriminates between stable and unstable situations.

Fig. 3.3 shows a comparison between the vehicle slip angle at the sensor position of the inertial sensor of the KTM 1190 Adventure (below the tank) and a high precision inertial sensor measurement unit with GPS-backing (Genesys ADMA) of a real bike riding over a friction step which is reached at 55s. Also in real bike testing, the current MSC based slip angle estimation (green line) and the measurement of the reference system (red line) can be utilized to identify the occurrence of lateral sliding.

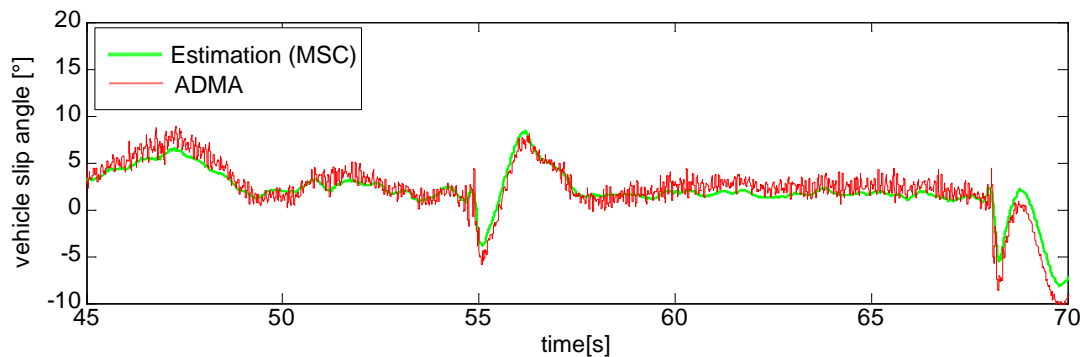


Fig. 3.3: MSC based slip angle estimation in comparison with the high-accuracy inertial sensor reference system Genesys ADMA

#### 4 Sliding mitigation by repulsion forces: Main principle

Wheels begin to slide laterally if the tires are not able to provide sufficient cornering forces due to lack of available friction. Nowadays two-track vehicles use control systems like ESP<sup>®</sup> which generates yaw torques by one sided brake interventions to prevent skidding of the vehicle. An ESP<sup>®</sup>-like system for powered two-wheelers would be very desirable but of course one sided brake interventions are not possible in a single-track vehicle. Therefore, other possibilities to produce lateral forces or yaw torques has to be found. An ideal safety system for the case of lateral sliding wheels would compensate exactly the force, which the tire can't offer, to keep the bike on track. So it would be desirable to produce the missing amount of force by some kind of device, which offers forces against the centrifugal forces. A sketch of the main idea is shown in fig. 4.1. If this device would produce in some way a force parallel to the wheel axis, two effects would counteract lateral sliding while curve riding: 1. a force component in lateral direction which compensates lateral sliding directly and 2. a vertical component which increases the contact pressure of the wheel to increase the tire friction forces. It has to be pointed out that the main goal of this idea is not to influence the roll angle e.g. resulting in straightening up the bike. Ideally the rider can continue curve riding, unaware that tire friction limits are exceeded. In fact, an additional roll torque is produced which would raise the declination. This additional roll torque is the smaller the lower the force transmission point is. In the following investigation the highest transmission position is around the wheel axis, and any effects of additional torque are negligible.

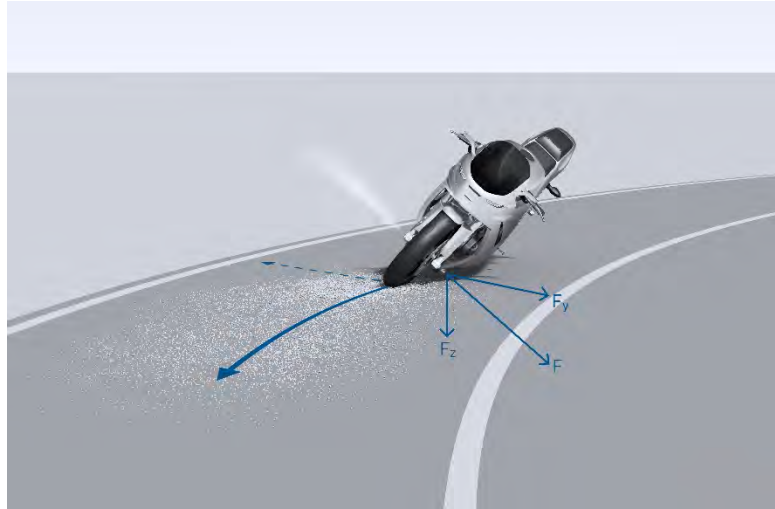


Fig. 4.1: Operating principle of sliding mitigation

Fig. 4.2 shows a sketch of the complete control loop. The estimated slip angles, slip angle rates and the roll angle are used to detect lateral sliding of wheels. If these quantities exceed specified limits, the additional force is produced in a controlled way to push the slip angles back to non-critical values.

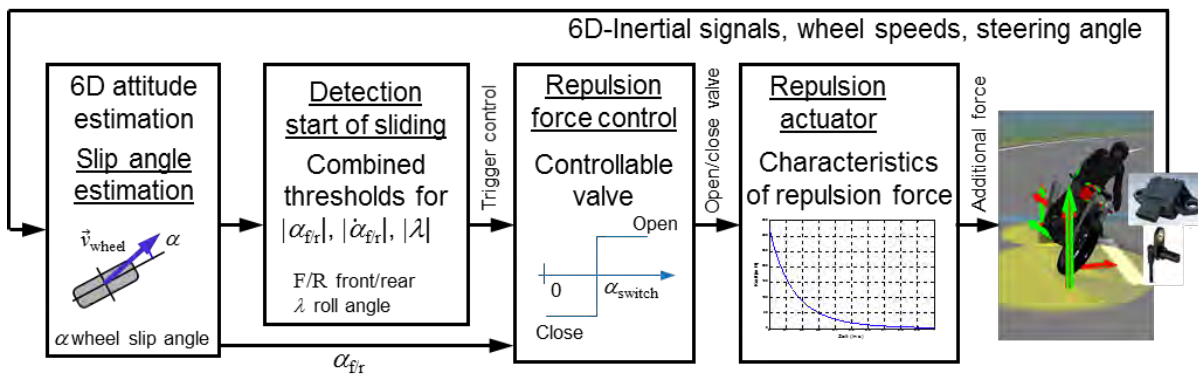


Fig. 4.2: Scheme of the closed loop control system

The convenient position of the repulsion force transmission can be investigated by the simulation environment as described in Chapter 2. It seems likely that in a sliding rear wheel condition the repulsion force should be transmitted nearby the rear wheel axis. However a sliding rear wheel can potentially be recovered by the rider and the amount of accidents due to sliding rear wheels are decreasing. This is due to traction control systems that are much improved in the last years, e.g. especially MSC which offers roll angle dependent traction control. Therefore a sliding front wheel is the more critical case leading to an accident. Thus a repulsion force transmission located near the front wheel seems to be more effective. However, if a force producing device is fixed on the steering system, it may not induce undesirable steering movement while the system is activated. In case of simultaneous sliding of front

and rear wheel a force transmission somewhere between both wheels seems to be promising and also capable of catching single sliding wheel events.

A possibility to realize external forces on the chassis is the usage of the repulsion principle. If some kind of media, e.g. gas is exhausted from a reservoir mounted on the chassis, a reaction force is induced due to the momentum conservation principle. If a mass difference  $\Delta m$  is exhausted with a velocity of the media particles  $v$  the force

$$F = v \cdot \frac{\Delta m}{\Delta t}$$

is induced. If the medium is exhausted during the time  $t$  a complete change of momentum

$$\Delta p = \int F dt$$

is transferred to the chassis. A prototype of such a repulsion actuator is further described and tested in Chapter 6.

## 5 Simulation example: Low friction patch with intervention at sprung mass

With the simulation environment and simulated maneuvers as described in Chapter 2, several intervention concepts of a repulsion actuator were considered. An example of the application of a repulsion force at the front of the sprung mass below the engine is described in more detail.

Fig. 5.1 shows an animation of the simulated dynamics of a ride over a low friction patch (marked with a blue/light blue stripe). The red bike has no support by actuator force, it begins to slide and finally ends up on the ground. The green bike passes over the same low friction patch, the sliding event is recognized by criteria as described in the previous chapters and a force is induced on the sprung mass. This force acts opposed to the green arrow illustrated in fig. 5.1. After the intervention, the green bike continues to maintain a stable turning radius.

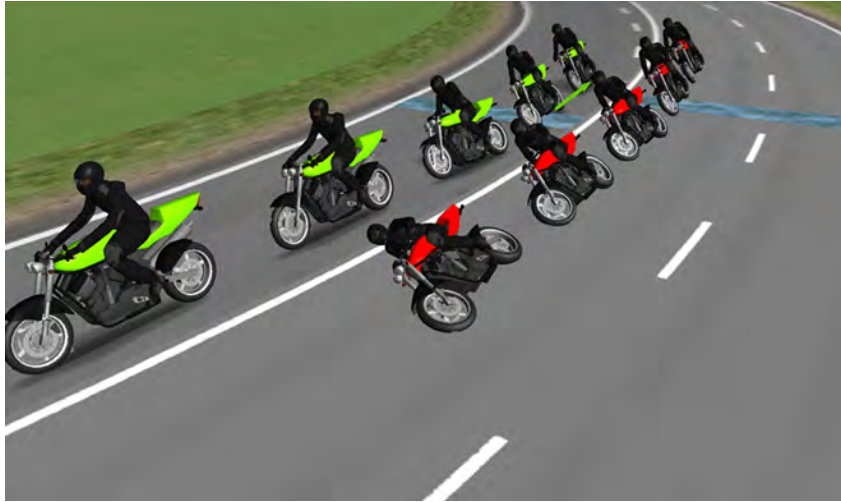


Fig. 5.1: Simulation of a ride over a low friction patch (green bike with system support, red without)

In fig. 5.2, the rear wheel slip angles (RWSA) and front wheel slip angles (FWSA) of both bikes are shown in comparison. The intervention flag is also sketched (blue line). In this example, firstly the front wheel slip angle reaches a critical value that triggers intervention. The slip angles of the red bike (also plotted with red/light red lines) obviously get completely out of control while the slip angles of the green bike (plotted with green/light green lines) are stabilized.

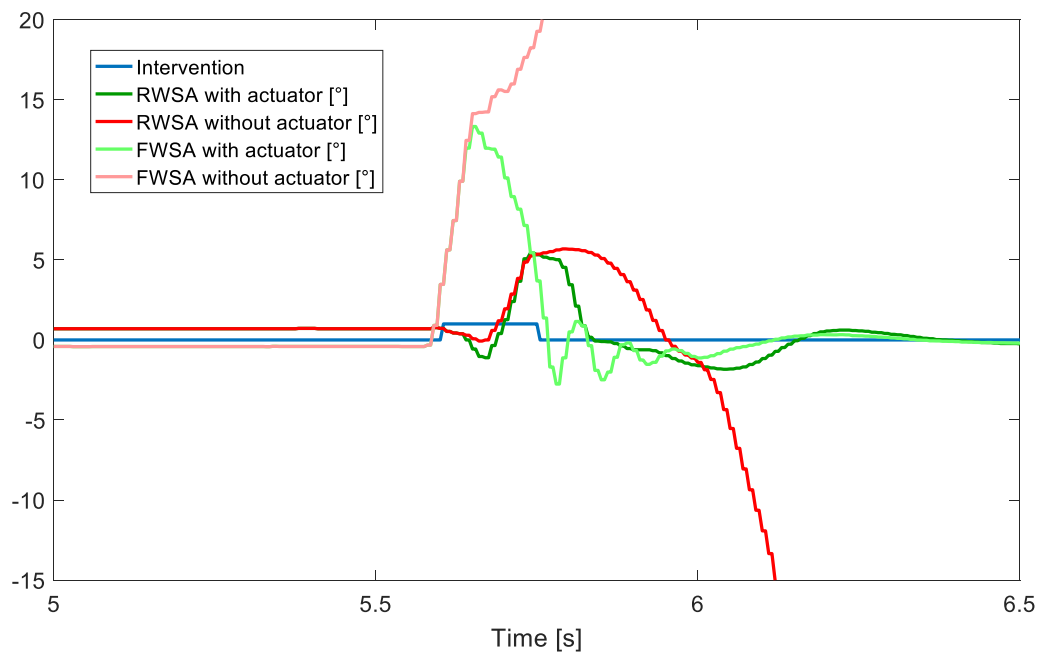


Fig. 5.2: Front wheel slip angles (FWSA) and rear wheel slip angles (RWSA) corresponding to the maneuver in fig. 5.1

As mentioned in Chapter 2 about 50 maneuvers with different parameters like velocity, curve radii, length of low friction zone, with and without braking interventions were investigated. It is clear that the force and duration of the intervention is strongly dependent from the maneuver details. With simulation methods, the force demand can be determined and can be arbitrary in size. The challenge is to construct a real actuator providing forces to catch as many critical situations as possible.

## 6 Built-up and testing of actuator prototypes

Of course, any computer simulation represents a simplified model of the real world. Especially tire and rider models are still a relevant research topic to represent a realistic riding behavior with reasonable computing effort. Beyond that simulation can't predict reactions of human riders on such an intervention as described above, especially if the actuator doesn't offer a perfect compensation of missing tire forces, produces noise or other undesired side effects. The simulation results showed that a high force has to be built up within a millisecond range. Besides the desired force characteristic for a marketable and consumer-friendly product, additional factors must be considered like low mass, durability, easy usability and servicing, optical design. Ideally a retrofit solution that don't require extensive modifications for installation on production bikes is preferred.

The research team considered multiple actuator concepts. First test actuators with already existing components from the automotive field were built up. They use the repulsion force from fast exhausted gas. In fig. 6.1. a test actuator mounted on the sprung mass of a motorcycle is shown. If the repulsion force has to be applied, the four cold gas generators are ignited simultaneously. Then the complete gas flows out of the throttle. The repulsion characteristic (maximum force, time progression) is strongly dependent of the shape of the throttle. Estimations of the expected force shape were done respectively.



Fig. 6.1: Repulsion actuator with four cold gas generators on the sprung mass

Especially for the use case of a sliding rear wheel, another repulsion actuator was constructed and mounted on the rear arm swing (fig. 6.2). It uses three cold gas generators only. Since this test actuator mounted at the unsprung mass of the rear wheel suspension is not weight optimized it modifies the riding behavior significantly.



Fig. 6.2: Repulsion actuator with three cold gas generators (CGG) on the rear arm swing



Before the riding tests with these test actuators, force measurements in a test rig were done. Due to safety reasons, the test rig was surrounded by acrylic glass. The test rig was not closed at the roof to keep atmospheric pressure inside the test rig. Opposite of the throttle, a force sensor was mounted to record the force progression. The setup while the actuator is ignited is shown in fig. 6.3. The force range which seems to be required deduced from the simulation results was reached.



Fig. 6.3: Test rig for the force measurement of the actuator prototype

After the check of the functionality with rig tests, riding tests were conducted. Starting with the more controllable scenario of a sliding rear wheel, only the actuator on the rear arm swing of a KTM Adventure was used. The criteria to trigger the actuator was implemented into the MSC software running in the ABS controller. A test rider did curve rides over friction steps with the test bike equipped with outriggers as shown in fig. 6.4. The rear wheel sliding was initiated by rear wheel braking over the low friction patch. The first statement of the test rider after the first actuator intervention was “It felt comfortable. I expected something completely different, feared to get a strong kick in my back, perhaps oversliding in the wrong direction. But it pushed me back to the desired lane immediately”.

This subjective expression is underlined by the measuring data shown in fig. 6.5. The red curves are belonging to the test without actuator intervention, the green curves show the ride with the actuator activated. In the upper diagram, the roll angles and rear wheel slip angles are compared. After the ignition, the green curve slip angle keeps its value more or less while the red curve increases further, than it decreases with even changing sign. In combination with the corresponding red curve roll angle which

decreases significantly stronger as the green curve an upcoming highsider scenario can be recognized. The roll angle of the green curve also decreases, but not as strong. The decrease in roll angles are due to the braking during the maneuver, therefore the velocity is also decreased yielding lower roll angles while keeping the curve radius



Fig. 6.4: Riding test with an actuator intervention on the rear

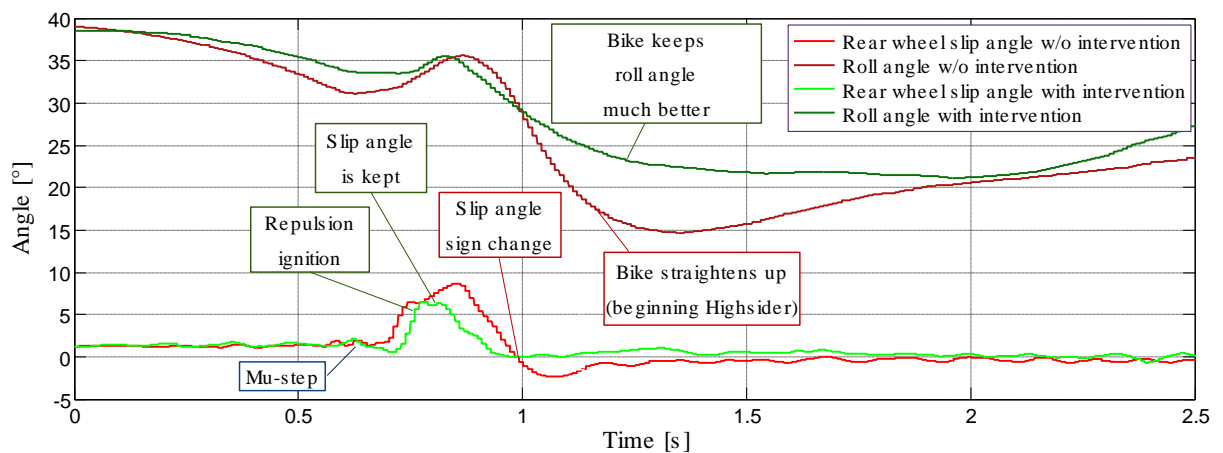


Fig. 6.5: Measurement comparison between rear wheel braking over a friction patch without actuator (red curves) and with actuator activated (green curves)

After the successful tests of the repulsion actuator mounted on the rear arm swing, the actuator at the front of the sprung mass was tested with focus on maneuvers with primarily sliding front wheels. Again, the rider did curve rides but now he initiated front wheel sliding by braking the front wheel. A sequence of a comparison with and without activated repulsion actuator is shown in fig. 6.6. Without repulsion actuator the bike clearly reaches the limits of the outrigger, a crash would have happened. While using

the repulsion actuator the motorbike is able to continue the curve riding. The lateral sliding is stopped. Fig. 6.7 shows the roll angle and the front wheel slip angle in comparison with and without intervention of the repulsion actuator. In this diagram, the actuator starts working at  $t=0$ s. Without repulsion actuator, the roll angle reaches the outrigger limit at  $45^\circ$  and the front wheel slip angle reaches a maximum of more than  $20^\circ$ . In contrast with repulsion actuator intervention, the roll angle is more or less constant at  $40^\circ$ . The front wheel slip angle decreases rapidly after its maximum of  $15^\circ$ .



Fig. 6.6: Testing of the repulsion actuator mounted on the front of the sprung mass. Upper sequence: actuator deactivated, lower sequence: actuator active.

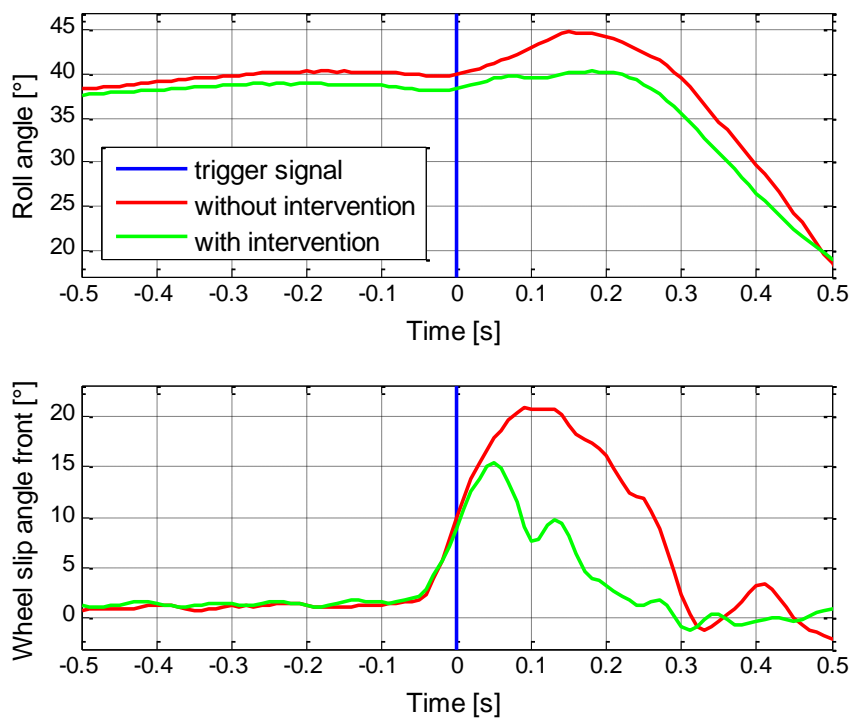


Fig. 6.7: Measurements with and without (red) repulsion intervention, trials with outriggers

After gaining experience with the repulsion actuator intervention while riding over low friction patches, first tests without outriggers were conducted. Fig. 6.8 shows a comparison with and without using outriggers, both with intervention of the repulsion actuator. The maneuvers were ridden immediately in series under the same conditions as far as the rider was able to reproduce the initial conditions (velocity, curve radius, brake pressure). The behavior without outriggers is very similar to the case described above. Again the roll angle more or less kept its value and the increase of the front wheel slip angle is stopped. This similarity confirms that all the tests performed with outriggers are meaningful even though the used outrigger concept is expected to slightly change the riding dynamics.

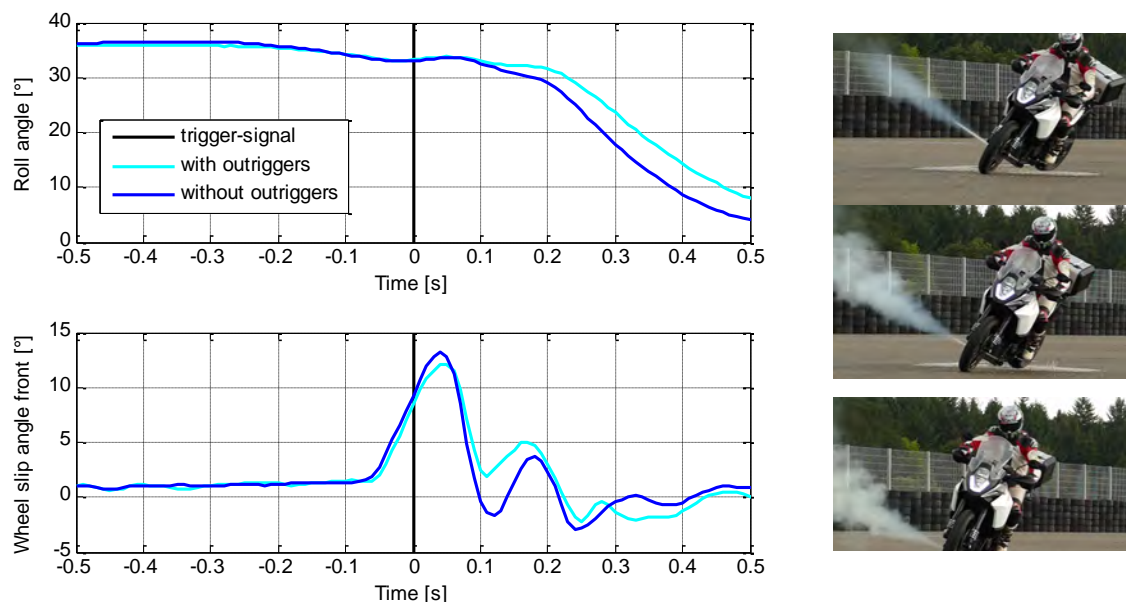


Fig. 6.8: Measurements with and without outriggers, with repulsion intervention

## 7 Summary and outlook

The extensive simulation studies, the measurements and in particular the trials without outriggers demonstrate that the principle of preventing sliding by means of repulsion force works. After the first riding test passing a low friction zone in a curve, the rider stated the system works “like a magic hand which pushes the motorcycle through the curve as if nothing happened”. During several testing days, the function generated reproducible results. The situation recognition is designed in a way that the trigger criterion releases an intervention only in the likelihood of impending crash. Preventing sliding by repulsion therefore has to be understood as an emergency intervention that is comparable with systems of passive safety (e.g. airbags).

The construction of the test actuators, as well as other considerations concerning the realization of gas pressure actuators demonstrates a gas pressure actuator for preventing sliding is in principle technically

feasible under the given requirements. Before starting a serial production further technical, industrial and environmental challenges need to be overcome, like weight and size restrictions, durability, crash safety and endangering the environment by the gas pressure stream.

## References

- [1] G. Matschl, M. Mörbe, C. Gröger, „Motorcycle Stability Control – MSC The next step into safety solutions for motorcycles”, Proceedings of the 10th International Motorcycle Conference 2014, page 128-154.
  
- [2] M. Lemejda, R. Willig, „A New Inertial Sensor Unit for Dynamic Stabilizing Systems of Powered Two Wheelers”, Proceedings of the 9th International Motorcycle Conference 2012, page 66-84.

## Keywords

motorcycle safety, sliding, active safety, curve accidents, skidding, friction changes, motorcycle ESP®, inertial sensor unit, 6 DoF, angular velocity, dynamics, lean and pitch angle, slip angle, cornering ABS, cornering TCS

Why automatization is the future of motorcycle safety!

Warum Automatisierung die Zukunft der Motorradsicherheit ist!

Stefan Hans

BMW Motorrad, Motorradsicherheit, Munich, Germany

Markus Köbe, Günther Prokop

Technische Universität Dresden, Lehrstuhl für Kraftfahrzeugtechnik,  
Dresden, Germany

## Kurzfassung

Um die Zahl der Verkehrsunfälle und besonders auch die der Verkehrstoten zu reduzieren, wird der Fahrer eines modernen Personenkraftwagens von einer Vielzahl an Fahrerassistenzsystemen bei seiner Fahraufgabe unterstützt. Diese können je nach Funktion entweder mit dem Fahrer interagieren oder direkt auf die Fahrdynamik einwirken.

Für Motorradfahrer existieren bisher noch wenige, in Serie verfügbare Assistenzsysteme. Am weitesten verbreitet sind das Anti-Blockier-System und die Traktionskontrolle, welche jedoch beide erst abschwächend eingreifen, wenn der Fahrer zu stark bremst oder beschleunigt. Da das Potential der passiven Sicherheit bei Motorrädern jedoch geringer ist als beim Pkw, sind aktive Sicherheitssysteme in diesem Segment noch wichtiger. Automatisierung ist hierbei der wichtige Schlüsselschritt hin zu Wissensaufbau über aktive Eingriffe.

Dieses Paper befasst sich mit der Frage, wie Modellwissen über die Fahrdynamik des Motorrads in die Entwicklung neuer Komfort- und Sicherheitssysteme einfließen kann. Durch die Adaption der aus der Automatisierung des Pkws bekannten Technologie der modellprädiktiven Regelung auf das Motorrad, wird ein Ansatz gewählt, der es erlaubt, menschliches Fahrverhalten durch eine geeignete Gewichtung unterschiedlicher Kriterien zu generieren.

Als Konzeptbestätigung, dass zugrundeliegendes Fahrdynamikmodell echtzeitfähig und genau genug ist, wird ein Prototyp vorgestellt, welcher die menschlichen Stellgrößen technisch ansteuern und auf einer abgesperrten Teststrecke die komplette Fahraufgabe ohne Fahrer übernehmen kann.



Warum Automatisierung die Zukunft der Motorradsicherheit ist!

# 1 Einleitung

In den letzten Jahren haben sich die Entscheidungskriterien beim Kauf eines Kraftfahrzeugs stark verändert. Im Jahr 2011 nannten 64% der Befragten das Preis-Leistungs-Verhältnis als wichtigsten Kaufgrund. In den darauffolgenden Befragungen dieser zweijährlich erscheinenden Studie sank dieser Wert über 55% im Jahr 2015 auf nur noch 48% für das Jahr 2017. Stattdessen rücken die Kriterien Komfort und Sicherheit immer weiter in den Fokus der Kunden. (Aral, 2017)

Dieser Trend zeigt sich auch in der stark rückläufigen Anzahl der im Straßenverkehr getöteten Pkw-Insassen der letzten 20 Jahre. Abb. 1 zeigt deren Verlauf im Vergleich zur Anzahl der getöteten Motorrad-Aufsassen. Im selben Zeitraum sind die getöteten Insassen um über 72 Prozent zurückgegangen, wohingegen die getöteten Aufsassen nur um ungefähr 40 Prozent gesunken sind.

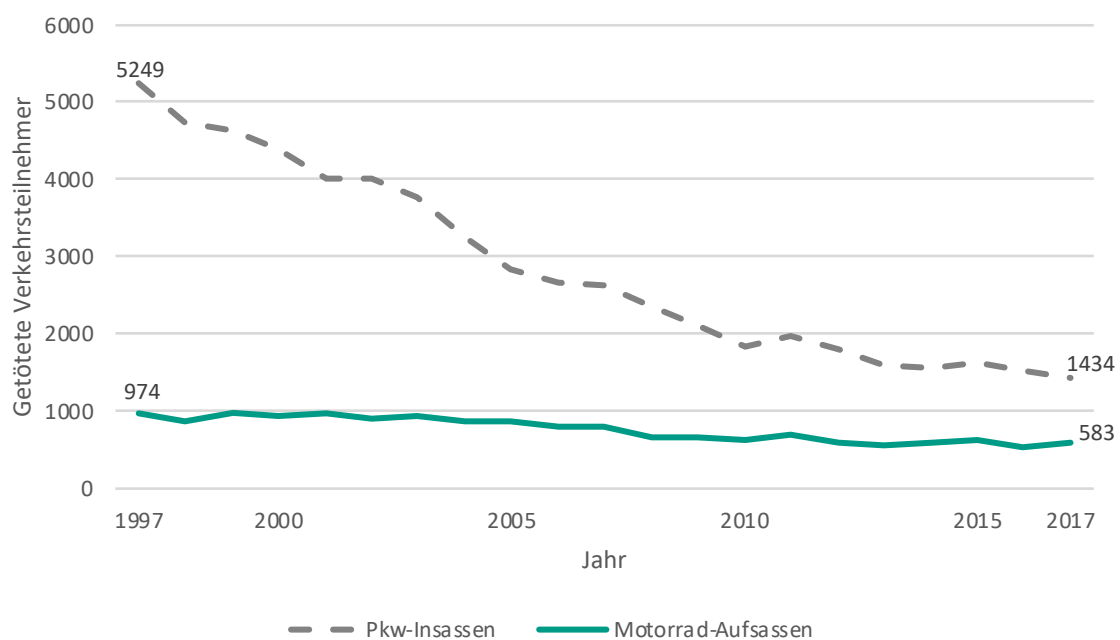


Abb. 1: Verlauf der Anzahl getöteter Pkw-Insassen im Vergleich zu Motorrad-Aufsassen zwischen 1997 und 2017 (DESTATIS, 2017).

Zurückzuführen ist dieser Trend unter anderem auf die großen Fortschritte im Bereich der passiven Sicherheit beim Pkw. Passive Sicherheitssysteme verfolgen das Ziel, die Folgen eines bereits eingetretenen Unfalls zu mindern. Zu den wichtigsten Systemen gehören hierbei die Fahrgastzelle, Rückhaltesysteme und Airbags. Sie nehmen im Ernstfall einen Großteil der Energie auf und schützen so die Insassen eines Pkws. Konzeptbedingt sind die meisten Motorräder jedoch ohne Fahrgastzelle ausgerüstet und bieten daher weniger passiven Schutz.

Als Ergänzung dazu unterstützen Fahrerassistenzsysteme der aktiven Sicherheit den Fahrer bei seiner Fahraufgabe bevor es zu einem Unfall kommt und versuchen diesen nach Möglichkeit zu vermeiden.

Der Begriff der Assistenzfunktion schließt dabei alles ein, was dem Fahrer einen Teil der Fahraufgabe abnimmt. Dabei beschränkt sich die Unterstützung nicht nur auf die Handlungsausführung. Auch informierende Systeme zählen dazu, da sie den Fahrer bei der Situationserkennung sowie deren Einschätzung unterstützen. Sie erstrecken sich von grundlegenden Funktionen wie dem elektrischen Anlasser, Scheibenwischer oder Blinker über Fahrdynamikregelfunktionen wie Dynamic Stability Control (DSC), das ein Übersteuern des Fahrzeugs verhindert, bis hin zu komplexeren Funktionen, die einen Teil oder die komplette Fahrzeugführung übernehmen. Je nach gewähltem Unterstützungsgrad können sie entweder mit dem Fahrer arbeiten oder die Fahrdynamik direkt beeinflussen.

Die meisten der bisher serienmäßig für Motorräder verfügbaren Sicherheitssysteme betrachten nur den Reifen-Fahrbahn-Kontakt. Ihr primäres Ziel ist es, die Kraftübertragung durch den Reifen sicherzustellen und das Motorrad kontrollierbar zu halten. Beim Bremsen sorgt die Hinterrad-Abhebeerkennung dafür, dass das Hinterrad stets Fahrbahnkontakt behält und durch dessen Seitenführung zur Fahrstabilität beiträgt. Das ähnlich wirkende System für Beschleunigungsvorgänge heißt Wheelie-Kontrolle und verhindert das Abheben des Vorderrads, sodass der Fahrer das Motorrad auch beim starken Beschleunigen noch lenken kann. Das Rad muss aber nicht zwangsläufig von der Fahrbahn abheben um die Seitenführungskraft zu verlieren. Auch ein blockierendes oder durchdrehendes Rad kann durch den hohen Längsschlupf kaum noch Querkräfte übertragen. Daher haben sich ABS- und Traktionskontrollsysteme auch beim Motorrad etabliert. Sie greifen jedoch nur reaktiv ein, nachdem der Fahrer bremst oder beschleunigt und schwächen dessen Stellgröße ab.

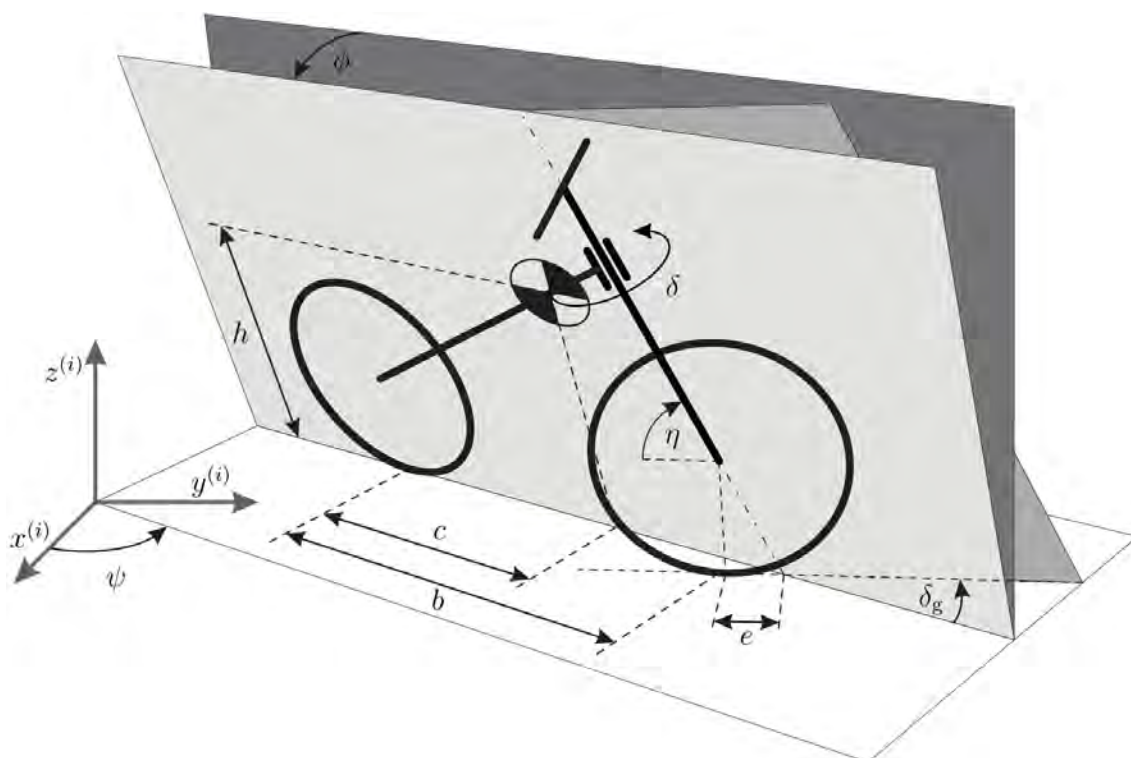


Abb. 2: Skizze des vereinfachten Fahrdynamikmodells mit Symbolbezeichnungen (Hans, et al., 2016).

## 2 Regelung des automatisierten Motorrads

Gemäß Donges lässt sich die komplette Fahraufgabe in die Ebenen Navigation, Bahnführung und Stabilisierung gliedern (Donges, 1982). Alle im vorigen Kapitel genannten Systeme unterstützen den Fahrer hierbei auf der Stabilisierungsebene.

Um nicht erst in der kritischen Situation zu *reagieren*, sondern schon zu *agieren*, bevor sie eintritt, muss der Algorithmus im Hintergrund über Fahrdynamikwissen verfügen, welches es ihm erlaubt, zu bewerten, ob der Fahrer ausgehend von seinem aktuellen Fahrzustand auch den vor ihm liegenden Streckenabschnitt gefahrlos meistern kann.

In der Literatur existiert eine Vielzahl an Ansätzen, bei einem automatisierten System menschliches Fahrverhalten zu erzeugen. In (Prokop, 2001) kommt ein hierarchischer Regler zum Einsatz, welcher eine nichtlineare Optimierung des Dynamikmodells mittels SQP-Verfahren auf Bahnplanungsebene mit einem PID Folgeregler auf Stabilisierungsebene verbindet.

Tabelle 1: Symbolbeschreibungen und -einheiten.

Sym- bol	Beschreibung	Ein- heit	Sym- bol	Beschreibung	Ein- heit
$b$	Radstand	m	$s$	Bahnkoordinate der Referenz	m
$c$	x-Position des SPs	m	$v$	Längsgeschwindigkeit	m/s
$d$	Querablage zur Referenz	m	$\phi$	Rollwinkel	rad
$e$	Nachlauf	m	$\psi$	Gierwinkel	rad
$g$	Erdbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	$\delta$	Lenkwinkel	rad
$h$	z-Position des SPs	m	$\delta_g$	effektiver Lenkwinkel	rad
$m$	Masse	kg	$\kappa$	Bahnkrümmung	1/m

In diesem Paper kommt das in (Hans, et al., 2016) vorgestellte, vereinfachte Fahrdynamikmodell zum Einsatz, welches von einem Motorrad mit unendlich schmalen Reifen ausgeht, dessen komplettes Gewicht als Punktmasse im Schwerpunkt (SP) konzentriert ist und durch die Parameter in Tabelle 1 beschrieben wird.

Für die Reglerauslegung werden die Systemgleichungen von (Getz, 1995) und (Yi, et al., 2009)

$$\mathbf{M}(\underline{q}) \underline{\ddot{q}} = \mathbf{K}(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) + \mathbf{B}(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) \begin{bmatrix} \dot{\kappa} \\ F_{rx} \end{bmatrix},$$

mit den Matrizen  $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $\mathbf{K} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$  und  $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times m}$

$$\mathbf{M}(\underline{q}) = \begin{bmatrix} h^2 & -ch\kappa \cos \phi \\ -ch\kappa \cos \phi & c^2\kappa^2 + h^2\kappa^2 \sin^2 \phi + 2h\kappa \sin \phi + 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) = \begin{bmatrix} [1 + h\kappa \sin \phi]h\nu^2\kappa \cos \phi + gh \sin \phi - gce\kappa \sin \eta \cos \phi \\ -ch\kappa\dot{\phi}^2 \sin \phi - 2vh^2\kappa^2\dot{\phi} \cos \phi \sin \phi - 2vh\kappa\dot{\phi} \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}(\underline{q}, \underline{\dot{q}}) = \begin{bmatrix} ch\nu \cos \phi & 0 \\ -\kappa c^2\nu - vh^2\kappa \sin^2 \phi - vh \sin \phi & \frac{1}{m} \end{bmatrix}$$

sowie dem Zustandsvektor  $\dot{\underline{q}} = [\dot{\phi} \quad \nu]^T$  und dem Eingangsvektor  $\underline{u} = [\dot{\kappa} \quad F_{rx}]^T$  verwendet.

Wie in (Hans, et al., 2016) beschrieben, werden diese nichtlinearen Modellgleichungen durch die Linearisierung um eine als gegeben angenommene Referenz zeitvariant linearisiert und diskretisiert. Mittels Batch-Ansatz ist es möglich, den kompletten Verlauf des Zustandsvektors über einem endlichen Zeit-horizont von  $N$  Schritten in Abhängigkeit des Anfangszustands  $\Delta\underline{x}_0$  sowie des Stellgrößenverlaufs  $\Delta\mathbf{u}$  darzustellen (Borrelli, et al., 2017)

$$\Delta\mathbf{x} = \mathcal{A} \Delta\underline{x}_0 + \mathbf{B} \Delta\mathbf{u} = \begin{bmatrix} \mathbf{A}_0 \\ \mathbf{A}_1 \mathbf{A}_0 \\ \vdots \\ \prod_{q=0}^{N-1} \mathbf{A}_{N-q} \end{bmatrix} \Delta\underline{x}_0 + \begin{bmatrix} \mathbf{B}_0 & 0 & \cdots & 0 \\ \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_0 & \mathbf{B}_1 & \ddots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & 0 \\ \left( \prod_{q=1}^{N-1} \mathbf{A}_{N-q} \right) \mathbf{B}_0 & \cdots & \mathbf{A}_1 \mathbf{B}_{N-2} & \mathbf{B}_{N-1} \end{bmatrix} \Delta\mathbf{u},$$

$$\mathbf{y} = \mathbf{C} \Delta\mathbf{x} + \mathbf{W} \mathbf{d}$$

wobei  $\Delta\mathbf{x} = [\Delta\underline{x}_1 \quad \cdots \quad \Delta\underline{x}_N]^T$  die Aneinanderreihung aller Zustandsvektoren ist, welche sich aus den Einzelzuständen  $\Delta\underline{x}_i = [d \quad \psi \quad \kappa \quad \phi \quad \dot{\phi} \quad \ddot{\phi}]^T$  (siehe Tabelle 1) zusammensetzen. Die Ausgangsgleichung besteht aus  $N$  blockweise diagonal angeordneten Matrizen  $\mathbf{C} = \text{diag}(\mathbf{C}, \dots, \mathbf{C})$  des diskretisierten Systems auf welche die bekannte Referenz wie eine Störung gemäß der Durchgriffsmatrix  $\mathbf{W} = \text{diag}(\mathbf{W}, \dots, \mathbf{W})$  wirkt.

Mit diesem Batch-System kann das quadratische Gütefunktional

$$J(\mathbf{y}, \Delta\mathbf{u}) = \underline{y}_N^T \mathbf{P} \underline{y}_N + \sum_{k=1}^{N-1} \underline{y}_k^T \mathbf{Q} \underline{y}_k + \sum_{k=0}^{N-1} \Delta\underline{u}_k^T \mathbf{R} \Delta\underline{u}_k,$$

welches Abweichungen der Ausgänge von der Referenz über die Matrizen  $\mathbf{P}$  und  $\mathbf{Q}$  sowie die Strafkosten für die Stellgröße über  $\mathbf{R}$  gewichtet, in ein Optimierungsproblem überführt werden, dessen Kosten nur vom Anfangszustand  $\underline{x}_0$  und dem Stellgrößenverlauf  $\mathbf{u}$  abhängig sind. (Gutjahr, et al., 2015)

Auch Nebenbedingungen für die Systemzustände, Ausgänge oder Stellgrößenbeschränkungen können in der Systemdynamik berücksichtigt werden, wenn in die Gleichungen

$$\mathbf{y}_{\min} \leq \mathbf{y} \leq \mathbf{y}_{\max} \quad \text{bzw.} \quad \mathbf{u}_{\min} \leq \Delta \mathbf{u} \leq \mathbf{u}_{\max}$$

die Ausgangs- und anschließend die Dynamikgleichung des Batch-Systems eingesetzt werden.

Dies führt auf die abschließende Formulierung als linear-quadratisches Optimierungsproblem

$$\min_{\Delta \mathbf{u}} J(\mathbf{y}, \Delta \mathbf{u})$$

mit den Nebenbedingungen

$$\begin{bmatrix} \mathbf{CB} \\ -\mathbf{CB} \\ \mathbf{I} \\ -\mathbf{I} \end{bmatrix} \Delta \mathbf{u} \leq \begin{bmatrix} \mathbf{y}_{\max} - \mathbf{CA} \Delta x_0 - \mathbf{Wd} \\ -\mathbf{y}_{\min} + \mathbf{CA} \Delta x_0 + \mathbf{Wd} \\ \mathbf{u}_{\max} - \mathbf{u}_{\text{ref}} \\ \mathbf{u}_{\text{ref}} - \mathbf{u}_{\min} \end{bmatrix},$$

für das bereits effiziente Solver existieren. Da es sich um ein konvexes Optimierungsproblem handelt, ist die so gefundene Lösung nicht nur ein lokales, sondern sogar das einzige globale Minimum.

### 3 Ergebnisse

Einfache Pfadfolgeregler ohne Vorausschau minimieren nur die Abweichung  $d$  zur Referenz. Ein Motorradfahrer fährt jedoch nicht immer exakt in der Mitte seines Fahrstreifens, sondern versucht das Optimum mehrerer Kriterien zu finden. So werden Kurven meist außen angefahren und innerhalb der Spur geschnitten, um mit einer geringeren Schräglage bzw. einer höheren Geschwindigkeit fahren zu können.

Dieses Verhalten ist auch bei einer automatisierten Fahrt mittels MPC darstellbar, wenn die Strafkosten für eine Abweichung von der Mittellinie geringer und stattdessen der benötigte Rollwinkel stärker bestraft werden. Durch eine gleichzeitige Beschränkung der Abweichung von der Referenz kann dennoch sichergestellt werden, dass der eigene Fahrstreifen nicht verlassen wird.

In folgendem Beispiel wird dem Regler die Mittellinie der abzufahrenden Strecke samt Geschwindigkeitsprofil sowie eine zulässige Abweichung von  $\pm 2$  Metern vorgegeben. Der Rollwinkel ist auf  $\pm 20$  Grad begrenzt und per Gewichtungsfaktor 500-mal so stark bestraft wie die Abweichung von der Mittellinie. Zusätzlich zur Amplitude ist auch die Änderungsrate mit Strafkosten versehen, um eine ruhigere Rollbewegung zu erzeugen. Zu starkes Entfernen von der Referenz wird durch eine um den

Faktor 100 bzw. 1000 höhere Gewichtung des Abstands und Orientierungsfehlers des letzten Prädiktionpunkts unterbunden.

Abb. 3 zeigt die befahrbare Referenz als graue Straße aus der Vogelperspektive und den durch die MPC gefahren Weg als gepunktete Linie. In den engen Kurven sieht man deutlich, dass diese geschnitten werden und das Motorrad somit aufrechter fahren kann.

Aufgrund der begrenzten Vorausschau der MPC ist es dem Algorithmus wie auch dem Menschen in der Realität nicht überall möglich, die komplette Kurve einzusehen. Die aktuell gewählten 3 Sekunden Prädiktionshorizont entsprechen bei einer Geschwindigkeit von 60 Stundenkilometern einer Vorausschau von 50 Metern, was einen guten Kompromiss zwischen Rechenaufwand und Sichtweite entspricht.

Diese begrenzte Vorausschau ist in Abb. 4 zu sehen. Sie erzeugt in den Wenden am östlichen und westlichen Ende der Strecke ein zu frühes Ablösen vom äußeren Fahrstreifenrand. Die Kurve wird zu früh geschnitten und muss dann mit geringerem Radius durchfahren werden.

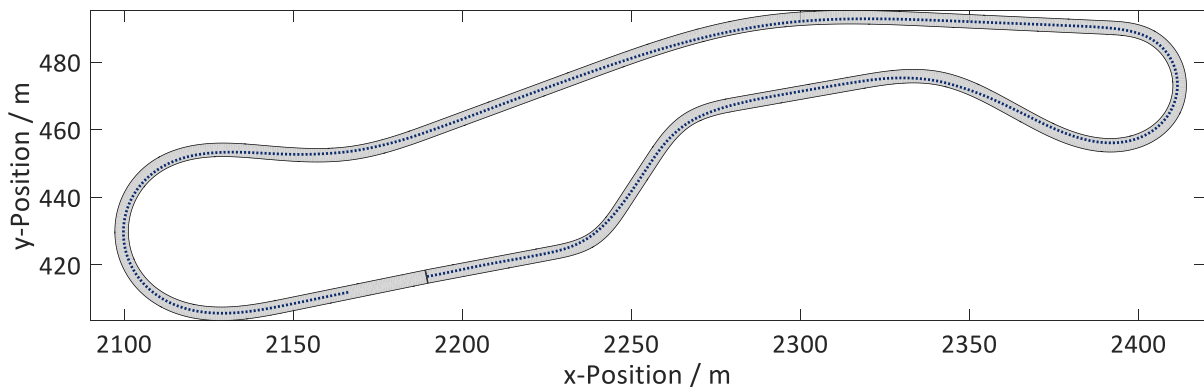


Abb. 3: Referenzkurs (graue Straße) aus der Vogelperspektive mit zurückgelegter Strecke der MPC-geregelten Fahrt (gepunktete Linie).

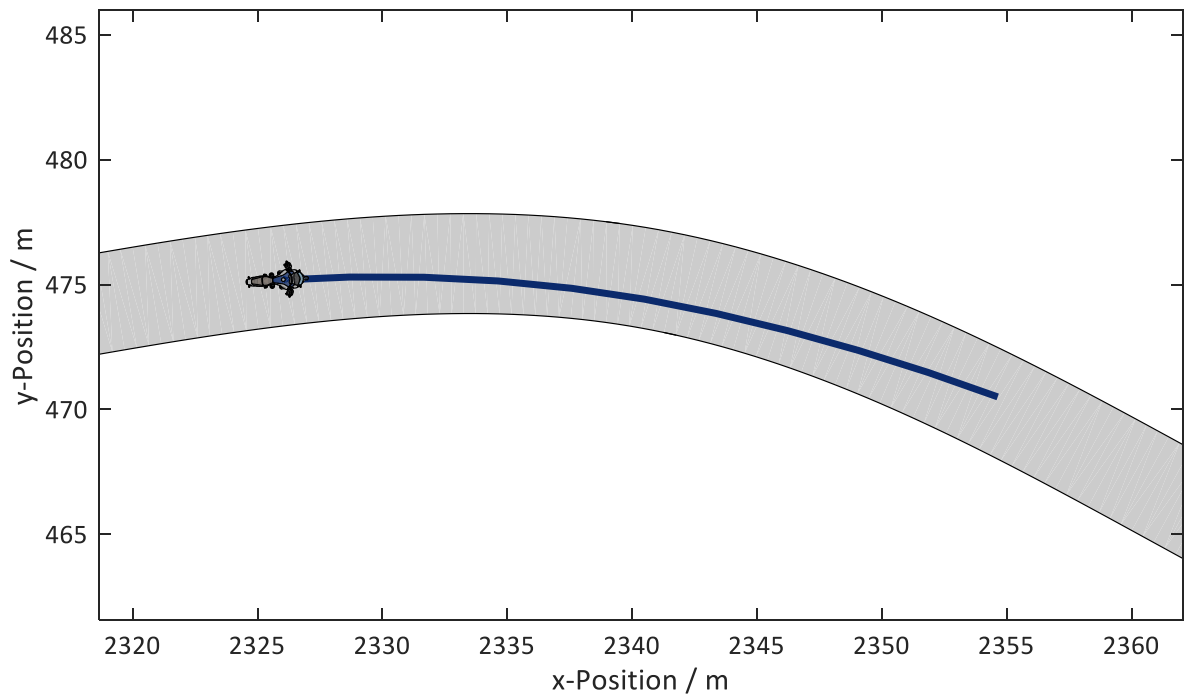


Abb. 4: Ausschnitt der Referenzstrecke (graue Straße) mit Momentanaufnahme der MPC-Vorausschau (blaue Linie) beim Durchfahren der Rechtskurve.



Abb. 5: Fotografie des Versuchsträgers bei der MPC-geregelten Realfahrt zu dem in Abb. 4 dargestellten Zeitpunkt.

## 4 Zusammenfassung

Bisher ungenutztes Potential, die Motorradsicherheit signifikant zu steigern, liegt in aktiv eingreifenden Fahrerassistenzsystemen, welche den Fahrer nicht nur auf der Stabilisierungsebene, sondern zusätzlich auf der Bahnführungsebene unterstützen.



Sobald Fahrerassistenzsysteme ihren Fokus vom Teilsystem auf die komplette Fahrdynamik erweitern, benötigen sie dafür Modellwissen über die Fahrdynamik des gesamten Motorrads. Dieses Paper skizziert einen Weg, wie ein einfaches Fahrdynamikmodell verwendet werden kann, menschliches Verhalten wie Kurvenschneiden in einer vollautomatisierten Fahrt nachzubilden.

Ein modellprädiktiver Regler nutzt dieses Modell zur Berechnung der optimalen zukünftigen Trajektorie auf einem definierten Zeithorizont. Verschiedene Kriterien wie der benötigte Rollwinkel, Beschleunigungen oder die Querablage zur Referenz fließen gewichtet in ein quadratisches Gütefunktional ein. Zustands-, Ausgangs- oder Stellgrößenbeschränkungen werden als lineare Nebenbedingungen so in Abhängigkeit der Stellgröße formuliert, dass die resultierenden Trajektorien der instabilen, nicht-minimalphasigen Systemdynamik des Motorrads genügen und sich ein linear-quadratisches Optimierungsproblem ergibt, welches mit bestehenden Methoden gelöst werden kann.

Der vorgestellte Prototyp nutzt ausschließlich die menschlichen Stellgrößen Gas geben, bremsen, lenken, schalten und kuppeln. Mit ihm wird der fahraktive Beweis erbracht, dass Regelungsansatz und das zugrundeliegende Modell echtzeitfähig und genau genug sind, um die komplette Fahraufgabe ohne Fahrer zu übernehmen.

Auf Basis dieses Algorithmus können Assistenzfunktionen verschiedener Unterstützungsstufen für den Fahrer realisiert werden: Von Informationen oder Warnungen über assistierende Funktionen, die beispielsweise längsdynamisch unterstützen bis hin zur automatisierten Übernahme bestimmter Fahraufgaben (Köbe, et al., 2018).

## 5 Literaturverzeichnis

**Aral. 2017.** Aral Studie Trends beim Autokauf. [Online] 2017.

<https://www.aral.de/content/dam/aral/Presse%20Assets/pdfs-Broschueren/Aral-Studie-Trends-beim-Autokauf-2017.pdf>.

**Borrelli, Francesco, Bemporad, Alberto und Morari, Manfred. 2017.** Predictive control for linear and hybrid systems. s.l. : Cambridge University Press, 2017.

**DESTATIS. 2017.** Deutsches statistisches Bundesamt. Verkehrsunfälle - Zeitreihen. [Online] 2017.

<https://www.destatis.de/DE/Publikationen/Thematisch/TransportVerkehr/Verkehrsunfaelle/VerkehrsunfaelleZeitreihen.html>.

**Donges, Edmund. 1982.** Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. Automobil-Industrie 2. 1982, S. 183-190.

**Getz, Neil Holden. 1995.** Dynamic inversion of nonlinear maps with applications to nonlinear control and robotics. Berkeley : Ph. D. thesis, University of California, 1995.

**Gutjahr, Benjamin und Werling, Moritz. 2015.** Optimale Fahrzeugquerführung mittels linearer, zeitvarianter MPC. Workshop Fahrerassistenzsysteme. 2015.

**Hans, Stefan, et al. 2016.** A Cascaded Model-Predictive Approach To Motorcycle Safety. Proceedings of the 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control. 13-16. September 2016, (AVEC' 16), S. 463-470.

**Köbe, Markus, Hans, Stefan und Prokop, Günther. 2018.** Von der Automatisierung zur Assistenz – Intervenieren, bevor es kritisch wird. ifz Konferenz. 2018.

**Prokop, Günther. 2001.** Modeling human vehicle driving by model predictive online optimization. Vehicle System Dynamics. 2001, 35, S. 19-53.

**Rasmussen, Jens. 1983.** Skills, rules, and knowledge; signals, signs, and symbols, and other distinctions in human performance models. IEEE transactions on systems, man, and cybernetics 3. 1983, S. 257-266.

**Yi, Jingang, Zhang, Yizhai und Song, Dezhen. 2009.** Autonomous motorcycles for agile maneuvers, part i: Dynamic modeling. Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on. 2009, S. 4613-4618.

From Automation to Assistance –  
Intervene before a critical situation

Von der Automatisierung zur Assistenz –  
Intervenieren, bevor es kritisch wird

Markus Köbe, Günther Prokop

Technische Universität Dresden, Lehrstuhl für Kraftfahrzeugtechnik,  
Dresden, Germany

Stefan Hans

BMW Motorrad, Motorradsicherheit, Munich, Germany

## Kurzfassung

Maßnahmen der aktiven und passiven Sicherheit bei Kraftfahrzeugen sorgen seit Jahren für einen Rückgang der Verletzten und Getöteten im Straßenverkehr. Dem entgegen steht der steigende Anteil verletzter und getöteter Aufsassen motorisierter Zweiräder. Hier zeigt sich, dass großes Potential für weitere Sicherheitsmaßnahmen im Zweiradbereich besteht. Insbesondere aktive Sicherheitssysteme können im Bereich der Unfallprävention einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Sicherheit motorisierter Zweiräder leisten. Das Ziel ist es, Fahrerassistenzsysteme zu entwickeln, die im Unfallgeschehen wirksam und durch den Fahrer akzeptiert sind und genutzt werden. Aufgrund der Fahrdynamik von motorisierten Zweirädern müssen Fahrerassistenzsysteme speziell für das Motorrad entwickelt und bezüglich der Wechselwirkungen mit dem Fahrer untersucht werden.

Das Normalfahrverhalten sowie das Unfallgeschehen motorisierter Zweiräder, welches mittels Daten des deutschen statistischen Bundesamtes sowie mit Daten der German In-Depth Accident Study untersucht wurde, liefert die zu adressierenden Szenarien mit zugehörigen Assistenzfunktionen. Die Anforderungen aus dem Fahrerverhalten, der Nutzerakzeptanz und mögliche Kaufanreize wurden dabei berücksichtigt.

In Anlehnung an das menschliche Fahrerverhalten wird ein kaskadierter Beobachter entworfen, der das Fahrverhalten in Bahnführungsebene sowie der Stabilisierungsebene überwacht. Dieser Beobachter wurde auf einem instrumentierten Versuchsträger implementiert und in einer vollautomatisierten Realfahrt ohne Fahrer validiert.

Auf Basis der Erkenntnisse der Fahrdynamik werden unter Nutzung des Beobachters fahrdynamisch-intervenierende Fahrerassistenzsysteme auf einem Versuchsmotorrad implementiert und in einer assistierten Realfahrt demonstriert. So können die Fahrerassistenzsysteme sowohl längs- als auch querdynamische Eingriffe realisieren und den Fahrer während der Fahrt in der Ausführung seiner Fahraufgabe unterstützen.

Im Ergebnis steht ein Beitrag zur Steigerung der Fahrzeugsicherheit motorisierter Zweiräder durch die Entwicklung von Assistenzfunktionen in Anlehnung an das menschliche Fahrerverhalten, um identifizierte Unfallsituationen zu adressieren und künftig frühzeitig zu vermeiden.

## Schlüsselwörter

Fahrerassistenzsysteme, Normalfahrverhalten, Unfallforschung, Unfallgeschehen, Fahrerverhalten, Nutzerakzeptanz

Von der Automatisierung zur Assistenz –  
Intervenieren, bevor es kritisch wird

# 1 Einleitung und Motivation

Die Begriffe Motorrad und Motorradfahren sind mit Fahrspaß und Freiheit untrennbar verbunden. Maßgeblich sind die besonderen Eigenschaften des Motorrads als einspuriges Kraftfahrzeug für die Faszination Motorradfahren verantwortlich. Diese Faszination beruht im Wesentlichen auf der Unmittelbarkeit des Fahrerlebnisses, der Dynamik und der Intensität der Sinnesbeanspruchung. Diese Emotionalität und die Vielfalt des Erlebens sind wesentliche Gründe dafür, dass Motorradfahren fasziniert und sich Motorräder zunehmender Beliebtheit erfreuen. So stieg der Anteil zulassungspflichtiger Krafträder von 1992 (1.678.701 Fahrzeuge<sup>1</sup>) bis 2017 (4.314.493 Fahrzeugen<sup>23</sup>) um das Zweieinhalbfache an. [Sto2012, Bun2018]

Trotz des insgesamt steigenden Fahrzeugbestands und damit ansteigender Fahrleistung ist die Anzahl getöteter Menschen im Straßenverkehr tendenziell rückläufig. Die Gründe für diesen Rückgang sind vielschichtig und wirken durch Ineinandergreifen von Einzelmaßnahmen. Hier seien eingeführte gesetzliche Regelungen, Fahrerausbildung, Maßnahmen im Straßenbau und Gestaltung des Verkehrsraums, in der Verkehrsregelung, in der Verkehrserziehung und -aufklärung, in der präklinischen und klinischen Versorgung sowie selbstverständlich Entwicklungen der passiven, aktiven und integralen Sicherheit genannt. Abb. 1 zeigt den Verlauf der getöteten Insassen von Personenkraftwagen (Pkw) (grau) sowie Aufsassen von Krafträdern mit amtlichem Kennzeichen (rot) – im Folgenden Motorrad genannt – von 1991 bis 2017. Aus diesem Verlauf geht die rückläufige Tendenz von getöteten Pkw-Insassen hervor. Ebenso wird ersichtlich, dass auch die Anzahl getöteter Motorradaufsassen im Trend rückläufig ist und auch Motorradfahren sicherer wird.

---

<sup>1</sup> mit vorübergehend stillgelegten Fahrzeugen

<sup>2</sup> einschließlich drei- und vierrädrigen Krafträdern wie Trikes oder Quads

<sup>3</sup> ohne vorübergehend stillgelegte Fahrzeuge

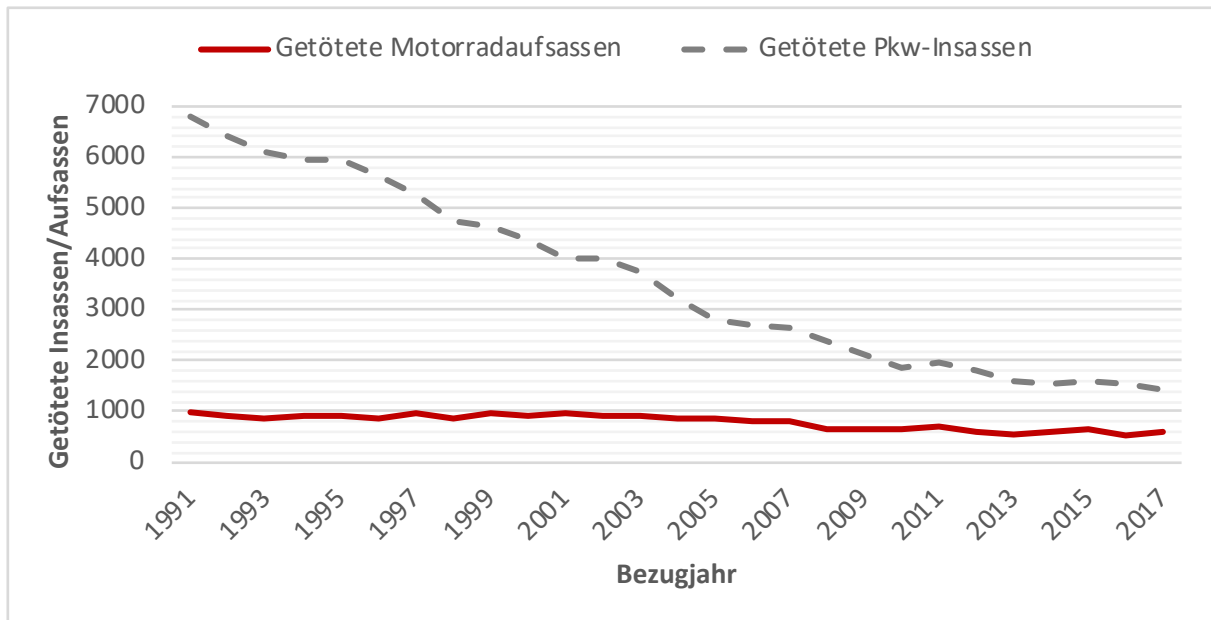


Abb. 1: Anzahl getöteter Insassen von Pkw und Aufsassen von Motorrädern von 1991 bis 2017 [Bun2018].

Es wird jedoch auch deutlich, dass der Anteil getöteter Nutzer von Motorrädern kontinuierlich ansteigt. Im Jahr 1991 (11.800 Getötete) waren weniger als 11 % der Getöteten Aufsassen motorisierter Zweiräder. Dieser Anteil stieg zum Jahr 2017 (3.180 Getötete) auf über 20 % an. Aus diesen Gründen steigt hier der Handlungsbedarf kontinuierlich an. [Bun2018]

Gerade aktive Sicherheitssysteme wie Fahrerassistenzsysteme, die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen sowie die zunehmende Vernetzung des Verkehrs können einen entscheidenden Beitrag zur Steigerung der Sicherheit motorisierter Zweiräder leisten. Das Ziel muss es sein, Fahrerassistenzsysteme zu entwickeln, die einerseits im Unfallgeschehen maximal wirksam sind, andererseits aber auch durch den Fahrer akzeptiert sind und genutzt werden sowie seine Motivation und Fahrverhalten einbeziehen.

## 2 Unfallgeschehen von motorisierten Zweirädern

Auf Basis von Analysen der German In-Depth Accident Study (GIDAS) wurden Unfälle mit 2.394 beteiligten Motorradfahrern ausgewertet. Abb. 2 zeigt die Verteilung der verunglückten Motorradfahrer über die Unfalltypen nach amtlicher Verletzungsschwere<sup>4</sup>.

<sup>4</sup> Diese Abbildung ermöglicht eine Darstellung auf Fahrzeugebene

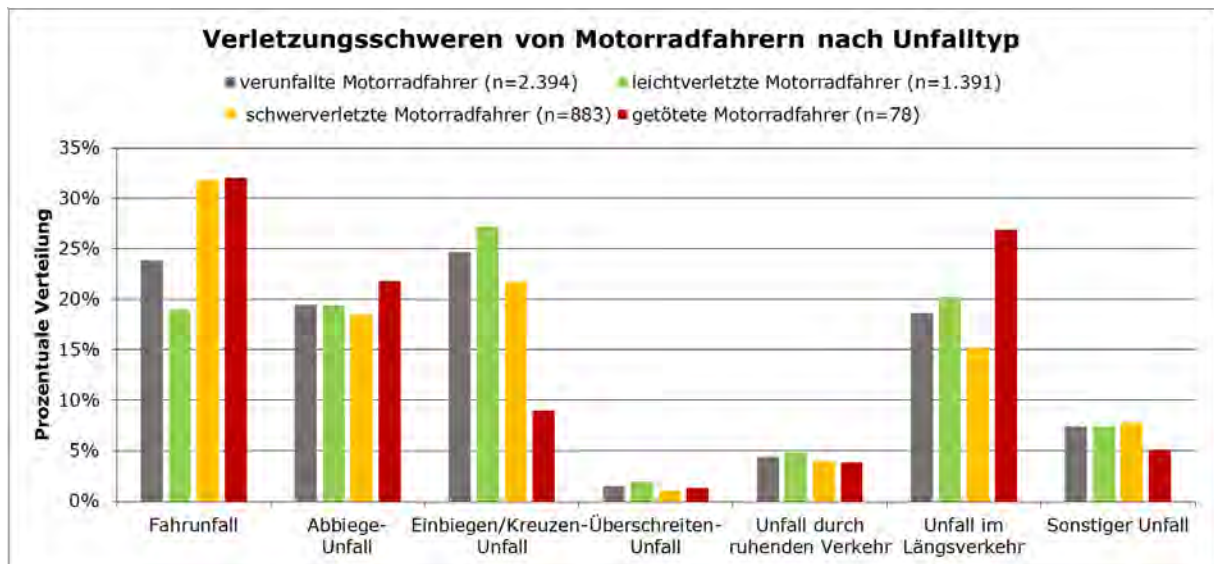


Abb. 2 Verteilung der verunglückten Motorradfahrer nach Unfalltyp und Verletzungsschwere.

Hieraus gehen vier Hauptunfalltypen für Motorradfahrer hervor, welche in Abb. 3 nochmals mit Beispielfällen veranschaulicht werden.

Der **Fahrunfall**, welcher aufgrund eines Kontrollverlusts des Fahrers über sein Fahrzeug resultiert. Während ungefähr 22 % aller Motorradfahrer in dieser Konfliktsituation verunglücken, entfallen 32 % der getöteten Fahrer auf diesen Unfalltyp. Aus Befragungen ging hervor, dass Zweidrittel der Motorradfahrer die Unfallauslösung anhand der eigenen Fahrzeugdynamik erkannten. Der Anteil an Fahrunfällen sinkt mit steigender Bekanntheit der Unfallstelle.

Der **Abbiegeunfall**, welcher aus einem Konflikt mit einem abbiegenden Fahrzeug entsteht, welches entgegenkommt oder vorausfährt. Der Hauptverursacher ist hier zu 68 % der Unfallgegner des Motorradfahrers, der als Abbieger entgegenkommt. Ist der Gegner der Hauptverursacher, so wird in 35 % der Fälle dem Motorradfahrer eine Teilschuld aufgrund nicht angepasster Geschwindigkeit oder Überholen trotz unklarer Verkehrslage vorgeworfen. Der Motorradfahrer ist zu 32 % der Hauptverursacher, oft in der Situation mit einem vorrausfahrenden Abbieger in Verbindung mit einem Fehler beim Überholen bei unklarer Verkehrslage oder nicht angepasster Geschwindigkeit.

Der **Einbiegen/Kreuzen-Unfall**, der aus einem Konflikt mit einem Fahrzeug entsteht, das von einer Straße aus auf eine höherrangige Straße einbiegen will oder diese kreuzt. Hier finden sich Unfälle zwischen dem Motorradfahrer und einem wartepflichtigen Fahrzeug, welches zu 84 % der Hauptverursacher ist. Die Hauptunfallursache ist dann in 73 % der Fälle das Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen. Bei der Reaktion lässt sich beim Motorradfahrer das Ausweichen in Richtung der Bewegungsrichtung des Gegners beobachten.



Der **Längsverkehrsunfall** beinhaltet Fälle, in denen Fahrzeuge mit gleicher Fahrtrichtung in eine Konfliktsituation kommen. Dies sind einerseits Konflikte zwischen einem Motorrad und einem Fahrstreifenwechsler voraus oder einem Fahrzeug, das vor dem Motorrad fährt/anhält/steht/wartepflichtig ist oder wendet. In diesen Fällen geben 55 % der Motorradfahrer an, anhand der Handlung des Gegners die Unfallauslösung erkannt zu haben.

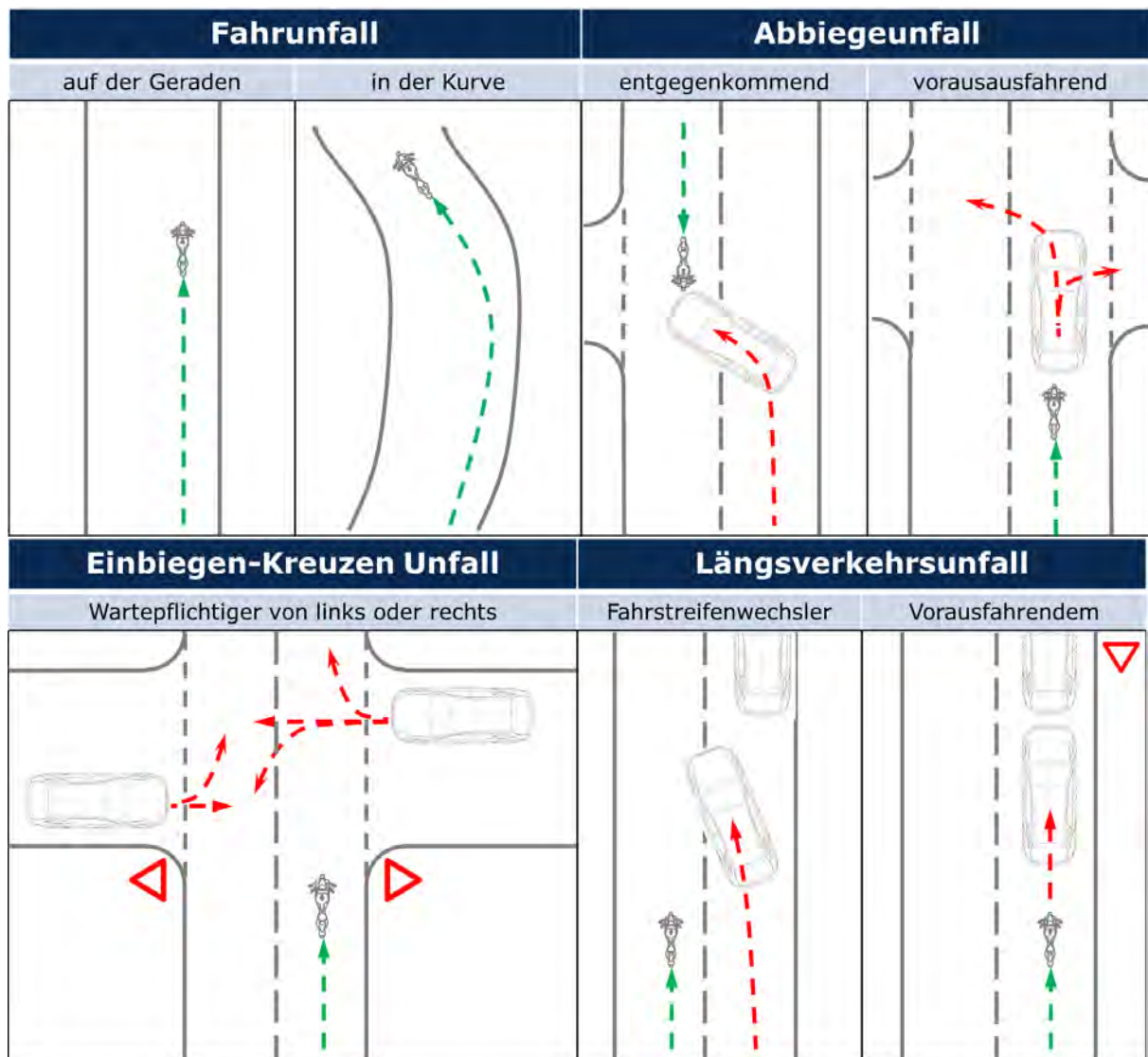


Abb. 3: Beispiele für die Hauptunfalltypen von Motorradfahrer.

Diese Hauptunfalltypen bilden die Szenarien für die weitere Betrachtung der Fahrer im Unfallgeschehen und der Verortung des Fahrerfehlers im Prozess der Fahrzeugführung. Auf Basis der Befragung der beteiligten Fahrer kann der Fehler im Prozess der Ausführung der Fahraufgabe verortet werden [Diss-Mai2017]. Diese können dann exemplarisch folgende Ursachen haben:

- *Störung der Informationsaufnahme* durch Seh- oder Hörschwierigkeiten, Sichthindernissen oder Witterung/Nebel

- *Störung der Wahrnehmung* durch Ablenkung, Zeitdruck und Stress, Müdigkeit, Medikamente/Drogeneinfluss, Überforderung mit der Situation, Reizüberflutung oder einen falschen Fokus/fehlerhafte Konzentration
- *Störung der Beurteilung* durch falsche Erwartung bezüglich der Entwicklung der Fahrsituation, falsche Einschätzung der anderen Verkehrsteilnehmer oder falsche Einschätzung des eigenen Fahrzeugs
- *Störung der Handlungsableitung* durch falsch geplante Handlung oder geplant regelwidriges Verhalten
- *Störung der Handlungsumsetzung* durch Schwierigkeiten in der Fahrzeugbedienung oder einer falschen/zu langsamen Reaktion

Der Ansatz in dieser Auswertung geht im Verkehr von einem latenten Risiko und damit einer latenten Kritikalität aus. Diese Kritikalität kann durch eine Störung, bspw. einen einbiegenden Pkw sprunghaft ansteigen. Ab jetzt muss einer der beiden Beteiligten sein Fahrverhalten an die Situation adaptieren, da andernfalls die Kritikalität immer weiter ansteigt und letztlich zum Unfall führen kann. Dazu muss die komplette Kette der Fahraufgabe durchlaufen werden. Es wird daher innerhalb der Fahraufgabe nur ein Fehler verortet und an dieser Stelle der Durchlauf als gestört angenommen.

In 338 Motorradbefragungen ist die Wahrnehmungskette auswertbar, davon wurde diese in 206 Fällen gestört. Abb. 4 zeigt die Verortung der Fahrfehler der Motorradfahrer. Mehr als jeder Dritte schätzt demnach die Fahrsituation falsch ein, weitere 40 % haben die Situation nicht aufnehmen können oder diese nicht wahrgenommen. Des Weiteren zeigen die Untersuchungen eine hohe Anzahl von Fällen mit einer Reaktion des Motorradfahrers auf die kritische Situation, unabhängig vom Hauptverursacher. Je nach Unfallszenario reagieren ca. zwei Drittel bis drei Viertel der beteiligten Motorradfahrer mit einer Bremsung und ca. ein Viertel bis zu Hälfte der Fahrer mit einer Lenkreaktion auf die kritische Situation.

Dem Gegenüber ist in Abb. 5 die Verteilung der Verortung des Fahrfehlers für den PKW-Fahrer angegeben. Hier sind, von 146 auswertbaren Fällen mit einem Pkw-Fahrer als Hauptverursacher etwas mehr als 88 % der Fehler auf die Informationsaufnahme bzw. deren Wahrnehmung verortet.

Es zeigt sich, dass Motorradfahrer sowohl in der Informationsaufnahme, der Verarbeitung über der Einschätzung der Situation und der Handlungsableitung sowie der Ausführung unterstützt werden können. Eine Vielzahl von Motorradfahrern reagiert auf die kritische Situation durch bremsen und/oder lenken. Hier setzen Entwicklungen der Fahrdynamikregelung an und unterstützen den Fahrer in seiner Reaktion.

n=206


Sinneswahrnehmung?	Wahrgenommen?	Falsch eingeschätzt?	Falsche Handlung abgeleitet?	Fehler bei der Umsetzung?
				
22,8 %	19,9 %	35 %	16,5 %	5,8 %

Abb. 4: Verortung des Fehlers für Motorradfahrer.

n=146

Sinneswahrnehmung?	Wahrgenommen?	Falsch eingeschätzt?	Falsche Handlung abgeleitet?	Fehler bei der Umsetzung?
				
43,8 %	44,5 %	8,9 %	2,1 %	0,7 %

Abb. 5: Verortung des Fehlers beim Pkw-Fahrer.

Eine andere Entwicklung ergibt sich aus dem zunehmend vernetzten Verkehr. Durch kooperative Sicherheitssysteme können Motorradfahrer mit einer ausreichenden Zeitreserve über kritische Situationen informiert oder vor ihnen gewarnt werden. Da bei Motorradunfällen der Fahrfehler des Unfallgegners mit überwiegender Mehrheit in der Informationsaufnahme und Wahrnehmung verortet ist, bieten kooperative Systeme ein großes Potential.

Ein offenes Forschungsfeld sind kritische Situationen für Motorradfahrer, wobei zwar die Zeitreserve für eine Information/Warnung nicht mehr ausreichend ist, jedoch eine Verhaltensadaption des Fahrers, innerhalb der fahrdynamischen Grenzen und damit außerhalb des Regelbereichs von Fahrdynamikregelsystemen, eine weitere Eskalation der Situation aber vermeiden kann.

### 3 Fahrermotivation und Nutzerakzeptanz

Die Motive zum Fahren von Fahrzeugen ähneln und unterscheiden sich bei Motorradfahrern sowie Pkw-Fahrern je nach Fahrtzweck. Grundsätzlich verleiben sich Menschen das Fahrzeug in ihr eigenes Körperschema und Sinnessystem ein. Dazu kann das Fahren auch als Selbstzweck verstanden werden,

wobei hier der Erlebnismehrwert der Fahrt an sich im Vordergrund steht. Hinzukommen können Motive wie Selbstkonzepte und sozialer Vergleich, Freizeitmotivation und Regeneration sowie Unabhängigkeit. Der Pkw ist oft ein Verkehrsmittel für die Fahrt von A nach B und somit ein Mittel zum Zweck mit einem relativ unsinnlichen Bewegungserlebnis. Die Anonymität im Fahrzeug zeigt sich oft in Egozentrik. Zudem hat der Pkw eine hohe Signalwirkung als Statussymbol. Das Motorrad hingegen erfüllt oft eher eine Freizeitfunktion. Es dient vielen Fahrern für unterschiedliche Motive [Dic2002, Sch1991]:

- „Thrill“-Erleben als eine Wechselwirkung zwischen Angst und Lust
- „Flow“-Erleben als gesteigerte Gegenwart mit Spaß und Freude, in der Subjekt und Umwelt verschmelzen
- Sinnliche Aspekte wie die Fahrdynamik, haptische und kinästhetische Wahrnehmung von Geschwindigkeit und Beschleunigung
- Suche nach „Arousal“

Oft wird Motorradfahren mit Freiheit verbunden und gibt das Gefühl von Unabhängigkeit. Dies zeigt sich auch in Bezug auf eine größere Beweglichkeit im Straßenverkehr, wie das Durchschlängeln im Stau oder die oft ausbleibende Parkplatzsuche. Oft haben Fahrer ein „persönliches“ Verhältnis zum Motorrad. Wartung und Reparatur werden selbst übernommen und das Motorrad ist mit Stolz verbunden. Die Schutzlosigkeit in der Eigenschaft als schwächerer Verkehrsteilnehmer verbunden mit oben genannten Motiven führen zu einem Gruppenerlebnis als überindividuelle Identität, die sich beispielsweise im Grüßen der Fahrer untereinander äußert. [Dic2002, Sch1991]

Die Risikowahrnehmung von Motorradfahrern wurde durch Mannering und Grodsk in einer Fragebogenstudie in Kalifornien untersucht. Hierbei gaben 80 % der Befragten an, schneller als erlaubt zu fahren. Über 40 % glaubten weiterhin, dass schnelles Fahren ein besserer Indikator eines „guten Fahrers“ ist, als vorschriftsmäßiges Fahren/Richten nach Verkehrsregeln. Motorradfahrer können das Risiko dabei verhältnismäßig gut einschätzen. Fahrer im Alter bis 25 Jahre gruppieren sich in die „medium“ oder „high-risk-category“ ein und gaben an, ihr Bewusstsein dafür aus Trainingsmaßnahmen zu entnehmen. Fahrer über 40 Jahre ordneten sich in die „low-risk-category“ ein und gaben an, diese Selbstwahrnehmung aus ihrer Erfahrung zu entnehmen. *Im Ergebnis wurden Alter, Geschlecht sowie Grad der Erfahrung als Variablen für riskantes Verhalten herausgearbeitet.* [Man1995]

Die Europäische Fragebogenstudie Social Attitudes to Road Traffic Risk in Europe (kurz: SATRE4) untersuchte Meinungen und Verhaltensweisen, welche hinsichtlich Risiko und Sicherheit im Straßenverkehr bestehen. Dabei gab jeder fünfte Motorradfahrer an, riskantes Verhalten oft bis sehr oft oder immer auszuüben, darunter häufig männliche Fahrer unter 35 Jahren mit entsprechend hoher Fahrleistung. Für Motive für das Fahren von Motorrädern gaben die Fahrer vor allem Spaß, Gefühl der Freiheit

sowie Unkompliziertheit, bspw. hinsichtlich Parken, an. Es wurden hier vier Fahrertypen identifiziert: Commuters, Sport-Riders, Ramblers und Travellers. *Im Ergebnis sind Maßnahmen für mehr Verkehrssicherheit in Hinblick auf Motorradfahrer nicht pauschal für alle Motorradfahrer gleichermaßen anzusetzen, sondern Zielgruppen- und Länderspezifisch einzusetzen.* [SAT2012]

Bjørnskau, Nævestad und Akhtar untersuchten in einer norwegischen Studie, welche Motorradfahrer besonders gefährdet sind. Darunter sind Motorradfahrer, welche Sportler oder Supersportler fahren und ein geringes Alter haben. Die Studie stellt heraus, dass vor allem Fahrer von Sportmotorrädern der Sicherheit eine geringe Bedeutung beimessen und dies im Fahrverhalten zeigen. Das Fahren mit einem Sozius wird von den befragten Fahrern als Risikofaktor wahrgenommen. *Im Ergebnis misst die Studie informierenden und warnenden Systemen ein hohes Potential für mehr Sicherheit bei.* [Bjo2012]

Aus einer quantitativen Gruppendiskussion aus Australien untersuchten Tunnicliff u.a. soziale Einflussfaktoren auf das Fahrverhalten. Dabei stellte sich das „in-group“ Verhalten als entscheidende Einflussvariable heraus. Die Identität als Motorradfahrer geht mit zahlreichen Überzeugungen, Erwartungen und Verhaltensweisen einher, die als „normativ“ angesehen werden. Diese Identität geht in das Selbstkonzept des Motorradfahrers über und beeinflusst entsprechend das Verhalten. *Im Ergebnis ergibt sich die Möglichkeit, durch Medienkampagnen wie Werbung dieses Selbstbild zu beeinflussen und ergänzend mit Fahrertrainings die Sicherheit zu erhöhen.* [Tun2011]

Bezüglich der Nutzerakzeptanz erarbeitete eine Survey-Studie, durchgeführt von Beanland u.a., die Fragestellung, welche Fahrerassistenzsysteme für Motorradfahrer die größte Akzeptanz erreicht. Die höchste Akzeptanz gab es hierbei allgemein für informierende Systeme. Grundsätzlich akzeptierten jüngere Fahrer Fahrerassistenzsysteme eher als ältere Fahrer. Die größten Befürchtungen bei der Einführung solcher Systeme bestehen in der Wahrnehmung, dass diese zu Faulheit und Unachtsamkeit führen. Es zeigte sich vor allem die Angst, dass Fahrer ihr Fahrzeug nicht mehr richtig „kennen“ und technische Prinzipien nicht mehr verstehen. Die Einstellung zu selbst agierenden Systemen wird als Kontroll- und Verantwortungsverlust empfunden. Motorradfahren sei eine freie Entscheidung, weshalb diese nicht abgegeben werden sollte. Hierbei müsse ein Grad der Einflussnahme sowie die Möglichkeit vorhanden sein, Systeme abschalten zu können. Multiple Fahrerassistenzsysteme werden als verwirrend, nervig und ablenkend beschrieben. *Im Ergebnis besteht eine höhere Akzeptanz für informierende statt für eingreifende Systeme. Gerade automatische Notrufsysteme haben eine hohe Akzeptanz. Im Gegensatz dazu sind eingreifende Systeme, vor allem jene, die die Freiheit in der Fahrzeugführung einschränken, weniger akzeptiert. Die Gründe dafür liegen in fehlenden Erfahrungen mit solchen Systemen und die Vorteile dieser Systeme den Fahrern nicht bekannt sind.* [Bea2013]

Der Fragestellung nach Einflussfaktoren für die Akzeptanz von Fahrerassistenzsystemen gingen Huth und Gelau in einer Simulatorstudie nach. Die Modellvorstellung hierbei beschreibt die soziale Norm,

die Bewertung des Designs sowie die wahrgenommene Sicherheit als Determinanten für die Nutzerintention („usage intention“), welche über den Wunsch, das System verbaut zu haben („willingness to have system installed“) und der Bereitschaft, das System zu bezahlen („willingness to pay for system“) analysiert wurde. *Dabei wurde für die soziale Norm identifiziert, dass Systeme, die Freunde von Motorradfahrern mögen bzw. nutzen die Wahrscheinlichkeit der eigenen Nutzung erhöht. Eine bessere Bewertung der Informationsdarstellung geht mit einer höheren Nutzerintention einher und hat darauf einen signifikanten Einfluss.* [Hut2013]

Aus der Betrachtung des Fahrers hat dieser Beitrag zum Ziel, dem Fahrer durch Assistenzsysteme einen Mehrwert zu bieten, innerhalb kritischer Situationen durch Eingriffe zu schützen, jedoch den Fahrer nicht in seinen Motiven zur Fahrzeugnutzung einzuschränken.

## 4 Ableitung von Assistenzsystemen

Motorisierte Zweiräder unterscheiden sich in vielen Eigenschaften von anderen Fahrzeugarten. Allen voran sei die Fahrdynamik des Einspurfahrzeugs im labilen Gleichgewicht mit einem großen Fahrereinfluss bei der Stabilisierung genannt. Weiterhin unterscheiden sich die Motive sowie die Motivation des Fahrers, damit der Fahrzweck, die Nutzung des Fahrzeugs und die gefahrenen Strecken. Weiterhin ergibt sich für motorisierte Zweiräder ein spezielles Unfallgeschehen. Einerseits seien die Fahrunfälle mit dem Kontrollverlust durch den Motorradfahrer, andererseits Unfälle mit Informationsaufnahme-/Wahrnehmungsfehlern anderer Beteiligter genannt. Zudem unterscheidet sich die Fahrzeugbedienung eines Motorrads erheblich von einem Pkw. Bedienfehler, wie ein zu schnelles Einkuppeln, eine falsche Gangwahl oder ein zu locker gehaltener Lenker, haben schnell negative Auswirkungen auf das Fahrverhalten.

Aus diesen Gründen können Assistenzsysteme aus dem Bereich des Pkw nur mit Anpassungen an die Eigenschaften des Motorrads übernommen werden oder müssen eigens für das Motorrad entwickelt werden. Im Sinne einer ganzheitlichen Betrachtung wird in diesem Abschnitt eine Methodik für die Ableitung von Assistenzsystemen vorgestellt. Zur Identifikation dieser Assistenzsysteme wird zunächst die Fahraufgabe in Anlehnung an [Bub2003], wie in Abbildung 6 dargestellt, in drei Gruppen eingeteilt.

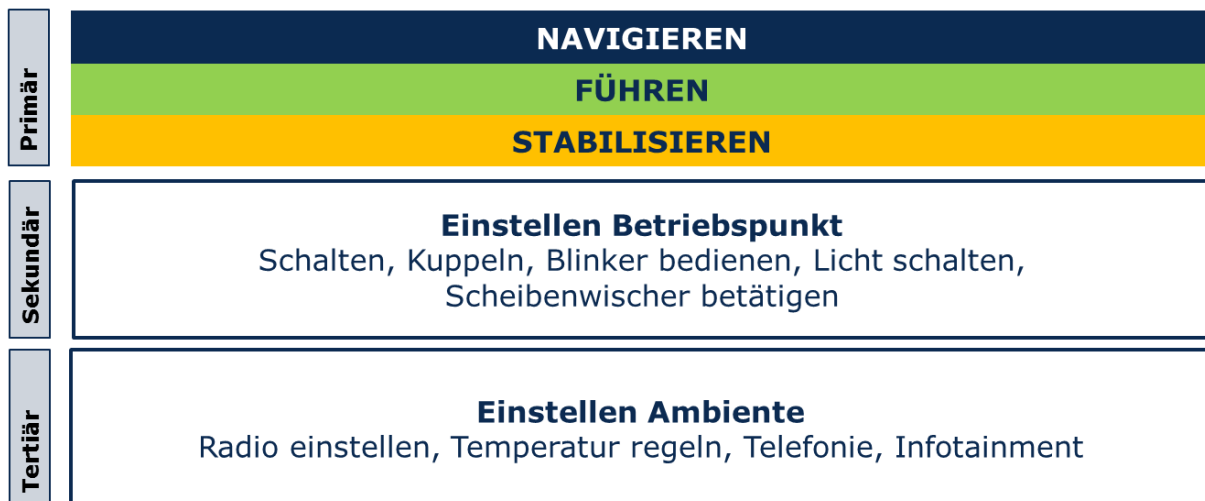


Abbildung 6 Ebenen der Fahraufgaben in Anlehnung an [Bub2003] und nach [Don1982]

Die **primären Fahraufgaben** sind *direkt* mit dem Führen des Fahrzeugs verknüpft und beinhalten die Ebenen der Fahrzeugführung nach Donges [Don1982]. Das Führen und Stabilisieren des Fahrzeugs meint hierbei genauer das Beschleunigen, Bremsen und Lenken.

Die **sekundären Fahraufgaben** sind *indirekt* mit dem Führen des Fahrzeugs verknüpft und beinhalten Aufgaben, die zur Ausführung der primären Fahraufgaben notwendig sind. Sie können als *Einstellen eines Betriebspunkts* zusammengefasst werden.

Die **tertiären Fahraufgaben** sind *nicht* mit dem Führen des Fahrzeugs verknüpft, sind aber ebenfalls Aufgaben, die ein Fahrer zu bewältigen hat. Sie können als *Einstellen des Ambientes* zusammengefasst werden. Sie werden in diesem Beitrag nicht weiter diskutiert.

Aus der **Betrachtung des Unfallgeschehens** sind die Situationen bekannt, in denen ein Motorradfahrer unterstützt werden muss. Zur weiteren Ableitung der Assistenzsysteme bietet sich eine begriffliche Trennung an. Eine **Assistenzfunktion** beinhaltet die Unterstützung des Fahrers in einer einzelnen Fahraufgabe. Die Kombination einer oder mehrerer Assistenzfunktionen mit Sensorik und Aktorik ergibt ein **Assistenzsystem**.

*Beispiel: Das Einstellen eines Abstands zu einem vorausfahrenden Fahrzeug ist eine Assistenzfunktion. Das Einstellen einer gewünschten Geschwindigkeit ist ebenfalls eine Assistenzfunktion. In dieser Kombination mit zugehöriger Sensorik und Aktorik sind diese Funktionen Teil des Assistenzsystems Abstandsregeltempomat.*

In einer Matrix werden innerhalb der Spalten die zeitlichen Verläufe identifizierter Szenarien aus dem Unfallgeschehen in „Normalfahrt“, „Gefahrensituation“ und „Unfallphase“ unterteilt. Die Zeilen bilden

die einzelnen Fahreraufgaben während der Fahrzeugführung. Die entstehenden Felder der Matrix können nun mit einer Fahrsituation und zugehöriger Assistenz aufgefüllt werden. In Abb. 7 findet sich ein Auszug dieser Matrix. Hellblau dargestellt sind hier die Situationen und zugehörig in dunkelblau die Assistenzfunktion.

		Kritische Situation	
		Normalfahrt	Warnphase
			Gefahr
Primäre Fahraufgabe	Navigation	Befahren unbekannter Strecken <b>Darstellung des Streckenverlaufs, Gefahrenstellen</b>	Gefahrenstellen <b>Ablegen von Gefahrenstellen auf Kartenmaterial</b>
	Planung Krümmung	Befahren von Kurven <b>Lenkmoment zur Ideallinie</b>	Krümmung für Geschwindigkeit zu groß <b>Lenkmoment zur Ideallinie bzw. für größere Krümmung</b>
	Planung Geschwindigkeit	Befahren von Kurven <b>Begrenzung der Geschwindigkeit</b>	Geschwindigkeit für Krümmung zu hoch <b>Reduktion Antriebsmoment/ Bremsengriff am Hinterrad für kurveneindrehendes Giermoment</b>
	Stabilisierung (Längs/Quer)	Fahren mit GRA <b>Begrenzung Geschw.</b>	Kurvenbremsung <b>Kompensation des Lenkmoments</b>
(...)			
Einstellen Betriebspunkt	Wahl Übersetzung	Anfahren, Kuppeln und Schalten bei stockendem (innerorts) Verkehr	Gefahrenbremsung <b>Automatisches Runterschalten</b>
	Kuppeln	<b>Automatik für Innerorts-Verkehr</b>	Gefahrenbremsung <b>Automatisches Auskuppeln</b>
	Drehzahl	Anpassung nach Gangwechsel <b>Drehzahlanpassung</b>	Gefahrenbremsung mit Momentenanforderung <b>Rücknahme Motormoment - Drehzahlanpassung</b>

Abb. 7: Ableitung von Assistenzfunktionen aus Fahreraufgaben in Ihrem zeitlichen Verlauf.

Exemplarisch werden in diesem Beitrag Assistenzsysteme erläutert, welche mit dieser Methodik identifiziert werden konnten. Es wird dabei auf die kritische Situation aus dem Unfallgeschehen eingegangen, der Kundenmehrwert und Kaufanreiz erläutert sowie kurz auf den entworfenen und verwendeten Beobachter eingegangen. Grundsätzlich werden die Assistenzfunktionen auf Basis des Beobachters und damit der Fahrdynamik entworfen. Innerhalb dieses Beitrags werden weiterhin keine informierenden



oder warnenden Systeme betrachtet. Das Ziel mit diesem Ansatz ist es, den Fahrer durch Eingriffe zu assistieren und ihn damit zu schützen, andererseits jedoch keines der Motive zur Fahrzeugnutzung selbst einzuschränken.

## 5 Modellierung der Fahrdynamik

Im Gegensatz zum Pkw befindet sich das motorisierte Zweirad im labilen Gleichgewicht und muss stets durch aktive Fahrereingaben stabilisiert werden. Für den Beobachter in Analogie zum Fahrerverhalten ist also ein Fahrdynamikmodell erforderlich, welches den Zielkonflikt zwischen Genauigkeit und Recheneffizienz ideal auflöst.

Um die Stellgrößen des Motorradfahrers bewerten zu können, müssen geeignete Sollwerte durch den Algorithmus generiert werden. In der Literatur existiert dafür eine Vielzahl an Ansätzen, menschliches Fahrverhalten zu erzeugen. Aus der Fahrerverhaltensmodellierung die Einteilung der Fahraufgabe in drei Ebenen bekannt [Don1977, Don1982]:

- In der **Navigationsebene** wird die globale Route geplant.
- Die **Bahnplanungsebene** bzw. **Bahnführungsebene** beinhaltet die Planung des unmittelbar nächsten Manövers sowie Ableitung einer zugehörigen Trajektorie, bestehend aus Position und Geschwindigkeit.
- In der **Stabilisierungsebene** wird das Manöver mit der geplanten Trajektorie angefahren und eingestellt.

In Ergänzung hierzu entwickelte Rasmussen [Ras1983] die Vorstellung des menschlichen Verhaltens in wissensbasiertem, regelbasiertem und fertigkeitsbasiertem Verhalten. In Anlehnung an diese Hierarchie entwickelte Prokop [Pro2001] einen hierarchischeren Regler, welcher eine nichtlineare Optimierung des Dynamikmodells mittels SQP-Verfahren auf Bahnplanungsebene mit einem PID Folgeregler auf Stabilisierungsebene verbindet.

Analog zu diesen Ansätzen wird durch Hans [Han2016] ein Beobachter auf zwei der drei Ebenen entworfen:

### 1. **Low-Level (Stabilisierung / Fertigkeitsbasiert)**

Diese Ebene erhält eine Geschwindigkeits- und Rollwinkelvorgabe in Form einer Trajektorie innerhalb von sicheren Grenzen. Hierbei werden robuste Reglermethoden zur Kompensation von Messungenauigkeiten und Modellfehlern herangezogen.

## 2. Medium-Level (Bahnplanung/-führung / Regelbasiert)

Diese Ebene nutzt eine linearisierte modellprädiktive Regelung (Linear Model Predictive Control, kurz: LMPC) zur Planung einer lokalen Trajektorie. Das optimale Manöver für einen gegebenen Zeithorizont wird ausgehend vom aktuellen Fahrzeugzustand aus geplant und berücksichtigt Randbedingungen wie Straßenbreite, Hindernisse, Komforteigenschaften oder Energieeffizienz. Die sich ergebene Trajektorie wird an die Low-Level-Ebene mit Referenzgeschwindigkeit und Referenzrollwinkel als Eingang weitergegeben.

## 3. High-Level (Navigationsebene / Wissensbasiert)

Diese Ebene enthält strategische Entscheidungen über die globale Routenplanung und soll in diesem Beitrag nicht weiter diskutiert werden.

Die Basis der fahrdynamisch-invertierenden Fahrerassistenzsysteme ist das durch Hans [Han2016] vorgestellte und in Abb. 8 dargestellte, vereinfachte Fahrdynamikmodell. Dieser Modellansatz, der von einem Motorrad mit unendlich schmalen Reifen ausgeht, dessen komplettes Gewicht als Punktmasse im Schwerpunkt (SP) konzentriert ist und durch die Parameter in Tabelle 1 beschrieben wird.

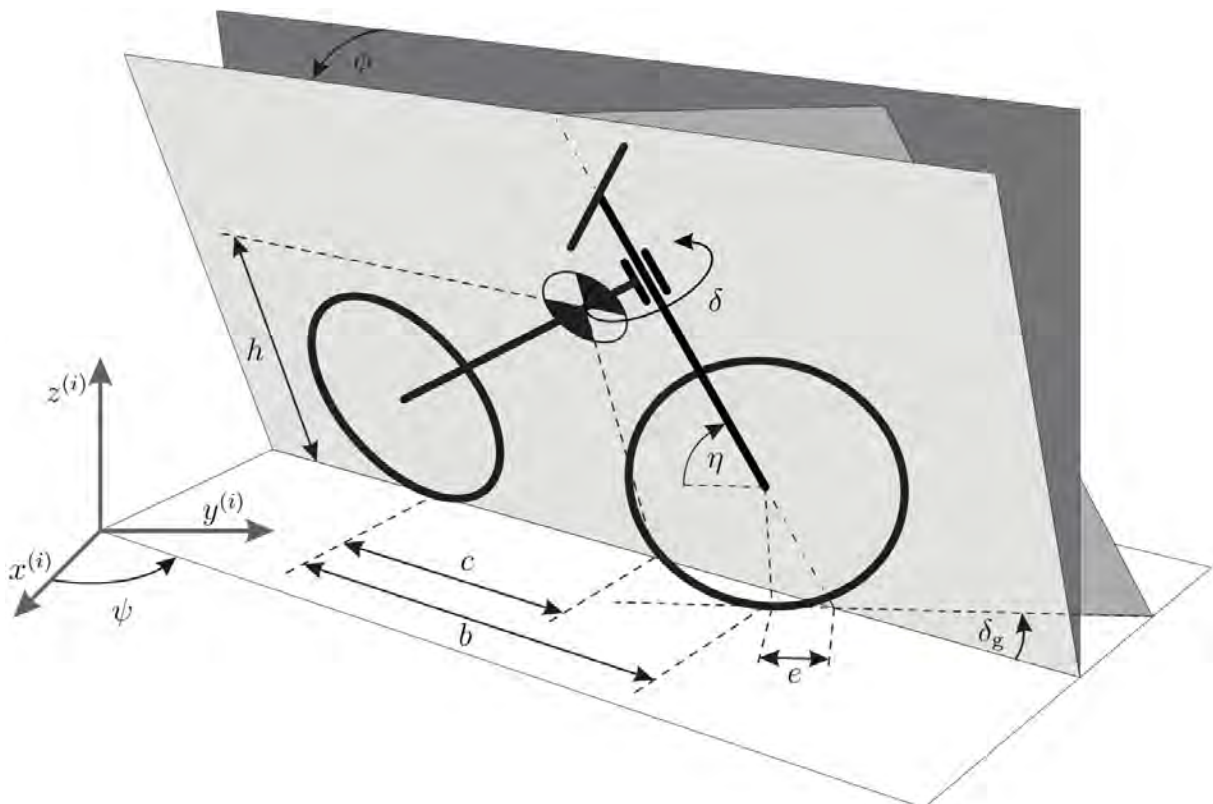


Abb. 8: Skizze des vereinfachten Fahrdynamikmodells mit Symbolbezeichnungen [Han2016].

Tabelle 1: Symbolbeschreibungen und -einheiten.

Sym- bol	Beschreibung	Ein- heit	Sym- bol	Beschreibung	Ein- heit
$b$	Radstand	m	$s$	Bahnkoordinate der Referenz	m
$c$	x-Position des SPs	m	$v$	Längsgeschwindigkeit	m/s
$d$	Querablage zur Referenz	m	$\phi$	Rollwinkel	rad
$e$	Nachlauf	m	$\psi$	Gierwinkel	rad
$g$	Erdbeschleunigung	m/s <sup>2</sup>	$\delta$	Lenkwinkel	rad
$h$	z-Position des SPs	m	$\delta_g$	effektiver Lenkwinkel	rad
$m$	Masse	kg	$\kappa$	Bahnkrümmung	1/m

Die Systemgleichungen von die von (Getz, 1995) und (Yi, et al., 2009)

$$\mathbf{M}(\underline{q}) \ddot{\underline{q}} = \mathbf{K}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) + \mathbf{B}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) \begin{bmatrix} \dot{\kappa} \\ F_{rx} \end{bmatrix},$$

mit den Matrizen  $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{n \times n}$ ,  $\mathbf{K} \in \mathbb{R}^{n \times 1}$  und  $\mathbf{B} \in \mathbb{R}^{n \times m}$

$$\mathbf{M}(\underline{q}) = \begin{bmatrix} h^2 & -ch\kappa \cos \phi \\ -ch\kappa \cos \phi & c^2\kappa^2 + h^2\kappa^2 \sin^2 \phi + 2h\kappa \sin \phi + 1 \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{K}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) = \begin{bmatrix} [1 + h\kappa \sin \phi]hv^2\kappa \cos \phi + gh \sin \phi - gce\kappa \sin \eta \cos \phi \\ -ch\kappa\dot{\phi}^2 \sin \phi - 2vh^2\kappa^2\dot{\phi} \cos \phi \sin \phi - 2vh\kappa\dot{\phi} \cos \phi \end{bmatrix}$$

$$\mathbf{B}(\underline{q}, \dot{\underline{q}}) = \begin{bmatrix} chv \cos \phi & 0 \\ -\kappa c^2 v - vh^2\kappa \sin^2 \phi - vh \sin \phi & \frac{1}{m} \end{bmatrix}$$

sowie dem Zustandsvektor  $\dot{\underline{q}} = [\dot{\phi} \ v]^T$  und dem Eingangsvektor  $\underline{u} = [\dot{\kappa} \ F_{rx}]^T$  verwendet. Wie in [Han2016] beschrieben, werden diese nichtlinearen Modellgleichungen durch die Linearisierung um eine als gegeben angenommene Referenz zeitvariant linearisiert und diskretisiert. Zur Nutzung des Modells in der Modellprädiktiven Regelung sowie deren Validierung in der Realfahrt sei an dieser Stelle auf [Han2018] verwiesen.

## 6 Entwicklung der Fahrerassistenz

Das untersuchte Unfallgeschehen führte zu Szenarien, die es durch Assistenzfunktionen zu adressieren gilt. Der Fokus bei den hier vorgestellten Assistenzfunktionen liegt auf Situationen, die durch einen Kontrollverlust des Fahrers als Fahrurfälle in der Unfallstatistik auffindbar sind. Diese Situationen sollen durch Längs- und Querdynamische Eingriffe adressiert werden. Die Anwendung solcher Assistenzfunktionen, zunächst auf Situationen ohne andere Fahrzeuge, ermöglicht es künftig, diese auf weitere Assistenzfunktionen auszuweiten. Durch die Automatisierung des Versuchsträgers ist es möglich, Assistenzfunktionen für die sekundäre Fahraufgabe darzustellen.

Für den Test der Assistenzfunktionen wurde auf einer Fahrdynamikfläche eine synthetische Strecke als Referenz erzeugt, welche in Abb. 9 dargestellt ist. Die Referenz ist durch eine Mittellinie (gestrichelt) sowie einem Fahrbahnrand (durchgezogen) beschrieben. Die Strecke wurde am Fahrbahnrand mit Pylonen absteckt. Sie besteht im Osten aus einer Kurve mit einem minimalen Kurvenradius von  $r_O = 12\text{ m}$ ; einer anschließenden Geraden, welche im Westen in eine Kurve mit minimalem Kurvenradius von  $r_W = 9\text{ m}$ ; einer Geraden, welche in einen Fahrstreifenwechsel mit minimalem Radius  $r_S = 7\text{ m}$  und einem Seitenversatz von etwa  $3,4\text{ m}$ ; sowie einer Kurve mit minimalem Radius von  $r_{O^*} = 7\text{ m}$ , welche wieder auf die Ost-Kurve führt. Die Übergänge zwischen Geraden und Kurven sowie im Fahrstreifenwechsel sind mit Klothoiden gestaltet.

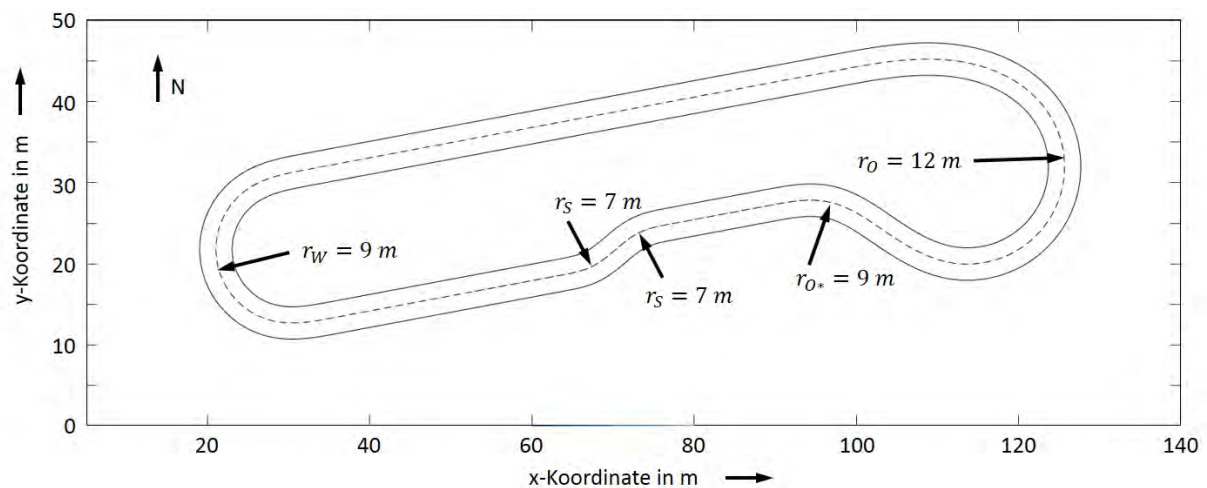


Abb. 9 :Streckenreferenz auf der Fahrdynamikfläche.

## 6.1 Versuchsträger

Der Versuchsträger für die Implementierung ist eine BMW R 1200 GS, wie sie auch in der Arbeit von Hans [Han2018] verwendet wurde (Abb. 10). Das Fahrzeug ist mit Messtechnik zum Erfassen des fahrdynamischen Zustands sowie der eigenen Position; und Aktoren zur Steuerung von Beschleunigung, Verzögerung, der Lenkung sowie Kupplung und Getriebe ausgestattet. Zudem sind am Fahrzeug aus Sicherheitsgründen Schräglagentrainer angebracht, welche einen Schräglagenwinkel von etwas mehr  $20^\circ$  zulassen.



Abb. 10: Versuchsträger BMW R 1200 GS.

## 6.2 Längsdynamischer Eingriff

Innerhalb der primären Fahreraufgabe kann durch fahrdynamische Eingriffe assistiert werden. Ausgehend vom aktuellen Fahrzeugzustand werden Trajektorien für die Kurvenfahrt geplant und über den Beobachter potentiell zukünftige Fahrzustände prädiziert. Für diese Assistenzfunktion kann der Fahrer über Fahrmodi für sein individuelles fahrerisches Können, je nach Bekanntheit der Strecke oder den Witterungsbedingungen, entsprechend Grenzwerte für Eingriffe einstellen. In der vorgestellten Funktion ist die Schräglage auf  $20^\circ$  begrenzt, welche der natürlichen Grenzen des Menschen [Spi2015] und typische Schräglagen eines Fahranfänger entspricht [Bir2010]. Prädiziert das Fahrzeug für die Zukunft keinen Fahrzustand innerhalb der eingestellten Grenzen, reduziert das Fahrzeug zunächst die Beschleunigungsanforderung des Fahrers. Bleibt eine Reaktion des Fahrers aus, reduziert das Fahrzeug die Beschleunigungsanforderung weiter bis hin zum Schleppbetrieb des Fahrzeugs, wodurch bereits eine Verzögerung eintritt. Bleibt weiterhin eine Reaktion des Fahrers aus, erfolgt ein Anbremsen der Kurve am Hinterrad mit einer Komfortverzögerung. Das Fahrzeug ist während der assistierten Fahrt Abb. 11 auf dem Testgelände dargestellt. Der Fahrer fuhr das Fahrzeug während der gesamten Runde mit voller Beschleunigungsanforderung innerhalb der voreingestellten Grenze von  $20^\circ$  entlang der Strecke zwischen den abgesteckten Pylonen.



Abb. 11: Assistierte Versuchsfahrt mit längsdynamischem Eingriff vor der Kurve.

Es wird in diesem Ansatz der Systemgestaltung bewusst auf optische oder akustische Warnungen verzichtet, um den Fahrer nicht von der Ausübung seiner Fahraufgabe abzulenken oder ihn durch noch mehr Reize zusätzlich zu belasten. Das Ziel ist es, den Fahrer hier gezielt mit einer Handlungsempfehlung (Beschleunigungsanforderung verringern, verzögern) zu unterstützen. Zudem erhält der Fahrer durch die Verzögerung des Fahrzeugs die Aufforderung, sein Fahrverhalten an die Situation anzupassen. Durch die Einstellbarkeit der Grenzen des Systems werden die zuvor genannten Fahrmotive gewahrt. Es können so Fehleinschätzungen bezüglich des Streckenverlaufs durch den Fahrer, und damit eine nicht angepasste Planung der Geschwindigkeit auf Bahnführungsebene, frühzeitig vermieden werden. Fahrer genießen zudem den Komfort, auch unbekannte Strecken mit einer höheren Sicherheit befahren zu können.

