

**Sicherheit**  
**Safety**

**Umwelt**  
**Environment**

**Zukunft**  
**Future**

**Tagungsband der 8. Internationalen  
Motorradkonferenz 2010**  
**Proceedings of the 8<sup>th</sup> International  
Motorcycle Conference 2010**

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

**Safety concept for powered two-wheelers**

**Sicherheitskonzept zum Schutz von Motorradfahrern**

Dipl.-Ing. Martin Unger (TU-Berlin)

## **Abstract**

Based on the comprehensive accident data analysis from 2007 („Unfallgefährdung von Motorradfahrern“, GDV e.V., 2009), combined restraint system concepts were developed to protect the rider in the case of both a collision with another vehicle and a single motorcycle accident.

In Principle, the impact is less severe if one can reduce driving speed without hitting an obstacle. Thus, flying over the crash opponent reduces the load on the motorcyclist significantly as compared to hitting the vehicle's structure. As this is not always possible, the passive safety features of passenger car restraint systems were adapted.

This study considered two types of motorcycles because of their entirely different seating positions – choppers and race bikes. The restraint system consists of a lap belt and a supporting front airbag. Multiple collision scenarios involving the two motorcycle types and other vehicles using FE-simulations were run to evaluate the effectiveness of the restraint system concepts.

The single motorcycle accident scenario involved leaving the road and hitting the crash barrier. As the motorcyclist is restrained to the motorcycle by the belt, the motorcycle can be used as a protective shield by turning it in the direction of the slide. Additionally, a side airbag reduces the impact by shifting the friction surface from the driver to the airbag.

Results show that head acceleration for example can be reduced by 60%.

## Kurzfassung

Basierend auf einer umfassenden Unfalldatenanalyse im Jahr 2007 („Unfallgefährdung von Motorradfahrern“, GDV e.V., 2009) wurden Rückhaltekonzepte für den Motorradfahrer entwickelt, die nicht nur im Falle einer Kollision mit anderen Kraftfahrzeugen die Unfallschwere mindern, sondern auch während eines Alleinunfalls.

Prinzipiell sind geringere Belastungen zu erreichen, wenn die Bewegung des Motorradfahrers nicht abrupt durch ein Hindernis gestört wird. Im Falle einer Kollision mit einem Pkw z.B., ermöglicht das Lösen vom Motorrad und Überfliegen des Hindernisses eine geringere Belastung des Motorradfahrers, als würde dieser an die harte Fahrzeugstruktur prallen. Da man jedoch nicht zu jeder Zeit sicherstellen kann, dass der Aufsasse ein Hindernis überfliegt, wurden für die Konzeptentwicklung die Prinzipien der passiven Fahrzeugsicherheit aus dem Pkw-Bereich adaptiert.

In dieser Untersuchung wurden mittels FE-Simulation mehrere Kollisionsvarianten zweier Motorradtypen mit einem anderen Fahrzeug analysiert. Die beiden Motorradtypen – Chopper und Sportmotorrad – wurden entsprechend ihrer grundverschiedenen Sitzposition gewählt. Als Rückhaltesystem kam ein Beckengurtsystem zum Einsatz und ein unterstützender Airbag für den Oberkörper, der durch den Gurt kleiner ausfällt.

Die Untersuchung des Alleinunfalls stellt ein Abkommen von der Fahrbahn und Anprall an die Leitplanken dar. Durch die Anbindung des Fahrers an das Motorrad kann dieses im Falle eines Sturzes gezielt als „Schutzschild“ in Rutschrichtung gedreht werden. Ein zusätzlicher, seitlicher Airbag vermindert hier Belastungen des Fahrers durch Verlagerung der Reibpaarung Fahrer-Fahrbahn zu Airbag-Fahrer.

Ergebnis der Simulation der Aufsassenrückhaltekonzepte ist z. B. eine Reduzierung der Kopfbeschleunigung um ca. 60%.

## **Sicherheitskonzept zum Schutz von Motorradfahrern**

# Inhalt

- 1 Einleitung
- 2 Typischer Unfallablauf und Verletzungen
- 3 Prinzipien der Passiven Sicherheit beim Pkw
- 4 Sicherheitskonzept unter Beibehaltung der ursprünglichen Erscheinungsform des Motorrades
  - 4.1 Maßnahmen für Unfälle mit mehr als einem Beteiligten
  - 4.2 Auswahl der Maßnahmen für Alleinunfälle
- 5 Unfallkonstellationen und Crashpartner
- 6 Vorversuche zum Sicherstellen der biomechanischen Grenzwerte
  - 6.1 Betrachtung der Nackenkräfte
  - 6.2 Belastungen durch den Beckengurt
- 7 Auswertung der Simulationsergebnisse
  - 7.1 Konstellation 413 (gestoßenes Fahrzeug steht)
  - 7.2 Vergleich der Schutzmaßnahmen
  - 7.3 Auswertung der Simulation des Alleinunfalls
- 8 Konzeption eines passiv sicheren Motorrades
- 9 Fazit und Ausblick
- 10 Literaturverzeichnis

# 1 Einleitung

Die Gefahren beim Motorradfahren sind nach wie vor hoch und führen jährlich zu toten und verletzten Motorradfahrern. Im Jahr 2009 wurden in Deutschland 650 Personen bei einem Motorradunfall getötet. Das entspricht einem Anteil von 16% aller getöteten Verkehrsteilnehmer im Jahr 2009 (Statistisches Bundesamt, 2010). Unter Berücksichtigung der in Deutschland zugelassenen Fahrzeuge, ergibt sich im Vergleich zum Pkw ein 3,5-mal höheres Risiko mit dem Motorrad einen tödlichen Verkehrsunfall zu erleiden. Das fahrleistungsbezogene Risiko in einem Unfall getötet zu werden liegt für Motorradfahrer 14-mal höher als das Risiko für die übrigen Kfz-Nutzer (Unger, Kühn et. al., 2008).

Die Zahl der getöteten Personen bei einem Pkw-Unfall konnte zum Vorjahr nochmals um 11% auf ein Minimum von 2110 gesenkt werden. Der lang anhaltende Trend in der Reduzierung der Zahl der getöteten Pkw-Fahrer und Mitfahrer ist durch den Einzug verschiedener aktiver und passiver Sicherheitssysteme im Auto zu erklären. Beginnend mit dem Sicherheitsgurt, konnten Gurtstraffer, Airbag und Advanced Restraint Systems im Bereich der passiven Sicherheit positiv auf die Unfallfolgen wirken (Abbildung 1-1).

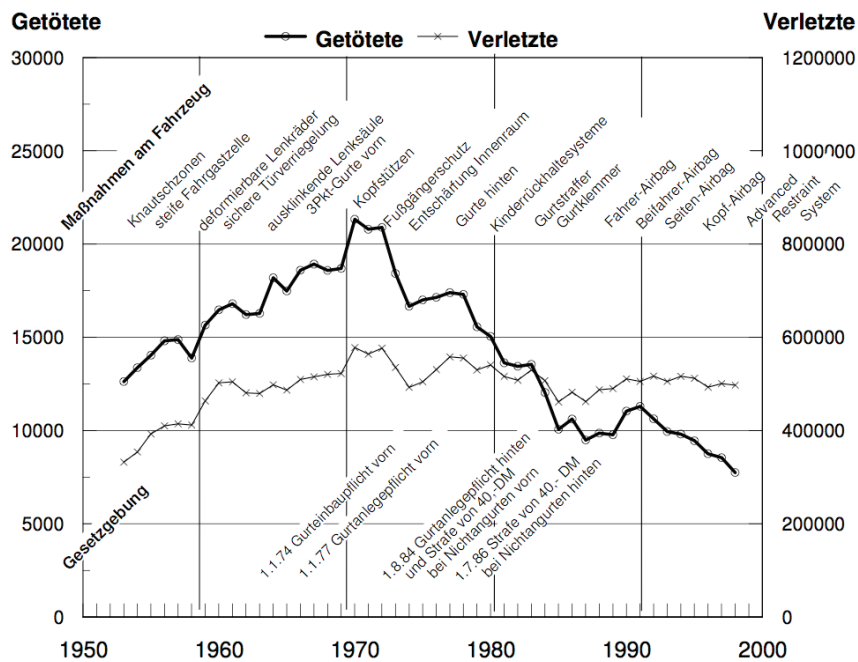


Abbildung 1-1: Historie der Sicherheitsmaßnahmen im Pkw-Bereich Quelle: Lutter (2008).

Die Entwicklungen der aktiven Fahrzeugsicherheit wie ABS, ESP und Bremsassistent, sowie die Fortschritte in der Rettung von Verunglückten unterstützen diesen Trend.

Die Motorradsicherheit hat neben dem BMW C1 Roller und der Honda Gold Wing bisher keinen Serieneinsatz passiver Schutzmaßnahmen am Fahrzeug gezeigt.

In dieser Arbeit wird ein Konzept für ein passives Motorradsicherheitssystem erstellt, welches in erster Linie die ursprüngliche Erscheinung des Motorrads nicht grundlegend verändert. Die Akzeptanz eines Sicherheitssystems beim Kunden soll so sichergestellt werden und ein flächendeckender Einsatz wahrscheinlicher gemacht werden.



## 2 Typischer Unfallablauf und Verletzungen

Die Verteilung der Verletzungen bei beiden Unfallkonstellationen zeigt, dass bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten häufiger eine Verletzungsschwere von AIS 3+ je Körperregion auftritt (Abbildung 2-1).

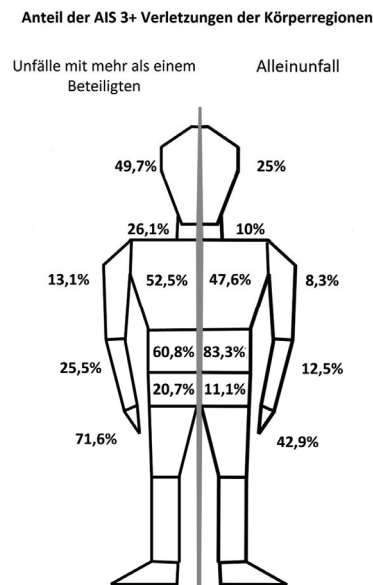


Abbildung 2-1: Verteilung der AIS 3+ Verletzungen Quelle: Unger, Kühn et al. (2008).

Auffällig ist, dass bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten das Risiko einer Kopfverletzung mit einem AIS 3+ Wert doppelt so hoch ist wie bei Alleinunfällen.

Unabhängig von der Hauptschuldigkeit der Betroffenen, führt bei der Kollision mit einem anderen Verkehrsteilnehmer der Anprall des Motorradfahrers an diesem größtenteils zu schweren Verletzungen. Die Folgen des Unfalls sind schwerwiegender, wenn es zu einem direkten Anprall des Motorradfahrers mit dem Unfallgegner kommt und wenn die Kollision außerhalb von geschlossenen Ortschaften stattfindet. Unfälle auf Autobahnen können außer Acht gelassen werden, da sie statistisch irrelevant sind. Um eine Kollision zu verhindern oder die Folgeschwere zu mindern, wird bereits in der Führerscheinausbildung darauf geachtet, dass der Motorradfahrer nicht nur die Verkehrsregeln beherrscht, sondern auch geübt, wie bei einer drohenden Kollision eine Notbremsung eingeleitet wird. Wird während des Bremsmanövers erkannt, dass dieses nicht ausreicht, um einen Aufprall zu verhindern, soll ein Umfahren des Hindernisses mittels eines Ausweichhakens, eine Kollision unterbinden. Eine Unfalldatenanalyse zeigt dass die Kombination aus Bremsen und Ausweichen vor dem Unfall-

eignis insgesamt zu einer geringeren Unfallschwere führt. Abbildung 2-2 zeigt exemplarisch an einem Einbiege- und Kreuzungsunfall an Einmündungen vergleichend den Median der Verletzungsschwere in Bezug auf die Reaktion vor dem Unfallereignis. Wird vor dem Unfallereignis durch eine Bremsung Bewegungsenergie abgebaut und versucht die Kollision durch ein Ausweichen zu verhindern, so liegt die Verletzungsschwere niedriger.

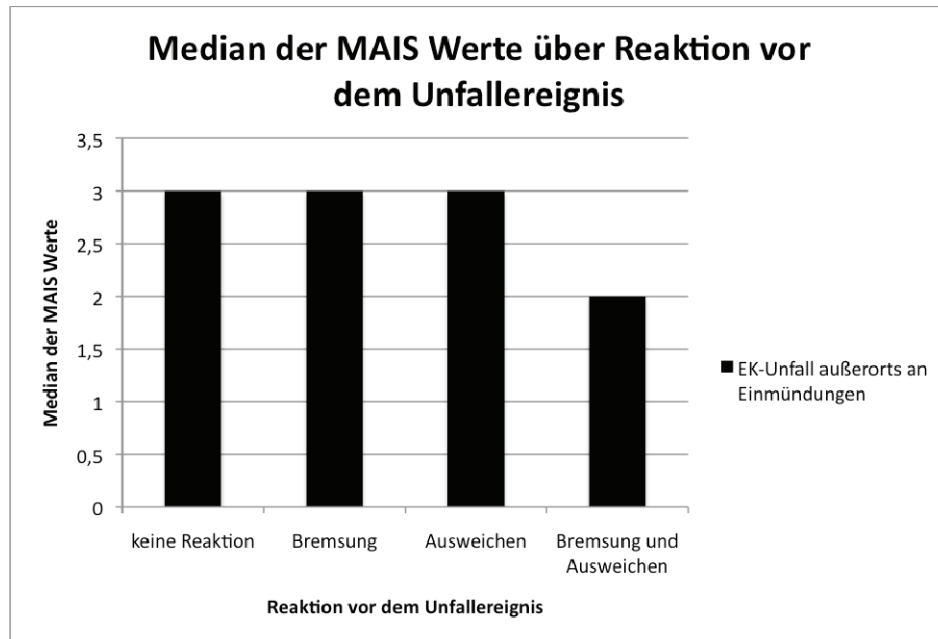


Abbildung 2-2: Verletzungsschwere in Abhängigkeit der Reaktion vor dem Unfallereignis  
Quelle: Unger, Kühn et al. (2008).

Dabei ist in die Häufigkeit der Versuche den Unfall durch eine Bremsung in Kombination mit einem Ausweichmanöver zu verhindern, nur halb so hoch, wie der Versuch den Unfall ausschließlich durch eine Bremsung zu verhindern. Diese Maßnahme ist genauso häufig, wie keine Reaktion vor dem Unfallereignis, bei welcher der Fahrer mit unverminderter Geschwindigkeit in den Unfallgegner oder gegen ein Hindernis prallt (Abbildung 2-3).

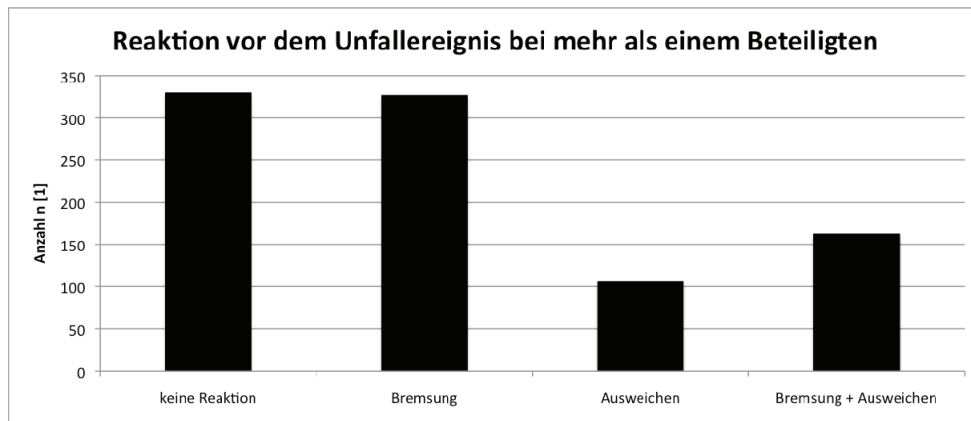


Abbildung 2-3: Reaktion vor dem Unfallereignis Quelle: Unger, Kühn et al. (2008)

Die meisten Unfälle ereignen sich mit einem einbiegenden oder kreuzenden Pkw oder mit einem entgegenkommenden Fahrzeug, welches links abbiegt. Dabei wird der Pkw zumeist frontal vom Motorrad an der linken Seite oder Front getroffen. Nur ein viertel so häufig trifft die Front des Pkw die linke oder rechte Seite des Motorrades.

Als typische Unfallkonstellation kann nicht vorrangig ein Typ zu definiert werden. Durch die gleich verteilten Anstoßpunkte an der Fahrzeugfront und Fahrerseite des Unfallgegners, können zwei typische Unfallverläufe abgeleitet werden. Zum einen kollidiert der Motorradfahrer mit einem anderen Verkehrsteilnehmer aus dem Querverkehr und trifft ihn auf Höhe der Fahrentür, zum anderen trifft der Motorradfahrer frontal auf einen abbiegenden oder geradeaus fahrenden Verkehrsteilnehmer, der in entgegengesetzter Richtung fährt. Beiden zuzuordnen ist, dass der Motorradfahrer entweder keine Reaktion vor der Kollision zeigt, oder eine Bremsung einleitet, die jedoch den Unfall nicht mehr verhindern kann. Lediglich in 18,9% der Fälle kommt es vor dem Unfallereignis zu einem Sturz des Motorradfahrers.

Der Anprall am Fahrzeuggegner führt in knapp 50% der Fälle zu Verletzungen am Kopf mit einer Bewertung AIS 3+. Stärker sind nur die unteren Extremitäten mit 71,6% Auftretenswahrscheinlichkeit von AIS 3+ Verletzungen belastet und das Abdomen mit 60,8%.

Um die Unfallfolgen zu mindern soll in dieser Arbeit ein Sicherheitskonzept erarbeitet werden, welches das Motorrad in seiner ursprünglichen Form nicht verändert und welches den aus dem Pkw-Bereich bekannten Prinzipien der Passiven Fahrzeugsicherheit genüge trägt.

### **3 Prinzipien der Passiven Sicherheit beim Pkw**

Die Maßnahmen, welche die Prinzipien der passiven Sicherheit beim Pkw sicherstellen, tragen dazu bei, dass immer weniger Menschen bei einem Verkehrsunfall schwer verletzt oder getötet werden. Folgende Grundprinzipien können unterschieden werden:

#### **Vermeidung von Intrusionen und Sicherstellen des Überlebensraums:**

Tritt aufgrund von kollabierenden Fahrzeugstrukturen eine Intrusion auf, verringert sich der zur Verfügung stehende Vorverlagerungsweg oder es werden Fahrzeugbauteile in die Fahrgastzelle verschoben. So kann nur bis zum Aufschlagen des Insassen auf der Innenraumstruktur eine biomechanisch erträgliche Verzögerung sichergestellt werden. Im Extremfall führt eine maximale Intrusion zu einer Vernichtung des nötigen Überlebensraumes und der Insasse wird eingeklemmt. Dadurch steigen die Belastungen für den Körper drastisch an und zudem wird eine schnelle Bergung des Unfallopfers verhindert.

Durch den Einsatz höherfester Stähle im Fahrzeugbau und den Lastpfaden entsprechenden Bauteildimensionierungen, werden wirksam unter anderem einknickende Dachkanten im Bereich des Übergangs von der A-Säule zur Dachstruktur vermieden. Starr anzunehmende Bauteile, wie z.B. der Motorblock und das Getriebe werden bei einer großen Deformation der Fahrzeugfront möglichst unter die Fahrgastzelle geschoben. Zusammen gleiten diese nahezu undeformierbaren Baugruppen an der Spritzwand entlang unter das Bodenblech, damit der Fußraum nicht verkleinert wird.

#### **Frühe Teilnahme des Fahrzeuginsassen an der Verzögerung des Fahrzeugs:**

Der Fahrzeuginsasse wird mit Hilfe eines an der Fahrzeugstruktur oder Sitz befestigten Gurtes zurückgehalten. Heutzutage werden beim Pkw auf allen Sitzplätzen fast ausschließlich 3-Punkt Gurte verwendet. Dadurch wird nicht nur das Becken fixiert, sondern auch der Oberkörper wird zurückgehalten. Durch die Aufwickeleinrichtung kommt es im Sperrstatus bei einem Unfall prinzipbedingt zu einem „Filmspuleneffekt“. Die gegen Verdrehung gesperrte Aufwickelachse kann nicht dafür sorgen, dass der aufgewickelte Gurt durch die Kraft des nach vorne schnellenden Oberkörpers immer weiter in Auszugrichtung ausgezogen wird. Die Windungen des Gurtes zieht sich mehr zusammen als zuvor, welches zu einer vermeidbaren Vorverlagerung des Oberkörpers führt, ohne dass dieser auf ertragbarem Niveau unterhalb der Fahrzeugverzögerung zurückgehalten wird. Durch eine zusätzliche Gurtklemmung wird diese Gurtlose vermieden und der Insasse nimmt früher an der Verzögerung des Fahrzeugs teil. Weitere Faktoren für eine große Gurtlose können dicke Kleidung und eine lockere Anlegegewohnheit, sowie ein nach vorne gebeugter Fahrstil sein. Diese kann durch einen Gurtstraffer eliminiert werden, der entweder pyrotechnisch, durch vorgespannte Federkraft oder reversibel mittels

Elektromotor auf einem bestimmten Kraftniveau von ca. 2000N Gurtmaterial in den Retraktor einzieht. Dadurch wird der Insasse direkter mit dem Fahrzeug verbunden und eine schnellere Teilnahme an der Fahrzeugverzögerung kann erfolgen. Um jedoch eine Verletzung des Zurückgehaltenen durch das Gurtsystem zu vermeiden muss die Gurtkraft im Verlauf der Rückhaltung durch einen Gurtkraftbegrenzer auf ertragbarem Niveau gehalten werden. Die auf den Oberkörper wirkende Kraft kann z.B. durch Torsionsstäbe, Reibflächen oder Deformationslaschen auf ca. 4kN begrenzt werden (Schmitt 2010).

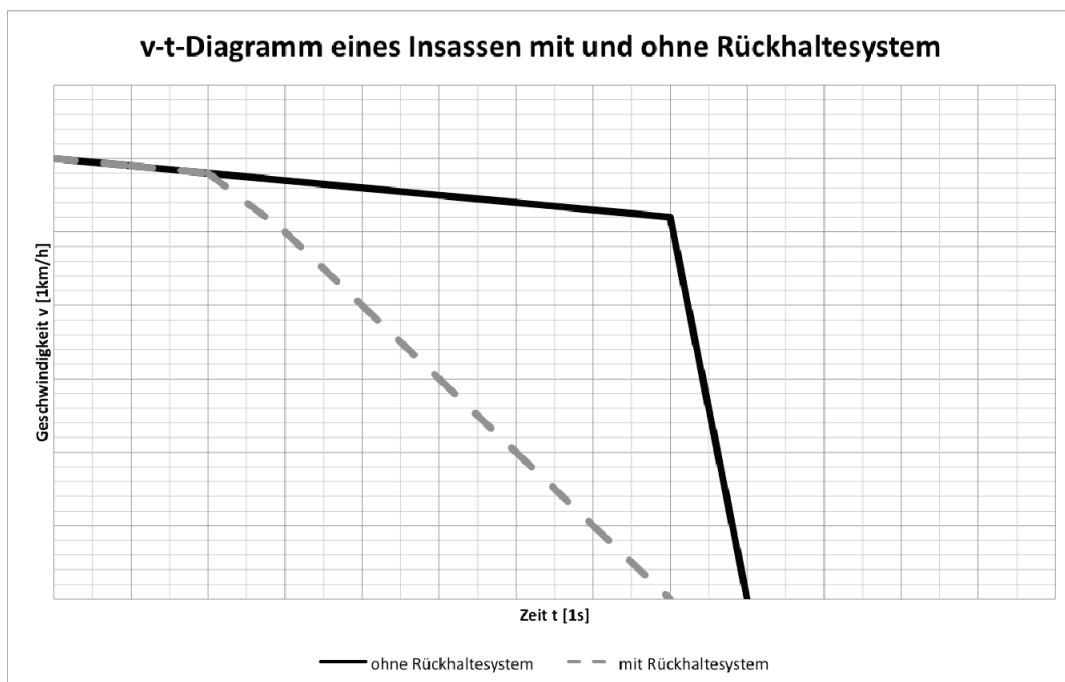


Abbildung 3-1: v-t-Diagramm Insassenrückhaltung

Neben der Hauptrückhaltung durch den Gurt helfen gepolsterte Innraumverkleidungen und für bestimmte Lastpfade gezielt positionierte Airbags, die je nach Kollisionsschwere gezündet werden. Sie verringern nicht nur die Belastung einzelner Körperteile bei Kontakt mit harten Strukturen, sondern steuern auch zunehmend die Kinematik des zurückgehaltenen Insassen. So verhindern Seitenairbags nicht nur den direkten Kontakt des Insassen mit dem Fahrzeuginnenraum, sondern bewegen ihn durch gezieltes „Anschließen“ vom kritischen Kollisionspunkt weg, um so einen größeren Freiraum zu schaffen und die Relativgeschwindigkeit, die durch die unterschiedlichen Bewegungen der beiden Stoßkontrahenten entsteht, zu mindern.

Die niedrigsten Belastungen werden erreicht, wenn der größtmögliche Verzögerungsweg ausgenutzt wird. Betrachtet man das v-t-Diagramm (Abbildung 3-1), so ist zu erkennen, dass der Gradient und

damit die Verzögerung des Insassen geringer ist, wenn der zur Verfügung stehende Vorverlagerungsweg größer ist.

### **Energieaufnehmende Deformationszone und Vermeidung von Blockbildung:**

Um das auf den Insassen wirkende Belastungsmaß so gering wie möglich zu halten, soll die beim Aufprall abzubauenende Energie durch eine möglichst plastische Verformung der Deformationszone in der Frontstruktur abgebaut werden. Dabei hat sich das Faltenbeulen der Längsträger am effektivsten erwiesen. Ist es möglich eine längere Deformationszone vorzusehen, so kann die Energieabsorption auf niedrigerem Kraftniveau erfolgen. Die Anforderungen an das Rückhaltesystem (RHS) sinken. Besteht aufgrund von Packageanforderungen die Notwendigkeit eine kürzere Fahrzeugfront vorzusehen, so muss diese steifer ausfallen, um das gleiche Maß an Energie auf kürzerem Weg abzubauen. Stets ist die Blockbildung von Bauteilen, wie z.B. des Motorblocks und Getriebes zu verhindern, damit freie Deformationswege zur Verfügung stehen.

Als Beispiel für eine gute Abstimmung zwischen Rückhaltesystem und Fahrzeugdeformation sei der Smart fortwo genannt, der trotz seiner geringen Fahrzeuglänge und damit kurzen Deformationszone eine gestaltstabile Fahrgastzelle aufweist. Die darauf abgestimmten Rückhaltesysteme ermöglichen eine niedrige Insassenbelastung auf dem Niveau eines Fahrzeugs der nächst höheren Klasse. Von Vorteil ist der im Heck platzierte Motor mit Getriebeeinheit, da auf diese Weise eine Blockbildung der Aggregate vermieden wird und die Fahrzeugfront frei deformieren kann.

Im Folgenden werden bekannte Ansätze aus dem Pkw-Bereich auf das Motorrad übertragen. Dabei muss der Kompromiss aus Aufsassenschutz und unveränderter Erscheinung des Motorrads berücksichtigt werden. Eine höhere Akzeptanz des Nutzers am Sicherheitssystem ist so zu erwarten.

## **4 Sicherheitskonzept unter Beibehaltung der ursprünglichen Erscheinungsform des Motorrades**

### **4.1 Maßnahmen für Unfälle mit mehr als einem Beteiligten**

Die zu betrachtenden Maßnahmen müssen den Grundprinzipien der passiven Sicherheit entsprechen. Während diese vom BMW C1 noch konsequent umgesetzt wurden, lässt der Ansatz mit dem Airbag von Honda bei der Gold Wing, besonders das frühe Teilnehmen an der Fahrzeugverzögerung, vermissen. Erst durch das Eintauchen in den Airbag wird die Geschwindigkeit des Aufsassens signifikant verringert. Dadurch verschlechtert sich der Ride-Down-Factor und damit das Schutzpotenzial.

Um dies zu verbessern ist es notwendig, dass dem Fahrer frühzeitig ermöglicht wird, seine Geschwindigkeit abzubauen. Seit Einführung der Gurtpflicht und vor allem des Bußgeldes bei Nichtbeachtung dieser Vorschrift in den 1970er Jahren, ist die Zahl der im Verkehr getöteten Personen signifikant gesunken. Dies zeigt, dass die Rückhaltung mit einem Sicherheitsgurt einen signifikanten Einfluss auf die Zahl der Verkehrstopfer hat.

Stand der Technik im Pkw-Bereich ist heutzutage ein Drei-Punkt-Gurt mit Gurtstraffer und Gurtkraftbegrenzer. Bei einer Kollision wird die Rückhaltekraft des Gurtes in die belastbaren, knöchernen Körperstrukturen wie Becken und Brustkorb eingeleitet. Der Gurtstraffer sorgt dafür, dass eine vorhandene Gurtlose aus dem Rückhaltesystem entfernt wird und so der Insasse schneller an der Verzögerung des Fahrzeugs teilnehmen kann. Steigt die Gurtkraft infolge der Rückhaltung über ein definiertes Niveau, leistet der Gurtkraftbegrenzer eine Reduzierung der Gurtkraft, indem er gezielt Gurtband ausgibt.

Für das hier behandelte Konzept wird ein Beckengurt gewählt, der vom Fahrer möglichst wenig wahrgenommen wird, damit eine hohe Fahrerakzeptanz erreicht werden kann. Um einen Kontakt des Oberkörpers mit dem Tank und dem Vorbau zu verhindern, hält ein Airbag diesen zurück und dämpft so die Rotation des Oberkörpers in der Sagittalebene (Abbildung 4-1). Für eine Minderung der Gurtlose wird auf jeder Seite ein Gurtstraffer vorgesehen, da die Reibung des Gurtbandes am Aufsassen zu einem Rotationsmoment in der Transversalebene führt, wenn nur eine einseitige Gurtstraffung erfolgt. Die eingeleitete Drehung des Oberkörpers würde dann zu einem außermittigen Eintauchen in den verwendeten Airbag auf dem Tank führen. Damit der Beckenkamm nicht übermäßig belastet wird, findet eine Gurtkraftbegrenzung statt, die so abgestimmt wird, dass der Aufsasse nicht mit dem Becken an den Tank prallt.

Der Airbag ist hier kein primäres Rückhaltesystem, sondern ein rein unterstützendes System bei der Minderung der Verletzungsschwere zum Gurt. Dadurch kann er kleiner ausfallen als müsste er ohne Gurt den Fahrer zurückhalten. Das bedeutet für den Aufsassen von Motorrädern mit geringem Abstand zwischen Tank und Oberkörper eine geringere Gefahr bei der Entfaltung. Mit einem Luftvolumen von  $V_{Airb} \approx 30l$  bietet der Luftsack einen Package- und Entfaltungsvorteil für Motorradtypen, die zum einen wenig Platz für den Einbau haben und zum anderen nur wenig Raum zwischen Tank und Aufsassen aufweisen. Zudem soll die Verwendung von Fangbändern die übermäßige Ausdehnung verhindern und so zusätzlich die vom Airbag induzierten Belastungen gering halten. Da nach Voraussetzung keine bestehende Schutzkleidung entfallen soll, wird durch die Fangbänder des Airbags ein Freiraum für den Kinnschutz des Helmes sichergestellt. Eine übermäßige Krafteinleitung am Kinnschutz könnte sonst zu einem erhöhten Extensionsmoment führen, da durch den Helm ein längerer Hebel entsteht, als wenn nur das Kinn in den Airbag eintauchen würde.

An den unteren Extremitäten werden Fixierungen vorgesehen, ähnlich den Systemen, die vom Fahrradrennsport bekannt sind. Ein Einrastsystem soll während einer Kollision unkontrollierte Bewegungen der Beine verhindern. Dabei liegt der Schwerpunkt auf der Entlastung des Beckens. Da Verletzungen der unteren Extremitäten selten lebensbedrohlich sind, wird der Schwerpunkt der Untersuchung nicht darauf gelegt.

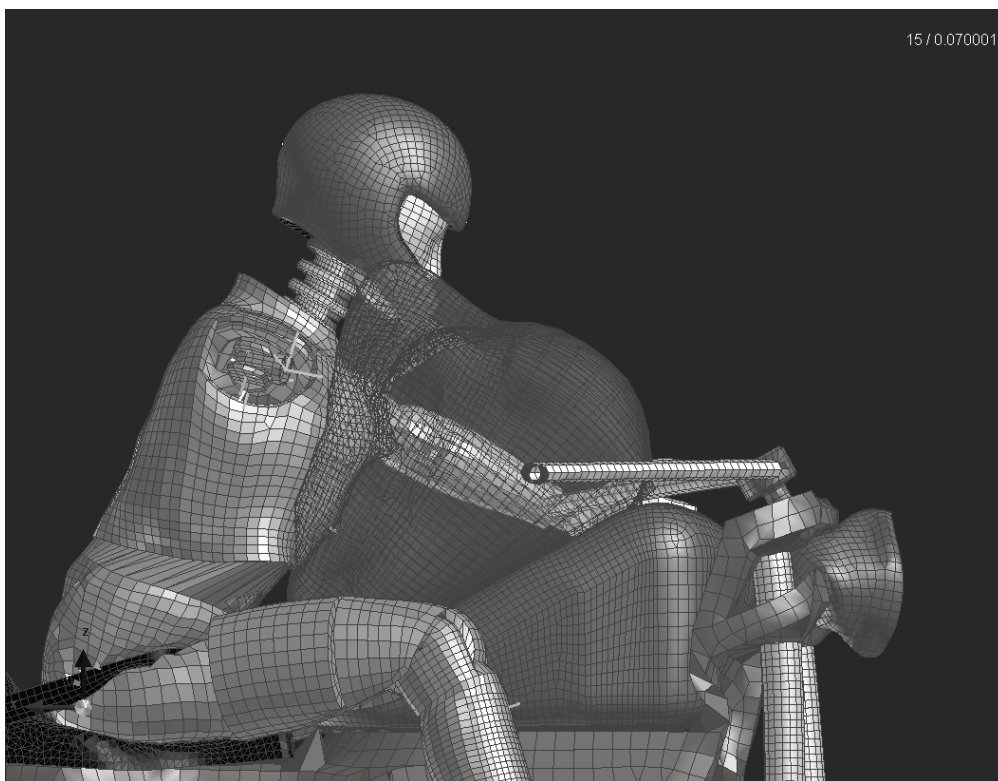


Abbildung 4-1: Gurt und Airbag bei ausgeblendetem Arm



## 4.2 Auswahl der Maßnahmen für Alleinunfälle

Für die häufig schwerwiegenden Alleinunfälle muss ein Rückhaltesystem andere Funktionen erfüllen. Prinzipiell sollte eine Ergänzung zum Rückhaltesystem, welches für Unfälle mit mehr als einem Beteiligten ausgelegt ist, gefunden werden, da sich der Unfallablauf von dem mit mehr als einem Beteiligten unterscheidet.

Von Vorteil ist, dass der Motorradfahrer bei Alleinunfällen zunächst nicht mit einem anderen Verkehrsteilnehmer oder einem Hindernis kollidiert, wodurch die Belastungen des Kopfes, Nackens und des Thorax, geringer ausfallen. Häufig führt ein Fahrfehler zu einer Sturzsituation, welche besonders die unteren Extremitäten belastet. Dabei haben sie reibenden Kontakt mit der Fahrbahn und werden zwischen Fahrzeug und Straßenoberfläche eingeklemmt. Nahe liegt, dass die unteren Extremitäten weniger belastet werden, wenn bei rutschendem Motorrad mit Aufsassen ein ausreichender Freiraum zwischen Fahrzeug und Fahrbahn für diese zur Verfügung steht. Die Analyse der Datenbasis hat jedoch gezeigt, dass auch bei einem Motorrad mit Boxermotor und fest installierten Koffern am Heck des Fahrzeugs, und so ein Freiraum für die Beine geschaffen wird, keine signifikante Reduzierung der Wahrscheinlichkeit einer *AIS3+* Verletzung der unteren Extremitäten darstellt. Anzunehmen ist, dass trotz des Freiraums zwischen Motorrad und Fahrbahn, die unteren Extremitäten aufgrund von Reibung zwischen Fahrbahn und Fahrerbekleidung stärker abgebremst werden als das rutschende Fahrzeug und es so zu einem Einklemmen zwischen Koffer und Fahrbahn kommt.

Da die Sicherheitseinrichtung für den Alleinunfall als Ergänzung zum Rückhaltesystem für den Unfall mit mehr als einem Beteiligten ausgeführt sein sollte, bleiben diese auch für den Alleinunfall bestehen. Wird ein Alleinunfall angenommen, bei dem der Fahrer die Kontrolle über das Fahrzeug verliert und ins Rutschen gerät, kann mit geeigneten Reibflächen am Fahrzeug sichergestellt werden, dass sich das Fahrzeug vor den Fahrer dreht. Wird der Fahrer nun durch den Beckengurt an das Fahrzeug gebunden, so kann das Fahrzeug gezielt als Schutzschild verwendet werden. Bei der Kollision mit einem Sigma-posten, einer Leitplanke oder einem anderen Hindernis, wird die Kontaktfläche vergrößert und die Wahrscheinlichkeit schwerer Verletzungen durch Hindernisse mit hohen, lokalen Kontaktkräften verringert. Zudem stellt der im Tankbereich platzierte Airbag eine weitere, die Aufprallkraft mindernde Einrichtung dar, wenn der Oberkörper des Aufsassen gegen sein eigenes Fahrzeug geschleudert wird. Um die Reibfläche zwischen Fahrerbekleidung und Fahrbahn zu eliminieren, wird ein seitlicher Airbag untersucht, der im Falle eines seitlichen Rutschens den Fahrer einhüllt wie eine Luftmatratze. Dieser soll nicht in erster Linie die Aufprallenergie auf der Fahrbahn mindern, sondern eine Gleitfläche für den Fahrer darstellen (Abbildung 4-2).

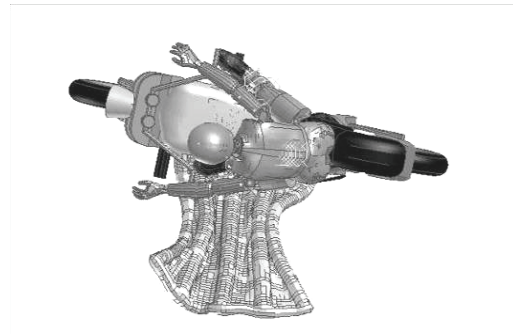
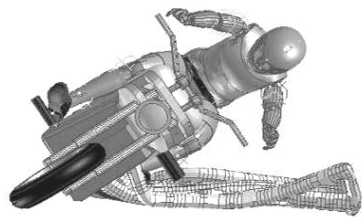


Abbildung 4-2: FE-Chopper Modell mit Seitenairbag in Front- und Draufsicht

Um den Airbag auszulösen, ist ein Sensorsystem notwendig, welches erkennt, dass das Motorrad stürzen wird. Ab einem Schräglagenwinkel von  $\alpha_{\text{Schräglage}} > 45^\circ$  rechnerisch keine ausreichende Seitenführungskraft der Räder übertragen werden kann (Stoffregen, 2006), sollte eine Sensierung der Fahrzeugschräglage die Gefahr eines Unfalles erkennen. Zur Unterstützung dieser Sensierung kann die Differenz der Raddrehzahlen einen Aufschluss darüber geben, ob sich das Fahrzeug noch in einem stabilen Fahrzustand befindet.

Bei einer Größe der Rutschmatte von ca.  $1500\text{mm}$  in der Länge und  $900\text{mm}$  in der Breite, liegt die Entfaltungszeit des Airbags mit ca.  $\Delta t_{\text{Airbag}} = 90\text{ms}$  doppelt so hoch als bei einem herkömmlichen Frontalairbag. Noch während des Sturzes wird unter dem Fahrer der Airbag entfaltet, damit er dann auf ihm zum Liegen kommen kann.

Die straßenseitigen passiven Schutzmaßnahmen führen im Alleinunfall bei Kollision zu Erhöhung der Belastungen des Fahrers. So helfen sie zwar mehrspurigen Fahrzeugen gezielt Energie durch Deformation abzubauen, doch werden Aufsassen von Einspurfahrzeugen bei Kontakt mit den Sigma Pfosten stark belastet.

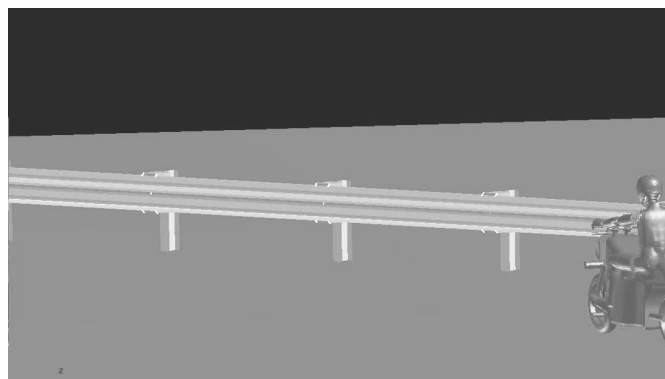


Abbildung 4-3: Numerische Leitplanke für Alleinunfall

## 5 Unfallkonstellationen und Crashpartner

Die ISO 13232 schlägt für die Überprüfung der passiven Sicherheit von Einspurfahrzeugen sieben unterschiedliche Crashkonstellationen vor, bei denen das Kraftrad ausschließlich auf ein zweispuriges Fahrzeug als Crashkontrahent prallt. Je nach Konstellation sind zum Zeitpunkt des ersten Kontaktes  $t_0 = 0s$  beide oder nur ein Fahrzeug in Bewegung (Abbildung 5-1).

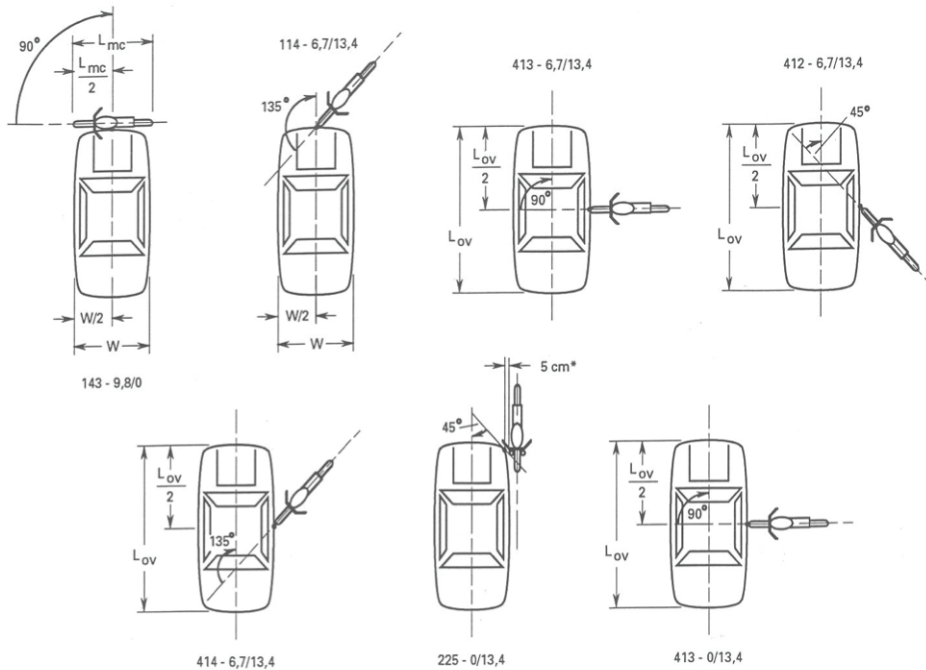


Abbildung 5-1: Kollisionskonstellationen nach ISO 13232. Quelle: ISO 13232-2 S. 4

Vergleicht man die vorgeschlagenen Konstellationen der ISO 13232 mit den Unfallkonstellationen der statistischen Analyse, so finden sich diese in den Unfallkonstellationen 114, 412, 413 und 414 wieder. Mit der Variation des Aufprallwinkels entsprechen sie dem Einbiege- und Kreuzungsunfall, sowie des Abbiegeunfalls im Längsverkehr. Die Konstellationen 143 und 225 entsprechen nicht der vorangegangenen Definition und werden daher nicht in die Variantenbetrachtung mit einbezogen. Die ausgewählten Rückhaltemaßnahmen sind nicht für diese Lastfälle ausgelegt und können somit nicht zu einer Verringerung der Belastungswerte des Dummys beitragen. Damit die eingesetzten Sicherheitssysteme zu keiner Verschlechterung der Belastung der Aufsassen führen, darf in diesen Konstellationen der Airbag nicht ausgelöst und der Beckengurt muss geöffnet werden. Vorstellbar ist, dass das Motorrad durch das gegnerische Fahrzeug derart beschleunigt wird, dass der Aufsasse von seinem eigenen Fahrzeug begraben wird und so hohe Belastungen erfährt.

Diese verbleibenden fünf Unfallkonstellationen werden jeweils für den Chopper und das Sportmotorrad herangezogen.

Für die Überprüfung des Alleinunfalls wird ein paarweiser Vergleich eines Abkommens von der Fahrbahn mit Anprall an eine Schutzplanke herangezogen. Der Motorradfahrer stürzt bei einer Geschwindigkeit von  $v = 56 \frac{km}{h}$  und rutscht mit  $v_{Kollision} = 41 \frac{km}{h}$  gegen eine Schutzplanke. Da der Alleinunfall in der Rutschphase wenig von der Sitzposition abhängig ist, wird dieser Unfall exemplarisch am Beispiel des Choppers gezeigt.

Zur weiteren Variationsbetrachtung werden nicht nur die gewählten Rückhaltemaßnahmen überprüft, sondern auch Teilsysteme dieser. So stehen als Teilsysteme für die betrachteten Unfallkonstellationen ein einzelner Beckengurt, ein einzelner Airbag, keine Rückhaltesysteme als Vergleichsparameter und ein Beckengurt in Kombination mit dem Rückhaltgurt als vollständiges Rückhaltesystem zur Verfügung. Insgesamt werden so 42 Unfallkonstellationen überprüft.

Um möglichst unterschiedliche Motorradtypen zu überprüfen, wurden ein generisches Sportmotorrad (Abbildung 5-2) und ein generischer Chopper (Abbildung 5-3) erstellt.

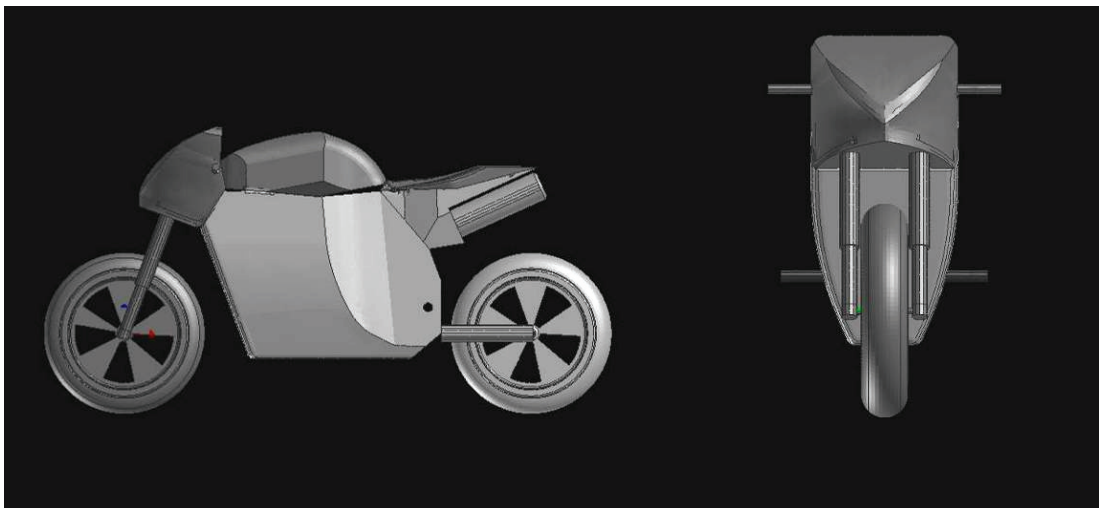
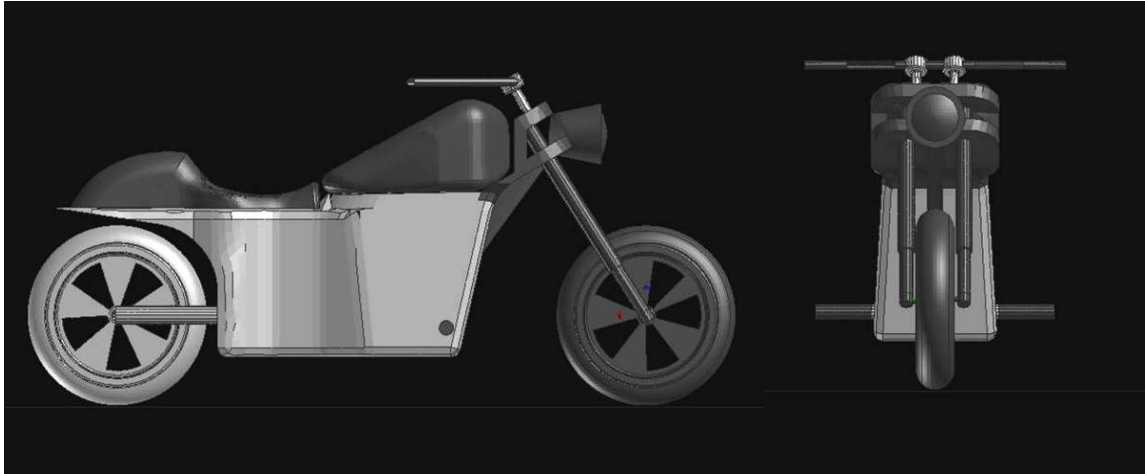
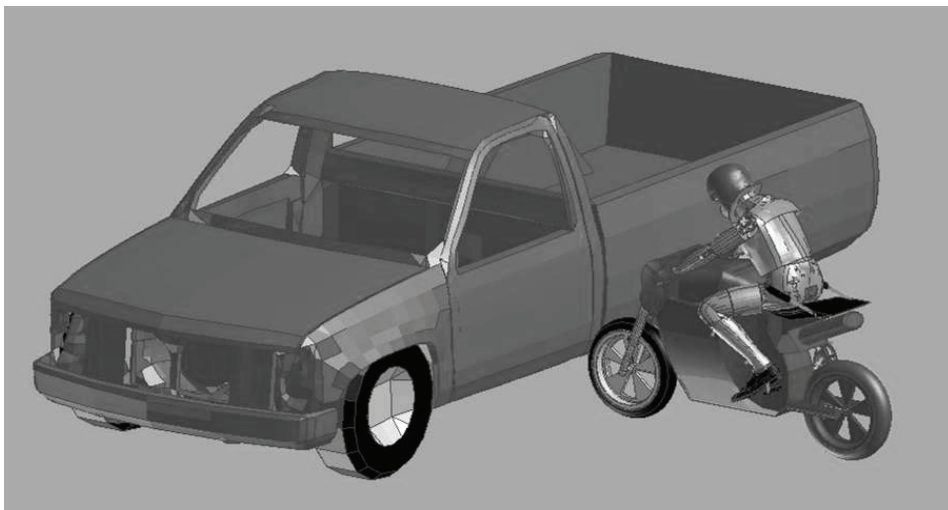


Abbildung 5-2: Seiten- und Frontansicht des generischen Sportmotorrades



*Abbildung 5-3: Seiten- und Frontansicht des generischen Choppers*

Um die Rechenzeit der benötigten Simulationen möglichst gering zu halten, wurde ein Light Truck mit einer relativ geringen Anzahl an FE-Elementen verwendet (Abbildung 5-4). Die Rechenzeit konnte so insgesamt auf 2,5 Wochen der benötigten Simulationsvarianten ohne Vorversuche reduziert werden.



*Abbildung 5-4: Numerisches Modell des Transporters*

## 6 Vorversuche zum Sicherstellen der biomechanischen Grenzwerte

Für die Variationsrechnung der dargestellten Unfallkonstellationen sind eine Vielzahl von Vorversuchen durchgeführt worden, die auf Basis der Konstellation 413 nach ISO 13232 die Funktionsweise der Rückhaltemaßnahmen und des Gesamtmodells, auch für die Varianten sicherstellen sollen. Die dabei erzielten Erkenntnisse fließen in die Variationsrechnung ein und bilden so über Iterationsschleifen endgültige Simulationsmodel für die Variation der Konstellationen:

### 6.1 Betrachtung der Nackenkräfte

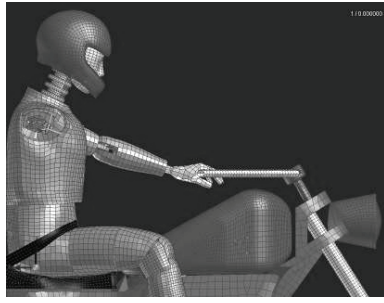
Die Belastung des Nackens ist besonders durch den Helm, der neben dem Kopf eine zusätzliche Masse für den Nacken bedeute, zu überprüfen. Daneben wirkt sich die bereits angesprochene Verlängerung des angreifenden Hebels am Kopf für das Extensionsmoment des Nackens negativ aus und muss bei der Dimensionierung des Airbags berücksichtigt werden.

Durch eine gezielte Formgebung des Luftsacks wird sichergestellt, dass der Helm nicht frühzeitig mit dem Airbag in Kontakt gerät, sondern zusammen mit den Schultern und dem Oberkörper eintaucht. Die seitlichen Ausprägungen des Airbags stützen die Schulter und leiten so eine Kraft in den Oberkörper ein, bevor der Kopf durch den Airbag in den Nacken geworfen werden kann. Dies wirkt einem möglichen Extensionsmoment entgegen.

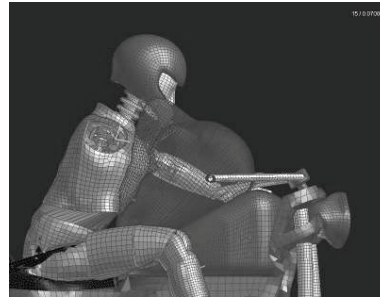
Abbildung 6-1 zeigt eine Bildfolge des Dummys und des entfaltenden Airbags. Der rechte Arm wurde ausgeblendet und der Luftsack ist transparent angezeigt. Bei  $t_2 = 65ms$  beginnt der Motorradfahrer mit dem Thorax in den Airbag einzutauchen. Bei  $t_3 = 70ms$  liegt bereits der gesamte Oberkörper auf und der Kopf hat noch immer keinen Kontakt mit dem Textil. Erst bei  $t_4 = 80ms$  beginnt der Helm in den Airbag einzutauchen. Zu diesem Zeitpunkt liegen auch die Schultern auf den außenstehenden Ecken an und der Aufprall des Dummys wird gebremst.

Im vorliegenden Fall wird so im Zusammenspiel mit dem Beckengurt verhindert, dass der Fahrer des Choppers einen Kontakt mit dem Tank hat oder dass er gegen das gegnerische Fahrzeug geschleudert wird.

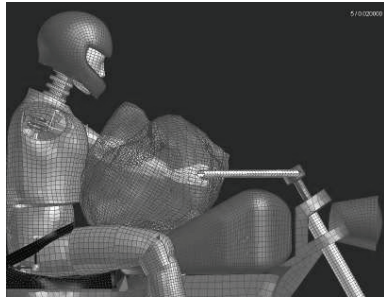
$t_0 = 0ms$



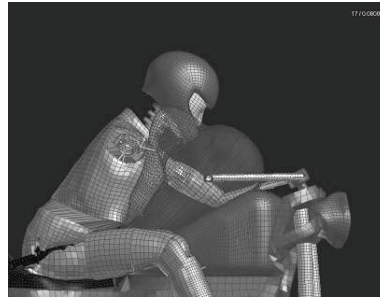
$t_3 = 70ms$



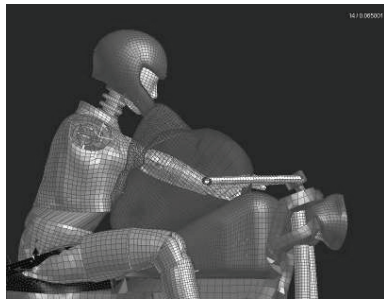
$t_1 = 20ms$



$t_4 = 80ms$



$t_2 = 65ms$



$t_5 = 90ms$

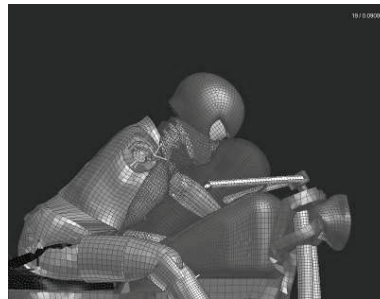


Abbildung 6-1: Bildfolge der Abstützung des Oberkörpers

In vorhergehenden Versuchen zeigte sich, dass ein Extensionsmoment am Nacken auftrat, obwohl der Helm noch ohne Kontakt zum Airbag war. Um dessen Ursache zu ermitteln, wurden Vorversuche ohne Airbag durchgeführt.

Betrachtet man den Abstand des Massenschwerpunktes des Kopfes zur verlängerten Achse des Nackens, ergibt sich ein Abstand von  $a = 18,2mm$  (Abbildung 6-2). Er führt bei Verzögerung des Dummys dazu, dass ein Moment über diesen Hebel aufgebaut wird.

Mit

$$M_{y,T} = a \cdot F = a \cdot m \cdot g, \quad [1]$$

einer Kopfmasse ohne Helm von  $m = 4,5kg$  und einer maximalen Beschleunigung von  $80g$  ergibt sich überschlägig ein Extensionsmoment von

$$M_{y,T} = 64,3Nm. \quad [2]$$

Dieser Wert erhöht sich mit einer Helmmasse von angenommenen  $m_{Helm} = 2kg$  auf ca.  $M_{y,T} = 92,8Nm$  und liegt damit weit über dem Grenzwert von  $M_{y,T} = 57Nm$ .

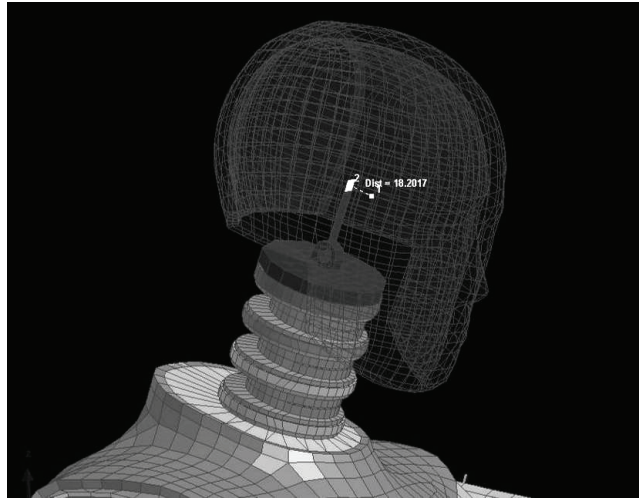


Abbildung 6-2: Abstand Massenschwerpunkt des Kopfes zur Nackenachse

Im realen Unfallgeschehen wirken die Kräfte am Kopf des Dummys wesentlich komplexer, jedoch zeigt bereits diese einfache Abschätzung, dass eine zusätzliche Masse am Kopf zu größeren Nackenbelastungen führt.

Die Überprüfung des Zusammenhangs in der numerischen Simulation liefert folgende Werte (Abbildung 6-3).

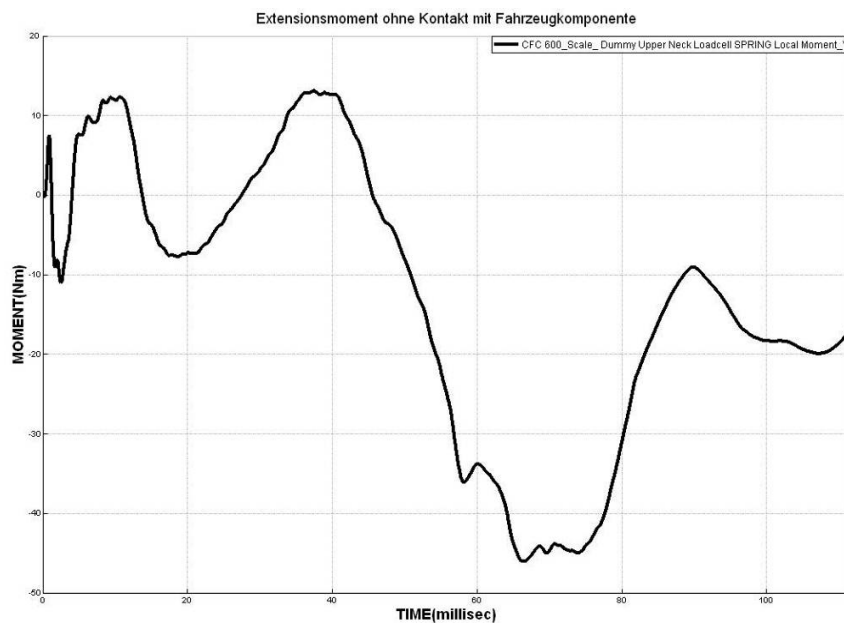


Abbildung 6-3: Nackenbelastungen ohne Kopfkontakt



Gezeigt ist das Extensionsmoment des Dummys auf einem generischen Chopper mit Beckengurt ohne Airbag, ohne dass ein Kopfkontakt stattfindet. Die Beschleunigung in Form eines Fahrzeugpulses in Höhe von max.  $a = 30g$  wirkt direkt auf den Dummy. Das FE-Motorrad steht dabei still.

Der Oberkörper beginnt infolge der Beschleunigung und Fixierung durch den Beckengurt zu rotieren. Durch die Massenträgheit des Kopfes verharrt dieser vorerst in einer translatorischen Bewegung, bis er vom Thorax über den Hals in eine Kreisbahn gezwungen wird. Dabei wird der Nacken beginnend bei  $t = 45ms$  mit einem Extensionsmoment belastet. Dieses erreicht bereits ohne Kontakt ein Maximum von  $M_{y,T} = 46Nm$  bei  $t = 66ms$ .

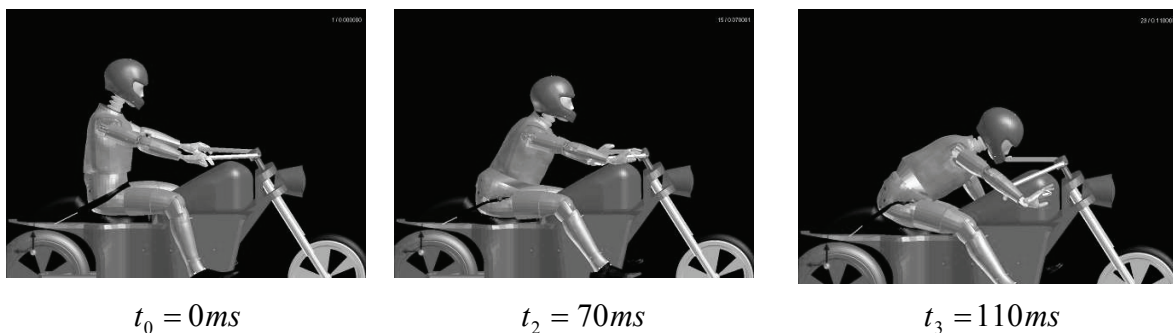


Abbildung 6-4: Bildfolge der Nackenbewegung

Die Bildfolge der Abbildung 6-4 zeigt die einzelnen Ansichten der Nackenbelastungen entsprechend Abbildung 6-3. Bei  $t_2 = 70ms$  liegt die maximale Nackenbelastung vor. Die Animation zeigt deutlich eine Überdehnung der Halswirbelsäule, ohne dass der Kopf des Dummys zuvor einen Kontakt mit einem anderen Gegenstand hatte.

Im Vergleich ist die Nackenbelastung der Simulation mit gleichen Eingangsdaten wie zuvor in Abbildung 6-5, jedoch ohne Helm dargestellt. Im Vergleich dazu ist in Schwarz nochmals das Nackenmoment mit Helm dargestellt.

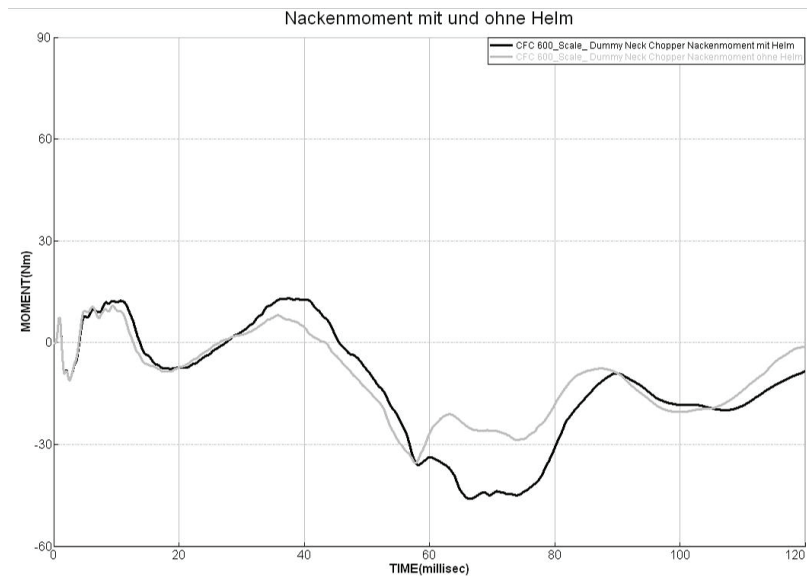
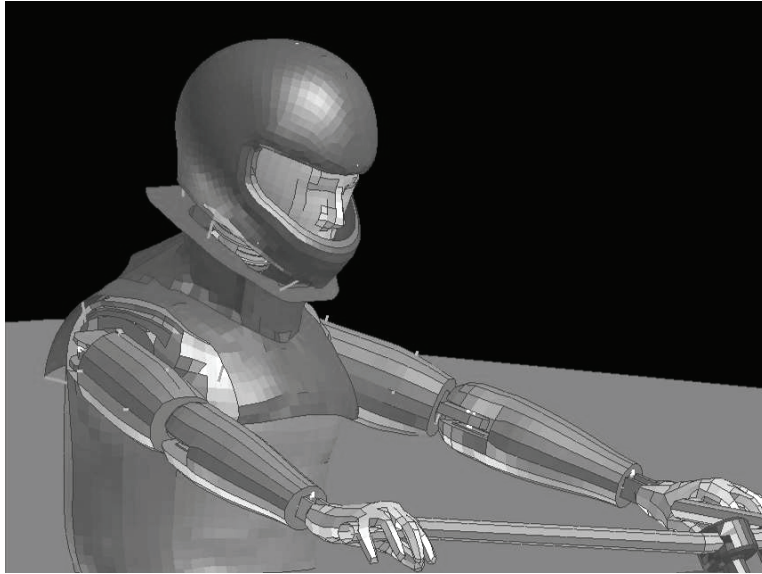


Abbildung 6-5: Nackentmoment mit und ohne Helm

Durch die reduzierte Gesamtmasse am Kopf liegt das Maximum des Extensionsmomentes um  $\Delta M_{y,T} = 11Nm$  niedriger.

Um diesen Mangel von Beginn an auszuschließen, wird für die Konzeptüberprüfung eine Halskrause ähnlich der BMW Neck-Brace vorgesehen, die eine Überdehnung des Nackens verhindern soll. Auch dabei steht nicht eine Komponentenentwicklung im Vordergrund, sondern Aufklärung der Mechanismen, die zu Belastungen führen. Das Nackenschutzsystem stützt sich an Brustkorb und Rücken des Benutzers ab und wird an der Fahrerbekleidung verankert (Abbildung 6-6). Bei drohenden Extensionen oder Hyperflexionen, stützt sich die untere Helmkante auf der umlaufenden Nackenstütze ab und verhindert so eine zu große Belastung des Nackens. Durch die Fixierung der Halskrause an der Fahrerbekleidung besteht auch die Möglichkeit, das Gewicht des Helms teilweise über die Nackenkrause abzufangen. Damit wird eine zusätzliche Reduzierung der Nackenbelastung realisiert.



*Abbildung 6-6: Nackenschutz*

Für die Konzeptstudie wird angenommen, dass die Nackenkrause keine großen Ergonomieeinschränkungen beim Tragen aufweist und sich nicht negativ auf andere Aspekte der Sicherheit des Fahrers auswirkt. Denkbar wäre z.B., dass im Falle eines frontalen Anpralls die Nackenkrause den Kehlkopf negativ belastet. Am Dummy kann keine Kehlkopfkraft gemessen werden, doch ist in den Animationen kein Kontakt zwischen der FE-Nackensstütze und dem Hals zu beobachten. Abbildung 6-7 verdeutlicht die Reduzierung der Nackenbelastung. Ohne einen Kontakt mit einem Fahrzeugbauteil zu haben, wird das Extensionsmoment am Nacken auf das Niveau ohne Helm reduziert. Die Verlagerung des Extensionsmaximums auf  $t = 93ms$  ist durch die dämpfende Verbindung zwischen Helm und Nackenkrause zu erklären.

Die Nackenkrause im Folgenden durchgehend für alle Unfallkonstellationen verwendet. Nur bei der Simulation des herkömmlichen Motorrades ohne Rückhaltsysteme wird auf die Nackensstütze verzichtet um so den paarweisen Vergleich zu ermöglichen.

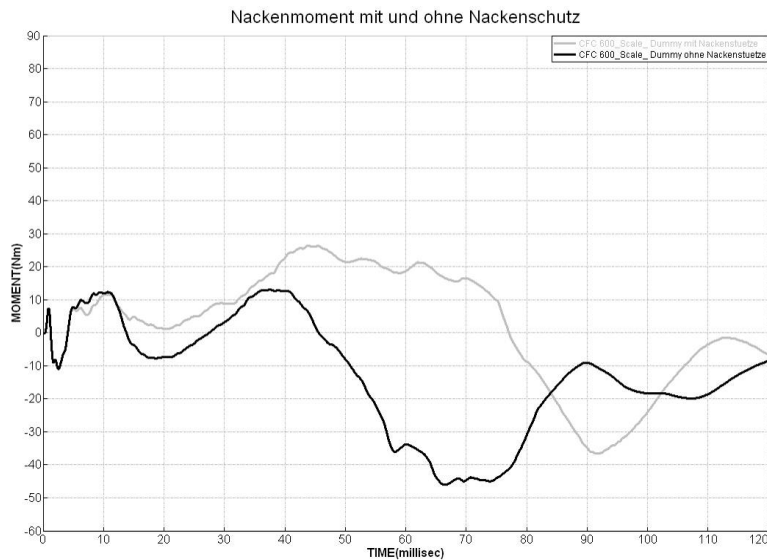


Abbildung 6-7: Nackensmoment mit und ohne Nackenschutz

## 6.2 Belastungen durch den Beckengurt

Wie bereits dargestellt trägt der Beckengurt entscheidend zum hier untersuchten Sicherheitskonzept bei. Die beidseitigen Retraktoren reduzieren die Beckenbelastung durch Senkung der Gurtkraft auf  $F_{Gurt} = 8kN$ . Dieser im Vergleich zum Pkw höhere Wert ist notwendig, um einen Kontakt zwischen Motorradfahrer und dem vor ihm liegenden Tank zu verhindern.

Die Forschung zu den Verletzungskriterien der Beckenstruktur ist nicht besonders weit vorangeschritten (Schmitt 2010). Pendelschlagversuche mit Leichen in sitzender Position verursachten bei einer Anprallkraft auf das Knie bis zu einer maximalen Kraft von  $F = 37kN$  keine Frakturen des Beckens bzw. der Hüfte. Die FMVSS 208 schreibt daher eine maximale axiale Belastung des Oberschenkelknochens von  $F_{Femur} = 10kN$  vor.

Schröder und Havemann (Schroeder und Havemann 1980) beschreiben Beckenfrakturen ab einer minimalen Belastung des Beckenrings von  $F = 7,4kN$ . Schmitt (Schmitt 2010) beschreibt eine Fraktur des Beckenkamms ab einer eingeleiteten Kraft von  $F = 8,8kN$ . Insgesamt ist davon auszugehen, dass eine Begrenzung der Beckengurtkraft auf  $F = 8kN$  einen guten Kompromiss zwischen Beckenbelastung und Vorverlagerung bietet. Zudem ist anzumerken, dass diese Belastung erheblich unterhalb der Belastung eines direkten Anpralls des Beckens mit dem metallenen Motorradtank bei einer Frontalkollision liegt.

## 7 Auswertung der Simulationsergebnisse

Zur Überprüfung des Schutzpotentials der gewählten Schutzmaßnahmen werden die Belastungswerte des Dummys ermittelt und zueinander in Bezug gesetzt. So kann die Wirksamkeit im paarweisen Vergleich verdeutlicht werden. Hier wird das untersuchte Sicherheitskonzept exemplarisch für das Sportmotorrad in den Konstellationen 413 aufgeführt.

In der ISO 13232 werden Bewertungsschemata dargestellt, die mit dem in dieser Konzeptstudie verwendeten Modell nur teilweise nachgebildet werden können. Die Brustbelastung des Dummys wird mit einem Potentiometer anstatt zweier Bandpotentiometer gemessen. Die Belastung des Abdomens wird mittels eines plastisch deformierbaren Inserts gemessen und kann in der Simulation nicht berücksichtigt werden. Der hier verwendete Hybrid-III-50% Dummy ist jedoch für Pkw Frontalkollisionen instrumentiert. Die Bewertung der unteren Extremitäten ist hier nur vergleichend dargestellt. Die ISO 13232 gibt einen Dummy mit brechenden unteren Extremitäten vor und bewertet die Verletzungsschwere anhand der Anzahl der Bruchstellen.

Die Belastungsauswertung kann der ISO 13232 daher nicht in allen Punkten entsprechen und wird wie folgt durchgeführt:

- Kopfbelastungen: Kopfbeschleunigung  $a_{3ms}$ , *HIC*, *GAMBIT* und die resultierenden Verletzungswahrscheinlichkeiten
- Nackenbelastungen: Nackenmoment, Zug- und Scherkraft
- Thorax: Brusteindrückung, *VC* mit Verletzungswahrscheinlichkeit, Brustbeschleunigung  $a_{3ms}$
- Unter Extremitäten: Femurkraft, Tibiakraft

## 7.1 Konstellation 413 (gestoßenes Fahrzeug steht)

Die Konstellation 413 mit stehendem Unfallgegner nach ISO 13232 (Abbildung 5-1) stellt eine seitliche Kollision des Motorrads mit  $v_{Mot} = 48 \frac{km}{h}$  gegen einen Pkw mit  $v_{Pkw} = 0 \frac{km}{h}$  dar. In einem Winkel von  $\beta = 90^\circ$  trifft dieses auf die Mitte der Seite des Pkws.

Die Bildfolge Abbildung 7-1 zeigt den Ablauf der Kollision. Der senkrechte Stoß auf die B-Säule des Unfallgegners wird zunächst mit der Fahrzeugfront des Motorrads verzögert. Nachdem das Vorderad am Motorblock des eigenen Fahrzeugs anliegt, beginnt sich der Dummy aufgrund der Massenträgheit relativ zum Motorrad zu bewegen. Er bleibt zunächst mit dem Becken am Kraftstofftank hängen, verformt ihn stark und trifft mit dem Kopf auf die B-Säule des gestoßenen Fahrzeugs. Daran gleitet er nach oben, da der restliche Körper des Dummys weiterfliegt. Schließlich kommt er neben dem Motorrad und Transporter zum Liegen.

Ist der Dummy mit einem Beckengurt gesichert (ohne Abbildung), berührt er den Gegner nicht mehr. Da der Oberkörper infolge der Rückhaltung eine Rotation um das Becken vollzieht, schlägt der Kopf auf das Windschild vor dem Lenker auf. Während der Simulationsdauer kippt das Fahrzeug nicht zur Seite und der Dummy kommt auf dem Tank seines eigenen Fahrzeugs zum Liegen.

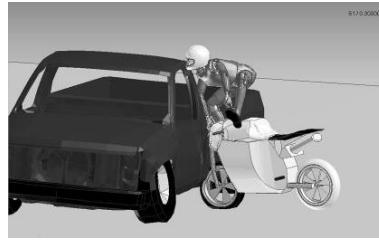
Wird nur ein Airbag verwendet (ohne Abbildung), löst sich der Dummy von seinem Fahrzeug, nachdem er mit dem Becken den Tank deformiert hat. Der entfaltete Airbag katapultiert den Körper nach oben, worauf er mit dem Kopf an der Dachkante anschlägt und an der Flanke des gestoßenen Fahrzeugs abgleitet. Das eigene Fahrzeug kippt nach links und der Dummy kommt neben beiden Fahrzeugen zum Liegen.

Erst die Kombination aus Beckengurt und Airbag stellt für diese Konstellation den optimalen Rückhalt dar (Abbildung 7-2). Der Dummy wird nach dem ersten Kontakt zwischen den Fahrzeugen am Becken mit dem Gurt verzögert. Die Rotation des Oberkörpers wird durch den Airbag auf dem Fahrzeugtank abgebremst. Es kommt zu keinem harten Kontakt zwischen Dummy und eigenem oder fremden Fahrzeug.

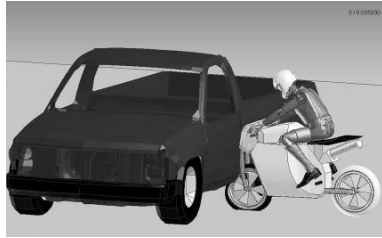
$t_0 = 0ms$



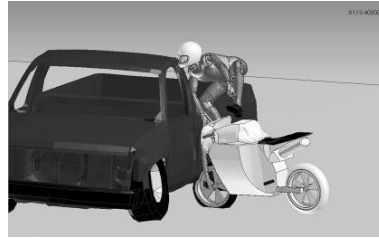
$t_7 = 300ms$



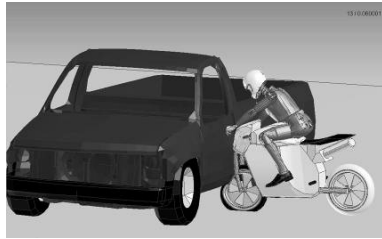
$t_1 = 35ms$



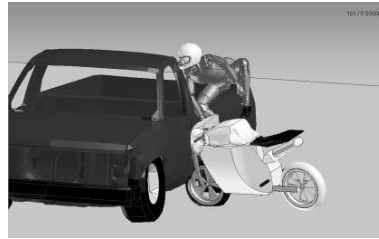
$t_8 = 400ms$



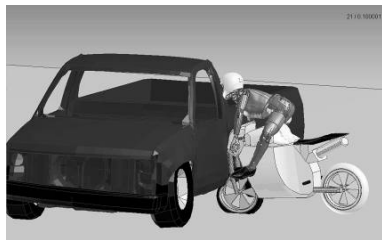
$t_2 = 60ms$



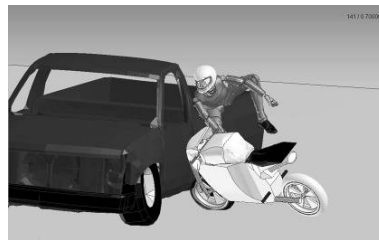
$t_9 = 500ms$



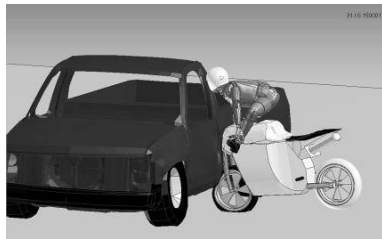
$t_3 = 100ms$



$t_{10} = 700ms$



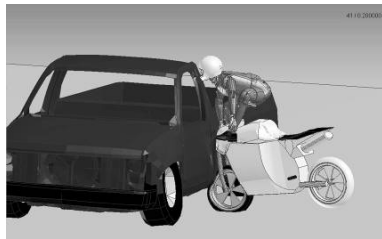
$t_4 = 150ms$



$t_{11} = 900ms$



$t_5 = 200ms$



$t_{12} = 1s$

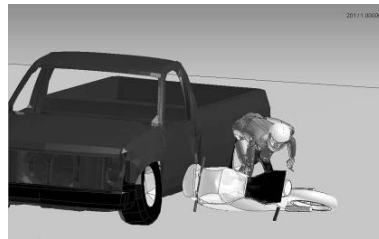
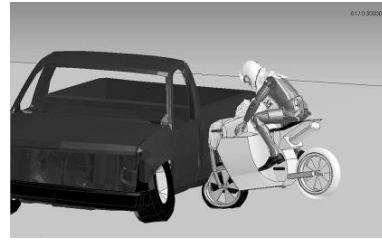
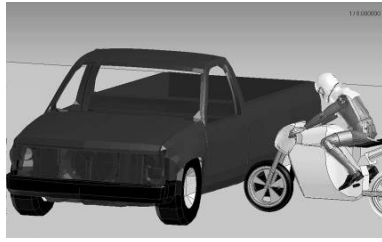


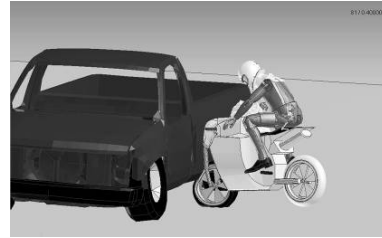
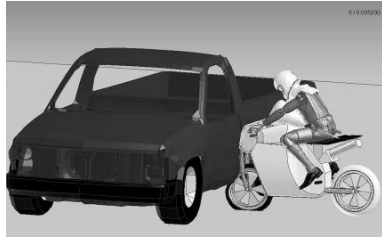
Abbildung 7-1: Bildfolge der Unfallkonstellation 413 ohne Rückhaltesysteme Sportler

$t_0 = 0ms$



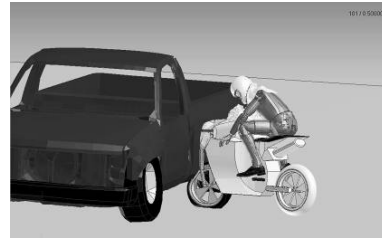
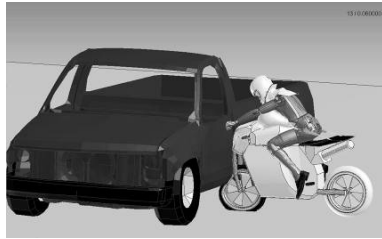
$t_7 = 300ms$

$t_1 = 35ms$



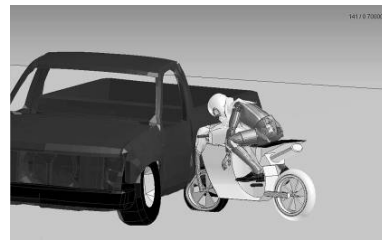
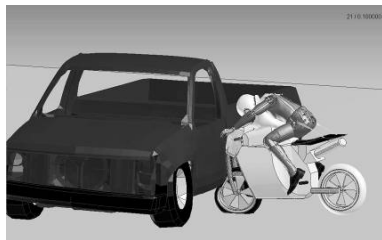
$t_8 = 400ms$

$t_2 = 60ms$



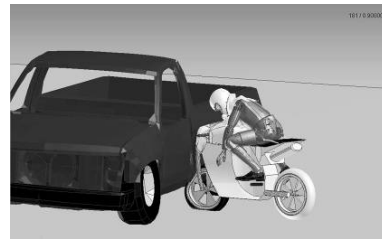
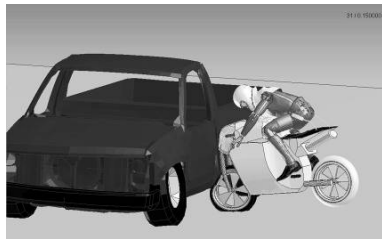
$t_9 = 500ms$

$t_3 = 100ms$



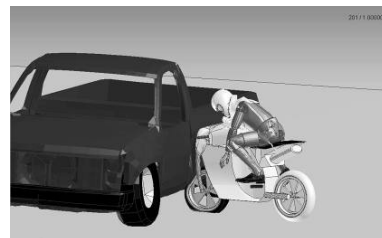
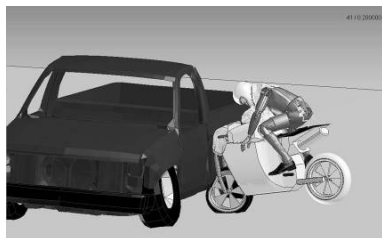
$t_{10} = 700ms$

$t_4 = 150ms$



$t_{11} = 900ms$

$t_5 = 200ms$



$t_{12} = 1s$

Abbildung 7-2: Bildfolge der Unfallkonstellation 413 mit RHS Sportler



Tabelle 7-1 zeigt vergleichend die Belastungswerte der einzelnen Körperregionen. Werte, die oberhalb der kritischen Belastung nach ISO 13232 liegen, sind grau hinterlegt.