### 6.3 Querdynamischer Eingriff

Der Querdynamische Eingriff assistiert den Fahrer ebenfalls in seiner primären Fahraufgabe auf Bahnplanungs- und Stabilisierungsebene. Hierfür wird zunächst die Fahrzeugposition auf die Bahnkoordinaten projiziert und über einen kinematischen Regler unter Nutzung des Stabilitätskriteriums von Ljapunov ein Sollrollwinkel zum Einstellen einer Sollkrümmung errechnet, die zurück auf die Referenz führt. Der Fahrer wird dann über additive, und ihrem Maximum begrenzte, Lenkmomente beim Einstellen des benötigten Schräglagenwinkels assistiert.

So ist es möglich, den Fahrer bei niedrigen Geschwindigkeiten beim Einstellen des Gleichgewichts zu unterstützen. Bei höheren Geschwindigkeiten kann der Fahrer auf eine, entweder eine querbeschleunigungsminimale, wegminimale oder geschwindigkeitsmaximale, Ideallinie geführt werden. Dieser Ansatz unterstützt den Fahrer bei der Wahl der, für seinen über den Fahrmodus eingestellten Fahrstil, angepasste Trajektorie. Der in der Referenz abgelegte Fahrstreifenwechsel zeigt auch, dass diese Assistenzfunktion bei einem Ausweichmanöver ebenso unterstützt. Diese Funktion wird im Vortrag mit einem Video demonstriert.

## 6.4 Assistenzfunktionen der sekundären Fahraufgabe

Die Assistenzfunktionen der sekundären Fahraufgabe wurden durch die ganzheitliche Betrachtung der Fahreraufgaben im zeitlichen Ablauf einer kritischen Situation identifiziert. Sie entlasten den Fahrer durch die Übernahme von Fahraufgaben bzw. bei der Vermeidung von Fehlern in der sekundären Fahraufgabe. Diese Assistenzfunktionen wirken einzeln oder in Kombination miteinander und bewirken dabei einen Kundenmehrwert und Kaufanreiz oder eine Steigerung der Sicherheit.

### Elektronische Drehzahlانpassung

Der Gangwechsel und das darauffolgende Schließen der Kupplung führt zu einer Drehzahlانpassung zwischen dem Motor als Antrieb und dem Abtrieb. Bei einem schnellen Schließen der Kupplung kann die Drehzahlانpassung des Antriebs zu einem Rucken des Fahrzeugs führen. Wechselt der Fahrer einen oder mehrere Gänge nach unten, steigt die Übersetzung an. Durch das Motorschleppmoment, welches dem Antriebstrang entgegenwirkt, kann ein zu schnelles Schließen der Kupplung schlimmstenfalls zu einer Blockade des Hinterrades führen. Die elektronische Drehzahlانpassung, gesteuert über das elektronische Gas, adressiert diese Situationen und passt die Drehzahl des Motors an jene des Antriebstrangs an, wenn das Schließen der Kupplung sensiert wird.

### Langsamfahrunterstützung

Das langsame Anfahren bzw. die Langsamfahrt stellt viele Motorradfahrer vor eine Herausforderung. Im Fahrertraining wird dieses Fahrmanöver wie folgt geübt: Der Fahrer soll mit dem rechten Fuß die Hinterradbremse betätigen, mit der rechten Hand am Gas und der linken Hand an der Kupplung den Schleifpunkt suchen, diesen Betriebspunkt halten und langsam die Kraft an der Fußbremse reduzieren und darüber die Geschwindigkeit regeln. Diese Beschreibung zeigt bereits, dass dieses Manöver sehr herausfordernd ist. Das elektronische Gas, die Bremsdruckschnittstelle sowie die Kupplungssensorik in aktuellen Fahrzeugen erlauben es, die Fahrereingabe auf die Kupplung zu reduzieren. Dabei wird bei einem Kupplungsvorgang am Schleifpunkt durch die Gasgriffstellung nicht mehr wie bisher ein Motormoment, sondern eine Drehzahl angefordert. Die Bremsdruckschnittstelle stellt das Bremsmoment am Hinterrad und wirkt als Anfahrhilfe. Durch Einkuppeln kann die Geschwindigkeit mit einer Fahrereingabe durch den Fahrer reguliert werden.

### Gangwahl und Notrunterschalten

Gerade der Verkehr innerhalb geschlossener Ortschaften geht mit vielen Anfahr- und Anhaltemanövern einher. Die Automatisierung des Getriebes ermöglicht es, die Wahl der Übersetzung als Fahraufgabe an das Fahrzeug abzugeben. Wird die Kupplung betätigt oder manuell ein anderer Gang gewählt, wird das System deaktiviert, um die zuvor genannten Fahrermotive nicht zu beeinträchtigen. Der Mehrwert

hier ist zunächst im Komfort zu finden. Ein Sicherheitsmehrwert ist ebenfalls durch die Getriebeautomatisierung realisierbar. Aus dem Unfallgeschehen geht ein hoher Anteil an Bremsreaktionen bei Motorradfahrern innerhalb von kritischen Situationen hervor. Diese Reaktion wird in der sekundären Ebene unterstützt. Während der Gefahrenbremsung des Motorradfahrers wird bei Erreichen einer unteren Drehzahlgrenze der Gang nach unten gewechselt. Durch das Ziehen der Kupplung und schnelle Umgreifen am Gasgriff zur Bremse kann es passieren, dass der Motorradfahrer mit einer Momentenanforderung am Gasgriff (also umgangssprachlich mit „offenem Gas“) bremst, wodurch sich die Motordrehzahl erhöhen würde. Dies wird durch Einregeln der Motordrehzahl auf die – bei theoretisch geschlossener Kupplung – anliegende Drehzahl eingeregelt. Kann eine kritische Situation durch den Motorradfahrer beherrscht werden, so kann er auch nach starker Reduktion seiner Geschwindigkeit direkt in der richtigen Übersetzung weiterfahren. Die Drehzahlanpassung verhindert ein Hochdrehen des Motors und sorgt für ein ruckfreies Einkuppeln. Zudem erhält der Fahrer so eine haptische und akustische Rückmeldung darüber, dass das Fahrzeug die Gefahrenbremsung erkannt hat und die Übersetzung anpasst. So kann sich der Fahrer vollständig auf die primäre Fahraufgabe und damit auf die Vermeidung des Unfalls konzentrieren. Die Gefahr von Folgeunfällen durch ein Anhalten des Motorradfahrers, um für die Weiterfahrt die richtige Übersetzung einzustellen, kann so reduziert werden.

## 7 Zusammenfassung

Die Anzahl getöteter Personen im Straßenverkehr sind rückläufig, wobei auch Motorradfahren sicherer wird. Motorradfahrer sind jedoch als ungeschützte Verkehrsteilnehmer einem höheren Risiko ausgesetzt. Ein vielversprechender Ansatz dabei ist die aktive Fahrzeugsicherheit mit Fahrerassistenzsystemen zur Unfallvermeidung. Dabei können jedoch Fahrerassistenzsysteme nicht ohne weiteres vom Pkw übernommen werden, sondern müssen erst an die speziellen Anforderungen des motorisierten Zweirads angepasst oder völlig neu entwickelt werden.

Hierzu wurde zunächst das Unfallgeschehen motorisierter Zweiräder mit tiefenanalytischen Unfalldatenbanken analysiert. Dabei fallen einerseits Fahrurfälle mit einem Kontrollverlust des Fahrers über das Fahrzeug auf, andererseits Unfälle mit zwei Beteiligten, wobei das Motorrad vom anderen Beteiligten nicht gesehen oder wahrgenommen wird. Bei der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen müssen sowohl die besonderen Motivationen der Fahrer sowie die Nutzung des Motorrads berücksichtigt werden. Diese Motive sollten durch die Fahrerassistenzsysteme nach Möglichkeit nicht eingeschränkt werden. Vielmehr sollten dem potentiellen Kunden beim Kauf solcher Systeme Kaufanreize gegeben werden, die eine Nutzerakzeptanz sicherstellen.



Es wird eine Methodik zur Identifikation der Assistenzfunktionen vorgestellt. Diese ermöglicht es, mit dem zeitlichen Ablauf zuvor identifizierter, kritischer Situationen sowie den Fahreraufgaben Assistenzfunktionen abzuleiten. Dieser ganzheitliche Ansatz führt dann mit Sensorik und Aktorik auf Assistenzsysteme. Ebenso wird ein Fahrdynamikmodell vorgestellt, welches die Basis für intervenierende Systeme bildet und durch Hans [Han2018] validiert wurde. Es wird ein Beobachter entworfen, der es ermöglicht, Stellgrößen des Fahrers und künftige Fahrzustände zu bewerten und Eingriffsstrategien abzuleiten.

Die entwickelten und prototypisch implementierten Fahrerassistenzsysteme unterstützen den Fahrer bei der Ausführung der primären und sekundären Fahraufgabe. Sie greifen längsdynamisch ein, um Fehler auf Bahnplanungsebene zu vermeiden. Dieser Eingriff erfolgt frühzeitig über eine Reduzierung der Beschleunigungsanforderung bis zur Komfortverzögerung, einstellt über die Hinterradbremse. Querdynamisch unterstützt eine weitere Funktion den Fahrer bei der Stabilisierung während der langsamen Fahrt und beim Folgen einer Idealline bei höheren Geschwindigkeiten. Die Assistenzsysteme sind über Fahrmodi an das fahrerische Können einstellbar, sodass die Motive der Freiheit und der Fahrfreude unberührt bleiben. Ebenso wird bei der Ausführung der sekundären Fahraufgabe beim Einstellen des Betriebspunkts unterstützt. Dies betrifft die Drehzahlanpassung nach einem Schaltvorgang, einer Unterstützung für die langsame Fahrt, der Wahl der Übersetzung in der Normalfahrt und in kritischen Situationen mit einem Runterschalten bei einer Bremsreaktion des Fahrers. So wird der Fahrer dabei entlastet, erfährt einen Komfortgewinn oder kann sich in kritischen Situationen auf die Ausführung der primären Fahraufgabe konzentrieren.

Aktuell werden weitere Fahrdynamikregelsysteme entwickelt, die den Fahrer bei der Fahrt und in kritischen Situationen unterstützen. Dabei ist das Auftreten der Situation, bspw. das Überbremsen eines Rades, zeitlich dicht gefolgt vom Unvermeidbarkeitszeitpunkt eines möglichen Unfalls. [SeinDiss] Daher wirken diese Funktionen unmittelbar vor einem Unfall in einem Zeitbereich, der für den menschlichen Fahrer mit seiner Reaktionszeit oft nicht mehr beherrschbar ist.

Andererseits gibt es mit der Einführung von kooperativen Sicherheitssystemen (engl.: Cooperative Intelligent Transport Systems, kurz: C-ITS), welche aktuell vom Connected Motorcycle Consortium (CMC) getrieben werden, neue Möglichkeiten, kritische Situationen sehr frühzeitig mit einer ausreichenden Zeitreserve zu adressieren und künftig zu vermeiden [Mas2018]. Der große Vorteil hier ist, dass auch andere Beteiligte, die ein motorisiertes Zweirad potentiell übersehen, ebenso gewarnt werden. Durch die Entwicklung dieser Systeme wird der Zeitbereich adressiert, in dem einerseits eine kritische Situation durch eine Verhaltensadaption noch vermeidbar ist, jedoch der Zeitbereich für eine Warnung nicht mehr ausreichend ist.

Diese Zeitbereiche werden in Abb. 12 vor einer kritischen Situation mit einem Unvermeidbarkeitszeitpunkt (Blitz), bspw. aufgrund eines Reibwertsprungs oder eines anderen Beteiligten, noch einmal dargestellt. In frühen Phasen (I), welche durch Will [Wil2018] genauer untersucht werden, wirken kooperative Sicherheitssysteme mittels Information oder Warnung. In sehr späten Phasen (III), mit kurzen Zeitbereichen zwischen kritischer Situation und Unvermeidbarkeit, wirken Fahrdynamikregelsysteme. Diese werden automatisch durch das System aktiviert und sind durch den Fahrer in diesem Moment nicht steuer- oder abstellbar. Der mittlere Zeitbereich (II) wird nun durch die hier vorgestellten fahrdynamisch-intervenierenden Fahrerassistenzsysteme erweitert.

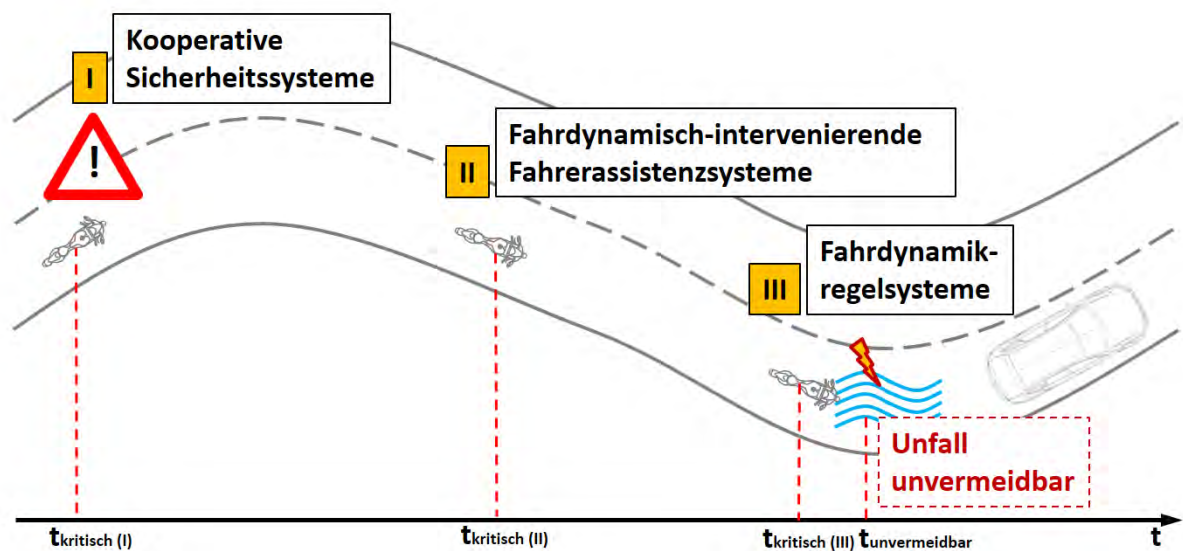


Abb. 12: Zeitbereich für kooperative Sicherheitssysteme (I), fahrdynamisch-intervenierende Fahrerassistenzsysteme (II) und Fahrdynamikregelsysteme (III).

Im Ergebnis ermöglichen diese Assistenzfunktionen mit der Kenntnis der Fahrdynamik sowie der echtzeitfähigen Modellierung und Implementierung eines Beobachters fahrdynamische Eingriffe. In weiteren Schritten können nun Methoden aus der Entwicklung des hochautomatisierten Fahrens aus dem Forschungsbereich des Pkw herangezogen werden, um für weitere Situationen Assistenzsysteme entwickeln zu können.

## 8 Literatur

- [Bea2013] Beanland, V., Lenné, M. G., Fu-essl, E., Oberlader, M., Joshi, S., Bellet, T. & Yannis, G. (2013). Acceptability of rider assistive systems for powered two-wheelers. *Transportation research part F: traffic psychology and behaviour*, 19, 63-76
- [Bir2010] Biral, F. et al.: An intelligent curve warning system for powered two wheel vehicles (2010).
- [Bjo2012] Bjørnskau, T., Nævestad, T. O., & Akhtar, J. (2012). Traffic safety among motorcyclists in Norway: A study of subgroups and risk factors. *Accident Analysis & Prevention*, 49, 50-57.
- [Bub2003] Bubb, H.: Fahrerassistenz primär ein Beitrag zum Komfort oder für die Sicherheit? VDI-Bericht, Bd. 1768. VDI, Düsseldorf, S. 257–268 (2003)
- [Bun2018] Bundesamt, Statistisches: Fachserie 8 Reihe 7, Verkehr – Verkehrsunfälle 2017. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2018
- [Dic2002] Dick, M. (2002). Auf den Spuren der Motive, Auto zu fahren.
- [Don1982] Donges, E.: Aspekte der Aktiven Sicherheit bei der Führung von Personenkraftwagen. *Automobil-Industrie* 27, 183–190 (1982)
- [Don1977] Donges, E.: Experimentelle Untersuchung und regelungstechnische Modellierung des Lenkverhaltens von Kraftfahrern bei simulierter Straßenfahrt. Diss. TH Darmstadt (1977)
- [Han2018] Hans, S., Köbe, M., Prokop, G.: Warum Automatisierung die Zukunft der Motorradsicherheit ist, 12. Internationale Motorradkonferenz, Köln, 1.-2. Oktober 2018, InPrint
- [Han2016] Hans, S., Krehel, M., Köbe, M., Prokop, G.: "A Cascaded Model-Predictive Approach To Motorcycle Safety", 13th International Symposium on Advanced Vehicle Control, München, 2016.
- [Hut2013] Huth, V., & Gelau, C. (2013). Predicting the acceptance of advanced rider assistance systems. *Accident Analysis & Prevention*, 50, 51-58.

- [Sto2012] Jürgen Stoffregen. Motorradtechnik – Grundlagen Und Konzepte Von Motor, Antrieb Und Fahrwerk. 8. vollst. überarb. u. erg. Aufl. 2012. Berlin, Heidelberg: Springer, 2012. isbn: 978-3-834-81716-7.
- [Mai2015] Mai M., Tüschchen T., Prokop G.: „A physiological based Driver Model for longitudinal Vehicle Guidance and its Challenges in Validation” – 3rd International Symposium on Future Active Safety Technology Towards zero traffic accidents (FAST-zero), Göteborg, 09.-11. September 2015.
- [Mai2015a] Mai M., Wang L., Helmer T., Prokop G.: „Numerical driver behaviour model for stochastic traffic simulation for the evaluation of driver assistance systems and automated driving functions” – 7. Tagung Fahrerassistenz, München, 25.-26. November 2015.
- [Mai2016] Mai M., Wang L., Prokop G.: „Advancement of the car following model of Wiedemann on lower velocity ranges for urban traffic simulation” – The Driving Simulation Conference 2016 VR, Paris, 07.-09. September 2016.
- [Mai2013] Mai M.: „Simulation der sensorischen Wahrnehmung des Fahrers als Teil eines Fahrerhaltensmodells zur Entwicklung und Bewertung warnender Fahrerassistenzsysteme“ – 9. VDI-Tagung Fahrzeugsicherheit, Berlin, 20.-21. November 2013.
- [MaiDiss2017] Mai, Marcus: Fahrerhaltensmodellierung für die prospektive, stochastische Wirksamkeitsbewertung von Fahrerassistenzsystemen der Aktiven Fahrzeugsicherheit, Dissertation, Schriftenreihe des Lehrstuhl Kraftfahrzeugtechnik der TU Dresden (Band 4), Dresden, 2017
- [Man1995] Mannering, F. L., & Grodsky, L. L. (1995). Statistical analysis of motorcyclists' perceived accident risk. *Accident Analysis & Prevention*, 27(1), 21-31
- [Mas2018] "Massong, C. et al: CMC-Roadmap: Das Motorrad auf dem Weg zur Konnektivität & Bewertung des Potentials von C-ITS für motorisierte Zweiräder auf Basis von Realunfalldaten, 12. Internationale Motorradkonferenz, Köln, 1.-2. Oktober 2018, InPrint

- [Pro2012] Prokop G., Mai M., Schlag B., Weller G., Gruber C., Tomasch E., Wimmer P.: "Effektivitätsbewertung warnender Fahrerassistenzsysteme durch Fahrerhaltensmodelle" – 28. VDI/VW-Gemeinschaftstagung "Fahrerassistenz und Integrierte Sicherheit", Wolfsburg, 10.-11. Oktober 2012
- [Pro2001] Prokop, G.: Modeling Human Vehicle Driving by Model Predictive Online Optimization. *Vehicle System Dynamics* 11(1), 1–35 (2001)
- [Ras1983] Rasmussen, J.: Skills, Rules and Knowledge; Signals, Signs and Symbols and other Distinctions in Human Performance Models. *IEEE Trans. on Systems, Man and Cybernetics*, Vol. SMC 13(3), 57–266 (1983)
- [Rin2017] Ring, P.; Wang, L.; Fahrenkrog, F.; Jung, O.; Prokop, G.: "Modelling Cognitive Driver Behavior In The Context Of Prospective Safety Assessment " - 26. Aachener Kolloquium, Aachen, 10.10.2017.
- [SAT2012] SARTRE4 (Social Attitudes to Road Traffic Risk in Europe). (2012). European road users' risk perception and mobility – The SARTRE 4 survey

CMC-Roadmap: Motorcycles on Track to Connectivity &  
Evaluation of the Potential of C-ITS for Motorcycles on the Basis of  
Real Accidents

CMC-Roadmap: Das Motorrad auf dem Weg zur Konnektivität &  
Bewertung des Potentials von C-ITS für motorisierte Zweiräder auf  
Basis von Realunfalldaten

## CMC-Roadmap: Motorcycles on Track to Connectivity

### CMC-Roadmap: Das Motorrad auf dem Weg zur Konnektivität

Christian Massong, Arne Purschwitz  
BMW Motorrad, Motorcycle Safety

Hennes Fischer  
Yamaha Motor Europe N.V., Senior Adviser

Oliver Kohlinger  
Honda R&D Europe, Motorcycle Technology Development

Markus Schwarz  
KTM AG, Research and Development

Mariko Nohara  
Yamaha Motor Co., Ltd. ITS Group

Yasuhiro Okada  
Honda R&D Co., Ltd. Motorcycle R&D Center

Marcus Petzold  
VUFO GmbH, Research

## Abstract

Recognizing dangers before they arise. Seeing obstacles which are not yet visible. Assess risks early and act accordingly. By connecting vehicles and infrastructure, we are taking one step further to achieve the vision of an accident-free world. The communication between infrastructure and vehicles is technically realized by cooperative systems. This is referred to as V2X communication (vehicle-to-vehicle or vehicle-to-infrastructure communication) or more generally, by C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems).

While the C-ITS roadmap for the automotive domain is nearly established, motorcycles are gaining attention as part of the future connected world. Cooperative systems offer new opportunities which can make motorcycling significantly and sustainably safer.

Since motorcycles differ in design, driving dynamics and riding behavior compared to passenger cars, car systems cannot directly be transferred and adapted to motorcycles. For the use in the two-wheeler sector, specific motorcycle requirements must be taken into account. This includes principle-based adaptations to the V2X applications (i.e. specific use cases), but also hardware and software adaptations as positioning accuracy, triggering algorithms, antenna positioning and to the human machine interface. Being aware of these challenges, well-known representatives of the motorcycle industry founded the "CMC - Connected Motorcycle Consortium" in 2016 (see [www.cmc-info.net](http://www.cmc-info.net)).

Based on the C-ITS concepts of the automotive industry, the "CMC Roadmap" defines applications for the motorcycle of the future. The main focus lies on applications that positively effect and increase the safety of motorcyclists in traffic. Based on functional descriptions of V2X applications, the impact on accident statistics is investigated by the Institute for Traffic Accident Research at Dresden University of Technology (VUFO).

The CMC-Roadmap will be presented and exemplified by a V2X use case with motorcycle relevance.



## Kurzfassung

Gefahren erkennen bevor sie entstehen. Hindernisse sehen, die noch gar nicht zu sehen sind. Risiken frühzeitig einschätzen und entsprechend handeln. Durch Vernetzung von Infrastruktur und Fahrzeugen rückt man der Vision einer unfallfreien Welt immer näher. Die Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeugen wird technisch durch kooperative Systeme ermöglicht. Man spricht in diesem Zusammenhang von V2X-Kommunikation (Vehicle-to-Vehicle- bzw. Vehicle-to-Infrastructure-Kommunikation) oder allgemein gefasst von C-ITS (Cooperative Intelligent Transport Systems).

Während die C-ITS Roadmap für den Automobilbereich weitestgehend etabliert ist, gewinnen einspurige Fahrzeuge als Teil der zukünftig vernetzten Welt immer mehr an Bedeutung. Mithilfe kooperativer Systeme ergeben sich neue Möglichkeiten, welche das Motorradfahren signifikant und nachhaltig sicherer gestalten können.

Da Motorräder im Vergleich zu Pkw u.a. Unterschiede bezüglich Design, Fahrdynamik und Fahrerverhalten aufweisen, können Pkw-Systeme nicht ohne weiteres übertragen und auf Motorräder adaptiert werden. Für den Einsatz im Zweiradbereich müssen motorspezifische Anforderungen berücksichtigt werden. Darunter fallen prinzipbedingte Anpassungen an die V2X Funktionen (spezifische Anwendungsfälle), aber auch hardware- und softwareseitige Anpassungen an die Positionsgenauigkeit, Auslösealgorithmen, Antennenpositionierung sowie an die Mensch-Maschine Schnittstelle. Sich diesen Aufgaben bewusst, gründeten namhafte Vertreter der Motorradindustrie im Jahr 2016 das „CMC – Connected Motorcycle Consortium“ (vgl. [www.cmc-info.net](http://www.cmc-info.net)).

Aufbauend auf den C-ITS Konzepten der Automobilbranche definiert die „CMC-Roadmap“ die Anwendungsfälle für das Motorrad der Zukunft. Das Hauptaugenmerk liegt hierbei auf Funktionen zur Erhöhung der Sicherheit des Motorradfahrens im Straßenverkehr. Basierend auf den Funktionsbeschreibungen von V2X Anwendungen wird die Auswirkung dieser Systeme auf die Unfallstatistik durch die Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden (VUFO) GmbH untersucht.

Die CMC-Roadmap wird vorgestellt und anhand einer V2X Anwendung beispielhaft die Motorradrelevanz erläutert.

Evaluation of the Potential of C-ITS for Motorcycles on the Basis of  
Real Accidents

Bewertung des Potentials von C-ITS für motorisierte Zweiräder auf  
Basis von Realunfalldaten

Marcus Petzold, Henrik Liers  
Verkehrsunfallforschung an der TU Dresden (VUFO) GmbH, Germany

Christian Massong  
BMW Motorrad, Germany

Markus Köbe  
TU Dresden, Germany

## Abstract

In 2017, the number of fatalities in German traffic accidents has reached the lowest number (3.180 fatally injured persons) since the beginning of the statistics. A detailed analysis of the accident statistics shows, that the number of fatally injured persons on motorcycles stagnate in the recent years. With an increase of nearly 9% (+47 fatally injured persons), riders and passengers of motorcycles have established their second position in the group of fatally injured road users.

The current technical possibilities that are available to improve the safety level of motorcycle riders are very limited. On the one hand, technical systems like intelligent driving dynamic control and/or rider information systems mainly address single accidents. On the other hand, in most of the powered two wheeler (PTW) accidents, other participants (often passenger cars) are involved and these road users are often the main accident causer. In the future, advanced safety systems like Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) can be a solution.

The future possibilities of C2C-/C2X-communication, environmental sensing and more precise self-localization can result in many safety functions for motorcycles. The Institute for Traffic Accident Research at the University of Technology Dresden (VUFO) made a study to evaluate the potential of future C-ITS for motorcycles on the basis of real traffic accidents from GIDAS (German In-Depth Accident Study). The work was done in cooperation with the Connected Motorcycle Consortium (CMC) where the VUFO is one of the associated partners.

The first part was a detailed descriptive statistics about motorcycle accidents. The following aspects were considered:

- Overview about the motorcycle accident scenario
- Importance of a specific weighting of motorcycle accidents
- Accident parameters (e.g. location, causation, scenario, time, date, etc.)

The second part was used for a quantification of the potential of C-ITS for motorcycles. The system descriptions (developed within CMC) were analyzed and the potential field of effectiveness in the German motorcycle accident scenario was evaluated. Furthermore, a separation of the scenarios based on the role of the motorcycle (accident causer vs. accident participant) was made.

The result of the investigation are potential estimates for future cooperative safety systems like Electric Emergency Brake Light, Forward Collision Warning, Intersection Movement Assist and Blind Spot Warning. The CMC will use the results of this analysis to make a prioritization of the single C-ITS for the CMC Roadmap 2018.

## Kurzfassung

Die Zahl der bei Straßenverkehrsunfällen getöteten Personen ist im Jahr 2017 laut Statistischem Bundesamt (DESTATIS) auf den niedrigsten Stand seit Beginn der Statistik gesunken (3.180 Getötete). Eine detailliertere Analyse der Daten zeigt jedoch, dass die Zahl der getöteten Kradfahrer und -aufsassen in den letzten Jahren stagniert. Mit einem Anstieg um fast 9% (+47 Getötete) im Jahr 2017 haben Kradfahrer ihre Position als zweitgrößte Getötetengruppe gefestigt.

Die bisher verfügbaren technischen Möglichkeiten, um das Sicherheitsniveau von motorisierten Zweirädern substantiell zu verbessern, sind limitiert. Einerseits besitzen intelligente Fahrdynamikregel- und Fahrerinformationssysteme das Potential, Alleinunfälle bzw. vom Motorradfahrer verursachte Unfälle zu adressieren. Andererseits sind bei der Mehrheit der Kradunfälle weitere Beteiligte involviert und nicht selten sind diese auch Unfallverursacher. Hier bieten zukünftig kooperative Systeme, so genannte Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) Lösungsansätze.

Die zukünftigen Möglichkeiten von C2C-/C2X-Kommunikation, Umfeldwahrnehmung und präziser Eigenlokalisierung resultieren in einer Vielzahl denkbarer Funktionen für Krafträder. Die Verkehrsunfallforschung (VUFO) hat in Zusammenarbeit mit dem bzw. als Partner innerhalb des Connected Motorcycle Consortiums (CMC) in einer Studie das Potential diverser C-ITS auf Grundlage realer Unfalldaten aus dem GIDAS-Projekt (German In-Depth Accident Study) bewertet.

Im ersten Teil der Studie wurde eine detaillierte deskriptive Statistik des Unfallgeschehens erstellt, wobei u.a. folgende Aspekte Berücksichtigung fanden:

- Entwicklung des Motorradunfallgeschehens
- Motorradspezifische Gewichtung der GIDAS-Daten
- Unfallparameter (Unfallstelle, Unfallverursachung, Unfall-Szenarien etc.)

Der zweite Teil der Studie wurde für die Quantifizierung von Potentialen im Bereich der C-ITS für Motorräder genutzt. Dazu wurden die im CMC-Konsortium erarbeiteten Systembeschreibungen zukünftiger C-ITS analysiert und die Größe des Wirkungsfelds im deutschen Motorrad-Unfallgeschehen bewertet. Zudem wurde eine Unterteilung der Szenarien nach der Rolle des Krads (Unfallverursacher vs. Unfallgegner) vorgenommen.

Das Ergebnis der Untersuchungen sind Potentialabschätzungen zukünftiger kooperativer Sicherheitssysteme, u.a. für Electric Emergency Brake Light, Forward Collision Warning, Intersection Movement Assist und Blind Spot Warning. Damit lässt sich eine Priorisierung der C-ITS im Rahmen der CMC Roadmap 2018 realisieren.

CMC-Roadmap: Motorcycles on Track to Connectivity &  
Evaluation of the Potential of C-ITS for Motorcycles on the Basis of  
Real Accidents

## 1 About CMC

The Connected Motorcycle Consortium (CMC) is a collaboration between manufacturers, suppliers, researchers and associations to make motorcycles part of the future connected mobility. CMC is a non-profit organisation established by key motorcycle makers with the unilateral goal to promote and develop Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) on a global scale. The basis of CMC was laid in the year 2015 when the founding members BMW Motorrad, Honda Motor Co. Ltd. and Yamaha Motor Co. Ltd. agreed upon the need to further enhance PTW safety by the means of C-ITS (eventually founded in 2016). Therefore, the core activity of CMC is research into a common hardware and software specification for V2X (Vehicle to Everything) technology. In addition to that, communication activities are essential for CMC: making stakeholders aware of the intricacies of integrating motorcycles into C-ITS.

For an up to date overview on the involved and actively contributing members, please visit [www.cmc-info.net](http://www.cmc-info.net).

## 2 Motivation for C-ITS

The main objective of the members of CMC is the aim to decrease the number of traffic accidents and most importantly to enhance motorcycle safety. Therefore, the purpose is to create the foundation for deployment of C-ITS for powered two wheelers (PTW).

Motorcyclists are categorized as Vulnerable Road Users (VRU), therefore deserving particular attention from other vehicle drivers. On the other hand, PTWs are sharing the same roads with similar speeds to cars and are a special case as VRU when it comes to C-ITS technology. PTW are, unlike pedestrians and bicyclists, equipped and with on-board energy production and power electronics and can integrate today's C-ITS technology. However, due to limitations in available space and unique vehicle dynamics, car solutions cannot just simply be transferred from four wheelers to two wheelers. Systems need to be tailored to PTW requirements and triggering conditions and even today's standard ITS messages (CAM and DENM) have requirements, which PTW cannot fulfil. This requires an active role of PTW manufacturers and associations to fill the gaps. Several PTW manufacturers therefore already joined the CAR 2 CAR Communication Consortium (C2C CC) and in a specific PTW sub-working group, these PTW requirements are discussed together with the car OEMs. But not only the C2C CC is in cooperation with CMC, also other consortiums focusing on C-ITS are already or are planned to be networking with the CMC. This would be for example the 5G Automotive Association (5GAA) or the Connected Vehicle Reference Implementation Architecture (CVRIA) project by the United States Department of Transportation (US DOT). This will have a positive impact on the deployment of the C-ITS systems as a

whole. It is very likely, that PTW will be the first Vulnerable Road Users fully benefitting from the opportunities C-ITS technology is able to offer.

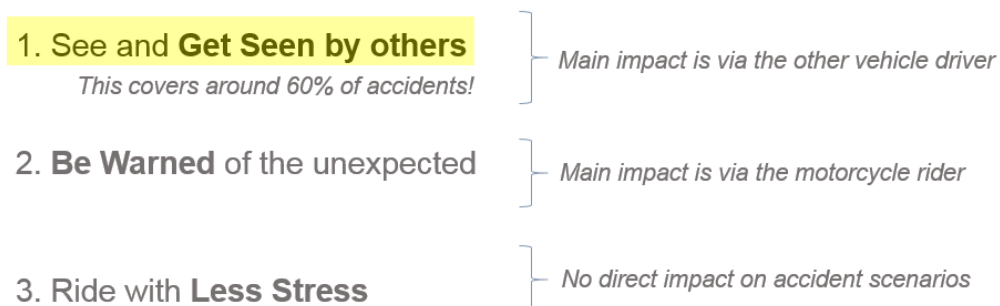
### 3 Why C-ITS will be beneficial for motorcycle riders

#### 3.1 General

One of the main causes for PTW accidents is perception failure of other vehicle drivers. By employing C-ITS, vehicles will be able to exchange location information and therefore will be able to identify accident relevant situations. Where necessary, vehicles can generate information to the riders/drivers to inform that a motorcycle is approaching and that caution needs to be taken. Next to safety relevant applications, various comforting features can be deployed. For example, optimizations in traffic flow by controlled traffic light changes reduce emissions and stress in metropolitan areas. In addition, services directly addressing the rider are possible, for example group riding features. Therefore, the use of cooperative safety systems for motorcycles will help to enhance safety for motorcyclists but also riding pleasure. To understand and address traffic safety topics, numbers of researches and surveys are being executed. The results of the activities done by CMC and VUFO GmbH are explained in detail in this paper, and indicate that motorcycle accidents at intersections cover a large proportion of severe or fatal injuries. Furthermore, these activities also reveal that perception failure is one of major factors. The typical ‘sorry mate, I did not see you’ phenomena could be significantly decreased by technical systems such as “Motorcycle Approach Indication / Warning” relying on connectivity between motorcycles and other vehicles on the road.

#### 3.2 Categories of C-ITS applications

To explain the variety of applications, a rough classification is useful.



As the analysis shows in Fig. 8, the primary cause of motorcycle accidents is being overlooked in traffic. Therefore, the first and most important category “See and **Get Seen by others**” embodies collision alert

applications. Naming the most important: Motorcycle Approach Indication / Warning, Intersection Movement Assist, Left Turn Assist, Emergency Brake Lights and Forward Collision Warning.

Secondly, well-directed information can assist the motorcycle rider to adjust his riding behaviour and set his focus on potentially upcoming peril points. Therefore, applications that allows you to “**Be warned** of the unexpected” are also summarised in a category.

With the possibilities of its long communication range, the V2X system is able to provide Hazardous Warning Applications. Both backend (server) based and direct communication solutions are possible, depending on the use case. Naming the most important: Adverse Weather Warning, Road Works Warning, Broken Down Vehicle Warning, Traffic Jam Warning.

Thirdly, the category “Ride with **Less Stress**” represents applications that mainly transmit useful information, but also contain traffic guidance applications. These applications do not focus on increasing safety directly, but will definitely have a positive, but hard to measure side effect to accident statistics by influencing the stress level of the riders (and of course drivers) decisively. Naming the most important applications: Transit Signal Priority, Green Light Optimised Speed Advisory, Cooperative Automated Cruise Control and Group Riding.

### 3.3 Explaining a common accident scenario with and without C-ITS

The most common collision accident scenarios with a motorcycle and another vehicle (e.g. car / bus / truck), are at intersections and turns. As mentioned, one of the main causes is perception failure. An example is shown in Fig. 1. It is difficult to recognize a small vehicles presence. They blend into the background and are overlooked easily. However, even if noticed, misjudgments in distance and speed are possible.





Fig. 1: A motorcyclist blending in into the scenery of a random intersection.

Fig. 2 and Figure 3 (created by the CAR 2 CAR Illustration Toolkit) show the potential to avoid left turn collisions with the aid of the “LTA – Left Turn Assist” application.

Scenario description:

The first picture is showing a passenger vehicle (red car), making a left turn. The driver sees the construction vehicle (orange truck) and let it pass. He/she probably also makes sure that the pedestrian has crossed the road. Nevertheless, the passenger car driver overlooked the approaching motorcycle and an accident is likely to happen.

With the assistance of C-ITS, the road users will not be limited in the way they are riding or driving. But a process runs in the background: the vehicles send automatically anonymous broadcasts, containing their position and basic data. With this information, the vehicles are able to communicate. Automatic calculations accurately predict the probability of an accident. Now, if the rider/driver (in this case the driver of the red car) chooses a path whereas the algorithm prognoses a high accident risk, the rider/driver will be warned acoustically, visually and possibly also haptically. Now, the person informed has to take action and interfere to avoid the accident (C-ITS systems do not interfere automatically per se, at least the first generations will not).



Fig. 2: Red car overlooks a motorcycle.



Fig. 3: Red car gets a warning and stops safely.

Different applications for different use cases:

Now, the question might arise: what is the difference between the Left Turn Assist (LTA) and the Intersection Movement Assist (IMA), moreover to the Motorcycle Approach Warning (MAW)? The variety of applications in terms of C-ITS are sometimes confusing, because the applications sound similar. And yes, from a customer point of view, there are no significant differences. The intention of each of the named applications is to warn the driver / rider from colliding into another vehicle. Only in terms of the symbols used for displaying the information or warning, there might be obvious changes. However, from a technical point of view, there are big differences in terms of the algorithms being used, e.g. to predict the path of travelling. Especially the Motorcycle Approach Warning application differs by considering motorcycle dynamics, which the Intersection Movement Assist per default must not. For the calculations, CMC believes that a standard IMA event will not differ by vehicle types. We do expect an enhancement of safety for motorcyclists, but not at full potential. Therefore, by naming the application MAW rather than IMA it is clear, that the application is specifically designed for PTWs and takes motorcycle riding dynamics into account. By doing so, we are confident to fully benefit from the potential of C-ITS. Other applications, for example the Broken Down Vehicle application, need certain triggering conditions to operate. Systems as that require a full adaptation to motorcycle specific requirements and could not run on a PTW per default at all.

## 4 Accident Data

In 2017, the number of fatally injured road users in German traffic accidents has reached the lowest number (3.180 fatally injured persons) since the beginning of the statistics. A detailed analysis of the German national traffic accident statistics from 2017 shows that the number of fatally injured persons on motorcycles stagnates recently. The following figure shows the change in numbers of fatally injured road users in Germany between 2000 and 2017 (basis/100% = year 2000).

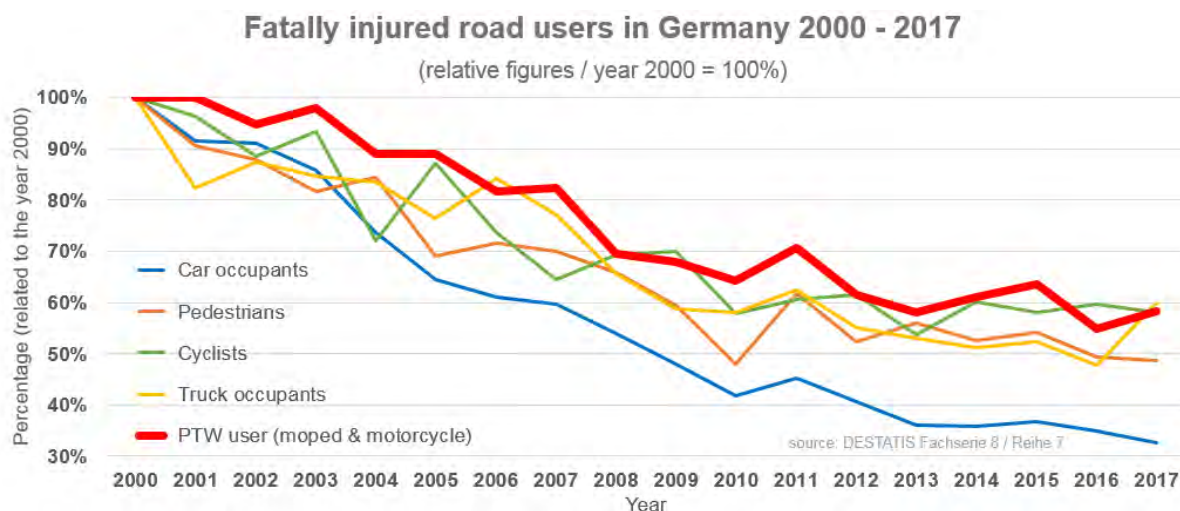


Fig. 4: Fatally injured road users in Germany 2000-2017.

The largest reduction of fatally injured road users was achieved for car occupants with -67% between 2000 and 2017. Fatally injured pedestrians show the second largest reduction with -51%. PTW users, cyclists and truck occupants have similar reduction rates with -40 to -42%. The group PTW user includes moped/motorcycle rider and pillions.

The following figure shows the absolute numbers and the relative change of fatally injured road users in Germany from 2016 to 2017.

**Change of the fatally injured road users in Germany from 2016 to 2017**

Road users	fatally injured road users		Change	
	2016	2017	absolute	Percentage
Car occupants	1.531	1.434	-97	- 6,3%
Motorcyclists	536	583	47	+ 8,8%
Pedestrians	490	483	-7	- 1,4%
Cyclists	393	382	-11	- 2,8%
Truck occupants	133	167	34	+ 25,6%
Moped users	68	59	-9	- 13,2%
PTW user (motorcycle & moped)	604	642	38	+ 6,3%

Source: DESTATIS Fachserie 8 / Reihe 7

Fig. 5: Fatally injured road users in Germany Change 2016 – 2017.

Truck occupants showed the highest relative increase, however, based on low absolute numbers. The group of PTW users established their second position in the group of fatally injured road users with nearly 600 fatalities. Reasons for this development may be the increasing number of registered motor-cycles in Germany (+2%) as well as meteorological influences. The numbers of fatally injured car

occupants, cyclists and pedestrians show slightly decreasing numbers between 1 and 2%. The highest declination could be found for moped riders/pillions with -13% (again based on low absolute numbers, which effects the change in percentage heavily).

The current technical possibilities that are available to improve the safety level of motorcycle riders are very limited. On the one hand, technical systems like intelligent stability control and/or rider information systems mainly address driving accidents. On the other hand, in most of the PTW accidents, other road users (often passenger cars) are involved and they are quite often the main accident causer. The Institute for Traffic Accident Research at the University of Technology Dresden (VUFO) made a study to evaluate the potential of future C-ITS for motorcycles on the basis of real traffic accidents from GIDAS (German In-Depth Accident Study). The work was done in cooperation with the Connected Motorcycle Consortium (CMC) where VUFO is an Associated Partner. The first part was a detailed descriptive statistic about accident scenarios of PTW and the second part was the evaluation of the potential of 19 C-ITS for motorcycles.

## 5 Accident scenarios of PTW

In order to evaluate future C-ITS for motorcycles, it is important to know the motorcycle accident scenario in detail. Therefore, the VUFO analyzed the German motorcycle accident scenario on the basis of the in-depth accident database GIDAS and projected the results to the German national accident statistics by applying appropriate weighting procedures.

### 5.1 Method

The analysis is based on real accident data out of the GIDAS project (German In-Depth Accident Study). GIDAS is the largest in-depth accident study in Germany and collects data from traffic accidents of all kinds with personal damage. The project is funded by the Federal Highway Research Institute (BASt) and the German Research Association for Automotive Technology (FAT), a department of the VDA (German Association of the Automotive Industry). Since 1999, the GIDAS project has collected data of more than 31.000 accidents in the areas of Dresden and Hannover. Due to the on-scene investigation and the full reconstruction of each accident, it gives a comprehensive view on the individual accident sequences and the accident causation. In addition, representative statements with respect to the federal statistics are possible due to a well defined sampling plan.

The used GIDAS dataset for the current analysis contains 31.634 reconstructed accidents. The first step for an up-to-date analysis of the motorcycle accident scenario in Germany was the creation of a dataset. For the dataset, the following filter criteria were used:

- Accidents must be completely reconstructed and coded
- only accidents since 2005
- at least one L3e vehicle was involved
- exclusion of unknown accident types

Finally, 1.964 accidents out of the GIDAS database are considered for the study.

To ensure representative statements for the German accident scenario the data was weighted towards the German traffic accident statistics of the year 2016. Therefore, VUFO has commissioned a special analysis for L3e vehicles from the Federal Bureau of Statistics (DESTATIS). This step is substantial as the national German accident scenario is extremely dominated by passenger cars. Without this special analysis from DESTATIS some data (e.g. injury severity, accident location) are biased due to external influences. As a result, the 1.964 GIDAS accidents were extrapolated to all 28.002 motorcycle accidents in Germany in 2016.

In the third step a scenario classification was done. In GIDAS, there are 295 different accident types available (according to the HUK classification of accidents). The type of accident describes the critical situation / conflict that caused the accident. However, 295 single accident types are not useful for the intended scenario classification. Thus, BMW Motorrad and VUFO developed an appropriate scenario classification by clustering all 295 accident types into 11 main scenarios. The following figure shows the 11 scenarios that can be further aggregated into the two groups “Driving Accidents” and “Collision Accidents”.



Fig. 6: Accident scenarios for motorcycle analysis.

“Driving accidents” are caused by riders that lost control of their vehicle (e.g. due to unadapted speed, misjudgement of the course, adverse road conditions etc.). “Collision accident” means that the motorcycle had a conflict with another road user (e.g. a car, bus, truck or another motorcycle, train, etc.) mostly resulting in a collision between both.

The reason why the category “Right turn” is missing, is the fact that the accident data underlies the German traffic regulation of right-hand drive. In countries where people drive on the left-hand side, the category “Right turn” would be relevant.

## 5.2 Results

Around 3.500 single information per accident are coded in the GIDAS database on average. This offers a large number of possible analyses. Some results of the analyses are presented here. First of all, the frequencies of the 11 PTW scenarios are shown (Fig. 7).

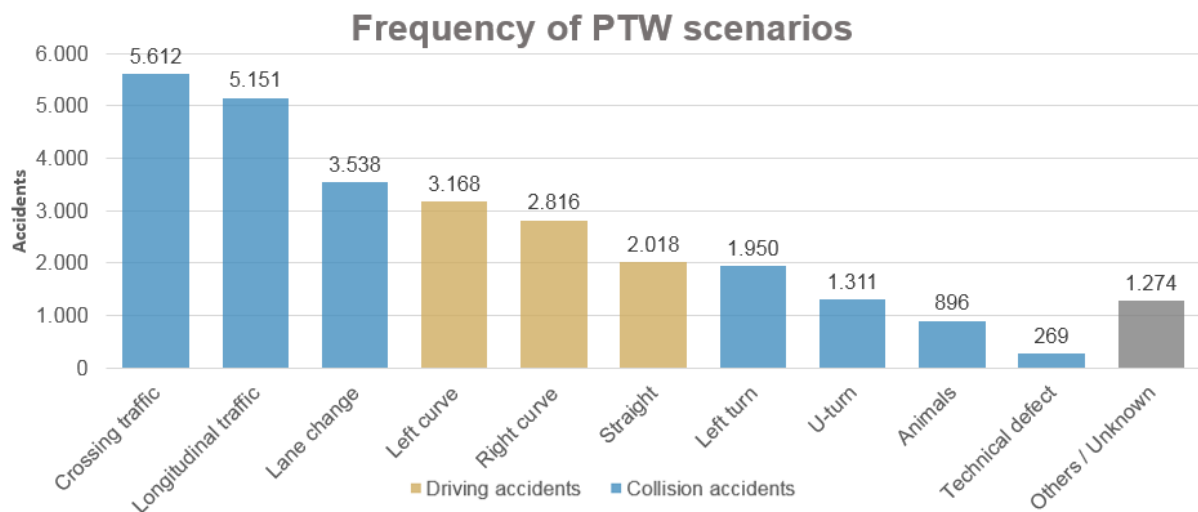


Fig. 7: Frequency of PTW scenarios.

The three most frequent scenarios are collision accidents. The first scenario is **Crossing traffic** with 5.612 accidents. In this scenario the accident causer usually ignores /disregards a vehicle coming from the left or right at a junction or crossing. The second largest group is the scenario **Longitudinal traffic** with 5.151 accidents. In this type of accident, the accident causer (following vehicle) collides with a preceding vehicle or a collision between oncoming vehicles takes place (e.g. during overtaking on rural roads). **Lane change** is the third largest group with 3.538 accidents. This scenario includes cases where the accident causer changes the lane to another (parallel) lane, e.g. for overtaking a preceding vehicle on a motorway. Scenario number four to six are driving accidents. The scenario **Left curve** occurs slightly more often (3.168 accidents) than accidents in a **Right curve** (n=2.816). The reason for the lower number of accidents in the **Right curve** scenario is, that motorcycle riders that left their lane due to a loss of control situation have some more space (on the oncoming lane) and time to correct their error before leaving the entire roadway.

The scenario **Straight** contains 2.018 accidents. These are often acceleration or deceleration maneuvers that lead to a fall of the rider. Scenario number seven is **Left turn** with 1.950 accidents. In this scenario, the accident causer would like to turn left and overlooks the oncoming traffic. Scenario number eight with 1.311 accidents is the **U-turn** scenario. The accident causer wants to turn his vehicle on the road and fails to recognize a vehicle from behind. The scenario **Animals** (896 accidents) includes all accident types where a PTW rider had a collision with an animal. **Technical defect** (269 accidents) include all

accident types where the PTW had a technical defect that caused the accident. The last scenario is **Others / Unknown** with 1.274 accidents. This group contains accident types that do not fit into the other scenarios.

To get a better understanding of typical conflict situations between PTW and other road users the 11 accident scenarios are analysed regarding the accident causer (Fig. 8).

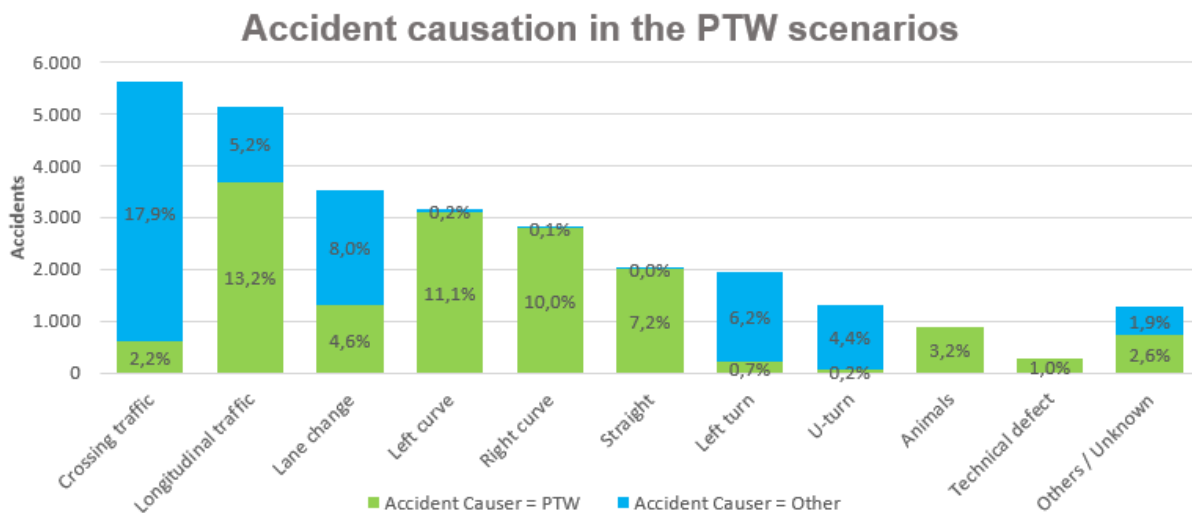


Fig. 8: Accident causation in the PTW scenarios.

It can be seen that in the **Crossing traffic** scenario mostly other road users are the accident causer. Mainly, the other vehicle driver overlooks the PTW rider or misinterprets the speed or distance of the PTW. The situation is similar to **Lane change**, **Left turn** and **U-turn**. Even in **Longitudinal traffic** scenarios nearly one third of the accidents were mainly caused by another road user. If these cases should be addressed or avoided by C-ITS, it is important to inform the other vehicle that a PTW is in its vicinity and will probably cross his way. However, in more than two thirds of the cases in **Longitudinal traffic** the PTW was the main accident causer. That shows how important it is for motorcycle riders to know about a preceding vehicle and its speed. In the scenarios **Left curve**, **Right curve** and **Straight** the PTW is by far the most frequent accident causer as these are mostly single accidents due to loss of control situations. To address these accidents it is important that the motorcycle rider is correctly informed about the course and road condition, possibly depending on his driving condition/skills. On the other hand, active safety systems that support the rider in critical situations are also very important, e.g. anti-lock braking system (ABS) for curves and straights or traction control system (TCS) which are working depending on the roll angle.

In the scenario **Lane Change** the PTW nearly causes every third accident. Here, the PTW rider should be supported in lane change situations, for example with a kind of blind spot detection (or Lane Change Assist). The scenario **Animals** are not easy to address by C-ITS. However, motorcycles could be

possibly equipped with infrared/camera sensors in order to warn motorcyclists in case of animals along/on the road.

Fig. 9 shows an alternative illustration of the scenarios, sorted by the combination of scenario and accident causation. The Top 10 cover 87,8% of all accidents and it becomes clearly visible which scenarios can be addressed by C-ITS and which road users should be equipped with the C-ITS functions.

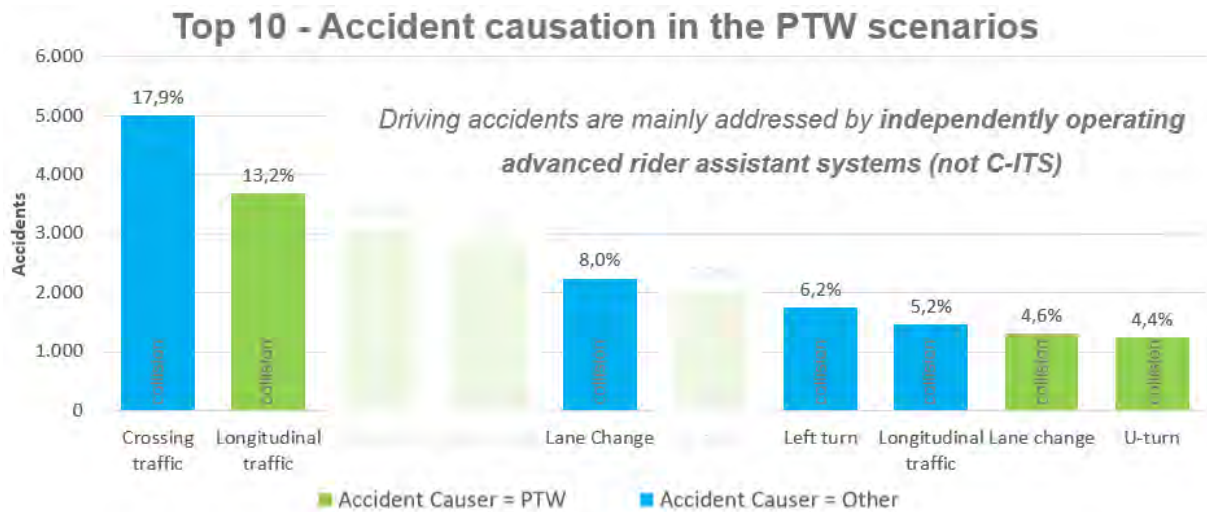


Fig. 9: Top 10 - Accident causation in the PTW scenarios.

The focus of C-ITS for PTW are collision accidents and amongst them, the majority was caused by other road users. Driving accidents like **Left curve**, **Right curve** and **Straight** are mainly addressed by independently operating advanced rider assistant systems. Therefore, these three scenarios are excluded from further analyses on C-ITS. Further information on the concepts to address those accidents is provided by the ifz paper “*Why automatization is the future of rider assistance systems – Intervene before a critical situation.*” by Stefan Hans (BMW Motorrad) and Markus Köbe (Technische Universität Dresden).

The remaining scenarios still address around 60% of all PTW accidents. The figure shows on the one hand, that it is important to inform other road users that a PTW is in their vicinity and will probably cross their path. On the other hand, it is important for motorcyclists to know about a preceding vehicle and its speed or a vehicle that changes his lane or makes a U-turn.

## 6 Evaluation of the potential of C-ITS for motorcycles

The following chapter describes the method and the results of the evaluation of the potential of C-ITS for motorcycles.



## 6.1 Method

The members of the CMC consortium created a document that describes relevant C-ITS for motorcycles including “Application- and Use-Case descriptions”. This document is the basis for the present analysis. In this document more than 30 systems are defined. For the accident analysis 19 of them were selected. These are mainly functions that could have an impact on the accident scenario. Comfort systems were not analyzed. Fig. 10 shows a rough overview about the evaluation steps.



Fig. 10: Method for the Evaluation of the potential of C-ITS for motorcycles.

The main tasks for the VUFO were the checks of the system descriptions from an accident research point of view and on the other hand the conversion of all system descriptions (limitations, scenarios, speed ranges etc.) into GIDAS filter criteria.

The following questions can be answered with the “**Application- and Use-Case description**”.

- On which road types the system should work?
- Which road users are addressed with the system?
- Which direction of travel did both accident participants have?
- Which further restrictions does the system have?

The work flow is described exemplarily for the **Left Turning Assist (LTA)**. Fig. 11 shows all information from the “Application- and Use-Case description” for LTA.

- ✓ Road types: not on highway, parking space, traffic jam
- ✓ Accident participant: Car, Truck, Bus, PTW, Train
- ✓ Direction of travel: different direction of both accident participants
- ✓ Description: "...prevent collisions caused by overlooking oncoming PTWs or incorrect speed estimation..."



conversion into **GIDAS** filter criteria

Fig. 11: Information from the "Application- and Use-Case description" for LTA.

With this information it is possible to create queries within the GIDAS database.

All queries are done twice to distinguish between the two accident causing parties (either PTW or other road user). Fig. 12 shows the results if the accident causer was the PTW.

**Result: Example LTA – Accident causer = PTW**

Accident scenarios			Addressed cases with LTA	
Scenario	no. of accidents	%	no. of accidents	%
Crossing traffic	604	2,2%	0	0%
Longitudinal traffic	3.689	13,2%	0	0%
Lane change	1.300	4,6%	0	0%
Left curve	3.116	11,1%	0	0%
Right curve	2.789	10,0%	0	0%
Straight	2.005	7,2%	0	0%
Left turn	206	0,7%	123	60%
U-turn	65	0,2%	0	0%
Others / Unknown	732	2,6%	0	0%
Animals	896	3,2%	0	0%
Technical defect	269	1,0%	0	0%
<b>total</b>	<b>15.671</b>	<b>56,0%</b>	<b>123</b>	<b>1%</b>

Fig. 12: Result – Example LTA – Accident causer = PTW.

The first column shows the 11 accident scenarios described before. The second and third column gives the number as well as the percentage of these scenarios. The columns five and six show the number and percentage of accidents that can be addressed by the LTA.

It can be seen that the LTA only addresses accidents in the Left turn scenario (as the name of the system already suggests). In all other scenarios the application has no effect. It can be seen from Fig. 7 that the scenario **Left turn** includes nearly 2.000 accidents. However, in only 10% of these cases the PTW was

the accident causer. If an LTA would be available on every motorcycle, nearly 60% of these accidents could be addressed and thus, potentially avoided or at least mitigated.

In the next step, the results are shown for accidents that were caused by another road user (Fig. 13).

**Result: Example LTA – Accident causer = Other**

Accident scenarios			Addressed cases with LTA	
Scenario	no. of accidents	%	no. of accidents	%
Crossing traffic	5.008	17,9%	0	0%
Longitudinal traffic	1.463	5,2%	0	0%
Lane change	2.238	8,0%	0	0%
Left curve	52	0,2%	0	0%
Right curve	26	0,1%	0	0%
Straight	12	0,0%	0	0%
Left turn	1.744	6,2%	1.244	71%
U-turn	1.245	4,4%	0	0%
Others / Unknown	542	1,9%	0	0%
Animals	0	0,0%	0	0%
Technical defect	0	0,0%	0	0%
<b>total</b>	<b>12.330</b>	<b>44,0%</b>	<b>1.244</b>	<b>10%</b>

Fig. 13: Result – Example LTA – Accident causer = Other.

Here, the remaining 90% of accidents in the Left turn scenario are included. 71% of these accidents can be addressed by an LTA. This figure is the potential field of operation for such a system if 100% of all other road users (car, truck, bus, tram, other PTW) would be equipped with the LTA system.

Fig. 14 shows the overall potential of an LTA system in the German motorcycle accident scenario. Assuming a 100% market penetration would address every 20<sup>th</sup> motorcycle accident with personal damage in Germany (4,9%). However, this figure is the maximum possible benefit and does not consider additional aspects like actual usage rate, (de)activation, HMI, appropriate rider/driver reaction, false-positives etc.

### Result: Example LTA – Total potential

Accident scenarios			Addressed cases with LTA	
Scenario	no. of accidents	%	no. of accidents	%
Crossing traffic	5.612	20,0%	0	0%
Longitudinal traffic	5.151	18,4%	0	0%
Lane change	3.538	12,6%	0	0%
Left curve	3.168	11,3%	0	0%
Right curve	2.816	10,1%	0	0%
Straight	2.018	7,2%	0	0%
<b>Left turn</b>	<b>1.950</b>	<b>7,0%</b>	<b>1.367</b>	<b>70%</b>
U-turn	1.311	4,7%	0	0%
Others / Unknown	1.274	4,6%	0	0%
Animals	896	3,2%	0	0%
Technical defect	269	1,0%	0	0%
<b>total</b>	<b>28.002</b>	<b>100%</b>	<b>1.367</b>	<b>5%</b>

Fig. 14: Result – Example LTA – Total potential.

The presented method was used for the evaluation of the potential of 18 further C-ITS for motorcycles. Fig. 15 shows the calculated potential of several C-ITS for PTW depending on the accident scenarios.



Fig. 15: Potential of C-ITS for PTW (Selection).

The diagram shows that future safety systems can contribute substantially to the safety of motorcycles. This is true for most of the relevant accident scenarios. Many of the C-ITS achieve remarkable potentials within their dedicated scenarios.

The highest potential is assigned to the **Motorcycle Approaching Indication / Warning** (MAI / MAW) that is able to address 22% of all 28.002 motorcycle accidents. The second highest potential has the **Intersection Movement Assist** (IMA) with 14%. However, all of these three applications can only

effect the scenarios positively by informing and warning the driver of the other vehicle, because they are the main accident causer in the scenarios. The **Forward Collision Warning** (FCW) can possibly address 9% of all accidents and has the highest potential when focusing on warning the rider of the PTW.

A **Blind Spot Warning** (BSW) & **Lane Change Warning** (LCW) can possibly address 6% and a **Left Turning Assist** (LTA) can possibly address 4% of the accidents when its implemented in the other vehicle. Other applications as Emergency Electronic Brake Lights (EEBL), Adverse Weather Warning (AWW) and so on, from the CMC “Application- and Use-Case description” show slight or moderate effects on motorcycle accidents.

## 6.2 Summary and Conclusion

In the German accident scenario, the group of PTW showed the smallest reduction of fatalities compared to all other road users. Therefore, it is very important to further enhance the traffic safety of motorcyclists. To define effective measures it is crucial to calculate their potentials in advance.

Therefore, the VUFO carried out a study on the basis of in-depth accident data out of GIDAS (German In-Depth Accident Study). A total of 1.964 motorcycle accidents were analysed and weighted towards the German national statistics of 2016 (with 28.002 motorcycle accidents). Furthermore, 11 motorcycle accident scenarios were classified in cooperation with BMW Motorrad, which are based on the 295 different HUK accident types.

The three most frequent PTW scenarios are Crossing traffic, Longitudinal traffic and Lane change (all defined as collision accidents). Here, other road users mainly overlook the PTW and cause the accident. The next three frequent scenarios are driving accidents with Curve left, Curve right and Straight. Reasons for these types of accidents are often unadapted speed or misjudgment of the course or condition of the road. The distinction regarding the accident causing party shows that the PTW was the main causer in nearly 56% of all accidents involving a motorcycle.

In the main part of the analysis the CMC document “Application- and Use-Case description” of C-ITS was checked and 19 systems were further analysed using the GIDAS database. One of the results is that the vast majority of the most frequent scenarios can be addressed with current C-ITS from the CMC “Application- and Use-Case description”.

Collision accidents can be mainly addressed by MAI / MAW, IMA, LTA, FCW and BSW & LCW. Driving accidents are mainly by independently operating advanced rider assistant systems. To address these accidents it is important that the motorcycle rider is correctly informed about the course and road condition, possibly depending on his driving condition/skills.

Basically, all considered C-ITS could have a positive influence in critical traffic situations. However, the actual success of such safety systems for motorcycles and the expected reduction of accident numbers depend on additional aspects such as the acceptance of these systems, the design of the human machine interface, the avoidance of negative effects (e.g. distraction) and some more.

## 7 Creation of the CMC Roadmap

The final and visualized CMC Roadmap is not shown in this print version of the paper, but will be presented at the ifz conference in cologne, on the 2<sup>nd</sup> of October 2018.

### 7.1 Introduction to C-ITS Roadmaps

In terms of C-ITS, numerous roadmaps exist. The reason is simple. It is not feasible to illustrate all applications, services or features of all stakeholders and show their different interests in prioritisation and focus by just one generic layout. Therefore, all major parties from the fields of road authorities, road operators or vehicle manufacturers, consortiums and projects create their individual roadmaps.

### 7.2 The CMC Roadmap

As most, the CMC Roadmap purposely does not show a specific time schedule. As of today, too many unknown factors have a significant impact on the timeline for introducing C-ITS. Probably the weightiest reason is that the technology to push through still needs to be defined (cellular V2X or WiFi based, maybe a hybrid solution). The motorcycle industry relies on the decisions the automotive sector will make. Therefore, CMC dissociates to take sides for either and states to be technology neutral.

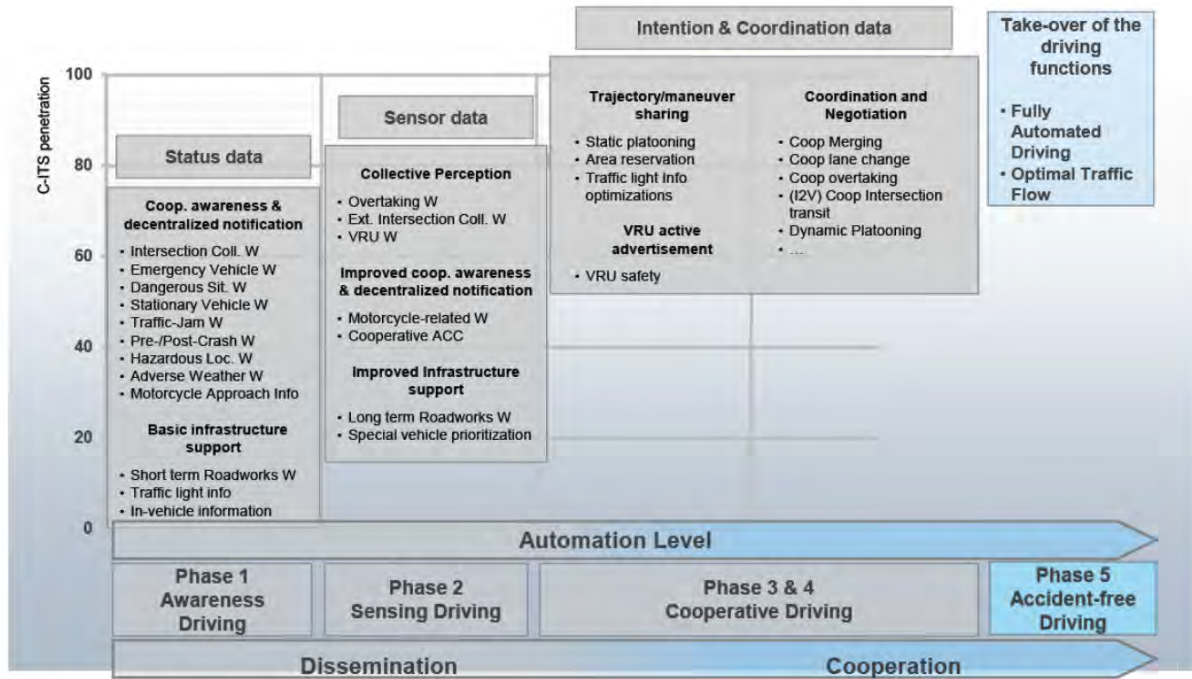
The focus of the Connected Motorcycle Consortium is safety. Naturally, this is the message of the CMC Roadmap. By investigating into applications and use cases in terms of C-ITS, a common understanding of more than 20 applications was achieved. This common understanding and the corresponding documentation is essential for further steps for creating basic software and hardware specifications and defining interoperable system requirements. Furthermore, different classifications and categorizations were made. For promotion purposes it is helpful to have comprehensible categories, but for precise technical descriptions, more categories are necessary. All applications with an expected impact on safety were described in detail. Eventually, more than 20 C-ITS applications were described. With these application- and use case descriptions, an Accidentology research executed by VUFO GmbH was possible (refer to the following chapter “5.1 Method” for details). As a result, the potential impact of the evaluated applications on improving motorcycle safety can be compared in numbers. With this knowledge, prior made beneficial expectations of those application and use cases are substantiated. The result shown in Fig. 15 is the foundation for the CMC Roadmap. The addressed percentage portion on

motorcycle accident statistics of each application shows already, which applications are the most valuable in terms of accident prevention. Sadly, the deployment strategy visualised by the Roadmap cannot just adopt the results by focusing on those applications in just that order. The most beneficial applications are the most complex and presuppose high penetration rates. Additionally, very high localisation accuracy requirements must be fulfilled. Finally yet importantly, the most aggravating factor needs to be taken into account: the final effectiveness of the described applications in the heat of the moment of an accident situation. Challenges in terms of the human machine interface issues must be resolved to achieve better comprehension. A further investigation on this topic is presented by the speech and paper *“Powered Two Wheeler HMI Design for Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)”* by Sebastian Will (Würzburg Institute for Traffic Sciences).

We face a challenge that needs further investigation before finalising the CMC Roadmap. In addition to the results of the Accidentology we need to take technical challenges and complexity into account, when prioritising C-ITS applications on our Roadmap and visualising the concept for deployment.

As an example, the C-ITS Roadmap elaboration from the perspective of the CAR2CAR Communication Consortium is shown below. The C2C-CC layout highlights the dependency of the applications and the C-ITS market penetration rate and shows a forecast of possibilities of C-ITS and automated driving.

What is also visible, is that CMC has successfully promoted motorcycle topics in terms of C-ITS. The C2C-CC Roadmap of November 2017 was the first to be published that included “Motorcycle Approach Info” (MAI) and “Motorcycle-related Warnings” (MAW).



28.11.2017

C2C Forum 2017



4

Fig. 16: Car 2 Car Communication Consortium Roadmap, publishing date November 2017.



## References

- Andrea Borin (Yamaha Motor R&D Europe), Hennes Fischer (Yamaha Motor Europe), Arne Purschwitz (BMW Motorrad), Udo Rietschel (BMW Group), Kazuyuki Maruyama (Honda R&D Co., Ltd.), Oliver Kohlinger (Honda R&D Europe) **Motorcycles in connected traffic - a contribution to safety** IfZ conference, Cologne, Germany, October 2016.
- Niels Peter Skov Andersen (Anemone Technology), Paul Spaanderman, Matej Maly (Intens), Richard Wisbrun, BMW Group, Sandro Berndt (BASt), Guillem Bernatallada (RACC), Monique Engel (Volkswagen AG), Hendrik-Jörn Günther (Volkswagen AG), Bernd Lehmann (Volkswagen AG), Andreas Kwoczek (Volkswagen AG) Holger Drees (BASt): CODES - COoperative ITS DEployment Coordination Support, **Deliverable D 3.4 – Initial harmonised use case road map**, March 2018, accessed on the 24.08.2018 at: [https://www.codecs-project.eu/fileadmin/user\\_upload/Library/D3.4\\_653339\\_CODECS\\_Initial\\_harmonised\\_use\\_case\\_road\\_map\\_V1.0.pdf](https://www.codecs-project.eu/fileadmin/user_upload/Library/D3.4_653339_CODECS_Initial_harmonised_use_case_road_map_V1.0.pdf).
- Kenji Seto (Yamaha Motor Co.Ltd), Hennes Fischer (Yamaha Motor Europe), Arne Purschwitz (BMW Motorrad), Kazuyuki Maruyama (Honda R&D Co., Ltd.), Oliver Kohlinger (Honda R&D Europe) **Connectivity will make motorcycling safer**, ITF conference Leipzig, Germany, April 2018.
- Stefan Hans (BMW Motorrad), Markus Köbe, (Technische Universität Dresden) **Why automatization is the future of rider assistance systems – Intervene before a critical situation**. Ifz conference, Cologne, Germany, October 2018.
- Sebastian Will (WIVW – Würzburg Institute for Traffic Sciences), **Powered Two Wheeler HMI Design for Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS)**, Ifz conference, Cologne, Germany, October 2018.
- Sergeys F. (Honda Motor Europe Ltd. – Aalst Office) et all. **PTW Digital Conspicuity for Safety: DRIVE C2X project – Opportunities and Challenges**, presented at European Motorcyclists' Forum, March 2014; accessed on the 25.08.2018, at: [http://www.fema-online.eu/uploads/EMF/EMF2014/III\\_2FilipSergeys2.pdf](http://www.fema-online.eu/uploads/EMF/EMF2014/III_2FilipSergeys2.pdf).

Powered Two-Wheeler HMI Design For Cooperative Intelligent  
Transport Systems (C-ITS)

Motorrad HMI Design für Cooperative Intelligent Transport Systems  
(C-ITS)

Dr. Sebastian Will

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH)

Thomas Hammer (WIVW GmbH)

Markus Köbe, Tristan Liebick (Technische Universität Dresden)

Kazuyuki Maruyama (Honda R&D Co., Ltd.)

Taro Onoue (Yamaha Motor Co., Ltd.)

Markus Strack (KTM AG)

Masaru Mamiya (Suzuki Motor Corporation)

Tomohiro Matsuda (Kawasaki Motors Europe)

Raphael Pleß (TU Darmstadt, Fachgebiet Fahrzeugtechnik FZD)

Arne Purschwitz (BMW Motorrad)

## Abstract

Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) will further increase traffic safety by means of communication between different vehicles as well as between vehicles and infrastructure. This technology allows for early and various kinds of warnings and recommendations as the vehicle can receive information from other sources in addition to vehicle-based sensors. Hence, these new assistance systems such as “traffic jam ahead warnings” need to deliver information to the rider. This poses new challenges towards Powered Two-Wheeler (PTW) specific Human-Machine Interface (HMI) design. Information from C-ITS needs to be presented in a way that ensures recognition without distracting the rider from the primary riding task.

Being aware of this challenge, the Connected Motorcycle Consortium (CMC) established a task group dedicated to the investigation of PTW HMI design for C-ITS functions. On the one hand, the task group’s mission is to identify recommendations and guidelines from various transport sectors that help designing HMIs for C-ITS appropriately. As motorcycles differ clearly from other vehicles such as passenger cars or trucks, PTW specific studies are conducted within the scope of this CMC task group. The concept of a participant study will be presented to demonstrate how HMI design for C-ITS is investigated. The study - aiming at optimizing the information strategy - was conducted on the dynamic motorcycle riding simulator DESMORI at WIVW. It investigates the effects of C-ITS information timing while riding. An outlook outlines a second study dealing with visual warning characteristics (i.e. blink rate) to make warnings more salient.

The task group’s general working content as well as the C-ITS HMI studies including methodology and results will be presented.

## Kurzfassung

Cooperative Intelligent Transport Systems (C-ITS) nutzen Kommunikationstechnologien zwischen Fahrzeugen als auch zwischen Fahrzeugen und Infrastruktur, mit dem Ziel die Verkehrssicherheit weiter zu erhöhen. Da neben der Sensorik des eigenen Fahrzeugs auf zusätzliche Informationen zurückgegriffen werden kann, ist mit Hilfe dieser Technologie eine Vielzahl von Assistenzsystemen realisierbar, die zudem frühere Informations- bzw. Warnzeitpunkte zulässt. Diese neuen Assistenzsysteme, wie bspw. ein „Stauende-Warner“, müssen dem Fahrer Informationen auf adäquate Weise darbieten. Dies stellt neue Herausforderungen bezüglich der Gestaltung von Mensch-Maschine-Schnittstellen (sog. Human-Machine-Interfaces, HMI) am motorisierten Zweirad dar. Die Darbietung der Informationen muss derart erfolgen, dass sie leicht von den Fahrern erkannt und verstanden werden, jedoch ohne diese von der primären Fahraufgabe abzulenken.

Um dieser Herausforderung zu begegnen, wurde im Connected Motorcycle Consortium (CMC) eine Arbeitsgruppe gegründet, die sich mit der Untersuchung zweiradspezifischer HMI-Lösungen für C-ITS befasst. Einerseits besteht die Aufgabe der Arbeitsgruppe darin, Richtlinien und Gestaltungsempfehlungen aus anderen Transportbereichen, wie bspw. dem Pkw- oder Lkw-Sektor, als Basis für eigene Richtlinien und Guidelines, zusammenzutragen. Da sich Motorräder jedoch deutlich von Personenkraftwagen oder Lastkraftwagen unterscheiden, werden im Rahmen dieser CMC Arbeitsgruppe auch motorradspezifische Untersuchungen durchgeführt. Das Konzept einer solchen Probandenstudie wird vorgestellt, um die Untersuchungsansätze zur Erforschung zweiradspezifischer C-ITS HMI-Lösungen zu erläutern. Die Studie wurde auf dem dynamischen Motorradfahrersimulator DESMORI des WIVW durchgeführt und zielt auf die Optimierung der Informationsstrategie ab. Die Studie befasst sich mit der Auslegung des Informations- bzw. Warnzeitpunkts während der Fahrt. Im Ausblick wird eine weitere Studie skizziert, die den Fokus auf die visuelle Informationsgestaltung legt, um die Wahrnehmbarkeit der Warninformation zu optimieren.

Im Rahmen des Vortrags werden sowohl die generellen Tätigkeitsschwerpunkte der Arbeitsgruppe HMI für C-ITS am Motorrad, als auch die Methoden und Ergebnisse der HMI Studie vorgestellt.

Powered Two-Wheeler HMI Design For Cooperative Intelligent  
Transport Systems (C-ITS)

# 1 Introduction

The Connected Motorcycle Consortium (CMC) aims at integrating motorcycles in a world of future connected mobility. Therefore, manufacturers, suppliers, researchers and associations have joined their forces. One of the main research activities is to set standards for unification and interoperability. Besides more technically oriented tasks, the human-machine interface (HMI) for cooperative intelligent transport systems (C-ITS) is in the focus of one task group. The importance of this topic is highlighted in a report from the German Insurers Accident Research (GDV):

*“[...] When developing ITS systems for powered two wheel vehicles, it is crucial to devote particular attention to the human-machine interface in order, for example, to avoid distracting riders and to increase the degree to which these systems are accepted by riders. The distinctive nature of riding powered two wheel vehicles has to be taken into account, since riding a single-track vehicle is very different from driving a car. [...]”*  
(*Unfallforschung der Versicherer GDV, 2018, p. 13*)

Independent of the specific application, the motorcycles will have new information about upcoming traffic situations or critical scenarios that must be shared with the rider. The design of this information delivery process needs to follow certain criteria such as ensuring easy warning recognition or avoiding distraction. As almost no powered two-wheeler (PTW) specific guidelines are available, the CMC aims at providing general recommendations on how to design PTW HMI solutions for C-ITS applications. The focus lies on the investigation of general features such as information timing or specific display characteristics. In the end, it is expected that numerous individual HMI concepts still follow these recommendations but ensure safe motorcycle-rider interaction.

These recommendations are achieved in two major steps:

1. Summary of application independent HMI specifications that can constitute a baseline to start from. This includes e.g., guidelines from the automotive sector.
2. Conduction of studies to investigate topics that are perceived as highly relevant respectively PTW specific. These studies range from online surveys to simulator and test track studies. A figurative example is the investigation of warning timing for C-ITS applications on PTWs.

## 2 Study example on information timing

The following section gives one study example illustrating the work of the task group “HMI Guideline for C-ITS on PTW”.

### 2.1 Background

For decades, assistance systems could only rely on what onboard sensors were able to recognize. Therefore, in most of the cases an immediate reaction of the driver was required. The use of cooperative assistance systems allows vehicles to display warnings or more precise information earlier forward on the time axis (see Figure 2). This allows for appropriate attention allocation, information processing and reaction selection as well as preparation. Depending on the specific application a range of warning timing would be possible (Neukum, 2011). The question is how to decide which warning timing is most useful and accepted by the riders. Displaying information too early might decrease acceptance and enhance uncertainty concerning the upcoming situation. On the other hand, withholding information from the rider for too long might also decrease acceptance by limiting the time for proper action preparation.

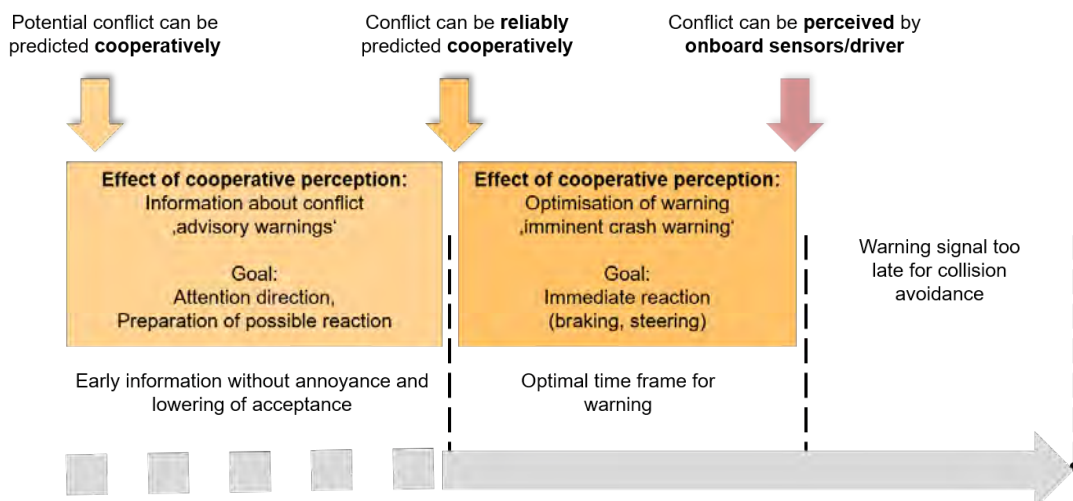


Fig. 2: Schematic time frame for driver assistance systems design (Naujoks & Neukum, 2014, p.195).

No research on warning timing for PTWs is available so far. Timing recommendations would help all partners to design safe and publicly accepted assistance systems. Therefore, CMC has decided to scientifically investigate warning timing for selected C-ITS systems.

## 2.2 Methods

### 2.2.1 Simulator description

The DESMORI dynamic motorcycle riding simulator was used for the simulator studies. A detailed description can be found in Will (2017). The simulator is equipped with a BMW F 800S as mockup, mounted on a 6 D.O.F. hydraulic Stewart platform (Figure 1). All basic vehicle controls, such as handlebar, brake lever / pedal, clutch, gear selector, etc. are available and in use. The manual gear shift uses a sequential six-speed gearbox. An electrical actuator is used to produce a steering torque at the handlebar up to 80 Nm. The rider steers the motorcycle through a combination of steering torque and rider-induced roll torque. The cylindrical screen has a diameter of 4.5 m and 2.8 m of height. It enables 220° horizontal field of view. The rear-mirror view is displayed in two 7-inch TFT-displays while the instrument cluster is represented by a 10-inch TFT-touchscreen containing a speedometer, revolution counter and gear indicator. This central display is also used to display visual warnings.



Fig. 1: DESMORI dynamic motorcycle riding simulator at WIVW.

A helmet with implemented headphones is used for auditory feedback. A shaker installed underneath the seat delivers high frequency vibrations from the engine and road roughness. Furthermore, the rider is wearing a customized motorcycle airbag vest (Motoairbag©) with air-filled compartments. It is connected to a rope towing mechanism, so that the rider receives proprioceptive feedback on acceleration, speed and static wind forces by being pulled backwards and forwards. Forces up to 300 N can be provided by the electrical actuator. The simulator is running with the simulator control software SILAB.



### 2.2.2 Measurement

SILAB logs all vehicle control inputs (e.g., applied steering torque, induced roll torque, throttle position...) as well as vehicle dynamic parameters (e.g., lateral position on lane, acceleration, velocity...). These data are being used to assess rider behavior with objective data. Furthermore, objective data was complemented by subjective data gathered either by online questioning or during a final inquiry.

### 2.2.3 Study description and procedure

$N = 16$  riders between 19 and 60 years of age took part in this study ( $n = 2$  female). The participants rode in a simulated highway-like environment with two lanes per direction plus emergency lane and roadside barriers separating the opposite traffic (Figure 3). Three different C-ITS applications were applied:

1. Roadworks Information: informing the rider about a construction site on the lane
2. Road Hazard Information: informing the rider about an obstacle on the lane
3. Forward Collision Information: informing the rider about a vehicle with considerably smaller velocity on the lane

The three chosen C-ITS applications have in common that they inform the rider about different kinds of obstacles on the forward roadway. An individual information icon for each obstacle was displayed in the cockpit together with a tone indicating the presence of visual information. The aim of all systems is to locate attention to the road and avoid a collision by braking or respectively changing the lane. These C-ITS applications are especially valuable if the upcoming obstacles cannot be seen directly by the rider. In the given study these scenarios were e.g., scripted to be located behind a curve or hilltop respectively hardly visible due to bad weather conditions (fog). For all three applications the information timing in terms of Time-Headway was varied in three steps:

1.  $t_1 = 8$  s
2.  $t_2 = 11$  s
3.  $t_3 = 14$  s



Fig. 3: Scenarios and corresponding warning icons for the different C-ITS applications (from left to right: Roadworks Information, Road Hazard Information, Forward Collision Information).

The participants experienced the different experimental trials in permuted order with a different amount of filling scenarios in between. Every C-ITS application and information timing combination appeared twice. The study was conducted in a complete within-subject design. The study procedure is described in Table 1.

Table 1: Study procedure.

Phase	Content	Duration
Introduction	Welcome by investigator General briefing: Presentation of study procedure, filling in questionnaires (e.g., demographics, simulator sickness questionnaire)	15 min
Familiarization phase	Short ride on the simulator to become familiar with the simulator riding dynamics and the C-ITS applications	10 min
Main experiment	Ride in the programmed virtual environment including test scenarios	30 min
Final inquiry	Filling in questionnaires (e.g., simulator sickness questionnaire) Final inquiry (debriefing)	15 min

## 2.3 Results

To analyze whether the riders experience the events with a higher level of criticality the maximum deceleration was analyzed (Figure 4 left). No statistically significant effect can be seen ( $F(2,30) < 1$ ). Independent of the information timing no high deceleration to avoid a critical incident was necessary. No collision occurred. To see whether the information is emitted too early and produces uncertainty the number of load changes between presented information and critical scenario was analyzed (Figure 4

right). Again, all levels of information timing produced comparable behavior ( $F(2,30) = 2.40, p = .108, \eta^2_p = 0.088$ ).

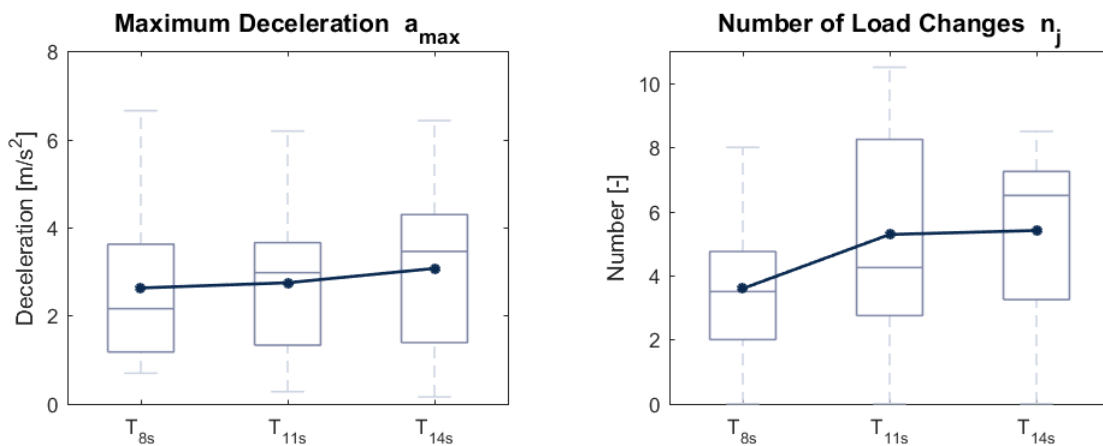


Fig. 4: Vehicle dynamics parameters as a function of warning timing.

A slightly different picture can be seen when analyzing the questionnaire data. The chosen range of information timing between eight and 14 seconds is preferred by 14 out of 16 participants (Figure 5 left). In total, there is a preference for displaying the information eleven seconds prior to the critical event (Figure 5 right).

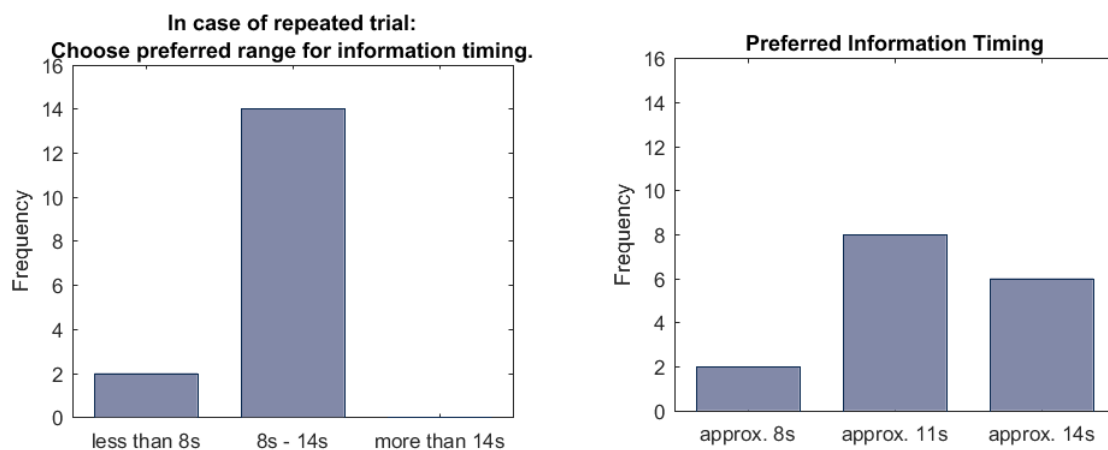


Fig. 5: Participants' preferences regarding information timing.

During the final inquiry almost all participants stated that they adapted their riding behavior because of the displayed C-ITS information (Figure 6 left). This adaptation was primarily the reduction of speed, the preparation to brake, the control of alternative trajectories and surrounding traffic respectively the lane change itself. Of further interest is the fact that 13 riders would like to use the C-ITS application that they got to know during the test on their own motorcycle (Figure 6 right). One participant was not sure while two riders would not like to use the systems on their motorcycles.

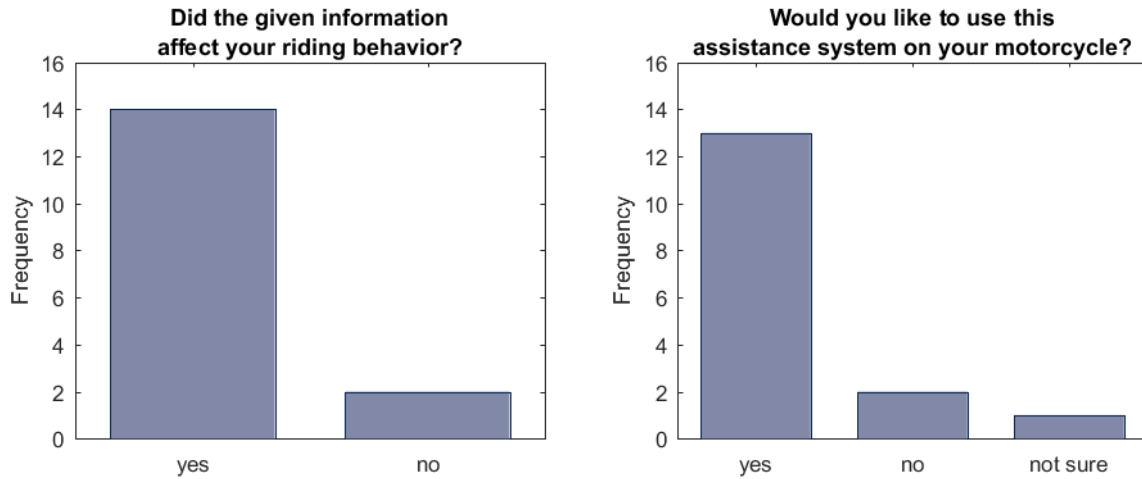


Fig. 6: Participants' subjective ratings regarding the implemented C-ITS assistance systems.

## 2.4 Discussion

The main aim of this simulator study was to investigate whether the three chosen levels of information timing influence the effect of the C-ITS applications in terms of riding behavior and subjectively perceived benefit. No negative effects of the different levels of information timing were found. All chosen levels of information timing allowed for appropriate attention allocation and action preparation so that no collisions occurred. This is generally in line with the idea of cooperative perception instead of warning the car driver respectively motorcycle rider (see also Naujoks & Neukum, 2014; Neukum, 2011). On the other hand, even in the 14 seconds condition, riders did not perceive the information as false alarm and kept their attentiveness on a high level. No annoyance due to the very early information occurred. Hence, the questionnaire data revealed a preference for receiving the C-ITS information eleven seconds prior to the potential hazard. According to the riders this allows to increase the situation awareness without creating uncertainty about the announced scenario. Future research could specify the exact information timing and focus on false alarms or more complex situations to ensure a positive effect under varying conditions.

## 3 Outlook

The information gained in participant studies is very valuable for the work of the Connected Motorcycle Consortium. First, the results help to design C-ITS applications' HMIs appropriately. The simulated experience in interaction with such future assistance systems delivers empirical evidence for the proper HMI design of such systems. This pioneering work is necessary and important as no PTW-specific recommendations for HMI design are available. Furthermore, feedback from the end-users regarding potential willingness or circumstances to use these C-ITS applications is vital. Even the best applications make riding only safer when they are in use.

The approach of the CMC's task group HMI is to gather empirical evidence for relevant questions that have not yet been investigated. Another such study is the investigation of visual information characteristics. Once again, for informing C-ITS applications that rely on visual information delivery the recognition of visual information must be ensured. Therefore, the CMC investigated the potential positive effect of a certain blinking rate compared to static information presentation. These simulator studies are examples for the work done within the task group "HMI Guideline for C-ITS on PTW". The consortium covers research questions that have not yet been subject to investigation but will be of high importance for the success of future assistance systems.

## 4 References

- Naujoks, F., & Neukum, A. (2014). Timing of in-vehicle advisory warnings based on cooperative perception. Paper presented at the Proceedings of the human factors and ergonomics society Europe chapter annual meeting.
- Neukum, A. (2011). Wenn das Fahrzeug mehr sieht als der Fahrer - Konsequenzen für die Gestaltung der Fahrer-Fahrzeug Schnittstelle. Paper presented at the Ko-FAS Zwischenpräsentation, Schloss Aschaffenburg.
- Unfallforschung der Versicherer GDV. (2018). Intelligent systems for improving motorcycle safety - Compact accident research. Retrieved from Berlin: <https://udv.de/en/motorcycles/intelligent-systems-motorcycle-safety>
- Will, S. (2017). Development of a presence model for driving simulators based on speed perception in a motorcycle riding simulator. (PhD thesis), University of Wuerzburg, Wuerzburg.

Comparing Critical Event Deceleration for  
Motorcyclists and Drivers

Im Vergleich: Verhalten in kritischen Situationen von  
Motorrad- und Pkw-Fahrern

Vicki Williams, Cameron Rainey, Gibran Ali, and Shane McLaughlin  
Virginia Tech Transportation Institute, Motorcycle Research Group/Center for Auto-  
mated Vehicle Systems, USA

Tim Buche  
Motorcycle Safety Foundation, USA

## Abstract

This work investigates the conditions in which hard braking is needed for motorcyclists and passenger vehicle drivers. The work utilizes two large-scale naturalistic data sets. These data sets include video and sensor-based recordings of riders and drivers operating their personal vehicles over periods ranging from months to years. The MSF100 data set includes 100 motorcycle riders, traveling a total of over 363,000 miles in 38,000 trips. The SHRP2 Naturalistic Driving data set includes over 3,400 drivers, traveling a total of over 32.5 million miles in more than 5 million trips. Within the present work, crashes and near-crashes from these data sets were cataloged and reviewed to organize comparable cases. Within these cases, the braking levels achieved by riders and drivers were determined. The results of this work characterize conditions in which hard braking was required for motorcyclists and for passenger vehicle drivers, and describe the response of the vehicle operator. Surrounding measures were also collected, including a measure of available response time. This work provides a number of valuable outcomes. It is of value in understanding how critical situations are similar or different between passenger vehicle and motorcycles. In addition, it characterizes how the two vehicle operator types respond to critical situations, and it compares the deceleration during this response.



## Comparing Critical Event Deceleration for Motorcyclists and Drivers

## Introduction

In their latest analysis of motorcycle crash statistics, the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) reports that there was a 5.1% increase in the number of motorcyclists killed in 2016, compared to 2015 (NHTSA, 2018b). In addition, according to the same report, the trend of motorcyclist fatalities per miles of riding has increased for the second straight year, and has reached a level not recorded since 2008. Per vehicle miles traveled (VMT) in 2016, the motorcyclist fatality rate (25.85 fatalities per 100 million VMT) was nearly 28 times that of the passenger vehicle occupant fatality rate. The NHTSA report, as well as a variety of other sources of data collection, parses the crashes leading to these fatalities into categories according to environmental characteristics, event descriptors such as speeding, vehicle classifications like engine size, and rider characteristics such as age. Alcohol and helmet usage are also elements of reported fatalities that are of concern. Larger reports such as the NHTSA Traffic Safety Facts 2016 (NHTSA, 2018a) provide a further categorizations for all types of vehicle crashes, including comparisons between specific types of crashes for both automobiles and motorcycles. However, investigation into similar types of crash-related events experienced by motorcyclists appears lacking.

This paper begins to provide a connection between situations faced by motorcyclists and situations faced by passenger vehicle drivers, and how the two operators respond. The Motorcycle Safety Foundation (MSF) sponsored the MSF 100 Motorcyclists Naturalistic Study (MSF100), which was the first large-scale naturalistic motorcycle study. For the MSF100, video and kinematic data were collected from 100 riders during their ordinary routine, riding over a period of 2 months to 2 years per rider. More details about this study and associated analyses are available on MSF's research page (Motorcycle Safety Foundation, 2018). The Transportation Research Board sponsored the Strategic Highway Research Program naturalistic study (SHRP2), which gathered driving data for over 3,400 drivers during a period of everyday driving, targeting between 1 and 2 years per driver. Additional background about the SHRP2 study is presented in Hankey, Perez, and McClafferty (2002).

Observance of crash events by using video and kinematic data collected during actual driving and riding is invaluable in terms of being able to acquire actual conditions and nuances that are often transient, but that might create significant differences in responses and outcomes. From the time of the first widely-known motorcycle safety study, commonly called the Hurt Report, it became clear that riders' recollection about crash-related evasive maneuvers were not reflective of their actual actions, as indicated by accident reconstruction and eyewitness reports (Hurt, Ouellet, and Thom, 1981). A similar supposition is also reasonable to assume for automobile drivers. Organizations well-versed in vehicular accident reconstruction and crash causation, such as NHTSA, are well aware that reliance on the recall of those

involved in critical events does not result in accurate analysis (NHTSA, 2008). Further, post-crash investigations and reconstruction can often miss factors that leave no trace or have difficult trajectories to reconstruct.

This study rectifies the potential error in reliance on post-crash methods by observing real-time data collected just prior to and at the point of crashes for both drivers and motorcyclists. Just as important is the analysis of near-crash events, which not only inform researchers about how crashes were avoided, but also provide a surrogate of crash data (Guo, Klauer, Hankey, and Dingus, 2010). By looking at real-time conditions and operator behavior (specifically deceleration) leading up to a critical event, and being able to compare similar situations for drivers and motorcyclists, researchers are able to make conclusions about what differences and similarities lead to involvement in crashes as well as avoidance of crashes. Beyond crashes, naturalistic data sets provide the ability to index critical event decelerations into the “normal” deceleration behavior profile of each road user group within these studies. This provides additional insight into which types of critical events tend to require the most extreme responses for drivers versus motorcyclists. Such discoveries will be useful in all aspects of improving transportation safety, but particularly for motorcyclists.

## Methods

### Source Data

#### Incident Types

The motorcycle and passenger vehicle data sets contain detailed, but similar, information. Each study includes video (of the driver/rider and the external environment) and vehicle kinematic data, including deceleration, for each trip. Study participants drove their own vehicle or rode their own motorcycle while these extensive sets of data were continuously collected. Various methods of incident reporting were used to notify researchers of a crash during participation. In addition, following data collection for each study, researchers applied data mining algorithms to find other potential crashes and near-crashes (CNCs) within the data. Once potential incidents were located, they were classified (e.g., crash, near-crash, not an event) and annotated using nearly 100 variables that have been developed over 15 years of this type of research. This annotation provides a rich description of the event itself, as well as conditions in the environment and driver/rider-related descriptors (including behaviors such as evasive maneuvers). The analysis methods were nearly identical for both studies, with the exception of certain variables and/or categories that are specific to motorcycles (e.g., variables like Lane Sharing and Group Riding apply only to motorcycles; other variables such as Evasive Maneuver contain modified options for motorcycles, e.g., differentiating front and rear brake activation). Further details about

this data mining and video analysis process for the motorcycle and passenger vehicle studies are available, respectively, in Williams, McLaughlin, Atwood, and Buche (2016) and Hankey, et al. (2016).

Since similar methods and nearly identical video reduction dictionaries were used to classify CNCs within each data set, comparable sets of these CNCs were fairly straightforward to collect with high reliability. This research focuses on critical events that typically require an evasive maneuver involving deceleration by the study participant. The following are the nine applicable Incident Types that were found in both the motorcycle and passenger vehicle studies (see Researcher Dictionary for Safety Critical Event Video Reduction Data, 2015, for detailed definitions). Fig. 1 (adapted from the previous reference) provides illustrations of the vehicle-only incidents for further clarification.

- Animal-related
- Opposite direction (head-on or sideswipe)
- Pedestrian-related
- Rear-end, striking
- Sideswipe, same direction (left or right)
- Straight crossing path
- Turn across path
- Turn into path (opposite direction)
- Turn into path (same direction)

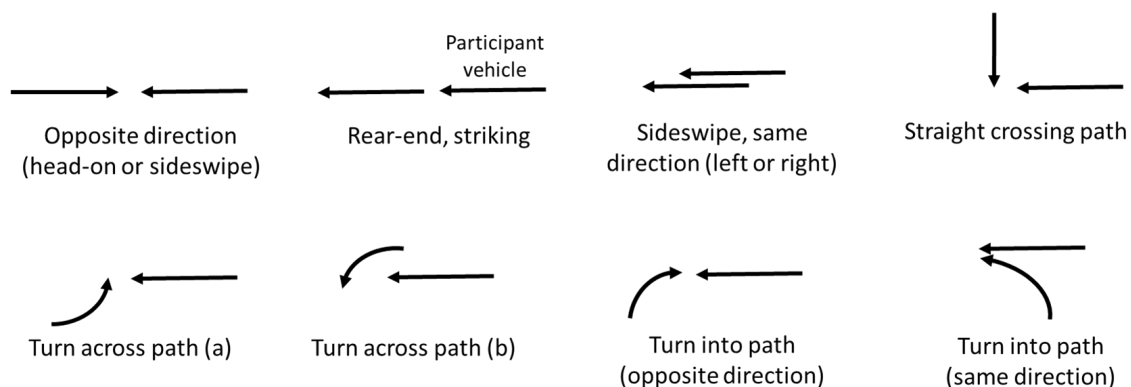


Fig. 1: Illustration of Incident Types. Adapted from Researcher Dictionary for Safety Critical Event Video Reduction Data (2015).

In this analysis, only incidents in which the participant (i.e., driver or rider) actually braked were selected for analysis. For some of the selected cases, the operator braked only (no steering or any other maneuver), but the selected cases also included combinations of other maneuvers with braking. Table 1 and Table 2 include the number of crashes and near-crashes, respectively, within the two naturalistic data sets for only these relevant Incident Types in which the rider or driver braked, and the percentage of the sample of just those incidents within each study. Note that for the passenger vehicle incidents

involving straight crossing paths or turning across/into another vehicle’s path, the vehicle whose deceleration is evaluated may either be the vehicle crossing/turning, or the vehicle whose path is being crossed or turned into. Within the motorcycle data, the few collected instances of straight crossing or turning across or into another’s path involved the other vehicle crossing or turning, with the exception of one motorcyclist turning into the path of a vehicle running a red light. Within these groups of incidents, there is no implication of fault (i.e., not all cases are the fault of another vehicle), but in all situations, an evasive maneuver involving participant vehicle deceleration was involved.

Table 1: Incident Types of Crash Samples by Study.

Crashes: Incident Type	Study			
	Motorcycle		Passenger Vehicle	
	n	%	n	%
Animal-related	0	0	42	29
Rear-end, striking	1	20	57	39
Sideswipe, same direction (left or right)	0	0	7	5
Straight crossing path	1	20	9	6
Turn across path	3	60	15	10
Turn into path (opposite direction)	0	0	11	8
Turn into path (same direction)	0	0	4	3

Table 2: Incident Types of Near-Crash Samples by Study

Near-Crashes: Incident Type	Study			
	Motorcycle		Passenger Vehicle	
	n	%	n	%
Animal-related	6	9	202	5
Opposite direction (head-on or sideswipe)	4	6	47	1
Pedestrian-related	2	3	102	3
Rear-end, striking	26	39	2402	59
Sideswipe, same direction (left or right)	17	25	567	14
Straight crossing path	0	0	106	3
Turn across path	3	4	202	5
Turn into path (opposite direction)	4	6	203	5
Turn into path (same direction)	5	7	245	6

## Available Time for Response

The available time during which a rider or driver can act to avoid a crash (such as decelerating) is the time from when the sequence of events begins to the time when impact occurs (or the time closest to impact, for a near-crash). For each event, there are a number of different points in time identified by video reductionists, including this beginning point (when there is the opportunity for the rider or driver to recognize and react to the critical situation) and the time of, or closest to, impact. These timestamps were used to calculate the available time for response. More precise definitions for these timestamps can be found in the *Researcher Dictionary for Safety Critical Event Video Reduction Data (2015)*. Within each of the incident types, this measure of time available for crash avoidance (from the element that began the sequence of events to the point closest to impact) was used to evaluate comparability between the passenger vehicle and motorcycle incidents. This measure was constructed by considering the time from, for example, when the lead vehicle stopped or slowed for a rear-end striking incident, until the point of impact for a crash, or the point when the vehicles were closest for a near-crash. Note that this measure of time includes, and is lengthened or shortened by, various levels of operator deceleration.

## Acceleration Distributions

Understanding decelerations in crashes and near-crashes begins with understanding them in reference to common or everyday type decelerations. Previous work on the acceleration and deceleration in the motorcycle data set (Rainey and McLaughlin, 2017) and in the passenger vehicle data set (Ali and McLaughlin, 2018) yield more than 1.4 million cataloged motorcycle decelerations and more than 340 million passenger vehicle decelerations. Each of the deceleration epochs is cataloged with starting and ending timestamps, initial and final speed, as well as the maximum and average achieved deceleration levels. The motorcycle analysis had an imposed requirement that any deceleration epoch must achieve at least a 0.05 g maximum deceleration level in order to be considered valid. The passenger vehicle distribution did not have this requirement when it was created, but was imposed for this study.

## Threat Direction

As a part of the CNC video reduction process, the direction of the threat to the vehicle is identified. Reductionists relate what is observed in the sensor and video data to a diagram as shown in Fig. 2.

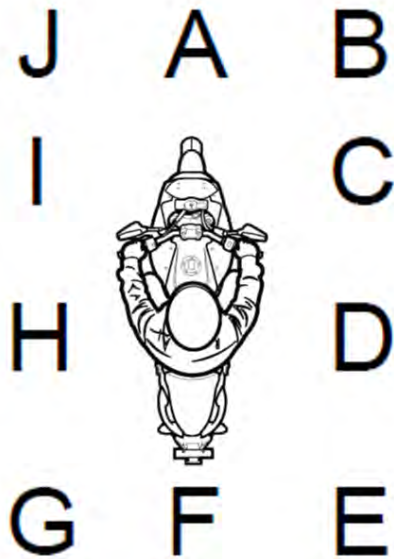


Fig. 2: Coding for Threat Direction. From *Researcher Dictionary for Safety Critical Event Video Reduction Data* (2015).

### Crash and Near-Crash Deceleration Quantification

For the CNCs, in addition to the incident type described previously, video reductionists also identify timestamps at critical points during an event. These timestamps provide the epoch of time within which analysis of decelerations was performed for the present work.

In order to quantify the level of deceleration observed, the longitudinal accelerometer signal was used. A Butterworth low pass filter with a 3 Hz cutoff frequency was applied to the accelerometer signals for the passenger vehicle data as well as the motorcycle data. A low pass filter is required when working with the acceleration signals collected in the motorcycle naturalistic studies in order to limit the influence of high frequency vibrations on the deceleration event quantification. These high frequency vibrations are inherent to the system, due to the low mass of the vehicle, and the high vibrations are often associated with such things as the rotating mass of the engine.

Deceleration summary values were calculated by identifying the maximum and mean deceleration levels measured during the time between the observed beginning of the event the rider or driver would end up needing to brake for (such as a lead vehicle braking hard) and the point of the first actual impact (in crashes) or at the closest point (in near-crashes). These values were then used to determine where the decelerations were located in the deceleration distribution for each study.

## Results

### Available Time for Response

The available times for driver and rider responses for both crashes and near-crashes were compared. These times are provided in Table 3 and Table 4, respectively. In the case of crashes, for the only three incident types that were available (rear end striking, straight crossing path, and turn across path), motorcyclists generally had quite short available time for response compared to similar passenger vehicle incidents. In fact, the only crash types for drivers which had less available time for response than all of the motorcycle crashes involved animals and same-direction sideswipes. In cases of motorcyclist near-crashes, the shortest time between recognition and the closest proximity occurred for animal-related, opposite direction head-on/sideswipe, and same direction sideswipe (these times were also less than comparable passenger vehicle cases). The shortest time available for response overall for passenger vehicles involved animal-related incidents (for both crashes and near-crashes), whereas when involved in rear-end striking events (crashes and near-crashes), drivers had the longest average time available to respond before impact, compared to other incident types.

Table 3: Average Available Time for Response in Crashes by Study.

Abbr.	Crashes: Incident Type	Study			
		Motorcycle		Passenger Vehicle	
		n	Available Time for Response (s)	n	Available Time for Response (s)
AR	Animal-related	-	-	42	1.65
OD	Opposite direction (head-on or sideswipe)	-	-	-	-
PR	Pedestrian-related	-	-	-	-
RES	Rear-end, striking	1	2.12	57	3.94
SCP	Straight crossing path	1	2.60	9	2.86
SSD	Sideswipe, same direction (left or right)	-	-	7	3.61
TAP	Turn across path	3	1.72	15	2.59
TPOD	Turn into path (opposite direction)	-	-	11	2.99
TPSD	Turn into path (same direction)	-	-	4	2.88

Table 4: Average Available Time for Response in Near-Crashes by Study.

Abbr.	Near-Crashes: Incident Type	Study			
		Motorcycle		Passenger Vehicle	
		n	Available Time for Response (s)	n	Available Time for Response (s)
AR	Animal-related	6	1.90	202	2.14
OD	Opposite direction (head-on or sideswipe)	4	1.63	47	2.71
PR	Pedestrian-related	2	2.46	102	2.94
RES	Rear-end, striking	26	3.35	2402	3.61
SCP	Straight crossing path	-	-	106	2.61
SSD	Sideswipe, same direction (left or right)	17	1.89	567	2.29
TAP	Turn across path	3	3.00	202	2.94
TPOD	Turn into path (opposite direction)	4	2.83	203	2.84
TPSD	Turn into path (same direction)	5	3.79	245	3.32



## Threat Direction

During comparable CNCs, another object or vehicle was posing a crash threat to the rider or driver of the study vehicle. When looking at the direction of these threats, the majority came from the forward or just to the left or right of forward in both the motorcycle and passenger vehicle studies (see Fig. 3). Based on the lower percentage directly forward and higher percentages to the first position left or right of forward, it appears that threats for motorcycles may be distributed across a wider forward angle than for passenger vehicles. Very few of the CNCs evaluated were from the rear for either motorcyclists or passenger vehicles. This may partially be influenced by the restrictions placed on the dataset that drivers and riders must have braked in response to the event. Additionally, “Rear-end striking” is the most common CNC type in the data sets for both motorcycles and passenger vehicles, which will have a strong effect on the frequency of forward collisions.