Tabelle 7-1: Belastungswerte Konstellation 413 Sportmotorrad

		ohne RHS	mit Gurt	mit Airbag	mit RHS
Kopf	Beschleunigung $a_{3ms}$	193,5g	60,7g	126,0g	49,4g
	$HIC$	2635,1	361,1	1010,0	248,1
	$GAMBIT G_{Max}$	1,90	0,28	1,1	0,35
Nacken	Extensionsmoment $M_{y,T,max}$	124,2Nm	57,6Nm	43,5Nm	47,5Nm
	Scherkraft $F_{NX,max}$	3,6kN	1,1kN	1,7kN	0,9kN
	Zugkraft $F_{NZ,max}$	4,1kN	3,7kN	2,5kN	2,5kN
Brust	Beschleunigung $a_{3ms}$	68,5g	48,9g	47,5g	41,5g
	Eindrückung $s$	3,6mm	14,5mm	22,7mm	23,1mm
	viscous criterion $VC$	$0,15 \frac{m}{s}$	$0,05 \frac{m}{s}$	$0,07 \frac{m}{s}$	$0,13 \frac{m}{s}$
untere Extremitäten	Femur links $F_{Femur}$	4,9kN	3,9kN	4,0kN	3,9kN
	Femur rechts $F_{Femur}$	7,6kN	6,7kN	7,6kN	6,7kN
	Tibia oben links $F_{Tibia}$	2,5kN	3,3kN	2,5kN	3,3kN
	Tibia unten links $F_{Tibia}$	1,9kN	3,0kN	2,0kN	3,1kN
	Tibia oben rechts $F_{Tibia}$	5,8kN	3,7kN	4,4kN	3,7kN
	Tibia unten rechts $F_{Tibia}$	4,0kN	2,9kN	2,7kN	2,8kN

Die zunächst hohen Belastungen ohne Rückhaltesysteme können durch den Beckengurt, dem Airbag und vor allem die Kombination beider auf ein ertragbares Maß reduziert werden. Im Vergleich zu den schrägen Unfallkonstellationen kann das gewählte Rückhaltesystem seine volle Leistung entfalten. Der Dummy wird durch den Beckengurt zurückgehalten und prallt so nicht gegen das gestoßene Fahrzeug. Die entstehende Rotation wird durch den kleinen Airbag auf dem Kraftstofftank abgefangen. Eine Kollision des Beckens mit dem eigenen Fahrzeug wird verhindert.

Auch die Rückhaltung alleine durch einen Beckengurt ermöglicht eine erhebliche Reduzierung der Dummybelastung. Der harte Kontakt zwischen Dummykopf und Fahrzeugfrontverkleidung führt jedoch zu einer höheren Kopfbeschleunigung als würde der Airbag den Kopf bremsen.

Tabelle 7-2 zeigt die Verletzungswahrscheinlichkeiten des Kopfes und des Thorax der unterschiedlichen Rückhaltesystemstufen.

Tabelle 7-2: Verletzungswahrscheinlichkeit Sportler Konstellation 413

Wahrscheinlichkeit [%]	Verletzungsschwere	ohne RHS	mit Gurt	mit Airbag	mit RHS
Kopf bezogen auf <i>GAMBIT</i> oder <i>HIC</i>	<i>AIS3+</i>	100	2,3	78,7	1,2
	<i>AIS4+</i>	100	0	71,6	0
	<i>AIS5+</i>	99,8	0	48,8	0
	<i>AIS6</i>	97,2	0	40,9	0
Thorax bezogen auf <i>VC</i>	<i>AIS3+</i>	≈ 0	≈ 0	≈ 0	≈ 0
	<i>AIS4+</i>	0	0	0	0
	<i>AIS5+</i>	0	0	0	0
	<i>AIS6</i>	0	0	0	0

Während der Motorradfahrer bei einem realen Unfall dieser Konstellation ohne Rückhaltesysteme höchstwahrscheinlich ums Leben gekommen wäre, liegt die Wahrscheinlichkeit mit einem Rückhaltesystem aus Airbag und Beckengurt am Kopf schwer verletzt zu werden noch bei 1,2%.

Die Wahrscheinlichkeit einer schweren Kopfverletzung erhöht sich durch den Kopfkontakt mit dem Motorradwindschild auf 2,3% bei ausschließlicher Verwendung eines Beckengurtes. Der für diese Studie verwendete Airbag ist nicht in der Lage, den gesamten Motorradfahrer zurück zu halten. Er beeinflusst zwar die Flugbahn, aber die Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Kopfverletzung liegt immer noch bei 40,9%. Der Anprall des Kopfes an der B-Säule des gegnerischen Fahrzeugs wird nur etwas gedämpft, jedoch nicht verhindert.

## 7.2 Vergleich der Schutzmaßnahmen

Die Simulationen lassen erkennen, welchen Einfluss die ausgewählten Schutzmaßnahmen auf die Belastungswerte haben. Dabei sollten nicht die Absolutwerte der erzielten Belastungswerte der Simulation betrachtet werden, sondern vielmehr das Schutzpotential der Einzelmaßnahmen relativ zu einem herkömmlichen Motorrad ohne Rückhaltemaßnahmen.

Als Abstufung stehen neben dem Beckengurt mit Airbag, der Beckengurt und Airbag alleine zur Bewertung. Angemerkt sei, dass bei Einsatz aller Rückhaltemaßnahmen stets die Nackenkrause Verwendung findet und bei angelegtem Beckengurt die unteren Extremitäten durch Fixierungen der Füße an den Fußrasten vor starkem Peitschen geschützt sind.

Während die gewählten Rückhaltemaßnahmen eine Reduktion der Belastungen des Kopfes um 60% bis 70% im Vergleich zum Motorrad ohne Rückhaltemaßnahmen ermöglicht, zeigt sich besonders bei der Anbindung des Fahrers an das Fahrzeug unter der Konstellation 412 eine Erhöhung des *GAMBIT*-Wertes knapp um Faktor 2 (Abbildung 7-3). Bei der Unterstützung mit einem Airbag erhöht sich der *GAMBIT* immer noch um den Faktor 1,1. Ausschlaggebend ist die Schwere der Kollision und der gewinkelte Stoß zur Fahrtrichtung des stoßenden Fahrzeugs. Da das Motorrad nur ca. 13% der Masse des gegnerischen Fahrzeugs aufweist, wird dem Motorrad eine wesentlich größer Geschwindigkeits- und Richtungsänderung aufgeprägt. Der zunächst nicht beeinflusste Aufsasse bewegt sich entsprechend seiner Massenträgheit entlang seines Geschwindigkeitsvektors fort, bis er vom Beckengurt in Richtung des abprallenden Motorrades gezogen wird. Durch die Rotation, die der Oberkörper aufgrund der Fixierung mit dem Gurt vollzieht, wird der Kopf des Dummys direkt auf das gegnerische Fahrzeug gelenkt, welches sich immer noch fast unverändert bewegt. Ein Airbag kann diese Belastungen wenig reduzieren, da er sich während der Entfaltung bereits mit dem Motorrad unter dem Fahrer wegdreht.

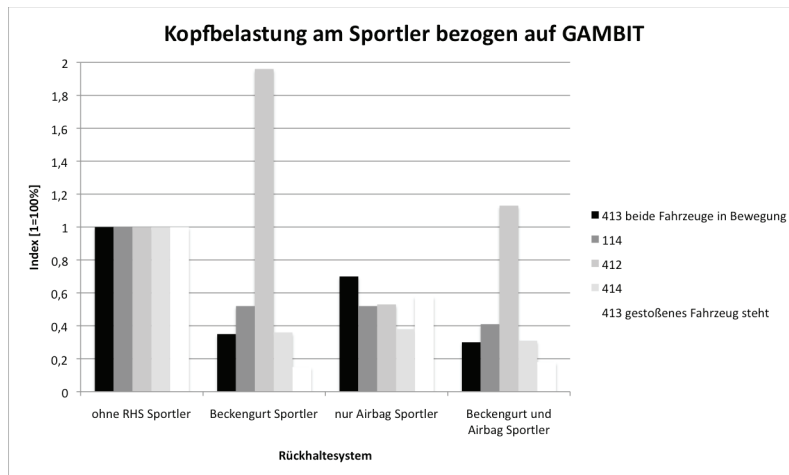


Abbildung 7-3: Verhältnisse der Kopfbelastungen

Davon wenig beeinflusst ist die Nackenextension, da hier stets bei Verwendung eines Rückhaltesystems eine den Nacken stützende Halskrause simuliert wird. Die Reduktion der Nackenbelastung durch das Extensionsmoment liegt im Bereich zwischen ca. 60% und 80% (Abbildung 7-4).

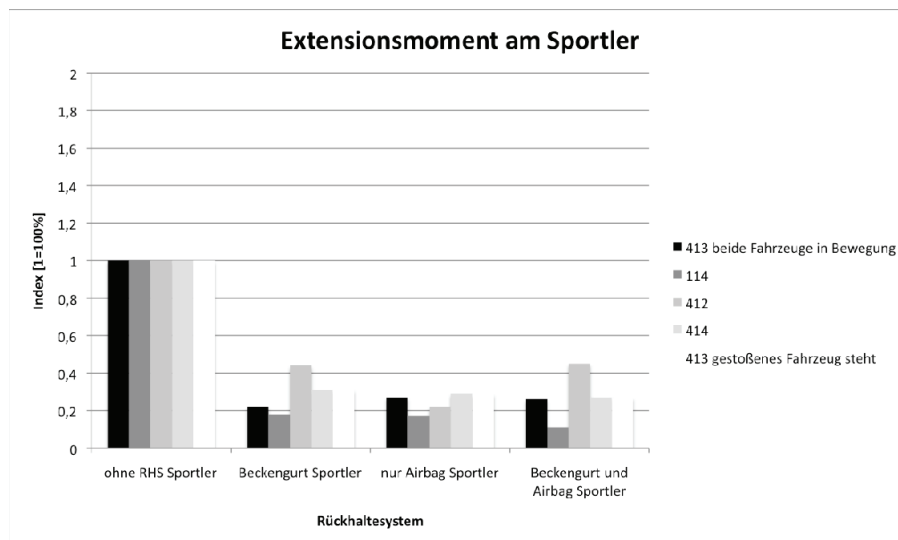


Abbildung 7-4: Verhältnisse des Extensionsmomentes

Fallweise verschieden sind die Auswirkungen auf die Brusteindrückgeschwindigkeit (Abbildung 7-5). Die häufig niedrigen Belastungen resultieren daraus, dass der Thorax des Dummy nur wenig Bewegungsenergie am eigenen oder gestoßenen Fahrzeug abbaut. Bei Verwendung eines Beckengurts prallt der Oberkörper aufgrund der Rotation auf harte Bauteile der Fahrzeuge oder taucht in den Airbag ein, wenn dieser existiert.

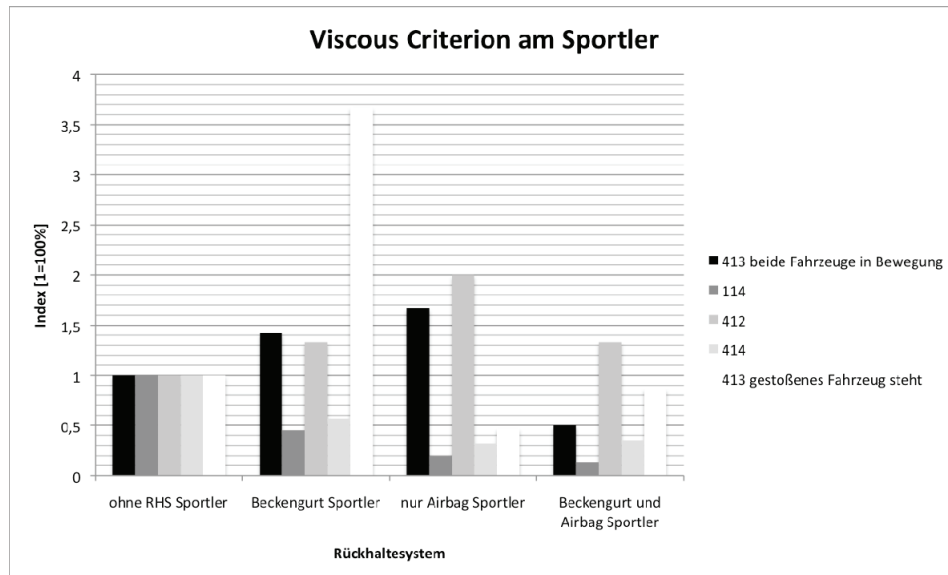


Abbildung 7-5: Verhältnisse der Brusteindrückgeschwindigkeit der Rückhaltesysteme

Ungesichert prallt der Dummy mit dem Kopf voran gegen das gestoßene Fahrzeug und baut über diesen und den Nacken die Bewegungsenergie ab. Die Belastung auf die Brust ist in diesem Fall als gering einzustufen. Wird der Lastpfad des Dummys von den hoch belasteten Körperregionen weggeleitet, so müssen andere Körperbereiche, wie das Becken über den Beckengurt und der Oberkörper über den Airbag einen Anteil der Verzögerung übernehmen. Insgesamt liegt der maximal erzielte Wert der

Brusteindrückgeschwindigkeit bei weit unterkritischen  $VC = 0,55 \frac{m}{s}$ .

### 7.3 Auswertung der Simulation des Alleinunfalls

Für die Bewertung des Alleinunfalls wird als Motorradtyp stellvertretend der Chopper verwendet.

Abbildung 7-6 zeigt die Bildfolge aus der Simulation des Alleinunfalls ohne Rückhaltesysteme gegen eine Leitplanke. Das Motorrad fährt mit einer Geschwindigkeit von  $v = 56 \frac{km}{h}$  und gerät außer Kontrolle. Bei  $t = 150ms$  berührt der linke Fuß zuerst die Straßenoberfläche. Dabei wird bereits die linke Fußraste eingeklappt. Bei  $t = 330ms$  prallen das linke Knie und das linke Handgelenk auf den Asphalt und das Motorrad liegt auf der Seite. Der Fahrer hat sich teilweise von seinem Fahrzeug gelöst, verhakt sich jedoch am Lenker und schlägt bei  $t = 440ms$  mit dem Kopf auf die Straße. Bei  $t = 500ms$  prallt zunächst das Motorrad gegen die Leitplanke, kurz danach der Motorradfahrer auf den Tank und den Vorbau seines Fahrzeugs.

Zum Schutz des Aufsassen beim Alleinunfall werden zwei Airbags modelliert (Abbildung 7-7), ein Beckengurt und ein seitliches Rutschpad, welches beim Rutschen mit einer hohen Reibung oberhalb des Fahrzeugschwerpunktes einen positiven Spin in das Motorrad leiten soll. Da das Rutschpad nicht verformbar modelliert ist, bleibt zwischen dem Motorrad und dem Asphalt ein Freiraum für die unteren Extremitäten. Wie bei den vorangehenden Simulationen, wird im Modell für die Bewertung der Rückhaltesysteme eine Nackenkrause verwendet und die Füße werden an den Fußrasten fixiert.

Nicht ausgeschlossen ist, dass der Fahrer durch sein eigenes Fahrzeug mit einer hohen Aufprallenergie beaufschlagt wird, wenn es bei einer unkontrollierten Rotation des eigenen Fahrzeugs nach Kontakt mit einer Leitplanke oder anderen Hindernissen, den Aufsassen vor sich schiebt. Das Rutschpad kontrolliert die Rotation nur bis zu dem Punkt, an dem ein anderes Objekt dem Fahrzeug eine Richtungsänderung aufprägt.

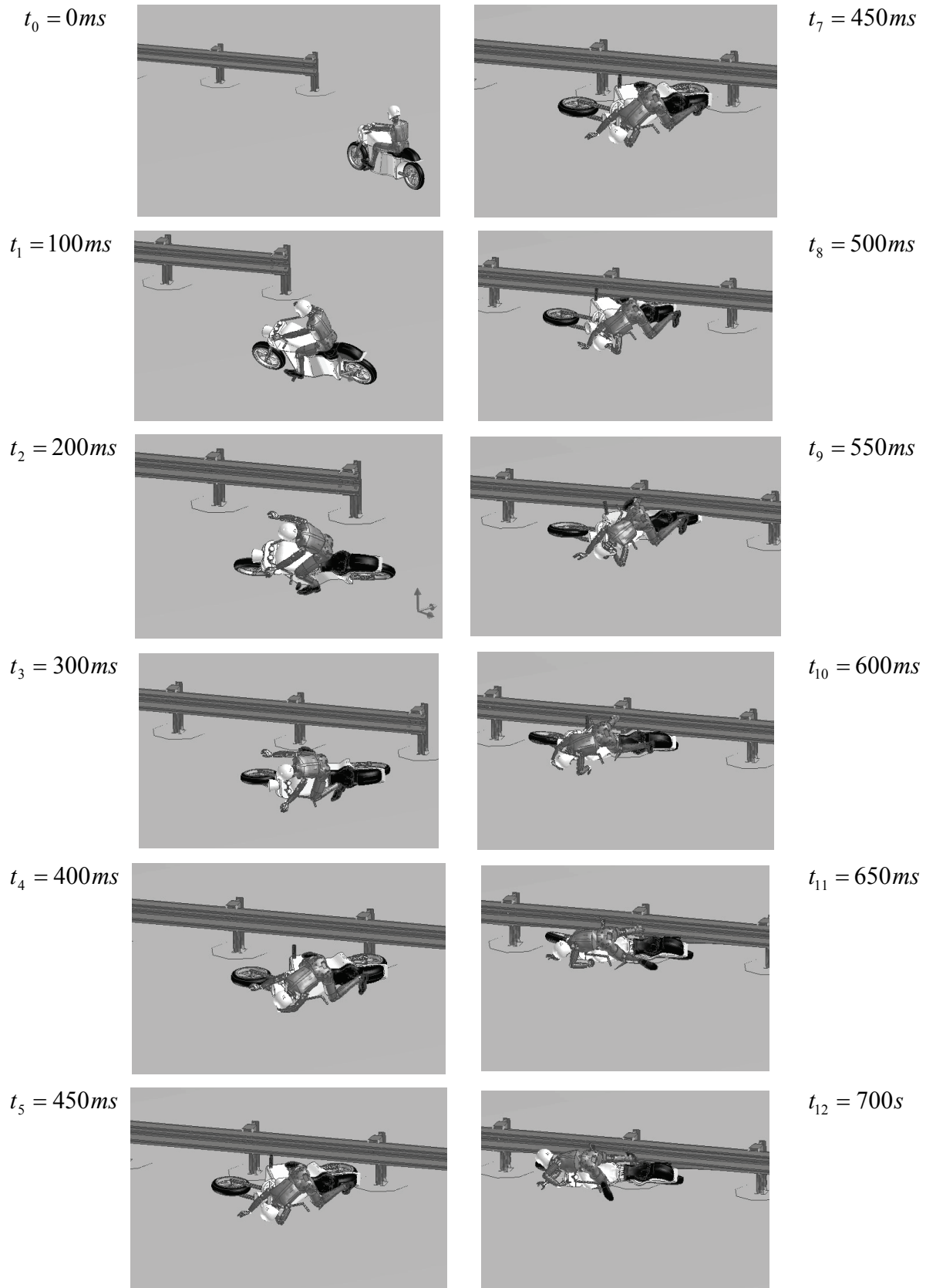
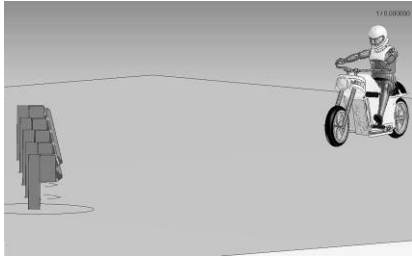
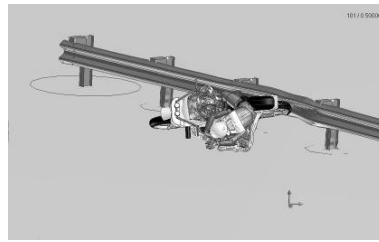


Abbildung 7-6: Bildfolge des Alleinunfalls ohne Rückhaltesysteme Chopper

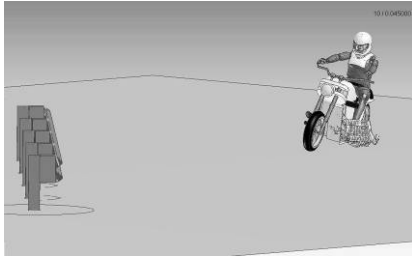
$t_0 = 0ms$



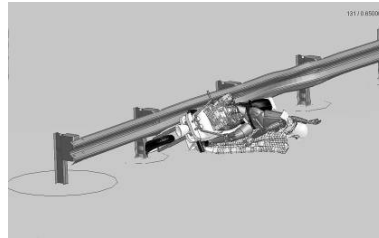
$t_7 = 500ms$



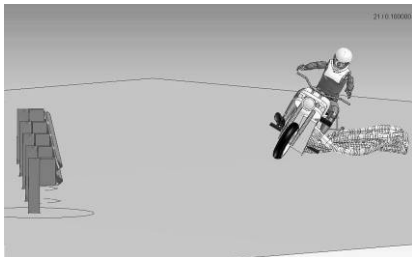
$t_1 = 45ms$



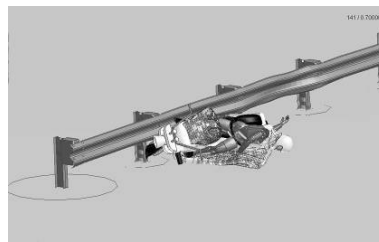
$t_8 = 650ms$



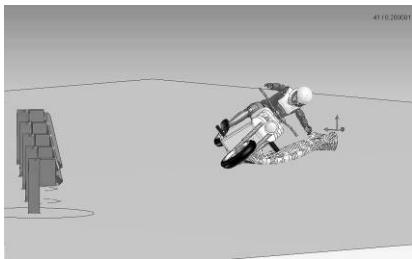
$t_2 = 100ms$



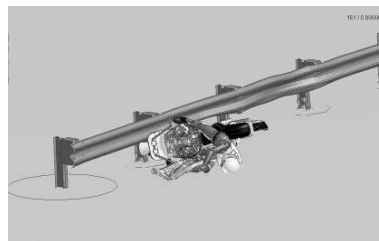
$t_9 = 700ms$



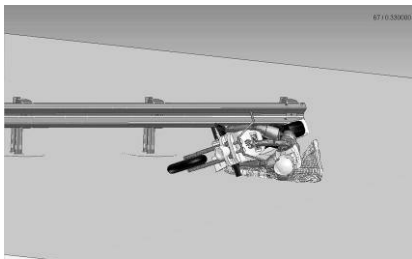
$t_3 = 200ms$



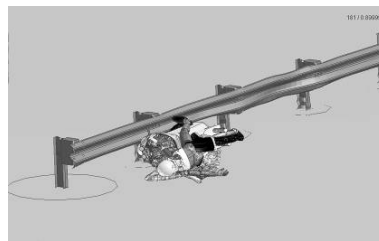
$t_{10} = 800ms$



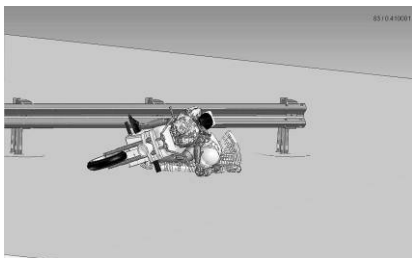
$t_4 = 330ms$



$t_{11} = 900ms$



$t_5 = 410ms$



$t_{12} = 1,25s$

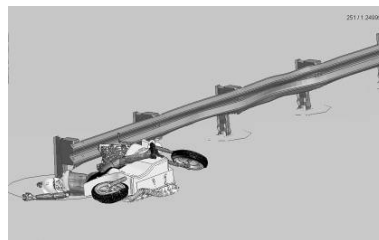


Abbildung 7-7: Bildfolge des Alleinunfalls mit Rückhaltesysteme Chopper



An dieser Stelle wird darauf verzichtet die Belastungswerte im Detail zu beschreiben, da der verwendete Dummy keine realistischen Ergebnisse liefert. Der HybridIII-50%-Frontalaufpralldummy ist für einen Pkw Aufprall frontal gegen eine Barriere ausgelegt und validiert. Beschränkt man sich auf die visuelle Auswertung der Simulationen, ist bereits zu erkennen, dass es diverse Unzulänglichkeiten gibt.

Der verwendete Seitenairbag hat eine Kantenlänge von ca.  $1500\text{mm}$  mal  $900\text{mm}$  im entfalteten Zustand. Im Simulationsmodell konnte das Textil in Form eines  $L_s$  auf ein Packmaß von ca.  $200\text{mm}$  Tiefe und einer Schenkellänge von ca.  $750\text{mm}$  bzw.  $500\text{mm}$  gefaltet werden. Da der Airbag nur auf einer Seite gezündet werden kann, sind zwei dieser Pakete notwendig um den Aufsassen beidseitig zu schützen. Damit ergibt sich ein schwer lösbares Packageproblem.

Da diese Arbeit ausschließlich Sicherheitskonzepte überprüft und keine Produktentwicklung betreibt, soll der Nutzen des seitlichen Airbags im Vordergrund stehen. Während dessen Entfaltung befindet sich das Motorrad in einer rotatorischen Bewegung. Der entfaltende Airbag folgt dieser und wird beim Berühren der Fahrbahnoberfläche zusätzlich ausgelenkt. In mehreren Simulationen mit differierenden Eingangsparametern der Fahrzeugbewegung, konnte festgestellt werden, dass der Aufsasse nur zufällig auf den Airbag trifft, da dieser sich nicht gerichtet entfaltenden. Auch wenn er optimal auf der Matte zum Liegen kommt, kann er dennoch während des Rutschvorgangs wieder von dieser gleiten.

Der untersuchte Schutzschild erweist sich in der Simulation als Sicherheitsrisiko. Es kann nicht mit Bestimmtheit angenommen werden, dass das Motorrad zwangsläufig durch das Rutschpad vor den Fahrer rotiert und diesen schützt. Verhakt sich das Motorrad an einem festen Hindernis, wird ein Störimpuls in die gleichförmige Bewegung gebracht und der Fahrer kann in Fahrtrichtung vor das Motorrad gelangen. Zwischen Hindernis und Motorrad eingeklemmt steigen die Belastungen des Aufsassen über einen reinen Anprall am Hindernis. Das Motorrad muss sich daher an einem Hindernis abstützen können, damit ein Überlebensraum für den Motorradfahrer erhalten bleibt. Vorstellbar ist es, dass er in eine geduckte Position gebracht wird, die möglichst wenig Volumen in Anspruch nimmt. Um dies zu erreichen, müssen jedoch Änderungen an der Motorradkarosserie vorgenommen werden, die dem Ansatz der Beibehaltung der ursprünglichen Erscheinungsform widersprechen.

Rotiert das liegende Motorrad nicht und stellt es in der Tat einen Schutz beim Anprall an einem Hindernis für den Aufsassen dar, kann nicht mit Sicherheit ausgeschlossen werden, dass der Motorradfahrer mit dem Oberkörper nach hinten geschleudert wird, während er an sein Fahrzeug gebunden ist. Die Kollision mit dem Rücken am Motorradheck führt zu hohen Belastungen der Wirbelsäule und ist unter allen Umständen zu vermeiden. Die Untersuchung des Alleinunfalls wird aus den aufgeführten

Gründen an dieser Stelle nicht fortgeführt, da sie im Rahmen dieser Arbeit nicht zufriedenstellend behandelt werden kann.

Der Ansatz eines seitlichen Airbags ist im untersuchten Fall nicht ausschließlich positiv zu bewerten. Verlässt man für einen kurzen Exkurs den Wunsch nach Beibehaltung der Erscheinungsform des ursprünglichen Zweirades, so stellt sich der seitliche Airbag als Möglichkeit dar ein Sicherheitskonzept, wie es der BMW C1 Roller verfolgt hat für den Kunden interessanter zu machen. Dort ist der in Längsrichtung umlaufende Schutz eine mögliche Lösung für das Versagen, des hier vorgestellten Konzeptes für den Alleinunfall. Kombiniert man die Fahrzeugzelle mit dem seitlichen Airbag, werden Defizite beider Konzepte gemindert.

Die Notwendigkeit der Breite des oberen Rahmensegments, den Fahrer auch bei Stürzen sicher zu schützen, kann verringert werden, wenn ein seitlicher Airbag die Aufprallenergie abfangen könnte. Dadurch wird dessen Gewicht verringert und die Fahreigenschaften des Rollers werden verbessert. Der Rahmensegment wiederum verhindert zum einen, dass der Fahrer im Falle des Rutschens vor das Fahrzeug geschoben wird, da er sich stets „im“ Fahrzeug befindet, zum anderen ermöglicht der Rahmensegment eine Fixierung des seitlichen Airbags im oberen Bereich und der Fahrer trifft diesen mit wesentlich größerer Wahrscheinlichkeit. Vorstellbar ist es diesen wie einen um 90° gedrehten Pkw Curtain auszulegen, dass der Fahrer von Kopf bis Fuß von dem seitlichen Luftsack eingehüllt wird.

## 8 Konzeption eines passiv sicheren Motorrades

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung eines Beckengurtes mit einem unterstützenden Airbag in den meisten Fällen zu reduzierten Belastungswerten führt. Handelt es sich jedoch um einen schrägen Anprall oder wird auf eine andere Weise ein Drehimpuls um die Hochachse in die Front des Motorrades eingeleitet, verringert sich das Sicherheitspotential des Rückhaltesystems und kann sich sogar umkehren und eine Gefahr für den Aufsassen darstellen.

Ein sicheres Motorrad muss daher erkennen können, ob die Folgen einer Unfallkonstellation durch das Sicherheitssystem gemindert werden können, oder sich sogar verschlechtern. Unter der Voraussetzung, dass es eine solche Sensorik gibt, führt folgendes Rückhaltekonzept zu einer Verbesserung der passiven Sicherheit eines Motorradfahrers ohne dabei die Erscheinung des Motorrades zu verändern.

1. Nur der Fahrer wird geschützt.
2. Es wird nur ein Schutz für einen Aufprall gegen fahrende oder stationäre Hindernisse realisiert.
3. Die normale Sicherheitsbekleidung des Motorradfahrers inklusive Helm wird vorausgesetzt und durch einen Nackenschutz ergänzt.
4. Ein Gurtsystem hält das Becken des Fahrers zurück. Die Gurtkraft wird auf ein vom durchschnittlichen Motorradfahrer erträgliches Niveau gesenkt.
5. Die Beine werden bei Betrieb des Motorrades fixiert. Das kann z.B. über die Fußrasten geschehen. Beim gewollten oder unfallbedingten Lösen dieser Verbindungen wird gleichzeitig der Beckengurt gelöst.
6. Die Wirkung, der in Fahrtrichtung nach hinten gerichteten Verzögerung und der Drehbewegung des Fahrers um das Becken, wird durch einen Frontairbag gemindert, der einen Teil der Energie des Fahrers aufnimmt und ein Durchschlagen auf das Motorrad verhindert.
7. Das Volumen und die Form des Airbags werden so gestaltet, dass auch bei schrägem Aufprall eine möglichst umfassende Schutzwirkung erhalten bleibt. Hier muss zwischen Größe, Packageanforderungen, Kosten und Schutzwirkung ein sinnvoller Kompromiss gefunden werden.
8. Das Gurtsystem muss im normalen Fahrbetrieb dem Fahrer genügend Freiraum bieten, da der Aufsasse das Einspurfahrzeug mit seinem Körper durch Gewichtsverlagerung lenkt. Vorstellbar ist, dass in die Beinschutzkleidung des Fahrers ein verzweigter Gurt integriert ist, der zum einen mehrere Lastpfade bietet um die angreifende Kraft bei der Rückhaltung zu verteilen, und zum anderen durch zwei seitlich vorgesehene Schnappverschlüsse an die fahrzeugseitig vorzusehenden

Retraktoren und Gurtkraftbegrenzer gebunden wird. Kommt es zu einer Kollision, wird die Gurtlose durch je einen Gurtspanner links und rechts verringert. Steigt die Gurtkraft infolge der Rückhaltung über  $F_{Gurt} = 8kN$  wird auf diesem Niveau die Gurtkraft begrenzt. Ein harter Kontakt zwischen dem Becken des Fahrers und dem Fahrzeugtank sollte in jedem Fall vermieden werden.

9. Eine Sensorik erkennt einen bevorstehenden Überschlag und löst den Gurt und die Fixierung der Beine. Für einen ungestörten Fahrbetrieb sollten allerdings die Füße während der Fahrt frei beweglich sein. Eine Reduzierung der Belastungswerte der unteren Extremitäten ist durch das Ankoppeln der Füße an die Fußrasten nicht festzustellen, jedoch führen die Beine im Falle einer Kollision so weniger chaotische Bewegungen aus. Für eine signifikante Reduzierung der Beinbelastungen müssen umlaufende Beinprotektoren oder eine gestaltfeste Verkleidung vorgesehen werden, hinter dieser die unteren Extremitäten des Fahrers geschützt sind. Damit kann sich der Fahrer jedoch schlechter von seinem Fahrzeug lösen, wenn dies notwendig ist und die Rückhaltemaßnahmen deaktiviert werden. Eine solche Strategie erfordert es daher, dass das Lösen des Fahrers vom Motorrad auch in Extremsituationen nicht erforderlich wird. Daher muss auch im ungünstigsten Fall – z.B. beim Rutschen des liegenden Motorrades mit dem Fahrer voraus gegen ein Hindernis – der Überlebensraum gesichert bleiben. Das erfordert erhebliche Änderungen am Package und Erscheinungsbild des klassischen Motorrades. Diese Möglichkeit wird hier nicht detailliert verfolgt.
10. Die Fahrzeugfront wird mit energieabsorbierenden Elementen ausgestattet sein. Dazu kann es ausreichen, wenn die Vorderradführung speziell als Crashelement ausgeführt ist. Darüber hinaus muss vor dem Lenkkopf ein Crashelement positioniert werden, welches eine extreme Rotation des Motorrades um das Vorderrad bei einer Frontalkollision unterbindet. Je geringer die Rotation ist, desto mehr Vorverlagerungsweg bleibt dem Aufsassen erhalten, wenn er an sein Fahrzeug gebunden ist. Gerade diese Anbindung erhöht die Rotationsneigung, da der Aufsasse in Höhe der Gurtkraft durch seine Massenträgheit am Fahrzeugheck zieht.
11. Ein Verhaken des Motorrades mit dem gegnerischen Fahrzeug muss möglichst vermieden werden. Die Front des Motorrades ist entsprechend zu gestalten.
12. Für Alleinunfälle mit Sturz bei hoher Geschwindigkeit bieten die Maßnahmen wenig Schutz. Dafür ist die erforderliche Maßnahme wie unter Punkt 9 zu realisieren. Zusätzlich können aktive Elemente wie ein Luftsack zwischen liegendem Fahrer und Straße die Unfallfolgen mindern. Sie können Fahrzeugseitig verbaut sein, möglicherweise sind auch Kombinationen mit der Schutzkleidung möglich und wirkungsvoll.

## 9 Fazit und Ausblick

Das Ergebnis der Datenanalyse liefert die Beschreibung typischer Motorradunfälle. Ausgehend von den bewährten Prinzipien der passiven Fahrzeugsicherheit aus dem Pkw-Sektor wurden diese Ansätze an die Gegebenheiten des Motorrades angepasst. Ziel war es dabei das Erscheinungsbild des Motorrades zu bewahren und nicht eine Fahrgastzelle auf zwei Räder zu stellen. Es ist ein Sicherheitsbewusstsein entstanden, dass sich in Akzeptanz für Sicherheitssysteme, wie das ABS Bremssystem, Sicherheitskleidung, Helme, Neck-Brace, Tagfahrlicht usw. ausdrückt. Das zunehmende Alter der Motorradfahrer und die Nutzung als Freizeitgerät lässt eine weiter zunehmende Zustimmung und Nutzung erhoffen.

Um die Akzeptanz von passiven Sicherheitssystemen am Motorrad zu erreichen, wurden bekannte Maßnahmen aus dem Pkw-Bereich übernommen. Diese wirken entsprechend der Prinzipien der passiven Sicherheit und ermöglichen einen Schutz, ohne das Erscheinungsbild des Motorrades zu stark zu verändern. Die hauptsächliche Rückhaltung übernimmt ein Beckengurt, der von einem kleinen Airbag unterstützt wird.

Die Wirkung wurde mittels numerischer Simulation in verschiedenen Konstellationen, basierend auf der ISO 13232, überprüft. Nicht alle Möglichkeiten wiesen eine Verbesserung des ausgewählten Schutzsystems auf. Größter Nachteil ist der große Gewichtsunterschied des Motorrades zum häufigsten Unfallgegner, dem Pkw. Die Geschwindigkeitsänderung des Motorrades und die damit verbundene Richtungsänderung bei unterschiedlicher Bewegungsrichtung der Kollisionspartner, wirken sich umgehend negativ auf die Lage des Motorrades aus. Ist die Kollision nicht rechtwinklig oder bewegt sich das gestoßene Fahrzeug bei rechtwinkligem Stoß, so wird über die Front des Motorrades eine Rotation um die Hochachse eingeleitet, die dazu führt, dass sich das eigene Fahrzeug unter dem Aufpassen wegdreht, da dieser zunächst in seiner Bahn nicht gestört wird. Der innerhalb von  $\Delta t = 40ms$  entfaltende Airbag wird nicht mehr vom Motorradfahrer getroffen oder dieser gleitet seitlich von dem Luftsack ab. Seine dämpfende Wirkung kann daher in diesen Fällen nicht vollständig ausgenutzt werden.

Weniger drastisch ist dieser Zusammenhang, wenn es sich um einen rechtwinkligen Stoß auf ein sich bewegendes Objekt handelt. Der Abstand zwischen Fahrer und gestoßenem Objekt ist ausreichend und der Fahrer trifft bei angelegtem Beckengurt während des Primärkontakts das gegnerische Fahrzeug nicht. Handelt es sich jedoch um einen schrägen Stoß, verringert sich der Abstand zwischen Kollisionspartner und Aufsasse des Motorrades und das Wegdrehen des Motorrades führt dazu, dass der

Aufsasse einen harten Aufprall am gestoßenen Fahrzeug erfährt. Abhilfe könnte ein umfassender Airbag schaffen, der aber neben einem größeren Bauraum auch einen größeren Freiraum zum Entfalten benötigt. Gerade das kleine Volumen des unterstützenden Airbags verhindert übermäßige Belastungen des Aufsassen durch den sich entfaltenden Luftsack. So wird noch ein geringer Energieeintrag in den Aufsassen sichergestellt, ohne dass spezielle Entfaltungstechniken verwendet werden müssen. Im Pkw Sektor werden in der US amerikanischen Gesetzgebung Out-of-Position Tests vorgeschrieben, bei denen die Gefahr des Airbags für den Insassen ermittelt wird, wenn er sich während der Zündung zu dicht an dem Airbag befindet. Durch den äußerst geringen Abstand zwischen Fahrer und Airbag beim Motorrad können diese Tests zum Anlass dienen ein Prüfverfahren für Motorradairbags zu etablieren, welches den Gefährdungsfaktor in verschiedene Sitzpositionen durch den Airbag für den Fahrer ermittelt.

Um dennoch eine schützende Wirkung durch einen Airbag zu erreichen, aber das Volumen möglichst gering zu halten, wäre vorstellbar für jede Wirkrichtung einen kleinen Airbag vorzusehen. Das wäre der beschriebene Frontalairbag, der von einem kleinen seitlichen Airbag pro Richtung bei schrägem Anprall unterstützt wird.

Die Untersuchungen wurden an zwei exemplarischen Motorrädern durchgeführt. In der Realität existieren zahlreiche davon abweichende Konstellationen. Die Untersuchungen wurden nur für den 50%-Mann durchgeführt. Auch andere Körpergrößen müssen berücksichtigt werden.

Die Forschung der passiven Motorradsicherheit steht noch am Anfang, obwohl die genannten Ausnahmen bereits gezeigt haben, wie diese erhöht werden kann. Der BMW Roller scheint seiner Zeit voraus gewesen zu sein, der Airbag der Honda Gold Wing ist in einer entsprechend weit entfernten Nische zum Massenmotorrad positioniert.

Diese Arbeit zeigt die konzeptionelle Möglichkeit eines massenverträglichen passiven Schutzsystems und dessen Grenzen. Hier nicht betrachtet sind die technischen Möglichkeiten der Ausführung für einen Serieneinsatz in Bezug auf Package, Machbarkeit und Preisgestaltung. Darüber hinaus muss jederzeit sichergestellt werden, dass das verwendete Sicherheitssystem zu keiner Zeit eine Gefahr für den Aufsassen darstellt.

Denkbar ist, dass aufgrund der Problematik des rotierenden Motorrades neben einer fahrerseitigen Lösung ein Sicherheitssystem in die Fahrerbekleidung realisiert wird. Größter Vorteil dabei wäre, dass die erzielbare Sicherheit für die Gesamtflotte nicht von der Marktdurchsetzung eines Motorrades ist, sondern die neukonzipierte Sicherheitsbekleidung auch auf älteren Motorrädern verwendet werden könnte. Kinematischer Vorteil liegt in der Ortsfestigkeit des Airbags im Bezug zum Kopf und

Oberkörper des Aufsassen. Die Integration eines herkömmlichen Airbags und Gasgenerator in die Fahrerbekleidung stellt die Entwickler vor grundsätzlich andere Probleme, die zu lösen sind.

Anknüpfend an diese Konzeptstudie sollten zunächst umfassende Studien einer technisch darstellbaren Version des hier behandelten Sicherheitskonzeptes sein, das im Versuch sein Schutzpotential unter Beweis stellen muss. Dabei sollten vor allem die Übertragbarkeit auf alle Motorradsegmente und den Roller im Vordergrund stehen, ohne dass dabei ein grundlegend neues System entwickelt werden muss. Nur so ist es möglich die Marktdurchsetzung und somit die Sicherheit der gesamtdeutschen Motorradflotte zu ermöglichen.

## 10 Literaturverzeichnis

Appel, H.; Krabbel, G.; Vetter, D. (2002)

Unfallforschung, Unfallmechanik und Unfallrekonstruktion, Verlag INFORMATION Ambs GmbH, Kippenheim, 2002.

ISO 13232-Rev. 1 (2005)

Motorcycles – Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles, Genua.

Koch, H.; Kislner, W. (2006)

Entwicklung des Motorradunfallgeschehens – Schlussbericht. Verkehrstechnisches Institut der Deutschen Versicherer des GDV. SV-Projekt 3013-05. Berlin.

Lutter, G. (2008)

Vorlesungsfolien – Unfallstatistik, Lehrveranstaltung Biomechanik & Kfz-Sicherheit an der TU-Berlin, Berlin.

Schmitt, K.-U., P. F. Niederer, M. H. Muser, F. Walz (2010)

Trauma - Biomechanik, Springer -Verlag, Berlin, Heidelberg.

Schroeder, L. and D. Havemann (1980)

Beckenfrakturen bei angeschnallten Pkw-Insassen - Unfallchirurgie, Universitäts-Klinik Kiel, Kiel.

Statistisches Bundesamt (2010)

Verkehrsunfälle - Unfallentwicklung im Straßenverkehr, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 2010.

Stoffregen, J. (2006)

Motorradtechnik, Grundlagen und Konzepte von Motor, Antrieb und Fahrwerk, Vieweg & Sohn Verlag, Braunschweig/Wiesbaden.

Unger, M.; Kühn, M.; Schindler, V.; Maier, R.; Scholz, Th.; Körner, M. (2008)

Unfallgefährdung von Motorradfahrern – Forschungsbericht FS 01, Unfallforschung der Versicherer, Berlin.



**MoLife – Development of a Communication-Based Driver  
Assistance System for Motorcycles**

**MoLife – Entwicklung eines kommunikationsbasierten  
Fahrerassistenzsystems für Motorräder**

Benedikt Lattke, Frank Sperber, Ralph Schad,  
Martin Zademach, Prof. Dr. Hermann Winner

Fachgebiet Fahrzeugtechnik,  
Technische Universität Darmstadt

Richard Eberlein

carhs.communication GmbH

## Abstract

Wireless networks between vehicles promise a high safety benefit also for motorcyclists. Today vehicle dynamics sensors are available for motorcycles (e.g., wheel speed sensors, gyro sensors) and deliver information about the current driving state variables. Hence, the Institute of Automotive Engineering at TU Darmstadt and the carhs.communication GmbH are in the process of developing a communication-based driver assistance system for motorcycles. It generates sensor-based or manually entered warning messages and sends these to other motorcyclists using wireless communication devices. This allows riders to be warned early enough about road hazards.

An accident database has been analyzed to estimate the benefit of such a system. Furthermore, a representative survey has been conducted to gather information about motorcyclists' driving behavior and to assess potential hazards on the road. Friction steps (e.g., gravel sand, oil spots) and road damage (e.g., ground waves, pot holes) were identified among others as reasons for potentially avoidable accidents. Furthermore, it was confirmed that motorcyclists often drive in groups. This promises a beneficial use of vehicle communication also during market introduction. If all motorcyclists of a group are equipped, an effective vehicle-to-vehicle safety function can be implemented with only a few devices.

In the course of this study, various new methods for sensor-based hazard detection were developed and already existing methods were extended. All methods were validated by field tests. Various warning elements (e.g., warning flashes, haptic saddle) were implemented in a test motorcycle and evaluated through studies with test subjects. Based on this, appropriate warning strategies were developed.

As result of the project, a prototype of the system was employed in two motorcycles. In order to increase market acceptance, a comfort-oriented functionality was added to the system. This allows a permanent bi-directional audio connection between two or more motorcyclists and is based on the same communication technology as the safety function.

## Kurzfassung

Die künftige Vernetzung von Fahrzeugen zu kooperativen Verkehrssystemen verspricht auch einen hohen Sicherheitsgewinn für Motorradfahrer. In Motorrädern teilweise schon heute vorhandene Fahrdynamiksensoren (wie z.B. ABS-Raddrehzahlsensoren oder Drehratensensoren zur Schräglagenbestimmung) liefern zahlreiche Informationen über aktuelle Fahrzustandsgrößen. Das Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt und die carhs.communication GmbH entwickeln daher ein kommunikationsbasiertes Fahrerassistenzsystem für Motorräder, das sensorbasiert oder manuell (durch Eingabe des Fahrers) Warnmeldungen generiert und über drahtlose Kommunikation an andere Motorradfahrer versendet, um diese rechtzeitig vor einer Gefahr zu warnen.

Um das Potential eines solchen Systems abzuschätzen, wurde das Unfallgeschehen von Motorrädern durch Auswertung einer Unfalldatenbank untersucht. Weiterhin wurden Informationen über das Fahrerverhalten sowie subjektive Einschätzungen von Motorradfahrern zu Gefahrstellen in einer repräsentativen Umfrage ermittelt. Als potentiell vermeidbar wurden u.a. Unfälle aufgrund von Reibwertsprüngen (z.B. durch Ölflecken, Rollsplitt) oder Fahrbahnschäden (z.B. Bodenwellen, Schlaglöcher) identifiziert. Weiterhin wurde die Annahme bestätigt, dass Motorradfahrer oft in Gruppen unterwegs sind. Dies verspricht einen Nutzen von Fahrzeugkommunikation schon in einer Einführungsphase. Sind die Motorradfahrer einer Gruppe entsprechend ausgestattet, so lässt sich mit wenigen Geräten eine wirksame Vehicle-to-Vehicle-Sicherheitsfunktion aufbauen.

Zur sensorbasierten Erkennung der identifizierten Gefahrstellen wurden verschiedene Methoden erarbeitet bzw. bereits vorhandene erweitert und durch Fahrversuche validiert. Um Warnmöglichkeiten beim Motorradfahren zu bewerten, wurden methodisch ausgewählte Elemente (u.a. Warnblitz, Sitzvibration, Sprachwarnung) in einem Versuchsmotorrad realisiert und Warnstrategien entwickelt. Diese wurden in Probandenversuchen bewertet.

Als Ergebnis des Projektes liegt ein in zwei Motorrädern prototypisch realisiertes System vor. Um die Akzeptanz bei einer späteren Markteinführung zu erhöhen, wurde als komfortorientierte Mehrwertfunktion eine permanente bi-direktionale Sprachverbindung zwischen zwei oder mehr Motorradfahrern realisiert, die auf der gleichen Kommunikationstechnik basiert.

**MoLife – Development of a Communication-Based Driver  
Assistance System for Motorcycles**

## Introduction

In comparison to cars the accident rate of motorcycles has not decreased like the accident rate of passenger vehicles and remains high<sup>1</sup>. The possibilities of passive safety systems for motorcycles are limited. This results in a focus on active safety systems and herewith in an increase of vehicle dynamics sensors in motorcycles. One kind of active safety systems are communication-based systems. These are assumed to have a high accident avoidance potential, especially when employed as forward looking systems. This motivates to develop a communication-based safety system for motorcycles, which uses data from already existing vehicle dynamics sensors for further applications.

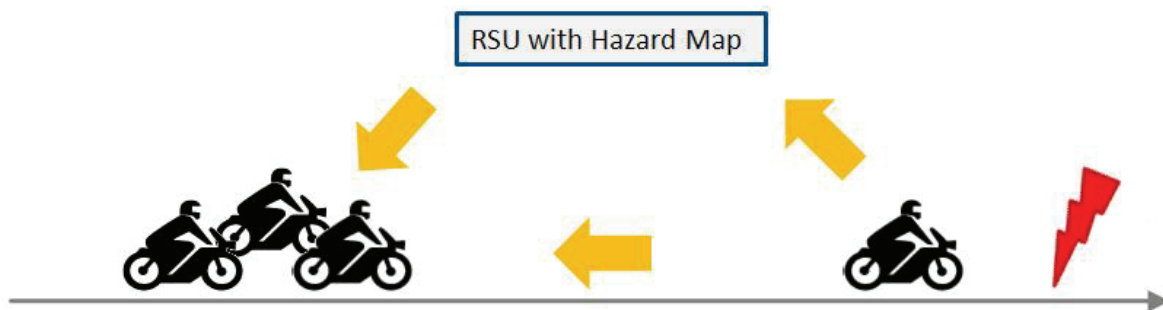


Figure 1: Schematic of the Basic Function of a Communication-Based Warning System (RSU: Road Side Unit)

The basic function of a communication-based warning system is shown in Figure 1. Hazards are detected by the sensors or the rider of a motorcycle. Based on this, a warning message is generated and transmitted directly or over a road side unit (RSU) to other motorcycles. The riders of these motorcycles are warned. In order to develop such a system, research in the following areas is needed:

- identification of hazards, which lead to accidents that are avoidable by a system such as studied here
- an analysis of driving behavior in hazardous situations (as the basis for generating warning messages, based on an evaluation of the information from vehicle dynamics sensors)
- development of a methodology to find and compare appropriate warning elements (human-machine interface) for a communication-based warning system in motorcycles
- a concept for market introduction, as a minimum degree of market penetration is required for most functions

<sup>1</sup> Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle, 2008

- development of an additional comfort oriented functionality to increase market acceptance by using the same technology

These issues are investigated in the project “MoLife”, a cooperation project of the *Institute of Automotive Engineering at Technische Universität Darmstadt* and *carhs.communication GmbH*. Furthermore, a management system for warning messages sent to and from many various vehicles is needed. The dilemma of data security and privacy is another important point that needs to be regarded. These are general issues of vehicle communication and are not investigated in MoLife.

## State of the Art

A large number of communication-based warning system prototypes already exist. Most of these were developed in research projects (e.g., IVHW<sup>2</sup>, CarTalk 2000<sup>3</sup>, WILLWARN<sup>4</sup>). The named applications concentrate mainly on cars. Warning messages are generated based on an evaluation of information by environmental sensors and vehicle dynamics sensors. Some systems also use the driver as a “sensor”.

The previously existing communication-based driver assistance systems for motorcycles<sup>5</sup> have demonstrated the feasibility of such systems for motorcycles and have indicated a high potential to avoid accidents. These systems concentrate on the avoidance of intersection accidents. An exception is one application, which gives a warning when approaching road works<sup>6</sup>. The above mentioned systems are based on the evaluation of the relative position and the interaction between motorcycles and cars or motorcycles and road side units. A system that generates warning messages based on the evaluation of vehicle dynamics sensor information is not known to the authors.

Various validated concepts of human-machine interfaces for warning the rider are part of the mentioned systems, but no comparative assessment of different elements to develop an appropriate human-machine interface for a communication-based warning system in motorcycles is known to the authors.

---

<sup>2</sup> Becker: IVHW System Concept, 2003

<sup>3</sup> Reichardt et al.: CarTALK 2000, 2002

<sup>4</sup> Schulze et al.: PReVENT Final Report, 2008

<sup>5</sup> e.g., Pfeifer et al.: Fahrzeugkommunikation im Motorrad, 2008

<sup>6</sup> Honda: ASV 4 Motorcycle, 2008

# Hazard Identification

## Literature Research

For the identification of hazards a literature research of analyses about motorcycle accidents in Germany was conducted. For an investigation of accident causes a categorization into human and general causes is recommended<sup>7</sup>. Very often a mono-causal determination is not possible. Therefore, for some accidents more than one cause exists and a categorization is difficult.

10% of all accidents and more than 20% of single vehicle accidents have a general cause. This includes, for example, accidents caused by roadway damage, obstacles (stationary or moving) or friction steps<sup>8</sup>. Several sources indicate an increased risk for motorcycles by environmental factors<sup>9</sup>. The following general causes are often found: gravel sand<sup>10</sup>, road damage<sup>11</sup>, dirty roads<sup>12</sup> and friction steps<sup>13</sup>.

For accidents with human causes, a distinction by number of involved vehicles is advantageous, as there are significant differences. Single vehicle accidents are mostly caused by excessive speed in curves<sup>14</sup>.

Causes for accidents with more than one vehicle and the motorcycle rider responsible are excessive speed, a too small distance between vehicles or overtaking mistakes. An overestimation of distance and an underestimation of motorcycles' speed at intersections lead often to accidents caused by other road users than motorcycle riders<sup>15</sup>.

It can be concluded that there are the following three main causes of motorcycles accidents:

- 1) excessive speed in curves, especially in irregular road conditions
- 2) misjudgment of motorcycles' driving behavior by car drivers at intersections
- 3) hazards on the road

The second point is addressed by the previously named systems. Therefore, the following research concentrates on the first and the third problem. To obtain more detailed information about avoidable accidents and to identify possible hazards more precisely, an analysis of an accident database was conducted. This is described in the next section.

---

<sup>7</sup> Assing: Unfallgeschehen von Motorradfahrern, 2002

<sup>8</sup> Engels: Analyse des Unfallgeschehens mit motorisierten Zweirädern, 1986

<sup>9</sup> Präckel: Die Motorradbremsung, 1999

<sup>10</sup> ACEM: MAIDS-Studie V 1.3, 2008

<sup>11</sup> e.g., Kühn et. al: Analyse des Motorradunfallgeschehens, 2008

<sup>12</sup> Präckel: Die Motorradbremsung, 1999

<sup>13</sup> e.g., Seiniger et al.: Erkennung kritischer Fahrsituationen, 2009

<sup>14</sup> e.g., Kramlich: Die häufigsten Gefahrensituationen für Motorradfahrer, 2002

<sup>15</sup> e.g., Gwehenberger et al.: Schwerstunfälle mit Motorrädern, 2006

## Analysis of an Accident Database

In order to examine motorcycle accidents in more detail, the GIDAS database was analyzed. The bases for the following investigations are the 1411 accidents between 1999 and 2007 contained within the GIDAS database, which involve a powered two-wheeler (PTW). Beside motorcycles, mopeds and scooters also belong to this class. Hence, big differences exist concerning driving behavior and engine, motorcycles with a displacement larger than 125 cc are examined separately ( $n = 729$ ). To identify the additional accident avoidance potential of a communication-based, “forward-looking” warning system the following criterion of accident avoidance is defined:

„An accident will be potentially avoidable, if (some reaction time before) the accident-causing situation is observable by a forward driving vehicle (regardless of the technical feasibility) and the accident is not avoidable by a state-of-the-art system”

This yields the following hazardous situations, which lead to potential avoidable accidents:

- 1) excessive speed in curves in irregular road conditions
- 2) hazards on the road
  - a) friction steps caused by oil, gravel sand, bitumen
  - b) roadway damage like unevenness, pot holes, ground waves
  - c) obstacles on the road, such as broken down vehicles behind a curve, traffic jams, big stones

Table 1: Number of Potential Avoidable Accidents in the GIDAS Database

accident class	all ( $n = 1411$ )	only > 125 cc ( $n = 729$ )
1	23	11
2a)	38	17
2b)	20	9
2c)	14	7
<b>total</b>	<b>95 (6.7%)</b>	<b>44 (6.0%)</b>

Table 1 shows the number of potentially avoidable accidents in the GIDAS database for all PTWs and for PTWs with a displacement larger than 125 cc. For the first category 6.7% and for the second category 6.0% of accidents contained in the GIDAS database would have been avoidable.

Hence in comparison to official statistics, accidents with certain characteristics (e.g., urban accidents with fatalities) are overrepresented in GIDAS database, a weighting of the accident data is conducted. However, the derived accident avoidance potential is only slightly higher. Hence, a description is omitted.



## Motorcycle Rider Survey

To get opinions by motorcycle riders about the objectively identified hazards and a feeling for acceptance of a communication-based warning system, a survey was conducted among 118 motorcycle riders. In addition to opinions about the system, some statistical data (e.g., age, type of motorcycle driven) were collected. This allows a comparison with official data provided by German Federal Motor Transport Authority. After a weighting of under- and overrepresented groups the survey is assumed to be representative of motorcycle riders in Germany. Essential results of the survey are described below.

First, the riders were asked to rate the identified hazards from “very not dangerous” (value of 0) to “very dangerous” (value of 3). The evaluation of the survey shows that nearly all identified hazards are rated as “very dangerous” or “dangerous” (average values from 1.4 to 2.9). Friction steps caused by oil on the road and by gravel sand as well as obstacles on the road were rated as most dangerous. Hazards in curves were generally rated as more dangerous than hazards on straight road sections. The most dangerous rated hazards are shown in Table 2 (curves) and Table 3 (straight sections).

Table 2: Rating of Hazards in Curves

hazard	value [0 ... 3]
oil spot	2.9
gravel sand	2.9
large obstacle	2.8
small obstacle	2.6
pot hole	2.6
bitumen	2.4
unevenness	2.1

Table 3: Rating of Hazards on Straights

hazard	value [0 ... 3]
gravel sand	2.2
oil spot	2.1
large obstacle	2.0
pot hole	1.8
small obstacle	1.8
unevenness	1.5
bitumen	1.4

Additionally questions concerning cornering speed warning and acceptance were asked. 80% of the asked riders evaluate a cornering speed warning as useful. The acceptance evaluation shows that 90% of asked riders rate a communication-based warning system as useful and 70% would buy such a system (if the price is acceptable). Even though it is difficult to transfer this result to a market-ready system, it demonstrates a general acceptance for such a system.

## Analysis of Driving Dynamics for Hazard Detection

The results of the survey show that the identified hazardous situations are also rated as dangerous by motorcycle riders. Therefore, driving dynamics for the following situations are analyzed to determine criteria as a basis for generating warning messages:

- friction steps on straight road sections
- friction steps and velocity during cornering
- roadway damage
  - unevenness
  - individual roadway damage
- obstacles on the road

In the system described here friction step detection during straight driving maneuvers is based on an evaluation of braking activity and longitudinal acceleration. Especially ABS-braking maneuvers allow a detection of low friction and friction steps.

Hence no environmental sensors like radar or video are used; obstacle detection is not implemented directly. It is assumed that (big) obstacles are very often correlated with evasive maneuvers. Detection of such maneuvers allows the assumption of an obstacle. Analyses show that an evaluation of roll rate and longitudinal acceleration are sufficient to identify evasions and to differentiate them from similar maneuvers like overtaking.

These methods are not explained in more detail, as this paper merely aims to give an overview of the system. In the following, the basic concept for detecting the hazard “friction steps and velocity during cornering“ is described. This demonstrates the possibility to detect hazards based on vehicle dynamics sensors. Details about the other methods will be presented in further publications.

### Friction Steps and Velocity during Cornering

Seiniger<sup>16</sup> investigated the potential of future vehicle stability control systems for motorcycles. Two types of accidents are mentioned. One is caused by a drop of the road friction coefficient (friction step); the other one is caused by exceeding the maximum lateral acceleration. The vehicle side-slip angle velocity  $\dot{\beta}$  was found to be a criterion for detection of these critical driving situations. Under the assumption that in uncritical situations all other components than geometric side-slip velocity are negligible, the (nominal) vehicle side-slip angle velocity  $\dot{\beta}_{nom}$  is described depending on caster  $n$ , wheel

---

<sup>16</sup> Seiniger: Erkennung von Motorrad-Kurvenunfällen, 2009

base  $l$ , distance center of gravity to rear wheel patch  $l_r$  and horizontal steering angle velocity  $\dot{\delta}$  as following:

$$\dot{\beta}_{nom} = \frac{l_r + n}{l} \dot{\delta}$$

In general, (actual) vehicle side-slip angle velocity  $\dot{\beta}_{act}$  is determined depending on the horizontal, measured yaw rate  $\dot{\psi}$ , lateral acceleration  $a_y$ , and longitudinal velocity  $v$  as following:

$$\dot{\beta}_{act} = \dot{\psi} + \frac{a_y}{v}$$

With regard to a measurement uncertainty  $\dot{\beta}_{uncertain}$  this yields the following criterion for detecting unbraked cornering accidents:

$$\dot{\psi} + \frac{a_y}{v} > \frac{l_r + n}{l} \dot{\delta} + \dot{\beta}_{uncertain}$$

Figure 2 shows the nominal and the actual vehicle side-slip angle velocity over time  $t$  for an accident caused by a friction step. A difference between the two values can clearly be identified.

To distinguish between accidents of the first category (friction step) and of the second category (exceeding maximum acceleration) further research will be conducted. An evaluation of yaw rate  $\dot{\psi}$  and roll rate  $\dot{\lambda}$  allows a distinction.

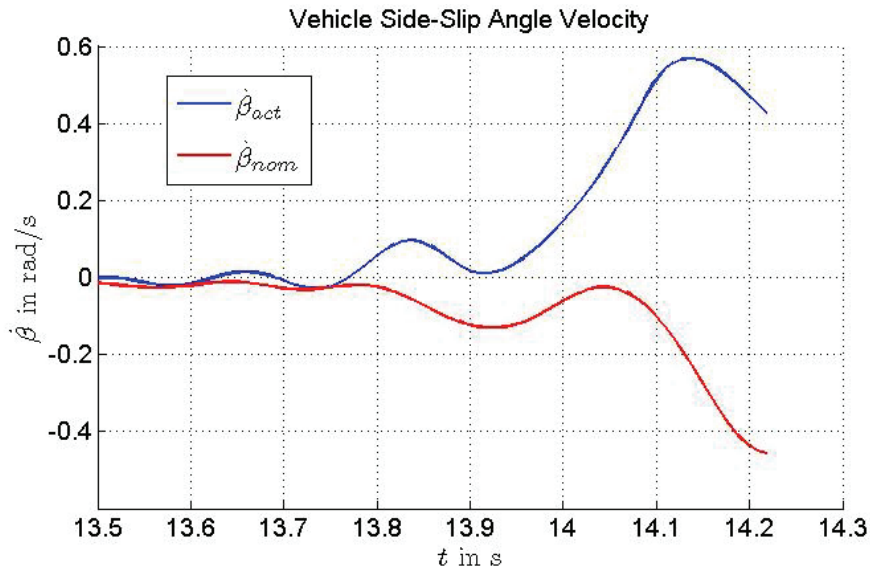


Figure 2: Filtered Vehicle Side-Slip Angle Velocity for an Unbraked Cornering Accident Caused by a Friction Step at 13.75 s ( $v = 30$  km/h)

## Design of Human-Machine Interface (HMI)

To warn the rider about hazards on his route, it is necessary to design a human-machine interface. It is important that this interface warns the driver effectively, but also does not disturb him or her too much. In order to design an adequate interface, a methodology was developed and applied. In the following, this methodology is described and first results of an evaluation of its implementation are presented.

### Methodology

First, requirements for a motorcycle-HMI in a communication-based warning system are defined based on design directives, norms and suitable literature<sup>17</sup>. To limit the number of possible warning elements a pre-selection is made. Under consideration of the selected warning elements, warning strategies are derived. Therefore, it is necessary to determine warning time points, to define the number of warning steps and to assign various warning elements to the warning steps. Finally, the most promising warning strategies are implemented and compared in a test subject study.

### Requirements

There are general requirements for effectiveness, acceptance and adequateness<sup>18</sup>. These are defined as:

The HMI supports the driver in avoiding an accident (effectiveness):

- Warnings are perceived and understood by the rider on time.
- Warnings raise the rider's attention (before reaching a hazard).
- Warnings lead to an earlier reaction of the rider.

The HMI is highly accepted by the rider (acceptance):

- The rider evaluates the system as helpful and supportive.
- The rider does not feel the system is irritating.
- Warnings (always) correspond to the expectations of the rider, i.e. they are intuitive and consistent.

---

<sup>17</sup> e.g., ISO 15006-15008, European Statement of principles on Human Machine interaction (ESoP)

<sup>18</sup> Breuer: Bewertungsverfahren von FAS, 2009

The HMI always behaves adequate to the situation (adequateness):

- Only required information is presented, i.e. the rider perceives the information and the warnings as adequate.
- A distraction of the rider is avoided.

## Warning Elements

To limit the nearly infinite number of possible warning elements to a practical number, a pre-selection has been carried out. Only warning elements, that are currently available on the automotive market and fulfill the requirements, are regarded. Additionally, attention is paid to testing at least one element for each accessible sensory canal (visual, auditory, haptic). Based on these criteria, the pre-selection is limited to the following warning elements (shown in Figure 3):

- haptic saddle
- auditory warning (head-set for warning messages and signals)
- warning flashes (close to the display)
- LED-band (at the top of cockpit)
- display (at the handle bar)



Figure 3: Warning Elements: Haptic Saddle, Auditory Warning, Warning Flashes, LED-Band, Display

## Warning Strategy

For an effective warning strategy it is necessary to define a number of warning steps, corresponding to warning time points and warning elements. To fulfill the requirements for effectiveness and adequateness, concise information has to be provided to the rider to react appropriately in a timely manner. If the HMI is not designed well, the provided information about hazards can distract the rider and increase the reaction time. Therefore, a two step warning strategy is implemented.

This will consist of the following warning steps:

- Informative warning: This warning provides information about the hazard and its distance. It raises the rider's attention, whilst approaching a hazard. It is issued early enough so that a smooth deceleration ( $a < 2,5 \text{ m/s}^2$ ) suffices in order to stop before reaching the hazard. For the maximum speed of 120 km/h, the reaction time and possible measurement errors this leads to a *time to hazard* (TTH) of roughly 8 s.
- Alertive warning: This warning will alert the rider if a strong deceleration ( $a \approx 9 \text{ m/s}^2$ ) is required to stop before reaching the hazard. Therefore, it is only issued, if an informative warning is neglected or the distance to the hazard is too short. For the maximum speed of 120 km/h, the reaction time and possible measurement errors this leads to a *time to hazard* (TTH) of roughly 3 s.

The main aspects of the implemented warning strategy are shown in Figure 4.

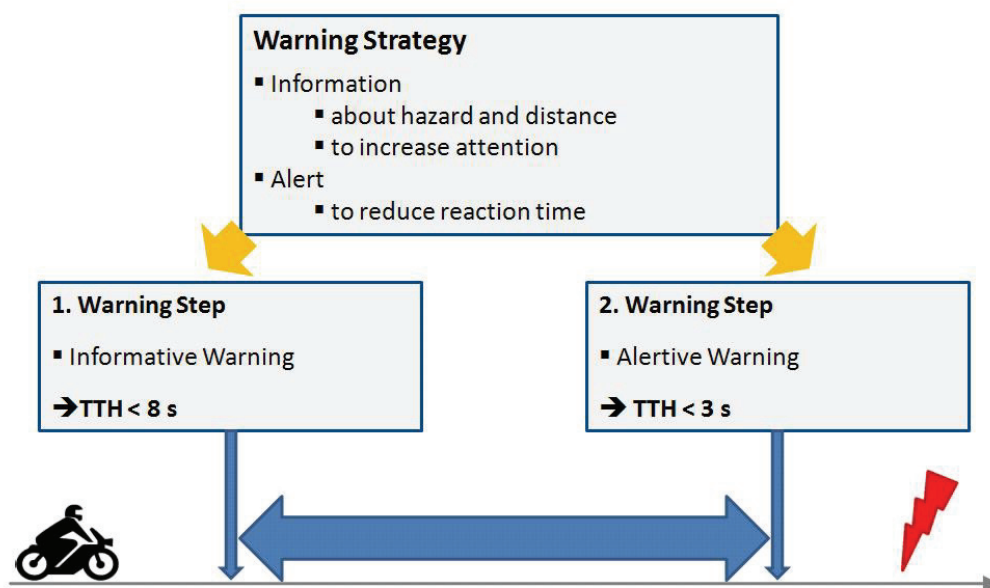


Figure 4: Warning Strategy

Various combinations of the pre-selected warning elements are assigned to the individual warning steps. Therefore, the elements were rated by experts with respect to information content, degree of irritation, potential for distraction and perception rate.

For the first warning step information like type of hazard and distance are provided to the rider. This requires an element with the possibility to transmit warnings with high information content. As the informative warning appears 8 s before reaching the hazard, this can be a source of false alarms, for example, the hazard may be resolved in this time. To minimize the negative effect of false alarms, it is necessary to use elements with a low degree of irritation. This leads to the following variants:

**V 1.1**

- warning flashes
- display

**V 1.2**

- haptic saddle
- display

**V 1.3**

- speech message
- display

The second warning step is provided relatively late, 3 s before reaching the hazards. This means that a fast rider's reaction is necessary. This requires a high perception rate, while at the same time not disturbing the rider. This requires a low potential for distraction. This leads to the following variants:

**V 2.1**

- speech message
- LED-band

**V 2.2**

- signal tone
- haptic saddle

**V 2.3**

- haptic saddle
- LED-band

**Test Subject Study**

To compare the various combinations, a test subject study was conducted (n=34). To minimize the influence of the factors age and driving experience, test subjects were divided into four groups (younger/inexperienced, younger/experienced, older/inexperienced and older/experienced). Test subjects were chosen in a manner to reach an equal distribution between the groups. In the following, the concept for testing the first warning step and main results of its evaluation are presented.

Figure 5 shows the test setup for evaluating and comparing the three implemented combinations. Riders pass through the shown curve three times (in order to reduce the influence of expecting something unusual at the third time, the riders are advised to pass five times). Due to visual cover (van and trailer), for riders it is not possible to see the curve's end. The first two times there is no hazard on the road and there is no warning. The third time there is a warning (some seconds before entering the curve). To make it realistic, a hazard (a quad) is put on the road. This cannot be seen, when entering

the curve. Hence test subjects safety has highest priority, passing the hazard is not dangerous. An evasive maneuver can be done without problems.

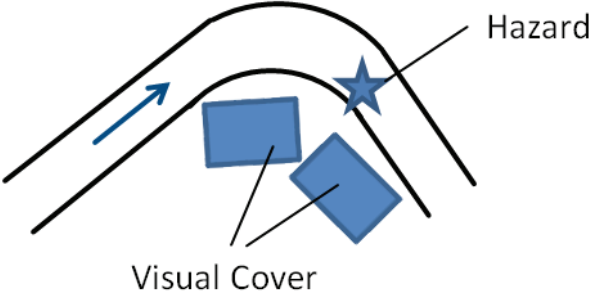


Figure 5: Test Setup for Evaluating the 1st Warning Step

For evaluation, the curve entry speed is compared for cornering with and without a warning. To get a subjective evaluation, a questionnaire was filled out by each rider after finishing the maneuver. Perceived efficiency, perceptibility, intuitivity, distraction, adequateness and degree of irritation (in case of false alarm) are evaluated. In the following, some results are presented. Details will be shown in further publications.

Table 4 and Figure 6 give an overview of curve entry speed. A Wilcoxon rank sum test demonstrates that for all the variants the median of speed for drives with warning differs significantly from the median of the drives without a warning. It is concluded that all variants are efficient. Variant 1.2 and 1.3 seem to be most efficient, even though no significant difference to V 1.1 is found.

Table 4: Median of the Curve Entry Speed and p-Value of a Wilcoxon Rank Sum Test in Comparison to the Baseline (no Warning)

	<b>baseline</b>	<b>V 1.1</b>	<b>V 1.2</b>	<b>V 1.3</b>
<b>median [m/s]</b>	14.7	13.0	10.8	11.4
<b>p-value</b>	/	0.021	0.010	0.001



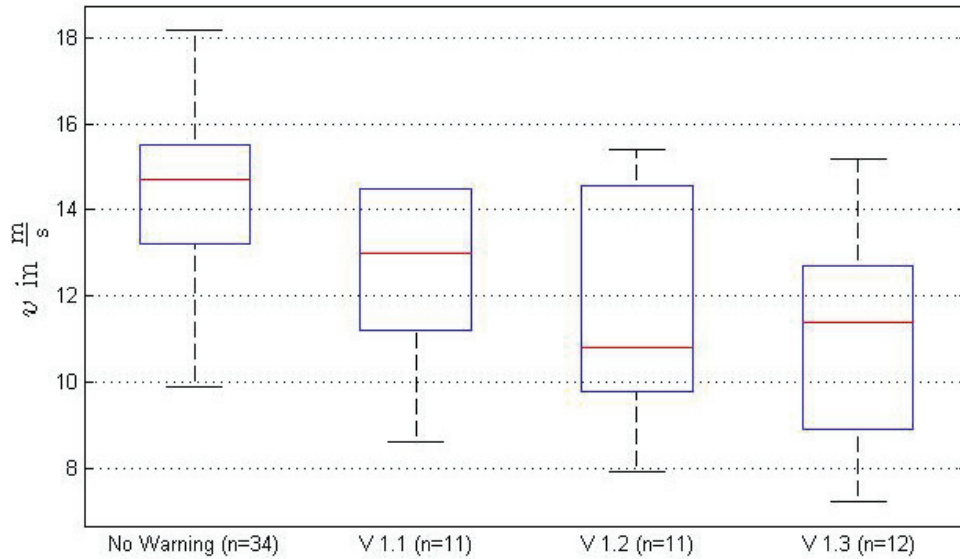


Figure 6: Curve Entry Speed for Baseline and Variants of First Warning Step

Figure 7 shows the results of the test subject evaluation for degree of irritation (1: very irritating, 4: very not irritating). V 1.3 is rated to be most irritating in case of false alarm. There is no significant difference between V 1.1 and V 1.2. With respect to high efficiency and a low degree of irritation, V 1.2 (display, haptic saddle) seems to be the best combination of warning elements for an implementation of the first warning step.

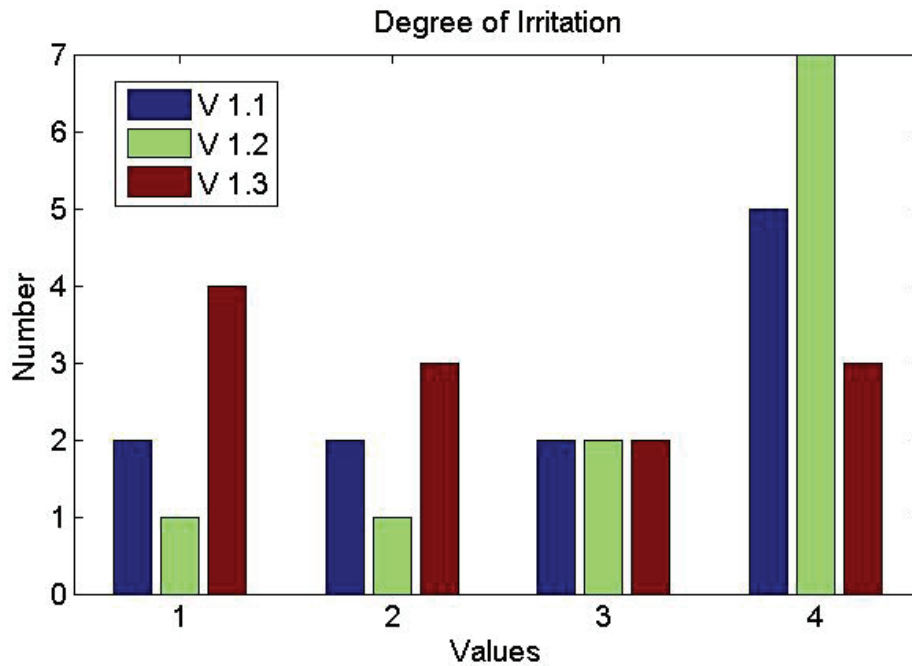


Figure 7: Degree of Irritation, Rated by Test Subjects (1: very irritating, 4: very not irritating)

## **Comfort Oriented Functionality for Greater Market Acceptance**

The MoLife comfort oriented feature is a simple to use voice communication application between motorcycles, called viitalk. For this purpose, the system establishes a mobile wireless network with all equipped vehicles in range. Every rider can be identified by his nickname and his unique id. These functions are known from common internet instant messaging services, like Skype or ICQ. The users in the viitalk networks can initiate friendships with other users to become members on their buddy lists. They can talk with each other in private sessions, or they can communicate in conference calls.

The viitalk system works in the same way with an additional feature. Motorcycle riders add each other to their buddy lists and if one of them is in range the system shows his presence and indicates the location by showing the direction and the distance to the buddy. This could be done also in combination with a navigation function and a symbol in a map. The user can easily request a call to his buddy by pushing the call button. When the channel is established, other riders can join the session. Talking is very simple and unrestricted; there is no need to hold down a special key while speaking or to wait for others to stop speaking like in push-to-talk based systems. In contrast to mobile phone based system, viitalk does not require sufficient network coverage by a provider and it does not incur additional costs, because viitalk builds up and moves the network with the group.

The communication in viitalk is based on voice over IP (VoIP) technology and is enhanced with methods to establish connections very simply.

Riders can talk to others and make arrangements, i.e., for breaks or refuelling. With this communication, a group can reduce risks during overtaking or turning maneuvers. With viitalk the group sustains less misunderstanding caused by using hand signs. The biggest advantage of viitalk is the possibility for the rider to simply and reliably advise his or her buddies (in the group) to any recognized hazardous situation. Viitalk enhances vehicle to vehicle communication with a direct rider to rider communication. This enables a direct customer value for future vehicle communication systems.

## Conclusion and Outlook

During the project “MoLife” research gaps for the development of communication-based warning systems for motorcycles were identified and addressed. First, hazards, which lead to accidents that can be avoided by such a system, were identified. Second, an analysis of driving behavior in hazardous situations was conducted. This can be used as the basis for the generation of warning messages based on vehicle dynamics sensor information. Third, a methodology to design an appropriate HMI was developed and validated. Finally, an additional comfort oriented functionality to increase market acceptance was implemented und tested.

Beside the technical sensors it is possible to use the rider as a “sensor”. This will offer the possibility to detect more hazards than the current system. Nevertheless, this makes the system more prone to malicious attacks. Furthermore, a much more complicated warning message management system is required.

Market introduction of communication-based systems is a big challenge, as a certain degree of market penetration is required in order for a system to be effective. This problem can be circumvented by employing the described system to a group of motorcycles. Riders often drive in groups. If a group is equipped with this system, it will benefit by it. Nevertheless, for the use of all functions a certain degree of market penetration is required.

## Bibliography

ACEM: MAIDS-Studie V 1.3, 2008

**Association des Constructeurs Européens de Motocycles:** *In-Depth Investigations of Accidents Involving Powered Two Wheelers (MAIDS) Version 1.3.* ACEM, Brüssel, 2008

Assing: Unfallgeschehen von Motorradfahrern, 2002

**Assing, K.:** *Schwerpunkte des Unfallgeschehens von Motorradfahrern.* BAST-Bericht M 137, Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST), Bergisch Gladbach, 2002

Becker: IVHW System Concept, 2003

**Becker, I.:** *Inter-Vehicle Hazard Warning – System Concept and Issues relevant for Standardization.* Projektbericht, DEUFRAKO Project Consortium, 2003

Breuer: Bewertungsverfahren von FAS, 2009

**Breuer, J.:** *Bewertungsverfahren von Fahrerassistenzsystemen.* Handbuch Fahrerassistenzsysteme, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2009

Engels: Analyse des Unfallgeschehens mit motorisierten Zweirädern, 1986

**Engels, K.:** *Analyse des Unfallgeschehens mit motorisierten Zweirädern auf der Basis des von der Polizei erhobenen Unfallmaterials.* Forschungsheft Nr. 3: Der Motorradunfall, hrsg. von H. Koch, Institut für Zweiradsicherheit, Bochum, S. 93 ff., 1986

Gwehenberger et al.: Schwerstunfälle mit Motorrädern, 2006

**Gwehenberger, J.; Schwaben, I.; Sporer, A.; Kubitzki, J.:** *Schwerstunfälle mit Motorrädern – Analyse der Unfallstruktur und der Wirksamkeit von ABS.*

Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Nr. 01/2006, Wiesbaden, S. 11 ff., 2006

Honda: ASV 4 Motorcycle, 2008

**Honda:** *Advanced Safety Vehicle 4 Motorcycle.* Pressemitteilung zum Car2Car Communication Consortium Demonstrator am 22./23. Oktober 2008,

Dudenhofen, 2008

Kramlich: Die häufigsten Gefahrensituationen für Motorradfahrer, 2002

**Kramlich, T.:** *Noch immer gefährliche Begegnungen - Die häufigsten Gefahrensituationen für Motorradfahrer und die resultierenden Verletzungen.* GDV Institut für Fahrzeugsicherheit, München, 2002

Kühn et. al: Analyse des Motorradunfallgeschehens, 2008

**Kühn, M.; Körner, M.; Unger, M.:** *Analyse des Motorradunfallgeschehens – Interdisziplinäre Analyse der Sicherheitslage von Motorradfahrern in Deutschland.* Tagungsband der 7. Internationalen Motorradkonferenz, Institut für Zweiradsicherheit, Essen, S. 51 ff., 2008

Pfeifer et al.: Fahrzeugkommunikation im Motorrad, 2008

**Pfeifer, R.; Müller, P.; Klanner, F.; Purschwitz, A.; Kosch, T.:** *Aktive Motorradsicherheit auf Basis von Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation.*

Tagungsband der 7. Internationalen Motorradkonferenz, Institut für Zweiradsicherheit, Essen, S. 341 ff., 2008

Präckel: Die Motorradbremsung, 1999

**Präckel, J.:** *Die Motorradbremsung im System Mensch / Maschine / Umgebung.* Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 384, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999

Reichardt et al.: CarTALK 2000, 2002

**Reichardt, D.; Miglietta, M.; Moretti, L.; Morsink, P.; Schulz, W.:** *CarTALK 2000 – Safe and Comfortable Driving Based Upon Inter-Vehicle Communication.* IEEE Intelligent Vehicles Symposium 2002, Versailles, S. 545f., 2002

Schulze et al.: PReVENT Final Report, 2008

**Schulze, M.; Mäkinen, T.; Irion, J.; Flament, M.; Kessel, T.:** *Preventive and Active Safety Applications Integrated Project - Final Report.* PReVENT Consortium, Sindelfingen, 2008

Seiniger et al.: Erkennung kritischer Fahrsituationen, 2009

**Seiniger, P.; Winner, H.:** *Objektive Erkennung kritischer Fahrsituationen von Motorrädern.* BASt-Bericht F73, Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven, 2009

Seiniger: Erkennung von Motorrad-Kurvenunfällen, 2009

**Seiniger, P.:** *Erkennbarkeit und Vermeidbarkeit von ungebremsten Motorrad-Kurvenunfällen.* Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 707, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2009

Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle, 2008

**Statistisches Bundesamt:** *Verkehr - Verkehrsunfälle 2007.* Fachserie 8, Reihe 7, Statistisches Bundesamt, Wiesbaden, 2008

**Design of a thorax protector, from the rider's needs  
to the protective solution**

**Entwurf eines Thorax-Protektors, von den Bedürfnissen  
des Fahrers bis zur schützenden Lösung**

Vittorio Cafaggi, David Manzardo

Dainese S.p.A., Italy

## **Abstract**

Dainese, as a leading manufacturer of protective clothing for motorcycle and dynamic sports, joined APROSYS European project. With the project partners, the available scientific literature on motorcyclist's safety have been studied and an indepth motorcycle accident analysis has been carried out aiming to understand the most frequently and severely injured body regions. This study outlined the needs to protect rider's thorax because an often very severely injured body region.