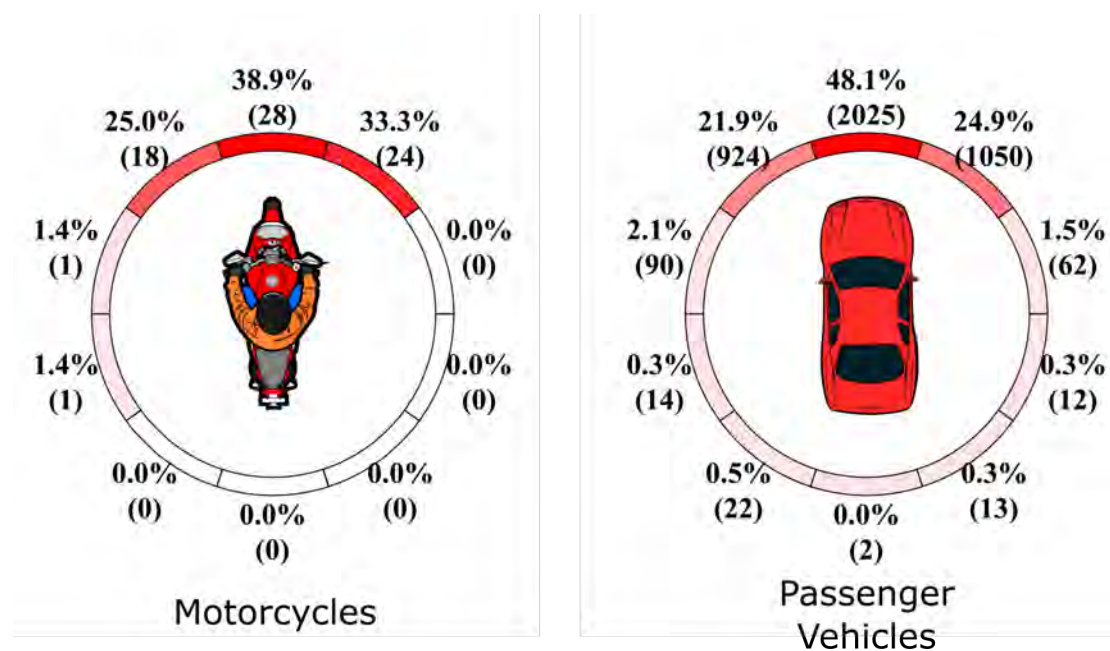


Fig. 3: Threat Direction for Motorcycles and Passenger Vehicles.

## Critical Braking

Achieved deceleration levels were calculated for crash and near-crash events. The achieved deceleration levels calculated for the nine types of crashes were also compared to the distribution of decelerations observed during general riding and driving. These decelerations can be seen in Fig. 4. The numerical data and corresponding incident type abbreviations can be found in Table 5. As would be expected, in almost all cases, the averages of these decelerations (maximums and means) are well beyond most decelerations observed in normal riding or driving. The greatest deviation from normal driving decelerations for both motorcycles and passenger vehicles occurred for the straight crossing path crashes. For the small number of motorcycle crashes (rear-end striking, straight crossing path, and turn across

path), the average maximum decelerations achieved by the riders were lower than for comparable passenger vehicle crashes. Differences between the mean decelerations were not generally as pronounced, especially for turn across path crashes, which were nearly the same when comparing motorcycles to passenger vehicles. The only case in which mean and maximum deceleration levels approached normal driving levels was for sideswipe (same direction) crashes in the case of passenger vehicles.

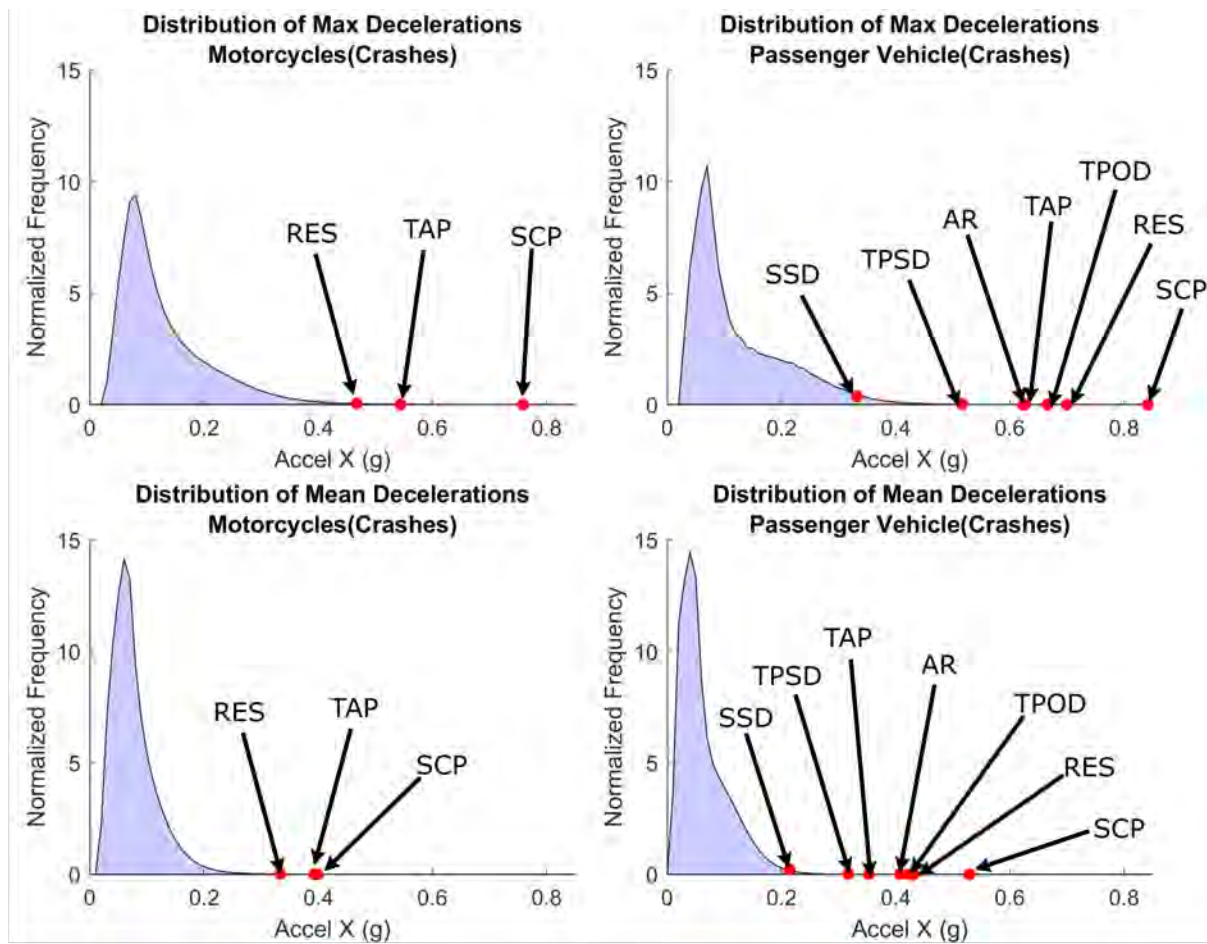


Fig. 4: Distribution of Average Maximum and Mean Decelerations for Crashes by Incident and Vehicle Type, with Normal Deceleration Profiles.

Table 5: Maximum and Mean Decelerations During Crashes for Different Incident Types

Abbr.	Crashes: Incident Type	Study					
		Motorcycle			Passenger Vehicle		
		n	Max Decel (g)	Mean Decel (g)	n	Max Decel (g)	Mean Decel (g)
AR	Animal-related	-	-	-	42	-0.62	-0.41
OD	Opposite direction (head-on or sideswipe)	-	-	-	-	-	-
PR	Pedestrian-related	-	-	-	-	-	-
RES	Rear-end, striking	1	-0.47	-0.33	57	-0.70	-0.43
SCP	Straight crossing path	1	-0.76	-0.40	9	-0.84	-0.53
SSD	Sideswipe, same direction (left or right)	-	-	-	7	-0.33	-0.21
TAP	Turn across path	3	-0.54	-0.39	15	-0.63	-0.35
TPOD	Turn into path (opposite direction)	-	-	-	11	-0.67	-0.42
TPSD	Turn into path (same direction)	-	-	-	4	-0.52	-0.32

The average maximum and mean decelerations for near-crashes can be seen overlaid on distributions of normal decelerations for both motorcycles and passenger vehicles in Fig. 5. The raw values for the average maximum decelerations and average mean decelerations for the nine types of near-crashes can be found in Table 6. Like the crashes, braking associated with passenger vehicle near-crashes was higher than braking typically observed during normal driving for all incident types. For motorcyclists, compared to the same incident types for passenger vehicles, inspection of the near-crash data indicates lower maximum and mean decelerations for all incident types except turn across path and sideswipe (same direction). In addition, for the opposite direction (head-on or sideswipe) near-crashes, deceleration levels for motorcycles tend to be within the normal braking profile for riders.

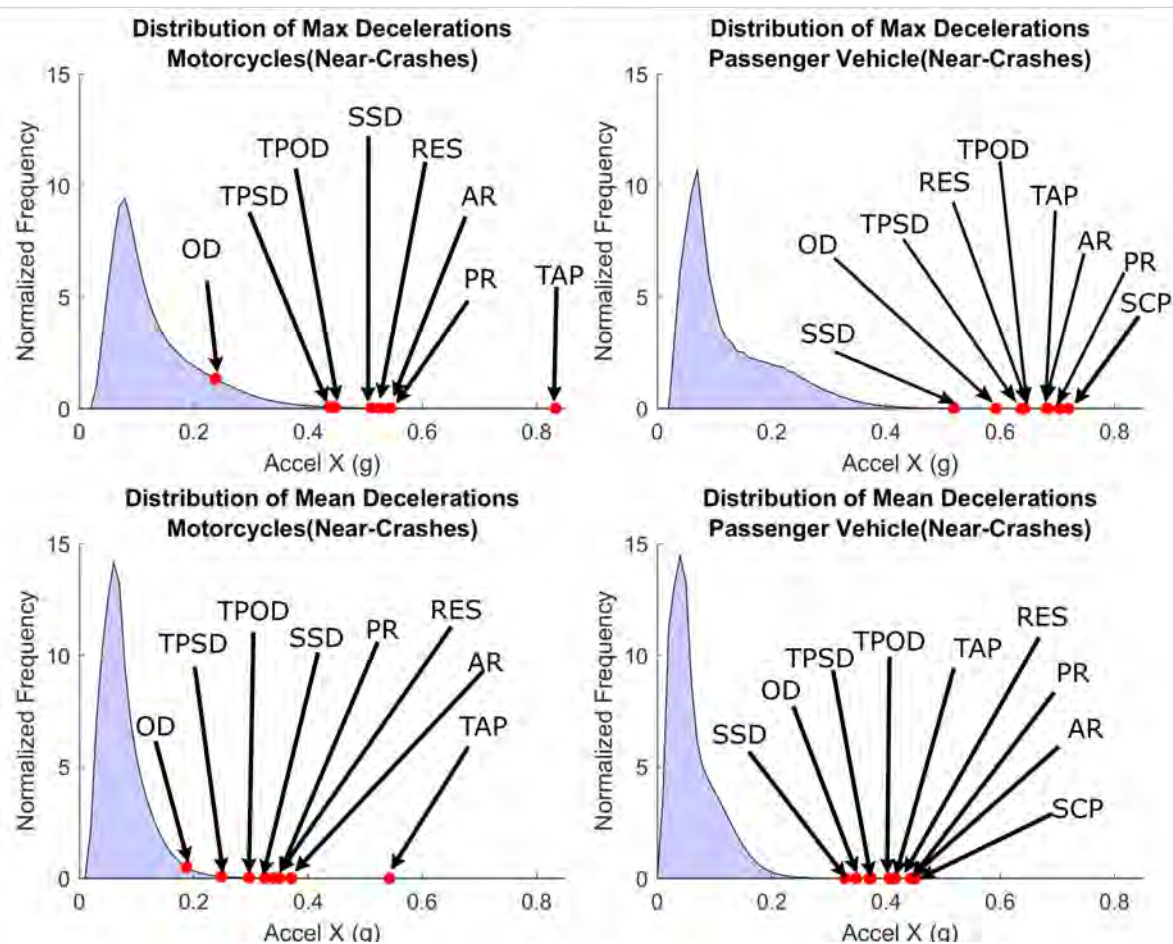


Fig. 5: Distribution of Average Maximum and Mean Decelerations for Near-Crashes by Incident and Vehicle Type, with Normal Deceleration Profiles.

Table 6: Maximum and Mean Decelerations During Near-Crashes for Different Incident Types

Abbr.	Near-Crashes: Incident Type	Study					
		Motorcycle			Passenger Vehicle		
		n	Max Decel (g)	Mean Decel (g)	n	Max Decel (g)	Mean Decel (g)
AR	Animal-related	6	-0.53	-0.37	202	-0.68	-0.45
OD	Opposite direction (head-on or sideswipe)	4	-0.24	-0.19	47	-0.59	-0.35
PR	Pedestrian-related	2	-0.54	-0.34	102	-0.70	-0.44
RES	Rear-end, striking	26	-0.53	-0.35	2402	-0.64	-0.42
SCP	Straight crossing path	-	-	-	106	-0.72	-0.45
SSD	Sideswipe, same direction (left or right)	17	-0.51	-0.32	567	-0.52	-0.33
TAP	Turn across path	3	-0.83	-0.54	202	-0.68	-0.41
TPOD	Turn into path (opposite direction)	4	-0.45	-0.30	203	-0.64	-0.37
TPSD	Turn into path (same direction)	5	-0.44	-0.25	245	-0.64	-0.37

## Conclusions

### Crashes

The set of analyzed motorcycle crashes included three cases of a vehicle turning across the motorcyclist's path (two of type (a) and one of type (b) in Fig. 1), one case of a vehicle proceeding perpendicularly across the motorcyclist's path, and one case where the motorcyclist rear-ended a lead vehicle. For the turn across path incidents, the riders attained a maximum deceleration considerably below the value for near-crashes of the same type. The mean deceleration for these TAP crashes was also below the mean of the TAP near-crashes. There were many more passenger vehicle crashes available for analysis. In the passenger vehicle crashes, the maximum and mean deceleration values for just over half of them, compared to values of comparable near-crash types, were lower. However, for crashes in which the participant vehicle rear-ended a lead vehicle, a vehicle crossed straight across another's path, and a vehicle turned into the path of another (to proceed in the opposite direction), the mean and maximum decelerations seen in the crashes were greater than those observed for comparable near-crashes. In general, maximum and mean deceleration of drivers fell outside of normal driving deceleration values. However, in the case of same-direction sideswipes, both mean and maximum observed decelerations were much closer to deceleration levels seen in normal driving than those of other incident types.

### Near-Crashes

As expected, for most types of near-crashes, deceleration levels used in avoiding a crash are higher than the deceleration levels found in normal driving. Decelerations achieved by passenger vehicle drivers are higher than by motorcyclists for nearly every incident type, the exception being the turn across path near-crashes. These conclusions hold, whether referring to the mean or the maximum deceleration recorded during near-crash events.

For motorcyclists, it appears that the highest deviation from everyday braking for near-crash events involve another vehicle turning across the motorcyclist's path (TAP). All of these TAP near-crashes in the motorcycle study were of the configuration depicted for "Turn across path (b)" in Fig. 1. The other extreme for motorcyclists' near-crashes occurred for the opposite direction (head-on or sideswipe) incidents, in which deceleration values were the lowest, and in fact fell within the normal riding profile for both maximum and mean decelerations. For drivers, deceleration values were the most extreme (highest compared to normal levels) for straight crossing path incidents, followed closely by animal- and pedestrian-related near-crashes. The drivers' deceleration levels for near-crash sideswipes (same direction) were the lowest, closest to the normal driving profile for automobiles. This is understandable, considering the fact that braking is not likely to be the most effective evasive maneuver for sideswipes, since braking affects longitudinal movement and sideswipes involve lateral encroachment.

## Discussion and Future Work

This work identified events in which significant operator braking was used prior to crashing, or in a near-crash. The events were organized by type, to support appropriate comparisons. The overall trend observed is that motorcyclists achieved lower levels of deceleration in similar events. Where event counts will support it, further clarity could be achieved through statistical comparisons between motorcycle cases and passenger vehicle cases. Future work will attempt to apply robust methods for making this comparison.

The objective of this work was to investigate cases where critical levels of deceleration were required, and compare response and outcomes for motorcyclists and drivers. Near-crashes include a distribution of levels of urgency. There may be some value in developing a means for identifying the more urgent cases within the near-crash set, for both vehicle types, and performing a comparison analysis using those cases as well as crashes.

This investigation focused on deceleration as the evasive maneuver. Steering or swerving are also viable avoidance maneuvers, particularly when the time available to avoid is short. Future work could compare different avoidance maneuvers, or compare the avoidance maneuvers executed by riders versus drivers in comparable initial conditions.

## References

- Ali, G., and McLaughlin, S., (in preparation, 2018) The Surface Accelerations Reference – A Catalog of Accelerations Experienced in Passenger Vehicles.
- Guo, F., Klauer, S. G., Hankey, J. M., and Dingus, T. A. (2010). Near-crashes as crash surrogate for naturalistic driving studies. *Transport Res Rec.*, 2147: 66–74.
- Hankey, J. M., Perez, M. A., and McClafferty, J. A. (2016). Description of the SHRP2 Naturalistic Database and the Crash, Near-Crash, and Baseline Data Sets. Retrieved from <https://vtechworks.lib.vt.edu/handle/10919/70850>.
- Hurt, H. H., Ouellet, J. V. and Thom, D. R. (1981). Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures, Volume 1. Technical Report Contract No. DOT HS-5-01160 (Final Report). Traffic Safety Center, University of Southern California, Los Angeles, CA.
- Motorcycle Safety Foundation (2018). MSF Research. Retrieved from <https://www.msf-usa.org/research.aspx#/home>.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2018a). Traffic Safety Facts 2016 Data. Publication DOT HS 812 554. Washington, DC.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2018b). Traffic Safety Facts: Motorcycles 2016 Data. Publication DOT HS 812 492. Washington, DC.
- National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2008). National Motor Vehicle Crash Causation Survey Report to Congress. Publication DOT HS 811 059. Washington, DC.
- Rainey, C., and McLaughlin, S. (2017). A Naturalistic Look at Motorcyclist Acceleration and Deceleration Behaviour. Presentation at The 6th International Naturalistic Driving Research Symposium. The Hague, The Netherlands.
- Researcher Dictionary for Safety Critical Event Video Reduction Data (2015). Retrieved from <http://hdl.handle.net/10919/56719>
- Williams, V., McLaughlin, S., Atwood, J., & Buche, T. (2016). Factors that Increase and Decrease Motorcyclist Crash Risk. Paper presented at The International Motorcycle Safety Conference, Köln, Germany, 3-4 October 2016. Motorcycle Safety Foundation/ifz.

**Detection of motorcyclists by car drivers with and  
without motorcycling experience**

A virtual reality driving simulator study including eye-tracking

**Wahrnehmung von Motorrädern durch Pkw-Fahrer  
mit und ohne Motorrad-Erfahrung**

Eine Virtual-Reality-Simulatorstudie unter Berücksichtigung  
des Blickverhaltens

Sofie Boets, Charlotte Desmet

Knowledge Centre, Vias institute, Brussels, Belgium

Daniela Knowles, Alexander Pommer, Martin Winkelbauer

KFV (Austrian Road Safety Board), Vienna, Austria

## Abstract

Aim of this study was to compare driving behaviour, visual scan strategies and visual detection of motorcyclists for car drivers and dual drivers (car drivers who are also motorcyclists), using a virtual reality (VR) car driving simulation with integrated eye-tracking (HTC Vive head mounted display). Sixty-four male subjects (31 car drivers and 33 dual drivers) completed five VR rides (counterbalanced between subjects) of about 2.5 minutes each. Subjects had to follow the route to a predetermined destination while they wore a HTC Vive head mounted display and sat in a chair with accompanying FANATEC controls (steering wheel, breaking and gas pedals). In each ride they were confronted with traffic events that are known to be related to an increased crash risk between motorcycles and cars. Effects of group (car driver, dual driver) on driving variables (lateral position and speed) and gaze variables (overall scan patterns, glances and dwell times at areas of interest) were measured. Results indicate that in general dual drivers made significantly more glances towards other cars on the road and spent less time gazing inside the car (speedometer) than car drivers. Furthermore, dual drivers had a more dispersed horizontal scan strategy and gazed more at the relevant motorcycles during the events, although these results did not reach significance at the .05 alpha level. No differences were found on the driving parameters.

## Keywords

Road Safety; Motorcyclists; Virtual Reality Simulation; Eye-tracking



Detection of motorcyclists by car drivers with and  
without motorcycling experience

A virtual reality driving simulator study including eye-tracking

# 1 Introduction

In the last decades, motorcyclists started to play an increasing role in many European countries. The relatively small size and flexibility of this transport mode contributes valuably to mobility. This is especially the case in urban areas, where traffic congestions increasingly cause disturbance. However, motorcyclists are among the most vulnerable road user groups. Although they account for only a small part of the road user population, motorcyclists are overrepresented in the accident statistics [1, 2, 3]. A Belgian study found that the relative risk of serious or fatal injuries per kilometre travelled is greatest for the motorcyclist road user group (57 times greater than for motorists) [4].

In-depth studies on causes and underlying mechanisms of accidents involving motorcyclists have uncovered the main accident profiles. A recent French study [2] on in-depth accident data revealed that the most typical powered two-wheeler (PTW) accident configurations in urban environments correspond to “intersection situations, where a PTW and a passenger car are confronted while one of them either exits from or enters in the traffic flow.” Moreover, perceptive problems were found to account for more than 65% of car drivers’ failures when confronted with these PTWs. In line with this finding, previous studies [e.g., 1] showed that perceptive problems of car drivers related to PTWs are much higher than related to other road users, especially in urban environments. In the comprehensive study of Van Elslande and colleagues, samples of PTW accident data from five European countries were collected and investigated in-depth (921 accidents, 2,000 variables per accident). Analyses of these data show that the opponent in most accidents was a passenger car and that most accidents occurred in urban areas. Further, the driving and impact speeds of the PTWs were mostly below 50km/h. The principle cause for the accidents was human error and mainly a failure to see the PTW (in time).

There are indications in literature that the visual detection of motorcyclists might be better for car drivers who are also motorcyclists (dual drivers) compared to car drivers without motorcycling experience. Dual drivers have the safest driving responses at junctions, are better in hazard perception, and have better search strategies compared to car drivers [e.g., 5,6].

In the current study in-depth driving behaviour and visual detection of motorcyclists are examined for dual drivers and pure car drivers. This experiment was conducted using an innovative technique in road safety research, namely virtual reality (VR) driving simulation with integrated eye-tracking (Eye-Tracking Head Mounted Device based on HTC Vive, SensoMotoric Instruments (SMI), Teltow, Germany).

VR is a technique in which a user interacts with and becomes immersed in a virtual world through the use of 3D real-time computer graphics and advanced display devices such as head mounted displays [7]. Over the past years, VR has become more popular and has been applied in different fields [8]. Also for research on road safety this new technique is very promising. An advantage of VR studies is that

specific traffic situations can be presented in a controlled manner while participants still feel like they are in a real-life environment. Moreover, only very recently eye-tracking measures can be integrated in the VR environment.

In this study, participants drove in a VR environment while they encountered different traffic configurations related to common motorcycle versus passenger car accidents. The selected configurations were based on typical accidents on urban roads, in which the car driver is, alone or together with the motorcyclist, the primary contributor to the accident, and in which the accident can be related to problems with visual perception or detection of the motorcyclist. Driving related parameters, overall visual scan patterns and gaze towards motorcyclists, cars and other areas of interest for the two groups were compared.

The research questions of this study were the following: (1) Do dual drivers use different visual strategies than “regular” car drivers? And (2) Do dual drivers perform better in prediction of potential conflicts with PTW (based on driving and gaze variables)?

## 2 Methodology

### 2.1 Participants

The original study sample consisted of 78 male drivers aged 22 to 54 of which 39 without (car drivers) and 39 with an Austrian category A (motorcyclist) driving license (dual drivers). They all were minimum four years in possession of a driving license category B (car). Dual drivers additionally had to have travelled min. 2,000 km as a motorcyclist (>125 cc) in the last year. Further inclusion criteria were: low risk answers on questions related to motion sickness, not suffering from headaches, migraine, epilepsy and preferably not wearing glasses for far sight. Prior to starting the experiment, participants also needed to have average scores on neuropsychological tests assessing visuo-attentional capacities (visual search and useful field of view) and tonic alertness (stimulus based reaction times). The participants were compensated with a monetary reward.

### 2.2 Materials

#### 2.2.1 VR driving simulator with eye-tracking

The driving simulator consists of a fixed-base set-up including a car seat and FANATEC drive controls (steering wheel, gas and brake pedals) (see Figure 1).



Fig. 1: Driving simulator.

The HTC Vive head mounted display allows visualization of an all-round VR (traffic) environment. The maximum binocular visual field in the glasses is  $110^\circ$ . This is a reduced visual field compared to the normal binocular field of view (approx.  $180^\circ$ ) so users have to move their head more than normal in order to see the environment. This condition was identical for both groups and the experiment started with at least one trial ride in order to get familiarized with the VR simulator driving. Head movements were not separately considered in the analyses. These were only taken into account in the data processing to localize the gaze in the virtual world. The integrated eye-tracking in the HTC Vive glasses is a novel feature and allows continuous logging of gaze data within the  $360^\circ$  VR space (at 90 Hz) (see Figure 2). Additionally, a stereo headset is included to present realistic traffic sounds and road directions via a GPS voice.



Fig. 2: Eye-Tracking Head Mounted Device based on HTC Vive, SMI.

### 2.2.2 VR scenarios and events

The VR simulation, developed by ActiveMe (Louvain-La-Neuve, Belgium), is displayed as a driver's view from the inside of the car. The driver can have a complete view of the surroundings through the front, side and back windows. The surrounding environment is displayed on the three simulated mirrors as it would be in a real car, and also the inside of the car is realistic, including a view on the steering wheel as well as adequate dashboard information (speed, tachometer). The hands of the driver on the steering wheel are visualized as well. Actual steering wheel turns are realistically visualized but the virtual hands do not copy the real hands' movements (see Figure 3).



Fig. 3: Snapshot of the driver's view on the track.

Five VR scenarios (~2.5 minutes, 2-2.5 km) were developed according to a European style urban area, with Austrian traffic signs, 50km/h signs each 100m, and regular traffic density of non-conflicting cars, trucks, motorcycles and pedestrians. Repeated direction indicators show the trajectory to be followed (in addition to a GPS voice). The motorcyclist in the scenarios always wore a black helmet and black clothes. The aim of the study was to compare drive/gaze data over different types of events, so motorcyclist characteristics were kept constant.

In each scenario we presented five events. These events could be experimental events, control events or non-relevant events. The experimental and control events are based on typical accident configurations described in earlier research [e.g., 2,9] between a motorcycle and a car on urban roads, and in which the car driver is, alone or together with the motorcycle, the primary contributor to the accident. Four main accident configurations were selected: see Figure 4.

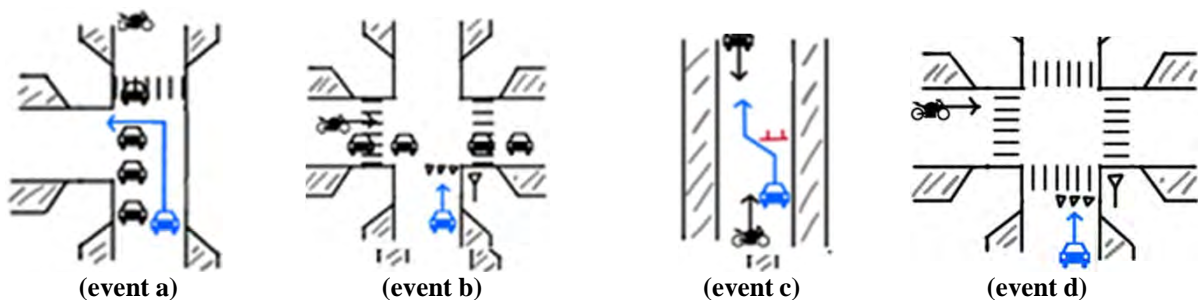


Fig. 4: Schematic outline of the main experimental events (a), (b), (c), (d).

Each event was programmed with defined conditions for every event related vehicle (with regard to their speed, acceleration rate, brake rate, road positioning and distances) and with driver controlled onsets (i.e. reaching different trigger zones launched different aspects of an event).

In event (a) the participant (blue) drives on a main road and has to turn left. A stream of cars with short gaps in between (1 to 2.5s with a programmed accordion effect: switches between accelerating and braking; maximum 50km/h) approaches on the opposite lane and avoids the participant to make a turn

in between the cars. At the end of the stream, with a wide gap behind the last car, is a motorcycle which was perceptually hidden by the previous cars. This motorcycle approaches fast (accelerating to 85km/h at a distance of approximately 36 meters to the T junction). The idea is that some drivers will turn directly after the last car, not having perceived the approaching motorcyclist.

In event (b) the participant (blue) has to cross an intersection. When approaching the intersection, the participant has to stop because of a traffic jam on the perpendicular road. As soon as the participant stops, the next approaching vehicle in the jam slows down and flashes the front lights encouraging the subject to proceed. When the front of the car overpasses the end of the lane with 0.45 meters, a motorcycle (previously at 17 meter from the center of the intersection) starts overtaking the queue with a speed of 50km/h, and may or may not be perceived in time by the participant.

In event (c) the participant (blue) is confronted with an obstruction on the road and two oncoming cars (with participant dependent onset and speed) on the opposite lane hamper a swerving manoeuvre so the participant is forced to slow down or even to make a full stop. At 98 meters from the obstruction a motorcycle starts to ride behind the driver, with a timing offset synchronized speed to the participant, meaning that when the participant is at 17.62 meters from the obstruction, the motorcycle has to be at 17.62 meters from the obstruction 6.6s later. After that the motorcycle starts to move in a straight line to the left side of his lane – becoming visible in the left side mirror – and starts to overtake the driver (and obstacle) at 40 km/h. This is also the moment when the second oncoming car is passing the participant, which may invite the participant to start his overtaking manoeuvre, unless he has noticed the oncoming motorcycle in his mirrors or when looking behind.

In event (d) the participant (blue) enters the intersection and has to make a right turn while a motorcycle approaches from the left. A variation on this event was presented where the subject has to cross the intersection while a motorcyclist approaches from the right.

For these main event types the hypothesis is that the dual drivers have the presence of motorcyclists in their minds and will expect riders, while “regular” drivers will not.

These four main events were each presented twice with a motorcyclist (event (c): once with an obstruction caused by roadworks and once with an obstruction caused by a broken car, event (d): the two variations described above are each presented once). Further, for the events (a) and (d) we also presented a version with a conflicting car instead of a conflicting motorcycle. The other events did not permit us to do so because the situation would have become unrealistic (cars driving in the wrong direction). Finally, events (b), (c), and (d) were also presented without a conflicting motorcycle or car.

To obscure the purpose of the experiment and to decrease the risk of learning effects we inserted non-relevant events. Some of these non-relevant events were conflicting, some were not. The exact same experimental event was repeated maximum twice to reduce learning effects.

Five VR scenarios were presented. In each of these scenarios five events were inserted. They consisted of two or three experimental events with a conflicting motorcycle or car, one control event and one or two non-relevant events.

See Table 1 for a complete overview of the different events and the combination of these events into the five scenarios.

Table 1: From top to bottom: (1) Overview of the four main events (a-d) and the frequency with which they are presented with a motorcycle (MOT), car (CAR) or no other conflicting vehicle (CON). (2) A brief description of the eight non-relevant events (NR1-8) and their frequency of presentation over the whole experiment. (3) The order and distribution of the different events over the five rides: NR indicates the non-relevant events, MOT, CAR and CON indicate main events where respectively a conflicting motorcycle, a conflicting car or no other conflicting vehicle is presented, the letter a-d indicates the type of main event.

<b>1. Main events</b>			
	Motorcycle (MOT)	Car (CAR)	control – no conflicting vehicle (CON)
Event a	2	1	–
Event b	2	–	1
Event c	2	–	2
Event d	2	2	2
<b>2. Non-relevant events (NR)</b>			
1. conflicting crossing pedestrian			2
2. non-conflicting crossing pedestrian			1
3. intersection with non-conflicting traffic			1
4. intersection with conflicting car from the right			1
5. conflicting car that leaves parking spot			1
6. non-conflicting car that leaves parking spot			1
7. non-conflicting motorcycle that leaves parking spot			1
8. motorcycle at far distance			1
<b>3. Scenarios</b>			
Scenario 1			NR3 – MOTb – NR8 – CARa – CONd
Scenario 2			MOTd – NR1 – CARd – MOTc – CONb
Scenario 3			NR5 – MOTa – CONc – NR4 – MOTb
Scenario 4			MOTa – NR1 – CARd – NR7 – CONc
Scenario 5			CONd – MOTc – NR6 – MOTd – NR2

## 2.3 Procedure

Participants first signed an informed consent. Then, different neuropsychological tests were administered. The VR simulation part started with an explanation of the car controls' handling, a calibration of the eye-tracking device and was followed by one or more familiarization rides. If all went well, the experiment started and the participant drove five VR rides. The instruction was to follow a specific destination ("Wien" [Vienna]) and to drive according to the regular traffic rules and the speed indications in the VR environment (50km/h). The VR rides were presented in a fixed counterbalanced order to compensate for order effects. In case of symptoms of cyber-sickness, the drive was interrupted directly and the subject could either pause a moment or completely stop the experiment. After the VR rides, the subject filled out a questionnaire on driver and rider experience and attitudes related to motorcycles in traffic. At the end of the experiment, a monetary incentive of 60 euro was given. A full procedure took about 1h.

## 2.4 Study design and analysis

A 2 (type of road user object) x 2 (group) experimental repeated measures (between-subjects) design was used. The within-subjects variable 'type of road user' had two levels: motorcycle or car. More specifically, over the whole experiment each participant was confronted with eight experimental events including a motorcyclist and with three experimental events including a car. The between-subjects variable 'group' had two levels: car driver or dual driver.

### 2.4.1 Glance frequencies and dwell times

The frequency and duration of glances (dwell times) at eight predefined areas of interest (AOI's) were measured: rear view mirror, left side mirror, right side mirror, speedometer, cars, motorcycles, pedestrians and road signs. Since we worked with moving stimuli, we chose to investigate glance frequency and dwell times instead of frequency and duration of fixations. Fixation analysis can be problematic when using moving stimuli because episodes of smooth pursuit will not always be detected [10]. Therefore, we decided to use a frame-by-frame gaze location analysis. The gaze location of each frame was (automatically by the VR programming) assigned to one of the eight AOI's. Gaze frequencies per scenario were computed by dividing the number of gazes at each AOI by the duration of each scenario. Gazes with a duration less than 100ms were discarded for further analysis.

The total time spent watching each AOI in each scenario was divided by the duration of each scenario to obtain the dwell time percentages towards each AOI.



The glance frequencies and the dwell time percentages were grouped per participant and per AOI. The effect of the between-subjects variable “group” (dual driver or car driver) was estimated separately for each AOI. Assumptions of normality and equality of variances were tested with the Shapiro-Wilk test and the Levene test, respectively. If these assumptions were violated non-parametric comparisons (Mann-Whitney U test) instead of independent t-tests were used to test the condition effect.

#### 2.4.2 Visual scan behaviour

The gaze directions obtained by the HTC Vive glasses were first translated to the VR environment. More precisely, to include head movements and car position two matrix computations were made on the original gaze directions and normalized so that, given a constant value of the y-coordinate, a change of one unit on the x-axis represents a left (negative) or right (positive) shift in gaze of 90°. Likewise, given a constant value of the x-coordinate, a change of one unit on the y-axis represents an upwards (positive) or downwards (negative) gaze of 90°. Further, we projected the 3D world (x-, y- and z-coordinates) onto a 2D dimension (x- and y-coordinate). When participants had negative z-coordinates, x-coordinates were recalculated (we subtracted one unit from a negative x-coordinate and added one unit to a positive x-coordinate). In this way, the values on the x-axis could range from -2 to 2 reflecting a visual field of -180° (left) to 180° (right) in reference to the participant. The values on the y-axis could range from -1 to 1 reflecting a visual field of -90° (down) to 90° (up) in reference to the participant. Deviations from these coordinates in respect to the reference point (the participant looking straight forward) were calculated to obtain a measure of visual scan pattern. Larger deviations thus reflect a more dispersed visual scan pattern in comparison with smaller deviations. Deviations were computed per participant and per scenario.

The group effect (dual driver or car driver) was estimated by means of an ANOVA with random intercepts for participants under the assumption of normally distributed deviations.

#### 2.4.3 Driving behaviour

The mean speed and SDLP (standard deviation of the lateral position) were measured on straight and curved sections of the road without intruding other road users or events, in order to have a measure of free flow driving style. For each scenario we selected a road section. This selection had a fixed distance per scenario and always occurred between two events. The distance of these road selections was on average (over the five scenarios) 145 meters. For each participant we thus obtained five observations of mean speed and five observations of SDLP.

The group effect was estimated by means of an ANOVA with random intercepts for participants under the assumption of normally distributed speed and SDLP.

#### 2.4.4 Event analyses

To study whether dual drivers are better in predicting or detecting situations related to a high crash risk with motorcyclists, we analysed the events in more detail.

First of all, we studied glance frequencies and dwell time percentages at the conflicting cars and motorcycles during the events. The experimental events are defined by the same fixed time windows for every participant. These time windows were a priori defined based on the appearance and disappearance of the conflicting road user object (motorcycle or car). We computed the glance frequency and dwell time percentages at motorcycles during the eight events including a motorcyclist and the glance frequency and dwell time percentages during the three events including a car.

Glance frequencies and dwell times at motorcycles and cars were analyzed in two different models where each event (motorcycle or car event) was entered as an observation in the model. The group effect was estimated by means of an ANOVA with random intercepts for participants. Glance frequencies were assumed to follow a Poisson distribution. An additional overdispersion parameter was added to these models and compared with a model without this parameter. The model that gave the best fit was subsequently used for the analysis. Dwell time percentages, on the other hand, were assumed to be normally distributed.

Second, for event (c) we analysed the glance frequency and dwell time percentages at the left and rear view mirror. This event contains a motorcycle approaching from behind and is thus a good candidate to investigate potential group differences in gazes directed at the mirrors. A mean score of glance frequency and dwell time percentage was calculated for each participant for the left mirror and the rear-view mirror. These measures were then compared for both groups. Assumptions of normality and equality of variances were tested with the Shapiro-Wilk test and the Levene test, respectively. If these assumptions were violated non-parametric comparisons (Mann-Whitney U test) instead of independent t-tests were used to test the group effect (dual driver or car driver).

### 3 Results

Four out of 78 (5%) participants were discarded because they suffered from cyber-sickness. Further, closer inspection of the post-questionnaire resulted in an exclusion of five participants from the dual driver group who did not meet the selection criteria. These participants had driven less than 2,000 km/year by motorcycle. Six participants from the car driver group were excluded because they had driven a motorcycle before. One of these participants was recoded as a dual driver (the participant indicated that he drives a motorcycle > 2,000km/year). In addition, two participants missed one scenario. For these two participants these scenarios were thus not analysed. Finally, we obtained

31 participants in the car driver group (age mean/SD 31.5/7.1) and 33 participants in the dual driver group (age mean/SD 35.2/8.9). There are no significant differences between the two groups on age, education, average kilometres driven per year with a car, self-evaluated driving style and neuropsychological test scores.

A complete overview of the mean values and according statistics for the below described analyses can be found in Table 2 for the visual scan behaviour and the driving variables and in Table 3 for the glance frequencies and dwell time percentages related to the whole experiment and the events.

### 3.1 Glance frequencies and dwell times

Over the course of the whole experiment, dual drivers made more glances at cars ( $U = 364, z = -1.98, p < .05$ ) than car drivers. Glance frequencies at the other AOI's did not differ between both groups.

As regards the dwell time percentages, our data show that dual drivers spent less time gazing at the speedometer ( $U = 339, z = -2.32, p < .05$ ) than car drivers and more time gazing at pedestrians, although this latter finding did not reach significance at the .05 alpha level ( $U = 379, z = -1.78, p = .08$ ). See Figure 5.

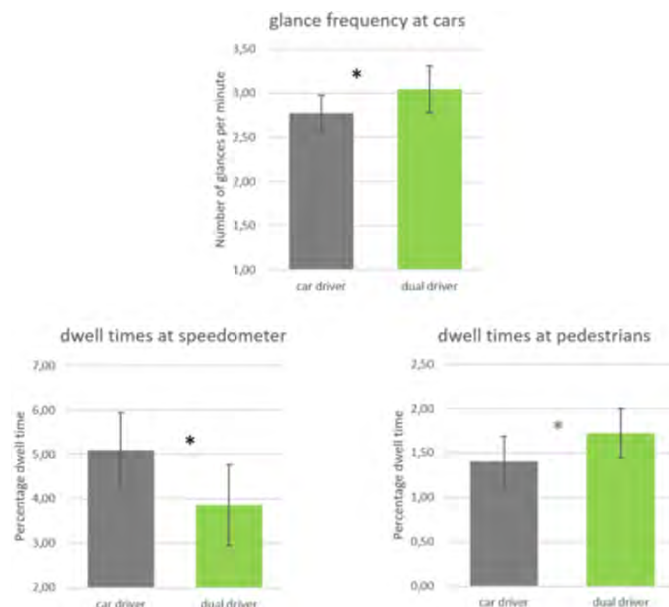


Fig. 5: Glance frequency at cars and dwell time percentages at the speedometer and at pedestrians for car drivers and dual drivers. Error bars represent the 95% confidence intervals. \*  $p < .05$ , \*  $p < .10$

### 3.2 Visual scan behaviour

Four observations were excluded due to outlying mean gaze coordinates on the x-axis and seven observations were excluded due to outlying mean gaze coordinates on the y-axis. The deviation of the

coordinates from the reference point on the x-axis was larger for dual drivers compared to car drivers (although not significant at the .05 alpha level: estimate = -0.01,  $t(62.35)^1 = -1.80$ ,  $p = .08$ ). On the y-axis the opposite pattern was found: the deviation from the reference point was smaller for dual drivers compared to car drivers (although not significant at the .05 alpha level: estimate = 0.01,  $t(54.88) = 1.87$ ,  $p = .07$ ).

### 3.3 Driving variables

For the analysis of the mean speed 15 outlying observations were discarded and for the analysis of SDLP eight outlying observations were discarded. No differences in mean speed were observed for dual drivers and car drivers (estimate = 0.36,  $t(58.66) = 1.4$ ,  $p = .17$ ). No differences in SDLP were observed between the two groups (estimate = -0.04,  $t(59.92) = -0.65$ ,  $p = .52$ ).

Table 2: Overview of the mean values and according statistics related to the analyses of visual scan behavior and driving variables

	dual driver	car driver	statistics
<b>visual scan strategy</b>			
deviation x-axis	.23	.22	estimate = -.01, $t(62.35) = -1.80$ , $p = .08$
deviation y-axis	.05	.06	estimate = .01, $t(54.88) = 1.87$ , $p = .07$
<b>driving variables</b>			
mean speed (in m/s)	12.56	12.92	estimate = .36, $t(58.7) = 1.40$ , $p = .17$
SDLP	1.70	1.66	estimate = -.04, $t(59.92) = -.65$ , $p = .52$

### 3.4 Event analysis

For the analysis of glance frequencies at motorcycles one outlying observation was discarded. For the analysis of glance frequencies at cars, two observations were discarded.

During the events, dual drivers gazed more at motorcycles compared to car drivers although this effect did not reach significance at the .05 alpha level (estimate = -0.16,  $z = -1.64$ ,  $p = .10$ ). On the other hand, dual drivers and car drivers did not differ in the number of glances they made at cars during the events (estimate = -0.17,  $z = -1.34$ ,  $p = .18$ ).

No significant effect of group was observed for dwell times: neither for the dwell time percentages related to motorcycles nor for the dwell time percentages related to cars.

Finally, we analysed the gazes at the left and rear-view-mirror during event (c). Dual drivers made more glances in the rear-view-mirror compared to car drivers (although not significant at the .05 alpha level:  $U = 378,5$ ,  $z = -1.80$ ,  $p = .07$ ). The number of glances in the left mirror were not significantly different

<sup>1</sup> The degrees of freedom associated with the t-tests are approximated based on the Satterthwaite method.

between dual drivers and car drivers ( $U = 456.00, z = -0.75, p = .46$ ). Dwell time percentages related to the left and rear-view- mirror were the same for the two groups (left mirror:  $U = 417.00, z = -1.27, p = .20$ , rear view mirror:  $U = 508.00, z = -0.47, p = .96$ ). See Figure 6.

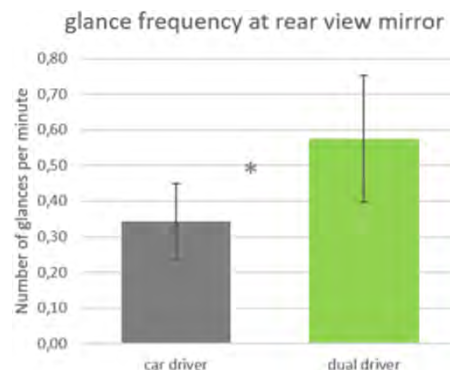


Fig. 6: Glance frequency at the rear-view-mirror for car drivers and dual drivers during event (c). Error bars represent the 95% confidence intervals.  
\*  $p < .10$

Table 3: Overview of the mean values related to the glance frequencies and dwell time percentage analyses over the whole experiment and during the events.

	glance frequency (in number of glances per minute)			dwell time percentage		
	dual driver	car driver	statistics	dual driver	car driver	statistics
<b>whole experiment</b>						
rear view mirror	0.26	0.28	$U = 492.00, z = -0.26, p = .79$	1.63	1.59	$U = 492.00, z = -0.26, p = .79$
left side mirror	0.37	0.38	$U = 504.00, z = -0.10, p = .92$	2.56	2.35	$t(62) = -0.93, p = .36$
right side mirror	0.09	0.10	$U = 500.50, z = -0.15, p = .88$	0.31	0.29	$U = 480.50, z = -0.42, p = .68$
speedometer	0.74	0.86	$U = 410.00, z = -1.36, p = .17$	3.86	6.10	$U = 339.00, z = -2.32, p < 0.05$
cars	3.05	2.77	$U = 364.00, z = -1.98, p < .05$	18.85	17.57	$U = 420.00, z = -1.23, p = .22$
motorcycles	0.18	0.18	$U = 501.00, z = -0.14, p = .89$	1.21	1.17	$U = 472.00, z = -0.53, p = .60$
pedestrians	0.37	0.32	$U = 411.00, z = -1.35, p = .18$	1.72	1.41	$U = 379.00, z = -1.78, p = .08$
signs	0.37	0.34	$U = 462.00, z = -0.67, p = .51$	1.72	1.59	$U = 446.00, z = -0.88, p = .38$
<b>event analysis</b>						
cars	0.87	0.74	estimate = -0.16, $z = -1.34, p = .18$	4.20	4.26	estimate = 0.06, $t(61.71) = 0.10, p = .92$
motorcycles	0.64	0.55	estimate = -0.16, $z = -1.64, p = .10$	3.21	2.96	estimate = -0.25, $t(65.41) = -0.74, p = .46$
rear view mirror (event c)	0.58	0.34	$U = 378.500, z = -1.80, p = .07$	1.79	1.73	$U = 508.00, z = -0.05, p = .96$
left side mirror (event c)	0.98	0.80	$U = 456.00, z = -0.75, p = .46$	4.85	4.22	$U = 417.00, z = -1.27, p = .20$

## 4 Discussion and Conclusions

In this study we tested whether dual drivers use different visual strategies than “regular” car drivers and if dual drivers perform better in predicting potential conflicts with PTW. To answer these research

questions we used an innovative experimental VR simulation design with eye-movement registration. Driving and visual variables of 33 dual drivers and 31 car drivers were compared.

The results include some significant and marginally significant differences between dual drivers and pure car drivers, which all suggest that dual drivers gaze more and have a more spread 'vision' towards the traffic environment than car drivers. Duals drivers in general glanced more towards other road users, which was significant for other cars and a trend for pedestrians. During the risky events, dual drivers also gazed more at the potentially conflicting motorcycles (trend), and they looked more often in their rear-view-mirror when an overtaking manoeuvre had to be made (trend). Car drivers on the other hand spent significantly more time gazing inside the car, namely at the speedometer, than dual drivers.

Dual drivers also had a more dispersed horizontal scanning pattern (trend), which corresponds with the results on the glances at AOIs. Indeed, dual drivers made more glances at other road users, and thus more glances to the traffic environment. Car drivers on the other hand had a more spread vertical scanning pattern (trend), which also corresponds to the finding of more glances inside the car.

These subtle results on visual measures are in line with other studies, where the differences were more striking [e.g. 5]: dual drivers had longer gazes (on video clips) at approaching conflicting motorcycles at junctions, as compared to car drivers.

An explanation of the better visual measures for dual drivers can be that they are constantly aware that a motorcycle might approach and that they know which manoeuvres can be expected from motorcycles [11]. An improvement in motorcycle sensory conspicuity through teaching car drivers from where and in what circumstances a motorcycle may appear, might enhance their motorcycle detection performance.

Overall, the method used can be recommended for research. Nevertheless did we experience some drawbacks and challenges related to the fact that we used a novel tool on the market, the SMI HTC Vive including eye-tracking. With regard to feasibility for future research, these aspects should be considered. There was no available software for the eye-tracking data linked to the virtual world (e.g. for automated AOI analysis), which lay high demands on the data-logging interface development and on the raw data processing. Moreover, Unity programming of VR scenarios proved to be very labour-intensive when the aim is to have as much as possible controlled experimental events. Another finding was that the simulated hands on the steering wheel distracted some participants, as they did not copy the real hands, so it should be considered removing them in future studies.

## Acknowledgment

We would like to thank our BRSI colleagues Brecht Pelssers and Philip Temmerman who assisted in testing the different scenarios, Ward Vanden Berghe for his constructive input on the data acquisition and our KfV colleagues Natasa Pejicic and Elias Raunikar for their assistance during the fieldwork.

## References

- [1] ACEM, Motorcycle Accident In-Depth Study MAIDS: In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers: Final report 2.0, ACEM: Brussels, 2009.
- [2] Van Elslande, P., J.-Y. Fournier, and C. Parraud, Powered two-wheelers in urban environment: a detailed accident analysis. *International Journal of Safety and Security Engineering*, 2015. 5: p. 322-335 3.
- [3] Martensen, H., and M. Roynard, MOTAC – Motorcycle accident causation. Analyse approfondie des accidents graves et mortels impliquant des motocyclistes. 2013: Bruxelles, Belgique : Institut Belge pour la Sécurité Routière – Centre de Connaissance Sécurité Routière. (English factsheet: MOTAC Motorcycle Accident Causation. Available at: [https://www.bivv.be/publications/MOTAC%20%E2%80%93%20Motorcycle%20accident%20causation%20\(1\)/MOTAC%20%E2%80%93%20Motorcycle%20accident%20causation%20\(EN\).pdf](https://www.bivv.be/publications/MOTAC%20%E2%80%93%20Motorcycle%20accident%20causation%20(1)/MOTAC%20%E2%80%93%20Motorcycle%20accident%20causation%20(EN).pdf)) [Accessed 10 July 2017].
- [4] Martensen, H., @RISK: Analyse du risque de blessures graves ou mortelles dans la circulation, en fonction de l'âge et du mode de déplacement. 2014 : Bruxelles, Belgique : Institut Belge pour la Sécurité Routière – Centre de Connaissance Sécurité Routière. (English summary : @RISK Analysis of the risk of serious or fatal injuries in traffic according to age and mode of transport. Available at: <http://www.bivv.be/publications/@%20Risk/@%20Risk.Analysis%20of%20the%20risk%20of%20serious%20or%20fatal%20injuries%20in%20traffic%20according%20to%20age%20and%20mode%20of%20transport.pdf>) [Accessed 10 July 2017].
- [5] Crundall, D., E. Crundall, D. Clarke, and A. Shahar, Why do car drivers fail to give way to motorcycles at t-junctions? *Accident Analysis and Prevention*, 2012. 44: p. 88-96.
- [6] Hosking, S. G., C.C. Liu, and M. Bayly, The visual search patterns and hazard responses of experienced and inexperienced motorcycle riders. *Accident Analysis and Prevention*, 2010. 42: pp. 196-202.

- [7] Schultheis, M.T., and A.A. Rizzo, The application of virtual reality technology in rehabilitation. *Rehabilitation Psychology*, 2001. 45: p. 296-311.
- [8] LaViola Jr, J. J., A discussion of cybersickness in virtual environments. *SIGCHI Bulletin*, 2000. 32: p. 47-56.
- [9] Motorradbroschüre: Respect. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie Radetzkystraße 2, 1030 Wien. Available at: [https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/strasse/verkehrssicherheit/downloads/respect2015\\_ua.pdf](https://www.bmvit.gv.at/service/publikationen/verkehr/strasse/verkehrssicherheit/downloads/respect2015_ua.pdf) [Accessed 10 July 2017].
- [10] Vansteenkiste, P., G. Cardon, R. Philippaerts, and M. Lenoir, Measuring dwell time percentage from head-mounted eye-tracking data – comparison of a frame-by-frame and a fixation-by-fixation analysis. *Ergonomics*, 2014. 58: 712-721.
- [11] Gershon, P., Ben-Asher, N., and D. Shinar, Attention and search conspicuity as a function of their visual context. *Accident analysis and prevention. Accident Analysis and Prevention*, 2012. 44: p. 97-103.



The proposed approach of Knowledge Base for the identification  
of promising countermeasures to reduce casualties amongst  
motorcyclists

Der Ansatz einer Wissensbasis für die Identifikation von zielführen-  
den Gegenmaßnahmen zur Reduzierung von Motorradunfällen

Giovanni Savino

Department of Industrial Engineering, University of Florence, Italy &  
Monash Accident Research Centre, Monash University, Melbourne, Australia

Luca Zanovello

Ducati Motor Holding S.p.A., Italy

Niccolò Magnini, Gustavo Gil, Marco Pierini

Department of Industrial Engineering, University of Florence, Italy

Michael Fitzharris

Monash Accident Research Centre, Monash University, Melbourne, Australia

## Abstract

### Research question / Starting point for investigation:

The improvement of motorcycle and moped riders' safety is in the European agenda. Regrettably, the current scattered approach adopted by the industry and the academia is inefficient. The identification of a shared motorcycle safety roadmap may optimise the efforts of the stakeholders. To contribute on that, this paper presents a method to enable a collaborative evaluation of the potential effectiveness of safety solutions for motorcycles by exploiting the knowledge and experience of the stakeholders in the field of motorcycle safety.

### Methods:

The method presented here and proposed for future use relies on a "Knowledge Base" approach, in which expert opinions regarding the relevance of a set of items in a range of situations are collected, together with empirical exposure data. Turned into motorcycle safety, the items to be evaluated were safety functions, and the exposure data were real crash data. A Knowledge Base of Motorcycle Safety (KBMS) was used to collect expert opinions regarding the potential effectiveness of a given set of safety systems with respect to a set of given crash scenarios. The real data allow considering actual frequencies for the given scenarios. The outcome of the KBMS was a computed priority list of the most promising safety functions for the improvement of motorcyclists' safety.

### Results:

The outcome of this work was the implementation of a complete framework for a Knowledge Base of Motorcycle Safety, to be administrated by the active research community in our field. One example of its application is also presented.

### Impacts / Effects / Consequences:

When reaching an agreement in the definition of the KBMS, its future application will contribute in identifying the priority list of safety solutions for powered two wheelers.

The proposed approach of Knowledge Base for the identification of promising countermeasures to reduce casualties amongst motorcyclists

## Introduction

In the last fifteen years, the improvement of motorcycle and moped riders' safety has represented an important topic for the European Commission, who has supported several research projects with the goal of reducing the risks for Powered Two-Wheeler (PTW) users. Among these projects, it is worth mentioning PISa and SIM in the 6<sup>th</sup> Framework Programme and Saferider and ABRAM in the 7<sup>th</sup> Framework Program, which analysed and developed new prototypes of rider assistance systems. In the PISa project, the first prototype of an autonomous emergency braking system applied to a motorcycle was built and tested with professional riders (G. Savino et al., 2010). The SIM project aimed at the improved stability of a tilting three-wheeled vehicle by developing a prototype system that combined automatic brake force distribution, traction control and semi-active suspensions (Pieve, Santucci, & Di Tanna, 2010). In Saferider, a team of researchers developed a prototype of intersection support system able to detect the road environment including oncoming road users, to perform a threat assessment for the risk of collisions at intersections (Pieve et al., 2010). The ABRAM project investigated the effects of a prototype automatic deceleration system in a light motorcycle, involving a set of non-professional riders (Giovanni Savino, Pierini, Thompson, Fitzharris, & Lenné, 2016). All the projects also developed and tested unconventional means of interaction between the vehicle and the rider.

In parallel with the academic and public research, the motorcycle industry and the OEMs started introducing in the PTW market new rider assistance systems that help the user in challenging situations. The Antilock Braking System (ABS), initially available in the late-1980s for a very limited number of high-end motorcycles, has become mandatory in Europe on all new motorcycles since 2016. ABS was further developed to avoid wheel locking also during heavy braking while cornering, by modulating the braking force on the front and rear wheel (Matschl, 2014). Semi-active suspensions for improved stability of the PTW are also available in the market, as well as traction control systems, tyre pressure monitoring systems, adaptive headlights and more.

In addition to currently available systems, novel assistive systems for PTWs were announced for a future introduction in the market, namely an adaptive cruise control, a lane change assist (Amodio, Panzani, & Savaresi, 2017; Ducati Press, 2018), and collaborative warning systems (Scholliers, Van Sambeek, & Moerman, 2017).

The development of new assistance systems has certainly benefitted of the technologies developed for other vehicles, especially those for passenger cars. Some of the aforementioned rider assistance systems may appear a simple translation of car systems to PTWs, for example ABS, Autonomous Emergency Braking (AEB), Adaptive Cruise Control (ACC), blind spot detection, etc. The availability of smaller, lighter and more reliable devices such as obstacle detection systems, hydraulic units, and inertial measurement units are certainly of good help for the developers. However, translating new safety

technologies from the automotive industry to PTWs is far from being trivial and implementing rider assistance systems is a challenging task. First, PTWs are tilting vehicles. The way they lie with respect of the road environment changes all the time and small oscillations can affect the possibility of detecting obstacles even during straight riding (Gil, Savino, Piantini, & Pierini, 2018). Second, riders are not firmly secured with the vehicle: they simply sit on it. This makes it challenging to intervene in the vehicle dynamics without the risk of destabilising the rider. Third, the rider mass is not negligible with respect of the vehicle. Riders usually modify their posture during the riding task affecting vehicle motion, thus making it challenging to detect the vehicle status and the rider position. Also, if scared or simply surprised by an unexpected behaviour of the vehicle, the rider may respond with abrupt inputs, or move out of position, or eventually lose control of the vehicle. These are just few examples of aspects that require adequate consideration and extensive testing before new assistance systems may become fully reliable, and, partially linked to that, accepted by the users.

The approach of testing all the possible safety functions to identify those with the highest impact may not be feasible. In fact, the challenges of conceiving, developing, testing and fine-tuning novel solutions, as well as the challenges required to make them affordable and acceptable by riders, and finally the challenges for obtaining a good penetration rate in the circulating fleet to achieve some safety benefits at the population level, would not allow the adoption of a trial and error strategy. The example of the motorcycle ABS, the safety benefits of which were eventually proven, shows that new technologies or transposed technologies, even when effective, may take more than a decade from their first introduction to affirmation. In such context, it would appear wise to focus the research and industrial efforts on the most promising safety functions.

In the PISa, SIM and Saferider projects, the identification of the target safety functions to be developed was rightfully the initial step of the research. In particular, the PISa project adopted a systematic approach for the prioritisation of a broad set of safety functions with a pool of experts estimating the potential effectiveness of each function.

The priority list of PISa is probably the single example of rigorous and complete exercise of prioritisation of PTW safety technologies currently available in the public domain. Such work was complete at the end of project: any extensions in terms of different sets of safety systems, different groups of evaluators, or different crash datasets for the system assessment were not foreseen.

A follow-up of the PISa evaluation was proposed by Gil et al. adopting the so-called Knowledge Base of Motorcycle Safety (KBMS) (Gil et al., 2017). KBMS is a method that enables a collaborative evaluation of the potential effectiveness of safety solutions for PTWs by exploiting the knowledge and experience of stakeholders in the field of motorcycle safety. The approach of KBMS was implemented in a tool for the identification of the most promising safety functionalities and for supporting the

decision-making process of the stakeholders, in order to maximise the impact on PTW riders' safety by shortening R&D expenditure and time.

## Method






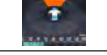
					
		Crash case 1	Crash case 2	Crash case 3	...
	SF A	5	4	0	
	SF B	2	3	2	
	SF C	0	5	4	
	...				

Fig. 1: Example of the PISa evaluation matrix with each score from 0 to 5 indicating the estimated effectiveness of the X-safety function over the Y-crash case. SF: safety function.

Table 1: PISa priority list showing the top-14 safety functions.

1	Automatically stop other vehicle without input from driver (car AEB)
2	Warn other vehicle of PTW presence
3	Communicate and warn PTW rider that opponent vehicle is crossing PTW's path
4	Automatically stop PTW without input from rider
5	Detect and warn PTW that opponent vehicle is crossing PTW's path
6	Improve PTW conspicuity
7	Avoid locking of wheels (ABS)
8	Amplify braking force
9	Balance front to rear braking force
10	Warn PTW rider of traffic signal/pedestrian crossing (status change from green to red)
11	Reduce closing speed/ maintain distance (ACC)
12	Warn PTW rider that leading vehicle slowing/stopping
13	Protect fallen/rolling rider's body
14	Restrict PTW to posted speed limit

The decision of investing resources in the development of one safety technology from a given set of options, both for the academia and for the industry, is driven by many factors. Here we will discuss the factor related to the expected impact on PTW rider safety, i.e. the capability of a given technology, or rather, a given function, to avoid crashes or mitigate the severity of the crash outcomes. To obtain an important impact on safety, a function needs to be applicable to many critical situations, but it also needs to produce significant effects in the situations where it intervenes. In other words, it should be highly effective when applicable.

First, we will recap the prioritisation process conducted in the PISa project. Then we will present the methodology and our application of the KBMS for a given set of safety functions. The selection of safety functions, their taxonomy needed for the expert opinion, as well as the results of the evaluation will be discussed.

## Background: PISa priority list of safety functions

For the prioritisation of the safety functions, the investigators of PISa identified a set of in-depth crashes occurred in the period 1996-2006, selected from three datasets available at the project consortium level. These datasets were: OTS, COST 327 and a forensic fatal dataset in Munich. Sixty (60) cases were selected based on the following priority criteria: (i) matching with the most frequent crash scenarios according to the findings of a previous project, APROSYS SP4 (König, Berg, & Center, 2007); (ii) having the greatest variations within the same crash scenario; (iii) availability of detailed sketches of the crash circumstances; (iv) availability of estimated speeds pre- and post-impact; (v) availability of video footage of drive-through events recorded in the crash scene; (vi) availability of vehicle details; (vii) availability of rider details. In the investigators' intentions, the PISa in-depth crash dataset represented the best convenience sample in terms of representativeness, variations and level of detail.

The safety functions to be assessed were a broad collection of technologies and safety functionalities identified by the investigators through a literature review of safety systems for PTWs considering the different phases of intervention: pre-crash (n.37), crash (n.5) and post-crash (n.1). The skewed proportions rightfully suggest that the focus of the project was on active safety.

The evaluation of the safety functions was conducted by a team of investigators of the PISa: they subjectively assessed the estimated effectiveness that each of the 43 safety functions could have had in each of the 60 in-depth crash cases. For the assessment, a rating scale from 0 to 5 was used: 0 indicating that the function would not have had any benefit in the given crash case, 4-5 indicating that the function would have had strong positive impact in the given case, in terms of either crash avoidance or injury mitigation. A scheme of the rating process is depicted in *Figure 1*. First, the team of evaluators analysed the safety functions in a subset of crash cases during plenary sessions, to build up a common understanding of the functions and of the methodology in general. Then, the remaining crash cases were divided among three smaller teams, which independently assessed the complete set of safety systems. Finally, the crash cases and the potential effectiveness of the safety functions were discussed in a final plenary meeting to reach consensus on the evaluations.

For each function, the sum of the ratings in each of the 60 cases represented the total score used for the prioritisation. The top 14 ranking of the PISa is presented in *Table 1*. The top three functions require vehicle to vehicle communication. The fourth is a PTW embedded function and can be translated into

an autonomous emergency braking applied to PTWs. The fifth function is a collision warning alerting the rider of potential conflicts with oncoming traffic. In the PISa study, antilock braking was ranked 7<sup>th</sup>.

## Knowledge Base in brief

The Knowledge Base method (KB) was first introduced in the 1970s in the field of artificial intelligence. A KB consists in creating an organised database of facts and expert understanding that enables the computation of rankings to be used in subsequent decision-making processes. KB has been successfully used in several fields ever since, and one recent application was proposed for supporting the decision-making in the field of motorcycle safety. Such application was indicated as Knowledge Base of Motorcycle Safety (KBMS).

In this study, for a given set of safety functions, we used the knowledge base approach to estimate which functions would have had the largest effectiveness on motorcycle safety. Therefore, for the application of the KBMS we identified: (i) a set of safety functions to be evaluated; (ii) a set of real world crashes for a given period of time in a given region, segmented into (iii) a predefined set of crash scenarios; (iv) a group of experts to assess the potential effectiveness of the safety functions in the given crash scenarios; and (v) a set of criteria for the assessment. The items (i), (iii) and (v) define the structure of the KBMS (evaluation framework), whereas the crash data and the scores provided by the experts constitute the numerical data of the KBMS. A multidimensional matrix with cells indexed by crash scenario type, safety function, and code of the individual expert was created. Each cell contained the score that one expert assigned to a given safety function when applied to a particular crash scenario. More dimensions could be added: this can be done for example by adding an index for the classification of the experts based on their background or experience. In addition, the crash cases segmented into the given crash scenarios were used to identify weighting coefficients for scaling the effectiveness ratings based on the frequency of each scenario. Weighting factors may be computed in a way that the relevance of the crash data is higher for more recent data, by using different weighting coefficients for different age of the data. In our example, we assumed the same weight for all the data. The process of prioritisation was obtained by means of algebraic equations operated on the multidimensional rating matrix involving the weighting factors of the scenario frequencies. By doing so, for example, safety functions with high effectiveness in frequent scenarios would obtain higher priority compared to functions with similar effectiveness in less frequent scenarios. A graphic representation of the whole process is depicted in *Figure 2*. Full details of the methodology are available in (Gil et al., 2017).



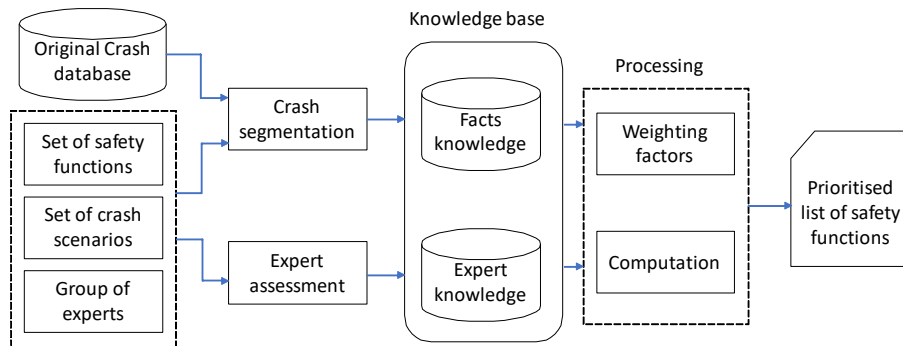


Fig. 2: Graphical representation of the KBMS method for the prioritisation of safety functions.

## Safety functions

To provide an example of the application of the KBMS method, we selected five safety functions with the following criteria: (i) a function related to an established system, being the antilock braking (ABS); (ii) a function referring to an emerging technology already in the market, the cornering ABS; (iii) a function related to a technology that will likely enter the PTW market in the near future, being the adaptive cruise control (ACC); (iv) and (v), two safety functions under development and with high priority according to the PISa ranking: Motorcycle Autonomous Emergency Braking (MAEB) and collision warning (CW). A description of the selected safety functions (SFs) is provided hereafter.

*SF1. Avoid wheel lock while braking along straight path.* The rider can brake on straight roads with any braking force in any road surface conditions without reaching wheel lock.

*SF2. Improve vehicle stability for braking while leaning in a cornering.* The rider can brake with any braking force in any road surface conditions without reaching wheel lock. Stability is guaranteed while cornering, and the vehicle maintains the curved trajectory even during heavy braking.

*SF3. Monitor the distance with leading vehicle and maintain a safety gap by reducing the speed.* The rider sets a desired cruising speed. When the distance with leading vehicles is smaller than a computed safety gap, the cruising speed is automatically reduced until the safe condition is restored.

*SF4. Detect imminent frontal collisions and react by slowing down the vehicle even without a deceleration input from the rider.* When an imminent frontal impact becomes unavoidable, the speed of the vehicle is reduced to achieve a lower impact velocity. If the rider engages with the brakes before the collision, braking pressure may be increased automatically to achieve the maximum feasible deceleration.

*SF5. Identify potential conflicts with surrounding vehicles and warn the rider for the risk of collision.* Potential conflicts are detected by analysing the relative position and speed of surrounding vehicles. If

a collision is predicted such as it may not be avoided but with a quick control action of the drivers, both rider and driver are warned about the imminent risk.

## Crash database and crash scenarios

The selected crash database was the national road crash database of the Italian National Institute of Statistics (ISTAT) that included all Police reported injury crashes in Italy. We considered the data of the three-year period 2010-2012, corresponding to 205,272 PTW crashes. For each case, the database included the following variables: date and time, place, crash investigation team, type of road, road signs, weather conditions, type of crash, type of vehicles involved, crash circumstances, whether fatal for one or more subjects involved.

Mass crash databases often miss the level of detail of the crash circumstances needed for an accurate classification of the crash scenarios. Here we considered the variables available in the ISTAT database to identify the smallest set of crash scenarios with the highest coverage of the crash cases. Finally, we identified 9 crash scenarios covering 91% of the available cases. These were the following: (A) intersection and angle collision (25%); (B) intersection and sideswipe collision (8%); (C) straight road and sideswipe collision (9%); (D) single-vehicle crash (7%); (E) head-on collision (7%); (F) rear-end collision (11%); (G) hit obstacle / hit pedestrian (7%); (H) straight road and angle collision (12%); (I) at roundabouts (5%).

## Pool of experts

We collected the expert opinion of 7 academics external to our team of investigators. They were mechanical engineers with a PhD and owned a motorcycle licence. Five of them had extensive experience in the field of mobility and road vehicles (mean experience 10 years, range 7-15).

## Evaluation criteria

The evaluators were asked to assess the effectiveness of each safety function in each crash scenario, considering whether the function may prevent the conflict scenario from occurring, or avoid crashes, or mitigate crash outcomes. To facilitate the interpretation of the proposed crash scenarios, each scenario was described with one or more pictograms depicting possible conflicting trajectories of the PTW and opponent car for that scenario.

A Likert scale was in place to assess the effectiveness of the functions. The ratings ranged from 0 to 4. A rating of 0 indicated that the given function would never apply to the given scenario or may apply but with no effect. If the function applies to the given scenario, the ratings 1, 2, 3 and 4 were assigned when such function would produce respectively little, small, important and very important contribution.

With such rating scale, the values 0, 1, and 2 corresponded to negative responses, whereas the positive responses were 3 and 4. The scale from 0 to 4 was conceived to avoid intermediate responses such as ‘maybe’ or ‘sometimes’. An example of the rating chart used in the study is presented in Figure A1 in the Appendix.

The proposed linear scale had a downside though. In fact, when averaging the scores of different evaluators for the same function in the same crash scenario, an intermediate output (e.g., 2) may result both from consistent negative ratings (all 2 ratings), and from a combination of positive and negative scores (e.g., 50% of 0 ratings and 50% of 4 ratings). A possible solution was to adopt a non-linear scaling for the ratings assigning the score of 0.6 and 1.2 respectively to the ratings of 1 and 2, while maintaining the same values for the other ratings. When doing so, four experts that assigned a rating of 2 to a function in a scenario would produce a mean score of 1.2. A mean of 2 would result from two 0 ratings and two 4 ratings instead. An intermediate score such as 2 would therefore indicate the presence of some positive responses, thus discriminating it from the case of a consistent set of intermediate ratings.

## Results

The KBMS was applied to 5 safety functions considering 9 crash scenarios and the corresponding 186,297 PTW crash cases from the ISTAT database in the period 2010-2012 (91% of the cases available in the database), involving 7 academic experts.

The first result was the matrix of the mean ratings of the functions in the different crash scenarios presented in *Figure 3*.

		Crash scenarios								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Safety functions	1 (ABS)	3.1	2.4	2.4	1.6	3.4	3.1	3.2	2.8	2.3
	2 (Corner ABS)	1.8	2.1	1.1	4.0	1.0	1.9	2.1	1.1	3.0
	3 (ACC)	0.1	0.1	1.6	0.0	0.2	2.6	0.0	0.3	0.5
	4 (MAEB)	2.6	1.4	1.1	1.0	2.7	3.1	3.2	2.6	2.2
	5 (CW)	3.2	2.7	2.9	0.6	2.8	3.2	0.9	3.0	3.0

Figure 3. Matrix of the mean rating assigned by the experts to the five technologies in the nine crash scenarios (linear rating; before weighting with respect to the crash frequencies). Ratings from 0 to 4. Pictograms of the crash scenarios in the matrix correspond to a particular sub scenario used in the evaluation process and are included in the figure to suggest an example of the broader crash scenario.

Overall, the SF1 (ABS) was the one that received the highest ratings, with five positive ratings (mean value >2.5) and no mean ratings lower than 1.5. Interestingly, the highest effectiveness was estimated for the head-on crash scenario (E). The lowest rating for ABS was assigned to the single vehicle crash scenario (D).

A mean rating of 4 was assigned to SF2 (Cornering ABS) in scenario D (single vehicle scenario). This result implies that all the experts involved in the assessment agreed that the effectiveness of a cornering ABS in such scenario is expected to be excellent. Cornering ABS was also positively evaluated for roundabout crash scenarios, in which PTW leaning is likely to be involved. As we may have expected, the ratings assigned to SF1 and SF2 were somewhat complementary.

The second and third better evaluated functions were respectively SF5 (CW) and SF4 (MAEB). SF5, corresponding to a collision warning technology, was positively evaluated in all but two scenarios, with a mean rating equal or greater than 3 in four scenarios (A, F, H, and I). In the single vehicle scenario (D) and in collisions with fixed obstacles or pedestrians (G), SF5 was considered almost not applicable. We did not expect such result for scenario G, where riders may be warned about the risk of colliding with an obstacle in their path. On the contrary, SF4 (MAEB) received a positive rating in scenario G (the highest rating for that function), suggesting that with objects on the road or pedestrians abruptly entering the PTW's path, an automatic system that reacts in split second is more likely to have an influence than just warning the rider. SF4 was also positively evaluated in scenarios A, E, F, and H. In particular, for the car following scenario (F), the mean rating was greater than 3.

SF3 (ACC) was positively evaluated for the car following scenario (F). Some effectiveness was indicated for sideswipe collision situations in a straight (which may include for example lane change manoeuvres in highway setting), whereas in the remaining scenarios the mean ratings were below 1.

When applying the weighting factors that considered the frequency of the different scenarios we obtained the weighted effectiveness matrix depicted in *Figure 4*.

		Crash scenarios									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total score
Safety functions	1 (ABS)	0.78	0.19	0.21	0.12	0.23	0.36	0.24	0.34	0.10	2.6
	2 (Corner ABS)	0.45	0.16	0.10	0.30	0.07	0.21	0.16	0.13	0.14	1.7
	3 (ACC)	0.02	0.01	0.14	0.00	0.01	0.29	0.00	0.04	0.02	0.5
	4 (MAEB)	0.65	0.11	0.10	0.07	0.18	0.36	0.23	0.31	0.10	2.1
	5 (CW)	0.81	0.21	0.25	0.04	0.18	0.36	0.06	0.36	0.14	2.4

Fig. 4: Matrix of the incidence-weighted effectiveness of the five technologies in the nine crash scenarios (linear rating). Total score ranging from 0 to 4.

The single weighted scores can be used for comparisons but require some interpretation as they have little explicit meaning in absolute terms. Let us assume that a function Y scored a full effectiveness (rating 4) in scenario X having a prevalence of 10% of all the crashes in the dataset; that would result in a score 0.4 in the cell X,Y. As a practical example, SF1 (ABS) scored 0.78 in scenario A. This is the result of a high rating (3.1) in a frequent scenario (weighting factor 0.25 as scenario A is associated to the 25% of the crashes in the dataset).

Summing up the scores of each safety function we obtained the global effectiveness of the functions weighted according to the relevance of each crash scenario. This is presented in the picture as the total score, ranging from 0 to 4. A total score of 4 would be obtained by a function scoring 4 in all the scenarios. Given the fact that the nine crash scenarios represent 91% of the ISTAT crashes, the maximum score that could be obtained in our table was 3.6. As a practical example of the total score, when summing up all the scores for SF1 we obtained 2.6: that represents 65% of the full effectiveness (4).

SF1 (ABS) is the function with the highest total score, as a result of the positive ratings obtained in high frequency scenarios. It is also clear that the effectiveness due to scenario A resulted comparable with that of the combined scenarios F and H.

SF2 (cornering ABS) obtained a total score of 1.7. The weighted effectiveness was higher than that of ABS in scenario D and I. The increased effectiveness of a cornering ABS compared to standard ABS due to those two scenarios was 0.22, representing a potential 8% increase.

SF3 (ACC) obtained a total effectiveness of 0.5, being 19% of that of ABS. The weighted effectiveness in the nine scenarios is always lower than that of SF1. However, the benefits may be considered complementary to those of ABS. In fact, ACC function does not require the rider to perform any action to intervene, whereas ABS requires the rider to brake. In that perspective, the 0.29 effectiveness of ACC obtained in scenario F may represent an additional 11% of that of a PTW with ABS only.

SF 4 (MAEB) obtained a total score of 2.1 (80% of that of SF1), whereas SF5 (collision warning) obtained a total score of 2.4 (92% SF1), the latter being the second most effective function of the given set.

We argued that a linear scaling of the reviewers' ratings may produce misleading results. In fact, functions with consistently poor ratings in some scenarios would obtain an increased overall effectiveness due to the scores in those scenarios, even if those functions were considered to produce little impact in such scenarios. To mitigate this downside of the linear scaling, we repeated the computation with a non-linear scaling that hampered the negative ratings. We mentioned before that with this approach, a mean rating of 2 could be obtained only in cases of a combination of positive and negative opinions of the reviewers, whereas in the case of a consensus of negative ratings of 2 the score would be only 1.2. Similarly, when reviewers agree on a negative score of 2, with the non-linear scaling the weighted effectiveness contributes to the total score only by a proportion of 60%. The results of the KMBS with the non-linear scaling (0, 0.6, 1.2, 3, 4) are provided in *Figure 5* and *Figure 6*. A comparison of the matrices with linear and non-linear scaling showed that the results were not strongly affected by the different scaling and the final ranking did not change.

		Crash scenarios								
		A	B	C	D	E	F	G	H	I
Safety functions	1 (ABS)	3.0	2.3	2.2	1.5	3.4	3.0	3.2	2.8	2.1
	2 (Corner ABS)	1.7	2.0	1.0	4.0	0.8	1.7	2.0	0.9	2.9
	3 (ACC)	0.1	0.1	1.5	0.0	0.1	2.4	0.0	0.3	0.4
	4 (MAEB)	2.5	1.0	0.9	1.0	2.6	3.1	3.2	2.5	2.0
	5 (CW)	3.1	2.5	2.7	0.6	2.4	3.1	0.9	3.0	2.9

Fig. 5: Matrix of the mean scores assigned by the experts to the five technologies in the nine crash scenarios (scaled rating; before weighting with respect to the crash frequencies). Ratings from 0 to 4.

		Crash scenarios									
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	Total score
Safety functions	1 (ABS)	0.76	0.17	0.19	0.11	0.22	0.35	0.23	0.34	0.10	2.5
	2 (Corner ABS)	0.42	0.16	0.09	0.30	0.05	0.20	0.14	0.11	0.13	1.6
	3 (ACC)	0.01	0.01	0.13	0.00	0.01	0.27	0.00	0.03	0.02	0.5
	4 (MAEB)	0.63	0.08	0.08	0.07	0.17	0.35	0.23	0.30	0.09	2.0
	5 (CW)	0.78	0.19	0.24	0.04	0.16	0.35	0.06	0.36	0.13	2.3

Fig. 6: Matrix of the incidence weighted effectiveness of the five technologies in the nine crash scenarios (scaled rating). Total score ranging from 0 to 4.

## Discussion

In this study, we briefly presented the approach of the knowledge base of motorcycle safety for the prioritisation of PTW safety functions. We also showed one implementation example of such method for a set of safety functions including one established technology, one novel system, and three future technologies. The obtained results were provided in terms of weighted effectiveness scores for each safety function. The results enabled a comparison between functions and the related scenarios of influence, as further detailed hereafter.

### Safety functions

We applied the KMBS to a selected set of safety functions. In the PISa project, a much broader set of functions was assessed. A large set of functions must be preferred as it allows for comparisons between a variety of possible safety solutions. The downside is the increased effort required by experts to evaluate many functions.

In our example of KBMS, the function associated to the well-established technology (ABS) obtained a fairly high total score of 65% of the maximum effectiveness. In the scientific literature, researchers showed that ABS had a real-world effectiveness of about 30% (Rizzi, Strandroth, Kullgren, Tingvall, & Fildes, 2015). The effectiveness obtained with KBMS was more than double. In our KBMS survey, experts assigned a rating of 0 if they believed that the function could not apply at all; otherwise, experts were asked to provide their ratings based on the expected effectiveness assuming that the function did

apply. The assumption of 100% applicability is likely to lead to an overestimate of the absolute effectiveness of the safety function.

SF2 has been implemented in a system known as cornering ABS, which can be considered an extension of the ABS technology. The overall total score of effectiveness obtained was sensibly lower than that of ABS. However, as defined in the survey, such function applied to cornering situations only, in which standard ABS does not apply. In that perspective, SF2 would improve the effectiveness of SF1 in the crash scenarios that often involve cornering (scenarios D and I).

SF3 is a function the implementation of which has recently been announced for motorcycles; in passenger cars it is known with the name of adaptive cruise control (ACC). Our results suggested that the function effectiveness is mainly expected for scenario F, but it could also influence scenario C. The computed effectiveness in rear-end scenarios was 11% of the total effectiveness of ABS.

Concerning SF4 and SF5, there are no associated technologies currently available in the market, however, our academic experts were substantially optimistic about the potential impact that these functions may achieve. Ratings were positive in most of the scenarios, including the most frequent one (A). It should be noted that implementing these two safety functions for the crossing scenario is more challenging, as suggested by the lack of similar systems currently available in the market of passenger cars. If we consider scenarios F and G in which pioneering systems implementing SF4 and SF5 are more likely to operate in their early phase of development, the estimated effectiveness would be respectively 23% and 16% of the total effectiveness of SF1 (ABS).

## Expert assessment

Our study involved seven academic experts with similar scientific background. A larger number of experts with a broad range of background would allow considering a variety of aspects for the evaluation of the functions' effectiveness. For example, the impact of a system that interacts with the user (e.g. an MAEB), may be affected by technical aspects (e.g. the feasibility of the obstacle recognition in specific traffic configurations), but also by human factors such as the way riders potentially react to an unexpected deceleration of the vehicle. In that perspective, the strength of the KBMS method is the possibility to include in the evaluation process a broad range of knowledge by involving an adequate variety of experts in the collection stage.

## Crash scenarios

When broad categories of crash scenarios are used in the process, such as those involved in the present study, the evaluation may suffer of limited accuracy. To mitigate this effect, we proposed a set of sub scenarios to the reviewers, to help them consider specific situations in which the functions may

intervene. The issue here is that the final score for the broader scenario would not consider the different frequencies of the sub scenarios. When possible, a more detailed segmentation of the original crash dataset may allow a more detailed level of evaluation. At the same time, more crash scenarios or sub scenarios to be assessed translate in more labour extensive work for the evaluators.

## Crash database

In this study we considered a national dataset of PTW crashes. The same expert knowledge may be applied to other crash databases referring to different regions or periods. Results may change compared to what we presented, due to the different share of crashes for the different crash scenarios in other datasets. A strength of the KBMS method is the flexibility to re-use the expert knowledge to different traffic contexts. As an important remark, expert opinion is influenced by the context in which the reviewers imagine the application of the safety functions. For example, European experts would assume functions to be applied in the context they are used to, in terms of road infrastructure, vehicles and user behaviour. Such evaluation may not suit the traffic environment in other continents. From this remark we derived the recommendation to keep trace of the region of influence for each reviewer, in order to select the appropriate regions for the crash dataset that is intended to be applied.

## Future developments

In the future, the method could be scaled to involve a larger number of experts, and possibly include the expert evaluation of all stakeholders with working experience in the field of PTW rider safety. To do that, a possible approach is the use of a web-based survey. Contributors may be granted access to the computation layer to extract the desired output rankings. Similarly, the extended version of the KBMS may include further crash data. In that regard, the advantage of the proposed approach is that the owners of the crash data are not required to disclose all the information, but just the frequency of the crashes in a given period after segmentation, as explained in (Gil et al., 2017).

## Conclusions

We discussed the possibility of using the knowledge base system method for the prioritisation of safety functions to improve motorcycle rider safety (KBMS approach). Then, we applied the method for the prioritisation of a set of safety functions that included antilock braking as a known reference, and additional four technologies, the effectiveness of which has not been assessed yet. KBMS represents a possibility for an early comparison of functions at different levels in the scale of technological readiness. Also, the results allow for a crash scenario analysis, to prioritise the development where the applicability of present and future technologies is more promising. In that perspective, coherently with the stated



aims of KBMS, this method provides quantitative material for discussions among the stakeholders for taking decisions on where to focus resources and efforts for the improvement of PTW riders' safety.

## References

- Amodio, A., Panzani, G., & Savaresi, S. M. (2017, 11-14 June 2017). *Design of a lane change driver assistance system, with implementation and testing on motorbike*. Paper presented at the 2017 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV).
- Ducati Press. (2018, 02 June 2018). A Ducati featuring front and rear radar already in the pipeline for 2020. Retrieved from <https://www.ducati.com/ww/en/news/a-ducati-featuring-front-and-rear-radar-already-in-the-pipeline-for-2020>.
- Gil, G., Savino, G., Piantini, S., Baldanzini, N., Happee, R., & Pierini, M. (2017). Are automatic systems the future of motorcycle safety? A novel methodology to prioritize potential safety solutions based on their projected effectiveness. *Traffic Inj Prev*, 0-0. doi:10.1080/15389588.2017.1326594
- Gil, G., Savino, G., Piantini, S., & Pierini, M. (2018). Motorcycle That See: Multifocal Stereo Vision Sensor for Advanced Safety Systems in Tilting Vehicles. *Sensors*, 18(1), 295.
- König, J., Berg, F., & Center, C. T. (2007). Powered Two-Wheeler Accidents—First Results of APROSYS SP 4 Implying GIDAS 2002 Data. *Bundesanstalt für Straßenwesen. Die Reihe*, 21.
- Matschl, G. (2014). *Motorcycle Stability Control - MSC. The next step into safety solutions for motorcycles*. Paper presented at the IFZ International Motorcycle Conference, Cologne.
- Pieve, M., Santucci, M. D., & Di Tanna, O. (2010). *Safety In Motion (SIM). Integrated approach for motorcycle safety*. Paper presented at the IFZ International Motorcycle Conference, Cologne, Germany.
- Rizzi, M., Strandroth, J., Kullgren, A., Tingvall, C., & Fildes, B. (2015). Effectiveness of motorcycle antilock braking systems (ABS) in reducing crashes, the first cross-national study. *Traffic Inj Prev.*, 16(2), 177-183.
- Savino, G., Pierini, M., Grant, R., Frampton, R., Talbot, R., Peldschus, S., . . . Teerhuis, A. (2010). *PISa – Powered two-wheeler Integrated Safety. Development, implementation and testing of PTW integrated safety systems*. Paper presented at the IFZ International Motorcycle Conference, Cologne, Germany.


Savino, G., Pierini, M., Thompson, J., Fitzharris, M., & Lenné, M. G. (2016). Exploratory field trial of motorcycle autonomous emergency braking (MAEB): Considerations on the acceptability of unexpected automatic decelerations. *Traffic Inj Prev*, *17*(8), 855-862.

doi:10.1080/15389588.2016.1155210

Scholliers, J., Van Sambeek, M., & Moerman, K. (2017). Integration of vulnerable road users in cooperative ITS systems. *European transport research review*, *9*(2), 15.

# Appendix

**Scenario a**  
*Intersection AND collision at angle*



Antilock Braking System	
Cornering ABS	
Autonomous Emergency Braking	
Adaptive Cruise Control	
Collision warning	

The SF never activates / produces no effect	0
Assuming activation, the outcomes are minor	1
Assuming activation, the outcomes are poor	2
Assuming activation, the outcomes are good	3
Assuming activation, the outcomes are excellent	4

Fig. A1: Example of one of the forms provided to the experts for the rating task.

The International Motorcycling Federation sets a new  
standard for riders' safety through the  
FIM Racing Homologation Programme for helmets.

Mit dem FIM-Racing Homologation Programm für Motorradhelme  
setzt die FIM einen neuen Standard für Fahrersicherheit.

Erica Manfredi

Fédération Internationale de Motocyclisme (FIM), Mies, Switzerland

Mario Maza, Oscar Juste

Laboratorio del Impacto, I3A, University of Zaragoza, Spain

## Abstract

Under the FIM Racing Homologation Programme for helmets, the International Motorcycling Federation grants helmets a homologation which is a mandatory prerequisite for access to FIM Circuit Racing World Championships and Prize events (as of 2019).

To obtain such homologation, the helmet has to meet the high performance standard set by the FIM, in addition to being approved according to selected international standards.

The helmet properties are evaluated through a test protocol which aims to trigger the development of helmets offering an optimal protection for riders. An optimal protection is understood as providing a minimised risk of skull fracture and of the multiple possible forms of brain damage, as well as a measured and controlled mechanical performance of the protective padding and the shell.

The FIM test first assesses the helmet response to very high and medium-low severity linear impacts randomly in 13 out of 22 pre-established locations distributed all over the helmet surface. This aims at evenly assessing the level of protection against skull fracture and at determining the mechanical properties of the protective padding (or liner).

The main innovation lies in the fact that the FIM test procedure then pioneers the assessment of the helmet's response to medium severity oblique impacts with a view to evaluating the level of protection against brain injuries generated by critical rotational motions. The oblique test constitutes the most novel and modern aspect of the testing methods and reflects a very common scenario occurring in real world accidents, although never addressed in international standards so far.

In addition, a penetration test is included in the protocol and used to check the shell's resistance to impacts against sharp objects.

The FIM is hopeful that the testing protocol can evolve still further, while serving as an inspiration for and cascading to international standards for road-use helmets.

The International Motorcycling Federation sets a new  
standard for riders' safety through the  
FIM Racing Homologation Programme for helmets.

## Eligible helmets

A helmet is eligible for homologation if it is certified compliant with at least one of the following standards:

- UNECE 22.05 Type P
- Snell M 2015
- JIS T8133 2015 Type 2 Full face

Moreover, eligible helmets must meet the following requirements:

- a protective lower face cover must be present and must be not detachable, not moveable and made of the same material of the shell;
- the shell needs to be constructed in one piece (example: without any seam);
- a retention system with a strap and the double D-ring closing system must be present.

## Testing procedures

The test procedures are mainly based on UNECE 22.05.

The FIM Racing Homologation Programme for helmets homologates a range of Sizes of a specific Helmet Model, if all the test results fulfill the conditions as defined hereinafter. Within one Size, the homologation is valid for one or more Combination(s) of accessories and not for others (see hereinafter).

Testing procedures described in this document imply the use of 10 Helmet Samples per Size and per Combination of accessories, distributed in the different test phases as follows:

- Samples #1, #2 and #3: Conditioning, Weight, Linear impact tests
- Samples #4 and #5: Conditioning, Weight, Oblique impact tests
- Sample #6: Conditioning, Weight, Penetration tests
- Sample #7: Storage
- Sample #8, #9 and #10: Conditioning, Weight, Extra tests if needed

A detailed description of the test phases is given hereinafter.

The helmets are homologated per Size and per declared Combination of accessories (e.g. aerodynamic devices). All accessories that will be fitted to the helmet and how they will be combined for use shall

be declared. As a rule, all declared Combinations of the declared accessories will be tested within the same homologation.

The cover paint and the comfort padding used shall be declared.

The correspondence between the Helmet Size and the corresponding EN960:2006 headform to be used in the test shall be according to .

Helmets of Size 50 cm or smaller shall be tested with the headform “A”. Helmets of Size 62 cm or larger shall be tested with the headform “O”.

Table 1: Correspondence between test headforms and Helmet Sizes.

		Largest Size specified (cm)													
		50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60	61	62	
Smallest Size Specified (cm)	50	A	A	C											
	51		C	C	C										
	52			C	C	E									
	53				E	E	E								
	54					E	E	E							
	55						E	E	J						
	56							J	J	J					
	57								J	J	J				
	58									J	J	M			
	59										J	M	M		
	60											M	M	M	
	61												M	O	
	62													O	

### Samples #1, #2 and #3: Linear impact tests

This set of tests is designed to measure the impact absorption capacity of helmets. While the tests on Sample #1 and #2 focus only on the assessment of the protection against skull fracture and the mechanical characterization of the liner, the test on Sample #3 assesses the level of protection against brain damage, using more recent biomechanical bases.

A total of 13 linear impact tests shall be performed according to UNECE 22.05 7.3 (impact-absorption tests) with the following inclusions or modifications:

#### a) Helmet conditioning and weight

After solvent conditioning (as defined in UNECE 22.05 7.2.1), the Samples shall be stored in an atmosphere with a temperature of  $(25 \pm 5)^\circ\text{C}$  and a relative humidity of  $(50 \pm 20)\%$  for a period of not less than 4h. No further conditioning is required prior to test. The weight of the helmet fitted with the



corresponding Combination of accessories as it will be used in competition (such as ventilation devices, aerodynamics devices, ear cups, etc.) and with standard paint shall be measured and recorded.

## b) Headforms

A set of headforms defined as follows shall be used:

- the external dimensions shall be according to EN960:2006
- the resonance frequency shall be according to EN960:2006
- the mass shall be according to EN960:2006 (instrumentation included)
- the position of the center of gravity shall be according to EN960:2006

The headform inertia matrix of reference for the homologation is according to Table 2 (principal directions only, with regards to the centre of gravity):

Table 2: Properties of the headforms.

Headform denomination	Circumference [mm]	Mass [Kg]	Ixx [Kg cm <sup>2</sup> ] ( $\pm 5\%$ )	Iyy [Kg cm <sup>2</sup> ] ( $\pm 5\%$ )	Izz [Kg cm <sup>2</sup> ] ( $\pm 5\%$ )
A	495*	3.1 ( $\pm 0.10$ )	142.2	166.6	95.0
C	515*	3.6 ( $\pm 0.10$ )	172.6	203.3	113.2
E	535*	4.1 ( $\pm 0.12$ )	202.9	238.6	141.3
J	575*	4.7 ( $\pm 0.14$ )	264.0	318.3	193.1
M	605*	5.6 ( $\pm 0.16$ )	337.4	402.7	252.7
O	625*	6.1 ( $\pm 0.18$ )	383.6	461.1	293.5

\*Tolerances according to UN 960:2006

## c) Positioning of the helmet

The headform shall be positioned inside the helmet according to the following instructions:

- Head Positioning Index (HPI): the headform shall be positioned inside the helmet respecting the declared HPI; the HPI shall respect the requirements of annex 5 of UNECE 22.05;
- chinstrap tension: the retention system shall be adjusted under the chin of the headform and tightened to a tension of  $75 \pm 5$  N (over strap friction) with a deflection angle of  $45 \pm 5^\circ$ .

Before each impact, the helmet shall be re-positioned according to the HPI and the retention system re-tensioned.

#### d) Measuring assembly

Headforms shall be fitted with an assembly of instruments containing a set of 3 linear accelerometers and 3 angular rate sensors, located at their centre of gravity.

The assembly shall enable the measurement at the centre of gravity of the three components of the linear acceleration ( $a_x, a_y, a_z$ ) and the angular rate ( $\omega_x, \omega_y, \omega_z$ ) over time.

The 3 linear accelerometers shall be oriented in the three natural directions of the headform. The accelerometers shall be capable of withstanding a maximum acceleration of 2000 g without damage. The acceleration data shall be sampled at a frequency of 10000 Hz and filtered in accordance with the latest edition of ISO 6487 (CFC 1000).

The angular rate sensors shall have a measurement capacity of 8000 deg/s, between 0 and 2000 Hz. The angular velocity data shall be sampled at a frequency of 10000 Hz and filtered in accordance with the latest edition of ISO 6487 (CFC 180).

#### e) Anvil

Only a flat steel anvil shall be used, with a circular impact face of diameter  $130 \pm 3$  mm.

#### f) Impact sites and speed

UNECE 22.05 points

5 linear impact tests in points B, X, P, R and S (according to UNECE 22.05 7.3.4.2) shall be performed in this sequence on Sample #1 and Sample #3. Only one impact per site shall be performed.

"Extra" points

3 impact tests shall be performed on Sample #2. The impact points shall be selected among the 12 points as listed below and depicted in Figure 1, respecting the indicated order. The selected impact points shall not be less than 120 mm apart.

BP, in the front-superior area, situated in the vertical longitudinal plane of symmetry of the helmet ( $0^\circ$ ) and at a midpoint between the point B and the point P.

BXL, in the left ( $315^\circ$ ) front-lateral area, situated in the vertical plane and at an angle of  $20^\circ$  measured from Z above the AA' plane.

BXR, in the right ( $45^\circ$ ) front-lateral area, situated in the vertical plane and at an angle of  $20^\circ$  measured from Z above the AA' plane.

- BXPL, in the left (315°) front-lateral-superior area, situated in the vertical plane and at a midpoint between the point BX and the point P.
- BXPR, in the right (45°) front-lateral-superior area, situated in the vertical plane and at a midpoint between the point BX and the point P.
- XPL, in the left (270°) lateral-superior area, situated in the central transverse vertical plane and at a midpoint between the point X and the point P.
- XPR, in the right (90°) lateral-superior area, situated in the central transverse vertical plane and at a midpoint between the point X and the point P.
- RXL, in the left (225°) rear-lateral area, situated in the vertical plane and at an angle of 20° measured from Z above the AA' plane.
- RXR, in the right (135°) rear-lateral area, situated in the vertical plane and at an angle of 20° measured from Z above the AA' plane.
- RXPL, in the left (225°) rear-lateral-superior area, situated in the vertical plane and at a midpoint between the point RX and the point P.
- RXPR, in the right (135°) rear-lateral-superior area, situated in the vertical plane and at a midpoint between the point RX and the point P.
- RP, in the rear-superior area, situated in the vertical longitudinal plane of symmetry of the helmet (180°) and at a midpoint between the point R and the point P.

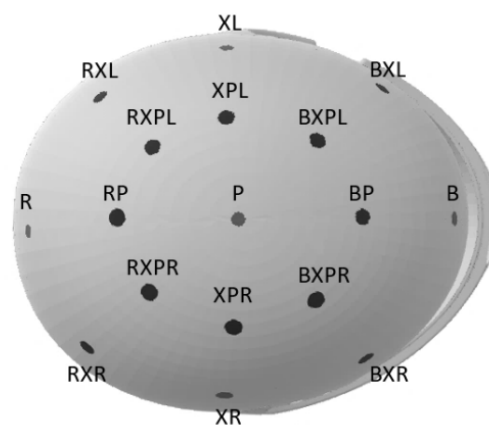


Fig. 1: Identification of extra points.

Impacts at points shall be within 10 mm radius of the defined point.

The test headform shall be positioned so that the designated point of the helmet is vertically above the center of the anvil. The plane tangential to the point of impact shall be horizontal. This prescription

does not apply for the S impact point. When testing impact point S, the impact point shall be not less than 15 mm from the rim.

The drop height shall be such to obtain an impact speed of:

- 8.20 (+0.15, -0.0) m/s for points B, X, P and R on Sample #1
- 6.00 (+0.15, -0.0) m/s for point S on Sample #1
- 8.20 (+0.15, -0.0) m/s for the "extra" points on Sample #2
- 5.00 (+0.15, -0.0) m/s for points B, X, P, R and S on Sample #3

The velocity of the moving mass shall be measured between 1 cm and 6 cm before impact, to an accuracy of 1%.

#### g) Acceptance criteria

The peak of the resultant linear acceleration (*PLA*) values (measured at the center of gravity of the headform) shall not exceed 275 g in all impact sites on Sample #1 and #2, 208 g on Sample #3.

The Head Injury Criterion (*HIC*) shall not exceed the value of 2880 in all impact sites on Sample #1 and #2, 1300 on Sample #3.

### Sample #4 and #5: Oblique impact test

The objective of this test is to measure, in fully repeatable conditions, the capacity of the helmet to absorb and damp rotational solicitations generated in impacts combining normal and tangential forces.

The test is based on a standard impact-absorption test, with a particular type of anvil and dropping speed. The test is conceived to be performed by using the same headforms of the linear impact test, instrumented with the same sensors.

A total of 5 oblique tests shall be performed similarly to linear impact tests of UNECE 22.05 7.3 (impact-absorption tests) with the following inclusions or modifications:

#### a) Helmet conditioning and weight

The same conditioning and weight measurement of the linear impact tests of the present procedure (Samples #1, #2 and #3) shall be applied.

## b) Headforms

The oblique impact test shall use the same set of headforms as defined for the linear impact tests of the present procedure. An external additional coating is applied to the headform before the helmet is placed on the headform to be tested. The coating consists of a thin layer (<0.4 mm) of high performance platinum cure liquid silicone, with the technical data as indicated in Table 3.

Table 3: Properties of the additional coating.

Technical Data of the Coating	
Mixed viscosity	23000 cps
Specific gravity	1.07 g/cc
Specific volume	25.8 cu.in./lb.
Shore A hardness	10A
Tensile strength	475 psi
100% modulus	22 psi
Elongation at break %	1000%
Die B tear strength	102 pli
Shrinkage	<0.001 in./in.

## c) Positioning of the helmet

The headform shall be positioned inside the helmet in the same way as for the linear impact test of the present procedure.

## d) Measuring assembly

The measuring assembly shall be the same as the one used for the linear impact tests of the present procedure.

## e) Anvil

A so called "oblique anvil" shall be used. This type of anvil shall consist of a solid cylinder of diameter  $130 \pm 3$  mm with an impact face consisting of a section at  $45 \pm 0.5^\circ$  with respect to its longitudinal axis, covered in abrasive paper. The abrasive paper shall be a sheet of grade 80 closed-coat aluminum oxide abrasive paper. The abrasive paper shall be replaced after significant damage (up to 3 tests).

## f) Impact sites and speed

Impacts shall be performed in correspondence of the 5 sites as depicted in Table 4 and Table 5. Only one impact per site shall be performed. Helmet Sample #4 is used for front-lateral right ( $45^\circ$ ), rear ( $180^\circ$ ) and lateral left ( $270^\circ$ ), while Helmet Sample #5 is used for front ( $0^\circ$ ) and rear-lateral right ( $135^\circ$ ).

Table 4: Impact layouts for the oblique test: SIDE VIEW.

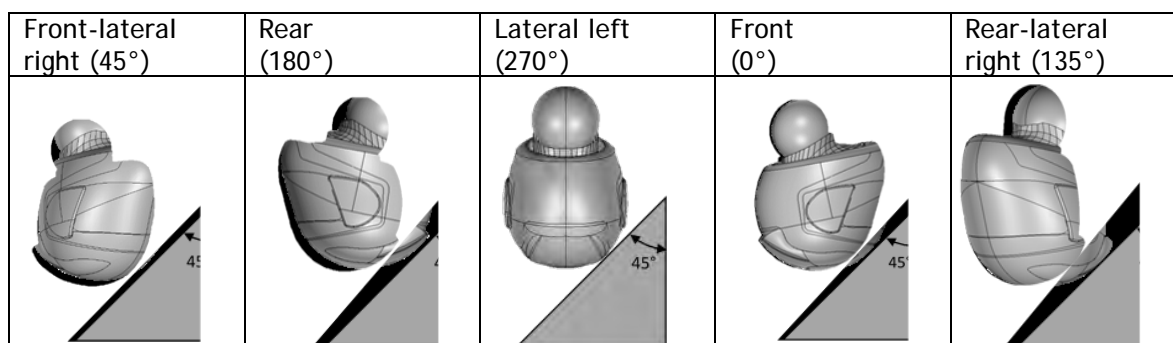
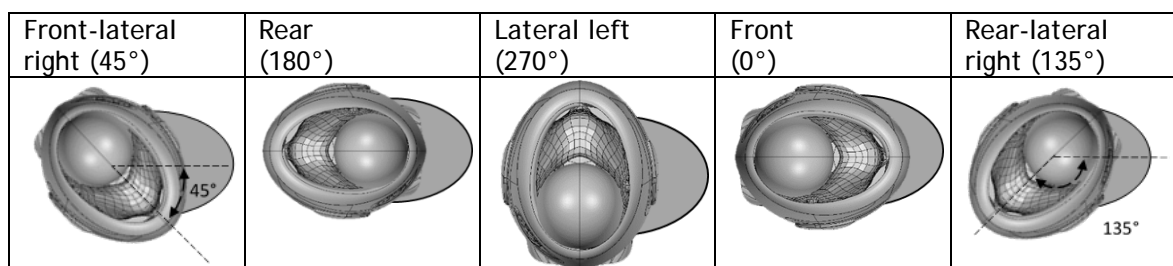


Table 5: Impact layouts for the oblique test: TOP VIEW.



Impacts at points shall be within 10 mm radius of the defined point.

The test headform shall be positioned so that the designated point of the helmet is vertically above the center of the anvil. For all oblique impact layouts, the central vertical axis of the headform shall be aligned to the vertical with a tolerance of  $\pm 0.5^\circ$ .

The drop height shall be such to obtain an impact speed of 8.00 (+0.15, -0.0) m/s. In a 45° anvil, this speed gives the following normal ( $V_N$ ) and tangential ( $V_T$ ) components:

- $V_N = 5.66$  m/s
- $V_T = 5.66$  m/s

The velocity of the moving mass shall be measured between 1 cm and 6 cm before impact, to an accuracy of 1%.

### g) Acceptance criteria

The peak of the resultant linear acceleration ( $PLA$ ) values (measured at the center of gravity of the headform) shall not exceed 208 g in all impact sites on Sample #4 and #5.

The Head Injury Criterion ( $HIC$ ) shall not exceed the value of 1300 in all impact sites on Sample #4 and #5.

The peak of the resultant rotational acceleration (*PRA*) shall be calculated differentiating the rotational velocity values. The *PRA* shall not exceed 10400 rad/s<sup>2</sup> in all impact sites on Sample #4 and #5.

The injury predictor so called as Brain Injury Criterion (*BrIC*) shall be also calculated as follows:

$$BrIC = \sqrt{\left(\frac{\omega_x}{\omega_{xC}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_y}{\omega_{yC}}\right)^2 + \left(\frac{\omega_z}{\omega_{zC}}\right)^2}$$

where

- $\omega_x$ ,  $\omega_y$  and  $\omega_z$  are maximum angular rates on X-, Y-, and Z-axis respectively
- $\omega_{xC}$ ,  $\omega_{yC}$  and  $\omega_{zC}$  are the critical angular velocities in their respective directions:
  - $\omega_{xC} = 66.25$  rad/s
  - $\omega_{yC} = 56.45$  rad/s
  - $\omega_{zC} = 42.87$  rad/s

The final time of the impact is calculated as the time where the resultant linear acceleration decreases at 5 g after its maximum peak.

The resultant value of *BrIC* must have at no time a value exceeding 0.78 during the defined impact time, in all impact sites of Sample #4 and #5.

## Sample #6: Penetration tests

The objective of these tests is to ensure the helmet shell integrity.

The testing procedure is in accordance with JIS T8133:2015 5.2 and 7.5 for a Type 2 protective helmet, with the following inclusions or modifications:

### a) Helmet conditioning and weight

The same conditioning and weight measurement of the linear impact tests of the present procedure (Samples #1, #2 and #3) shall be applied.

### b) Helmet support

The support for the helmet being subjected to the penetration test is spherical so as to provide reasonable support for the helmet and conformance with the interior of the helmet immediately beneath the site of the penetration test.

### c) Penetration sites

The penetration test shall be conducted at a minimum of 2 points located at any site on the helmet on or above the "test line" as defined by Snell M2015. The two points shall be at least 75 mm apart from each other.

### d) Acceptance criteria

There must be no contact between the striker tip and the spherical support surface in all the tests.

## Sample #7: Storage

Sample #7 is the so called "reference helmet". The helmet is stored for reference.

## Samples #8, #9 And #10: Extra tests

Sample #8, #9 and #10 shall be used for extra tests if needed.

## Summary of acceptance criteria

A Helmet Model and Size is granted homologation (with the declared Combinations of accessories if any) if it complies with all the criteria in accordance with Table 6.

Table 6: Acceptance criteria.

Samples #1 and #2	- $PLA \leq 275$ g - $HIC \leq 2880$
Sample #3	- $PLA \leq 208$ g - $HIC \leq 1300$
Samples #4 and #5	- $PLA \leq 208$ g - $HIC \leq 1300$ - $PRA \leq 10400$ rad/s <sup>2</sup> - $BrIC \leq 0.78$
Sample #6	No contact between striker tip and the support surface.

Notwithstanding the above, to be granted the homologation, the helmet shall not exhibit (after any of all the prescribed tests) any breakage or deformation that is deemed dangerous.



Virtual assessment of protective systems for motorcyclists based  
on real-world accident data

Realunfalldaten-basierte virtuelle Bewertung von Schutzsystemen  
für Motorradfahrer

Klaus Bauer, Andreas Thalhammer, Ioannis Symeonidis, Sylvia Schick, Raul Aranda,  
Sebastian Weber, Steffen Peldschus

Ludwig-Maximilians-Universität München, Biomechanik und Unfallforschung am  
Institut für Rechtsmedizin, Munich, Germany

## Abstract

In comparison to other road user, in particular to car occupants, motorcyclists are still exhibiting a much higher risk of being severely injured or killed in an accident. In Germany, the risk of being fatally injured as a motorcyclist was 17 times higher per driven km as for car occupants in 2016. In addition to measures improving the active safety, e.g. assistance systems, also the passive safety, e.g. personal protective equipment needs to be further enhanced in order to reduce or to prevent accidental injury.

For the development of meaningful measures, it is necessary to analyse the accident events and to be able to describe the kinematics of the motorcyclist and the forces and loadings applied in the course of an accident. Based on this, the effectiveness of protective systems can be investigated by means of numerical simulations (MBS, FEM).

A method is presented for reconstructing accidents and reasonably narrowing down the potentially preceding kinematics, which is typically complex in two-wheeler accidents, in a multi-step approach. By means of multi-body simulations using generic two-wheeler and vehicle models, the boundary conditions for the loading of the rider's body are determined. After a translation of those to reduced impact simulations using Finite Element human body models in combination with conceptual models of protective systems, an estimation of their potential can be derived.

Among others, the presented method is applied in the European projects MOTORIST, ISABELLE and PIONEERS. With this method, the course of motorcyclists' accidents can be better understood in the future in order to deduce protective measures with the desired positive effects. The inclusion of generic approaches and models allows a broad application of the presented method, which is seen as a contribution to solving the general conflict of objectives in motorcycle safety research between reasonable coverage of real-world accidents and necessary data depth in the single case, hence supporting the reduction of motorcyclists' accidental injury.

## Kurzfassung

Motorradfahrer sind im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern, insbesondere Pkw-Insassen, immer noch einem deutlich erhöhten Risiko ausgesetzt, bei einem Verkehrsunfall schwer verletzt oder getötet zu werden. So war in Deutschland im Jahr 2016 das Risiko, als Motorradfahrer tödlich zu verunglücken, auf die Fahrleistung bezogen um den Faktor 17 höher als für Pkw-Insassen. Neben Maßnahmen im Bereich der aktiven Sicherheit (z.B. Assistenzsysteme) muss auch die passive Sicherheit (z.B. Schutzkleidung) für Motorradfahrer verbessert werden, um Unfallfolgen reduzieren oder verhindern zu können.

Für die Entwicklung zielgerichteter Maßnahmen ist es notwendig, das Unfallgeschehen zu analysieren und die Kinematik der Motorradfahrer sowie die im Unfallablauf einwirkenden Kräfte und Belastungen beschreiben zu können. Auf dieser Basis kann mittels numerischer Simulationen (MKS, FEM) die Wirksamkeit von Schutzsystemen betrachtet werden.

Es wird eine Methodik vorgestellt, wie Unfälle rekonstruiert und die für Zweiradunfälle typischerweise komplexe Kinematik in einem mehrstufigen Verfahren sinnvoll eingegrenzt werden. Mittels Mehrkörpersimulation werden unter Einbeziehung generischer Fahrzeugmodelle die Randbedingungen für die Belastungsvorgänge am Körper der Aufsassen ermittelt. Nach einer Übertragung dieser auf abstrahierte Anprallsimulationen mit Finite-Elemente-Menschmodellen in Kombination mit Wirkmodellen von Schutzkonzepten kann eine Abschätzung des Potentials erfolgen.

Die Methodik findet u.a. Anwendung in den Europäischen Projekten MOTORIST, ISABELLE und PIONEERS. Unfallabläufe von Motorradfahrern können damit in Zukunft noch besser nachvollzogen werden, um Maßnahmen mit möglichst positiven Effekten zu erarbeiten. Die Verwendung generischer Ansätze und Modelle erlaubt eine breite Anwendung der vorgestellten Methodik. Damit soll ein Beitrag zur Auflösung des grundsätzlichen Zielkonfliktes in der Forschung zur Motorradsicherheit zwischen sinnvoller Abdeckung des Realunfallgeschehens und notwendiger Datentiefe im Einzelfall geleistet und die Reduktion von Unfallfolgen für Motorradfahrer unterstützt werden.

# Realunfalldaten-basierte virtuelle Bewertung von Schutzsystemen für Motorradfahrer

## Hintergrund

Über viele Jahre hinweg nahm die Zahl der getöteten und schwer verletzten Verkehrsteilnehmer in Deutschland kontinuierlich ab, seit einigen Jahren ist dieser Trend jedoch ins Stocken geraten und es ist annähernd eine Stagnation zu erkennen. Motorradfahrer stellen dabei nach wie vor eine besonders gefährdete Gruppe dar. Im Jahr 2017 kamen 583 Motorradfahrer ums Leben, das sind ca. 18 % aller tödlich verunglückten Verkehrsteilnehmer. 9721 Motorradfahrer wurden schwer verletzt, das entspricht einem Anteil von ca. 15 % aller schwerverletzten Verkehrsteilnehmer [1].

Betrachtet man die Entwicklung der Anzahl getöteter und schwer verletzter Motorradfahrer über die vergangenen 10 Jahre (2008 – 2017), so ist zu erkennen, dass sich die Anzahl der tödlich verunglückten Motorradfahrer lediglich um etwa 10 % reduziert hat, die Anzahl der schwerverletzten Motorradfahrer zeigt sogar einen Anstieg um etwa 2 %.

Auf die Fahrleistung bezogen ist das Risiko, als Motorradfahrer tödlich zu verunglücken oder bei einem Unfall schwere Verletzungen zu erleiden, deutlich ansteigend. Die durchschnittliche Gesamtjahresfahrleistung für Motorradfahrer betrug in den Jahren 2000 bis 2016 etwa 11 – 13 Mrd. Kilometer; für Pkw-Fahrer kontinuierlich ansteigend etwa 560 – 650 Mrd. Kilometer [2]. Ermittelt man damit das Risikoverhältnis zwischen Motorrad- und Pkw-Fahrer, so ist dieses für tödlich verunglückte Motorradfahrer im Jahr 2016 um den Faktor 17 höher als für Pkw-Insassen und hat sich damit seit dem Jahr 2000 annähernd verdoppelt.

Unfälle sind für Motorradfahrer häufig schwere Kollisionen, da hier schützende Knautschzonen oder ausgeklügelte Sicherheitssysteme, wie diese inzwischen in fast jedem Pkw zum Standard geworden sind, fehlen. Einen Großteil der auftretenden Energie muss der Motorradfahrer je nach Anprallkonstellation direkt mit seinem Körper absorbieren, was das Risiko für schwerste und tödliche Verletzungen deutlich erhöht.

Um Unfallfolgen reduzieren oder verhindern zu können, ist neben der Forschungsarbeit im Bereich der aktiven Fahrzeugsicherheit bzw. der Infrastruktur und dem Motorradfahrer selbst auch die Verbesserung der passiven Sicherheit (z.B. Schutzkleidung) von Motorradfahrern notwendig.

## Vorgehensweise

Für die Entwicklung zielgerichteter Maßnahmen ist es notwendig, das Unfallgeschehen zu analysieren. Hierfür ist entsprechendes möglichst gut dokumentiertes Fallmaterial – beispielsweise aus In-Depth-Datenbanken – inklusive einer sehr guten medizinischen Dokumentation notwendig, um zunächst häufige Unfall- und Anprallsituationen bzw. Verletzungsschwerpunkte bei den Motorradfahrern identifizieren zu können.

Die weitere forensische Analyse von Motorradunfällen erfordert eine detaillierte Rekonstruktion aller für die Verletzungsentstehung relevanten Vorgänge. Es ist möglichst genaue Kenntnis der Kinematik des Motorradfahrers sowie der einwirkenden Kräfte und Belastungen in den verschiedenen Körperregionen notwendig. Verschiedene rechnergestützte Simulationsmethoden und numerische Modelle können jeweils in Teilbereichen der Rekonstruktion vorteilhaft eingesetzt werden, was letztendlich die Möglichkeit eröffnet, die Wirksamkeit von Schutzsystemen zu betrachten.

## Mehrkörpersimulation (MKS)

Mittels Mehrkörpersimulation (MKS) können unter Einbeziehung generischer Fahrzeugmodelle die Randbedingungen für die Belastungsvorgänge am Körper der Aufsassen ermittelt werden. Die MKS ist ein numerisches Verfahren, bei dem reale Systeme durch mehrere unverformbare Körper dargestellt werden, die durch kinematische Gelenke und definierte Kontakte miteinander verbunden sind. Durch die idealisierte Darstellung wird eine verhältnismäßig grobe Darstellung der Realität erreicht, was die Modellerstellung erheblich vereinfacht. Im Vergleich zu anderen Simulationsmethoden, beispielsweise der Finite-Elemente-Simulation (FEM), können durch den verhältnismäßig geringen Rechenaufwand auch kinematische Betrachtungen über längere Zeitspannen (bis zu mehreren Sekunden) durchgeführt werden. Diese Methode eignet sich deshalb grundsätzlich besonders für den Arbeitsschritt der kinematischen Betrachtung von Unfallabläufen.

Für die Simulation von Unfallabläufen kann beispielsweise das im Bereich der Unfallrekonstruktion und von Sachverständigen häufig verwendete Programm „PC-Crash“ [3] herangezogen werden, welches stetig weiterentwickelt wird und u.a. bereits über implementierte validierte Modelle für Motorrad und Aufsassen sowie Fahrzeugmodelle samt 3D-Geometrie verfügt (Abbildung 1). Der Vorteil dieser Methode liegt darin, dass vom Benutzer nur wenige Randparameter definiert werden müssen, wengleich für die Umsetzung der Stoßanalyse softwareseitig einige vereinfachende Annahmen getroffen werden. Das bedeutet, dass hinsichtlich des kinematischen Ablaufs sowie der Ermittlung von Belastungsparametern des Aufsassen je nach zu betrachtendem Einzelfall gewisse Bandbreiten nicht auszuschließen sind. Unter Berücksichtigung dieser Faktoren lassen sich jedoch mit geringem Rechenaufwand entsprechende Unfallabläufe in guter Näherung darstellen. Insbesondere die Anprallparameter des Motorradfahrers (u.a. welches Körperteil prallt mit welcher Geschwindigkeit gegen welches Objekt) sind näherungsweise gut einzugrenzen, wengleich die Aussagefähigkeit bei komplexeren Unfallabläufen sowohl durch die vorliegende (oft eingeschränkte) Spurenlage als auch die Gültigkeitsbereiche der Modelle limitiert ist.

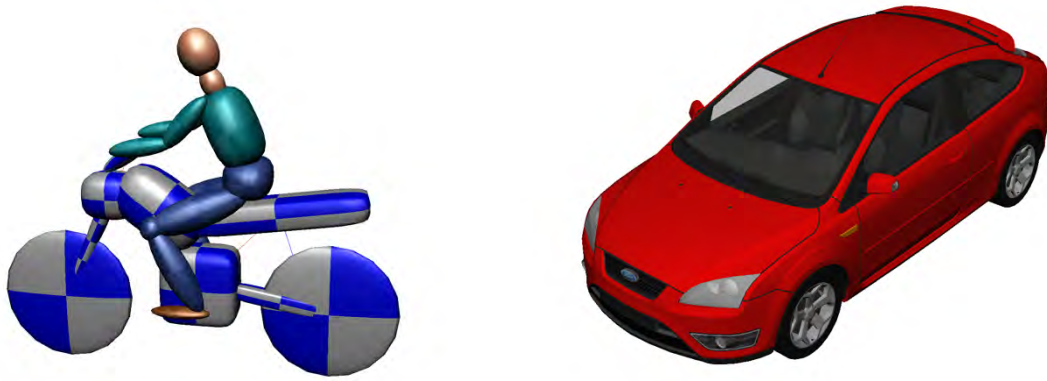


Abb. 1: MKS-Modell von Motorrad und Aufsasse und beispielhaftes Pkw-Modell in PC-Crash [3].

Eine weitere Möglichkeit zur Analyse von Abläufen bei Motorradunfällen ist die Verwendung der Mehrkörpersimulationssoftware MADYMO [4], welche sich insbesondere für die Analyse der Sicherheit von Fahrzeuginsassen, aber auch in anderen Anwendungsbereichen sowohl in der Fahrzeugindustrie als auch der Forschung etabliert hat.

Für Simulationen kann auf bereits erstellte Modelle (beispielsweise in Forschungsprojekten) oder öffentlich zugängliche Modelle (z.B. Pkw-Modelle aus der NHTSA-Datenbank [5]) zurückgegriffen werden. Zudem können eigene Modelle erstellt werden, welche zur Erzielung von verwertbaren Ergebnissen für den jeweiligen Einsatzbereich validiert werden müssen. Unter Validierung ist der Nachweis zu verstehen, dass das Verhalten der rechnergestützten Modelle in festgelegten Bandbreiten dem Verhalten der abzubildenden realen Körper und Systeme entspricht. Je nach verwendeten Modellen ist eine Stoßanalyse möglich, welche auch Fahrzeugdeformationen berücksichtigt.

Für die kinematische Analyse von Motorradunfällen wurde an der LMU ein in MKS-Simulationen verwendbares Modell eines Motorrads erstellt. Basierend auf einem dreidimensionalen Scan eines Motorrads wurde die Geometrie des Modells erstellt. In einem weiteren Schritt wurden die zur Modellierung erforderlichen Körper sowie Gelenke und die weiteren Randparameter definiert. Das Motorradmodell wurde mittels mehrerer vorliegender Crashtests validiert und weist eine entsprechende Modellierungsgüte auf. Für die Simulation von Unfallabläufen und der jeweiligen Kinematik des Motorradfahrers kann das Motorradmodell mit einem in MADYMO zur Verfügung stehenden Ellipsoid-Menschmodell gekoppelt werden. Dieses kann durch Verwendung des MATD-Kopfes zusätzlich mit einem Helm ausgestattet werden (Abbildung 2).



Abb. 2: Motorradmodell LMU und Ellipsoid-Menschmodell MADYMO mit MATD-Kopf und Helm.

Zur Simulation eines Realunfalls mittels MKS-Methode ist idealerweise möglichst genaue Kenntnis des Unfallhergangs sowie der Verletzungen des Motorradfahrers (beispielsweise anhand eines Obduktionsberichts) notwendig. Zusätzlich ist es hilfreich, über detaillierte Anknüpfungstatsachen zu den Geschwindigkeiten, den jeweiligen Fahrmanövern und der Spurenlage am Unfallort zu verfügen. Hier liegen je nach Datenquelle oft Limitationen vor, welche eine möglichst realitätsnahe Abbildung des Unfallablaufs erschweren oder teils nicht mit verwertbarer Genauigkeit ermöglichen.

## Finite-Elemente-Simulation (FEM)

Durch die kinematische Analyse des Unfallablaufs lassen sich die Randparameter des Anpralls des Motorradfahrers darstellen, z.B. mit welcher Geschwindigkeit welches Körperteil gegen welches Objekt prallt. Dies kann als erste grobe Einschätzung der Anprallschwere herangezogen werden. Basierend darauf kann in einem zweiten Simulationsschritt nach Übertragung dieser abstrahierten Anprallsimulationen und Randparameter mittels Finite-Elemente-Menschmodellen in Kombination mit Wirkmodellen von Schutzkonzepten eine Potentialabschätzung erfolgen.

Die FEM ist ein dem aktuellen Stand der Technik entsprechendes und weit verbreitetes numerisches Berechnungsverfahren, welches genaueste Betrachtungen verschiedenster Strukturen und Modelle ermöglicht, die mit Mehrkörpersystemen nicht in vergleichbarer Weise zu erreichen sind. Hierfür kann beispielsweise die Software „LS-DYNA“ [6] zur Anwendung kommen. Der mögliche Detailgrad ist nur durch die verfügbare Rechenkapazität sowie den zu investierenden Zeitaufwand zur



Modellerstellung und zur Validierung limitiert. Der Rechenaufwand ist üblicherweise deutlich höher als bei Mehrkörper-Simulationen.

Zur Ermittlung von Belastungen und Verletzungsrisiken für Motorradfahrer kann beispielsweise das numerische Menschmodell THUMS<sup>TM</sup> herangezogen werden, welches weltweit von Industrie und Forschung zur Analyse von verletzungsmechanischen Phänomenen verwendet wird. Zur Überprüfung und Feststellung der Validität des Modells wurde es mit biomechanischen Daten aus verschiedenen Studien mit menschlichen Testobjekten verglichen, welche in Veröffentlichungen vorliegen [7-10].

Um die auftretenden Belastungen für den Motorradfahrer zu berechnen, ist es, wie oben bereits dargestellt, vorerst notwendig, die Parameter des Anpralls des jeweiligen Körperteils (Anprallort, Geschwindigkeit, Anprallwinkel) zum Anprallzeitpunkt beispielsweise per MKS zu bestimmen. Mittels in der Simulation ermittelter physikalischer Parameter des Menschmodells (z.B. Spannung, Dehnung, Krafteinwirkung) kann auf bestimmte Verletzungsmechanismen und Verletzungsrisiken geschlossen werden. Die jeweilige Abbildungsgüte ist jedoch stark von der jeweiligen Körperregion und der Modellierungsgüte des Menschmodells abhängig. Für das THUMS<sup>TM</sup> Menschmodell ist u.a. der Thoraxbereich für entsprechende Berechnungen validiert und kann Ergebnisse liefern, welche sich nahe an den zu erwartenden realen Belastungen befinden.

In einem weiteren Schritt kann mittels erstellter Wirkmodelle der Schutzkleidung eine Potentialabschätzung erfolgen, siehe hierzu beispielweise das Konzept eines Thorax-Airbags, welches mit dem THUMS<sup>TM</sup> Menschmodell gekoppelt in Abbildung 3 dargestellt ist. Entsprechende Wirkmodelle sind naturgemäß auch in anderen Körperregionen bzw. basierend auf anderen Schutzprinzipien möglich, besonderes Augenmerk sollte hier auf die Validierung gerichtet werden.

In Zukunft ist es demnach möglich, die Reduktion der Belastungen auf den Motorradfahrer durch Schutzkleidung zu ermitteln, insbesondere welchen Einfluss die Schutzkleidung auf diverse Verletzungsrisiken haben kann bzw. ob diese geeignet ist, Verletzungen zu reduzieren oder möglicherweise auch gänzlich zu verhindern.

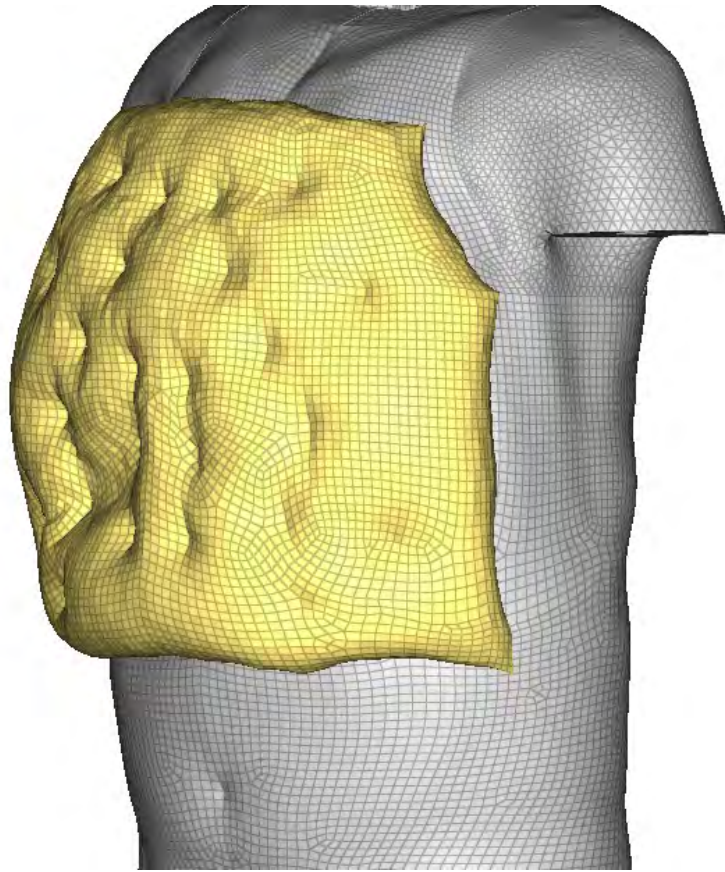


Abb. 3: Wirkmodell Thorax-Airbag und THUMS™-Menschmodell.

## Schlussfolgerungen und Diskussion

Mit der vorgestellten Methode können sowohl unfallanalytische als auch forensisch-biomechanische Fragestellungen beantwortet werden. Es ist eine detaillierte Rekonstruktion von Motorradunfällen sowie der auftretenden Belastungen auf den Motorradfahrer und eine Potentialabschätzung von Schutzkleidung möglich.

Mittels Mehrkörper-Simulationen können mit verhältnismäßig geringem Aufwand ausreichend genaue Ergebnisse in Hinblick auf die Kinematik des Motorradfahrers im Unfallablauf erzielt werden, wenn gleich Limitationen durch den häufig komplexen Unfallablauf, den zur Verfügung stehenden Grundlagen sowie der Gültigkeitsbereiche der zu verwendenden Modelle bestehen. Diese Methode wurde bereits in einigen weiteren Studien erfolgreich angewendet.

Für eine detaillierte Verletzungsbewertung und zur Abschätzung des Potentials von Schutzkleidung scheint der Einsatz von FEM-Simulationen unumgänglich, wobei besonders auf die Verwendung von geeigneten und validierten Modellen zu achten ist. Der Detailgrad von entsprechenden Betrachtungen ist ebenfalls durch die zur Verfügung stehenden Anknüpfungstatsachen sowie die Modellierungsgüte der verwendeten Modelle eingeschränkt.

Die Methodik findet u.a. Anwendung in den Europäischen Projekten MOTORIST, ISABELLE und PIONEERS. Unfallabläufe von Motorradfahrern können damit in Zukunft noch besser nachvollzogen werden, um Maßnahmen mit möglichst positiven Effekten zu erarbeiten. Die Verwendung generischer Ansätze und Modelle erlaubt eine breite Anwendung der vorgestellten Methodik. Damit soll ein Beitrag zur Auflösung des grundsätzlichen Zielkonfliktes in der Forschung zur Motorradsicherheit zwischen sinnvoller Abdeckung des Realunfallgeschehens und notwendiger Datentiefe im Einzelfall geleistet und die Reduktion von Unfallfolgen für Motorradfahrer unterstützt werden.

## Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle Zeitreihen 2017. Wiesbaden 2018.
- [2] Bundesanstalt für Straßenwesen: Verkehrs- und Unfalldaten – Kurzzusammenstellung der Entwicklung in Deutschland. Bergisch Gladbach 2017.
- [3] PC Crash Software (2017). DSD Dr. Steffan Datentechnik. <http://dsd.at>.
- [4] MADYMO Software (2017). Tass International. <https://www.tassinternational.com/madymo>.
- [5] NHTSA, Crash Simulation Vehicle Models. <https://www.nhtsa.gov/crash-simulation-vehicle-models>.
- [6] LS-DYNA Software (2017). Livermore Software Technology Corporation. <http://www.lstc.com/products/ls-dyna>.
- [7] Shigeta, K., Kitagawa, Y., & Yasuki, T. (2009). Development of next generation human FE model capable of organ injury prediction. In Enhanced Safety of Vehicle Conference, Stuttgart, Germany, June (pp. 15-18).
- [8] Kitagawa, Y. & Yasuki, T. (2014). Development and Application of THUMS Version 4. Hum. Model. Simul. Automat. Eng.
- [9] Watanabe, R., Katsuhara, T., Miyazaki, H., Kitagawa, Y., & Yasuki, T. (2012). Research of the relationship of pedestrian injury to collision speed, car-type, impact location and pedestrian sizes using human FE model (THUMS Version 4). Stapp car crash journal, 56, 269.
- [10] Kitagawa, Y., Hasegawa, J., Yasuki, T., Iwamoto, M., & Miki, K. (2005). A study of knee joint kinematics and mechanics using a human FE model. Stapp car crash journal, 49, 117.

Safety Standards for Motorcyclists,  
Protection against Injuries in Traffic Accidents and  
Analysis of remaining Injuries and Injury Causes

Sicherheitsstandard für Motorradfahrer,  
Schutz gegen Verletzungen in Verkehrsunfällen und  
Bilanz verbliebener Verletzungsschwerpunkte

Dietmar Otte

Medizinische Hochschule Hannover und BIOMED-TEC Hannover, Germany

Thorsten Facius

BIOMED-TEC Hannover, Germany

## Abstract

The overall number of severely injured participants and fatalities in road traffic accidents has decreased enormously in the last decades for nearly all traffic participants except the casualties of motorcycle riders, they have only decreased in a smaller percentage, in some European countries there was even an increase registered.

The aim of this study was to analyze the current accident situation of motorcycles with cubic capacity > 125 cm<sup>3</sup> in Germany, especially with most severely injured and killed riders MAIS 3+. The characteristics and reasons of these injury pattern are analyzed and countermeasures for injury protection proposed.

The accident data of 464 drivers of motorcycles were analyzed, collected by a scientific research team of GIDAS (German In-Depth Accident Study) in the area of Hannover and Dresden within the years 2010 up to 2015. This data is a statistical representative sample of the real accident occurrence in Germany.

The study points out that 16.9% of motorcycle accidents lead to most severely injured riders with MAIS 3+. Compared to car occupants this percentage is about 8 times higher. Comparative collectives of car occupants show that only 1.9% of MAIS 3+ injured persons occur. Additionally it could be shown that approximately 22% of motorcyclists with helmet use suffered head injuries. Most severe injuries AIS 3+ could be found at the head frequently in the form of skull fractures including the skullbase. Most severe injuries can be seen often at the thorax documented in form of rib fractures and/or fractures in the area of the shoulder (clavicular) with accompanying injuries of the inner organs. Severe Spine injuries appeared frequently in form of fractures of the thoracic spine, followed by fractures of the lumbar spine and the cervical spine. In the area of the abdomen there were many severe injuries documented with fractures in the area of the pelvis and often accompanying injuries of the inner organs. Minor injuries in form of abrasions and contusions are often documented at the arms, followed by fractures of the hand or the fingers and fractures at the ulna as well as at the humerus. At the legs there are especially femoral fractures documented as well as muscle and ligament injuries in the area of the knee and fractures of the tibia and fibular. At the feet fractures and luxations at the ankle joint are very common as well as fractures of the toes.

Countermeasures for more protection can be seen in different areas, on one hand in driver and vehicle assistant systems to influence the driver behavior and to reduce the driving speed and give concrete information for the avoidance of accidents, especially with severe injuries AIS 3+. There will also be suggestions regarding the optimization of the infrastructure design and the design of the peripheral areas with more implementation of special guardrails at exposed areas, to avoid severe injuries, especially no exposed objects at the roadside at accident hotspots. On the other hand measures on the vehicle design

can lead to further injury reduction in avoidance of sharp and edge structures at cars and especially trucks. Also a higher use rate of protective clothes will help to protect the body of motorcycle riders in the accident and impact event. Also the implementation of protector systems at the bike like leg protectors and coverage can avoid severe leg and foot injuries.

## Zusammenfassung

Die Gesamtanzahl von schwerverletzten und getöteten Personen bei Straßenverkehrsunfällen hat in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen. Die Anzahl an verunglückten Motorradfahrern hat hingegen nicht in gleichem Maße abgenommen, es kann sogar in einigen Ländern eine Zunahme registriert werden.

Das Ziel dieser Studie ist die Analyse der Unfallsituation von Motorrädern mit Hubraum  $> 125 \text{ cm}^3$  in Deutschland, im Hinblick auf schwerverletzte und getötete Fahrer. Es sollen Charakteristik und Verletzungsschwerpunkte der schwerstverletzten Motorradfahrer analysiert und Lösungsvorschläge zur Verletzungsprophylaxe erarbeitet werden.

Unfalldaten von 464 Motorradfahrern wurden analysiert, die von einem wissenschaftlichen Forschungsteam im Rahmen des GIDAS Projekts (German In-Depth Accident Study) in Hannover und Dresden in den Jahren 2010 bis 2015 gesammelt wurden. Dabei handelt es sich um eine statistisch repräsentative Stichprobe aus dem realen Unfallgeschehen in Deutschland.

Die Analyse der aktuellen Verletzungssituation zeigt, dass Motorradfahrer in 16,9% schwerstverletzt wurden, d.h. einen Verletzungsschweregrad MAIS 3+ erlitten und damit etwa 8 mal häufiger als Pkw-Insassen. Unter Benutzung eines Schutzhelms erlitten ca. 22% der Motorradfahrer Kopfverletzungen. An schweren Verletzungen traten insbesondere Frakturen des Schädels einschließlich Schädelbasis auf, Schädelhirntraumata sind selten. An schweren Thoraxverletzungen traten insbesondere Frakturen von Rippen und der Schulter/Clavicula auf sowie oft begleitende Verletzungen der inneren Organe. Im Bereich der Wirbelsäule kam es bei den schweren Verletzungen am häufigsten zu Frakturen der Brustwirbelsäule, gefolgt von Frakturen der Lendenwirbelsäule und der Halswirbelsäule. Im Bereich des Abdomens kam es zu häufig zu schweren Verletzungen in Form von Frakturen im Bereich des Beckens sowie zu begleitenden Verletzungen der inneren Organe. Bei den Armverletzungen waren neben den leichten Verletzungen (Schürfwunden, Prellungen, etc.) Frakturen der Hand/Finger sowie der Speiche führend, gefolgt von Frakturen der Elle und des Oberarms. Im Bereich der Beine konnten insbesondere Oberschenkelfrakturen sowie Muskel- und Bandverletzungen im Bereich des Knies erkannt werden sowie Frakturen des Schienbeins und des Wadenbeins. Im Bereich der Füße waren viele Frakturen und Luxationen im Bereich des Sprunggelenks und des Knöchels vorhanden sowie auch der Zehen. Ursächlich für die Verletzungen, die in der Studie im Detail für unterschiedliche Körperregionen und Einzelverletzungen ermittelt wurden, waren am häufigsten der Straßenaufprall und Anpralle an Objekten und gestaltfesten Fahrzeugstrukturen von Pkw und Nutzfahrzeugen.

Schutzmaßnahmen können in verschiedenen Ansätzen forciert werden, einerseits in Fahrer- und Fahrzeugassistenzsystemen, die das Fahrerverhalten beeinflussen und die Fahrgeschwindigkeit reduzieren



und konkrete Informationen geben, um Unfälle zu vermeiden, insbesondere derjenigen mit AIS 3+ Verletzungen. Auch werden Vorschläge zur Optimierung der Straßengestaltung und des Seitenraumes zur Vermeidung von schweren Verletzungen gegeben, beispielsweise keine exponierten Straßenrandobjekte an Unfallschwerpunkten von Motorradfahrern und Verwendung von geeigneten Schutzplanken. Andererseits können auch weitere Schutzmaßnahmen an Fahrzeugen die Verletzungen des Motorradfahrers beeinflussen, u.a. Entschärfung der Außenkonturen von Nutzfahrzeugen und Pkw, sowie mehr Eigenschutzmaßnahmen durch Tragen von Schutzkleidung insbesondere mit integrierten Protektoren. Auch das Motorrad könnte durch Implementierung von Beinprotektoren und Schutzverkleidung die gefährdeten Bein- und Fußbereiche vor Frakturen schützen.

Sicherheitsstandard für Motorradfahrer,  
Schutz gegen Verletzungen in Verkehrsunfällen und  
Bilanz verbliebener Verletzungsschwerpunkte

## Einleitung und Ziel

In Anbetracht zunehmender Sicherheitsmaßnahmen im Straßenverkehr und an den Fahrzeugen hat die Gesamtanzahl schwerverletzter und getöteter Personen bei Straßenverkehrsunfällen in den letzten Jahrzehnten stark abgenommen. Während die Anzahl an Leichtverletzten bei Motorradfahrern sogar stärker als der allgemeine Trend gesunken ist, hat hingegen die Anzahl an Schwerverletzten und insbesondere getöteten Motorradfahrern nicht in diesem starken Ausmaß wie bei Pkw-Insassen abgenommen [1].

Abbildung 1 zeigt die zeitliche Entwicklung der Verletzten aller Verkehrsteilnehmer im Vergleich mit den Motorradfahrern für die Jahre 1991 bis 2016 in Deutschland [1]. Die Anzahl an Leichtverletzten aller Verkehrsteilnehmer nahm in dieser Periode um ca. 12 % ab und die Anzahl leichtverletzter Motorradfahrer um ca. 23 %. Die Schwerverletzten aller Verkehrsteilnehmer haben im gleichen Zeitraum um ca. 49 % abgenommen, wohingegen sich die Anzahl an schwerverletzten Motorradfahrer lediglich um ca. 33 % verringerte (Abbildung 2). Noch drastischer fällt der Unterschied in der Entwicklung der getöteten Verkehrsteilnehmer aus (ca. 72 % Pkw zu 46 % Motorrad, Abbildung 3).

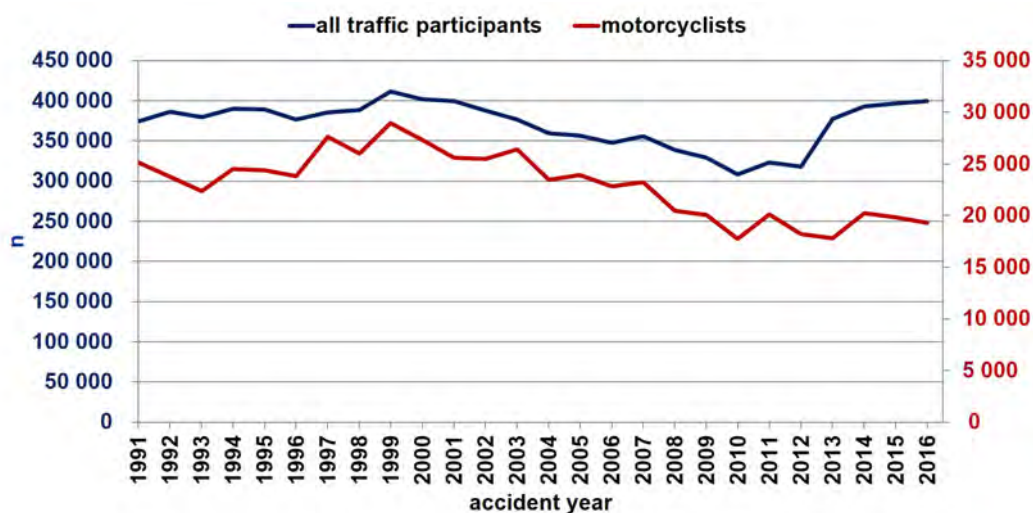


Abb. 1: Entwicklung der leichtverletzten Verkehrsteilnehmer und leichtverletzten Motorradfahrer in Deutschland.

Fig. 1: Development of slightly injured traffic participants and slightly injured motorcyclists in Germany.

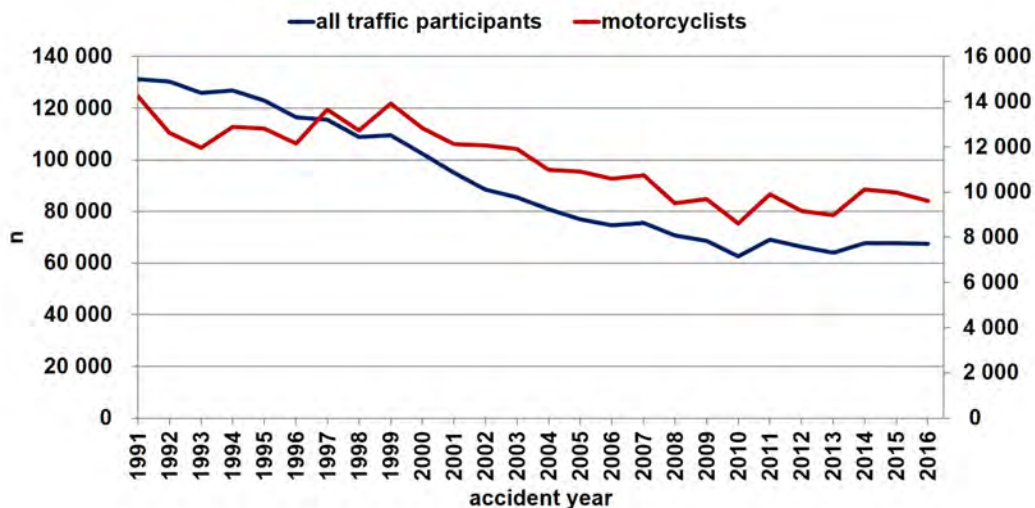


Abb. 2: Entwicklung der schwerverletzten Verkehrsteilnehmer und schwerverletzten Motorradfahrer in Deutschland.

Fig. 2: Development of severely injured traffic participants and severely injured motorcyclists in Germany.

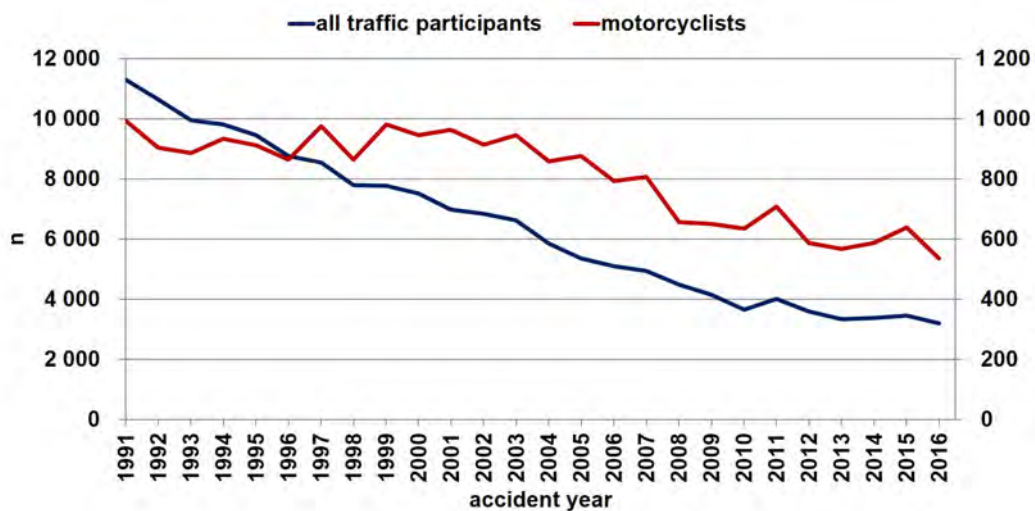


Abb. 3: Entwicklung der getöteten Verkehrsteilnehmer und getöteten Motorradfahrer in Deutschland.

Fig. 3: Development of killed traffic participants and killed motorcyclists in Germany.

Dies kann zurückgeführt werden auf die rasante Entwicklung von passiven und aktiven Sicherheitselementen sowie Fahrerassistenzsystemen bei Personenkraftwagen in dem untersuchten Zeitraum. Auch gesetzliche Vorgaben wie obligatorische Ausstattung der Neufahrzeuge mit ABS, ESP und Airbags haben zu diesem Trend beigetragen. Vergleichend dazu hat sich bei der Entwicklung von Motorrädern im Hinblick auf passive und aktive Sicherheitselemente in diesem Zeitraum wenig geändert. Natürlich muss hier beachtet werden, dass bei Motorrädern nicht die nahezu unbegrenzte Anzahl an Möglichkei-

ten für die Implementierung solcher Systeme gegeben ist wie bei Pkw. Bei Motorrädern existiert beispielsweise keine Knautschzone oder eine stabile Insassenzelle zum Schutz der Fahrer, weiterhin spielen Gewicht und vorhandener Bauraum möglicher Systeme eine weitaus größere Rolle als bei Pkw. Nichts desto trotz besteht jedoch schon seit vielen Jahren eine nahezu 100%ige Nutzung eines Schutzhelmes und auch ist eine Verwendung von Schutzkleidung gegeben, letztere jedoch mit einer derzeit noch zu geringen Nutzungsquote. So ermittelte die Bundesanstalt für Straßenwesen in der jährlich durchgeführten Stichprobe bei motorisierten Zweiradfahrern [2] einen Anteil von 56 %, die ergänzend zum Helm, der mit 100 % Benutzung registriert wird, weitere Schutzbekleidung trugen. 26 % aller motorisierten Zweiradfahrer trugen eine komplette Schutzkleidung.

Auch Gwehenberger et al. [3] berichten, dass die Reduktion von Schwerverletzten und Getöteten bei Pkw-Insassen stärker ausfällt als die Reduktion bei Motorradunfällen und erklären die stärkere Reduktion getöteter Pkw-Fahrer auch mit der zunehmenden passiven und aktiven Sicherheitsausrüstung von Pkw. Yildirim et al. [4] sehen als eine der Hauptursachen für Motorradunfälle die Fahrinstabilität infolge blockierter Räder bei starkem Bremsen oder beim Bremsen auf reibungsarmen Oberflächen. Eine Bosch-Analyse [5] auf Basis der GIDAS-Statistik (228 Motorradunfälle zwischen 2001 und 2004) hat ergeben, dass etwa die Hälfte aller Motorradunfälle eine Folge falscher Bremsmanöver sei.

Es stellt sich nun die Frage, ob für Motorradfahrer weitere Maßnahmen noch sinnvoll eingesetzt werden können, um die aktuell festzustellende Unfallsituation für diese noch zu verbessern. Dazu gilt es den derzeitigen Stand zu analysieren und die auftretenden Unfälle von Motorradfahrern im Detail zu untersuchen. Basis einer derartigen Studie können Daten aus der Unfalldatenbank GIDAS (German In-Depth-Accident-Study) sein. Zielführend erscheint dabei die Fokussierung auf schwerverletzte Motorradfahrer und dabei die noch detailliert im Unfallgeschehen auftretenden Verletzungsmuster sowie Einzelverletzungen und deren Schwere zu ermitteln, dies hinsichtlich der Möglichkeiten einer weiteren Protektion.

## Unfallanalyse basierend auf GIDAS (German-In-Depth Accident Study)

Im Rahmen von GIDAS (German-in-Depth Accident Study)<sup>1</sup> werden jährlich etwa 2000 Verkehrsunfälle direkt an der Unfallstelle durch ein wissenschaftliches Team aus Technikern und Medizinern vor Ort aufgenommen. Diese werden in den Regionen Hannover und Dresden in einem Umkreis von ca. 60 km nach Alarmierung durch die Polizei dokumentiert und in einer Datenbank zusammengetragen. Die

---

<sup>1</sup> Kooperationsprojekt im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) und der Deutschen Forschungsgemeinschaft Automobiltechnik (FAT), durchgeführt von Medizinische Hochschule Hannover und VUFO Dresden

rekonstruierten Fahrgeschwindigkeiten und Kollisionsgeschwindigkeiten und auch die detaillierte Dokumentation der Verletzungen können dazu beitragen Verletzungsschwerpunkte zu identifizieren. Basierend auf der Dokumentation der Verkehrsunfälle mit statistisch repräsentativen Auswahlverfahren der Unfälle, können Ergebnisse als repräsentativ für das Erhebungsgebiet angesehen werden. Arbeitsmethode, Aussagefähigkeit und Repräsentativität ist in der Literatur beschrieben ([6], [7], [8], [9]). Bei der Rekonstruktion der Unfälle wurden die Bewegungen der Personen und Fahrzeuge vor, während und nach der Kollision ermittelt, sowie auch die Geschwindigkeiten der Fahrzeuge und Handlungen der involvierten Personen in den einzelnen Sequenzen. Für die Rekonstruktion der Geschwindigkeiten wurden die Unfallstellen inklusive vorhandener Spuren und Endlagen von Fahrzeugen und Personen jeweils in maßstäblichen Skizzen dokumentiert. Die Unfallstellen wurden dabei mit einem 3D-Laserscanner vermessen und die Kollisionsanalyse wurde mit der Simulationssoftware PC-Crash durchgeführt [7].

Die Verletzungen wurden detailliert dokumentiert und ausgewertet in Übereinstimmung mit der wissenschaftlich 6-fach abgestuften Skala der Verletzungsschwere, der Abbreviated Injury Scale (AIS) der "Association for the Advancement of Automotive Medicine" (AAAM, [10]). Bei dieser Bewertung wird jeder Verletzung ein AIS-Grad zugeteilt, was sowohl zu einer Verletzungsschwere für einzelne Körperregionen führt (beispielsweise AIS-Kopf) als auch zu einer maximalen Verletzungsschwere MAIS (maximaler AIS) des gesamten Körpers.

## Datenbasis

Es wurden Unfälle der Motorradfahrer aus der GIDAS Datenbank der Jahre 2010 bis einschließlich 2015 mit verwendetem Motorradhelm sowie mit Motorrädern mit einem Hubraum größer als 125 cm<sup>3</sup> ausgewertet. Lediglich komplett rekonstruierte Unfälle wurden verwendet, bei denen die Einzelverletzungen und auch die gesamte Verletzungsschwere bekannt waren. Es wurden weiterhin nur Motorradkollisionen mit Pkw, Lkw und Objekten (inklusive Stürzen) betrachtet und Unfälle mit geparkten Motorrädern ohne Aufsassen wurden nicht einbezogen.

Nach dieser Stichprobenauswahl verblieben 464 Fahrer von motorisierten Zweirädern mit Hubraum größer 125 cm<sup>3</sup>, die die **Studiengruppe der Motorradfahrer mit bekannten Verletzungen** bilden (Abbildung 4).

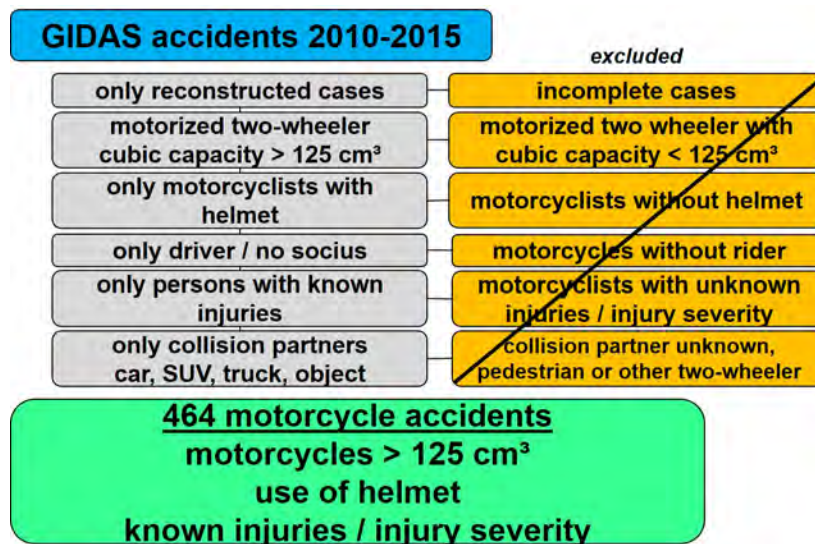


Abb. 4: Auswerterahmen und Stichprobenauswahl der Studie.

Fig. 4: Evaluation frame of the study.

Für die Studie wurden folgende Kriterien hinsichtlich der verunfallten Motorradfahrer untersucht:

- Verletzungsschwere
- Kollisionspartner
- Kollisionstypen
- Kollisionsgeschwindigkeit, Relativgeschwindigkeit und Fahrgeschwindigkeit von Motorrädern
- Einzelverletzungen und Verletzungsursache von Motorradfahrern nach Verkehrsunfällen

Die Auswertung erfolgte durch Analyse der Einzelfälle und Ermittlung der Anzahl von Einzelverletzungen je betrachteter Körperregion in deskriptiver Darstellung der prozentualen Häufigkeiten. Wegen der oftmals sehr geringen Anzahl aufgetretener Verletzungen wurden diese mit Angabe der „n-Häufigkeit“ aufgelistet und auf eine Wiedergabe als statistisch repräsentative Angabe verzichtet.

### Festzustellende Verletzungsschwere von Motorradfahrern

Im Straßenverkehr verunfallte und stationär im Krankenhaus behandelte Motorradfahrer werden nach der polizeilich amtlichen Definition als sogenannte “Schwerverletzte” geführt. Dies beinhaltet Schweregrade nach AIS von 1 bis 5, während der Grad 6 den sofort tödlich verunfallten Verkehrsteilnehmern zugeordnet wird. Die Schweregrade AIS 3 bis 6 stellen die Gruppe der Schwerstverletzten dar. Diese Gruppe ist von besonderer Bedeutung, hat doch die EU seit 2014 diese Gruppe als registrierungspflichtig eingestuft und als bedeutend angesehen, um das Ziel zu erreichen, die Getöteten während der weiteren Jahre gezielt reduzieren zu können ([11], [12]).

Abbildung 5 zeigt die Verteilung der Verletzungsschwere aller verunfallten Motorradfahrer. Dabei konnte ein Anteil von 16,9 % an MAIS 3+ Verletzten ermittelt werden.

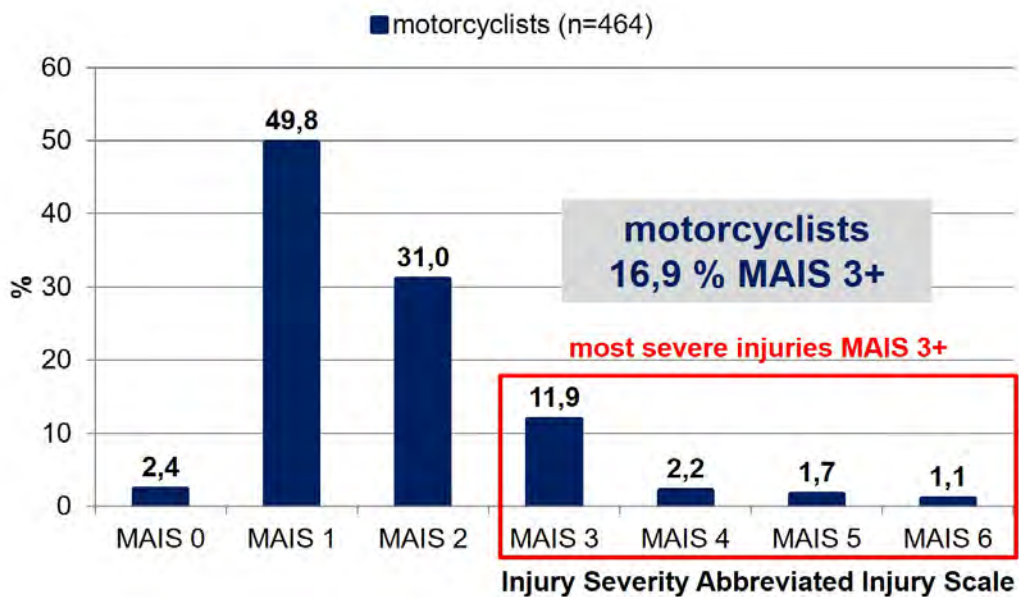


Abb. 5: Verteilung der Verletzungsschwere von verunfallten Motorradfahrern.

Fig. 5: Distribution of injury severity of motorcyclists after accidents in Germany.

Im Vergleich dazu zeigt die Abbildung 6 die Verteilung der Verletzungsschwere von angegurteten Pkw-Insassen nach einem Verkehrsunfall. Es ist zu erkennen, dass MAIS 3+ Verletzte hier nur mit einem sehr geringen Anteil von 1,9 % auftreten im Gegensatz zu 16,9 % bei Motorradfahrern.

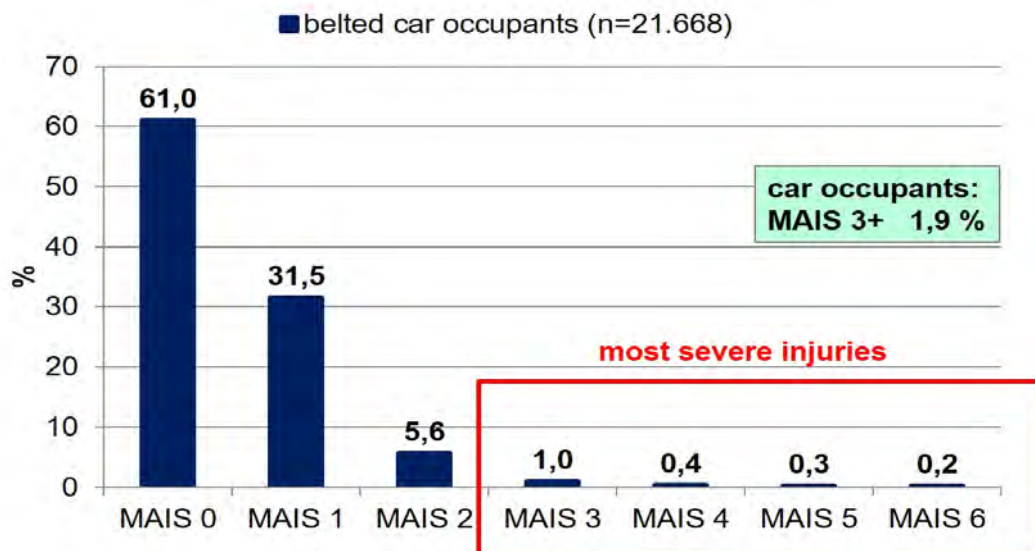


Abb. 6: Verteilung der Verletzungsschwere von angegurteten Pkw-Insassen, hierzu ein Vergleichskollektiv aus GIDAS.

Fig. 6: Distribution of injury severity of motorcyclists after accidents, compared for another case sample from GIDAS.



Abbildung 7 zeigt die Verletzungsschwere der einzelnen Körperregionen der verunfallten Motorradfahrer. Hier zeigt sich, dass schwerste Verletzungen AIS 3+ insbesondere am Thorax mit 9,3 %, an den Beinen mit 6,7 %, und am Kopf mit 3,0 % die Verletzungsschwere bilden. Bei 22% der verunfallten Motorradfahrer waren Kopfverletzungen trotz Benutzung eines Schutzhelmes aufgetreten, 3 % erlitten schwerste Kopfverletzungen (AIS 3+).

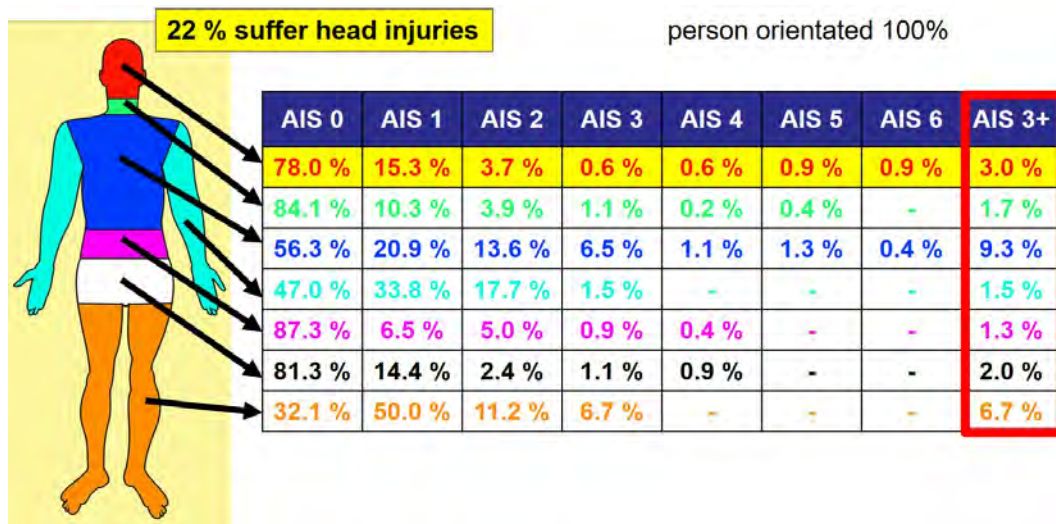


Abb. 7: Verletzungsschwere der einzelnen Körperregionen von verunfallten Motorrädern in Deutschland.

Fig. 7: Injury severity of individual body regions of motorcyclists after accidents in Germany.

## Welche Kollisionspartner bedingen schwerste Verletzungen

Abbildung 8 zeigt, dass Motorräder besonders häufig mit Pkw in 50,4 % und mit Objekten in 45,7 % kollidieren, wobei hier auch Stürze einbezogen wurden. Betrachtet man die Verteilung der Verletzungsschwere in Abbildung 9, zeigen insbesondere Kollisionen mit Lkw häufig schwerstverletzte MAIS 3+ Motorradfahrern mit 38,5%. Hier besteht neben dem direkten Anprall eine hohe Verletzungsgefahr durch überrollt werden. In Motorrad-Pkw Kollisionen treten in 17,1 % MAIS 3+ verletzte Motorradfahrer auf und bei Objektkollisionen in 15,6 %. Kollisionen von Motorradfahrern mit Nutzfahrzeugen (Lkw) sind somit als besonders verletzungsschwer zu bezeichnen.

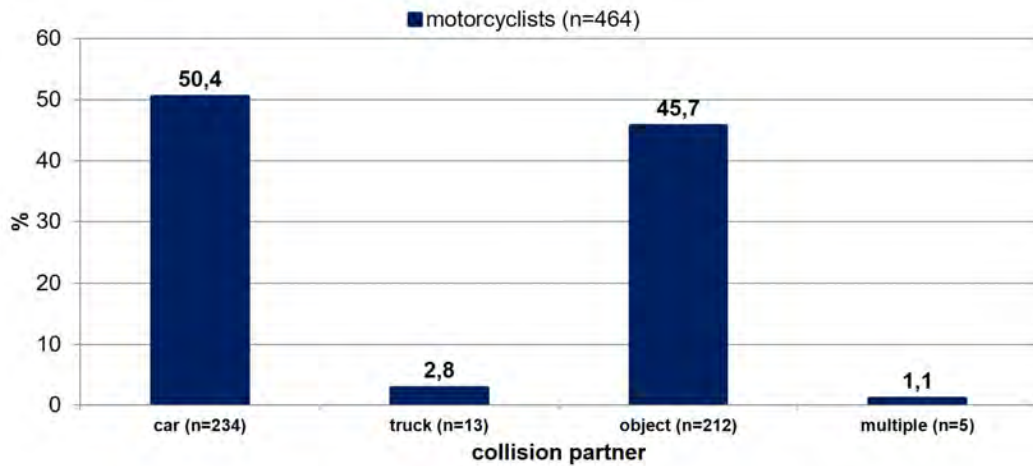


Abb. 8: Kollisionspartner von Motorradfahrern.

Fig. 8: Collision partners of motorcyclists.

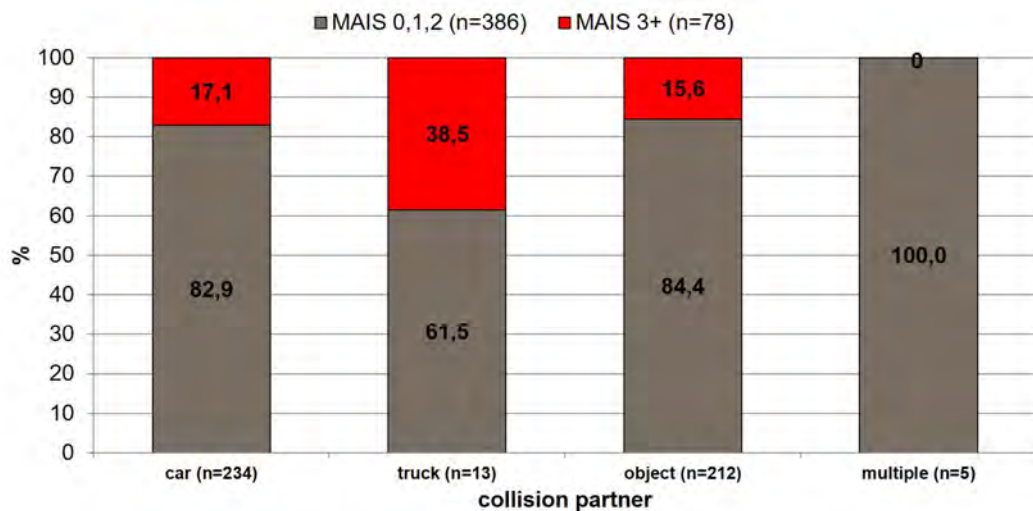


Abb. 9: Kollisionspartner von Motorradfahrern und Verletzungsschwere der Motorradfahrer.

Fig. 9: Collision partners of motorcyclists and injury severity of motorcyclists.

## Können Kollisionstypen als besonders Verletzungsschwer erkannt werden

Kollisionen von Motorrädern mit anderen Fahrzeugen (Pkw und Lkw) können unter vielen verschiedenen Winkeln und Anprallflächen der Fahrzeuge erfolgen. Kollisionstypen bieten dabei eine Möglichkeit diese Vielfalt zu gruppieren. Es haben sich hier grundsätzlich zwei Klassifikationen wissenschaftlich gefestigt, einerseits die von Otte [13] mit 7 Gruppen und andererseits die von ISO 13232 standardisierten 33 Typen [14].

Abbildung 10 zeigt die Kollisionstypen nach Otte [13] bei Motorradunfällen. Am häufigsten handelt es sich um Objektkollisionen mit 45,4 %, gefolgt von Kollisionen der Motorräder schräg gegen die Seite von Pkw mit 23,8 %. Die anderen Kollisionstypen sind eher selten vertreten mit jeweils unter 10 %.

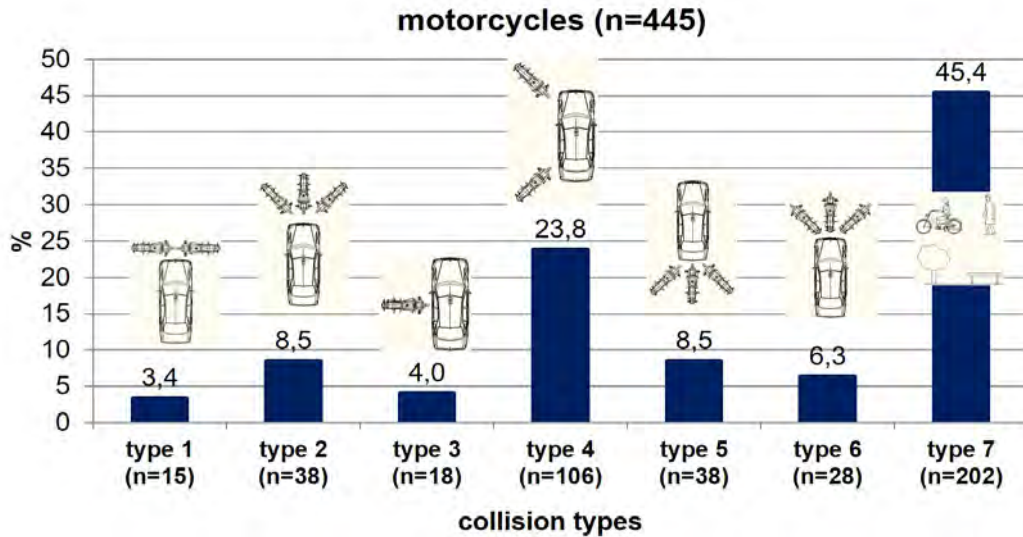


Abb. 10: Kollisionstypen bei Motorradunfällen und Verletzungsschwere der Motorradfahrer.

Fig. 10: Collision types in motorcycle accidents and injury severity of motorcyclists.

Schwerstverletzte Motorradfahrer mit MAIS 3+ (Abbildung 11) zeigen sich am häufigsten bei Kollisionstyp 2 (Motorrad frontal gegen Pkw-Front) mit 31,6 % und Kollisionstyp 3 (Motorrad frontal gegen Pkw-Seite) mit 27,8 %, gefolgt von Kollisionstyp 4 (Motorrad schräg gegen Pkw-Seite) mit 18,9 % sowie Kollisionstyp 5 (Motorrad gegen Pkw-Heck) mit 18,4 %. MAIS 3+ verletzte Motorradfahrer traten bei Objektkollisionen / Stürzen mit 15,8 % auf.

Der mit 8,5 % insgesamt nicht sehr häufige Typ 2 erscheint dabei hinsichtlich der resultierenden Verletzungsschwere besonders mit einem hohen Anteil von 32 % Schwerstverletzter behaftet. Dagegen weist der Typ 1 ausschließlich leicht und mäßig schwer Verletzte auf.

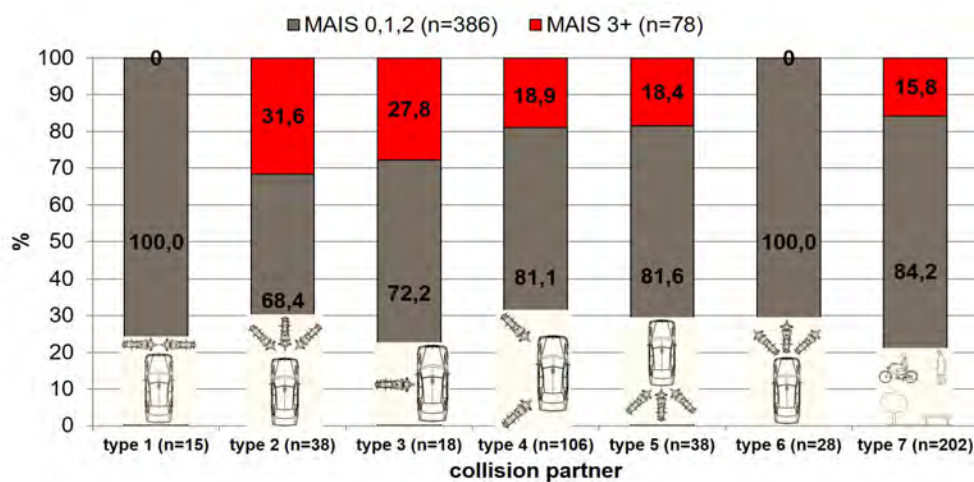


Abb. 11: Kollisionstypen bei Motorradunfällen und Verletzungsschwere der Motorradfahrer.

Fig. 11: Collision types in motorcycle accidents and injury severity of motorcyclists.

## Kollisionsgeschwindigkeit, Relativgeschwindigkeit und Fahrgeschwindigkeit

Für alle hier betrachteten Motorradunfälle konnten Kollisionsgeschwindigkeit der Motorräder (Abbildung 12), Relativgeschwindigkeit bei Kollision (Abbildung 13) und Fahrgeschwindigkeit der Motorräder vor Kollision (Abbildung 14) ermittelt werden. Es zeigt sich, dass die schweren Verletzungen der Motorradfahrer ein Resultat der hohen Kollisionsenergie sind. Die umgesetzte Energie wird besonders bei Betrachtung der Relativgeschwindigkeit deutlich, da hier die Addition der Geschwindigkeitsvektoren bei Kollision beider miteinander kollidierenden Fahrzeuge betrachtet wird. Während 80% der Motorradfahrer unter 50 km/h fahren, lagen 50% der Kollisionsgeschwindigkeiten der Motorräder über 50 km/h und in 60% der Unfälle lagen die Relativgeschwindigkeiten über 50 km/h.

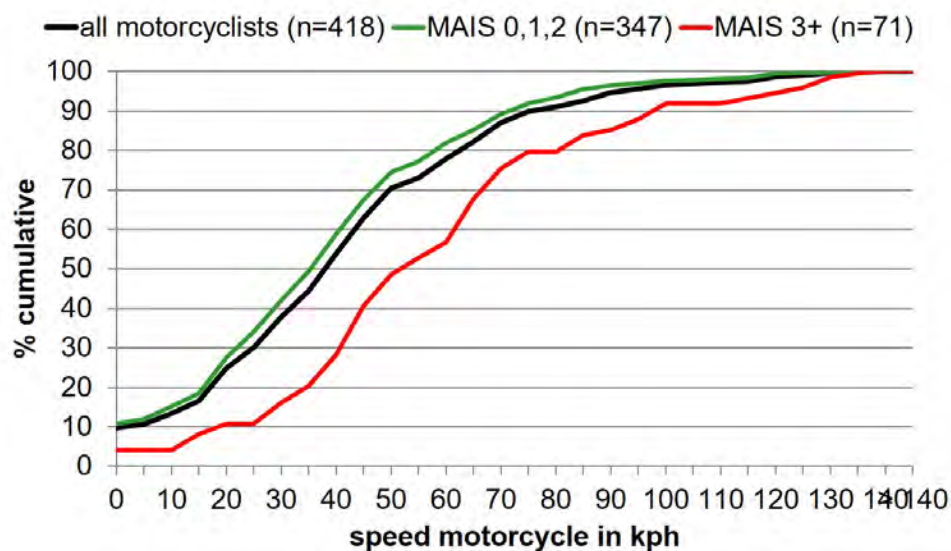


Abb. 12: Kollisionsgeschwindigkeit von Motorrädern unterteilt nach Verletzungsschwere der Motorradfahrer.

Fig. 12: Collision speed of motorcycles for different injury severity of the motorcyclists.

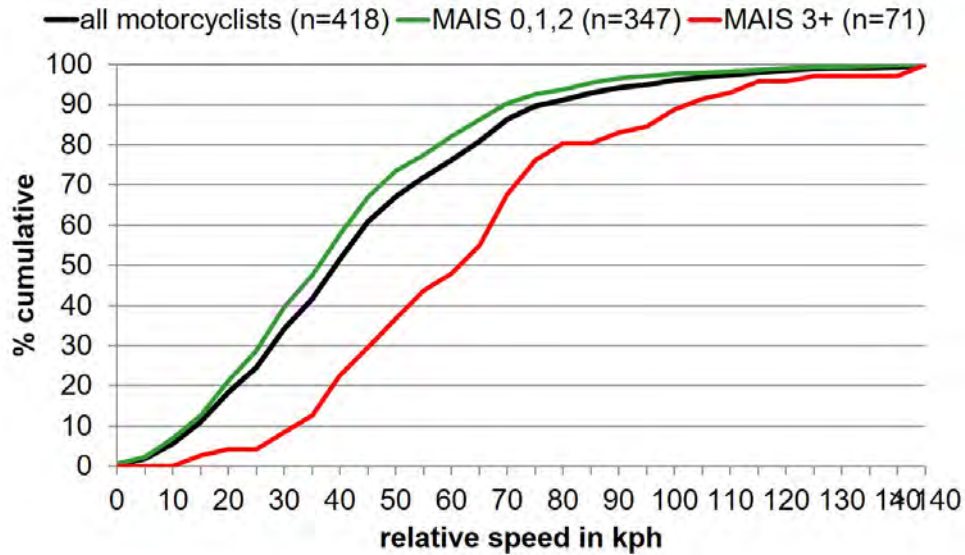


Abb. 13: Relativgeschwindigkeit von Motorrädern unterteilt nach Verletzungsschwere der Motorradfahrer.

Fig. 13: Relative speed of motorcycles for different injury severity of the motorcyclists.

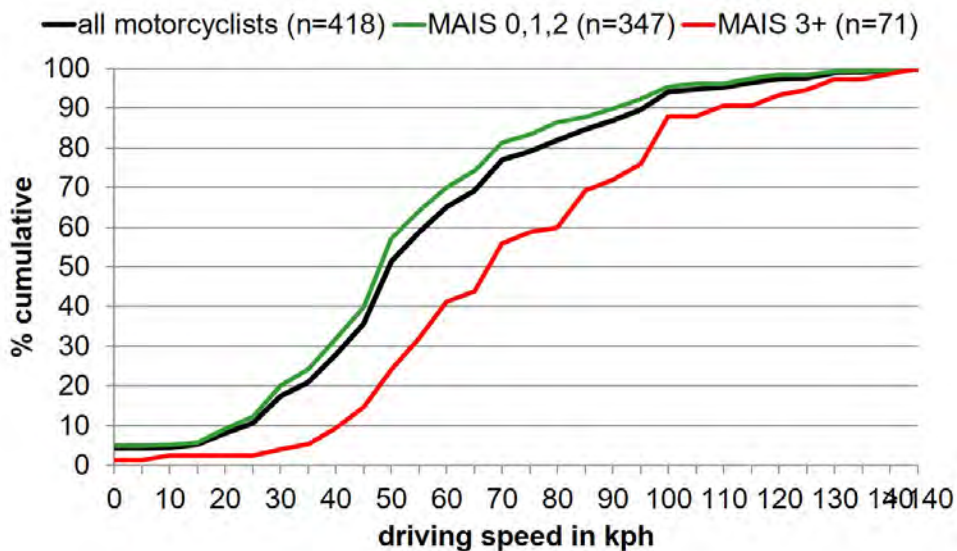


Abb. 14: Fahrgeschwindigkeit von Motorrädern unterteilt nach Verletzungsschwere der Motorradfahrer.

Fig. 14: Driving speed of motorcycles for different injury severity of the motorcyclists.

### Betrachtung von Einzelverletzungen und deren Verletzungsursache

Bei der Analyse der insgesamt bei 464 Motorradfahrern vorliegenden 2725 Einzelverletzungen (Tabelle 1) zeigen sich besonders viele Weichteilverletzungen an Armen einschließlich Hände mit 15 % sowie den Beinen mit 25,5 % aller Verletzungen. Schwerere Verletzungen in Form von Frakturen/Luxationen und inneren Organverletzungen finden sich an allen Körperregionen (Kopf, Thorax, Wirbel-

säule, Abdomen/Becken, Arme, Oberschenkel/Knie, Unterschenkel, Füße). Frakturen zeigen sich häufig an Gesicht (1,6 %), Rippen (2,8 %), Unterarm und Hand (7,2%) und an den Beinen (5,8 %) und der Füße (3,3 %).

Tabelle 1: Liste der Einzelverletzungen (alle Personen).

Table 1: List of single injuries (all persons).

	n-number	percentage		n-number	percentage
soft tissue injury head	98	3.6 %	fx hand / wrist	87	3.2 %
fx face	44	1.6 %	arms (other)	20	0.7 %
fx skull	18	0.7 %	soft tissue injury abdomen	46	1.7 %
fx skullbase	10	0.4 %	lumbar spine	39	1.4 %
commotio	69	2.5 %	liver / gall	9	0.3 %
cerebral / eye	40	1.5 %	spleen	10	0.4 %
soft tissue injury neck	17	0.6 %	stomach	1	0.0 %
whiplash injury	60	2.2 %	intestine	1	0.0 %
fracture cervical spine	23	0.8 %	kidney	7	0.3 %
neck (other)	9	0.3 %	abdomen n.f.s.	2	0.1 %
soft tissue injury thorax	183	6.7 %	soft tissue injury pelvis	92	3.4 %
fx ribs	76	2.8 %	fx pelvis	34	1.2 %
fx sternum	8	0.3 %	pelvic organs	6	0.2 %
fx shoulder	105	3.9 %	pelvis vessels	1	0.0 %
thoracic spine	53	1.9 %	soft tissue injury legs	694	25.5 %
heart	6	0.2 %	fx hip	1	0.0 %
lungs	52	1.9 %	fx upper leg	27	1.0 %
thorax vessels	10	0.4 %	fx knee	11	0.4 %
thorax n.f.s.	16	0.6 %	fx lower leg	68	2.5 %
soft tissue injury arms	408	15.0 %	fx feet, ankle joint	91	3.3 %
fx upper arm	19	0.7 %	legs (other)	24	0.9 %
fx elbow	5	0.2 %	other	15	0.6 %
fx lower arm	110	4.0 %	overall	2725	100.0 %

Tabelle 2: Liste der Einzelverletzungen (alle Personen mit MAIS 3+).

Table 2: List of single injuries (all persons MAIS 3+).

	n-number	percentage		n-number	percentage
soft tissue injury head	35	4.5 %	amputations arm / hand	4	0.5 %
fx face	37	4.8 %	arms (other)	1	0.1 %
fx skull	12	1.4 %	soft tissue injury abdomen	13	1.7 %
fx skullbase	10	1.4 %	fx lumbar spine	23	3.0 %
commotio	20	2.6 %	liver / gall	7	0.9 %
brain injuries	42	5.4 %	spleen	11	1.4 %
whiplash injury	6	0.8 %	pancreas	1	0.1 %
fx cervical spine	7	0.9 %	kidney	4	0.5 %
cervical spine (other)	3	0.4 %	abdomen (other)	2	0.3 %
soft tissue injury thorax	27	3.5 %	soft tissue injury pelvis	16	2.1 %
fx thoracic spine	19	2.4 %	fx pelvis	24	3.1 %
fx ribs	52	6.7 %	pelvis vessels / bleeding	3	0.4 %
fx sternum	4	0.5 %	soft tissue injury upper leg / knee	35	4.5 %
fx shoulder	43	5.5 %	fx upper leg	27	3.5 %
heart	5	0.6 %	fx knee	3	0.4 %
lungs	50	6.4 %	ligament injuries knee	10	1.3 %
thorax vessels	10	1.3 %	soft tissue injury lower leg	15	1.9 %
thorax other	11	1.4 %	fx lower leg	29	3.7 %
soft tissue injury arms	39	5.0 %	muscle transection lower leg	2	0.3 %
fx upper arm	6	0.8 %	amputations lower leg	2	0.3 %
fx elbow	5	0.6 %	soft tissue injury feet	18	2.3 %
fx lower arm	46	5.9 %	fx foot, ankle joint, toe	14	1.8 %
fx hand / wrist	19	2.4 %	distortion foot	3	0.4 %
fx arm / hand n.f.s.	2	0.3 %	amputations toe	1	0.1 %
			overall	778	100.0 %

Diese schon aus der Betrachtung aller Verletzungen des Motorradfahrers ersichtlichen häufig verletzten Körperregionen finden sich auch bei den Schwerstverletzten MAIS 3+ in analoger Gewichtung (Tabelle 2). Bei diesen sind zusätzlich noch Schädelhirnverletzungen mit 5,4% sowie Verletzungen der Lunge mit 6,4% hervorzuheben.

Bei den schweren Verletzungen, die im Anhang tabellarisch in Tabelle 3 bis Tabelle 10 aufgelistet und dort farblich unterlegt markiert wurden, überwiegen Verletzungen an:

- **Kopf:** Ein Drittel aller Verletzungen des Kopfes stellen Frakturen der Schädelbasis (26,7 %) und Schädelfrakturen (11,7 %). Eine Verletzung des Hirns ist mit 3,3 % selten. Ursächlich relevant sind Anprallsituationen des Kopfes mit Bäumen (8,6 %), Dachkanten von Fahrzeugen (5,9 %), insbesondere aber durch Straßenaufprall in 40 %.
- **Thorax:** Rippenfrakturen, Frakturen Schulter/Clavicula, sind mit 41,9 % häufig, begleitet häufig mit Verletzungen innerer Organe vor allem der Lunge bei MAIS 3+ Verletzten. Ursächlich sind hier ein Aufprall des Thorax auf der Straßenoberfläche (63,1 %), aber auch Anprallsituationen gegen Bäume (4 %), Windschutzscheiben und Dachkanten von Pkw mit 4,8 % und auch Anprall gegen den Lenker des eigenen Zweirades in 2,1 %.
- **Wirbelsäule:** am häufigsten zeigen sich Frakturen der Halswirbelsäule (46,7 %), gefolgt von Frakturen der Brustwirbelsäule (31,1 %). Frakturen der Lendenwirbelsäule bilden 22,2 % der Wirbelsäulenverletzungen. Ursache ist mit 38,1 % häufig die eigene Körperbewegung durch Kompressions- und Biegemechanismen verbunden häufig mit Straßenaufprall (35,5 %).
- **Abdomen/Becken:** Beckenfrakturen bilden 15,8 % der Beckenverletzungen, häufig sind auch Begleitverletzungen der inneren Organe mit 16,3 %. Auch hier ist der Straßenaufprall (48,9 %), der Aufschlag des Körpers auf Feld- und Ackerflächen (7,3 %) und das eigene Zweirad mit Lenker und Tank mit 21,3 % besonders häufig als Verletzungsquelle genannt.
- **Arme:** häufig bilden Frakturen von Hand und Finger, sowie Humerus und Radius der Verletzungsschwerpunkte mit insgesamt 34,7 % der Armverletzungen. Ursächlich sind Abstütz- und Direktanprall auf der Straße mit 59,4 % und Abstützvorgänge am Lenker des Eigenen Zweirades mit 9,4 %.
- **Oberschenkel/Knie:** Oberschenkelfrakturen mit 34,7 % und Muskel-/Bandverletzungen im Bereich des Knies mit 6,5 % mit Ursache durch Straßenanprall (66,7 %) und Anprall gegen das beteiligte Fremdfahrzeug (ca. 10 %) sind hier dominierend.
- **Unterschenkel:** Frakturen des Schien- und/oder Wadenbeins finden sich in 30,9 %. Der Straßenanprall (41,1 %) und der Anprall mit dem Kollisionsgegner (ca. 20 %) wie auch der

Anprall gegen das eigene Zweirad (7,3 %) sind bei den Verletzungen des Unterschenkels bedeutsam.

- **Füße:** häufig sind Frakturen / Luxationen im Bereich des Sprunggelenks und des Knöchels mit insgesamt 31 %, auch hier waren der Straßenanprall (41,4 %) und Anprall des Fußes gegen Strukturen des kollidierenden Fremdfahrzeuges (ca. 27 %) häufig als Verletzungsquelle zugeordnet.

## Schlussfolgerung und Diskussion

In der vorstehenden Studie wurden 464 Unfälle mit Motorrädern mit einem Hubraum über 125 cm<sup>3</sup> ausgewertet, die in GIDAS durch ein wissenschaftliches Team mittels Datenerhebung am Unfallort in den Jahren 2010 bis einschließlich 2015 dokumentiert wurden. Ziel der Studie war es, die Charakteristik von schweren Motorradunfällen mit schwerverletzten und getöteten Fahrern herauszuarbeiten, um Möglichkeiten für eine Vermeidung dieser schweren Unfallfolgen zu erarbeiten.

Bei der Analyse der Verletzungsschwere zeigte sich, dass 17 % der bei Straßenverkehrsunfällen verunglückten Motorradfahrer (verletzt und/oder getötet) schwerste Verletzungen MAIS 3+ erlitten. Diese schweren Verletzungen treten häufig bei Kollisionen mit Nutzfahrzeugen mit 38,5 % auf und bei Kollisionen mit Pkw mit 17,1 %. Bei Alleinunfällen/Objektkollisionen (inklusive Stürzen) kam es zu 15,6 % MAIS 3+ verletzten Motorradfahrern.

Die Verletzungsschwere wird maßgeblich durch die umgesetzte Energie bei Kollision beeinflusst, wobei für die resultierenden Verletzungen die stattgehabte Relativgeschwindigkeit zwischen den Kollisionspartnern ein wissenschaftlich nachweisbarer Indikator für die zu erwartende Verletzungsschwere darstellt. Bei den geringgradig verletzten Motorradfahrern waren die weitaus niedrigsten Relativgeschwindigkeiten bei Kollision ermittelt worden. Bis zu einer Relativgeschwindigkeit von etwa 30 km/h ergeben sich kaum Schwerstverletzte MAIS 3+ (etwa 8,5 %), dagegen sind ca. 63 % aller MAIS 3+ Verletzten oberhalb von 50 km/h und somit bei hohen Relativgeschwindigkeiten aufgetreten.

Bei der Untersuchung der Kollisionstypen konnte ermittelt werden, dass die Objektkollision mit ca. 45 % am häufigsten auftrat, gefolgt von Kollisionstyp 4 (Motorrad schräg in Pkw-Seite) mit ca. 24 %. Die anderen Kollisionstypen weisen einen Anteil von unter 10 % auf. Der Anteil an MAIS 3+ Verletzten ist bei Kollisionstyp 2 (Motorrad frontal gegen Pkw-Front) mit 31,6 % am höchsten. Dies ist verständlich, da hier bei zwei sich bewegenden Fahrzeugen im Begegnungsverkehr die höchste Relativgeschwindigkeit bei Kollision erwartet werden kann. Diese korreliert wie zuvor bereits gezeigt mit der Schwere der Verletzungen. 27,8 % MAIS 3+ Verletzte gab es bei Kollisionstyp 3 (Motorrad kollidiert unter 90° mit Pkw-Seite). Bei Kollisionstyp 4 (Motorrad schräg gegen Pkw-Seite) konnten 18,9 %



MAIS 3+ verzeichnet werden, bei Kollisionstyp 5 (Motorrad gegen Pkw-Heck) 18,4 % und bei Objektkollisionen inklusive Stürzen 15,8 % MAIS 3+.

Kopfverletzungen findet man aktuell noch bei 22 % der Motorradfahrer bei 100 % Schutzhelmbenutzung. So stellt der Schutzhelm einen hohen Sicherheitsgewinn für Motorradfahrer dar, bedenkt man, dass ohne Schutzhelm in früheren Studien ein Anteil von 49 % mit Kopfverletzungen registriert wurden [15]. Ebenso zeigt verwendete Schutzkleidung in Form einer Schutz- bzw. Lederjacke oder Lederhose einen Schutz gegen Schürfungen und ausgeprägte Weichteilverletzungen. Eine Studie von Otte [16] konnte ebenfalls eine schützende Wirkung sogenannter Protektoren bestätigen, zwar nicht einen messbaren Schutz generell vor Frakturen, doch eine positive Änderung in der resultierenden Bruchform des Knochens, weg von der komplexen Mehrfachfraktur mit hohen Langzeitfolgen, hin zu einfachen Frakturformen mit geringeren Langzeitfolgen.

Ziel der vorstehenden Studie war es, das aktuell im Unfallgeschehen noch auftretende Verletzungsmuster hinsichtlich der Bedeutung schwerster Verletzungen zu analysieren. An schwersten Verletzungen traten insbesondere Frakturen des Gesichtsschädels und der Schädelbasis auf. An schweren Thoraxverletzungen sind Frakturen von Rippen, der Schulter und des Schlüsselbeines (Clavicula) sowie oft begleitende Verletzungen der inneren Organe zu festzustellen. Im Bereich der Wirbelsäule sind als schwere Verletzungen am häufigsten Frakturen der Brustwirbelsäule, gefolgt von Frakturen der Lendenwirbelsäule und der Halswirbelsäule festzustellen. Im Bereich des Abdomens kam es häufig zu schweren Verletzungen in Form von Frakturen im Bereich des Beckens sowie zu begleitenden Verletzungen der inneren Organe. Bei den Armverletzungen waren neben den leichten Verletzungen (Schürfwunden, Prellungen, etc.) Frakturen der Hand/Finger sowie der Speiche führend, gefolgt von Frakturen der Elle und des Oberarms. Im Bereich der Beine konnten insbesondere Oberschenkelfrakturen sowie Muskel- und Bandverletzungen im Bereich des Knies erkannt werden sowie Frakturen des Schienbeins und des Wadenbeins. Im Bereich der Füße traten viele Frakturen / Luxationen im Bereich des Sprunggelenks und des Knöchels auf sowie einzelner Zehen.

Bei der Analyse der Einzelverletzungen und deren Verletzungsursache zeigt sich eine Dominanz an Verletzungen, welche durch Aufprall / Sturz der Motorradfahrer auf die Straße / Straßenoberfläche / Feld- und Ackerboden verursacht wurden. Auch das eigene Zweirad wird als Verletzungsquelle häufig zugeordnet. Insbesondere die Beine erscheinen bei Kollision mit anderen Fahrzeugen häufig innerhalb der miteinander kollidierenden Fahrzeugstrukturen verletzungs exponiert zu sein. Für diese werden auch ähnlich wie bei den Armverletzungen Abstützmechanismen am eigenen Zweirad als verletzungsursächlich erkannt.

**Zusammengefasst** zeigt sich, dass die Sicherheit von Motorradfahrern sich in den letzten 20 Jahren deutlich verbessert hat, allerdings noch nicht das hohe Sicherheitsniveau des Pkw-Insassen erreicht hat.

Auch zeigen sich noch diverse Verletzungsschwerpunkte, die aus Sicht der wissenschaftlichen Unfallforschung beseitigt werden könnten. Die vorstehende Studie hatte das Ziel, die zu schwersten Verletzungen führenden Unfallsituationen zu erkennen und Maßnahmen für eine weitere optimierte Verletzungsprophylaxe zu erarbeiten.

Schwerste Verletzungen des Motorradfahrers treten im Unfallgeschehen des Motorradfahrers noch mit knapp 17 % auf, mit hohem Anteil bei Anprall am gegnerischen Fahrzeug und an Objekten des Straßenraumes. Damit sind Maßnahmen der passiven Sicherheit anderer Fahrzeuge relevant wie an Pkw und Lkw. Auch Maßnahmen am eigenen Zweirad erscheinen wichtig, da immerhin etwa 8 % aller Verletzungen des Motorradfahrers hier entstehen. Weiterhin ist zu erkennen, dass ein Anprall an gestaltfeste Hindernisse in der Verkehrsinfrastruktur, wie beispielsweise Bäume, Pfähle (4,5 %) und Schutzplanken (0,9 %) relativ häufig zu Verletzungen der Motorradfahrer führt, hier insbesondere auch zu schweren AIS 3+ Verletzungen. Auffallend häufig sind Verletzungen durch Aufprall / Sturz auf die Straße bzw. Straßenoberfläche mit nahezu der Hälfte aller Verletzungen. Auffallend ist auch der hohe Anteil an Frakturen an den Beinen insbesondere Schien- und Wadenbein sowie den Füßen. Hier sind Maßnahmen des Eigenschutzes (Schutzkleidung mit Protektoren) und Schutzelemente am Zweirad (Vollverkleidung und Seiten-Protektoren) zu fordern. Insbesondere wären diese auch in Anbetracht der doch häufig den Verletzungen zugeordneten Ursachen eines Straßenanpralles als geeignete Maßnahmen anzusehen. Sie können die Anprallenergie flächig verteilen und mindern. Passive Sicherheitssysteme wie Motorradairbags und Beinschutz am Motorrad durch Schutzverkleidung und speziellen sogenannten Legprotectors ([17], [18]) sind insbesondere bei Kollisionen mit Pkw und Objekten in der Lage, die Kinematik des bei Kollision sich von dem Zweirad lösenden Körpers des Motorradfahrers so zu verändern, dass schwere bzw. tödliche Verletzungen vermieden werden. Mehr Bedeutung in der Zukunft haben Sicherheitsmaßnahmen am eigenen Zweirad, erscheint dieses doch als Verletzungsquelle häufig verantwortlich für schwere Verletzungen der Arme und Beine.

Weitere Maßnahmen können in zwei zusätzlichen Ansätzen gesehen werden, nämlich einerseits in Fahrer- und Fahrzeugassistenzsystemen, die das Fahrerverhalten beeinflussen und die Fahrgeschwindigkeit den Gegebenheiten anpassen und reduzieren und auch konkrete Informationen geben können, um Konfliktsituationen und damit Unfälle zu vermeiden. Assistenzsysteme werden sicherlich in der Lage sein, insbesondere Unfälle mit MAIS 3+ Verletzten zu niedriger Verletzungsschwere zu wandeln. Andererseits ist eine Optimierung der Straßengestaltung und des Seitenraumes zur Vermeidung von schweren Verletzungen sinnvoll, beispielsweise verletzungsrelevante Stellen zu entschärfen und exponierte Straßenrandobjekte an bekannten oder zu ermittelnden Unfallschwerpunkten zu vermeiden oder mittels geeigneter Schutzplanken zu versehen.

## Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die Möglichkeit, Daten aus GIDAS (German In-Depth Accident Study) für die Studie nutzen zu können. Dabei handelt es sich um die größte „In-Depth“ – Datenbank in Deutschland. Diese wird finanziert durch die Bundesanstalt für Straßenwesen und die Forschungsvereinigung der Deutschen Automobilindustrie FAT des VDA (Verband der Deutschen Automobilindustrie). Der Gebrauch der Daten ist ausschließlich den Teilnehmern des Kooperationsverbandes erlaubt. Weitere Informationen über GIDAS können der Webseite entnommen werden <http://www.gidas.org>.

## Acknowledgement

GIDAS collects records and processes data from accidents of all kinds and, due to the on-scene investigation and the full reconstruction of each accident, gives a comprehensive view on the individual accident sequences and their causation. The project is funded by the Federal Highway Research Institute (BASt) and the German Research Association for Automotive Technology (FAT), a department of the VDA (German Association of the Automotive Industry). Use of the data is restricted to the participants of the project. Further information on GIDAS can be found at <http://www.gidas.org>.

## Literatur

- [1] Statistisches Bundesamt: Unfallstatistik, Wiesbaden, 2018.
- [2] Bundesanstalt für Straßenwesen: Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung – 2015, BAST Schriftenreihe Forschung Kompakt 15/16, 2016.
- [3] Gwehenberger, J.; Schwaben, I.; Spörner, A.; Kubitzki, J.: Schwerstunfälle mit Motorrädern – Analyse der Unfallstruktur und der Wirksamkeit von ABS.
- [4] Yildirim, F.; Block, W.-G.: Antiblockiersystem für Motorräder – Markt und Mehrwertfunktionen, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, VKU 6/2013, S. 220 – 225, 2013.
- [5] Zimmermann, M.; Georgi, A.: Sicherheitstechnik für Zweiräder, Bosch Study, Robert Bosch Accident Research, 2006; published to EU Commission on 1st April 2009.
- [6] Otte, D.; Krettek, C.; Brunner, H.; Zwipp, H.: Scientific Approach and Methodology of a New In-Depth-Investigation-Study in Germany so called GIDAS, ESV Conference, Japan, 2003.
- [7] Brühning, E; Otte, D.; Pastor, C.: 30 Jahre wissenschaftliche Erhebungen am Unfallort für mehr Verkehrssicherheit / 30 years in-depth accident studies for improving traffic safety, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, Volume 51, 2005.
- [8] Hautzinger, H.; Pfeiffer, M.; Schmidt, J.: Expansion of GIDAS Sample Data to the Regional Level: Statistical Methodology and Practical Experiences, ESAR-conference, Hannover, 2004.
- [9] Seeck, A.; Gail, J.; Sferco, R.; Otte, D.; Hannawald, L.; Zwipp, H.; Bakker, J.: Development of the accident investigation and data handling methodology in the GIDAS project, ESV-conference, Stuttgart, 2009.
- [10] Association for the Advancement of Automotive Medicine: The Abbreviated Injury Scale - Revision 1998 and 2005, American Ass. f. Automotive Medicine, Morton Grove, Illinois (USA), 2005.
- [11] European Commission: White Paper Roadmap to a Single European Transport Area – Towards a Competitive and Resource Efficient Transport System, <http://eur-lex.europa.eu/legal-content/EN/TXT/HTML/?uri=CELEX:52011DC0144>, final, Brüssel, Juli 2011.

- [12] European Commission Press Release: How Safe Are Your Roads? Commission Road Safety Statistics Show Small Improvement for 2014, Available at [http://europa.eu/rapid/press-release\\_IP-15-4656\\_en.htm](http://europa.eu/rapid/press-release_IP-15-4656_en.htm), IP/15/4656, Brüssel, 2015.
- [13] Otte, D.; Jessl, P.; Suren, E.G.: Impact Points and resultant Injuries to the Head of Motorcyclists involved in Accidents, with and without crash helmets, International IRCOBI conference on the Biomechanics of Impacts, Delft, Netherlands, 4.-6. September 1984.
- [14] International Organization for Standardisation: ISO 13232-8:2005: Motorcycles - Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles - Part 8: Documentation and reports, publication 12-2005, reviewed and confirmed 2014.
- [15] Richter, M.; Otte, D.; Lehmann, U., Chinn, B., Schuller, E., Doyle, D.; Sturrock, K.; Krettek, Ch.: Head Injury Mechanisms in Helmet-Protected Motorcyclists: Prospektive Multicenter Study, The Journal of Trauma, Vol. 51: S. 949-958, 2001.
- [16] Otte, D.: Possibilities of Load Reduction by Leg Protectors in the Protective Clothing of Motorcyclists – Technical, medical and biomechanical Approach - Vortrag und Proc. 46th AAAM Annual Scientific Conference, 367-385, Tempe, USA, 2002.
- [17] Otte, D.: Unfall- und Verletzungssituation von Motorrollern, Vortrag und Proc. 2. Internationale Motorradkonferenz (ifz), München, September 1998.
- [18] Rücker, P.; Berg, F. A.: Der Motorradairbag – neueste Ergebnisse aus Full-Scale-Tests nach ISO 13232, Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 5, S. 121 – 128, Mai 2005.

Adresse der Autoren

Professor Dipl. Ing. Dietmar Otte

BIOMED-TEC Hannover

Karl-Wiechert-Allee 3

30625 Hannover

[otte.dietmar@mh-hannover.de](mailto:otte.dietmar@mh-hannover.de)

[otte-research@t-online.de](mailto:otte-research@t-online.de)

## Anhang: Tabelle der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen

Orange hervorgehoben sind als schwer eingestuft Verletzungen AIS 3+ einschließlich AIS 2 Frakturen

Tabelle 3: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen Kopf.

Table 3: List of single injuries head.

Injuries			
type of injury	n-number	and localisation	percentage
<b>HEAD INJURIES</b>			
abrasion/cut	12x	2x forehead 1x left skull 1x right skull 1x left zygomatic arch 6x face 1x left eye	20.0 %
bruise/contusion/ haematoma	14x	6x skull n.f.s. 1x left skull 3x right skull 1x midface 2x right eye 1x left temple	23.3 %
laceration tear-contused- wound	7x	3x head n.f.s. 1x right frontal 1x right temporal 1x head at the top 1x back of the head	11.7 %
fractures skullbase	16x	4x skullbase n.f.s. 1x skullbase complex 1x skullbase sphenoid bone right 1x sphenoidal sinus left 1x skullbase ethmoid bone right 1x skullbase temporal bone right 1x petrous bone left 2x petrous bone right 3x occipital condyle 1x lamina lateralis	26.7 %
fractures skull	7x	1x multiple fractures 1x parietal bone 1x coronal bone 1x front wall auditory canal right 1x front wall auditory canal left 2x cranial roof	11.7 %
fractures facial skull	1x	1x maxillary sinus left	1.7 %
brain injury	2x	1x subgaleal haematoma right temporal 1x subgaleal haematoma frontal	3.3 %
<b>overall</b>	<b>60x</b>		<b>100 %</b>

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>HEAD INJURIES</b>		
field, meadow	5x	2,3%
other	3x	1,4%
tree	19x	8,6%
roof / roof edge	13x	5,9%
D-pillar opp. vehicle	1x	0,5%
own eyeglasses	5x	2,3%
own action	2x	0,9%
own helmet	39x	17,7%
windscreen opposin vehicle	9x	0,9%
vehicle underbody	1x	0,5%
rear window opp. vehicle	1x	0,5%
chinstrap	1x	0,5%
body movement	21x	9,5%
fender opp. vehicle	1x	0,5%
truck – load platform	1x	0,5%
truck – agricultural vehicle	1x	0,5%
wall	3x	1,4%
bumper opp. vehicle	4x	1,8%
roadside ditch	1x	0,5%
street / street surface	88x	40,0%
helmet visor	1x	0,5%
<b>overall</b>	<b>220x</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 4: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen Thorax.

Table 4: List of single injuries thorax.

Injuries		
type of injury	n-number and localisation	percentage
<b>THORAX INJURIES</b>		
abrasion cut	23x 1x n.f.s. 2x back 2x right 3x left 15x shoulder	5.1 %
bruise/contusion haematoma	149x 43x n.f.s. 4x frontal 2x back 13x right 15x left 2x both-sided / multiple 70x shoulder	33.0 %
laceration tear-contused-wound	4x 1x right 1x left 2x shoulder	0.9 %
fractures luxation/dislocation	189x 19x single ribs 59x ribs multiple / serial 104x shoulder / clavícula / scapula 7x sternum	41.9 %
organ injury internal organs	86x 1x internal bleeding 68x lungs 6x heart 1x pleura 6x aorta 2x v. cava inferior 1x v. subclavia 1x truncus brachiocephalicus	19.1 %
<b>overall</b>	<b>451x</b>	<b>100 %</b>

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>THORAX INJURIES</b>		
field, meadow	21x	5,5%
A-pillar opp. vehicle	4x	1,1%
other	2x	0,5%
door mirror opp. vehicle	2x	0,5%
tree	15x	4,0%
sheet metal B-C opp. vehicle	2x	0,5%
B-pillar	5x	1,3%
C-pillar	1x	0,3%
roof / roof edge	9x	2,4%
own action	1x	0,3%
own two-wheeler	2x	0,5%
own two-wheeler, handlebar	8x	2,1%
own two-wheeler, frame	1x	0,3%
rear of opp. vehicle	2x	0,5%
front frame opp. vehicle	1x	0,3%
hood opp. vehicle	5x	1,3%
front air dam opp. vehicle	1x	0,3%
windscreen	9x	2,4%
glas A-B opp. vehicle	2x	0,5%
glas B-C opp. vehicle/Fahrzeug	3x	0,8%
rear end of opp. vehicle / rear bumper	2x	0,5%
rear wheel opp. vehicle	1x	0,3%
body movement	8x	2,1%
fender opp. vehicle	2x	0,5%
truck – load platform	5x	1,3%
truck – agricultural vehicle	1x	0,3%
truck – lateral frame section	1x	0,3%
pylon	2x	0,5%
wall	2x	0,5%
pole	2x	0,5%
rescue operation	1x	0,3%
metal edge	3x	0,8%
front bumper opp. vehicle	1x	0,3%
roadside ditch	7x	1,8%
street / street surface	239x	63,1%
front door panel opp. vehicle	5x	1,3%
fence	1x	0,3%
<b>overall</b>	<b>379x</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 5: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen Wirbelsäule.

Table 5: List of single injuries spine.

Injuries		
type of injury	n-number and localisation	percentage
<b>SPINE INJURIES</b>		
cervical spine	84x 60x distortion / whiplash / strain / buckling 20x fracture 4x lesion / paralysis / bruise cervical mark	46.7 %
thoracic spine	56x 7x distortion / whiplash / strain / buckling 44x fracture 4x bone bruise 1x cut through spinal cord	31.1 %
lumbar spine	40x 8x distortion / whiplash / strain / buckling 32x fracture	22.2 %
<b>overall</b>	<b>180x</b>	<b>100 %</b>

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>SPINE INJURIES</b>		
field, meadow	5x	3,2%
A-pillar opp. vehicle	1x	0,6%
tree	11x	7,1%
curbside	1x	0,6%
B-pillar opp. vehicle	1x	0,6%
roof / roof edge	2x	1,3%
D-pillar opp. vehicle	1x	0,6%
windscreen	7x	4,5%
own two-wheeler, handlebar	1x	0,6%
hood opp. vehicle	4x	2,6%
rear wheel opp. vehicle	1x	0,6%
body movement	59x	38,1%
wall	1x	0,6%
front bumper opp. vehicle	1x	0,6%
roadside ditch	4x	2,6%
street / street surface	55x	35,5%
<b>overall</b>	<b>155x</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 6: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen Abdomen/Becken.

Table 6: List of single injuries abdomen/pelvis.

Injuries			
type of injury	n-number and localisation		percentage
<b>ABDOMEN/PELVIS INJURIES</b>			
abrasion cut	32x	6x n.f.s. 4x front 3x back 12x right 7x left	15.8 %
bruise/contusion haematoma	100x	16x n.f.s. 29x front 18x back 14x right 23x left	49.3 %
laceration tear-contused-wound	6x	0x n.f.s. 3x front 2x back 1x right 0x left	3.0 %
fractures luxation/dislocation	32x	4x pelvis n.f.s. 7x pelvic ring 7x acetabulum 2x sacroiliac joint 2x symphysis 2x ischium 3x iliac bone 4x pubis 1x tailbone	15.8 %
organ injury internal organs	33x	5x inner bleeding pelvis/abdomen 8x kidney 11x spleen 8x liver 1x pancreas	16.3 %
<b>overall</b>	<b>203x</b>		<b>100 %</b>

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>ABDOMEN/PELVIS INJURIES</b>		
field, meadow	13x	7,3%
other	1x	0,6%
door mirror opp. vehicle	2x	1,1%
tree	5x	2,8%
sheet metal B-C opp. vehicle	1x	0,6%
curbside	1x	0,6%
own two-wheeler	7x	3,9%
own two-wheeler, handlebar	18x	10,1%
own two-wheeler, motor, gearbox	1x	0,6%
own two-wheeler, saddle, bench seat	1x	0,6%
own two-wheeler, fuel tank	20x	11,2%
vehicle front opp. vehicle	4x	2,2%
hood opp. vehicle	3x	1,7%
rear bumper opp. vehicle	1x	0,6%
body movement	2x	1,1%
fender opp. vehicle	4x	2,2%
guardrail	4x	2,2%
roadside ditch	1x	0,6%
street / street surface	87x	48,9%
front door panel opp. vehicle	2x	1,1%
<b>overall</b>	<b>178x</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 7: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen obere Extremitäten.

Table 7: List of single injuries upper extremities.

Injuries			
type of injury	n-number and localisation		percentage
<b>UPPER EXTREMITIES INJURIES</b>			
abrasion cut	218x	6x n.f.s. 92x hand / finger 54x lower arm 18x upper arm 48x elbow	35.3 %
bruise/contusion haematoma	147x	4x n.f.s. 83x hand / finger 20x lower arm 9x upper arm 31x elbow	23.8 %
laceration tear-contused-wound	14x	9x hand / finger 2x lower arm 1x upper arm 2x elbow	2.3 %
fractures luxation/dislocation	214x	3x n.f.s. 75x hand / finger 19x upper arm / humerus 8x lower arm n.f.s. 25x ulna 77x radius 7x elbow	34.7 %
ligament injury tendon injury muscle injury	12x	9x hand / finger 1x m. radialis 1x m. ulnaris 1x m. medianus	1.9 %
distortion	9x	9x hand / finger	1.5 %
amputation partial amputation	4x	1x finger 3x lower arm	0.6 %
other / n.f.s.	1x	1x other / n.f.s.	0.2 %
<b>overall</b>	<b>617x</b>		<b>100 %</b>

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>UPPER EXTREMITIES INJURIES</b>		
field, meadow	16x	3,4%
A-pillar opp. vehicle	9x	1,9%
door mirror opp. vehicle	5x	1,1%
tree	14x	3,0%
sheet metal B-C opp. vehicle	3x	0,6%
sheet metal C-D sheet metal	1x	0,2%
B-pillar	2x	0,4%
C-pillar	3x	0,6%
roof / roof edge	4x	0,9%
own two-wheeler	2x	0,4%
own two-wheeler, handlebar	44x	9,4%
own two-wheeler, front panel	1x	0,2%
vehicle front opp. vehicle	9x	1,9%
vehicle rear opp. vehicle	4x	0,9%
hood opp. vehicle	8x	1,7%
windscreen	10x	2,1%
glas A-B opp. vehicle	3x	0,6%
glas B-C opp. vehicle	5x	1,1%
rear window opp. vehicle	2x	0,4%
body movement	2x	0,4%
fender opp. vehicle	7x	1,5%
truck – load platform	3x	0,6%
truck – agricultural vehicle	6x	1,3%
truck – lateral frame section	2x	0,4%
pole	4x	0,9%
taillight opp. vehicle	5x	1,1%
guardrail	4x	0,9%
roadside ditch	2x	0,4%
street / street surface	279x	59,4%
front sheet metal opp. vehicle	4x	0,9%
to get run over	5x	1,1%
fence	2x	0,2%
<b>overall</b>	<b>470x</b>	<b>100 %</b>



Tabelle 8: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen Oberschenkel/Knie.

Table 8: List of single injuries upper leg/knee.

Injuries			
type of injury	n-number and localisation	percentage	
<b>UPPER LEG / KNEE INJURIES</b>			
abrasion cut	185x 4x n.f.s. 1x front 7x right 10x left 3x both-sided / multiple 160x knee	43.1 %	
bruise/contusion haematoma	178x 16x n.f.s. 18x right 21x left 1x both-sided / multiple 122x knee	41.8 %	
laceration tear-contused-wound	10x 1x n.f.s. 1x right 1x left 7x knee	2.3 %	
fractures luxation/dislocation	32x 28x upper leg 4x knee	7.5 %	
ligament injury tendon injury muscle injury	28x 1x n.f.s. / knee instability 1x m. Vastus medialis 1x m. popliteus 1x m. gluteus max 1x m. tensor fasciae latae 2x collateral ligament 1x meniscus n.f.s. 4x medial meniscus 1x lateral meniscus 2x lig. collaterale mediale 2x. Cruciate ligament n.f.s. 4x anterior cruciate ligament 3x posterior cruciate liga 4x distortion knee	6.5 %	
<b>overall</b>	<b>429x</b>	<b>100 %</b>	

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>UPPER LEG / KNEE INJURIES</b>		
field, meadow	5x	1.9%
tree	1x	0.4%
sheet metal B-C opp. vehicle	3x	1.1%
curbside	1x	0.4%
B-pillar	1x	0.4%
roof / roof edge	1x	0.4%
own two-wheeler	3x	1.1%
own two-wheeler, handlebar	8x	3.0%
own two-wheeler, saddle, bench seat	1x	0.4%
own two-wheeler, side panel	1x	0.4%
own two-wheeler, fuel tank	2x	0.8%
vehicle front opp. vehicle	8x	3.0%
vehicle rear opp. vehicle	3x	1.1%
hood opp. vehicle	6x	2.3%
collision partner	1x	0.4%
body movement	2x	0.8%
fender opp. vehicle	18x	6.8%
truck – lateral frame section	1x	0.4%
pole	2x	0.8%
guardrail	2x	0.8%
roadside ditch	3x	1.1%
street / street surface	176x	66.7%
front sheet metal opp. vehicle	15x	5.7%
<b>overall</b>	<b>264 x</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 9: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen Unterschenkel.

Table 9: List of single injuries lower leg.

Injuries			
type of injury	n-number and localisation	percentage	
<b>LOWER LEG INJURIES</b>			
abrasion cut	66x 12x n.f.s. 4x front / shin 1x back / fibula 23x right 26x left	32.4 %	
bruise/contusion haematoma	58x 14x n.f.s. 1x front / shin 1x back / fibula 24x right 18x left	28.4 %	
laceration tear-contused-wound	12x 1x front / shin 1x back / fibula 5x right 5x left	5.9 %	
fractures luxation/dislocation	63x 15x n.f.s. 30x tibia 19x fibula	30.9 %	
muscle injuries	3x 1x n.f.s. 1x m. gastrocnemius 1x m. popliteus	1.5 %	
amputation	2x 2x lower leg	1.0 %	
<b>overall</b>	<b>204x</b>	<b>100 %</b>	

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>LOWER LEG INJURIES</b>		
field, meadow	1x	0,8%
tree	2x	1,6%
sheet metal B-C opp. vehicle	2x	1,6%
own two-wheeler	9x	7,3%
own two-wheeler, footrest, pedal	3x	2,4%
own two-wheeler, handlebar	1x	0,8%
own two-wheeler, front panel	1x	0,8%
vehicle front opp. vehicle	14x	11,3%
vehicle rear opp. vehicle	2x	1,6%
hood opp. vehicle	4x	3,2%
rear wheel opp. vehicle	1x	0,8%
license plate	1x	0,8%
body movement	2x	1,6%
fender opp. vehicle	12x	9,7%
pole	1x	0,8%
taillight opp. vehicle	1x	0,8%
headlight opp. vehicle	1x	0,8%
metal edge	2x	1,6%
guardrail / guardrail post	5x	4,0%
roadside ditch	1x	0,8%
street / street surface	51x	41,1%
front sheet metal opp. vehicle	6x	4,8%
front wheel opp. vehicle	1x	0,8%
<b>overall</b>	<b>124x</b>	<b>100 %</b>

Tabelle 10: Liste der Einzelverletzungen und Verletzungsursachen Füße.

Table 10: List of single injuries feet.

Injuries			
type of injury	n-number	and localisation	percentage
<b>FEET INJURIES</b>			
abrasion cut	49x	4x foot n.f.s. 7x dorsum of the foot 3x foot right 3x foot left 1x midfoot 1x bottom of the foot 1x heel 16x ankle joint / ankle 3x malleolus medialis 2x malleolus lateralis 8x toe	21.4 %
bruise/contusion haematoma	75x	5x foot n.f.s. 1x dorsum of the foot 12x foot right 4x foot left 8x midfoot 1x heel 36x ankle joint / ankle 1x malleolus lateralis 7x toe	32.8 %
laceration tear-contused-wound	5x	1x bottom of the foot 1x midfoot 1x malleolus medialis 2x ankle joint / ankle	2.2 %
fractures luxation/dislocation	71x	4x foot n.f.s. 15x midfoot 4x tarsal bones 2x heel 1x anklebone 21x ankle joint / ankle 2x tibia 2x fibula 20x toe	31.0 %
ligament injuries	9x	1x fibula 2x heel 5x ankle joint 1x toe	3.9 %
distortion	20x	1x tarsal 1x midfoot 18x ankle joint / ankle	8.7 %
amputation partial amputation	2x	1x forefoot 1x toe	0.9 %
<b>overall</b>	<b>229x</b>		<b>100 %</b>

Cause of Injuries		
cause of injury	n-number	percentage
<b>FEET INJURIES</b>		
field, meadow	5x	3,2%
A-pillar opp. vehicle	1x	0,6%
sheet metal B-C opp. vehicle	1x	0,6%
own action	1x	0,6%
own two-wheeler	13x	8,3%
own two-wheeler, footrest, pedal	6x	3,8%
own two-wheeler, motor, gearbox	13x	8,3%
own two-wheeler, side panel	1x	0,6%
own two-wheeler, front panel	1x	0,6%
vehicle front opp. vehicle	11x	7,0%
vehicle rear opp. vehicle	2x	1,3%
front frame opp. vehicle	1x	0,6%
hood opp. vehicle	3x	1,9%
collision partner	1x	0,6%
fender opp. vehicle	14x	8,9%
truck – lateral frame section	1x	0,6%
pole	4x	2,5%
guardrail / guardrail post	3x	1,9%
roadside ditch	1x	0,6%
street / street surface	65x	41,4%
front sheet metal opp. vehicle	5x	3,2%
to get run over	1x	0,6%
front wheel opp. vehicle	3x	1,9%
<b>overall</b>	<b>157x</b>	<b>100 %</b>

ADAS&ME: Experiments for the development of a rider condition  
monitoring system

ADAS&ME: Experimente zur Entwicklung eines Monitoring-Systems  
für die Verfassung des Fahrers

Ioannis Symeonidis, Stella Nikolaou, Katerina Toulidou, Olga Gaitatzi,  
Evangelia Chrysochoou, Evangelos Bekiaris

Hellenic Institute of Transport, Centre for Research & Technology Hellas,  
Thessaloniki, Greece

Aliki Xochelli

Institute of Applied Biosciences, Centre for Research & Technology Hellas,  
Thessaloniki, Greece

Marco Manuzzi, Tommaso Guseo

Dainese S.p.A., Vicenza, Italy

Luca Zanovello

Ducati Motor Holding S.p.A., Bologna, Italy

George Georgoulas

Department of Mechanical Engineering and Aeronautics,  
University of Patras, Patra, Greece

## Abstract

Long distance touring can lead to increased rider fatigue either due to environmental conditions or due to physical fatigue from the many riding hours. The rider's fatigue reduces his/her ability to control the motorcycle, decreases alertness and increases reaction time, which potentially can lead to an accident. Further medical emergencies as heat exhaustion or even fainting can render the rider incapable of controlling the motorcycle.

During ADAS&ME project, a rider condition monitoring system was developed and integrated in the Personal Protective Equipment (PPE) of the rider and the motorcycle. The novel system monitors three rider states: physical fatigue, inattention and stress.

In the context of developing and verifying the accuracy of the new system, experiments were performed with the following three objectives: 1. to study if it is possible to induce the above-mentioned rider states in the controlled conditions of a laboratory experiment; 2. to assess the accuracy of the system relative to professional medical grade equipment; and 3. to collect data for the development of rider state detection algorithms.

A motorcycle simulator inside an environmental chamber was employed for the experiments. Twelve volunteers were instrumented with both the ADAS&ME rider condition monitoring system, integrated on the PPE and the reference medical system; during the test, specific simulator scenarios and environmental conditions were examined. Additionally, the volunteers responded to self-assessment questionnaires concerning their condition.

This paper aims to describe the experimental setup, as well as the initial findings with regard to: a) the evaluation of the successful induction of each state and b) the measuring accuracy of the rider monitoring system relative to the medical reference.

ADAS&ME: Experiments for the development of a rider condition  
monitoring system

# 1 Introduction

During long distance touring, environmental conditions (e.g. high temperature, rain, wind), combined with rider fatigue, can affect the rider's physiological and psychological state and lead to high-risk situations. Furthermore, in situations where the rider is losing consciousness (e.g. resulting from rider extreme dehydration), the motorcycle becomes uncontrollable resulting in serious accidents.

In the Project “Adaptive ADAS to support incapacitated drivers Mitigate Effectively risks through tailor made HMI under automation” (ADAS&ME) we try to address the above situations by combining the bike environmental sensing (e.g. air temperature), along with rider condition monitoring (e.g. body temperature, heart rate) in order to anticipate high risk situations, and mitigate consequences of a probable accident by offering effective rider support (e.g. displaying the next resting area, limiting bike power/speed, turning on the hazard lights to warn other vehicles,...).

A new rider condition monitoring system was developed and integrated on a motorcycle (Figure 1) and the Personal Protective Equipment of the rider (Figure 2).



Fig. 1: Ducati Multistrada 1260 S, used in the ADAS&ME project.



Fig. 2: Dainese instrumented PPE, used in the ADAS&ME project.t

From the above-mentioned critical situations during long distance touring the following three rider states were distinguished and studied: physical fatigue, inattention and stress. In this paper the experiment that took place for the study of these three states is presented.

## 1.1 Physical fatigue

In this study physical fatigue comprises two sub-states: muscular fatigue and thermal impairment. Muscular fatigue due to riding can be broadly divided into two major activities: maintaining the body posture and generating the required forces to control the motorcycle. Riding posture significantly affects the fatigue of the rider and is often measured by EMG and analysis of posture variation (Velagapudi et al. 2010).

Car driving performance deteriorates at high ambient temperatures (Daanen et al. 2003) and considering the limited control over thermal comfort the rider has, it becomes a critical factor in safe riding. Further the lack of thermal comfort can lead to thermal impairment, which is often initially experienced with hyperthermia that is led by dehydration, and subsequently in extreme cases the rider may faint.

## 1.2 Inattention – Visual Distraction

In (US-EU Driver Distraction and HMI Working Group, 2013) inattention is described as “a *mismatch* between the current allocation of resources and those resources required by activities critical for safe driving. Distraction is a subset of inattention where the mismatch of applied resources (Young, et al., 2003) to the driving task is caused either by visual, auditory, biomechanical (physical) and cognitive distraction. For the needs of the project only visual distraction was studied, e.g. looking away from traffic too often or for too long (Kircher, K. and Ahlström, 2009).

## 1.3 Stress – Workload

In (Hoedemaker, 2002) the definition of workload is based on the amount of resources that are required by a set of concurrent tasks and it is distinguished in visual, motor and mental. In the project, we focused only on mental workload.

The objectives of the experiments were:

1. to study if it is possible to induce the above-mentioned rider states in the controlled conditions of a laboratory experiment;
2. to assess the accuracy of the system, integrated in the personal protective equipment, relative to professional medical grade equipment; and

3. to collect data for the development of rider state detection algorithms.