The requirements in terms of protection have been identified by biomechanics specialists and the protector has been virtually CAD designed. Selected materials to manufacture the future protector have been characterized and the thorax protector FE model has been prepared.

Frontal and lateral impact simulations, with HUMOS2 model have been carried out, showing that the force distribution was the main benefit in terms of protection derived from the virtual device.

The final constructive configuration of the thorax protector has been defined after several optimization runs and a prototype has been manufactured. Ergonomic tests have been carried out with "real" motorcycle rider. A series of impact tests have been carried out with a Hybrid III Dummy. Tests demonstrate that the thorax protector prototype is able to reduce chest compression and Viscous Criteria and thus to reduce the potential injury risk.

**Design of a thorax protector, from the rider's needs  
to the protective solution**



Motorcycle represents a solution for traffic congestion, but motorcyclists' remain one of the most vulnerable road users. To improve motorcyclists' safety, a cofounded European project was established. APROSYS was an integrated project that aims to reduce the number and severity of powered two wheelers user injuries for the most relevant accident scenarios within SP4 "motorcycle accidents". Dainese has been involved as a leading manufacturer of protective clothing for motorcycle and dynamic sports to SP4, which also counted Altair, Cidaut, DEKRA, FEMA, Hiasa, Ludwig Maximilian Universität, Piaggio and University of Florence as project partner.

The project can be divided in two macro phases. Within its first phase, the goals were to identify the most frequent and the most severe type of motorcyclists' injuries, thus to deeply understand the injury mechanisms. On the second phase, the goal was to find out a protective solution and to develop it. To achieve the first target an in-depth accidents analysis, based on four accident databases (COST 327, MAIDS, GIDAS and DEKRA) and a literature review, have been carried out. For the protector's development (second phase), a plan of activities was designed. It provided since the beginning the definition of a validation plan. The validation tests, represents a fundamental base of knowledge to address the protector's design and the selection of proper materials. Then the protector's FEM model, was created and used together with Humos II model to simulates impact condition and give an insight on the protector's performance. A series of simulations were processed to improve protector's performance. After this "virtual" design activity, a real protector prototype was manufactured and tested accordingly the validation test plan.

The in-depth accident analysis showed that injuries to the thorax area record a high severity index and that their frequency isn't negligible. One other important remark was that their frequency rise together with impact speed. At the light of these outcomes, it was decided to concentrate phase two efforts to design and create a new motorcyclists' thorax protector. Below tables shows the risk of sustain at list one injury to the relative body region once the rider's involved in an accident. Tables 1,2 and 3 show data recorded on MAIDS and GIDAS databases.

Table 1

Speed at impact: 0 – 35 km/h		
Body region	Casualties	Percentage
Head	36	25.4%
Face	29	20.7%
Neck	4	2.9%
Spine	8	5.7%
Thorax	11	7.8%
Abdomen	7	5.0%
Pelvis	7	12.7%
Upper Extremity	81	58.3%
Lower Extremity	104	74,3%

Table 2

Speed at impact: 36 – 70 km/h		
Body region	Casualties	Percentage
Head	41	30.6%
Face	30	22.6%
Neck	8	6.0%
Spine	14	10.4%
Thorax	19	14.3%
Abdomen	8	6.1%
Pelvis	6	14.0%
Upper Extremity	82	62.6%
Lower Extremity	94	73,4%

Table 3

Speed at impact: Greater than 70 km/h		
Body region	Casualties	Percentage
Head	13	37.1%
Face	7	20.0%
Neck	0	0.0%
Spine	10	29.4%
Thorax	9	25.7%
Abdomen	5	14.3%
Pelvis	2	14.3%
Upper Extremity	21	60.0%
Lower Extremity	21	63,6%

The same figures have been calculated using the COST database:

Table 4

Speed at impact: 0 – 35 km/h		
Body region	Casualties	Percentage
Head	27	55,1%
Neck	6	12,2%
Thorax	11	21,6%
Abdomen	8	15,7%
Pelvis	8	15,7%
Upper Extremity	21	41,2%
Lower Extremity	32	60,4%

Table 5

Speed at impact: 36 – 70 km/h		
Body region	Casualties	Percentage
Head	80	70,2%
Neck	32	29,4%
Thorax	68	61,8%
Abdomen	38	33,9%
Pelvis	28	25,7%
Upper Extremity	66	60,0%
Lower Extremity	79	69,3%

Table 6

Speed at impact: Greater than 70 km/h		
Body region	Casualties	Percentage
Head	86	71,7%
Neck	34	30,9%
Thorax	68	57,6%
Abdomen	48	40,0%
Pelvis	32	28,1%
Upper Extremity	87	75,0%
Lower Extremity	96	84,2%

The validation plan within the second phase of the project, required to carry out four impacts, frontal and lateral at 5 and 10 m/s. The impactor characteristics, yet used for validating Humos II model, were selected for test thorax protector. The impactor was cylindrical, with a diameter 6 in (15.2 cm) and weight 23.4 kg.

To evaluate the protection performance provided by the new protector, two injury criteria were used in association with ECE-R94 (frontal) and ECE-R95 (lateral):

- for frontal impact the Thorax-Compression and the peak viscous response  $VC_{MAX}$ .
- for lateral impact the half Thorax-Compression should be evaluated

No absolute limits were established, data comparison between protected and unprotected real or virtual dummy lead to the performance definition.

The protector design tried to achieve the follows goals:

- spread the impact force on a bigger area;
- shift a part of the force to the thorax sides.

The final purpose was to attempt to reduce the flexural momentum and thus fracture risk on ribs. A frontal one-piece semi-rigid external shell was preferred to fulfil the design goals. To improve shell's rigidity, the designer created an interior reticular structure.

To absorb part of the impact energy an aluminum honeycomb shock absorbing material was selected and coupled to the shell.

Figure 3 shows the stylist input for the protector design.



*Fig. 1: Thorax protector design proposal*

The final step for the design process was the elaboration of the Thorax protector CAD model.

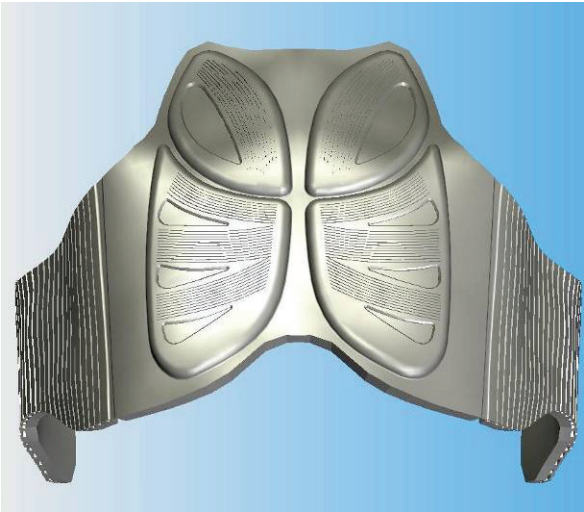


Fig. 2: Thorax CAD design

The whole protector was meshed with a series of bricks elements. To be able to mesh the reticular structure, the bricks has a size equal to the reinforcement’s width (2 mm).

The thorax protector final mesh had 100238 nodes and 54972 elements. 9056 bricks defined honey-comb structure, 45306 bricks the rigid shell and 610 shells for zip parts.

For the simulation phase, thorax protector mesh was coupled with HUMOS 2 model.



Fig. 3: Frontal and lateral scenarios with thorax protector

Table 7: Injury criteria values

IMPACT CONFIGURATION	FRONTAL			LATERAL
	Chest compression	VCmax	Chest deflection	Half thorax compression
5 m/s – without protector	27 %	0.66	46.5 mm	27 %
5 m/s – with protector	20 %	0.41	34.5 mm	29 %
10 m/s – without protector	71 %	3.21	120 mm	61 %
10 m/s – with protector	51 %	2.53	85.8 mm	56 %

Table 7 shows the simulations results. The main protection benefit was achieved in frontal impacts. An important outcome was that honeycomb didn't record any deformation. It was decided to further investigate this behaviour running other simulations. At first, it was decided to use sharper impactor shape, then to modify honeycomb stiffness.

Simulations demonstrated that impactor shape has no influence on honeycomb behaviour, but on the contrary, some differences were recorded varying its stiffness. Considering finally injuries criteria data, combining honeycomb stiffness differences with impactor changes, did not record real effect on the thorax protection performance.

Table 8: Injury criteria

FRONTAL IMPACT	Chest compression	VCmax
10 m/s – without protector	71 %	3.21
10 m/s – with protector	51 %	2.53
10 m/s – with protector and virtual less stiff honeycomb	53 %	2.52

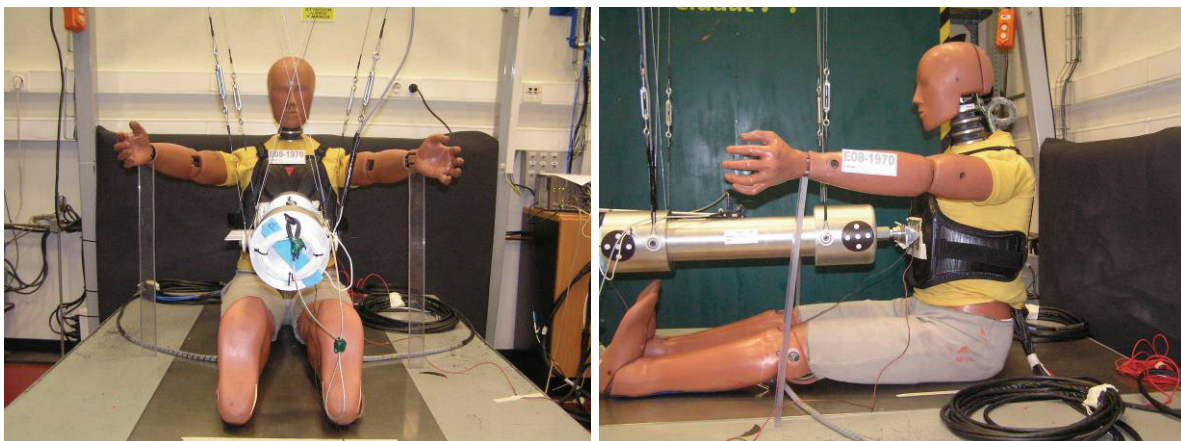
Concluded this “virtual” phase, the protector was manufactured.

To further investigate the honeycomb behavior, a series of prototype for the validation tests have been prepared. Different protector configurations have been created, one without honeycomb, one with honeycomb between the rigid shell and the thorax and one with honeycomb outside.



*Figures 4: Thorax protector in different configurations*

Real tests were carried out with an instrumented HYBRID III 50 percentile male dummy seated in a plane and an octofilar pendulum that guide a cylinder probe with the impactor mounted on one its side, to hit the dummy in the sternum area.



*Figures 5: real impact test with kerbstone impactor*

In Table 9 the matrix of tests shows the test results.

Table 9: Results impact test

<b>IMPACTOR</b>	<b>PROTECTIVE CLOTHING</b>	<b>Target probe velocity (m/s)</b>	<b>Measured probe velocity (m/s)</b>	<b>Chest_S (mm)</b>	<b>Chest VC (m/s)</b>	<b>Sternum_ax (g)</b>
FLAT	NO	5,00	4,88	49,8	0,51	93,11
FLAT	YES, WITHOUT HONEYCOMB	5,00	4,88	43,8	0,50	84,52
FLAT	YES, WITH HONEYCOMB INSIDE	5,00	4,92	42,6	0,49	78,78
FLAT	YES, WITH HONEYCOMB OUTSIDE	5,00	4,92	42,5	0,47	101,88
FLAT	NO	6,70	6,68	72,2	1,07	135,44
FLAT	YES, WITHOUT HONEYCOMB	6,70	6,74	63,9	0,99	136,21
FLAT	YES, WITH HONEYCOMB INSIDE	6,70	6,75	62,1	0,96	146,15
FLAT	YES, WITH HONEYCOMB OUTSIDE	6,70	6,74	62,0	0,93	130,31
KERB	NO	5,00	4,92	50,5	0,61	70,02
KERB	YES, WITHOUT HONEYCOMB	5,00	4,95	43,4	0,45	69,78
KERB	YES, WITH HONEYCOMB INSIDE	5,00	4,95	43,1	0,47	92,10
KERB	YES, WITH HONEYCOMB OUTSIDE	5,00	4,95	42,2	0,34	81,04
KERB	NO	6,70	6,74	73,6	1,20	203,29
KERB	YES, WITHOUT HONEYCOMB	6,70	6,8	65,7	0,87	112,16
KERB	YES, WITH HONEYCOMB INSIDE	6,70	6,74	59,6	0,84	109,40
KERB	YES, WITH HONEYCOMB OUTSIDE	6,70	6,80	62,3	0,89	102,61

Analyzing Chest compression and Viscous Criteria recorded data, in particular comparing results with and without protector, for any type of protector, a significant reduction on the recorded values in case of protector's presence have been achieved. Taking into account sternum accelerations only, the thorax protector without honeycomb demonstrate to be able in all the test conditions to reduce or at least maintains the accelerations values without any degrade on the data.

Simulations results and real impact tests show that the protector developed within APROSYS project improve the level of safety of a motorcyclist protecting the thoracic area.

*For the great work carried out within APROSYS project for the Thorax protector development, and for the accident research study, I would like to thanks:*

*Steffen Peldschus, LMU*

*Samuel Bidal, Altair Development France*

*Aquilino Molinero and Sergio Alonso, CIDAUT*

*Aline Delhaye, FEMA*

*Marco Pierini, UNIFI*

*Jens König, DEKRA*

*Margriet van Schijndel-de Nooij, TNO*



**HMI concept for advanced rider assistance systems  
for powered two-wheelers**

**Entwicklung eines benutzergerechten MMS Konzepts für Fahrer-  
assistenzsysteme für motorisierte Kraffräder**

Dipl.-Ing. Melanie Ganzhorn, Dipl.-Psych. J. P. Frederik Diederichs,  
Dipl.-Ing. Harald Widloither  
Research staff, Fraunhofer-Institute for Industrial Engineering,  
Stuttgart, Germany

Evangelos Bekiaris, Stella Nikolaou  
Centre for Research & Technology Hellas,  
Hellenic Institute of Transport, Athens, Greece

Roberto Montanari, Andrea Spadoni  
HMI Group, Engineering Science and Methods Department,  
University of Modena and Reggio Emilia, Reggio Emilia, Italy

Marco Fontana  
PERCRO Laboratory, Scuola Superiore Sant'Anna, Pisa, Italy

Giacomo Bencini, Niccolò Baldanzini  
Università degli Studi di Firenze,  
Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, Firenze, Italy

Sara Granelli,  
AvMap S.r.l., Via Caboto 9, Marina di Carrera (MS), Italy

## Abstract

For more than one decade the European Commission has been focusing on the enhancement of road safety by funding research on Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and Intelligent Vehicle Information Systems (IVIS) in the field of automotive. However, the application of such technologies for motorcycles is currently lacking behind. While in the automotive sector extended knowledge has been generated also on the Human-Machine Interface (HMI) for ADAS and IVIS this does not apply for the motorcycle sector.

In the 7<sup>th</sup> framework program the European Commission is therefore funding the motorcycle research project SAFERIDER (Advanced telematics for enhancing the safety and comfort of motorcycle riders) [1]. Within the project five Advanced Riding Assistance Systems (ARAS) and four On-Bike Information Systems (OBIS) have been adapted for the use on motorbikes. Furthermore innovative haptic, visual and acoustic elements for the design of the HMI (Human Machine Interface) have been developed.

This paper focuses on the user-centered design approach applied in the development of the HMI. Therefore the procedure of DIN EN ISO 13407 has been chosen, consisting of: understanding the uses cases, analysis of the (user) requirements, design and evaluation. This method enables a continuous control of the development and ensures the development of systems that comply with the context of use and user requirements and expectations. For a new topic like ARAS and OBIS this is necessary to enable a stepwise and early correction of the HMI concept where needed.

## Kurzfassung

Seit mehr als einem Jahrzehnt wird viel Forschungs- und Entwicklungsaufwand in die Entwicklung von sensorbasierten PKW Fahrerassistenzsystemen investiert. So fördert beispielsweise die Europäische Kommission die PKW Sicherheit durch Projekte zur Untersuchungen und Entwicklung von ADAS (Advanced Driver Assistance Systems) und IVIS (Intelligent Vehicle Information Systems) inklusive zugehöriger Mensch Maschine Schnittstellen (MMS). Für Motorräder hinkt diese Forschung jedoch dem eigentlichen Stand der Technik hinterher, obwohl schon lange durch Unfallstatistiken und Unfallforschung die Notwendigkeit oder vielmehr die Dringlichkeit zur Implementierung weiterer Sicherheitssysteme aufgezeigt wird.

Im Zuge des 7. Rahmenprogramms der Europäischen Kommission wird nun das EU Projekt SAFERIDER [14] (Fortgeschrittene Telematik für die Erhöhung der Sicherheit und des Komforts von Motorradfahrern) gefördert. Ziel dieses Projektes ist es die Implementierung innovativer, aus dem PKW Bereich abgeleiteter ARAS (Advanced Rider Assistance Systems) und OBIS (On-Board Information Systems) zu erforschen. Im Verlauf dieses 2008 gestarteten Projektes wurden bereits 9 ARAS und OBIS für Motorräder angepasst und neuartige visuelle, akustische und haptische Elemente für eine innovative MMS entwickelt. Die SAFERIDER Assistenzsysteme sind sogenannte informierende und warnende Systeme, die ihre Wirkung allein durch die Unterstützung des richtigen Fahrerverhaltens entfalten.

In diesem Beitrag steht die nutzergerechte Gestaltung der MMS im Mittelpunkt. Hierzu wurde das Vorgehensmodell gemäß der DIN EN ISO 13407 „Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme“ gewählt. Bestehend aus: Analyse des Nutzungskontextes, Analyse der (Benutzer-) Anforderungen, Design, und Evaluation. Durch ein iteratives Vorgehen mit mehreren bereits eingeplanten Loops dieser Methode wird eine kontinuierliche Überprüfung der getroffenen Annahmen und darauf basierenden Entwicklungen ermöglicht.

Diese Methode eines iterativen Entwicklungsprozesses stellt sicher, dass bei der Entwicklung sowohl der Nutzungskontext als auch die besonderen Benutzeranforderungen nicht nur berücksichtigt werden, sondern in den Mittelpunkt des Entwicklungsprozesses rücken. Jeder Entwicklungsschritt wird dabei frühzeitig möglichst realitätsnah umgesetzt und mit Experten und Laien diskutiert und nah am Nutzungskontext getestet. Dadurch ist es möglich die Bedürfnisse und Wünsche von Motorradfahrern zu berücksichtigen und eine benutzerorientierte Gestaltung zu erreichen.

**Entwicklung eines benutzergerechten MMS Konzepts für Fahrer-  
assistenzsysteme für motorisierte Krafräder**

## Einleitung

Aus einer Analyse von ADAS und IVIS aus dem Automotivbereich sowie der Motorradunfallstatistiken ging die Idee hervor informierende und warnende Assistenzsysteme für Motorräder anzupassen und zu implementieren und eine innovative MMS zu gestalten. Der Bedarf an sicherheitsfördernden Fahrerassistenzsystemen lässt sich durch objektive Quellen, wie beispielsweise Unfallforschung und -statistiken, ermitteln. Wie [4] zeigt, ist in Europa das Risiko durch einen Verkehrsunfall tödlich zu verunglücken für Motorradfahrer 18mal höher als für andere Verkehrsteilnehmer. Diese Zahl verdeutlicht die Dringlichkeit die Sicherheit für Motorradfahrer deutlich zu verbessern. Dass eine solche Verbesserung durch Fahrerassistenzsysteme für Motorräder potentiell möglich ist zeigt [5] auf: alleine durch ABS könnten 25-35% der schweren Unfälle vermieden werden. Eine Integralbremse könnte diese Zahl sogar verdoppeln. Somit ist auch objektiv der Bedarf zur Erhöhung der Sicherheit von Motorradfahrern durch entsprechende Assistenzsysteme festzustellen. Hierfür wurden die SAFERIDER Assistenzsysteme als informierende und warnende Systeme entwickelt, die ihre Wirkung allein durch die Unterstützung des richtigen Fahrerverhaltens entfalten. In diesem Beitrag steht die nutzergerechte Gestaltung der MMS im Mittelpunkt. Hierzu wird das Vorgehensmodell gemäß der DIN EN ISO 13407 „Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme“ gewählt. Durch ein iteratives Vorgehen mit mehreren bereits eingeplanten Loops dieser Methode wird eine kontinuierliche Überprüfung der getroffenen Annahmen und darauf basierenden Entwicklungen ermöglicht.

## DIN EN ISO 13407 - Entwicklungsmethode für eine nutzergerechte MMS für Motorräder

Das Vorgehensmodell gemäß [9] besteht aus folgenden vier Schritten: Analyse des Nutzungskontextes, Analyse der (Benutzer-) Anforderungen, Design, und Evaluation. Diese Schritte werden sooft wiederholt, bis ein finales MMS Konzept abgeleitet werden kann.

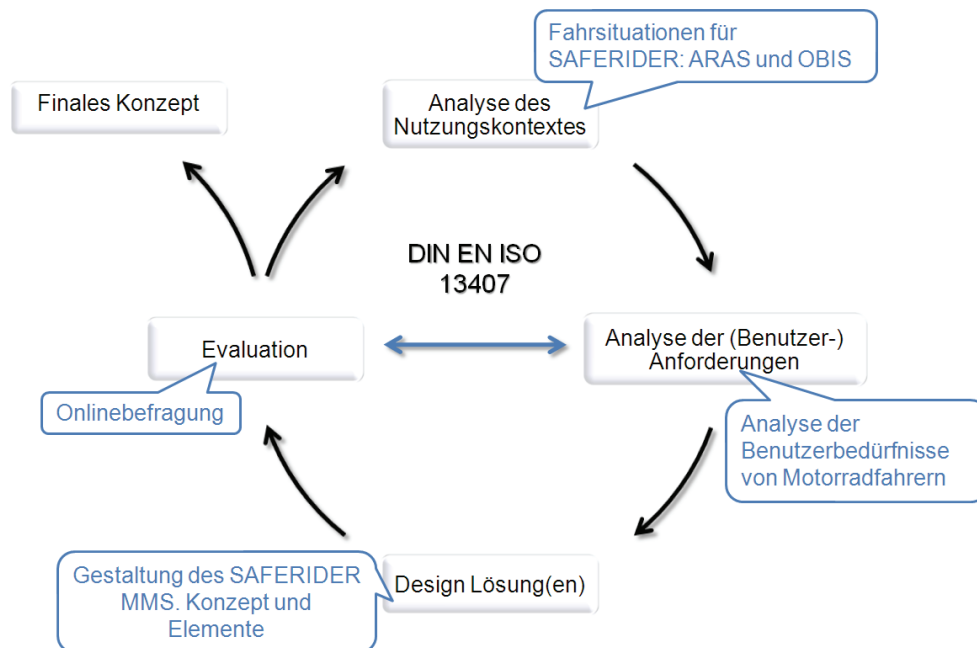


Abbildung 1: Zusammenhang DIN EN ISO 13407 und SAFERIDER MMS Entwicklung.

Der Nutzungskontext wird im SAFERIDER Projekt durch die insgesamt 9 ARAS und OBIS vorgegeben. Aus diesen Systemen lassen sich konkrete Nutzungsszenarien ableiten für die die jeweilige MMS optimiert werden. Zudem müssen weitere Aspekte wie der direkte Einfluss der Umwelt (Wind, Regen, Straßenbeschaffenheit) auf Fahrer und Fahrzeug berücksichtigt werden. Gerade im Vergleich zu der Aufgabe des Autofahrens treten hier deutliche Unterschiede auf, die bei einer Ableitung zu beachten sind.

In der Analyse der Benutzeranforderungen stehen erfahrene und unerfahrene Motorradfahrer im Mittelpunkt. Die Aufgabe des Motorradfahrens stellt besonders hohe physische und psychische Anforderungen an den Fahrer, die wiederum zu speziellen Benutzeranforderungen an die Assistenzsysteme und MMS führen.

Die Erkenntnisse aus der Analyse des Nutzungskontextes und der Benutzeranforderungen schlagen sich direkt im Design der einzelnen MMS Elemente nieder und werden auch bei der Zuordnung der Elemente zu den einzelnen Assistenzsystemen berücksichtigt.

Durch die iterative Evaluation dieser MMS durch erfahrene und unerfahrene Nutzer entsteht das finale MMS Konzept. Dabei bietet sich hier nochmals die Möglichkeit die definierten Anforderungen und Bedürfnisse zu überprüfen, die Nutzer noch besser in die Entwicklung einzubinden und dadurch ein optimal an den Nutzungskontext und Benutzerbedürfnisse angepasstes MMS zu entwickeln.

## **Der Nutzungskontext: Motorradfahren in Situationen in denen SAFERIDER ARAS und OBIS informieren und warnen**

Entsprechend [9] sind zur benutzergerechten Gestaltung einer MMS die wichtigsten Anwendungsfälle bzw. Nutzungsszenarien zu definieren um die Schnittstelle entsprechend den Benutzerbedürfnissen in diesen Situationen zu gestalten. Im Rahmen des SAFERIDER Projektes wurden zur Erhöhung der Sicherheit fünf ARAS (Advanced Rider Assistance Systems) ausgewählt: Geschwindigkeitswarnung, Kurvenwarnung, Frontalkollisionswarnung, Kreuzungsassistent und Spurwechselassistent. Diese werden durch komfortorientierte OBIS (On-Bike Information Systems) ergänzt: eCall, Telediagnoseservice, Navigation und Routenführung sowie Wetter, Verkehrs und Gefahrenstellenwarnungen. Der Nutzungskontext ergibt sich jeweils aus Situationen, in denen diese Assistenzsysteme warnen oder informieren. Überprüft wird die MMS dabei jeweils im Stadtgebiet und auf Landstraßen.

## **Analyse der Benutzerbedürfnisse von Motorradfahrern**

Den Schwerpunkt der Analyse zur benutzerorientierten Gestaltung der MMS stellt der Nutzer, also der Motorradfahrer, dar. Um die Bedürfnisse des Motorradfahrers in die Konzeptgestaltung mit einzubeziehen sind zwei Aspekte zu analysieren: die Benutzerfreundlichkeit und die Akzeptanz [12].

Benutzerfreundlichkeit besteht laut [10] aus drei Teilen: Effektivität zur Lösung einer Aufgabe, Effizienz der Handhabung und Zufriedenheit der Nutzer. Im Folgenden wird die Effektivität und Effizienz näher betrachtet, die Zufriedenheit der Nutzer fließt bei dieser Konzepterstellung in den Aspekt der Akzeptanz mit ein. Effektivität und Effizienz kann für die Schnittstellengestaltung durch den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess dargestellt werden. Dieser lässt sich vereinfacht in drei Schritten darstellen: Informationswahrnehmung, -verarbeitung und -umsetzung [1] [13].

Hierbei wird die Effizienz durch den kognitiven Aufwand des Nutzers zum Verstehen und Bedienen der Schnittstelle dargestellt. Eine benutzergerechte Gestaltung der Schnittstelle bedeutet diesen kognitiven Aufwand so gering wie möglich zu halten und den Nutzer in den kognitiven Prozessen zu unterstützen. Als Beispiel kann die Entscheidungsfindung genannt werden. Nach [11] gibt es vier Typen der Entscheidung, die unterschiedlich komplex sind. Je komplexer der Entscheidungstyp ist, umso länger dauert folglich der kognitive Prozess und umso später erfolgt eine Handlung. Für die Interface-

gestaltung bedeutet dies: Unterstützt man den Nutzer dahingehend, dass nur einfache Entscheidungen zu treffen sind, erzielt man die schnellst mögliche Reaktion. Gerade in kritischen Situationen wie den ARAS Nutzungsszenarien ist eine schnelle Handlung nötig.

Effektivität bedeutet die Schnittstelle so zu gestalten, dass die Nutzer das definierte Ziel, bei der Schnittstellengestaltung die gewünschte Reaktion oder Handlung, in allen Situationen erreichen. Dies kann beispielsweise durch die Selbstbeschreibungsfähigkeit der Bedienelemente erreicht werden, d.h. durch die Gestaltung des Bedienelementes wird der Nutzer dazu animiert eine gewünschte Handlung auszuführen [3]. Denkbar wäre hier z.B. die Reaktion des Motorradfahrers weniger Gas zu geben durch entsprechende Gestaltung des Gasgriffes.

Die Benutzerfreundlichkeit ist somit dafür verantwortlich wie hoch die mentale Beanspruchung des Fahrers zur Erfüllung seiner Aufgabe ist. Benötigt der Fahrer seine gesamte Aufmerksamkeit zum Verstehen und Bedienen des Motorrades, so kann er sein Umfeld nicht mehr erfassen, was zu einem erhöhten Unfallrisiko führt. Somit muss eine Schnittstelle für ein Assistenzsystem so gestaltet sein, dass die zusätzliche mentale Beanspruchung auf Grund der Bedienung nicht den Assistenzeffekt egalisiert oder gar invertiert. Zusätzlich muss die Schnittstelle so gestaltet sein, dass es dem Nutzer leicht fällt sich ein mentales Model, d.h. eine Vorstellung der Funktionsweise des Systems, zu bilden, was zu den gewünschten Reaktionen und Handlungen führt. Optimal ist die Gestaltung der Schnittstelle, wenn durch die Gestaltung intuitive Reaktionen hervorgerufen werden.

Die Benutzerfreundlichkeit hängt eng zusammen mit dem zweiten grundlegenden Aspekt: der Akzeptanz. Ist eine Schnittstelle nicht benutzerfreundlich gestaltet, so wird sie in der Regel nicht akzeptiert werden. Fehlende Akzeptanz bedeutet jedoch im Umkehrschluss nicht zwingend, dass die Schnittstelle nicht benutzerfreundlich gestaltet ist. Denn Akzeptanz beinhaltet weit mehr Aspekte als die Zufriedenheit der Nutzer mit der Gestaltung der Schnittstelle. Einen sehr wichtigen, aber auch sehr komplexen Faktor stellen die Bedürfnisse der Motorradfahrer dar. Bedürfnisse sind individuell und von Mensch zu Mensch verschieden. Daher soll im Rahmen der Interfacegestaltung versucht werden den Bedürfnissen einer möglichst großen Anzahl der Nutzer gerecht zu werden. So könnte man beispielsweise ein Interface für die Bedürfnisse von Kindern oder für die Bedürfnisse von älteren Menschen gestalten Dabei gilt es diese Bedürfnisse möglichst umfassend durch wissenschaftliche Methoden zu erfassen und später auf ihre Umsetzung in der MMS hin zu prüfen.

Möchte man nun die Bedürfnisse der heterogenen Gruppe der Motorradfahrer in die Interfacegestaltung mit einbeziehen, so ist festzustellen, dass diesen bis jetzt noch zu wenig Aufmerksamkeit gewidmet wurde. Daher werden im Folgenden die Bedürfnisse, Anforderungen und Erwartungen der Motor-



radfahrer an Fahrerassistenzsysteme dargestellt, wie sie im Rahmen der Arbeiten für das SAFERIDER Projekt erhoben wurden.

Der grundlegende Unterschied zu anderen Nutzergruppen wird durch die Aufgabe des Motorradfahrens dargestellt. Diese Aufgabe ist so komplex, dass man den physischen und psychischen Aufwand mit dem eines Leistungssportlers vergleichen kann [2]. Bei der Gestaltung eines MMS Konzeptes sollte diese erhöhte Belastung unbedingt beachtet werden, da hier ist der kognitive Aufwand besonders hoch ist. Außerdem sollte sich die Bedienung in die bestehenden Schnittstellen einfügen, um so die Komplexität nicht noch weiter zu erhöhen.

Trotz oder gerade wegen dieser Komplexität steht für die meisten Motorradfahrer der: Fahrspaß im Mittelpunkt. Motorradfahren ist für viele Fahrer hauptsächlich eine Sport- und Freizeitaktivität mit der Motivation die Geschwindigkeit, die Agilität und das Freiheitsgefühl zu erleben [5]. Hieraus ergibt sich die Anforderung an das Konzept, diesen Fahrspaß zu erhalten und unaufdringlich zu agieren um diesen Anforderungen gerecht zu werden. Auch dadurch bedingt ist festzustellen, dass sich die Risikobereitschaft der meisten Motorradfahrer von der Risikobereitschaft von Autofahrern unterscheidet. Daher sollten auch Unterschiede in der Risikobewertung einer Situation durch den Fahrer beachtet werden, um so die Warnungen entsprechend der Risikobereitschaft ausgeben zu können. Ansonsten würde die Schnittstelle von den Fahrern nicht akzeptiert, da die Risikobewertung des Systems nicht mit der Risikobewertung durch den Fahrer übereinstimmt. Zu diesen beiden Faktoren kommt hinzu, dass der Fahrspaß stark die Emotionen des Fahrers beeinflusst. Dies bedeutet noch viel intensivere Emotionen der Fahrer als z.B. die eines Autofahrers. Diese Emotionen sind für die Schnittstellengestaltung wichtig, da sie die Aufmerksamkeit und die Handlungsbereitschaft lenken und den menschlichen Informationsverarbeitungsprozess beeinflussen [12]. Dies verdeutlicht die Wichtigkeit den Fahrspaß und das Erlebnis Motorradfahren bei der Konzeptgestaltung in den Mittelpunkt zu stellen.

Allgemein bedeutet die Einführung eines Fahrerassistenzsystems für Motorradfahrer eine gravierende Veränderung. Diese Veränderung erfordert ein Umdenken und neu lernen. Assistenz muss nicht Bevormundung und Freiheitsentzug bedeuten. Diese Ängste müssen überwunden werden, um Akzeptanz der Systeme zu erreichen. Aber denkt man an die Entwicklung der Assistenzsysteme für Autofahrer, so sind diese Anfangsprobleme keine Unbekannten. Auch hier hat sich die Akzeptanz gewandelt und heutzutage kann man sich ein Auto ohne Fahrerassistenz kaum noch vorstellen. Daher sollte das Erreichen von Akzeptanz als Herausforderung gesehen werden eine besonders gute MMS zu gestalten.

## **Gestaltung des MMS Konzeptes**

Zu diesem Vorgehen kommt hinzu, dass im Rahmen des SAFERIDER Projektes bereits innovative MMS Elementen entwickelt wurden, die durch visuelle, auditive oder haptische Signale den Fahrer informieren oder warnen können. Nachdem die Aufgabe des Motorradfahrens den Fahrer hauptsächlich visuell beansprucht, wurde für die Informationen und Warnungen des SAFERIDER Systems der haptische Sinneskanal als primäre Kanal zur Information und Warnung gewählt. Entsprechend lag der Entwicklungsschwerpunkt auf den innovativen haptischen MMS Elementen. Aufgrund des verbesserten Informationsprozesses durch die synchrone Nutzung mehrerer Sinneskanäle, wurden auch für den visuellen und den akustischen Kanal entsprechende MMS Elemente entwickelt. In diesem Beitrag sollen nun die bereits entwickelten Elemente kurz vorgestellt werden, um dann das Vorgehen zur Gestaltung eines benutzerfreundlichen MMS Konzeptes für die jeweiligen ARAS und OBIS Nutzungsszenarien beschreiben zu können. Im Folgenden wird daher ein kurzer Überblick über die entwickelten MMS Elemente gegeben, detailliertere Beschreibungen können vorangegangenen Veröffentlichungen z.B. [6] [8] entnommen werden.

## **Guidelines zur Gestaltung der MMS für Motorräder**

Ziel der SAFERIDER Fahrerassistenzsysteme ist es den Motorradfahrer darin zu unterstützen Unfälle und kritische Situationen zu vermeiden bzw. die Folgen eines Unfalles zu minimieren, wenn dieser nicht mehr zu verhindern ist. Diese Unterstützung erfolgt in Situationen, in denen die Aufmerksamkeit und die Informationsverarbeitung des Motorradfahrers nicht ausreichend sind um eine kritische Situation zu beherrschen. Daher soll die SAFERIDER MMS so gestaltet sein, dass sie den Informationsverarbeitungsprozess unterstützt und zu einer schneller Reaktion führt. Durch die Information oder Warnung des Systems soll es dem Fahrer ermöglicht werden sich ein entsprechendes mentales Model der Situation zu bilden und dadurch eine richtige Handlung möglichst schnell auszuführen. Daher ist eine Information oder Warnung so zu gestalten, dass sie den oben beschriebenen Informationsverarbeitungsprozess des Fahrers unterstützt. Hierzu schlägt [16] eine dreistufige Gestaltung vor: Aufmerksamkeit erregen, über die Art der Gefahr informieren und ein Vorschlag der richtigen Reaktion. Dabei ist zu erkennen, dass jeder Schritt ein entsprechendes Gegenstück im menschlichen Informationsverarbeitungsprozess besitzt und so den Fahrer im jeweiligen Schritt unterstützen kann.

Um die Aufmerksamkeit des Fahrers zu erlangen werden im SAFERIDER MMS Konzept verstärkt haptischen Elementen verwendet. Dadurch ist es dem Motorradfahrer möglich seine Wahrnehmung nur auf den haptischen Kanal zu konzentrieren. Die Nutzung von verschiedenen Sinneskanälen ist dennoch sinnvoll, da die synchrone Nutzung mehrerer Sinneskanäle zu einem besseren Ergebnis führt als die Nutzung eines einzelnen. Dies gilt jedoch nur bei homogenen Gesamtwahrnehmungen.

Nachteile können sich ergeben, wenn widersprüchliche Informationen über unterschiedliche Sinneskanäle wahrgenommen werden.

Bei der Gestaltung der Stimuli ist allerdings darauf zu achten, dass diese eindeutig und identifizierbar sind, da ansonsten ein erhöhter kognitiver Aufwand zur Interpretation benötigt wird. Bei dem Einsatz von haptischen Stimuli auf Motorrädern ist dies besonders zu beachten, da hier eine größere Anzahl an haptischen Reizen, sowohl kinästhetische wie auch taktile Reize, auf den Fahrer einwirken und dadurch die Wahrnehmung des Fahrers beeinflusst. Beispielsweise die haptischen Einflüsse des Motorrades auf den Fahrer oder Umwelteinflüsse wie z.B. der Wind. Das haptische Feedback des Systems muss also so gestaltet sein, dass es sich für den Fahrer eindeutig von anderen haptischen Einflüssen unterscheiden lässt. Als Stellhebel hierzu dienen hauptsächlich die Stärke des Feedbacks und die Frequenz. Zusätzlich muss das Feedback so positioniert sein, dass der Fahrer in den gängigen Fahrpositionen in Kontakt mit dieser Position ist. Die einfachsten Lösungen hierfür sind die Positionierung am Fahrer selbst, d.h. eine Integration in der persönlichen Schutzausrüstung, oder am Lenker des Motorrades. Von einer Positionierung an den Fußrasten ist abzuraten, da hier eine zu starke Vibration von Seiten des Motorrades einwirkt.

Ist die Wahrnehmung und damit die Aufmerksamkeit des Fahrers gewährleistet, kann auch die Information über die vorliegende Gefahr übermittelt werden. Diese Information sollte eindeutig und einfach zu verstehen sein, um so den kognitiven Aufwand minimal zu halten. Gerade in einer kritischen Situation, wie sie durch die ARAS und OBIS beschrieben wird, ist die kognitive Belastung des Fahrers schon hoch und eine zusätzliche Belastung oder Verwirrung wäre nur hinderlich. Nach [16] kann eine Information über eine vorliegende Gefahr durch folgende vier Aspekte beschrieben werden: Benutzung eines Signalwortes wie „Gefahr“ oder „Warnung“, Beschreibung der Gefahr, Konsequenzen und Vorschlag einer richtigen Reaktion. Für das Design der SAFERIDER MMS werden die möglichen Gefahren in durch die ARAS und OBIS Szenarien definiert. Die Information über diese Gefahr ist unterteilt in drei Einheiten: die akustische Information, die visuelle Information und die haptische Information. Das akustische Feedback dient dabei einerseits als Unterstützung der Information über die Dringlichkeit und andererseits zur Unterstützung über die Information der Gefahrenquelle, d.h. Straße (ARAS) oder Display (OBIS). Hierzu wurde für jede Gefahrenquelle ein Warnton entwickelt und in zwei Dringlichkeitsstufen(vorwarnend/akut) implementiert.

Das visuelle Feedback dient ebenfalls als Unterstützung der Information der Dringlichkeit und zur näheren Information bei OBIS Hinweisen. Visuelle Elemente werden auch eingesetzt um den Blick des Fahrers entsprechend zu lenken, z.B. im Seitenspiegel. Primär wird allerdings zur Warnung über die Gefahr haptisches Feedback genutzt. Durch den Einsatz von unterschiedlichen Elementen kann je nach Gefahr eine andere Warnung gegeben werden. Durch die Auswahl eines Elementes, das inhalt-

lich einen Zusammenhang mit der vorliegenden Gefahr aufweist, kann dem Fahrer die Information über eben diese eine Gefahrensituation gegeben werden. Beispielsweise Force Feedback im Handgriff bei zu hoher Geschwindigkeit. Durch eine unterschiedliche haptische Charakteristik kann außerdem die Dringlichkeit kodiert werden.

Nachdem die Aufmerksamkeit des Fahrers erlangt wurde und die Warnung über die vorliegende Gefahr informiert hat, steht am Ende eine Handlungsempfehlung zur richtigen Reaktion auf diese Situation. Dadurch wird dem Fahrer die Entscheidung erleichtert und eine schnellere Reaktion ermöglicht. Um den kognitiven Aufwand möglichst gering zu halten sollte dabei die Handlungsempfehlung möglichst so gegeben werden, dass eine direkte Reaktion des Fahrers erfolgen kann. Daher ist eine Handlungsempfehlung an der Stelle der richtigen Reaktion zu bevorzugen. So wird dem Fahrer die Orientierung erleichtert und es ist kein Umdenken zwischen den Funktionsweisen des warnenden Elementes und des ausführenden Elementes notwendig.

Da sich kritische Warnungen im Sekundenbereich abspielen müssen all die Beschriebenen Funktionen einer Warnung so kompakt wie möglich gehalten werden. Das Optimum stellt daher ein Feedback dar, dass fähig ist diese Dreistufigkeit abzubilden. Im Gegensatz zu rein akustischen und visuellen Warnungen kann durch die Anwendung von haptischen Elementen die Handlungsempfehlung viel deutlicher umgesetzt werden. Ein Beispiel hierfür ist das haptische Lenkrad, das bei vielen Automobilherstellern als Spurverlassenswarnung eingesetzt wird. Motorradfahrer könnten ein solch eingreifendes System dahingehend ablehnen, dass es den Fahrspaß durch eine Begrenzung zerstört und die Freiheit der eigenen Entscheidung nimmt. Zusätzlich spielt bei der Aufgabe des Motorradfahrens die Stabilität eine viel kritischere Rolle als im Automobil. Es ist darauf zu achten, dass haptische Warnungen die Fahrer-Fahrzeug Stabilität nicht negativ beeinflussen.

Somit ist festzustellen, dass durch die Gestaltung der Warnungen und Informationen nach dem Modell von [16] die Anforderung der Unterstützung des menschlichen Informationsverarbeitungsprozess umgesetzt werden kann. Die Warnungen und Hinweise des SAFERIDER MMS Konzept soll also so gestaltet sein, dass sie möglichst zu einer intuitiven und richtigen Reaktion des Fahrers auf die Warnung führen. Diese Anforderung hat allerdings eine sehr eingreifende und offensive MMS zur Folge, da hier die Effektivität der Warnung im Fokus steht. Da durch die Analyse der Nutzerbedürfnisse die Anforderung eines eher zurückhaltenden Konzeptes festgestellt wurde, wird ein derartiges Konzept wahrscheinlich eher schwer von den Nutzern akzeptiert werden. Nachdem jedoch noch nicht feststeht, dass die definierten Anforderungen auch mit den Anforderungen der Motorradfahrer an ein solches Konzept übereinstimmt, ist es sinnvoll ein solches Konzept zu Gestalten und dahingehen zu evaluieren. Um der Anforderung der Akzeptanz gerecht zu werden ist die Gestaltung eines Konzeptes mit diesem Schwerpunkt ebenfalls sinnvoll. Die Gestaltung der MMS erfolgt hier also nicht nach der

Definition von [16], sondern allein auf Grund der analysierten Benutzerbedürfnisse. Durch die Evaluation dieser beider Konzepte kann dann festgestellt werden, in welcher Relation das Bedürfnis des ungestörten Fahrspaßes zu der Effektivität des Feedbacks bei Warnungen steht. Folglich auch in wie weit die definierten Anforderungen mit den Bedürfnissen der Motorradfahrer übereinstimmen.

## Visuelle MMS

Zentrales Element zur visuellen Information und Warnung des Fahrers ist ein ins Armaturenbrett integriertes Touchdisplay.



Abbildung 2: Screen des Touchdisplays mit ARAS Icons (oben) und OBIS Informationen.

Auf dem Hauptscreen des Displays hat jede ARAS und OBIS Funktion eine fixe Position. Im oberen Drittel befinden sich die ARAS Icons, der restliche Teil wird durch die OBIS ausgefüllt. Dadurch wird die Orientierung vereinfacht und beschleunigt. Durch die Positionierung der ARAS Funktionen näher am Sichtfeld wird deren höhere Dringlichkeit Rechnung getragen. Außerdem wird durch eine unterschiedliche Färbung und Animation der Icons die Erkennbarkeit der unterschiedlichen Dringlichkeitsstufen verbessert. Inaktive ARAS werden durch eine graue und aktive ARAS durch eine blaue Einfärbung gekennzeichnet. Bei einer drohenden Gefahr wechselt das Icon zu einer orangenen Färbung und bei unmittelbar bevorstehender Gefahr zu einer Roten. Bei Gefahren blinkt das ARAS Icon entsprechend in orange oder rot. Zusätzlich werden alle ablenkenden Informationen durch einen halbtransparenten schwarzen Überzug verborgen. Diese Maßnahmen dienen einer Reduzierung des visuellen Aufwands in der Informationsverarbeitung des Fahrers.

Neben dem Touchdisplay werden noch zwei weitere visuelle Elemente zur Information und Warnung des Fahrers eingesetzt.

Ein im Helm implementiertes Head-Up Display bietet die Möglichkeit eines visuellen Feedbacks im Sichtfeld des Fahrers. In diesem Display kann die Geschwindigkeit und der aktuelle Gang angezeigt und der Fahrer durch einen roten Balken im oberen Bereich des Visiers gewarnt oder informiert werden.



Abbildung 3: HUD (links) und LEDs im Spiegel (rechts).

Als drittes visuelles HMI Element wurden LEDs im Gehäuse der Rückspiegel des Motorrads angebracht. Diese dienen, entsprechend der Entwicklung im automobilen Bereich, zur Spurwechselwarnung.

### **Akustische MMS**

Der akustische Kanal wird verwendet, um die Informationswahrnehmung des Fahrers zu erhöhen. Dazu werden die akustischen Signale über zwei im Helm integrierte Lautsprecher binaural übertragen.

Die akustischen Signale wurden am Fraunhofer IAO im Rahmen des SAFERIDER Projektes entwickelt und getestet. Zur Unterstützung der Erkennung des Ursprungs der Information oder Warnung wurde ein Signal entwickelt um die Aufmerksamkeit auf die Straße und ein Signal um die Aufmerksamkeit auf das Display zu lenken. Für beide Warntöne wurde je ein Design für eine drohende und ein Design für akute Gefahr entwickelt.

### **Haptische MMS**

Durch den schwerpunktmäßigen Einsatz von haptischen MMS Elementen wird es dem Fahrer ermöglicht die visuelle Aufmerksamkeit während der Warnung auf die Straße zu richten. Für den Einsatz von haptischen MMS Elementen eignen sich prinzipiell alle Kontaktstellen des Fahrers zum Motorrad sowie alle Stellen enganliegender persönlicher Schutzkleidung. Die Kunst besteht darin, die richtigen Stellen auszuwählen, an denen Wahrnehmung, Komfort und Interpretierbarkeit von haptischen Rückmeldungen sichergestellt werden können und ein Einbau aus technischer Sicht sinnvoll

ist. Im Rahmen des SAFERIDER Projektes wurden haptische Warnelemente entwickelt die den Fahrer mittels Druck, Krafrückmeldung oder Vibration informieren und warnen. Diese Elemente sind entweder direkt am Motorrad verbaut oder in der persönlichen Schutzausrüstung des Motorradfahrers integriert. So wurde beispielsweise eine variabel anpassbare Krafrückmeldung durch die Universität Padua im Gasgriff implementiert, sogenanntes Force-Feedback. Mitarbeiter der Universität Florenz haben einen massageartigen Druck für den Einbau in die Handgriffe entwickelt.



Abbildung 4: Force Feedback Gasgriff (links) und haptischer Gasgriff (rechts).

Über vier Vibrationsmotoren gibt der Haptische Handschuh Rückmeldung an den Fahrer. Diese befinden sich oben, unten, rechts und links am Handgelenk in einem handelsüblichen Motorradhandschuh und können in jeder Kombination (1-4 Motoren) angesteuert werden.



Abbildung 5: Haptischer Handschuh.

## Entwicklung des Gesamtkonzeptes

Ziel ist es nun diese bestehenden MMS Elemente anhand der definierten Anforderungen zu einem Gesamtkonzept zusammenzufügen. In diesem Konzept gilt es für jedes ARAS und OBIS Nutzungsszenario eine nach diesen Anforderungen gestaltete Warnung oder Information zu gestalten. Um dies umzusetzen ist es notwendig aus den bestehenden Anforderungen Gestaltungsrichtlinien abzuleiten.

Es ergeben sich also für jedes ARAS Nutzungsszenario jeweils zwei unterschiedliche Warnkonzepte, gestaltet anhand der definierten Anforderungen und Bedürfnisse. Durch die Ähnlichkeit der Informa-

tion, Dringlichkeit und Reaktion ist es sinnvoll für die OBIS für alle 4 Nutzungsszenarien das gleiche MMS Konzept zu gestalten. So kann die Komplexität des Konzeptes gering gehalten werden. Auch hier werden die zwei Konzepte eingesetzt, eines mit Fokus auf die Effektivität und eines mit Fokus auf die Akzeptanz. Daraus ergibt sich also einerseits ein Konzept mit 5 ARAS und einer OBIS Warnung, dass die Akzeptanz der Nutzer zum Ziel hat. Andererseits ergibt sich ein Konzept mit 5 ARAS und einer OBIS Warnung, dass die Effektivität fokussiert. Die folgende Tabelle zeigt zwei Beispiele für die Zuordnung der haptischen Elemente zu den ARAS Nutzungsszenarien. Die gesamten Konzepte können [7] entnommen werden.

	Akzeptanz Konzept		Effektivität Konzept	
	<i>vorwarnend</i>	<i>akut</i>	<i>vorwarnend</i>	<i>akut</i>
<b>Geschwindigkeitswarnung</b>	keine	keine	Force Feedback Gasgriff niedrig	Force Feedback Gasgriff hoch
Grund	Geschwindigkeitswarnung wird eher als Hinweis gesehen und ist weniger dringlich.		Die zusätzliche Kraft suggeriert dem Fahrer weniger Gas zu geben und dementsprechend richtig auf die Warnung zu reagieren.	
<b>Kurvenwarnung</b>	Force Feedback Gasgriff niedrig	Force Feedback Gasgriff hoch	Haptischer Handschuh niedrig	Haptischer Handschuh hoch
Grund	Die zusätzliche Kraft suggeriert dem Fahrer weniger Gas zu geben und dementsprechend richtig auf die Warnung zu reagieren.		Der haptische Handschuh ermöglicht die Kodierung von Rechts- und Linkskurven. Zusätzlich kann durch eine Unten-Oben Vibration dem Fahrer suggeriert werden den Gasgriff loszulassen und dadurch die Geschwindigkeit zu reduzieren.	

Hier wird der Vorteil eines iterativen Vorgehens deutlich. Durch das Testen der Annahmen kann eine Korrektur und eine Verfeinerung erfolgen und dahingehend das entwickelte Konzept angepasst werden.

## Evaluation der Konzepte

In einem ersten Vorversuch wurde die Wahrnehmbarkeit der haptischen MMS Elemente auf einer Teststrecke und ohne hinterlegtes Assistenzsystem untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass besonders die Wahrnehmbarkeit der haptischen Rückmeldung nicht immer einfach zu gewährleisten ist. Allerdings konnte auch festgestellt werden, dass eine Vibration, die im Stand als etwas stark und unangenehm empfunden wurde, auf dem Motorrad als schwächer und angenehmer wahrgenommen wird. Daher sollte haptisches Feedback immer unter Realbedingungen auf Wahrnehmbarkeit überprüft werden.



Ein Test unter Realbedingungen mit implementierten ARAS und OBIS war auf Grund des frühen Entwicklungsstadiums und der noch nicht abgeschlossenen Implementierung nicht möglich. Eine erste Evaluation wurde deswegen mittels Fragebogen realisiert. Bei der am Computer durchgeführten Version des Fragebogens wurde das Nutzungsszenario, das jeweilige HMI Element und das Warnkonzept genau beschrieben, konnte jedoch nicht erlebt werden, was bei haptischen Warnungen einen Nachteil darstellte. Für einen Fragebogen sprach allerdings das aus [DIN NORM] abgeleitete Ziel mehr über die Wünsche und Bedürfnisse von Motorradfahren im Bezug auf Fahrerassistenzsysteme zu erfahren. Durch diese Methode besteht zudem die Möglichkeit eine große Anzahl an Nutzern zu befragen. Durch eine anonymisierte Datenerhebung kann dabei die Tendenz sozial erwünscht zu antworten reduziert werden. Dem Risiko des Missbrauchs wurde durch den passwortgeschützten Zugang und durch die Notwendigkeit alle Fragen des 8 Seiten langen Fragebogens zu beantworten entgegengewirkt. Dabei wurden insgesamt 46 Personen befragt. Die Teilnehmer wiesen eine hohe Fahrpraxis und eine Durchmischung der Motorradtypen auf. Dies deutet darauf hin, dass es sich bei den Teilnehmern um eine repräsentative Gruppe gehandelt hat.

Zur Abfrage der Grundeinstellung gegenüber Fahrerassistenzsystemen generell wurde die bewährte Usability Acceptance Scale nach [15] verwendet. Hier ergab sich für 31 der 46 Befragten für die Variablen „Usefulness“ und „Satisfying“ ein positiver Wert. Da diese Teilnehmer Assistenzsystemen gegenüber grundsätzlich positiv eingestellt sind (während die anderen mutmaßlich jegliche Art von Assistenz ablehnen würden) werden im Weiteren nur die Ergebnisse dieser Teilnehmer betrachtet. Die einzelnen Komponenten des Konzeptes wurden den Befragten an entsprechender Stelle durch eine Beschreibung und Abbildung detailliert erklärt. Dadurch sollte es den Teilnehmern ermöglicht werden sich ein möglichst genaues Bild der Situation oder Funktion zu machen. Basierend auf diesen Beschreibungen würde jeder Teilnehmer mindestens eines der SAFERIDER ARAS und OBIS Warnungen aktivieren, wenn das System bereits auf dem Motorrad installiert wäre. Jedes der haptischen Elemente würde im Durchschnitt von etwa 36% der Befragten aktiviert werden. Favorisiert wurde hier der haptische Handgriff gefolgt vom Force Feedback Gasgriff.

Zur Evaluation der beiden MMS Konzepte (Akzeptanz vs. Effektivität) wurde jedem der Befragten die Möglichkeit gegeben für jedes ARAS Szenario entweder das Element des Akzeptanzkonzeptes oder das des Effektivitätskonzeptes auszuwählen. Hierzu wurden die Elemente textuell und bildlich beschrieben und es war jeweils eine Abbildung des Elementes der jeweiligen Antwortmöglichkeit zugeordnet. Die Anordnung der Antwortmöglichkeiten erfolgte dabei randomisiert. Außer bei der Kurvengeschwindigkeitswarnung ergaben sich hier klare Tendenzen für jeweils nur ein Konzept. Dabei wurden die Elemente des Akzeptanzkonzeptes in 4 von 5 Fällen bevorzugt. Auffällig hierbei ist, dass in allen Fällen, in denen eine eindeutige Tendenz besteht, das Element gewählt wurde, dass in der

persönlichen Schutzkleidung des Fahrers positioniert ist und nicht am Motorrad. Ein Grund dafür ergibt sich durch die Betrachtung einiger mehrmals genannter Begründungen für diese Auswahl:

- Die Befragten haben Vorbehalte gegenüber einem Eingriff in die Kontrolle des Motorrades, hier werden der Stabilitätsverlust und die Wirkung von Umwelteinflüssen wie Fahrbahnzustand und Wetter angeführt.
- Viele Teilnehmer sehen einen Unterschied zwischen Warnung und Information und würden haptisches Feedback nur für Warnungen bevorzugen.
- Warnungen, die die richtige Reaktion vorschlagen werden von den Teilnehmern bevorzugt
- Eine weitere Begründung ist die mögliche Ablenkung des Fahrers durch das Feedback des Systems.

Die Frage, ob ein Fahrerassistenzsystem mit den selbst ausgewählten Elementen eingeschaltet würde, beantworteten 84% positiv. Dies deutet darauf hin, dass Fahrerassistenzsysteme bei entsprechender Gestaltung von einem großen Prozentsatz von Motorradfahrern akzeptiert werden. Für das SAFERIDER System bedeutet dies, dass die durch die Evaluation gewonnen Ergebnisse im Weiteren dazu genutzt werden um die Schnittstelle zu optimieren. Diese Anpassung gilt es dann in weitere Tests, auch unter Realbedingungen, erneut zu testen.

## **Schlussfolgerung**

Für die Akzeptanz einer MMS für Fahrerassistenzsysteme für Motorradfahrer ist die benutzergerechte Gestaltung dieser Schnittstelle essenziell. Für die Einbindung des Nutzers in den Entwicklungsprozess hat sich das Vorgehen nach [9] bewährt. Für die ersten Entwicklungsschritte ergibt sich durch dieses Vorgehen die Möglichkeit auf Basis von Forschungsergebnissen den Nutzungskontext und die Anforderungen zu definieren und diese Annahmen zu überprüfen. Durch ein iteratives Vorgehen mit mehreren Loops durch diesen Prozess kann so die Schnittstelle kontinuierlich optimiert werden. Dabei stehen die Bedürfnisse der Nutzer im Mittelpunkt, allerdings ergibt sich dadurch auch die Möglichkeit der technischen Weiterentwicklung. Diese Option der stetigen Verbesserung erlaubt auch den frühen Einsatz dieser Methode.

Auch im Laufe der ersten Entwicklung dieses ersten SAFERIDER Konzeptes hat sich das Vorgehen bewährt. So konnten hier in einem ersten Schritt die Anforderungen und Bedürfnisse der Motorradfahrer genauer betrachtet werden. Der frühe Einsatz bedingte, dass die technische Seite und das detaillierte Design der Schnittstelle eher in den Hintergrund gestellt wurden. Durch den Fokus auf die Interessen der Motorradfahrer hat sich allerdings die Definition der Anforderungen und Bedürfnisse verfeinert. Diese Resultate können in die weitere Entwicklung einfließen und dienen dazu das Konzept

entsprechend dieser Erkenntnisse auszurichten. So deutet beispielsweise die Zustimmung von 84% der Befragten Motorradfahrer zur Nutzung eines Fahrerassistenzsystems auf die Offenheit der Motorradfahrer gegenüber solchen Systemen hin. Über alle Fragen hinweg wurde oft die Erhöhte Sicherheit durch die Nutzung eines solchen Systems erwähnt. Daher scheint Motorradfahrern, oder mindestens die Motorradfahrer die Teilnehmer dieser Befragung waren, der Notwendigkeit die Sicherheit zu verbessern durchaus bewusst zu sein.

Der Aspekt der Stabilität und das Bedürfnis der Fahrer das Fahrverhalten ihres Motorrades durch haptische Rückmeldung zu beurteilen sollte jedoch noch deutlicher in den Anforderungen aufgeführt werden. Die Evaluation des SAFERIDER Konzeptes deutet weiter darauf hin, dass die getroffenen Annahmen zur Gestaltung einer MMS für ARAS und OBIS in die richtige Richtung gehen. Außerdem wird ein Großteil der definierten Nutzungsszenarien, also der ARAS und OBIS, von den Befragten als sinnvoll erachtet. Darüber hinaus hat die Evaluation aber auch gezeigt, dass der erste Loop für ein solch komplexes Thema als Ausgangspunkt für weitere Schritte zu sehen ist. Es hat sich gezeigt, dass die Gruppe der Motorradfahrer und die Aufgabe des Motorradfahrens andere Anforderungen und Bedürfnisse bezüglich eines Fahrerassistenzsystems haben als anderer Nutzer solcher Systeme. Dies ist vor allem bei der Ableitung von Ansätzen aus anderen Bereichen, z.B. dem Auto, zu bedenken. Das eine Ableitung der Ansätze aus diesem Bereich möglich ist, wird durch eine sehr positive Rückmeldung auf die LEDs in den Rückspiegeln deutlich. Das bedeutet hier ist die Aufgabe abzugrenzen, was sinnvoll zu Übernehmen ist und was entsprechend der anderen Anforderungen angepasst werden muss. Hier können Ideen wie das Force Feedback Gaspedal als Anregung zur Ableitung eines entsprechenden Konzeptes für Motorräder eingesetzt werden. Dabei ist allerdings zu beachten, dass die Vorbehalte zur Nutzung auf dem Motorrad eher größer sind als die Vorbehalte der Autofahrer gegenüber solchen Warnkonzepten.

Beachtet man bei der Gestaltung der MMS die Anforderungen und Bedürfnisse der Motorradfahrer, so scheint eine Umsetzung und Akzeptanz realistisch. Unter dem Aspekt der erhöhten Gefährdung der Nutzergruppe sollte die Forschung und Entwicklung auf diesem Gebiet intensiviert werden.

## Literaturangaben

- [1] Abendroth, B.; Bruder, R.: Die Leistungsfähigkeit des Menschen für die Fahrzeugführung. In: Handbuch Fahrerassistenzsysteme / Ed. H.Winner et al. Vieweg+Teubner, Wiesbaden, p. 4-14, 2009.
- [2] ADAC: Bitte umdenken!- Initiative »Motorradsicherheit«. URL: [http://www1.adac.de/Auto\\_Motorrad/motorrad/sicherheit/bitte\\_umdanken/default.asp?quer=auto\\_motorrad&ComponentID=177793&SourcePageID=9942#atcm:8-177795](http://www1.adac.de/Auto_Motorrad/motorrad/sicherheit/bitte_umdanken/default.asp?quer=auto_motorrad&ComponentID=177793&SourcePageID=9942#atcm:8-177795) [Juli, 2010]
- [3] Bullinger, H.-J., Kern, P. & Braun, M.: Controls. In G. Salvendy (Ed.), Handbook of human factors and ergonomics (2nd ed., pp.697- 728). New York: John Wiley, 1997.
- [4] CARE European Road Accident Database: Database – reports and graphics. URL: [http://ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/statistics/care\\_reports\\_graphics/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/care_reports_graphics/index_en.htm) [April, 2010]
- [5] DEKRA : Verkehrssicherheitsreport Motorrad 2010- Strategien zur Unfallvermeidung auf den Straßen Europas.URL: <http://www.dekra.de/de/verkehrssicherheitsreport-2010> [Juli, 2010]
- [6] Diederichs, J. P. F; Fontana, M.; Bencini, G.; Nikolaou, S.; Montanari, R.; Spadoni, A.; Widlroither, H.; Baldanzini, N.: New HMI Concept for Motorcycles – the Saferider Approach. HCI International Congress Proceedings, San Diego, 2009.
- [7] Diederichs, J. P.F., Ganzhorn, M., Widlroither, H., Bekiaris, E., Nikolaou, S., Montanari, R., Spadoni, A., Fontana, M., Bencini, G., Baldanzini, N., Granelli, S.: SAFERIDER HMI Strategies for Motorcycles’ ARAS and OBIS. The 17th ITS World Congress, Busan, 2010. In Press.
- [8] Diederichs, J. P.F., Widlroither, H., Fontana, M., Bencini, G., Baldanzini, N., Granelli, S., Nikolaou, S., Montanari, R: HMI Elemente und Konzept für Motorrad Assistenzsysteme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme, Berlin, 2009.
- [9] DIN EN ISO 13407 „Benutzer-orientierte Gestaltung interaktiver Systeme“, 2000.
- [10] DIN EN ISO 9241-11: „Anforderungen an die Gebrauchstauglichkeit“,1998.
- [11] Jungermann, H.; Pfister, H.-R.; Fischer, K: Die Psychologie der Entscheidung: Eine Einführung. Spektrum-Akademischer Vlg, München, 2005.
- [12] Oltersdorf, K.M.: „HMI Nutzeraspekte Mensch – Maschine – Interaktion“. Skript zur Lehrveranstaltung. ITD, HBK Braunschweig, 2007.
- [13] Parasuraman, R.; Sheridan, T.; Wickens, C.D.: A Model for Types and Levels of Human Interaction with Automation. IEEE TRANSACTIONS ON SYSTEMS, MAN, AND CYBERNETICS – Part A: Systems and humans, Vol. 30, No. 3, 2000.

- [14] SAFERIDER 2008-2010. URL: <http://www.saferider-eu.org> [Juli, 2010]
- [15] Van der Laan, J., Heino, A., De Waard, D.: A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. In: Transportation Research, Vol. 5, No. 1, p. 1-10, 1997.
- [16] Wickens, C. D.; Gordon, S. E.; Liu, Y.: An introduction to human factors engineering. Addison Wesley Longman, New York, 1998.

**US Single Motorcycle Crashes:  
An Investigation of Roadway and Roadside Hazards**

**Alleinunfälle in den USA: Eine Untersuchung der Risiken des  
Straßenbaus und seines Umfelds**

Randa Radwan Samaha and Paul Scullion  
The George Washington University National Crash Analysis Center, Ashburn, VA

## Introduction

Over the last decade, motorcycle casualties have become a substantial segment of the United State (US) traffic safety problem mainly due to the increase of motorcycles on United State roads. In 2008, 5290 motorcyclists died in US traffic crashes, over 14% of all crash fatalities (NHTSA 2009). Of those, 2447 died in a single vehicle crash, where the motorcycle was the only moving vehicle involved. In single motorcycle crashes, roadway departures have been increasing over the last decade and are disproportionately deadly (Samaha, et al. 2007).

Numerous studies have examined the different aspects of motorcycle safety in the US in recent years, including the increase in motorcycle sales/registrations, the change in rider demographics, helmet effectiveness and the impact of repealed motorcycle helmet laws, impact of alcohol use and other high-risk behavior on rider abilities, and the effects of licensing and training. However, there has been limited research on the impact of roadway features and roadside hazards on motorcycle crash safety. The focus of such research has been limited mainly to guardrail crashes both in the US and overseas. One concern in the US is that motorcyclist fatalities have recently exceeded passenger car fatalities in guardrails crashes (Gabler 2007). International studies have ranged from real-world crashes studies of safety barriers to modeling simulations and to crash tests to support development of test procedures to evaluate barriers for motorcyclist safety (Berg, et al. 2005; Grzebieta, et al. 2009; Ruiz, et al. 2010). However, there has been limited research on other roadside hazards and the effect of roadway features, especially in the US. Schneider, Savolainen and Moore (2010) examined the effect of horizontal curves and related geometric features on the frequency of single motorcycle crashes along two-lane highway in the US state of Ohio. Another study estimated probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single and multiple vehicle crashes in the state of Indiana and addressed roadway hazards and characteristics among other variables (Savolainen and Mannering 2007). Daniello et al. (2010) developed a road safety-rating system for motorcycles based on normalized crash rates and applied it to roads in the state of New Jersey.

Up-to-date research of US single motorcycle crashes and their corresponding risk factors, specifically of roadway departures, is important to identify roadway and roadside opportunities that would improve single motorcycle crash safety. There is a need for overall problem identification to help direct and focus future research efforts, and a need for more detailed studies to develop and define specific countermeasures. To address that need, this study undertakes a broad examination of roadway and roadside risks for motorcyclists in single vehicle crashes in the US. National crash databases were analyzed to provide observations and insight that are nationally representative of US single motorcycle crashes, and to gain insights into roadway features and roadside objects that contribute to severity of single motorcycle crashes.

## Data sources and methodology

### US National Crash Databases

Single motorcycle crash data from the US Fatality Analysis Reporting System (FARS), 1998-2008, and National Automotive Sampling System General Estimates System (NASS/GES), 1998-2008, were analyzed for this study. Nationally representative descriptive statistical analyses were performed with a focus on injury distributions, incidence, and severity. NASS/GES was used because it is the most suitable database to obtain national estimates for motorcycles involved in crashes of all severities in the US.

Beginning in 2004 FARS data reported the sequence of events in fatal crashes. An analysis of sequence of events in fatal single motorcycle crashes is reported here.

FARS and NASS are the two main US national crash databases. FARS is a census of all fatal crashes and, as such, includes motorcycle fatalities. NASS is a stratified sample of police reported crashes of all severities and is composed of two systems: the Crashworthiness Data System (CDS) and the General Estimate System (GES). National estimates are calculated from NASS data by applying a national weight for each case, a product of inverse probabilities of selection in a three stage sampling process.

NASS/GES data are derived from police reports and include pre-event, person, vehicle, environment data, and limited injury data. GES samples around 55,000 cases per year, including motorcycle crashes, with major property damage, injury, or death from the several million police-reported crashes.

The NASS/CDS data are not used in this study because the 5,000 tow-away crashes that are investigated per year do not include motorcycles. NASS/CDS data include detailed vehicle, crash scene, and occupant data that allow study of injury mechanisms, but focus on the crashworthiness of passenger cars, light trucks, vans, and utility vehicles. Motorcycles are not included in CDS data unless, by coincidence, one is involved in a crash in which the car is towed away and, even then, the motorcycle is not the vehicle of interest.

### Methodology

A single motorcycle crash (SMC) is defined as a crash where the motorcycle was the only moving vehicle involved. *Since the focus was to study roadway and roadside features and hazards, SMCs in which a pedestrian or animal were involved, in any of the sequence of events in the crash, were not considered in the detailed analysis.* The study examined the following SMC attributes:



- Location relative to roadway
- First and most harmful events
- Sequence of events in the crash: first event in crash and event preceding most harmful event
- Relation to junction, light condition, and roadway alignment

A descriptive analysis of injury distributions, injury rates, and alcohol involvement was performed to gain insights for single motorcycle crashes relative to the above roadway and roadside attributes. Crash involvement was used as measure of exposure, i.e. all observations presented are relevant to the situation where a single motorcycle crash occurred. Crash involvement was based on GES. Fatalities were as reported in FARS. Crash involvement, designated as “All Crashes” in this paper, includes crashes of all severity levels: no injury, minor injury, severe/fatal injury and fatalities. Injury severity was based on the KABCO injury scale that is determined by the police. KABCO and is coded in the accident reports and is available in GES, as follows: K– killed, A– incapacitating injury, B– non-incapacitating injury, C– possible injury, O– no apparent injury, or ISU– Injury Severity Unknown (NHTSA 2009). In this study, “minor” injuries are a combination of GES B and C injuries. “Severe/fatal” injuries are a combination of GES A injuries and FARS fatalities.

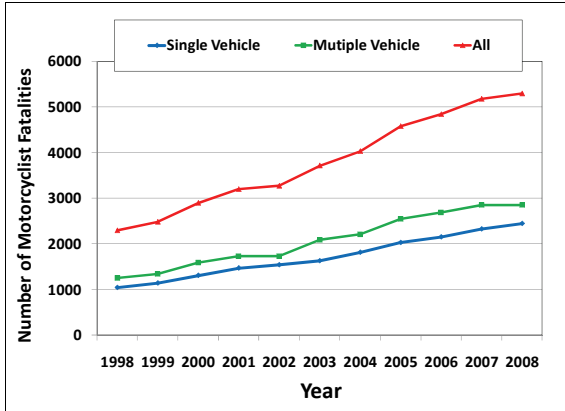


Figure 1. US Motorcycle Fatalities (FARS 1998-2008)

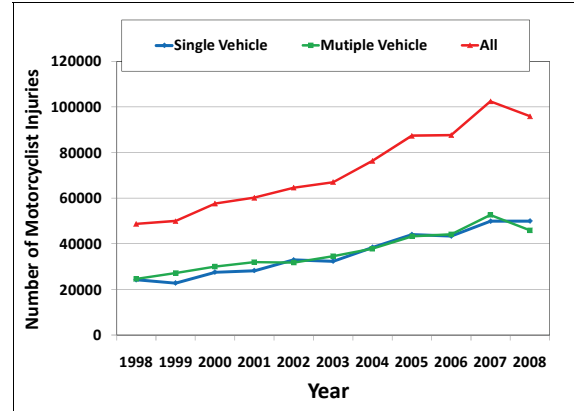


Figure 2. US Motorcycle Injuries (GES 1998-2008)

## Results

In the US, the number of motorcyclists killed in single motorcycle crashes has more than doubled over the last decade (Figure 1). Fatalities in SMCs increased 235% from 1042 in 1998 to 2447 in 2008, a steady increase comparable to the increase in overall motorcycle crashes. SMCs resulted in about 45% of motorcyclists killed and 49% of motorcyclists injured on US roads over the last eleven years (Figures 1 and 2). Crashes in which a pedestrian or animal were involved accounted for a range of 8-15% of all single motorcycle crashes from 1998-1999 but resulted in about 4-5% of SMC motorcyclists fatalities (Figure 3). Since the focus was to study roadway and roadside features and hazards, these crashes were not analyzed in this study.

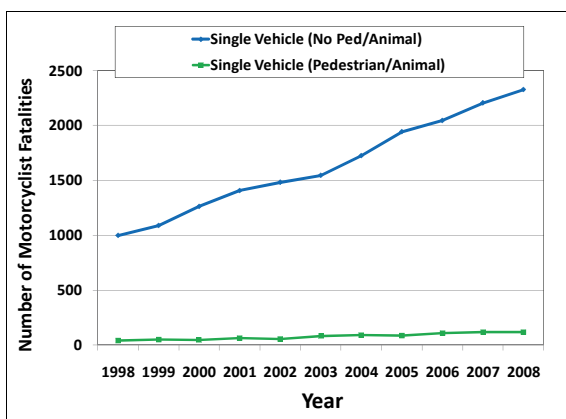


Figure 3. US SMC Fatalities (FARS 1998-2008)

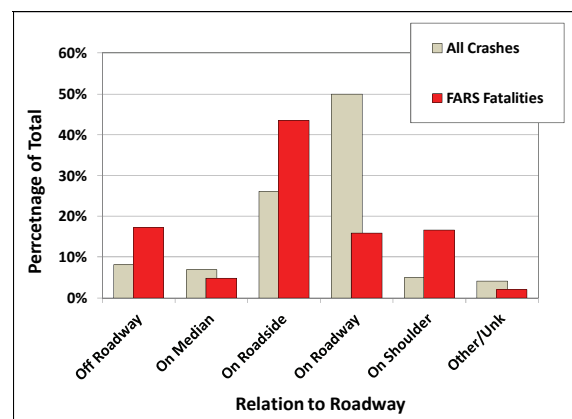


Figure 4. All and Fatal SMCs – Relation to Roadway (GES, FARS 1998-2008)

## Relation to Roadway

FARS and GES data were partitioned into distinct, i.e. non-overlapping, categories in relation to the roadway. Crashes occurring on the median, shoulder and roadside were identified. The “Off Roadway” category included crashes beyond these road segments. Of all the SMC study population, 50% occurred on the roadway but resulted in only 16% of motorcyclists killed (Figure 4). In contrast, 26% of SMCs occurred on the roadside but resulted in 43% of motorcyclists killed.

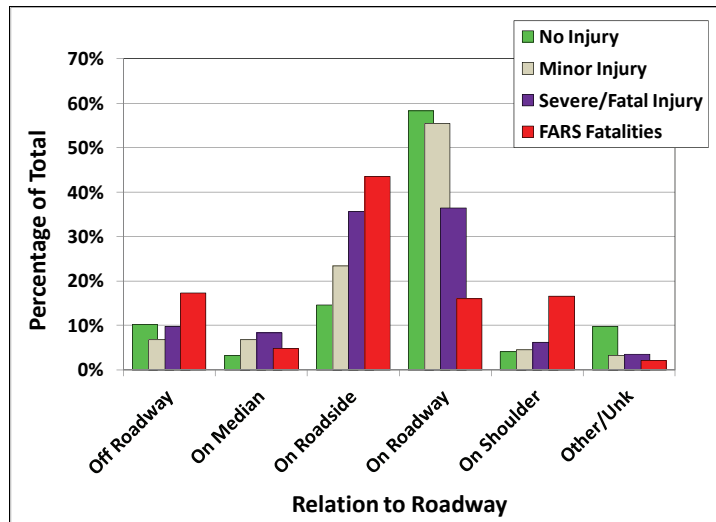


Figure 5. SMC Injury Trend– Relation to Roadway (GES, FARS 1998-2008)

Table 1. Injury Rates per 100 crashes - Relation to Roadway (GES, FARS, 1998-2008)

	No Injury	Minor Injury	Severe/Fatal Injury	FARS Fatalities
<b>Off Roadway</b>	14	49	37	9.5
<b>On Median</b>	5	57	37	3.1
<b>On Roadside</b>	6	52	42	7.4
<b>On Roadway</b>	13	65	22	1.4
<b>On Shoulder</b>	9	52	39	14.9
<b>Other/Unk</b>	27	46	27	2.3

Overall, a clear trend is that crashes occurring on the roadway are less severe and result in more “Minor Injury” and “No Injury” cases as compared to roadside crashes (Figure 5). When considering injury rates, roadside crashes are over five times more likely to result in a motorcyclist killed as compared with roadway crashes (Table 1). Interestingly, crashes occurring on the shoulder are fifteen times more deadly than roadway crashes; shoulder crashes make up only 5% of SMC but result in 17% of motorcyclist killed (Figure 5). Overall, half the motorcyclists involved in SMCs sustain at least minor injuries (Table 1).

## Harmful Events

FARS analysts assign the first and most harmful events in the fatal crash based on the data within the police crash report (NHTSA 2009). The most harmful event applies to the vehicle, i.e. motorcycle in this study, and is the event in the crash judged to have produced the greatest personal injury.

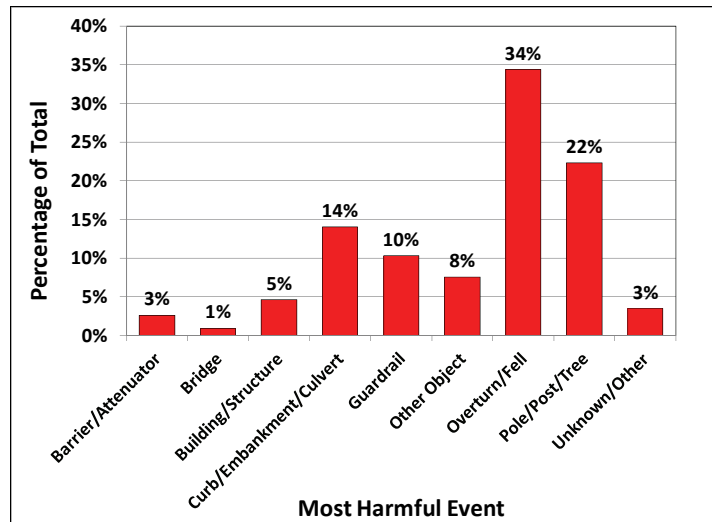


Figure 6. SMC Fatalities by Most Harmful Event (FARS 2004-2008)

Table 2. 2008 SMC Fatalities

	First Harmful Event	Most Harmful Event
Barrier / Attenuator	72	67
Bridge	20	23
Building / Structure	99	105
Curb / Embankment / Culvert	633	315
Guardrail	237	221
Other Object	217	187
Overturn / Fell	656	839
Pole / Post / Tree	337	498
Unknown / Other	54	70
<b>TOTAL</b>	<b>2325</b>	<b>2325</b>

In US SMCs, roadside hazards accounted for half of the fatalities, with poles/posts/trees (22%), curbs/embankment/culverts (14%), and guardrails (10%) predominantly coded as being the most harmful events (Figure 6). However, 34% of fatal SMC were coded as overturn or fell, with no additional information provided. Considering restraint use in 1998-2008 FARS, a larger percentage of riders (50%) were not wearing a helmet in “overturn or fell” fatal crashes, as compared with the unhelmeted riders killed in fatal crashes with poles/posts/trees (41%) and with guardrails (34%). Pavement impact is typically not a severe threat for helmeted riders (Ouellet, 1990).

In 2008, 498 motorcyclists were killed in collisions with poles, posts or trees, 315 were killed in curb, embankment, or culvert related crashes, and 221 motorcyclist were killed in guardrail related crashes (Table 2). In contrast, 839 of the motorcyclists killed in crashes coded as overturn (i.e. laying the motorcycle down on its side) or rider fell.

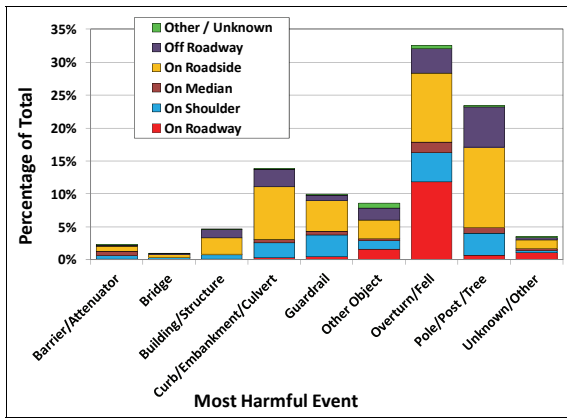


Figure 7. SMC Fatalities – Most Harmful Event & Relation to Roadway (FARS 1998-2008)

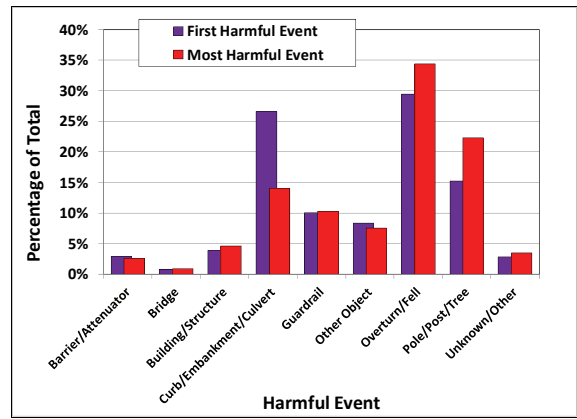


Figure 8. SMC Fatalities – First and Most Harmful Event (FARS 2004-2008)

Fatal pole, tree, curb, embankment, culvert, or guardrail SMCs occur mostly on the roadside, with off-roadway being second most frequent for poles and tree, the shoulder second most frequent for guard-rail fatalities (Figure 7). Two-thirds (66%) of fatal pole and tree crashes occur on the roadside or shoulder. Only 36% of the fatal crashes coded as “motorcycle overturn or rider fell” were reported as occurring on the roadway. A look at the distribution of the first harmful event in fatal SMCs as compared with the most harmful event show the prominence of curb group as first harmful event (Figure 8). Curbs, embankments, and culverts account for 27% of all first harmful events in fatal SMCs, 633 of 2447 fatal crashes in 2008 (Table 2).

### Sequence of Events in Fatal Single Motorcycle Crashes

Starting in 2004, FARS recorded a sequence of up to six events for each fatal crash. The first and most harmful events are identified within the sequence.