## 2 Materials and Methods

For each state a different experiment setup and protocol was used. The devices that were used to capture signals included:

- the Dainese Instrumented PPE;
- the thermometers, hygrometers and wind speed sensors of the environmental chamber;
- the motorcycle simulator data logger; and
- a patient monitor (Figure 3).

The data coming from these systems were all recorded in one PC and synchronized. Subjective assessment of the volunteer's conditions before during and after the experiment took place with specific questionnaires.

All potential participants were interviewed (via phone or face-to-face) to ensure inclusion and exclusion criteria were met. When the participant met these criteria, they were recruited, and they were given the opportunity to sign the informed consent form and any pre-testing questionnaire before the session. This was optional and to the discretion of each participant. A pre-defined procedure was followed by the study conduction team that included CERTH/ HIT employees and external participants. A medical practitioner was always present for the conduction of the experiment. The protocol of the experiment was approved from the CERTH ethics committee.

### 2.1 Physical fatigue setup

The volunteer rode a motorcycle available at CERTH-HIT for one hour in a predetermined route to induce muscular fatigue. After that, the rider rode the simulator (Figure 4) inside the environmental chamber (Figure 5), with temperature and relative humidity respectively set at 35° C and at 50% , in order to simulate a hot weather day. During the test, physiological (Figure 6) signals as ElectroCardioGram, Respiration Rate and skin temperature in different body regions were captured.





Fig. 3: Patient monitor.



Fig. 4: CERTH Motorcycle simulator.



Fig. 5: Environmental chamber.



Fig. 6: Physical fatigue test.

## 2.2 Visual distraction setup

Two bright visual indicators were randomly activated on the simulator dashboard (Figure 7) and at the left side of the rider to attract the volunteer's gaze. Inertial Measurement Units on the helmet and on the torso recorded the volunteers' movements.



Fig. 7: Distraction light on the dashboard.

## 2.3 Mental workload and stress setup

The volunteers rode the simulator in a scenario where other road users display behaviours that potentially induce stress and irritation (e.g. they do not follow a constant speed and do not allow the rider to overtake). This setup comprised three parts:

- N-back: The n-back task is a sequential memory task, frequently used in neuroscience to induce cognitive workload. The test participant is supposed to memorize the last  $n$  objects of a series (e.g. numbers) that is sequentially revealed (Kirschner, 1958).
- Sing-a-Song Stress Test (Figure 8) (SSST): The participant should sing a song aloud. The participants continue to ride during the whole procedure (Brower et al., 2014).
- Noise Exposure: An uncomfortable high pitch noise is suddenly activated (Stansfeld et al, 2003, Lusk et al, 2010).



Fig. 8: Sing-a-song trial as it was presented on the simulator screen.

## 3 Results

Twelve motorcycle riders (11 males and 1 female) participated in the experiment. Their average age was 35 years old with 6 years old standard deviation, their average height  $180 \pm 7$  cm and their average weight  $91 \pm 17$  kg.

Below samples of the collected data from one volunteer and preliminary processing is presented.

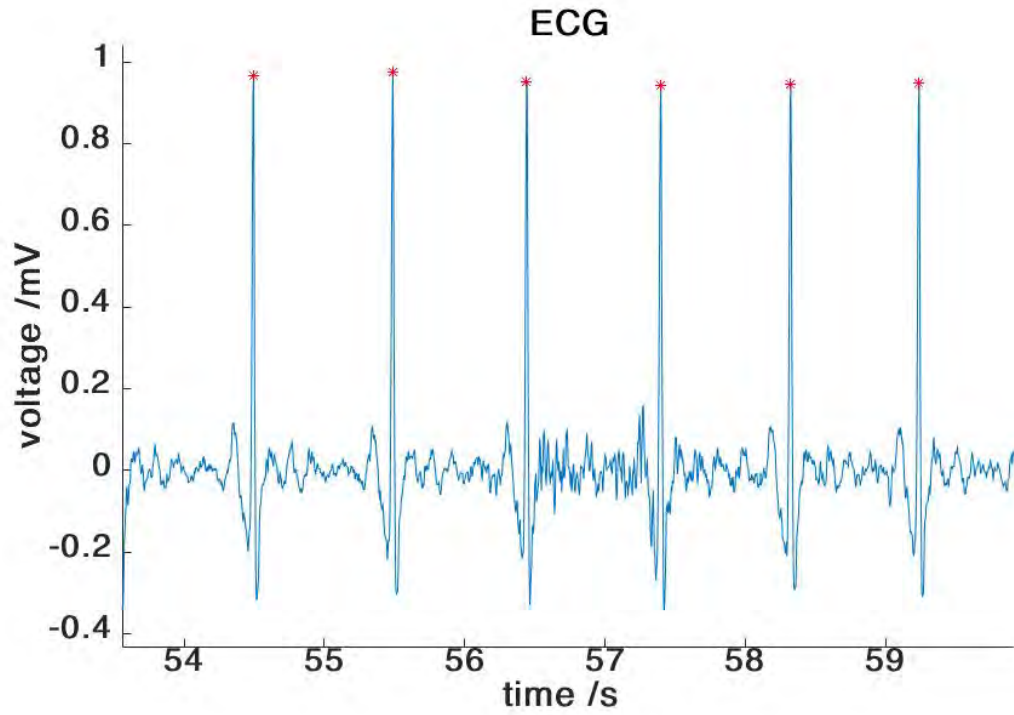


Fig. 9: Captured ECG signal and R-R peaks detection for the calculation of heart rate during the physical fatigue setup.

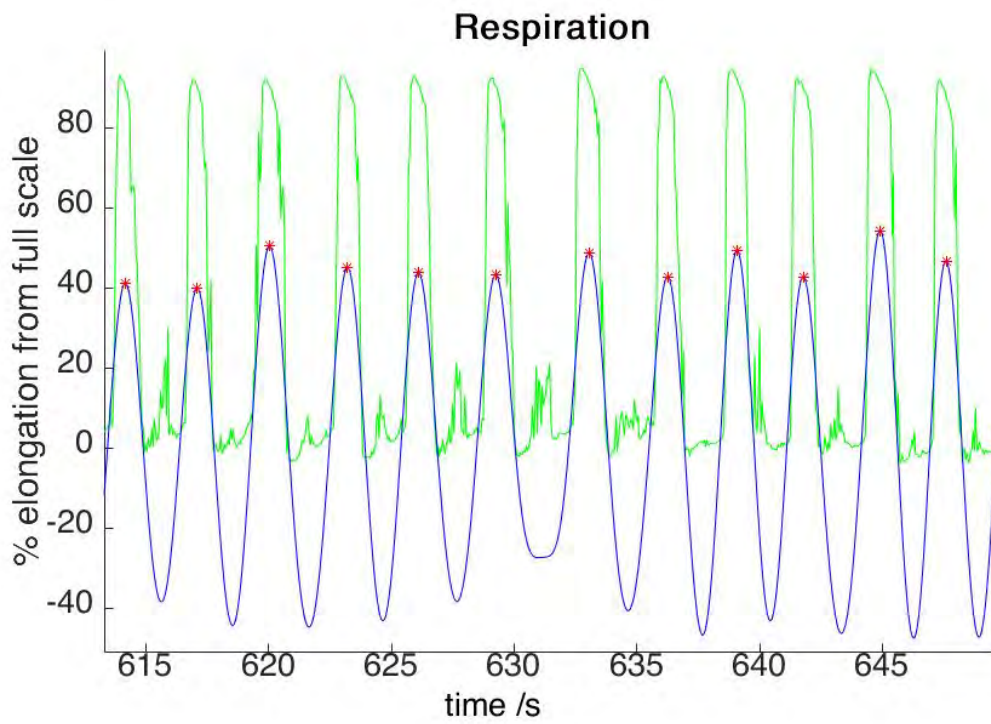


Fig. 10: Respiration signal (in green) and its filter (in blue) during the physical fatigue setup.

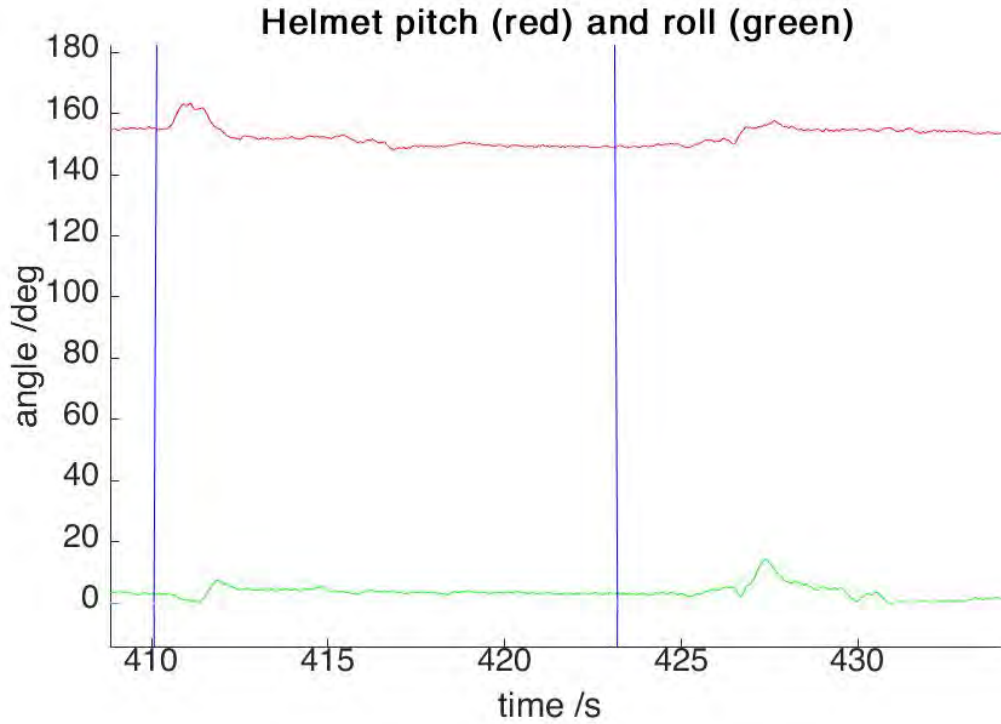


Fig. 11: Helmet pitch (red) and roll (green) angle signal during the dashboard distraction (blue).

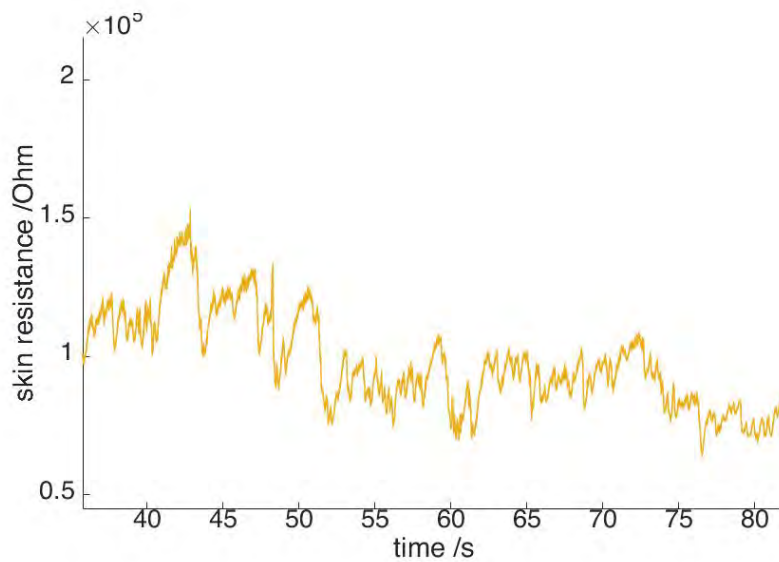


Fig. 12: Electrodermal activity sensor during stress setup.

## 4 Discussion

Currently the initial data analysis is on its way. The multitude of sensors and the overlap of their functionality will allow the selection of the most efficient combination and placement. The comparison with the reference system allows the verification of the new sensors reliable functioning but also the

verification of the algorithms developed for derivative signals, e.g. the calculation of the heart rate from the ECG signal.

Limitations of the study included the low level of thermal impairment induction, which was due to health safety reasons: the environmental temperature was not increased above the indications of the medical doctor that was present during the experiments. The workload stress levels based on the subjective assessment were not as high as expected. An explanation could be that riding a motorcycle on the road with other road users is already a demanding task and the riders were comparing their stress levels on the simulator with real riding conditions.

## 5 Acknowledgement

The ADAS&ME project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement No 688900.

## 6 References

- Daanen, H. A., Van De Vliert, E., & Huang, X. (2003). Driving performance in cold, warm, and thermoneutral environments. *Applied ergonomics*, 34(6), 597-602.
- Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. J., & Hardy, J. D. (1967). Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environmental research*, 1(1), 1-20.
- Hoedemaker, M. (2002). "Summary Description of Workload Indicators: Workload Measures". Human Machine Interface and the Safety of Traffic in Europe Growth Project. s.l. : HASTE. Institute for Transport Studies. Leeds, UK: University of Leeds., 2002.
- Kircher, K. and Ahlström, C., 2009. Issues related to the driver distraction detection algorithm AttenD. In First International Conference on Driver Distraction and Inattention. Gothenburg, Sweden.
- Kirchner, W. K. (1958). "Age differences in short-term retention of rapidly changing information". *Journal of Experimental Psychology*. 55 (4): 352–358. doi: 10.1037/h0043688
- Stansfeld, S. A. and Matheson, M. P. (2003). "Noise pollution: non-auditory effects on health". *British Medical Bulletin*, Volume 68, Issue 1, Pages 243–257
- Velagapudi, S., Balasubramanian, V., k, A., Babu, R. et al.,(2010) Muscle Fatigue due to Motorcycle Riding. SAE Technical Paper 2010-32-0100. <https://doi.org/10.4271/2010-32-0100>

US-EU Driver Distraction and HMI Working Group. 2013. Driver Distraction: A Review of the Current State of Knowledge. 2013.

Young, Kristie, Regan, Michael and Hammer, Mike. 2003. Driver Distraction: A Review of the Literature. 2003.

Zwolińska, M. (2013). Case study of the Impact of Motorcycle Clothing on the Human Body and its Thermal insulation. *Fibres & Textiles in Eastern Europe*.

Zwolińska, M., & Bogdan, A. (2013). Thermal sensations of surgeons during work in surgical gowns. *International Journal of Occupational Safety and Ergonomics*, 19(3), 443-453.

Different approaches with regard to safe cornering lines and  
how to adopt them – background information and  
possible improvements

Unterschiedliche Ansätze sicherer Kurvenfahrlinien und deren  
Aneignung – Hintergründe und mögliche Verbesserungen

Dr. Roman Angermann  
Touring Club Switzerland

Klaus Schwabe  
Biketraining & Consulting, Germany

Unterschiedliche Ansätze sicherer Kurvenfahrlinien und deren  
Aneignung – Hintergründe und mögliche Verbesserungen



# Inhaltsverzeichnis

Aufgabenstellung und Zielvorstellung

Methode

Literaturanalyse

Internetrecherche

Expertenaustausch

Experten in der Schweiz

Experten ausserhalb der Schweiz

Auswertung der Internetrecherche

Ergebnisse Schweiz

Ergebnisse „Nicht-Schweiz“

Auswertung der Literaturanalyse

Ergebnisse Schweiz

Ergebnisse „Nicht-Schweiz“

Geschwindigkeiten

Schräglage

Infrastruktur

Basen und Hintergründe der vorgeschlagenen Linie

Zusammenfassung und Ausblick

Danksagung

Literaturverzeichnis

## Aufgabenstellung und Zielvorstellung

Ursprung der vorliegenden Literatur- und Internetrecherche war das Ziel, auf der Homepage des Touring Club Schweiz den Mitgliedern des Clubs und interessierten Nicht-Mitgliedern Tipps zu geben, wie sie als Motorradlenkende eine Kurve sicher fahren können.

Entgegen den Erwartungen, dass sich die Experten in der Schweiz einig sein würden, dass das sogenannte „Hinterschneiden“<sup>1</sup> von Kurven die sicherste Variante der Linienwahl in Kurven ist, zeigte es sich, dass sich die Experten in der Schweiz bezüglich der Linienwahl in der zweiten Kurvenhälfte uneinig sind.

Unstrittig ist hingegen, dass eine Kurve aussen angefahren werden soll, selbstverständlich nur, solange sich dort kein Hindernis befindet, bzw. dies gefahrlos gefahren werden kann.

Weiter zeigte sich, dass in der Schweiz in der Grundausbildung eine andere Linienwahl als in der Weiterbildung gelehrt wird. Während in der Grundausbildung gelehrt wird, dass die Räder des Motorrades der Linie der kurvenäusseren Räder eines Zweispurfahrzeuges folgen,<sup>2</sup> wird in der Weiterbildung sowohl dieses Modell als auch das Hinterschneiden von Kurven gelehrt und gelernt.

Gegen das Hinterschneiden von Kurven wurden zahlreiche Argumente aufgeführt, die sich zum einen auf die Infrastruktur, hauptsächlich der Strassenbeschaffenheit, zum zweiten auf die Blickführung und -technik, zum dritten auf die Andragogik und Didaktik und zum vierten auf die Fahrdynamik des Motorrads und die Mensch-Maschine-Interaktion fokussierten.

Der vorliegende Artikel soll in Kürze aufzeigen, warum das Hinterschneiden von Kurven im Grundsatz und im Hinblick auf die Strassenbeschaffenheit, den Motorradlenkenden, die Fahrdynamik des Motorrads, die Mensch-Maschine-Interaktion sowie die Pädagogik und Didaktik in der Grundausbildung und Weiterbildung der Motorradlenkenden die sicherste Variante für das Kurvenfahren darstellen dürfte.

Weiter soll erläutert werden, warum das Hinterschneiden von Kurven stets adaptiert werden muss und je nach äusseren Umständen ganz aufzugeben ist.

---

<sup>1</sup> Vgl. z.B.: Institut für Zweiradsicherheit: Das Hinterschneiden von Kurven, Link: <https://www.ifz.de/das-hinterschneiden-von-kurven/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

<sup>2</sup> Vgl. bspw.: Kantonspolizei Bern: Vorausschauend, partnerschaftlich und sicher fahren. Tipps für eine lange, genussvolle und unfallfreie Motorradsaison, Bern 2016. Links: <https://www.blog.police.be.ch/2017/05/24/achtung-motorradfahrer-bleiben-sie-bitte-auf-der-richtigen-linie/> und <http://www.police.be.ch/police/de/index/ueber-uns/kantonspolizei/publikationen.assetref/dam/documents/POM/Police/de/Verkehr/flyer-tipps-motorradsaison-de.pdf>, zum letzten Mal aufgerufen am 12.7.2018.

Zum dritten soll eruiert werden, ob es sinnvoll wäre, das Hinterschneiden von Kurven europaweit zu propagieren und in den Fahrprüfungen auch abzu prüfen.

Zum Wichtigsten: der vorliegende Artikel soll zur Diskussion anregen. Er ist keinesfalls als abschließend zu betrachten, sondern sollte als Startpunkt einer offenen und integrierten Diskussion für mehr Fahrsicherheit der Motorradlenkenden in Kurven dienen.

## Methode

### Literaturanalyse<sup>3</sup>

Es wurde eine Literaturrecherche und -analyse aus Artikeln und Monographien durchgeführt. Diese hatte zum Ziel, ein möglichst umfassendes Bild über die verschiedenen Wissensstände in möglichst vielen Ländern und Kontinenten zu erhalten.

### Internetrecherche<sup>4</sup>

Es wurde eine möglichst breit angelegte Internetrecherche durchgeführt. Berücksichtigt wurden insbesondere Europa, die USA und Australien. Die Recherche erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit aller vorgeschlagenen Versionen

### Expertenaustausch

Um die Literaturanalyse und die Internetrecherche besser einordnen zu können, wurden zweierlei Experten befragt:

Zum einen wurden Experten in Europa angefragt,<sup>5</sup> zum anderen Experten in der Schweiz:

#### Experten in der Schweiz

Laut Aussagen diverser Experten, welche die herkömmliche, in der Schweiz in der Grundausbildung vermittelten Kurvenfahrlinie vermitteln, sei diese Linie den Fahranfängern einfacher zu vermitteln.

---

<sup>3</sup> Vgl. für die konsultierte Literatur das Literaturverzeichnis.

<sup>4</sup> Vgl. für die konsultierten Websites das Literaturverzeichnis.

<sup>5</sup> Namentlich waren dies: Rolf Knechtli, René Altschul und Jürg Stalder (alle Schweiz); Klaus Schwabe und Wolfgang Stern, Deutschland.

Ihrer Meinung nach hätten die Fahrschüler sowieso schon Probleme, eine Kurve richtig zu fahren (Gang- und Geschwindigkeitswahl, Blickführung und -technik, Fahrzeugbeherrschung etc.).<sup>6</sup>

Diese Methodik wurde auch von der Polizei übernommen – allerdings zumindest teilweise verallgemeinernd sowohl für Fahranfänger als auch für fortgeschrittene Motorradlenkende.<sup>7</sup>

In der Weiterbildung zeigte sich, dass beide Varianten gelehrt werden: sowohl diejenige, welche in der schweizerischen Grundausbildung für die Motorradlenkenden gelehrt wird, als auch das Hinterschneiden von Kurven.<sup>8</sup>

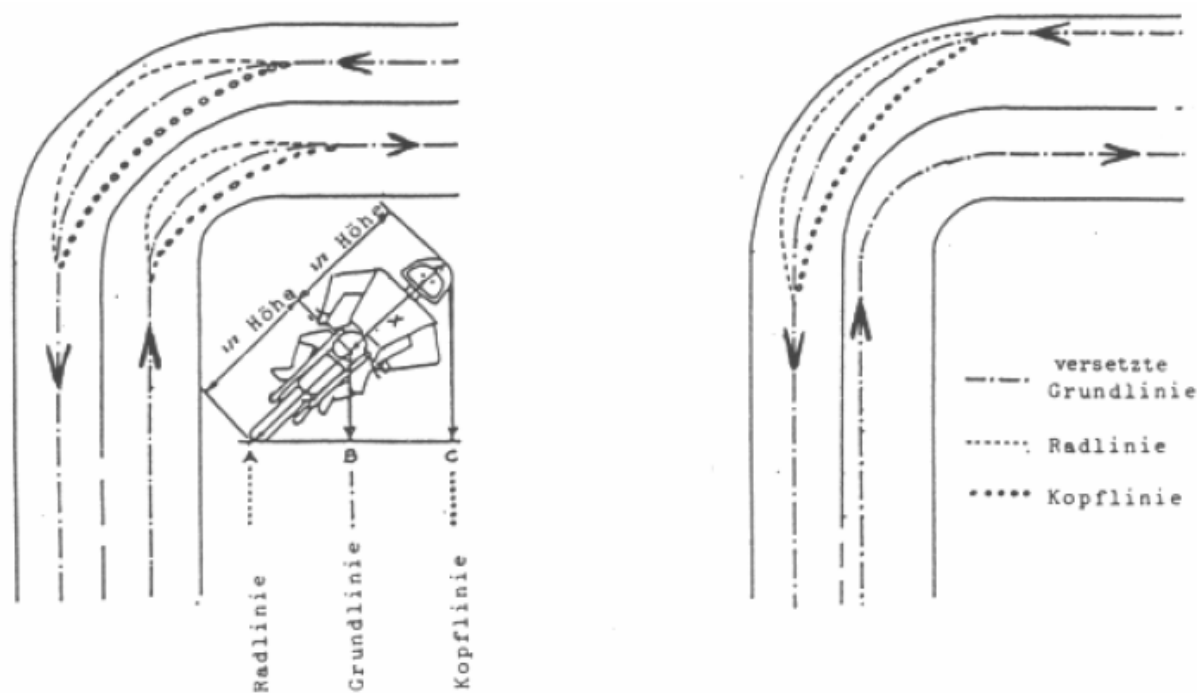


Bild 3

Bild 4

Quelle: Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement (EJPD):  
Leitfaden für die Ausbildung und Prüfung von Motorrad-Fahrlehrern. Fachgruppe 7,  
Erteilung von praktischem Fahrunterricht. Bern 1989, S. 16.

<sup>6</sup> Siehe Fussnote 20.

<sup>7</sup> Vgl. bspw.: Kantonspolizei Bern: Vorausschauend, partnerschaftlich und sicher fahren. Tipps für eine lange, genussvolle und unfallfreie Motorradsaison, Bern 2016. Links:  
<https://www.blog.police.be.ch/2017/05/24/achtung-motorradfahrer-bleiben-sie-bitte-auf-der-richtigen-linie/> und  
<http://www.police.be.ch/police/de/index/ueber-uns/kantonspolizei/publikationen.assetref/dam/documents/POM/Police/de/Verkehr/flyer-tipps-motorradsaison-de.pdf>, zum letzten Mal aufgerufen am 10.7.2018.

<sup>8</sup> Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement: Leitfaden für die Ausbildung und Prüfung von Motorrad-Fahrlehrern. Fachgruppe 7, Erteilung von praktischem Fahrunterricht. Bern 1989, S. 15f. Vgl. dazu die Bilder 4 und 5 auf S. 16 der Quelle.

Grundsätzlich sind aber weder die eine noch die andere Linie strikt zu befolgen. Je nach (Gefahren-)Situation kann, soll, bzw. muss eine gänzlich andere Linie gefahren werden, um einen Unfall vermeiden zu können.

Als das Hinterschneiden von Kurven als die sicherere Variante der Kurvenlinienwahl unter Schweizer Fachexperten zur Diskussion gestellt wurde, kamen diverse Argumente gegen diese Linienwahl zur Sprache:

- Infrastruktur: Nach Meinung der Befürworter der Linie „ausser bleiben“ ist der Reibwert in der Mitte des Fahrstreifens am geringsten, da dieser Bereich die höchste Verschmutzung aufweise.
- Geschwindigkeit: Nach Meinung der Befürworter „ausser bleiben“ sei die Kurvengeschwindigkeit insbesondere in der Mitte der Kurve höher als bei der Variante „ausser bleiben“.
- Schräglage: die Schräglage sei grösser beim Hinterschneiden als bei der Variante „ausser bleiben“.

Experten ausserhalb der Schweiz

Zum anderen wurden Experten in Europa, USA und Australien befragt.<sup>9</sup>

Die angefragten Experten ausserhalb der Schweiz waren sich einig, dass das Hinterschneiden von Kurven grundsätzlich die sicherste Variante darstellt, um eine Kurve zu durchfahren. Analog zu den Fahrlehrern in der Schweiz ist diese Variante selbstverständlich nicht stur zu befolgen, sondern den Verhältnissen anzupassen.

Die angefragten Motorradwissenschaftler waren sich einig, dass das Hinterschneiden von Kurven für Motorradlenkende die sicherste Variante für das Befahren einer Kurve darstellt; selbstverständlich unter Beachtung der jeweiligen (Gefahren-)Situation.

Grundsätzlich waren sich sämtliche Wissenschaftler und Fahrlehrer jedoch einig, dass ein zu frühes Reinziehen in die Kurve, sprich ein viel zu früh angesetzter Scheitelpunkt, aus Gründen der Sicherheit auf jeden Fall zu vermeiden ist, um folgendes Szenario (Fotomontage) zu vermeiden:

---

<sup>9</sup> Namentlich waren dies: Stéphane Espié, Ifstar Paris, Frankreich; Martin Winkelbauer, KfV, Wien, Österreich; Achim Kuschefski und Matthias Haasper, ifz, Essen, Klaus Schwabe Motorradtraining & Consulting, Deutschland.



Quelle: Martin Winkelbauer und Hannes Bagar: Kurvenlinien in unübersichtlichen Linkskurven. Ergebnisse einer Videoanalyse, Wien 2013, S. 26.

Die entsprechende – falsche Kurvenfahrlinie ist hier (im Gegensatz zum Hinterschneiden) ersichtlich als orange, gestrichelte Linie:



Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz: Kurven sicher fahren. Vernier 2018.<sup>10</sup>

<sup>10</sup> Vgl.: <https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/motorrad/kurven-motorrad.php>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018. Vgl. sinngemäss auch:

Diese Erkenntnisse basieren unter anderem auf den Untersuchungen von Klaus Schwabe,<sup>11</sup> Martin Winkelbauer und Hannes Bagar,<sup>12</sup> sowie dem Institut für Zweiradsicherheit<sup>13</sup>. Vgl. dazu die folgende Bildgrafik, die real verdeutlicht, wie weit der Motorradlenkende bei falscher Linienwahl und Richtung Fahrstreifenaussenseite fährt:



Quelle: Klaus Schwabe: Learn2burn, Petting 2015, S. 102.

## Auswertung der Internetrecherche

### Ergebnisse Schweiz

In der Schweiz wird in der Grundausbildung gelehrt, der kurvenäusseren Reifenspur von Zweispurfahrzeugen zu folgen:

---

<https://themcdonalds.net/richard/wp/totw-improve-your-cornering-with-lane-position/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

<sup>11</sup> Vgl.: Klaus Schwabe, Learn2burn, Petting 2015, S. 78ff.

<sup>12</sup> Martin Winkelbauer und Hannes Bagar: Kurvenlinien in unübersichtlichen Linkskurven. Ergebnisse einer Videoanalyse, Wien 2013.

<sup>13</sup> Vgl.: Institut für Zweiradsicherheit: Das Hinterschneiden von Kurven, Link:

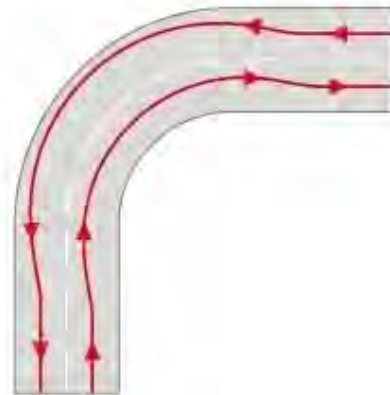
<https://www.ifz.de/das-hinterschneiden-von-kurven/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

So fahren Sie Kurven sicher.  
Und genussvoll.

**Geschwindigkeit reduzieren,  
Kurve anfahren, beschleunigen**



**Achten Sie auch auf  
die richtige Linienwahl:**

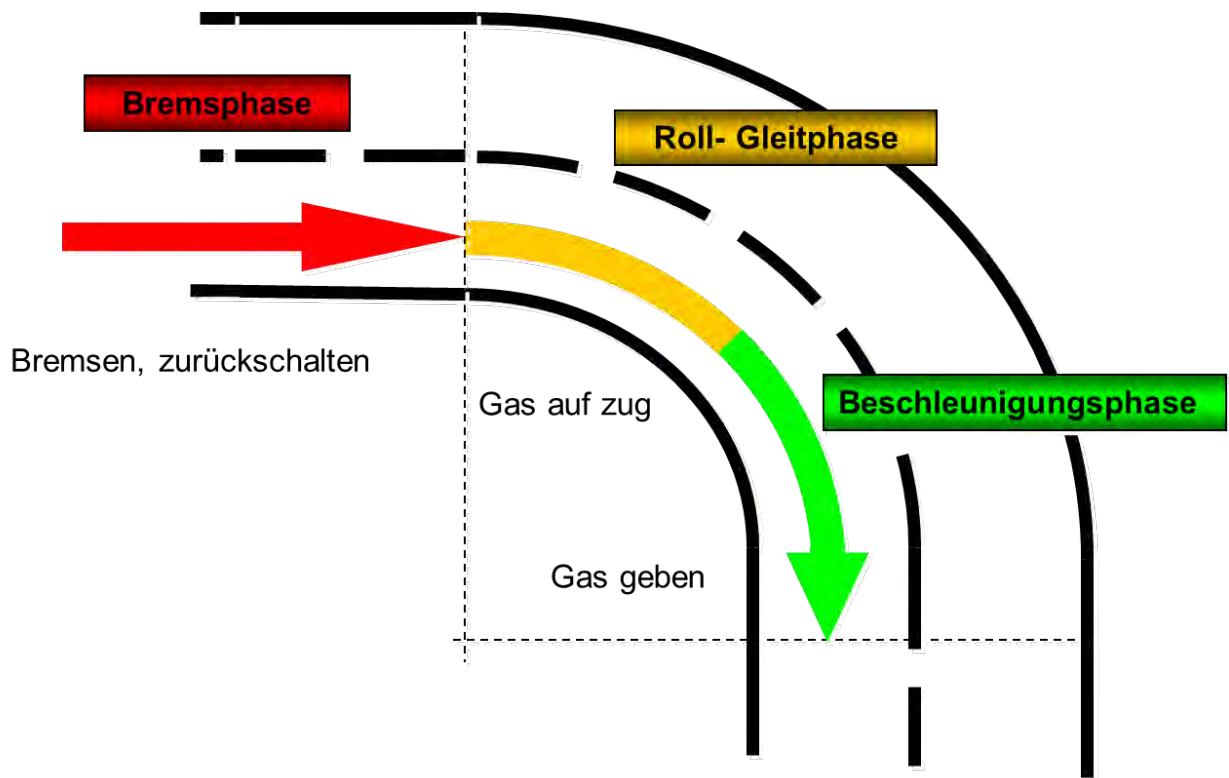


Quelle: Kantonspolizei Bern: So fahren Sie Kurven sicher. Und genussvoll. Bern 2016.<sup>14</sup>

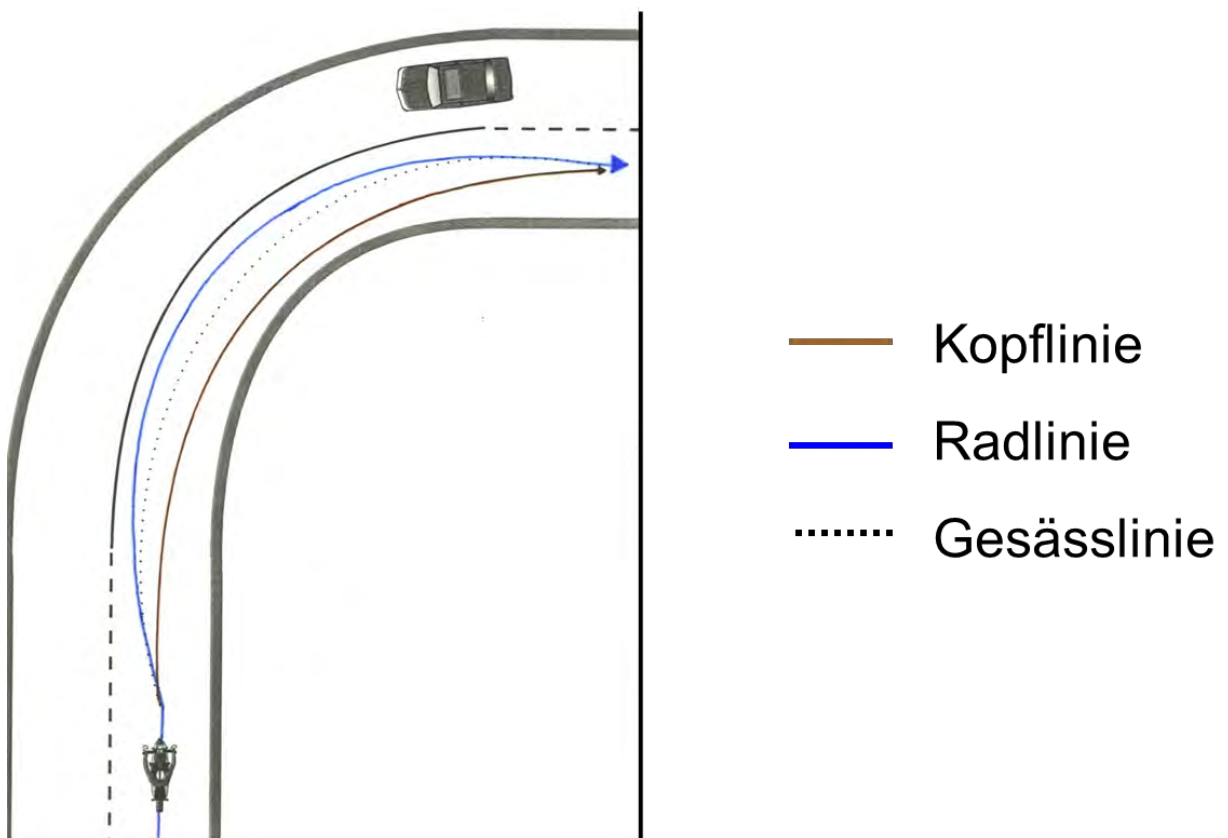
Dabei wird die Kurvenfahrt hinsichtlich der Geschwindigkeitswahl in drei Abschnitte unterteilt: „Bremsphase bzw. Verzögern“; „Roll-/Gleitphase“ bzw. „Rollen“ und „Beschleunigen und genießen“, bzw. „Beschleunigungsphase“.

<sup>14</sup> Kantonspolizei Bern: Vorausschauend, partnerschaftlich und sicher fahren. Tipps für eine lange, genussvolle und unfallfreie Motorradsaison, Bern 2016. Links: <https://www.blog.police.be.ch/2017/05/24/achtung-motorradfahrer-bleiben-sie-bitte-auf-der-richtigen-linie/> und <http://www.police.be.ch/police/de/index/ueber-uns/kantonspolizei/publikationen.assetref/dam/documents/POM/Police/de/Verkehr/flyer-tipps-motorradsaison-de.pdf>, zum letzten Mal aufgerufen am 10.7.2018.

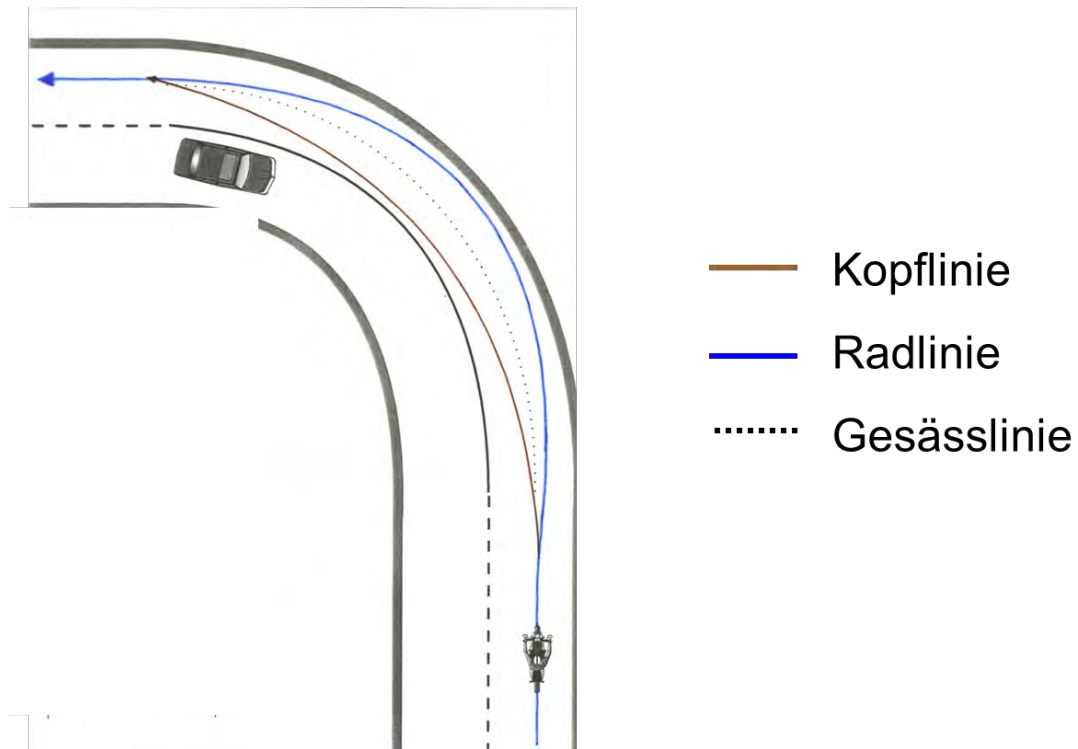




Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz: Kurvenlinie Motorradkurs, Hinwil 2016.



Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz: Kurvenlinie Motorradkurs, Hinwil 2016.



Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz: Kurvenlinie Motorradkurs, Hinwil 2016.

## Ergebnisse „Nicht-Schweiz“

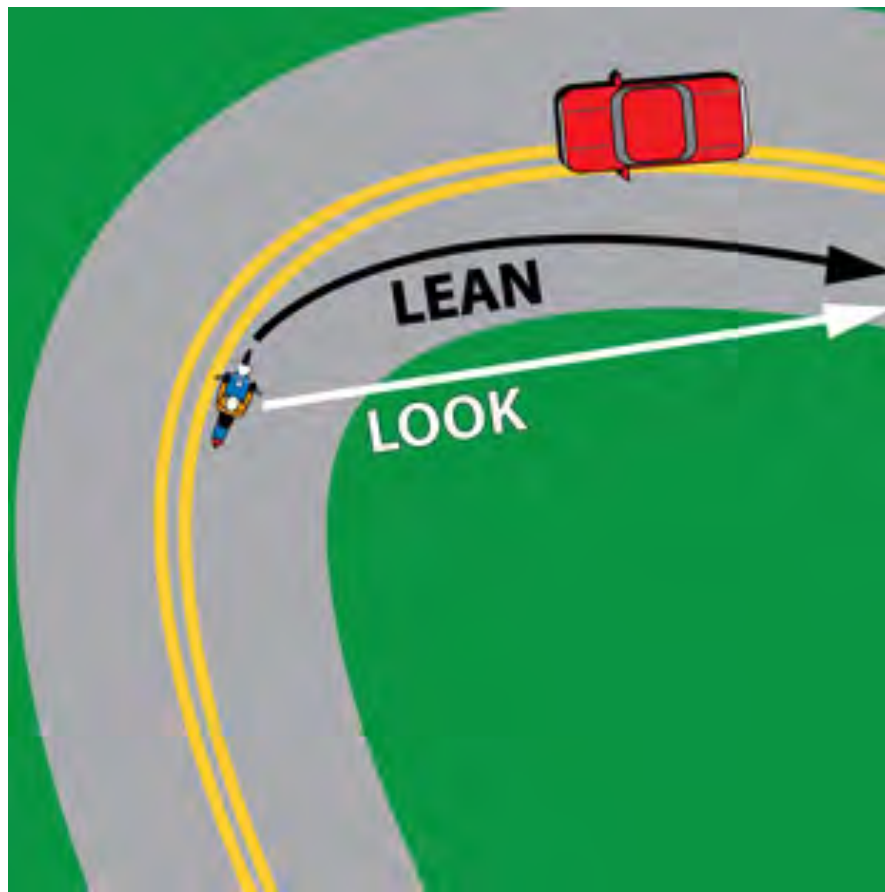
In den USA haben sich insgesamt drei Trajektorien herausgeschält: Herkömmlich wie in der Schweiz;<sup>15</sup> Hinterschneiden der Kurve,<sup>16</sup> und schlussendlich der „Quick turn“.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Vgl.: <https://themcdonalds.net/richard/wp/totw-improve-your-cornering-with-lane-position/>, und, etwas eingeschränkt, auch <https://www.bestbeginnermotorcycles.com/8-great-beginner-riding-habits/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

<sup>16</sup> Vgl.: <http://www.motorcycle.com/top10/8-essential-motorcycle-riding-skills.html/attachment/021518-essential-motorcycle-skills-decreasing-radius-corner-graphic>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

<sup>17</sup> Vgl.: <http://www.ridinginthezone.com/the-power-of-the-quick-turn/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

Hinterschneiden:



Quelle: Oregon State University/Team Oregon: Motorcycle Training and rider development, Corvallis/Oregon 2018.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Oregon State University/Team Oregon: Motorcycle Training and rider development, Corvallis/Oregon 2018.

Link: <https://team-oregon.org/resources/whatwouldyoudo/cornering/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018 und

Motorcycle.com: Essential Motorcycle Riding Skills, Toronto 2018. Link:

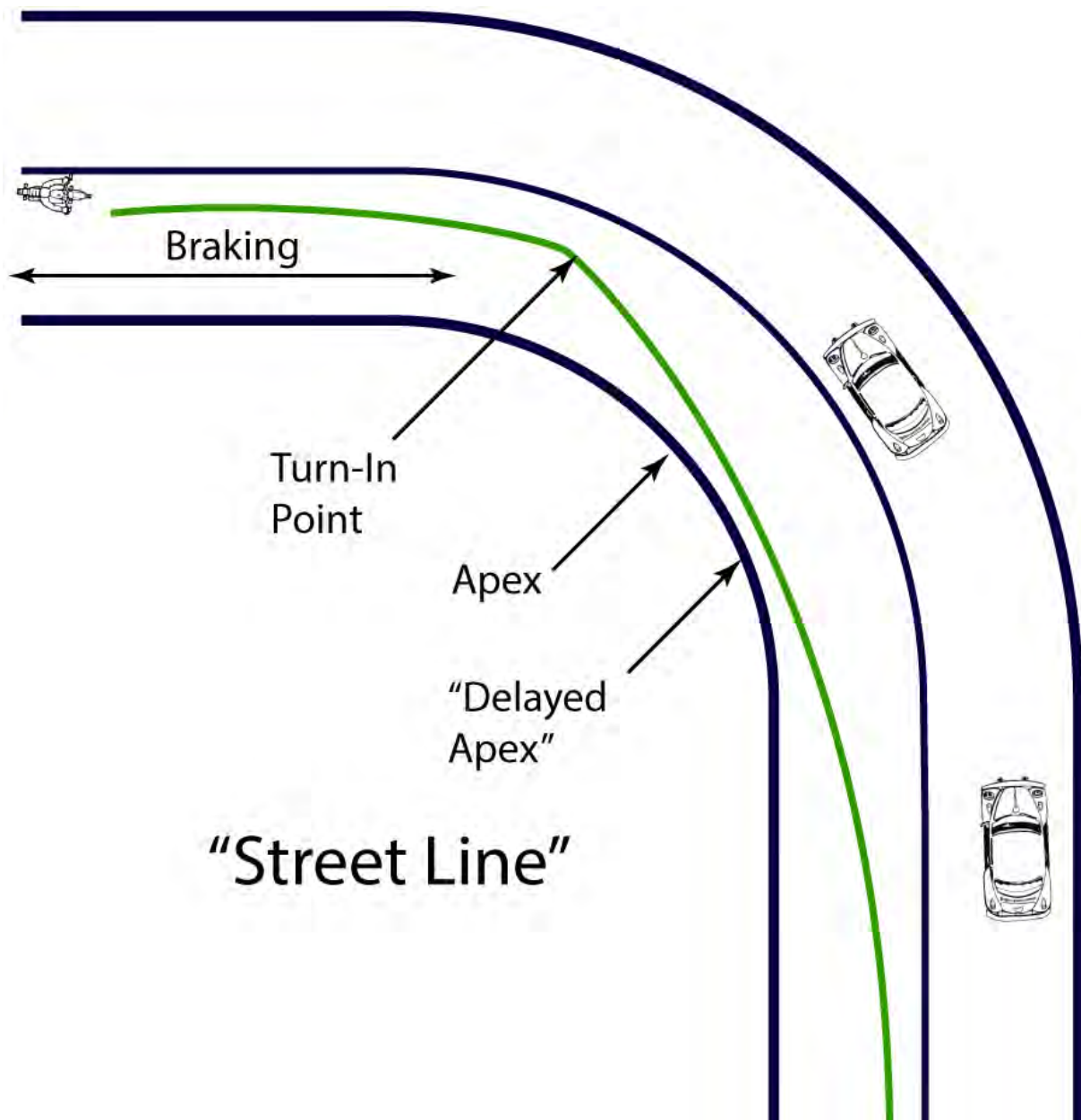
<http://www.motorcycle.com/top10/8-essential-motorcycle-riding-skills.html/attachment/>

[021518-essential-motorcycle-skills-decreasing-radius-corner-graphic](http://www.motorcycle.com/top10/8-essential-motorcycle-riding-skills.html/attachment/021518-essential-motorcycle-skills-decreasing-radius-corner-graphic), zuletzt aufgerufen am 12.7.2018. Siehe

auch ähnlich, jedoch auf die Rennstrecke ausgerichtet: Bestbeginnermotorcycles:

<https://www.bestbeginnermotorcycles.com/8-great-beginner-riding-habits/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

Quick turn:



Quelle und Copyright: Richard McDonald: Safe Line, Canada 2018.<sup>19</sup>

<sup>19</sup> Richard McDonald: Safe Line, Canada 2018. Link:

<https://themcdonalds.net/richard/wp/totw-improve-your-cornering-with-lane-position/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018. Vgl. zum Quick turn auch: Riding in the Zone. Advanced training for skillful motorcycling: The power of the quick turn. Link: <http://www.ridinginthezone.com/the-power-of-the-quick-turn/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

Der „quick turn“ erscheint den Autoren auf Grund der relativ abrupten Richtungs-, bzw. Schräglagen- und Richtungsänderung nicht ungefährlich. Hierzu ist jedoch Forschungsbedarf notwendig, um den Sachverhalt eingehend zu klären.

# Auswertung der Literaturanalyse

## Ergebnisse Schweiz

Die Literaturanalyse in der Schweiz zeigte deutlich, dass das Hinterschneiden von Kurven in der einschlägigen Literatur in der Schweiz für die *Grundausbildung* nicht unbedingt im Vordergrund steht. Vielmehr ist es so, dass den Fahrschülern in der Grundausbildung gelehrt wird, mit den Reifen des Motorrads der äusseren Fahrspur von zweispurigen Motorfahrzeugen zu folgen. Dies gilt für die gesamte Kurve.

Erst am Ende der Kurve soll das Motorrad wieder in die Fahrstreifenmitte bewegt werden. Die Überlegungen dahinter waren und sind, dass beobachtet wurde, dass insbesondere Fahranfänger vielfach mit dem Kurvenfahren bereits (zu) sehr gefordert sind. Anstatt in der Grundausbildung von der Grundlinie<sup>20</sup> wie in Bild 4 der untenstehenden Quelle zu sprechen, wies und weist man insbesondere Fahranfänger aus Gründen der didaktischen Reduktion in der Grundausbildung an, mit den Reifen des Motorrades der kurvenäusseren Reifenfahrspur von Zweispurfahrzeugen zu folgen.<sup>21</sup>

Hingegen ist das Hinterschneiden von Kurven in der Schweizerischen Literatur der Grund- und Weiterbildung durchaus existent, vgl. Bild 4 der Quelle:<sup>22</sup>

---

<sup>20</sup> Umgangssprachlich auch „Gesässlinie“ genannt; Telefongespräch mit Jürg Stalder, Präsident Schweizerischer Motorrad-Fahrlehrer-Verband am 25.7.2018.

<sup>21</sup> Wie Fussnote 20.

<sup>22</sup> Vgl.: Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement: Leitfaden für die Ausbildung und Prüfung von Motorrad-Fahrlehrern. Fachgruppe 7, Erteilung von praktischem Fahrunterricht. Bern 1989; Schweizerischer Motorrad-Fahrlehrer-Verband: Kursplan für die praktische Grundschulung der Motorrad-Fahrschülerinnen und Fahrschüler, Burgdorf 2008 sowie bspw.: Fahrschule René Beck: Handbuch für Fahrschüler. Link: [http://www.fahrschulerebeck.ch/fahrschule/motorrad\\_handbuch\\_files/Handbuch%20f%C3%BCr%20Motorradfahrer.pdf](http://www.fahrschulerebeck.ch/fahrschule/motorrad_handbuch_files/Handbuch%20f%C3%BCr%20Motorradfahrer.pdf), zuletzt abgerufen am 25.7.2018.

Vgl. der Vollständigkeit halber auch: Bundesamt für Strassen ASTRA: Weisungen betreffend die praktische Motorrad-Grundschulung, Bern 2007. Link: [http://www.astra2.admin.ch/media/pdfpub/2007-12-11\\_2504\\_d.pdf](http://www.astra2.admin.ch/media/pdfpub/2007-12-11_2504_d.pdf), zuletzt aufgerufen am 25.7.2018.

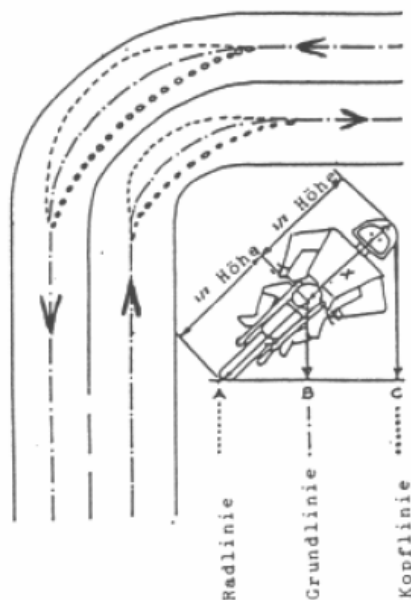


Bild 3

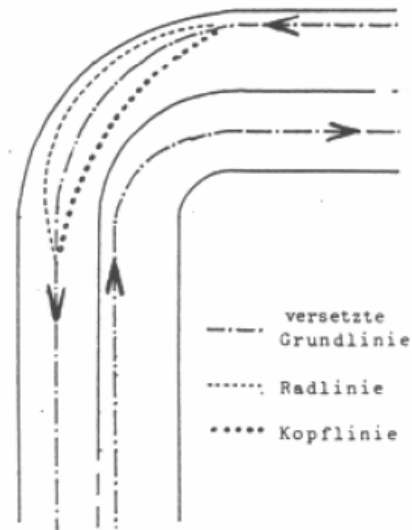


Bild 4

Quelle: Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement:  
Leitfaden für die Ausbildung und Prüfung von Motorrad-Fahrlehrern. Fachgruppe 7,  
Ertelung von praktischem Fahrunterricht. Bern 1989, S. 16.

## Ergebnisse „Nicht-Schweiz“

### Geschwindigkeiten

Die zu hohe *Kurveeingangsgeschwindigkeit* ist – insbesondere bei Fahranfängern – statistisch betrachtet eine der Hauptursachen von Unfällen.<sup>23</sup> Weitere Untersuchungen zeigen, dass sich bis zu zwei Drittel der Unfälle von Motorradlenkenden in der ersten Kurvenhälfte ereignen.<sup>24</sup>

Das Phänomen der zu hohen Kurveeingangsgeschwindigkeit ist nur ein Grund für die hohe Unfallzahl in der ersten Kurvenhälfte, betrifft aber nicht nur Motorrad-, sondern auch Autolenkende.<sup>25</sup>

<sup>23</sup> Vgl. z.B.: Martin Winkelbauer: Unfallursachen bei Motorradunfällen. Wien 2018, S. 88.

<sup>24</sup> Markus Wyss et al.: Motorradfahrer auf Bergstrassen: Unfallgeschehen und Sicherheitsmassnahmen in: Strasse und Verkehr 1-2 (2009), S. 16ff.; Winkelbauer unternimmt zudem die Unterscheidung zwischen objektiv und subjektiv zu hoher (Kurveeingangs-)Geschwindigkeit; vgl.: Martin Winkelbauer: Kurvenlinien von Motorradfahrern in unübersichtlichen Linkskurven, Wien 2013, S. 7f. und 11.

<sup>25</sup> Vgl. bspw.: Frank Klempau: Untersuchungen zum Aufbau eines Reibwertvorhersagesystems im fahrenden Fahrzeug, Darmstadt 2003, S. 144; <http://www.allgaeuhit.de/-Immenstadt-Nahe-Immenstadt-in-Tobel-gestuerzt-Motorradfahrer-lebensgefuehrlich-verletzt-article10000428.html>, zuletzt abgerufen am 23.7.2018; Martin Winkelbauer: Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich Motorrad & Sicherheit, Präsentation Luxemburg 27.3.2018, Folie 91f. Link: [http://www.mul.lu/cms/images/00\\_Tourisme/pdf/LU\\_Seminar2018\\_Winkelbauer\\_Motorradforschung\\_4\\_red.pdf](http://www.mul.lu/cms/images/00_Tourisme/pdf/LU_Seminar2018_Winkelbauer_Motorradforschung_4_red.pdf), zuletzt aufgerufen am 23.7.2018; siehe auch: Burkhard Madea: Praxis Rechtsmedizin, Heidelberg 2007, S. 458.

Die Autoren bezweifeln jedoch stark, dass eine zu hohe Kurveneingangsgeschwindigkeit, bzw. die zu hohe Geschwindigkeit im weiteren Verlauf der Kurve das massgebliche Problem darstellt. Vielmehr, und das soll der weitere Verlauf des Artikels zeigen, dürfte es sich bei Kurvenunfällen von Motorradlenkenden im Wesentlichen um eine falsche Linienwahl, kombiniert mit einer falschen Blicktechnik und -führung sowie zu wenig Schräglage handeln, die zu den meisten Unfällen führt.<sup>26</sup>

Ist die Kurveneingangsgeschwindigkeit angepasst, so stellt die Geschwindigkeit in der Kurve vergleichsweise selten ein Problem dar – es sei denn, der Lenkende versucht viel zu früh und/oder viel zu stark zu beschleunigen.

Am Kurvenausgang gilt Ähnliches wie in der Kurvenmitte.

Das Hinterschneiden von Kurven und damit das Anfahren der Kurve vom kurvenäusseren Strassenrand kann zudem die adäquate Geschwindigkeitswahl fördern.

### Schräglage

Die *physikalisch mögliche* Schräglage stellt nach einhelliger Meinung aller angefragter Fachleute beim Kurvenfahren, also auch beim Hinterschneiden von Kurven, kein Problem dar.

In den weitaus überwiegenden Fällen sind die Grenzen beim Lenkenden zu suchen; in den weitaus überwiegenden Fällen ist der Reibwert, selbst bei Regen und die Schräglagenfreiheit des Motorrades mehr als ausreichend, um noch mehr Schräglage zu fahren.<sup>27</sup>

Dies zeigt sich u.a. an retrospektiven Untersuchungen zu tödlichen Motorradunfällen in Kurven, bei denen nie eine grössere Schräglage von mehr als 20° messbar war.<sup>28</sup>

Das Hinterschneiden schafft zudem Freiräume und Sicherheitsreserven beim Kurvenausgang. Die Schräglage ist nicht zwingend größer. Es kommt darauf an, wie sich die Situation in der Kurve entwickelt. Siehe die folgende Bildgrafik.

---

<sup>26</sup> Vgl. dazu auch Martin Winkelbauer: Unfallursachen bei Motorradunfällen. Wien 2018, S. 87ff.

<sup>27</sup> Vgl. bspw.: <http://www.varahannes.at/testbericht%20bt023.htm>, zuletzt aufgerufen am 2.8.2018.

<sup>28</sup> Vgl. Klaus Bauer et al: Retrospektive Analyse tödlicher Motorradunfälle und Ableitung von Schutzmaßnahmen bei komplexen Bremsmanövern, in: Tagungsband der 10. Internationalen Motorradkonferenz 2014, S. 116-118. Hier scheint jedoch die Frage berechtigt, ob nicht anderweitige Gründe für die relativ geringe Schräglage grundlegend gewesen sein könnten; z.B. Blendung, plötzlich auftretendes Hindernis wie ein Vogel, ein anderes Wildtier, dem jeweils ausgewichen wurde, etc.

Hinterschneiden:



Quelle: Klaus Schwabe, *Learn2burn*, Petting 2015 Jahr, S 103.

### Infrastruktur

Der Reibwert zwischen Fahrbahn und Reifen stellt gemäss einschlägiger Literatur nur dann ein Problem der Kurvenfahrt dar, wenn es entweder zu (sehr) starken Reibwertsprüngen kommt oder der Reibwert drastisch reduziert ist.<sup>29</sup>

---

<sup>29</sup> Vgl. bspw: Peter Saleh: *Interaction between Powered Two-Wheeler Accidents and Infrastructure*, Paris 2010, S. 19f.; Francesco Bella: *Impact of Pavement Defects on Motorcycles' Road Safety*, in *Procedia* 53 (2012), S. 946f.; Benedikt Lattke et al.: *Gefahrstellenerkennung in einem kommunikationsbasierten Fahrerassistenzsystem für Motorräder*, 5. Tagung Fahrerassistenz München, München, 15.-16. Mai 2012, S. 2; George Yannis et al.: *Road infrastructure and safety of power two wheelers*, 12. WCTR, 11.-15. Juli 2010, Lissabon, S. 2 und 10; Patrick Seininger et al.: *Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern*. Bergisch Gladbach 2009, S. 22ff., 39ff.; Julie Brown et al.: *Motorcycle In-depth Crash Study*, Sydney 2015, S. 54, 62, 86. Brown beschreibt auch detailliert die Auswirkungen von Fahrbahnzustand und Unfallfolgen, Vgl. dazu bspw. ebd., S. 62; David Milling et al.: *Infrastructure Improvements to Reduce Motorcycle Casualties*, Sydney 2016, S. 15f., 20, 65, 67 und 73 und Narelle Haworth et al.: *Case-Control Study of Motorcycle Crashes*, Clayton 1997, S. 23.



Ganz besonders heimtückisch ist Diesel,<sup>30</sup> Heizöl oder Motorenöl<sup>31</sup> bei (nasser) Fahrbahn. Ohne Zusätze von Benzin oder anderen Stoffen können diese drei Stoffe, welche den Reibwert massiv herabsetzen, vom menschlichen Auge bei nasser Fahrbahn kaum erkannt werden.<sup>32</sup>

Allerdings fahren, z.B. wie Winkelbauer und das Department of Infrastructure, Energy & Resources in Tasmanien, um zwei geographisch vollkommen diverse Länder zu benennen, Motorradlenkende weit überwiegend bei trockenen Bedingungen.<sup>33</sup>

Der Reibwert kann sich über die ganze Fahrstreifenbreite unterscheiden. Hintergrund ist die Tatsache, dass am häufigsten Zweispurfahrzeuge einen Fahrstreifen benutzen.

Je nach Belagsmischung kann durch häufige Benutzung bei den Fahrspuren, welche hauptsächlich von Zweispurfahrzeugen verursacht und benutzt werden, der Reibwert im Vergleich zum ursprünglichen Zustand in den beiden Radspuren steigen, gleich bleiben oder sinken. Bei längerer Benutzung sinkt er.<sup>34</sup>

In der Mitte kann die Verschmutzung höher sein als auf den beiden äusseren Reifenfahrspuren, was jedoch keine Rolle spielt, da die Verschmutzung in der Fahrstreifenmitte tiefer im Belag ist, da der Belag in der Mitte des Fahrstreifens in den meisten Fällen die grösste Makro- und Mikrohöhe<sup>35</sup> aufweist.<sup>36</sup>

Es konnten in der Literatur kaum Hinweise darauf gefunden werden, dass, ausser bei hohen Reibwertsprüngen und den erwähnten, sehr geringen und auch nicht erkennbaren äusserst niedrigen Reibwerten<sup>37</sup>, der Reibwert im Unfallgeschehen von Motorradlenkenden eine Rolle spielt.

---

<sup>30</sup> Vgl.: Julie Brown et al.: Motorcycle In-depth Crash Study, Sydney 2015, S. 55, 82, 92 und 99.

<sup>31</sup> Vgl.: Julie Brown et al.: Motorcycle In-depth Crash Study, Sydney 2015, S. 55, 82, 86 und 99.

<sup>32</sup> Vgl. bspw.: Bob M. Gallaway et al.: Pavement design and controls for minimizing automotive hydroplaning and increasing traction, in ASTM STP 793 (1983), S. 167-190 und Bobby Meitei et al.: Review of diesel spillage clean-up procedures, Wokingham 2010.

<sup>33</sup> Vgl.: Department of Infrastructure, Energy & Resources: A Review of Serious Casualty Motorcycle Crashes in Tasmania, Hobart 2010 und Martin Winkelbauer: Unfallursachen bei Motorradunfällen, Wien 2018, S. 9 und 31ff.

<sup>34</sup> Vgl. bspw.: Bob M. Gallaway et al.: Effects on pavement surface characteristics and texture on skid resistance, College Station Texas, 1971.

<sup>35</sup> Vgl. bspw.: Gerd Müller et al.: Unfallvermeidung durch Reibwertprognosen, Berlin 2017, S. 28, 34, 99 ; Douglas James Wilson : An Analysis of the Seasonal and Short-Term Variation of Road Pavement Skid Resistance, Auckland 2006 und David Milling et al.: Infrastructure Improvements to Reduce Motorcycle Casualties, Sydney 2016, S. 99.

<sup>36</sup> Vgl. bspw.: David Milling et al.: Infrastructure Improvements to Reduce Motorcycle Casualties, Sydney 2016, S. 99ff.

<sup>37</sup> Siehe Fussnote 32.

Zusätzlich können Horizontalversätze (Schlagloch, Rutschung, Riss etc.), die beispielsweise nach starken Regenfällen, auf Grund von Frostaufbrüchen oder nach einem Erdbeben auftreten können, Ursache für einen Sturz oder Unfall sein.

Ebenso können unter bestimmten Umständen ungünstige Radianrelationen mit Unfällen von Motorradlenkenden zusammenhängen.<sup>38</sup>

Vielmehr kommen jedoch sämtliche einschlägigen Studien zum Schluss, dass in den bei Weitem überwiegenden Fällen ein Fahrfehler der Grund für einen Sturz oder einen Unfall darstellt.<sup>39</sup>

In einigen wenigen Fällen ist es nicht auszuschliessen, dass ein technischer Defekt am Motorrad unfallursächlich sein kann.<sup>40</sup>

Die in Frage kommenden Unfalltypen lassen sich im Groben in folgende Kategorien unterteilen.<sup>41</sup>

- Abkommen von der Fahrbahn in der ersten Kurvenhälfte
- Abkommen von der Fahrbahn in der zweiten Kurvenhälfte
- Kollision mit entgegenkommendem Fahrzeug in einer Rechtskurve (bei Rechtsverkehr), bzw. in einer Linkskurve (bei Linksverkehr)
- Kollision mit der Leitplanke in einer Linkskurve (bei Rechtsverkehr), bzw. in einer Rechtskurve (bei Linksverkehr)

## Basen und Hintergründe der vorgeschlagenen Linie

Die vorgeschlagene Linie hat hauptsächlich zwei Basen:

Zum einen die Arbeit von Vavryn et al., in der dieser für Links- wie Rechtskurven grafisch anschaulich erklärt, warum man eine Kurve aussen anfahren und dann „reinziehen“ soll. Dazu entwickelt er das

---

<sup>38</sup> Vgl. Clemens Hartmann: Analyse von unfallkausalen Zusammenhängen von Motorradunfällen in Abhängigkeit der Radianrelation, Wien 2010.

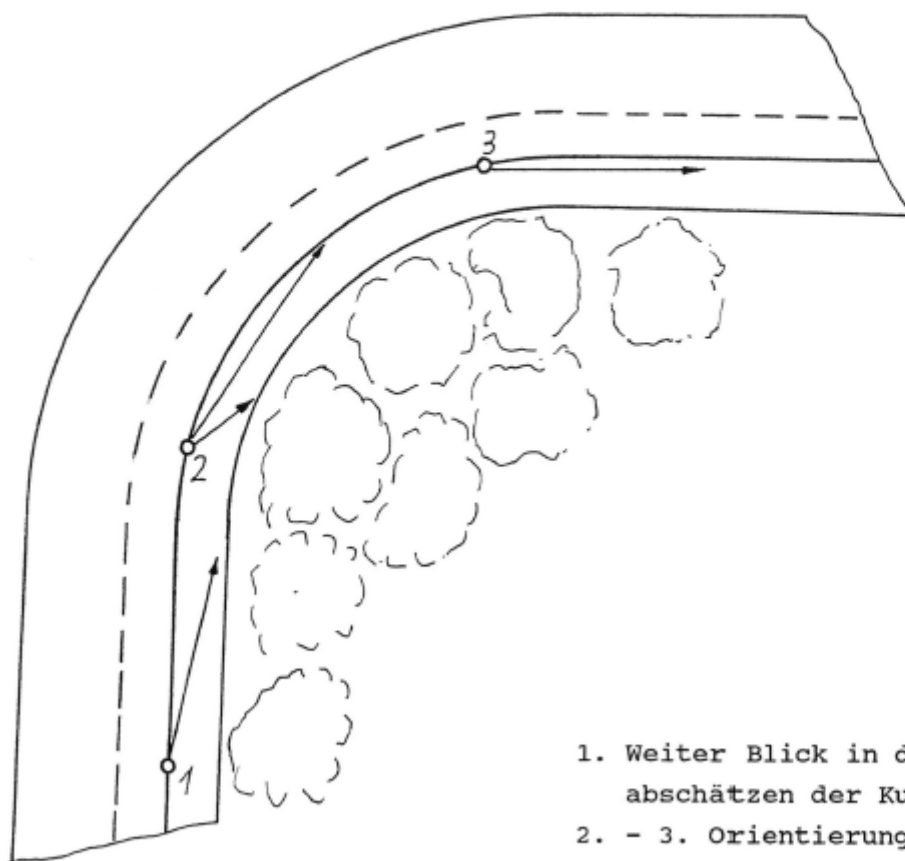
<sup>39</sup> Vgl. z.B.: Sabine Degener et al.: Kanton Bern: Kurven im Ausserortsbereich. Aarberg, Boltigen, Innertkirchen (Eggi), Innertkirchen (Lamm), Oberwil i.S., Roches, Roggwil und Unterseen, Bern 2015; Stein E. Husher et al.: Forensic Evidence Relating to Motorcycle Pre-Crash Maneuvers, in: ifz-Forschungsheft 13 (2008); Phan stellt vor allem fest, dass z.B. fehlende oder verdeckte Sichtachsen, z.B. durch Bepflanzung, unfallursächlich sein können, vgl.: Vuthy Phan: Rider / Driver behaviours and road safety for PTW, Paris 2010, S. 69ff. Vgl. dazu auch: Martin Winkelbauer: Unfallursachen bei Motorradunfällen. Wien 2018, S. 38 und S. 59ff.

<sup>40</sup> Z.B. Reifenschaden, Bremsversagen, Gabelbruch etc.

<sup>41</sup> Vgl. Martin Winkelbauer: Unfallursachen bei Motorradunfällen. Wien 2018, S. 67, 84ff.

Blickverhalten aus der Annahme heraus, dass sich der Kopf des Motorradlenkenden über den ganzen Kurvenverlauf in der Fahrstreifenmitte befindet:<sup>42</sup>

**Blickverhalten Rechtskurve parallel:**



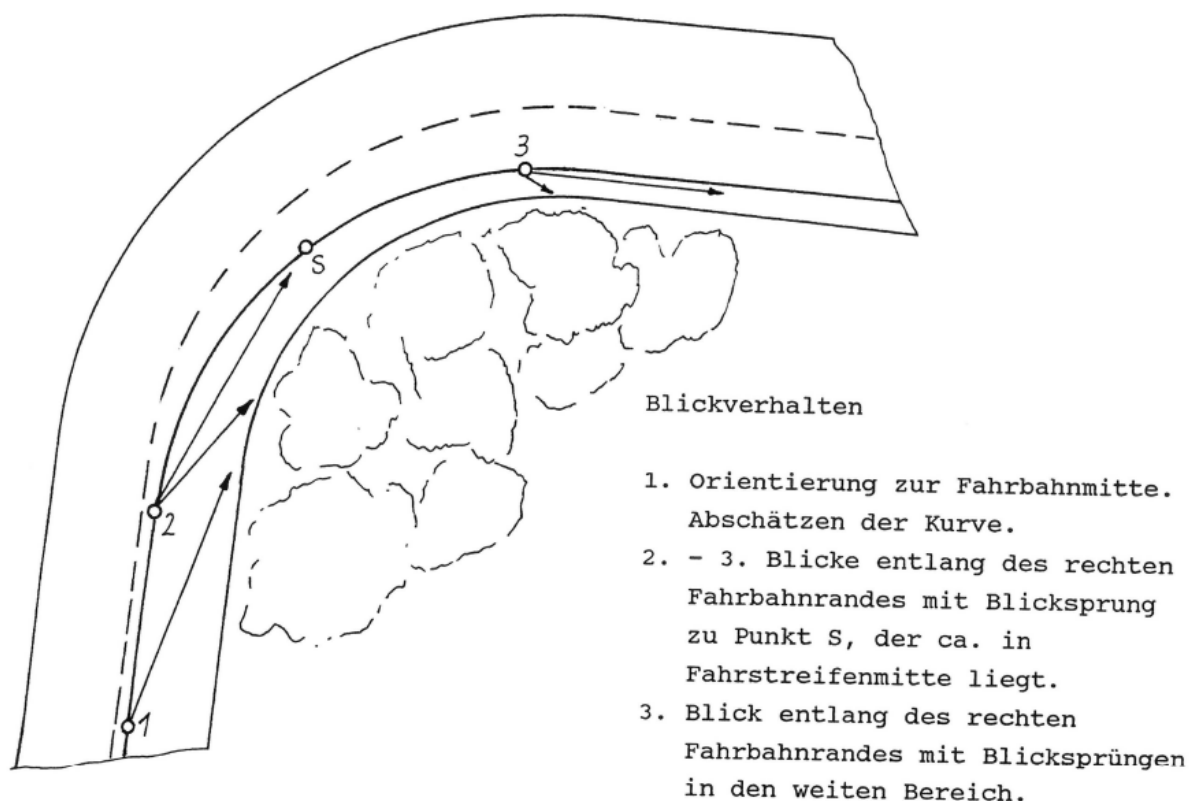
1. Weiter Blick in die Kurve, abschätzen der Kurve
2. - 3. Orientierung am rechten Fahrbahnrand mit kurzen Blicksprüngen in den weiten Bereich.
3. Orientierung im weiten Bereich.

Nachteilig bei dieser Kurvenfahrlinie ist, dass man wichtige Sekundenbruchteile im Verlauf der Kurve verschenkt, in denen bereits früher den weiteren Kurvenverlauf und mögliche Hindernisse erkennen könnte.

<sup>42</sup> Kurt Vavryn et al.: Kurvenfahrlinien einspuriger Kraftfahrzeuge im öffentlichen Verkehr. Wien 1992, S. 8.

Daher hat Vavryn im weiteren Verlauf seiner Arbeit das Hinterschneiden von Kurven vorgeschlagen:

#### Sicherheitslinie Rechtskurve:



Das „Reinziehen“ beginnt bei Vavryn zwischen den Punkten „2“ und „S“.<sup>43</sup>

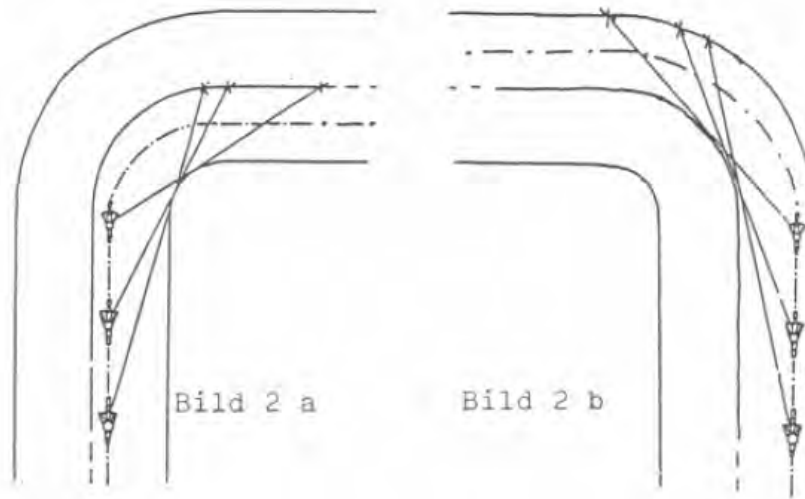
Das Hauptproblem bei dieser Gestaltung der Linienwahl liegt jedoch darin, dass der Motorradlenkende bei Punkt S noch nicht den kompletten weiteren Strassenverlauf und mögliche Gefahren am inneren Strassenrand erkennen kann, da dieser im vorliegenden Beispiel durch die angedeutete Bepflanzung am rechten Strassenrand zum Teil verdeckt liegt.

Auch andere Quellen zeigen nicht den Zusammenhang zwischen Reinziehen und dem Erkennen des weiteren Strassenverlaufs.<sup>44</sup>

<sup>43</sup> Kurt Vavryn et al.: Kurvenfahrlinien einspuriger Kraftfahrzeuge im öffentlichen Verkehr. Wien 1992, S. 14. Die Autoren haben den Punkt „S“ bewusst nicht in ihr didaktisches Konzept aufgenommen, vgl. Fussnoten 49, 51 und 52 sowie Seite 416f.

<sup>44</sup> Vgl. bspw.: Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement: Leitfaden für die Ausbildung und Prüfung von Motorrad-Fahrlehrern. Fachgruppe 7, Erteilung von praktischem Fahrunterricht. Bern 1989, S. 15f., <http://www.varahannes.at/fahrtechnik.htm> und <https://www.ifz.de/das-hinterschneiden-von-kurven/>, zuletzt abgerufen am 19.7.2018.

Die korrekte Blicktechnik ist die Voraussetzung für die richtige Geschwindigkeitsgestaltung, das frühzeitige Abbremsen und das zielgerichtete Einlenken in die Kurve. Die Spurgestaltung wird durch das periphere Sehen sichergestellt.



Quelle: Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement:  
Leitfaden für die Ausbildung und Prüfung von Motorrad-Fahrlehrern. Fachgruppe 7,  
Erteilung von praktischem Fahrunterricht. Bern 1989, S. 16.

Zieht der Motorradlenkende jetzt aber „blindlings“, quasi stereotyp so früh rein, wie das z.B. Vavryn oder das EJPD vorschlagen, so gerät er möglicherweise dennoch unnötig im weiteren Kurven- und Strassenverlauf in Gefahr.

Zum zweiten nehmen wir Bezug auf die Hinweise der Blickführung, wie sie u.a. das Institut für Zweiradsicherheit<sup>45</sup> oder die Oregon State University<sup>46</sup> vorschlagen und entwickeln sie etwas weiter.

Stellt man – zum dritten – dem Hinterschneiden von Kurven zusätzlich die richtige Blicktechnik in Bezug auf die Erkennbarkeit des weiteren Strassenverlaufs zur Seite, wie das Schwabe vorschlägt und mit der Kopfposition verdeutlicht, so kann die Sicherheit weiter erhöht werden, vgl. die folgende Bildgrafik:

---

<sup>45</sup> Vgl.: <https://www.ifz.de/das-hinterschneiden-von-kurven/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

<sup>46</sup> Vgl.: Oregon State University/Team Oregon: Motorcycle Training and rider development, Corvallis/Oregon 2018. Link: <https://team-oregon.org/resources/whatwouldyoudo/cornering/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018, siehe auch Fussnote 18.



Quelle: Klaus Schwabe: *Learn2burn*, Petting 2015, 93.

Die Autoren waren sich nicht im Klaren darüber, wie sie die richtige Blicktechnik bildlich auf einer Grafik für den Gebrauch an Grund- und Weiterbildungskursen wie auch für die Darstellung im Internet präsentieren wollen. Insbesondere ist hier auch die didaktische Reduktion wichtig.<sup>47</sup>

Zudem gibt es nicht nur eine einzige, sichere Blicktechnik; je nach Kurventyp, persönlichen Fähigkeiten, Trainingszustand und Motorrad müssen verschiedene Blicktechniken zum Einsatz kommen.<sup>48</sup>

Ein kurzer Film kam aus Gründen des gedrängten Zeitplans an den Schulungen nicht in Betracht.

Ein „Fächer“ in der Grafik als Hinweis auf die Blicktechnik und -führung wurde angedacht, aber im Hinblick auf die didaktische Reduktion als unvorteilhafter verworfen. Zudem hätte die wichtigste Botschaft in diesem Zusammenhang, nämlich erst zu beschleunigen, wenn der weitere Strassenverlauf sichtbar ist, aus didaktischer Sicht an Gewicht verloren.

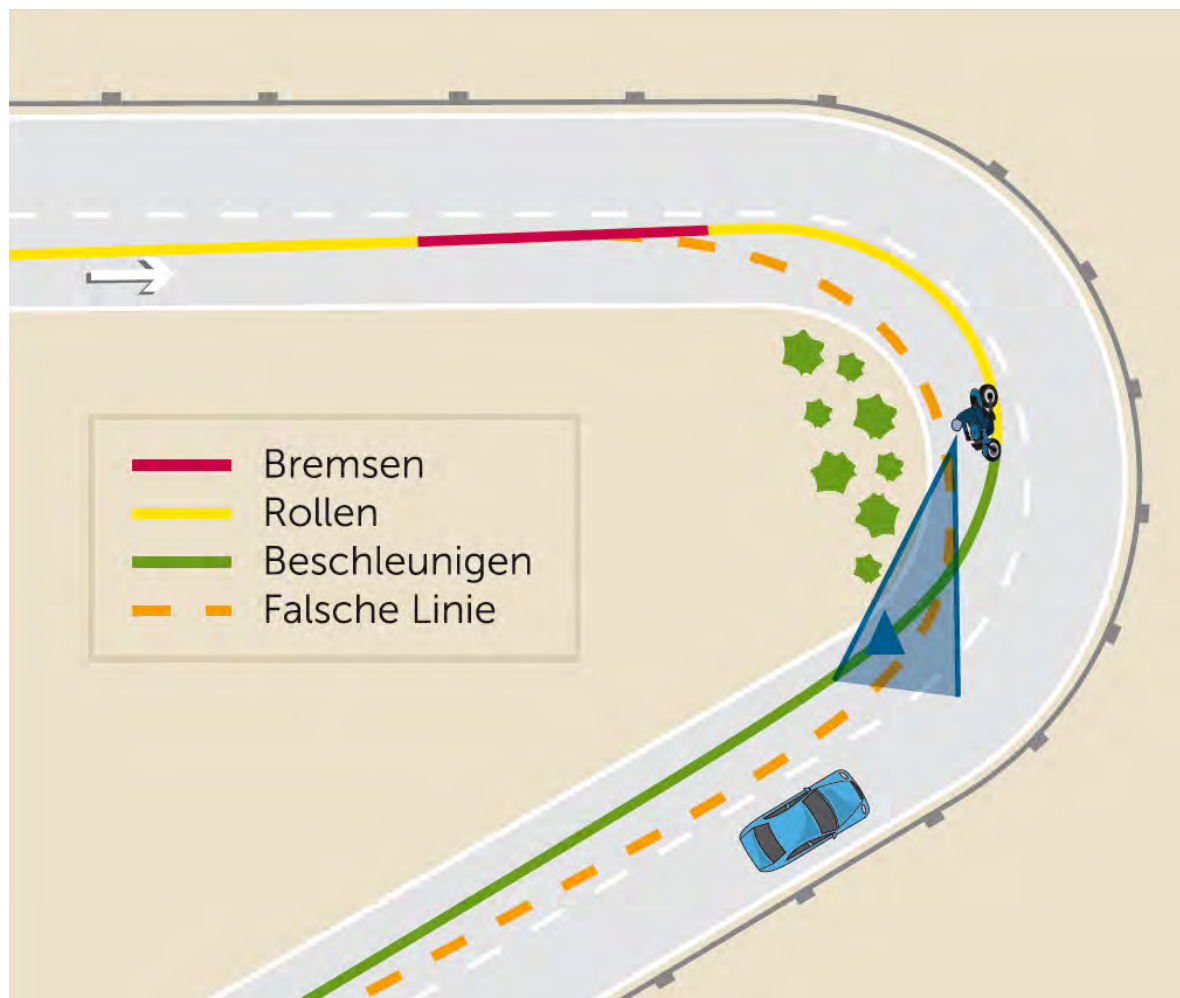
---

<sup>47</sup> Vgl. bspw. Rolf Arnold et al.: *Trainerkompetenz Dozentenleitfaden: Erwachsenenpädagogische Grundlagen für die berufliche Weiterbildung*, Berlin 2011, S. 108ff.

<sup>48</sup> Vgl. Klaus Schwabe: *Learn2burn*, Petting 2015, S. 78ff.

In der Ausbildung und in Kurventrainings zeigte und zeigt es sich zum einen oft, dass die Erwähnung oder das Üben mit dem (gedachten) Scheitelpunkt zu einer Fixierung desselben und zu unnötigen und gar gefährlichen Situationen führen kann.<sup>49</sup>

Zum anderen wurde der Kurvenscheitelpunkt in der Grafik wegen der einfacheren Vermittlung und der didaktischen Reduktion<sup>50</sup> bewusst weggelassen. Der Vollständigkeit halber seien aber die Überlegungen mit Fächer und (gedachtem) Scheitelpunkt dennoch grafisch dargestellt:

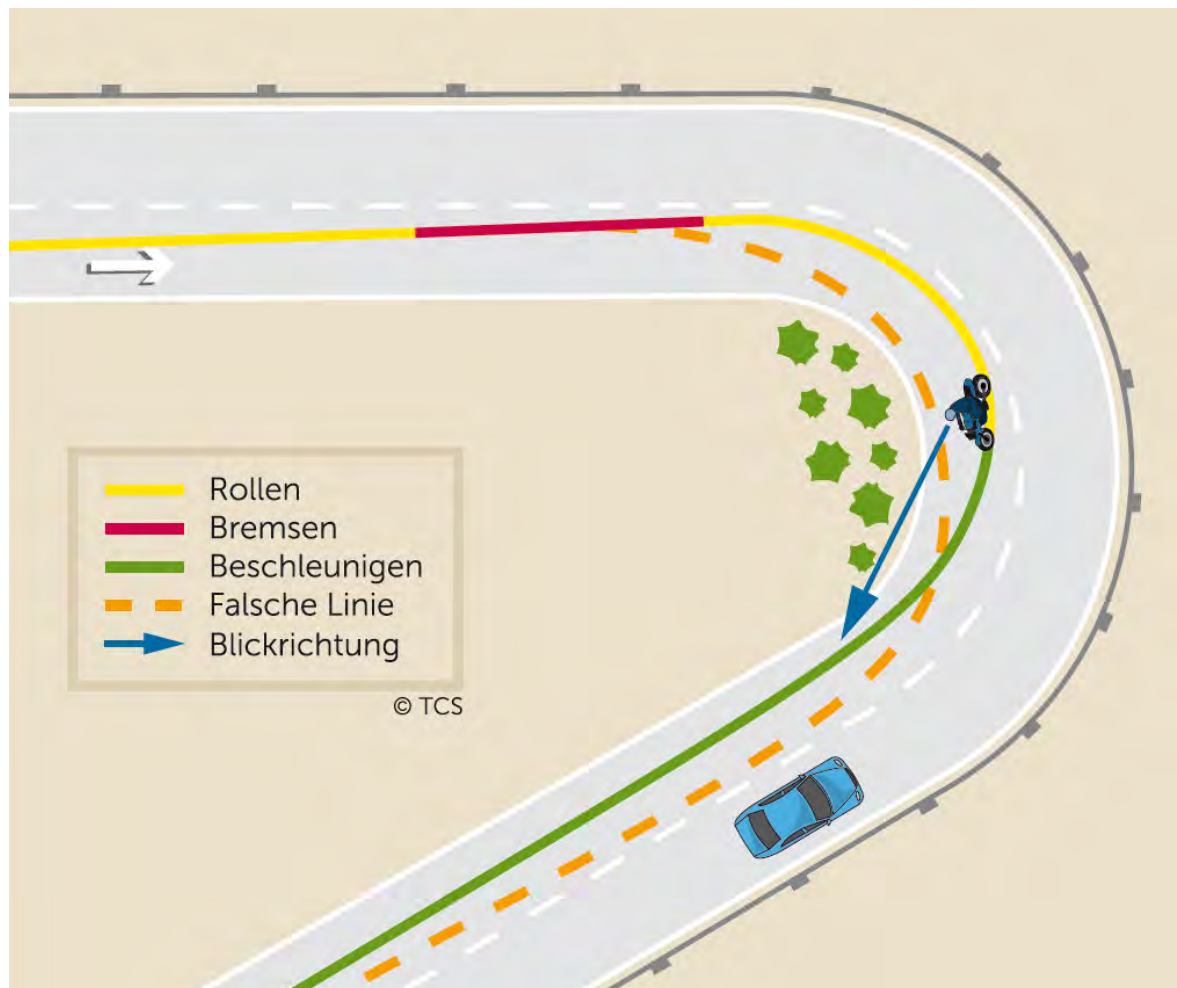


Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz, Vernier 2018.

<sup>49</sup> Nach Meinung der Autoren ist die Arbeit mit dem (gedachten) Scheitelpunkt im Rennstreckentraining durchaus berechtigt, nicht aber, um die Sicherheit auf den Strassen zu erhöhen. Vgl. dazu bspw. auch: Klaus Schwabe: Learn2burn, Petting 2015, S. 83f.

<sup>50</sup> Vgl. Fussnote 21.

Als Diskussionsgrundlage – und in einer  $\beta$ -Version<sup>51</sup> – schlagen wir deshalb folgende Linienwahl, basierend auf vielen anderen, ähnlichen Vorarbeiten als sichere Linienwahl im öffentlichen Strassenverkehr vor:<sup>52</sup>



Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz: Kurven sicher fahren. Vernier 2018.<sup>53</sup>

<sup>51</sup>  $\beta$ -Version, da die vorliegende Grafik als Einladung für eine Finalisierung (vgl. auch Kap. „Aufgabenstellung und Zielvorstellung“) der sicheren Kurvenfahrlinie dienen soll und zum anderen in der  $\alpha$ -Version die einzelnen Übergänge zwischen den Phasen mit Farbverlauf gestaltet werden.

<sup>52</sup> Vgl.: <https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/motorrad/kurven-motorrad.php>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

<sup>53</sup> Vgl.: <https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/motorrad/kurven-motorrad.php>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018. Vgl. sinngemäss auch:

<https://themcdonalds.net/richard/wp/totw-improve-your-cornering-with-lane-position/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.



Vor der Kurve, auf der Gerade kann die didaktisch begründete Analogie des Tennisspielers herangezogen werden, der immer in der Mitte seiner Grundlinie stehen sollte, um auf möglichst jeden Ball des Gegners reagieren zu können.

Analog dazu fährt der Motorradlenkende vor der Kurve in der Mitte seines Fahrstreifens, um dann allmählich vor der Kurve Richtung kurvenäusseren Fahrstreifenrand zu fahren, um die Kurve aussen anfahren zu können. Selbstverständlich adaptiv und mit einem sinnvollen Sicherheitsabstand zur Mittellinie in Rechts- und zur Strassenbegrenzung in Linkskurven.

Beschleunigt und „reingezogen“ wird erst (siehe Kurvenfahrlinie und gelb-grün-Grenze beim Vorder- rad wie auch das Vorderrad auf der Kurvenfahrlinie), wenn der weitere Strassenverlauf (siehe „Blick- richtung“) komplett ersichtlich ist.<sup>54</sup>

Dabei richtet sich der Blick nicht nur in die Ferne auf den weiteren Strassenverlauf, sondern „hangelt“ sich abwechslungsweise auch entlang des Kurveninnenrandes, um möglichst früh mögliche Gefahren auf der Kurveninnenseite erkennen zu können.

Durch das möglichst lange „Aussehenbleiben“ vor dem „Reinziehen“ – wie schon mehrmals betont natürlich nur, wenn das gefahrlos möglich ist, sprich, es ist situativ adaptiv zu handhaben – können gleichzeitig andere Gefahren zum frühestmöglichen Zeitpunkt erkannt und entsprechend darauf reagiert werden.

Wie klar erkennbar ist, ist die Kurvenfahrlinie der Radspurlinie des Motorrades unterlegt.

Aus Gründen der didaktischen Reduktion wurde auf die Gesäss- und Kopflinie verzichtet<sup>55</sup> – das Modell soll klar und möglichst einfach zu erfassen sein. Selbstverständlich können in den Kursen mündlich weitere Ergänzungen wie beispielsweise der gedachte Scheitelpunkt ergänzt und erklärt werden.

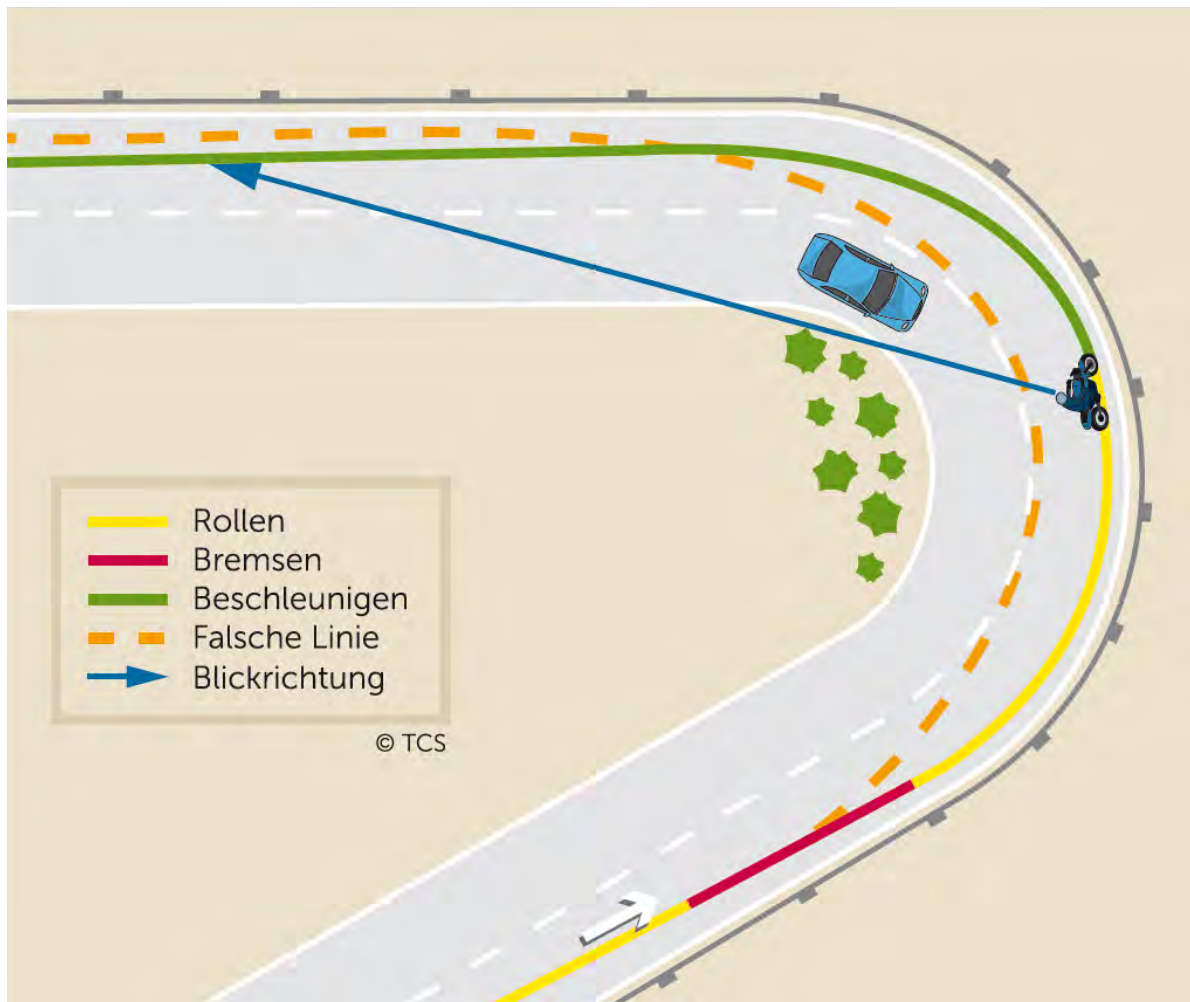
Am Ende der Kurve nimmt der Motorradlenkende – analog dem Tennisspieler – wieder eine mittige Position in Bezug auf seinen Fahrstreifen ein.

Die Linienwahl in Linkskurven ist prinzipiell gleich:

---

<sup>54</sup> Klaus Schwabe spricht in dieser Hinsicht von „abwartender Blickführung“: Klaus Schwabe: Learn2burn, Petting 2015, S. 88f.

<sup>55</sup> Vgl. Kap. „Ergebnisse Schweiz“.

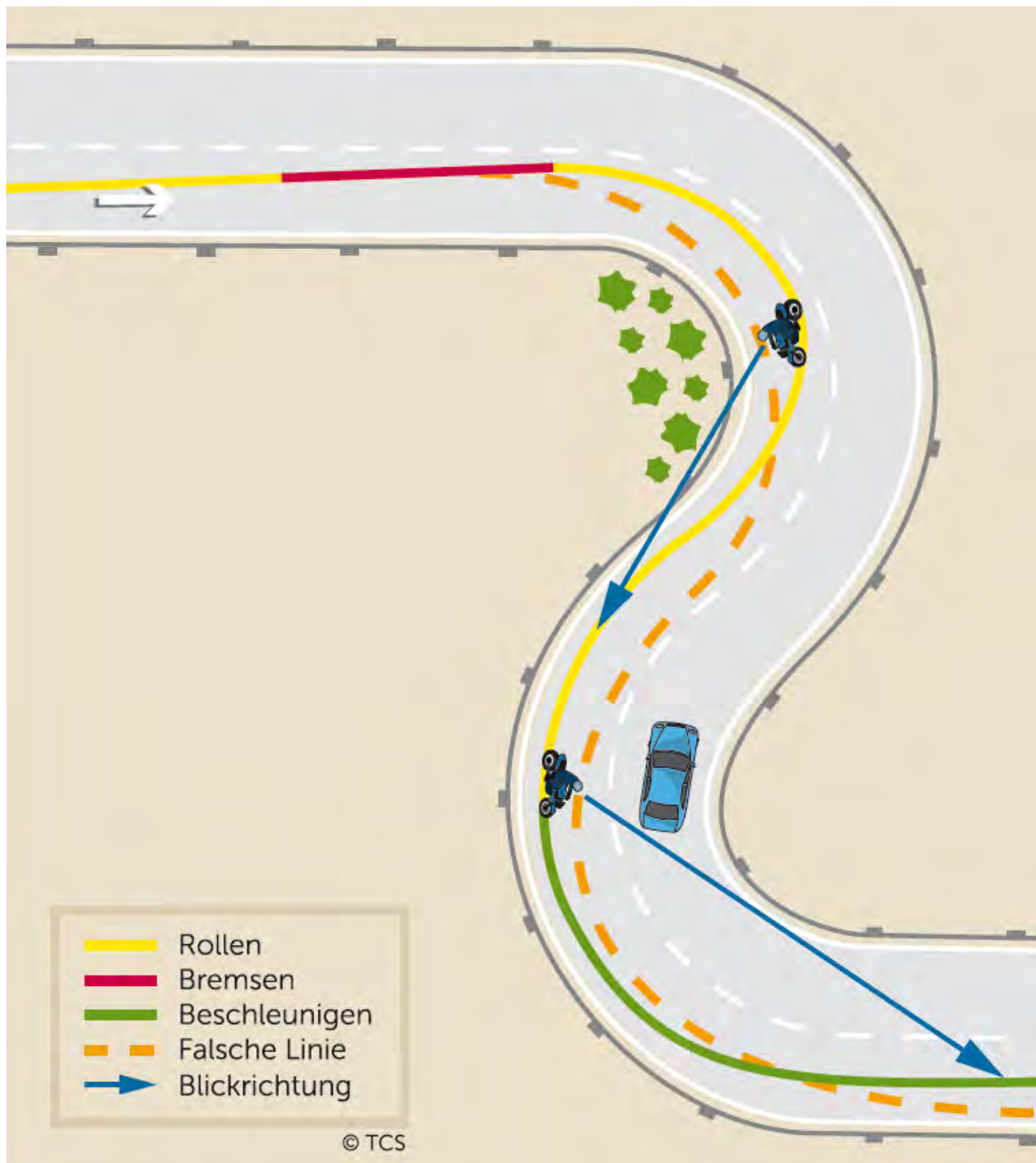


Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz: Kurven sicher fahren. Vernier 2018.<sup>56</sup>

Analog zum Skifahren kann jeder insbesondere in S-Kurven selber erfahren, ob er die Kurven richtig gefahren ist. Fährt er nämlich die erste Kurve falsch, dann kann er die zweite Kurve nur mit einem großem Aufwand durch Bremsen und Lenken, oder gar nicht richtig anfahren und gerät möglicherweise sogar vollkommen unnötig in Gefahr. Fährt er aber die erste Kurve richtig, so ist er nahezu „automatisch“ für die zweite Kurve richtig positioniert:

<sup>56</sup> Vgl.: <https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/motorrad/kurven-motorrad.php>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018. Vgl. sinngemäss auch:

<https://themcdonalds.net/richard/wp/totw-improve-your-cornering-with-lane-position/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.



Quelle und Copyright: Touring Club Schweiz: Kurven sicher fahren. Vernier 2018.<sup>57</sup>

<sup>57</sup> Vgl.: <https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/motorrad/kurven-motorrad.php>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018. Vgl. sinngemäss auch:

<https://themcdonalds.net/richard/wp/totw-improve-your-cornering-with-lane-position/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018.

## Zusammenfassung und Ausblick

Unseren Vorschlag als  $\beta$ -Version nennen wir sehr bewusst „Adaptives Hinterschneiden von Kurven“. Folgende Gründe haben den Ausschlag gegeben:

1. In vielen Fällen scheint es am sichersten zu sein, möglichst früh, wenn nicht schon vor der Kurve, so zumindest in der Kurve, erkennen zu können, wie sich der weitere Kurven- und Strassenverlauf zeigt.  
Gleichzeitig kann man so mögliche Gefahren zum frühestmöglichen Zeitpunkt erkennen.
2. Selbstverständlich ist das aussen Anfahren bzw. das hoch Anfahren nicht stereotyp anzuwenden. Je nach Situation – darum „adaptiv“ – kann es sinnvoll sein, bzw. muss der Motorradlenkende die Kurve schlicht innen und ganz langsam anfahren, z.B. bei einem entgegenkommenden Sattelschlepper in einer engen Kurve<sup>58</sup> oder anderen Gefahren wie erkennbar rutschiger Fahrbahn, sehr schmale, unübersichtliche Kurven, einem Unfall, etc.
3. Wenn möglich und sinnvoll sollte jedoch eine Kurve von aussen angefahren werden.
4. Äusserst wichtig erscheint uns auch die Verbindung von der Einsehbarkeit des weiteren Kurvenverlaufs und dem „Reinziehen“, möglichem Beschleunigen und Lenken.
5. „ $\beta$ -Version“ als Einladung an alle Interessierte zur Weiterführung der Diskussion.
6. Nach Meinung der Autoren hängt die Blicktechnik und Fahrlinie auch sehr stark vom Fahrkönnen ab. Je näher ein Fahrer an seine persönliche Schräglagengrenze kommt, umso wichtiger wird es, dass er beim Kurvenausgang in der Lage ist, seinen ganzen Fahrstreifen in voller Breite nutzen zu können.<sup>59</sup> Somit stellt es meistens auch kein großes Problem dar, wenn der Gegenverkehr z.B. noch einen Radfahrer überholt und Teile des Fahrstreifens des Motorradlenkenden dafür nutzt.
7. Erfahrungen mit dem Auslegertraining zeigen, dass die Blicktechnik sehr stark von den Skills und den bereits abgespeicherten Referenzsituationen abhängt, die ein Fahrer bereits eintrainiert hat.  
Für einen ungeübten Fahrer ist die Blicktechnik sehr hilfreich. Ein geübter Fahrer kann auch während der Kurvenfahrt den Kopf in alle möglichen Richtungen verdrehen, ohne seine Fahrlinie zu verändern. Was allerdings für alle wichtig ist, ist die Orientierungsleistung.

---

<sup>58</sup> Vgl.: <https://www.ifz.de/das-hinterschneiden-von-kurven/>, zuletzt aufgerufen am 12.7.2018 und Fussnote 45.

<sup>59</sup> Vgl. S. 417f.

## Danksagung

Wir danken Frau Estelle Rusconi, René Altschul, Christoph Jöhr, Helmut Gierer, Rolf Knechtli, Jean-Pierre Knoblauch, Dr. Achim Kuschefski, Matthias Haasper, Jürg Stalder, Wolfgang Stern, André Vallese und Martin Winkelbauer für den intensiven und äusserst freundlichen fachlichen Austausch sowie Max Wiher für die Hilfe im Umfeld des vorliegenden Aufsatzes.

## Literaturverzeichnis

AllgäuHit: Nahe Immenstadt in Tobel gestürzt. Motorradfahrer lebensgefährlich verletzt, Link:

<http://www.allgaeuhit.de/-Immenstadt-Nahe-Immenstadt-in-Tobel-gestuerzt-Motorradfahrer-lebensgefaehrlich-verletzt-article10000428.html>.

Arnold, Rolf et al.: Trainerkompetenz Dozentenleitfaden: Erwachsenenpädagogische Grundlagen für die berufliche Weiterbildung, Berlin 2011.

Bagar, Hannes: Fahrtechnik, Link: <http://www.varahannes.at/fahrtechnik.htm>.

Bauer, Klaus et al.: Retrospektive Analyse tödlicher Motorradunfälle und Ableitung von Schutzmaßnahmen bei komplexen Bremsmanövern, in: Tagungsband der 10. Internationalen Motorradkonferenz 2014, S. 116-118.

Beck, René: Handbuch für Fahrschüler. Link:

[http://www.fahrschulerebeck.ch/fahrschule/motorrad\\_handbuch\\_files/Handbuch%20f%C3%BCr%20Motorradfahrer.pdf](http://www.fahrschulerebeck.ch/fahrschule/motorrad_handbuch_files/Handbuch%20f%C3%BCr%20Motorradfahrer.pdf).

Bella, Francesco: Impact of Pavement Defects on Motorcycles' Road Safety, in: Procedia 53 (2012), S. 943-952.

Bestbeginnermotorcycles: 8 Great Beginner Motorcycle Riding Habits, Link:

<https://www.bestbeginnermotorcycles.com/8-great-beginner-riding-habits/>.

Brown, Julie et al.: Motorcycle In-depth Crash Study, Sydney 2015.

Bundesamt für Strassen ASTRA: Weisungen betreffend die praktische Motorrad-Grundsicherung, Bern 2007.

Degener, Sabine et al.: Kanton Bern: Kurven im Ausserortsbereich. Aarberg, Boltigen, Innertkirchen (Eggi), Innertkirchen (Lamm), Oberwil i.S. , Roches, Roggwil und Unterseen, Bern 2015.

Department of Infrastructure, Energy & Resources: A Review of Serious Casualty Motorcycle Crashes in Tasmania, Hobart 2010.

Eidgenössisches Justiz- und Polizeidepartement: Leitfaden für die Ausbildung und Prüfung von Motorrad-Fahrlehrern. Fachgruppe 7, Erteilung von praktischem Fahrunterricht. Bern 1989.

Gallaway, Bob M. et al.: Effects on pavement surface characteristics and texture on skid resistance, College Station Texas, 1971.

Gallaway, Bob M. et al.: Pavement design and controls for minimizing automotive hydroplaning and increasing traction, in ASTM STP 793 (1983), S. 167-190.

Hartmann, Clemens: Analyse von unfallkausalen Zusammenhängen von Motorradunfällen in Abhängigkeit der Radienrelation, Wien 2010.

Haworth, Narelle et al.: Case-Control Study of Motorcycle Crashes, Clayton 1997.

Husher, Stein E. et al.: Forensic Evidence Relating to Motorcycle Pre-Crash Maneuvers, in: ifz-Forschungsheft 13 (2008).

Institut für Zweiradsicherheit, Essen: Das Hinterschneiden von Kurven. Link: [www.ifz.de/das-hinterschneiden-von-kurven/](http://www.ifz.de/das-hinterschneiden-von-kurven/).

Kantonspolizei Bern: Vorausschauend, partnerschaftlich und sicher fahren. Tipps für eine lange, genussvolle und unfallfreie Motorradsaison, Bern 2016.

Klempau, Frank: Untersuchungen zum Aufbau eines Reibwertvorhersagesystems im fahrenden Fahrzeug, Darmstadt 2003.

Latke, Benedikt et al.: Gefahrstellenerkennung in einem kommunikationsbasierten Fahrerassistenzsystem für Motorräder, 5. Tagung Fahrerassistenz München, München, 15.-16. Mai 2012.

Madea, Burkard: Praxis Rechtsmedizin, Heidelberg 2007.

McDonald, Richard: TOTW: Improve your cornering with lane position, Link: <https://themcdonalds.net/richard/wp/totw-improve-your-cornering-with-lane-position/>.

Meitei, Bobby et al.: Review of diesel spillage clean-up procedures, Wokingham 2010.

Milling, David et al.: Infrastructure Improvements to Reduce Motorcycle Casualties, Sydney 2016.

Motorcycle.com: 8 Essential Motorcycle Riding Skills, Link: <http://www.motorcycle.com/top10/8-essential-motorcycle-riding-skills.html/attachment/021518-essential-motorcycle-skills-decreasing-radius-corner-graphic>.

Oregon State University/Team Oregon: Motorcycle Training and rider development, Corvallis/Oregon 2018. Link: <https://team-oregon.org/resources/whatwouldyoudo/cornering/>.

Phan, Vuthy: Rider / Driver behaviours and road safety for PTW, Paris 2010.

Ridinginthezone: The Power of the Quick Turn, Link:

<http://www.ridinginthezone.com/the-power-of-the-quick-turn/>.

Schwabe, Klaus: Learn2burn, Petting 2015.

Schweizerischer Motorrad-Fahrlehrer-Verband: Kursplan für die praktische Grundschulung der Motorrad-Fahrschülerinnen und Fahrschüler, Burgdorf 2008.

Saleh, Peter: Interaction between Powered Two-Wheeler Accidents and Infrastructure, Paris 2010.

Seininger, Patrick et al.: Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern. Bergisch Gladbach 2009.

Touring Club Schweiz: Kurven sicher fahren. Vernier 2018, Link:

<https://www.tcs.ch/de/testberichte-ratgeber/ratgeber/motorrad/kurven-motorrad.php>.

Touring Club Schweiz: Kurvenlinie Motorradkurs, Hinwil 2016.

Vavryn, Kurt et al.: Kurvenfahrlinien einspuriger Kraftfahrzeuge im öffentlichen Verkehr. Wien 1992.

Wilson, Douglas James: An Analysis of the Seasonal and Short-Term Variation of Road Pavement Skid Resistance, Auckland 2006.

Winkelbauer, Martin und Bagar, Hannes: Kurvenlinien in unübersichtlichen Linkskurven. Ergebnisse einer Videoanalyse, Wien 2013.

Winkelbauer, Martin: Unfallursachen bei Motorradunfällen. Wien 2018.

Winkelbauer, Martin: Neueste wissenschaftliche Erkenntnisse im Bereich Motorrad & Sicherheit, Präsentation Luxemburg 27.3.2018.

Wyss, Markus et al.: Motorradfahrer auf Bergstrassen: Unfallgeschehen und Sicherheitsmassnahmen in: Strasse und Verkehr 1-2 (2009).

Yannis, George et al.: Road infrastructure and safety of power two wheelers, 12. WCTR, 11.-15. Juli 2010, Lissabon.



## Lean Angles and Lane Positions of Motorcyclists

## Schräglagen und Kurvenlinien von Motorradfahrern

Martin Winkelbauer, Paul Krack, Denise Lamp  
Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien, Österreich  
Austrian Road Safety Board, Vienna, Austria

## Abstract

According to the official police road accident database in Austria, run-off-the road accidents in left-hand curves are the most frequent accident type involving motorcycles. “Corner cutting” is a potential cause of such accidents, especially when forward visibility is poor. Previous research has shown that riders’ tolerance to roll angles, i.e. to leaning their motorcycles into a curve, is an issue in crashes in left-hand curves. Accordingly, two studies were initiated based on the current state of knowledge. One of these studies focused on roll angles, the other looked at a potential countermeasure to motorcycle crashes in left-hand curves.

In one of the studies, existing video footage and freeze frames shot in two different curves in Carinthia were reused to measure roll angles and capture other information like lane position, riding style and type of motorcycle.

The other study developed and investigated the impact of the use of road markings painted close to the centre line in tight left-hand curves with poor forward visibility. An impact is expected given the strong belief among motorcycle riders that road markings are slippery and driving over them should be avoided. In this study, three video cameras were placed at nine curves on motorcycle routes, one at the beginning, one at the vertex and one at the exit of each of the curves. The curves were selected based on accident records and infrastructure issues. Two different road marking designs were tested. Automatic image processing was used to identify motorcyclists and their lane position. Other information on the motorcyclist was captured with the assistance of a graphical user interface. While statistically significant results were found for both road marking designs, there were some differences in their respective impacts.

The use of road markings painted close to the centre line in narrow left-hand curves was shown to be an effective intervention at locations with a high accident risk and a high level of corner cutting. Based on the results of the study on roll angles, more accurate advice could be provided to motorcycle riders approaching a curve. Both studies indicate that more research is needed on roll angles and motorcyclists’ fear of exceeding a certain roll angle and that new countermeasures should be developed to address the impact of this phenomenon.

## Zusammenfassung

Den offiziellen Unfallstatistiken in Österreich zufolge sind Abkommensunfälle nach rechts in Linkskurven der häufigste Unfalltyp bei Motorrädern. Kurvenschneiden bietet sich als Erklärung dafür an, überhaupt in Kurven mit geringer Sichtweite. Jüngst veröffentlichte Forschungsarbeiten haben gezeigt, dass die Schräglagentoleranz, also die Fähigkeit von Motorradfahrern, eine bestimmte Schräglage in einer Kurve zu erreichen, bei diesen Unfällen eine wesentliche Rolle spielen könnte. Um tiefer in die Materie einzudringen, wurden zwei Studien durchgeführt, die zwei verschiedene Aspekte des Unfallrisikos in Linkskurven untersuchten.

Für eine der beiden Studien wurden Video und Standbilder benutzt, die ursprünglich als unmittelbare Rückmeldung für Teilnehmer eines Fahrsicherheitstrainings für Motorräder gedacht waren. Dieses in zwei Kurven im Liesertal in Kärnten aufgenommene Material wurde schon einmal für wissenschaftliche Zwecke genutzt, es wurden Kurvenfahrlinien von Motorradfahren untersucht. Diesmal wurden die von den Motorradfahrern eingenommenen Schräglagen zusammen mit anderen Parameter wie Kurvenlinie, Kurvenfahrstil und Typ des Motorrads als Bezugsgrößen erhoben.

Die andere Studie beschäftigte sich mit der Frage, ob vermutlich aus Schräglagenangst resultierende Unfälle mit Bodenmarkierungen bekämpft werden können, die in betroffenen Linkskurven neben der Mittellinie aufgebracht werden. Es wurde erwartet, dass Motorradfahrer – wegen ihres starken Glaubens an die Rutschigkeit von Bodenmarkierungen – einen Bogen um diese machen würden. Mittels dreier Videokameras, je einer am Beginn, dem Scheitel und dem Kurvenausgang, wurden die Fahrlinien von Motorradfahrern und auch hier einige Bezugsgrößen bestimmt. Zwei verschiedene Formen von Bodenmarkierungen wurden in neun Kurven erprobt. Die vollständige Auswertung mittels automatischer Bildverarbeitung gelang nicht, die meisten Informationen wurden letztlich mittels einer eigens entworfenen Eingabemaske beurteilt. Die Auswertung ergab statistisch signifikante Veränderungen der Fahrlinien in der gewünschten Art und Weise. Nur bei einer Kehre wurden nachteilige Effekte beobachtet.

Die Aufbringung von Bodenmarkierungen nach der Mittellinie in engen, unübersichtlichen Linkskurven erwies sich als eine effektive Art, Fahrlinien von Motorradfahrern zu beeinflussen, zumindest in Kurven mit hohem Unfallrisiko und häufigem Auftreten von Kurvenschneiden. Aufgrund der Erkenntnisse über typische Schräglagen könnten zutreffendere Informationen über sinnvolle Kurvenhöchstgeschwindigkeiten für Motorradfahrer kommuniziert werden. Beide Studien zeigten weiteren Forschungsbedarf auf: Das Phänomen Schräglagenangst und mögliche Maßnahmen gegen daraus resultierende Unfälle werden gebraucht.

## Keywords (ITRD)

1221 Motorcycle, 1752 Motorcyclist, 1665 Safety, 2872 Bend (Road), 1855 Driving, 9112 Impact Study, 0562 Road Marking

## Lean Angles and Lane Positions of Motorcyclists

# 1 Introduction

Although the title of this paper uses the term “lean angle”, the paper will use the technical term “roll angle”.

## 1.1 Motorcycle Accidents

Worldwide, 286,000 riders of powered two-wheelers (PTW) lose their lives on the road annually (World Health Organization , 2015). 3,650 motorcyclists die on Europe’s roads every year (European Road Safety Observatory, 2016), while in Austria around 4,000 motorcycle accidents occur on average. One in five road accident fatalities is a motorcyclist (data: Statistik Austria; own analysis). According to a recent in-depth study published by KFV (Winkelbauer et al, 2017), the main causes of motorcycle accidents are “speed” and “unpredictable behaviour of other road users”. The same study revealed road alignment to be the – by far – most frequent contributing factor (Figure1).

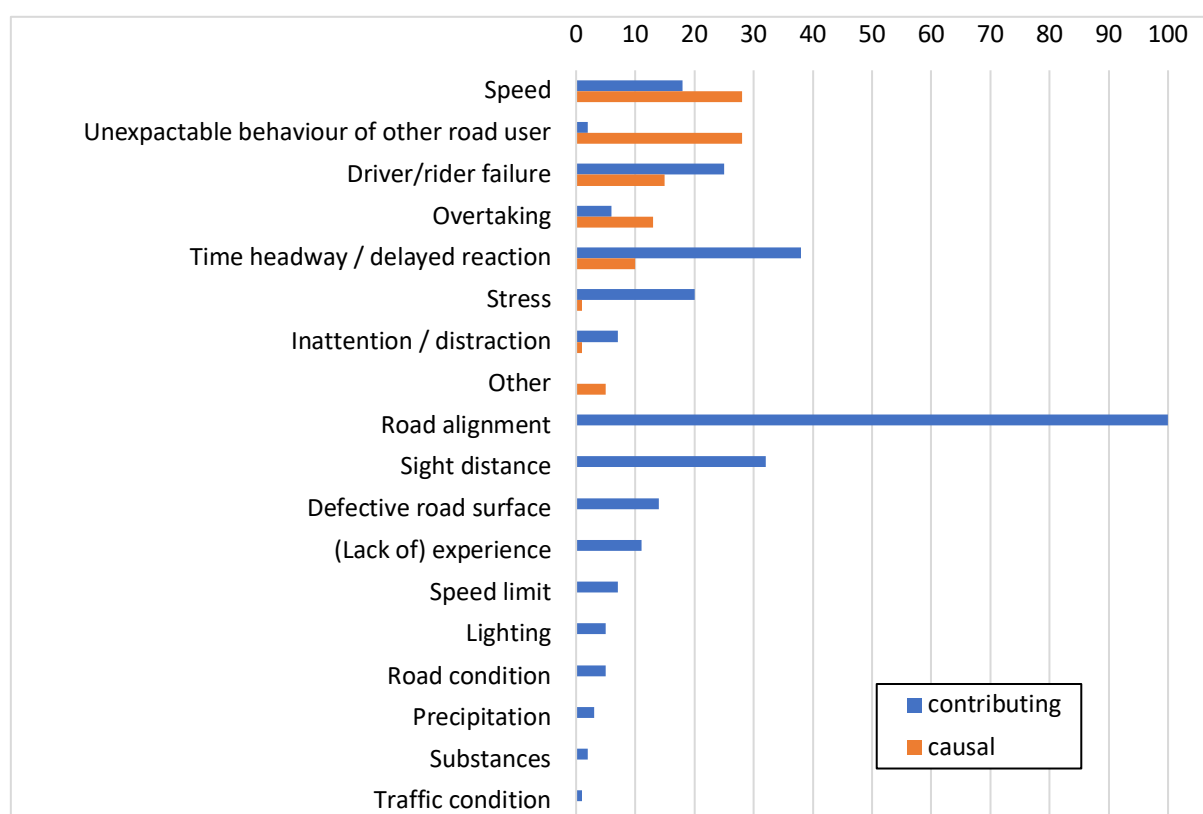


Fig.1: Number of causal and contributing factors in motorcycle crashes in Austria.

## 1.2 “Speed”: Three ways of being too fast

Crash statistics, if they provide information on the cause of an accident, typically include either one or two items – sometimes also called factors – related to speed. The typical cases are “excessive speed” and “inappropriate speed”. Excessive speed is normally considered to mean having driven above the

local speed limit. Inappropriate speed relates to regulations in many countries (e.g. §20 (1) of the Austrian Road Traffic Act) which oblige drivers to drive in accordance with the local circumstances, visibility range and properties of the vehicle and load. In the case of motorcycles, there is a third factor, which probably also exists for cars, but is much more crucial for PTWs, namely roll angle. According to Spiegel (2012), there is natural limit which is common for humans and other species that limits roll angles to about 20 degrees. This limit can be exceeded, but higher roll angles require training.

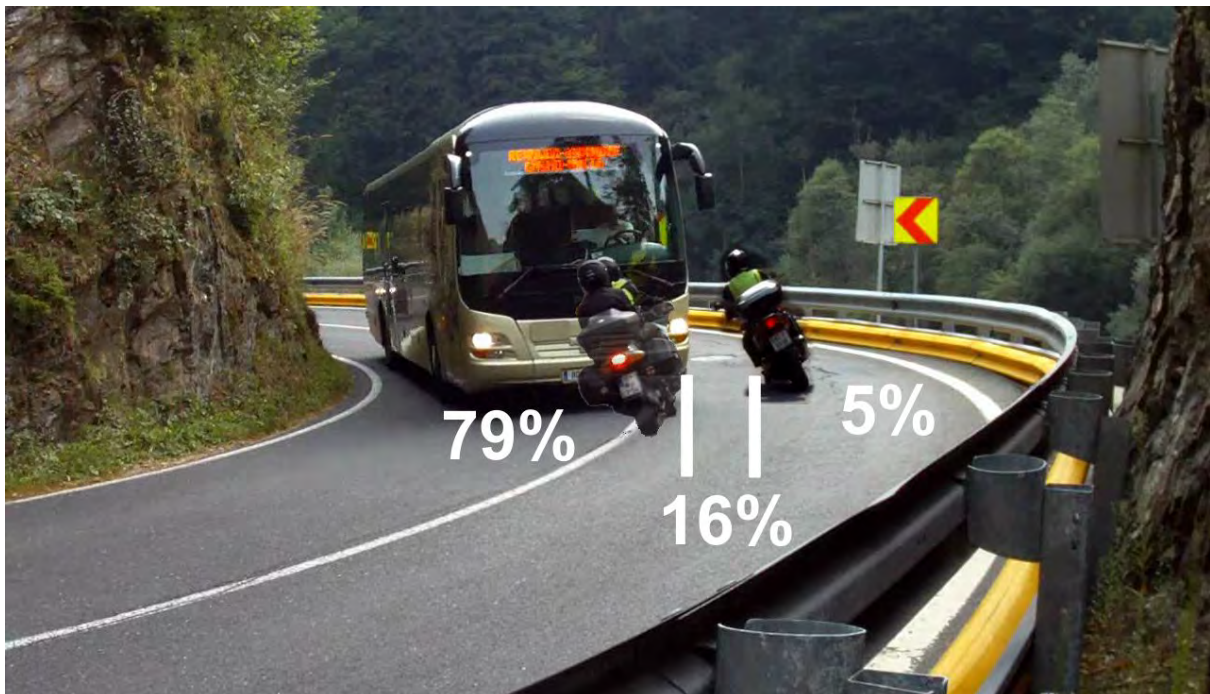


Fig. 2: Percentage distribution of driving lines in left curves (both riders and the bus in their original positions).

This paper pursues the consequences of previous research (Winkelbauer et al, 2014), which was presented at the 2014 ifz conference (Winkelbauer, 2014). This research had analysed the trajectories of PTW riders in left-hand curves, some with poor forward visibility. According to the results of the study, four out of five riders would, without performing a swerving manoeuvre, fit between the A-pillars of an oncoming bus (Figure 2). While one would expect plenty of head-on collisions, they actually make up a relatively small share of collisions in left-hand curves. Running off to the right is far more frequent. Considering that about half of the riders who collide with guardrails hit them in an upright position whilst still sitting on their bikes (de Craen, 2011), there must be a different mechanism. The traditional cliché of inappropriate speed explains when a rider runs off the road or into a guardrail after overestimating the local level of friction or exceeding the technical limit of the motorcycle's roll angle. However, there must be another kind of 'inappropriate' to explain such an 'upright crash'.

Previous work at KfV has concluded that roll angle phobia or lean angle phobia – the terms are a direct translation of the German term *Schräglagenangst* which does not appear to exist in English<sup>1</sup> – delivers a potential explanation.

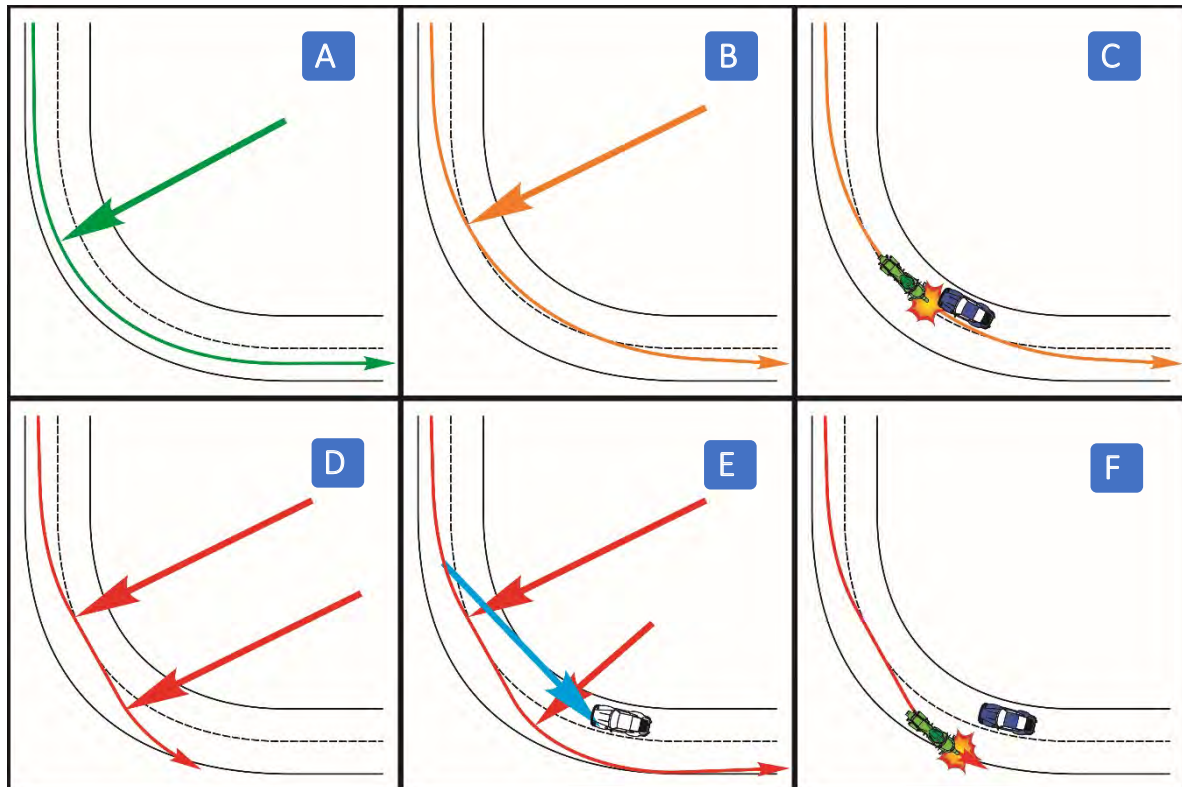


Fig. 3: Variants of trajectories in left hand curves.

A safe journey through a curve would probably start far right on the road; the rider would stay within the right third of his/her lane until there was sufficient visibility to the oncoming traffic to turn towards the centre of that lane (Figure 3A, green line). The safe trajectory would imply a certain curve radius, which – with respect to speed – requires a certain maximum roll angle. Of course, the “system motorcycle” is much more complicated, but a simple equation serves to provide a rough estimate of the relation between roll angle, curve radius and speed:

$$\varphi = \arctan \frac{v^2}{R * g} \quad \text{Equation 1}$$

Wherein:      v      speed  
                   R      curve radius  
                   g      acceleration of gravity  
                    $\varphi$       roll angle

<sup>1</sup> At least Google can't find them, except for one single hit at

<http://www.apriliaforum.com/forums/showthread.php?61010-Lean-Angle-Phobia> (retrieved 2018 07 26).



A safe rider would never lean his/her motorcycle or body beyond or even close to the centre line. Nevertheless, a majority of riders does so. This results in a larger radius, which, at the same roll angle allows for higher speed (Figure 3B, amber line). In a simple conclusion, a head-on collision (Figure 3C) would be the result, but – at least in Austria – only one in 50 collisions involving a motorcycle is this type of crash. A majority of riders obviously manage to swerve around oncoming vehicles. But this manoeuvre takes them closer to the outer edge of the curve. Staying on the track at the same curve radius (Figure 3D) is now impossible. A lower curve radius (Figure 3E) is required, which can be achieved by either increasing the roll angle or with a constant roll angle at lower speed. A rider who misses the chance of reducing speed during the swerving manoeuvre might have to go beyond his/her personal limit for roll angles and will most likely be unable to do so. This might then result in a collision with the guardrail in an upright position or a run-off-the-road crash without no skid or scratch marks (Figure 3F). One in six collisions involving a motorcycle is a run-off to the right crash in a left-hand curve; such collisions are eight times more common than head-on collisions in curves.

### 1.3 Research Questions

At the first glance, there appears to be one simple preventive measure: improving riders' roll angle tolerance. Unfortunately, riders might then also use their improved skills and still travel through curves at their maximum roll angle. Consequently, the same crashes would happen, but at a higher speed. Another option would be to teach riders to increase their roll angle temporarily through a short but heavy push to the inner end of the steering bar. This is a very good idea in theory, but in practice it is very difficult to overcome reflex reactions. More research on roll angle phobia would be another option, but this would require further basic knowledge, namely:

What roll angles do riders achieve?

Another important goal is to develop effective countermeasures. The pilot study mentioned above found promising approaches but did not deliver statistical evidence. Hence, a comprehensive study was needed to answer the question:

Do road markings effectively change riders' trajectories through left-hand curves with short visibility range for the better?

### 1.4 Hypothesis

In order to address the first question, the videos and freeze frames used for previous research (Winkelbauer & Bagar, 2013) were reused. It was suggested that – according to Spiegel's theories, a large majority of riders would typically travel at a maximum roll angle of 20 degrees. At a peak frequency of

20 to 22 degrees, the distribution of roll angles was expected to cut off and continue with trained riders at a much lower frequency, as shown in Figure 4.

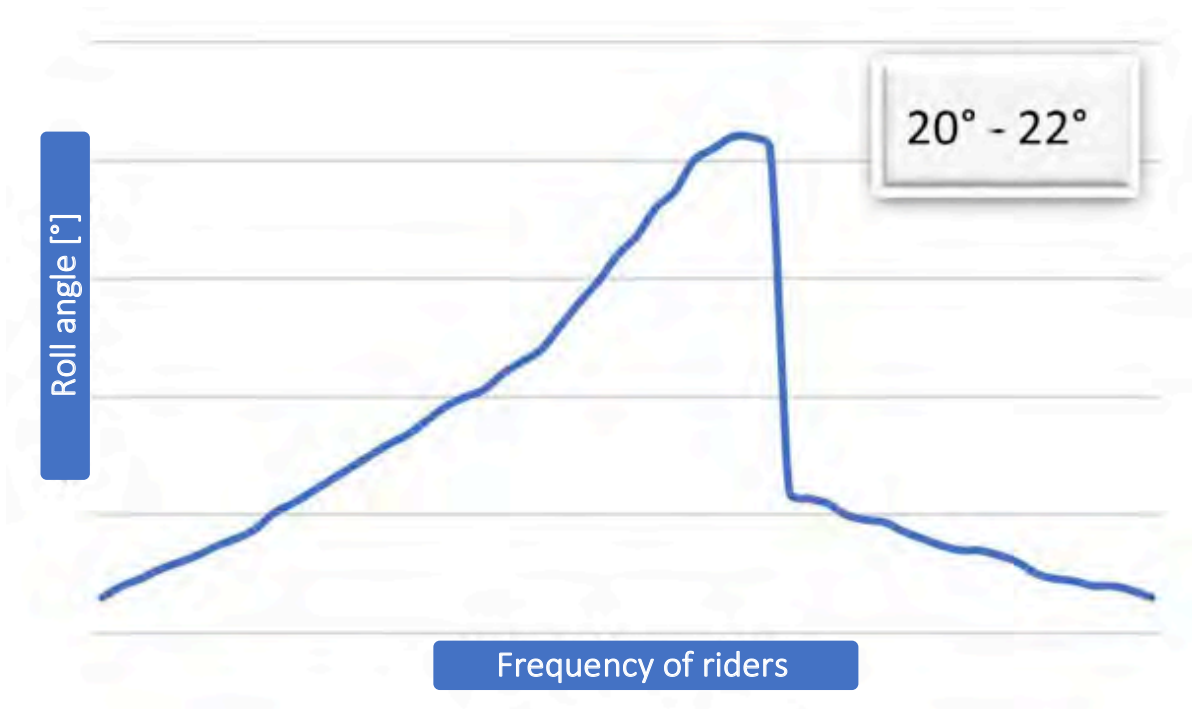


Fig. 4: Assumed distribution of roll angles of motorcyclist.

Concerning the second research question, it was expected – based on the results of the pilot – that most would choose trajectories as proposed by the road markings, i.e. they would avoid running over them.

## 2 Methodology

### 2.1 Roll angles

No empirical studies on the roll angles typically achieved by riders could be found. However, videos were available which had been used to measure lane position. From these videos, which were initially shot to demonstrate the behaviour of participants in an on-road safety training course<sup>2</sup>, numerous freeze frames were extracted. These freeze frames were used to measure roll angles. A very simple “apparatus” was used, consisting simply of a piece of transparent film with a compass rose printed on it, which was fixed to the screen with a piece of adhesive tape (Figure 5).

<sup>2</sup> <http://www.varahannes.at/tagestraining.htm> (retrieved 2018 07 26)



Fig. 5: Computer screen with compass rose.

The video material included footage from two different left-hand curves, both located along the B99 Katschberg Straße in the Liesertal in Carinthia, a curvy section of road north of the town of Spittal/Drau. The cameras had been mounted on a signpost. They were not visible to motorcyclists to avoid distraction or any biased behaviour. A total of 295 freeze frames were included in the study. The participants in the training courses were only included with their first ride, further training rides and rides by the trainer were excluded (68 trips) along with all rides on wet road surface (14), which resulted in a final total of 213 observations. In addition to roll angle, other variables were also captured for later analysis, namely: lane position, type of motorcycle and riding style, i.e. the position of the rider on the motorcycle in four groups (Bayer, 1986).



Fig. 6: Roll angles of motorcycle driving  
(Quelle: [http://www.motorradfahrer-lev.de/index.php?article\\_id=113](http://www.motorradfahrer-lev.de/index.php?article_id=113)).

- **Laying:** Motorcycle and rider form a line. With this technique, the direction of travel can be corrected quickly, and the posture requires less strength.
- **Press:** The angle of the motorbike is higher than that of the driver. This cornering technique originates from off-road sport and is used mainly for tight turns, hairpin bends or evasive manoeuvres.
- **Hang:** The driver's angle is higher than that of the motorcycle. At the same cornering speed, this technique requires less roll angles, rather than force (Thomson, 2011).

- Hanging off: The highest possible inclination. (Racetrack: the knee is used to scrape the roadway, by some drivers as a "third pillar") (Kohls, 2011).

## 2.2 Effectiveness of road markings

This research was planned as a before-and-after study. The budget was calculated to allow the research team to select nine curves, observe the behaviour of 500 motorcyclists in each curve (both before and after the intervention) and include an interview survey with 200 riders.

The underlying principle of the intervention is that riders – at least in Austria – are reluctant to ride over road markings because they are taught that they should avoid any potentially slippery areas of the road, such as manhole covers, bitumen repairs or road markings. Although road markings have by law had to provide as much friction as the surrounding road surface for more than two decades, this advice is still given in driving schools and is still present in riders’ brains.

The first step was to find partners. The road administration organizations in Carinthia, Lower Austria and Burgenland, three of nine regions in Austria, agreed to support the study. The second step was to select the curves. First priority was given to high-risk sites where at least three severe motorcycle crashes had occurred within the last three years. Some sites had to be excluded, e.g. because there were no centre lines, repaired cracks were present on the best trajectory or there was negative crossfall. The third step involved the selection of the design of the road markings. One of the project partners proposed that the study should not be restricted to the elliptic design (see Figure 8A) which was suggested by the results of the pilot. He proposed adopting the “psychological brake” (Figure 7, referred to later in this paper as the “bar design), which was developed in Austria in the 1970s (Schützenhöfer, 1982 cited in Kaba&Klemenjak, 1994). This design had to be adapted slightly, a minimum area without road markings had to remain as the “channel” for riders. In addition, the left and right bars would not be equal in length (see Figure 8B) if the trajectory fits generally accepted recommendations (Angermann, 2018).

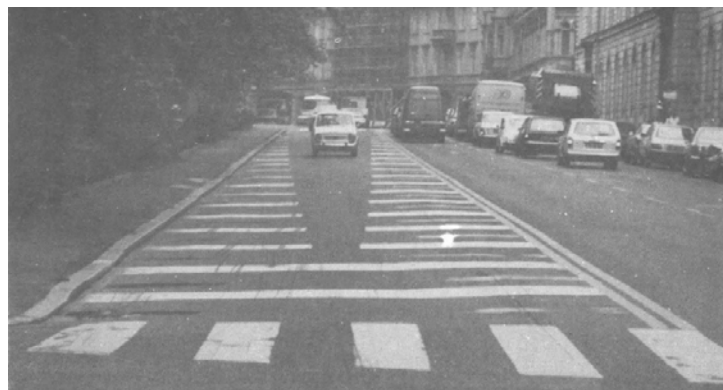


Fig. 7: Psychological brake.



Fig. 8: Shape of road markings; A: elliptic design, B: psychological brake (bar design).

A key question concerned the type of material to be used, since the road markings would presumably have to be removed after the study. As it transpired, this did not happen because the results were good and no complaints were received from the public. It also had to be ensured that the risk of any rider sustaining any harm due to the road markings was reduced to the absolute minimum. Safety was paramount to avoid any negative impacts also for the project partners within the road administration organizations. Hence, the best material was just good enough. Good experience had been had in Carinthia with Stamark 380 sheet material from 3M, which had withstood winter services for at least three years during the early pilot tests. A big advantage of this material is the lack of any drying time. After application, the respective lane can be reopened immediately, which is a big advantage on busy, mountain roads. However, subsequent experience showed that this material is not suitable for motorcycle routes with a high share of heavy goods vehicles. On such roads, the sheet material remains in place only for a few weeks.

No systematic approach was used to select the design used in each of the curves: this decision was left to the respective local road administration organization. In the end, three curves were equipped with the elliptic design, five curves with the bar design, of which one was a hairpin bend. One curve could not be included due to a massive rockfall after the preparatory phase. Unfortunately, this was also the most interesting curve, as it had been included in both the pilot study and the roll-angle study. The hairpin bend (along B91, Loiblpass) was not included in the general assessment for reasons which will be outlined in the Results chapter below. Figure 9 provides an overview of the test sites and the respective design of the road marking used.

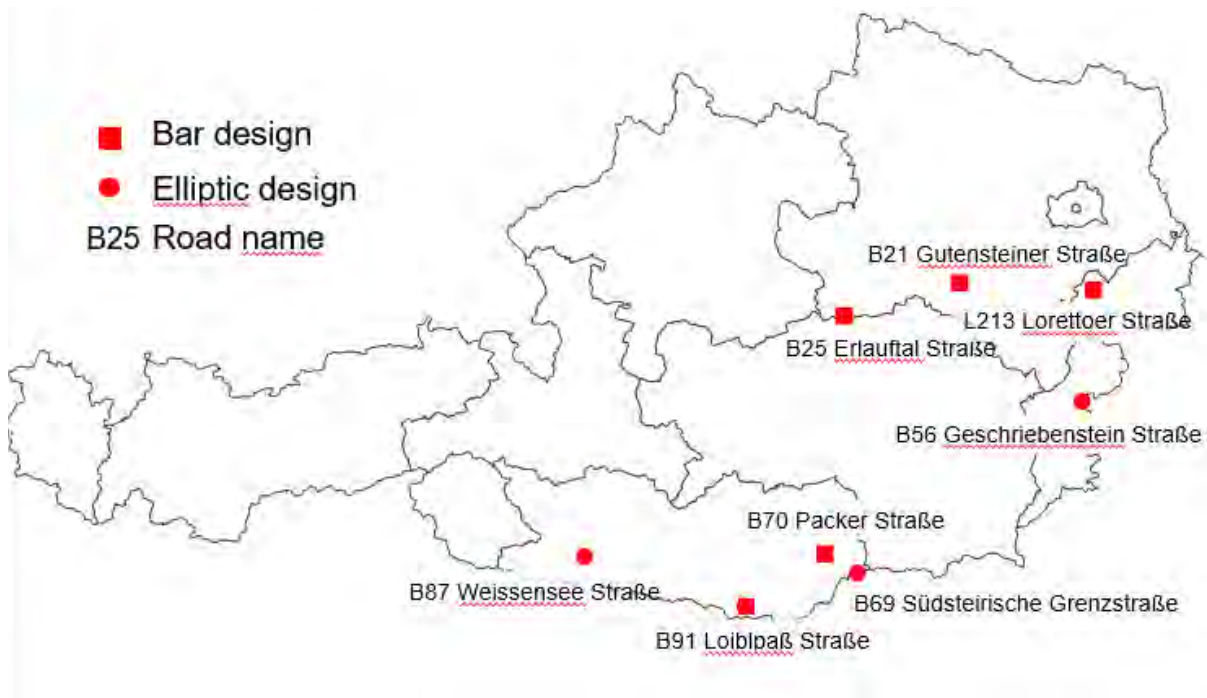


Fig. 9: Location of the test sites.

The field work was supported by video observation. The initial idea of doing all analysis using automatic image processing had to be revised due to issues with the video resolution. The image processing allowed us to isolate the episodes with a motorcycle present (which saved a lot of time), but lane position, type of motorcycle and presence of a pillion passenger had to be annotated manually using a graphical user interface developed specifically for this purpose. The cameras were placed some metres away from the shoulder on the inner side of the curve. They were fitted with sufficient memory storage for a full day and an external accumulator pack to avoid any need to touch the camera during the day and, hence, any change in the camera's field of vision. Three cameras were mounted in each curve, one at the beginning of the curve, one at the vertex and one at the exit. The cameras were left at a curve for one day, which sufficed in most cases to achieve the goal of at least 500 observations.

Table 1: Number of observations by design and phase of observation.

	before	after	total
elliptic design	1,546	4,581	6,127
bar design	4,052	6,987	8,039
bars 1 side only	598	6,165	3,763
no intervention	824	-	824
total	7,020	11,733	18,753

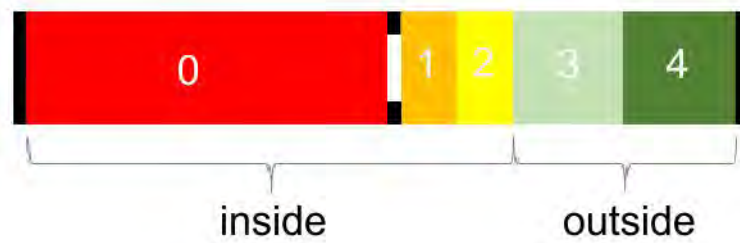


Fig. 10: Segments for classification of trajectories.

The trajectories were classified as indicated in Figure 10. The colour selection is based on traffic light colours: red indicates the prohibited area in the opposite lane, green communicates that this is the best area, at least at the beginning and the vertex of a curve.

The video observation was accompanied by a survey among motorcyclists to investigate their opinions and acceptance of the two types of road markings. Respondents were asked about their own lane position when passing the road markings as well as the meaning, usefulness and effectiveness of these markings. 106 riders who had passed the road markings prior to the interview and 123 who had not seen them were interviewed at two restaurants close to one of the curves that are popular stops for motorcyclists.

### 3 Results

#### 3.1 Roll angles

The results of the survey are shown for both curves together. Differences in the two curves have been statistically tested without detecting any significance.

Table 2: Number of observations by type of motorcycle.

Motorradtyp	Anzahl
Chopper	19
Cross	1
Enduro	69
Goldwing	1
Moped	2
Naked Bike	42
Roller	12
Supermoto	17
Supersportler	24
Tourer	26

The analysis of the freeze frames of 213 motorcyclists (Table 2) shows that Enduro riders were the most frequent. Figure 11 shows that the most frequently observed roll angles were 24 to 30 degrees, with another peak observed at 35 degrees.

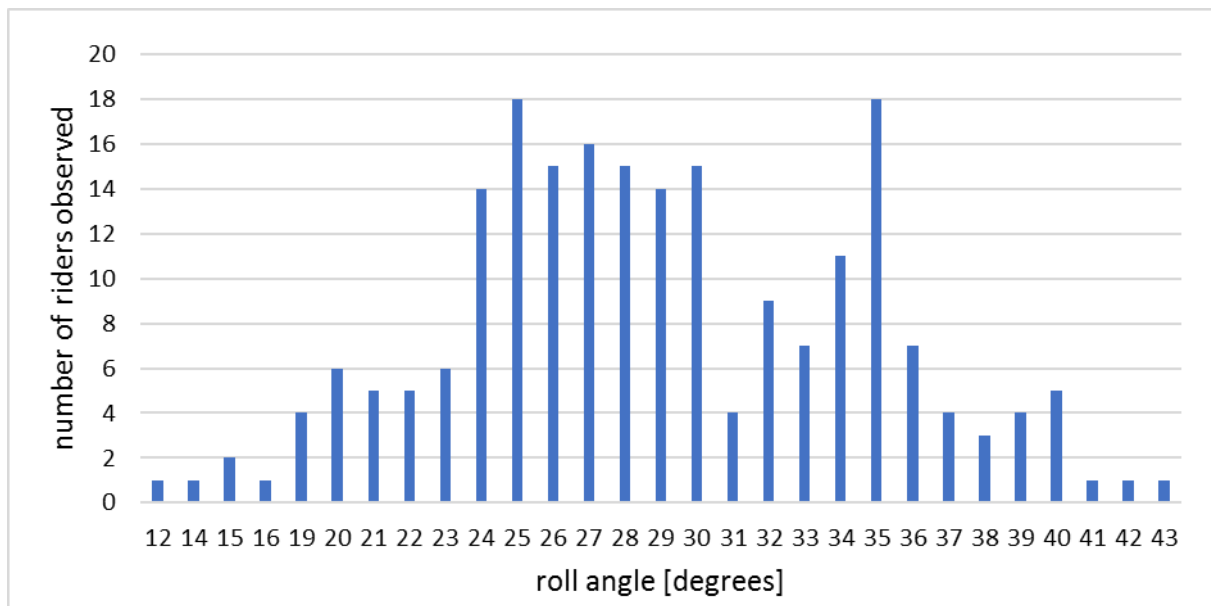


Fig. 11: Number of riders observed by roll angle (n=213).

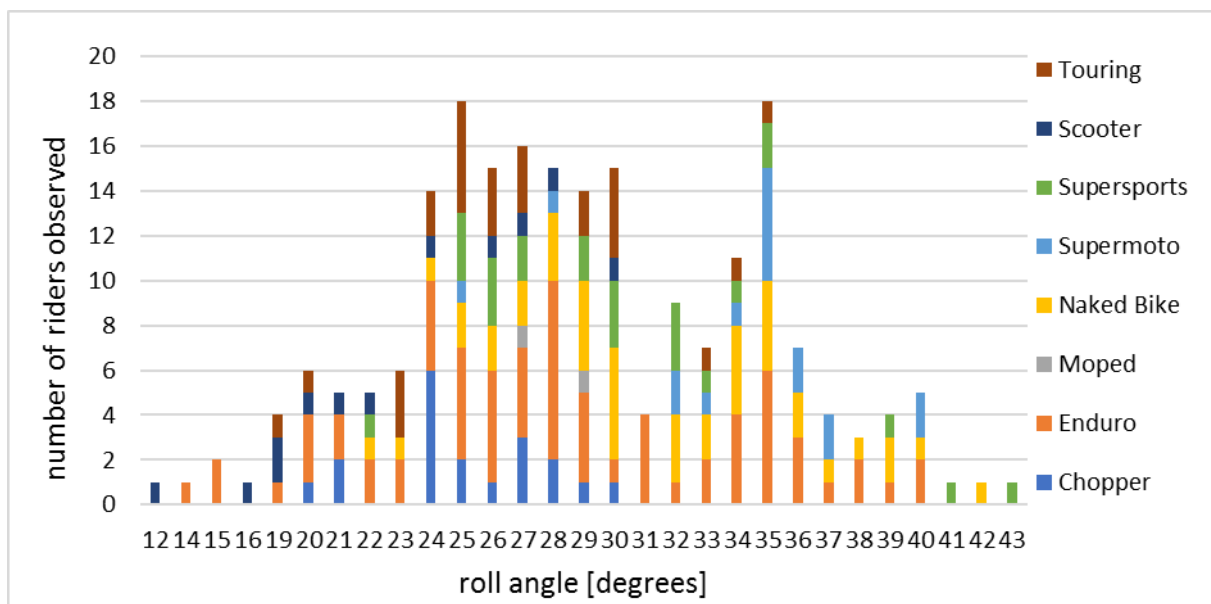


Fig. 12: Frequency of roll angles by type of motorcycle (n=213).

It seems that the riders of some types of motorcycle prefer the roll angles that common sense dictates (Figure 12): Particularly high roll angles were preferred by supersports and supermoto riders. Riders of naked bikes had a tendency for higher roll angles, while scooter and chopper riders were predominantly found to use low roll angles. Enduro and tourer riders are found across the full bandwidth of roll angles.



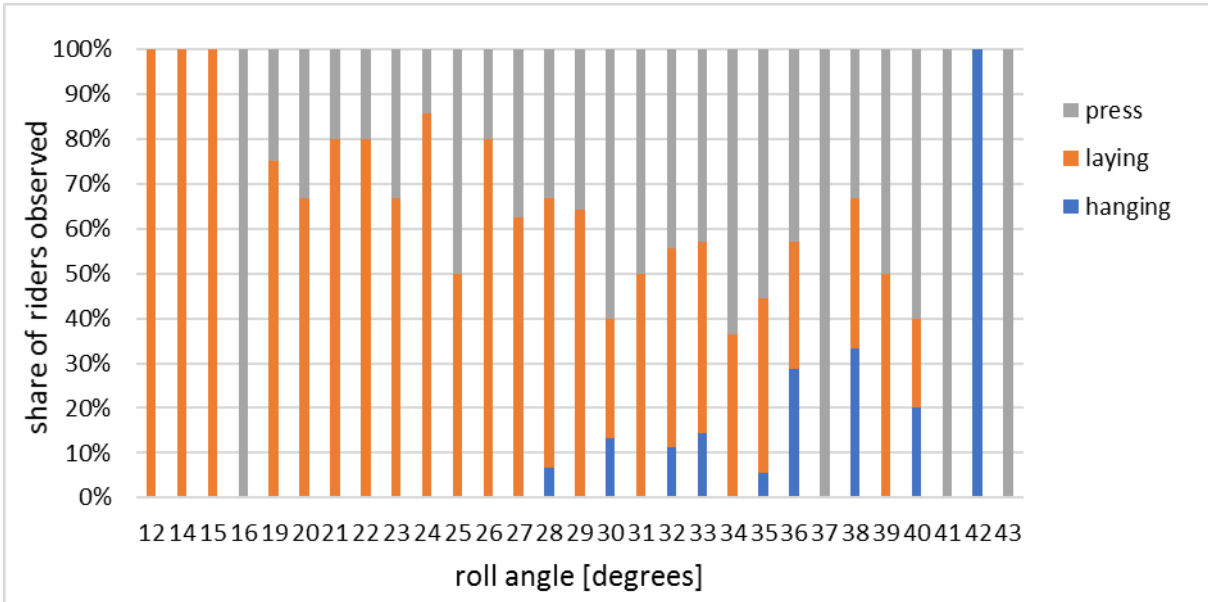


Fig. 13: Curve riding style by Frequency of roll angles (n=213).

Typically, hanging is a riding style which is associated with high speed and high roll angles. Hence, the result for hanging in Figure 13 is as expected. Pressing increases the roll angle of a vehicle, which means that a pressing rider rides at lower speed than a laying rider at the same roll angle. The relatively high share of pressing is presumably an indication of the difficulty of riding the two particular curves.

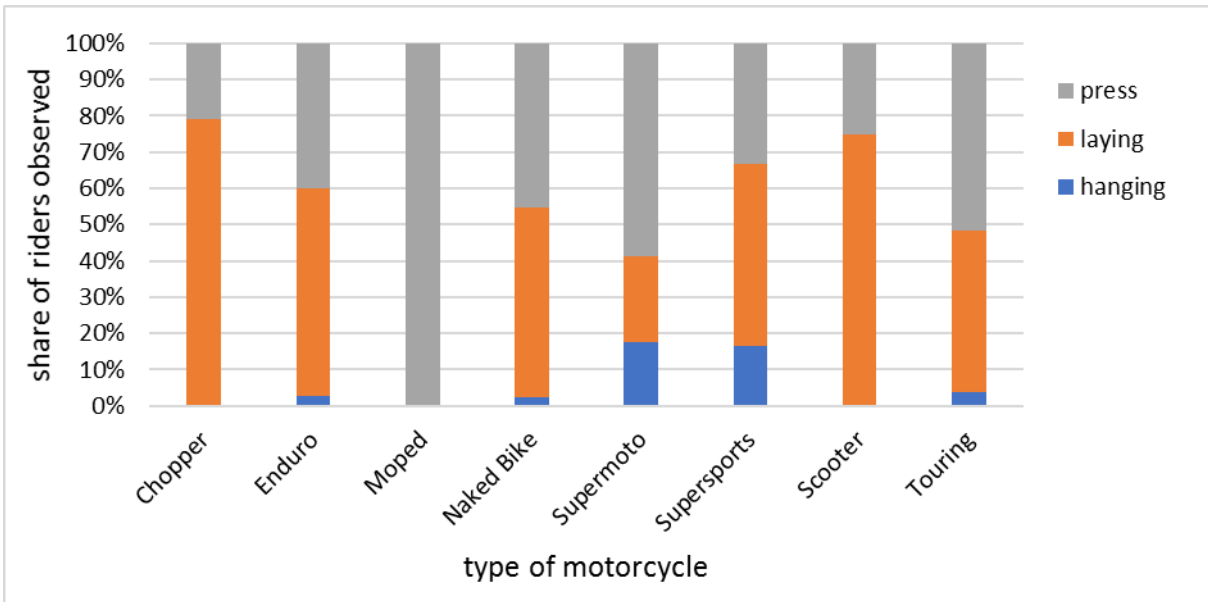


Fig. 14: Curve riding style by type of motorcycle (n=213).

It is generally accepted that hanging as a riding style should not be used on public roads. Hanging did not appear frequently (Figure 14) and was used by those riders who would have been most expected to do so (i.e. supersports and supermoto riders).

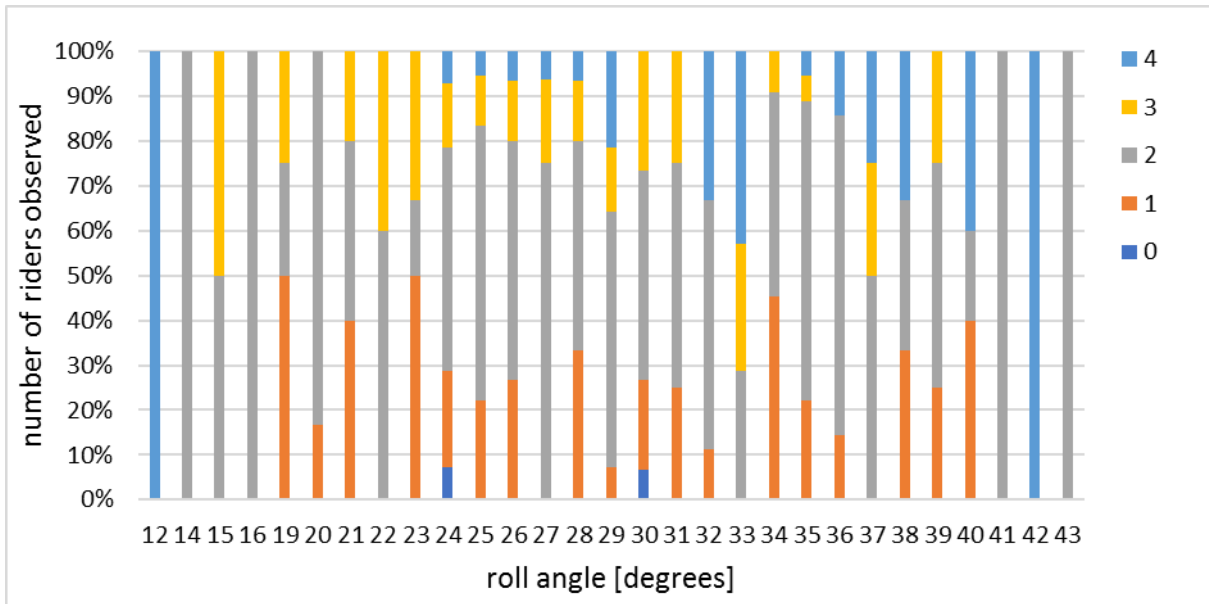


Fig. 15: Frequency of roll angles by lane position at the vertex (n=213).

Figure 15 shows that the majority of riders prefer the centre of their own lane. There is a tendency for riding at an increased roll angle to be associated with the selection of a trajectory on the outside of the curve.

### 3.2 Observation of lane positions

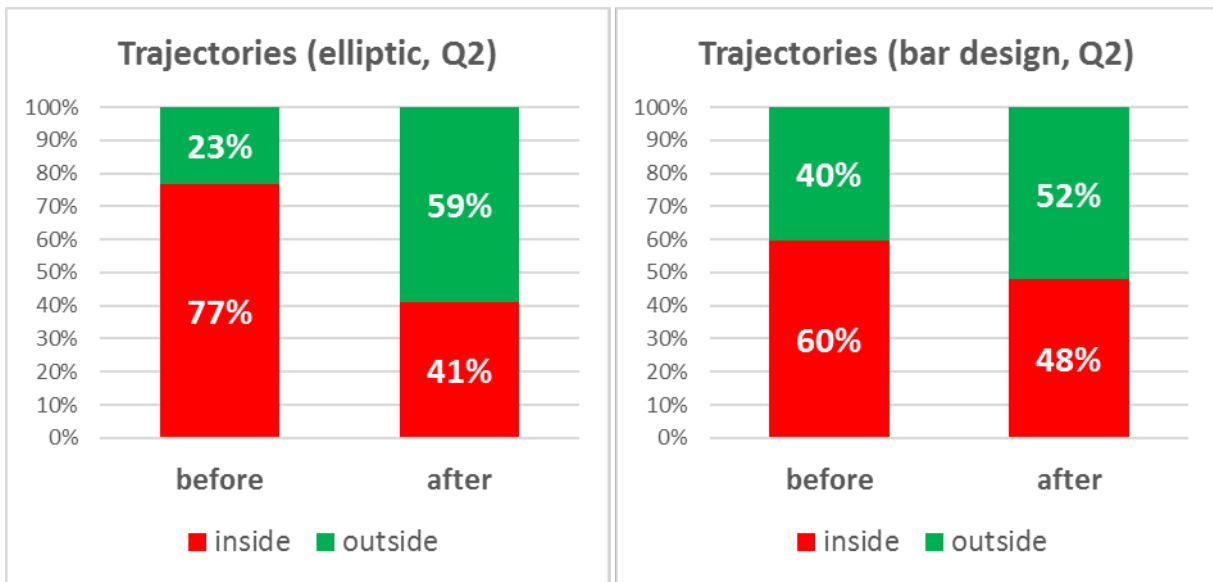


Fig. 16: Distribution of trajectories, overall results at the vertex, before and after, for elliptic and bar design.

Figure 16 displays the overall and most important result of the study. This result is based on seven “regular” curves; the hairpin was not included, and no observation could be carried out at one curve due to a massive rockfall. There are strong decreases in the number of riders who choose a trajectory

close to the centre of the road for both road marking designs after the intervention. While the elliptic design seems to have the stronger impact, all differences displayed below were statistically significant.

Figure 17 shows the results of all 7 curves added up, with more details for the segments. The share of riders observed in segments 0, 1 and 2 decreased after the intervention. More riders chose to ride in the centre of their lane as proposed by the road markings. The share of riders in segment 4 did not change.

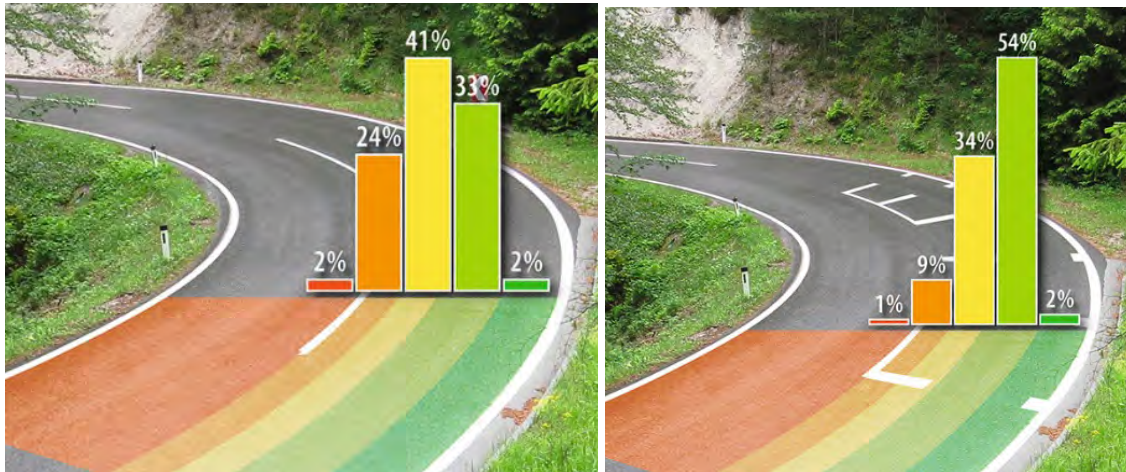


Fig. 17: Distribution of trajectories, overall results at the vertex, before and after, all 7 curves (symbolic background).

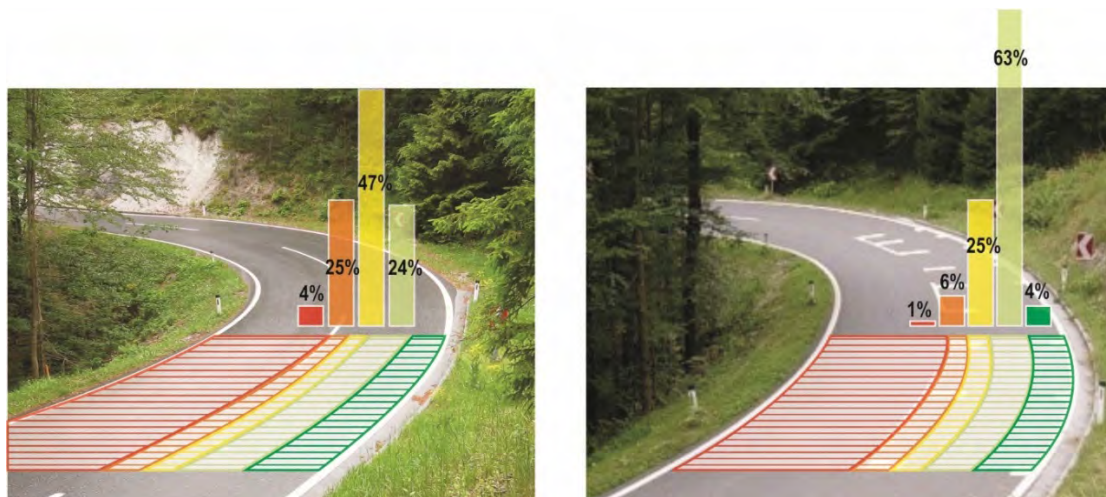


Fig. 18: Distribution of trajectories, overall results at the vertex, before and after, best curve (symbolic background).

The best results (Figure 18) were obtained for a curve along the B87, Weißensee Road, where the previous (right-hand) curve was also fitted with elliptic design road markings in order to avoid riders being captured on the wrong side of the road markings. The Weißensee Road is a freshly surfaced, beautiful, harmonic road, which makes it very popular with motorcyclists. It could be argued that the sharp right-hand curve before the test curve was the reason for many riders to use the opposite lane, a phenomenon

which almost disappeared in the after-period. There were even superior results for segment 4 (dark green).

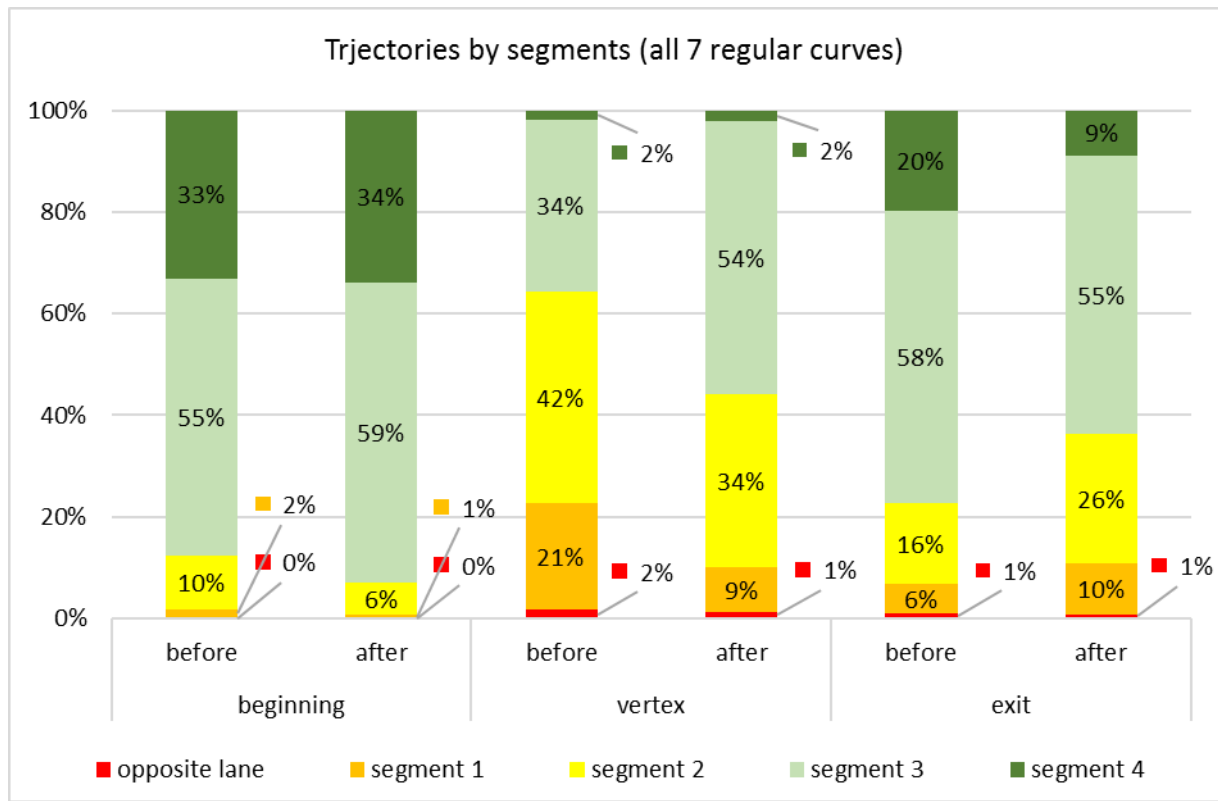


Fig. 19: Distribution of trajectories, overall results, all sections, before and after.

Figure 19 also shows the results for the beginning and the exit. Based on common agreement on how trajectories in curves should be chosen, the intervention causes a change for the better in these sections as well. There is a slight shift to the right at the beginning of the curve and a slight shift to left at the exit. Further analysis indicated that although it performed better at the vertex, the elliptic design has less influence on trajectories at the beginning and end of a curve. For the bar design, the opposite was the case.

The analysis of driving speed was limited to cases where the automatic video analysis could detect the same vehicle at the beginning, the vertex and the exit of a curve. Essentially, there were no significant differences before and after the intervention either for the elliptic or for the bar design.

### 3.3 Interview survey

All riders who participated in the interview survey (n=229) thought that the bar design had an impact on the behaviour of riders in the curve. 74% of the interviewees also thought that the elliptic design had an impact. Of the riders who had driven past the road markings (n=106), 97% of those who had passed the bar design prior to the interview (n=29) did not recall having done so without a reminder. 61 % of

riders who had passed the elliptic markings (n=77) did not recall them, which means that 39% did – compared to 3% for the bar design. The bar design was considered to provide better intuitive advice. Some of the riders were somewhat surprised when they saw the elliptic markings, but also said that their inclination not to ride over the markings was stronger with the elliptic than with the bar design. A huge majority of riders gave positive overall feedback, saying that it makes sense to use these markings and that they considered them effective in influencing riders’ trajectories. Most riders expected a positive effect on motorcycle safety.

### 3.4 Hairpin bend

The hairpin bend observed in the study was special not just because it is a hairpin. There is a sharp right-hand curve just before the hairpin in which riders approach the hairpin quite close to or even beyond the centre line. Further, the centre line is barely visible (i.e. almost faded). Bars were applied only on the left side of the lane. Finally, there was a strong bias in the sample. The after-observation took place during a huge Harley-Davidson rider convention in Faak/See, a location just a few kilometres away from the observed hairpin. Chopper riders were thus by far the most frequent among the motorcycle riders passing by the test site.

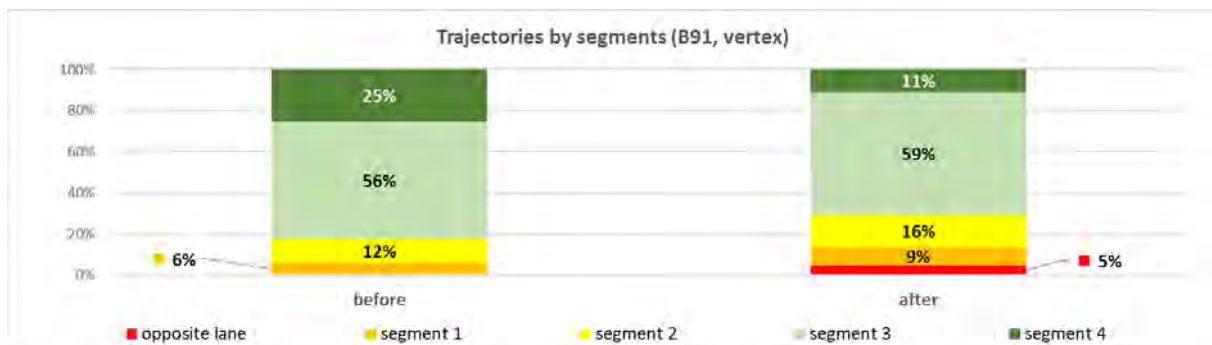


Fig. 20: Distribution of trajectories, hairpin curve, vertex, before and after.

The hairpin was the only curve in which the number of riders in the “forbidden area” increased after the intervention.

## 4 Conclusions

Based on the results, the hypothesis about roll angles turned out to be completely wrong. The actual roll angles used by motorcycle riders are higher and much more evenly distributed over a large bandwidth from about 20 to 40 degrees. Most motorcyclists chose a roll angle between 24 and 30 degrees. A second peak in frequency was found at 35 degrees. There were differences between riders of different types of motorcycles. In some cases, riders fully fit their stereotype, like supersports and supermoto

riders choosing higher roll angles or scooter and chopper riders typically choosing low roll angles. Riders of other types of motorcycles can be found more or less across the whole bandwidth of roll angles. Similarly, riders stuck to their stereotypes in the study on road markings. The results for the hairpin bend were so heavily biased by the share of chopper riders that is unclear if they deliver information about the curve or about chopper riders. This was the main reason why the hairpin was finally excluded from the analysis with the other curves. Including a hairpin in the study was an experiment and indicated that a lot more research is needed. Hairpin bends are challenging for inexperienced riders and are probably a greater challenge on right-hand rather than left-hand curves. In addition to the data acquisition on the research question, it was observed that the bar design markings were a challenge for riders travelling in the opposite direction.

For the major part of the study including seven curves, the hypothesis turned out to be perfectly correct. Trajectories were significantly altered by the application of road markings exactly as had been expected at all three sections of the curves. The elliptic design proved to be more effective. The bar design was better in altering the trajectory at the beginning and exit of a curve as well and performed slightly better from a public acceptance perspective. Hence, the elliptic design is probably more favourable on routes with lower frequencies and real problems, while the bar design might be more suitable for more heavily frequented motorcycle routes and stronger public impact.

Differences between the riders of diverse types of motorcycles are also evident in their riding styles in curves. Again, if there is a stereotype, the riders fit it. Supermoto and supersports riders are most frequent in the “hanging” category; hanging is associated with higher roll angles. Chopper and scooter riders typically ride their bikes “laying” into curves.

Experience might be another issue. It can be assumed that very experienced riders will achieve higher roll angles. It can also be assumed that experienced riders ride to a larger extent further to the right. In the study, higher roll angles appear to be associated with lane positions further to the right.

Despite the significance of the results, their applicability is limited: The study included left-hand curves in mountainous regions with a high share of motorcycles but little heavy traffic. All curves were high-risk sites for motorcycle crashes, they all had a high share of curve cutting and were all located on motorcycle routes. Hence, painting bars or ellipses on each and every curve is not proposed. Instead, the results of the study recommend using road markings as an intervention at relevant high-risk sites.

The roll angle study, although including more than 200 observations, should be considered a pilot study. It only covered two curves, both of which were left-hand curves on the same road in a mountainous region and had a short visibility range, a crossfall of about 3 degrees, a radius of about 30 metres, guard rails at the right shoulder and many large chevron signs. The only conclusion that can be drawn from

this study is that either Spiegel's hypothesis on lean angles is not fully correct or most riders have acquired more roll angle tolerance, either through training or experience. Training appears unlikely as a reason given that only about 2% of the Austrian population goes through anything that can be considered skill-oriented advanced rider training each year.

If typical roll angles are well-known, recommendations for curve speed could be calculated. Section-based speed limits, in particular those that are valid only for motorcycles, are very unpopular among riders and make little sense if curve speeds are much lower than the speed limits (which now can be estimated given what we know about typical lean angles). Road signs could inform riders of the appropriate speed at low and high roll angles – in the same way rally drivers get information from their codriver. This does not mean that riders should meticulously observe their speedometer, but they could gain experience about how fast they can go through a curve with respect to the recommended speed. Of course, the impact of such recommendations would have to be evaluated carefully.

Neither of the surveys presented in this paper investigate the extent to which the observations are related to the vehicle or to the predominant riders of particular types of motorcycles – either for roll angles or for lane positions. In other (Bernd Spiegel's) words, we did not distinguish between the upper and the lower half of the motorcycle; the data would not support such analysis. Hence, more research is needed that includes more curves, more riders, more variations of all properties of curves as well as more road markings. In the case of the latter, accident analysis will have to be done when data for a sufficient after-period is available.

## 5 Outlook

Even before the end of the study, six curves on the Großglockner Hochalpenstraße were fitted with markings in elliptic design. An evaluation study investigating trajectories is currently going on, the results of which will be included in the oral presentation. Eleven curves in Styria were fitted with bar design markings. All available information was provided to the road administration organization in Luxembourg, which in the meantime has initiated a pilot on a 6 km stretch of the N25 near Kautenbach. The circumstances there are unique; Luxembourg has a huge share of non-resident riders among motorcycle crash victims. First results from this pilot should also be available for the oral presentation of this paper. In Slovenia, a motorcycle route with frequent illegal street racing events was also fitted with road markings along the centre line. While some of these locations will be subject to accident analysis, no data is available as yet due to the short after-period. No severe crashes have been reported so far at the seven curves in Austria, despite the fact that all seven locations had been high-risk sites prior to the intervention.

## 6 Acknowledgements

We would like to extend our special thanks to the following people who supported this paper and/or the studies on which it is based:

- Hannes Bagar, road safety trainer ([www.varahannes.at](http://www.varahannes.at)), for many hours of discussions and exchange of opinions before, during and after the studies. Thanks for the video footage and freeze frames.
- Gerald Höher, the father of the idea to influence riders by painting road markings on the area close to the centre line in left-hand curves. Gerald also arranged the application of the road markings for the present study without any further support from the project team.
- Stephan Mayrhofer for raising the idea of using the “psychological brake” and for enabling and supporting the test on “his” roads in Lower Austria.
- Holger Bierbaum and Hannes Steck from the regional road administration organization in Burgenland for their support on their roads.
- Gerald Velisek from 3M Austria for supplying us with a sufficient amount of Stamark 380 sheet material and full logistics service.

Thank you, gentlemen – without you, all this would never have happened!

## 7 References

Angermann, R. (2018). Different approaches with regard to safe cornering lines and how to adopt them – background information and possible improvements. ifz Forschungsheft 18. Essen: Institut für Zweiradsicherheit.

Bayer, B. (1986). Das Pendeln und Flatten von Krafträdern: Untersuchungen zur Fahrdynamik von Krafträdern unter bes. Berücksichtigung konstruktiver Einflußparameter auf die Hochgeschwindigkeitsgeradeausstabilität. Bochum: Institut für Zweiradsicherheit e. V.

de Craen, S., Doumen, M., Bos, N., & van Norden, Y. (2011). The roles of motorcyclists and car drivers in conspicuity-related motorcycle crashes. SWOV-rapport.

European Road Safety Observatory. (2016). Traffic Safety Basic Facts 2016. European Commission. Retrieved 07 13, 2018, from [https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2016\\_main\\_figures.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2016_main_figures.pdf).



- Kaba, K., & Klemenjak, W. (1994). Informationsaufnahme und Informationssysteme im Straßenverkehr. Kleine Fachreihe (Vol. 29). Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit.
- Kohls, A. (2011). motorfahrer-lev.de. Retrieved 07 18, 2018, from [http://www.motorradfahrer-lev.de/index.php?article\\_id=113](http://www.motorradfahrer-lev.de/index.php?article_id=113).
- Schützenhöfer, A. (1982). Beeinflussung des Geschwindigkeitsverhaltens durch Bodenmarkierungen - "Psychobremse". In Kuratorium für Verkehrssicherheit, Kleine Fachreihe des KfV (Vol. 19, pp. 117-124). Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit.
- Spiegel, B. (2012). Die obere Hälfte des Motorrads. Stuttgart: Motorbuch Verlag.
- Thomson, U. (2011). Motorradfahren in Perfektion: mit Köpfchen durch die Kurve; Ausrüstung, Fahrtechnik, Sicherheit (1. Auflage ed.). Heel: Königswinter.
- Winkelbauer, M. (2014). Riding Left Hand Corners: Facts and Measures. ifz Forschungsheft 16. Essen: Institut für Zweiradsicherheit.
- Winkelbauer, M., & Bagar, H. (2013). Kurvenlinien von Motorradfahrern in unübersichtlichen Linkskurven, Ergebnisse einer Videoanalyse. Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit.
- Winkelbauer, M., Bagar, H., Höher, G., & Wollendorfer, C. (2014). Kurvenschneiden bei Motorradfahrern: Bestandsaufnahme und Gegenmaßnahmen. Wien: ZVR.
- Winkelbauer, M., Scheider, F., Strnad, B., Braun, E., & Schmied, S. (2017). Wirksamkeit von Bodenmarkierungen zur Beeinflussung der Wahl von Kurvenfahrlinien durch Motorradfahrende. Wien: Kuratorium für Verkehrssicherheit.
- World Health Organization (2015). Global status report on road safety. Switzerland: WHO Library Cataloguing-in-Publication Data. Retrieved 07 13, 2018, from [http://www.who.int/violence\\_injury\\_prevention/road\\_safety\\_status/2015/en/](http://www.who.int/violence_injury_prevention/road_safety_status/2015/en/).

## 8 Figures

Figure 1: Number of causal and contributing factors in motorcycle crashes in Austria.

Figure 2: Percentage distribution of driving lines in left curves (both riders and the bus in their original positions).

Figure 3: Variants of trajectories in left hand curves.

Figure 4: Assumed distribution of roll angles of motorcyclist.

Figure 5: Computer screen with compass rose.

Figure 6: Roll angles of motorcycle driving

(Quelle: [http://www.motorradfahrer-lev.de/index.php?article\\_id=113](http://www.motorradfahrer-lev.de/index.php?article_id=113)).

Figure 7: Psychological brake.

Figure 8: Shape of road markings; A: elliptic design, B: psychological brake (bar design).

Figure 9: Location of the test sites.

Figure 10: Segments for classification of trajectories.

Figure 11: Number of riders observed by roll angle (n=213).

Figure 12: Frequency of roll angles by type of motorcycle (n=213).

Figure 13: Curve riding style by Frequency of roll angles (n=213).

Figure 14: Curve riding style by type of motorcycle (n=213).

Figure 15: Frequency of roll angles by lane position at the vertex (n=213).

Figure 16: Distribution of trajectories, overall results at the vertex, before and after, for elliptic and bar design.

Figure 17: Distribution of trajectories, overall results at the vertex, before and after, all 7 curves (symbolic background).

Figure 18: Distribution of trajectories, overall results at the vertex, before and after, best curve (symbolic background).

Figure 19: Distribution of trajectories, overall results, all sections, before and after.

Figure 20: Distribution of trajectories, hairpin curve, vertex, before and after.

## 9 Tables

Table 1: Number of observations by design and phase of observation.

Table 2: Number of observations by type of motorcycle.

High Precision Motorcycle Bend Trajectory Reconstruction  
Based on a Low-cost Multi-Sensor System

Die hochpräzise Nachabbildung von Motorrad-Kurvenlinien  
basierend auf einem kostengünstigen Multi-Sensorsystem

Sarra Smaiah<sup>1,2</sup>, Rabah Sadoun<sup>1, 2</sup>, Abdelhafid Elouardi<sup>1</sup>  
Abderahmane Boubezoul<sup>1, 3</sup>, Bruno Larnaudie<sup>1</sup>, Bastien Vincke<sup>1</sup>  
Samir Bouaziz<sup>1</sup>, Stéphane Espié<sup>1, 3</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire SATIE – CNRS UMR 8029, Université Paris Saclay, Orsay, France

<sup>2</sup>Laboratoire Signal et Communication, Ecole Polytechnique, Algiers, Algeria

<sup>3</sup>IFSTTAR, TS2, Champs-sur-Marne, Marne la Vallée, France

## Abstract

Drivers of the Powered Two Wheels are considered among the most vulnerable road users, as evidenced by the number of accidents increasing every year. The significant part of the fatalities relates to single vehicle loss of control in bends.

In order to improve road safety and mitigate the risk of accidents in bends, it is necessary to better train riders to learn and estimate a secure trajectory. Until today, no system exists to objectively evaluate bend-taking maneuver. This evaluation is subject to an imprecise instructor appreciation.

The aim of our work is the development of tools for the objective evaluation of bend taking practices and the characterization of the achieved trajectories that should be used for the initial training and re-training. Data trajectories will be used by the examiner or instructor in order to objectively evaluate bends realized by drivers.

During this investigation, an algorithm based on low-cost, multi sensor platform was developed to accurately reconstruct motorcycle trajectories achieved when negotiating bends. The data required for the reconstruction are acquired using instrumented motorcycle in the VIROLO++ Project.

The proposed solution allowed to reconstruct motorcycle trajectories, in bends with sufficient continuity and a high accuracy compared to the traditional INS/GPS solution.

By offering accurate insight on how different riders are taking bends, this can be used for training purposes to increase the safety of motorcycle Riders.

High Precision Motorcycle Bend Trajectory Reconstruction  
Based on a Low-cost Multi-Sensor System

# 1 Introduction

Powered Two-Wheeled vehicles (PTWs) are becoming more and more popular with commuters looking to avoid traffic congestion. However, users of powered two-wheelers vehicles are considered as the most vulnerable road users. Indeed, PTWs remain a particularly risky mode of transport [1].

Counter-measures are needed to improve road safety and mitigate the risk of accidents in bends. In order to do so, it is necessary to better train riders to adopt a safe trajectory [2] which allows the rider to anticipate dangers and potential hazards.

Motorcycle bend reconstruction an important tool for the objective evaluation and the characterization of the achieved bends compared to the safe bend. The precise reconstruction of the achieved bend trajectories will help PTW riders to receive better training or retraining that focuses on “safe” trajectory. Such safe practices would result in saving many lives and also would allow riders to be more aware of their own real handling ability and the breaking limits of their PTWs.

In this work, an enhanced method based on low-cost multi sensor platform was developed to accurately reconstruct motorcycle trajectories achieved when negotiating bends. The data required for the reconstruction are acquired using instrumented motorcycle provided by the VIROLO++ Project team [3] [4].

## 2 Description of the instrumented motorcycle

Data required for the trajectory reconstruction are acquired using a motorcycle that has been fully instrumented by the VIROLO++ team [3] [4] with several redundant sensors (reference sensors and low-cost sensors) which measure the rider actions (roll, steering) and the motorcycle behavior (position, velocity, acceleration, odometry, heading and attitude). The architecture of the system is based on the bus CAN that connects several sensors and a data logger. This architecture makes it possible to add or remove one or more nodes (sensors or recorders) as required, without affecting the operation of the other nodes. This offers an essential working flexibility in the development phase of the system.

The instrumented PTW integrates redundant sensors: "low cost" sensors and "reference" sensors, in order to compare data measurements and to identify the subset of sensors necessary for each reconstruction method.



Fig. 1: The instrumented motorcycle.

## 2.1 Low cost sensors

The low cost sensors that were embedded on the bike are listed bellow:

- Wheel tire sensors (1) : two Hall Effect sensors in quadrature are attached to the front and rear wheel to measure the distance travelled by the motorcycle, used in trajectory reconstruction.
- Standard GPS receiver (7) : owner designed a GPS module, using “A2200-A” circuit [5], in order to lower the costs and to have a completely mastered GPS.
- Inertial Navigation System (10Dof) (5) : the low-cost INS MPU9250 [6] was implemented in the motorcycle in order to acquire inertial movements of the motorcycle and the data required for the trajectory reconstruction. It operate at 100 Hz.
- Handlebar sensor (3) : the magnetic sensor (AS5047P [7]) is used to recover the absolute angle of the handlebar.

## 2.2 Reference sensors

The reference sensors listed bellow were installed on the bike in order to compare data measurements.

- GPS RTK (6) : the position delivered by the GPS RTK is used only as a reference to evaluate the accuracy of the reconstructed trajectory. The two (rover and base) GPS “Altus APS-3” [8] are used for the Real Kinematic positioning.
- Inertial Navigation System “Xsens” (4) : the MTi Xsens [9] was used as a reference system (redundant) in order to check the degradation induced by the sensor.

- Tilt sensors (2) : to measure the tilt of the motorcycle (roll angle), two identical (laser) optical distance sensors are placed on both sides (right and left) of the motorbike.

### 2.3 Data logger node

The data logger node (8) is drove by a BECK microcontroller able to manage USB, file system and a CAN interface. Its main function is to collect messages sent on the CAN bus, put them in a specific format according to the identifier of the message and place them in a file on the USB key. When receiving a CAN frame, the recorder writes a new block of data to the C2U file containing the CAN frame and the reception time. The recorder dates the file using a real time clock module with a small battery.

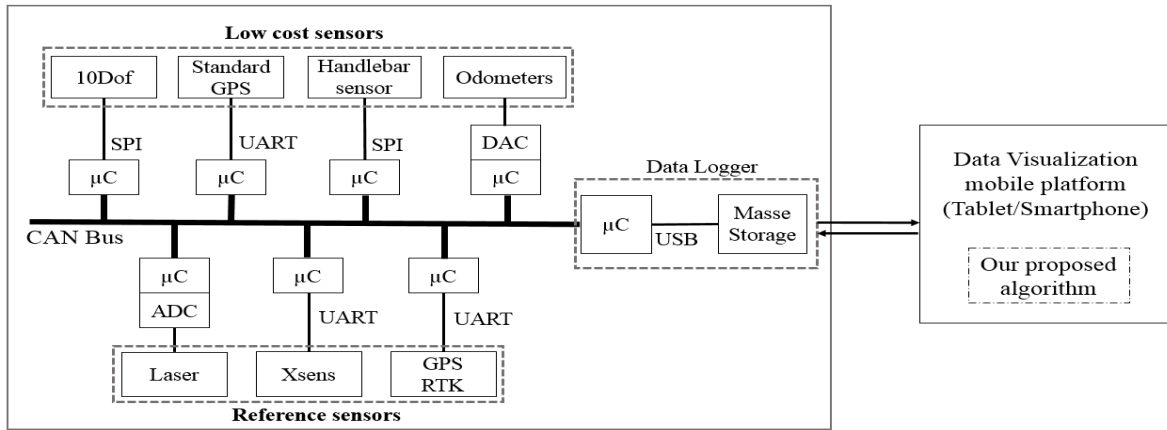


Fig. 2: System architecture.

The data visualization mobile platform is used to visualize the recorded data and the reconstructed trajectory achieved by the driver. This reconstruction will be ensured with our proposed reconstruction model.

## 3 Reference Trajectory Correction

Sensors were embedded in different locations on the motorcycle. Therefore, the sensors' measurements are in different references, especially in turning as shown in Figure 3. Therefore, before evaluating the trajectory reconstruction methods, and in order to improve the accuracy, we considered the rear wheel contact point " $P_r$ " as a reference point and we brought all sensors' data back to this reference point. Our reference frame, in this case, is the mobile triad ( $P_r, x, y, z$ ), specified by the Society of Automotive Engineers (SAE) [10]. The origin is established at the rear wheel contact point " $P_r$ " with the road plane. The " $x$ " axis is horizontal and parallel to the rear wheel plane. The " $z$ " axis is vertical and directed downward while the " $y$ " axis lies on the road plane. The road surface is, therefore, represented by the plane  $z = 0$ .



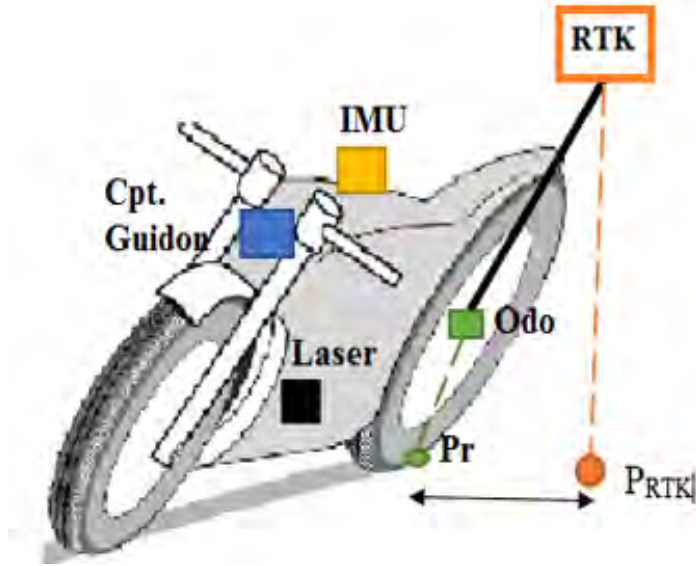


Figure 3. Sensors locations.

Locations of the sensors installed on the motorcycle are known. The GPS *RTK* position with respect to the reference point “ $P_r$ ” is given by the coordinates  $(dx, dy, dz)$ . Thus, the reference trajectory of the rear contact point “ $P_r$ ” is calculated from the “*RTK*” trajectory using the following equation:

$$\begin{bmatrix} X_{Pr} \\ Y_{Pr} \\ Z_{Pr} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{RTK} \\ Y_{RTK} \\ Z_{RTK} \end{bmatrix} - R_b^n \cdot \begin{bmatrix} dx \\ dy \\ dz \end{bmatrix} \quad (1)$$

## 4 PTW trajectory reconstruction

### 4.1 INS/GPS data fusion

This solution is based on the idea of jointly using both localization methods: relative and absolute in order to take advantage of the complementarity of proprioceptive and exteroceptive sensors.

PTW trajectory is usually reconstructed using GPS/INS systems that can achieve good accuracy only if the GPS signal is available. However, during a GPS outage, the accuracy is degraded (if the satellites visibility conditions are degraded, the reception of the signals is blocked). Therefore, in order to propose an alternative to the GPS/INS solution, we propose in this work to improve the INS/odometer data fusion method.

## 4.2 Traditional INS/Odometer data fusion

In the literature [11] [12], different configurations are proposed to integrate odometers and INS. In our work, the Reduced Inertial Sensor System (RISS) configuration has been chosen (Figure 4). In this approach, and starting from a known initial position, the position of the vehicle is calculated from the displacements measured by the odometer and the orientation angle deduced by the integration of the data of a gyroscope. This method was used in vehicle navigation in order to further higher the accuracy of the positioning solution.

The discrete form of Mechanization equations is:

$$\begin{aligned}x(k+1) &= x(k) + T_e \cdot V(k) \cdot \cos(\theta(k)) \\y(k+1) &= y(k) + T_e \cdot V(k) \cdot \sin(\theta(k)) \\ \theta(k+1) &= \theta(k) + T_e \cdot W_z\end{aligned}\tag{2}$$

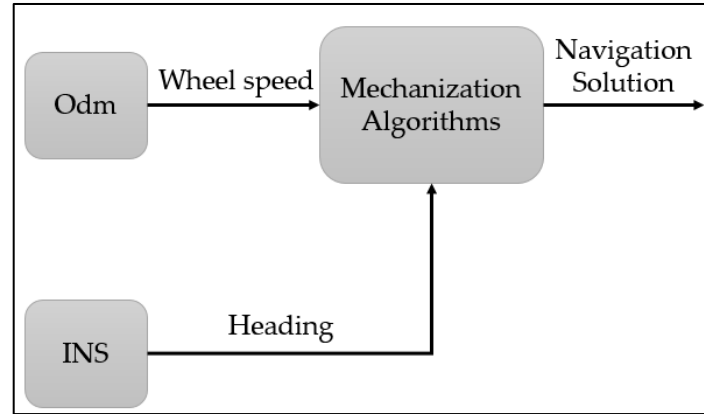


Fig. 4: Schematic diagram of the INS/Odm Integration.

Where  $W_z$  is the gyroscope measurement (rate of turns) in radium/second.

Two main errors influence the trajectory reconstruction:

- odometer errors, which come from the inaccuracy of the vehicle's geometrical parameters; and
- heading errors, which come from the drifts in the gyroscopes data (accumulation of errors during the integration of the gyrometer's data).

## 4.3 Our Enhanced INS/Odometer data fusion dedicated to PTW trajectory reconstruction

In order to increase the accuracy of the traditional INS/odometer and to better estimate heading angle and the traveled distance, we have proposed to use Madgwick Filter [13] and a wheel radius model as shown in figure 5.

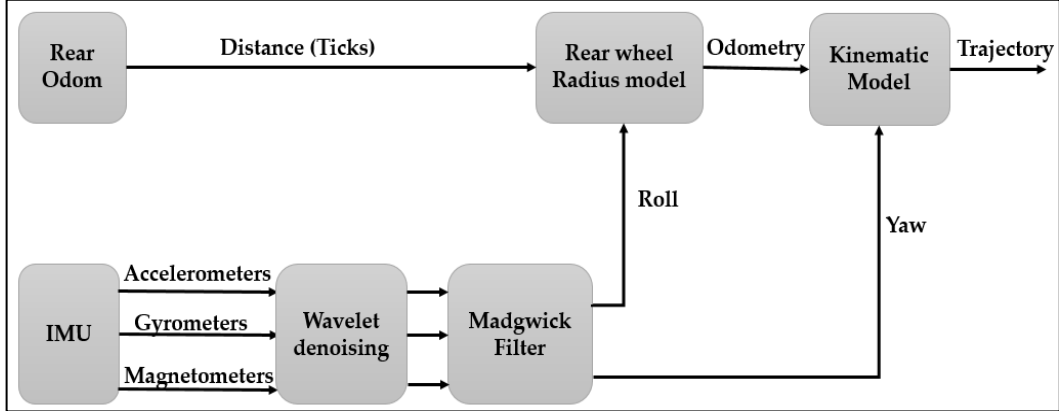


Fig. 5: The enhanced Odm/INS Integration model.

#### 4.3.1 Precise odometry estimation

Odometers are one of the sensors used to measure the motorcycle's traveled distance independently from GPS. They work by counting wheel rotations and assume that the distance traveled is the number of wheel rotations times the tire circumference (tire diameter times pi).

According to our expertise, the wheel radius is not constant; it varies according to the roll angle. Therefore, a wheel radius model is required to correct the traveled distance estimated by odometers.

When negotiating a bend, the motorcycle passes from a vertical position to a tilted position with a roll angle " $\varphi$ " in order to stay balanced. Following the roll motion, the contact point of the wheel with the road plane is displaced and the wheel radius is changed [10]. Thus, in order to accurately estimate the motorcycle traveled distance, we propose the rear wheel radius model illustrated in Figure 6.

In a vertical position, the wheel radius of the motorcycle is  $R$ . However, when the motorcycle tilts, assuming a lateral roll without slippage on the road plane, the contact point of the rear tire " $P$ " moves laterally, as illustrated in Figure 6, in the " $Y$ " direction over a distance " $t_r \varphi$ " which is proportional to the radius of the tire cross section " $t_r$ " and the roll angle " $\varphi$ " of the rear frame. The wheel radius in this case is  $R'$ :

$$R' = R_B - t_r \cos(\varphi) \quad (3)$$

where  $R_B = (R - t_r)$ : is the radius of the torus center circle.

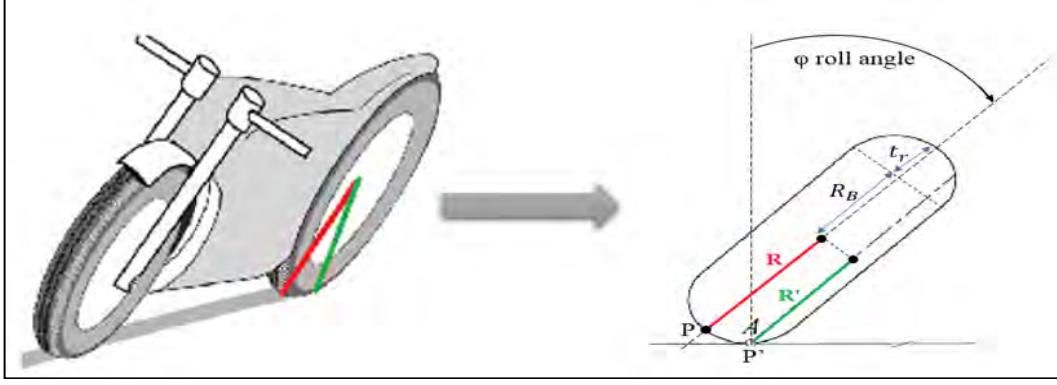


Fig. 6: Lateral displacement of the rear contact point in a curve.

#### 4.3.2 Attitude estimation based on Madgwick filter

Madgwick filter uses a quaternion representation, allowing the use of accelerometer and magnetometer data in an analytically derived and optimized gradient-descent algorithm in order to compute the direction of the gyroscope measurement error as a quaternion derivative.

In ideal conditions, i.e. absence of noise and magnetic deviation, the relation between the acceleration in the Earth Frame “ $a^E$ ” and the acceleration in the Sensor Frame “ $a^S$ ” is given by (2).

$$a_q^S = q^{-1} \otimes a_q^E \otimes q \quad (4)$$

- $\otimes$  : is the quaternion multiplication.
- $a_q^S$  : is the quaternion form of “ $a^S$ ”, which can be written such as:  $a_q^S = [0 \ a_x^S \ a_y^S \ a_z^S]^T$
- $a_q^E$  : is the quaternion form of “ $a^E$ ”. In static cases,  $a_q^E = [0 \ 0 \ g]^T$  where  $g$  is the acceleration due to the gravity at the Earth’s surface ( $g \approx 9.8 \text{ m} \cdot \text{s}^{-2}$ ).

The relation between “ $m^E$ ” and “ $m^S$ ” is as follow:

$$m_q^S = q^{-1} \otimes m_q^E \otimes q \quad (5)$$

- $m_q^S$  : is the quaternion form of “ $m^S$ ”, which can be written such as:  $m_q^S = [0 \ m_x^S \ m_y^S \ m_z^S]^T$
- $m_q^E$  : is the quaternion form of “ $m^E$ ”.

The kinematic equation of a rigid body that describes the variation of the attitude in term of quaternion, defined from the angular rate measurements delivered by the gyroscope is given by the following equation:

$$\dot{q} = \frac{1}{2} q \otimes \omega_q^S \quad (6)$$

Where “ $\omega_q^S$ ” is the quaternion form of “ $\omega^S$ ”.

Madgwick Algorithm

Gradient Descent based Orientation Filter

$$\hat{h}_{q,t}^E = \hat{q}_{t-1} \otimes m_{q,t}^S \otimes \hat{q}_{t-1}^{-1}$$

$$\hat{m}_{q,t}^E = \left[ 0 \quad 0 \quad \sqrt{(\hat{h}_{x,t}^E)^2 + (\hat{h}_{y,t}^E)^2} \quad \hat{h}_{z,t}^E \right]^T$$

$$F_t = \begin{bmatrix} \hat{q}_{t-1}^{-1} \otimes a_{q,t}^E \otimes \hat{q}_{t-1} - a_{q,t}^S \\ \hat{q}_{t-1}^{-1} \otimes m_{q,t}^E \otimes \hat{q}_{t-1} - m_{q,t}^S \end{bmatrix}$$

$\hat{q}_{e,t} = J_t^T F_t$ , where  $J_t$  is the Jacobian matrix of  $F_t$ .

$$\hat{\omega}_{e,t}^S = 2\hat{q}_{t-1} \otimes \hat{q}_{e,t}$$

$$\hat{\omega}_{b,t}^S = \omega_{e,t}^S$$

$\hat{\omega}_t^S = \omega_t^S - \zeta^S \omega_{b,t}^S$  where  $\zeta^S$  is the integral gain

$$\dot{\hat{q}}_t = \frac{1}{2} \hat{q}_{t-1} \otimes \hat{\omega}_{q,t}^S - \beta \frac{\hat{q}_{e,t}}{\|\hat{q}_{e,t}\|}$$

$\beta$  is the divergence rate of  $q_t$  expressed as the magnitude of quaternion derivative corresponding to the gyroscope measurement error.

$q_e, \omega_e$  are the quaternion and angular rate errors.

We have chosen the Madgwick filter rather than Kalman algorithm because their performances were compared in [13] and results indicate that the Madgwick filter achieves levels of accuracy exceeding that of the Kalman algorithm;  $< 0.6^\circ$  static RMS error,  $< 1.7^\circ$  dynamic RMS error.

## 5 Experimental results and discussion

### 5.1 Experiments

Several experiments were carried out on May 4th, 2017 at “La Ferté Gaucher” circuit in order to evaluate the accuracy of the motorcycle trajectory reconstruction method. This circuit is composed of different type of turns (right, left,  $90^\circ$  and  $180^\circ$  bends with large or small curvature).

A Honda CBF 1000 (Figure 1) was used in order to collect the experimental data. The departure point and the arrival point are known, and the motorcycle speed was variable between 0 Km/h to 110 Km/h.



Fig. 7: The trajectory made by the motorcycle mapped on Google Earth.

## 5.2 Evaluation of trajectory reconstruction algorithm

We are mainly interested in the reconstruction of bends instead of the whole trajectory in order to evaluate the behavior of the driver in bends and to compare it with a “safe trajectory”.

This section aims to evaluate and compare the accuracy of the motorcycle trajectory in bends achieved by the proposed method and the traditional “GPS/INS integration” method. The two algorithms were tested to reconstruct bends, as shown in Figure 7, with six drivers. Each driver realized three complete trajectories (in total, 18 are achieved). Three indices were used for the quantitative evaluation [14]: bias error, error variance, and maximum error.

The three indices are defined by the following equations:

$$\text{Bias error} = \sqrt{E_x^2 + E_y^2} \quad (7)$$

$$E_x = \frac{1}{t_{\max}} \sum_{t=1}^{t_{\max}} \Delta x(t) \quad \text{and} \quad E_y = \frac{1}{t_{\max}} \sum_{t=1}^{t_{\max}} \Delta y(t) \quad (8)$$

where  $\Delta x(t)$  and  $\Delta y(t)$  are the positioning error in the east and north directions at epoch  $t$  ( $t = 1, 2, \dots, t_{\max}$ ) respectively and:

$$\text{Error variance} = \sqrt{V_x + V_y} \quad (9)$$

$$V_x = \frac{1}{t_{\max}} \sum_{t=1}^{t_{\max}} (\Delta x(t) - E_x)^2 \text{ and } V_y = \frac{1}{t_{\max}} \sum_{t=1}^{t_{\max}} (\Delta y(t) - E_y)^2 \quad (10)$$

$$\text{Maximum error} = \max \left[ \sqrt{\Delta x(t)^2 + \Delta y(t)^2} \right] \quad (11)$$

Table 1: Experimental results of the enhanced INS/Odom and INS/GPS methods for four bends.

	Bend 1		Bend 2		Bend 3		Bend 4	
	Enhanced INS/Odom	INS/GPS	Enhanced INS/Odom	INS/GPS	Enhanced INS/Odom	INS/GPS	Enhanced INS/Odom	INS/GPS
Bias error	0.3077	0.6493	0.3632	0.8315	0.2300	0.7893	0.2361	0.6960
Error variance	0.1869	0.3456	0.3138	0.4462	0.2520	0.4194	0.2605	0.3908
Max error	0.5603	1.1426	0.8941	1.2192	0.6927	1.1210	0.6927	1.3085
Im-provement ratio	53%		56%		71%		66%	

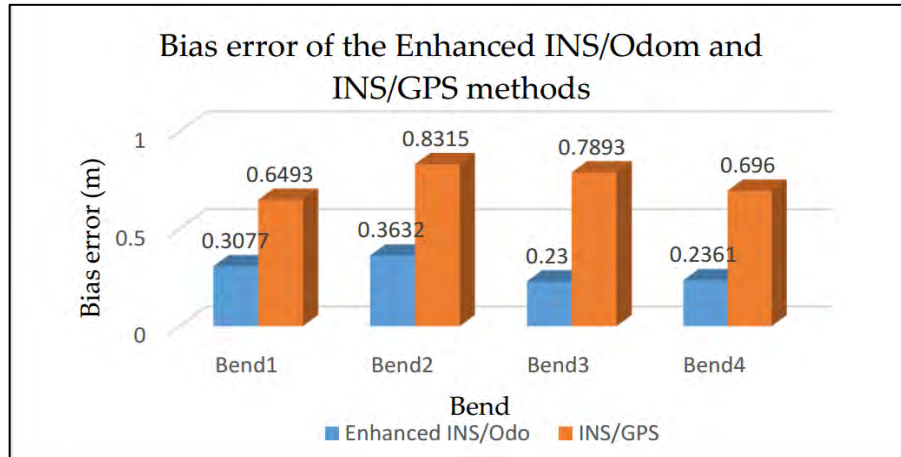


Fig. 8: Bias error comparison.

According to Table 1 and figure 8, the proposed method is more efficient than the traditional INS/GPS system. The accuracy of the proposed system is equal to the accuracy of a DGPS. An improvement of 61% in the accuracy is achieved compared to the INS/GPS method.

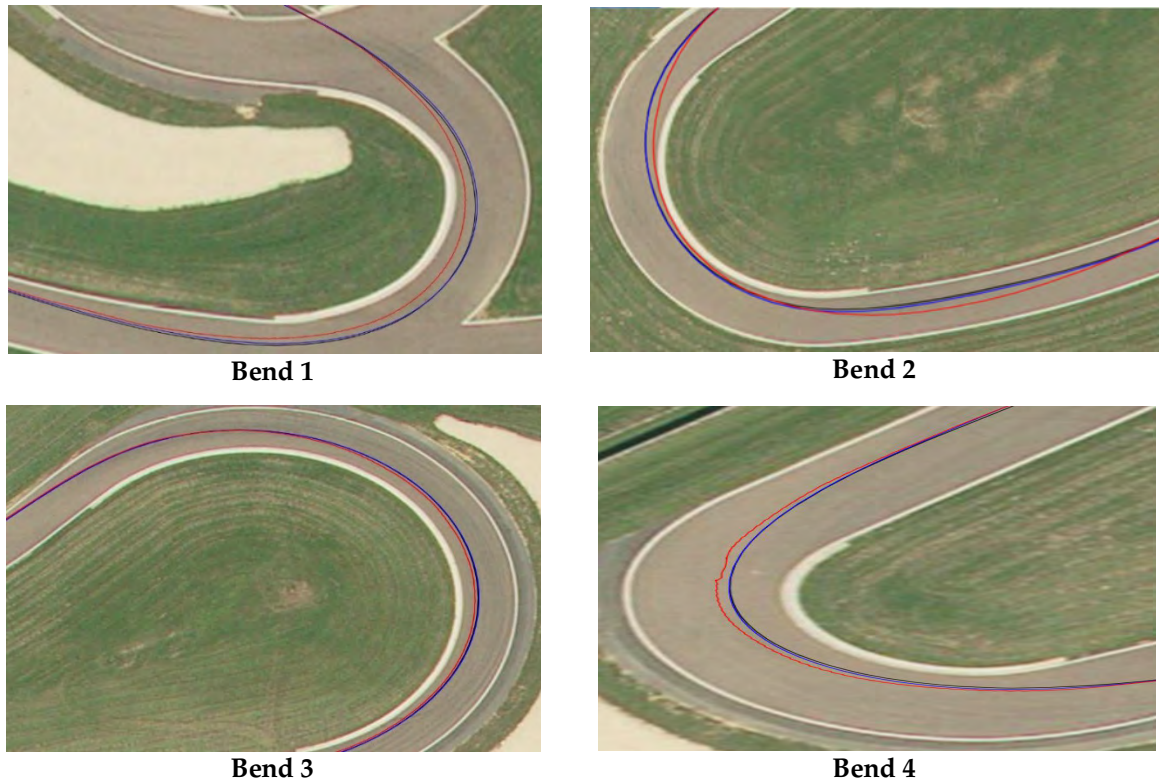


Fig. 9: Comparison between the reference trajectory (black curve), GPS/INS solution (red curve), and the proposed method (blue curve) in the four bends (Bend 1 to 4) showed in figure 7.

Figure 9 shows bend measurement using the GPS/INS method (red curve) and its measurement using the proposed INS/odometer system (blue curve) in French “Géoportail” map compared to the reference bend (GPS RTK) (black curve). We can distinguish that the proposed method gives higher accuracy than the standard GPS/INS method.

## 6 Conclusion

In this paper, a PTW trajectory reconstruction model based on the integration of INS and Odometer data was proposed.

This model gives a good precision using inertial data (INS) and Madgwick Filter to estimate the yaw angle and an odometer with a wheel radius model to estimate the distance.

The Model was evaluated and compared to the traditional INS/GPS integration solution, the most used method, using a multi- low cost sensor instrumentation. A mean improvement more than 60% in the accuracy is achieved compared to the INS/GPS method.



Besides, the accuracy of the GPS/INS solution is degraded during GPS outage while our solution ensures accurate results at high frequency, availability and solution continuity. Therefore, the proposed model represents a good alternative to the INS/GPS system.

The French Gendarmerie will use the model to objectively evaluate bend-taking practices and to reconstruct bends achieved by gendarmes with high accuracy in order to compare them to safe bends. It can also be used for the initial training and retraining in order to better train riders to learn and estimate a safe trajectory [2].

As a perspective to this work, the proposed algorithm could be combined with other solutions of trajectory reconstruction in order to improve the accuracy and achieve a centimeter level without using GPS-RTK.

## References

- [1] NHTSA's National Center for Statistics and Analysis. NHTSA: Motorcycles Traffic Safety Fact Sheet. Available online: <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/810990.PDF> (accessed on 13 July 2018).
- [2] Passion Moto Securite. Available online: <http://moto-securite.fr/virage-2/> (accessed on 13 July 2018).
- [3] Espié, S.; Larnaudie, B.; Vincke, B.; Delgehier, F.; Sadoun, R.; Bouaziz, S.; Reynaud, J.P. In-depth study of bend taking practices, towards evaluation and (re)training tools : The VIROLO++ research project. In Proceedings of the 11th International Motorcycle Conference, Cologne, Germany, 3–4 October 2016.
- [4] ANR. Available online: <http://www.agence-nationale-recherche.fr/Projet-ANR-15-CE22-0008> (accessed on 13 July 2018).
- [5] Maestro A2200-1. Available online: [http://update.maestro-wireless.com/GNSS/A2200-A/Maestro\\_A2200\\_GPS\\_Module\\_Product\\_Brief\\_v14-2.pdf](http://update.maestro-wireless.com/GNSS/A2200-A/Maestro_A2200_GPS_Module_Product_Brief_v14-2.pdf) (accessed on 13 July 2018).
- [6] Drotek. IMU 10DOF-MPU9250 + MS5611. Available online: <http://www.drotek.com/shop/fr/home/466-imu-10dof-mpu9250-ms5611.html> (accessed on 13 July 2018).
- [7] AS5047P High-Resolution Position Sensors. Available online: <http://ams.com/eng/Products/Magnetic-Position-Sensors/Angle-Position-On-Axis/AS5047P> (accessed on 13 July 2018).
- [8] Septentrio.AltusAPS3G. Available online: <http://www.septentrio.com/products/gnss-receivers/rover-base-receivers/smart-antennas/aps3g> (accessed on 13 July 2018).
- [9] Xsens. MTi: Miniature MEMS based AHRS. Available online: <https://www.xsens.com/products/mti/> (accessed on 13 July 2018).
- [10] Cossalter, V. *Motorcycle Dynamics*, 2nd ed.; Lulu: Morrisville, NC, USA, 2016.
- [11] North, E.; Georgy, J.; Iqbal, U.; Tarbochi, M.; Noureldin, A. Improved Inertial/Odometry/GPS Positioning of Wheeled Robots Even in GPS-Denied Environments; InTech Europe: 2012, Canada.

- [12] Rogers-Marcovitz, F.; George, M.; Seegmiller, N.; Kelly, A. Aiding Off-Road Inertial Navigation with High Performance Models of Wheel Slip. In Proceedings of the International Conference on Intelligent Robots and Systems (IEEE/RSJ), Vilamoura, Portugal, 7–12 October 2012.
- [13] Madgwick, S.O.; Harrison, A.J.; Vaidyanathan, R. Estimation of IMU and MARG orientation using a gradient descent algorithm. In Proceedings of the IEEE International Conference on Rehabilitation Robotics Rehab Week Zurich, ETH Zurich Science City, Switzerland, 29 June–1 July 2011.
- [14] Koyama, Y.; Tanaka, T. High-Precision Motorcycle Trajectory Measurements Using GPS. *SICE J. Control Meas. Syst. Integr.* 2011, 4, 199–205.

viaMotorrad – Can motorcycle safety be measured?

viaMotorrad – Kann Motorradsicherheit gemessen werden?

Klemens Schwieger, Peter Saleh, Andreas Hula  
AIT – Austrian Institute of Technology GmbH, Austria

Horst Ecker, Manfred Neumann  
TU Wien, Austria

## Abstract

In a joint effort, two leading Austrian academic institutions, with expertise in motorcycle dynamics and single-track vehicle research, have developed and instrumented a highly developed motorcycle for testing and measurement tasks related to traffic accident research and analysis. This motorcycle probe vehicle (MoProVe) is based on a high-end street bike sponsored by KTM, which represents the state-of-the-art in current motorcycle technology. Within the viaMotorrad project, the vehicle was upgraded with two independent high-performance measurement systems, by the Technical University of Vienna and the AIT Austrian Institute of Technology. Apart from GPS, HD-Video and IMU-data, CAN-bus data can be directly collected from the motorcycle.

The project viaMotorrad, funded by the Austrian Road Safety Fund (VSF), aims for a semi-automated risk assessment of roads, performed by a probe vehicle. In this project, the vehicle is a one-of-a-kind motorcycle that can collect all relevant driving dynamics data needed for comprehensive road safety investigations. Road sections which are considered high-risk for motorcycles should be detected by the data. The goal is to act and plan measures before accidents occur, in order to decrease the number of fatalities in riders. Based on the results of this project, future research should include the development of a motorcycle-specific Hazard Map of the road network. With the collected data, not only traffic safety investigators could improve their activities, but also road operators and bikers themselves.

First results show that data collected with the MoProVe can provide insights into linking riding dynamic data to infrastructure data of the road network. The analysis started with the transformation of the collected time-based data to the needed path-based data. Current work includes the investigation of data thresholds, in order to establish the difference between considered risky and normal road segments. The final goal is to implement preventative measures to reduce motorcycle accidents.

viaMotorrad – Can motorcycle safety be measured?

## Introduction

One out of six road transport fatalities is a motorcycle rider or pillion passenger on a motorcycle, in Europe. The statistics are even more worrying in Austria: approximately 1850 motorcycle fatalities and 66.500 injuries occurred, within the last 20 years. The percentage of killed motorcycle riders and passengers compared to the total number of traffic accident victims is also disconcerting. In 1992, this percentage was only 5.7%, while in 2017 a record high value of 20.0% was reached in Austria. (Statistik Austria 2018).

There are two factors which contribute to this evidence. Firstly, motorcycle safety has not been a priority; while significant efforts have been made to increase the safety of vehicles and the traffic environment itself. Secondly, there has been a steady increase in the number of registered and used motorcycles. Consequently, the positive trend of a declining number of accidents and fatalities for other vehicle categories cannot be observed for motorcycle accidents, at least in Austria. Absolute numbers are more or less constant (Statistik Austria 2018). More research with a focus on motorcycle accidents is needed, since the causes for motorcycle accidents are manifold and the measures to avoid them have proved to be insufficient.

The scope as well as first findings of the traffic safety project “viaMotorrad” will be presented in this paper. This initiative aims to improve the safety of motorcycle drivers by collecting riding dynamics data. New approaches are needed since the number of fatal injured motorcyclists has remained constant in the last years. Based on analyses of historical accident data, together with data of potentially critical locations as identified by motorcyclists and relying on frequently driven motorcyclists’ routes in Austria, road sections were clustered and selected for a unique investigation performed with the newly introduced probe vehicle MoProVe. The goal of the project was to identify high accident-risk spots within the road network, utilizing data collected by MoProVe. The output of this project will make it possible to locate critical sections for motorcyclists within the road network, thus contributing to the avoidance of accidents and injuries.



Fig. 1: KTM 1290 Super Adventure equipped and instrumented as a Motorcycle Probe Vehicle (MoProVe) .

The findings of critical road sections will lead to the development of a hazard map of selected roads. Within the map, we will be able to show the potential safety impact for motorcyclists. This hazard map can be prepared for the entire Austrian road network in the future. With the gained information, a priority ranking of road sections which need attention should be defined, to increase road safety for bikers.

## MoProVe – The Motorcycle Probe Vehicle

The probe vehicle is a motorcycle sponsored by KTM Sportmotorcycle GmbH (KTM) and was upgraded with additional hardware by the Technical University of Vienna (TUW) and the Austrian Institute of Technology (AIT). The motorcycle has the ability to collect all relevant driving dynamics data needed for enhanced road safety investigations. Furthermore, it also has a road approval and can be driven under normal conditions.

The selection of the right test motorcycle depended on numerous factors. The plan was to take advantage of the on-board measurement systems of the motorcycle, to reduce the necessity of additional measurement components. Therefore, the motorcycle had to be equipped with new state of the art technology and had to be user-friendly. Very important was the accessibility to internal hardware and software features.

The best match with the target specifications was found in a motorcycle KTM 1290 Super Adventure; see Fig. 1 (KTM Sportmotorcycle GmbH, 2017). This vehicle has a 1300cc V-twin engine, delivering 160 HP (horse power) and a maximum torque of 108 Nm (Newton meter). Its dry weight is 222 kg. The motorcycle comes with a number of rider assistance systems such as Motorcycle Traction Control (MTC), Motorcycle Stability Control (MSC), Combined-ABS (C-ABS), Motor Slip Regulation (MSR) and a semi-active suspension system (SCU). This full range of assistance systems relies on numerous sensors, such as several brake pressure gauges, wheel speed sensors, a throttle position sensor and many more. The signals are all accessible via the vehicle CAN-bus and may be recorded and analyzed by an additional data recording system. A big advantage of this vehicle is that it has the option to activate or deactivate assistance systems i.e. by selecting different riding modes. Thereby, it is possible to mimic a more basic motorcycle without additional features.

## Measurement systems

Two independent measurement systems are integrated in the test motorcycle. Each system consists of a data logger, IMUs (Inertial Measurement Unit), additional sensors and interfaces to the vehicle's CAN-bus. Some data acquisition was redundant by the independent IMUs and were recorded only by the associated Data Acquisition System (DAQ). Following, both systems are presented separately.



## System B (Blue)

The blue system is based on hard- and software by RACELOGIC (VBOX automotive, 2017). The main component is a VBOX 3i dual-antenna data-logger. This VB3iSL and a functional block diagram are depicted in Fig. 2.

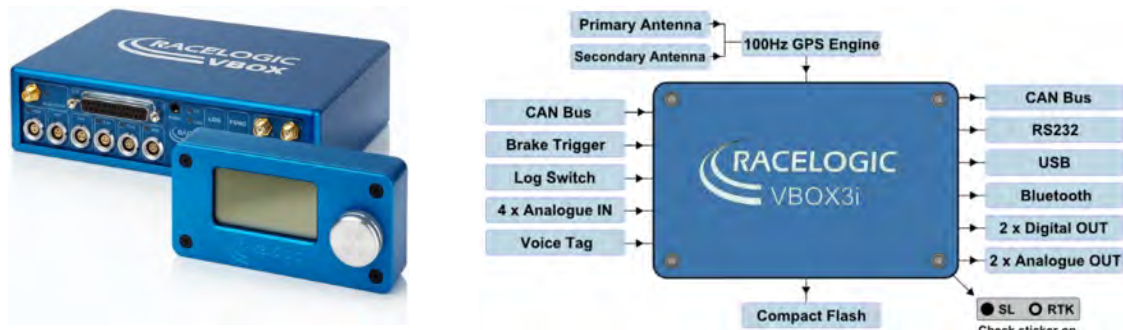


Fig. 2: a) Picture of RACELOGIC data-logger VB3iSL with display unit; (b) Block diagram of Input and Output signals for data-logger VB3iSL (VBOX automotive, 2017).

A reliable GPS engine embracing twin antennas capable of providing 100 Hz (Hertz) signal update rate for all GPS / GLONASS parameters is featured by the VB3iSL. Velocity and heading are calculated via Doppler Shift in the GPS carrier signal, providing superior data accuracy. Also, the Russian GLONASS range of satellites is tracked by the VB3iSL. This gives the system the advantage that there are almost twice as many satellites in view and helps maintain a robust satellite lock in areas where GPS-only reception can cause data interruptions. Because two GPS / GLONASS antennas are simultaneously in use, measurements of signals such as slip angle, pitch or roll angle, yaw rate, true heading, lateral velocity and longitudinal velocity are possible.

The accuracy and performance of the system is enhanced by two additional features. A DGNSS (Differential Global Navigation Satellite System) Base Station was acquired to further improve the positional accuracy of the VBOX unit by calculating and transmitting differential correction data. By these additional signals from the Base Station, located at a known position, it is possible to accurately monitor the difference between this known position and a position received via GPS/GLONASS. This correction signal is used to significantly improve the accuracy of the absolute position. While the 95% CEP (Circular Error Probable) is 3 meters for standard position measurements, with the DGNSS-station a radius of 80 cm (centimeters) can be reached.

While the relative position accuracy is much better than the absolute position accuracy, it is still enhanced by an Inertial Measurement Unit (IMU). This 6-axes sensor (see Fig. 3) is a 3-axes accelerometer with additional 3-axes measurement of the angular rate. By post-processing (numerical integration) these signals, linear velocities and distances as well as roll, pitch- and yaw-angles can be calculated. By

processing and combining the IMU-signals with the information obtained from the GPS-antennas, numerical algorithms implemented in the system software can optimize the system output and provide highly accurate position and velocity signals. Moreover, at locations with weak (or no) GPS/GLONASS satellite signals, e.g. in tunnels, measurements are still possible as the DAQ system can rely on the IMU data.



Fig. 3: a) Picture of RACELOGIC Full HD camera system; (b) Inertial Measurement Unit (IMU) to measure 3-axes accelerations and 3-axes angular rates (VBOX automotive, 2017).

The camera system is the most recent added system to MoProVe, see Fig. 4. Two separate HD-cameras (High-Definition) were mounted in front of the motorcycle. The additional video data obtained by this system is highly relevant for real world observations. When unreliable data are found by the measurement system, it become handy to look at the video information. Moreover, it is beneficial to observe which path the rider has taken within the traffic lane. This is highly relevant for bikers since they are required to drive as far as possible to the right hand side of the lane.



Fig. 4 a) HD-camera system mounted on MoProVe; (b) Mounting of both cameras.

### System R (Red)

The second data acquisition system implemented on MoProVe is a measurement system especially designed for motorcycle applications, as System B was developed primarily for application in automotive

engineering. System R is the 2D (Debus and Diebold) system and it is frequently used by motorcycle racing teams worldwide. On MoProVe, it works as a supplement to the other system as the focus and features of this system are different from System B.

The Red system also consists of a data logger with dashboard display unit, see Fig. 5, a single GPS-antenna and two 6-axes IMUs, since it can be used as a stand-alone system as well. In terms of the basic components, there is a functional redundancy provided by both systems. However, system R is much more versatile and capable when it comes to the measurement of vehicle parameters. The logger of the 2D-system can record up to 200 channels, while the sampling rate may be as high as 3.2 kHz. There are 2x8 analog input channels with 16 bit (high-resolution) ADC (Analog to Digital Converter) available, several dedicated wheel speed input channels and two independent CAN-lines with full CAN routing (2d-datarecording, 2017). Moreover, the logger and components are very small, lightweight and robust, with low power consumption.



Fig. 5: a) 2D data logger LM 6; (b) dashboard display (2d-datarecording, 2017).

## System B vs. System R

System R has a much higher sampling rate than the other System furthermore, it has a large number of channels available. Moreover, access to the motorcycle's CAN-bus system is easier with this system and many CAN signals can be recorded. In addition to the high number of sensors and signals already available on the KTM bike, a steering angle sensor was also installed and its signal was sampled. Wheel speed signals, brake fluid pressure, throttle position, engine speed, gear position, brake operation and are example of measurements that can be collected.

With regard to the measurement of acceleration signals and angular rates, system R has two lightweight 6-axes IMUs and the sampling rate can be adjusted as high as 3200 Hz. Therefore, in-plane dynamics of the motorcycle, as well as studies on stability and detection of unstable behavior, steering maneuvers, etc. system R has its benefits.

System B on the other hand delivers almost the same data as System R with a bit lower sampling rate. As this Hardware is also a high-performance System, the signal rates are more than high enough for all

evaluations of measurements. Furthermore, the video data gained through System B is highly important, not only for crosschecking the datafiles, but also for data analyses.

The main components of system R are stored in a side case on the right hand side of the bike, while the side case on the left hand side is reserved for system B (see Fig. 6). At the very end of the luggage bridge, a “sensor bar” made of aluminum was mounted, to hold all 3 GPS-antennas and the IMU of system B. The IMU of system R, was mounted under the seat. The second IMU of system R is integrated in the GPS-antenna mounted on the sensor bar.



Fig. 6: a) Side case on the right hand side, containing System R, 2D data logger and display; (b) Side case on the left hand side, containing System B, logger VB3iSL, connectors and accessories.

## Identification of real-world sections for measurement runs

As an initial step, an accident analysis was performed to identify significant road sections for the planned investigations and measurement runs. Since 2010, motorcycle-accident numbers with personal injuries have been increasing in Austria. In the last years, motorcycle accident numbers have increased from 3688 in the year 2012 to 4031 in the year 2017 (Statistik Austria 2018).

Additional to the accident research analyses, subjective assessments from motorcycle riders were collected. On the one hand, a consultation of target groups (via motorcycle riders' forums) was performed to gain information on typical bikers' sections and on Austrian routes which are perceived as dangerous. On the other hand, data was obtained from a former study named “Bikers Project”, an Austrian road safety campaign (Praschl, 2006). In this motorcycle research project subjective data were collected by questionnaires and interviews with motorcycle riders, after driving on typical road sections. The interviewees had to answer questions regarding any safety issues encountered on the sections, as well as any safety-related events they may have experienced during their ride. All the data collected were analysed and every section included in that project was classified as either safe, neutral or risky route.

By combining the findings of the actual accident data analyses with the subjective data from motorcycle riders, specific routes for performing the measurement runs were identified. The sections are six different but typical motorcycle tracks in the provinces of Lower Austria and Styria. Two of them are shown in Fig. 7.