Table 3. First Event in Fatal SMCs (FARS 2004-2008)

	Overturn /Fell	Unk/Other	Other Object	Barrier /Attenuator	Guardrail	Pole/Post/ Tree	Curb/ Embankment	Run Off Road- to the right	Run Off Road- to the left	Loss of Control
<b>Fatal Crashes</b>	<b>13%</b>	<b>2%</b>	<b>2%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>1%</b>	<b>4%</b>	<b>48%</b>	<b>16%</b>	<b>11%</b>

The sequence of events in fatal SMCs was examined based on FARS 2004-2008 data. A motorcycle running off the road (48% to the right and 16% to left of the roadway) is the most common initial

event (Table 3). Deadly collisions with several roadside hazards follow a roadside departure initial event (Figure 9).

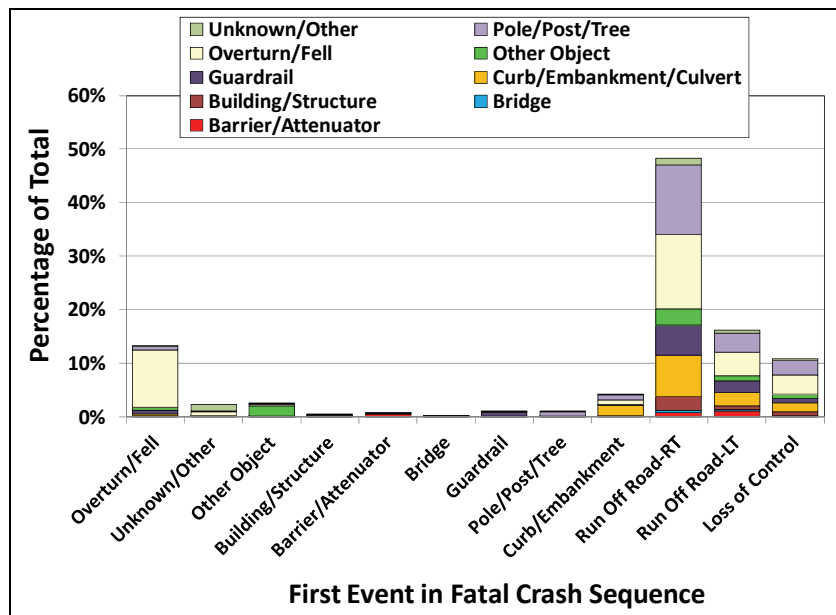


Figure 9. First Event in Fatal Crash Sequence vs. Most Harmful Event (FARS 2004-2008)

An examination of the sequence of events preceding the most harmful event in fatal SMCs was performed to gain insight into the path or trajectory of the motorcycle in these fatal crashes (not shown). For deadly guardrail crashes, the motorcycle initially ran off the road to the left in 40% of the cases, and the motorcycle was coded as overturned or the rider fell as an initial event in 31% of the cases. Running off the road to the right and left (58% and 28% respectively) are prominent as precrash events, i.e. events just preceding a deadly guardrail impact. For deadly pole and tree, running off the road to right is the most prominent initial event at 59% and the most prominent pre-event at 36%; however, collisions with curbs and embankments were noteworthy at 20% as pre-events. For fatal crashes coded as motorcycle overturned or rider fell, it is interesting to note that running off the road to the left was the most prominent first harmful event (42%), followed by impacts into barrier or attenuators (19%). In contrast, running of the road to the right and impacts into curbs and embankments were prominent precrash events at 34% and 20% respectively. For deadly crashes into curbs and embankments, 37% of the initial events were unknown while running off the road to the right and left were the most prominent pre-events at 53% and 26% respectively.

## Selected Roadway Attributes

**Road Surface Condition** – The vast majority of SMCs crashes (90%) occurs on a dry road surface and account for the majority of both minor injuries (91%) and fatalities (95%), Figure 10. This is consistent with all three large on-scene, in-depth studies of motorcycle accidents, which report dry roadway conditions in over 90% of crashes in Los Angeles, Thailand and Europe (Hurt et al., 1981; Kasantikul, 2002; MAIDS, 2009).

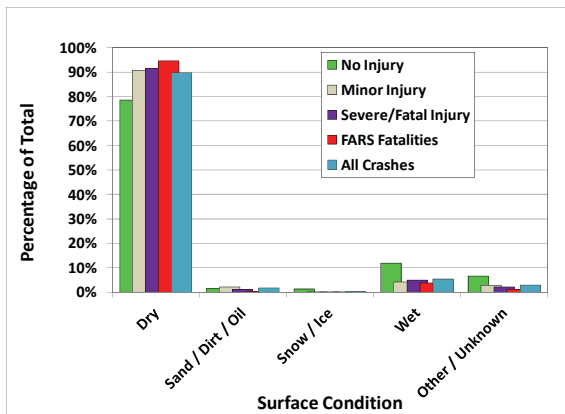


Figure 10. Single Motorcycle Crash Injury Trend – Road Surface Condition (GES, FARS 1998-2008)

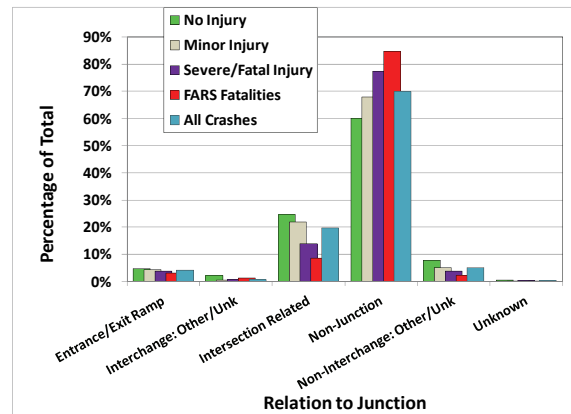


Figure 11. Single Motorcycle Crash Injury Trend – Relation to Junction (GES, FARS 1998-2008)

**Relation to Junction** – Most of SMCs occur away from an intersection (Figure 11). Seventy percent occur at a non-junction and are of increasing severity, resulting in 68% of minor injuries crashes, 77% of severe/fatal injuries, and 85% of all fatalities.

**Light Condition** – Around 70% of all SMCs occur during daylight (69%) and result in 51% of motorcyclist fatalities (Figure 12). While 13% of SMCs occur in the dark, they result in 25% of motorcyclist deaths. SMCs occurring in the dark have higher fatality rates than a crash occurring in daylight, irrespective if the rider was reported drinking or not (Table 4). SMCs that occur in dark but lighted condition have around 20-30% lower fatalities rates than crash occurring in the dark, also irrespective of reported alcohol involvement.

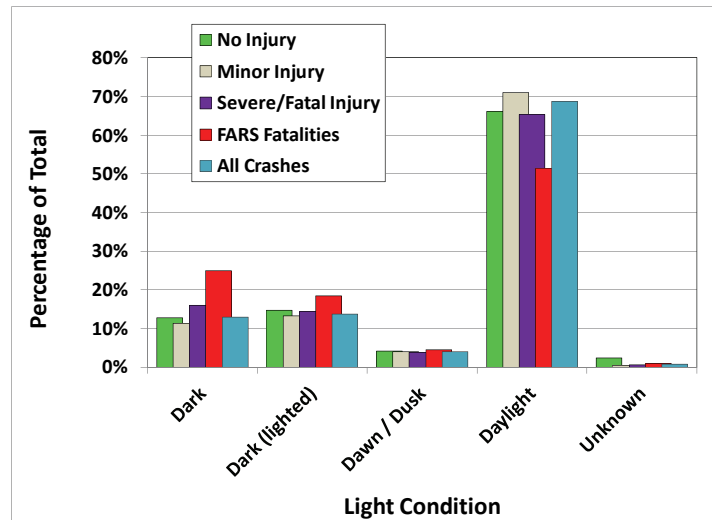


Figure 12. Single Motorcycle Crash Injury Trend– Light Condition (GES, FARS 1998-2008)

Table 4. Fatalities Rates per 100 crashes for Light Condition by Alcohol Involvement FARS( 1998-2008)

	All Riders	Reported Drinking	Not Reported Drinking
Daylight	3.3	13.8	2.6
Dark	8.7	16.6	4.5
Dark (lighted)	5.9	12.8	3.2
Dawn / Dusk	5.0	15.1	3.1
Unknown	5.3	17.9	2.9

Roadway Alignment- SMCs on curved roads are of increasing severity and increasing injury rates in comparison to crashes occurring on straight roads (Figure 13). While 41% of all SMCs occur on curves, they result in 63% of motorcyclists killed. SMCs on curves are two times more likely to be fatal as compared with SMCs on straight roads irrespective of alcohol involvement (Table 5). When considering both the relation to roadway and alignment, the largest segment of motorcyclist fatalities (30%) occurs on the roadside of a curve (Table 6).



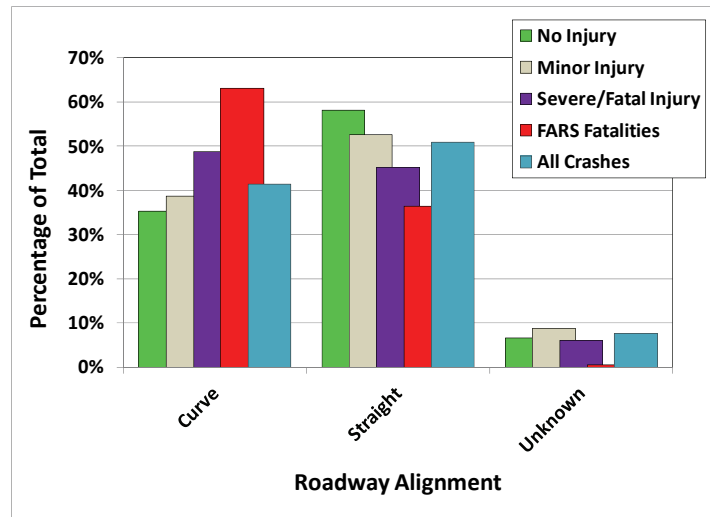


Figure 13. Single Motorcycle Crash Injury Trend– Roadway Alignment (GES, FARS 1998-2008)

Table 5. Fatalities Rates per 100 crashes for Light Condition (FARS 1998-2008)

	All Riders	Not Reported Drinking	Reported Drinking
<b>Straight</b>	3.2	2.2	10.4
<b>Curve</b>	6.8	4.3	19.6

Table 6. SMC Fatalities: Relation to Roadway vs. Roadway Alignment (FARS 1998-2008)

RELATION TO ROADWAY	ROADWAY ALIGNMENT	
	Straight	Curve
<b>Off Roadway</b>	5%	12%
<b>On Median</b>	2%	2%
<b>On Roadside</b>	13%	30%
<b>On Roadway</b>	10%	6%
<b>On Shoulder</b>	5%	11%
<b>Other/Unknown</b>	1%	1%

## Alcohol Involvement in Single Motorcycle Crashes

FARS classifies a motorcyclist as drinking if he/she has a positive blood alcohol concentration (BAC) or if the police indicated alcohol involvement in the accident report. A positive BAC of 0.08 grams per deciliter (g/dL) is termed alcohol-impaired. The reported involvement of alcohol was often missing for the rider in the police accident reports and, as a result, NHTSA imputed alcohol involvement was used in the analysis.

Motorcyclists were reported drinking in 13.6% of the SMCs study population. These alcohol-involved crashes resulted in 44.5% of all motorcyclists killed. The fatality rate per 100 crashes is 14.5 for alcohol-impaired riders vs. 2.9 for riders who were not drinking. Alcohol-impaired motorcyclists are over 5 times more likely to die in SMCs than motorcyclists who have not been drinking.

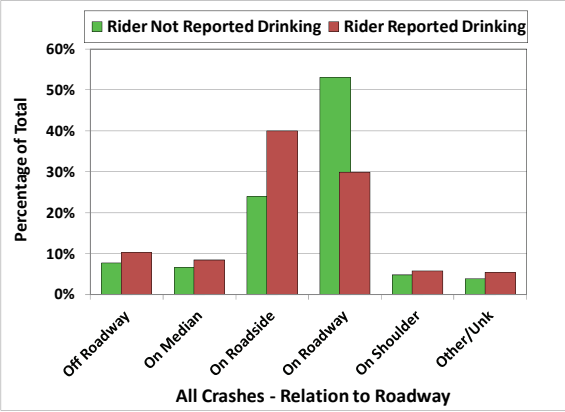


Figure 14. Alcohol Involvement in All Crashes – Relation to Roadway (GES, FARS 1998-2008)

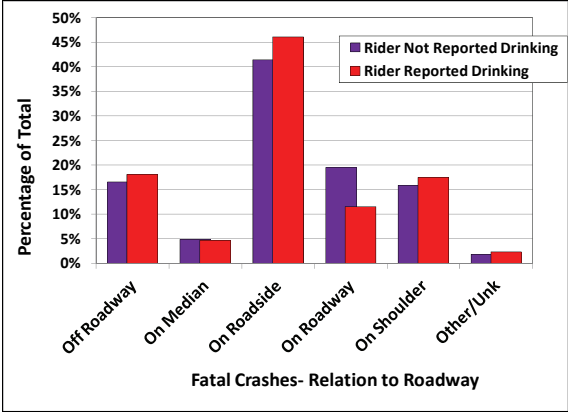


Figure 15. Alcohol Involvement in Fatal Crashes – Relation to Roadway (FARS 1998-2008)

Forty percent of alcohol-involved SMCs occur on the roadside while only 24% of non alcohol-involved crashes occur on the roadside (Figure 14). In contrast, 53% of non alcohol-involved crashes occur on the roadway while 24% of alcohol-involved SMCs occur on the roadway. The higher injury and fatality rates of roadside crashes contribute to the severity of alcohol-involved crashes (Table 7). However, once a fatal crash occurs, the distribution of relation to roadway for both alcohol and non-alcohol involved fatal crashes is more or less similar. Most of the deadly crashes occur on the roadside (41% for alcohol-involved vs. 46% non-alcohol crashes).

Table 7. Fatalities Rates per 100 crashes for Relation to Roadway (FARS 1998-2008)

	All Riders	Reported Drinking	Not Reported Drinking
Off Roadway	9.5	25.7	6.1
On Median	3.1	7.9	2.1
On Roadside	7.4	16.7	5.0
On Roadway	1.4	5.6	1.1
On Shoulder	14.9	43.5	9.5
Other/Unk	2.3	6.1	1.4

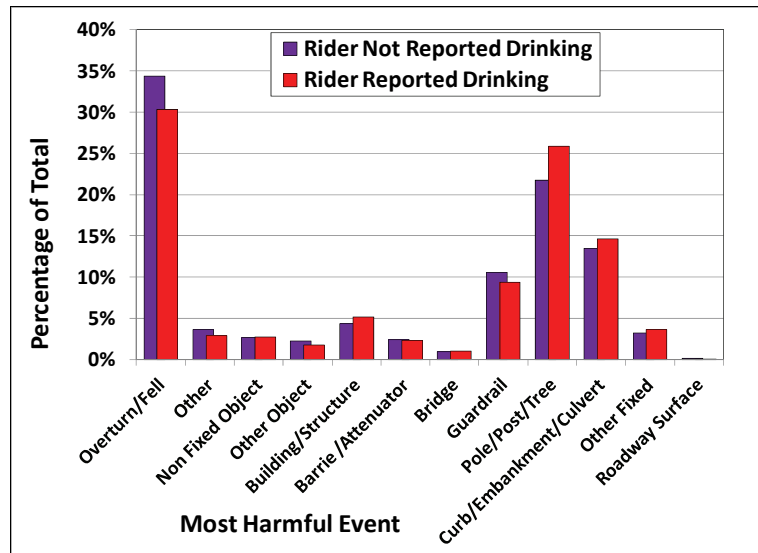


Figure 16. Most Harmful Event– Alcohol Involvement (FARS 1998-2008)

A higher percentage of alcohol-involved SMCs occur on curves than for non-alcohol involved, 50% vs. 40%. However, deadly crashes typically occur on curves for both alcohol-involved (67%) and non alcohol-involved SMCs (60%). Thirty two percent of alcohol-involved SMCs occur in the dark at night as compared with 10% of the non alcohol-involved SMCs. The higher fatality rate of SMCs in the dark (Table 4) also contributes to the severity of alcohol-involved SMCs. Irrespective of alcohol-involvement, the largest segment of motorcyclist fatalities occurs on the roadside at a curve: 33% for of alcohol-involved crashes and 28% of non alcohol-involved crashes. The distribution, shown in Table 6 “SMC Fatalities: Relation to Roadway vs. Roadway Alignment” for crashes of all sobriety levels, is similar for motorcycle fatalities irrespective of reported alcohol involvement. In addition, the distribution of most harmful events in deadly crashes is similar irrespective of reported alcohol involvement (Figure 16).

## Discussion & study limitations

**Roadside hazards** – Single motorcycle crashes occurring on the roadside are two times more likely to result in severe injuries and over five times more likely to result in a motorcyclist killed, as crashes occurring on the roadway. In general, roadway crashes are the least severe when compared to crashes occurring on the roadside, on the shoulder, or off the roadway beyond the shoulder (Table 1). These results are consistent with findings from a study of US crashes from 1992 and 2004 in which roadway departures were 19% of all motorcycle crashes but resulted in 38% of motorcyclists killed (Samaha, et al. 2007). The increase in road departures was a contributing factor to the increased severity and higher fatalities rates of all US motorcycle crashes. Findings from an earlier study of fatal US single

motorcycle crashes, between 1975 and 1999, also showed that the majority occurred off roadway, and that, a collision with any fixed object was a significant factor in over half of single motorcycle fatal crashes (NHTSA 2001). A recent detailed multivariate analysis of crashes in the US state of Indiana from 2003 to 2005 showed crashes where the motorcycle ran off the road, and where the motorcycle collided with a roadside object in Indiana, were much more likely to result in severe injuries (Savolainen and Mannering 2007). As such, countermeasures and/or strategies to discourage road departures should result in crashes with fewer fatalities and higher incidence of minor injuries.

To date, the roadside community's focus and research has been on motorcycle crashes into guardrails, as motorcyclist fatalities have exceeded passenger car fatalities in crashes into guardrails (Gabler 2007). In 2008, motorcycle crashes into guardrails resulted in 221 fatalities, 9.5% of the 2325 motorcyclists killed in SMCs (Table 2). However, motorcycle crashes into poles, post, and trees resulted in 498 (21.4%) of motorcyclists killed, while crashes into curbs, embankments, and culverts resulted in 315 (13.6%) of motorcyclists killed in SMCs. The Indiana motorcycle crash data also showed trees and poles most likely to produce a fatality in roadside crashes. This supports the need for broader motorcycle roadside safety research and study of contributing factors in single motorcycle crashes involving prominent roadside hazards, other than guardrails. All too often, the area within two feet of the curb is where roadway designers typically place trees, poles, fire hydrants, bus benches, letterboxes, etc.

There is a need for research and detailed analysis of the interaction of the motorcycle with curbs and embankments in deadly motorcycle crashes. It is important to understand the role of these roadside hazards in the sequence of deadly single motorcycle crashes. In the SMC population studied, the curb group crashes was 27% of all first harmful events. They were also 13% of all first events and 20% of the pre-events for both deadly crashes with poles and trees and deadly crashes coded as motorcycle overturn or rider fell. Not much information is available on fatal motorcycle crashes involving curbs. In particular, 37% of fatal curb crashes have an unknown first event in FARS. More detailed crash investigations are needed as well for single motorcycle crashes coded simply as motorcycle overturned or rider fell. Input from the roadway is critical for steering for motorcycles. Predictable and uninterrupted traction is critical for motorcycle riding. Sudden changes in friction on the road surface, for example, pavement undulations, gravel, paint line markings can cause the motorcyclist to fall.

**Alcohol involvement** – In fatal single motorcycle crashes over the last eleven years, 1998-2008, a large percentage (44.5%) of motorcyclists were reported as alcohol-impaired. In 2008, this situation persists: NHTSA reported 43% of motorcyclist killed in single motorcycle crashes had blood alcohol levels of 0.08 g/dL or higher as compared with 30% of motorcyclists killed in all motorcycle crashes (NHTSA 2009).

Alcohol involvement is a contributing factor in increased fatalities in SMCs. Motorcyclists are over five times more likely to die in a single motorcycle crash if they have been drinking. There were higher percentages of alcohol-impaired motorcyclists in less safe conditions: in the dark, on a curve, and on the roadside. The higher fatality rate of these conditions would contribute to the severity of alcohol-involved SMCs. In a previous study of motorcycle crashes from Los Angeles (data collected in 1976 and 1977) and Thailand (data collected in 1999 and 2000), alcohol-involved riders were about four times more likely to run off the road as non-drinkers (Kasantikul and Ouellet 2005). For both Thailand and Los Angeles crashes, alcohol-impaired riders were more likely than non-drinking to be to be in single-vehicle crashes, lose control, and run off the road. Ouellet, Hurt and Thom 1987 reported the frequent combination of crashing by running off the road, failure to wear a helmet and fatal outcome among drinking riders.

**Curves** – Irrespective of alcohol involvement, most deadly SMCs occur on curves (60-67%). The largest segment of motorcyclist fatalities, around 30%, occurs on the roadside of a curve. SMCs on curves are two times more likely to be fatal as compared with SMCs on straight roads irrespective of alcohol involvement; however, alcohol-impaired motorcyclists on curves have the highest fatality rate (19 per 100 crashes) of all motorcycle crashes.

In the Indiana study (Schneider, Savolainen and Moore 2010), poor visibility due to horizontal curvature, vertical curvature and darkness, was a problem area leading to more severe injuries in motorcycle crashes. In a recent study of the US state of Ohio crash data and geometric road design information, the radius and length of a curve, the distance of motorcyclist from the beginning of the curve, and the shoulder width were all found to influence significantly the likelihood of motorcycle crashes. Sharper curves resulted in a significant increase in the frequency of crashes. As motorcyclists move away from the curves, their crash risk decreased. In the landmark study by Hurt et al. of in-depth investigations of motorcycle crashes in Los Angeles during 1976 and 1977, fatal crashes were more likely to involve the rider losing control by running off the road, typically on a curve (Hurt, Ouellet and Thom 1981). In a later study of the 1976-1977 Los Angeles data, in comparison with 1999-2000 Thailand data, the most common occurrence for a drinking rider in both regions was to continue straight when the roadway curved (Kasantikul and Ouellet 2005). In 2007, an assessment of alcohol impairment on rider performance was conducted on a test track, with scenarios covering a broad set of basic motorcycle riding skills (Creaser, et al. 2009). The study included a curve scenario designed to assess proper entry into curves, speed control, cornering technique and path of travel. Although the effect was modest, alcohol impairment resulted in poorer lane control including rider crossing outside lane boundaries.

Curves can reduce the available sight distance for the road ahead, which is critical for safe riding through a curve. Motorcyclists can misjudge the sharpness of the curve or not pick up the line of the curve in advance enough to allow them to navigate the curved path safely. Alcohol impairment exacerbates this behavior. Assessing performance on a test track, alcohol-impaired riders had slower responses and chose wrong directions in a hazard avoidance task that required participant to pay attention to a directional signal turned on just before reaching an obstacle (Creaser, et al 2009). As such, better and well-placed signs and markings of the road edge through a curve have the potential of improving the safety of navigating curves for motorcyclists irrespective of alcohol-impairment.

**Light Condition** – In the study population, SMCs in the dark had over 2.5 the fatality rates of crashes in daylight (Table 4). However, crashes occurring in dark but lighted condition had 20-30% lower fatalities rates than those in the dark, irrespective of the motorcyclist alcohol involvement. A study of the effect of road lighting on Dutch roads indicated similar results. A 25% reduction in injury accidents for motorcycle crashes for lit roads in rural areas was reported [Wanvik, 2009]. The Dutch study used an odds ratio estimate indicating the change in risk associated with darkness for lit and unlit roads. In general, better lighting implies the motorcyclist would be able to see farther down his/her path. Since the motorcyclist's path tends to follow their line of sight: WYLIWYG- "Where You Look Is Where You Go" (Milne 2009), improved lighting would allow the rider to better judge the maneuvering along his/her path.

**Speeding** – For motorcyclists, speeding may be more commonly indicated in the police accident reports when other causes of the crash are not as apparent. Although the best available at this time, speed-relation data reported in FARS and GES are not extremely reliable. They are based on eyewitness estimates rather than rigorous speed analysis methods. Ouellet, Motorcycles 1979, noted that eyewitnesses typically overestimate motorcycle speeds by 30-50%. However, while this study did not address speeding, findings from other research have shown that speeding results in increased injury severity and higher crash rates (Hurt, Ouellet and Thom 1981; Savolainen and Mannering 2007; Schneider, Savolainen and Moore 2010).

**Further consideration of alcohol involvement and opportunities for safety improvements** – The distribution of most harmful events for deadly crashes is similar irrespective of reported alcohol involvement, with the same prominent events. Deadly crashes coded as motorcycle overturn or rider fell were 34% for non-alcohol vs. 30% for alcohol-impaired riders. Deadly crashes into poles and trees were 22% for non-alcohol vs. 26% for alcohol-impaired riders. Deadly crashes into curbs, embankments, and culverts were 13% for non-alcohol vs. 15% for alcohol-impaired riders, and deadly crashes into guardrails were 9% for non-alcohol vs. 11% for alcohol-impaired riders. What this means is that once a motorcyclist goes off the traveled portion of the roadway, his or her body is injured by similar

roadside hazards, whether the rider has been drinking or not. Rigorous statistical analysis would determine the significance of alcohol involvement in relation to the crash attributes. However, countermeasures to mitigate roadway and roadside hazards would improve safety for motorcyclist of all sobriety levels. Researchers in Great Britain raised the same premise that, while it is clear that single motorcycle crashes are high risk, the problem is not solely rider misbehavior (Milne 2009). They based their conclusion on comparing 2008 single vehicle crash fatalities for cars and motorcycles on different road types.

## Conclusions

Over the last eleven years, single motorcycle crashes accounted for 45-50% of motorcyclists killed and injured on US roads. Roadside hazards resulted in half of the fatalities: trees, curbs, and guardrails dominate as most harmful events. Single motorcycle crashes occurring on the roadside are twice as likely to result in severe injuries and over five times more likely to result in a motorcyclist killed, as crashes occurring on the roadway. Countermeasures and/or strategies to discourage road departures would result in crashes with fewer fatalities and higher incidence of minor injuries.

While guardrails crashes have been the focus of concern and research in the motorcycle safety community, they accounted for only 10% of motorcyclists killed in single motorcycle crashes from 2004 to 2008 (221 of 2325 motorcyclist killed in 2008) and less than 5% of all motorcycles fatalities. This study highlights the need to address the other prominent deadly roadside hazards, specifically pole/trees (22%), and curbs/embankments (14%). Data that is more detailed is needed for fatal crashes coded simply as motorcycle overturned or rider fell. These crashes are over one third (34%) of all fatal single motorcycle crashes in the US. It is important to note that the distribution of most harmful events for deadly crashes is similar irrespective of reported alcohol involvement, with the same prominent harmful events. Countermeasures to mitigate roadway and roadside hazards would improve safety for motorcyclist of all sobriety levels.

This study highlights a particular need for examination of motorcycle interaction in crashes involving curbs and embankments. These roadside hazards are 27% of all first harmful events, 13% of all first events, and 20% of the precrash events for both deadly crashes with poles and tree and for deadly crashes coded as motorcycle overturned or rider fell.

Most deadly single motorcycle crashes occur at curves irrespective of alcohol involvement. Around two thirds of deadly crashes occur on curves, 60% for non-alcohol involved crashes and 67% for alcohol involved. The largest segment of motorcyclist fatalities (30%) occurs on the roadside of a curve. A

recent study of the state of Indiana motorcycle crashes found the radius and length of a curve, the distance of motorcyclist from curve, and the shoulder width to be significant in influencing the likelihood of motorcycle crashes (Schneider, Savolainen and Moore 2010). In addition to geometric considerations in the design of curved roads, better and well-placed signs, and better lighting and markings of the road edge for both new and existing curves has the potential of improved safety when navigating curves for motorcyclists irrespective of alcohol-impairment.

Single motorcycle crashes occurring in dark but lighted condition had 20-30% lower fatalities rates than those in the dark, irrespective of motorcyclist alcohol involvement. Better lighting, especially at and near curves, has the potential of reducing single motorcycle crashes by allowing motorcyclists to see farther down their path and thus increase the sight distance that is critical for safer riding.

Keeping the motorcycle on the roadway should result in crashes with fewer injuries and fatalities. Strategies to discourage road departures would encompass motorcycle friendly roadside and road surfaces, reduced alcohol involvement, improved braking, better handling and stability, improved lighting, reduced speeding, improved signs and marking for road edges, specifically for curves, and campaigns to educate and train motorcyclists on roadside hazards and negotiating curves.



## References

ACEM, with the support of the European Commission. "Maids Final Report, Version 2.0." <http://www.maids-study.eu/pdf/MAIDS2.pdf> (accessed August 2010).

Berg, F A, P Rucker, M Gartner, J Konig, R H Grzebieta, and R Zou. "Motorcycle Impacts into Roadside Barriers – Real-World Accident Studies, Crash Tests and Simulations Carried Out in Germany and Australia." *19th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles*. 2005. Paper No. 05-0095.

Creaser, J I, N J Ward, M E Rakauskas, E Boer, and C, Nardi, F Shankwitz. *Effects of Alcohol on Motorcycle Riding Skills*. Report to National Highway Traffic Safety Administration, Twin Cities: University of Minnesota, 2007.

Creaser, J I, N J Ward, M E Rakauskas, Shankwitz G, and E R Boer. "Effects of alcohol impairment on motorcycle riding skills." *Accident Analysis & Prevention Vol. 41*, 2009: 906–913.

Daniello, A, K Swanseen, Y A Mehta, and H C Gabler. "Rating Roads for Motorcyclist Safety: The Development of a Motorcycle Road Assessment Program." Washington DC: Transportation Research Board 89th Annual Meeting, 2010.

Gabler, Hampton C. "The Risk of Fatality in Motorcycle Crashes with Roadside Barriers." *ESV*. 2007. Paper No. 07-0474.

Grzebieta, R H, et al. "Overview of Motorcycle Crash Fatalities Involving Road Safety Barriers." *Journal of the Australasian College of Road Safety*, 2009: Vol. 20 No. 4, pp. 42 – 52.

Hurt, H H, J V Ouellet, and D R Thom. *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures*. Final Report, DOT-HS-F-01160, 1981.

Kasantikul, V. *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Counter-measures in Thailand, Volume I*. KP Printing, Bangkok (Available from the authors as a PDF file), 2002.

Kasantikul, V, and J V Ouellet. "Alcohol Use and Motorcycle Accident." *SAE*. 2005. 2005-32-0003.

Milne, D S. "Safety for Motorcyclists: What Can Be Done?" *Traffic Engineering and Control, Volume 50, Issue 11, 2009, pp 464-467.*, 2009: Volume 50, Issue 11, 2009, pp 464-467.

NHTSA. *Fatal Single Vehicle Motorcycle Crashes*. Technical Report, DOT HS 809 360, 2001.

NHTSA. *FARS Analytic Reference Guide, 1975 to 2008*. DOT HS 811 137, 2009.

NHTSA. *General Estimates System Coding and Editing Manual*. <http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/Pubs/GES08.pdf>, 2009.

NHTSA. *Traffic Safety Facts, 2008 Data: Motorcycles*. DOT HS 811 159, 2009.

Ouellet, J V. "Appropriate and inappropriate strategies for injury reduction in motorcycle accidents,." *SAE No. 900747, SP-827*. 1990.

Ouellet, J, V. " Motorcycles." In *Scientific Automobile Accident Reconstruction*, by MD, Editer Barzelay, Chapter 35. Mathew Bender Publishing Co., NY., 1979.

Ouellet, J, V, H, H Hurt, and D, R Thom. "Alcohol involvement in motorcycle accidents." *SAE paper no. 870602*. 1987.

Ruiz, D, G, B P Magallon, S Peldschus, E Schuller, A M Gallo, and S Bidal. "Overview on the Development of a Test Standard for the Evaluation of Motorcyclists' Impacts on Road Infrastructure Elements." *International Journal of Crashworthiness*, 2010: Volume 15, Issue 1, pp. 1-15.

Samaha, R R, K Kuroki, K H Digges, and J V Ouellet. "Opportunities for Safety Improvements in Motorcycle Crashes in the United States." *ESV*. 2007. Paper No. 07- 0370.

Savolainen, P, and F Mannering. "Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes." *Accident Analysis and Prevention*, 2007: 955-963.

Schneider, William H, Peter T Savolainen, and Darren N Moore. "Examining the Effects of Horizontal Curvature on Single-Vehicle Motorcycle Crashes along Rural Two-Lane Highways." *Transportation Research Board 89th Annual Meeting*. Washington DC, 2010.

Wanvik, P O. "Effects of road lighting: An analysis based on Dutch accident statistics 1987-2006." *Accident Analysis & Prevention*, 2009: Volume 41, Issue 1, pp. 123-128.

Watanabe, Y, and K Yoshida. "Motorcycle handling performance for obstacle avoidanceWatanabe Y and Yoshida K." *SAE Paper No. 73033*. 1973.

**The interaction between road infrastructure parameters and motorcycle crashes in Germany – results from the EU project ‘2BESAFE’**

**Zusammenhang zwischen Parametern der Straßeninfrastruktur  
und Motorradunfällen in Deutschland – Ergebnisse aus  
dem EU-Projekt „2BESAFE“**

Dipl.-Ing. Andreas Hegewald

Referat V1 – Straßenentwurf, Verkehrsregelung, Verkehrsablauf,  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)

## Abstract

According to the official road crash statistics there were 327,984 injury crashes in Germany in 2006, 10% (32,933) of which involved a motorcyclist. Of these 32,933 crashes, 63% (20,692) occurred on urban roads, 34% (11,296) on rural roads (roads outside urban areas without motorways) and, 3% (945) on motorways. Overall, 793 motorcyclists (riders and passengers) were killed in these crashes, 25% (201) of them on an urban road, 69% (544) on a rural road, and 6% (48) on a motorway. These figures clearly indicate that the majority of motorcycle crashes occur on urban roads. However, these crashes are characterised by a relatively low crash severity. In contrast, the relatively fewer motorcycle crashes on rural roads are characterized by a high crash severity. Against this background, this study focuses on injury motorcycle crashes on rural roads.

This study was divided into two parts. Within the first part, the relationship between single motorcycle injury crashes and the road design was investigated. To facilitate this, road sections with approximately the same motorcycle average daily traffic (ADT) volume were studied. Studied road sections differed with respect to crash situation; safe sections with no crashes versus unsafe sections with more than three crashes of the previously mentioned type. It was shown that the curvature change rate is higher on unsafe road sections than on safe road sections. In this context, the vertical alignment immediately preceding, and at the crash site of motorcycle crashes was investigated. It was found that the majority of these crashes occurred in curves. These curves are usually characterized by very small curve radii (< 100 m). Moreover, they are usually in sections with an unfavorable combination of curve radii (particularly in sections of consecutive curves with highly varying curve radii).

The second part of this investigation analysed the influence of the road surface condition on single motorcycle injury crashes. For this investigation, road surface condition data and crash data (106 sites) were combined. To assess the road surface conditions at the 106 crash sites, the road surface condition of a large part of the federal rural road network was used. It was found that deficits concerning the general unevenness of the road surface seem to have an impact on motorcycle crashes. The overall value of road surface condition at the crash sites differed from the overall value of the road network, thus it can be concluded that the overall value, and hence road surface condition defects (especially defects concerning the general unevenness) present a risk factor for motorcycle riders.

## Kurzfassung

Im Jahr 2006 ereigneten sich nach Angaben der amtlichen Verkehrsunfallstatistik 327.984 Unfälle mit Personenschäden in Deutschland, 10% davon (32.933) unter Beteiligung von Motorradfahrern. Von den 32.933 Unfällen mit Personenschaden unter Beteiligung von Motorradfahrern - nachfolgend als Motorradunfälle bezeichnet - geschahen 63% (20.692) auf Verkehrsstraßen innerorts, 34% (11.296) auf Landstraßen (Außerortsstraße ohne BAB) und 3% (945) auf Autobahnen. Insgesamt verunglückten bei den Motorradunfällen 793 Motorradnutzer (Fahrer und Mitfahrer) tödlich, davon 25% (201) auf Verkehrsstraßen innerorts, 69% (544) auf Landstraßen und 6% (48) auf Autobahnen. Anhand der genannten Zahlen wird deutlich, dass sich die überwiegende Anzahl der Motorradunfälle innerorts ereignet, diese Unfälle i.d.R. jedoch durch eine geringe Unfallschwere gekennzeichnet sind. Im Gegensatz dazu sind die vergleichsweise wenigen Motorradunfälle auf Landstraßen durch eine hohe Unfallschwere gekennzeichnet. Vor diesem Hintergrund konzentriert sich diese Untersuchung auf Motorradunfälle mit Personenschaden auf Landstraßen.

Die Untersuchung ist vom Aufbau zweigeteilt. Den ersten Teil bildet die Untersuchung des Zusammenhang zwischen Alleinunfällen mit Personenschaden, bei denen der Motorradfahrer die Kontrolle über sein Fahrzeug verloren hat, und der Trassierung untersucht. Dazu wurden in drei unterschiedlichen Untersuchungsregionen Strecken ausgewählt, auf denen bei annähernd gleicher Verkehrsstärke von Motorrädern mindestens 3 Alleinunfälle (unsichere Strecken) bzw. sich gar keine Alleinunfälle (sichere Strecken) ereigneten. Es konnte gezeigt werden, dass die Kurvigkeit auf den unsicheren Strecken höher ist als auf den sicheren Strecken. Für die Alleinunfälle auf den unsicheren Strecken wurde in diesem Zusammenhang ergänzend untersucht, wie die Strecke kurz vor und am Unfallort trassiert ist. Es wurde deutlich, dass sich der überwiegende Anteil dieser Unfälle in Kurven ereignet. Diese Kurven sind in der Regel durch sehr kleine Kurvenradien gekennzeichnet (<100m). Zudem liegen die Kurven in der Regel in einen Streckenabschnitt der nicht relationstrassiert ist.

Im zweiten Teil der Untersuchung wurde der Einfluss des Straßenzustandes auf Motorradunfälle mit Personenschaden vom Typ Alleinunfall untersucht. Als Datenbasis dienten die im Rahmen der ZEB erhobenen Straßenzustandsdaten sowie die Unfalldaten. Um den so ermittelten Straßenzustand am Unfallort der 106 untersuchten Alleinunfälle einschätzen zu können, wurden zum Vergleich der Straßenzustand eines großen Teils des Bundesstraßennetzes außerhalb geschlossener Ortschaften in NRW ermittelt. Das Ergebnis dieser Untersuchung ist, dass der Straßenzustand an der Unfallstelle im Vergleich zum untersuchten Bundesstraßennetz nur leicht schlechter der Unterschied jedoch statistisch signifikant ist. Vor allem Defizite hinsichtlich der Allgemeinen Ebenheit scheinen einen Einfluss auf Alleinunfälle von Motorradfahrern zu haben.

**The interaction between road infrastructure parameters and motorcycle crashes in Germany – results from the EU project ‘2BESAFE’**

## 1. Introduction

The major objective of the EU project '2BESAFE' (2-wheeler behaviour and safety) was to target behavioural and ergonomics research in order to develop countermeasures for enhancing powered two wheeler safety, including research on crash causes and human errors. The project was initiated due to the results of the "Motorcycle Accident In-depth Study - MAIDS" (ACEM, 2003) which showed that human error was the primary crash cause in 87.9% of 921 investigated crashes involving motorcycle rider's. In contrast, the road environment (e.g. road design, road surface) was only considered to be the primary crash contributing factor in 7.7% of all investigated cases. However, it can be assumed that road design and road surface condition deficits are a minor contributing factor in several motorcycle crashes. Therefore, the influence of road design and also road surface condition as a contributing factor for single motorcycle injury crashes (rider loses control over the motorcycle) was analysed in detail within one work package of the '2BESAFE' project. The results of this analysis are the subject of this paper.

The analysis presented in this paper is divided into two parts. Within the first part the relationship between road design and single motorcycle injury crashes were investigated. To facilitate this, road sections with approximately the same motorcycle average daily traffic (ADT) volume were studied. Studied road sections differed with respect to crash situation; safe sections with no crashes versus unsafe sections with more than three single motorcycle injury crashes.

The second part of the investigation comprised a detailed analysis of the influence of the road surface condition on single motorcycle injury crashes. For this investigation, road surface condition data and crash data were linked. To assess the road surface condition at the investigated crash sites (106 in total), the road surface condition of a large part of the federal rural road network was used as a basis for comparison.

## 2. Influence of road design

Road design deficits that have an impact on single motorcycle injury crashes can be most effectively shown via a comparison of safe road sections (no single motorcycle injury crashes) with unsafe road sections (many single motorcycle injury crashes). For example, if the unsafe road section is characterised by an unbalanced ratio of successive curves, it is possible that crashes occur due to that particular characteristic, if it is not found to be present on safe road sections. Different road sections with an ADT volume higher than 100 motorcycle rider's per day were selected for the investigation, and the crash density was calculated. In the crash density calculation single motorcycle injury crashes between 2002 and 2006 were considered.

*Table 1: Overview of investigated safe and unsafe road sections*

	Safe road sections	Unsafe road sections
Number of road sections	32	27
Average section length [m]	4,288	4,712
Mean ADT [motorcycles per day]	247	245
Number of single motorcycle injury crashes	0	254
Mean crash density [single motorcycle injury crashes per year and km]	0	0.48

Depending on the calculated crash density, the road sections were then divided into two categories. Road sections with a calculated crash density of zero (no single motorcycle injury crash) were assigned to the first category ('safe' road sections), whereas road sections with a higher crash density (road sections with more than three single motorcycle injury crashes) were assigned to the second category ('unsafe' road sections). Using a measurement vehicle from the Dresden University of Technology, horizontal and vertical road design elements were recorded for 32 safe and 27 unsafe road sections. As the mean ADT of motorcycles per day is almost identical for both road categories, it can be concluded that the ADT has negligible influence in this instance.

Other investigations (Spörner, 2006; Gerlach & Oderwald, 2007; Kühn, 2008) have shown that a high bendiness is a characteristic of road sections with a high proportion of motorcycle crashes. Hence, the safe and unsafe road sections were analysed for this characteristic. The analyses showed that for safe road sections the mean curvature change rate is approximately 70 gon/km, whereas the mean curvature change rate for unsafe road section is more than four times higher (300 gon/km). This indicates that both the curvature change rate and vertical alignment have an influence on single motorcycle injury



crashes. As a high curvature change rate is usually associated with strong changes of the gradient, it is assumed that this result is also true in relation to horizontal alignment.

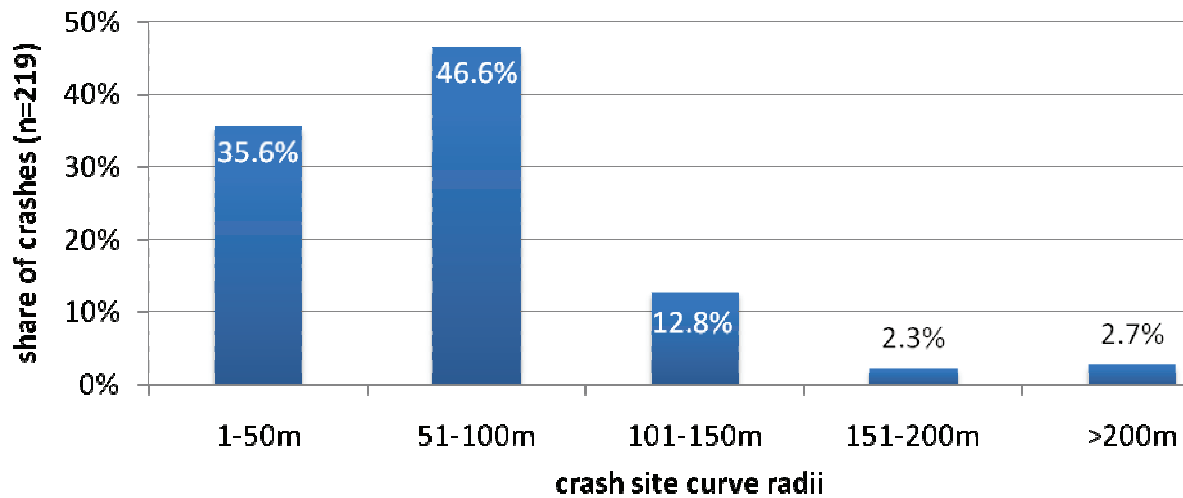


Figure 1: Distribution of curve radii at the crash site

In the next step the vertical alignment on the unsafe road section at the crash site of single motorcycle injury crashes was investigated. It was found that the majority (86%) of the 254 investigated single motorcycle injury crashes occurred on curves. These curves are usually characterised by very small curve radii which were in 82.2% of 219 investigated single motorcycle injury crashes less than or equal to 100 m (see Figure 1). Moreover, they were usually in sections with an unfavorable combination of curve radii. Examples of an unfavorable combination of curve radii are given below (FGSV, 2007):

- consecutive curves with highly varying or decreasing curve radii
- abrupt change from a long straight into a curve
- variation in curve radii within a single curve.

In this context, the sequence of curve radii was analysed for locations where at least two single motorcycle injury crashes occurred. Within the 27 unsafe road sections 26 of those crash sites were located. It was found that 21 of the 26 crash sites lay in sections with an unfavorable combination of curve radii. The most common unfavorable combination of curve radii were consecutive curves with highly varying curve radii.

### 3. Influence of road surface condition

Due to their design, the stability of motorcycles can be significantly reduced by poor road surface conditions. It was expected that the following road surface defects would have an influence on single motorcycle injury crashes (see also Figure 2):

- unevenness in longitudinal direction (e.g. bumps, potholes)
- unevenness in transverse direction (e.g. ruts)
- low friction value
- crack networks
- localised repairs
- accumulation of the bituminous binder.

The influence of these road surface defects with regards to single motorcycle injury crashes was the investigated.



Figure 2: Examples of road surface defects

In Germany, road surface condition parameters are measured on the federal roads every four years. The road surface condition parameters are collected by fast moving measurement vehicles and assigned to the road network system. In the process of road surface assessment, the road condition parameters, which have been determined from condition data collected locally with physical dimensions, are converted into normalized non-dimensional condition grades ranging from 1 (good) to 5 (bad) for

sections with a regular length of 100 meters. The condition grades referring to road condition parameters will now be referred to simply as ‘grades’.

As part of the subsequent investigation, the relevant road surface condition data of the federal rural roads (not including motorways) in North Rhine-Westphalia from 2003 were directly linked to the data of single motorcycle injury crashes of the same year. In crashes, the cause is generally located behind the final position of the motorcycle or rider, hence the road surface condition parameter of the preceding 100 meter section was linked to the crash data. A total of 106 single motorcycle injury crashes sites were linked with road surface condition parameters using this method. To assess the road surface conditions at the crash site, the road surface condition parameters of a large part of the federal rural road network (not including motorways) in North Rhine-Westphalia (total of 2,107 sections with an average sections length of 2,000 m) were used as a comparison. Statistically significant differences in the results for the two groups ‘crash site’ and ‘road network’ were checked using a non-parametric statistical test (WILCOXON) using the computer software package IBM SPSS Statistics.

### **Unevenness in the longitudinal direction - general unevenness**

‘Unevenness’ refers to geometrical irregularities of the road surface in the form of height deviations from the intended profile of the road surface, which are not part of the surface texture. Longitudinal unevenness provides a measure of the variation of the actual profile of the road surface compared with the profile of the projected road surface in the longitudinal direction (parallel to the longitudinal axis of the road).

Unevenness in the longitudinal direction may affect driving safety due to the resultant dynamic variation of vertical load at the tyre contact patch, which reduces the longitudinal force available for manoeuvres such as braking and cornering. Also, rider fitness and comfort may be reduced as a result of the rider being subjected to vertical accelerations, resulting in increased fatigue.

Longitudinal unevenness is recorded using the condition parameter ‘general unevenness’. It was shown that the grade of the ‘general unevenness’ of the road network was lower, when compared to the crash sites. The mean value of the grade of the ‘general unevenness’ in the road network was found to be 1.8, compared with 2.6 at the crash sites. The statistical test showed that the results for the two groups differed significantly. Therefore, defects concerning the ‘general unevenness’ of the road surface seem to present a risk factor for motorcycle rider.

### **Unevenness in the transverse direction - rut depth and theoretical water depth**

Transverse unevenness provides a measure of the variation of the profile of the road surface compared with the intended profile of the road surface in the transverse direction (perpendicular to the longitudinal axis of the road).

Transverse unevenness may affect rider's safety by reducing the available friction between the road surface and the motorcycle tyres due to reduced water drainage capability. Because this hazard is relevant to the motorcycle rider's travel direction, also it has the potential to influence the motorcycle rider's lane keeping ability, and may place additional fatigue on the rider.

The transverse unevenness is recorded using the condition parameters 'rut depth' and 'theoretical water depth'. The mean value of the grade 'rut depth' was 1.6 for the road network, and 1.5 at the crash sites. The mean value of the grade of 'theoretical water depth' was 1.5 for the road network, and 1.4 at the crash sites. As the results for these parameters are highly similar for both 'crash sites' and the 'road network', this indicates that defects concerning the 'rut depth' and 'theoretical water depth' seem to present no risk factor for motorcycle rider's.

However, it should be noted that this finding may be influenced by the high quality of the federal rural roads in this regard. It is possible that 'rut depth' and 'theoretical water depth' of grades worse than the figures quoted here may have negative impacts on motorcycle safety.

### **Low friction value**

Friction is characterised by the effect road surface texture and material composition has on the level of grip between tyres and the road surface under defined conditions. Motorcycle rider's are heavily reliant on good, consistent levels of friction for safe acceleration, braking and steering, and it is well known that low friction values have an influence on driving safety, evident in the connection between crash rate and wet driving conditions.

The measured friction values were found to be identical for the crash sites and the road network; each yielding a grade of 2.0, a result which is in contrast with initial expectations. One possible reason for this finding is that a low friction value may have an influence under wet conditions only. The overall motorcycle crash statistics shows that the share of single motorcycle injury crashes in wet conditions is minor, possibly due to the fact that most motorcycle rider's try to avoid riding in poor (wet) weather.

### **Crack networks/ Localised repair**

Crack networks are an accumulation of individual road surface cracks, which are linked together in the form of a net, which is often found to have varying the mesh width. The investigation found that the mean value of the grade of crack networks was the same for the road network and the crash site (a value of 1.8). Therefore, it can be concluded that crack networks do not constitute a risk factor for motorcycle riders.

Localised repairs are areas where structural road surface damage (e.g. potholes, single or network of cracks) has been repaired. The mean value of the grade of localised repairs in the road network was 1.6, which is almost identical to the grade of 1.7 recorded for the crash sites. Hence, localised repairs do not appear to constitute a risk factor for motorcycle rider.

### **Accumulation of the bituminous binder**

Accumulation of the bituminous binder refers to the 'leakage' of the bituminous binder to the road surface. Particularly under conditions of high ambient temperature, the accumulation of the bituminous binder at the surface can present a dramatic change in the friction value, which can present similar safety issues for motorcycle rider as the low friction value caused by wet conditions.

Accumulation of the bituminous binder is a road condition parameter which is not converted into normalized non-dimensional condition grades. The reason for this is that the condition parameter 'accumulations of the bituminous binder' is not used for the calculation/assessment of the 'overall value'. Because of this, the affected area of the road surface (percentage) was used in the analysis.

Instances of the accumulation of the bituminous binder were only found on a few sections in the road network with a mean grade of 0.1%, and not at any of the crash sites. Therefore, it is not possible to draw firm conclusions regarding the influence of this parameter on motorcycle rider's crash risk, however it is expected that the accumulation of the bituminous binder presents a risk factor for motorcycle rider.

### **Overall value**

The individual grades (general unevenness, rut depth, theoretical water depth, friction value, crack networks and localised repairs) are combined in groups to form two sub-values, representing the 'quality of service' for the road user, and the 'substance value'. Quality of service is characterised by road safety and traffic-ability, while substance value is calculated on the basis of the condition of characteristics such as surface profile. The 'overall value' of the road is taken from the lesser of the two sub values.

The mean overall value of road surface condition in the road network was found to be 2.9, and 3.2 at the crash sites. The performed statistical test showed that the results for the two groups differ significantly. Hence, it can be concluded that the overall value (and hence, the road surface condition) has an influence on single motorcycle injury crashes.

## **4. Conclusion**

The first part of this investigation analysed the relationship between single motorcycle injury crashes and various aspects of road design. It was found that the curvature change rate is higher on 'unsafe' road sections than on 'safe' road sections. In this context, the vertical alignment immediately preceding, and at the crash site of single motorcycle injury crashes was investigated. It was found that the majority of these crashes occurred in curves. These curves are usually characterized by very small curve radii (< 100 m). Moreover, they are usually in sections with an unfavorable combination of curve radii (particularly in sections of consecutive curves with highly varying curve radii).

The second part of this investigation analysed the influence of the road surface condition on single motorcycle injury crashes. For this investigation, road surface condition data and crash data (106 sites) were combined. To assess the road surface conditions at the 106 crash sites, the road surface condition of a large part of the federal rural road network was used. It was found that deficits concerning the general unevenness of the road surface seem to have an impact on single motorcycle injury crashes. All other investigated road surface condition parameters (rut depth, theoretical water depth, friction value, crack networks and localized repairs) appeared to have no influence on single motorcycle injury crashes. However, this may be due to the fact that these condition parameters are in a sufficiently safe range on the investigated road sections and do not present safety risks for motorcycle rider.

However, the overall value of road surface condition at the crash sites differed from the overall value of the road network, thus it can be concluded that the overall value, and hence road surface condition defects (especially defects concerning the general unevenness) present a risk factor for motorcycle rider.

## References

FGSV - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen [German Road and Transportation Research Association] (2007): MVMot - Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken [Data sheet for improving traffic safety along motorcycle routes], FGSV-Verlag, Köln.

Kühn (2008): Analyse des Motorradunfallgeschehens [Analysis of single motorcycle injury crashes], Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. – GDV [German Insurance Association], Unfallforschung kompakt, Berlin. Free download: <http://tinyurl.com/343btdj>

Gerlach, Oderwald (2007): Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer [Measures for the enhancement of safety of motorcyclists at the edge of carriageways on critical road sections], Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Schriftenreihe „Verkehrstechnik“, Heft V 152, Bergisch Gladbach.

Spörner (2006): Risiken beim Motorradfahren – Spezielle Einflussgrößen durch Straßenführung und Umfeld [Motorcycle accidents – Particular risks due to layout of roads and environment], Institut für Zweiradsicherheit, Forschungsheft Nr. 12, Tagungsband der 6. Internationalen Motorradkonferenz, Essen. Download: <http://www.ifz.de>

ACEM - Association des Constructeurs Europeens de Motorcycles (2003): MAIDS – Motorcycle Accident in-depth Study, Brussels.

## **Motorcycle Dynamics and Roadway Irregularities**

### **Fahrdynamische Reaktionen von Motorrädern auf Fahrbahnunregelmäßigkeiten**

Stein Husher and Michael Varat

KEVA Engineering, LLC



## **Abstract**

The powered two wheeler, when operated on public roadways, must regularly negotiate irregularities that encompass a wide range of magnitudes. These irregularities often consist of individual occurrences or combinations of rises, drops, potholes and bumps. Additionally, these roadway irregularities can be oriented parallel, perpendicular, or at an oblique angle to the path of travel. On occasion, these irregularities are located in proximity to a vehicle crash and are hence identified as a potential causal factor. Therefore, more detailed study will lend insight into the influence of roadway irregularities on the dynamics and operation of the powered two wheeler.

This present study performs a simple analytical evaluation and testing of the dynamics of a powered two wheeler traversing the commonly encountered roadway irregularity types, drops and steps. While these irregularities are encountered as individual occurrences, taken together a drop and step are the elemental components encountered when traversing a pothole; conversely a step and a drop are a bump. This applied methodology aims to constrain the bounds of expected motion based on the expected wheel trajectory. These wheel trajectory boundaries are based on the drop or step geometry establishing one end of the suspension loading boundary and an assumed free flight projectile motion establishing the other end of the suspension loading boundary.

A series of demonstrations were performed on a small sample of roadway irregularities oriented perpendicular to the powered two wheeler path of travel. These demonstrations were conducted utilizing an instrumented touring motorcycle as well as a sport motorcycle. High speed video documentation, GPS recorded speed and accelerometers were employed. This real world evaluation of several motorcycles traversing commonly encountered roadway irregularities is compared to, and observed to be consistent with, the analytically developed model.

### **Contact:**

Stein Husher or Michael Varat

[shusher@kevaeng.com](mailto:shusher@kevaeng.com)

[mvarat@kevaeng.com](mailto:mvarat@kevaeng.com)

Keva Engineering

840 Calle Plano

Camarillo, CA 93012

USA

+1 (805) 388 - 6016

**Advanced Rider Assistance Systems  
for Powered Two-Wheelers (ARAS-PTW)**

**Fahrer-Assistenzsysteme  
an motorisierten Zweirädern (FAS-M)**

Dr.-Ing. Achim Kuschefski, Dipl.-Päd. Matthias Haasper, André Vallese, B.A.

Institut für Zweiradsicherheit e.V. (ifz), Germany, 2010

## Abstract

The results of a survey by the Institut für Zweiradsicherheit e.V. (ifz) on the topic “Advanced Rider Assistance Systems for Powered Two-Wheelers (ARAS-PTW) carried out by ifz in the year 2009 triggered the study on hand. In fact the survey showed that both male and female motorcycle riders have knowledge deficiencies as regards rider assistance systems.

Against this background we got into the matter and found out that the respective literature offers a wide variety of definitions of assistance systems. This variety was the reason for a first attempt to clearly define the term “Rider Assistance Systems for Powered Two-Wheelers” – taking into account all the relevant specific requirements.

Furthermore the study offers a general synoptic view (updated September 2010) of current rider assistance systems for powered two-wheelers.

*Please note that this study was mainly written in German. A definition of “Advanced Rider Assistance Systems for Powered Two-Wheelers (ARAS-PTW)“, however, exists in English, too!*

## **Kurzfassung**

Die Ergebnisse einer Umfrage des Instituts für Zweiradsicherheit e.V. (ifz) zum Thema „Fahrer-Assistenzsysteme (FAS-M) an motorisierten Zweirädern“ aus dem Jahre 2009 waren Auslöser der vorliegenden Studie. Die Befragung zeigte nämlich, dass unter den Motorradfahrerinnen und -fahrern deutliche Defizite im Wissen um Fahrer-Assistenzsysteme bestehen.

Vor diesem Hintergrund haben wir uns der Problematik angenommen und festgestellt, dass in der Literatur unterschiedlichste Definitionen von Fahrer-Assistenzsystemen zu finden sind.

Deshalb wird hier erstmals der Versuch unternommen – unter Berücksichtigung der spezifischen Belange – eine Definition für „Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern“ zu formulieren.

Die Studie liefert zudem einen Überblick (Stand September 2010) der aktuellen Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern.

**Fahrer-Assistenzsysteme  
an motorisierten Zweirädern (FAS-M)**

## **Inhalt**

1. Ergebnisse einer ifz-Umfrage
2. Die Fahraufgabe
3. Fahrer-Assistenzsystem – was versteht man darunter?
4. Zweiradspezifische Belange und deren Auswirkungen
5. Definition von „Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern (FAS-M)“
6. Übersicht derzeitiger Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern
7. Zusammenfassung

## 1. Ergebnisse einer ifz-Umfrage

Eine ifz-Befragung mit anschließender Auswertung von 2.317 Motorradfahrerinnen und -fahrern im Jahre 2009 hat ergeben, dass nur wenige Fahrer mit dem Begriff „Fahrer-Assistenzsystem“ (FAS) etwas anfangen können.

Auf die Frage, „Nennen Sie uns drei verschiedene Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern“, konnten 20,9 Prozent keine Antwort geben. Sie kannten nicht ein einziges FAS bzw. konnten es nicht mit dieser Frage in Zusammenhang bringen. Immerhin konnten 19,5 Prozent eine Antwort geben, 23,2 Prozent zwei und nur 36,4 Prozent waren in der Lage drei verschiedene Fahrer-Assistenzsysteme zu nennen (siehe Abb. 1).

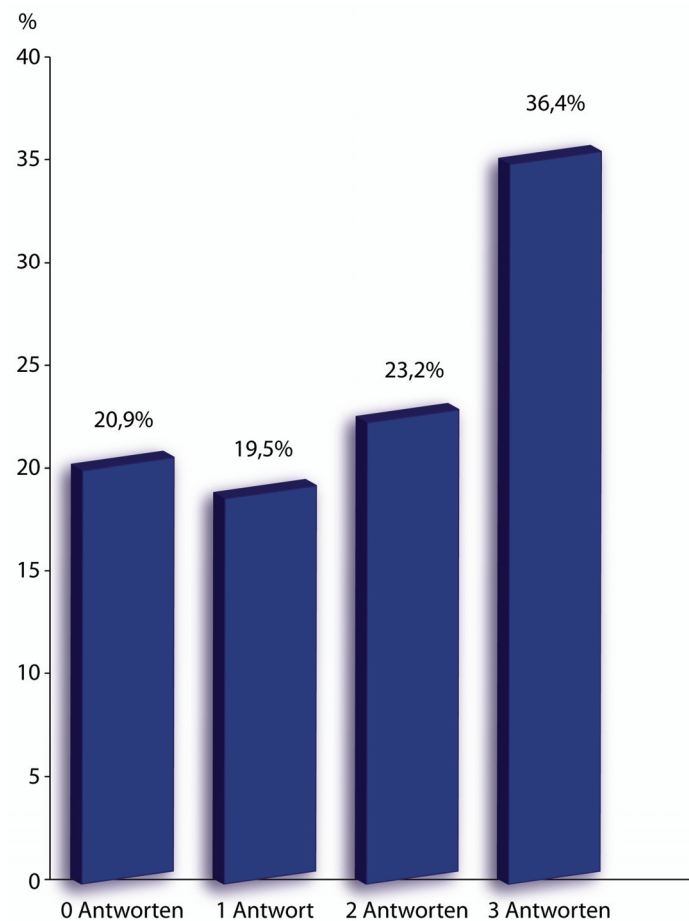


Abbildung 1: Häufigkeiten der Nennungen: „Nennen Sie uns drei verschiedene Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern“

Anti-Blockier-Systeme (ABS) sind der breiten Bevölkerung aus dem Pkw-Bereich seit längerem hinreichend bekannt und werden seit 1988 auch an motorisierten Zweirädern eingesetzt. Dies könnte eine mögliche Begründung dafür sein, dass ABS insgesamt mit 96% die häufigste Antwort im Rahmen der Befragung nach Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern war.

Diejenigen, die nur ein FAS als Antwort wussten, nannten in 93 Prozent der Fälle das ABS. Wussten die Teilnehmer zwei oder alle drei Antworten, so wurde auch hier in 94,1 bzw. 98,8 Prozent der Fälle das ABS als häufigstes FAS genannt.

Der Bekanntheitsgrad von ABS lässt sich ebenfalls daran erkennen, dass die erste bei drei gegebenen Antworten in 75,6 Prozent aller Fälle „ABS“ lautete.

Welche weiteren FAS und in welcher Häufigkeit sie genannt wurden, können Sie der Abbildung 2 entnehmen.

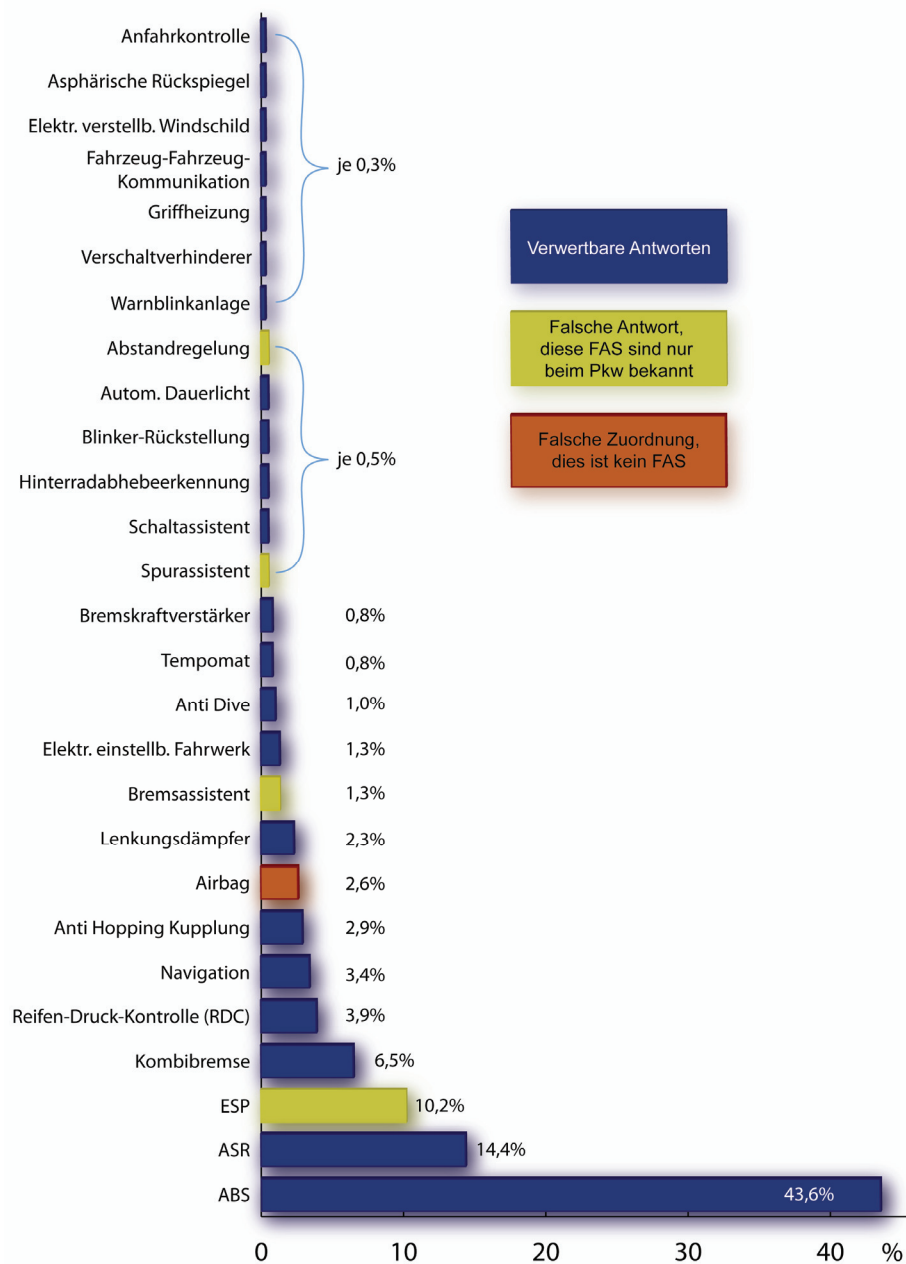


Abbildung 2: Häufigkeiten der genannten Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern



Interessant ist auch, dass z. B. der Airbag als passive Schutzeinrichtung mit einer Häufigkeit von 2,6 Prozent als ein FAS bezeichnet wurde, obwohl er keines ist. Auch wurden Fahrer-Assistenzsysteme genannt, die bislang nur in Pkw, Lkw oder Bussen eingebaut werden.

Es kann also festgehalten werden, dass nur ca. ein Drittel der Befragten drei Fahrer-Assistenzsysteme benennen konnte. Ein Fünftel der Befragten kannte kein FAS, obwohl man anhand des Beispiels „ABS“ und seinem Bekanntheitsgrad davon ausgehen sollte, dass dies jeder schon einmal gehört hat. Die Schwierigkeit könnte also darin bestehen, mit der Begrifflichkeit „Fahrer-Assistenzsystem“ etwas anfangen zu können. Aufgrund dieser Ergebnisse haben wir uns des Themas einmal genauer angenommen und festgestellt, dass in der Literatur unterschiedlichste Definitionen von Fahrer-Assistenzsystemen zu finden sind. Deshalb wird in diesem Beitrag von unserer Seite erstmals der Versuch unternommen – unter Berücksichtigung der spezifischen Belange – eine Definition für „Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern“ zu formulieren.

## 2. Die Fahraufgabe

In diesem Zusammenhang ist eine kurze Erläuterung der „Fahraufgabe“ notwendig, da sie im weiteren Verlauf der Studie zur Differenzierung von Fahrer-Assistenzsystemen herangezogen wird und ihr bei deren Einteilung eine bedeutsame Wirkung zukommt.

Wissenschaftler beschäftigen sich seit über 40 Jahren intensiv mit der Fahraufgabe, also den Anforderungen und Aufgaben, die zum Führen eines Kfz notwendig sind. Auch bei der Definition der Fahraufgabe gibt es unterschiedlichste und u. a. sehr komplexe Modelle. In dieser Studie haben wir uns für einen sehr einfachen und anschaulichen Ansatz entschieden: Das Modell von R. Bernotat. Dieses stellt sich wie folgt dar:

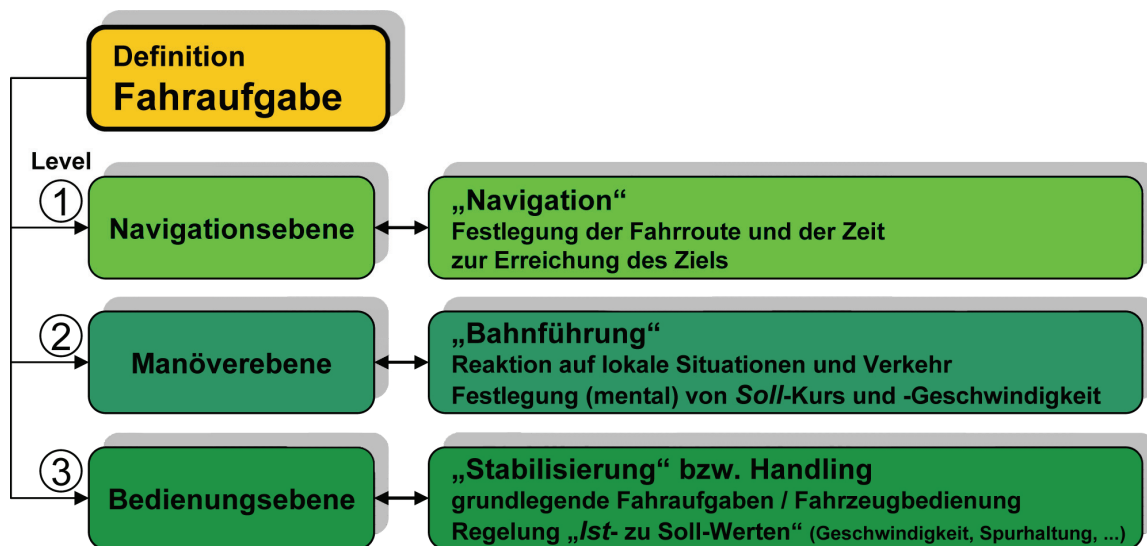


Abbildung 3: Einteilung der Fahraufgabe in drei Ebenen (in Anlehnung an <sup>1/</sup>)

Die Fahraufgabe besteht grob aus drei Ebenen: der **Navigationsebene**, der **Manöverebene** und der **Bedienungsebene**. Während auf der Navigationsebene die Fahrroute und eventuell noch die Fahrzeit festgelegt werden, stößt man in Level 2, der Manöverebene, schon auf Fahraufgaben wie z. B. die Reaktion auf lokale Verkehrssituationen. Diese bedingen, dass eine mentale Festlegung des Soll-Kurses und der Soll-Geschwindigkeit unter Berücksichtigung der Verkehrsvorschriften stattfinden muss. In Level 3, der sogenannten Bedienungsebene, fallen grundlegende Fahraufgaben an und die Regelung des Ist-Soll-Abgleichs. Zwischen Level 2 und 3 besteht somit eine stete Interaktion, zwischen Level 1 und 2 eine deutlich geringere.

<sup>1</sup> Bernotat, R.: Anthropotechnik in der Fahrzeugführung, Ergonomics, 1970, Vol. 13, No. 3

Die Hierarchie der Einteilung der Fahraufgabe ist eindeutig: Level 1 steht über Level 2 und Level 2 über Level 3. Denn die Navigationsebene (Level 1) mit der groben Festlegung der Route spielt immer eine übergeordnete Rolle bei der Fahraufgabe. Genauso gut ist die Manöverebene der Bedienungsebene stets vorgeschaltet, da ohne Soll-Kurs- und ohne Soll-Geschwindigkeits-Festlegung kein Handlungsbedarf auf der Bedienungsebene vonnöten wäre.

### 3. Fahrer-Assistenzsystem – was versteht man darunter?

Bereits seit 1966 gibt es die offizielle Unterteilung in *Aktive* und *Passive Sicherheitssysteme* <sup>2</sup>. Danach werden alle Systeme und Technologien, die der Unfallvermeidung dienen, der *Aktiven Sicherheit* zugeordnet. Systeme und Technologien, die die Unfallfolgen mindern, gelten seitdem als *Passive Sicherheitssysteme*. Mittlerweile sind die Grenzen zwischen der *Aktiven* und *Passiven Sicherheit* fließend und durch Fahrer-Assistenzsysteme in vielen Bereichen aufgeweicht worden.

Das Wort „Fahrer-Assistenzsystem“ stammt aus dem Automobil-Bereich und wurde ursprünglich im angelsächsischen Sprachraum als **Advanced Driver Assistance Systems (ADAS)** definiert. Wo und wann dieses Wort erstmals in der Literatur auftauchte, konnte nicht exakt geklärt werden. Wahrscheinlich erst kurz vor der Jahrtausendwende.

In der Literatur findet man mittlerweile unzählige Berichte und Studien zu Fahrer-Assistenzsystemen (FAS). Auch existieren etliche unterschiedliche Definitionen, weil unterschiedlichste Kriterien für deren Klassifizierung zugrunde gelegt wurden.

Anfänglich wurden den FAS sehr viele Systeme zugeordnet, die den Fahrer bei seinen Aufgaben entlasten oder unterstützen. So z. B. auch der elektrische Motor-Anlasser, weil dieser den Startvorgang enorm erleichtert. Als dieser jedoch damals erfunden wurde, sprach noch niemand von einem Fahrer-Assistenzsystem.

Mit dem Einzug der Elektronik in den Fahrzeugbau konnten erstmals Systeme realisiert werden, die mechanisch z. T. undenkbar gewesen wären. So werden z. B. seit 1969 Verkehrsmeldungen im deutschen Hörfunk ausgestrahlt; seit 1978 gibt es ABS im Serienbau von Pkw. Weitere Systeme folgten.

Aus der Tatsache heraus, dass die Anzahl der FAS nach diesen Kriterien sehr unüberschaubar würde, beziehen andere Quellen das Wort „Fahrer-Assistenzsystem“ nur auf die Manöverebene, andere wiederum nur auf die Bedienungsebene der Fahraufgabe. Geht es um die Navigationsebene so wird hier vielfach von Informationssystemen gesprochen.

Um nur ein Beispiel zu nennen: „Sie agieren als elektronische Beifahrer diskret im Hintergrund“, so ist es in einer Broschüre über Fahrer-Assistenzsysteme der Continental Teves AG & Co. oHG aus dem Jahre 2008 zu lesen.

Das Wort „Assistenz“ bedeutet ganz allgemein *Hilfestellung*. In unserem Kontext mit dem Ziel, den Fahrer bei seiner Fahraufgabe in irgendeiner Art und Weise durch unterschiedlichste Systeme zu ent-

---

<sup>2</sup> N.N.: Meilensteine der Fahrzeugsicherheit – Die Vision vom unfallfreien Fahren, Informationsbroschüre der Daimler AG, Stuttgart, 2009

lasten und zu unterstützen. Dabei geht es vorrangig um die *Aktive Sicherheit*, also um die Verringerung der Eintrittswahrscheinlichkeit von gefährlichen Verkehrssituationen. Kommt es dennoch zu einer kritischen Situation, so wird der Fahrer durch ein oder mehrere Assistenzsysteme in seiner Fahraufgabe unterstützt, bis hin zur Verringerung möglicher Unfallfolgen (Pre-Crash-Systeme). Aber auch Post-Crash-Systeme zur Verbesserung des Rettungsmanagements (eCall) werden vereinzelt zu den FAS gezählt.

Auch werden Fahrer-Assistenzsysteme momentan noch vorrangig aus dem Blickwinkel des Selbstschutzes entwickelt, und weniger aus dem anderer Verkehrsteilnehmer. FAS unterstützen somit nur die Fahraufgabe des Fahrers, in dessen Fahrzeug das FAS eingebaut ist. Sie haben somit primär keine unterstützende Wirkung auf andere Verkehrsteilnehmer, obwohl natürlich eine Abhängigkeit (z. B. die Unfallfolgen) vorhanden ist.

So ist z. B. aus dem zivilen Luftverkehr das sogenannte TCAS (Traffic Alert and Collision Avoidance System) bekannt. Dieses System verhindert eine Kollision zweier Flugzeuge, indem es in *gegenseitiger Abstimmung* für beide Flugzeuge die Ausweichkurse berechnet. Eine Übertragung dieses Systems auf das Verkehrssystem „Straße“ ist in der Zukunft durchaus vorstellbar.

Im Rahmen des europäischen Forschungsprojektes SAFERIDER (01.01.2008 – 31.12.2010) wurde erstmals die aus dem Pkw-Bereich stammende Bezeichnung „Advanced Driver Assistance Systems“ (ADAS) in „Advanced Rider Assistance Systems“ (ARAS) für motorisierte Zweiräder umbenannt. Hier ging es vornehmlich um die korrekte englische Bezeichnung, weniger um eine angepasste Definition.

Egal welches Verständnis bzw. welche Einteilung man sich anschaut: Für ein motorisiertes Zweirad sind sie nach unserer Meinung unzulänglich, da wesentliche Aspekte der spezifischen Eigenschaften beim Fahren eines motorisierten Zweirades nicht berücksichtigt wurden; auch unter dem Gesichtspunkt, dass Fahrer motorisierter Zweiräder zu der Gruppe der ungeschützten Verkehrsteilnehmer gehören.

Selbst die Motorradhersteller bezeichnen ihr entsprechendes Equipment in der Regel nicht als „Fahrer-Assistenzsysteme“. So findet man z. B. Begriffe wie die „aktive Sicherheitsausstattung“ oder „ein wichtiger Schritt zu mehr Fahrsicherheit“ (Quelle: BMW Motorrad). Vermutlich rührt diese Haltung daher, dass die unterschiedlichsten Definitionen von Fahrer-Assistenzsystemen aus dem Automobil-Bereich stammen.

Deshalb hoffen wir, mit dieser Studie und der neuen Definition von Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern für Klarheit sorgen zu können, wodurch entsprechendes Equipment genau als

solches benannt werden kann. Denn letztendlich beeinflusst der Ausstattungsgrad an Sicherheitsfeatures auch die Kaufentscheidung der Fahrer motorisierter Zweiräder <sup>3/</sup>.

Fahrer-Assistenzsysteme im Automobil-Bereich lassen sich im Allgemeinen in fünf Kategorien einordnen.

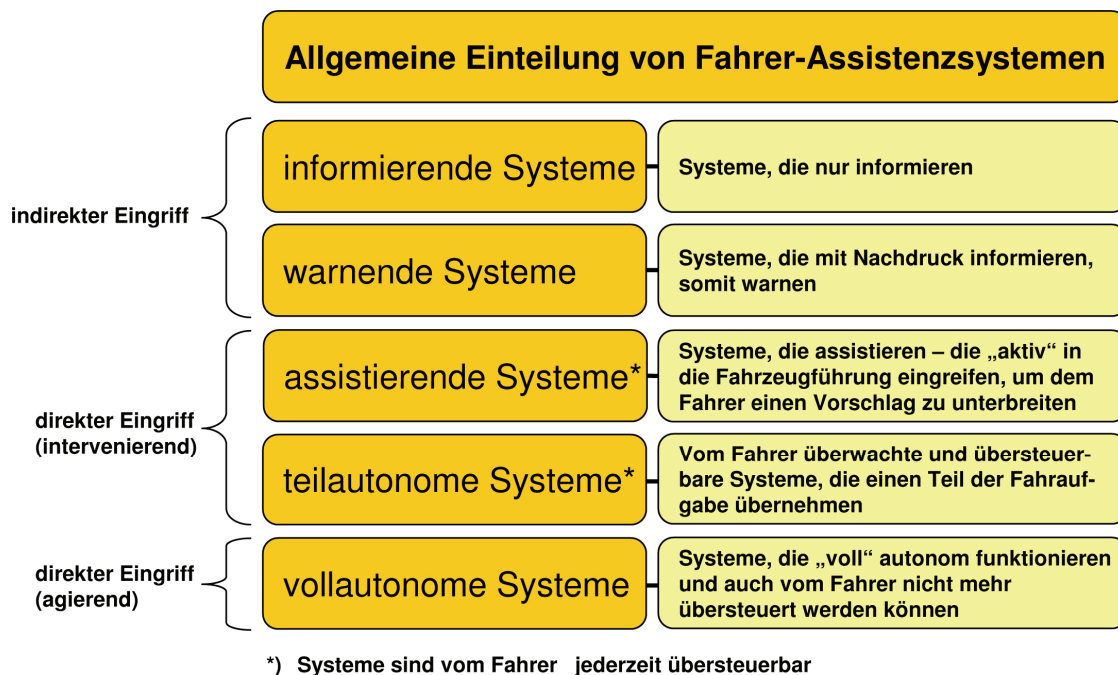


Abbildung 4: Allgemeine Einteilung von Fahrer-Assistenzsystemen

Entsprechend Abbildung 4 wird nach informierenden, warnenden, assistierenden, teil- und vollautonomen Systemen unterschieden. Informierende und warnende Systeme haben nur einen indirekten Eingriff bzw. Einfluss auf die Fahraufgabe. Sie können, müssen aber nicht vom Fahrer wahrgenommen werden oder ihn zu einer entsprechenden Handlung bewegen bzw. zwingen. Dagegen haben assistierende und teilautonome Systeme einen direkten Eingriff in die Fahraufgabe. Sie sind aber jederzeit durch den Fahrer übersteuerbar.

Unter den assistierenden Systemen versteht man Systeme, die den Fahrer auf einen Fehler während seiner Fahraufgabe hinweisen. Der Hinweis erfolgt zweckmäßigerweise haptisch direkt an dem Fahrzeug-Steuerelement, welches zur Unfallvermeidung anders betätigt werden sollte. Aber auch optische oder akustische begleitende Warnsignale sind möglich. Als Beispiel sei der aus dem Pkw-/Lkw-Bereich bekannte aktive Spurhalte-Assistent mit Lenkmoment genannt. Ist ein Fahrer unachtsam und verlässt die Fahrspur, aus welchem Grund auch immer, erfolgt eine automatische Gegenlenk-

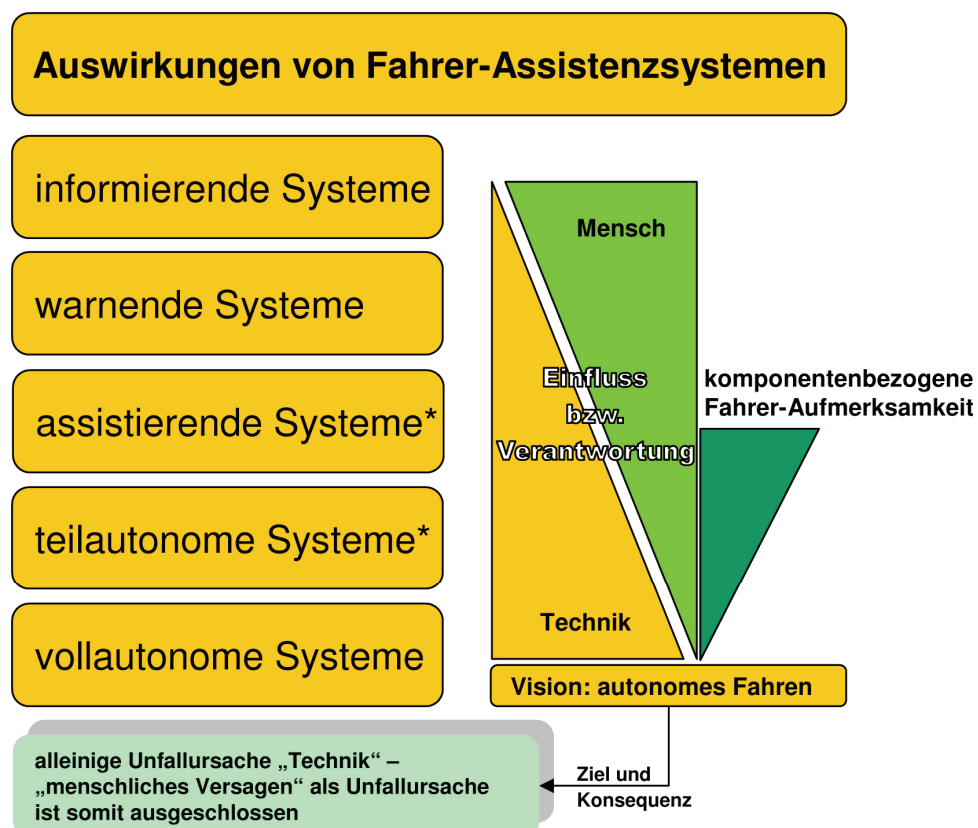
<sup>3</sup> Kuschefski, A.; Haasper, M.; Vallese, A.: Das Sicherheitsbewusstsein von Motorradfahrern in Deutschland, Studie des Instituts für Zweiradsicherheit e.V., 2006

bewegung, die den Fahrer aufmerksam machen und ein Verlassen der Fahrspur sicherstellen soll. Entschieden sich der Fahrer anders, so kann er die automatische Lenkbewegung mit erhöhtem Kraftaufwand übersteuern.