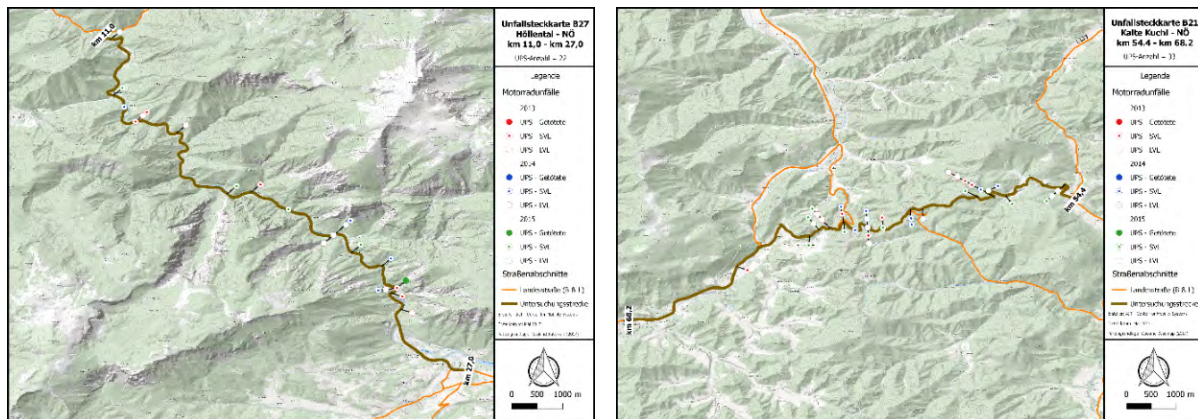


Fig. 7: a) First Measurement-Route “Höllental” (b) Second Measurement-Route “Kalte Kuchl”.

## Measurements and results

The riders who performed the measurements were not professional or trained test riders; however, all of them were experienced on motorcycles. The reasoning behind that is that the measurement runs and tasks were challenging and would have been too demanding for a novice rider and therefore risk of injury crashes together with damaging the MoProVe was too high. The authors are aware of the fact that a larger number of test riders would increase the diversity of the measurements and one would expect to obtain more statistically relevant results. The goal of the underlying project was to investigate and test the feasibility of a risk assessment method. Therefore, it was important that the method could be used without needing a huge amount of measurement data from many riders and that it could be applied even on a small statistical base of the sampled data.

The selected road sections were driven by each rider several times. This was necessary to calculate an “average ride” for each rider and cancel out single events. Also, since the test rides were performed in regular traffic, it was also necessary to have a sufficient number of rides so that the influence of other traffic, such as an overtaking maneuver or a hold-up behind an agricultural vehicle, could be eliminated.

Next to the variable of rider behavior, traffic was another parameter difficult to isolate and control. The riders experienced a certain variation of their individual riding performance. Another influencing parameter was the time of day, as in the morning everyone was fresh and eager to ride, while in the afternoon, tiredness was noticeable. Environmental conditions such as light conditions, position of the sun, temperature and areas also had an influence on the performance of the riders.

Therefore, individual aspects of rider performance and driving styles need to be accounted for in any subsequent analysis if objective criteria for road safety are to be derived.

Furthermore, Fig. 8 illustrates the difficulty of comparing time-based measurements of the vehicle dynamics obtained during different measuring episodes. Panels (a) and (b) each depict the evolution of vehicle speed during 3 measurements. Panel (a) shows the variability for a single driver at a specific part of the drive (that part being approximately 3000 meters long). The difference in speed is limited to a single digit amount of km/h at most points, although a few domains of higher discrepancy can be identified (i.e. the green curve at the beginning of the measurement). This seems to suggest that these 3 measurements could be readily combined into a measure of overall driver dynamics. However, discrepancies tend to appear in particular at “more demanding” parts of the road (i.e. curves), such as in the beginning of the measurement.

Panel (b) shows the differences of driving dynamics between different motorcycle test riders, on the same 3000-meter part of the drive. While overall the 3 lines are very close, specific domains like the start and later half of the 3000 meters show a number of discrepancies. While they do not appear to be large at any given point, the last fifth of Panel (b) shows how they can eventually counteract one another (blue curve high and green curve low) when combining them into a joint statistic of riding dynamics over time.

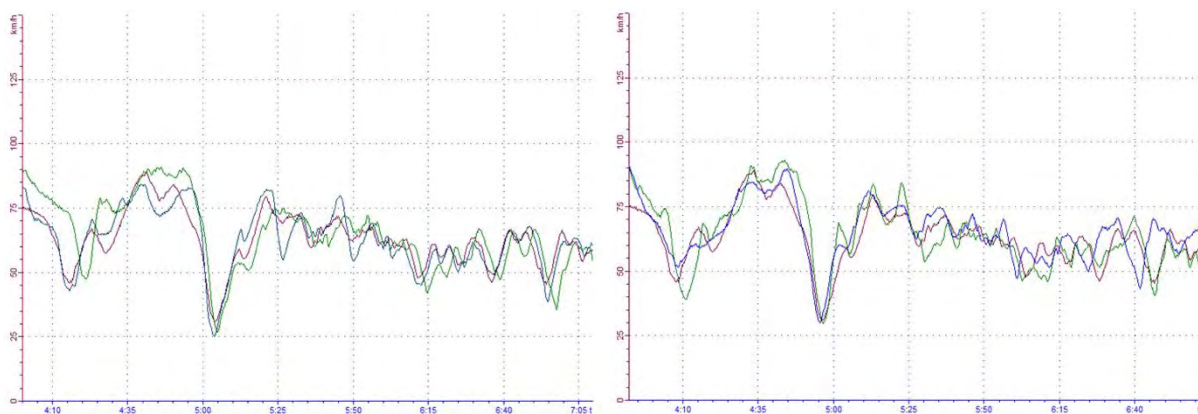


Fig. 8: Motorcycle speed as a function of time (minutes) along an approx. 3000m stretch of one of the test roads. (a) result for test rides of the same rider; (b) result for different riders.

The shape of the diverse curves suggests temporary “offsets” between the different curves, in both panels. These offsets originate in the fact that due to different speeds and driving styles (effectively driven distances), different drivers arrive at the “same” point of the drive after differing amounts of times.

The discussed issue can be reliably avoided, when considering different dynamics data at the (approximately) same point on the road, rather than at the same point in time.

Therefore, any model of road characteristic driving dynamics will require a path-based representation to be derived from a time-based series and this is the course we followed for further analysis.

To illustrate how the obtained dynamics data characterizes road features, we discuss an example within Figure 8 in detail: Close to time 5:00 there is a significant drop in speed in all driving profiles. At this point the road takes a 140 degree turn. Riders arrive at this point with different speeds and at slightly different times, yet, a safe lean angle requires the speed to be within a specific narrow velocity interval. Hence, our proficient drivers all decelerate to almost the same speed at this point. To illustrate, video frames extracted from a companion vehicle driving in front of MoProVe are shown in Fig. 9.

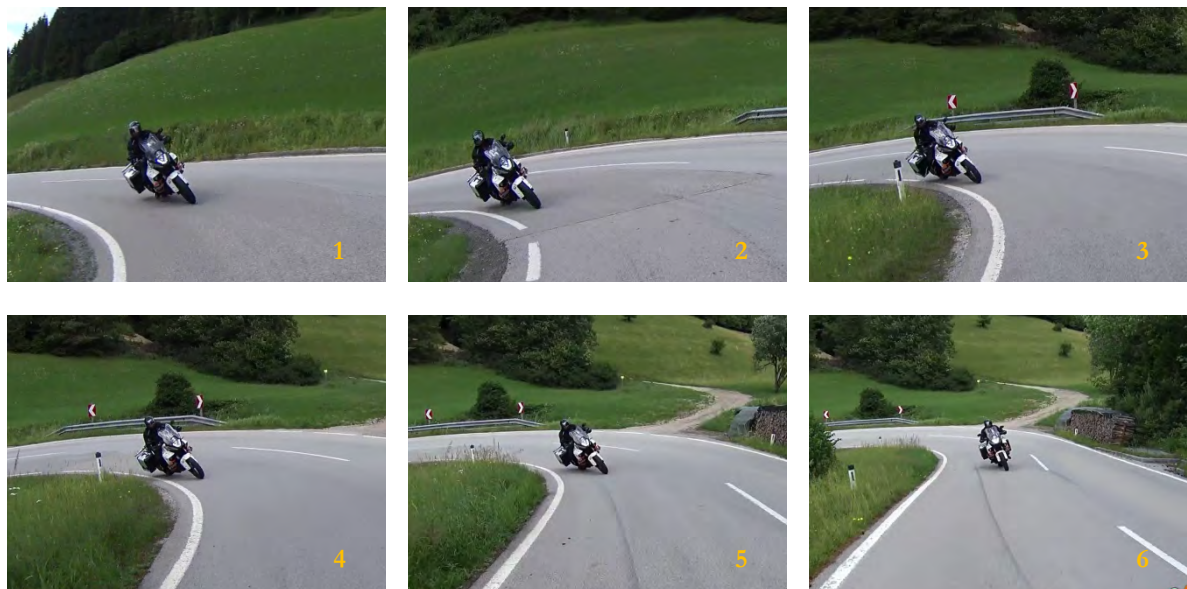


Fig. 9 Single pictures of a video showing a rider negotiating a sharp turn.

We give a final illustration of the dynamics in this curve in Fig. 10: Profiles of the longitudinal acceleration are shown for the above mentioned (Figure 9) curve. Panel (a) shows differences within the same subject/driver via 3 different measurements, while Panel (b) shows differences over 3 different drivers. Both panels show substantial deviations both within the same driver and between different drivers. The initial drop in acceleration and the subsequent increase certainly are candidates to characterize this difficult turn and would be expected to be useful in detecting other difficult and dangerous turns.

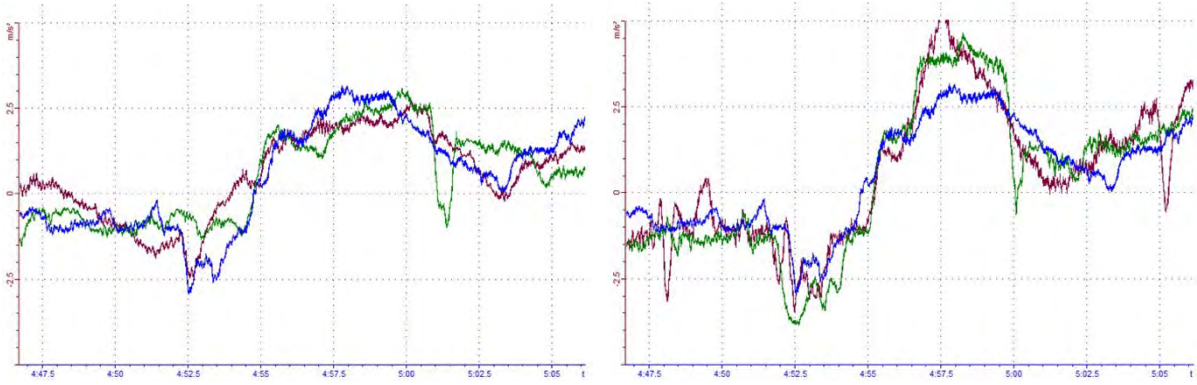


Fig. 10: Motorcycle negotiating a turn, longitudinal acceleration as a function of time (minutes). (a) result for test rides of the same rider; (b) result for different riders.

Subsequently, through projections and identification of coordinates, we turned the time-based series into path-based data series. This required a significant effort and had to be done for all six test roads. At the end, the measured data can be related to valid geographical coordinates, which also benefits the association to actual accident data.

We followed a supervised learning approach to extract a characterization of dangerous dynamics from our data: after turning to path-based data, we identified known accident sites from historical data and used these data, together with known “noncritical dynamics” to fit a supervised learning algorithm to multiple drivers and road tracks simultaneously. From this action, we obtained a scalar measure of “danger”, according to the likeness of recorded dynamic data to the dynamics at known accident sites. After having taught our algorithm the nature of the dynamics at known accident sites, we used the very same algorithm to classify/obtain the “danger value” at all points during our test drives. An example result can be seen in Figure 11: We specify a preliminary “warning system” based on the obtained “danger values”, by defining that a given point is marked with a “yellow warning” if its danger function evaluation reaches a value above 90% of the average danger value obtained at known accident sites (see also the purple cross in the figure). We issue a “red warning” if the value reaches above 95% of the average danger value of a known accident site. Note that the maximum danger in this example (green cross in Figure 11) is indicated before the tip of the curve, even though the accident is recorded to have occurred at the tip of the curve.



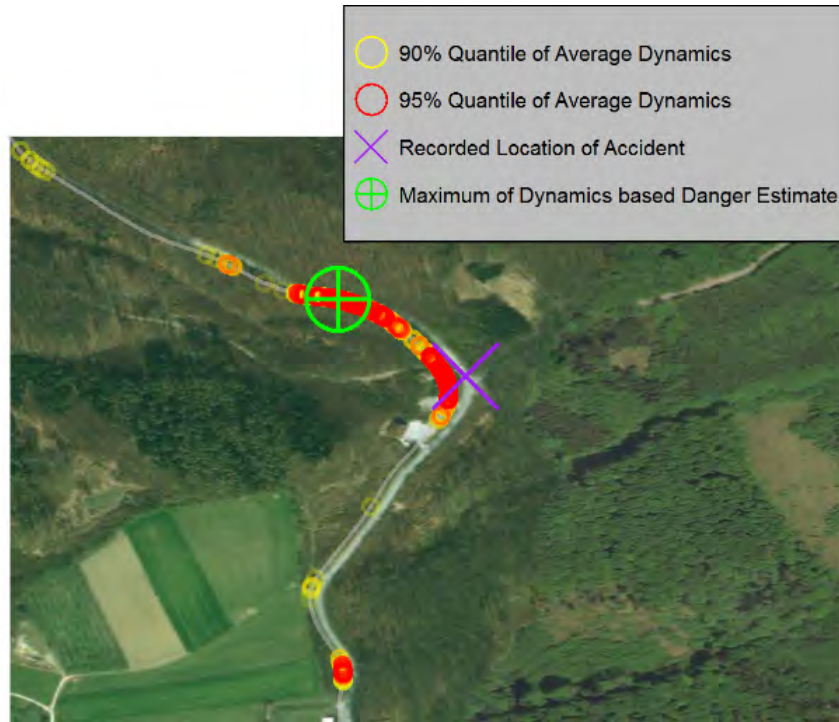


Fig. 11: Preliminary Risk Profile of driving dynamics in a turn. Yellow circles denote “danger values” which exceed 90% of the average danger value at the critical sites used for the fit. Red circles denote “danger values” which exceed 95% of the average danger value at the critical sites used for the fit. A purple cross signifies the site of an actual accident, while a green cross signifies the maximum danger value in the close vicinity of the known accident site. Note that the measured curve (red circles) deviates somewhat to the left from the satellite map curve.

The example above shows the classification of a single measurement trajectory. Due to using statistical methods, we are able to combine the “danger estimates” of multiple rides and derive a more comprehensive and robust criterion of the accident risk for motorcycle riders and also correct for the above mentioned individual features of drivers and driving circumstances.

We have thus illustrated how a motorcycle accident database can be used together with processed dynamics obtained from measurements, to characterize critical road sections based on the MoProVe data.

## Outlook

Based on riding dynamics data, this paper presents new ways of a risk assessment method for identifying potential high-risk sites for motorcycles. The gathered parameters will be used to calibrate, evaluate and validate a calculated risk model, in order to use motorcycle dynamic data as an indicator for risk estimation of any road stretch nationwide. With a machine learning approach, a new method will be accomplished, so that motorcycle safety will further increase.

At the end of the project, in-depth knowledge on braking forces, vibrations, slip ratio of the tires, skid resistance of the road surface and other parameters could be utilized to develop an accident prediction model. In the future this could lead to a calculated risk model for Austrian's road network especially for motorcyclists. Furthermore, a three-stage scale – safe, neutral and risky– could warn motorcyclists to drive more cautiously in high-risk zones. Moreover, road operators could be better advised on investment decisions.

## Acknowledgements

This research was partly funded by the VSF Austrian Road Safety Fund Austrian. The authors are grateful for the financial support.

The motorcycle used in these studies was generously provided by KTM Austria.

The authors would like to thank (in alphabetic order) Matthias Hahn, Till J. Kniffka, Johann Schindele and Peter Unterkreuter for their significant support in instrumenting, adapting and riding MoProVe.

## References

- 2d-datarecording, 2D Debus & Diebold Messsysteme; <http://2d-datarecording.com/produkte/> visited July 26, 2018.
- EVU - 25th Annual Congress, Bratislava, Slovakia; 20.10.2016 - 22.10.2016; in: "EVU Proceedings 25th Annual Congress", EDIS - Editing Centre of University of Zilina, (2016), ISBN: 978-80-554-1260-3; S. 29 - 41.
- KTM Sportmotorcycle GmbH; <http://www.ktm.com/> visited July 26, 2018.
- Praschl, M., 2006. Bikers Project – Motorradsicherheit. At [http://www.mipra.at/html/verkehrssicherheit/mipra\\_verkehrssicherheit\\_bikersproject.html](http://www.mipra.at/html/verkehrssicherheit/mipra_verkehrssicherheit_bikersproject.html), last accessed July 26, 2018.
- Statistik Austria 2018; <https://www.statistik.at> visited July 26, 2018.
- VBOX automotive, VBOX 3i Dual Antenna | 100Hz Vehicle Dynamics Measurement; <https://www.vboxautomotive.co.uk/index.php/en/products/data-loggers/vbox-3i-dual-antenna> visited July 26, 2018.
- VSF Austrian Road Safety Fund, <https://www.bmvit.gv.at/verkehr/strasse/sicherheit/fonds/index.html> visited July 26, 2018.

Innovative motorcycle headlight design for improving  
motorcycle visibility

Innovatives Motorrad-Scheinwerferdesign für  
bessere Erkennbarkeit

Stéphane Espié

Université Paris-Est, Ifsttar TS2/SIMU&MOTO, Marne la Vallée, France

Viola Cavallo

Université Paris-Est, Ifsttar COSYS/LEPSIS, Marne la Vallée, France

Flavien Delgehier

CNRS, SATIE, Orsay, France

## Abstract

The most frequent cause of Powered Two Wheeled vehicle (PTW) accidents involves another vehicle that violates the PTW's right of way at an intersection (ACEM, 2009). Two main causes underlay these accidents : on the one hand a detection (or late detection error, the famous "sorry mate I didn't see you"), and on the second hand a misperception of the PTW's speed and time to arrival (Horswill et al., 2005). Several works have been undertaken over years to determine a better visual signature for the PTWs (e.g. Maruyama, Tsutsumi & Murata, 2009), and to improve the speed perception of PTWs using additional lighting systems (e.g. Gould et al. 2012). In a previous research work, conducted using virtual reality, we have shown the interest of a vertical lighting configuration to improve the drivers' perception of motorcycles' motion (Cavallo et al., 2015). In this paper we present the results obtained thanks to a real-world experiment, on track, at dusk and night-time. The participants were in their own car in a left-turn situation while a PTW or a car approaches. The oncoming car used its "standard" front lights. The oncoming PTW used either its "standard" front light system, or a specific "vertical" configuration ("standard" front light plus additional lighting systems on the rider's helmet and on the PTW fork) aiming at a visual increasing of the vertical size of the PTW. The findings indicated that the "vertical" configuration significantly increased the gap accepted by car drivers towards PTW. In our paper we discuss the experiment and these results.

Innovative motorcycle headlight design for improving  
motorcycle visibility

## Introduction

PTWs' riders are peculiarly vulnerable road users in developed as well as in developing countries. In Europe, and for 2008, they accounted for 17% of the total road fatalities whereas they represented only 2% of the total road users (EC, 2009). Despite this high-risk level, and the economic crisis, the market of the PTW has, on the whole, continued to grow over the last decade. The increase can be explained by the benefits in terms of mobility in more and more congested cities. Unless a great economic turmoil, the trend should not change. This increase can, up to some extent, explain the limited decrease of the PTWs' fatalities and injuries compared to other categories of road users.

In-depth accident analyses have shown that the most typical car-motorcycle accidents happen at intersections where a car turns left (right for countries where vehicles drive the left side) and cut the way of an oncoming motorcycle (ACEM, 2009) and at T-junctions when a car pulls out of a side road onto the pathway of a motorcycle (Clarke et al., 2007). In most of the cases the riders' right of way was violated. The in-depth accident analyses report that perception failures on the part of car drivers caused most of the accidents (60% according to Van Elslande and Jaffard, 2010). Two kinds of perceptual errors have been identified: no (or late) detection of the motorcycle (e.g. Clarke et al., 2007), and misperception of the motorcycle's motion, i.e., speed and arrival time (e.g., Tsutsumi and Maruyama, 2008).

Improving PTWs' perceptibility is therefore a major stake to mitigate fatalities and injuries. Thanks to ITS technologies, motorcycle manufacturers currently work on the concept of "digital conspicuity" (i.e. ITS based vehicle to vehicle communication) to solve the problem of misperception, but the time needed to design a reliable system and to spread the system to the whole PTW fleet is very probably more than 25 years (the ABS was introduced in 1988, but the current equipped PTWs' fleet is roughly 30%). So, in parallel to this work, it is critical to propose relevant innovative solutions, at low cost, installable on up to light PTWs, easy to install (after-market retro-fit, up to self-installation) to increase the spread.

In a recent paper (Cavallo et al., 2015) we presented a state of the art of the work achieved to increase detectability and /or speed-perception of PTWs, and proposed an innovative lighting solution that increase both PTWs' detectability and speed perception. The experiments were conducted on simulators that may lead to results' biases. Although we used a High Dynamic Range screen to render as much as possible the luminance dynamics, risk taking behaviour in virtual and in real situations might be different. So, we have pursued our work by designing a physical prototype and conducting an experiment on a test track, at dusk and night time. This research work has been sponsored by the MAIF insurance Foundation.

## Physical prototype design

To simplify and increase experiment reproducibility of the experimental protocol, we selected a motor-bike equipped with cruise control (BMW R1200 RT).

We added two OEM LEDs stripes (one white and one yellow) at the bottom edge of each fork leg using a home-made fixation (produced thanks to a 3D plastic printer). The very low weight allowed us to install the system on an unsprung location (see fig. 1).

We selected a helmet already equipped with a lighting system (but in the rear), and designed a specific add-on that hosted an OEM yellow LED light (the helmet was kindly provided by Shark manufacturer) (see fig. 1).



Fig. 1: the fork and the helmet equipped with LEDs.



Fig. 2: the PTW "on the track".

The luminance of the LEDs was controlled by a micro-controller (empirical tuning to avoid glare at night), and a system was designed to switch on/off each individual LED light, this allowing to potentially test various configurations:

- “standard”: without any additional lighting,
- “standard” + fork “white”
- “standard” + fork “yellow”
- “standard” + helmet
- “standard” + fork “yellow” + helmet
- “standard” + fork “white” + helmet

The low consumption and the 12v native power supply requirement allowed us to directly supply the LED with the PTW’s battery.

## Experimental design and measurement system

To limit the duration of the experiment, we used a “trick” consisting in letting 4 participants answering at the same time (see description below in “experiment location and setup” section). The measurement system consisted in an optical barrier and four push buttons controlled by a micro-controller that measured the time spent between the press on a button and the cutting of the optical barrier. The 4 time measurements (one for each button) were transferred and stored on a PC. When the four measurements were acquired, or manually obtained (in case of a failure to press one button), the system was rearmed for the next trial.

## Experiment location and setup

The experiment took place on the “Satory” test track close to Paris. We selected a 2 km straight section.

Four participants, in their own car were in a left turn situation (stopped). A motorbike or car, driven by an operator, approached in the opposite direction at fixed speed. A vehicle was parked to occult the on-coming vehicles, and to let the participants see them when they were at about 10 s time to arrival. Participants were each equipped with a push-button. The time spent by the on-coming vehicle from the push of each button to the cross of the optical barrier was measured. As the on-coming vehicle speed was known, as well as the distance between each participant and the optical barrier, one could easily infer the individual time to arrival for each participant (see fig. 3).



# Experiment

## Method

### Participants

24 participants took part in the experiment (7 women and 17 men) with a mean age of 36.4. All had normal or corrected-to-normal vision, held a driving license for at least two years, and were regular drivers.

### Material

The study was conducted on the Satory test track, 4 participant were in their own car (stopped), in a left-turn situation. They were each equipped with a push button. The 4 cars were laterally shifted to eliminate visual occultation.

### Experimental design and procedure

The drivers faced a series of scenarios where a vehicle (a car or a PTW) was approaching (see fig 4, 5, 6). They had to push a button at the last moment they estimated possible for them to realize safely their left turn manoeuvre.

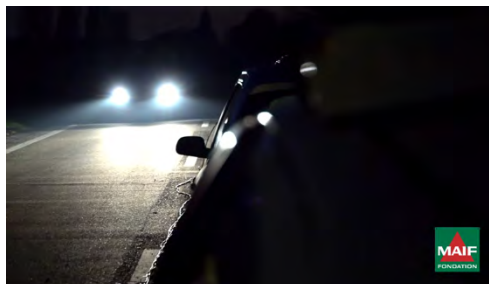


Fig. 3: approaching car « standard ».

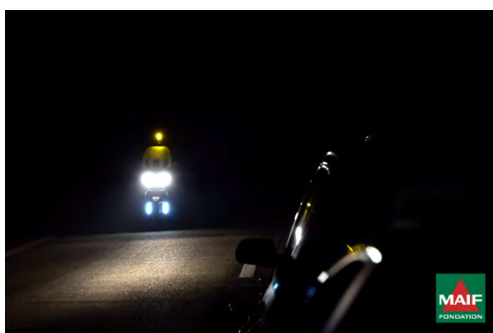


Fig. 4: approaching PTW "vertical enhanced".

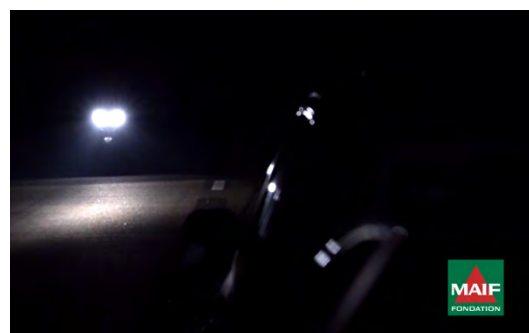


Fig. 5: approaching PTW "standard".

## Experimental variables

*Headlight configuration:* Only one innovative condition was selected for the PTW, thanks to the pre-selection achieved using on the simulator. So the two lighting modalities for the PTW were: the “standard” white lighting, and the vertical “yellow-white” lighting (“standard” white lighting + helmet “yellow” + fork “white” called later in this paper “vertical enhanced”).

*Speed:* The oncoming vehicles (car or PTW) used a fixed speed (2 modalities: 60 and 90 km/h).

*Repetition:* Each experimental conditions were repeated 4 times.

## Experimental setup

The combination of the experimental variables: headlight configurations<sub>3</sub> (PTW<sub>2</sub> + car<sub>1</sub>), speed<sub>2</sub>, repetition<sub>4</sub> led to a total of 24 trials (16 with PTW, 8 with car). The trial for PTW and car were presented by block. Half of the participants started with the car block, half with the PTW block. The order of trials within the block was random.

## Procedure

The experiment took place at dusk and night time. 4 participants were convened at the same time and gave their filled consent form. They placed then their vehicles on predetermined locations on the track (see fig 3) and received a push button.

The experimenter then instructed them with the experimental setting and task. The participants practised then two practice trials to become familiar with the protocol.

After this familiarization, the experiment took place: before each trial the experimenter indicated the configuration (speed, vehicle type and headlight configuration) to the operator. The operator achieved the approach. The oncoming vehicle was visible for the participant about 10 seconds before the “time to arrival” thanks to a parked vehicle that occulted the vehicle when it was far away. Each trial lasted about 2 minutes. At the end of the experiment the participants were accompanied back to the track exit.

Two experimental sessions occurred at night: the first one from 6:30 pm to 8:00 pm, the second one from 8:15 pm to 9:45pm. The experiment took place in winter and lasted 3 nights.

## Data treatment

The average minimal Time to Arrival (TA) estimated for the 4 repetition has been calculated for each experimental condition (headlight/vehicle<sub>3</sub> x speed<sub>2</sub>). The data have been analysed by ANOVA. The

$\alpha$ -level was set at 0.05 for all statistical analyses. The significant effects have been furthermore analysed using the post-hoc Fisher LSD test.

## Results

The ANOVA with headlight configuration/type of vehicle, and speed as within-subject factors revealed main effects of headlight configuration/type of vehicle ( $F(2,1) = 5.62$ ;  $p < 0.01$ ). Post-hoc analyses indicated that the accepted minimal TA was significantly higher ( $p < 0.05$ ) for the PTW “standard” + additional yellow helmet + fork configuration ( $M = 6.87$  s) than for the PTW “standard” configuration ( $M = 6.47$  s). No significant difference was found between the accepted minimal TA for the PTW “standard” + additional yellow helmet + fork configuration and the minimal TA for the car ( $M = 7.13$  s). Last, the minimal TA for the PTW “standard” configuration was significantly shorter ( $p < 0.0025$ ) than the one for the car (see table 1).

Table 1: summary of the results

vehicle/headlight configuration	Minimal TA
PTW « standard »	6.47
PTW « vertical enhanced »	6.87
Car	7.13

The effect of speed was also found significant ( $F(1,1) = 57.70$ ;  $p < 0.0001$ ): the minimal TA at 90 km/h ( $M = 6.03$ s) were shorter than those accepted at 60 km/h ( $M = 7.62$ s). The interaction between Highlight configuration/vehicle and the speed of the oncoming vehicles was not significant ( $F(4,1) = 0.89$ ).

## Discussion

The results obtained in real conditions confirm those obtained in virtual conditions and show a significant influence of the headlight configuration on the minimal arrival time accepted by drivers to carry out a left-turn in front of an on-coming PTW. The minimal arrival time was significantly shorter for the standard headlight configuration compared to the vertical “standard” + yellow helmet + white fork headlight configuration. Moreover, the minimal arrival time for the last configuration was not significantly different from than those of a car with “standard” headlight configuration.

These findings show a significant safety improvement provided by the vertical “white/yellow” configuration. This configuration allows to gain in average 0.40 s in the minimal arrival time compared to

the “standard” headlight system, this correspond to an increase of the safety distance of 6.7 m at 60 km/h and of 8.8 m at 90 km/h. These distances are additional safety margins for riders and drivers in conflictual interaction situations.

Our results are in line with those of the Tsutsumi et Maruyama study (2017), also realised on track, that showed a significant advantage of the LONG system (“standard” white + 2 additional white lights on the fork + 2 additional white lights on the handlebar). The Japanese study showed an increase of 0.68 s of the minimal arrival time with the LONG configuration compared to the standard one.

The benefit of vertical headlight configuration that increase the visible PTW silhouette can be explained on the one hand by a better perception of its speed due to an increase of the angular speed of the on-coming PTW and thus of a better perception of its arrival time (Gould et al., 2012b), and in the other hand by a better perception of the PTW distance (large objects being perceived as closer than small ones).

In this experiment on track we have also observed a significant effect of the speed of the on-coming vehicles, effect that is systematically observed in studies on perception of arrival time, and in experiments on gap acceptance.

## Conclusion

The experiment we conducted on track used the same methods as those previously used on simulator (“standard” vs “vertical”, 60 km/h vs 90 km/h, night or dusk conditions, on-coming vehicles on a straight road,...) and showed the same trends:

- A significant effect of the headlight configuration, with higher safety margins for “vertical enhanced” configuration compared to “standard”
- A significant effect of the approach speed, with higher gap when approaching speed are slower
- The lack of interactions between the speed factor and the headlight configuration factor.

The only difference between the behaviours observed on simulator and in real-world conditions concerns the amplitude of the time gain with the “vertical enhanced” configuration compared to the “standard” one: 0.7 s for the simulator and 0.4 s in real situations. This difference can probably be explained by the fact 1) that the PTW used on the track was a large GT PTW with 2 large headlights, while the simulated PTW was a more “medium range” PTW with a single headlight, and 2) that some light sources existed in real situations (moon, public lighting on an adjacent road) and not in the simulator environment that simulated “perfect” night conditions. The particularly large headlight system induced

a better perception of speed in the “standard” configuration, that minimized the differences between “standard” and “vertical enhanced”. The imperfect (but common in urban environment) night conditions induced a night condition closer to the simulator dusk one than to the simulator ideal night one.

Even with these less optimal conditions on the test track and with a large GT PTW, the proposed “vertical enhanced” configuration induces a significant safety improvement and may fill a gap between the current situation and the future where all the vehicles fleet will be equipped with reliable digital conspicuity systems.

The solution, based on the use of very low cost and very low power consumption enable to imagine the deployment of safer headlight systems not only for large PTWs but also for light ones, up to mopeds. One can also imagine after-market solutions to speed-up the dissemination of “enhanced vertical” lighting solutions. The potential technical issue with the installation of lighting system on the helmet is not any-more a question as some manufacturers already install lighting system on helmets. The acceptance of a lighting system on the helmet by riders is still questionable, but it seems that safety becomes more and more important for riders and that this is not any-more a major obstacle.

Remains the traditional ponderousness of the institutions, and the time needed to convince and to change rules... but facing a safety stake that address particularly vulnerable road users, one can expect flexibility and tolerance during a transitory phase...

## Acknowledgments

The authors are grateful to the MAIF foundation for its financial support of the project.

## References

Association des Constructeurs Européens de Motocycle (ACEM), 2009. In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers (MAIDS).

From <http://www.maids-study.eu/pdf/MAIDS2.pdf> (retrieved 28.08.10.).

Cavallo, V., Ranchet, M., Espié, S., Vienne, F., & Dang, N.-T., 2015. Improving the perceptibility of motorcycles through innovative headlight configurations. Paper presented at the Transportation Research Board (TRB) 94th Annual Meeting, Washington, January 10-15.

Clarke, D.D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W., 2007. The role of motorcyclist and other driver behaviour in two types of serious accident in the UK. *Accid. Anal. Prev.* 39, 974–981.

European Commission (EC), 2009. From EC website

[http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/users/motorcyclists-mopeds](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/users/motorcyclists-mopeds) (retrieved 25.11.14.).

Gould, M., Poulter, D.R., Helman, S., Wann, J.P., 2012a. Errors in judging the approach rate of motorcycles in nighttime conditions and the effect of an improved lighting configuration. *Accid. Anal. Prev.* 45, 432–437.

Horswill, M.S., Helman, S., Ardiles, P., Wann, J.P., 2005. Motorcycle accident risk could be inflated by a time-to-arrival illusion. *Optom. Vis. Sci.* 82, 740–746.

Maruyama, K., Tsutsumi, Y., Murata, Y., 2009. Study of face design, lighting system design for enhanced detection rate of motorcycles. Proceedings of the 21st International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles, Stuttgart, Germany, pp. 09–406.

Tsutsumi, Y., Maruyama, K., 2008. Long lighting system for enhanced conspicuity of motorcycles. *JSAE Trans.* 39, 119–124.

Van Elslande, P., Jaffard, M., 2010. Typical human errors in traffic accidents involving powered two-wheelers. Proceedings of the 27th International Congress of Applied Psychology, Melbourne, Australia, pp. 1363–1364.

Ultra-lightweight Electric Two-wheelers are the Future.

The Future is Now.

Ultraleichte elektrische Zweiräder sind die Zukunft.

Die Zukunft ist jetzt.

Steven H. Anderson, P.E.

MEA Forensic Engineers & Scientists, USA

Ultra-lightweight Electric Two-wheelers are the Future.

The Future is Now.



Electric motorcycles have been produced for more than a decade, yet electric motorcycle sales from the largest companies making these might reach only 2000 units a year. This paper seeks to answer why electric motorcycle sales are low and why motorcycles seem to be progressing more slowly on a path to electrification than automobiles. Additionally, this paper will suggest electric motorcycle configurations that would excel for urban markets in the immediate future, and which cannot be readily achieved with internal combustion engines.

## Energy and Aerodynamics

Electric motorcycle driving range is driven by two principal factors: the energy capabilities of battery packs made with affordable and available technology, and the energy requirements of travel over the variety of speeds expected by a general-purpose motorcycle. For the first, lithium-ion cells have been the preferred choice for electric vehicles for the last decade. In the early 1990s, Sony introduced the 18650 lithium-ion battery cell, a cylindrical cell 18mm in diameter by 65mm long. It rapidly became the preferred cell size for consumer electronics applications, and later was adopted by Tesla as the most affordable cell for electric automobiles. While other cell configurations are also used in electric vehicles, the 18650 most clearly shows lithium-ion progress as it has been produced the longest. Specific energy capacity for 18650 cells has climbed from 1994, with an early Sony cell storing 94Wh/kg to current cells that approach 270Wh/kg. This is still very low compared to a fuel such as gasoline, which has a specific energy of about 12,000Wh/kg. A typical internal combustion engine will convert, on average, about 18 percent or 2,100Wh/kg, of this specific energy into motive power (Figure 1). At higher engine loads, internal combustion engine efficiency improves, so for high-speed travel the specific energy delivered by gasoline may double from this average value. The low specific energy density, along with the high-cost of lithium-ion cells (just recently falling to under \$150/kWh at the cell level) has meant that electric motorcycles have been designed around relatively-low-energy-yet-still-heavy battery packs. For instance, the Brammo Empulse had a 9kWh pack, while recent Zero motorcycles can be equipped with maximum battery capacity of about 15kWh. These energy capacities amount to a little less or a little more than the effective energy provided by 4 liters of gasoline for an internal combustion engine working under high load.

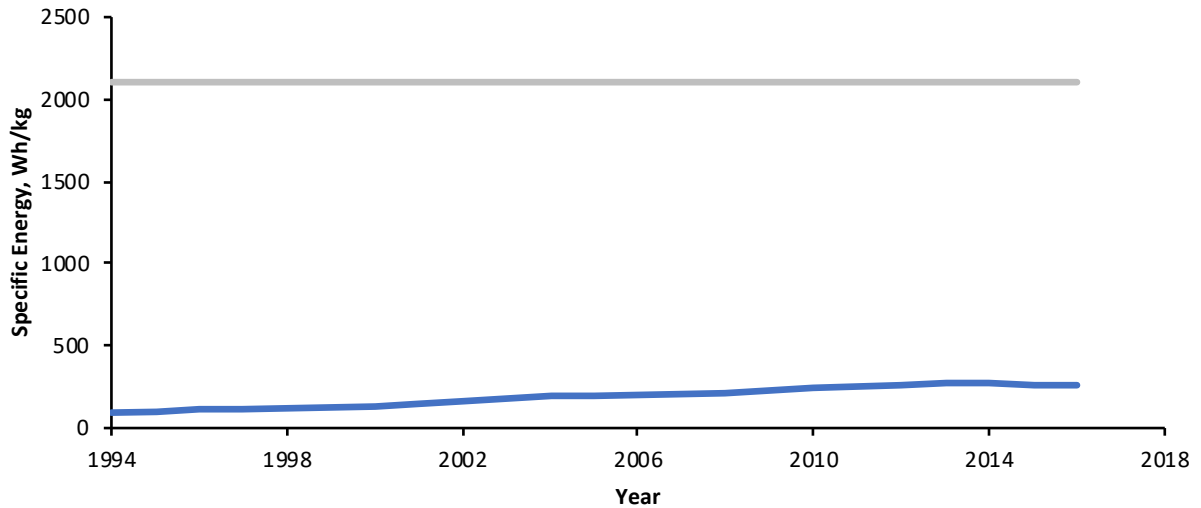


Fig. 1: Specific energy density of lithium-ion batteries (blue) compared to gasoline at typical average internal combustion engine efficiency. Batteries are on a slowly improving trajectory but are still much less energy dense than hydrocarbon fuels.

The second factor driving motorcycle range performance is the energy needed to travel over the variety of speeds expected. This factor, which essentially amounts to the steady-state energy usage, largely results from two sub-factors: rolling friction and aerodynamic drag. Rolling friction is approximately proportional to the vehicle weight and the power required to overcome rolling friction increases linearly with speed. Aerodynamic drag generates a power requirement proportional to the product of  $C_d \cdot A \cdot V^3$ , where  $C_d$  is the dimensionless drag coefficient associated with a particular vehicle shape,  $A$  is the projected frontal area of the vehicle, and  $V$  is the vehicle velocity. The power required to overcome aerodynamic drag increases with the cube of velocity. Double velocity, and the aerodynamic power goes up by eight-fold.

These steady state forces can be seen on a mid-size electric motorcycle such as the Brammo Empulse in Figure 2. Figure 3 shows a similar chart for a Tesla M3 automobile. The most interesting point of the comparison is that at highway speeds, such as 120 or 130km/h, the total power requirement for the Tesla automobile is only roughly 15 percent higher than for the Brammo motorcycle. However, the much heavier automobile can encompass as much as a 78kWh battery pack compared to the 9kWh pack for the Brammo. Accordingly, the Tesla M3 can travel about 500km on a charge on the highway, while the Brammo Empulse has a highway range of about 90km.

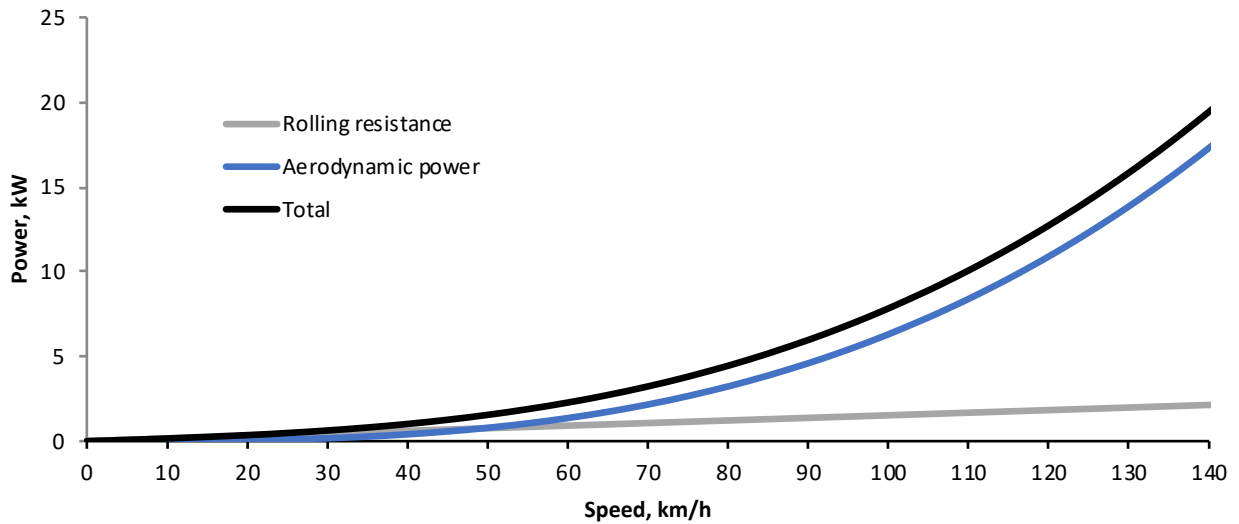


Fig. 2: Total power required to sustain constant speed estimated for Brammo Empulse motorcycle on a level roadway. Note that aerodynamic forces dominate at speeds above 50km/h, and that aerodynamic loads increase dramatically with speed.

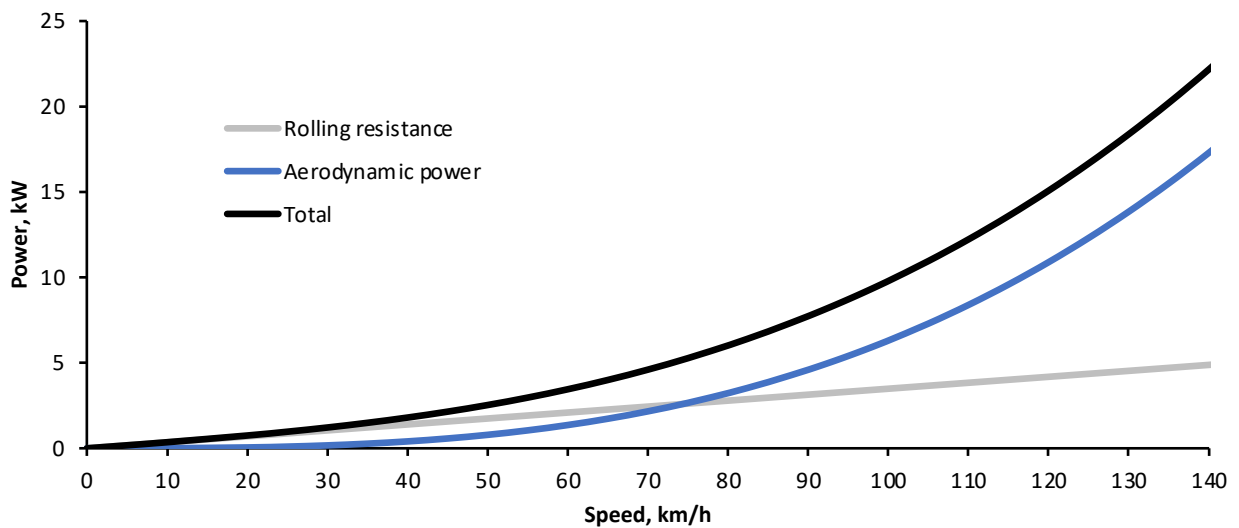


Fig. 3: Total power required to sustain constant speed estimated for Tesla M3 automobile on a level roadway. Note that while the heavier car has higher rolling losses, its aerodynamic losses are similar to the much smaller motorcycle because of the car's much more aerodynamic shape.

This lack of range has meant that electric motorcycles have not been complete substitutes for conventional large, street-and-highway going motorcycles. Typical large street motorcycles have a range of 250km or greater and can be replenished with gasoline in a few minutes, while no current street-going electric motorcycle can be recharged in less than a few hours. This range deficiency is largely due to the aerodynamic performance of motorcycles, along with the previously mentioned battery cost and energy density capabilities. Looking more closely at the aerodynamic performance of motorcycles, the product  $C_dA$  can be used to compare the effective frontal area of various vehicles, as shown in Figure 4, arranged from worst to best. Motorcycles of conventional configuration are simply less aerodynamic

than the best automobiles despite being far smaller, and only extreme outliers such as the Peraves Monotracer cabin motorcycle and fully-streamlined 1950s Grand Prix machines offer substantial improvement over the best electric cars. Accordingly, electric motorcycles will be severely range-challenged on high-speed highways until battery capabilities improve substantially. Even then, the cost of providing 30 or 40kWh of battery capacity, even with anticipated battery performance improvements and cost reductions, will mean that the general-purpose electric motorcycle will be both heavy and expensive.

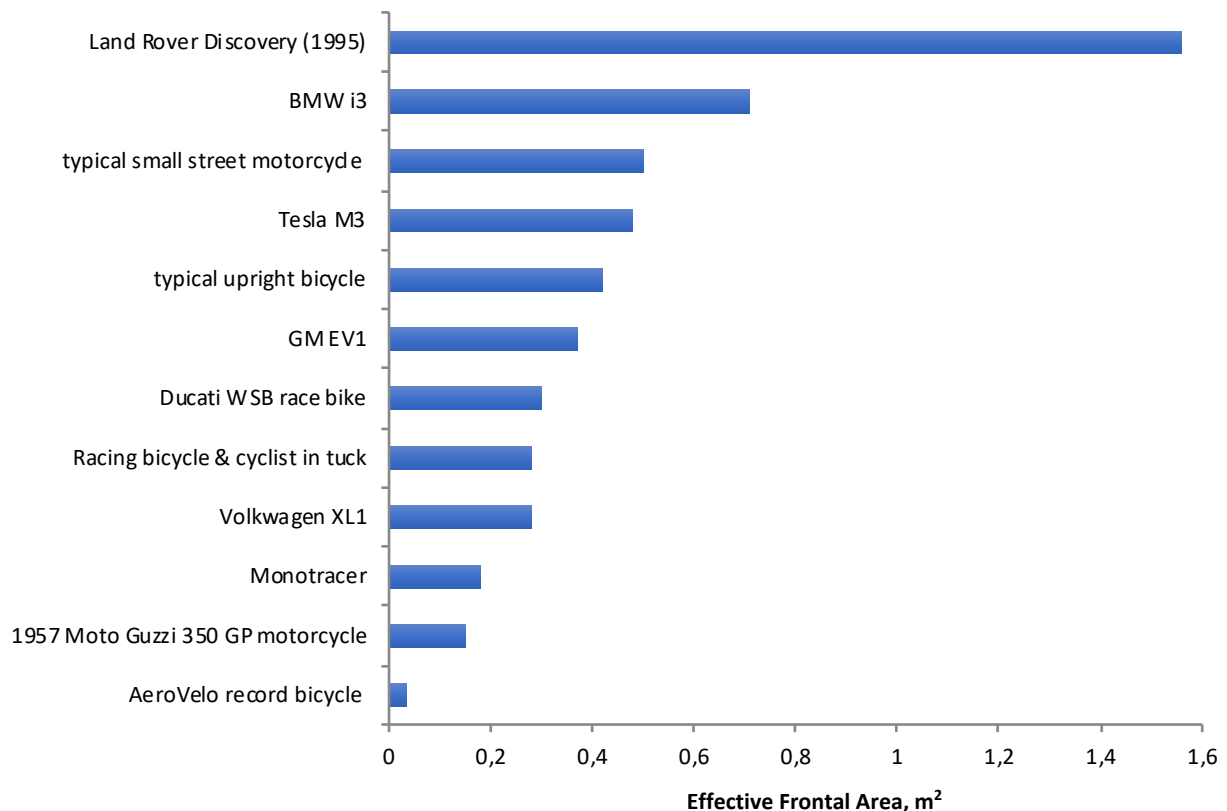


Fig. 4: Effective frontal areas in meters-squared for various motorcycles and four-wheeled vehicles. Note that a typical small street motorcycle is less aerodynamic than the best electric cars, and even a World Superbike racebike is less aerodynamic than a Volkswagen XL1.

## Advantages of Electric Power

Despite the range issues associated with battery-powered motorcycles, electric powertrains have some advantages over internal combustion engines from a motorcycle designer's and motorcycle manufacturer's point of view. While batteries are heavy, the rest of the drive-train is light. Power-to-weight ratio is exceptional for e-motors (Figure 5). Even advanced street-going superbike engines, such as the EBR 1190RX, only achieve around 1.5kW/kg when all supporting systems such as radiators and exhaust are included, while e-motors can deliver power capability above 5kW/kg currently and will do substantially better in the future. In addition, there are no exhaust emissions or regulatory noise issues in certifying

an electric machine, both of which take substantial engineering effort for an internal-combustion-powered motorcycle. Additionally, electric drive-trains can provide almost ideal torque characteristics, with near maximum torque available from near 0 rpm, allowing vehicle designs with single-speed reductions rather than multi-speed transmissions, and removing the need for a clutch. Finally, electric powertrains can be relatively inexpensive. OEM cost of automotive 100kW e-motors are targeted at \$500 USD and even low-production powertrains on some currently produced electric motorcycles are in the hundreds of dollars, including controller.

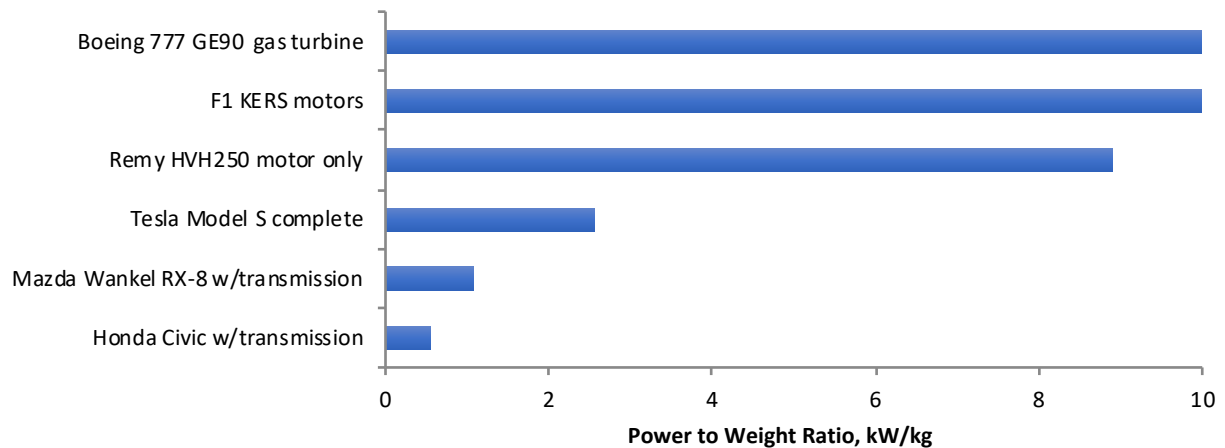


Fig. 5: Power-to-weight ratios in kW/kg for a variety of powertrains. Advanced electric powertrains can approach or exceed gas turbines in power-to-weight capability, and far exceed even racing internal-combustion-piston-engine powertrains.

## Low-speed and Ultra-lightweight Motorcycles

Because of the effect of aerodynamics on energy consumption, the most promising applications for electric motorcycles are in ones that do not require high-speed travel. One example is the motocross and off-road application targeted by Alta Motors. Note that motocross bikes rarely have fuel tanks much larger than 6 liters. Another example is a lightweight machine for urban-only use that deliberately foregoes high speeds (Figure 6). EU L1-e category motorcycles are regulated to 45km/h top speed. The author proposed such a machine while Program Manager at Erik Buell Racing, LLC (EBR). Before EBR closed its doors, studies were performed and a prototype and a running mule of this proposal were built. The design included an advanced 4kW hub motor for power that could also act as the rear brake. Battery pack size would be about 1kWh, giving a range of 50km on a World Motorcycle Test Cycle (WMTC) 1 urban test cycle. More importantly, the battery would be easily removable and would weigh less than 4.5kg and would thus be rechargeable in an apartment or office. Charging availability for people living in apartments has yet to be sufficiently addressed for EVs in general. Because the battery could be relatively small for this low-speed mission and the electric driveline light weight, overall vehicle weight target was under 35kg. Performance would have been better than most 50cc internal-combustion motorcycles, with 0-to-45km/h acceleration in under 3 seconds and with almost silent operation.

Again, because of the small battery, the vehicle could be relatively inexpensive: projected EU price was under €2800, including VAT, while allowing attractive manufacturer and dealer margins. A styling prototype of the machine was exhibited as such at the New Delhi Auto Show under Hero Motor guise in 2014. (Figure 7).

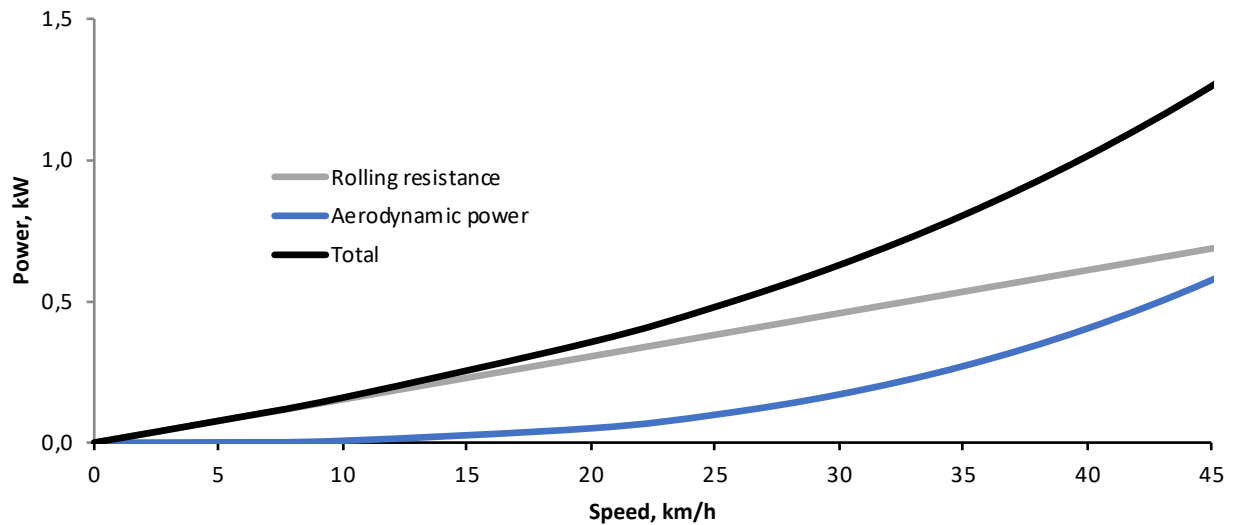


Fig. 6: Abandoning speed capabilities above 45 km/h leads to motorcycles with relatively low energy requirements. Acceptable urban range can be achieved with small batteries, in the range of 1 to 3kWh.



Fig. 7: Early styling prototype of proposed EBR electric L1e vehicle. Battery was encompassed in the seat, which was removable. A 4kW hub motor of advanced design provided power.

The other EU category that would allow an attractive urban e-motorcycle with current technology is the L3e-A1 category, generally referred to as the low-performance or – historically – the 125cc motorcycle

category. If top-speed for such a machine was restricted to 80 or 85km/h, maximum power consumption at top speed would be limited to just over 3kW. Reasonable urban range could be achieved with a sub-2kWh battery, which could be light enough to be removable and carryable. Testing the author has performed suggest 9kg is at the upper bound of acceptable carryable battery weight. Acceleration performance of this machine would be determined by the class power limit of 0.1kW per kilogram of vehicle weight. A maximum power of 11kW is allowed by the class rules unless that exceeds the power-to-weight limit, and power for the power-to-weight determination is for continuous rated motor power, which is generally substantially less than instantaneous power for an e-motor. In any case, acceleration would be brisk and maintained at less than the wheelie limit by electronic controls, and the electric powertrain would make safety features such as very fine-grained traction control, combined braking, and rear-wheel anti-lock braking inexpensive to implement. Such a machine could readily weigh less than 45kg.

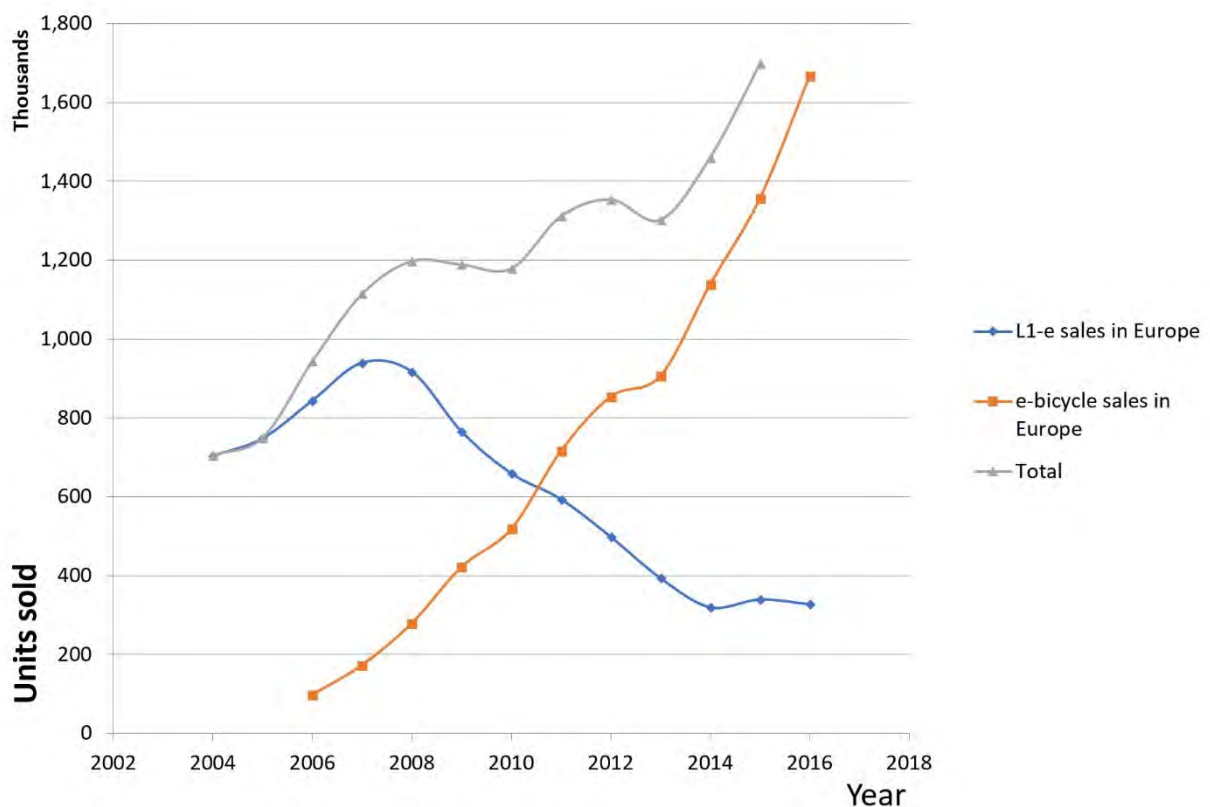


Fig. 8: After starting slowly in 2006, pedelec (electric bicycle) unit sales have grown strong in Europe, almost certainly disrupting the L1-e (sub-50cc) motorcycle and scooter market. Data from ACEM and COLIBI.

The need to rethink motorcycles for e-power is made somewhat obvious when sales in the L1-e market are viewed against pedelec (e-bicycle) sales in Europe. Pedelecs have been a classic disruptive market force, emerging as a seeming non-competitor with capabilities less than for L1-e vehicles. However, as seen in Figure 8, pedelecs have disrupted and surpassed conventional L1-e vehicles. The possibility of

ultra-lightweight e-motorcycles offering superior performance to even speed-pedelegs is a way for the motorcycle market to grow again in an environmentally healthy and safety-conscious manner.

While general-purpose e-motorcycles will continue to be introduced to the market, the difficulty of providing sufficient range with these machines to meet customer expectations will continue to limit their sales. Meanwhile, electrification opens possibilities for ultra-lightweight urban two-wheelers that bridge the gap between pedelecs and larger motorcycles. This is the immediate opportunity.



Passenger Vehicle-Powered Two Wheeler Pre-Crash Trajectory  
Reconstruction and Conflict Analysis Results for Real-World  
Crashes in France, Germany, and Italy

R. Michael Van Auken, John Lenkeit, Terry Smith, Scott Kebschull  
Dynamic Research Inc., USA

Passenger Vehicle-Powered Two Wheeler Pre-Crash Trajectory  
Reconstruction and Conflict Analysis Results for Real-World  
Crashes in France, Germany, and Italy

## Abstract

**Research Question / Starting point for investigation:** Advanced Driver Assistance Systems (ADASs) such as Forward Collision Warning have been developed for light passenger vehicles (LPVs) to avoid and mitigate collisions with other road users and objects. These technologies may have contributed to a reduction in LPV fatalities in the EU. However the number of powered two wheeler (PTW) fatalities has decreased at a lower rate. To fully realize potential safety benefits across all vehicle categories, these technologies also need to be effective in avoiding collisions with PTWs. To accomplish this, knowledge of the pre-crash LPV-PTW vehicle trajectories and conflicts is needed to guide the development and testing of effective crash countermeasures for both LPVs and PTWs.

**Methods:** Crash scenario database development tools previously developed to evaluate LPV-LPV crash countermeasure effectiveness have been extended to LPV-PTW crash scenarios. This involved using information for a large sample of LPV-PTW crashes from the EU MAIDS database, which is based on in-depth accident investigations. The vehicle pre-crash trajectories were estimated based on the coded data and digitized information from the scaled pre-crash scene diagrams. The pre-crash conflict state was then analyzed based on these trajectories.

**Results:** The estimated pre-crash trajectories using this method indicate that LPV-PTW pre-crash conflicts in France, Germany, and Italy are similar to those observed in the US. The results also indicate that many of the conflicts begin later (e.g., less than 2 sec before impact), compared to results from previously estimated LPV-LPV pre-crash trajectories.

**Impacts / Effects / Consequences:** LPV-PTW crash countermeasures need to function with shorter pre-crash conflict epochs, or in the pre-conflict phase, in order to be effective. This information may help to define requirements for LPV-PTW crash countermeasures (e.g., C-ITS), evaluate their effectiveness, and inform the development of performance confirmation tests (e.g., New Car Assessment Programs).

# 1 Introduction

Advanced Driver Assistance Systems (ADASs) such as Forward Collision Warning (FCW), Automatic Emergency Braking (AEB), and Blind Spot Warning (BSW) have been developed for Light Passenger Vehicles (LPVs) to avoid and mitigate collisions with other road users and objects. These crash avoidance and mitigation countermeasures may have contributed to the 20% reduction in the overall number of injury accidents in the EU from 1.342.193 in 2006 to 1.079.720 in 2015; and the 40% reduction in the overall number fatalities from 43.718 to 26.132 [1]. The main component of this overall reduction was a 43% reduction car and taxi occupant fatalities from 21.442 in 2006 to 12.205 in 2015. In contrast, powered two wheeler (PTW) fatalities, comprising mopeds and motorcycles,<sup>1</sup> decreased by 35% from 7.124 in 2006 to 4.666 in 2015. In an effort to explain the differences in the PTW versus car fatality trends, one question is whether or not LPV ADAS systems are as effective in avoiding collisions with PTWs compared to other road users.

Lenkeit and Smith [3] evaluated the ability of eight 2016 model year LPVs equipped with FCW to detect an exemplar motorcycle and passenger car using two tests in the US National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) FCW confirmation test procedures. The results of this preliminary evaluation indicated that only two of the eight LPVs tested were able to pass the NHTSA test procedure scenario with a stationary motorcycle as the principal other vehicle (POV), compared to all LPVs passing the test with a stationary passenger car POV. Therefore these preliminary results tend to indicate that FCW systems may not be as effective in avoiding or mitigating collisions with a motorcycle as they are with a passenger car.

Van Auken et al [4,5] then estimated the pre-crash trajectories and conflicts for 101 crashes involving one PTW and one LPV in California, US. This analysis was based on the recently released US Federal Highway Administration's (FHWA's) Motorcycle Crash Causation Study (MCCS) database [6]. The MCCS data was determined based on in-depth accident investigations using methodology based on the Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) Common Methodology [7]. Therefore the US MCCS data is similar in structure to the European Motorcycle Accidents In-Depth Study (MAIDS) accident data [8].

The resulting pre-crash trajectories in the MCCS data exhibited three main pre-crash modes. These were, as viewed in the LPV reference frame: 1) the motorcycle approached the LPV from the front and impacted the front or right side of the LPV, 2) the motorcycle approached the LPV from the left and impacted the left side of the LPV, or 3) the motorcycle approached the LPV from the rear and impacted

---

<sup>1</sup> Powered Two Wheelers comprise L1 and L3 vehicles as defined in [2]. L1 vehicles are commonly known as mopeds. L3 vehicles are commonly known as motorcycles. See the Definitions/Abbreviations Section 11.

the rear or left side of the LPV. Further analysis of these estimated pre-crash trajectories indicated that the conflicts begin later, and therefore with smaller Time to Collision (TTC) values, compared to results for some LPV-LPV crashes. Therefore there may be less time for a driver or crash avoidance technology to avoid a LPV-PTW crash after a conflict has been detected, compared to a LPV-LPV crash. As a result such systems may be less effective in avoiding LPV-PTW crashes.

## 1.1 Background

Dynamic Research, Inc. (DRI) has been developing and applying safety impact analysis methods for many years (e.g., [9]). This included the development of a comprehensive Safety Impact Methodology (SIM) in two Honda-DRI ACAT programs for the US NHTSA. The comprehensive and general structure of this methodology and accompanying tools are well suited for the potential evaluation of LPV ADAS (e.g., FCW, AEB, and BSW) system effectiveness in avoiding and/or mitigating collisions with PTWs with the extensions outlined in [10], as well as other applications such as pre-crash conflict analysis, the development of system requirements, and testing.

## 1.2 In-Depth LPV-PTW Crash Databases

Two databases that have sufficient suitable information to be integrated into this SIM methodology are from the European MAIDS study and the US MCCA study. Both of these studies had coded accident data and crash scene diagrams based on in-depth investigations.

The MAIDS study was conducted from 1998 through 2002 by the European Association of Motorcycle Manufacturers (ACEM) with co-funding by the European Commission. It was developed using the OECD Common Methodology [7]. All of the cases are from France, Germany, Italy, Netherlands, and Spain. Most of the cases are from the 1999 to 2001 calendar year time period.

## 1.3 Project Aims

The objective of this project was to extend the SIM tools and data to include the MAIDS data in order to better understand the pre-crash conflicts of LPV-PTW crashes and to potentially evaluate the effectiveness and benefits of LPV ADASs in avoiding and mitigating collisions with a PTW.

## 2 Safety Area to be Addressed by the Advanced Technologies

The objective of the ACAT SIM tool with the PTW extensions is to evaluate the effectiveness and benefits of LPV ADASs (e.g., FCW, AEB and BSW) in avoiding or mitigating LPV-PTW crashes. It is assumed that these technologies could address crashes where the LPV driver inattention is a

contributing factor, but may also be applicable to safety-relevant cooperative ITS (C-ITS) and other technologies as well.

## 2.1 The size of the problem to be addressed

One of the first steps in the development and evaluation a crash avoidance technology is to determine the size of the traffic safety problem in terms of broadly defined non-technology specific crash types. The estimated numbers of fatalities that represent the size of the problem for the entire EU motor vehicle fleet by the crash category and type of vehicle involved are listed in Table 1. Some of these crashes are not expected to be addressable by specific LPV technologies such as AEB due to either the vehicle application (e.g., not an LPV), the vehicle role (e.g., struck vehicle), or other technology relevant factors. For example, the results in Table 1 include an estimated 1217 single vehicle fatalities involving a PTW (i.e., did not involve an LPV). These results indicate that there were 3.169 crashes involving a PTW and one or more other vehicles, which account for 12% of all EU traffic fatalities in in 2015. A large portion of these cases involve an LPV, which could be potentially addressed by an LPV ADAS.

Table 1. Estimated crash problem size for the entire EU motor vehicle fleet in the 2015 calendar year

(A) Crash Category	(B) (C) (D) (E) (F) Number of Fatalities				
	Involves a PTW			Other Vehicle =(F)-(D)	Total
	MC	Moped	PTW =(B)+(C)		
Pedestrian	237 <sup>a</sup>	43 <sup>b</sup>	280	5.155	5.435 <sup>c</sup>
1 Vehicle	1.067 <sup>c</sup>	150 <sup>d</sup>	1.217	6.790	8.007 <sup>f</sup>
2+ Vehicle	2.648 <sup>g</sup>	521 <sup>g</sup>	3.169	9.521	12.690 <sup>g</sup>
Total	3.952 <sup>h</sup>	714 <sup>i</sup>	4.666	21.466	26.132 <sup>j</sup>

Sources: based on CARE data.

<sup>a</sup> Assumed equal to 6% of all MC fatalities based on Figure 4.6 on page 79 of Ref [11].

<sup>b</sup> Assumed equal to 6% of all moped fatalities based on *ibid.*

<sup>c</sup> Assumed equal to 27% of all MC fatalities based on *ibid.*

<sup>d</sup> Assumed equal to 21% of all moped fatalities based on *ibid.*

<sup>e</sup> Ref [12], p 3, Table 1.

<sup>f</sup> Ref [13], p 3, Table 1.

<sup>g</sup> =Total-Pedestrians-Single Vehicle

<sup>h</sup> Ref [1], p 20, Table 7.

<sup>i</sup> *Ibid.*, p 19, Table 6.

<sup>j</sup> *Ibid.*, p 10, Table 2.

## 3 Methods

The analytical approach involved extending the methods developed in [4,5] for the US MCCS to the EU MAIDS database. The MCCS and MAIDS databases were developed using similar, but not identical, in-depth crash investigation methods. The MAIDS database was developed according the OECD

common methodology; and the MCCA database was developed using a methodology incorporating the OECD and NHTSA methods.

### 3.1 Overview of the Crash Scenario Database Development Tools

A conceptual block diagram of the crash scenario database tools is given in Figure 1. These tools are collectively referred to as “Module 1”. These Module 1 tools construct a harmonized crash scenario database for use in the development and evaluation of ADASs (e.g., requirements, simulation, and testing). The inputs are archival accident data such as the US NHTSA data as indicated at the top of the figure. The resulting crash scenario database comprises text summaries (to the extent available), harmonized coded data, scene diagrams, crash geometry and pre-crash time histories as depicted by the shaded database in Figure 1. These tools are organized into three sub-modules as follows:

- Submodule 1.1 assembles a crash scenario database with a representative sample of LPVs involved in real-world crashes. Ideally the crash scenario database would include all types of crashes and severities, which could be weighted to represent all crashes involving a LPV. This sub-model extracts cases from various coded accident databases such the MCCA and MAIDS data [6,8].
- Submodule 1.2 is a tool to download or extract crash scene diagrams for each case in the crash scenario database if available.
- Submodule 1.3 is an Automated Accident Reconstruction Tool (AART) to reconstruct the pre-crash and crash position versus time trajectories of the LPVs for each case in the crash scenario file, provided there is sufficient information available and the case is within the domain-of-validity of the AART (e.g., there is a crash scene diagram, vehicle velocity, and contact information). The resulting reconstructions can be used for simulation and testing. These results can also be used for other analyzes, such as the identification of pre-crash conflicts described herein.

The extensions of these tools for the US MCCA data were described in [4,5].

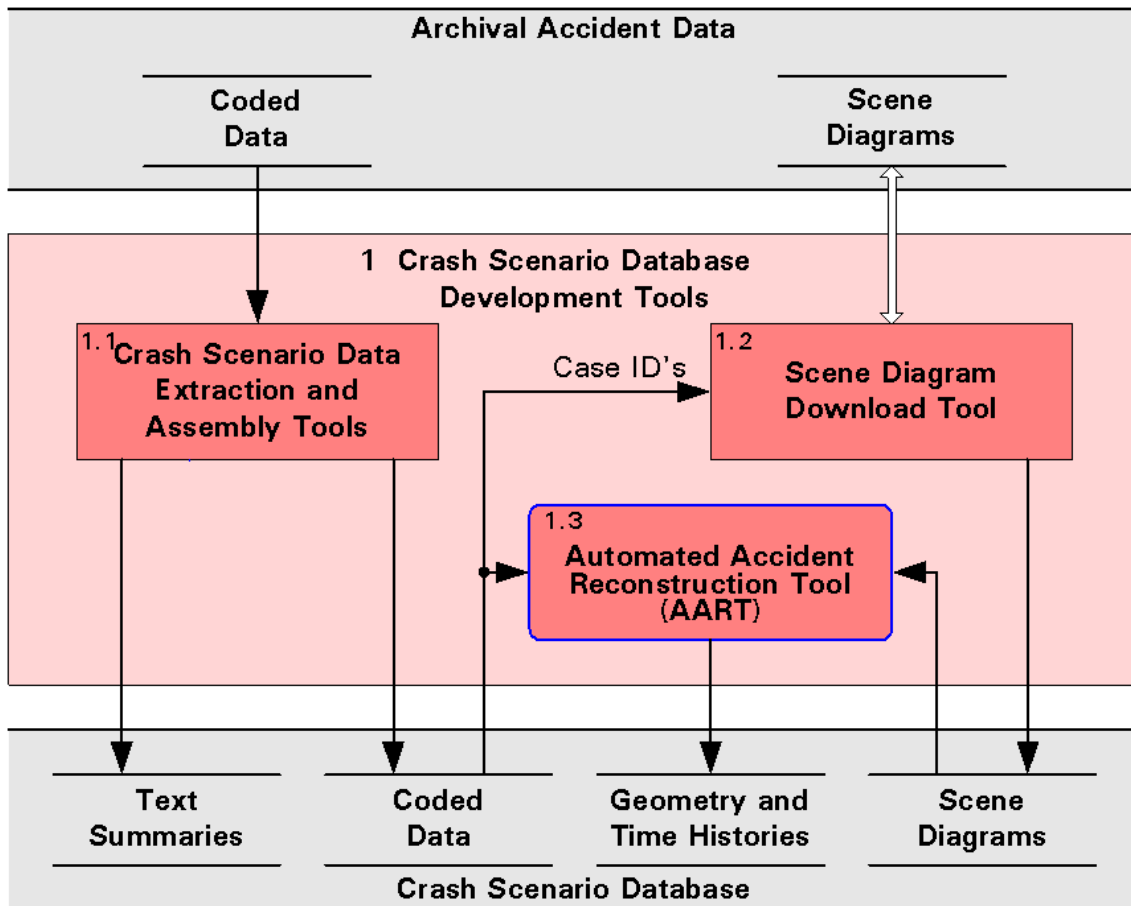


Fig. 1: Crash Scenario Database Development Tools (e.g., [9]).

### 3.2 Extensions for EU PTW Conflicts and Collisions

The Module 1 tools were extended to use the MAIDS database. The MAIDS study was conducted from 1998 through 2002 by the European Association of Motorcycle Manufacturers (ACEM) with co-funding by the European Commission. All of the cases are from France, Germany, Italy, Netherlands, and Spain. Most of the cases are from the 1999 to 2001 time period.

#### 3.2.1 Crash Scenario Database Extraction and Development Tools

These tools comprised SPSS scripts and supporting tables to extract the relevant coded data for cases involving one PTW and one LPV from the MAIDS data archive. The MAIDS data are coded according to the OECD Common Methodology [7]. The data variables were then recoded and renamed according to harmonized crash scenario database variables described in Appendix F of [9]. Cases involving a pedestrian or where the first point-of-impact is not the collision with the LPV were also excluded. The resulting data for 572 cases were then saved in a Microsoft Excel data file for use by the other SIM modules.



### 3.2.2 Scene Diagram Download Tools

These tools comprised Matlab scripts and supporting tables to extract source files containing the scene diagrams for the same PTW-LPV cases from the MAIDS data archive. The result was a .jpg file with the best available scene diagram for each case.

### 3.2.3 Automated LPV-PTW Accident Reconstruction Tool

The Motorcycle Automated Accident Reconstruction Tool (M-AART) developed to reconstruct MCCA cases was extended to reconstruct the MAIDS cases. This tool was used to automatically reconstruct the LPV-PTW pre-crash trajectories and impact configurations in four steps. First the relative impact configurations of the LPV-PTW were automatically determined based on the coded data. Then the absolute position and orientation of the impact configuration shown on each scene diagram were manually digitized, followed by the pre-crash positions and orientation of each vehicle icon shown on the scene diagrams. The pre-crash speeds were then automatically determined based on coded data. Finally the pre-crash trajectories were estimated using a Kalman Filter-Smoother [14] using the state-space models described in [4].

The changes to the tool for the MAIDS data primarily addressed differences in the OECD Common Methodology and MCCA data variables, and differences in the information available on the scene diagrams. This included estimating the pre-crash travel speed from the posted speed limit or coded pre-crash movement; and using the coded relative heading angle instead of the principal directions of force.

The preliminary results in this paper are based on 266 cases from France, Germany, and Italy that were reconstructed using this tool. The distribution of these cases are indicated in Figure 2. Each of these cases had sufficient information in the coded data, crash scene diagram, and supporting documentation to reconstruct the case. This excluded cases where a suitable scene diagram not available or did not have sufficient information about the locations of the vehicles prior to the impact and at the point of impact. Cases involving a LPV loss-of-control were also excluded.

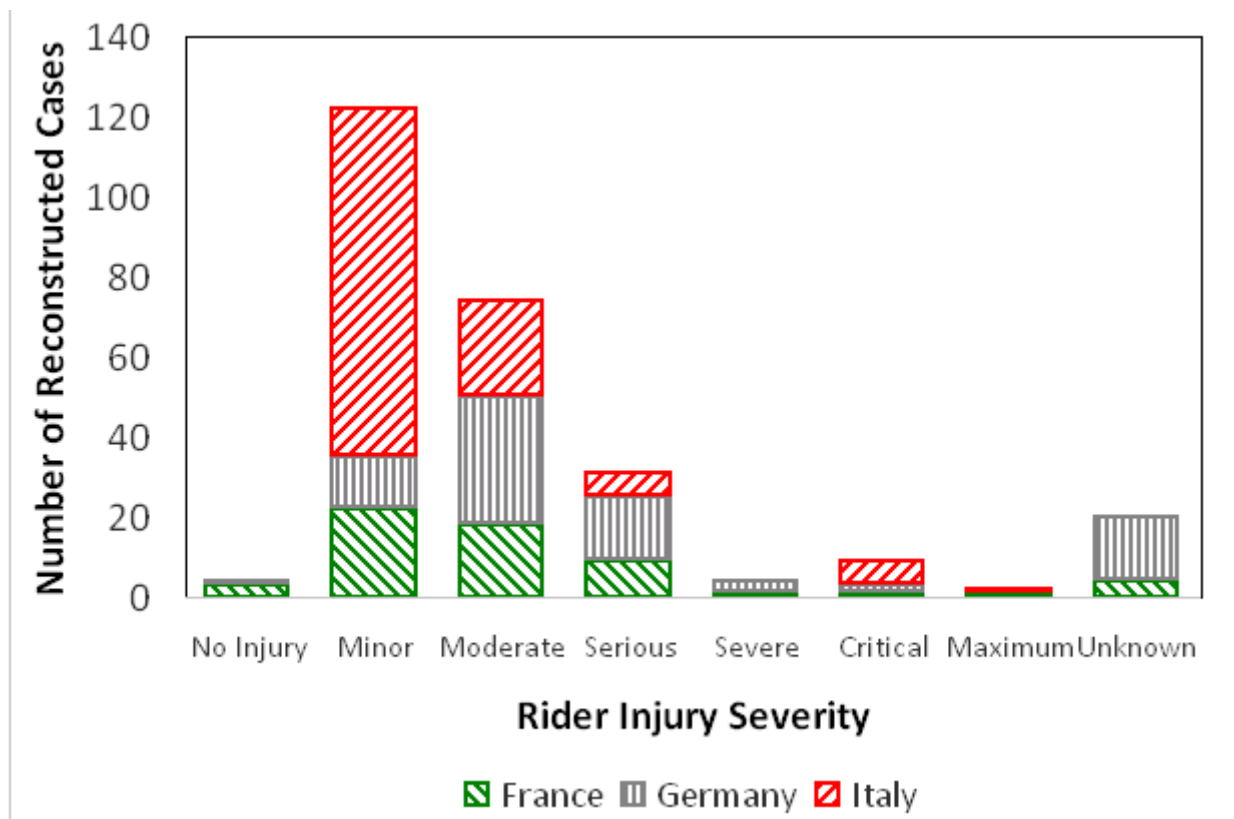


Fig. 2: Number of reconstructed MAIDS Cases by rider injury severity and country.

### Impact Configuration

The relative impact configuration for each MAIDS case was determined from on the coded contact locations each vehicle and the relative heading angle. An example impact configuration as viewed from above for MAIDS case MAF01283<sup>2</sup> is depicted in Figure 3. The LPV is depicted by a cyan rectangle with a triangle pointing towards the front of the vehicle. The PTW is depicted in magenta with handlebars towards the front of the vehicle. The contact locations of the vehicles are assumed to be at the common point-of-impact (POI), as depicted by the blue circle in Figure 3. The contact locations on each of the vehicles were determined from the coded values for the OECD variables A.4.2.17 and A.4.4.14<sup>3</sup> in the MAIDS database, and assumptions about the vehicle dimensions and relative contact positions. In this example the coded data values indicate that the front center of the PTW (A.4.2.17=CF) contacted the left side of the LPV front bumper (A.4.4.14=F01L). It was assumed that the lateral contact location on the front of the LPV was 75% of the distance from the centerline of the vehicle towards the left side.

<sup>2</sup> An eight character case nomenclature is used. The first three characters are the letters “MAF”, “MAG”, and “MAI” to denote MAIDS data from France, Germany, and Italy. The last 5 characters are the accident identification number (AIN) corresponding to the coded MAIDS data.

<sup>3</sup> OECD database variables for each crash case begin with the letter A, following by a hierarchical set of numbers. See the OECD coding manual [7].

The overall length, wheelbase, front overhang, and width of the LPV were assumed to be 4.8 m, 2.8 m, 0.9 m, and 1.8 m respectively for the purposes of this analysis. These values represent approximate average values from the NHTSA CDS data. The front/rear vehicle weight distribution was assumed to be 55%/45%. The contact locations on the PTW were either the front or rear center, or the left or right center based on the coded MAIDS data. The overall length and width of the PTW (excluding handlebars and mirrors) were assumed to be 2.1 m and 0.5 m respectively, and the distance from the center of gravity (cg) to the front of the PTW was assumed to be 1.2 m, for the purpose of determining the impact configuration. In the future we plan to use vehicle make-model-year specific vehicle parameter values.

```
VVIMPCT=A.4.4.15.a_1 =21 km/h
VCCC1=A.4.4.14_1     =F01L (front bumper)
PVIMPCT=A.4.2.18_a  =54 km/h
PCCC1=A.4.2.17      =CF
PRHA=-A.4.2.21_a    =-170 deg
```



Fig. 3: Example vehicle impact geometry based on the coded impact locations and the relative heading angle (MAIDS case MAF01283).

### Scene Diagram Digitizer

A special purpose digitizer was developed and used to manually digitize relevant information from the scene diagram for each case. An example digitized case is depicted in Figure 4. The first step was to digitize the two points on the scene diagram with known distance, and enter the distance in meters. This was typically a scaling factor indicated on the scene diagram. For the example in Figure 4 the distance labeled 17 m was chosen to determine the scene diagram scaling factor. The point-of-impact and absolute heading angle of the combined vehicle impact geometry on the scene diagram were then digitized. For the example in Figure 4 the position and angle of the impact geometry in Figure 3 were manually digitized to match the impact geometry indicated on the scene diagram. Emphasis was placed on matching the location of the impact point. Finally, the pre-crash positions and orientations of the LPV and PTW were digitized, placing emphasis on matching the centers of the depicted vehicle icons.

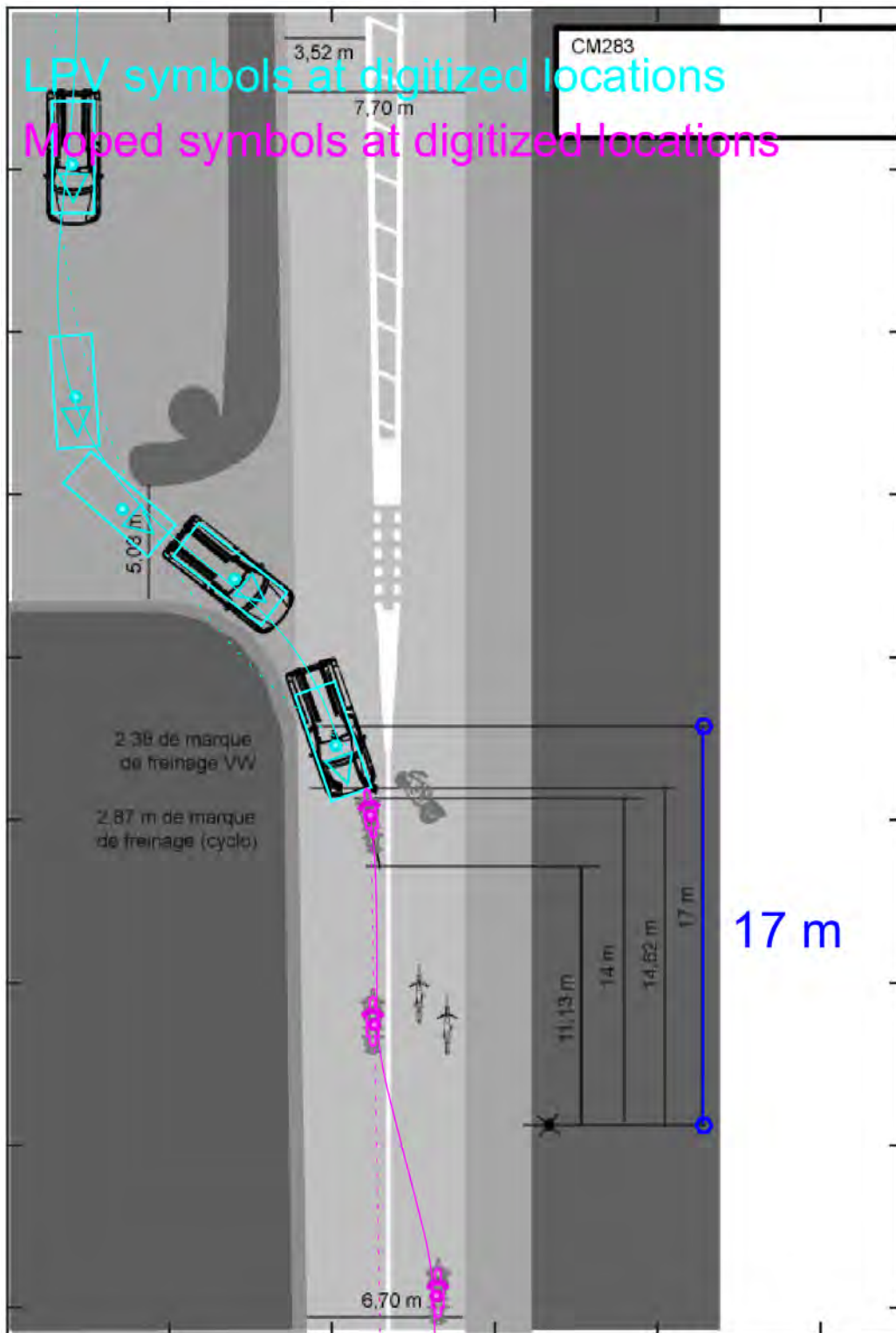


Fig. 4: Example digitized crash scene diagram (MAIDS case MAF01283).

#### Pre-crash Vehicle Speeds

The pre-crash vehicle speeds were then estimated based on the coded MAIDS data, as depicted by the example in Figure 5. The LPV and PTW speeds at the time of impact were assumed to be equal to the coded values for A.4.4.15.a\_1 and A.4.2.18\_a. The time of the precipitating event and the corresponding

LPV and PTW speeds were estimated from the coded values for A.4.2.22\_a, A.4.4.2.a\_1 and A.4.2.2.a. The LPV and PTW speeds at 10 sec prior to the impact were assumed to be equal to 0 if the vehicle pre-crash movement was stopped or leaving a parked position, otherwise it was assumed that the travel speed was 7 km/h over the coded posted speed limit value.<sup>4</sup> The latter assumption is based on information in [15] (see Assumption 12 on page 47 of [9]). The estimated speed versus time was then estimated by linear interpolation versus time.

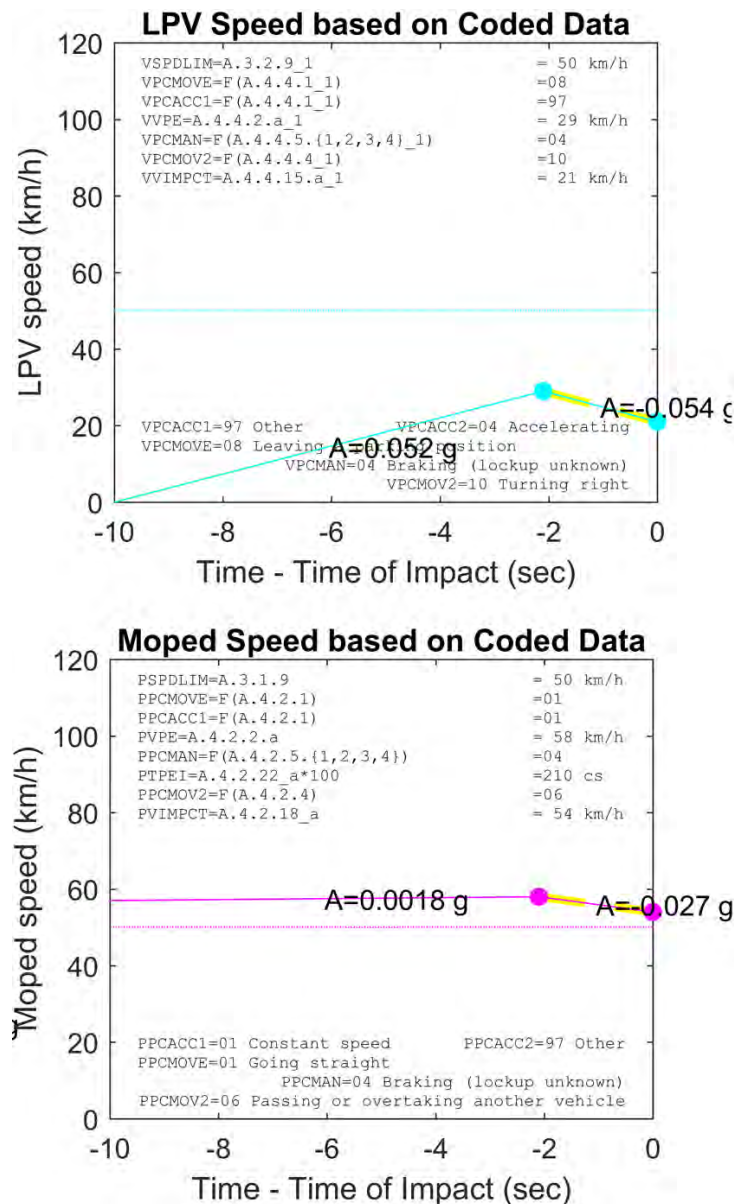


Fig. 5: Example assumed pre-crash velocities versus time based on coded data (MAIDS case MAF01283).

<sup>4</sup> The previous analysis of MCCS data reported in [4,5] assumed that the vehicle speeds at 10 sec prior to impact were equal to the coded pre-crash travel speeds if available. This information was not available in the coded MAIDS data.

### Pre-crash LPV Trajectory

Each pre-crash LPV trajectory was then estimated using a Kalman Filter-Smoother [14] assuming a 3rd order state-space model based on the Bundorf-Leffert equations-of-motion [16]. This involved fitting a reference trajectory to the digitized vehicle positions and solving the linearized equations of motion relative to this reference trajectory.

The reference trajectory, described by the vehicle position ( $X_0(t)$ ,  $Y_0(t)$ ) and yaw angle ( $\psi_0(t)$ ), is the solution to the Bundorf-Leffert equations of motion for a given front wheel angle as a function of time ( $\delta_{w_0}(t)$ ). If there were four or more digitized points then a reference trajectory for  $\delta_{w_0}(t) = b_0 + b_1 t$  was fit to the digitized data. If there were three or fewer digitized points then a circular path (i.e.,  $b_1 = 0$ ) reference trajectory was fit to the data. If the radius of the circular path was very large then a straight line path reference trajectory with  $\delta_{w_0}(t) = 0$  was used.

The linearized model comprised three states for the lateral position ( $y_l$ ), heading angle ( $\Delta\psi$ ), and front wheel angle ( $\Delta\delta_w$ ) relative to the reference trajectory. It was assumed that the rate of change in the front wheel angle was a white noise stochastic input. The lateral path position and heading angle “measurements” were obtained from the digitized vehicle positions and orientations relative to the reference trajectory. The time of each measurement was calculated based on the cumulative digitized distance to the point of impact and the assumed pre-crash vehicle velocity versus time. It was also assumed that the LPV has neutral steering with zero side slip. Note that this model and assumptions may not be valid for loss-of-control cases. Loss-of-control cases are considered to be outside the domain-of-validity of this M-AART and have been excluded from this analysis.

### Pre-crash PTW Trajectory

Each pre-crash PTW trajectory was estimated using a Kalman Filter-Smoother assuming a 9th order state-space model based on the Weir-Zellner equations-of-motion [17]<sup>5</sup>. The model comprised states for the lateral position and velocity ( $y_l$ ,  $v$ ), heading angle and yaw rate ( $\psi$ ,  $r$ ), roll angle and rate ( $\phi$ ,  $\dot{\phi}$ ), front fork angle and rate ( $\delta$ ,  $\dot{\delta}$ ), and rider upper body lean angle ( $\phi_R$ ). It was assumed that the rider handlebar torque and lean angle rate were independent white noise stochastic inputs. The Norton 850 model parameter values in [18] were assumed for cases involving a motorcycle, and the “Moped B” values in [19] were assumed for cases involving a moped. The Norton 850 model parameter values were previously used in [4,5]. It is planned to use more specific PTW make-model-year and rider parameter values in the future. Further details on the state-space model used are provided in [4].

---

<sup>5</sup> This model was limited to forward speeds greater than or equal to 2 m/s.

### 3.2.4 Pre-Crash Conflict State Estimation

The state of conflict between the LPV and PTW can be estimated as a function of time before the impact based on the estimated vehicle trajectories. For the purpose of this analysis the conflict state  $C$  at time  $t$  was defined for  $t \leq t_{\text{impact}}$  as follows:  $C(t) \hat{=} \text{true}$  if the vehicles will contact each other at time  $t_{\text{contact}}$  if their linear and angular velocities remain constant between time  $t$  and  $t_{\text{contact}}$ ; otherwise  $C(t) \hat{=} \text{false}$  if the vehicles will never contact.<sup>6</sup> For practical considerations the contact evaluation time interval was limited to up to 1 sec after the reconstructed impact time (i.e.,  $t \leq t_{\text{contact}} \leq t_{\text{impact}} + 1\text{sec}$ ). This definition can include momentary benign conflicts that may occur several sec before impact in addition to the final conflict, as illustrated by the example in Figure 6. Of interest is the when the final conflict begins.<sup>7</sup>

---

<sup>6</sup> The PTW handlebars were included in the potential contact with the LPV. It was assumed that the handlebars were 0.89 m wide for the purpose of this conflict analysis.

<sup>7</sup> This definition of the conflict state is consistent with the definition from the First Workshop in Traffic Conflicts (1977) [20] that a “traffic conflict is an observable situation in which two or more road users approach each other in space and time to such an extent that there is a risk of collision if their [sic] movements remain unchanged”, where “movements remain unchanged” is interpreted as meaning constant velocities, and “observable situation” means measurable and does not exclude visual obstructions. Furthermore the “time-measured-to-collision” defined by Hayward (1972) [21] as “time required for two vehicles to collide if they continue at their present speeds and on the same path” is equal to  $t_{\text{contact}} - t$ , which will have a finite positive value if and only if  $C(t) = \text{true}$ . Time-measured-to-collision is also known as time-to-collision (TTC).

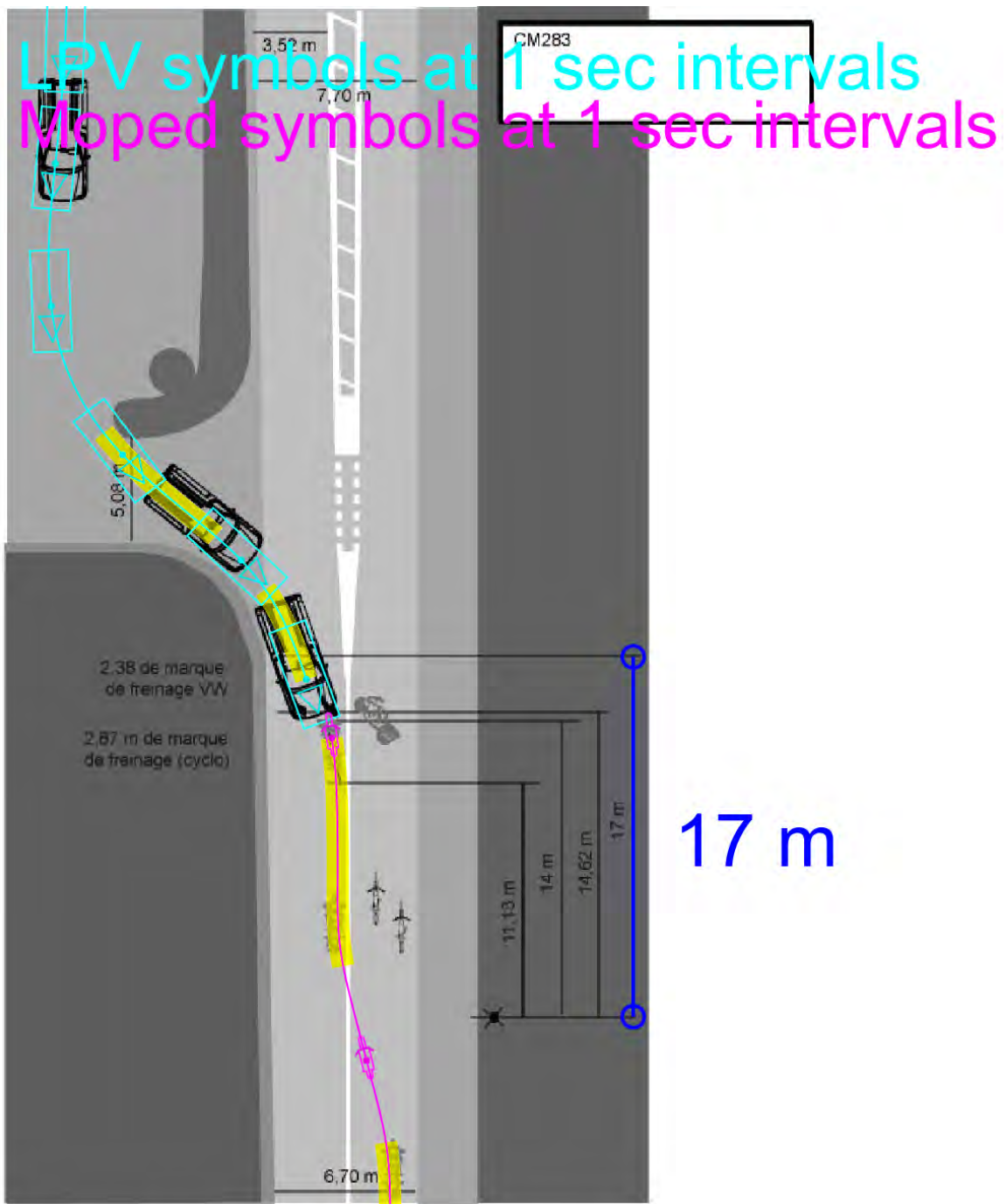


Fig. 6: Example estimated pre-crash trajectories with momentary and final conflicts (case MAF01283)

#### 4 Results

The results in this section describe the estimated trajectories and conflicts for two example cases, followed by a summary for all of the cases.



## 4.1 Example pre-crash trajectories and state of conflict

### 4.1.1 MAIDS Case MAF01283

An example pre-crash trajectory reconstruction is illustrated in Figure 5, Figure 6, and Figure 7 for MAIDS case MAF01283. Figure 5 shows the assumed pre-crash speeds of the vehicles based on coded data. Figure 7 shows the estimated driver and rider directional control inputs versus time. Figure 6 shows the resulting vehicle trajectories overlaid on the crash scene diagram. The vehicle trajectories were fit to the locations of the LPV and moped shown on the scene diagram. The estimated vehicle positions and orientations are depicted at 1 sec intervals and the movement of the cg positions are depicted by continuous curves. The speeds, control inputs and vehicle positions when  $C(t) = \text{true}$  are shown highlighted in yellow.

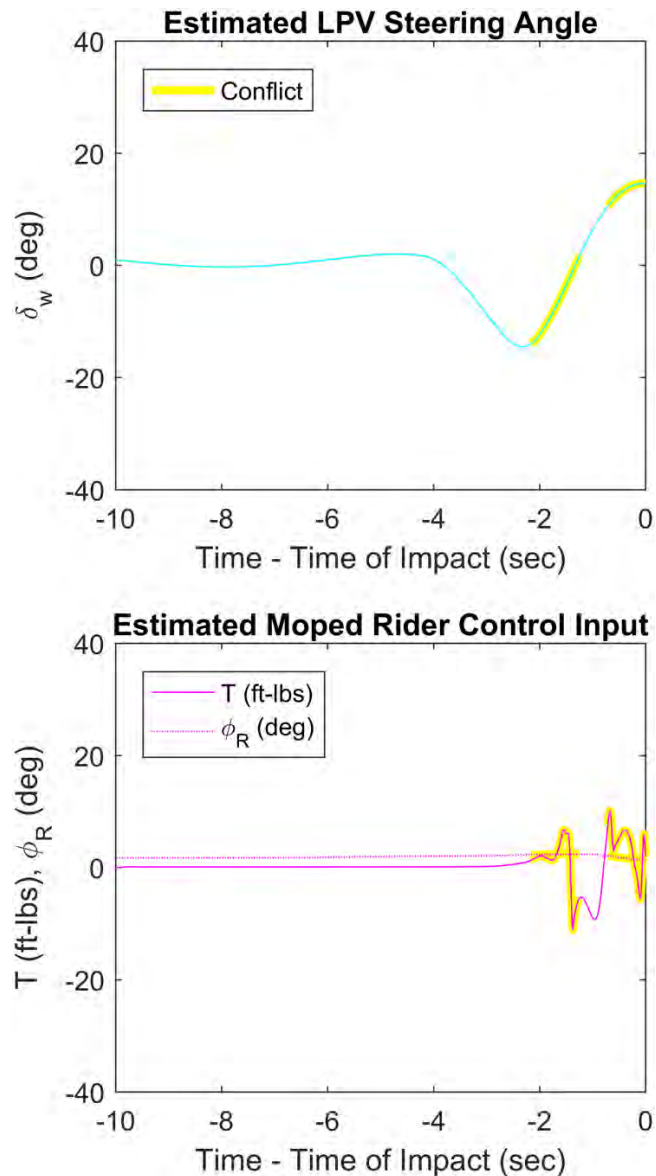


Fig. 7: Example estimated pre-crash directional control inputs versus time (MAIDS case MAF01283).

This example case elucidates the directional responses of the LPV and PTW to the operator directional control inputs. It was assumed for this case that the moped was traveling on a straight roadway at approximately 7 km/h above the posted speed limit of 50 km/h 10 sec prior to impact,<sup>8</sup> as depicted in the scene diagram in Figure 6. At the same time a LPV was leaving a parked position. The M-AART estimated that the driver turned to the left (negative steer angle) to approach the roadway, then turned to the right (positive steer angle) to merge onto the roadway going in the opposite direction to the PTW. At the time of the coded precipitating event, 2,1 sec before impact, the coded data indicates the PTW was traveling at a constant speed of 58 km/h, and the LPV had accelerated to 29 km/h, as indicated in Figure 5. The rider then passed to the left of two other PTWs traveling in the same direction. The estimated rider passing maneuver involved first applying positive steer torque to turn to the left, then negative steer torque to turn to the right, then positive torque to recover as depicted in Figure 7. The coded data indicates both vehicles braked and the coded impact speeds were 21 km/h and 54 km/h respectively. A small amount of rider lean was also estimated, but the primary control input was the handlebar steer torque. This figure illustrates the close agreement between the estimated vehicle trajectories and the available information. The maximum differences between the digitized LPV and PTW positions and the corresponding reconstructed trajectories are 0,6 m and 0,2 m respectively.

This example also illustrates both a momentary conflict which is benign and the final conflict which resulted in impact. The benign conflict occurs between  $t=-2,2$  sec and  $t=-1,3$  sec. This is when the LPV is headed towards the roadway, but the risk of collision will be small if the LPV turns to merge onto the roadway and the both vehicles stay within their respective lanes. This benign conflict ends as expected when the LPV turns to merge onto the roadway. The final conflict then begins 0,7 sec before impact. This is after the PTW crosses the lane boundary into the PTWs path.

#### 4.1.2 MAIDS Case MAF01245

Another example pre-crash trajectory reconstruction is illustrated in Figure 8 for case MAF01245. This case involves a motorcycle passing to the left of several vehicles and impacting the side of another vehicle exiting a parking lot. The estimated trajectories are in a state of conflict beginning 2,6 sec prior to impact. The coded case description indicates that “*OV turn left and doesn't see MC coming left overtaking cars*”. Therefore the conflict was not detected because of a mobile visual obstruction (i.e. the other vehicles).

---

<sup>8</sup> The coded values for OECD variables A.4.1.8.34 and A.4.1.8.45 indicate that this moped had enhanced motor power and a modified exhaust.

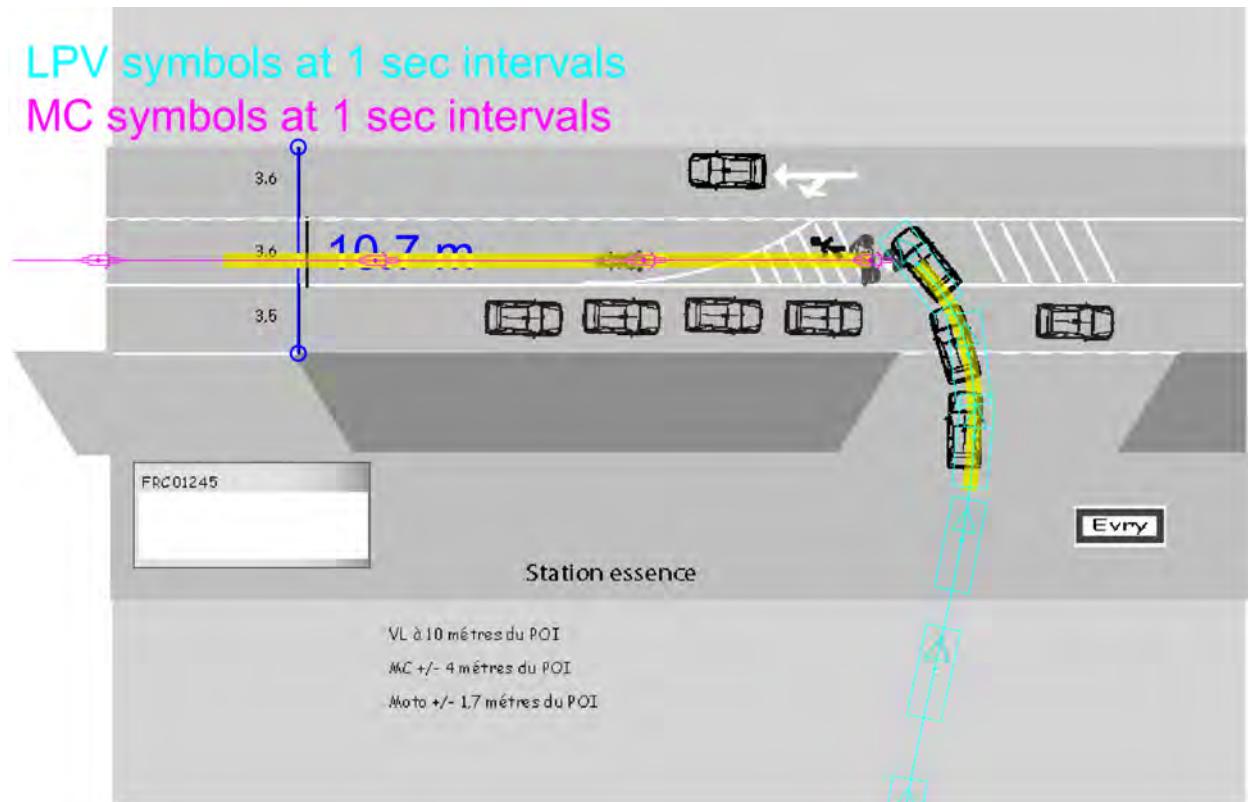


Fig. 8: Example estimated pre-crash trajectories with conflict and visual obstruction (case MAF01245)

## 4.2 Pre-crash LPV-PTW trajectories

The results for the 266 reconstructed cases are summarized in Figure 9 and Figure 10. Figure 9 shows the estimated motorcycle and moped trajectories relative to the LPV and indicated conflicts for the 3 sec prior to impact. The MC trajectories are shown on the left; the moped trajectories on the right. The dotted lines show the relative positions of the PTW cg at 0.1 sec time intervals. Therefore pre-crash trajectories with higher velocities have larger spacing between the dots compared to trajectories with lower velocities. The relative positions when  $C(t) = \text{true}$  are highlighted in yellow. Likewise Figure 10 shows the estimated LPV trajectories relative to the motorcycle (left) and moped (right), and the indicated conflicts.

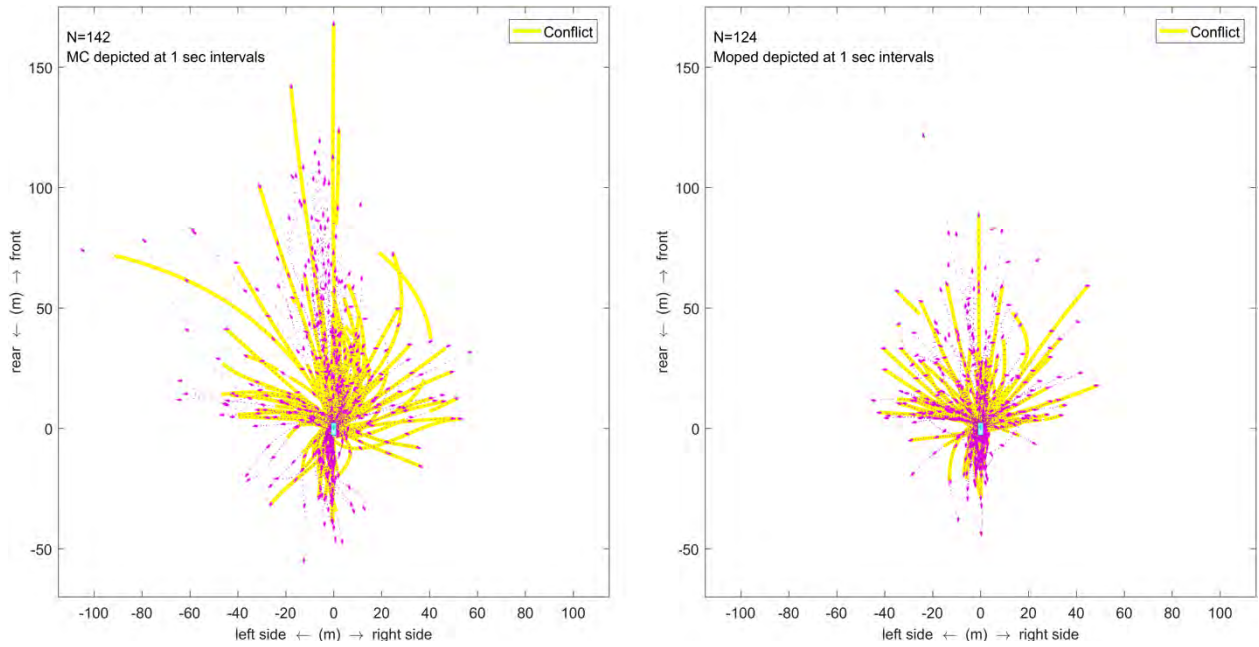


Fig. 9: Estimated PTW trajectories and conflicts relative to the LPV for the 3 sec prior to impact.