Ein teilautonomes System ist z. B. das ACC (Adaptive Cruise Control), ein automatischer Geschwindigkeits- und Abstandsregler. Nach Einstellung der Wunschgeschwindigkeit und des Wunschabstandes übernimmt ACC diesen Teil der Fahraufgabe selbständig. Der Fahrer überwacht lediglich die Funktion, kann sie jedoch zu jeder Zeit abstellen bzw. übersteuern.

Die fünfte und letzte Kategorie bei der Einteilung der FAS sind die vollautonomen Systeme. Als eines der ältesten und bekanntesten Systeme wäre hier das Anti-Blockier-System (ABS) zu nennen. Diese Systeme arbeiten vollautonom und sind vom Fahrer nicht übersteuerbar.

Mit zunehmender Automatisierung der Fahraufgaben bzw. zunehmender Autonomie der Fahrer-Assistenzsysteme steigt der Einfluss bzw. die Verantwortung der Technik; die des Fahrers sinkt, einhergehend mit einer ebenfalls sinkenden Aufmerksamkeit. Einigen Forschern schwebt sogar in „naher“ Zukunft die Vision des autonomen Fahrens vor (siehe Abb. 5).



\*) Systeme sind vom Fahrer jederzeit übersteuerbar

Abbildung 5: Auswirkungen von Fahrer-Assistenzsystemen

Dass diese Vision wahrscheinlich noch lange eine Vision bleibt, liegt an der momentanen rechtlichen Lage, obwohl zurzeit daran „gebastelt“ wird.

Nach dem Wiener Übereinkommen über den Straßenverkehr (1968) gilt:

#### **Art. 8** Führer

1. **Jedes Fahrzeug** und miteinander verbundene Fahrzeuge müssen, wenn sie in Bewegung sind, **einen Führer haben**.
4. Jeder Führer eines Kraftfahrzeugs muss die für die Führung des Fahrzeugs erforderlichen Kenntnisse und Fähigkeiten haben; ...
5. **Jeder Führer muss dauernd sein Fahrzeug beherrschen ... können**.
6. **Der Führer eines Fahrzeugs muss alle anderen Tätigkeiten als das Führen seines Fahrzeugs vermeiden**. Die innerstaatlichen Rechtsvorschriften sollten Bestimmungen zur Benutzung von Telefonen durch die Fahrzeugführer vorsehen. In jedem Fall müssen sie die Benutzung von Telefonen ohne Freisprecheinrichtung durch Führer eines sich in Bewegung befindlichen Motorfahrzeugs oder Motorfahrrads verbieten.

#### **Art. 13** Geschwindigkeit und Abstand zwischen Fahrzeugen

1. **Jeder Fahrzeugführer muss unter allen Umständen sein Fahrzeug beherrschen**, um den Sorgfaltspflichten genügen zu können und **um ständig in der Lage zu sein, alle ihm obliegenden Fahrbewegungen auszuführen**. Er muss bei der Wahl der Geschwindigkeit seines Fahrzeugs ständig die Umstände berücksichtigen, insbesondere die örtlichen Verhältnisse, den Straßenzustand, den Zustand und die Beladung seines Fahrzeugs, die Witterungsverhältnisse und die Dichte des Verkehrs, um innerhalb der nach vorn übersehbaren Strecke und vor jedem vorhersehbaren Hindernis sein Fahrzeug anhalten zu können. Er muss langsamer fahren und, wenn nötig, anhalten, sobald die Umstände es verlangen, namentlich wenn die Sicht nicht gut ist.

Der Inhalt des Wiener Übereinkommens macht deutlich, dass Fahrer-Assistenzsysteme nur im begrenzten Maße vollautonom wirken dürfen bzw. können. Denn nach wie vor muss der Fahrzeugführer sein Fahrzeug und damit seine Fahrbewegungen beherrschen können.

Wie sich die Einteilung der Fahrer-Assistenzsysteme im Automobil-Bereich unter Berücksichtigung der drei Ebenen der Fahraufgabe darstellt, zeigt Abbildung 6. Hier werden einige FAS exemplarisch katalogisiert.



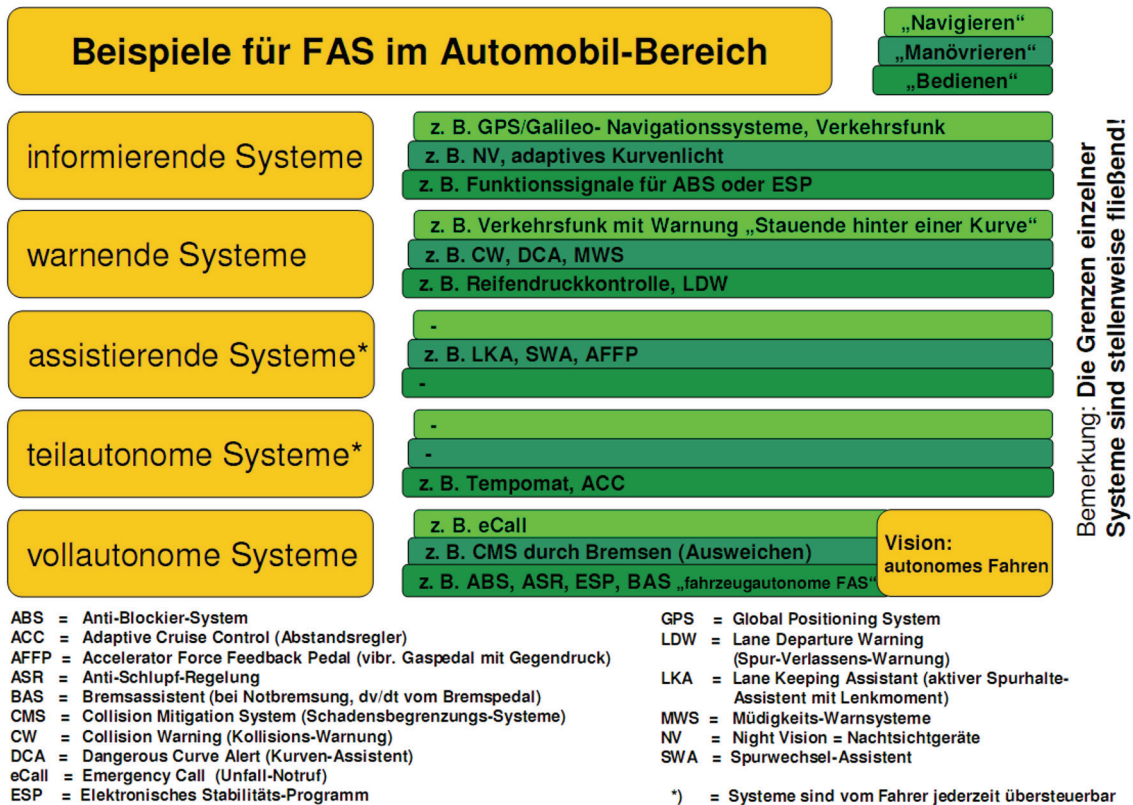


Abbildung 6: Aufteilung der Fahrer-Assistenzsysteme im Automobil-Bereich unter Berücksichtigung des Drei-Ebenen-Modells der Fahraufgabe

## 4. Zweiradspezifische Belange und deren Auswirkungen

Wie aus Kapitel 3 ersichtlich ist, gibt es für Pkw verschiedenste Fahrer-Assistenzsysteme. Was für den Pkw-Fahrer als normal erscheint, ist für den Motorradfahrer jedoch nicht alltäglich. Als ein einfaches Beispiel sei hier der bereits erwähnte Verkehrsfunk per Radio genannt. Diese Verkehrsinformationen (z. B. die Meldung eines Falschfahrers) bleiben den meisten Motorradfahrern vorenthalten, da sie aus Platzgründen kein Radio an Bord haben oder sich die Kommunikation bis vor wenigen Jahren noch als schwierig gestaltete.

Fahrer motorisierter Zweiräder sind gegenüber Pkw-Fahrern besonders der Umwelt ausgesetzt. Sie haben keine vor äußeren Einflüssen (z. B. Witterung) schützende Karosserie, weshalb auch die Reizflut beim Fahren eines motorisierten Zweirades deutlich größer ist als beim Fahren eines Pkws. Diesem sehr wichtigen Aspekt wurde bisher wenig Aufmerksamkeit gewidmet; er spielt aber nach unserem Erachten eine entscheidende Rolle bei der Beurteilung von Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern und sollte bei der Klassifizierung berücksichtigt werden. Warum dies so ist, erklärt die „Komfort-Pyramide“.

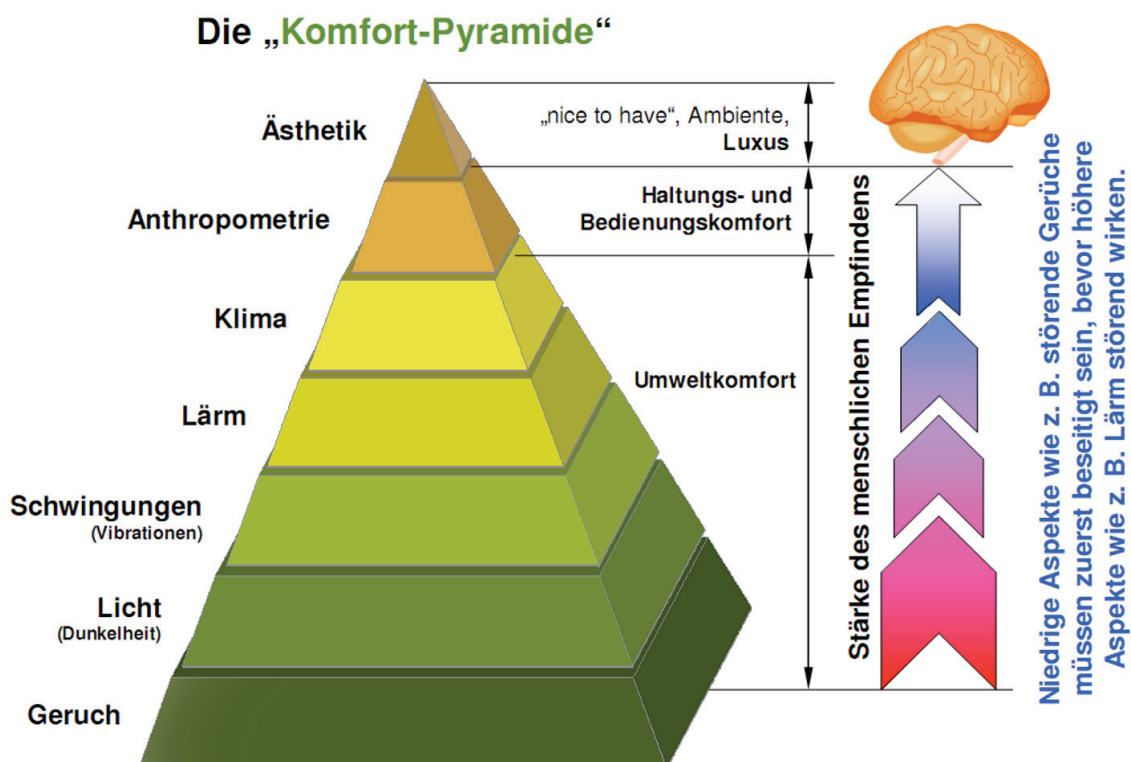


Abbildung 7: Die Komfort-Pyramide (in Anlehnung an <sup>4/</sup>)

<sup>4</sup> Bubb, H.: Ergonomie in Mensch-Maschine-Systemen – Komfort und Ergonomie im Kraftfahrzeug, Lehrgangunterlagen, Haus der Technik Essen, 1995

Wie in Abbildung 7 zu sehen ist, sind die verschiedenen Sinneseindrücke wie Geruch, Licht, Schwingungen, Lärm, Klima, Anthropometrie (Ermittlung und Anwendung der Maße des menschlichen Körpers) und Ästhetik hierarchisch angeordnet.

Eine interessante Aussage dieser Pyramide ist, dass höher liegende Sinneseindrücke erst als Komfortmangel empfunden werden, wenn die darunterliegenden Bedürfnisse bereits erfüllt sind. Das heißt konkret, dass z. B. Lärm vom Fahrer erst als störend empfunden wird, wenn er sich durch Geruch, Licht und Schwingungen nicht mehr beeinträchtigt fühlt.

Diese hierarchische Anordnung des menschlichen Empfindens macht die großen Unterschiede in den Belastungen eines Pkw- und Motorradfahrers deutlich. Heutzutage sind für den Pkw-Fahrer Beeinträchtigungen durch Geruch, Licht, Schwingungen, Lärm und Klima weitestgehend beseitigt, weshalb die Ansprüche in den Bereichen Anthropometrie und Ästhetik („nice to have“) im Automobilbau immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Doch wie sieht es bei den Motorradfahrern aus?

Zur Beantwortung dieser Frage führten wir auf der Messe „Motorräder Dortmund 2010“ eine Umfrage durch, die uns folgende Ergebnisse lieferte.

Und zwar sollten die Befragten im direkten Vergleich „eigener Pkw“ ↔ „eigenes Motorrad“ eine Bewertung für die verschiedenen Sinnesbelastungen abgeben. Hierbei sollte nicht die Komfortpyramide mit ihrer Rangfolge überprüft (diese zweifeln wir nicht an!), sondern lediglich eine Beurteilung der beiden Kraftfahrzeuge innerhalb der verschiedenen Sinneseindrücke gewonnen werden.

Wie sich die Ergebnisse darstellen, veranschaulicht Abbildung 8.

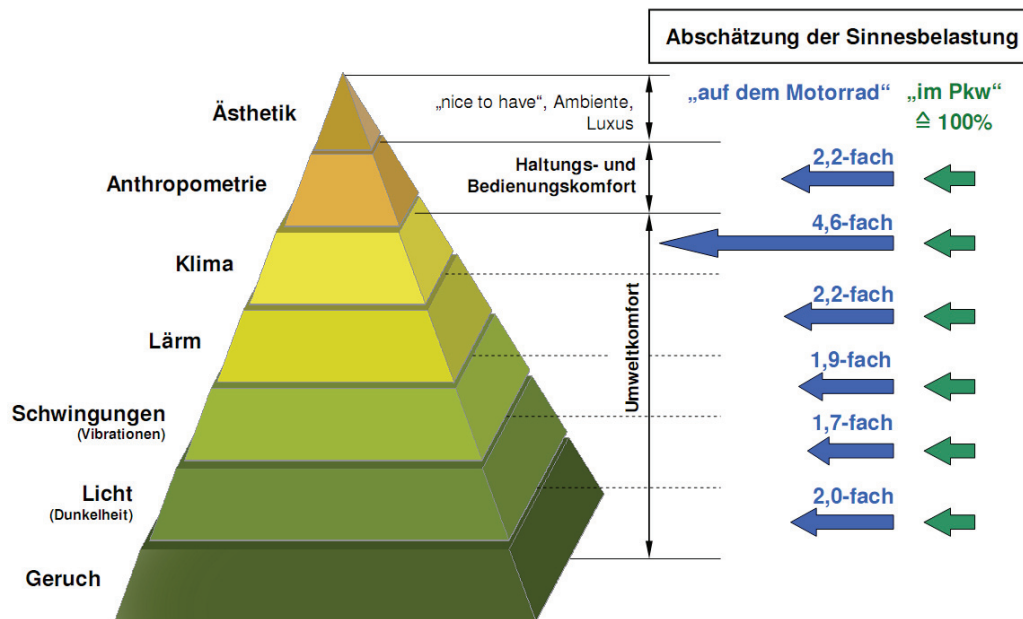


Abbildung 8: Sinnesbelastung innerhalb der Komfort-Pyramide im direkten Vergleich Pkw ↔ Motorrad

Die Abbildung macht deutlich, dass die Sinnesbelastungen beim Fahren eines motorisierten Zweirades deutlich höher liegen als beim Fahren in einem Pkw. Dieser wurde in allen Kategorien als Maßstab zu 100% angenommen. Die genannten Werte sind Mittelwerte aus den Antworten von 202 Befragten. Der geringste Unterschied mit 70% Mehrbelastung ergibt sich bei der Belastung durch Licht, der größte Unterschied beim Klima mit 360% Mehrbelastung! Alle übrigen Belastungen der Sinneseindrücke liegen ungefähr bei der doppelten Belastung beim Fahren eines motorisierten Zweirades gegenüber dem Fahren in einem Pkw.

Wie aus der Pyramide und der Höhe der Sinnesbelastungen ersichtlich ist, spielen gerade die „**Umweltkomfort-Systeme**“ und die „**Haltungs- und Bedienungskomfort-Systeme**“ für den Fahrer eines motorisierten Zweirades bezüglich der Fahraufgabe eine nicht zu unterschätzende Rolle. Diese Systeme haben sowohl auf die Ebene 2 (Manöverebene) als auch die Ebene 3 (Bedienungsebene) der Fahraufgabe einen gravierenden Einfluss (siehe Abbildung 9).

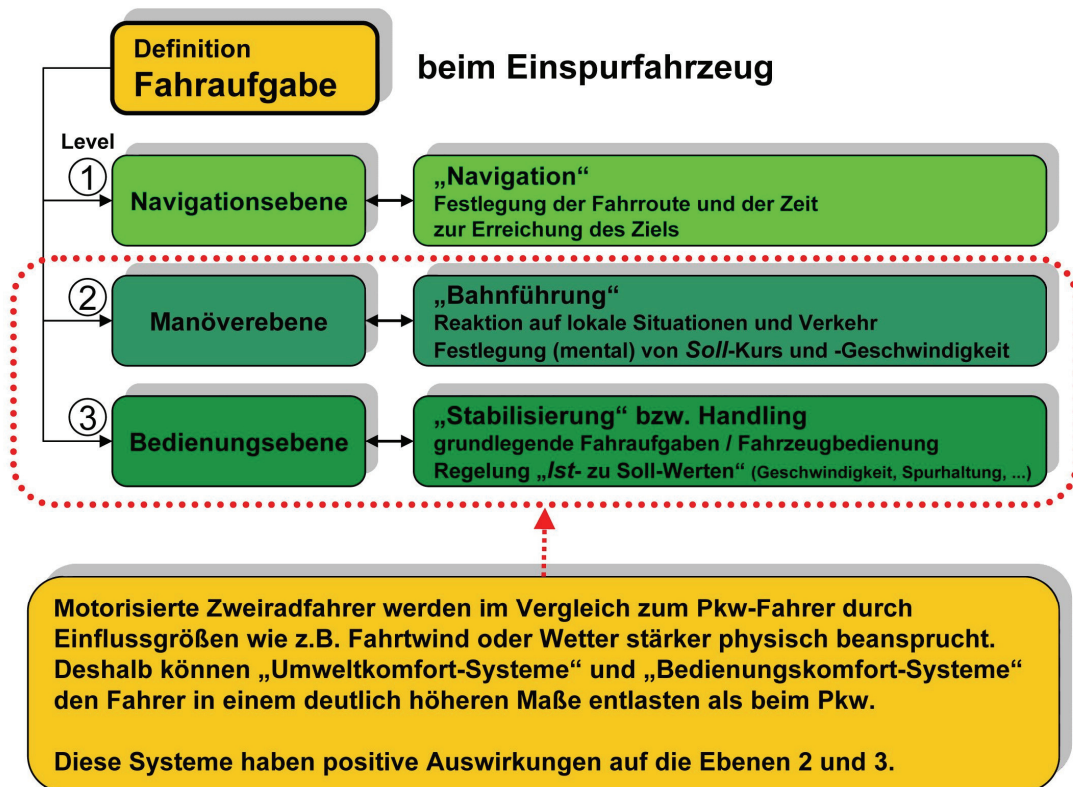


Abbildung 9: Die positiven Auswirkungen von Umwelt- und Bedienungskomfort-Systemen

Die direkten Einflussgrößen auf die physische Belastung von Fahrern motorisierter Zweiräder sind:

- Belastung durch Vibrationen („auf dem Motor sitzend“)
- Belastung durch Lärm (keine Motorkapselung, Windgeräusche)
- dem Fahrtwind/Wetter direkt ausgesetzt
- der Sonne/Hitze direkt ausgesetzt (kein Dach / keine Klimaanlage)
- zusätzliche Temperaturbelastung durch Motorabwärme
- Mehrbelastung durch Motorradbekleidung und Schutzhelm.

Nach einer gewissen Dauer wirken diese als psychische Belastungen, mit der Folge:

- sinkende Kondition (körperliche Ermüdung)
- sinkende Koordinationsfähigkeit (Bedienung, Lenken, Schräglage, ...)
- sinkende Konzentration (geistige Ermüdung)
- sinkende Aufmerksamkeit für die Umwelt (Verkehr, Straße, ...)
- sinkende Reaktion
- erhöhtes Unfall-Risiko.

Gründe genug, um die „Umweltkomfort-Systeme“ zu den Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern zu zählen. Aber auch die Tatsache, dass die Sinnesbelastung beim Fahren eines motori-

sierten Zweirades mindestens doppelt so hoch ist wie beim Fahren eines Pkw, zeigt die Relevanz von „Umweltkomfort-Systemen“ beim motorisierten Zweirad.

Doch was verstehen wir genau unter diesen?

*„Umweltkomfort-Systeme“ sind technische Hilfsmittel, die das Fahren eines motorisierten Zweirades für den Bediener (Fahrer) hinsichtlich Geruch, Licht, Schwingungen/Vibrationen, Lärm und Klima erleichtern.*

Darüber hinaus spielen auch die „Haltungs- und Bedienungskomfort-Systeme“, die den „Ergonomie-Systemen“ zuzuordnen sind, eine wichtige Rolle.

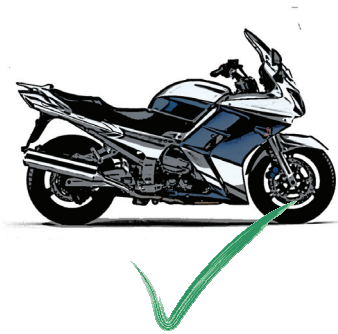
Denn unter „Ergonomie“ versteht man allgemein die Wissenschaft von der Gesetzmäßigkeit menschlicher Arbeit, mit dem Ziel, die Schnittstelle zwischen Benutzer und Maschine zu verbessern, um eine geringere Belastung für den Benutzer und somit eine effizientere und sichere Bedienung zu ermöglichen. Da deren Wirksamkeit auf die Fahraufgabe anerkannt ist, erübrigt sich eine nähere Erläuterung.

Beide Systeme, sowohl die „Umweltkomfort-Systeme“, als auch die „Haltungs- und Bedienungskomfort-Systeme“, lassen sich zu einem Obergriff der „Komfort fördernden Systeme“ zusammenfassen. Dabei verstehen wir unter Komfort den Zustand der Entlastung und Unterstützung, weniger den des Gefallens oder des Luxus'. Auch aus dieser Zuordnung wird deutlich, dass Komfort-Systeme in diesem Sinne den Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern zuzuordnen sind. Fehlt der Komfort, so führt er zwangsläufig zu einem Diskomfort, der gleichzeitig mit einer erhöhten Beanspruchung, mit einer Zunahme an Erschöpfung und somit an Müdigkeit, aber auch einer Verminderung der Aufmerksamkeit verbunden ist. Ein Kreislauf mit Auswirkungen, weshalb Komfort-Systeme dem Fahrer eines motorisierten Zweirades bei seiner Fahraufgabe aus sicherheitstechnischer Sicht sehr wohl dienlich sein können.

Stellt man an dieser Stelle noch einmal einen direkten Vergleich mit dem Pkw an, so sind bei diesem die gerade genannten Systeme in der Regel eine Selbstverständlichkeit.

## 5. Definition von „Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern (FAS-M)“

Wie aus den vorangegangenen Kapiteln ersichtlich wurde, gibt es keine einheitliche Definition bezüglich der Fahrer-Assistenzsysteme. Um dem motorisierten Zweirad bzw. dem Fahren eines motorisierten Zweirades und seinen spezifischen Eigenschaften gerecht zu werden, wurde im Rahmen dieser Studie eine neue Definition für Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern formuliert.



Die folgende Definition bezieht sich ausschließlich auf die Fahrzeugebene, also auf Systeme, die dem Fahrzeug zuzuordnen sind. Es wurde hier ganz bewusst eine Trennung vorgenommen, obwohl zahlreiche Ausstattungen für Fahrer motorisierter Zweiräder existieren,

die selbstverständlich auch die *Aktive Sicherheit* fördern. 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 zuzuordnen sein.*

### Definition:

*The term “Advanced Rider Assistance Systems for Powered Two-Wheelers (abbr. ARAS-PTW)” denotes equipment which supports and assists the operator of a powered two-wheeler and/or reduces the stress and strain for the rider.*

*It is a means of active safety (accident avoidance) but also influences accident results during a pre-crash-phase in a positive way.*

*An ARAS-PTW should be assigned to at least one of the three levels of rider tasks.*

Nach obiger Definition dienen Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern überwiegend der *Aktiven Sicherheit*. Deshalb fallen Systeme wie *eCall* oder solche, die z. B. den Kraftstoffverbrauch und somit die Emissionen senken, nicht in die Gruppe der FAS-M. Dazu gehören auch elektrische Motoranlasser, die lediglich zum Starten des Fahrzeugs dienen.

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. Deshalb zählen auch Systeme, die für den Fahrer eines Pkw selbstverständlich sind [Windschutzscheibe, Scheibenwischer (wenn es die bei motorisierten Zweirädern gäbe), Heizung, etc.], zu den „Fahrer-Assistenzsystemen an motorisierten Zweirädern“.

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.

Ausgehend von der bereits bekannten Einteilung der Fahrer-Assistenzsysteme werden diese um die „**Komfort fördernden Systeme**“ erweitert, die sich ihrerseits in „**Bedienungs-/Haltungskomfort-Systeme**“ und „**Umwelt-Komfort-Systeme**“ unterscheiden lassen (siehe Abb. 10).

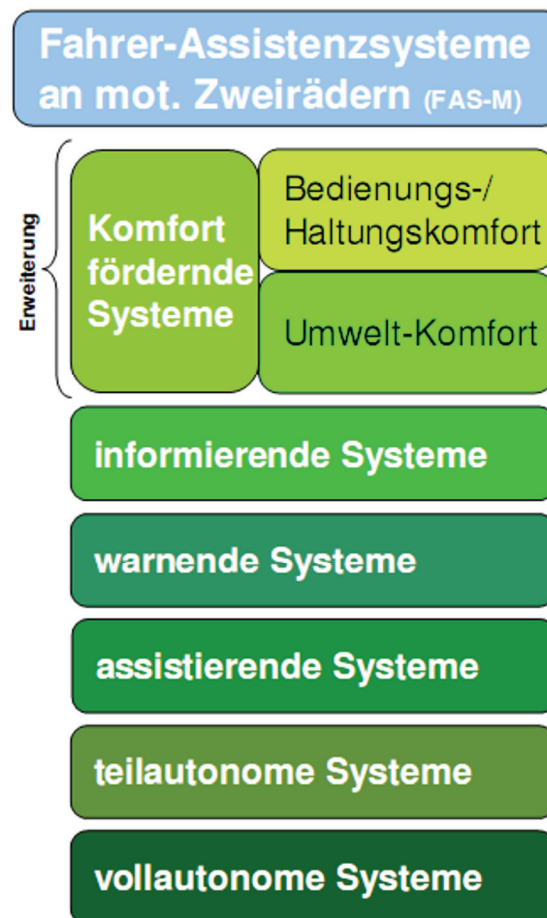


Abbildung 10: Die Einteilung der FAS-M



## 6. Übersicht derzeitiger Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern (Stand: 09/2010)

Nach der Definition und Einteilung der „Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern“ lassen sich folgende Komponenten als FAS-M auflisten. Auch wird nach deren Unterstützung der Fahraufgabe unterschieden. Um Doppelnennungen zu vermeiden, verlaufen die Grenzen bei der Einteilung einiger Systeme fließend.

### Komfort fördernde Systeme:

- Bedienungs-/Haltungskomfort-Systeme:
  - Bedienungsebene:
    - Schalthilfen
      - Vollautomatik-Getriebe – auch stufenlos
      - Halbautomatik-Getriebe
      - Doppelkupplungsgetriebe
      - Schaltautomaten (1)
    - Rückfahrhilfe (Rückwärtsgang) (2)
    - Elektrohydraulisch betätigter Hauptständer (2)
    - Automatische Blinkerabschaltung (3)
    - Radialhauptbremszylinder (4)
    - Verstellbare Sitzbank
    - Verstellbarer Lenker
    - Verstellbare Fußrasten
    - Verstellbare Hand- und Fußhebel
- Umwelt-Komfort-Systeme:
  - Manöverebene:
    - Xenon-Scheinwerfer
    - Adaptives Kurvenlicht
  - Bedienungsebene:
    - Einstellbares Fahrwerk
      - Einstellbare Federvorspannung
      - Einstellbare Dämpfung
      - Niveau-Regulierung
    - Elektronisch einstellbares Fahrwerk
      - „ESA“, „DES“; Federvorspannung und Dämpfung verstellbar

- Windschutz
  - Verkleidung
  - Mechanisch/elektrisch verstellbare Windschutzscheibe
- Beheizbare Handgriffe
- Beheizbare Sitzbank
- Sonstige Heizungs- und/oder Kühl-(Belüftungs-)Systeme

### **Informierende Systeme:**

- Navigationsebene:
  - Radio mit Verkehrsfunk
  - Navigations-Systeme
- Manöverebene:
  - Kraftstoff-Anzeige
- Bedienungsebene:
  - Leerlauf-Kontrollleuchte (5)
  - Ganganzeige (6)
  - Schaltblitz (7)

### **Warnende Systeme:**

- Manöverebene:
  - Kraftstoff-Reserveanzeige (8)
  - Außentemperaturanzeige
  - Bremsbelags-Verschleißanzeige
  - Reifendruckkontrolle
  - Tagfahrlicht (9)
  - Warnblinklicht (10)

### **Assistierende Systeme:**

- ---

### **Teilautonome Systeme:**

- Bedienungsebene:
  - Tempomat
  - Berg-Anfahrhilfe (MHG) (11)

## Vollautonome Systeme:

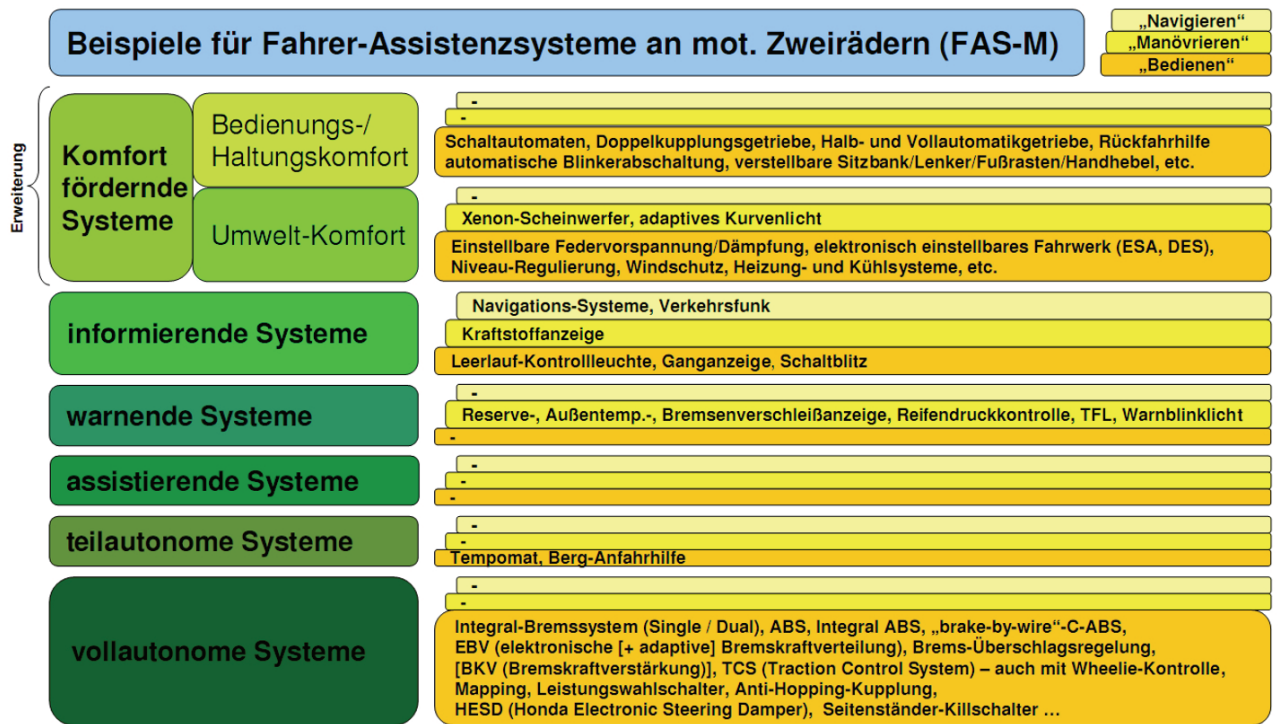
- Bedienungsebene:
  - Integral-Bremssystem
    - Single- / Dual-
    - EBV (elektronische Bremskraftverteilung)
    - Adaptive Bremskraftverteilung
  - ABS
    - Integral ABS
    - „Brake-by-wire“ C-ABS
  - Brems-Überschlagsregelung (Stoppie-Kontrolle)
  - Bremskraftverstärkung
  - Traktions-Kontrolle
  - Wheelie-Kontrolle
  - Mapping
    - Leistungswahlschalter/Fahrprogramme
  - Anti-Hopping-Kupplung
  - Elektronisch geregelte Lenkungsdämpfer
  - Seitenständer-Killschalter (12)

*(Diese Liste erhebt keinen Anspruch auf Vollständigkeit)*

### Bemerkungen:

- (1) Schaltautomaten beugen einer Ermüdung der Kupplungshand vor und erzeugen geringere Fahrwerksreaktionen während des Gangwechsels.
- (2) Schwere Einspurfahrzeuge lassen sich entgegen Zweispurfahrzeugen nur mit großer Kraftanstrengung einparken oder rangieren. Von daher dienen sowohl die Rückfahrhilfe als auch der elektrohydraulisch betätigte Hauptständer der Sicherheit vor dem Umfallen.
- (3) Die automatische Blinkerabschaltung bewirkt die Rückstellung eines Fahrtrichtungsanzeigers und verhindert somit unbeabsichtigtes „Weiter-Blinken“ z. B. nach einem Abbiegevorgang (häufige Praxis). Das Nicht-Abschalten des Blinkers kann zu gefährlichen Situationen mit anderen Verkehrsteilnehmern führen, die somit fehlinformiert werden.

- (4) Der Radialhauptbremszylinder bietet bei Nicht-ABS-gebremsten Krafträdern gegenüber den herkömmlichen Systemen ein deutlich besseres Gefühl für den Druckpunkt, wodurch die Wahrscheinlichkeit des Vorderrad-Überbremsens sinkt.
- (5) Die Leerlauf-Kontrollleuchte ist für die Bedienung eines motorisierten Zweirades aufgrund des sequenziellen Schaltschemas sehr hilfreich.
- (6) Durch das sequentielle Schaltschema des Getriebes weiß der Fahrer nie genau, ob er bereits im höchsten Gang fährt. Von daher finden häufig „leere“ Schaltvorgänge statt, die bei einer Ganganzeige nicht vonnöten sind.
- (7) Obwohl der Schaltblitz ursprünglich aus dem Rennsport stammt, kann er dem Fahrer auch im öffentlichen Straßenverkehr nützlich sein. Grund: Da der notwendige Blick auf den Drehzahlmesser entfällt, bleibt die Konzentration für die Straße und den Verkehr zu 100% erhalten.
- (8) Seit der Einführung der Kraftstoff-Reserveanzeige erübrigt sich das manuelle Umschalten des Benzinhahnes. Früher führte dies zu gefährlichen Fahrmanövern; man denke hier nur z. B. an den Zeitpunkt während eines Überholvorganges.
- (9) Das Tagfahrlicht ist ein Selbstschutz, indem man andere vor sich selbst warnt bzw. auf sich aufmerksam macht.
- (10) Das Warnblinklicht ist gerade bei Motorradfahrern ein Selbstschutz, damit sie z. B. an einem Stauende die nachfolgenden Verkehrsteilnehmer warnen können und nicht überfahren werden.
- (11) Die Berg-Anfahrhilfe gibt es zurzeit noch in keinem Serien-Motorrad. Für die Funktion ist ein Integral-Bremssystem erforderlich.
- (12) Der Seitenständer-Killschalter ist in sofern ein FAS-M, da er die Stellung des Seitenständers überwacht und ein Anfahren mit dem motorisierten Zweirad nur bei eingeklappter Stellung zulässt. Darüber hinaus wird auch ein Federbruch während der Fahrt erkannt und die Zündung sofort unterbrochen. Ohne diese Sicherheitsfunktion passierten früher sehr viele Unfälle.



**Bemerkung: Die Grenzen einzelner Systeme sind stellenweise fließend!**

Abbildung 11: Beispiele für Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern (FAS-M)

## 7. Zusammenfassung

Eine vom ifz durchgeführte Befragung zum Thema Fahrer-Assistenzsystem (FAS) hat gezeigt, dass unter den Fahrerinnen und Fahrern motorisierter Zweiräder deutliche Defizite im Wissen um Fahrer-Assistenzsysteme bestehen.

Die sich anschließende Literatur-Recherche bezüglich der Definition von Fahrer-Assistenzsystemen hat auch deutlich gemacht, dass es zum einen sehr viele unterschiedliche Definitionen gibt, zum anderen aber keine, die den motorisierten Zweirädern gerecht wird. Der Grund hierfür ist relativ einfach: Der Begriff *Fahrer-Assistenzsystem* stammt aus dem Automobil-Bereich.

Deshalb wurde – unter Berücksichtigung der spezifischen Belange eines motorisierten Zweiradfahrers – die aus dem Automobil-Bereich bekannte Einteilung der Fahrer-Assistenzsysteme erweitert und eine neue Definition für **Fahrer-Assistenzsysteme an motorisierten Zweirädern (FAS-M)** geschaffen, die es in Zukunft ermöglichen soll, die entsprechenden Systeme direkt einordnen und mit einem all-gemeingültigen Oberbegriff benennen zu können.

Die Herleitung der Definition erfolgte unter Bezugnahme auf die drei Ebenen der Fahraufgabe sowie der zweiradspezifischen Belange, die insbesondere durch die sogenannte Komfort-Pyramide deutlich wurden.

Die Studie endet mit einer Auflistung der bereits realisierten FAS-M.

## **Safety In Motion (SIM). Integrated approach for motorcycle safety**

## **Safety In Motion (SIM). Integrierter Ansatz für Motorradsicherheit**

Marco Pieve, Mario D. Santucci, Onorino Di Tanna

Scooter Technical Innovation - Piaggio & C. SpA

## Abstract

The outcomes of Safety In Motion EU Project (6<sup>th</sup> Framework Programme) are presented, describing how a suitable safety strategy, aimed at decreasing accidents involving a powered-two-wheelers (PTWs) and related consequences for riders (injuries and fatalities), has been identified. The application of such a strategy is concretized in an integrated PTW concept vehicle equipped with active safety features (a stability management system and an automatic variable damping suspension system), a passive safety system (airbag fitted on the vehicle combined with a wearable inflatable device) and an innovative HMI (Human Machine Interface) concept for motorbike. The selected vehicle platform is the tilting three wheelers Piaggio MP3, because of its intrinsic active safety characteristics.

Starting from motorcycle accident in-depth analyses, a methodology for evaluating *a-priori* the effectiveness of safety systems is defined and applied; particular attention is devoted to the analysis of brake systems since they are the primary safety device for PTWs.

Development of each safety device is carried out through virtual simulation (multibody and crashworthiness analyses) experimentally validated by laboratory and road tests as well as full scale crash tests in two ISO standard constellations.

The active safety systems are assessed by measuring the improvement in accident avoidance capabilities and comfort respect to the baseline vehicle.

The effectiveness of the passive safety system is evaluated by comparing dummy injuries resulted by full scale crash tests within the same configurations performed with and without safety devices. Reduction of critical biomechanical values is considered as successful criterion.



## **Safety In Motion (SIM). Integrated approach for motorcycle safety**

# 1 Reference scenario

Despite the benefits brought to individual mobility in terms of avoiding congestion problems in urban travelling and reduction of CO<sub>2</sub> emissions, PTWs are still subject to relevant safety issues limiting the dissemination of this kind of transport mean. Beside a relevant reduction of fatalities associated to a grown circulating park (-7% fatalities from 2000 to 2005 despite +5% PTWs on European roads), motorcycle accidents account for 22% of the total fatalities on the European roads (Figure 1). For such a reason, providing higher safety standards to customers is the first priority of the motorcycle Industry in cooperation with several stakeholders, including local, national and European authorities.

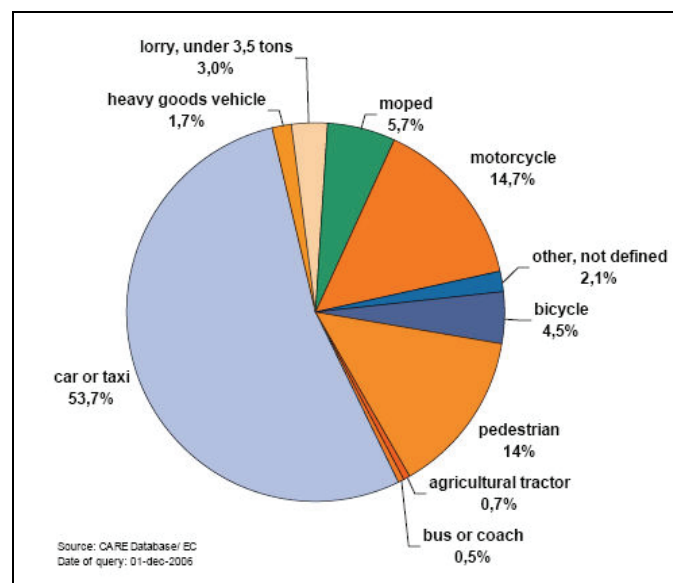


Figure 1 - Road accident fatalities distribution in EU-14 in 2006

In this scenario, the official publication of the MAIDS (Motorcycle Accident In-Depth Study) Project report on November 24th, 2004, represents a topical moment: for the first time in Europe a comprehensive analysis of the causes of motorcycles road accidents was brought to the attention of all stakeholders (Industry, Users, Academy and Institutions) highlighting the key risk factors on which prioritise interventions [1].

MAIDS was developed by the motorcycle Industry because of the need to reach a shared knowledge about motorcycle accidents, so to improve the safety of this valuable transport mean; the major findings of the study, based on 921 motorcycle accidents collected in five European countries (France, Germany, Italy, Netherlands and Spain) were the following:

- In 37% of cases, PTW rider failure was the primary contributing factor of the accident;
- In 50% of cases, the primary contributing factor was a human error of the OV (opposing vehicle) driver;
- OV driver holding PTW licences were less likely to commit a perception failure than those without a PTW licence (i.e.: they did not see the PTW or its rider);
- In 73% of cases, PTW riders attempted some form of collision avoidance immediately prior to impact. Of these, 32% experienced some type of loss of control during the manoeuvre;
- Protective clothing was found to reduce, but not eliminate, minor injuries. These injuries were the most frequent and located in upper and lower extremities. The most critical injuries were present in torso, spine and head.

## 2 A comprehensive approach

On the basis of MAIDS findings and according to the Plan for Action 2006-2010 proposed by ACEM, Piaggio took the responsibility to lead the Safety In Motion (SIM) Project (2006-2009), a collaborative research project co-funded by the European Commission DG RTD under the 6<sup>th</sup> Framework Programme within the Research domain 4.1.3 that referred “Developing integrated safety systems which are reliable and fault tolerant (preventive, active and passive) taking into account human-machine interface concepts focusing on the system implementation”.

The main objective of Safety In Motion (SIM) project is to develop an innovative vehicle with new active, passive and preventive safety devices proven to be effective in reducing accident’s involvement of PTWs and related consequences for riders (injuries and fatalities).

The comprehensive approach followed during the SIM project is based on a matrix relationship between the three main factors or **pillars for safety** (motorbike, motorcyclist and infrastructure) as identified in the MAIDS study and the different aspects related to accident dynamics, from before-precipitating event to crash event, dealing with **preventive**, **active** and **passive** safety (Figure 2).

**Safety areas**

		ACTIVE	PREVENT.	PASSIVE	POST-CRASH
Pillars of safety	PTW	Suspensions, Brakes, ABS, ESP...	HMI, conspicuity, ...	Limbs protection, kinematics, algorithm, ...	e-Call
	RIDER HELMETS/ CLOTHING	Training and Education	HMI, comfort, strap fasten, info exchange conspicuity ...	Helmets & Clothing performance ...	
	INFRASTRUCTURE	Maintenance, audits, ...	e-Safety	Performance when a motorcyclist impacts	Maintenance, repair, ...

Figure 2 - SIM in the Safety Matrix

SIM project workflow has been carried out in three main phases:

- accident analysis;
- development of safety systems;
- application and tests.

### 3 Outcomes of accident analysis

The main outcome of the accident analysis performed within SIM project is the identification of a suitable safety strategy for PTWs. Starting from results of previous accident studies (i.e. APROSYS SP4 project [2]) in which seven scenarios have been identified as the most frequent and dangerous for PTWs, a list of shared parameters has been selected and analyzed through in-depth PTW accidents databases available within SIM consortium (MAIDS database, DEKRA PTW database and GIDAS 2002 and 2003).

The first part of the analysis was aimed at providing a general insight about the accident occurrence, by comparing three different in-depth sources on motorcycle accidents [3]. The analysis of case-related accident characteristics has been further applied for the effectiveness evaluation of safety technologies.

The analysis and selection of the potential improvement of PTW and rider protective equipment have been carried out through extensive literature review and state of the art in the automotive and PTW field.

Market availability and potential transfer to PTW field, as well as technical feasibility have been applied as additional criteria in order to make effective the technology selection.

This “technology-oriented” approach is the basis for the study of solutions that can be realistically exploited in the market in a short-mid term. Such technologies have been evaluated considering their potential effectiveness when applied in a number of fully reconstructed cases extracted from DEKRA PTW database and compliant with the identified scenarios [4].

In order to evaluate the benefit of an advanced braking system 51 DEKRA cases have been chosen depending on reaction demand and subsequent rider braking behaviour.

20 cases from DEKRA database were analyzed for the effectiveness evaluation of passive safety devices (airbag, leg protectors and wearable devices). The selected cases were characterized by having PTW impact against passenger car, PTW in upright position and rider severely injured or killed.

Finally a **safety strategy** has been identified by selecting the following safety systems requirements to be implemented into an integrated concept design:

- Active Brake System;
- Stability management by traction control (TCS);
- Semi-Active Suspension System;
- On board airbag;
- Inflatable wearable device;
- Information Management Board for motorbikes (IMB);
- Enhanced Human Machine Interface (HMI) made of ergonomic handlebar controls, wireless communication and Head-Up Display (HUD).

## 4 Safety system development

The vehicle platform chosen for the SIM integrated safety concept is the tilting three wheelers Piaggio MP3 that has a dynamic and riding behaviour similar to the conventional motorcycles: MP3 suspension system with two front wheels allows a totally free tilting motion with the resultant of ground forces aligned to the symmetry plane of the vehicle and the tilting angle dependent on forward speed and bend radius (Figure 3).

MP3 provides an enhanced level of safety and handling compared with a conventional scooter because of the layout of the innovative front suspension that takes some advantages [5]:

- the double front contact patch improves the stability at high speed and reduces the braking distance up to 20%;
- the vehicle is not sensitive to road surface changes and obstacles (e.g. bumps and holes) and provides a great directional feeling to the rider.

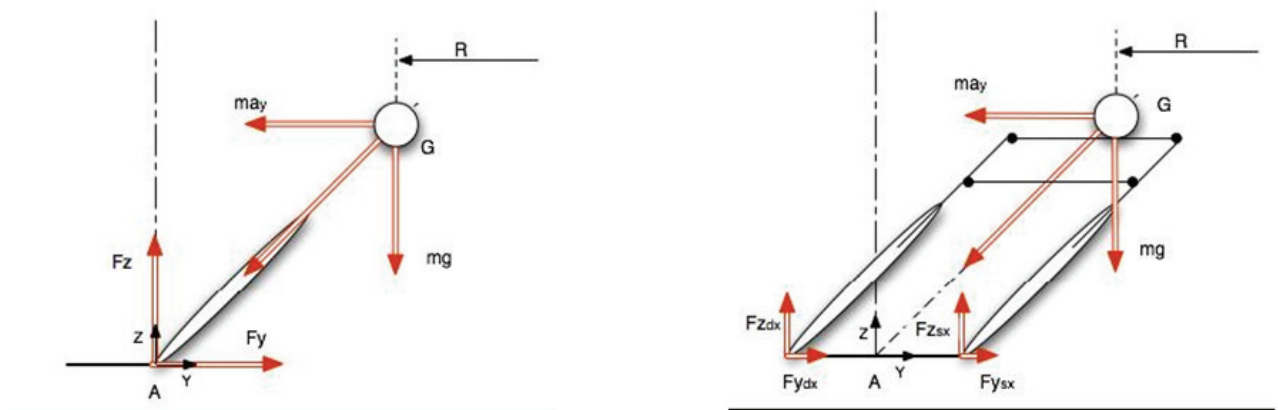


Figure 3 – Piaggio MP3 equilibrium conditions

For this reasons Piaggio MP3 has been selected as the most promising research platform; nevertheless it also fits from the passive safety point of view, thanks to the unconventional front suspension elements that acts as an effective energy absorption structure in the case of frontal impact, enhancing the benefits from passive safety devices.

The SIM prototype has been arranged with several sensors (specific for active and passive subsystems) and Electronic Control Units (ECUs) as well as a dedicated CAN bus architecture for exchanging data between all implemented safety systems. Final prototype is shown in Figure 4.



Figure 4 – SIM integrated prototype with all safety features

In order to develop the active and passive safety systems to be implemented on SIM demonstrator, several kinds of mathematical models has been used with growing complexity and level of detail. For what concerns the first project part in which a preliminary effectiveness analysis has been performed, simple numerical models have been used for the identification of advanced brake systems and electronic suspensions in terms of probability of accident avoidance based on detailed real case scenarios extracted from DEKRA database.

In the following development phases, for each safety device or project objective, specific models have been realized ranging from multibody virtual prototypes for brake, suspensions and airbag systems development to different kind of FE models for both fluid dynamics and advanced crash simulation (Figure 5).

The control systems (for active braking, traction control, electronic suspensions and crash detection systems) have been also defined and virtually tested in simulation environment in order to choose the most appropriate algorithms and set-up properly the high number of parameters needed for obtaining a fully optimized system.

All models have been experimentally validated through baseline tests specifically realized during the initial phases of the project.

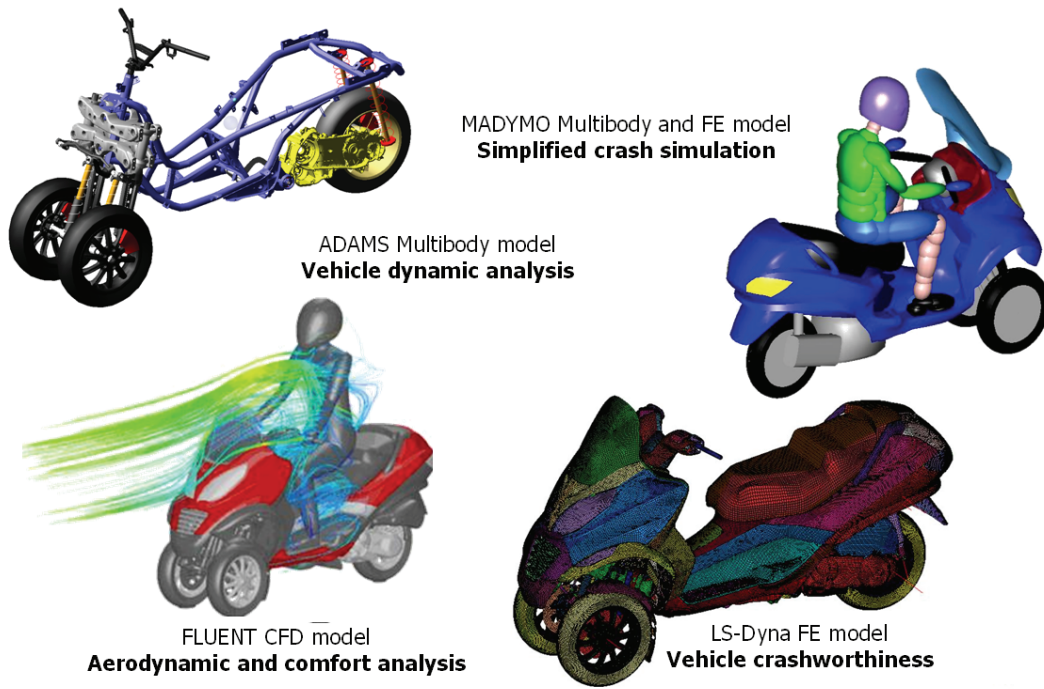


Figure 5 –Virtual models for different kind of analyses.

The suspension tuning can be taken as an example of the approach used: in Figure 6 the results obtained in simulation of rough roads passages for different setups, both for passive and semi-active configuration, are reported in terms of comfort (y-axis) and handling (x-axis) objective. The best handling and comfort values for passive suspensions are given as reference values.

The blue line represents the trend that can be obtained with passive suspensions by increasing damping values. It is evident that, up to a certain value, the handling is improved by decreasing vehicle comfort. From this point on, further damping increase worsens the results as commonly verified on sport motorcycles that can achieve great performances on flat roads but suffers of excessive loss of tire contact on rough surfaces such as city paved roads.

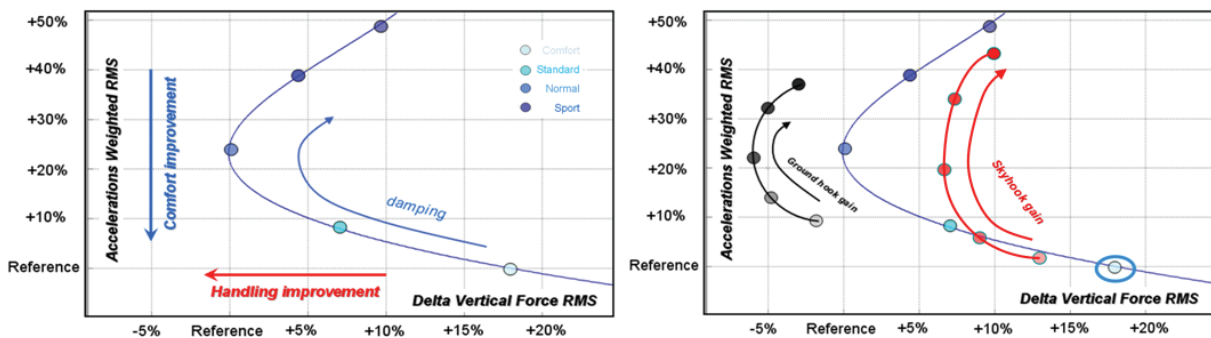


Figure 6 – Simulation results for electronic suspensions setup.



The red and black curves represent the results achievable with a continuously variable damping adapted in real time depending on actual vehicle and wheel motion; respectively the classic ground and sky hook algorithms are shown for different tuning parameters (gains). It is evident that the ‘Sky-hook’ cannot provide significant advantages in the considered application, while an optimized ground hook strategy provides a reduction of vertical forces fluctuation up to 6% respect to the best passive setup with better comfort values. For such reasons, a simulation of passive suspensions with low damping values has been chosen as ‘comfort’ setup (similar to the standard Mp3 vehicle), while the ‘Groundhook’ is used in a firmer setting indicated as ‘dynamic’ setup.

In Figure 7, the comparison of simulated signals and experimental tests is presented for suspensions motion, vehicle body velocity and damping control current in a fast lane change manoeuvre, showing a strong correspondence in terms of dynamics and algorithm functionality.

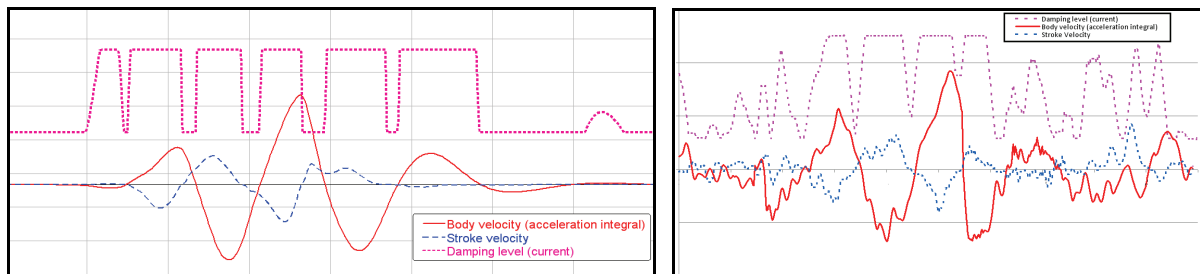


Figure 7 – Comparison between simulated and experimental tests for suspensions algorithm

#### 4.1 Active safety devices

The active safety strategy implemented on SIM prototype is based on electronic active brake system and semi-active suspensions based on solenoid controlled valves (Figure 8). The main characteristic of both systems is the capability of automatically react to rider input in terms of vehicle behaviour and road condition through the optimal use of the available adherence in every situation.

A **stability management system** has been implemented with the following advanced functions:

- active brake force distribution for optimal front and rear wheel torques split independently from rider input on the levers;
- three channels ABS with control of single wheel behaviour for stability enhancement while braking on uneven surfaces;
- rear wheel lift off protection in order to avoid vehicle forward rollover;

- special brake algorithm for bad roads recognition and ABS parameters modifications thanks to communication with suspension system;
- roll dependent brake force management for improving stability during in-curve deceleration;
- traction control with combined brake force and engine torque modulation;
- three stage (‘Comfort’ – ‘Dynamic’ – ‘Automatic’) suspension management for wheel forces and comfort optimization;
- automatic suspension setting for real-time adaptation to strong lateral acceleration, fast transient conditions and emergency brake situations in cooperation with ABS system management;
- “groundhook” algorithm implementation (‘Dynamic mode’) for ground contact forces optimization.

Each subsystem has been previously tested on bench and in simulation environment in order to setup the main functioning characteristics and then installed on the final prototype with a dedicated ECUs that communicate through CAN bus.



Figure 8 – Active safety systems overview.

## 4.2 HMI information management system for motorbike

The main outcome of preventive safety enhancement is the design and realization of a new concept of HMI called **Information Management Board (IMB)** that plays a relevant role in supporting the active safety system for accidents prevention. The HMI concept (Figure 9) is able to optimise the information flow between the rider and the on board systems with the aim of improving rider focus on driving manoeuvres as well as his awareness of vehicle status and scenarios.

The dedicated HMI display is placed above the standard vehicle dashboard, close to the horizon line in order to minimize eyes movements from road to the display.

The Head-Up Display is integrated in the helmet housing just in front of rider's dominant eye, together with a microphone and audio headsets. Both helmet channels are linked to IMB through wireless communication (Bluetooth protocol).

A set of handlebar controls is available for the rider while travelling and allows to answer to incoming calls and to call a phone number through speech recognition functionality.

The SIM Information Management Board is designed and developed in order to manage both in-vehicle data flow and the information coming from rider personal mobile phone as well as the onboard navigation systems. Not critical information (such as navigation instructions and incoming call) are displayed on the HMI display and repeated into the helmet speakers via audio Bluetooth signal, while critical messages are sent to the rider in a redundant way. For instance, a warning related to ECU malfunctioning or a threshold limit exceeding is displayed on the HMI display and replicated either through audio channel and visual mode on the Head-Up display.

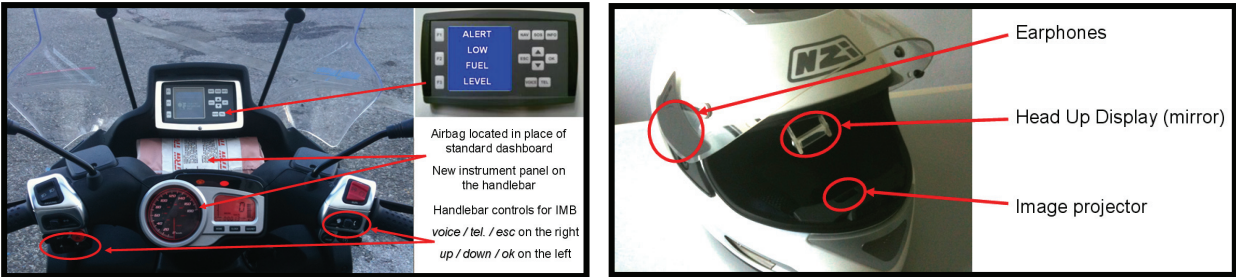


Figure 9 –SIM prototype HMI components.

### 4.3 Passive safety devices

According to the PTW safety strategy defined within the project, passive safety level has been improved by a cooperative system with the aim of protecting rider from the primary and secondary impact. The system (Figure 10) consists of an **onboard airbag** and an **inflatable jacket**. The airbag has been installed replacing the standard dashboard, while the airbag jacket is worn by the rider and activated in wireless mode.



Figure 10 – Passive safety cooperative system.

The two devices are activated by the same detection system with a Time-To-Fire algorithm that has been defined and calibrated through virtual simulations, sled tests and full scale crash tests against car in two significant configurations already selected in APROSYS project and compliant with ISO 13232 standard [2][6].

In order to fulfil the requirement of very early detection of crash event due to the lack of restraint system for the rider, several sensors have been placed on the most sensitive locations of the vehicle with particular attention to potential unintended activations. The complex logic for inflatable devices triggering is based on evaluation of vehicle speed variation through integration of all acceleration signals in order to avoid both unnecessary firing of devices and to establish needed redundancy in case of sensor fault.

The results of multibody simulations assessed in the first stages of the project have shown the effectiveness of frontal and wearable airbags by mitigating injuries respectively in primary and secondary impacts. The development of specific frontal airbag for the SIM project has been realized through extensive virtual and experimental tests in order to evaluate dummy kinematics and related injuries by body region.

## 5 System test results

### 5.1 Vehicle dynamic tests

Several tests have been realized both on flat and rough surfaces for the effectiveness evaluation of different suspension setup in conjunction with adaptive brake system. Thanks to the communication established between suspensions systems and ‘smart’ brake plant it is possible for both systems to recognize immediately the vehicle behaviour and adapt by consequence.

Regarding to the suspension system, the strategy implemented is based on the following criteria: in ‘Automatic’ modality the suspension is set in its normal operational state to the ‘Comfort’ algorithm that strongly limits accelerations perceived by the rider. When one (or more) of the conditions listed in Table 1 is verified, the suspension management ECU, triggers immediately the ‘Dynamic’ mode that, despite lower comfort levels, guarantees the best contact forces:

*Table 1 - Suspensions control parameters*

<b>Parameter</b>	Roll angle	Roll velocity	Brake demand	Throttle demand
<b>Threshold</b>	25 deg	25 deg/s	60%	70%

In such a way, thanks to the interaction with the brake and engine ECUs, the most appropriate setting is activated only when strictly necessary in a completely ‘transparent’ manner for the rider who perceives only the best aspects of each configuration. The ‘Dynamic’ mode is based on ground-hook algorithm that modifies actual damping levels depending on ‘real-time’ wheels and vehicle body movements, achieving levels of adherence of a stiff sport suspension but avoiding the related discomfort and loss of grip on bumpy roads [7].

A strong contribution to stability on wet roads comes from the traction control that with an inverse ABS algorithm modulates through CAN bus both engine output and rear brake active management in order to keep the wheel on low slip regions and maintaining the possibility to generate stabilizing lateral forces also during strong accelerations. It has to be noted that all thresholds for traction and brake control are dependent on roll angle that is easily measured in an affordable way on MP3 through the rotation of four bar linkage in respect to vehicle frame (Figure 11), representing a strong innovation in electronic systems management for PTW and allowing to avoid the most dangerous situation of wheel spin of lock during cornering.

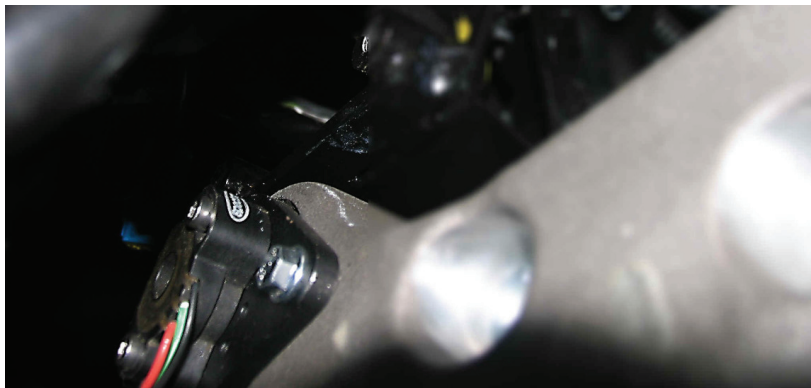


Figure 11 –Roll angle mechanical sensor.

As a concrete example of enhancement of vehicle safety performances, in Figure 12 the data acquired directly from prototype CAN bus are shown for a very complex manoeuvre of steering for obstacle avoidance followed by a panic brake. After the first direction change at maximum allowed roll angle (42 degrees), easily performed thanks to smart suspension management, the rider actuates with full force only the front lever when still at peak inclination value. After a negligible delay also the rear brake plant starts to automatically build up optimal pressure thanks to the strong integration in vehicle dynamic behaviour. As result, beside the first part of braking is performed in curve situation, the SIM prototype achieves a deceleration of 0.88g by acting on a single lever and without any need to modulate the pressure on front and rear plants. It is worth to mention that a skilled tester with the standard MP3 on the same surface can achieve on straight line a maximum deceleration of 0.85g by carefully acting on two separate levers.

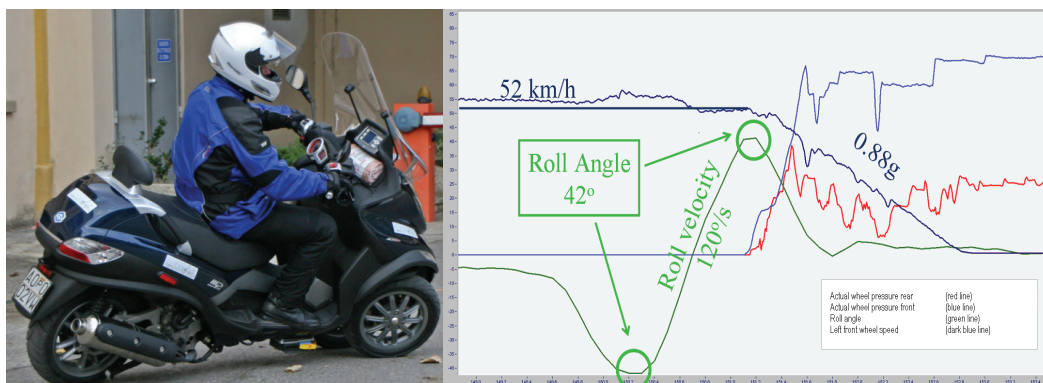


Figure 12 – Vehicle data for lane change with braking.

## 5.2 Full-scale crash tests results

Accordingly to the outcomes of APROSYS SP4 project, the constellations 114 (PTW impacts upright under 45° into the front of the car) and 413 (PTW impacts upright under 90° into the side of the car), as defined in ISO 13232 standard, have been chosen for full-scale crash test investigation. Partial (sled tests) and full scale crashes have been performed with the aim of fine-tuning the triggering algorithm as well as for comparing the respective dummy responses, with and without passive safety systems.

Airbag jacket and frontal airbag have been tested in full crashes: first as standalone and then in cooperative configuration. In Figure 13 the sequence of a crash test with airbag only in 413 moving-moving configuration is shown, with the passenger car moving at 24 km/h and the PTW impacting at 48 km/h, while in Figure 14 tests of airbag combined with airjacket in 114 and 413 moving-stationary configuration (car in static position) are shown.



Figure 13 – Pictures sequence of full-scale crash test in 413 configuration with airbag



Figure 14 - Crash tests in 114 and 413 configurations with airjacket + frontal airbag

The effectiveness of the passive safety systems has been evaluated by comparing the biomechanical values measured on the instrumented dummy with data from baseline crashes, (i.e. without any passive safety device) performed within APROSYS Project. The analysis showed that in 413 mov-stat baseline configuration the indexes related to upper neck (tension forces and bending moment) were above the allowable thresholds resulting in a fatal accident. In the baseline configuration for 413 moving-moving, biomechanical values exceeded the limits for head acceleration resultant and Head Injury Criterion (HIC). Also the amplitude of neck forces and moment were close to the limits. In both mentioned crash tests, the values registered for dummy femurs injuries were critical.

In final tests with combination of airbag and airjacket the biomechanical indexes decreased significantly below the thresholds:

- in mov-mov, the head injuries were reduced by 95% (for acceleration) and by 76% (for HIC) while average reduction of 74% has been obtained for upper neck forces;
- in mov-stat the most relevant result is the reduction of neck injuries (– 74% overall).

Tests in 114 constellation demonstrated that devices are not harmful for the rider. Such important results are due to the effective protection of the dummy from both primary (by frontal airbag) and secondary impact (inflatable garment) allowing for a measurable improvement of motorcycle crashworthiness.

## 6 Conclusions

A suitable and integrated safety strategy for PTWs has been identified and summarized in an **integrated concept design of PTW, helmet and clothing**. All developed active, passive and preventive safety features have been implemented in the SIM vehicle prototype, based on the Piaggio MP3 tilting three wheelers.

The active safety systems have been evaluated in terms of handling and braking performances, while the full crash tests have been performed in order to assess the injuries reduction.

Compared with the baseline vehicle (without any safety device) main results are an increase of braking performances in every road conditions (i.e. rough roads) and stability control enhancement on rough and wet surfaces as well as in cornering manoeuvres together with reduction in the selected accident configurations of injuries suffered by head and neck to values tolerable for the rider.



## References

- [1] Association des Constructeurs Européens de Motocycles ACEM (2004). MAIDS final report v1.3 update 2008, [www.maids-study.eu/](http://www.maids-study.eu/)
- [2] EU project APROSYS (2006). Report D411: National Accident Data, [www.aprosys.com](http://www.aprosys.com).
- [3] EU project SIM (2007). Report D2.1: Report on analyses of motorcycles accidents databases, [www.sim-eu.org](http://www.sim-eu.org) .
- [4] EU project SIM (2007). Report D2.2: Technology evaluation and effectiveness, SIM technical detailed targets, [www.sim-eu.org](http://www.sim-eu.org) .
- [5] Frenzo F., Bartolozzi R. and others (2008). Comparison between experimental and numerical handling tests for a three-wheeled motorcycle. Document number 2008-32-0061. Small Engine Technology Conference, Milwaukee (Wisconsin, USA) – 9-11/09/2008
- [6] ISO (1996). 13232 Standard: Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles – Part 2: Definition of impact conditions in relation to accident data.
- [7] Savaresi S.M., E. Silani, S. Bittanti (2004). Acceleration-driven-damper (ADD): an optimal control algorithm for comfort-oriented semi-active suspensions. ASME Transactions: Journal of Dynamic Systems, Measurement and Control, vol.127, n.2, pp.218-229.

**PISa – Powered two-wheeler Integrated Safety.  
Development, implementation and testing of  
PTW integrated safety systems**

**PISa – Entwicklung, Realisierung und Erprobung integrierter  
Sicherheitssysteme an motorisierten Zweirädern**

Giovanni Savino & Marco Pierini  
Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali,  
Università degli Studi di Firenze, Italy

Rachel Grant, Richard Frampton & Rachel Talbot  
Vehicle Safety Research Centre, Loughborough University, UK

Steffen Peldschus & Erich Schuller  
Institute of Legal Medicine, Ludwig-Maximilians University, Germany

Aernout Oudenhuijzen & Jasper Pauwelussen  
Human Factors, TNO, The Netherlands

Bart Scheepers & Arjan Teerhuis  
Automotive, Integrated Safety, TNO, The Netherlands

Mangaraju Karanam Venkata & Rengarajan Babu  
TVS Motor Company Limited, India

Bernd Roessler  
Ibeo Automotive Systems GmbH, Germany

Matteo Nanetti  
Paioli Meccanica S.p.A., Italy

Roberto Guggia  
Unilab Laboratori Industriali s.r.l., Italy.

Michael G. McCarthy & Wesley Hulshof  
Vehicle Safety and Engineering, TRL Limited, UK.

## **Abstract**

The Powered two wheeler Integrated Safety (PISa) project, funded by the European Commission within the 6th Framework, aimed at identifying, developing and testing new technologies to provide integrated safety systems (ISS) for a range of powered two wheelers (PTWs) to improve primary safety and link to secondary safety systems.

From the analysis of representative crashes involving motorcycles and mopeds, a list of safety systems was prioritised in terms of their contribution to crash avoidance or injury severity reduction. These systems were integrated onto two different types of PTW: a large scooter and a light motorcycle.

Experimental tests with the demonstration vehicles showed the potential benefits of the PISa systems compared to unequipped PTWs. Further system development is required before testing the demonstration vehicles with non-professional riders.

**PISa – Powered two-wheeler Integrated Safety.  
Development, implementation and testing of  
PTW integrated safety systems**

## **Introduction**

The large number of road accidents represents one of the concerns of the European Commission (EC). In 2001, there were almost 50.000 road fatalities in Europe; more than 5,000 of these were powered two wheeler (PTW) riders or pillion riders. In the same year, the EC signed the White paper – ‘European transport policy for 2010: time to decide’, expressing its commitment to sustain the development of new technologies aiming at drastically reducing the number of the road accidents and fatalities. PISa – Powered two wheeler integrated Safety, which started in June 2006 and ended in March 2010, was one of the EC funded projects in the field of road safety and aimed to develop and use new technologies to provide an integrated safety system for a range of PTWs.

The philosophy of the PISa project was to identify the most frequent causes of PTW accidents and select the technologies capable of supporting the riders in critical situations. The review of the previous studies on European PTW accident statistics provided the basis to investigate the most relevant crash types for PTWs in terms of frequency and severity. These were mainly the crashes involving a PTW and a car travelling along the same straight line or approaching a junction from different directions. The systems developed in the PISa project were selected to help riders avoid some of those types of crash and mitigate the consequences of others, thus leading to a reduction in serious injuries. The integrated approach of PISa consisted in the combination of accident avoidance and injury prevention technologies. Two different integrated systems were implemented, both focused on the identification of hazard and enhanced braking combined with the PTW stability, although with different levels of technical complexity and cost.

## **Method**

### **Identification of the integrated safety system**

The approach taken to identify an effective integrated safety system consisted of analysis of a sample of representative crashes which took place in Europe and involved PTWs. Sixty crashes were selected from British and German in-depth accident databases with the main criterion of matching the most frequent accident scenarios identified by the APROSYS project. Each crash was examined to identify relevant safety functions addressing the pre-crash, crash or post-crash phase, which could have helped to avoid the crash or in mitigating the injury outcome. A list of 43 safety functions was obtained, taking into account both the available automotive technologies and new functions. The safety functions were prioritised by a team of analysts in terms of the contribution to crash avoidance or injury severity reduction for the in-depth crashes. The process was based on the frequency of occurrence and how effective the actions of the system were judged to be in the specific accident circumstances. Among

the high priority safety functions, only those which could be installed on a PTW (as opposed to other vehicles or infrastructures) were selected for development. The prioritised safety functions were utilised to define the functional requirements for the development of the integrated safety system. A complimentary survey among motorcyclists in Germany, Italy and the Netherlands was conducted to investigate what the possible rider acceptance of a selection of these safety functions might be.

The safety functions selected for the integrated safety system were:

- Stop PTW - autonomous braking
- PTW to detect other vehicle and warn rider - laser scanner
- Anti-lock braking system (ABS)
- Brake Assist - enhanced braking system (EB)
- Brake Assist - combined braking system/linked brakes (CB)
- Adaptive cruise control (ACC)

Active/anti-dive suspension was also identified, in order to support the operation of the systems identified above.

These safety functions were applied to 2 different PTWs in different combinations as described below.



*Figure 1: Malaguti test bike and TVS test bike*

## **Malaguti scooter**

A 500 cc Malaguti Spidermax scooter was equipped with a frontal detecting system based on a laser-scanner sensor; a distance support system to help the rider maintain the appropriate distance from a leading vehicle; an intelligent braking system, with active and enhanced braking functionalities, to assist the rider in case of an imminent collision; a vibrating saddle to warn the rider; and active suspension for stability enhancement during emergency braking. A state estimator that estimates the motion of the motorcycle has been developed. The integration of the systems mounted on the scooter was achieved by a decision logic running on a dedicated electronic control unit. All the integrated units

communicate with each other via a double channel CAN bus which guarantees the appropriate bus rates and the desired priorities on the messages.

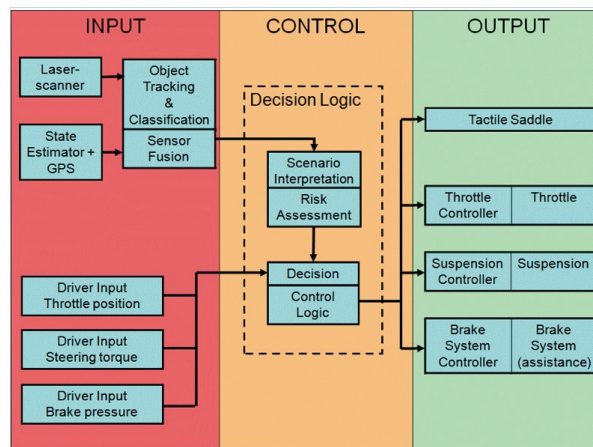


Figure 2: Scheme of the integrated safety system mounted on the Malaguti scooter

## Laserscanner

The main task of the object detection sensor system was to detect, classify and track the objects in the PTW's forward field of view. This information is later used in the control level in order to interpret the situation and to issue warnings to the driver, or to activate autonomous actions within the scenarios addressed by the PISa project.

The “heart” of the system was the Ibeo Lux Laser scanner. This device uses a time-of-flight measurement principle at near-infrared wavelength. The measurement range is up to 200 m, however vehicles and other well reflecting objects are typically detected well beyond this distance. The device is eye-safe (class 1) and has the following features:

- Scan frequency: 12.5/25 Hz
- Field of view (horizontal): 100°
- Range: 0.3 m to 200 m
- Resolution angle: 0.1° to 1°
- Laser class 1
- Built-in processing
- 4 parallel and simultaneous scanning layers
- Ethernet- and CAN-interface



Figure 3: Ibeo Lux Laserscanner

The Laserscanner is capable of full automatic pitch compensation, due to four laser beams working in parallel and simultaneously which produce a vertical field of view of  $3.2^\circ$ . The four beams allow the object tracking while the PTW is pitching and make the system robust for rough road surfaces.

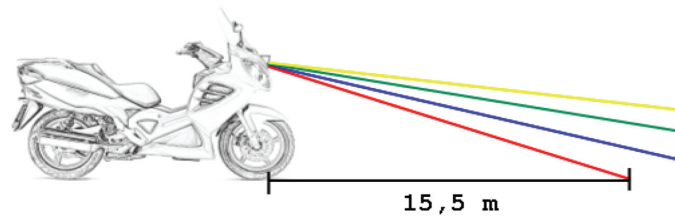


Figure 4: Four layers in parallel produce the automatic pitch compensation

## Data processing

The raw data coming from the scanner are internally processed to produce the object tracking. Ibeo customised the Laserscanner for the application on a motorcycle. Compared to the passenger car application, the PTW is more challenging due to the additional degree of freedom represented by the banking angle (roll). Ibeo developed the algorithms for the ground detection, in order that the scan data representing the ground are filtered out before performing the object identification. For the object tracking, the movements of the PTW frame on which the Laserscanner is mounted must be estimated, in order that the scan data movements can be compensated. Therefore a set of vehicle sensors is needed to assess parameters like the yaw rate and the speed of the PTW. Finally, the series of objects identified and tracked by the Laserscanner are sequentially communicated to the integrated safety system via CAN bus.

## Integration

For the integration of the sensor into the demonstrator a favourable location had to be identified at the front of the PTW. A special fixture was constructed such that the Laserscanner could be securely connected to the framework of the fairing and thus the chassis of the PTW. As can be seen in Figure 5 the sensor fits well into the fairing of the PTW between both headlights. It was not necessary to remove



any parts from the PTW in order to integrate the sensor. Installation is an important issue when evaluating the potential future of the system in motorcycles.



Figure 5: Integration of the Ibeo Lux Laserscanner

### State estimator

Another input of the integrated safety system is the state of the host PTW, which is the combination of quantities (e.g. pitch angle, lateral speed, yaw rate etc) that describe the dynamic situation of the motorcycle. This information is necessary to know the path of the PTW and also to give a reference to the object data coming from the Laserscanner. The state of the PTW and the state of the object together give the possibility to identify an imminent threat for collision and eventually choose the intervention strategy.

Sensing the state of the PTW is challenging especially for several variables which cannot be measured directly, e.g. the roll and pitch angle. These quantities can be estimated from other measurements, using a so-called state estimator. TNO investigated the feasibility of a State Estimator for the PISa system having the following benefits:

- the aim to provide reliable and consistent input for vehicle control systems
- estimate signals that are not measured directly
- compensate for sensor inaccuracy and noise
- perform sensor fault detection
- reduce the cost of the measurement system by minimizing the number of required sensors
- enable the use of lower resolution sensors.

The strength of the State Estimator is its model-based design. Inside the State Estimator is a (simplified) model of the system, which consists of only the most important dynamic effects (i.e. degrees of freedom). All these dynamic effects together are called the 'state' of the system. The model is excited

using the same inputs ( $u$ ) as the driver would apply on the PTW (e.g. steering angle, brake/drive moments). All actual sensors on the PTW, such as lateral acceleration, yaw rate, are modelled as well. The estimation algorithm, here the well known Kalman Filter algorithm was used, minimizes the difference between the actual measurements ( $y$ ) and the modelled measurements ( $\hat{y}$ ) by adjustment of the state vector.

Once an estimate of the state vector is calculated, this new state can be used to also determine any other quantities that can be derived from the state information, such as roll angle, tyre slip angles, tyre forces, etc.

Once the model is tuned, it provides a reliable estimate of the dynamic state of the motorcycle. The crucial aspect is to find a suitable model of the vehicle which correctly interprets the relationship between the state variables.

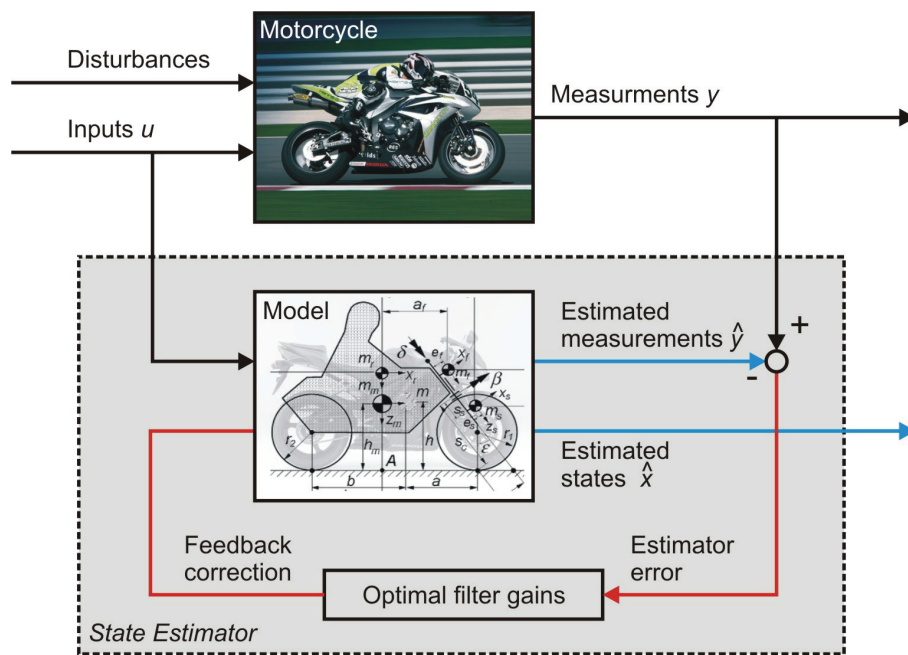


Figure 6: Functional scheme of the state estimator

A four-degree-of-freedom analytic model was selected to reproduce the behaviour of the motorcycle. The state estimator was evaluated in a slalom and in a roundabout manoeuvre. As can be seen in Figures Figure 7 and Figure 8, the estimator is able to estimate the lateral velocity and roll angle in an accurate way. It can be concluded that state estimation based on Kalman filtering is a feasible method for estimating the states of a motorcycle.

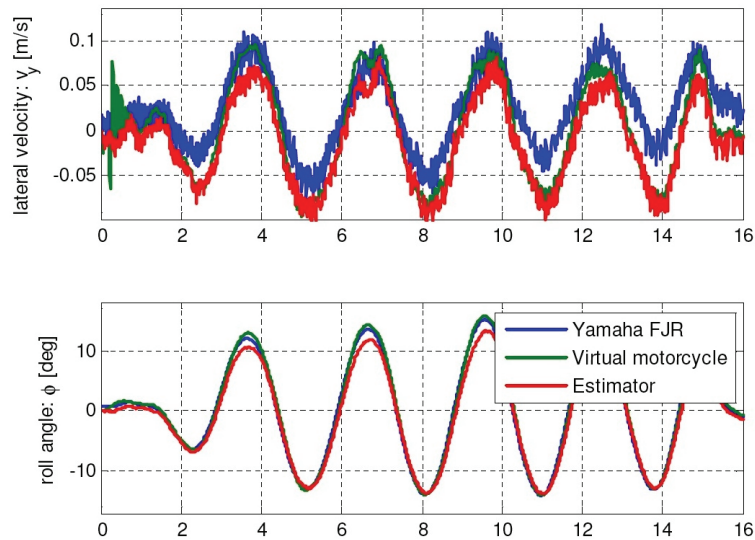


Figure 7: Results of the state estimator in a slalom

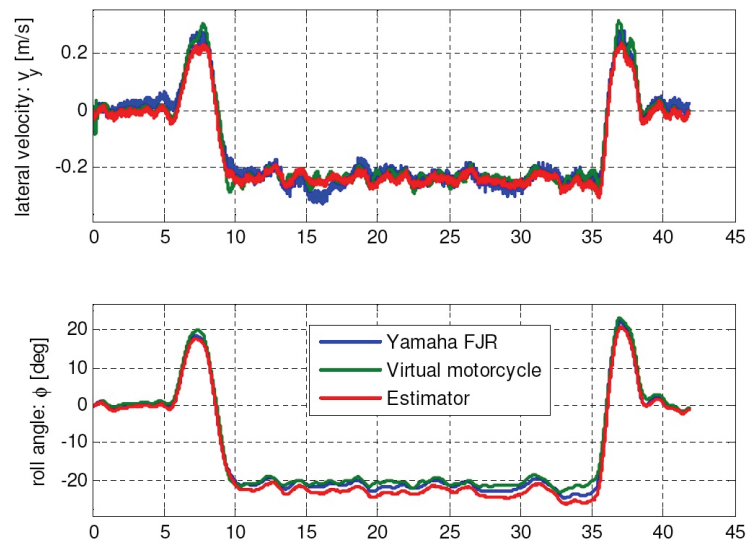


Figure 8: Results of the state estimator in a roundabout

Because the outcome of the feasibility study was not known beforehand, it was unknown whether the state estimator output would satisfy the requirements. Therefore, to guarantee the availability of motion signals with desired quality, the state estimator functionality on the PISa PTW was provided by an off-the-shelf Inertial Measurement Unit (IMU) which delivered the necessary data for the PISa applications. However, its high price would make it unsuitable for production motorcycles; further development of the lower cost state estimator might provide a way to implement this in a more cost effective manner.



Figure 9: Off-the-shelf inertial measurement unit 'Xsens'

## DS system

The Distance Support (DS) system assists the rider to maintain a safe distance during the car-following task by providing an appropriate force feedback on the throttle twist grip. The basic concept of the DS is that when the rider maintains the appropriate values of speed and distance from the lead vehicle, the torque on the throttle is constant. If the lead vehicle slows down, the distance starts to reduce. The attentive rider would react reducing the torque on the twist grip throttle, while the inattentive rider does not react and keeps a constant torque, and the gap consequently reduces. The DS system uses the information coming from the IMU and the Laserscanner to detect the need for slowing down and consequently increases the resistant torque on the handle-grip, thus reducing the throttle and slowing down the PTW unless the rider reacts.

The human-machine interface based on the force feedback was chosen to fulfil the most important requirements for a safety application: the rider can react intuitively in a proper way; the rider can keep his/her eyes on the road without being distracted; the control effort required for the rider should not increase.

The development process consisted of three activities: the definition of the algorithms for controlling the amount of feedback; the selection of the functional parameters, which are the value of the maximum feedback torque and the shape followed by the torque to build up; and the development of the hardware to implement the DS on the test motorcycle.

The intervention algorithm is based on two kinematic algorithms: the time headway (THW) and the time to collision (TTC). The THW guarantees that the distance between host PTW and lead vehicle is adequate also when the difference in speed  $\Delta v$  is zero. The TTC allows identifying the torque feedback when  $\Delta v$  is different from zero.

The intervention parameters and the force build-up were selected through an experimental campaign conducted with a static riding simulator (Figure 10). The volunteers were asked to keep a constant THW during the car following task simulated by the computer while the throttle twist grip was actuated by

an electric motor to simulate the force feedback produced by the DS system. The volunteers repeated the task while the max torque and the build-up curve varied; at the end they filled in a questionnaire. The best value for the max torque and the torque build-up were selected based on the results of the questionnaires.

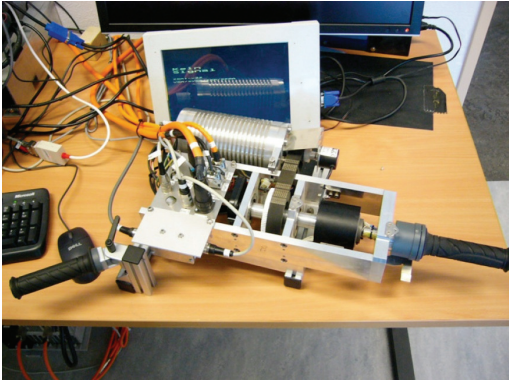


Figure 10: Riding simulator used during the preliminary tests

The hardware of the DS was developed and tuned to reproduce the prescribed values of torque and the correct shape to build up the torque. The DS is obtained through a device which exploits the vacuum created by the engine in the inlet pipe and produces the desired force feedback using intermitting valves. The force feedback is converted into a torque feedback at the throttle twist grip of the test bike via wire.

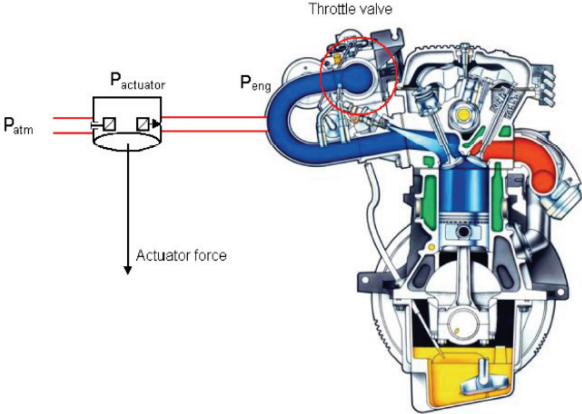


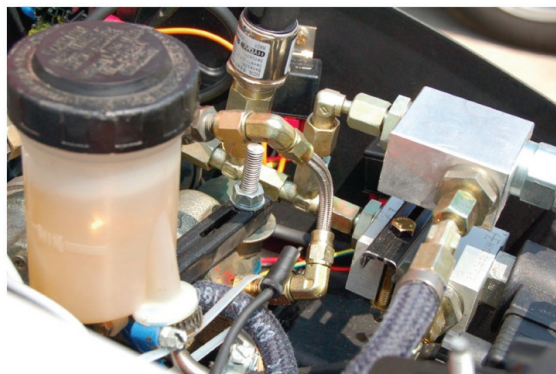
Figure 11: Operating principle of the DS system

## Active Braking

The term active braking (AB), in the context of this project, refers to slowing down the vehicle without any braking input from the rider i.e. autonomous braking. This system is necessarily linked with the design of the decision logic.

Laboratory tests were performed by LMU in order to find a feasible level of deceleration for the active braking. Those sled tests had an idealised set-up mimicking the deceleration process of a PTW in a very basic way. Based on this experimental activity, a deceleration of  $2.5 \text{ m/s}^2$  was shown to be adequate in the sense of not producing excessive motion, or possible instability, of the volunteer riders. This level was then selected as a target deceleration for the active braking. For the enhanced braking (EB), the target deceleration was  $6 \text{ m/s}^2$ , which is the maximum value before experiencing cases of front wheel lock with the Malaguti scooter.

The active braking device was designed and realised by Carver Engineering. It utilises an independent hydraulic system acting on the right hand disk mounted on the front wheel. The front brake is also under control of the rider through the left braking disk.



*Figure 12: Active braking device*

The active braking device consists of a dedicated braking disk, the hydraulic circuit and calliper, an electric motor and pump to build up the pressure, a pressure sensor, the electronic control unit, and the power supply. When the active braking is idle, the pump is off and the pressure inside the circuit is close to the atmospheric value, therefore no braking torque is applied on the right braking disk and the rider has full control of the braking action on the front wheel. When the electronic control unit receives the input to start the active braking function, the electric motor connected with the pump is activated, the pump starts building up the pressure in the braking circuit and the calliper produces a braking torque on the right disk on the front wheel.

The predetermined deceleration  $d_{ref}$  is obtained controlling the pump in closed loop with the pressure sensor, so that a target pressure can be achieved. Tests with the prototype were performed to identify the target pressure needed for obtaining the target deceleration  $d_{ref}$ .

### **Semi-active front fork**

Within the PISa project Paioli developed a different front fork suspension for each prototype vehicle aiming to improve the stability before and during emergency braking events.

The behaviour of the suspension system was fully reversible although the activation time should be quick enough to be beneficial since the first phase of the braking manoeuvre.

For the Malaguti bike the requirement for the fork was to be capable of continuous adjustment of the damping coefficient on a wide range, although the reaction time for a full adjustment is around 0.2 and 0.3 s.



*Figure 13: Semi-active front fork installed on the Malaguti*

### **Decision logic**

The elaboration of the input signals coming from the sensors and the control of the actuators mounted on the Malaguti are performed by the decision logic running on a prototyping electronic control unit.

The inputs to the decision logic are summarised as follows:

- the state of all the objects detected and tracked by the Laserscanner;
- the state of the host PTW provided by the inertial measurement unit;
- the rider inputs which are the brake pressures, the throttle position and the steering position.

The decision logic has control over the following devices:

- the throttle actuator of the DS system;
- the active braking device that implements the active and enhanced braking functionalities;
- the semi-active front suspension;
- the tactile saddle that generates warning signals to the rider.

The development of the decision logic was under the responsibility of UNIFI and focused on two accident configurations. The first one is the car following and consists in the PTW going straight on when the leading vehicle slows down or stops. The second accident configuration is the intersection scenario and consists of the PTW and another vehicle both crossing an X-junction while they are travelling straight on.

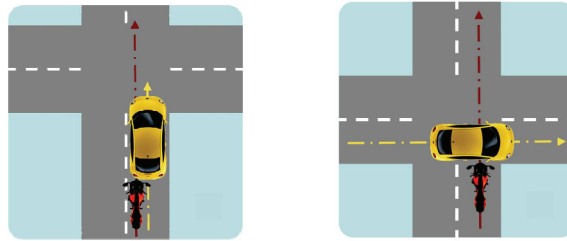


Figure 14: 'Car following' and 'intersection' accident scenarios

In the car following scenario the haptic throttle supports the rider in keeping the appropriate time headway (THW). In case of imminent collision, e.g. when the leading vehicle suddenly slows down or stops in front of the PTW, the haptic throttle will provide the maximum torque to induce the rider to decelerate, while the decision logic will decide whether to activate the active braking device for the AB or the EB.

The autonomous deceleration on a PTW is potentially dangerous due to the intrinsic instability of the vehicle. For this reason both the AB and EB are inhibited when the PTW is travelling along a curve. However, in the case of a straight path the main criterion utilised to trigger the AB or the EB is to assess that the collision against the leading vehicle has become unavoidable by braking and swerving as well.

The possibility to avoid the collision by braking is evaluated by computing the required deceleration parameter  $d_{req}$  as follows:

$$d_{req} = \frac{(v_{PTW} - v_L)^2}{2L} - a_L$$

where  $v_{PTW}$  is the PTW speed,  $v_L$  is the lead vehicle speed,  $a_L$  is the lead vehicle acceleration, and  $L$  is the relative distance between PTW and leading vehicle. At every instant,  $d_{req}$  represents the constant



value of deceleration the rider should apply to avoid the collision with the leading vehicle assuming that the leading vehicle is proceeding along a straight line with constant deceleration. The decision logic constantly computes the value of the required deceleration and compares it with a threshold value representing the maximum feasible deceleration. When  $d_{req}$  is greater than the threshold the braking avoidance manoeuvre is considered not possible anymore. The threshold value was initially set to  $10 \text{ m/s}^2$  which corresponds to the theoretical limit on dry road conditions with common tyres. During the tests the threshold was adjusted to different values between 3 to  $10 \text{ m/s}^2$  to investigate the system reliability and the level of acceptance from the test riders.

The possibility to avoid the collision by swerving is assessed comparing the distance  $L$  between the PTW and the leading vehicle with the minimum swerving distance  $L_{sw}$ :

$$L_{swerve} = \sqrt{2 \cdot k \cdot v_{PTW}^2 \cdot s + s^2} - k \cdot v_{PTW} \cdot v_L \cdot \arccos\left(\frac{k \cdot v_{PTW}^2}{k \cdot v_{PTW}^2 + s}\right)$$

where  $k = \frac{1}{\tan\varphi_{max} \cdot g}$ ,  $s$  is the tolerated distance between the centres of gravity of the PTW and the object,  $\varphi_{max}$  is the maximum feasible roll angle for the PTW during emergency curving and  $g$  is the gravitational acceleration.

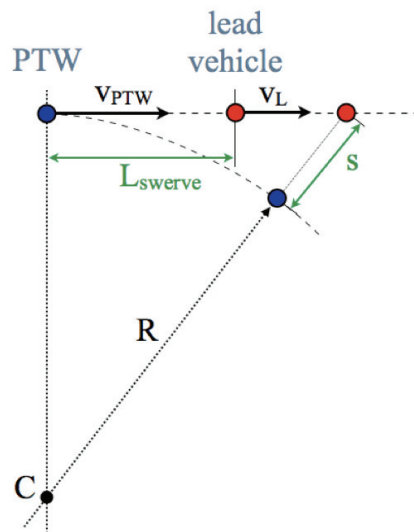


Figure 15: Kinematic scheme of the minimum swerving distance

As show in Figure 15, the minimum swerving distance  $L_{sw}$  is computed assuming that the radius of the path  $R$  suddenly changes from infinite (straight path) to a constant value  $R_{min}$ :

$$R_{min} = \frac{v_{PTW}^2}{g \cdot \tan\varphi_{max}}$$

When  $L$  is smaller than  $L_{sw}$ , the collision is considered unavoidable with a swerving manoeuvre.

The decision logic triggers the active braking device when the distance between the PTW and the object is lower than both the minimum braking distance and the minimum swerving distance. When considering the possible collision against a fixed object, the minimum braking distance and the minimum swerving distance are functions of the initial speed of the PTW, as shown in Figure 16. The decision logic will trigger the active braking when the distance  $L$  is below the two curves. At low speed the collision can be avoided at a lower distance by braking, while at high speed by swerving.

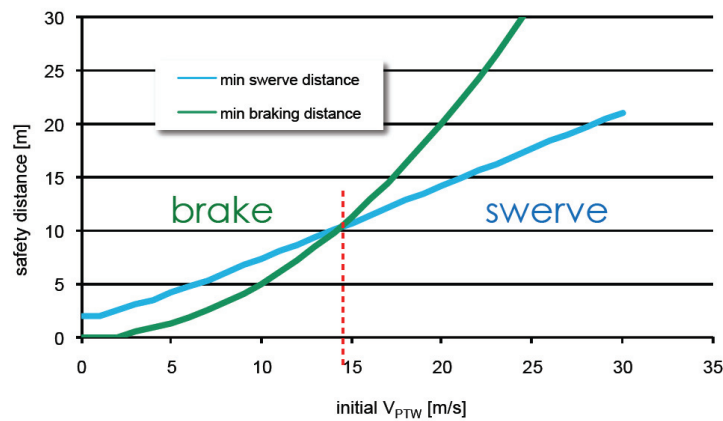


Figure 16: Minimum braking and swerving distances

A plot of the data acquired during a test run is shown in Figure 17 to illustrate the activation sequence of the active braking. The PTW is approaching a fixed obstacle at constant speed. The required deceleration  $d_{req}$  increases, due to the reduction of the distance of the object. When  $d_{req}$  overcomes the threshold value of  $6 \text{ m/s}^2$  selected for the test run, a warning is given to the rider through the vibration of the haptic saddle. At the same time the semi-active suspension is controlled to switch to the maximum damping coefficient. After a delay time of  $0.3 \text{ s}$  the AB is triggered: the active braking device is activated and the PTW starts decelerating without any input from the rider with a target deceleration of  $2.5 \text{ m/s}^2$ . If the rider starts braking the decision logic switches from AB to EB and the active braking device increases the braking pressure to obtain an extra deceleration of  $3.5 \text{ m/s}^2$ .

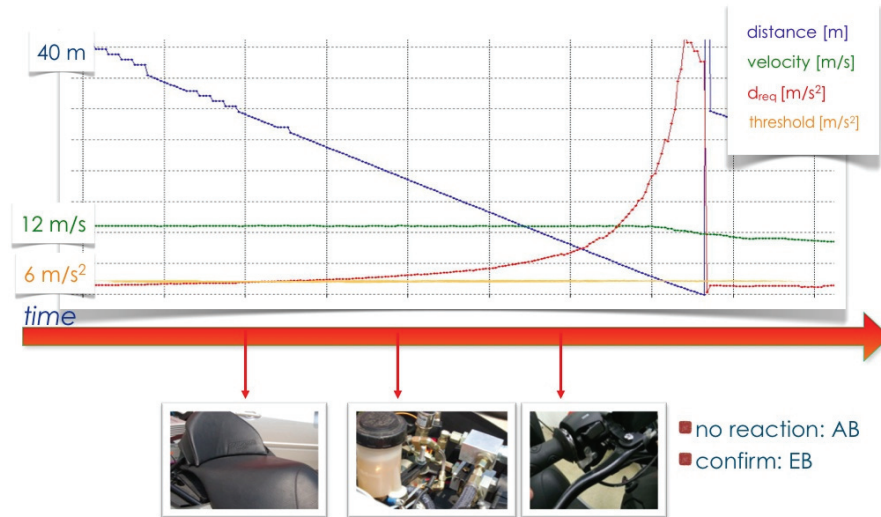


Figure 17: Activation sequence of the active braking

## TVS motorcycle

A TVS Apache 160 cc motorcycle was equipped with the combined braking (CB) system to improve the emergency braking performances of non-skilled riders and the anti-dive suspension for stability enhancement during the emergency braking. The development of these two devices complied with the criterion of containing the costs of a product appropriate for the Indian motorcycle market.

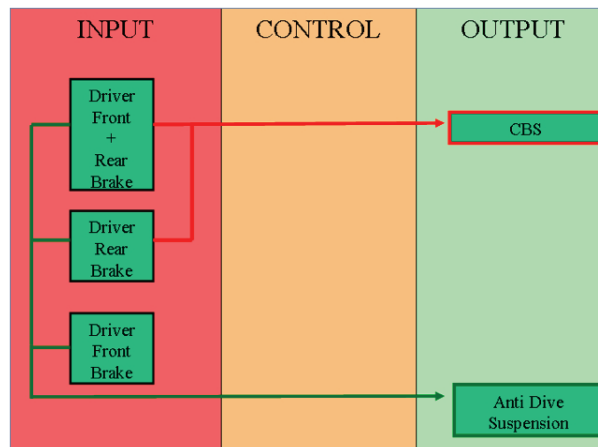


Figure 18: Scheme of the integrated system mounted on the TVS motorcycle

The physics of the braking manoeuvre for two wheeled vehicles demonstrates that the maximum deceleration can be obtained with an appropriate distribution of braking force on the two wheels, where the distribution is a function of the deceleration and the geometry of vehicle including the passengers. In the case of emergency braking, when the rider performs an erroneous distribution of the braking force the consequences are a lower deceleration of the vehicle and the possible wheel locking. A sur-

vey of riders conducted by TVS in India showed that in emergency conditions rider brake too hard on the rear brake while not fully exploiting the front brake. Accordingly, the CB system implemented by TVS for the PISa project aimed at transferring part of the braking force from the rear to the front brake. The CB device utilised a pressure distributor which redirected part of the braking pressure of one of the hydraulic circuits to the other, with constant distribution ratio. The TVS Apache used in the PISa project was set up such that the front disc was operated by the front brake lever and the rear brake force (applied by the brake pedal) was distributed between the front and rear wheels. The expected results are the higher deceleration during emergency braking and a reduction of the risk of the rear wheel skidding.

An anti-dive front fork was designed by Paioli for the TVS Apache with the aim to reduce the diving movement during an emergency braking event. The system utilised economical components, to achieve the specifications related to a possible applicability to the Indian market. For this reason, no electronic control unit was adopted and the activation of the fork was obtained from the front or rear braking signals. The fork is similar to the standard production but a solenoid valve is added to open or close the duct of the oil, thus drastically modify the damping coefficient. The valve has a short reaction time (less than 0.03 s), although no fine adjustment is possible.



Figure 19: Anti-dive suspension on the TVS motorcycle

## Results

Professional riders tested the prototype vehicles. The aims of the tests were the validation of the integrated safety systems, an objective and subjective evaluation of the system performances and the identification of the recommendations for further development and testing of the proposed systems.

### Results from the Malaguti test programme

For the Malaguti, the tests focussed on the DS, the AB and the EB systems. The final tests of the Malaguti vehicle were conducted on the TRL research track.

The validation of the DS system consisted of an experiment with the rider simulator and a pilot test on the track. In both the experiments the subject was asked to perform a car following task with and without the DS system. The experiments with the rider simulator showed that the DS could significantly improve the ability of the rider to maintain the target THW from the lead vehicle. In addition, when the DS system was on the throttle position was more stable, thus showing that the DS is capable of reducing the control effort of the rider during the car following task.

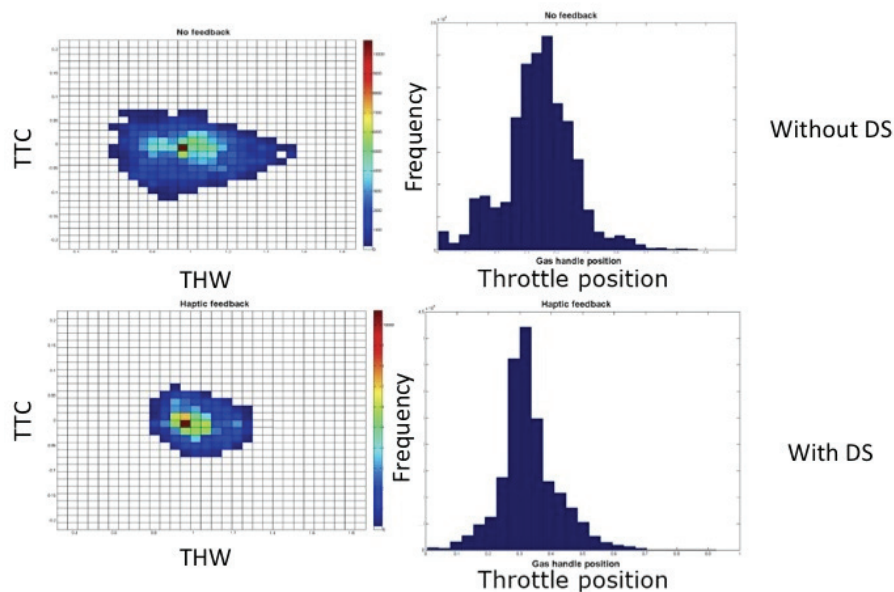


Figure 20: Simulation tests with and without DS: TTC vs. THW and frequencies of the throttle position

In contrast, the track tests conducted with 5 subjects were not able to highlight analogous differences with and without the use of the DS system. In particular, the standard deviation of the THW during the car following tests with the DS system on was not significantly lower compared to the tests without the DS. It was noted that during the track tests the Laserscanner detected other objects apart from the

lead vehicle and this problem could negatively affect the quality of the feedback given to the riders. However, the subjective evaluation of the DS system made by the riders reported a positive opinion about the usefulness of the system. The final recommendation was to repeat the track tests with a wider set of test riders and improve the object detection in order to obtain results which could be better compared with those achieved in the simulation tests.

The AB tests were performed riding the Malaguti at a target speed of 12.5 m/s (45 km/h) towards a static obstacle. For safety reasons, the activation of the AB was allowed by the decision logic even if the obstacle was situated within a lateral distance of 3 m from the host vehicle. The threshold for the activation of the AB was set at the required deceleration of 3, 5, 7 and 9 m/s<sup>2</sup>, which means that the active braking aimed to deploy when the collision could be avoided with a constant deceleration of 3, 5, 7 or 9 m/s<sup>2</sup>. During the tests, the dSPACE device recorded 34 parameters at a frequency of 50Hz. The recorded data included the state of the host PTW, the objects detected from the Laserscanner, the inputs from the rider and other computed variables utilised by the decision logic.

Each test run was analysed to assess the correct identification of the obstacle and the correct deployment of the AB (successful test). The test runs in which the static obstacle was not identified, the AB failed to trigger or the AB had a false triggering were considered unsuccessful. The result was that the successful cases varied between 83% and 100% with thresholds of 3, 5 and 9 m/s<sup>2</sup>, while they were the 56% for the threshold of 7 m/s<sup>2</sup>. The system did not function correctly mainly because of crashes of the post-processing software of the Laserscanner or because the Laserscanner picked up incorrect objects.

Considering the successful runs, the AB was able to produce the active deceleration with a mean value of 2.8 m/s<sup>2</sup> (sd = 0.7 m/s<sup>2</sup>) without any loss of control of the rider. The speed reduction and the kinetic energy reduction are dependent on the initial speed and their mean values are reported in Table 1.

Table 1: Test results of the AB

AB trigger setting	Mean speed (km/h)	Mean trigger dist (m)	Mean speed after AB (km/h)	Mean speed reduction (%)	Mean kinetic energy reduction (%)
3	46.7	23.3	24.1	48.5	73.0
5	46.6	14.8	29.9	35.9	56.2
7	47.0	7.8	34.7	26.2	44.9
9	46.3	6.2	37.0	20.2	36.0

The EB was tested at the speed of 25, 30, 35, 40, 45 and 55 km/h. The test riders were asked to apply a mild force on the rear brake lever just after the AB triggered. The decelerations obtained by the EB system were compared with the best performances in terms of deceleration obtained by the same test riders when they were asked to perform an emergency braking by applying both the rear and the front brake. The results synthesised in Figure 21 show that the difference between the stopping distances obtained by the professional riders applying full braking and those obtained with the EB on and the riders applying a partial force on the rear brake are small.

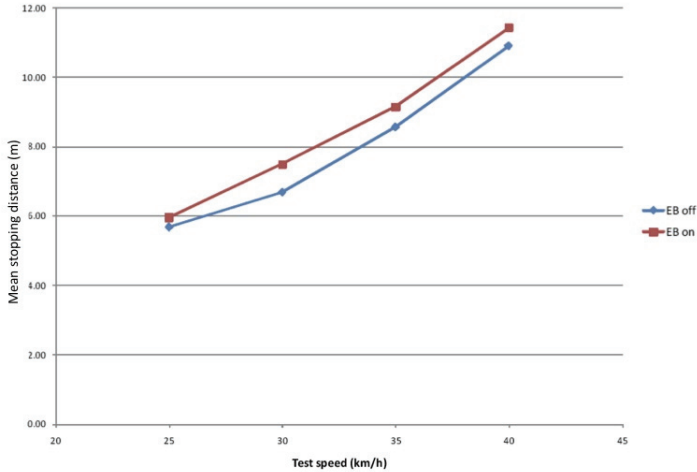


Figure 21: Mean stopping distance with and without EB

All the EB tests were repeated after enabling the semi-active front fork, with two different settings for the damping coefficient (medium and maximum). The mean stopping distances obtained with normal front fork and with semi-active front fork were compared, showing a significant reduction when the semi-active fork is on. Nevertheless no relevant difference was highlighted between the two settings for the damping coefficient.

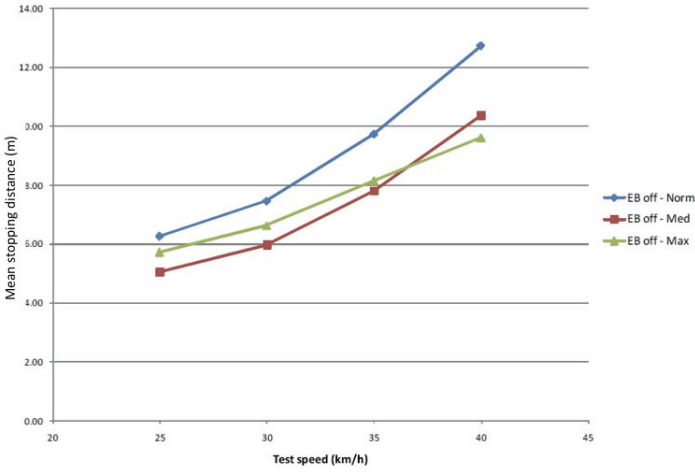


Figure 22: Mean stopping distance with different settings for the semi-active suspension

## Results from the TVS test programme

The tests on the TVS motorcycle were straight line braking tests conducted with the CB system on and off and with the anti-dive suspension on and off. The tests were performed by two test riders and ten tests were done per each single condition; a total of 160 runs. The performances were evaluated on the stopping distance.

The comparison of the mean stopping distances with and without the CB depicted in Figure 23 shows that the stopping distances obtained when the CB is on are shorter and the benefit tends to increase at higher speeds. The anti-dive suspension had a negligible influence on the stopping distance for both the test riders.

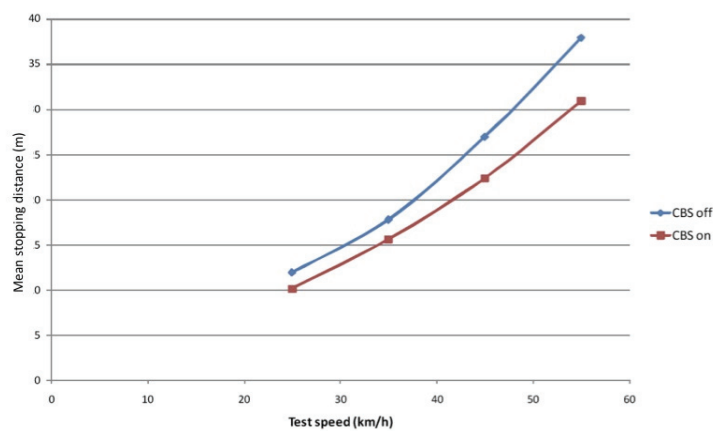


Figure 23: Mean stopping distance with and without CB

## Conclusions

The PISa project aimed to develop an integrated safety system for PTWs which would contribute to the avoidance of a crash and the reduction of injuries resulting from a crash, by supporting the rider in safety critical situations. Two integrated safety systems were defined based on the functional requirements identified from the accident analysis and the technical solutions available within the Consortium. The integrated safety systems were implemented on a large scooter and a light motorcycle. The development of the systems tried to take account of a first set of problems related to a future application on production PTWs. In particular, a state estimator was developed demonstrating the feasibility of an economical alternative for the inertial measurement unit; a Laserscanner was customised for the PTW application; economical solutions were investigated, especially for the Indian market.

The prototype vehicles were tested to validate the system functions and to evaluate the overall performance. The active braking tests showed the feasibility of an active braking system on a PTW; the



recommended autonomous deceleration was appropriate for the test conditions and the AB triggering was successful in most of the test runs conducted against a fixed obstacle. The enhanced braking system was efficacious in improving the braking deceleration in case of imminent collision against a fixed obstacle, reaching decelerations comparable with the performances of the test riders when they applied full braking with both the front and the rear brake. The combined braking system associated with the two-stage anti-dive suspension developed for the light Indian motorcycle obtained an improvement in the mean stopping distance over the tested speed range.

Although the results of the first tests were encouraging, further development and evaluation of the system is necessary in a wider range of test conditions and with a more representative population of riders.

## **Acknowledgements**

The authors would particularly like to acknowledge the contribution to the project of Harry Kroonen, Carver Engineering, Marco Malaguti of Malaguti, and all other members of PISa Consortium.

This work was partially funded by the European Commission within the PISa project under the 6th Framework Programme (contract no. 031360).

## References

R. Grant, R. Frampton, S. Peldschus, E. Schuller, V. StClair, M. McCarthy, R. Babu, M. Pierini, G. Savino, "Powered two-wheeler Integrated Safety. Project objectives, achievements and remaining activities", 7th International Motorcycle Conference, Cologne, Germany, 6-7 October 2008.

R. Grant, R. Frampton, S. Peldschus, E. Schuller,, A. Oudenhuijzen, J. Pauwelussen, V. StClair, M. McCarthy, R. Babu, M. Pierini, G. Savino, "Use of In-depth Crash Studies to Identify and Prioritise the Functions of an Integrated Safety System for Motor Cycles", 52nd AAAM Annual Conference, San Diego, CA (USA), 05-08 October, 2008.

G. Savino, A.P. Penumaka, M. Pierini, N. Baldanzini, B. Roessler, "Design of the decision logic for a PTW integrated safety system", Proceedings - ESV Conference, June 2009.

W. Hulshof, M. McCarthy, T. Robinson, J. Pauwelussen, "Powered two wheeler Integrated Safety (PISa). Deliverable D33b: Evaluation of the PISa systems". March 2010

**Electrorheological Dampers as a Basis for  
semi-active Motorcycle Suspensions**

**Elektrorheologische Verstelldämpfer als Grundlage für  
semiaktive Motorradfahrwerke**

Dr. Joachim Funke, Dr. Alex Alexandridis  
Fludicon GmbH, Darmstadt, Germany

Prof. Sergio M. Savaresi  
Politecnico di Milano, Dipartimento di Elettronica e Informazione,  
Milano, Italy

Dr. Cristiano Spelta  
Università degli Studi di Bergamo, Dipartimento di Ingegneria  
dell'Informazione e Metodi Matematici, Dalmine (BG), Italy

## Abstract

Motorcycle suspensions must be able to handle a large wheel load range due to the relatively high payload compared to the kerb weight of a motorcycle and the additional wheel load induced by cornering. Furthermore, the instabilities of shimmy, weave and wobble are accompanied or even induced by wheel load variations or other suspension motions. Moreover, the rear suspension plays a large role in highsiding.

To realise a semi-active motorcycle suspension, electrorheological dampers seem to be the ideal solution. Electrorheological (ER) dampers have very high turn-up ratios, particularly at the slow damper speeds characteristic of motorcycle suspension geometries, which are necessary for high authority over the vehicle. Additionally, asymmetric force behaviour can easily be integrated in the design of ER dampers, and the overall damping forces of such dampers can be controlled sufficiently fast for effective wheel control. From a packaging perspective, the installation space of ER dampers is even smaller than that of conventional dampers.

This presentation will explain why ER dampers are the ideal solution to control motorcycle-specific issues of semi-active suspensions. Packaging and damping properties of a realised ER damper will be shown and compared to conventional hydraulic dampers based on bench tests.

Response times of ER dampers are far shorter than those of valve-based adjustable dampers or even magnetorheological dampers. Additionally, today's standards of conventional hydraulic motorcycle dampers regarding, for example, dynamic behaviour and basic friction can be met at the highest levels. For these reasons, and due to the wide force range available at low damper speeds, ER dampers are particularly well suited for semi-active motorcycle suspensions when compared to other technologies.

## Kurzfassung

Motorradfahrwerke müssen aufgrund der im Verhältnis zur Fahrzeugmasse sehr großen möglichen Zuladung und der Überhöhung der Radlasten bei Kurvenfahrt, Brems- und Beschleunigungsvorgängen einen weiten Radlastbereich abdecken. Darüber hinaus sind bei den Stabilitätsstörungen Flattern, Pendeln und Lenkerschlagen jeweils entweder Radlastschwankungen mit ursächlich oder Fahrwerksbewegungen Teil des Problems. Auch bei Highsidern ist das Motorradfahrwerk involviert.

Elektrorheologische Verstelldämpfer erscheinen zur Realisierung eines semiaktiven Motorradfahrwerks prädestiniert. Auf sehr kleinem Bauraum können bereits bei den bei Motorrädern vorherrschenden geringen Dämpfergeschwindigkeiten sehr große Dämpfungskräfte aufgebaut und eine in weiten Bereichen konstruktiv wählbare hydraulische Asymmetrie zwischen Zug- und Druckstufe dargestellt werden. Durch die extrem schnellen Verstellzeiten elektrorheologischer Dämpfer können die für die Regelung von Radeigenfrequenzen notwendigen Systemverstellzeiten bequem eingehalten werden.

Im Vortrag wird dargestellt, warum elektrorheologische Dämpfer sich besonders gut zur Regelung motorradspezifischer Aufgabenstellungen an semiaktive Fahrwerke eignen. An einem konstruktiv umgesetzten Beispiel werden das Packaging und die Dämpfungseigenschaften eines realen elektrorheologischen Dämpfers gezeigt und im Prüfstandsversuch die erzielbaren Vorteile gegenüber konventionellen hydraulischen Dämpfern herausgearbeitet.

Die Verstellzeiten von elektrorheologischen Dämpfern liegen weit unter denen von ventilbasierten Verstelldämpfern oder magnetorheologischen Dämpfern. Darüber hinaus werden heute geltende Standards für konventionelle Motorrad-Dämpfer hinsichtlich dynamischem Verhalten und Grundreibung auf höchstem Niveau gehalten. Dadurch und durch den weiten Verstellbereich auch bei niedrigen Dämpfergeschwindigkeiten konnte gezeigt werden, dass die Verwendung von elektrorheologischen Verstelldämpfern für semiaktive Fahrwerke im Motorrad große Vorteile gegenüber anderen Technologien erbringt.

**Electrorheological Dampers as a Basis for  
semi-active Motorcycle Suspensions**

## Objectives for Motorcycle Suspensions

### Vertical Dynamics

Motorcycles, like trucks, offer a high payload to kerb weight ratio. To give an example, at constant speed, a 200 kg motorcycle with a 5-percentile woman (54kg) [1] and 50/50 weight distribution has a rear wheel load of 1.270 N, ignoring aerodynamic forces. If, on the same motorcycle, two 95-percentile men (101kg each) [2] are seated and the motorcycle is accelerated, the rear wheel load can reach up to 4.020 N, i.e. 216 % higher wheel load. If this acceleration happens in a curve, even higher ratios can be obtained due to the friction coefficients of modern motorcycle tyres. Both springs and dampers have to be designed to handle those high load variations.

Motorcycle dampers have a broad variety of duties: regarding vertical dynamics, obviously dampers in motorcycles, like in cars, have to provide a certain level of comfort to the rider. Due to the high centre of gravity and the short wheelbase, any acceleration, either longitudinal or lateral, induces a comparatively high change in the wheel loads. Therefore the dampers must be able to control motorcycle pitch or heave. Beyond these sheer vertical dynamics issues, there are also vertical dynamic damping tasks generated by the lateral motorcycle dynamics. First of all, the front and rear dampers have to keep the wheels on the ground, a simplified expression for the fact, that for good tyre/road contact and therefore safe riding, the wheel load variations have to be kept as low as possible. This is important in all cases where the tyre needs to generate forces parallel to the road surface, like braking or cornering manoeuvres. For example, ABS braking distance becomes significantly shorter when wheel load variations are minimized, as can be seen from any ABS test in motorcycle magazines. Especially in braking situations additional pitch control is very important. As already shown theoretically by Weidele [3] and confirmed in practice by Funke [4], gradients of braking forces at the front wheel can easily exceed wheel load build-up gradients. Consequently, the brake forces “overtake” the wheel load, and the front wheel locks immediately with the result of a mostly inevitable downfall with severe consequences, if the sliding area is not free of obstacles. A semi-active suspension that can build up high forces already at slow motions can prevent this by building up front wheel load much faster. On the other hand, race riders very much prefer a motorcycle that immediately pitches when braking before cornering, so the system motorcycle and rider quickly takes the steady state, i.e. the fully pitched, position when entering the corner. In this case a semi-active suspension with pitch control must be able to provide only very little damping force while pitching, but good road holding at the end of the pitch event.

## Lateral Dynamics

Every lateral motion affects the (vertically aligned) motorcycle suspension. When changing the roll angle, dynamic wheel load variations occur; a highly dynamic roll manoeuvre at the limit to instability (for example, a very fast slalom), induces first a lift of both wheels, then, when in the bottom dead centre, a superelevation of the wheel loads, and in the top dead centre again the wheel lift. In curves, at steady state conditions, the wheel loads increase with the roll angle. In the case of a friction coefficient of 1.2 that modern tyres easily provide on dry roads, the static wheel load when cornering might exceed 150% of the static wheel load when driving straight. Adding longitudinal accelerations, this value can be further exceeded, see above.

## Stabilization disturbances

Motorcycles have intrinsic stabilization disturbances such as capsize, shimmy, weave and kickback. During most of these disturbances, the motorcycle suspension is involved.

### Capsize

Due to the fact that two points do not define a plane, a motorcycle can capsize. This trivial relation occurs at low speed below the self stabilization range, i.e. below 30km/h to 40km/h, and therefore leads to relatively harmless incidents with low injury potential. The motorcycle suspension is not directly involved, possible rider support like automatic lowering is known but very rare.

### Shimmy

Shimmy is a natural rotational vibration around the steering axis that is induced by tyre non-uniformities or unbalance, and occurs at speeds of around 60km/h to 80km/h with 8Hz to 10Hz [5]. In most cases, shimmy is comparatively harmless. The suspension is only slightly involved; due to caster and headset angle, a turning front wheel induces front suspension travel. Therefore the suspension is involved into shimmy with frequencies between 8Hz and 10Hz.

### Weave

Weave is a natural vibration with combined roll, yaw and steering movements at 3Hz to 4Hz. Weave occurs at high speeds above 130km/h and not seldom leads to heavy accidents with high injury and fatality potential. Weave is the only dynamic instability that cannot be mitigated with a steering damper – a steering damper even increases the amplitudes [5]. Often a stable motorcycle when going straight turns into an instable motorcycle when cornering, especially when tyres are worn and have lost their original contour. In curves, weave yaw and roll motions turn into an additional pitch fraction, and deeply involve front and rear suspension of the motorcycle, see figure 1.



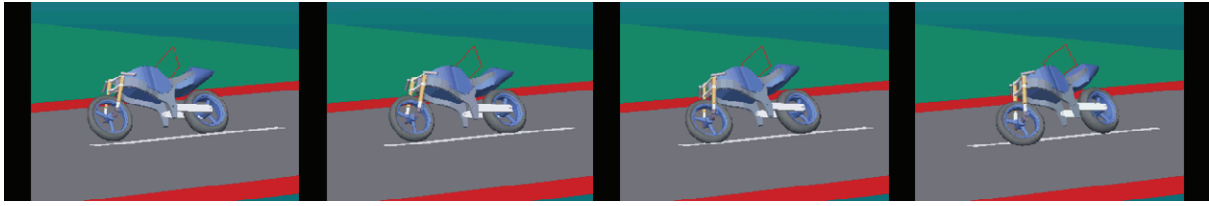


figure 1: weave while cornering - suspension involvement, courtesy of R.S. Sharp, ICO London

## Wobble or Kickback

Kickback is a parametrically induced vibration around the steering axis, often with wheel hop frequency (up to 18Hz) and high torques (up to 120Nm). When front wheel load variations occur (extreme example: the front wheel lifts) and a steering torque makes the front wheel turn in more than intended, the front wheel touches the road again at a higher side slip angle than necessary. The high righting torque of modern motorcycle tyres leads to a very quick movement back. The movement oversteers to the other side and might escalate. Because of the high frequencies and the very high torque, riders lose contact to the handlebar, and a downfall can occur within a few tenths of a second, as skid marks show, see figure 2. This can happen at almost every speed, and often leads to accidents with high injury or fatality potential.

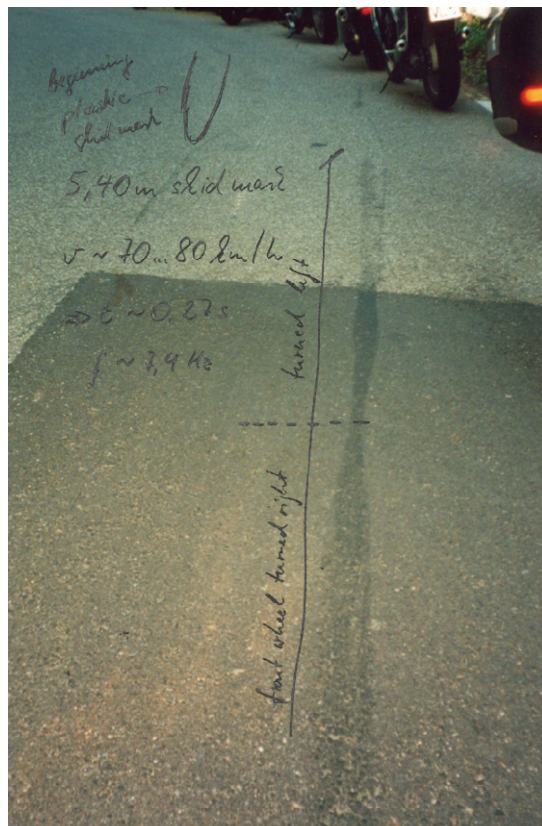


figure 2: kickback skid marks, initiated by a road surface subsidence in a right turn / left turn sequence, approx. 2m long and 40mm deep, subsequent downfall, courtesy of G. Fehl

In the initial phase of kickback, the minimization of front wheel load variations would help to mitigate or even to prevent kickback.

## Highsider

Per se, a highsider is not a stabilization disturbance in the classic sense, but results of inevitable capsize, if the vector of gravity by far does not cross the wheel contact line. When the rear wheel slips away in curves and regains grip, the rolled motorcycle loads the rear spring. When this preloaded spring releases again, the motorcycle will be lifted with all spring energy, usually jumps up high, and is thrown over to the other side (hence highsider). The risks of injury are high as the rider is thrown first high over ground and then in front of the motorcycle, and the motorcycle with its smaller friction coefficient follows, so the rider could be hit by the following motorcycle. If a suspension was able to damp the load and release events, a highside event could be mitigated.

## Semi-active suspension

In classic applications, there is always a trade-off between this first objectives of preventing a motorcycle from heaving and pitching, i.e. motions at around 1 Hz to 2 Hz, and the second objective of minimizing wheel load variations, i.e. motions at around 12 Hz to 18 Hz. The result of this trade-off is the conflict diagram shown in figure 3. A semi-active suspension control can remove the conflict limit and result in both more comfortable and more sportive ride. The Fludicon control strategy is a well-known groundhook/skyhook strategy; skyhook control emulates a motorcycle that is virtually connected to the sky, so ideally it does not pitch or heave whatever the road surface may provide, see figure 4. Groundhook control minimizes wheel load variations by virtually connecting the wheel to the ground via the semi-active damper, see figure 5. Both control strategies, Groundhook and Skyhook, are blended together with the weighting parameter alpha, see figure 6. For motorcycle control, this has to be upgraded with roll angle information, so a low-profile control approach would have been created.

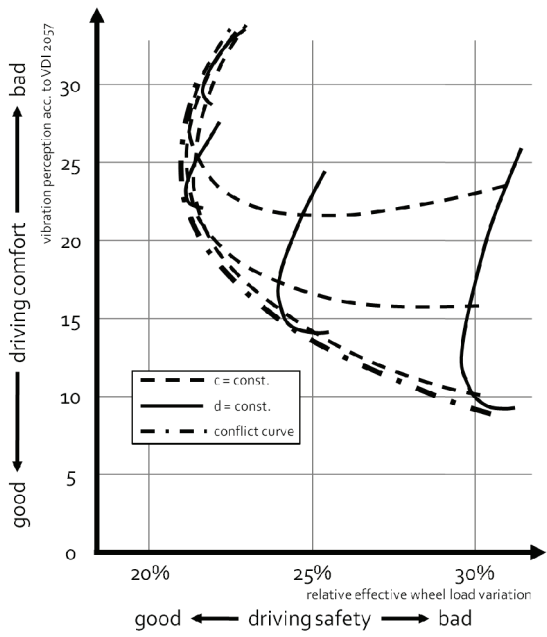


figure 3: vehicle dynamics conflict figure

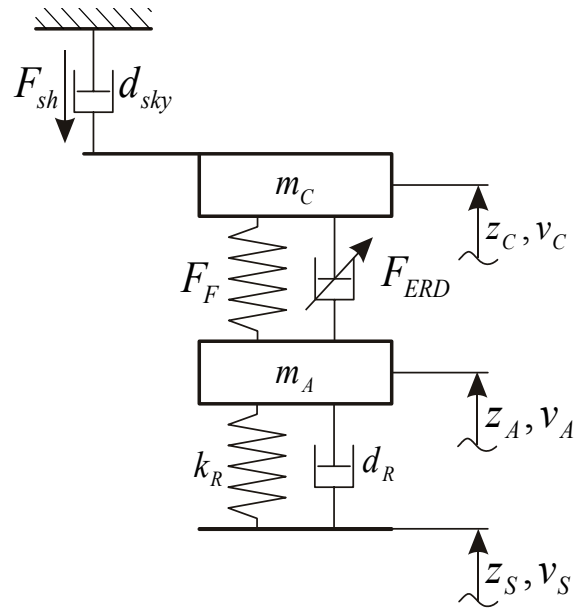


figure 4: skyhook control strategy;  $m_C$  = body mass;  $m_A$  = wheel mass

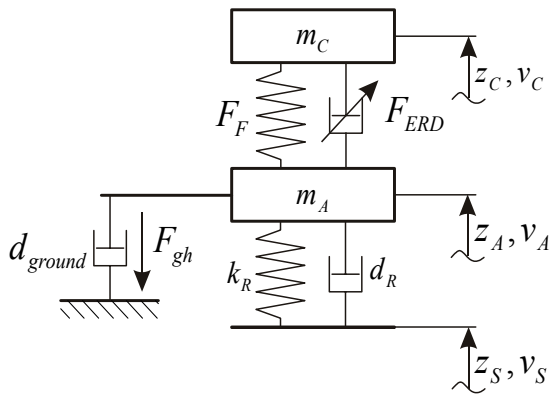


figure 5: groundhook control strategy

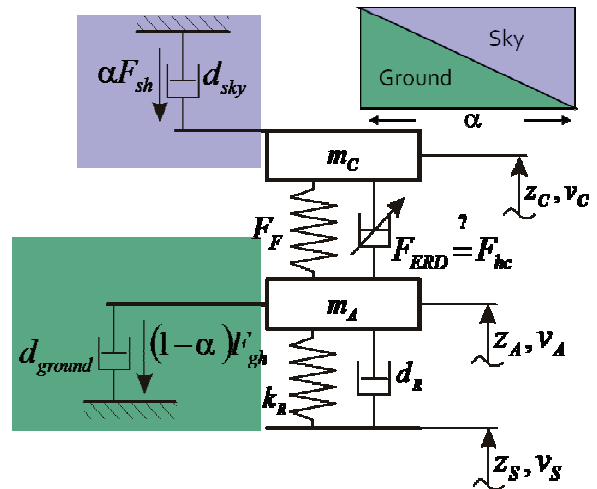


figure 6: hybrid control with weighting factor  $\alpha$

## Dampers for semi-active suspension

A semi-active suspension is characterized by dampers with high transient speeds of damping force adjustment permitting control of frequencies higher than 20Hz [6]. For good controllability, semi-active suspensions need dampers with:

- Sufficient maximum damping forces for adequate damping under all conditions as well as low damping for comfort and road isolation
- Therefore wide dynamic range
- Fast response (needs to turn off very fast at zero speed crossings at wheel-hop frequencies – typical response time,  $t < 15$  ms [7])
- Small damper-to-damper force variation
- Repeatable and constant performance over life of damper

## Electrorheologic dampers

Dampers based on the electrorheologic principle pump electrorheologic fluid (ERF) through a thin annular passage wherein an electric field switches the apparent viscosity of the ERF from fluid-like silicone oil to solid-like rubber, or every state in-between, within milliseconds. Fludicon ER dampers are characterized by low gas pressure and therefore low push-out forces, nearly arbitrary degrees of asymmetry and small installation space. The damper is produced using mostly typical off-the-shelf aftermarket parts like piston rod, seals, bushing, and separating piston in a piggyback.

For a first test, an ER damper with external ER valve in the piggyback had been designed, see figure 7. After further development, it was possible to integrate the ER-valve in the damper housing, see figure 8. The performance of the first damper was fully characterized on a servohydraulic test bench; the second damper generation is currently under testing.



figure 7: ER motorcycle damper with external valve (in the piggyback) on a servohydraulic test bench

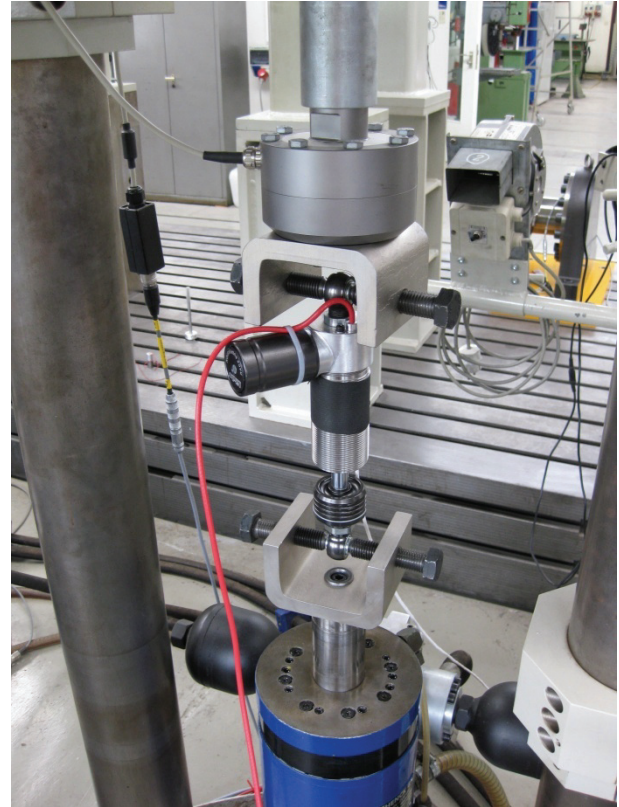


figure 8: ER motorcycle damper with internal valve (concentric to damper housing) on a servohydraulic test bench



figure 9: comparison of eRRide motorcycle damper with internal ER valve (left) and conventional adjustable retrofit damper (right) regarding size

The Fludicon developed ERF is a Newtonian fluid when not activated and turns into a Bingham Plastic material under an external electric field. Therefore even at very low damper speeds, very high damping forces can be obtained, see figure 10. As can be seen from the figure, a required level of asymmetry has been designed in both generations of dampers. Cavitation is safely avoided by an arrangement of check valves that leads to the gas chamber always being the point of the lowest pressure within the damper. The second generation damper is smaller than even a conventional damper, see figure 9. The shown prototype is 14% heavier than the conventional damper, but has a high weight savings potential and is supposed to be even lighter than the benchmark at the end of the development process.

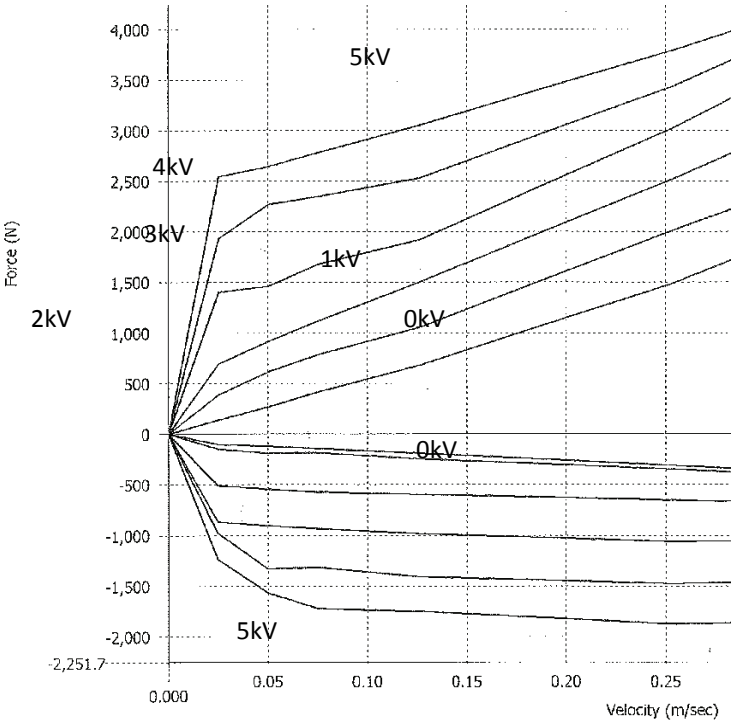


figure 10: force/velocity figure of the eRRide motorcycle damper with internal valve for different voltages and different damper speeds

Response times of the first damper generation have been identified at different damper speeds. Damper reaction times are extremely fast, and below the required 15ms, see figure 11. With damping force slew rates of a few milliseconds per 500N, the reaction time of the complete system (including sensor and CPU) can be less than 15ms over the whole adjustable range. Therefore control of wheel hop frequencies is possible.

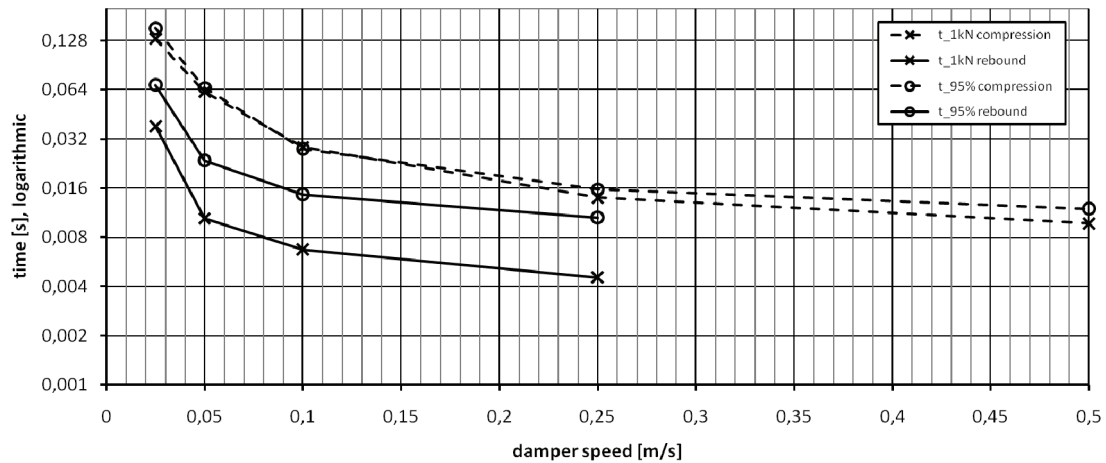


figure 11: dynamic response times for eRRide motorcycle damper with integrated ER valve. Times of 95% force build-up and build-up of the first 1kN after switching-on (switch time 0V...5V approx. 2ms...3ms) for compression and rebound at different damper speeds,  $T = 40^{\circ}\text{C}$

The ER damper itself packages well within the space constraints of modern motorcycles as it is smaller than most conventional retrofit dampers. Furthermore, the HV electronics and cable have to be packaged. In its current development state, HV electronics is comparable in size existing adjusters of electronically adjustable dampers. Power consumption typically is smaller than the power consumption of other semi-active damping technologies. The maximum power consumption is limited to 40W per damper. It is noted that the average power consumption in an LCV application has been measured as 3W per corner in a city cycle over roads of medium roughness.

## Summary and outlook

It has been shown that ER dampers are suitable for motorcycle suspension use. The available high damping forces at low damper speeds can suppress extreme events, such as the highsider, and provide good road holding in every driving situation. The low basic hydraulic forces (in the off state) enable outstanding comfort. Concerning friction, the ER damper is comparable to conventional off-the-shelf dampers. Packaging of an ER damper is comparatively easy, as the damper itself is smaller than most conventional off-the-shelf dampers.

Next steps will include endurance and temperature testing of the ER damper. Further design steps will improve the damper regarding weight and cost. Furthermore, an ER fork will be designed. Ongoing developments will lead to a further reduction of the space requirements of the electronics.

## References

- [1] SAE Engineering Aid 25: Small Adult Female Hybrid III Test Dummy
- [2] SAE Engineering Aid 26: Large Adult Male Hybrid III Test Dummy
- [3] Weidele, A.: Untersuchungen zum Bremsverhalten von Motorrädern unter besonderer Berücksichtigung der ABS-geregelten Kurvenbremsung. Diss. TH Darmstadt, Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 12, Nr. 210, VDI-Verlag, Düsseldorf 1994
- [4] Funke, J.: Dynamische Vorderradüberbremsung bei Motorrädern. TU Darmstadt, Fachgebiet Fahrzeugtechnik, Bericht Nr. 270/00, Darmstadt 2000, unveröffentlicht
- [5] Bayer, B.: Das Pendeln und Flattern von Krafträdern. Diss. TH Darmstadt, Wirtschaftsverlag NW Heft 4 der „Forschungshefte Zweiradsicherheit“ des IfZ
- [6] Fischer, D., Isermann, R. (2003): Mechatronic Semiactive and Active Vehicle Suspensions. Control Engineering Practice. Vol.12, n.11, pp.1353-1367
- [7] Savaresi S.M., C. Poussot-Vassal, C. Spelta, O. Sename, L. Dugard (2010): Semi-Active Suspension Control for Vehicles. Elsevier (Butterworth-Heinemann), Oxford 2010



**Injury Situation and Accident Causation Parameter for  
Motorized Two-Wheel-Riders in Traffic Accidents based  
on German In-Depth-Accident Study GIDAS**

**Verletzungssituation und Unfallursachen-Parameter von  
motorisierten Zweirädern bei Verkehrsunfällen in Erhebungen  
am Unfallort GIDAS (German-In-Depth-Accident-Study)**

Dietmar Otte and Michael Jänsch  
Accident Research Unit, Medical University of Hanover, Germany

Carl Haasper  
Surgeon Department, Medical University of Hanover, Germany

## Abstract

Since years many different kinds of motorized two-wheelers have been used. They are driven from different kind of people, youngest and oldest as well as on business or on leisure activities. The accident scenario is often a replication of driving behavior, driving experiences and kind of traffic participant. The biomechanical load limits of the human body are influenced on age on one hand. The injury severity is resulted from the different mass relation between the collision partners on the other hand. Therefore the accident severity and the resulting injury severity are linked to different kinds of two-wheel-riders in different replications.

Within a study of accident data from GIDAS (German In-Depth Accident Study) injury risk in traffic accidents are investigated. The effectiveness of protective measures like helmet and protective clothes are described in the study. GIDAS is the largest in-depth accident study in Germany. Due to a well defined sampling plan, representativeness with respect to the federal statistics is also guaranteed. A hierarchical system ACASS Accident Causation Analysis with Seven Steps was developed in GIDAS, describing the human causation factors in a chronological sequence from the perception to concrete action, considering the logical sequence of basic human functions when reacting to a request for reaction. The methodology and coding system for causation factors is described in the paper.

The basis of the study is a more than 10-years accident documentation from 1999 to 2009 of GIDAS (German-In-Depth-Accident Study). In total  $n= 1391$  motorcycles  $> 125$  ccm und  $n= 1205$  other motorized two-wheelers were analyzed. The results are given a representative manner based on statistical sampling and weighting procedures. The paper will give an overview of description of the injury pattern and injury mechanisms of accidents with specific accident configurations, for that protective measures will be explained.

## Kurzfassung

Seit Jahren sind im Straßenverkehr die unterschiedlichsten Arten von motorisierten Zweirädern unterwegs und werden von Jugendlichen wie auch älteren Fahrern genutzt. Das Unfallgeschehen ist häufig ein Abbild von Fahrleistung, Fahrverhalten und Verkehrsteilnahmeaktivität. Die biomechanischen Belastungsgrenzen des Menschen sind vom Alter geprägt. Die Verletzungsschwere wird besonders durch die unterschiedlichen Massen der miteinander kollidierenden Partner und der bei der Kollision auf den Körper übertragenen Belastungen beeinflusst, so dass in Anbetracht der unterschiedlichen Verkehrsteilnahme auch die Unfallschwere und damit die resultierenden Verletzungen für die jeweilige Zweiradgruppen unterschiedlich auftreten.

Unfalldokumentationen aus Hannover und Dresden (GIDAS) werden genutzt um die detaillierten Verletzungen zu analysieren und Schutzmöglichkeiten darzustellen. Die Effektivität bestehender Schutzmittel Helm und Schutzkleidung werden dargestellt und für zurückliegende Zeiträume aufgezeigt. GIDAS stellt die größte Datensammlung von Unfällen mit Personenschaden in Deutschland dar und kann als repräsentativ angesehen werden. GIDAS besteht seit 1999 und wird fortlaufend ergänzt.

Es stehen für die Studie 2596 Unfälle mit Motorisierten Zweirädern zur Verfügung, die rekonstruiert waren und Angaben zur Kollisionsgeschwindigkeit beinhalteten. Damit wurden  $n= 1391$  Motorräder  $> 125$  ccm und  $n= 1205$  andere motorisierte Zweiräder zusammengefasst ausgewertet. Die Daten beinhalten die Jahre 1999 bis 2009 und sind statistisch repräsentativ (Zufallsstichprobe und Wichtung).

Bezogen auf die Unfallursachen, für die hier eine von GIDAS entwickelte neuartige Unfallursachencodierung ACASS (Accident Causation Analysis with „Seven Steps“) vorgestellt wird, können spezifische Einflussfaktoren auf die Unfallverursachung analysiert werden. Ebenso werden spezifische Unfallkonfigurationen dargestellt und die Verletzungsfolgen und Verletzungsmechanismen mit Schutzmöglichkeiten für den Zweiradbenutzer beschrieben.

**Verletzungssituation und Unfallursachen-Parameter von  
motorisierten Zweirädern bei Verkehrsunfällen in Erhebungen  
am Unfallort GIDAS (German-In-Depth-Accident-Study)**

## Einleitung und Zielsetzung

Verkehrsteilnehmer ohne äußere Schutzzelle werden als „Vulnerable Road User“ bezeichnet. Dazu gehören Fußgänger, Fahrradfahrer und motorisierte Zweiradbenutzer. Zu Letzteren gehören entsprechend der Aufteilung des Kraftfahrtbundesamtes und EU-Fahrzeugklasseneinteilung Kleinkrafträder (EU-Klasse L1e, <45km/h, <50ccm) und Motorräder (L3e, L4e >50ccm, >45 km/h). Bei den sog. Kleinkrafträder werden Kleinkrafträder (<50ccm, <45 km/h), Mopeds, Mofas (<25 km/h), Light Mofas (<30ccm, <0,5KW, <20km/h) zusammengefasst. Bei den Motorrädern unterscheidet man in Kräder (>50ccm, > 45 km/h) und Leichtkrafträder (<125ccm, <11KW). Bedingt durch unterschiedliche Bauart und Nutzung der verschiedenen Arten sind Fahr- und Bewegungsverhalten im öffentlichen Straßenverkehr verschieden. Für diese Gruppen bestehen auch unterschiedliche Anforderungen aus dem Fahrerlaubnisrecht. Die Schutzmöglichkeiten der verschiedenen Arten sind ebenfalls unterschiedlich. So verfügen Motorradfahrer über einen Schutzhelm, der in Form des Integralhelmes den gesamten Kopf bei einem Anprall schützt und häufig sogar durch Schutzkleidung am Körper getragen und mit speziellen Protektoren bestückt ergänzt verwendet werden. Bei Mofas, Motorrollern und Kleinkrafträder hingegen findet man seltener den Helm und auch die spezielle Bauart des Integralhelmes in Verwendung, hier werden Halbschalen- und Jethelm durchaus häufig getragen. Auch Schutzkleidung findet man je Zweiradart in unterschiedlicher Häufigkeit. Spezielle Protektoren in der Kleidung sind fast ausschließlich bei Motorradfahrern und hier auch in geringer Nutzungshäufigkeit zu finden.

Das Unfallgeschehen ist häufig ein Abbild von Fahrleistung, Fahrverhalten und Verkehrsteilnahmeaktivität, so gehören verunfallte motorisierte Zweiradbenutzer nahezu allen Altersgruppen an. Während verunfallte Motorradfahrer durchaus häufig durch Ältere geprägt sind, werden Leichtkrafträder und Motorroller überwiegend von der jüngeren Generation benutzt. Das Alter spielt einerseits in der Unfallverursachung, aber auch in dem Resultat, Verletzungen zu erleiden, eine besondere Rolle. So sind die biomechanischen Belastungsgrenzen des älteren Menschen im Vergleich zu den Jüngeren deutlich herabgesetzt. Die Verletzungsschwere wird jedoch besonders geprägt durch die unterschiedlichen Massen der miteinander kollidierenden Partner und der bei der Kollision auf den Körper übertragenen Belastungen, so dass in Anbetracht der Unterschiede in den verschiedenen Verkehrsteilnehmergruppen auch die Unfallschwere und damit die resultierenden Verletzungen unterschiedlich auftreten.

Es werden derzeit in Europa etwa 30 Mio motorisierte Zweiräder geschätzt, und ein Markt für Europa von derzeit jährlich etwa 2,5 Millionen Zweiräder angegeben (ACEM 2007). Dabei ist ein krasser Anstieg in den Jahren nach 2005 mit noch 2,0 Mio. Einheiten festzustellen. Der Trend von <50ccm Mofas und Motorroller ist nun auf etwa 1 Mio. sinkend, die Registrierungen von Motorrädern >50ccm dagegen mit +3% auf 1,5 Mio. zunehmend.

Besonders in Asien gehören motorisierte Zweiradfahrer zum Gesamtbild des Verkehrs. In Indien beispielsweise sind 69 % aller motorisierten Fahrzeuge motorisierte Zweiradbenutzer und 27% aller im Straßenverkehr Getöteten zählen zu der Gruppe der motorisierten Zweiradbenutzer. In Thailand schätzt man 70 – 90 % der Getöteten und in Malaysia über 60 % zu motorisierten Zweiradbenutzern. In vielen sog. „low and middle income countries“ gehören motorisierte Zweiräder zu den zunehmenden Transportmitteln. Demzufolge ist es nicht verwunderlich, dass dort auch viele Personen dieser Verkehrsteilnehmergruppe sterben. Dies ist in den westlichen Ländern glücklicherweise nicht der Fall, wengleich auch dort jährlich Menschen im Umgang mit diesen Zweiradarten verletzt oder getötet werden. In der Europäischen Union sterben jährlich etwa 40000 Personen im Straßenverkehr (ETSC 2008) und es kamen im Jahr 2006 insgesamt 6200 getötete motorisierte Zweiradbenutzer in den EU 25 Ländern ums Leben, diese repräsentieren 16% aller Verkehrstoten, während sie nur 2% der gesamten Kilometerleistung fahren. Das Risiko getötet zu werden wird mit 18mal höher eingestuft als bei PKW-Fahrern. Es wurde postuliert, dass Norwegen, Schweiz, Dänemark und Finnland die für motorisierte Zweiradfahrer am wenigsten gefährlichen Länder darstellen, während das Zentrale und Östliche Europa als gefährlichste Regionen dar stehen.

Motorisierte Zweiradbenutzer sind besonders gefährdet, da in Folge der höheren Eigengeschwindigkeit auch Kollisionen zwischen schwereren Fahrzeugen wie Pkw und Lkw zu hoher Energieumsetzung führen. Eine Nutzung vorhandener Schutzmittel wie Helm und Schutzkleidung ist mittlerweile in vielen Ländern üblich, allerdings von Nord nach Süd in Anbetracht unterschiedlicher Temperatursituationen auch verschieden häufig zu registrieren. Ebenso werden in südlicheren Ländern häufiger auch Halbschalen- und Jethelme genutzt. In Deutschland trugen im Jahr 2008 97% der Fahrer motorisierter Zweiräder einen Schutzhelm, lediglich 51% trugen ergänzend zum Helm eine Schutzkleidung, 19% trugen eine komplette Schutzkleidung (BAST 2009). Wegen der relativ hohen Benutzungsquote an Schutzmitteln ist es erklärbar, dass die Verletzungssituation im Straßenverkehr für Motorradfahrer mittlerweile verglichen mit früheren Jahren relativ günstig ausfällt. In 2009 wurden für Deutschland 651 getötete Motorradfahrer gezählt, etwa 18% weniger als 4 Jahre zuvor (DeSTATS 2010), die Zahl der getöteten Mofa-Moped-Benutzer blieb dagegen konstant bei etwa 100 per anno, entsprechendes gilt auch für die Zahl der Verletzten.

Nachdem technische Ursachen an dem Zustandekommen von Unfällen in Anbetracht der technisch hochqualitativ konzipierten Fahrzeugtechnik und Straßengestaltung kaum mehr in Erscheinung treten und Fahrzeuge hinsichtlich der Sicherheit fortlaufend optimiert werden, sind Menschliche Ursachen als Hauptquelle für das Zustandekommen von Unfällen zu nennen. Insbesondere um auch in Zukunft die Zahl der Verletzten und Getöteten noch weiter reduzieren zu können, bedarf es auch der Senkung der absoluten Unfallzahlen. Zurückliegende Untersuchungen erbrachten immer wieder die Erkenntnis, dass der Motorradfahrer offensichtlich weniger schuldhaft beteiligt ist, als der mit diesen Fahrzeugen

kollidierenden Fahrzeugführer PKW oder LKW. Die Missachtung der Vorfahrt des Zweirades durch andere Verkehrsteilnehmer zählt zu den bislang bekannten Unfallursachen (IFZ 2004). Gemäß des Verbandes der Schadensversicherer wurden 11% Situationen vorgefunden, bei denen der Pkw-Fahrer schuld am Zustandekommen des Unfalles war und bei denen der Motorradfahrer verletzt wurde (Spörner 1989).

Die vorstehende Studie soll die Frage klären, inwieweit sich die Unfall- und Verletzungssituation für die Gruppe der motorisierten Zweiradbenutzer gewandelt hat und welche Maßnahmen zur Sicherheitssteigerung zukünftig anzustreben sind?

Dabei bietet es sich an, die fortlaufend in Hannover und Dresden durchgeführten Erhebungen am Unfallort GIDAS<sup>1</sup> zur Beantwortung und Analyse der Unfallstruktur heranzuziehen. Die Studie kann als Zielsetzung die unterschiedlichen strukturellen Eigenarten der einzelnen Verkehrsteilnehmer anhand detailliert dokumentierter Verkehrsunfälle analysieren und dabei Verletzungsschwerpunkte und Verletzungsmechanismen in Verbindung mit den genutzten Schutzmitteln wie Helm und Schutzkleidung aufzeigen. Auch können Unfallursachenfaktoren herausgearbeitet und hierfür ebenso Charakteristika aufgezeigt werden.

## **Basis der Studie**

Im Rahmen von GIDAS werden jährlich etwa 2.000 Verkehrsunfälle mit Personenschäden durch wissenschaftliche Teams in Hannover und Dresden dokumentiert und mittels umfassender Sammlung von Informationen, der Rekonstruktion der Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeiten und ausführliche Dokumentation der erlittenen Verletzungen Verletzungsschwerpunkte erkannt (Otte 2003, Brühning 2005). Mittels einer neuartigen Codierung von Unfallursachenfaktoren können unfallrelevante Situationen herausgearbeitet und unfallprophylaktische Maßnahmen definiert werden (Otte 2009). Die Verletzungen werden dabei in Anlehnung an die AIS (AAAM 1998) erfasst und der Verletzungsschweregrad mittels der darin üblichen Definition nach MAIS (maximaler Einzel-AIS aller am Körper registrierten Verletzungen) den technischen Rahmenbedingungen gegenübergestellt. Für die Ermittlung der Kollisions- und Fahrgeschwindigkeiten werden die Spuren am Unfallort mittels 3D-Lasertechnik in einer maßstabsgetreuen Skizze dokumentiert und mittels Simulationssoftware PC-Crash die Kollisionsanalyse vorgenommen (Otte 2005). Basierend auf der Dokumentation der Verkehrsunfälle nach statistisch repräsentativem Stichprobenverfahren und jährlich erneuter Abgleichung des Datensatzes können die Unfalldaten als repräsentativ für Deutschland angesehen werden (Pfeiffer 2006).

---

<sup>1</sup> GIDAS (German In-Depth-Accident-Study) Kooperationsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen und der Forschungsgemeinschaft der Deutschen Automobilindustrie FAT, durchgeführt von der Medizinischen Hochschule Hannover ARU und Technischen Universität Dresden VUFO GmbH

Für die Studie wurden Dokumentationen der Verkehrsunfälle von 1999 bis 2009 verwendet. Dabei wurden aus der statistisch gesammelten Zahl aller Unfälle mit Personenschaden ausschließlich Motorisierte Zweiradbenutzer ausgewählt und diese in zwei Gruppen Motorradfahrer und Andere motorisierte Zweiradbenutzer aufgeteilt. Insgesamt wurden nur rekonstruierte Fälle gewählt, da für diese alle im Rahmen der Studie verwendeten Parameter bekannt waren, insbesondere hierbei auch die Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeiten errechnet wurden.

Ziel der Studie ist es die aktuelle Verletzungsgefährdung für Motorradbenutzer darzustellen und diese vergleichend zur Situation der übrigen Gruppe von motorisierten Zweiradbenutzern zu betrachten und zu diskutieren.

Basis der Studie sind  $n=1391$  Motorradfahrern  $> 125 \text{ cm}^3$ , die  $n=1205$  anderen motorisierten Zweiradfahrern gegenübergestellt und für Kollisionen mit Pkw und Lkw sowie im Rahmen von Alleinunfällen analysiert wurden. Zu der Gruppe der „anderen motorisierten Zweiradbenutzer“ gehören Leichtkraftäder, Mopeds und Mokicks sowie Mofas, zu den Motorrädern ausschließlich solche mit über 125 ccm.

Die Auswertung des statistisch gewichteten Datensatzes wurde als deskriptive Statistik vorgenommen. Dabei wurden im Datensatz unbekannte Parameter nicht berücksichtigt, so dass sich hierdurch in den dargestellten Tabellen und Diagrammen unterschiedliche n-Zahlen ergeben können.



## Beschreibung des Unfall- und Kollisionsgeschehens

Das Unfallgeschehen von Zweirädern ist bedingt durch die unterschiedliche Art der Motorisierung des Zweirades auch sehr heterogen hinsichtlich der Unfalltypen. Als Unfalltyp werden die Bewegungsrichtungen der mit einander kollidierten Verkehrsteilnehmer vor der eigentlichen Kollision definiert. Eine übersichtliche Darstellung liefert die Codierung des GDV –ISK (GDV 1998) wie sie auch zur amtlichen polizeilichen Unfallstatistik genutzt wird (Abbildung 1).

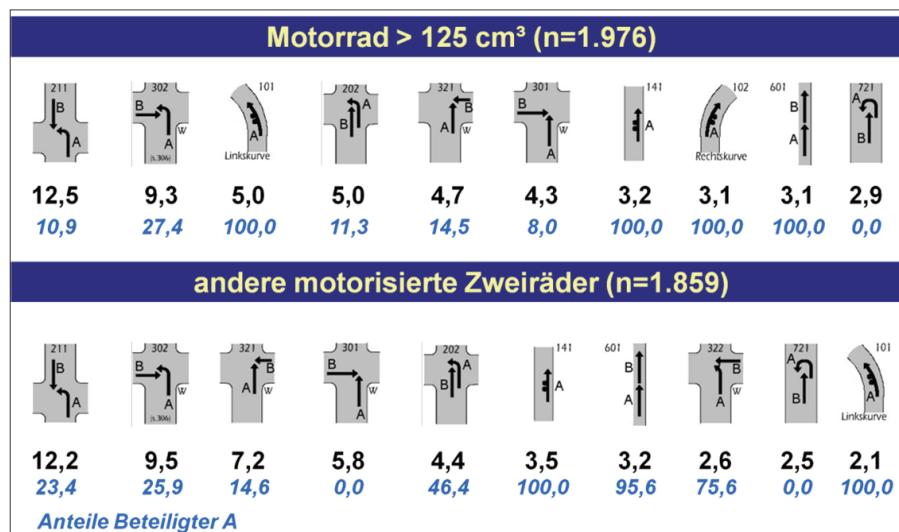


Abbildung 1: Jeweils 10 häufigste Unfalltypen von Unfällen motorisierter Zweiräder (100% stellen alle möglichen Unfalltypen dar, ausgewählt nur die Häufigsten, schräge Schrift = Anteil der Situationen bei denen Zweirad A ist)

Auffallend zeigt sich Übereinstimmung in den ersten zwei häufigsten Unfalltypen, bei allen Zweirädern erscheint der Type „Linksabbiegend und Entgegenkommend“ mit etwa 12% sowie „Linksabbiegend mit von Links Kommend“ mit etwa 9,5% als besonders häufig. Dagegen findet man in der nachfolgenden Rangreihe unter den 10 häufigsten Typen für die Zweiradarten sehr verschiedene Konstellationen. Motorräder verunfallen in 5% bei Linkskurvenfahrt, in 5% bei Linksabbiegesituationen mit Überholenden, Unfälle bei Rechtskurvenfahrt rangiert auf Rang 8 mit 3,1%. Dagegen zeigen sich bei anderen motorisierten Zweirädern deutlich weniger Unfälle in der Kurve, dafür mehr unter Vorfahrsdelikten, beispielsweise folgt die von rechts zu gewährende Vorfahrtsberechtigung hier bereits auf dem 3.Platz. Verunfallte Motorradbenutzer sind zu 78 % der Altersgruppe 18 bis 45 Jahre zugehörig, lediglich 17% waren älter und nur 1,6% waren älter als 64Jahre (Abbildung 2). Dagegen zeigen sich bei den anderen motorisierten Zweiradbenutzern 5,9% ältere Personen über 65 Jahre und mit 55% 18 bis 45 Jährige, aber auch 22,4% 13 bis 17 Jährige.

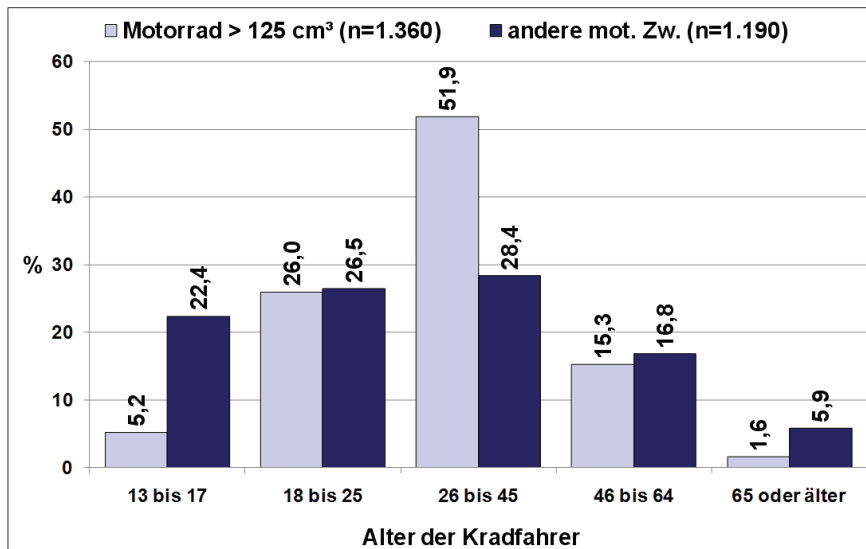


Abbildung 2: Altersverteilung der Fahrer motorisierter Zweiräder (100% je Zweiradgruppe)

Der PKW zählt zu den am häufigsten anzutreffenden Kollisionspartnern (Abbildung 3), bei Motorradunfällen bilden diese 43,6%, bei der Gruppe der Anderen 55,1%. Objektkollisionen sind bei allen Zweirädern in etwa bei 25% aller Unfälle zu finden. Auffallend erscheinen mehrere Kollisionspartner doppelt so häufig bei Motorradunfällen (22,5% zu 10,5%).