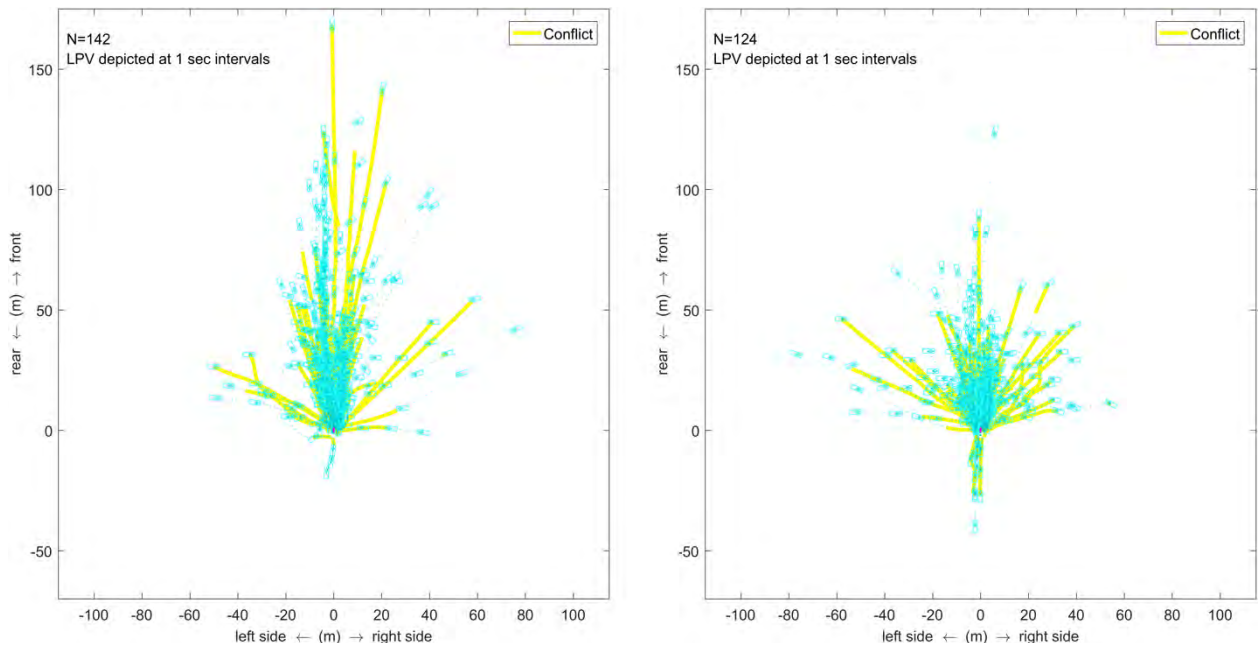


Fig. 10: Estimated LPV trajectories and conflicts relative to the PTW for the 3 sec prior to impact.

The results in Figure 9 indicate that PTW trajectory relative to the LPV trajectory is broadly distributed in direction, except for fewer cases approaching the LPV from the right rear quadrant. This is shown in more detail for the 1 sec prior to impact in Figure 11. These results are more widely distributed than corresponding results for the US reported in [5], which may reflect a wider range of intersection geometries in Europe compared to the US. These results also indicate that the LPV-MC closing velocities tend to be greater than the LPV-moped closing velocities.

The results in Figure 10 indicate that most of the LPVs approach the PTW from the front or side, and many approach the MC within approximately  $\pm 30$  deg, and moped within  $\pm 60$  deg. There are a small number of cases where the MC or moped was rear-ended.

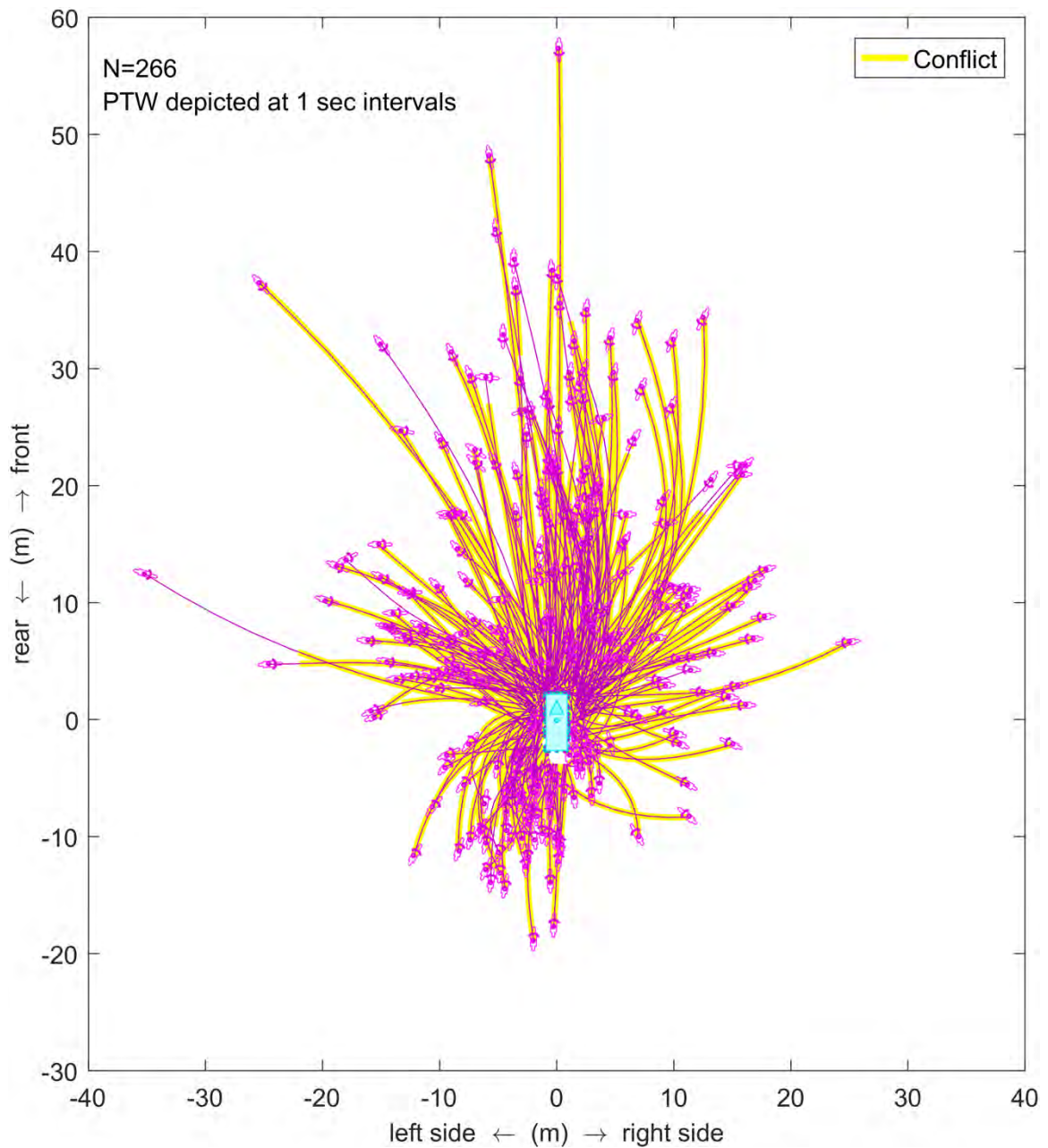
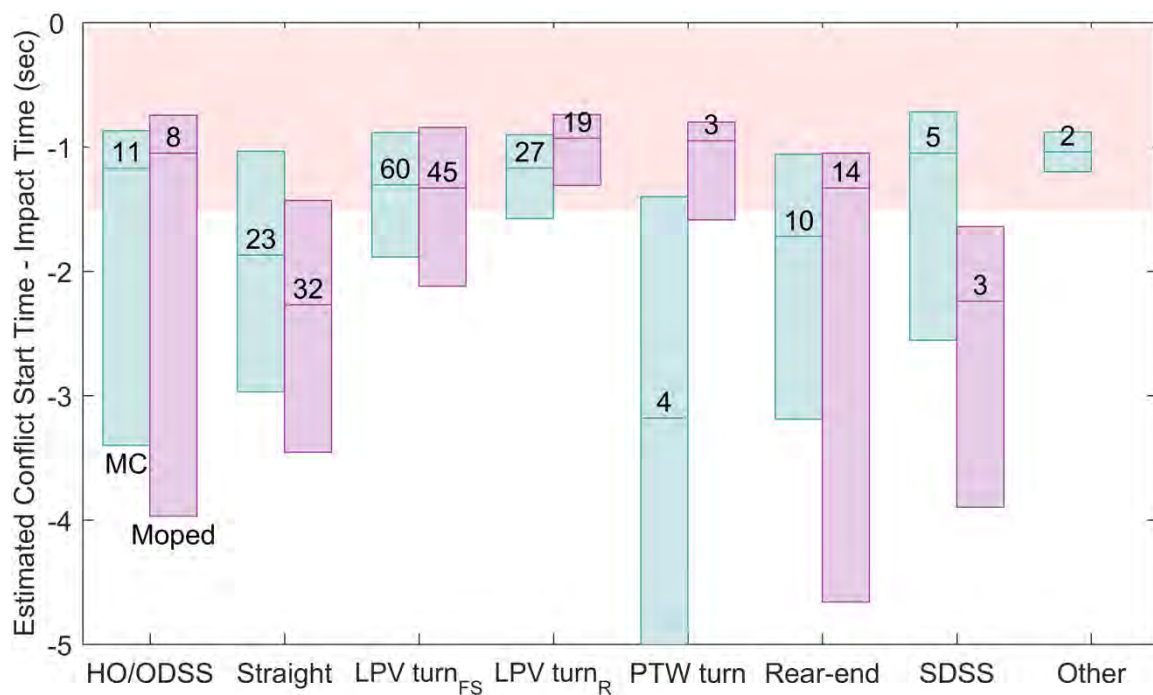


Fig. 11: Estimated PTW trajectories and relative to the LPV for the 1 sec prior to impact.

### 4.3 Pre-crash LPV-PTW conflicts

The highlighted conflict state results in Figure 9 and Figure 10 indicate that many of the conflicts begin less than 3 sec before impact. The median start time is approximately 1,3 sec before impact.

The distributions of the conflict start times by crash configuration group and PTW type are illustrated in Figure 12. The crash configuration groups on the horizontal axis of this graph are defined in terms of the coded OECD accident configuration variable (A.2.9) according to Table 2. The pre-crash trajectories and conflicts for each of these types are depicted in the Appendix. The vertical axis of this graph is the estimated conflict start time relative to the time of impact, which is a negative value. The vertical range of each box in this figure represents the 25th and 75th percentile values for the conflict start time, and the horizontal line in each box represents the 50th percentile value. There are two boxes for each crash configuration group. The results for motorcycles are depicted by cyan boxes on the left, and the results for mopeds are depicted by magenta boxes on the right. The number of cases for each crash configuration group and PTW type are indicated by the numerical value shown in each box.



Crash Configuration Group Based on Coded MAIDS A.2.9 data

Fig. 12: Boxplot distributions of estimated LPV-PTW conflict start times by crash configuration group and PTW type.

Table 2. Crash Configuration Groups in Figure 11.

Crash Configuration Group in Figure 12		OECD Accident Configurations
Mnemonic	Description	A.2.9
HO/ODSS	Head-on or Opposite Direction Side Swipe	01, 14
Straight	Going Straight	02, 03
LPV turn <sub>FS</sub>	LPV turning/PTW approaching from the front or side	04, 06, 07, 11
LPV turn <sub>R</sub>	LPV turning/PTW from the rear	05, 10, 16
PTW turn	PTW turning	08, 09
Rear-end	Rear-end	12, 13
SDSS	Same Direction Side Swipe	15
Other	Other	98

The results in Figure 12 indicate that 57% (151/266) of the reconstructed cases involved an LPV turning, as defined in Table 2. The cases involving LPV turning were further split into two crash configuration subgroups based on the direction the PTW approached the LPV. Fifty percent of the LPV turning/PTW approaching from the front or side conflicts started less than 1,3 sec before impact, and the quartile results indicate that middle 50% of the conflicts started between 0,9 sec and 2,1 sec before impact. These results were very similar for both MCs and mopeds. Likewise, 50% of the LPV turning/PTW approaching from the rear conflicts started less than 1,1 sec before impact, and the middle 50% of the conflicts started between 0,8 and 1,5 sec. The LPV turning conflict times for mopeds and motorcycles were similar. The moped turning conflict times were much shorter than the motorcycle turning conflict times, but this result was based on very few cases. The results in Figure 12 also indicate that some head-on/opposite direction sideswipe conflicts, and some moped rear-end conflicts also begin shortly before impact, whereas going straight conflicts begin longer before impact. Overall these results were similar to the corresponding results for the US reported in [5].

## 5 Discussion

The effectiveness of potential conflict and crash countermeasures may depend on how soon the conflict is detected before impact. For comparison, the results in Figure 13 illustrate the distribution of conflict start times and collision effectiveness (CE) results for different technology relevant crash types (TRCTs) from a previous ADAS evaluation reported in [5,9]. A CE value of 0 indicates the technology is not effective in avoiding the crash. A CS value of 1 indicates the technology completely eliminates the crash type. These results indicate that the conflicts for three of these four LPV-LPV TRCTs tended to begin sooner than the LPV-PTW conflicts. The conflicts for the fourth TRCT (sideswipes) began just

before impact and the estimated CE was 0. Overall these results indicate that the crash avoidance countermeasure tends to be more effective for TRCTs with earlier conflict start times. Similar effectiveness results were observed in [22].

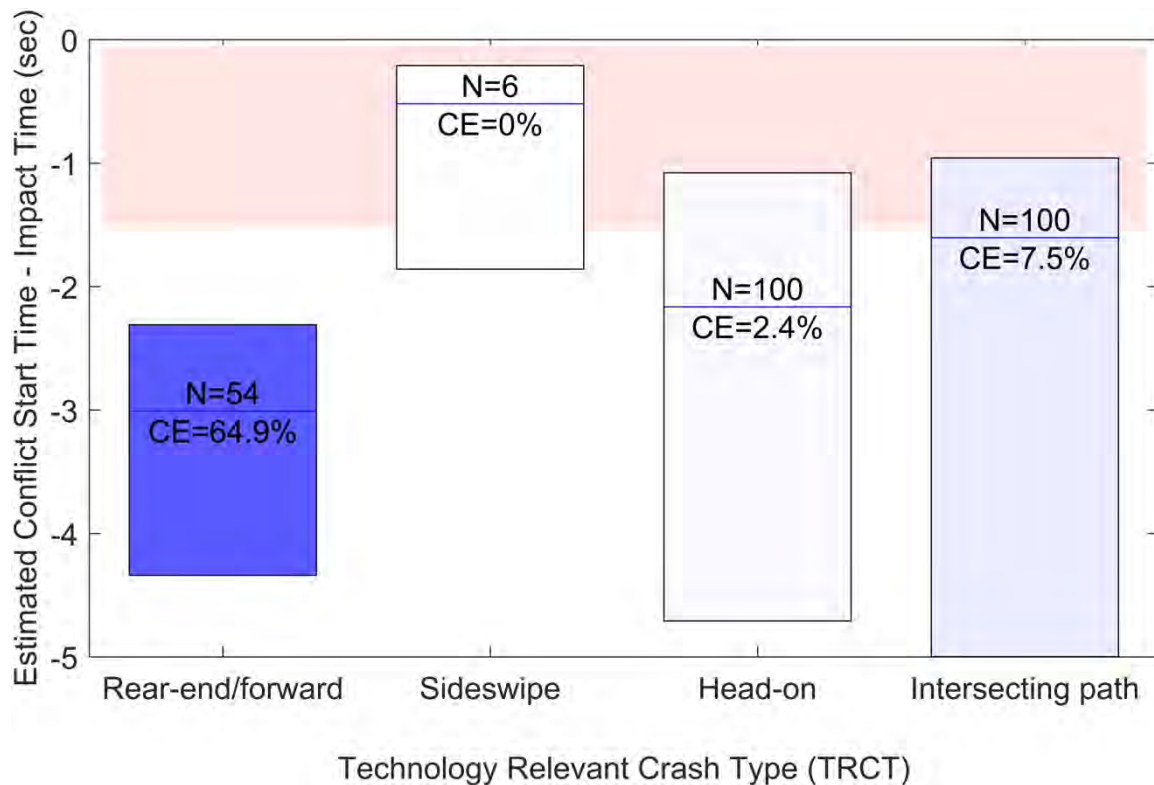


Fig. 13: Boxplot distributions of estimated LPV-LPV conflict start times for a prototype crash avoidance technology. [5]

According to Neale and Dingus, “[w]hen a driver is looking forward, driver reaction time averages about 1.5 seconds and may be as high as 2.5 or 3.0 seconds in all but the most extreme cases” [23]. Therefore countermeasures involving simple conflict detection (i.e., like  $C(t)$ ) and warning may not be effective in avoiding many LPV-PTW crashes. This is because there is insufficient time in nearly half of the reconstructed LPV-PTW crashes for the driver or rider to react to the warning in order to mitigate or avoid the crash.

As previously described, the results in Figure 12 indicate that the LPV turning/PTW approaching from the rear crash configuration group had the shortest pre-crash conflict times. The quartile and median times were 0,8, 1,1, and 1,5 sec respectively. The results in Figure A4 indicate many cases where the PTW may have been in the LPV blind spot during the conflict. However a BSW system might not have been able to detect a conflict and warn the driver with sufficient time to avoid a collision.

The results in Figure 12 indicate that the LPV turning/PTW approaching from the front or side crash configuration group also had short pre-crash conflict times. The quartile and median times were 0,9, 1,3, and 2,1 sec. Like the corresponding results from the US data, the EU results in Figure A3 indicate



that the cases from the front tended to have short conflict times, and there would have been insufficient time to detect and warn the driver before a collision.

Other potential countermeasures could be ADASs such as AEB that are not affected by the driver response time, or by detecting and warning the driver about the impending conflict sooner. The conflict could be detected sooner by changing the vehicle “contact” criteria to include close encounters or use more advanced sensors and algorithms. However this could also result in false alarms, which is undesirable.

The impending conflict could also be detected sooner if the vehicle operators detected each other and properly communicated their intended paths before the conflict starts. One way to achieve this is by maximizing visual scanning strategies and vehicle conspicuity, and proper use and detection of turn signals. This could also be enhanced by safety-relevant cooperative C-ITS V2V communications systems such as Motorcycle Approach Indication (MAI) and Motorcycle Approach Warning (MAW) [24]. C-ITS also has the potential to address conflicts that cannot be detected due to visual obstructions (e.g., MAIDS case MAF01245).

## 6 Limitations

The accuracy of the results are based on a number of assumptions, approximations, and limitations in the data and methods used, many of which are described in detail in [9]. These include the accuracy and representativeness of the MAIDS data, as well as the accuracy of the vehicle directional control models used.

Some known limitations of the MAIDS data are as follows. The assumed pre-crash vehicle speeds are based on coded values which were estimated by the MAIDS investigator based on the evidence available after the crash. Likewise the pre-crash vehicle paths depicted on the scene diagram were also based on evidence available after the crash. The scene diagrams also tend to be limited to scope to crash and pre-crash vehicle paths just prior to impact, and it was often necessary to extrapolate the paths to 10 sec before impact. In general the uncertainty in the pre-crash information increases the further back in time, and therefore the main results presented herein have been limited to the 3 sec epoch before impact. Another limitation of the MAIDS data is that there is little or no information about the positions and speeds of the other moving vehicles in the traffic flow, which could have obstructed the view of the collision partners, or constrained the pre-crash movements of the collision partners. There were also some minor inconsistencies in the coded data that were observed and corrected based on a review of the available coded data, scene diagrams, data summary sheets and worksheets. For example some of the coded data appeared to have sign errors, or direction errors, or data entry errors. Furthermore, some

cases with missing data, involving loss-of-control, and non-horizontal contact been excluded from the analysis because they are outside the scope of the current M-AART tool. Nonetheless, the MAIDS data is the largest known dataset for PTW crashes in the EU based on on-scene in-depth crash investigations that can be used to reconstruct the pre-crash vehicle trajectories for a large number of (i.e., 266) LPV-PTW crashes.

The lateral vehicle directional control models are also based on simplified rigid body models with linear approximations and assumed approximate vehicle parameter values. Nonetheless the reconstructed trajectories fit the digitized vehicle positions on the scene diagrams very well. The root-mean-square (RMS) values of the maximum differences between the estimated PTW trajectories and the digitized positions and heading angles for each of 266 cases were 0,5 m and 0,06 rad respectively. The corresponding RMS values for the LPV were 0,6 m and 0,11 rad respectively.

## 7 Summary/Conclusions

Pre-crash trajectories have been estimated for 266 crashes involving a light passenger vehicle (LPV) and a motorcycle or moped for the purposes of evaluating the effectiveness and benefits of crash avoidance technologies in avoiding or mitigating these types of crashes. This was accomplished by extending the tools to address LPV-PTW crashes. Pre-crash trajectories of 266 cases in the MAIDS database from France, Germany, and Italy were reconstructed using a new Motorcycle Automated Accident Reconstruction Tool (M-AART). The resulting pre-crash trajectories of the PTW as viewed from the LPV were broadly distributed in approach angle, except for a gap in the PTW approaching from the LPV from the right rear quadrant. There were very few cases where the LPV approached the PTW from the rear (e.g., rear-end).

Further analysis of these estimated pre-crash trajectories indicate that the conflicts begin later, and therefore with smaller TTC values, compared to LPV-LPV crashes that were reconstructed for previous ADAS evaluations. This may be partially due to the smaller “shadow area” of PTWs compared to LPVs, in which LPV-PTW close encounters do not result in a collision, but the same LPV-LPV trajectory would. Therefore LPV-PTW countermeasures may need to address the pre-conflict phase in order to be effective.

Overall these results based on the European MAIDS data were very similar to the results observed based on the US MCCS data.

This information can be used to guide further LPV-PTW crash avoidance research, including collecting and analyzing additional on-scene in-depth pre-crash and crash data, field operational experiments, driving simulator experiments, modeling and simulation. The results of this research can potentially

help to define requirements for LPV-PTW conflict and crash countermeasures (e.g., BSW, MAI, and MAW) and the development of performance confirmation tests (e.g., New Car Assessment Program (NCAP)). These pre-crash scenarios can also be integrated into the ACAT SIM Crash Sequence Simulation Module in order to estimate the safety benefits and effectiveness of potential countermeasures.

## 8 References

- [1] Annual Accident Report 2017, European Road Safety Observatory, European Commission, 2017  
([https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2017.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/asr2017.pdf), accessed 2018-06-25).
- [2] UN ECE, “Consolidated Resolution on the Construction of Vehicles,” ECE/TRANS/WP.29/78/Rev.2, United Nations Economic and Social Council, 2011.
- [3] Lenkeit, J. F. and Smith, T., “Preliminary Study of the Response of Forward Collision Warning Systems to Motorcycles,” 11th International Motorcycle Conference, Cologne, Germany, October 2016.
- [4] Van Auken, R.M., Lenkeit, J., and Smith, T., “Passenger Vehicle-Motorcycle Pre-Crash Trajectory Reconstruction Results based on an Extended Application of the NHTSA-Honda-DRI ACAT Safety Impact Methodology,” Paper No. 18-04891, Transportation Research Board Annual Meeting, Washington, DC, January 7-11, 2018.
- [5] Van Auken, R.M., Lenkeit, J., and Smith, T., “Passenger Vehicle-Motorcycle Pre-Crash Trajectory Reconstruction and Conflict Analysis Results Based On an Extended Application of the Honda-DRI ACAT Safety Impact Methodology,” SAE Technical Paper 2018-01-0510, 2018, doi:10.4271/2018-01-0510.
- [6] Anon., “Motorcycle Crash Causation Study,” accomplished by Oklahoma State University, Westat and Dynamic Sciences, Inc. for the FHWA, Turner Fairbank Highway Research Center, McLean, VA, 2016.
- [7] OECD, “Motorcycles: Common international methodology for in-depth accident investigations,” Organisation for Economic and Community Development, Paris, France, 2008.

- [8] MAIDS, “In-Depth Investigations of Accidents Involving Powered Two Wheelers, Final Report 2.0” ACEM, 2009 (<http://www.maids-study.eu/pdf/MAIDS2.pdf>, accessed 2017-11-13).
- [9] Van Auken, R.M., Zellner, J.W., Chiang, D.P., Kelly, J. et al., “Advanced Crash Avoidance Technologies (ACAT) Program – Final Report of the Honda-DRI Team,” Publication DOT HS 811 454, NHTSA, U.S. Department of Transportation, June 2011.
- [10] Van Auken, R.M., Lenkeit, J., and Smith, T., “Potential Application of the NHTSA-Honda-DRI ACAT “Safety Impact Methodology” (SIM) to the Evaluation of Automatic Emergency Braking System Effectiveness in Avoiding and Mitigating Collisions with Motorcycles,” Paper Number 17-0179, Proc. 25th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles (ESV), Detroit, June 5-8, 2017.
- [11] TRACE, “Deliverable 1.1, Road users and accident causation. Part 1: Overview and general statistics,” TRACE Project, August 2018 (<http://www.trace-project.org/publication/archives/trace-wp1-d1-1-v3.pdf>, accessed 2018-06-26).
- [12] Traffic Safety Basic Facts 2017 – Pedestrians, European Road Safety Observatory, European Commission, 2017 ([https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2017\\_pedestrians.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2017_pedestrians.pdf), accessed 2018-06-25).
- [13] Traffic Safety Basic Facts 2017 – Single Vehicle Accidents, European Road Safety Observatory, European Commission, 2017 ([https://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2017\\_single\\_vehicle\\_accident.pdf](https://ec.europa.eu/transport/road_safety/sites/roadsafety/files/pdf/statistics/dacota/bfs2017_single_vehicle_accident.pdf), accessed 2018-06-25).
- [14] Bryson, A.E. and Ho, Y., “Applied Optimal Control, Revised Printing,” (Washington, DC, Hemisphere Publishing, 1975), ISBN 0-89116-228-3.
- [15] Anon., “Special Issue: Speed,” Status Report, Vol. 43, No. 1, 31, Insurance Institute for Highway Safety, January 2008.
- [16] Bundorf, R.T. and Leffert, R.L., “The Cornering Compliance Concept for Description of Vehicle Directional Control Properties,” SAE Technical Paper 760713, 1976, doi:10.4271/760713.
- [17] Weir, D.H. and Zellner, J.W., “Lateral-Directional Motorcycle Dynamics and Rider Control,” SAE Technical Paper 780304, 1978, doi:10.4271/780304.

- [18] Weir, D.H., Zellner, J.W., and Teper, G.L., “Motorcycle Handling, Volume II: Technical Report,” Publication DOT HS 804 191, NHTSA, U.S. Department of Transportation, 1978.
- [19] Zellner, J.W. and Weir, D.H., “Moped Directional Dynamics and Handling Qualities,” SAE Technical Paper 790260, 1979, <https://doi.org/10.4271/790260>.
- [20] Amundsen, F. H., Hyden, C. (Eds.), “Proceedings from the first workshop on traffic conflicts,” Oslo, Norway 26-27 September 1977, ISBN 82-7133-195-7.
- [21] Hayward, J.C., “Near miss determination through use of a scale of danger,” Highway Research Record 384:24-34, 1972.
- [22] Scanlon, J.M., Sherony, R., Gabler, H.C., “Injury mitigation estimates for an intersection driver assistance system in straight crossing path crashes in the United States,” Traffic Injury Prevention, 18:sup1, S9-S17, 2017, DOI: 10.1080/15389588.2017.1300257.
- [23] Neale, V.L. and Dingus, T.A., “Motor Vehicle Warnings,” in “Handbook of Warnings,” (Mahwah, NY, Lawrence Erlbaum Associates, 2006), 687-700, doi: 10.1177/106480460701500307.
- [24] Fischer, H., Kohlinger, O., and Purschwitz, A, “Motorcycles in connected traffic – a contribution to safety”, 11th International Motorcycle Conference, Cologne, Germany, October 3, 2016.

## 9 Contact Information

R. Michael Van Auken  
355 Van Ness Avenue, Suite 200  
Torrance, California 90501  
United States  
RMV@DynRes.com  
+1-310-212-5211.

## 10 Acknowledgments

The European Association of Motorcycle Manufacturers (ACEM) provided the MAIDS database. Gratitude is expressed to Antonio Perlot, Veneta Vassileva, and John Paul Peters for their assistance.

Thanks to DRI staff member Paul Satrom for his assistance digitizing the scene diagrams for the M-AART reconstructions.

## 11 Definitions/Abbreviations

AART	Automated Accident Reconstruction Tool (Honda-DRI ACAT SIM TOOL Module 1.3).
ACAT	Advanced Crash Avoidance Technology.
ACEM	European Association of Motorcycle Manufacturers ( <a href="https://www.acem.eu/">https://www.acem.eu/</a> ).
AEB	Automatic Emergency Braking.
AIS	Abbreviated Injury Scale, A whole number injury scale from 0 to 6, where 0 represents no injury and 6 maximal injury, published by the Association for the Advancement of Automotive Medicine.
BSW	Blind Spot Warning
$C(t)$	The estimated state of conflict at time $t$ based on the vehicle positions and velocities at time $t$ . $C(t)$ is defined herein as true if and only if the vehicles will eventually contact if their velocities remain constant
CE	Collision Effectiveness – a measure of the ability to avoid a crash
C-ITS	Cooperative Intelligent Transportation System
DRI	Dynamic Research, Inc. ( <a href="http://www.dynres.com/">http://www.dynres.com/</a> ).
FCW	Forward Collision Warning.
FHWA	US Department of Transportation Federal Highway Administration ( <a href="https://www.fhwa.dot.gov/">https://www.fhwa.dot.gov/</a> ).
L1	“A two-wheeled vehicle with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine not exceeding 50 cm <sup>3</sup> and whatever the means of propulsion a maximum design speed not exceeding 50 km/h” as defined in UN/ECE/TRANS/WP.29/78 Rev 2. (i.e., a moped).
L3	“A two-wheeled vehicle with an engine cylinder capacity in the case of a thermic engine exceeding 50 cm <sup>3</sup> or whatever the means of propulsion a maximum design speed exceeding 50 km/h” as defined in UN/ECE/TRANS/WP.29/78 Rev 2. (i.e., a motorcycle).
LPV	Light passenger vehicle, comprising passenger cars, light trucks and vans.

LTA	Left Turn Assist.
M-AART	A specialized version of the AART for LPV-PTW crashes.
MAI	Motorcycle Approach Indication, a C-ITS V2V technology.
MAIDS	Motorcycle Accidents In-Depth Study [8] ( <a href="http://www.maids-study.eu/">http://www.maids-study.eu/</a> ).
MAW	Motorcycle Approach Warning, a C-ITS V2V technology
MC	Motorcycle (L3 vehicle).
MCCS	Motorcycle Crash Causation Study [6].
NASS	National Automotive Sampling System ( <a href="https://www.nhtsa.gov/research-data/national-automotive-sampling-system-nass">https://www.nhtsa.gov/research-data/national-automotive-sampling-system-nass</a> ).
NCAP	New Car Assessment Program (e.g., EuroNCAP)
NHTSA	US Department of Transportation National Highway Traffic Safety Administration ( <a href="https://www.nhtsa.gov/">https://www.nhtsa.gov/</a> ).
OECD	Organisation for Economic Co-operation and Development ( <a href="https://www.oecd.org/">https://www.oecd.org/</a> ).
POV	Principal other vehicle.
PTW	Powered two wheeler, comprising L1 and L3 vehicles.
SIM	Safety Impact Methodology.
TRCT	Technology Relevant Crash Type.
TTC	Time-to-Collision.
V2V	Vehicle-to-Vehicle [Communications].

## 12 Appendix – Precrash Trajectories and Conflicts by Crash Configuration Group

The estimated pre-crash trajectories and conflicts for the 3 sec prior to impact are illustrated in Figures A1 through A8 for the 8 crash configuration groups defined in Table 2. The graph on the left side of each figure depicts the position of the PTW relative the LPV in the LPV frame, and is a subset of the cases depicted in Figure 9. The graph on the right side of each figure depicts the position of the LPV relative to the PTW in the PTW frame, and is a subset of the cases depicted in Figure 10. The yellow highlighting indicates the positions and velocities that are in a state of conflict defined herein as  $C(t) = \text{true}$ .

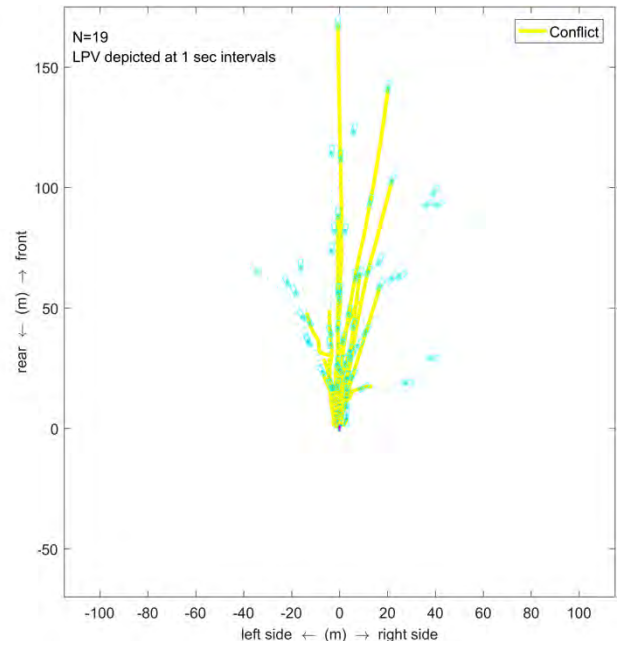
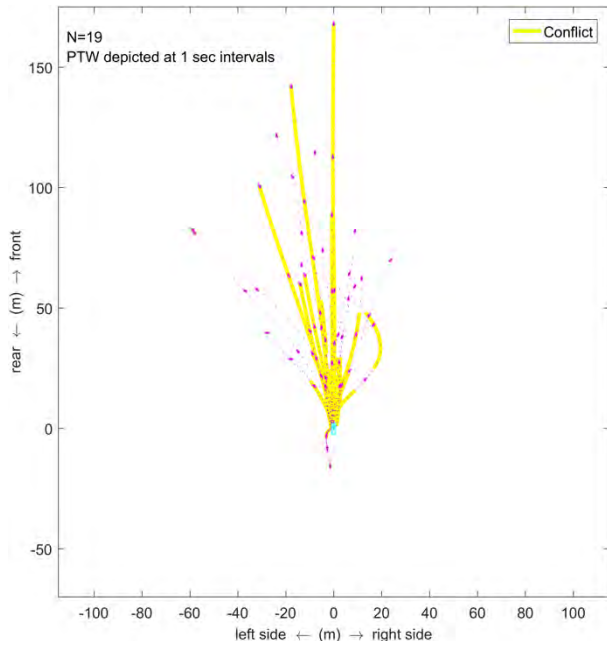


Fig. A1: Head-on or Opposite Direction Side Swipe.

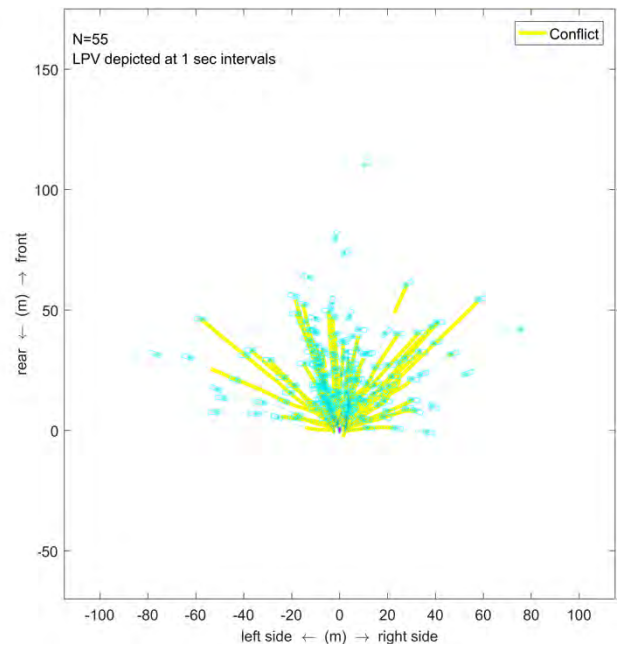
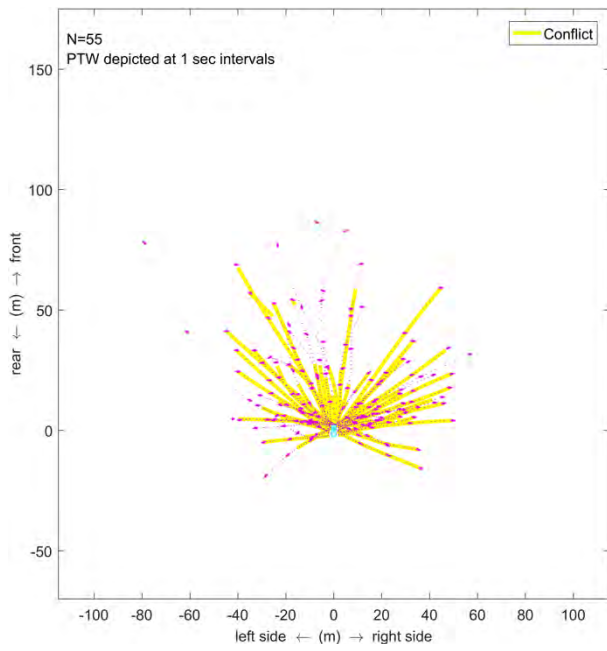


Fig. A2: Going Straight.



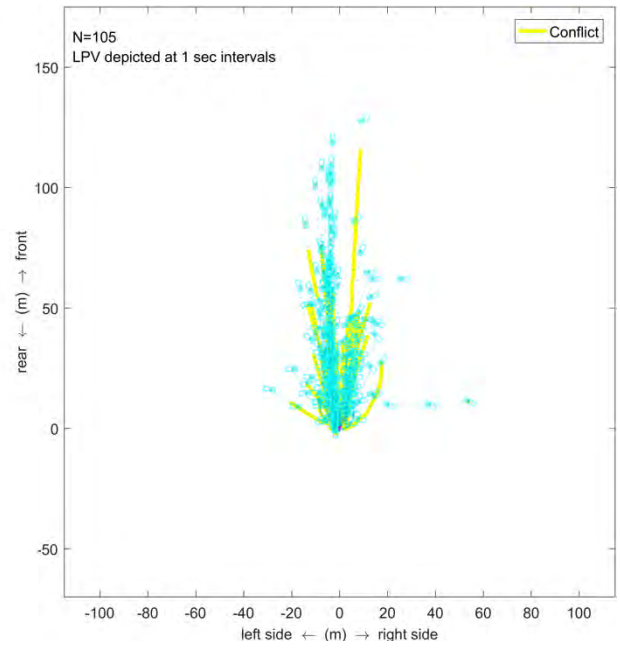
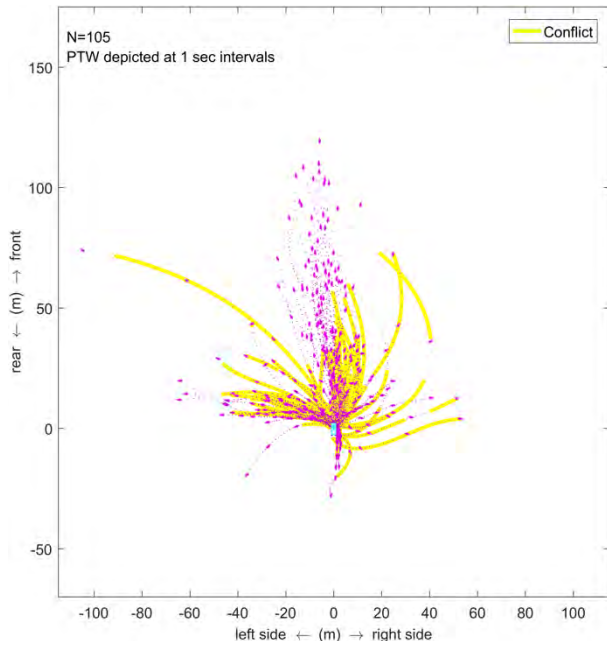


Fig. A3: LPV turning/PTW approaching from the front or side.

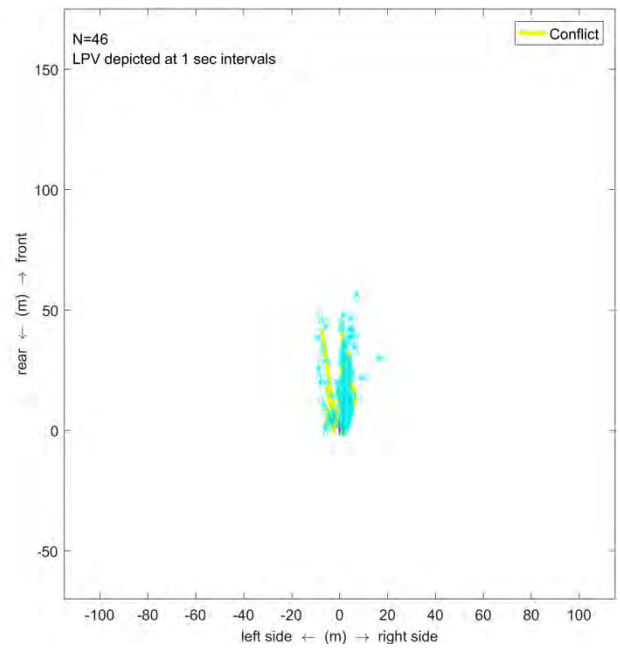
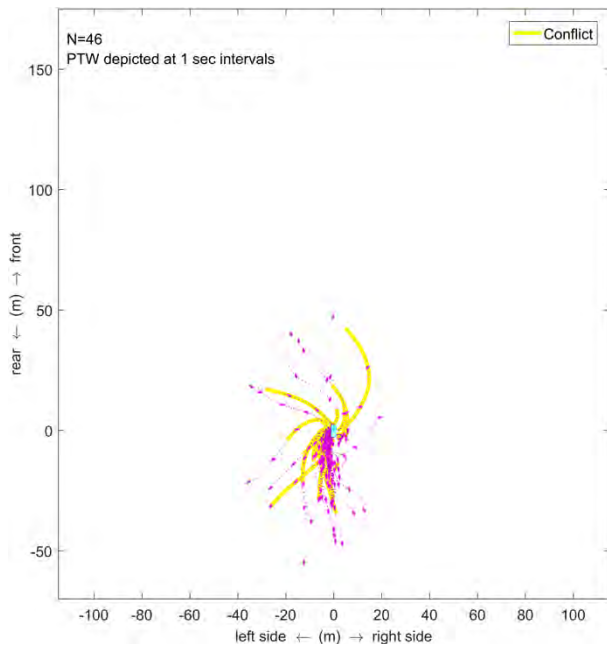


Fig. A4: LPV turning/PTW from the rear.

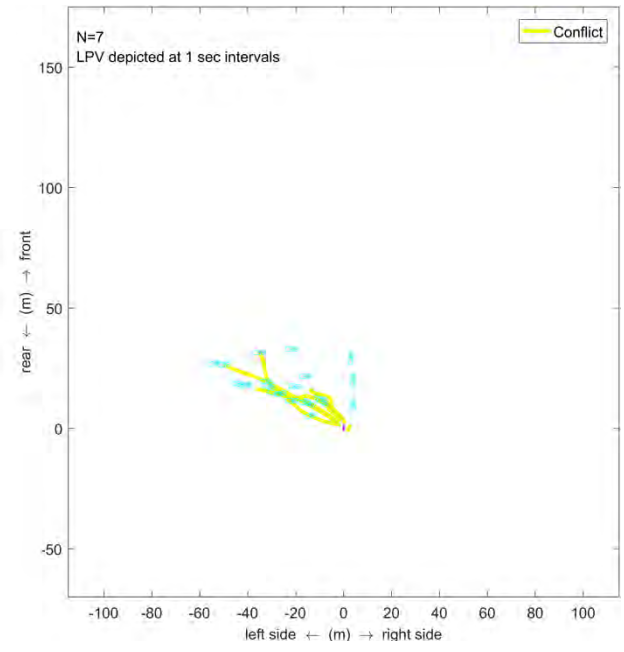
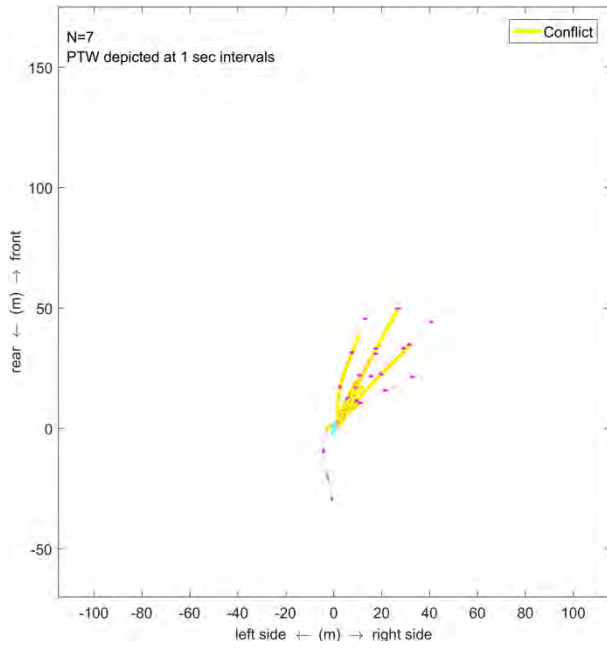


Fig. A5: PTW turning.

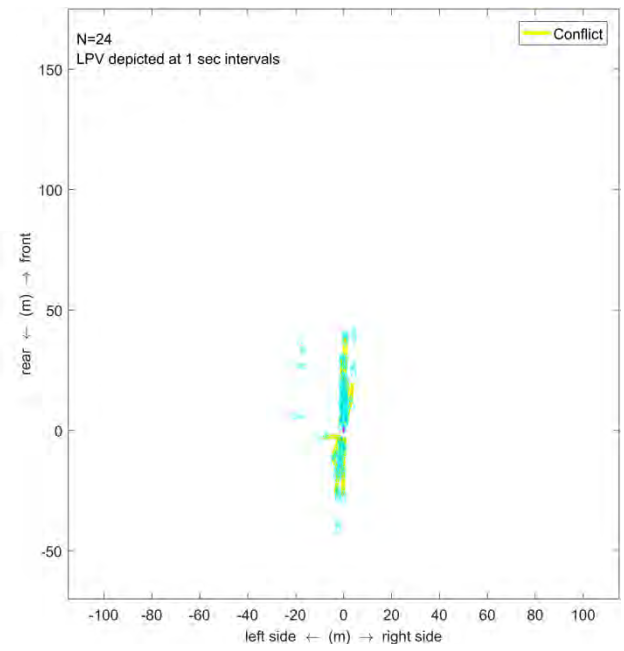
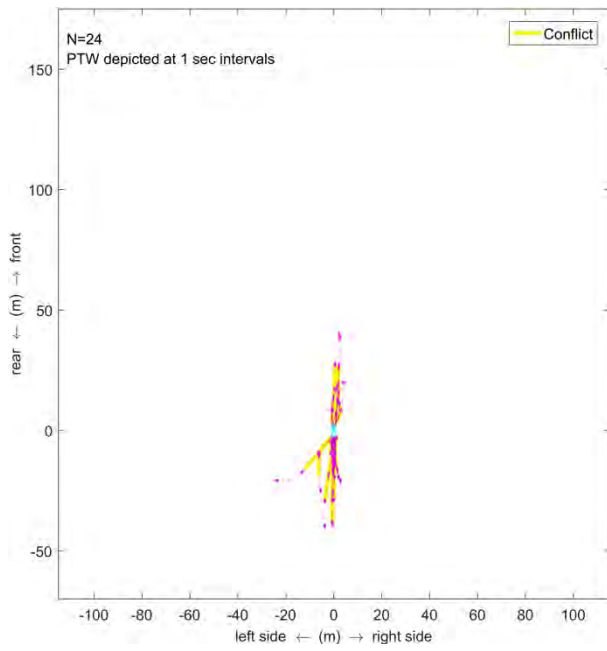


Fig. A6: Rear-end.

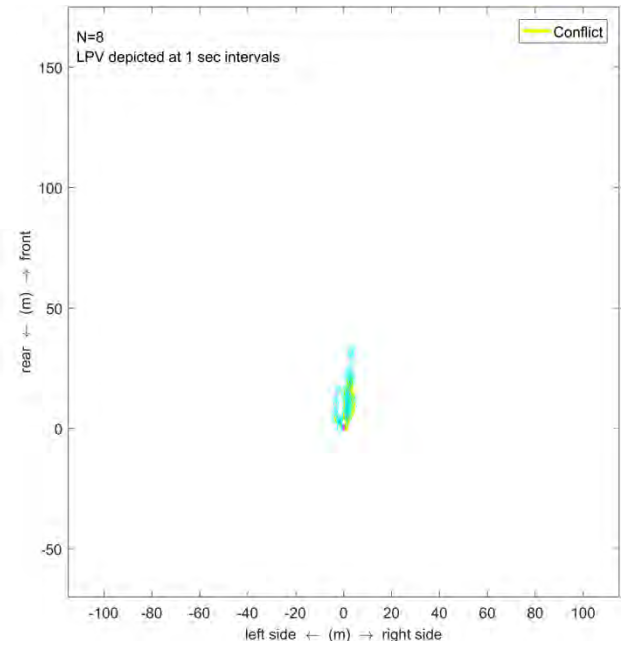
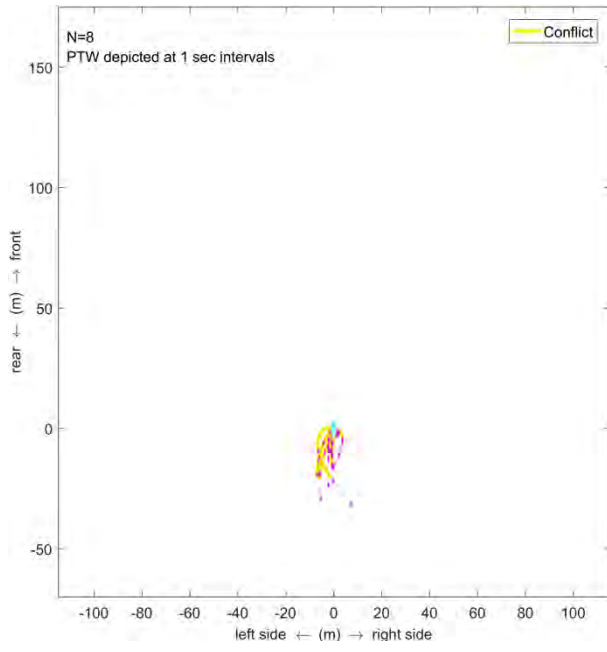


Fig. A7: Same Direction Side Swipe.

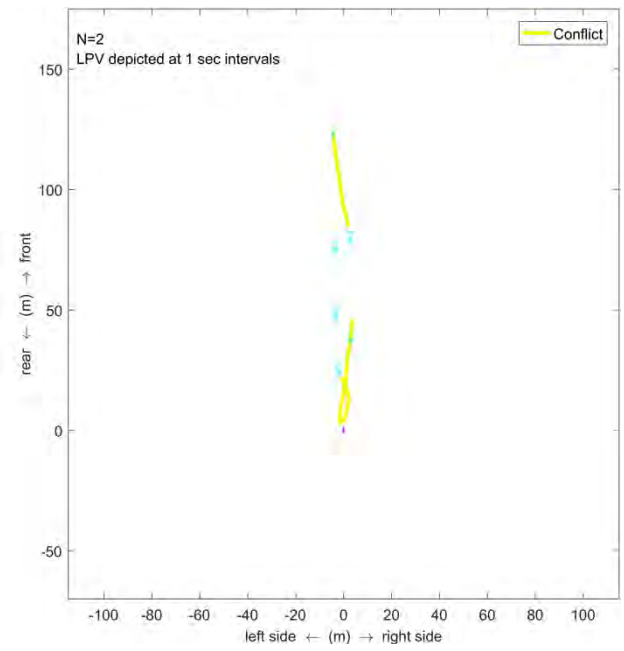
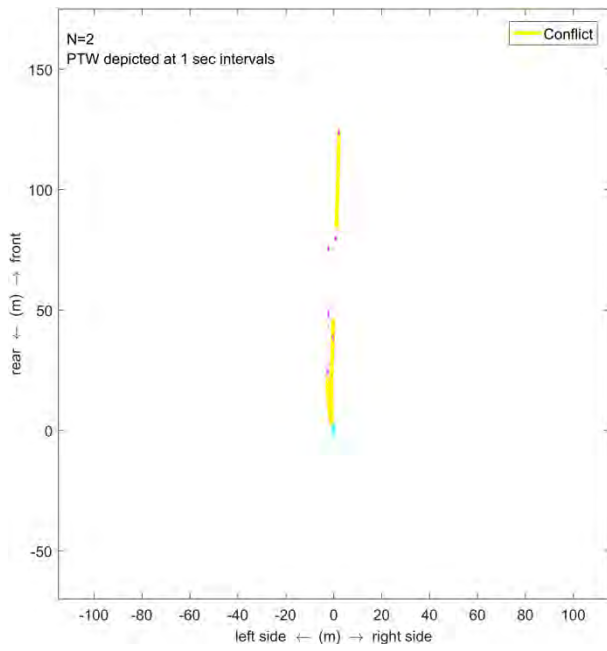


Fig. A8: Other Crash Configuration.

# The Day of the Motorcyclist

Wouter De Clercq

Vlaamse Stichting Verkeerskunde (VSV), Belgium

## Abstract

Motorcyclists are a vulnerable group of road users. Studies show that March and April are crucial months with a high number of motorcyclists involved in traffic accidents. On the one hand, a thorough check of the motorcycle and safety gear as well as the rider's skills are essential for a safe start of the riding season. On the other hand, other road users haven't seen a motorcyclist on the road for a long time and they are not looking for, nor expecting to see one. Therefore, the Day of the Motorcyclist is held at the beginning of the riding season. Our goal is to offer motorcyclists of all levels an educational as well as amusing day.

Together with our partners, we organise a free agility course and check-up on 12 different locations in Flanders. During the agility course, motorcyclists do a set of exercises to train their physical skills and test their mental processing ability. Afterwards, the professional trainers give them tips and tricks to further improve their skills. During the event, we also offer information about safe motorcycling to make them aware of a good attitude and correct risk awareness on the road. All motorcyclists participating in the agility course receives a goodiebag with interesting literature about safe motorcycling, various gadgets for motorcyclists and discount coupons. They also get a chance to win one of the many prizes: a voucher of 1,000 euro to spend in a motorcycle clothing store, a set of new Michelin motorcycle tyres, vouchers for a Ready to Ride motorcycle training, a one year free motorcycling insurance, ... Lastly, we ask motorcycle stores to organise an open house day on the day of the event.

The Day of the Motorcyclist is a low-threshold event to introduce motorcyclists to our Ready to Ride motorcycle training, wherein we focus on safe motorcycling on public roads. During the training, professional trainers provide motorcyclists with intensive guidance as they work on insight, awareness raising and behavioral change in this vulnerable target group. The enrollment peak in March for the Ready to Ride trainings proves the usefulness of this large-scale event.

Contact:

Wouter De Clercq

Wouter.declercq@vsv.be

+32 15 44 32 65

You can see the presentation slides on the following pages, or [click here to open the Powerpoint file](#).

## The Day of the Motorcyclist



# THE DAY OF THE MOTORCYCLIST

AN INITIATIVE OF

## THE VSV

(FLEMISH FOUNDATION FOR TRAFFIC  
KNOWLEDGE)



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



Aftermovie '17

An aerial photograph of a motorcycle event. A road with a red dashed line runs diagonally from the bottom left towards the center. To the right of the road is a large parking lot filled with cars and motorcycles. In the background, there are several buildings, including a large blue cylindrical tank with the 'Roland' logo. The sky is clear and blue. Three large red vertical bars are positioned on the left side of the image, partially overlapping the text.

# DAG VAN DE MOTORRIJDER

ZONDAG 26 MAART 2017



# WHAT IS DAY OF THE MOTORCYCLIST?

- Motorcycle season kick-off
- For every motorcyclist in Flanders
- An amusing and educational day full of activities
- Supported by many organisations
- Creating more road safety for motorcyclists



# Technical check-ups



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



# Agility courses



**Vlaanderen**  
is veiliger verkeer



# First aid for motorcycle accidents



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



VSV  
IEDEREEN MEE  
VOOR VEILIG VERKEER

# Test rides on new motorcycles



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



IEDEREEN MEE  
VOOR VEILIG VERKEER

# Awareness raising



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



# Free goodiebags



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



# Offroad initiations



**Vlaanderen**  
is veiliger verkeer







# Guided tours by road captains and police



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



# Day of the Motorcyclist in numbers

- **13 participating locations in Flanders**
- **More than 3000 motorcyclists**
- **More than 80 helping organisations**
  - *Driving school/training centers*
  - *Police zones*
  - *Motorcycle stores*
  - ...
- **4th edition: Sunday 31 March 2019**





















# Contact

Wouter De Clercq

[wouter.declercq@vsv.be](mailto:wouter.declercq@vsv.be)

+32 15 44 32 65



Vlaanderen  
is veiliger verkeer



VSV  
IEDEREEN MEE  
VOOR VEILIG VERKEER

# Motorcycling in Brazil: An Overview

João Tavares Pinho

My Way MS, Brazil

## Abstract

This paper presents the current situation of motorcycling in Brazil, describing the traffic regulations concerning motorcycles, rider's training and what is necessary to get a driver's license, listing motorcycle manufacturers, dealers, sales and accident statistics, motorcycle sports, clubs, events and tourism, as well as giving some information on motorcycle safety, advanced training schools, and motorcycle publications available in the country. Due to the fact that it is a very extensive subject the paper presents only a brief overview of motorcycling in Brazil and has no intention of being complete.

## Motorcycling in Brazil: An Overview

# 1 Introduction

Motorcycling has always been a very interesting and important matter in Brazil, although the Brazilian motorcycle industry is relatively new when compared to other countries. Even before the first motorcycle was manufactured in Brazil, many people owned imported models from different manufacturers, mainly with powerful motors with hundreds of cubic centimeters. The first motorcycles came to Brazil between 1907 and 1909 and, although being first used as transportation means, they were also used for sport competitions, mainly in the state of São Paulo.

The first motorcycle manufacturer to operate in Brazil was the Japanese Yamaha, in 1970, at first selling imported motorcycles and spare parts, and offering services, and then started its factory in Guarulhos, São Paulo, in 1974.<sup>[1]</sup>

Currently, many motorcycle brands are present in Brazil, some of them only selling imported models, others developing and manufacturing their models, and others just assembling them in the country with many parts coming from abroad. The imported and assembled models all have gasoline motors, but many models developed and manufactured in Brazil have dual-fuel motors, working with both gasoline and ethanol. Although ethanol has been used in automobiles in Brazil since 1978 and some experiments with motorcycles were made by Honda in the 1980s, the dual-fuel (also called flex-fuel) motors started to be used in motorcycles only in 2009. Anyway, ethanol is used in all Otto-cycle vehicles in Brazil, since all gasoline sold in Brazil has an ethanol content of 27 %. This, of course, is not very good for the imported motorcycles or the ones which are only assembled in the country, since their motors are not intended to work with such a high percentage of ethanol.

## 2 Traffic Regulations Concerning Motorcycles

In Brazil, like in most countries in the world, all motor vehicles must be driven on the right side of the streets and roads, and overtaken is made by the left side. Although there is no clear rule for motorcycle lane-filtering (lane-splitting), in the entire country motorcycles are allowed to filter between the street lanes, provided it does not cause dangerous situations. This has brought several controversies since it is not clear what these dangerous situations may be.

Although recommended, the use of full motorcycle gear is not obligatory, with the exception of the helmet, which has to be approved by the *Instituto Brasileiro de Metrologia, Qualidade e Tecnologia – INMETRO* (Brazilian Institute for Metrology, Quality, and Technology). All types of helmets are permitted with the exception of the so-called “*coquinho*”, which does not protect the face and a large part of the head (Figure 1).



Fig. 1: "Coquinho" helmet.  
Source: Internet photo.

The traffic violations are divided in four categories according to their severity: "light", "medium", "severe", and "very severe". According to the category, the fines have different values and there is also an associated point system, which assigns 3 points to the "light", 4 to the "medium", 5 to the "severe", and 7 to the "very severe". When a driver reaches 20 points in the period of 12 months he/she has the license suspended and has to go through an educational process to be able to receive a new license.

Examples of violations in the different categories are: light – park incorrectly, abusive use of the horn; medium – park in prohibited places, exceed the speed limit up to 20 %; severe – drive a motorcycle without holding the handlebar with both hands, exceed the speed limit between 20 and 50 %; very severe – drive a vehicle without license, overtake in prohibited places, drive under effect of alcohol or drugs. Most of the severe violations also result in license suspension for a given time period.

Concerning driving impairment, in Brazil a blood alcohol concentration (BAC) equal to or higher than 0.05 mg/L, measured from a breath sample with a breathalyzer, is considered a violation of Article 165 of the Brazilian Traffic Code (*Código de Trânsito Brasileiro - CTB*)<sup>[2]</sup> and punished with a traffic ticket and the suspension of the driving right for 12 months. A BAC equal to or higher than 0.34 mg/L (or 6 dg/L of blood in a laboratory test), besides being considered a violation to Article 165 of the CTB, is also considered a traffic crime according to Article 306 of the CTB, and punished with the above mentioned penalties plus imprisonment. The Normative Resolution 432, from January, 2013 of the *Conselho Nacional de Trânsito - CONTRAN* (National Traffic Council) establishes the penalties to be applied.<sup>[3]</sup>

In Brazil, all automotive vehicles must have a personal injury insurance, called *Danos Pessoais Causados por Veículos Automotores de Via Terrestre – DPVAT* (Personal Injury Caused by Automotive Land Vehicles), which is managed by an insurance company named *Seguradora Líder*. DPVAT exists since 1974 and is an insurance of social character which indemnifies victims of traffic accidents, whether driver, passenger or pedestrian, without necessity of guilty verdict, offering three types of coverages:



death, permanent disability, and reimbursement of medical and hospital expenses. The funds are financed by all vehicle owners by means of a payment at the occasion of the annual vehicle licensing renewal. The funds are divided in three parts: 45 % go to the *Sistema Único de Saúde – SUS* (Unified Health System) of the *Ministério da Saúde* (Ministry of Health), to cover the victims' medical and hospital expenses; 5 % go to the *Departamento Nacional de Trânsito - DENATRAN* (National Traffic Department) of the *Ministério das Cidades* (Ministry of Cities), for application exclusively in programs of traffic accident prevention; and the remaining 50 % are used for the victims' indemnities.

### 3 Driver's License and Rider's Training

Presently there are five driver's license categories in Brazil: "A" for all types of motorcycles, trikes, and quadricycles; "B" for private automobiles and small pickup trucks, under a total weight of 3.5 tons; "C" for large trucks, above 3.5 tons; "D" for passenger transportation vehicles, with capacity for more than eight passengers, such as buses, and vans; and "E" for trucks and other large vehicles with trailers weighting more than 6 tons.

The Brazilian Traffic Code (*Código de Trânsito Brasileiro – CTB*), from 1998, establishes only one category for motorcycle license, which has proven to be a big mistake. The fact that there is only one category of driver's license for motorcyclists has resulted in many problems and even serious accidents, since many people pass their license examination using a small 125 cubic centimeters (cc) motorcycle and then go driving a large one with more than 1,000 cc. To try to solve this problem a federal law project has been approved, and its regulation is under way, to have three different categories: "A1" for motorcycles up to 300 cc; "A2" for motorcycles up to 700 cc; and "A3" for all motorcycles, trikes and quadricycles.

To apply for the driver's license the candidate must be at least 18 years old, attend a course at a driving school, and pass four examinations: medical, psychological, theoretical and practical. The first license is provisory and limited to one year, and if the driver does not commit severe or very severe violations during this period, he/she receives the definitive license, which is valid for five years, after which the driver has to undergo a medical examination to renew it for another five-year period, and so on.

The examination tests are somewhat different in the 26 states and the Federal District, but are considered to be very simple and do not prove the rider's real ability to control the motorcycle properly. Most of the normal motorcycle driving schools, which should prepare the future riders, are not well suited for the job. They are much more concerned in preparing the riders to pass the simple examination than to make them skillful riders, who can ride safely in the normal daily traffic. Of course, there are several

courses which provide advanced training, but it is not necessary to attend them to get the driver's license.

Among the many motorcycle schools which offer advanced training, sometimes specific for a given style, the most well-known are: Moto School ([www.motoschool.com.br](http://www.motoschool.com.br)); TRX ([www.triumphexperience.com.br](http://www.triumphexperience.com.br)); BMW Rider Experience ([www.bmwridereperience.com.br](http://www.bmwridereperience.com.br)); Moto Atacama ([www.motoatacamaentretenimento.com.br/cursos](http://www.motoatacamaentretenimento.com.br/cursos)); Jean Azevedo Off-Road School ([www.offroadschool.com.br](http://www.offroadschool.com.br)); and Motors Company ([www.motorscompany.com.br](http://www.motorscompany.com.br)).

## 4 Motorcycle Market

Seventeen motorcycle brands are regularly commercialized in Brazil, which are: BMW, Dafra, Ducati, Harley-Davidson, Honda, Indian, JTZ Kimco/Haojue, Kawasaki, KTM, Piaggio, Royal Enfield, Shin-eray, Suzuki, Traxx, Triumph, Vespa, and Yamaha.

Some of these brands have factories to manufacture their models developed in the country, or assemble models with parts coming from abroad, and others have only dealers, who sell imported models. Among those which have factories are: BMW; Dafra; Ducati; Harley-Davidson; Honda; JTZ; Kawasaki; Suzuki; Triumph; and Yamaha.

Although the motorcycle market has grown in the past years, Indian Motorcycle, which started its operation in Brazil in October 2015, importing and commercializing seven models, has recently announced that it is leaving the Brazilian market due to the small amount of sales. The post-sales services, such as guarantee, spare parts, and maintenance will continue through the authorized workshops and Polaris dealerships (Figure 2).



Fig. 2: Polaris website showing the suspension of operation in Brazil.  
Source: [www.indianmotorcyclebrasil.com](http://www.indianmotorcyclebrasil.com).

Despite the political and economic crises that the country has gone through in the past three years, the motorcycle manufacturers ended the month of July this year with 96,277 produced units, which represent a growth of 34.7 % when compared to the same month last year. Comparing the first seven months of 2018 with the same period in 2017, the growth was 19.3 %, with 590,961 units being produced. The Brazilian Association of Manufacturers of Motorcycles, Mopeds, Bicycles and Similar (*Associação Brasileira dos Fabricantes de Motocicletas, Ciclomotores, Motonetas, Bicicletas e Similares – ABRACICLO*), founded in 1976, projects an accumulated growth of about 5.9 % for 2018.<sup>[4,5]</sup>

The sales numbers in July this year were also positive, with 88,773 units being passed along to be sold by the dealers, which is 36.9 % higher than the same period last year, and the accumulated in the first seven months (540,084 units) of this year was 15.6 % higher than in the same period of 2017.<sup>[5]</sup>

Concerning vehicle licensing in May 2018, the numbers of the National Registry of Automotive Vehicles (*Registro Nacional de Veículos Automotores – RENAVAM*) indicate 82,118 units, which is 26.4 % higher than in May 2017, and the accumulated for the first five months of 2018 is 301,422, which is 9.2 % higher than in the same period in 2017.<sup>[6]</sup>

Also positive were the numbers for the motorcycles exported to other countries in April, which were 75.4 % higher than for the same month in 2017. The exports were mainly to Argentina (77.6 %), USA (10.9 %), Colombia (4.5 %), Mexico (2.1 %), and Australia (2.1 %).

Figures 3 (a), (b) and (c) show the Brazilian licensing ranking as of May 2018, and Figures 4 (a) and (b) present the prices (in Brazilian Reais) for all models sold in the country.<sup>[6]</sup>

# Melhor que as expectativas

Os bons números nos cinco primeiros meses do ano levam projeções a um crescimento de até 10% em 2018

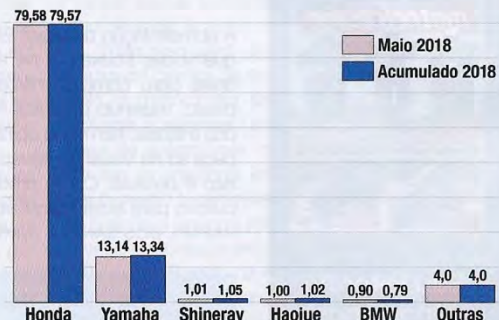
Falando de emplacamentos, apesar da pequena queda (-1,1%) em relação a abril, fechamos maio 2,2% acima do mesmo mês de 2017 e, no acumulado do ano, esse ganho chega a 7,7%, o que representa importantes 27 300 unidades. Ainda é cedo para "oficializar" — afinal é ano de eleições e a recente greve dos caminhoneiros paralizou as linhas de produção de algumas marcas —, mas se tudo seguir assim, já se comenta nos bastidores que podemos crescer dois dígitos em 2018, o que seria excepcional depois de seis anos de retração. *por Gabriel Berardi*

## LICENCIAMENTOS POR MOTO

Pos.	Modelo	Maior/18	Abril/18	Varição %	Acum. 2018	Acum. 2017
1º	Honda CG 150 / 160 Fan / Start	15 633	16 346	-4,4	75 276	170 000
2º	Honda NXR 160 Bros	11 131	6 389	74,2	45 155	111 887
3º	Honda Pop 100 / 110i	7 440	7 189	3,5	33 938	80 602
4º	Honda Biz 125i	6 677	7 049	-5,3	31 921	59 239
5º	Honda CG 150 / 160 Titan	5 418	5 213	3,9	25 164	58 201
6º	Honda Biz 100 / 110i	5 076	4 791	5,9	23 172	50 581
7º	Honda CB 250F Twister	2 529	3 155	-19,8	13 000	22 667
8º	Honda PCX	2 415	2 682	-10,0	13 215	28 072
9º	Honda XRE 300	2 386	2 486	-4,0	10 696	22 798
10º	Honda CG 125 Fan	2 205	2 097	5,2	11 130	26 759
11º	Yamaha YBR 150 Factor	2 156	2 168	-0,6	10 108	23 088
12º	Yamaha XTZ 150 Crosser	1 855	1 776	4,4	7 473	15 649
13º	Honda XRE 190	1 315	1 463	-10,1	6 310	14 297
14º	Yamaha NMax	1 160	1 136	2,1	5 272	9 516
15º	Yamaha Fazer 250	931	1 312	-29,0	5 950	10 834
16º	Yamaha Fazer 150	927	868	6,8	4 161	10 788
17º	Yamaha Neo 125	855	950	-10,0	4 399	9 694
18º	Yamaha YBR 125 Factor	760	700	8,6	3 900	9 521
19º	Honda CG Cargo	623	442	41,0	2 878	6 729
20º	Yamaha XTZ 250 Ténéré	614	644	-4,7	2 834	6 752

## PARTICIPAÇÃO DE MERCADO em %

Shineray e Haojue seguem se revezando na terceira colocação. A primeira concentra na linha de 50 cm³ a maioria dos emplacamentos, enquanto a Haojue concentra na city Chopper 150 e no scooter Lindy 125 a maioria dos seus emplacamentos. A BMW corre por fora, com cerca de 100 unidades/mês a menos que as duas.



## CUB / CICLOMOTORES

Pos.	Modelo	Maior/18	2018
1º	Honda Pop 100 / 110i	7 440	33 938
2º	Honda Biz 125i	6 677	31 921
3º	Honda Biz 100 / 110i	5 076	23 172
4º	Shineray XY 50	729	3 460
5º	Traxx Star 50	174	995
6º	Wuyang WY 48Q2	99	596
7º	Bull KRC 50	89	378
8º	Dafra Zig 50	81	393
9º	Haojue Nex 110	59	314
10º	Dafra Super 50	34	166

## CITY

Pos.	Modelo	Maior/18	2018
1º	Honda CG 150 / 160 Fan / Start	15 633	75 276
2º	Honda CG 150 / 160 Titan	5 418	25 164
3º	Honda CB 250F Twister	2 529	13 000
4º	Honda CG 125 Fan	2 205	11 130
5º	Yamaha YBR 150 Factor	2 156	10 108
6º	Yamaha Fazer 250	931	5 950
7º	Yamaha Fazer 150	927	4 161
8º	Yamaha YBR 125 Factor	760	3 900
9º	Honda CG Cargo	623	2 878
10º	Yamaha MT-03	559	2 803

## MAXITRAIL + 600 CM³

Pos.	Modelo	Maior/18	2018
1º	BMW R 1200 GS	312	1 248
2º	Triumph Tiger 800	261	975
3º	Honda Africa Twin	148	432
4º	Suzuki V-Strom 650	91	364
5º	BMW F 800 GS	87	428
6º	Triumph Tiger 1200	82	250
7º	Suzuki V-Strom 1000	45	213
8º	Yamaha Super Ténéré	19	66
9º	Ducati Multistrada 950	10	32
10º	Ducati Multistrada Enduro	9	40

## SCOOTER

Pos.	Modelo	Maior/18	2018
1º	Honda PCX	2 415	13 215
2º	Yamaha NMax	1 160	5 272
3º	Yamaha Neo 125	855	4 399
4º	Honda SH 150i	467	2 678
5º	Haojue Lindy 125	275	1 102
6º	Kymco Downtown 300i	166	508
7º	Dafra Citycom 300i	141	476
8º	Suzuki Burgman 125i	136	341
9º	Honda SH 300i	89	362
10º	Dafra Cityclass 200i	43	193

## TRAIL ATÉ 600 CM³

Pos.	Modelo	Maior/18	2018
1º	Honda NXR 160 Bros	11 131	45 155
2º	Honda XRE 300	2 386	10 696
3º	Yamaha XTZ 150 Crosser	1 855	7 473
4º	Honda XRE 190	1 315	6 310
5º	Yamaha XTZ 250 Ténéré	614	2 834
6º	Yamaha XTZ 250 Lander	415	2 078
7º	BMW G 310 GS	154	514
8º	Honda NXR 150 Bros	77	319
9º	Kawasaki Versys-X 300	45	209
10º	Honda NXR 125 Bros	11	62

## CROSSOVER

Pos.	Modelo	Maior/18	2018
1º	Honda CB 500X	271	1 324
2º	Honda NC 750X	175	730
3º	Kawasaki Versys 650	59	194
4º	BMW S 1000 XR	31	113
5º	Yamaha MT-09 Tracer	25	100
6º	Ducati Multistrada 1200	10	72
7º	Kawasaki Versys 1000	10	36
8º	Triumph Tiger Sport	3	22
9º	Husqvarna 701 Supermoto	3	3
10º	Honda VFR 1200X	1	3

Fig. 3 (a): Ranking of motorcycle licensing in Brazil, by motorcycle type and model. Source: Motociclismo Magazine, July 2018.



## POR ESTADO: AS MARCAS MAIS EMPLACADAS EM MAIO

Nas tabelas abaixo podemos ver a penetração de cada marca nos diferentes estados e regiões do país. No Pará, por exemplo, a Honda — que deteve 92,4% do mercado local em maio — emplaca 1 290% a mais que a Yamaha, enquanto no Rio de Janeiro esse número cai para 49,1%. Marcas pouco vistas no Sul e Sudeste estão bem presentes no Norte e Nordeste.



### SÃO PAULO | SP

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	10 919
2º	Yamaha	2 988
3º	Haojue	500
4º	BMW	284
5º	Suzuki	251
6º	Dafra	237
7º	Triumph	221
8º	Kawasaki	203
9º	Harley-Davidson	178
10º	Kymco	139

### RIO DE JANEIRO | RJ

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	2 408
2º	Yamaha	1 183
3º	Dafra	97
4º	Haojue	51
5º	Harley-Davidson	40
	Kawasaki	40
7º	Shineray	38
8º	BMW	36
9º	Triumph	29
10º	Traxx	25

### MINAS GERAIS | MG

Pos.	Marca / modelo	Unidades
1º	Honda	4 652
2º	Yamaha	1 076
3º	BMW	48
4º	Shineray	45
5º	Triumph	38
6º	Haojue	36
7º	Kawasaki	32
8º	Harley-Davidson	24
	Wuyang	24
10º	Suzuki	16

### BRASÍLIA | DF

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	721
2º	Yamaha	120
3º	BMW	44
4º	Harley-Davidson	31
5º	Kawasaki	26
6º	Triumph	25
7º	Haojue	9
8º	Suzuki	6
9º	Ducati	5
10º	Bull / Kymco	2

### PARANÁ | PR

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	3 012
2º	Yamaha	380
3º	BMW	64
4º	Kawasaki	41
5º	Harley-Davidson	35
6º	Suzuki	27
7º	Triumph	21
8º	Shineray	20
9º	Haojue	18
10º	Jianshe	15

### SANTA CATARINA | SC

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	2 047
2º	Yamaha	340
3º	BMW	77
4º	Kawasaki	56
5º	Triumph	35
6º	Haojue	25
7º	Suzuki	24
8º	Shineray	17
9º	Harley-Davidson	15
10º	Kymco	6

### CEARÁ | CE

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	4 897
2º	Yamaha	213
3º	Shineray	105
4º	Traxx	59
5º	BMW	17
6º	Kawasaki	16
7º	Wuyang	15
8º	Harley-Davidson	11
9º	Bravax	10
	Dafra	10

### PERNAMBUCO | PE

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	3 535
2º	Yamaha	383
3º	Shineray	54
4º	Avelloz	27
5º	BMW	17
6º	Bravax	6
7º	Nazaxx	5
	Wuyang	5
9º	Kawasaki	4
10º	Suzuki	3

### BAHIA | BA

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	4 313
2º	Yamaha	572
3º	Shineray	93
4º	Haojue	46
5º	Suzuki	26
6º	Wuyang	18
7º	BMW	17
8º	Traxx	14
9º	Bull	13
10º	Huari	11

### MATO GROSSO | MT

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	2 866
2º	Yamaha	223
3º	BMW	13
4º	Haojue	13
5º	Harley-Davidson	10
6º	Kawasaki	8
7º	Suzuki	7
8º	Dafra	1
9º	Traxx	1
10º	-	-

### AMAZONAS | AM

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	1 303
2º	Yamaha	169
3º	Sousa	16
4º	Dajiang	3
	Sundown	3
6º	BMW	2
	Kawasaki	2
	Traxx	2
9º	Harley-Davidson	1
	Hyosung	1

### PARÁ | PA

Pos.	Marca	Unidades
1º	Honda	4 310
2º	Yamaha	310
3º	Sousa	13
4º	BMW	8
5º	Haojue	7
	Suzuki	7
7º	Traxx	4
8º	Shineray	2
9º	Harley-Davidson	1
	Wuyang	1

Fig. 3 (c): Ranking of motorcycle licensing in Brazil, by state.  
Source: Motociclismo Magazine, July 2018.







## 5 Accident Statistics

According to the insurance company which manages DPVAT, although there was a slight drop when compared to last year, the numbers that reflect the violence of the Brazilian traffic are still scaring. In the first three months of this year DPVAT registered 50,469 indemnities for permanent disability, 4,578 for death, and 11,154 for medical and hospital expenses, only related to accidents involving motorcycles. From the 87.508 traffic accident indemnities paid in the first semester of 2018, 76 % were for motorcyclists. This number shows a reduction of 11 % when compared to the same period last year, and the indemnities for death and permanent disability were 2 % and 15 % lower, respectively, but the medical expenses reimbursements were 6 % higher.<sup>[7]</sup>

The statistics also show a profile of the people involved in motorcycle accidents, the majority of which being young men. According to DPVAT, 70 % of the victims of death and disability were the drivers, 12 % pillions, and 18 % pedestrians, and, in the death cases 88 % were men. Most accidents (45 %) occurred between 1 p.m. and 8 p.m. with people between the ages of 18 and 34.<sup>[7]</sup>

Considering the five geographical regions, the Northeastern, which has the least number of registered motorcycles, had 37 % of the traffic accidents, the Southeastern, with the highest number of registered motorcycles, had 25 %, the Southern had 15 %, the Northern, 12 %, and the Central-Western, 11 %.<sup>[7]</sup>

Figures 5 to 8 show some statistical graphs from DPVAT.

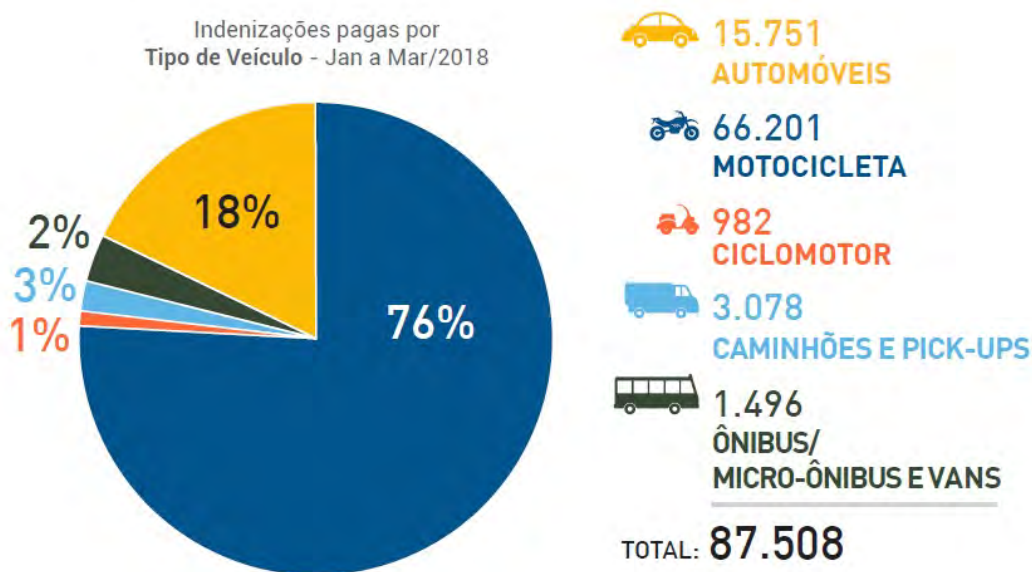


Fig. 5: Indemnities paid from January to March 2018 by vehicle type (Automobiles – 18 %, Motorcycles – 76 %, Mopeds – 1 %, Trucks and Pick-ups – 3 %, Buses, Microbuses, and Vans – 2 %). Source: Seguradora Líder-DPVAT, Boletim Estatístico (Statistical Bulletin), Year 08, Vol. 03, March, 2018.

Distribuição das indenizações pagas por  
Acidentes com Motocicletas - Jan a Mar/2018

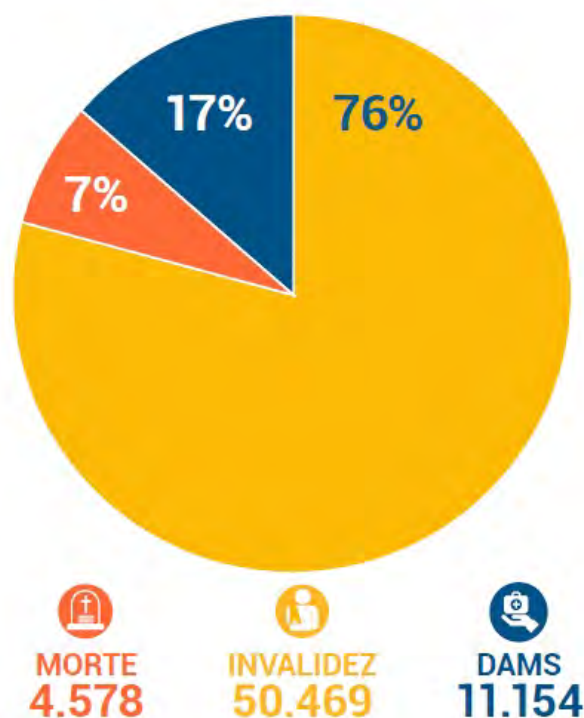
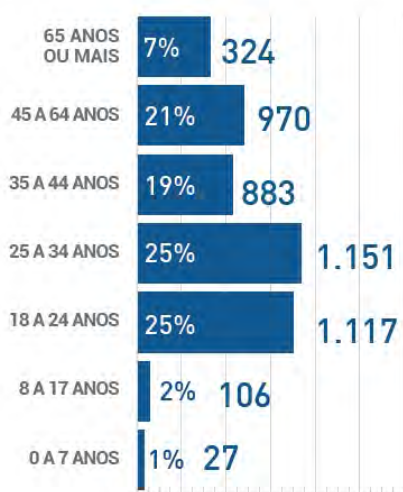


Fig. 6: Indemnities by type, paid from January to March 2018, only for motorcycle accidents (Death – 7 %, Disability – 76 %, Medical and hospital reimbursements – 17 %).  
Source: Seguradora Líder-DPVAT, Boletim Estatístico (Statistical Bulletin), Year 08, Vol. 03, March, 2018.

Indenizações pagas por Morte por acidentes com motocicletas por faixa etária - Jan a Mar/2018



Indenizações pagas por Invalidez por acidentes com motocicletas por faixa etária - Jan a Mar/2018

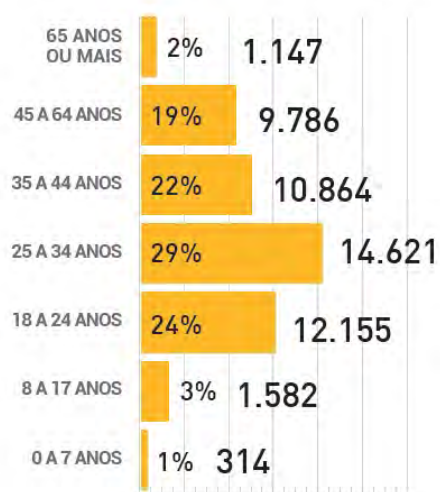


Fig. 7: Indemnities for motorcycle accidents, paid from January to March 2018 for death (blue) and disability (yellow) by age range.  
Source: Seguradora Líder-DPVAT, Boletim Estatístico (Statistical Bulletin), Year 08, Vol. 03, March, 2018.

Indenizações pagas por **Morte e Invalidez** por acidentes com motocicletas por região - Jan a Mar/2018

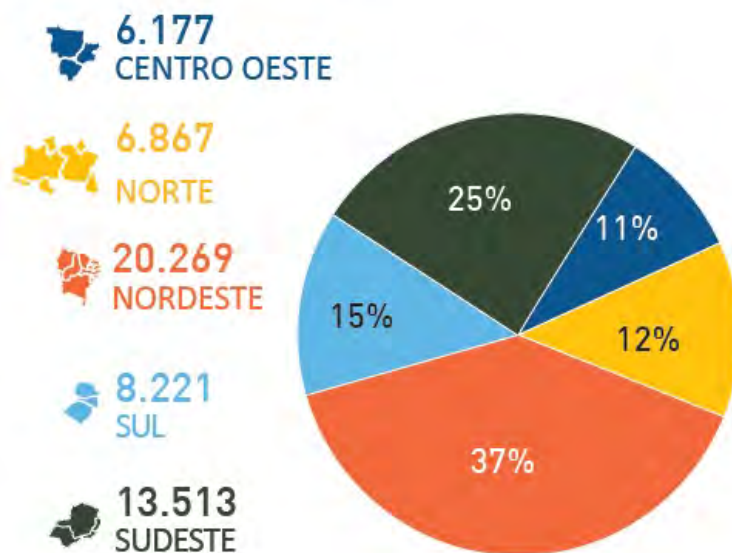


Fig. 8: Indemnities paid for death and disability in motorcycle accidents by region (Central-Western – 11 %, Northern – 12 %, Northeastern – 37 %, Southern – 15 %, Southeastern – 25 %).  
Source: Seguradora Líder-DPVAT, Boletim Estatístico (Statistical Bulletin), Year 08, Vol. 03, March, 2018.

## 6 Motorcycle Sports

Motorcycles sports in Brazil are regulated by the *Confederação Brasileira de Motociclismo – CBM* (Brazilian Motorcycle Confederation) which was founded in 1948, and is presently affiliated to the *Fédération Internationale de Motocyclisme – FIM* (International Motorcycle Federation). Before that, some competitions had already taken place in the country, mainly organized by immigrants from different nationalities who came to Brazil in the beginning of the twentieth century. Further information can be found at [www.cbm.esp.br](http://www.cbm.esp.br).

The official competition modalities are: SuperBike; Motocross; Enduro FIM; Enduro; Regularity Enduro; Rally; Cross Country; Velocross; Trial; Supermoto; Minicross; Supercross; Quadricycle; Mototourism; Super Enduro; Hard Enduro; and Arena Velocross.

It is worth mentioning that motorcycle sports in Brazil are gaining more prominence, having more and more national and international competitions, new pilots, teams, sponsors, and attendance. Many foreign pilots are coming to compete in Brazil and there is an expectation that the country might have a MotoGP race in 2021. Brazil was part of the MotoGP calendar from 1987 to 1992, with the race tracks of Goiânia, in the state of Goiás, and Interlagos, in São Paulo, and from 1995 to 2004, with the circuit of Jacarepaguá, in Rio de Janeiro, which was demolished in 2012 to give place to some installations of

the Olympics 2016. The main reasons why MotoGP left Brazil in 2004 were the difficulty to get sponsors and the unsuitability of the race tracks.

## 6.1 Race Tracks

Although Brazil has several race tracks, none of them is really suitable for motorcycle races. Anyway, it is worth mentioning that this fact does not prevent the realization of this sport.

In the national race track ranking the state of Paraná appears with the largest number of competition places, with five circuits. In the second place comes the state of Rio Grande do Sul, with four circuits, and then São Paulo, with two.

The tracks in Paraná are: Autódromo Internacional Zilmar Beux, in the municipality of Cascavel ([www.cba.org.br/site/circuitos\\_interna.php?id=12](http://www.cba.org.br/site/circuitos_interna.php?id=12)); Autódromo Internacional de Curitiba, in Pinhais ([www.autodromodecuritiba.com.br](http://www.autodromodecuritiba.com.br)); Autódromo Internacional Ayrton Senna, in Londrina ([http://www.londrina.pr.gov.br/?option=com\\_content&view=article&id=861&Itemid=148&fontstyle=f-larger](http://www.londrina.pr.gov.br/?option=com_content&view=article&id=861&Itemid=148&fontstyle=f-larger)); Autódromo P. A. Race Park, in Maringá (<https://www.facebook.com/RaceParkMaringa/>); and Autódromo Motores e Cia., in Pato Branco (<http://www.facebook.com/Kart-Clube-Pato-Branco-111841099485704>).

In Rio Grande do Sul there are: Autódromo Internacional de Guaporé, in Guaporé ([www.autodromodeguapore.com.br/index.php?c=sobre&sub=autodromo](http://www.autodromodeguapore.com.br/index.php?c=sobre&sub=autodromo)); Autódromo Internacional de Santa Cruz do Sul, in Santa Cruz do Sul (<http://www.santacruz.rs.gov.br/municipio/autodromo>); Autódromo Internacional de Tarumã, in Viamão ([www.autodromodetaruma.com.br](http://www.autodromodetaruma.com.br)); and Autódromo Internacional do Velopark, in Nova Santa Rita ([www.velopark.com.br](http://www.velopark.com.br)).

The main tracks in São Paulo are: Autódromo José Carlos Pace (Interlagos), in the city of São Paulo, and the most famous in Brazil, for being the track used for the Brazilian Formula 1 race ([www.autodromodeinterlagos.com.br](http://www.autodromodeinterlagos.com.br)); and Autódromo Velo Città, in Mogi Guaçu ([www.autodromovelocitta.com.br](http://www.autodromovelocitta.com.br)).

Besides these three, other states also have race tracks which are eventually used for motorcycle competitions, like Minas Gerais, with Autódromo Mega Space, in Santa Luzia ([www.megaspace.com.br](http://www.megaspace.com.br)); Pernambuco, with Autódromo Internacional Ayrton Senna, in Caruaru ([www.fpea.com.br/autodromo-ayrton-senna](http://www.fpea.com.br/autodromo-ayrton-senna)); Ceará, with Autódromo Internacional Virgílio Távora, in Eusébio ([www.fca.com.br](http://www.fca.com.br)); Goiás, with Autódromo Internacional de Goiânia, in Goiânia ([www.autodromodegoiania.go.gov.br](http://www.autodromodegoiania.go.gov.br)); and Mato Grosso do Sul, with Autódromo Internacional Orlando Moura, in Campo Grande ([www.pmcg.ms.gov.br](http://www.pmcg.ms.gov.br)). The once frequently used Autódromo Internacional Nelson Piquet, in Brasília,

was closed in December 2014 and has no expectation of reopening in the near future. ([www.wbrasil.com/autodromo](http://www.wbrasil.com/autodromo)).

## 6.2 Competitions

### 6.2.1 SuperBike Brasil

This is a motorcycle championship, like MotoGP and the FIM SuperBike World Championship (WSBK), and has 11 categories for motorcycles, which are: SuperBike; SuperBike Evolution; SuperBike Light; SuperStock; 600 SuperSport; Stock 600; Categoria Escola (School Category) 600 and 1.000cc; Copa Honda CBR 500R; Honda Junior Cup; and Yamalube R3 Cup.

The SuperBike category is the most important, has the fastest motorcycles of the competition, and is where the manufacturers' teams invest the most, since it is a professional category and extremely competitive, allowing a free preparation of the motorcycles. Figure 9 shows the start of a SuperBike Brazil race.



Fig. 9: The start of a SuperBike Brazil race.  
Source: [www.superbike.com.br](http://www.superbike.com.br).

SuperBike Light is a category which serves as the first step to the main category, the SuperBike, and is a competition for pilots who have not achieved times lower than 1 minute and 43 seconds on the race track of Interlagos.

SuperBike Evolution was created in 2017 and is an intermediate step between the Light and the main categories, for pilots who have achieved times between 1 minute and 44 seconds and 1 minute and 38 seconds in Interlagos. The pilots of this category participate also in the SuperBike, that is, they train and compete in both categories.

An interesting and important category is the Junior Cup, created in 2013 to train young talents, between the ages of 8 and 16, and prepare them for the other categories. The motorcycles used in this category are the Hondas CG 160 Titan, specially adapted and prepared for the races.

More information can be found at [www.superbike.com.br](http://www.superbike.com.br).

## 6.2.2 Off-Road

The official off-road sport in Brazil consists of four main modalities: Enduro, Motocross, Arena Cross, and Rally, each one involving several competitions during the year.

The Brazilian Enduro Championship consists of several events, among which one of the most famous is the Enduro da Independência (Figure 10), which is held in the south of Minas Gerais and part of the state of São Paulo.



Fig. 10: Advertisement of the Enduro da Independência.  
Source: [www.endurodaindependencia.com](http://www.endurodaindependencia.com).

The Brazilian Motocross Championship is also divided in several races, including outdoor and indoor events. Figure 11 shows one of the outdoor races. More information can be found at [www.brmx.com.br](http://www.brmx.com.br) and [www.motox.com.br](http://www.motox.com.br).



Fig. 11: One of the races of the Brazilian Motocross Championship.  
Source: Dirt Action, nº 273, June 2018.

The Arena Cross (Figure 12) is a competition consisting of several in-door events with a mix of motocross races, free style, and 1 x 1 duels. It is a unique competition in Brazil and very famous for offering a big show with lights, sounds, and special effects, besides the exciting contests. Some arenas provide the sponsors with sophisticated staterooms with buffets and privileged view of the track for their guests. More information at [www.arenacross.com.br](http://www.arenacross.com.br).



Fig. 12: Arena Cross.  
Source: Dirt Action, nº 273, June 2018.

The Brazilian Rally Championship also consists of several races, among which the most famous are the Rally dos Sertões ([www.sertoos.com](http://www.sertoos.com)), which includes ten days of competition, and the Rally Piocerá ([www.piocera.com.br](http://www.piocera.com.br)), which this year won the *Guidão de Ouro* trophy as the Best National Event. Other important competitions are the Brazilian Rally Baja Championship (Figure 13) and the Brazilian Rally Cross Country Championship.



Fig. 13: The Baja modality of the Brazilian Rally Championship.  
Source: *Dirt Action*, nº 273, June 2018.

## 7 Motorcycle Clubs, Events, and Tourism

### 7.1 Clubs

There are more than 3,450 motorcycle clubs and motorcycle groups in Brazil, as shown in Figure 14. Most of them are restricted to a city, a state, or a small region, have only a few members, and are more concerned with short weekend tours, local entertainment, social and charity events, and similar.

There are only a few motorcycle clubs with national, or even international, coverage among which two of the largest are cited below.

Abutre's Moto Clube was founded in 1989 and is one of the largest in the world. Presently it has branches in many countries all over the world, including not only Latin America, but also Europe, North America, Africa and Asia. More information at [www.abutres.com.br](http://www.abutres.com.br).



Bodes do Asfalto (Asphalt Goats) was founded in 2003 in the state of Bahia and, although still pretty new, has branches all over the country. The membership is restricted to members of the masonry. More information at [www.bodesdoasfalto.org.br](http://www.bodesdoasfalto.org.br).

More than 340 Brazilian motorcycle clubs are affiliated to the *Liga Mundial de Bikers* (World Bikers League), founded in Brazil originally as the *Liga Nacional de Bikers* (National Bikers League), which is now present in 13 countries and tries to congregate the motorcycle clubs and organize specialized events. More information can be found at [www.ligamc.com.br](http://www.ligamc.com.br).

Branches of some well-known international motorcycles clubs are also present in Brazil.

More information about motorcycles clubs in Brazil can be found at [www.revistamotoclubes.com.br](http://www.revistamotoclubes.com.br).

Sigla	Nome do Estado	Bandeira Motoclubes	(3462)
AC	Acre		003
AL	Alagoas		153
AM	Amazonas		006
AP	Amapá		003
BA	Bahia		152
CE	Ceará		086
DF	Distrito Federal		079
ES	Espírito Santo		055
GO	Goiás		063
MA	Maranhão		041
MG	Minas Gerais		282
MS	Mato Grosso do Sul		030
MT	Mato Grosso		019
PA	Pará		021
PB	Paraíba		252
PE	Pernambuco		668
PI	Piauí		021
PR	Paraná		210
RJ	Rio de Janeiro		301
RN	Rio Grande do Norte		308
RO	Rondônia		016
RR	Roraima		001
RS	Rio Grande do Sul		073
SC	Santa Catarina		099
SE	Sergipe		070
SP	São Paulo		437
TO	Tocantins		013

Fig. 14: Number of motorcycle clubs and motorcycle groups in all Brazilian states.  
Source: [www.revistamotoclubes.com.br](http://www.revistamotoclubes.com.br).

## 7.2 Events

The many events that occur in Brazil can be divided in three categories: Meetings and Festivals; Prize Awards; and Trade Fairs.

### 7.2.1 Meetings and Festivals

Among the several meetings and festivals held in Brazil that attract the most attendance the following can be mentioned.

**Brasília Capital Moto Week** (Figure 15) is held every year in the capital city of Brazil, encompasses ten days of exhibition, shows, music bands, and many other attractions, and is the biggest motorcycle event in South America and the second biggest in the world. Last year (2017) it had its fifteenth edition in July, when 680 thousand visitors and 300 thousand motorcycles were present, of which 40 thousand participated in the biggest motorcycle city tour of the world. More details at <http://www.capitalmotoweek.com.br>.



Fig. 15: The logo of the event.  
Source: [www.capitalmotoweek.com.br](http://www.capitalmotoweek.com.br).

**National HOG Rally** is a world-wide traditional Harley-Davidson event and occurs in several countries. The Brazilian chapters of the Harley Owners Group (HOG) promote every year a multi-day event for Harley-Davidson motorcycle owners, which takes place in different well-known touristic cities in Brazil. It has been organized in Brazil since 2012, and this year it was held at Balneário Camboriú, in the state of Santa Catarina, and lasted three days, including many attractions such as shows, music bands, skills competitions (Figure 16), motorcycle parades (Figure 17), Swimming Pool Parties, and a Thematic Party of the 1980s. This year more than 700 motorcycles were present at the event. Further

information can be found at [www.moto.com.br/viagens/conteudo/national-hog-rally-2018-experiencia-unica-aos-admiradores-de-harley-128164.html](http://www.moto.com.br/viagens/conteudo/national-hog-rally-2018-experiencia-unica-aos-admiradores-de-harley-128164.html).



Fig. 16: Skills competition for women during the National HOG Rally 2018.  
Source: Moto Action magazine, nº 130, June 2018.



Fig. 17: Motorcycle parade during the National HOG Rally 2018.  
Source: Moto Action magazine, nº 130, June 2018.

**Espaço Motociclismo/Auto Show Collection** is a weekly event which takes place in the city of São Paulo every Tuesday evening at the Sambódromo do Anhembi, and includes the exhibition of old and modified cars, classical and customized motorcycles, live music, food trucks, test rides, and other attractions. Further information at [www.autoshowcollection.com.br](http://www.autoshowcollection.com.br).

**Barretos Motorcycles** is organized since 2003 by the Independentes, which is a Club of the city of Barretos, state of São Paulo, also well-known for its annual cowboy rodeo. The program includes shows, music bands, motorcycle parades, motorcycle stunts, and other attractions. Figure 18 shows the logo of this year's event.



Fig. 18: Logo of the event.

Source: [www.independentes.com.br/motorcycles](http://www.independentes.com.br/motorcycles).

**Tiradentes Bikefest** is held since 1998 in the historical city of Tiradentes, in the state of Minas Gerais, and has become one of the most attended motorcycle festivals in Brazil. Like other events in the country its program consists of shows, music bands, motorcycle parades, motorcycle movies, and many other cultural activities in the beautiful small city. Figure 19 presents the logo of the event. More information and details at <http://www.tiradentesbikefest.com.br/>.



Fig. 19: Logo of the event.

Source: [www.tiradentesbikefest.com.br](http://www.tiradentesbikefest.com.br).

Further information on motorcycle events in Brazil can be found at

[www.encontrodemotociclistas.com.br](http://www.encontrodemotociclistas.com.br).

### 7.2.2 Prize Awards

The most important events of this category are organized by two motorcycle magazine publishers and their sponsors, are held every year, and are considered very important by the Brazilian motorcycle sector.

**Moto de Ouro** (Gold Motorcycle) is an election organized every year by the magazine *Motociclismo*, published by Motor Media, which chooses the best motorcycles sold in Brazil in twelve different categories indicated by the manufacturers (City, Trail, Custom, Touring, Sports, Naked, Classical, Scooter, Cub, Maxtrail, Crossover, and Green). Three models in each category are selected by specialized journalists and professionals of the field, and the final election is made by the public through the internet. The winner models are announced in an event in June and a motorcycle (this year a BMW G 310R) is drawn among those who voted. Besides the motorcycle models, five other prizes are awarded: Client Satisfaction, Emotion, Quality, Best Publicity, and Best Deal. There are also prizes for the Best Brands in the following categories: Tires, Fuel, Lubricants, Helmets, and Equipment and Accessories. Figure 20 shows the three finalists of this year in the categories City and Trail, and Figure 21 shows the winners in these two categories. More details at [www.motociclismoonline.com.br/premio/veja-as-vencedoras-do-moto-de-ouro-2018](http://www.motociclismoonline.com.br/premio/veja-as-vencedoras-do-moto-de-ouro-2018).



Fig. 20: The three finalists in the categories City and Trail. Source:

[www.motociclismoonline.com.br/premio/veja-as-vencedoras-do-moto-de-ouro-2018](http://www.motociclismoonline.com.br/premio/veja-as-vencedoras-do-moto-de-ouro-2018).



Fig. 21: The winners in the categories City and Trail. Source: [www.motociclismoonline.com.br/premio/veja-as-vencedoras-do-moto-de-ouro-2018](http://www.motociclismoonline.com.br/premio/veja-as-vencedoras-do-moto-de-ouro-2018).

**Guidão de Ouro** (Gold Handlebar) is an event organized by the magazines Moto Action and Dirt Action, published by Adrenal Editora LTDA, and awards prizes in the categories on- and off-road. Trophies are given to the best motorcycles in nine different categories: Classical; Sports; Big Trail; Touring; Scooter; Crossover; Naked; Custom; and 300 cc Premium. Other prizes are also awarded to the Best: Motocross Motorcycle; Off-Road Motorcycle; National Motorcycle; UTV (Utility Task Vehicle); ATV (All-Terrain Vehicle); Pilot (both male and female); Off-Road Pilot (both male and female); Motocross Pilot; UTV Pilot; ATV Pilot; Off-Road Team; Motocross Team; and National Event. The election is made through the internet site of the magazine and is open to the public. Figure 22 shows a photograph of the 2018 trophies.



Fig. 22: Trophies Guidão de Ouro (Gold Handlebar).  
Source: Moto Action magazine, nº 130, June 2018.

### 7.2.3 Trade Fairs

Three main trade fairs are held in Brazil.

**Salão Duas Rodas** is held in the city of São Paulo every other year and is the biggest motorcycle trade fair in South America. In 2017 there were 240 thousand visitors during the six days of the event. More details can be found at [www.salaoduasrodas.com.br](http://www.salaoduasrodas.com.br).

**Salão Moto Brasil** is an annual event which takes place in the city of Rio de Janeiro and had its eight edition this year, from May 31<sup>st</sup> to June 2<sup>nd</sup>. Since its first edition in 2011, the trade fair has become bigger every year and shows a good potential for being one of the most important events in the country. It encompasses busyness, entertainment, tourism and education concerning motorcyclism. More details at [www.salaomotobrasil.com.br](http://www.salaomotobrasil.com.br).

**Salão Motopeças** is specialized in motorcycle parts and accessories, and had its tenth edition this year, from August 15<sup>th</sup> to 18<sup>th</sup>, in the city of São Paulo. Further information at [www.salaodasmotopecas.com.br](http://www.salaodasmotopecas.com.br).

## 7.3 Tourism

Motorcycle rental is not very common in Brazil due to the frequent occurrences of robbery and accidents, which make the rental prices very high. Anyway, it is possible to find some rental companies,

such as A&K Motorcycle Rentals ([www.aekmotos.com](http://www.aekmotos.com)), Road Experience ([www.encontrasp.com.br/campo-belo/motocicletas/locadora-de-motos/road-experience.html](http://www.encontrasp.com.br/campo-belo/motocicletas/locadora-de-motos/road-experience.html)), TRX ([www.triumphexperience.com.br](http://www.triumphexperience.com.br)), Aluguel de Moto ([www.alugueldemoto.com.br](http://www.alugueldemoto.com.br)), Vida de Turista ([www.vidadeturista.com/artigos/locacao-de-motos.html](http://www.vidadeturista.com/artigos/locacao-de-motos.html)), and Riders Moto Turismo ([www.ridersmototurismo.com.br/aluguel-motos-brasil](http://www.ridersmototurismo.com.br/aluguel-motos-brasil)).

Some companies organize tours in Brazil and other countries in South and North America, Europe and Africa. These tours are most often offered with full planned routes, including motorcycle transportation or rental, hotels, guides, support car, local tours, and other amenities. Examples of these companies are: TRX ([www.triumphexperience.com.br](http://www.triumphexperience.com.br)), BMW Rider Experience ([www.bmwridereperience.com.br](http://www.bmwridereperience.com.br)), Moto Atacama Entretenimento ([www.motoatacamaentretenimento.com.br/tours](http://www.motoatacamaentretenimento.com.br/tours)), Vida de Turista ([www.vidadeturista.com/artigos/locacao-de-motos.html](http://www.vidadeturista.com/artigos/locacao-de-motos.html)), Riders Moto Turismo ([www.ridersmoto.com.br/aluguel-motos-brasil](http://www.ridersmoto.com.br/aluguel-motos-brasil)), among others. Touratech, together with South America Moto Adventure ([www.samotoadventure.com.br](http://www.samotoadventure.com.br)), has recently started operating several tours in Brazil and South America. ([www.madeforadventure.com.br/portfolio/expedicoes-touratech-brasil](http://www.madeforadventure.com.br/portfolio/expedicoes-touratech-brasil)).

Brazil is a continental country with an approximated extension of 8.5 million km<sup>2</sup>, and has many beautiful places to visit, including natural reserves, historical cities, national parks, etc. The motorcycle is one of the best vehicles to travel around the country and visit all these places.

Among the most interesting routes are the following.

Rio-Santos Road, between Rio de Janeiro and São Paulo (Figure 23), well-known for its natural beauties, the privileged views of the mountains in the Atlantic Forest, and the sea.



Fig. 23: One of the beautiful views of the Rio-Santos road.

Source: [www.viagemdemoto.com/viagens-pelo-brasil/2775-rotas-brasileiras-imperdiveis-para-viagens-de-moto](http://www.viagemdemoto.com/viagens-pelo-brasil/2775-rotas-brasileiras-imperdiveis-para-viagens-de-moto).



Estrada Real, in the states of Minas Gerais and Rio de Janeiro (Figure 24), built in the 17<sup>th</sup> century and known as the Gold Route, has many historical points, besides the beautiful views, with a lot of natural diversity.



Fig. 24: On the Estrada Real.

Source: [www.viagemdemoto.com/viagens-pelo-brasil/2775-rotas-brasileiras-imperdiveis-para-viagens-de-moto](http://www.viagemdemoto.com/viagens-pelo-brasil/2775-rotas-brasileiras-imperdiveis-para-viagens-de-moto).

Rota do Sol (Route of the Sun), begins in the south of the city of Natal (capital of the state of Rio Grande do Norte), in the Ponta Negra beach, and drives all the way to Praia da Pipa (Pipa beach), passing through many other beaches, and is known as one of the most beautiful in Brazil. Figure 25 shows one of its attractions.



Fig. 25: Mirante do Golfinhos (Dolphin Belvedere). Source:

[www.viagenspossiveis.com.br/mirantes-e-pontos-turisticos-na-rotado-sol-de-natal-a-pipa](http://www.viagenspossiveis.com.br/mirantes-e-pontos-turisticos-na-rotado-sol-de-natal-a-pipa).

Via Serrana, in the state of Rio Grande do Sul, passing through the beautiful cities of Gramado, Canela, Caxias do Sul, Nova Petrópolis, Porto Alegre, and Pelotas, is known as the "Romantic Route" due to its views of flowers, valleys, and small villages with European climate and architectural style.



Fig. 26: A view of the Romantic Route.

Source: [www.ituran.com.br/blog/4-estradas-mais-bonitas-brasil](http://www.ituran.com.br/blog/4-estradas-mais-bonitas-brasil).

Serra do Rio do Rastro, in the state of Santa Catarina, is considered one of the most desired destinations for motorcyclists in Brazil, having a length of 25 km with 284 curves (11 curves per km), and reaching an altitude of almost 1,500 meters. Figure 27 shows a general view of the road.



Fig. 27: View of the Serra do Rio do Rastro. Source:

<https://viagemeturismo.abril.com.br/blog/brasil/como-encarar-as-284-curvas-da-estrada-da-serra-do-rio-do-rastro/>.

Of course, there are many other routes in Brazil that are worth mentioning, but due to the limited space it is impossible to describe them all in this paper. Further information can be found in several sites related to motorcycle trips and tours in Brazil, which can be easily found in the internet.

## 8 Motorcycle Publications

Among the publications printed in Brazil the most important are the following.

**Motociclismo:** published by Motor Mídia, ISSN 1415-1863, [www.motociclismoonline.com.br](http://www.motociclismoonline.com.br).



Fig. 28: Front cover of the July 2018 issue of the Motociclismo magazine.

**Moto Adventure:** published by Crazy Turkey Editora, ISSN 1518-627X, [www.motoadventure.com.br](http://www.motoadventure.com.br).



Fig. 29: Front cover of the July 2018 issue of the Moto Adventure magazine.

**Duas Rodas Motociclismo:** published by Innovant Editora, ISSN 1519-9428, [www.revistaduasrodas.com.br](http://www.revistaduasrodas.com.br).



Fig. 30: Front cover of the June 2018 issue of the Duas Rodas magazine.

**Moto Action:** published by Adrenal Editora LTDA, ISSN 1981-7657, [www.revistamotoaction.com.br](http://www.revistamotoaction.com.br).



Fig. 31: Front cover of the June 2018 issue of the Moto Action magazine.

**Dirt Action:** published by Adrenal Editora LTDA, ISSN 1413-2796, [www.revistadirtaction.com.br](http://www.revistadirtaction.com.br).



Fig. 32 Front cover of the June 2018 issue of the Dirt Action magazine.

**Pró Moto:** published by Editora J6ia LTDA, ISSN 1983-2737, [www.revistapro.com.br](http://www.revistapro.com.br).



Fig. 33: Front cover of the July 2018 issue of the *Pró Moto* magazine.

The last two are specialized in off-road matters. Two other interesting magazines, “Revista da Moto” and the Brazilian version of “Cycle World” stopped being published in 2015 and 2016, respectively.

## 9 Conclusion

A brief overview of current motorcycling in Brazil was presented, showing the most important motorcycle events in Brazil, including meetings and festivals, trade fairs, and prize awards, as well as some information about traffic regulations, motorcycle market, sports, safety, clubs, tourism, and specialized publications.

From this overview it can be observed that some traffic laws and regulations must be changed to improve safety and reduce the number of accidents; that the market has grown in the last couple of years, despite the political and economic crises; and that the motorcycle sports have evolved and become more and more important in the country.

Due to the fact that it is a very extensive subject and to the limited space available, the information contained in the paper is also limited, but many references and internet sites are given, so that the interested reader can deepen his/her research on the subject motorcycling in Brazil, and have a more detailed knowledge about it. Also, more information will be provided during the poster presentation at the Conference

## 10 References

- [1] [www.moto.com.br/Yamaha/historia.html](http://www.moto.com.br/Yamaha/historia.html)
- [2] [www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L9503.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L9503.htm)
- [3] Resolução Normativa CONTRAN nº 432, January, 2013,  
[www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/\(resolu%C3%A7%C3%A3o%20432.2013c\).pdf](http://www.denatran.gov.br/download/Resolucoes/(resolu%C3%A7%C3%A3o%20432.2013c).pdf)
- [4] <http://www.abraciclo.com.br>
- [5] ABRACICLO, Anuário da Indústria Brasileira de Duas Rodas (Yearbook of Brazil's Two Wheel Industry), 2018
- [6] Motociclismo, nº 247, July, 2018
- [7] Seguradora Líder-DPVAT, Boletim Estatístico (Statistical Bulletin), Year 08, Vol. 03, March, 2018
- [8] Moto Adventure, nº 212, June, 2018
- [9] Duas Rodas, nº 513, June, 2018
- [10] Moto Action, nº 130, June, 2018
- [11] Dirt Action, nº 273, June, 2018
- [12] Pró Moto, nº 148, July/August, 2018
- [13] Moto Adventure, nº 211, May, 2018
- [14] Duas Rodas, nº 512, May, 2018
- [15] [www.motoonline.com.br](http://www.motoonline.com.br)

**About the author:** The author graduated in Electrical Engineer at the Federal University of Pará, Brazil, in 1977, made his MSc in Electrical Engineering at the Pontifical Catholic University of Rio de Janeiro, Brazil, in 1984, and his PhD at the Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Germany, in 1990, and has recently retired as a Full Professor at the Federal University of Pará, after forty years of work. Although having been motorcyclist ever since, he has taken this hobby more seriously for the last ten years, being founder and president of a motorcycle club named “Estrela de Belém” from 2013 to 2016, when he promoted several speeches and trainings on motorcycle safety. In August 2016 he founded the My Way MS, which is dedicated to spreading information about topics on motorcycling, mainly concerning motorcycle safety (MS).