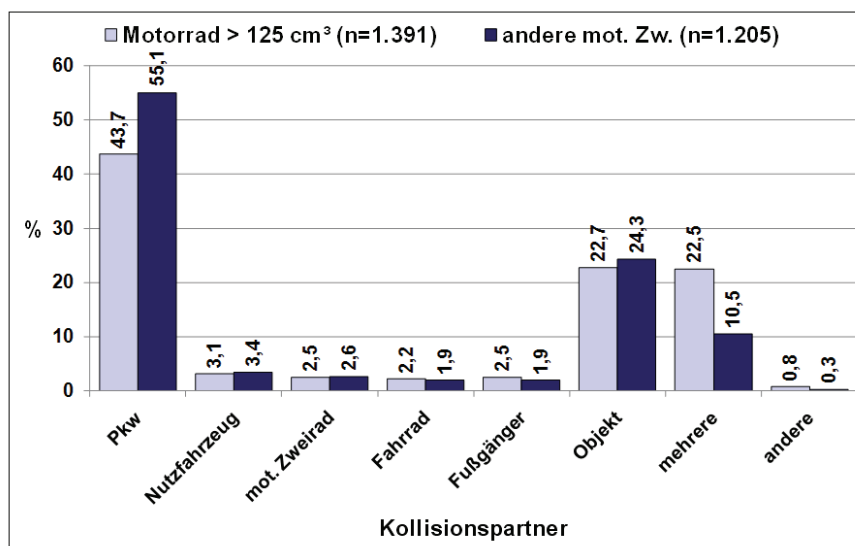


Abbildung 3: Kollisionspartner der motorisierten Zweiräder

Bemerkenswert ist, dass die resultierende Verletzungsschwereverteilung nicht sehr wesentlich zwischen den Gruppen der Zweiräder abweicht. So werden 66% der Motorradfahrer und 74% der Anderen motorisierten Zweiradfahrer leicht verletzt, was ein hohes Maß an Sicherheit für Zweiradfahrer bestätigt, erfahren doch lediglich noch 10,7% der Motorradfahrer und 5,8% der Anderen schwere Ver-

letzungen MAIS 3+ (Abbildung 4). Schwere Verletzungen sind somit bei motorisierten Zweiradbenutzern sehr selten, was wohl dem vorgeprägten populären Image dieser Verkehrsteilnehmergruppe doch deutlich widerspricht.

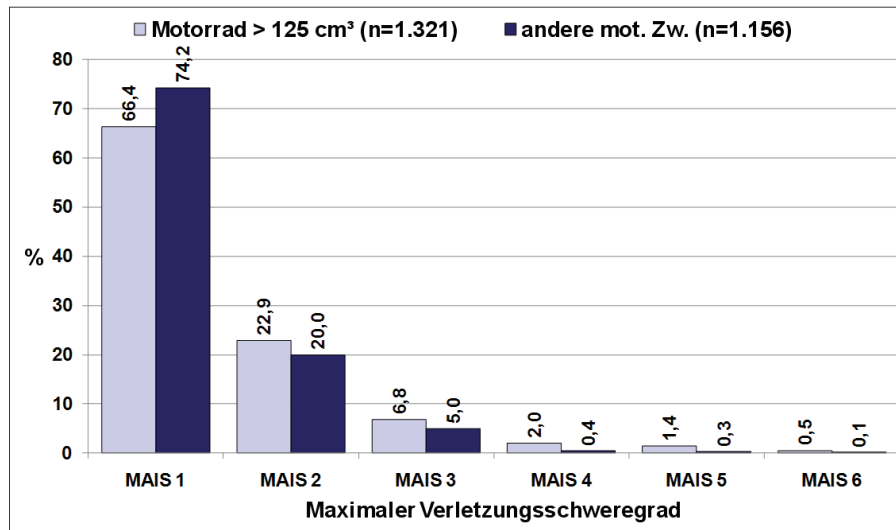


Abbildung 4: Maximaler Verletzungsschweregrad der Fahrer von motorisierten Zweirädern (100% je Zweiradgruppe)

Verletzungen sind Folge der umgesetzten Kollisionsenergie und der Möglichkeit mit den Körperpartien massiv anzuprallen. Schwere Verletzungen treten bei Motorradbenutzer infolge des hohen Fahrgeschwindigkeitsprofils vergleichend zur Gruppe der Anderen ausgeprägter in Erscheinung. Abbildung 5 zeigt diesen Geschwindigkeitseinfluss auf die Verletzungsschwere MAIS. Man erkennt, dass für beide hier dargestellten Zweiradgruppen nahezu die gleichen prozentualen Verteilungen in der Verletzungsschwere für gleiche Unfallschweregruppen der Relativgeschwindigkeiten bestehen. So waren bei Relativgeschwindigkeiten von bis zu 30km/h drei Viertel der Zweiradbenutzer leicht verletzt (AIS 0/1), lediglich etwa 20% nur schwer verletzt MAIS 2+. Dagegen wurden bei Relativgeschwindigkeiten von 51 bis 70 km/h bei Motorradfahrern etwa 50% leicht verletzt und 6,3% schwerst verletzt MAIS 4+, bei anderen motorisierten Zweiradbenutzern 2,0% schwerst verletzt und etwa 65% leicht verletzt.

Die Relativgeschwindigkeit stellt die vektorielle Addition der Geschwindigkeitsvektoren dar und berücksichtigt damit Betrag und Richtung der Geschwindigkeitskomponenten beider miteinander kollidierten Verkehrsteilnehmer. Es zeigte sich in früheren Studien, dass dieser Parameter zur Verletzungsschwere korreliert (Otte 1995).

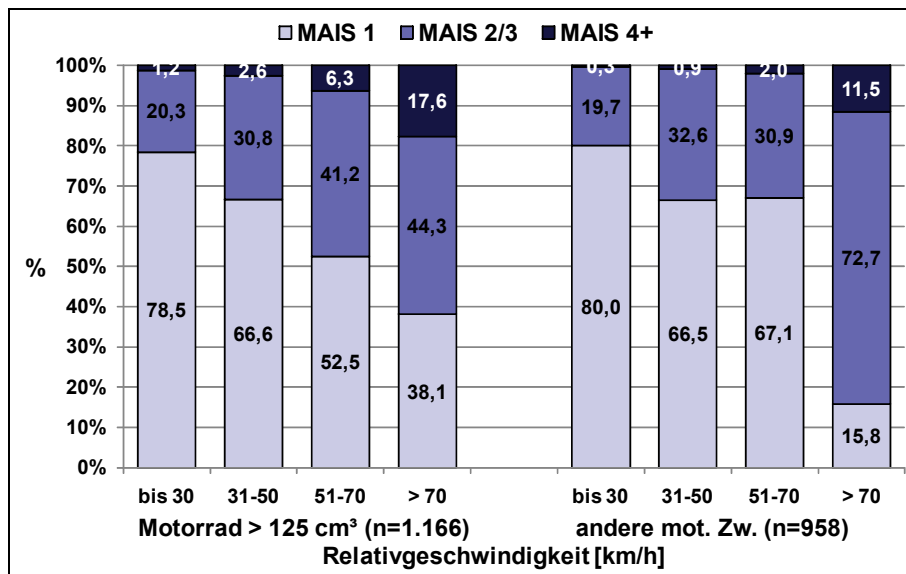


Abbildung 5: Relativgeschwindigkeit und maximaler Verletzungsschweregrad der Fahrer motorisierter Zweiräder (100% je Gruppe der Relativgeschwindigkeiten)

Bei Unfällen motorisierter Zweiräder lassen sich unterschiedliche Kollisionstypen bei den hier gebildeten Gruppen von Zweirädern finden (Abbildung 6), die die resultierenden Verletzungen aus den sich hieraus ergebenden Bewegungsverhalten von Zweirad und Aufsassen bei der Kollision bedingen.

Die Kollisionstypen basieren auf einer in früheren Publikationen verwendeten und wissenschaftlich anerkannten Einteilung in 7 unterschiedliche Gruppen (Otte 1985), bei der die Fahrzeuglängsachsen und deren Winkel der miteinander kollidierenden Fahrzeuge unmittelbar vor dem Anprall mittels 6 Kollisionstypen betrachtet und für den Fahrzeuganprall in rechtwinklig und schräg unterschieden werden. Zusätzlich wird auch der Alleinunfall des Krades als Typ 7 mit einbezogen.

Die schwerwiegendsten Folgen treten in Kollisionstypen auf, bei dem das Zweirad derart mit dem PKW/LKW kollidiert, so dass der Körper relativ gegen das Chassis des Kollisionspartners prallen kann. Es erscheinen die Typen 2 bis 4 eines schräg aufprallenden Zweirades gegen die Front bzw. die Seite eines Fahrzeuges und der Alleinunfall mit einem relativ hohen Anteil Verletzter Personen MAIS 3+. Dominierend sind bei Motorrädern Alleinunfälle mit 45,9% und einem Anteil Schwerverletzter MAIS 3+ von 10,9%.

Für die Gruppe der Anderen motorisierten Zweiräder zeichnet sich eine ähnliche Verteilung der Kollisionstypen ab (Abbildung 7). Alleinunfälle sind hier mit 37,6% nicht ganz so häufig wie bei Motorrädern mit 45,9%, allerdings sind Kollisionen des Zweirades frontal gegen die Front des PKW/LKW (Typ 1 und 2) häufiger. Der Anstoß des Zweirades schräg gegen die Seite eines PKW/LKW sind besonders häufig (20,6 % bei Motorrädern, 23% bei der Gruppe der Anderen).

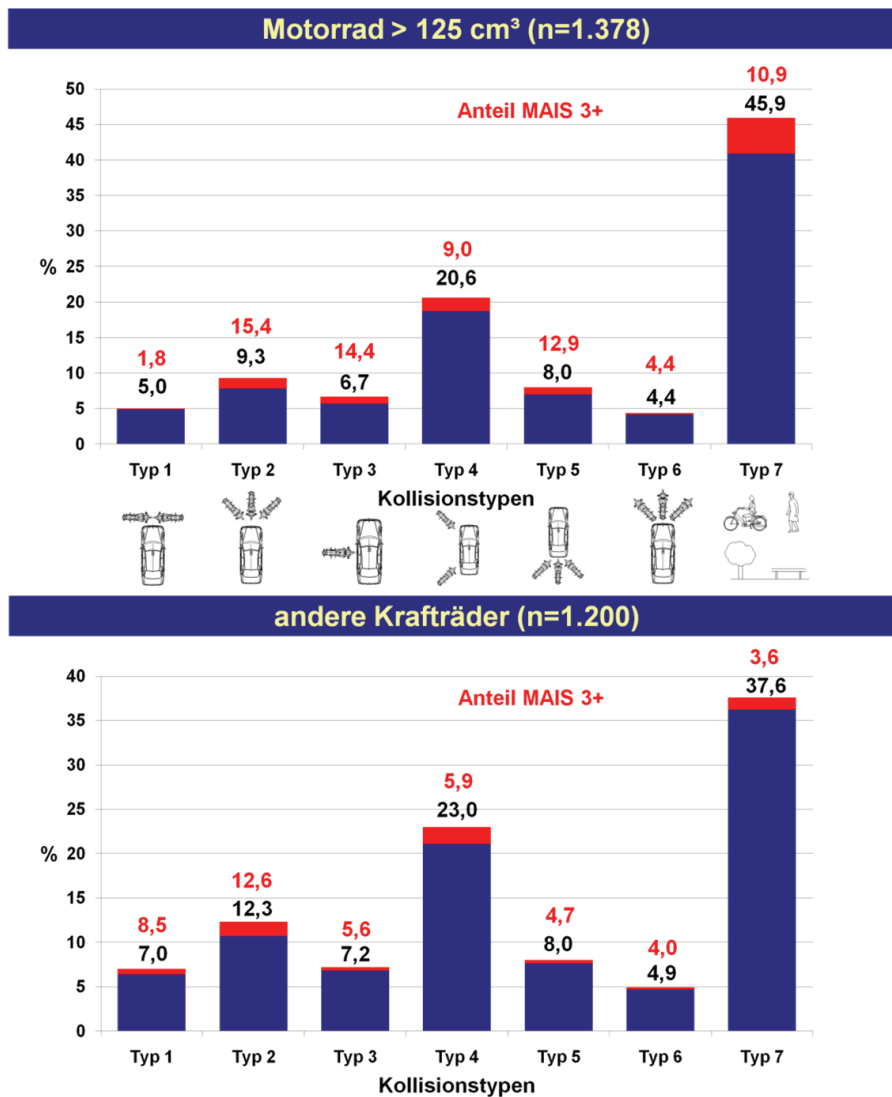


Abbildung 6: Kollisionstypen motorisierter Zweiräder und Anteile MAIS 3+ der Fahrer (100% alle Personen je Kollisionstyp)

Die Kollisionsgeschwindigkeiten der PKW sind unterschiedlich bei Unfällen mit Motorrädern vergleichend zu anderen motorisierten Zweirädern (Abbildung 7). Bei letzteren waren 50% der Relativgeschwindigkeiten über 30 km/h festzustellen, Relativgeschwindigkeiten bis 30 km/h sind besonders häufig. Bei Motorrädern waren 50% der Relativgeschwindigkeiten unter nahezu 40 km/h und somit leicht höhere Relativgeschwindigkeiten vergleichend zu den Anderen festzustellen.

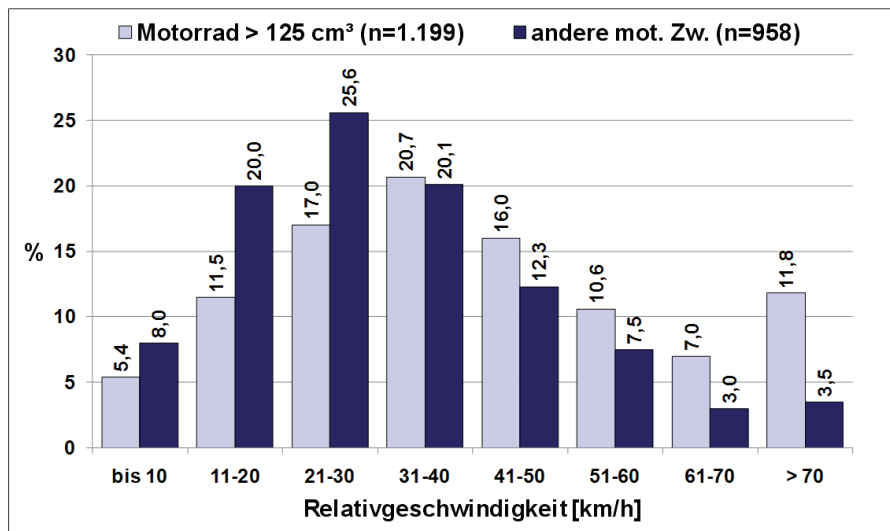


Abbildung 7: Relativgeschwindigkeiten motorisierter Zweiräder (100% je Zweiradgruppe)

Lediglich 15,2% der Motorradfahrer (Abbildung 8) zeigen Verletzungen des Kopfes, 17,2 % ist die Kopfverletzungshäufigkeit für Andere Zweiradbenutzer. Dabei sind ausschließlich Helmbenutzer betrachtet. Verletzungsschwerpunkte finden sich an den unterschiedlichen Körperregionen bei allen Zweiradbenutzern in nahezu gleicher Häufigkeit. Besonders sind betroffen die oberen (OE) und unteren (UE) Extremitäten mit etwa 45% OE und etwa 75% UE. Auch Verletzungen des Halses sind bei Motorradfahrern mit etwa 7,5% relativ häufig.

	Motorrad > 125 cm <sup>3</sup> (n=1.391)	andere mot. Zw. (n=1.205)
Kopf	20,6%	22,8%
Hals	13,4%	11,4%
Thorax	34,0%	27,1%
obere Extr.	47,8%	50,0%
Abdomen	12,2%	10,0%
Becken	19,3%	15,4%
untere Extr.	68,5%	70,5%

Abbildung 8: Anteile verletzter Körperregionen der Fahrer motorisierter Zweiräder (100% alle Personen je Zweiradgruppe)

Motorradfahrer (n=1.320)	AIS 1	AIS 2/3	AIS 4+	andere Kradfahrer (n=1.156)	AIS 1	AIS 2/3	AIS 4+
Kopf mit Schutzhelm	34,1%	55,4%	10,4%	Kopf mit Schutzhelm	57,4%	40,2%	2,4%
Hals	79,0%	15,8%	5,2%	Hals	89,3%	8,2%	2,5%
Thorax	62,9%	29,2%	7,9%	Thorax	73,7%	24,3%	2,0%
Obere Extremitäten	78,3%	21,7%	-	Obere Extremitäten	85,8%	14,2%	-
Abdomen	58,2%	34,2%	7,6%	Abdomen	85,0%	13,3%	1,6%
Becken	83,2%	13,7%	3,0%	Becken	92,7%	7,3%	-
Untere Extremitäten	76,3%	23,2%	0,4%	Untere Extremitäten	83,5%	16,4%	0,1%

Abbildung 8a und b: Verletzungsschweregrade verletzter Körperregionen von Fahrern von **Kraffrädern > 125 cm<sup>3</sup> (links)** und anderen motorisierten Zweirädern (rechts) (100% je Körperregion)

Interessant erscheint der Vergleich zwischen Motorradfahrern und anderen Benutzern bezüglich der Helmbenutzung und der dabei auftretenden Verletzungen (Abbildung 8a-b). So ist der Motorradfahrer durch Schutzkleidung und Helm offensichtlich bei Unfällen geschützt, er unterliegt jedoch infolge seiner meist höheren Eigengeschwindigkeit auch höherer Unfallschweren und damit höherer Häufigkeit von schweren Verletzungen. So waren Kopfverletzungen AIS4+ mit 8% häufiger bei Motorradfahrern festzustellen. Auch an den anderen Körperregionen finden sich häufiger schwere Verletzungen bei den Motorradfahrern, während bei den Anderen eine hierzu deutlich geringere Verletzungsschwere festzustellen ist.

Das erhöhte Verletzungsrisiko geht bei Motorradfahrern mit einem gegenüber den Anderen stärkeren Anteil genutzter Schutzkleidungen einher (Abbildung 9). In Deutschland besteht für alle Nutzer von motorisierten Zweirädern eine Helmpflicht, die auch mit über 90% Tragequote überwiegend eingehalten wird. Bei Lederschutzkleidungen finden sich bei Motorradfahrern deutlich höhere Anteil als bei den Anderen. Betrachtet wurde hier welche Arten von Schutzkleidung im Unfallzeitpunkt getragen worden war.

	Motorrad > 125 cm <sup>3</sup> (n=1.201)	andere mot. Zw. (n=1.048)
Schutzhelm	96,3%	92,0%
Schutzjacke	68,2%	26,7%
Schutzhandschuhe	61,5%	25,7%
Nierenschutz	28,5%	8,7%
Schutzhose	56,6%	18,3%
Schutzstiefel	47,7%	7,5%

Abbildung 9: Anteile von Fahrern motorisierter Zweiräder genutzte Schutzkleidungen (100% alle Personen je Zweiradgruppe)

Am Häufigsten werden Jacken als Schutzkleidung getragen (61,5% der Motorradfahrer, allerdings lediglich 25,7% der anderen motorisierten Zweiradbenutzer. Auffallend die Tatsache, dass Motorradfahrer in ebenfalls fast 60% die Beine durch eine Schutzhose bedeckt hatten, dies belegt ein für Motorradfahrer doch hohes Schutzbedürfnis dieser Körperregion. Zu Bedenken gibt allerdings, dass Handschuhe mit 61,5% und Schutzschuhe mit 47,7% eher selten genutzt wurden.

## Verletzungssituation bei Kollision mit Pkw und Lastkraftwagen

Lastkraftwagen stellen mit ihrem meist kastenförmige Aufbau und daran befindlichen Rahmenstrukturen in der Regel massive Anprallsituationen für den relativ ungeschützten Körper eines anprallenden Zweiradfahrers dar. Bei Kollision mit Lastkraftwagen werden die Zweiradbenutzer dementsprechend auch häufig schwerer verletzt als bei PKW-Unfällen, was der Vergleich in der prozentualen Häufigkeit der Verletzungsschweren widerspiegelt (Abbildung 10).

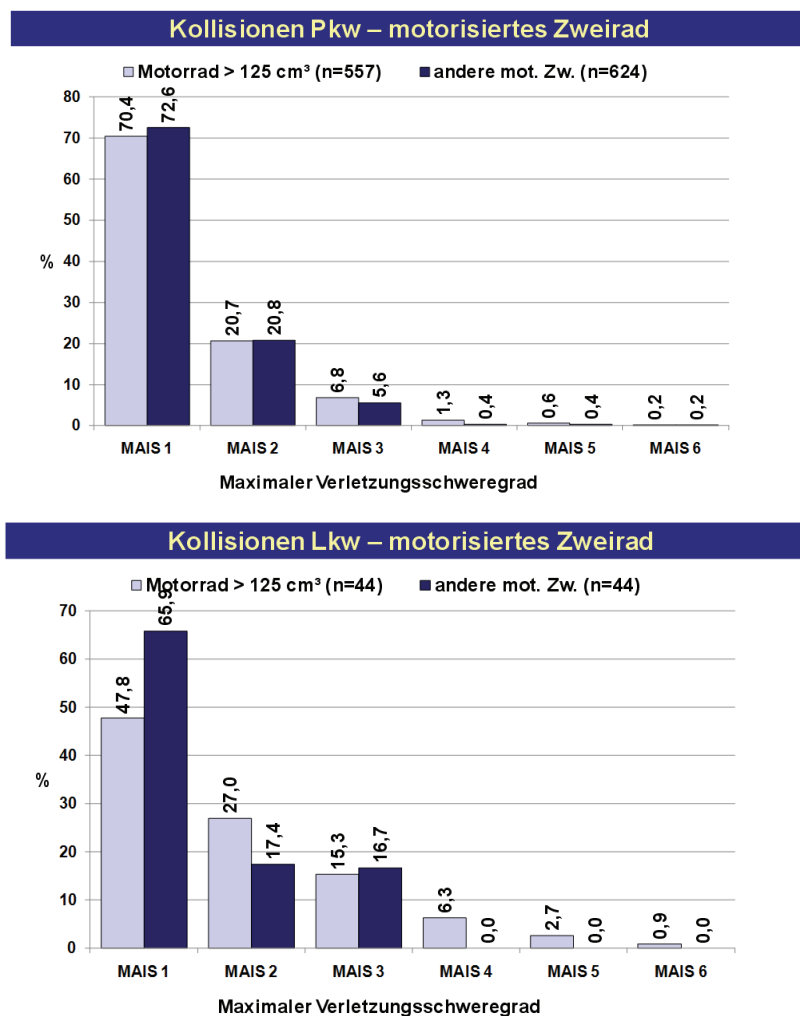


Abbildung 10: Maximaler Verletzungsschweregrad der Kradfahrer bei Kollisionen mit **Pkw** (oben) oder **Lkw** (unten) (100% je Zweiradgruppe)



Bei PKW-Unfällen erlitten 8,9% der Motorradfahrer schwerste Verletzungen MAIS 3+, bei Kollisionen mit LKW dagegen 25,3% der Motorradfahrer bei Kollision mit LKW.

Für den Motorradfahrer bedingt der Kollisionstyp Typ 3 bei PKW und zusätzlich der Typ 6 bei LKW ein besonders hohes Risiko für Kopfverletzungen (Abbildung 11). Diese beiden Kollisionstypen lassen aber auch eine hohe Schutzwirkung des Schutzhelmes erkennen. So erlitten hier noch lediglich 11% bei Typ 3 und 3,8% bei Typ 6 Kopfverletzungen. Eine besonders hohe Gefährdung für Verletzungen zeichnet sich bei Pkw-Unfällen für den Brustkorb, die Oberarme und die Beine ab, dagegen bei LKW-Unfällen sind nahezu alle Körperregionen häufig verletzt. Kollisionen mit der Front eines Fahrzeuges besitzen ein hohes Risiko für Verletzungen der unteren Extremität.

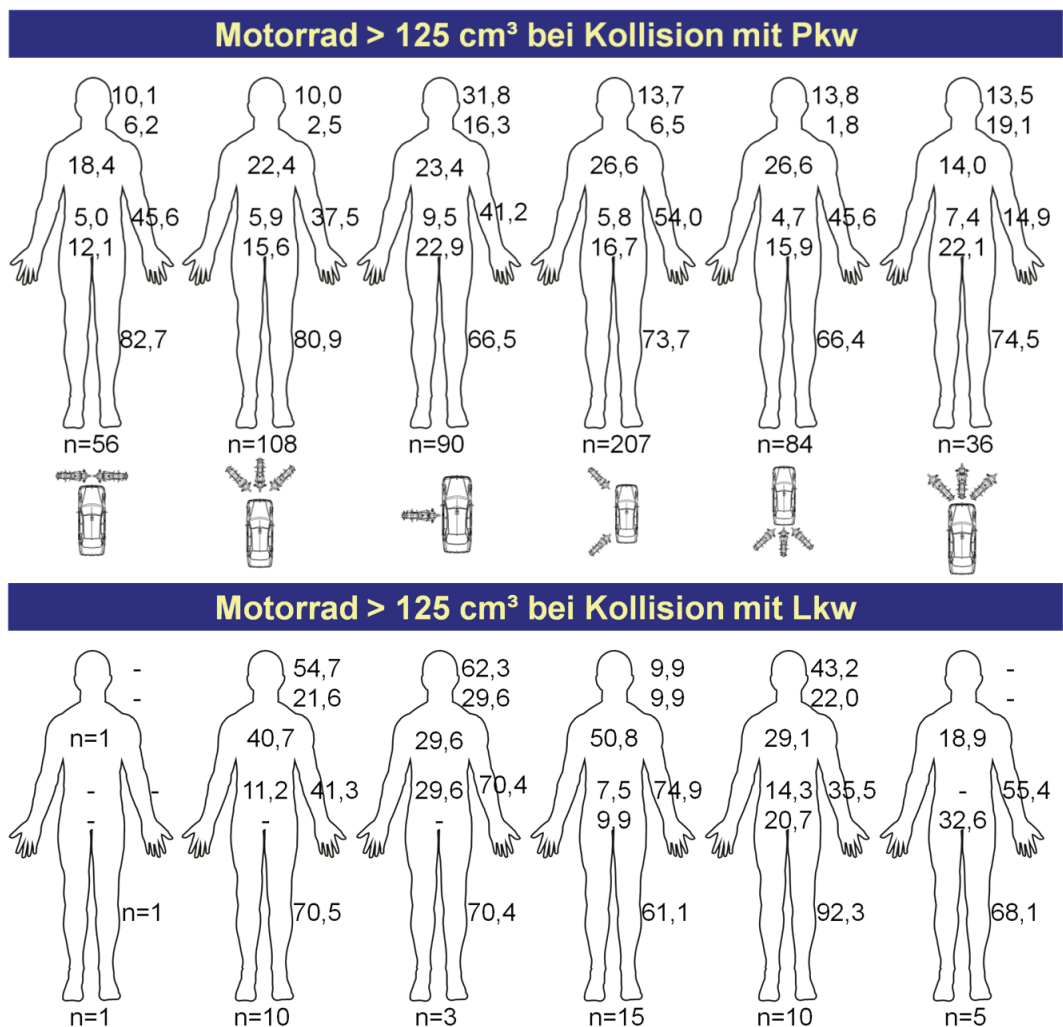


Abbildung 11: Häufigkeiten verletzter Körperregionen bei Fahrern von Krafträdern > 125 cm<sup>3</sup> (100% alle Personen je Kollisionstyp)

Für andere Zweiradbenutzer sind nahezu alle Kollisionstypen bezogen auf das Verletzungsrisiko gleich zu bewerten. Bis auf eine leicht höhere Verletzungshäufigkeit der Beine bei schrägen Frontalkollisionen (Typ 2) zeigen sich kaum Unterschiede in der Verletzungshäufigkeit bei den jeweiligen K-Typen für die verschiedenen Körperregionen.

Auffallend ist, dass die Beine des Motorradfahrers offensichtlich bei Kollisionen mit Lastkraftwagen nicht häufiger verletzt werden, als bei PKW-Anprallsituationen. Dagegen werden die Beine der Anderen Zweiradbenutzer doch häufiger verletzt, wie dies der Vergleich der Abbildungen 10 und 11 zeigt. Ursächlich dafür könnte der doch niedrigere Anteil an Tragequoten von Schutzkleidung bei der Gruppe der Anderen motorisierten Zweiradbenutzer sein.

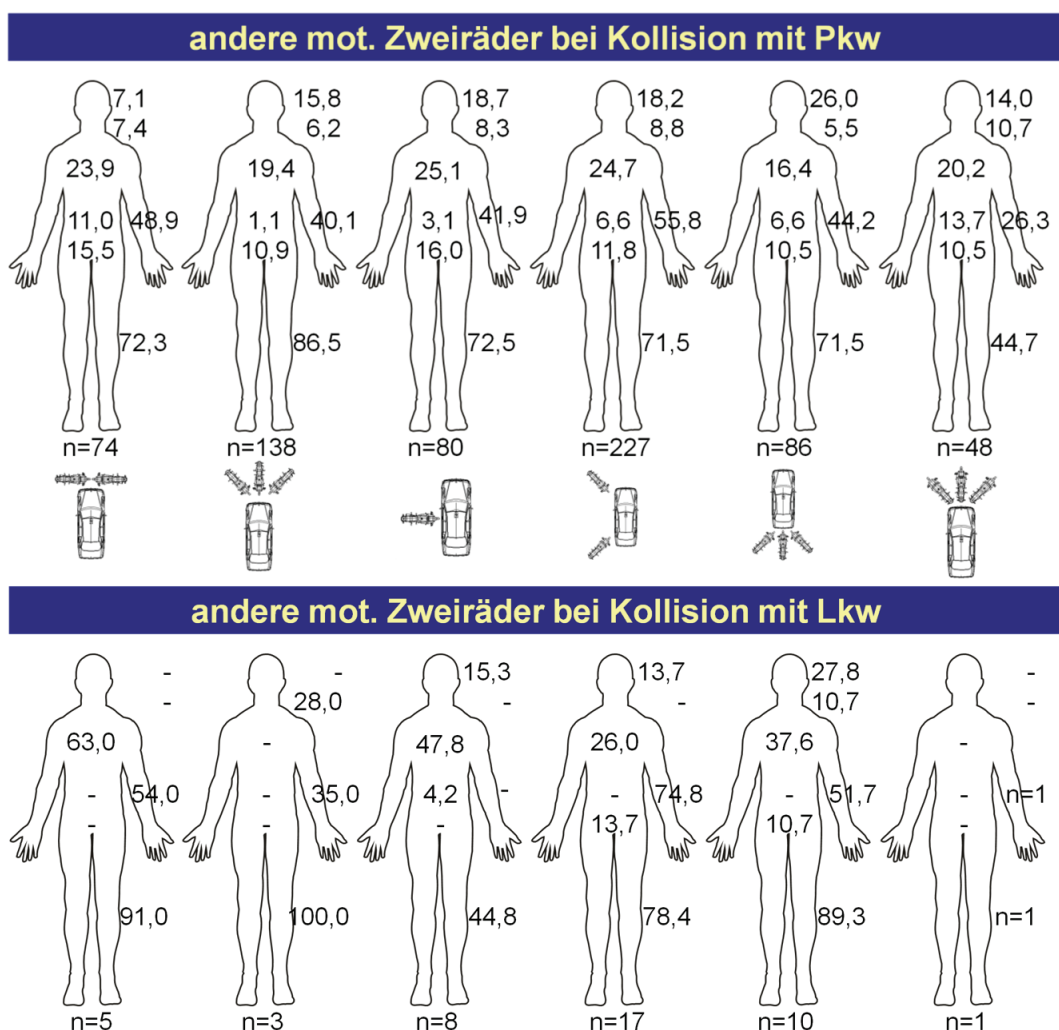


Abbildung 12 Häufigkeiten verletzter Körperregionen bei Fahrern von Kraftfahrzeugen bis 125 cm<sup>3</sup> (100% alle Personen je Kollisionstyp)

## Verletzungen bei Alleinunfall des Motorradbenutzers

Der Alleinunfall hat ausschließlich für den Motorradfahrer Bedeutung. Er unterliegt hier einem Anprall aller Körperregionen auf der Straße infolge Sturzes und an Teilen des Straßenraumes infolge Gleitens auf der Straße mit häufigem Anprall an Objekten. Die Kopfverletzungshäufigkeit beträgt 14,5%, lediglich 17,4% der Benutzer mit Helm erfuhren leichte Kopfverletzungen AIS 1, 60,5% AIS 2 und immerhin 22,1% AIS 3+ (Abbildung 13).

Auch sind Verletzungen an anderen Körperregionen beim Alleinunfall mit einem hohen Anteil AIS 3+ Verletzungen zu verbunden. Ein hohes Risiko für knöchernerne und ligamentäre Verletzungen der Halswirbelsäule kann hierfür konstatiert werden. 26,7% der Halsverletzungen entsprachen dem Schweregrad AIS 2 und höher, was HWS-Frakturen beinhaltet.

Auch die untere Extremität zeichnet sich durch häufig hohe Verletzungsschweren besonders bei Motorradbenutzer im Vergleich zu andren Zweiradbenutzer ab (MOT 11,1% AIS 3+ zu 2,9% andere).

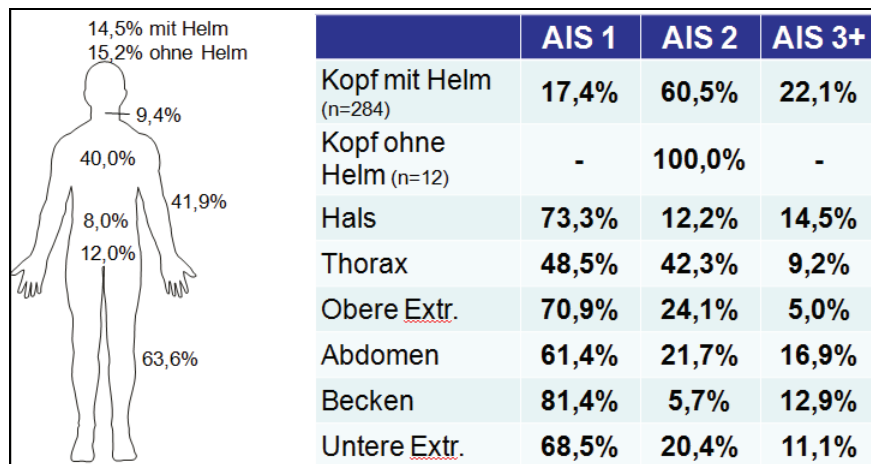


Abbildung 13: Verletzungsschweregrad von Fahrern von Krafträdern > 125 cm<sup>3</sup> bei Alleinunfällen (links: 100% alle Personen, rechts: 100% alle Körperregionen)

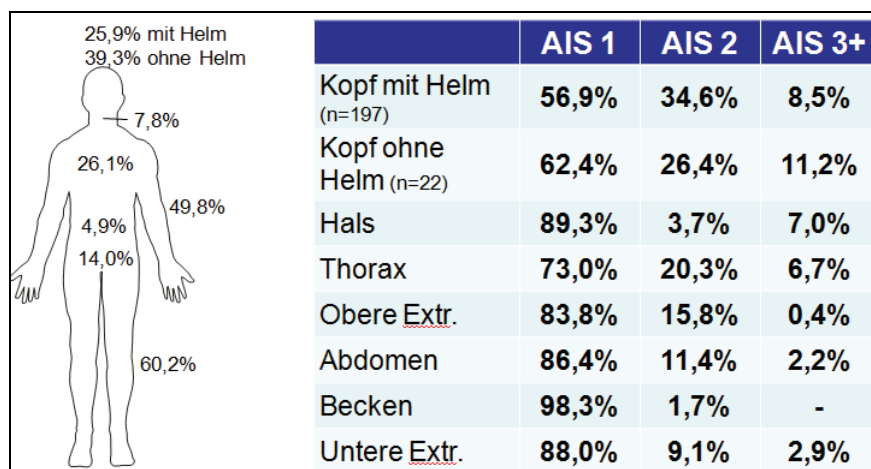


Abbildung 14: Verletzungsschweregrad von Fahrern von Krafträdern bis 125 cm<sup>3</sup> bei Alleinunfällen (links: 100% alle Personen, rechts: 100% alle Körperregionen)

Schwere Verletzungen der Beine sind besonders beachtenswert, da sie häufig besonders lange Behandlungsdauern und Langzeitfolgen bedingen (Kalbe 1981).

## Unfallursachen bei Unfällen mit motorisierten Zweiradfahrern

Die Datenbank GIDAS beinhaltet eine Zuordnung der Schuldsituation auf der Basis der polizeilichen Unfallanzeige. Diese kennzeichnet den Hauptverursacher nach der begangenen Ordnungswidrigkeit oder Straftat. Hiernach stellt sich die Ursachenzuordnung für Fahrer von Motorrädern nahezu in gleicher Häufigkeit wie auch für die Gruppe der anderen Motorisierten Zweiradfahrer dar (Abbildung 17).

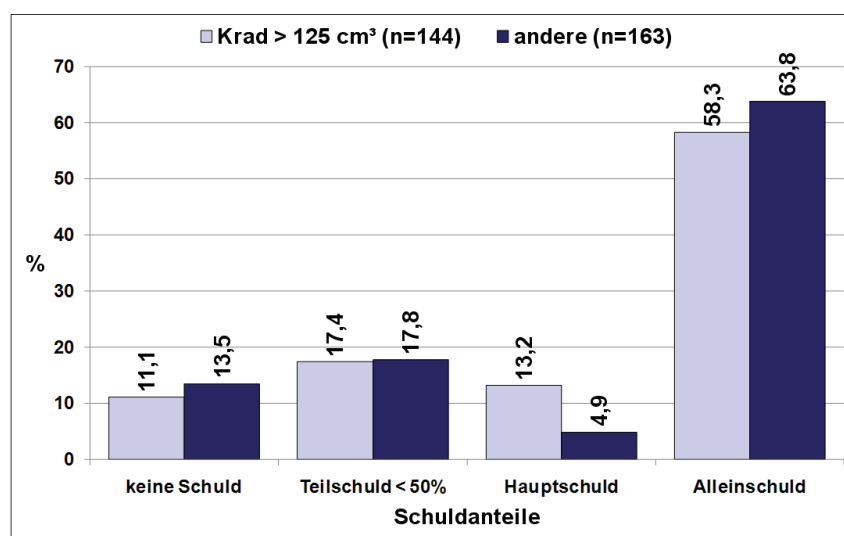


Abbildung 15: Schuldanteile der Fahrer motorisierter Zweiräder (100% alle Personen je Zweiradgruppe)

Bis auf den relativ geringen Anteil der Fahrer mit Hauptschuld von 4,9% bei den Zweirädern <125 ccm und dem relativ hohen Anteil von 13,2% bei Motorradfahrern, waren die Anteile für Teilschuld mit etwa 17,5% und Fahrer ohne Schuld mit etwa 12 % nahezu gleich. Der Anteil Alleinschuld ist demzufolge bei Motorradfahrern geringer, jedoch mit 58,3% dennoch beachtenswert. Ermittelt man so die Häufigkeit, mit der Motorradfahrer schuldhaft am Unfall beteiligt waren, kommt man so auf immerhin 88,9% der Unfallsituationen. Vergleichend lässt sich hier 86,5% für die Gruppe der Anderen ermitteln.

Da diese Ursachenzuordnung auf der Basis der polizeilichen Unfallanzeige basiert und wenig detailliert ist, sie auch nicht die tatsächlichen Fehlverhalten widerspiegelt, sondern sich an dem gesetzlichen Verhalten gemäß Straßenverkehrsordnung orientiert, erscheint eine wissenschaftliche Unfallursachenanalyse erforderlich. Hierzu werden seit geraumer Zeit in GIDAS Unfallursachenfaktoren codiert und in der GIDAS Datenbank zu jedem Unfall eingebracht (Otte 2009). Derzeit ist die Vorstudie zur Vali-

dierung dieses neuartigen Systems, benannt ACASS (Accident Causation System with Seven Steps) noch nicht abgeschlossen, so dass Ergebnisse hierzu noch nicht publiziert werden können.

Bei Verkehrsunfällen können die Faktoren, die für die Unfallentstehung ursächlich waren in drei Bereiche eingeteilt werden: Menschliche Faktoren; Faktoren von der Technik des Fahrzeugs und Faktoren aus der Fahrumwelt bzw. aus dem Verkehrsraum. Da menschliches Versagen in der Situation der Unfallentstehung am häufigsten vorkommt, bildet der Bereich der Menschlichen Faktoren den Kern dieses Systems. Es wurde ein hierarchisches System entwickelt, das unter Berücksichtigung der logischen Abfolge menschlicher Grundfunktionen als Reaktion auf einen Reaktionsanlass die menschlichen Ursachenfaktoren aus der zeitlichen Abfolge (von der Wahrnehmbarkeit bis zu konkreten Handlungsfehlern) beschreibt.

Die Ursachen werden dazu aus jedem Bereich der menschlichen Grundfunktionen in deren Ausprägungen (Einflusskriterien) und in spezifische Indikatoren dieser Ausprägungen weiter differenziert (z.B. *Ablenkung im Fahrzeug* als Ausprägung eines Fehlers bei der *Informationsaufnahme* und das *Bedienen von Geräten* als Indikator der *Ablenkung im Fahrzeug*). Erfassen lassen sich die demgemäß klassifizierten Ursachenfaktoren in ökonomischer Weise, indem jeder Grundfunktion, jeder Ausprägung und jedem Indikator eine Zahl zugeordnet ist. Dadurch kann jeder Ursachenfaktor mittels eines Codes eindeutig beschrieben werden, das Codesystem ist in Abbildung 16 dargestellt.

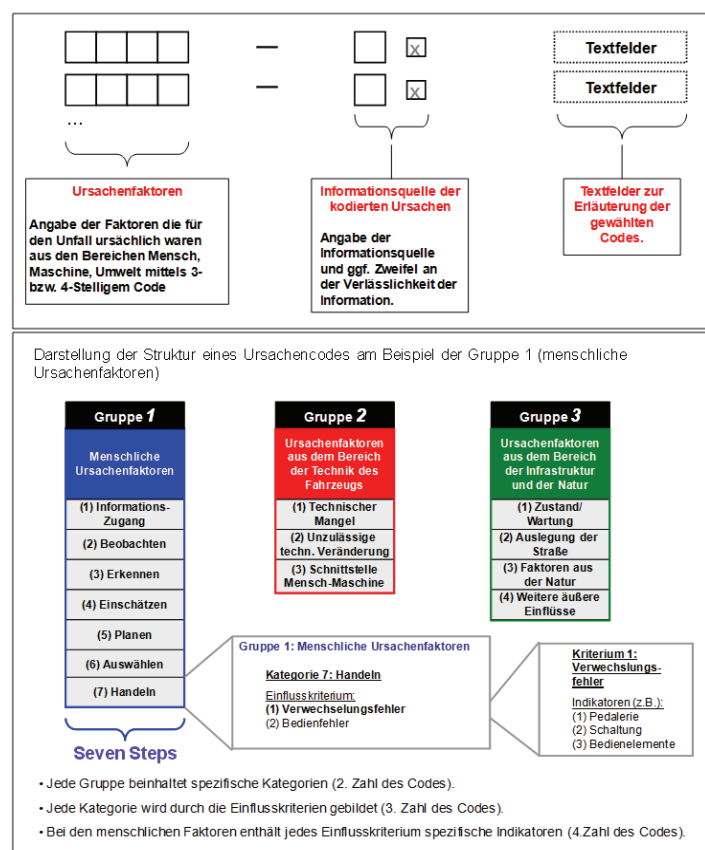


Abbildung 16: Codesystem ACASS

Analog dazu lassen sich auch die Ursachenfaktoren aus den Bereichen der Technik des Fahrzeuges und der Fahrumwelt, die in einem ähnlichen hierarchischen System aufgeteilt wurden, mit einem Code erfassen.

Da bei einem Verkehrsunfall die Unfallursache durchaus aus einer Reihe von Faktoren auch aus verschiedenen Gruppen bestehen kann, besteht die Möglichkeit bei jedem Unfallbeteiligten mehrere Ursachenfaktoren zu kodieren. Dies erlaubt es auch, nicht nur dem Unfallverursacher im Sinne des Gesetzes sondern auch anderen Beteiligten Faktoren zuzuordnen, die zur Unfallentstehung beigetragen haben. Der hierarchische Aufbau des Systems und die Erfassung der Ursachenfaktoren in Codes, erlaubt es auch Informationen zu Unfallursachen zu kodieren, wenn der Ursachenfaktor nicht in allen Details bekannt ist, indem nur die soweit bekannten Zahlen des Codes erfasst werden.

Abgeleitet aus der Systematik der Analyse von menschlich bedingten Unfallursachen („7 Steps“) und aus praktischen Erfahrungen bei der Befragung von Beteiligten am Unfallort wurde so ein System zum Einsatz gebracht, welches die Möglichkeit bietet, insbesondere menschliche Ursachenfaktoren vollständig und strukturiert zu erfassen. Zudem stellt die Strukturierung der menschlichen Ursachenfaktoren in ein Ablaufschema insbesondere bei der Erhebung am Unfallort ein Hilfsmittel dar, mit Hilfe dessen die Befragung von Unfallbeteiligten strukturiert durchgeführt werden kann.

An einem Beispiel eines verunfallten Motorrollers wird die Methodik deutlich gemacht (Abbildung 17).

*Fall-Beschreibung (30090669):* Ein 34-jährige Fahrer eines Motorrollers fährt auf einer mit Straßenbahnschienen versehenen linken Fahrspur einer Innerortsstraße. Auf der rechten Fahrspur parkten PKW, wie im Bild rechts sichtbar. Infolge Nässe und dem Befahren der versenkten Schiene, wurde seine Fahrt instabil und er stürzte.

*Informationen aus der Befragung:* Der Fahrer des Rollers gibt an, er habe die Schienen gesehen, aber nicht erwartet, dass sein Roller so schnell ins Schlingern geraten würde. Die Tatsache, dass es geregnet hatte war ihm bewusst.



Abbildung 17: Sicht eines Rollerfahrers im Moment des Vorbeifahrens am geparkten Pkw

*Unfallursachenkodierung:* Der Fahrer des Motorrollers nahm irrtümlich an, dass er mit seinem Roller das gefahrene Überholmanöver auf nassen Schienen gefahrlos durchführen könne. Es handelt sich hierbei um eine Fehleinschätzung und/oder ein riskantes Fahrmanöver unter Erwartung des Gefahreneintritts, also ein menschlicher Ursachenfaktor, daher ist der Code der **Gruppe 1** (Situative Menschliche Einflüsse) zuzuordnen. Innerhalb dieser Gruppe befinden sich die sieben Kategorien möglicher menschlicher Fehlerquellen (sog. Seven Steps) vom Informationszugang bis zur Ausführung der geplanten Handlung (vgl. Abbildung 16). Die zeitliche Abfolge von menschlichen Grundfunktionen bei der Durchführung der Fahraufgabe wird nun durchdacht und führt zur weiteren Verifizierung des Ursachencodes. Der Fehler des Fahrers ist hier in der **Kategorie 4** (Einschätzen) zu finden, da er alles richtig erkannt hat, allerdings falsch eingeschätzt hat. Die Kategorie 4 besteht aus 3 verschiedene Unterkategorien (Einflusskriterien). Hierbei ist die Fehleinschätzung bezüglich des Fahrverhaltens des eigenen Fahrzeugs (**Einflusskriterium 3**) relevant. Innerhalb dieses Kriteriums ist die hier entsprechende Alternative **Indikator 2** (Fahrzeugverhalten-Fahrstabilität) gewählt worden.

Für das Unfallgeschehen kann somit **Ursachencode 1432** gebildet werden.

## Diskussion und Schlussfolgerungen

Die Studie von Unfällen Motorisierter Zweiräder zeigte, dass die Verletzungssituation mit einem Anteil von 67% Leichtverletzter und etwa 30% Schwerverletzter sowie lediglich 3% Schwerstverletzter doch ein hohes Maß an relativer Verkehrssicherheit widerspiegelt, definiert man als Leichtverletzte MAIS 1 und als Schwerverletzte MAIS 2 und 3 und als Schwerstverletzte MAIS 4+. Bemerkenswert ist, dass die resultierende Verletzungsschwereverteilung nicht sehr wesentlich zwischen den Gruppen Motorradfahrer und Andere motorisierte Zweiradbenutzer abweicht.

Die Verletzungsfolgen werden einerseits durch die Geschwindigkeitsprofile (Relativgeschwindigkeiten) von Zweirad und Kollisionspartner PKW oder LKW geprägt, andererseits durch die Kollisionswinkel und die Formgebung der Anprallobjekte. Da die Verteilungen der Relativgeschwindigkeiten der hier betrachteten Gruppen Motorrad und Andere Motorisierte Zweiräder sich nicht sehr wesentlich voneinander unterscheiden, prägen die Kollisionskonstellationen das Verletzungsergebnis. Die schwerwiegendsten Folgen treten dann auf, wenn der Körper relativ gegen das Chassis des Kollisionspartners prallen kann. PKW stellen somit nur bei Kreuzungsunfällen mit der Möglichkeit des Kradfahrers gegen die Fahrgastzelle seitlich zu prallen eine besondere Gefährdung dar, bei Lastkraftwagen sind nahezu alle Kollisionen gegen Front, Seite oder Heck gleich gefährlich. Die Studie zeigte hier sowohl bei PKW wie auch LKW einen hohen Anteil schräger Kollisionen von Zweirädern gegen die Fahrzeugseitenfläche (Koll.typ 4 mit etwa 20%). Insbesondere bei Motorradfahrern ergab dieser Typ auch einen hohen Anteil Schwerverletzter MAIS 3+ von 9%. Besonders häufig sind Alleinunfälle von Motorradfahrern mit etwa 45%. Dabei sind auch diejenigen Kollisionen mit einbezogen, bei denen ein anderes Zweirad oder ein Fußgänger erfasst worden sind. Schwere Verletzungen AIS 3+ treten hier besonders häufig die Folge, verbunden mit einem hohen Risiko für knöcherner Verletzungen der HWS und der unteren Extremität. Beinverletzungen bedürfen auch zukünftig besonderer Beachtung, sind sie doch häufig mit langen Behandlungsdauern und Langzeitfolgen verbunden (Kalbe 1981). Eine sinnvolle Möglichkeit wird hier in dem Tragen von Schutzkleidung mit Protektoren und der Verwendung von umkleideten Maschinen gesehen, deren unfallprotektive Wirksamkeit schon in früheren Publikationen dargelegt worden ist (Otte 2002).

Motorradfahrer sind durch den verwendeten Integralhelm gut geschützt. So zeigte die Studie bei der Auswertung von Unfällen der Jahre 1999 bis 2009 lediglich noch 17% Kopfverletzungshäufigkeit und zeigt damit gegenüber früheren Angaben wissenschaftlicher Arbeiten eine deutliche Steigerung der Sicherheit. So wurden in früheren Studien noch von 39% Kopfverletzten mit Helm berichtet (Otte 1991). Erstmals zeigt diese Studie eine doch relativ hohe Nutzung von Schutzkleidung, von etwa 70% für die Nutzung einer Schutzjacke und auch 60% für den Beinbereich, was ein bei Motorradfahrern hohes Schutzbedürfnis belegt. Zu Bedenken gibt allerdings, dass Handschuhe und Schutzschuhe of-



fensichtlich auch bei Motorradfahrern nicht so häufig getragen werden. Hier erscheinen Motivierungskampagnen sinnvoll, die auch verstärkt für andere motorisierter Zweiradbenutzer gezielt erfolgen sollten, da hierfür die Tragequoten im Unfallgeschehen noch lediglich erst bei etwa 25% lagen. Im Vergleich zu früheren Studien zeigt sich für den Beinbereich auch keine deutliche Minderung der Verletzungshäufigkeit. So zeigte sich in einer Untersuchung aus dem Jahre 1987 eine Beinverletzungshäufigkeit von 81% (Otte 1987) und somit ein gleich hoher Wert wie bei der vorstehenden Studie.

Um die Verletzungssituation des motorisierten Zweiradbenutzers auch zukünftig noch weiter verbessern zu können, sind weiterhin Unfallanalysen mit Ausrichtung von Erhebungen am Unfallort wichtig, um detaillierte Kenntnisse zu Verletzungsmuster und Kinematik sowie den Verletzungsmechanismen zu erlangen. Darüber hinaus liefern derartige Erhebungen auch notwendige Kenntnisse über die Rahmenbedingungen der Unfälle und deren Entstehungsgeschichte. Augenmerk muss dabei auf die Unfallursachen und deren Zusammenhänge zu Mensch, Maschine und Umwelt erbringen, damit neben der Verletzungsprophylaxe auch Maßnahmen zur Unfallvermeidung postuliert werden können.

## **Acknowledgement**

For the present study, accident data from GIDAS (German In-Depth Accident Study) was used. GIDAS, the largest in-depth accident study in Germany, 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 can be found at <http://www.gidas.org>.

## Verwendete Literatur

**ACEM**, The European PTW market in 2007, 2007

**AAAM**, Association for the Advancement of Automotive Medicine: The Abbreviated Injury Scale – Revision 98, American Ass. f. Automotive Medicine., Morton Grove, Illinois (USA) (1998)

**BASt**, Gurte, Kindersitze, Helme und Schutzkleidung 2008, Wissenschaftliche Informationen der Bundesanstalt für Straßenwesen, Info 05/09, Bergisch-Gladbach, 2009

**Brühning** E, Otte D, Pastor C. 30 Jahre wissenschaftliche Erhebungen am Unfallort für mehr Verkehrssicherheit, Zeitschrift für Verkehrssicherheit 51, 175-181, 2005

**ETSC**, Countdown to 2010, only two more years to act, Road Safety Report, ETSC, 2008

**DeStatis**, Statistisches Bundesamt – Verkehrsunfälle, www.destatis.de, 2010

**GDV**, Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft (GDV), Institut für Straßenverkehr (ISK), Der Unfalltypenkatalog, Köln, 1998

**IFZ**, Sicherheit - Umwelt - Zukunft V, Tagungsband der 5. Internationalen Motorradkonferenz, Institut für Zweiradsicherheit, 2004

**Kalbe**, P.; Suren, E. G.; Otte, D.: Trauma Assessment of Injuries and their Consequences in Accidents with Two-Wheelers, Proc. 6th IRCOBI-Conference, Salon de Provence (France), 1981

**Otte**, D.; Suren, E. G.: Analysis of motorcycle accidents, Report 7806/2, Bundesanstalt für Straßenwesen, 1985

**Otte**, D.: Welchen Beitrag kann Schutzkleidung zur passive Sicherheit des Motorradfahrers leisten, VDI-Berichte 657, 281-303, 1987

**Otte**, D.; Felten, G.: Requirements on chin protection in full face helmets for motorcyclists, Forschungsbericht IFZ Nr. 7, 229-264, 1991

**Otte**, D.: Injury Scaling: from lesion assessment to passive safety improvement, Vortrag Round Table, Institute of Legal Medicine, University of Verona, Juni 1995

**Otte**, D.: Möglichkeiten der Belastungsreduktion durch Beinprotektoren in der Schutzkleidung von Motorradfahrern-Technische, medizinische und biomechanische Zielsetzung, Int. Motorradkonferenz München und Forsch.hefte Zweiradsicherheit 10, 125-149, Bochum 2002

**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

**Otte**, D.: 3-D Laser systems for scaled accident sketches and documentation of the traces after traffic accidents as basis of biomechanical analysis, Ircobi Conference, 435-438, 2005

**Otte, D.;** Pund, B.; Jansch, M.; Unfallursachen-Analyse ACASS für Erhebungen am Unfallort – Seven-Steps-Methode, Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 55. Jahrgang, G 12441 F, ISSN 0044-4654, Heft 3, 2009

**Pfeiffer, M.,** Schmidt, J.: Statistical and Methodological Foundations of the GIDAS Accident Survey System, 2<sup>nd</sup> ESAR Conference, Hannover, 2006

**Spornier, A.;** Langwieder, K. Polauke, J.: Risk of Leg injuries of motorcyclists-present situation and countermeasures, 12<sup>th</sup> ESV Conf. Göteborg Sweden, 1989

## **Linking Active and Passive Safety of Motorcycles**

### **Verbindung der Analyse aktiver und passiver Sicherheit von Motorrädern**

Steffen Peldschus, Ioannis Symeonidis, Güven Kavadarli, Erich Schuller  
Institute of Legal Medicine, Ludwig Maximilian University, Munich, Germany

Niccoló Baldanzini, Marco Pierini  
Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali (DMTI), University of Firenze, Italy

## **Abstract**

Motorcycle accidents are complex and therefore difficult to analyse, which in turn constitutes a significant challenge for the development of protection systems for motorcyclists. As an example, the rider's position is significantly influenced by the pre-crash manoeuvres, in particular when comparing it to positioning of car occupants. Consequently, it turns out to be a lot more difficult to predict consequences of an accident in terms of injuries. This paper describes the application of methods and models of Passive Safety and the consideration of conditions and input from Active Safety. The pre-crash information to be considered includes positioning on different types of motorcycles and positioning according to the pre-crash manoeuvres that the rider performed. The input from the Active-Safety side also includes results on reaction times from volunteer testing. It is shown how the timeline of pre-crash and crash scenarios can be linked. In this case, crash analysis is performed with two different modelling approaches, multi-body systems as well as Finite-Element Analysis. The representation of the rider can be both, by means of an anthropomorphic test device (dummy) and by means of an anatomically correct numerical model of the human body. Such an approach can render possible the evaluation of the benefit of potential Active-Safety systems in terms of injury severity mitigation.

## Kurzfassung

Motorradunfälle sind in ihrem Verlauf sehr komplex und deshalb ist ihre Analyse sehr schwierig. Diese Schwierigkeiten stellen eine große Herausforderung für die Entwicklung von Schutzsystemen für Motorradfahrer dar. Als Beispiel kann hier die Körperhaltung des Aufsassen angeführt werden. Sie wird erheblich durch die Pre-Crash-Manöver beeinflusst, insbesondere im Vergleich zur Insassen eines Automobils. Aus diesem Grund ist es bei Motorradunfällen viel schwieriger, die Konsequenzen des Unfalls in Form von Verletzungen abzuschätzen. Der vorliegende Beitrag beschreibt die Anwendung von Methoden und Modellen aus der passiven Fahrzeugsicherheit und die mögliche Berücksichtigung von Bedingungen und Einflussgrößen aus der aktiven Sicherheit. Die zu berücksichtigenden Informationen aus der Pre-Crash-Phase schließen die unterschiedliche Positionierung des Aufsassen bedingt durch Motorradgeometrie und ausgeführte Fahrmanöver. Der Input von Seiten der aktiven Sicherheit umfasst außerdem Reaktionszeiten, die durch Tests mit Freiwilligen unter Laborbedingungen ermittelt werden können. Es wird in diesem Beitrag gezeigt, wie die Zeitachse von Szenarien vor und während eines Anpralls verbunden werden können. Im vorliegenden Fall wird die Analyse des Anpralls mit einem kombinierten Ansatz aus Mehrkörpermodellen und Finite-Elemente-Modellen gezeigt. Die Abbildung des Fahrers kann sowohl über anthropomorphe Messgeräte (Dummys) als auch über anatomisch korrekte Computermodelle des menschlichen Körpers geschehen. Ein solcher Ansatz kann es ermöglichen, den Nutzen potentieller Systeme der aktiven Sicherheit im Sinne der Minimierung der Verletzungsfolgen zu evaluieren.

## **Linking Active and Passive Safety of Motorcycles**

## Introduction

Compared to accidents of car occupants, motorcycle accidents are a lot more complex and therefore difficult to analyse, which in turn constitutes a significant challenge for the development of protection systems for motorcyclists. As an example, the rider's position is significantly influenced by the pre-crash manoeuvres, in particular when comparing it to positioning of car occupants. Another important issue for the analysis of motorcycle accidents is the sequence of possible warnings, rider reactions and manoeuvres performed. The long-term objective of the approach presented in this paper is to evaluate what effects the before-mentioned parameters will have in terms of impact severity and injury outcome. In other words, this approach is aiming at including factors from Active Safety in Passive-Safety methodologies.

## Pre-crash parameters

In the 'Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures', also known as 'Hurt report' [1], a motorcycle safety study conducted in the United States analysing 900 motorcycle accidents, it is stated that at 36.3% of the accidents the motorcyclists used the brake, at 8.4% they only swerved, at 20.9% they combined brake and swerve and at 31.9% no action was performed. Similarly, the 'Motorcycle Accidents In Depth Study' (MAIDS) [2], that analyzed 921 accidents and 923 exposure cases in 4 European countries, reported 49.3 % of the motorcyclists performing a braking, 16.2% a swerve manoeuvre and only 26.9% involved in the accident not attempting a collision avoidance manoeuvre. From these findings we can conclude that braking and swerving is a very common manoeuvre performed in pre-crash situations from motorcyclists. These manoeuvres may cause a change in posture of the motorcyclist, since the motorcycle control involves not only steering but also the displacement of the motorcyclist's centre of mass from the normal riding posture.

In braking experiments on an acceleration sled [3] the motion and muscle activity of eight volunteers was captured during simulated braking of a touring motorcycle. The overall maximum volunteer's head forward translation during braking was measured to be 26cm. The Finite-Element model HUMOS2 depicted in figure 1 can be modified on its posture using a positioning tool. This model in a posture similar to the one described for the experiments above, is shown in figure 2, placed on a model of a motorcycle. Such a numerical representation of the rider can be considered as state-of-the-art for crash severity evaluation. It is however very complex to perform an actual impact simulation in a motorcycle-related scenario with such a model. Therefore, for the study below, a more simple representation of the rider's body by means of an anthropomorphic test device (dummy) is shown.



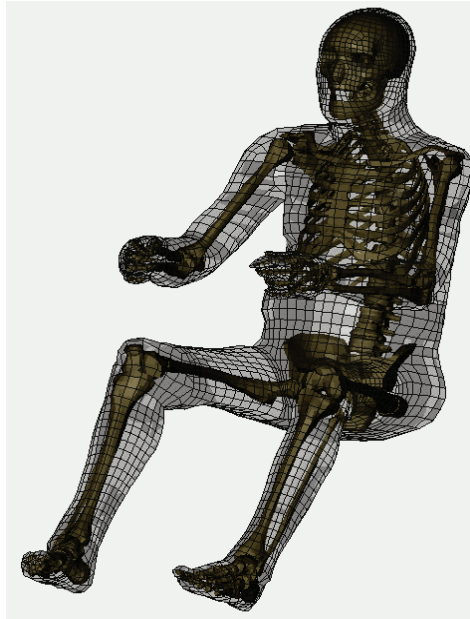


Figure 1: HUMOS2 model



Figure 2: HUMOS2 model positioned on a motorcycle

The input that can be considered from the pre-crash phase also includes reaction times. When reconstructing the timeline of an accident, reaction-time values are needed in order to evaluate when a rider could possibly have reacted to a warning applied by an Active-Safety system. In stationary laboratory tests with volunteers using several types of stimulus the time to front brake application by the rider

was measured to be 540 ms on average. This value is needed when virtually modifying the timeline of a reconstructed accident in order to estimate the potential benefit of a safety system.

## Crash simulation

The parameters of the pre-crash phase can be considered as input for the crash phase, if the analysis of the latter one can be varied. A variation of input parameters like, for instance, the velocity is very costly to realise in physical testing. Computer simulation can provide a cost-effective alternative, given that this method can reasonably well predict the crash outcome.

In order to achieve this target, the numerical simulation needs to be validated. A crash test performed by DEKRA was chosen as the physical reference. The test was performed with a Yamaha Fazer and a Volkswagen Golf (see figure 3). The car was stationary, and the motorcycle hit the front door with a velocity of 48.5 km/h. This scenario corresponds to crash testing for the accident type 413 according to ISO 13232 [4]. The rider was represented by a Hybrid III dummy including a helmet.



Figure 3: Crash test (performed by DEKRA) used for validation of the numerical models

The according simulation models are depicted in figure 4. The software package MADYMO is used for the simulation. The dummy and the motorcycle are multi-body (MB) models. The helmet is a facet model. The car is a finite element (FE) model.

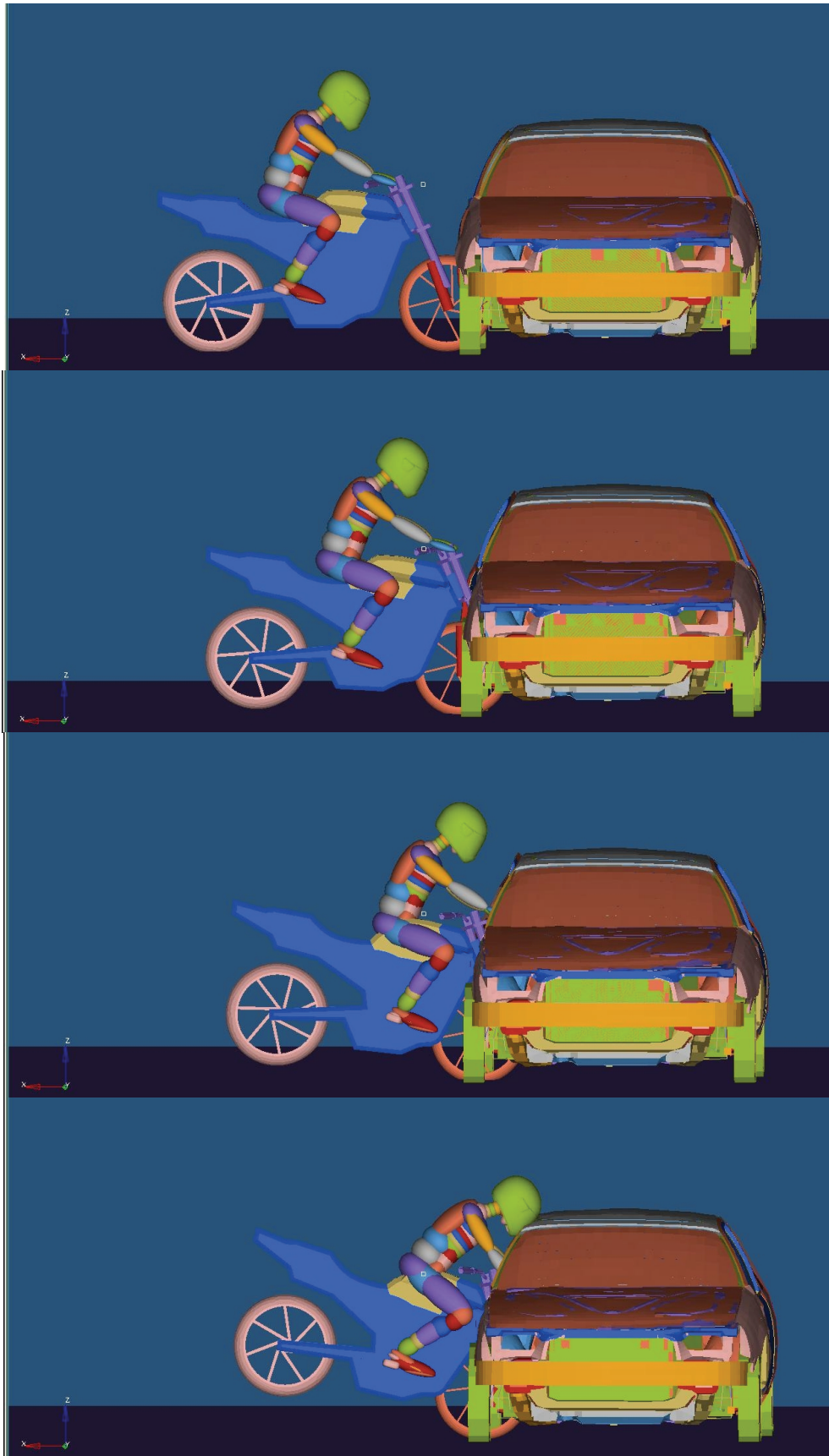


Figure 4: Numerical modelling of the crash test

The validation of the simulation was performed by comparing the kinematics of motorcycle and car in the first place. Thereafter the dummy kinematics was evaluated, and finally measurements from the crash test were compared to their equivalents in the numerical simulation. Figure 5 shows the head acceleration over time for both, the test and the simulation.

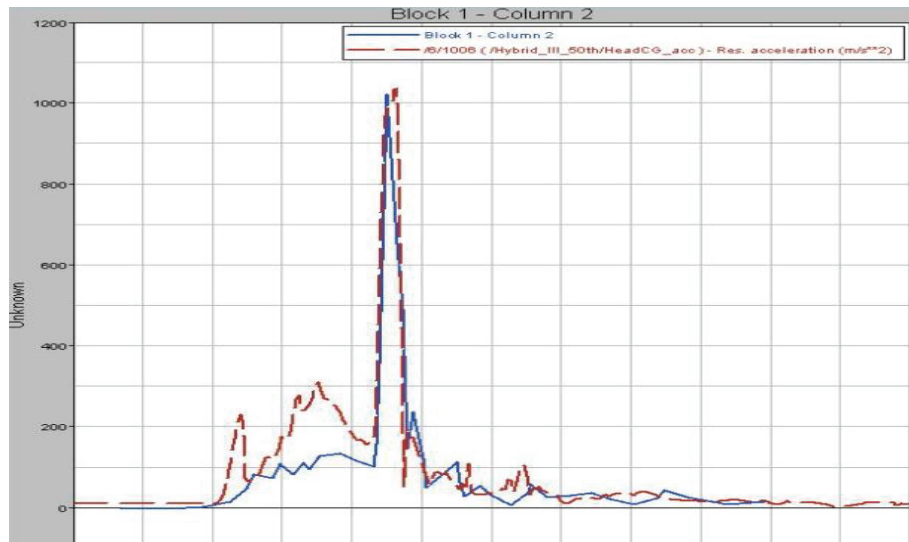


Figure 5: Comparison of head acceleration over time between simulation (red) and crash test (blue)

An appropriate concordance between the simulation and the crash test was obtained. This allows applying the numerical simulation for parameter variation. The effect of parameters changed due to input from the pre-crash phase can thereby be evaluated.

Table 1 represents the results of such a parameter variation. In this case, the impact velocity was changed in order to consider different cruising speeds before the accident or even different reaction times during the pre-crash phase. The maximum head acceleration can be reduced by almost 30% when reducing the impact speed by about 15%. In this example, the risk for a head injury of level 2 according to the Abbreviated Injury Scale (AIS) [5] is reduced by a factor of more than 2, if the Head Injury Criterion (HIC) is taken as a means for evaluation.

This rather large gain in injury severity reduction is certainly due to the complex kinematics of the rider during the crash [6] and concurrently provides a promising perspective for the application of Active-Safety systems, even though those relations require further investigation.

Table 1: Max. head acceleration and HIC<sub>36</sub> values according to motorcycle impact velocities

<u>Velocity (km/h)</u>	<u>max. head acc.</u>	<u>HIC<sub>36</sub></u>
≈45	≈140g	1165
≈38	≈100g	406
≈32	≈53g	208

The question of validity of the model arises however, when the variations become large. Nevertheless, this methodology shall serve the evaluation of benefits of changes in the pre-crash phase, for instance by the application of Active-Safety systems, in terms of crash severity and injury outcome.

## **Acknowledgement**

The authors wish to acknowledge the support of Jens König and Peter Rücker of DEKRA and Samuel Bidal of Altair Development France. Part of this work was funded by the MYMOSA (MotorcYcle and MOrtorcyclist Safety) research training network, a Marie Curie action, the APROSYS and PISa projects within the 6th research framework program of the EU.

## References

- [1] ACEM (Association of European Motorcycle Manufacturers), In-depth investigation of accidents involving powered two wheelers, report, Brussels, Belgium, 2004.
- [2] HURT. H. H., Motorcycle accident cause factors and identification of counter-measures volume i: technical report for NHTSA, report, California, USA, (1981).
- [3] Symeonidis I., Kavadarli G., Peldschus S., Schuller E., Fraga F., van Roij L. Laboratory set-up for the analysis of motorcyclists' behaviour during deceleration, proceedings of the 6th International Forum of Automotive Traffic Safety, Xiamen, China, (2008)
- [4] ISO13232, Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles, standard, (2005).
- [5] Association for the Advancement of Automotive Medicine (AAAM) "Abbreviated Injury Scale," 1990 Revision.
- [6] Sporner, A. Experimentelle und mathematische Simulation von Motorradkollisionen im Vergleich zum realen Unfallgeschehen. Dissertation TU München 1982.

## **The European Safer Urban Motorcycling (eSUM) Project**

### **Das „European Safer Urban Motorcycling (eSUM) Projekt“**

Veneta Vassileva

Association des Constructeurs Européens de Motocycles  
(ACEM), Belgium



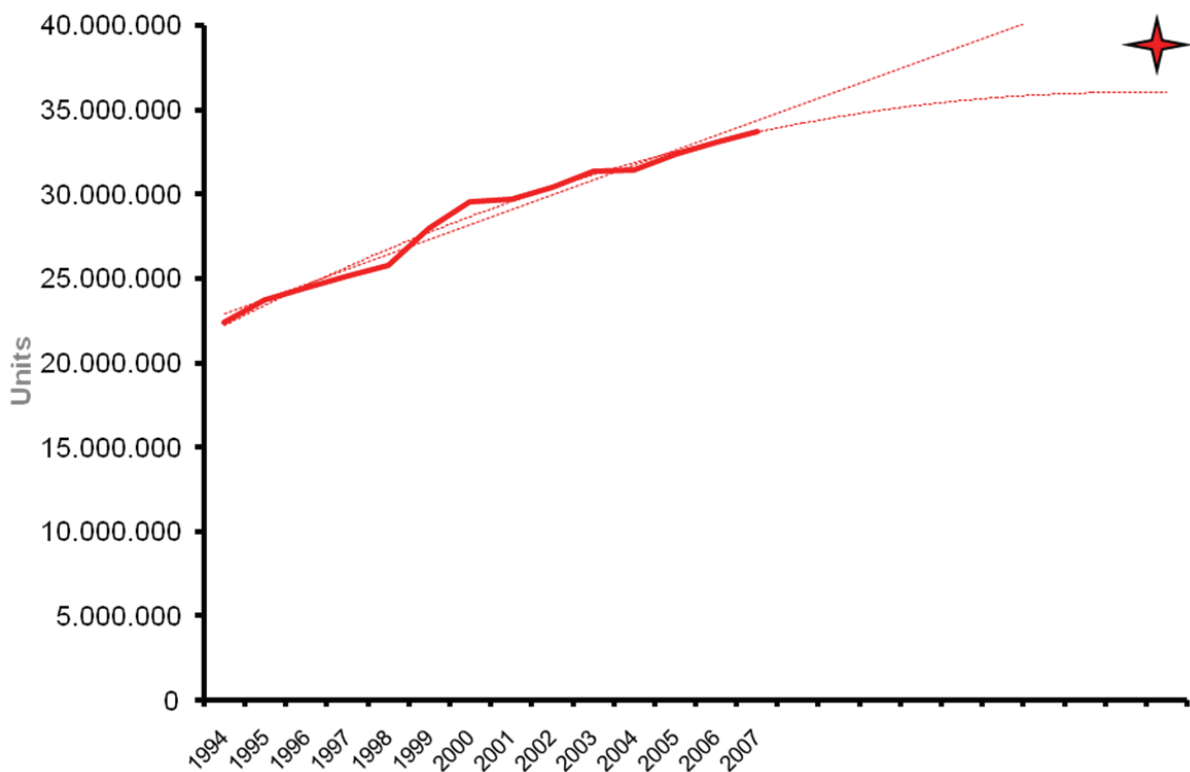
## 1. Context

More than 70% of the EU population lives in urban areas. As city dwellers are estimated to grow to 80% of the total European population by 2020, urban traffic is going to be put under severe strain.

Urban areas face today the challenge of making transport sustainable, this means making mobility environmentally friendlier, reducing congestion and improving road safety. Solutions need to provide answers to increased travel demands, fostering economic and social cohesion as well as taking into account every transport mode living the citizen the freedom to choose how to travel in his or her city.

PTW provide an answer to this growing mobility need. Citizens increasingly use PTWs because of their convenience and advantages in terms of door to door mobility, flexibility, parking, costs and fuel consumption. In recent years cities have experienced a boom in PTW use with increases of up to 400% in cities such as Rome and Barcelona.

### PTW Fleet Evolution and Forecast



*Continuous increase in PTW fleet pushed by urban mobility needs (ACEM)*



## **2. The European Safer Urban Motorcycling (eSUM) Project**

With the support of the European Commission, the cities of Barcelona, Rome, Paris and London have decided to lead the way launching in 2008 the eSUM Project, in cooperation with the universities of Florence and Athens and with BMW Motorrad, Piaggio Group and ACEM, the Association of the European Motorcycle Manufacturers.

The general aim of eSUM is to demonstrate that a constant reduction in Powered Two Wheeler (PTW) accidents is feasible by addressing PTW safety through an integrated approach.

The eSUM partners have been working together towards:

- improving diagnosis of the urban PTW challenges;
- identifying good practices;
- applying good practices in urban Motorcycling Action Plans;
- demonstrating advances in the state-of-the-art safety interventions; and
- promoting rapid adoption of good safety practices, through preferential treatment in the implementation of the urban traffic management policies and strategies.

The eSUM project identifies, develops and demonstrates actions for delivering safer motorcycling in the city environment. The goal of this project is to reduce the number of accidents involving powered two-wheeler riders, by addressing the behaviour of riders, the vehicle design and the infrastructure. The characteristics of accidents, infrastructure trials and vehicles with enhanced safety features as well as various awareness rising campaigns and trainings were examined. Using the conclusions of these analyses, guidelines and good practices were developed and will be made available to other cities aiming to adopt effective measures to improve the PTW safety.

### 3. WP Diagnosis encompasses:

- Benchmarking of PTW urban accidents in Barcelona, Rome, Paris and London
- Vehicles with enhanced safety features
- In-depth analysis of PTW accidents in urban areas.

#### 3.1. The benchmarking analysis:

- Overview of traffic management & PTW road safety actions
- Overview of mobility trends and overall road safety levels
- Comparison of PTW collisions in urban area (period 2000-2008)

To monitor and report on PTW accidents in urban areas (benchmarking analysis) a lot of data has been cumulated and explored, such as: population, area, road network length, number of killed and injured persons, etc. (table 1 and 2).

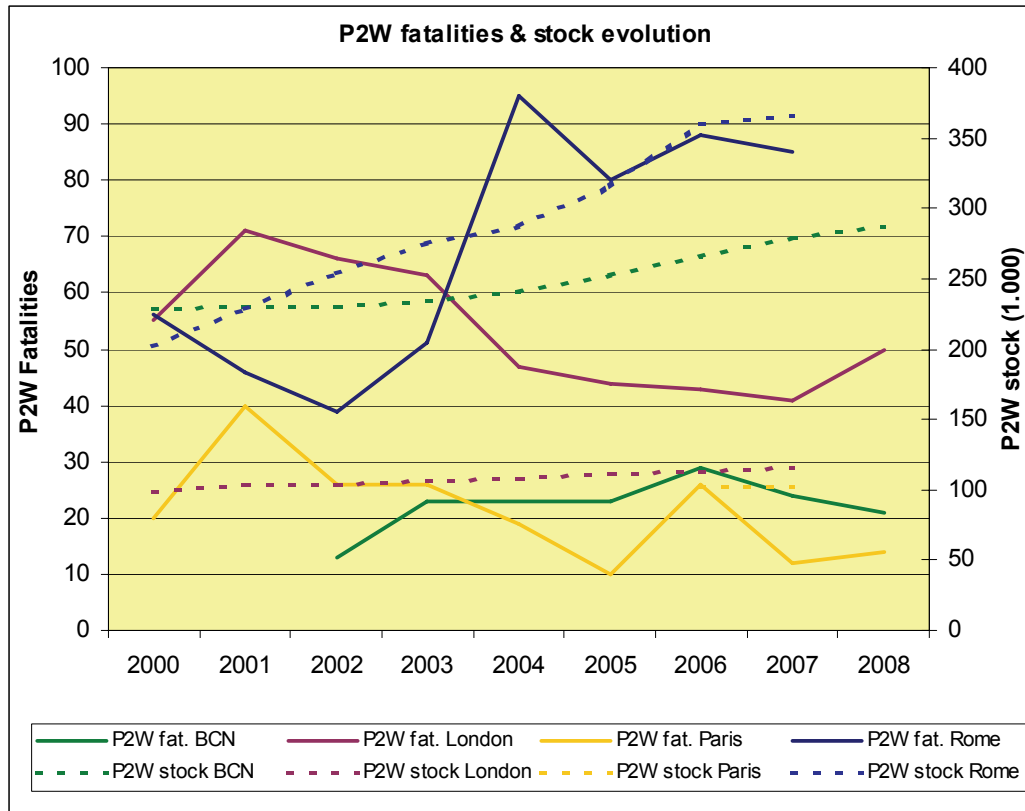
Table 1 (eSUM)

Background	Barcelona	London	Paris	Rome
Population	1,628,090	7,557,000	2,153,600	2,718,768
Area (SqKm)	101.0	1,579	105,4	1,285
Density	20,433	4,813	20,433	2,115
Road network length (Km)	1,328	14,926	1,644	6,100
Bus lanes (Km)	113.5	292	189.0	110
Bicycle lanes (Km)	140.2	1,343	399.3	150
Zone 30 (Km) or 20mph Zones	53.4	2,000	302	19
Number of motor vehicles	990,166	3,010,000	893,300	2,660,202
Number of collisions with casualties	8,942	23,210	7,463	19,960
Number of fatalities	31	222	50	201
Number of injured	11,551	27,949	8,546	26,299
Mortality rate (*100,000)	2.7	2.9	1.6	7.4
Fatality rate (100,000)	4.3	7.4	3.9	8.0
Death rate (*1,000)	4.4	9.6	4.4	10.1

Table 2 (eSUM)

Background	Barcelona	London	Paris	Rome
Number of motorcycles	193,902	116,000	102,000	379,997
Number of mopeds	93,382			155,842
PTW fatalities	21	50	14	85
PTW injured	6,753	4,172	5,038	10,411
% PTW of motor vehicles	29.0%	3.9%	11.4%	20.1%
% PTW fatalities of all fatalities	67.7%	24.5%	28.0%	42.3%
% PTW injured of all injured	58.5%	14.9%	59.0%	39.6%
PTW fatalities per million inhabitants	15.05	5.43	5.57	31.26
PTW fatalities per 100,000 vehicles	7.31	43.10	13.73	15.86

Table 3 (eSUM)



**PTW fatalities & fleet evolution (table 3)**

In London the PTW fleet and the number of killed riders have been kept stable with a slight increase of the fatalities in 2008

Paris has made a significant reduction in the number of killed riders – from 40 to 15 with a serious increase of the fleet at the same time

Barcelona stabilised the number of PTW fatalities in spite of ongoing increase of PTW usage, even in the last few years a reduction of the PTW fatalities has been registered.

Despite the impressive PTW fleet increase Rome has managed to reduce the number of PTW fatalities and injured riders in 2005 and since then the numbers have been kept stable notwithstanding the continuous increase of PTW fleet.

### **3.2. Vehicles with enhanced safety features**

Motorcycles and scooters contribute significantly to free-flowing city traffic for all citizens; they are tailored for urban mobility. Manufacturers seek to develop new concepts and features answering citizens emerging mobility needs, also with advanced vehicles such as the BMW electric C1-E concept and the Piaggio MP3 hybrid scooters.

The C1-E concept has been exclusively developed by BMW Motorrad for eSUM. It demonstrates what a safe, environment-friendly single track vehicle for city traffic could look like in the future. The C1-E safety cell in combination with seat-belts and an energy-absorbing impact element at the nose end provide exemplary protection and comfort for its rider. The electric motor has been designed for city use.

Piaggio MP3 is a tilting three wheelers with two front wheels that has a dynamic and riding behaviour similar to the conventional motorcycles.

Thanks to the innovative suspension layout, the environmentally friendlier MP3 provides relevant advantages: in particular braking distance is reduced up to 20% and the vehicle is not sensitive to road surface changes and obstacles such as tram track, bumps and holes resulting in an enhanced level of safety and handling compared with a conventional scooter.



*BMW C1-E electric concept*



*Piaggio MP3 hybrid scooter*

### **3.3. Reporting Current Knowledge about Urban PTW Safety**

From the outset of the project it was agreed that the central part of this task would be formed by making a specific analysis of the urban accident cases from the MAIDS database – [www.maids-study.eu](http://www.maids-study.eu). ACEM, as contribution to this project, developed this analysis of the MAIDS database to understand better the characteristics of urban PTW accidents and to identify the major risk factors.

#### **MAIDS Urban accident report**

Out of the 921 accidents of the MAIDS database, a sub-database of 666 urban accidents was selected and analyzed.

The report is composed by the following sections:

- General characteristics (of 666 urban accidents investigated in depth)
- Urban accident causation (primary factors, additional contributing factors)
- Time of urban accidents (time slot, day of week, illumination, traffic density)
- Location of urban accidents (roadway type, alignment, surface, intersection type, traffic control signs, view obstructions)
- People involved (age, gender, license, training, experience)
- Vehicles involved (PTW style, engine capacity, other vehicle classification)
- PTW rider injuries (by severity and body part, collision contact code)
- Single vehicle urban accidents (type of area, PTW legal category, number of fatalities, time of accident, day of week)
- Fatal urban accidents (type of area, primary contributing factor, PTW legal category, time of accident, day of week).

This study confirms that the major cause of accident was due to a human error committed mainly by other vehicle drivers, although the environmental factor was found to be of bigger relevance in the urban accident causation, especially when view obstructions along both rider’s and other vehicle driver’s line of sight were present, and roadway surface was affected by maintenance defects. PTW riders involved in urban accidents were found to be less trained and skilled than other riders, having less official training and more control unfamiliarity and skill deficiencies.

A different pattern was found when single and fatal urban accidents were analyzed separately. These accidents showed to be less commuting related and more connected to some recreational activities: they occurred more during the evening and night hours and PTW rider was more prone to take risks.

**4. eSUM Demonstrations**

Demonstration is an opportunity to test and validate new concepts, to promote proven best practice, and to extend the state of the art (new knowledge - sometimes, but also the transfer / wider uptake of good practice).

	<i>Number of demonstration actions implemented in eSUM</i>
<i>Infrastructure</i>	9
<i>Enforcement</i>	4
<i>Vehicles / features</i>	5
<i>Rider training / Driver awareness</i>	4
<i>Total</i>	22

***Infrastructure demonstrations***

**A. Improving the safety of circulating PTWs**

**A.1. PTWs in Bus Lanes**

London – Opening of 107 km of bus lanes to London’s PTW users occurred in January 2009, and is being evaluated as part of the eSUM demonstration. Journeys made by motorcycles using bus lanes were more than 10 per cent quicker than those not using bus lanes.

However, the report identified an increase in motorcyclist collisions, predominantly with cars turning into or out of side roads on routes where motorcyclists had access to bus lanes. This fact is understandable, because of the increase of the traffic in the bus lanes due to the migration of PTW riders. For comparison purposes, the 'before' and 'after' figures for the 28 Control sites showed a decrease of 50.7% for PTW collisions.

The overall effect has been considered as promising. In deciding to grant a second 18-month trial, allowing PTW use of bus lanes, TfL will implement an awareness campaign aimed at improving drivers' awareness of motorbikes and cyclists in bus lanes.



*London – bus lanes open for PTWs*



*Rome - New highly visible discs*

Paris – Even though it is not allowed in Paris, 54% of bus lane accidents involve the not expected PTW rider. Intrinsically the bus lane is not unsafe for PTWs, but by infringing a regulation the riders become at higher risk as other road users do not expect them in bus lanes, either not going out from bus lanes.

## **A.2. Removing bus lane separators**

Rome – The removal of rails that physically separate bus lanes from the rest of the circulating lanes has been carried out for 35 km of the Rome road network. During the 4-year period prior to intervention there were 6 accidents involving PTW casualties (2 fatalities, 4 injured) i.e. an annual average of 1.5 PTW accidents per year compared to no reported accidents for the first year post-implementation. Forging infrastructure trail for riders is being developed - especially designed high visible discs separating single lanes of highly frequented roads. Cars are prevented from changing lanes, while discs do not represent a risk for the riders.

## B. Improving the safety of PTWs at junctions

### B.1. Advanced Stop-lines

In Barcelona: a first trial of Advanced Stop-lines (ASLs) was made at 3 sites. Observations of risk-related movements made for the 6 months before and after implementation for the 3 sites overall showed a reduction from 29% to 8%. Using the favourable initial results a total of 36 sites are now implemented in Barcelona (since November '09), and the accidents are being evaluated within eSUM.



*Advances stop lines in Barcelona*



*30 zones in Barcelona*

ASLs are widely implemented in the UK but solely for the use of pedal cyclists: PTW users are not allowed to them. Using video coverage and collision data, Transport for London has assessed the use of existing ASLs (intended solely for cyclists) by PTW users at 5 junctions. The analysis of 114 months of “After” accident data found no evidence of any increase in collisions between PTWs and pedestrians or cyclists. A high level of encroachment of PTWs into the ASL area was found. Given these findings, it is unlikely that there would be any significant reduction in PTW collisions resulting from legislation allowing their use of ASLs. However, this measure contributes to the free traffic flow.

## C. Area-wide measures and PTW safety

### C.1. 30 Zones implementation (speed limit of 30 km/h)

30 Zones implementation (speed limit of 30 km/h) in Barcelona has been analysed and shown to have had a positive effect on the trend in accidents of the treated areas (from a +1.3% annual increase in casualties prior to implementation to a 12.2% reduction afterwards). For the last year, 2009, the average monthly number of PTW casualties has reduced by 40.5%, compared to the figures of the five years prior to implementation).



## ***Enforcement Demonstrations***

### **Safety Cameras**

Within their local contexts the implementation of 10 camera sites in Rome and 36 in Barcelona are innovative, beyond the original work plan commitment.

London has retrospectively analysed the impact of safety cameras on PTW collisions at 397 sites (28 red-light, 369 speed camera) based on accident data 2002 to 2007. Results showed an annual reduction of 30% in PTW collisions.

### ***Rider training / Driver awareness***

London has been further developing the successful Bike safe rider training programme, particularly looking to “customise” it for TfL employees and with a view to offering such training to large employers active in developing mobility plans. Providing free, secure parking at workplaces to those PTW users who have completed rider training is seen as being an effective way of encouraging PTW users to participate in training courses.

The action in Barcelona has also focussed on rider training as part of employee mobility plan development, and takes advantage of the inauguration of new training circuit facilities of Honda close to the city. The training in Barcelona has been surveyed using questionnaires containing common elements and with a view to establishing a monitor of trained riders for Barcelona in a similar way to the waves of surveys monitored by TfL for London.

In Rome, during spring 2009, more than 900 school pupils at the age of 14 -19 participated in various events aiming at raising the safety awareness and changing behaviour. Video materials were used, and some 600 questionnaires regarding participants’ feedback were analyzed. Some findings:

- 10% of respondents used PTWs to go to school (8% as drivers, 2% as passengers)
- 23% had already had some kind of PTW road accident with the main factors being collisions with another vehicle (63%), loss of control /falling from the vehicle (29%)
- The main perceptions of risk are poor driving by other road users (36%) low road maintenance (35%) and wet roads (19%).



Rome – Awareness campaign for students



Employer-based promotion of rider training programmes in London (Bike Safe)



Employer-based promotion of rider training programmes in Barcelona

## Vehicle demonstrations

Demonstrations of vehicles with enhanced safety features have been realised in all four cities.

A common questionnaire was developed by Piaggio in collaboration with the city contacts. Reports for MP3 demonstrations in cities were obtained for a variety of end-users.

There is no plan to produce C1-E vehicle commercially, it has been developed for the eSUM project, and is being made sufficiently roadworthy to be demonstrated in each city by a BMW rider.

The vehicles have also been demonstrated as part of video material that is being collected to promote the work of the project.

## **5. Good Practice Guide (GPG) for Improving Urban PTW Safety – one of the main deliverables of the eSUM project**

This guidance is focused on identifying existing good practice in urban PTW casualty reduction. The key output is the creation of a unique web-based guide for road safety practitioners, providing guidance on good practice projects from across the world in 6 key areas, including personal protective equipment.

Key Areas to identify Good Practice:

- BP1 Rider training and awareness campaigns
- BP2 Highway features and policy
- BP3 Effectiveness of targeted enforcement.
- BP4 Specific remedial measures at ‘black spots’
- BP5 Improved PTW design
- BP6 Potential for ‘soft’ street furniture to reduce PTW

In total, over 200 projects were analysed. Each project was assessed against an agreed set of criteria summarised below:

- Assessment based on casualty data or robust research,
- Priority on data-led projects and those related to eSUM objectives
- Transferability.

Emphasis was placed throughout on those interventions which demonstrate casualty reduction through a robust evaluation process. A standard assessment form was used for each project, allowing transparency when considering relative merits.

The GPG has been updated every 6 months in the frame of the project. Consideration has been given to sustaining the GPG beyond the life of eSUM and TfL has committed to an on-going review process post project completion.

## 6. Final Action Pack – the main outcome of the project

The Action Pack is designed to help and encourage local authorities across EU member states to construct their own Action Plan for addressing their own specific PTW issues. The toolkit describes a process for local authorities to follow, so that a plan can be effectively developed using the Good Practice Guide and the demonstration cases.

It uses the lessons learnt by Barcelona, London, Paris and Rome, through the eSUM project, and demonstrates how to develop and implement effective counter-measures to common PTW collision types.

The European Safer Urban Motorcycling (eSUM) Action Pack is a guide to help politicians and municipal technicians responsible for road safety to organise their work for promoting Powered Two Wheeler (PTW) urban road safety.

This document provides guidance to assist those municipalities interested in learning from eSUM when developing their own PTW Road Safety Action Plans. Chapters 2 to 6 identify the actions required to analyse PTW safety issues, decide upon suitable safety interventions and evaluate actions.

- Chapter 1: Necessary data sets
- Chapter 2: Analyzing the PTW casualty problem
- Chapter 3: Identifying problems and causes and defining objectives
- Chapter 4: Selecting and planning interventions
- Chapter 5: Implementing interventions and monitoring
- Chapter 6: Evaluating your actions

Improving road safety involves a process of developing and implementing strategies that are materialized in measures, initiatives and/or projects. No two cities are similar; therefore each action plan is unique and has to be adapted to best fit the individuality of the municipality.

There is, however, a common strategic approach focusing on common problems which are then addressed in each municipality, region or country.

When working in urban areas, it is necessary to consider the objectives and actions plans at regional and national levels, in order to combine efforts and to work within the decision and planning hierarchy. This will entail adopting overall goals and translating them into local objectives.

The magnitude of the action will depend on a prior analysis, which detects a problem. When planning, it is important to consider the available resources, the people taking part in the elaboration of the actions and in the implementation of the safety interventions.

Road safety is a collective task. The participation of all sectors and agencies connected to mobility and urban road traffic is, therefore, essential.

## **7. Closing notes**

The eSUM Project provides immediately applicable tools and methods to improve the safety of traffic in European cities and towns. The “Action Pack” and the “Good Practice Guide” as well as other project examples can be found in the near future on the website [www.eSUM.eu](http://www.eSUM.eu).

With appropriate planning, a lot can be achieved already today to improve the contribution of PTW mobility in cities and the safety of the riders, to the benefit of the whole society.

Better behaviour in traffic by all users, improved road infrastructure and advanced vehicles together have the potential to deliver better urban motorcycling and contribute to more sustainable urban mobility for tomorrow.

Some of the findings from the demonstrations trials are provisional. All deliverables of the project will be presented during the final conference that will be held in late November/early December 2010.

**Naturalistic Driving & Riding –  
What can be expected from a new research methodology**

**Erfassung des alltäglichen Fahrverhaltens –  
Was kann von dieser neuen Forschungsmethode erwartet werden**

Martin Winkelbauer  
KfV Kuratorium für Verkehrssicherheit, Austria

Niccolo Baldanzini  
Universita Degli Studi Di Firenze, Italy

Dimitris Margaritis  
Center for Research & Technology Hellas / Hellenic Institute of Transport, Greece

## Abstract

Typically, in a naturalistic driving study, subjects' own vehicles are equipped with devices that, for a longer period of time, continuously monitor various aspects of their driving behaviour in an unobtrusive way and without the presence of a test supervisor. This includes aspects of vehicle movement, of driver behaviour, and of the direct environment.

Naturalistic observations provide information that is difficult or even impossible to obtain by current research methods. For example, analyses of crash statistics or in-depth crash investigation can hardly provide information about behavioural issues preceding a crash or about near misses. Observations by means of instrumented vehicles or simulators do not encourage the test subjects to behave in a normal (naturalistic) way, since they are generally well aware of the experimental conditions.

Experiences in the US indicated that the naturalistic approach may give a reliable picture of the driver's normal behaviour and makes it possible to observe and analyse the interrelationship between drivers, vehicle, road and other road users under normal conditions, in conflict situations and in actual collisions.

The PROLOGUE project aims at assessing the feasibility and usefulness of a large-scale European naturalistic driving study and to set the scientific and organisational basis for this new type of research. The work has identified potential application areas and research questions for which the naturalistic approach would have an added value. Ongoing naturalistic studies have been reviewed and summarised. A questionnaire survey has prepared a catalogue of applications and research topics for future naturalistic driving studies.

The work in PROLOGUE comprises a number of small-scale pilot studies in different research areas, including novice drivers, in-vehicle information systems, and, through site-based observations, vulnerable road users. 2 BE SAFE will include a naturalistic study using an instrumented motorcycle. Further, an instrumented car also used within one of the pilots within PROLOGUE will be used in 2 BE SAFE to analyse car drivers' behaviour towards PTW riders at intersections and when driving behind.

The paper will highlight the potential of naturalistic research studies for the sake of PTW safety based on findings of the questionnaire survey and the analysis of potential research questions.

**Naturalistic Driving & Riding –  
What can be expected from a new research methodology**



## Introduction

Powered two-wheeler (PTW, i.e. mopeds and motorcycles) collisions turn out to be an increasing problem in today's traffic. Although the total number of accidents does not increase seriously, they get more visible when the number of car crashes seriously declines over the last 4 decades. E.g., in Austria motorcycle rider fatalities do not show a significant trend and remain more or less constantly at about 100 since the late 80s of the last century. In 1987, 103 motorcycle occupants were killed in road traffic collision, which was 7.9% of the total of 1312 fatalities. In 2009, only 87 motorcycle occupants were killed, i.e. 13.74% of all road traffic deaths in 2009.

It has to be noted that, within the same period, the number of registered motorcycles increased by more than 400% from about 88,000 to 372,000. Although this is a remarkably positive development, it leaves another set of questions open to the researchers in the field. Is it improvements in vehicle safety, e.g. better tires, better suspension, better brakes and advance braking systems? Is it improvement of PTW rider basic and follow-up training? Is that just an effect of exposure or is it different populations of riders? Does the infrastructure accommodate PTW riders in a much safer way? What have we changed within the last 30 years that such a huge difference can appear?

There is research based on police reported accident statistics. In-depth studies such as the MAIDS initiative (Motorcycle Accidents In Depth Study, see [www.maids-study.eu](http://www.maids-study.eu)) have discovered a lot more knowledge about collisions. Some questionnaire surveys have been carried out. All these methods have one thing in common: They mainly focus on collisions. Some studies go beyond that, but hardly any research focuses on behaviour of PTW riders and other road users in their daily co-existence on our roads, which would be the basis for answering the questions raised above. Simulator studies might be an option, however, because of the close link between driving dynamics of a PTW and behaviours, designing a realistic impression on a simulator is much more difficult for PTWs than for cars.

Compared to other modes, in particular to passenger cars, PTW collisions have different severity. For passenger cars, as a rough estimate, one out of 10 collisions turns into an injury accident. For PTW, it might be the other way round; one out of ten is not an injury accident. Hence, a good approach for research on the field of passenger car safety could be to extend the focus from injury accidents to property-damage-only accidents. That is not an option for PTW safety. Hence, other methods have to be applied to investigate the history of PTW crashes.

Conflict observation would be an approach. A conflict observation study is currently being carried out within the 2 BE SAFE project. Conflict observation focuses on a short strap of a road or a junction; it

is depending on the number of PTWs passing by. Hence, it is efficient, e.g. to investigate the particular problems at high risk sites. But it might not be efficient in getting a broad insight into PTW rider behaviour. To fulfil the needs of such research, observation of a representative sample of drivers for a long period of time is necessary, within which they freely move within their familiar environment without being influenced by feeling as test subject, either because of an observer always being around or by constantly facing a lot of instrumentation equipment on board.

Nevertheless, using instrumented vehicles and simulators is a step towards observing “normal behaviour” instead of analyzing accidents. There are weaknesses in all these methods, which are soon to be overcome with the use of a new method: Naturalistic Driving.

The PROLOGUE (PROmoting real Life Observations for Gaining Understanding of road user behaviour in Europe) project aims to assess the feasibility and usefulness of a large-scale European naturalistic driving study. PROLOGUE is funded by the European Commission within the framework of FP7. It started in August 2009 and will finish in July 2011. There are nine partners from five EU-countries, Norway and Israel. PROLOGUE is coordinated by SWOV, the Road Safety Research Institute of the Netherlands. The project will deal with all aspects of ND studies, starting with a literature survey and defining potential research questions. PROLOGUE develops proposals on aspects of data collection, i.e. which parameters to measure and which technology (sensors, data storage) to use. There will be a focus on how to analyze the enormous amounts of data that will be collected through naturalistic driving research. And PROLOGUE will conduct six small-scale pilot studies using different approaches (in-vehicle and site-based observation), different technology for data collection and different methodologies for data assessment and analysis. Legal and ethical issues will receive particular attention. All this work will feed into a set of recommendations to establish a scientific and organizational basis for a large-scale European Naturalistic Driving experiment.

At the same time, 2 BE SAFE (Powered Two-Wheeler Behaviour And Safety) has a work package on naturalistic riding. Four different pilot studies using six instrumented vehicles will be executed. 2 BE SAFE is also a European Commission funded research activity involving 27 partners. The project started in January 2009 and will be terminated by the end of 2011.“ TO BE SAFE in its eight work packages applies almost all known methods to investigate PTW rider behaviours, i.e. macroscopic accident research, focus group interviews, conflict observation, simulator studies, questionnaire studies and naturalistic riding.

DaCoTa (Road Safety Data Collection, Transfer and Analysis) will also, within one of its six work packages, consider naturalistic driving. DaCoTa is the successor project of SafetyNet and is funded by the European Commission within FP7. The project is executed within 30 months starting in January

2010. DaCoTa will focus on the question how naturalistic driving can contribute to the European Road Safety Observatory. As an example, it will be investigated if naturalistic driving can deliver representative safety performance data.

## **“Naturalistic Driving”: Methodological issues**

Naturalistic Driving (ND) aims at collecting data about road users as they act in everyday “driving life”, e.g. commuting, business trips, professional driving as well as spare time trips like going out at night and leisure excursions at the weekend. Vehicles are fitted with sensors and data loggers, which should be hidden as good as possible to make observation as unobtrusively as possible, i.e. without continuously reminding the driver that they are a test subject in a scientific study. The behaviour of the driver shall be as close as possible to the behaviour he or she would exhibit without being a test subject.

“It has been proposed that naturalistic studies can be classified as one of three basic types of study; 1) baseline/normative/exposure studies where the aim is to investigate driving behaviour and performance per se, 2) critical incident/near-crash studies where the main aim is to characterize and investigate such incidents and 3) system-focused studies where the aim is to study the driver’s interaction with in-vehicle systems” (Llaneras, Freedman et al. 1999). “This is a reasonable categorization, even though studies of type 2 should include actual crashes as well as critical incidents and near-crashes, and investigation of behaviour leading to these events should be of main interest” (PROLOGUE D1.1, Backer-Grøndahl et al (2010).

## **Data collection within naturalistic driving**

ND is currently within the stadium of being a test subject itself. It is obvious that a ND study has to use data loggers, but the question is which ones and what kind of data should they collect. The duration of an experiment is an important parameter, since it influences - just as the comprehensiveness of collected data does - the required disc space. There are conflicting goals. It has to be considered that, once a ND experiment is terminated, any data that has not been collected, will not be available for processing, even it should turn out to be crucial. That would be an indication to collect as much data as possible. On the other hand, an increasing amount of data will also increase necessary capacity in processing and, most important, require more disc space in the data logger, limit the observational period or make intermediate data transfer necessary. Most crucial is recording of videos. There might be research work on the basis of naturalistic driving data that does not require video at all, but there might also be applications, where four video channels (e.g. to the front, to the driver, to the rear and to the dash board) would not be satisfying.

Typical parameters to collect are:

- speed
- longitudinal, lateral and vertical acceleration
- lateral (lane) positioning
- position relative to other vehicles
- event identification aids (“incident button”)
- environmental factors
- road type (map matching)
- eye tracking
- physiological data of the driver

PROLOGUE’s deliverable D2.1 (Welch et al., 2010) lists a total of 110 parameters which could be recorded and still there might be some information that is not considered in this list.

It might be useful to also record all information from the CAN bus. Voice recording inside the vehicle might give additional information, in particular if the drivers are asked to comment difficult or dangerous situations (where this would be in contradiction with the naturalistic nature of the experiment).

In addition, there is the question of recording resolution of all of these parameters. Again, necessary disc space and accuracy of information are conflicting goals, in particular for videos, which are most demanding in terms of disc space. It might be considered to record videos not for the whole of the observation period but only for certain sequences, e.g. if certain parameters or combinations of parameters are exceeded. Within PROLOGUE’s task A3.3, i.e. the “Austrian pilot”, a “VEDR” (video event data recording) mode will be developed and tested, which – on order to save disc space – records video only if certain parameters of acceleration are exceeded. For the “GreenBox”, which will be used in a naturalistic driving pilot study in Israel (task A3.2 of PROLOGUE), an algorithm was developed that is able to classify driving behaviour. About 120 different typical driving events can be detected and provide accurate information about safe and fuel-saving driving style. The information can be displayed on an in-vehicle LED display (green/yellow/red) and/or be transmitted by a cell phone interface to a central database, where it feeds a monitoring tool.

PROLOGUE, DaCoTa and 2 BE SAFE all aim at developing recommendations, which parameters to record in future large scale ND driving and riding studies and at which resolution.

## State of the art in naturalistic driving research

Within PROLOGUE, a comprehensive literature study has been carried out (Backer-Grøndahl, 2009).

Researchers in the United States of America have already started a large scale ND experiment, the so-called “10,000 car study”, which is currently being carried out in the frame of SHRP2, the Strategic Highway Research Program 2. As a pilot activity, the 100-car-study was carried out (Dingus et al. 2006). One hundred drivers who commuted on a regular basis in the Northern Virginia/Washington D.C. metropolitan area were recruited to the study. Seventy-eight drivers drove their own car, whereas 22 drivers used leased cars. The instrumentation was particularly developed for the purpose, engineered by Virginia Tech Transportation Institution (VTTI). Data was collected over a period of 18 months. Drivers using a leased car received free use of the car and a bonus at the end. Drivers using their own car received \$125 per month and also a bonus at the end.

The instrumentation included:

- accelerometer box obtaining longitudinal and lateral kinematic information
- video to validate any sensor based findings.
- vehicle network box that interacted with the vehicle network
- headway detection system providing information on leading or following vehicles
- side obstacle detection to detect lateral conflicts
- incident box
- video-based lane-tracking system

Five videos were recorded monitoring the driver’s face and driver side of the vehicle, the forward view, the rear view, the passenger side, and a view of the driver’s hands and surrounding areas.

In total, almost 2,000,000 vehicle miles and 43,000 hours of data were gathered over a period of 12-13 months for each vehicle. A primary goal was to provide vital exposure and pre-crash data necessary for understanding causes of crashes, supporting the development and refinement of crash avoidance countermeasures, and estimating the potential of these countermeasures in reducing crashes and their consequences. This research effort was initiated to provide an unprecedented level of detail concerning driver performance, behaviour, environment, driving context and other factors that were associated with critical incidents, near-crashes and crashes.

The 10,000 car study will be the first large scale naturalistic driving experiment. Practically, it is not just only one project. A series of separated but cooperating activities will deal with all issues of a large scale ND study. One of the core parts is the development of the data logger, where the huge variety of

vehicles (within a sample of 10,000) is a particular challenge. Strong efforts are also put on methodologies for data analysis and data mining. For the enormous amount of data, particular procedures for automatic data analysis are needed. The drivers will be using their own vehicles with instrumentation for about one year. The 10,000 car study will try to be some kind of representative, i.e. there should be coverage of different geographical areas, weather conditions, different kinds of traffic (i.e. urban, suburban, highway, ...) and all kinds of traffic conditions from free flow to congestion. The collected data will support the association of driver behaviour with roadway characteristics such as grade, curvature, and posted speed limits and other parameters already mentioned above.

Despite the huge number of participants and millions of vehicle kilometres that will be recorded, it is not expected that a large number of crashes will be documented. Within the 100-car-study, only 82 crashes occurred, of which 69 were fully recorded. Only 12 of these were police reported accidents. Hence, key aspects of the analyses of the 10,000 car study include the application of crash surrogate approaches, such as traffic conflicts, critical incidents, near-collisions, and other surrogate measures; development of exposure-based collision risk measures; and the formulation of analytical methods to quantify the relationship of human factors, driver behaviour, and vehicle, roadway, and environmental factors to collision risk (Campbell and Mason, 2008).

Olson, Hanowski et al. (2009) have executed the “heavy vehicle study”, data from two previous naturalistic studies was combined; the two data sets represented 203 commercial vehicle drivers, and approximately 5 million km of data. The data set included accelerations (longitudinal and lateral) as well as four video channels (front view, driver’s face, left and right rearward view). The analysis was done by trained analysts and a software tool. Safety-critical incidents were identified by the judgement of the analyst or by exceeding certain thresholds of acceleration (both longitudinal and lateral), time-to-collision or an incident button. 4452 such events were identified, including 21 crashes. In order to estimate odds ratios, baseline events (uneventful, routine driving) were also gathered.

A couple other studies have been carried out using an approach at least similar to naturalistic driving, although none of these was close to being a large scale experiment. However, these studies aimed at gaining additional knowledge about:

- Driver distraction and inattention
- Drowsiness and fatigue
- In-vehicle systems
- Lane-change behavior
- Heavy vehicle – light vehicle interaction
- Driver characteristics and states

Beyond these safety-related topics, naturalistic driving studies have also been used to research:

- Eco-driving
- Traffic flow/traffic management (lane change behavior)
- Relation between self-report and naturalistic observation

## Examples of ongoing Research Initiatives

Both the PROLOGUE and 2 BE SAFE projects include small scale naturalistic driving studies or pilot studies.

At TRL, a CBR1000RR ‘Fireblade’ has been fitted with a comprehensive set of sensors: throttle position, 3-axis accelerometer, 3-axis gyroscope (roll, pitch and yaw), handle bar rotation, brake lever application, turn signal activations, synchronised video (forward & rider facing), GPS, front and rear brake pressures, engine speed, front and rear wheel speeds, front fork loading.



Figure 1: Sensors on CBR1000RR at TRL

The Department of Mechanics and Industrial Technology at the University of Florence is currently developing instrumentation on a Piaggio Beverly Tourer 300 scooter with a similar range of sensors.

INRETS has presented its newly developed instrumented Honda CBF1000 at the TRA 2010 conference in Brussels. Besides a comprehensive sensor data, this bike collects four synchronised video channels, to the front centre, left and right and to the driver. The side cameras are mounted on a top case, which also carries the data loggers.



Figure 2: Data logger in top Case and tank pack on CBF1000 at INRETS



Figure 3: Side and front camera on CBF1000 at INRETS

Aristotle University of Thessaloniki and the National Technical University of Athens (NTUA) are running a study together using a BMW 650 Funduro (throttle position, 3-axis accelerometer, 3-axis gyroscope (roll, pitch and yaw), handle bar rotation, brake lever application, turn signal activations, synchronised video (forward & rider face), GPS).

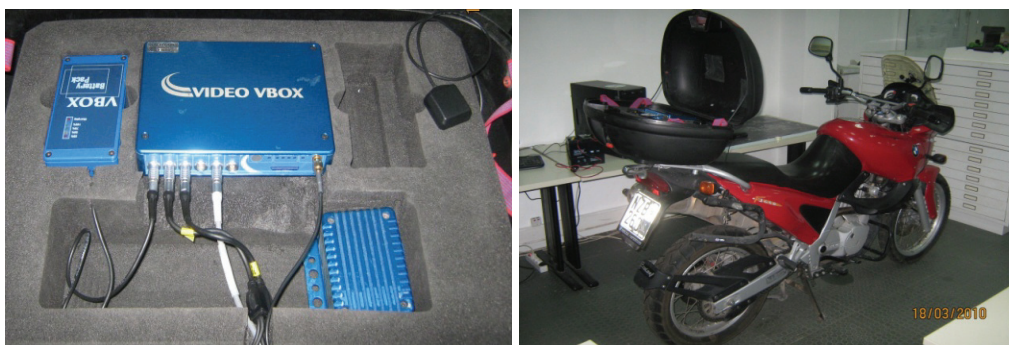


Figure 4: BMW Funduro and instrumentation



For passenger cars, a study in Austria is about to start, which will look at changes in rider behaviour before and after the second element of the Austrian multiphase driver training, which is a track-based safety training in link with a 2-hours psychological group discussion. This study uses off-the-shelf technology for logging data. The “p-drive” system is a very flexible data logger, which includes a camera, acceleration and gyroscopic sensors in itself and which can store data of another four video channels and almost any kind of analogue and digital external sensors. GPS and a second camera taking the driver’s face are used in this trial.



Figure 5: p-drive main unit

Also within PROLOGUE, Or Yarok from Israel will use the “GreenBox” from GreenRoadTechnologies (see www.greenroad.com) and “Mobileye” (see www.mobileye.com) to study young drivers’ behaviour and to validate sensors against each other.

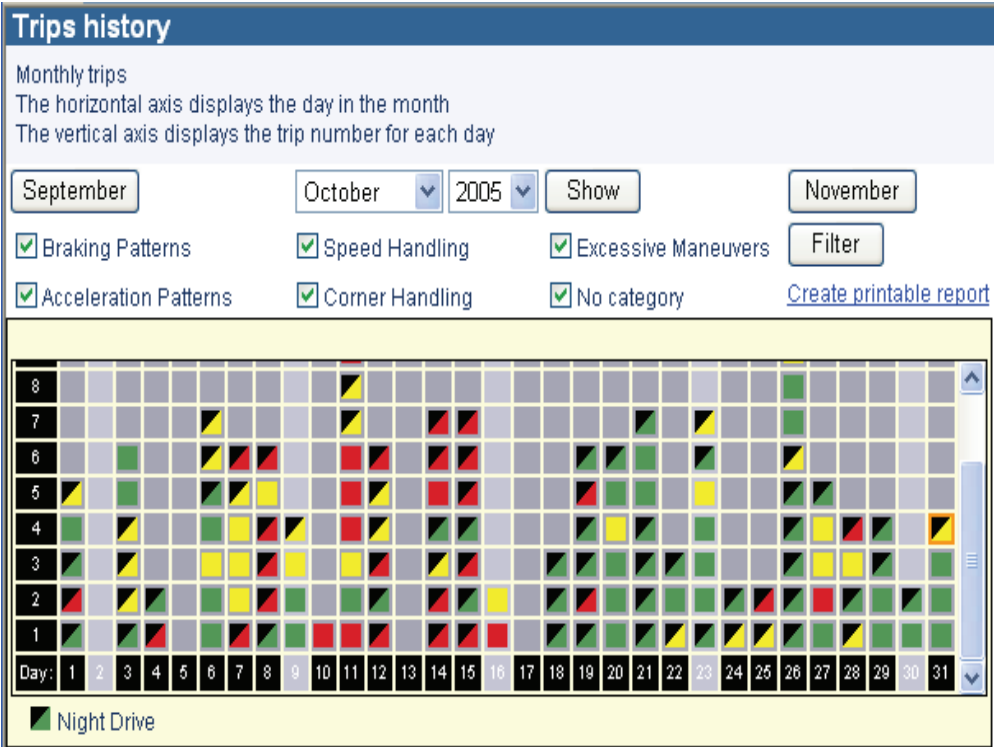


Figure 6: Driver Feedback diagram for GreenBox by Greenroad Technologies

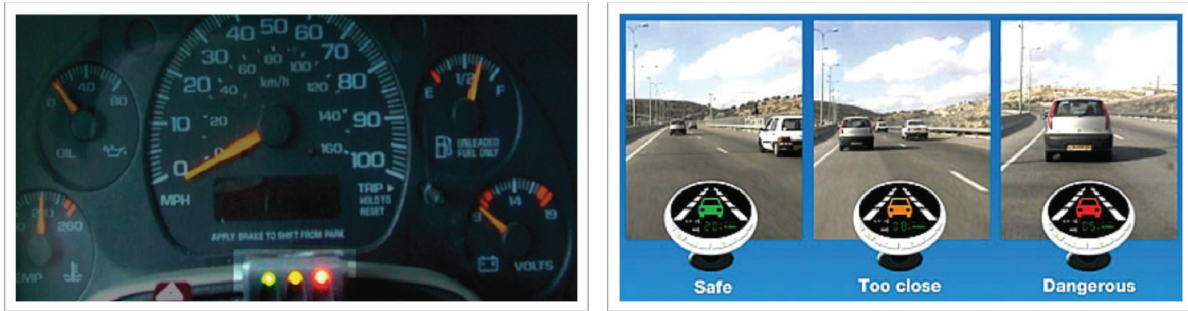


Figure 7: GreenBoc and Mobileye feedback indicators

## Organizational, ethical and other methodological issues

One of the key factors is the design of guidelines for the sample of a large scale ND experiment. Representative nature of the sample, recruitment of subjects, legal provisions and data handling have to be dealt with. Although naturalistic driving studies are typically observational, it still makes good sense to consider them in terms of experimental designs where an ‘experimental group’ is compared with a ‘control group’ in order to uncover the reasons why events did or did not happen.

Data protection and privacy need close consideration in a ND experiment. The legal framework to protect both the subject and the researchers has to be settled and can rise serious barriers, e.g. dealing with passengers in the instrumented vehicles. PROLOGUE’s work package 2 was designed to collect relevant information (Groenewoud et al., 2010). Guidelines derived from that will be delivered at the end of the project within work package 4.

## Stakeholders’ interests

A large scale ND experiment is huge effort, which only makes sense if there is reasonable interest in the potential benefits. ND observation in itself does not create any specific results, just as the collection of police recorded accident data does neither. It is the research work based on such data, which will create benefits. There are possibilities for both basic research as well as for applied research.

In order to determine research needs that can be satisfied by using the ND approach, PROLOGUE as one of its initial activities executed a survey among potentially interested parties (Backer-Grøndahl et al., 2010). A user group was composed (Van Schagen, 2010) mainly by personal contacts, which at that stage of the project consisted of representatives from governmental organization (European, national, regional and local government), the industry (automotive, supplier, insurance), from research organizations and from other organizations, such as police, road users, environment protection and driver training and testing organizations. A questionnaire was composed and sent to 137, mainly

European, professionals in the area of road transport and related areas by e-mail. 72 responses were collected.

A vast majority of respondents considered ND useful in terms of contributing to improvement of road safety. Although ND data offers a lot of opportunities to contribute to improvement in traffic management and environmentally friendly mobility, the respondents did not feel this way to a large extent.

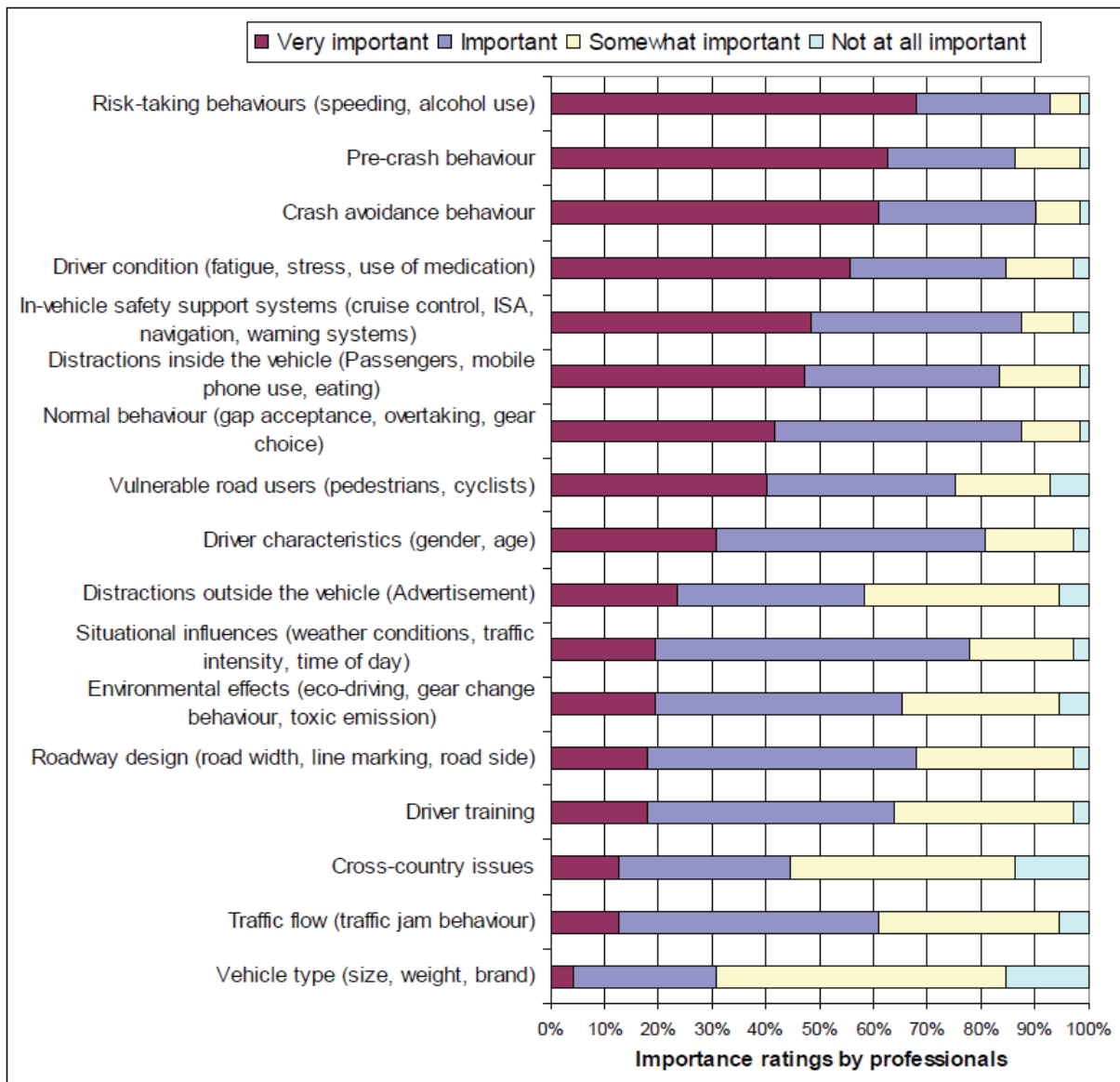


Figure 8: Topics for an ND study ranked in terms of importance according to the respondents. (Source: Van Schagen et al., 2010)

These results (Figure 8) show that, generally speaking, many topics are ‘important’ or ‘very important’ to investigate in a large-scale European ND study. According to the respondents, the four most popular topics are:

- Risk-taking behaviour, in particular speeding, close following and drink driving
- Pre-crash behaviour
- Crash avoidance behaviour
- Driver condition, in particular fatigue and various health conditions

Between the lines, this shows the huge opportunity offered by ND, to take a large step beyond research on the basis of qualitative and quantitative accident data, i.e. from the collision itself and its impact to the pre-crash phase, further to near misses, conflicts and finally to normal driving behaviour. ND research will support determining where in this chain of events the path leading an accident departs from normal driving, which conditions result in just a conflict or a near miss instead of a collision.

## Potential beneficiaries

The final beneficiaries of a large scale European ND experiment are the road users. Considering that ND also contributes to environmentally-friendly mobility, all citizens will benefit.

ND data collection will establish the basis for a huge variety of research work. This may improve safe, comfortable and environmentally friendly mobility in the future. On the way there, there are a large range of stakeholders who may benefit from ND research. Some examples:

- Road safety organizations may receive the tools to investigate driver behavior on an advanced level to gain insight into accident causation and be able to propose a next level of road safety measures.
- The car industry and its suppliers may gain additional knowledge of how their vehicles and equipment are used and experienced by both the users of their vehicles and other road users in order to further develop safe, comfortable and environmentally friendly vehicles.
- The insurance industry may benefit from the new road safety measure proposed by safety experts (i.e. reduction of claims) as well as by enhanced predictability of risk.
- Governmental organizations will receive improved information in order to design legal provisions for road traffic focusing on safety, capacity of infrastructure and sustainability, in particular, encouraging infrastructure investments.
- Organizations concerned with traffic education, driver training and testing could learn where the average road user typically fails. This knowledge can be used to design improved driver training, or even to enhance traffic education in schools.
- Environmental organizations could research the typical driving style adopted by European drivers. This could enable the creation of new procedures to assess fuel consumption of

vehicles closer to real-life driving or to design training measures addressing the typical mistakes of drivers.

- Road directorates could gain additional insight regarding the road users' reaction to different design parameters of roads or varying framework conditions on the road in order to improve methodologies for infrastructure management.

## Summary

Naturalistic driving studies offer a huge variety of opportunities to improve the current transport system. It addresses road safety as well as environment protection and traffic management. A catalogue of potential applications and research topics was prepared within the course of PROLOGUE (Sagberg et al., 2010). In general, most of the research topics, in terms of accident analysis in the past, can be reassessed using the data created by an ND experiment. But beyond that, there is the possibility of using ND data for researching the history of a collision as well as near misses, traffic conflicts, dangerous situations and “normal” driving behaviour.

To know more about normal driving behaviour may provide additional input in designing fuel-efficient vehicles, which take account of this normal behaviour. Furthermore, in traffic management normal driving behaviour is a big issue, but also driving behaviour within exceptional situation like traffic jams may be of interest. ND offers an opportunity to collect some exposure data and safety performance indicators.

ND as new methodology is also of particular interest for research on powered two-wheeler (PTW) safety. Rider behaviour is hardly researched at the moment and there are a large number of unsolved problems and open questions in terms of PTW safety, where ND is supposed to be a reasonable approach to find solutions and answers. Both instrumented motorcycles and instrumented cars can be used to research, e.g. the problem of perception of PTW by other road users.

A sophisticated ND experiment is too much of an effort to be carried out on a small scale. A European ND experiment would create comparable data throughout the European Union, being representative for the whole of the European population.

## Literature

Van Schagen, I. (2010). Composition of the PROLOGUE User Forum. PROLOGUE Deliverable D5.2. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands.

Backer-Grøndahl, A., Phillips, R., Sagberg, F., Toulou, K., Gatscha, M. (2009). Naturalistic driving observation: Topics and applications of previous and current naturalistic studies. PROLOGUE Deliverable D1.1. TØI Institute of Transport Economics, Oslo, Norway.

Campbell, K., Mason, L. (2008). Developing measures to improve highway safety. The safety focus area of the strategic highway research program 2. TR News.

Dingus, T.A, Klauer, S.G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S. E., Sudweeks, et al. (2006). The 100-car naturalistic driving study, phase II – results of the 100-car field experiment. Report no. DOT HS 810 593, National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington, D.C.

Groenewoud, C., Schoen, E., Malone, K., Jonkers, E., Hoedemaeker, M., Hogema, J. (2010). Methodological and organizational issues and requirements for ND studies. PROLOGUE Deliverable D2.2. TNO, Soesterberg, The Netherlands.

Llaneras, R. E., Freedman, M., Steinberg, G. V., Perel, M. (1999). Naturalistic driving studies. A toll for the development and evaluation of in-vehicle systems.

Lotan, T., Grimberg E. et al. (2010). Specification and Planning of Field Trials. PRO-LOGUE Deliverable D3.1. Or Yarak, Hod Hasharon, Israel

Olson, R. L., Hanowski, R. J., Hickman, J. S., Bocanegra, J. (2009). Driver distraction in commercial vehicle operations. Report No: FMCSA-RRR-09-042. U.S. Department of Transportation, Federal Motor Carrier Safety Administration, Washington D. C.

Sagberg, F., Backer-Grøndahl, A. (2010). A catalogue of applications and research topics for future naturalistic driving studies. PROLOGUE Deliverable D1.3. Oslo, Norway: TØI Institute of Transport Economics.

Van Schagen, I., De Craen, S., Van Nes, N. & Eenink, R. (2010). The areas of interest of potential users for naturalistic observations studies. PROLOGUE Deliverable D1.2. SWOV Institute for Road Safety Research, Leidschendam, The Netherlands.

Welsh, R., Reed, S., Talbot, R., Morris, A. (2010). Data collection, analysis methods and equipment for naturalistic studies and requirements for the different application areas. EC FP7 project PROLOGUE Deliverable D2.1.

**Developing a methodology for the assessment of riders'  
acceptance of an Advanced Rider Assistance System**

**Entwicklung einer Methode für die Akzeptanzbewertung von  
Fahrerassistenzsystemen für motorisierte Zweiräder**

Véronique Huth  
CIDAUT Foundation, Valladolid (Spain)

Christhard Gelau  
Federal Highway Research Institute, Bergisch Gladbach (Germany)

## **Abstract**

Motorcycle accident data shows the need for countermeasures, such as the implementation of Advanced Rider Assistance Systems (ARAS). Yet, the opportunity to enhance riders' safety crucially depends on riders' acceptance of these systems. The methodology presented in this paper aims at assessing riders' acceptance, integrating relevant measurements acquired from a simulator study. The acceptance concept that underlies the analysis includes riders' attitudes towards the system in terms of perceived usefulness (including the safety feeling and experienced riding performance), usability and attractiveness aspects, the interaction with riding sensations as well as the perceived social norm and, on the other hand, rider's behavioural intentions in terms of willingness to have, willingness to use and willingness to pay for the system. In the present paper we subject this core assumption of our acceptance concept to an empirical test using the example of a Curve Warning System (CWS).



**Developing a methodology for the assessment of riders' acceptance of an Advanced Rider Assistance System**

# 1 Introduction

While extensive and thorough research on Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and their behavioural and safety-related effects has been performed in the automotive sector [1], the feasibility of providing motorcycle riders with support by means of assistance systems has not yet been sufficiently explored. However, accident statistics indicate that in the area of motorcycle safety there are still large potentials to improve road traffic safety and the implementation of Advanced Rider Assistance Systems (ARAS) might be a promising approach to achieve this goal.

Compared to other vehicles, motorcyclists show a higher proportion of accident involvement [2] and the fatality risk for motorcyclists is 14 times higher than for car drivers. According to [3], in Germany the number of motorcyclists killed was 5.36 per 100 Mio. km of travel in 2008 whereas the comparable figure was only .28 for the risk of being killed as a car passenger. These findings show that accident countermeasures are urgently needed in order to increase motorcycle riding safety. Since nearly 25% of all motorcycle accidents happen on curves [4], a system giving motorcycle riders support in this kind of road section is to be considered.

There is evidence that the nature of motorcycling and the role it fulfils at least for some riders has changed in recent years and that in particular returning riders purchase their bikes for leisure activities, and by feelings of freedom and the associated image [5]. Indeed, motorcycles provide the riders with the opportunity to use their vehicle in a way that leads to a more intense experiences and sensations of vehicle dynamics, mainly due to the high manoeuvrability of the bike and the speed which can be achieved. However, this goes with at the same time increasing risk to lose control of the motorcycle [6]. Thus, the rider's awareness of the actual traffic situation and appropriate decisions on possible riding manoeuvres are crucial factors for riding safety and quality [7]. Most importantly, this includes the choice of an appropriate speed, as riding at unsafely high speed has been found to increase crash risk [8; 9].

Against this background, ARAS issuing warnings in safety critical situations can be expected to provide valuable support to the rider. Within the European project SAFERIDER ('Advanced Telematics for Enhancing the *SAF*Ety and Comfort of Motorcycle *RIDERS*') several ARAS functions are currently being developed which aim at the enhancement of riding safety and comfort. Beyond technical feasibility, the potential of these systems depends on their use, which in turn is strongly influenced by the riders' acceptance of the system. A precondition for a good functionality to be efficient is the rider's positive attitude towards the system and the willingness to buy and use it. User acceptance is especially important in the field of motorcycle riding, where the predominating riding motives are positive riding feelings and pleasure. Therefore, when developing an ARAS, the peculiarities of mo-

motorcycle riding have to be taken into consideration. Riding a motorcycle is, in the majority of the cases, a leisure activity which has a more recreational and expressive character than driving a car [10]. In line with Csikszentmihalyi's concept of "flow", the goal of the trip is more the activity of riding itself than the destination the rider wants to reach [11]. The acceptance of a system, therefore, cannot be directly derived from the potential usefulness of its warnings regarding safety enhancement. In the case of motorcycle riding possible interferences of the system with riding sensations should carefully be considered when assessing the acceptability of a system, as well as further factors which might have an influence on the benefit the rider perceives when using the system.

On that account, the assessment of riders' acceptance of ARAS requires an appropriate evaluation methodology. Methodologies for the evaluation of assistance systems have been widely studied in the automotive context and in the area of motorcycle riding first steps have been undertaken within SAFERIDER where the development of a methodology for the evaluation of riders' workload when interacting with ARAS has been started [12]. The objective of this paper is to present some empirical work contributing to the methodology for assessing the riders' acceptance of ARAS, which is specifically adapted to the characteristics and needs of motorcyclists. This methodology will be validated, in a first step, using the example of the Curve Warning System (CWS) developed in the SAFERIDER project.

## **2 Methodological Approach for the assessment of riders' acceptance**

### **2.1 Acceptance Concept**

Acceptance is of crucial importance when it comes to evaluate an assistance system, as it is strongly linked to the potential usage behaviour. Although acceptance of technology has been evaluated in many studies, this kind of assessment still lacks standardization due to the different focuses on diverse system aspects which have been adopted by acceptance models. In particular, the assessment of acceptance of ARAS by riders has to be tailored to the peculiarities of riding a motorcycle, being thus adapted to a road user group which considerably differs from car drivers.

The Technology Acceptance Model [13; 14] states that acceptance is influenced by perceived usefulness and perceived ease of use. Herein, perceived usefulness is defined as the benefit experienced when using the system. Van der Laan, Heino & de Waard [15] presented a procedure which assesses acceptance by measuring usefulness and pleasantness. These two dimensions reflect the attitude of the user towards the system.

However, usage behaviour cannot be easily predicted from attitudes. Intention in turn, has been found to be directly linked to actual behaviour, as stated in Ajzen's Theory of Planned Behaviour [16]. Accordingly, Montada & Kals [17] indicated willingness to show a specific behaviour as a valid predictor of the execution of the behaviour. As stated by Müller, Ittner & Linneweber [18] in the context of Advanced Driving Assistance Systems (ADAS) actual usage, which is considered as indicator of acceptance in their model, is determined by the two core criteria 'willingness to use' and 'willingness to pay', which in turn are depending on the perceived usefulness of the system. Furthermore, Müller et al. [18] include psychological variables into their 'heuristic model' of the acceptance of ADAS which influences the drivers' intention to use the system. Firstly, the potential user should be aware of the problem in order to perceive the advantage of using the system. Hereby, emotions play an important role, especially the fear of being involved in an accident.

In the area of motorcycle riding one crucial point is the riders' awareness of the accident risk they are exposed to. Besides, the nature of riding as a performance, where the motive is the ride itself as well as the related experience of riding dynamics, and these may interact with the perceived usefulness of the ARAS in terms of self efficacy [19]. Riders who feel that they can handle the ride or are even actively seeking experiences of thrill may not feel the need for assistance by technology. In accordance with the Theory of Planned Behaviour, the use of ARAS is expected also to depend on the perceived social norm, i.e. the opinions of important others. Fellow riders play a substantial role when it comes to forming beliefs and attitudes, as they represent a source of information for the riders and rider groups use to have an interdependent/collectivistic structure. Finally, using an ARAS should not impede the satisfaction of emotional needs like riding fun, the feeling of autonomy and other riding sensations (e.g. the experience of dynamics).

Our approach to the development of an assessment tool is based on an extended concept of user acceptance as suggested by [18], not only considering the attitudes riders show towards the system but also taking into account the riders' intentions to use the ARAS. These 'intentions to use' are assumed to reflect acceptance which in turn are determined by 'perceived usefulness', 'willingness to have' and 'willingness to pay'. In the present paper we subject this core assumption of our acceptance concept to an empirical test.

## **2.2 Assessment Tools**

The empirical work on our methodology for the assessment of the acceptance of ARAS was performed within a simulator study. Herein, one system is tested with two alternative Human Machine Interface (HMI) versions. A specific questionnaire has been constructed covering the various aspects of riders' acceptance included in the presented acceptance concept. Accordingly, our assessment tool

measures the attitudes towards the system as well as the intention to use it. Complete items and answering scales are detailed in the project deliverable [20].

The measurement of the riders' attitudes integrates a semantic differential based on Hassenzahl's AttrakDiff questionnaire [21] which covers usability as well as attractiveness attributes. All further aspects of the riders' attitudes are collected by means of a tailor-made set of items presented in a Likert-scale format. The items referring to the perceived usefulness of the system cover the usefulness of the warning, the helpfulness in order to manage the critical event and the trustworthiness of the warning. Furthermore, riders are asked if they appreciated the system and how confident they felt using it. Subjective safety aspects are measured in terms of riskiness of the ride and feeling safe while riding. The users indicate their experienced riding performance by judging how well they have ridden and how many errors they have committed. An item on the riders' liking of the ride and one on the annoyance experienced during the ride measure the satisfaction of emotional riding motives. Finally, in order to identify the influence of the perceived social norm, the riders are asked if they think their fellow riders would appreciate the system and how important this opinion is to them.

The intention to use the system and its determinants are measured by means of questionnaire items with closed answering format. On the one hand, these assess the riders' willingness to have the system and the intention to use it by asking if and how much the riders would like to have the system and how often they would use it. On the other hand, the riders indicate their willingness to pay for the system by choosing a price interval they are willing to spend for acquiring the system.

### **3 Pilot Validation: Assessing riders' acceptance of a Curve Warning System**

#### **3.1 The Curve Warning System**

The CWS, developed within SAFERIDER, calculates an ideal safe manoeuvre for the curve the rider is approaching and estimates the level of risk, comparing the ideal manoeuvre to the actual riding parameters. In case the rider does not choose the proper speed profile necessary to approach and ride safely through the curve, the system alerts the rider. Thus, the safe speed is not pre-determined but is estimated in real time by comparing the riding parameters, including the speed profile, to the road geometry ahead.

The CWS is implemented with two alternative HMI devices: a force feedback throttle and a haptic glove. In the first setup, the alert is transmitted to the rider through a force feedback on the gas-throttle

handle. In case of an alert he will notice an increased stiffness of the throttle. In the second setup a haptic glove transmits the warning signal by vibration applied to the rider's wrist. On left hand, the rider wears a traditional motorcycle glove while the right glove is equipped with electronics and vibration motors. In addition, the system status is shown on a visual display.

### 3.2 The Riding Simulator

The CWS is implemented in the riding simulator at the Department of Innovation in Mechanics and Management (DIMEG) of the University of Padova. This simulator makes it possible to ride in a realistic way through a virtual scenario. It is composed of an instrumented motorcycle mock-up, software for the simulation of the motorcycle dynamics and three subsystems for the motion, visual and acoustic cues. All these components have been integrated into a virtual traffic environment where the rider may interact with other road users and react to pre-defined events.

More in detail, the motorcycle mock-up is equipped with throttle, brake lever, pedal and gearshift like a real vehicle, but commands are connected to sensors which detect the rider's action. The information from the sensors is used by the software that simulates the physical behaviour of the motorcycle. This application is a multibody software that works in real time and is very realistic: It is able to reproduce the counter-steering behaviour as a response to the rider steering action, it simulates the effect of the rider leaning, the suspensions and tyre characteristics are reproduced in detail, as experimentally confirmed [22; 23]. Once the behaviour of the motorcycle has been simulated, motion, visual and acoustic cues are presented to the rider. The motion cue system of the UNIPD simulator has five actuated axes: lateral displacement ( $\pm 0.3$  m), yaw rotation ( $\pm 20^\circ$ ), roll rotation is ( $\pm 20^\circ$ ), pitch rotation ( $\pm 10^\circ$ ) and handlebar rotation ( $\pm 10^\circ$  up to 100Nm). The visual cue system includes three wide screens 2x1.5m which corresponds to a horizontal field of view of about  $240^\circ$  and a vertical  $60^\circ$ . Finally, a 5.1 surround system provides the generation of the environment sounds all around the rider.

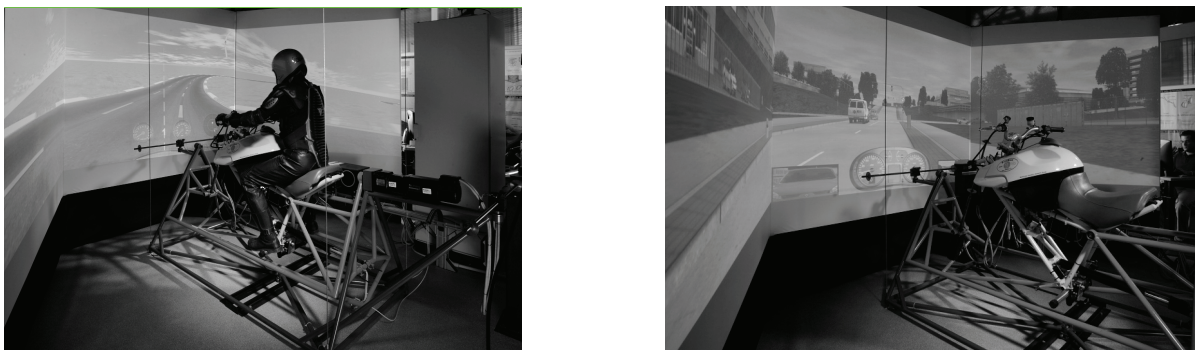


Fig.1. DIMEG riding simulator

### 3.3 Procedure and Participants

A total of N=20 riders participated as subjects in the study. Their task was to perform three rides: a baseline ride and two experimental rides. The baseline ride did not include the use of any ARAS, whereas in the two experimental rides test subjects used the CWS - once with the haptic glove and once with the haptic throttle. Before starting to ride with a system version, the subject was familiarized in a practice situation where the warning was triggered, providing a practical demonstration of the system functioning. The order of the rides was counterbalanced to control for possible carry-over effects. After each experimental ride questionnaires were administered for the measurement of the subjective variables.

Subjects were recruited from a diverse background, covering an age range between 21 and 30 years. Nineteen of the subjects were male. Their riding experience varied from two to ten years or more of riding licence and their average mileage per year was around 3000 km, with a minimum of 1500 km for one participant. All participants were briefly trained for riding on the simulator.

### 3.4 Results

Two predictions can be derived from the core assumptions of our extended concept of acceptance explicated before. First, we expected significant positive correlations between the variables ‘willingness to have’, ‘willingness to pay’, ‘perceived usefulness’ and the variable ‘intention to use’. Second, as our subjects experienced two variants of the CWS differing with regard to the HMI concept, we expected that the variant with the higher ‘intention to use’ would also receive on average higher ratings on ‘willingness to have’, ‘willingness to pay’ and ‘perceived usefulness’.

The wording of the items, response categories and median values for responses concerning the two HMI devices are presented in Table 1. Although no differences in median values were found the ‘intention to use’ turned out to be higher for the haptic glove than for the force feedback throttle. For both devices “turn it on only in certain situations” was the most frequently chosen category (force feedback throttle: n=9; haptic glove: n=11). However, the inspection of the frequency distribution further revealed that for the haptic glove the remaining nine subjects explained that they would “keep it active all the time”. This was not the case for the force feedback throttle. Regarding this device only five subjects chose this category and six subjects explained that they “would not activate it at all”. Accordingly a sign-test revealed a statistically significant difference ( $p < .05$ ) in the ‘intention to use’ between both devices. Sign-tests also revealed significant differences for the items reflecting ‘perceived usefulness’ ( $p < .05$ ) and ‘willingness to have’ ( $p < .05$ ), both in favour of the haptic glove). However, although our subjects gave more favourable assessments for the haptic glove both HMI devices did not differ significantly regarding the willingness to pay.

In a next step, for each HMI device bivariate correlations between the four variables were calculated (Spearman's Rho). To summarize, some of the expected positive correlations could be found in the responses to the force feedback throttle. For this HMI device significant correlations between 'perceived usefulness' and 'willingness to have' ( $\rho=.57, p<.01$ ) as well as between 'perceived usefulness' and 'willingness to use' ( $\rho=.50, p<.05$ ) were found. The variables 'willingness to have' and 'willingness to use' were also found to be significantly positively correlated ( $\rho=.66, p<.01$ ). Finally, there was a significant positive correlation between the 'willingness to pay and' the 'intention to use'. However, these results were not replicated by the correlations between the subjective evaluations of the haptic glove. For this device none of these correlations was found to be significant.

Table 1: Wording, response categories and median values of the items representing the variables 'perceived usefulness', 'willingness to have', 'willingness to pay' and 'willingness to use' (n=20)

Variable	Response categories	Median assessment force feedback throttle	Median assessment haptic glove
Perceived usefulness: "Is the warning useful?"	Five point rating scale with verbal anchors: "not at all" = 1 "a lot" = 5	3.00	4.00*
Willingness to have: "Would you like to have this system on your bike? If yes, how much would you like to have it?"	"no" = 0 "little" = 1 "fairly" = 2 "much" = 3 "very much" = 4	.50	2.00*
Willingness to pay: "How much would you pay for the system?"	"0 €" = 1 "less than 100 €" = 2 "100 – 250 €" = 3 "250 – 500 €" = 4 "500 – 1000 €" = 5 "more than 1000 €" = 6	1,00	1,00
Intention to use: "How would you use the system if you had it on your motorbike?"	"I would not activate it at all" = 0 "I would turn it on only in certain situations" = 1 "I would keep it active all the time" = 2	1,00	1,00*



## 4 Discussion and conclusions

The present research aimed at contributing to the development of a methodology for the assessment of riders' acceptance of ARAS and OBIS. The conceptual framework was defined by the "Heuristic Model" proposed by Müller et al. [18] with special focus on the 'intention to use' and its correlates. The main findings can be summarized as follows: It could be shown that the HMI device (haptic glove) which scored higher on the variable 'intention to use' is perceived as more useful and its ownership is stronger requested. This finding confirms our expectation. However, force feedback throttle and haptic glove did not significantly differ with regard to the 'willingness to pay'. The median values for both devices were 1, i.e. at least the half of our sample indicated for each device that they would be willing to pay 100 € or less or even nothing. Based on our data the question how the variable 'willingness to pay' is linked to the 'intention to use' as indicator of acceptance cannot be answered satisfactorily yet. Indeed, the predicted positive correlation between 'willingness to pay' and 'intention to use' was found. But this was only true for the assessments of the force feedback throttle and not replicated for the haptic glove. Thus, currently the data are still ambiguous and it cannot be decided yet if this is simply due to sampling error or that the connection between both variables is different from the one that is assumed by [18].

To conclude, the methodological approach for the assessment of riders' acceptance of ARAS presented in this paper still has to be considered as a pilot work which is still exploratory in nature, using the CWS as an example to demonstrate the feasibility in a simulator study and using a relatively small subject sample as well as to undertake a first step in the validation of the measurement concept. Future research will have to show how these results may generalize across subject samples, systems and research environments. Within SAFERIDER, the presented methodology will be applied to three other ARAS applications. Furthermore, the CWS and the three other systems will be implemented on demonstrators, permitting to obtain external criteria from tests in real traffic conditions for a further validation of the methodology. Moreover, future research should also focus on inter-individual differences between riders and their impact on the acceptance of a specific ARAS. Finally, a systematic analysis of the specific influences of the HMI design on acceptance should be considered as a useful research activity.

## 5 Acknowledgements

The authors would like to thank the European Commission for providing funding for the SAFERIDER project (Grant agreement N° 216355), as well as the members of the SAFERIDER consortium who have contributed to this study.

## 6 References

- [1] Winner, H., Hakuli, S. & Wolf, G. (Hrsg.) (2009). Handbuch Fahrerassistenzsysteme. Wiesbaden: Vieweg + Teubner.
- [2] European Transport Safety Council [ETSC] (2003). Transport safety performance in the European Union: A statistical overview. Brussels: European Transport Safety Council.
- [3] ADAC e.V. & DVR e.V. (Hrsg.) (2010). Motorrad fahren auf sicherer Straße! Ein Leitfaden für die Praxis. München: ADAC.
- [4] Molinero, A., Martín, O., Perandones, J.M., Pedrero, D., Margaritis, D. & Gelau, C. (2009). Characteristics of powered two wheelers accidents susceptible to be avoided and minimized through ADAS and IVIS implementations. Paper Number 09-0543, 21<sup>st</sup> ESV Congress, 2009, Stuttgart, Germany.
- [5] Jamson, S. & Chorlton, K. (2009). The changing nature of motorcycling: Patterns of use and rider characteristics. *Transportation Research Part F* 12, 345-346.
- [6] Broughton, P.S., Fuller, R., Stradling, S., Gormley, M., Kinnear, N., O'dolan, C. & Hannigan, B. (2009). Conditions for speeding behaviour: a comparison of car drivers and powered two wheeled riders. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology*, 12, 417-427.
- [7] Di Stasi, L.L., Álvarez-Valbuena, V., Cañas, J.J., Maldonado, A., Catena, A., Antolí, A. & Candido, A. (2009). Risk behaviour and mental workload: Multimodal assessment techniques applied to motorbike riding simulation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology*, 12, 361-370.
- [8] Fildes, N.B., Rumbold, G. & Leening, A. (1991). Speed behaviour and drivers' attitude to speeding. General Report No.16 Hawthorne, Victoria: VIC Roads.
- [9] Maycock, G., Brocklebank, P. & May, R.D. (1998). Road layout design standards and driver behaviour. TRL Report No. 332. Crowthorne: Transport Research Laboratory.
- [10] Broughton, P.S. & Stradling, S. (2005). Why ride powered two wheelers? In *Behavioural research in road safety, fifteenth seminar*. London: Department for Transport. 68-78.
- [11] Broughton, (2008). Flow, task capability and powered-two-wheeler (PTW) rider training. In L.Dom (Ed.): *Driver behaviour and training* (vol. 3, pp. 415-424). Aldershot: Ashgate Publishing.
- [12] Gelau, C. & Pauzié, A. (2009). Towards a methodology for the evaluation of Motorcyclists workload when Interacting with IVIS and ADAS. In *Proceedings of the BRNOSAFETY – The International Conference on Road Safety*, June 4-5, 2009, Brno, Czech Republic.
- [13] Davis, F.D. (1989). Perceived usefulness, perceived ease of use, and user acceptance of information technology. *MIS Quart*, 13, 319-339.

- [14] Venkatesh, V. & Davis, F.D. (2000). A theoretical extension of the technology acceptance model: Four longitudinal field studies. *Management Science* 46, 2, 186-204.
- [15] Van der Laan, J.D., Heino, A. & De Waard, D. (1997). A simple procedure for the assessment of acceptance of advanced transport telematics. *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 5, 1-10.
- [16] Ajzen, I. (1991). The theory of planned behaviour. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 50, 179-211.
- [17] Montada, L. & Kals, E. (2000). Political implications of psychological research on ecological justice and proenvironmental behaviour. *International Journal of Psychology*, 35, 168-176.
- [18] Müller, S., Ittner, H. & Linneweber, V. (2008). Advanced Driver Assistance Systems - Impact of psychological variables on the acceptance of modern car technologies. In D. de Waard, F.O. Flemisch, B. Lorenz, H. Oberheid & K.A. Brookhuis (Eds.), *Human Factors for Assistance and Automation* (pp. 179-191). Maastricht: Shaker.
- [19] Bandura, A. (1982). Self-efficacy mechanisms in human agency. *American Psychologist*, 37, 122-147.
- [20] Hassenzahl, M., Platz, A., Burmester, M. & Lehner, K. (2000). Hedonic and ergonomic quality aspects determine a software's appeal. *Proceedings of the CHI 2000 Conference on Human Factors in Computing* (pp. 201-208), The Hague, NL.
- [21] Lot, R., Cossalter, V., Diederichs, F., Pauzié, A., Gelau, C. & Montanari, R. (2009). Pilot Plan, Tools and Evaluation Methodology. EU-Project SAFERIDER, Contract FP7-ICT1-216355, Deliverable 7.1.
- [22] Cossalter, V., Doria, A. & Lot, R. (2004). Development and Validation of a Motorcycle Riding Simulator. *Proc. Int. Conf. FISITA, Barcelona, Spain, May 2004*, paper number F2004F134.
- [23] Cossalter, V., Doria, A., Lot, R. & Maso, M. (2006). A motorcycle riding simulator for assessing the riding ability and for testing rider assistance systems. *Driving Simulation Conference Europe 2006, Paris, France, October 2006*, pp. 49-58.

**Giving Motorcyclists The Best in Training:  
Designing Principle-Based, Safety-Oriented  
Education And Training Programs**

**Motorradfahrem die beste Ausbildung ermoglichen:  
Das Erstellen strukturierter und sicherheitsorientierter  
Weiterbildungs- und Trainingsprogramme**

Tim Buche, President & CEO

Sherry Williams, Director, Quality Assurance & Research

Ray Ochs, Director, Training Systems

Motorcycle Safety Foundation (MSF), USA

## Abstract

Consumers today are more sophisticated in their desire for choices in products and programs. Government is constrained by regulations and a shrinking revenue base. Not surprising then, there is a growing tension between government-administered programs and privatized enterprises to meet rider education and training requirements, particularly as it relates to meeting the needs of entry level riders. The policy makers encourage programs with entry-level standards while the market seeks with increasing demands for more comprehensive and complete beginning rider training experiences.

Rider education programs are caught within this paradox. Using the historical perspective of MSF's more than 35 years of experience and considering consumer expectations and known needs, it becomes imperative for rider education professionals to meet the challenge. Survival in traffic within an increasingly hostile environment characterized by aggressive and distracted drivers puts the burden on riders to be more prepared, skilled and wiser. One course is not a panacea and will not meet the lifetime needs and interests of a modern consumer in real world traffic. While government may support simple entry-level requirements, consumer needs and environmental challenges have combined to give rise to a paradigm shift in rider education; from a simple one-course model to a comprehensive set of varied and progressive courses.

Considering that the path riders choose can determine their outcomes, the Motorcycle Safety Foundation in response to its mission and core values to lead this paradigm shift and define and develop the education and training those motorcyclists who take their safety seriously and demand for quality of life: the pursuit of “serious fun”!

This paper will discuss recent trends related to motorcyclists' needs and interests, drawing from market trend research and the Motorcycle Industry Council's Owners Survey. We will summarize MSF's history related to program underpinnings, principles and practices supported by current research in education and training. The presentation will culminate with a review of how the MSF Rider Education and Training System (RETS) is expanding in breadth and depth to meet the growing needs of current and prospective riders, how at its core it is designed with essential programmatic qualities to provide what motorcyclists deserve. The effective delivery of this training system to a vast network that served 400,000 riders in 2009 – and 5.5 million riders to date since 1974 – is dependent on the day-to-day functionality, strength and dimension of the RETS infrastructure; one that took the MSF years of research, planning, collaboration, and millions of dollars to develop, and one with numerous capabilities built-in for continuous feedback and improvement.

**Giving Motorcyclists The Best in Training:  
Designing Principle-Based, Safety-Oriented  
Education And Training Programs**

Consumers today are more sophisticated in their desire for choices in products and programs. According to “Happynomics” they are choosing programs, products and services for reasons that relate to life goals for richer experiences. Myriad programs, products and services can easily be procured from a neighboring state or halfway around the world via the Internet. Government is constrained by regulations and a shrinking revenue base. Not surprising then, there is a growing tension between government-provided programs and privatized enterprises to meet rider education and training requirements, particularly as it relates to meeting the needs of entry-level riders.

Most government involvement in rider education at the state level is through the licensing function, and therefore, limited primarily to a basic novice course. Each state generally names a responsible agency to administer the primarily rider-funded<sup>1</sup> motorcycle safety programs. According to the MSF Cycle Safety Information (CSI) State Motorcycle Operator Licensing (MSF, 2008), over 90 percent (47 of 50) of states will waive a license test (on-motorcycle skills, knowledge, or both) with the completion of a single learn-to-ride course such as the MSF’s Basic *RiderCourse* (“BRC”). The BRC was published after four years of research, design and field-testing. The BRC consists of 5 hours of classroom activities and 10 hours (divided among two sessions) of on-bike exercises. A few states offer a course for returning riders, but this requirement is still limited to a single qualifying course. Two states, Florida and Oregon, have implemented a single-course mandatory rider education requirement for any new motorcycle licensee. Still another group of 17 states, over one-third, require training (as a single training course) for riders under 16, 18 or 21. Within this context, the government pushes programs with minimal standards while the market pulls with increasing demands for more comprehensive and complete beginning rider training experiences.

Whether government-run or privatized, rider education programs are taxed with considering consumer expectations and meeting the challenge of a more complex and increasingly risky environment. The Motorcycle Industry Council’s (MIC) 2008 Motorcycle/ATV Owners Survey indicated that the penetration for an organized rider education course among on-highway riders had risen to 45 percent (MIC, 2008). This is an increase from the 2003 results that indicated 38 percent of the on-highway riders had taken an organized rider education course. It appears that more and more riders are seeking training through private enterprise or state programs, including those with state-mandated training. This leaves a consumer pool looking for greater challenge. As early as 2006, a nation-wide sample of motorcycle consumers indicated a great deal of interest in attending courses for experienced and advanced riders. Nearly 75 percent said they would “definitely” or “probably” sign up for an Experienced *RiderCourse* and 60 percent expressed interest in an advanced braking and traction management class (Rowe, 2006). Hence, the market is clearly predisposed to a robust RETS curriculum, yet, lacking sufficient

---

<sup>1</sup> State motorcycle safety program funding is generally derived from one of three avenues, motorcycle license or endorsement fees, motorcycle registration fees or student tuition.

awareness of such an alternative. In the not-so-distant future, riders who will have learned what types of courses are available will begin to develop more heterogeneous demands for rider education programs. As an example, a recent Google search brought up a listing of nearly 50 track-day organizations across the U.S. (*Sport Rider*, 2009). A similar search for “Advanced motorcycle courses” brings up thousands of individual rider education program websites who are offering some form of advanced riding course. These facts seem to reflect a disconnect between consumer desires and the traditional delivery system through rider-funded motorcycle safety programs.

Similarly, the traffic environment has changed a great deal. As four-wheel vehicle design employs more automatic features, the physical task of driving is no longer so taxing. Instead, the driving task now requires more mental skills such as visual attention, decision-making, and risk perception. Many factors in the environment, roadway geometry, traffic control devices, and traffic volume present greater challenges than in the past (Dewar & Olson, 2002). In addition, the condition of the nation’s highways and bridges is deteriorating rapidly due to insufficient highway funding. As an example, the Michigan Department of Transportation has projected that under current funding projections, the condition of nearly 45 percent of their roads will be rated “poor” by 2018 (King, 2010). In New York City, a current report rates 54 percent of the city’s busiest roads as “poor.” “We have a transportation funding crisis,” Pat Jones, executive director of the International Bridge, Tunnel and Turnpike Association, told *USA Today* in December 2009. Poor road conditions and dwindling transportation funding make the roadway environment increasingly unfriendly to motorcyclists.

Add driver distraction to the traffic environment’s complexities and the outlook for safe riding becomes daunting. Mobile device use while driving has become a pervasive practice, reportedly engaged in by 100 million car drivers. Research studies have been clear about the connection between mobile device use and distracted driving. Especially relevant to motorcyclists, Strayer and Drews (2007) found that cell phone use appears to cause inattentive blindness by car drivers. A simulator study found that even when the program electronically directed the driver’s attention to an object, such as a motorcycle, the participant failed to recall seeing the object when engaged in a phone conversation (Strayer & Drews, 2007). The 100-Car Naturalistic Driving Study Phase II documented that driver distractions are the leading cause of most vehicle crashes and near-crashes. This study’s results, released by the Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) and NHTSA, showed 80 percent of crashes and 65 percent of near-crashes involve some form of driver distraction (Dingus, Klauer, Neale, Petersen, Lee, Sudweeks, Perez, Hankey, J., Ramsey, D., Gupta, S., Bucher, C., Doerzaph, Z. R., and Jermeland, J., 2005). Motorcyclists are also cohorts in distracted riding. We know there are times when a motorcyclist looks astray at scenery for that extra second or two rather than focusing on the road ahead as they ride.



What this means for rider education seems clear. Due to the increased complexity of the consumer market wants, needs and expectations, constraints (financial and regulatory) on federal and state government, and increased complexity in the traffic environment, the standard countermeasure of a single novice course leading to a license waiver will soon become an archaic notion. Assuring the minimum standards for entry into the motorcycling environment, while an important goal, cannot conceivably provide the source for the development of a successful countermeasure for the lack of skills among the wide variety of riders and drivers in the system. Moreover, when we consider the various contributing factors to overall motorcyclist safety as a complex, integrated system that must work together to achieve an overall objective, the fallacy of a single training course serving as a completely adequate countermeasure becomes apparent. One course is not a panacea and will not meet the lifetime needs and interests of a modern consumer in real world traffic. While government currently supports simple entry-level requirements, consumer needs and environmental challenges have combined to give rise to a paradigm shift in rider education; from a simple one-course model to a comprehensive set of varied and progressive courses.

With over 35 years of experience, MSF knew that the path riders choose can determine their outcomes and realized the time had come for a qualitatively different approach to adequately meet the needs of today's riders. In response to these needs, MSF took a new approach to curriculum development. MSF brought together an 11-person core RETSDOT group to address all key perspectives related to the design and development of superior education and training for motorcycle riders. Members were selected from inside and outside the motorcycle education and traffic safety communities, and had equal authority and accountability in establishing protocol and achieving objectives. The membership included expertise in the following disciplines: motorcycle safety education and training; education and curriculum development; organizational communication; state and federal policy and policymaking; quantitative and qualitative research and evaluation processes; instructor training and certification systems including professional development mechanisms; and educational/intervention program administration. Over the four-year project, more than fifty professionals participated in this rigorous effort.

RETSDOT reviewed seminal motorcycle safety research, including the 1974 Motorcycle Task Analysis that identified 2,500 motorcycle riding tasks and rated each in terms of criticality or level of risk; the 1974 Instructional Objectives for Motorcycle Safety Education; the 1976 Motorcycle Photographic Analysis of Motorcycle Operator Control Responses that studied four specific motorcyclist skills (braking, turning, collision avoidance and obstacle surmounting); the 1977 Motorcycle Education Curriculum Specifications; and the 1981 Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures that provided 55 findings related to motorcycle crash causation and suggested countermeasures. This review supported the fact that the "what" of learning to ride a motorcycle did not need

to change, but the “how” could be brought into alignment with contemporary teaching and learning research and practice to better prepare course participants with foundational skills, street strategies, and risk management techniques.

The conclusions of this investigative approach yielded a novel view of the programs and services necessary to maintain a viable, effective rider education and training system. RETSDOT determined that to meet current and future motorcycle safety rider education and training needs, the concept of a simple, segmented two-course structure (a beginning rider course and an experienced rider course) would need to be augmented with a comprehensive education and training system. The system would champion a focus on the behavioral aspects to complement the skills developed.

The new system would improve and integrate the processes of education and training to form a life-long learning continuum and include processes for continuous and real-time improvement. The system would provide for leadership in championing the safety of motorcyclists, provide for initial and ongoing development and maintenance of the highest quality, research-based rider education and training curricula, establish national certification standards, provide for technical assistance for training and licensing programs, allow active participation to promote research and public awareness, provide for the capability to work in powerful partnerships with other motorcycle-related public and private organizations, and allow for continuing improvement through collaborative processes and stakeholder input.

MSF Rider Education and Training System (RETS), a curriculum system, is characterized by a high level of congruence between the highly complex and integrated demands of staying safe in day-to-day traffic and the MSF Course Catalogue that seeks to present a broad effort toward the goal of motorcyclist safety (See Appendix A). The system’s multiple courses and multiple entry points directly challenge the false perception that rider training is only for novice riders. Within RETS, motorcyclists at all levels are encouraged to constantly improve their skills and safety attitudes. The concept of using multiple exposures to safety-related material for better retention and application is supported by years of literature in both education and psychology. It is known, for example, that persons with some background level of knowledge on a subject are better able to integrate new knowledge into their existing schema and apply it to varying situations. The MSF has coined a concept for this type of practice or learning experience and attitude reinforcement, “Safety Renewal” (Buche, Williams, Tyra, 2004).

Building on the recommendations of RETSDOT, the MSF RETS was generated and further developed by considering several fields of study and disciplines. System underpinnings include traffic and motorcycle safety research and experience, safety and risk management principles, contemporary principles of adult learning and development, and motor skills development principles (Brookfield, 1986;

Jensen, 1996; Schmidt & Wrisberg, 2000). Applicable motor skill development principles include proper application of whole-to-part training, speed versus accuracy, the distinguishing characteristics of kinesthetic and augmented feedback, and the effects of verbalization and visualization. Traffic safety and motorcyclist safety research that was reviewed included crash studies and crash data and statistics, the Haddon Matrix of loss reduction which considers pre-crash, and post-crash factors related to operator, machine and environments, and motorcyclist training programs around the world specific to the development of motorcycle skills and techniques. Adult learning literature that included theories and practices of brain-based learning, accelerated learning principles and learner-centered instructional techniques was considered.

The MSF RETS is designed to reduce crashes, injuries and fatalities by enhancing crash avoidance skills and develop safe riding character. Equally important, the system seeks to continuously improve rider and trainer education and training curricula in the area of crash avoidance skills and behavioral aspects that complement the skills based upon tested and evaluated skills, both cognitive and motor skills essential to safely operating a motorcycle on the roadway.

The MSF RETS curriculum employs the most contemporary research available on adult education and learning. *How* training is delivered, based on *how* students learn, retain and embrace its concepts and values is what brings a list of standards to life and promotes a deeper understanding and commitment to safety for the rider. The learning environment, more specifically the “teacher-student dynamic,” is considered to be an integral part of the success of RETS. The system as a whole and each individual program or module honors the contemporary theories and practices in learning. The goal was to establish a context of contemporary teacher-learner interactions characterized by meaningfulness and high-challenge/low-threat experiences. The classroom environment was designed to be student-centered where active engagement was the norm. Educational literature has consistently shown strong evidence for the importance of class participation (Rocca, 2010). Active class participants have been found to be more motivated (Junn, 1994), become better critical thinkers (Crone, 1997; Garside, 1996), engage in higher levels of thinking (Smith 1977), and to earn higher marks (Handelsman, Briggs, Sullivan, & Towler, 2005). Group activities encourage a sense of classroom “community” and student involvement. In university classroom settings involving adult learners, students who are actively involved in their courses were reported to be more apt to learn and succeed (ASHE Higher Education Report, 2005; Kuh, 2007). As reported by Sidelinger and Booth-Butterfield (2010) an instructor and the students “co-construct” an educational environment. Learning certainly occurs between the “coach”<sup>2</sup> and

---

<sup>2</sup> Along with the new curriculum, new terminology was developed for teachers and students. Instead of Instructors (the “sage on the stage”) lecturing to Students in the classroom and barking pre-scripted, one-size-fits-all orders to them during the riding exercises, there would be RiderCoaches (the “guide on the side”) facilitating the Participants’ discussion and learning in class and giving each Participant personalized guidance and feedback during riding exercises.

the student but it also occurs between and among class participants. Sidelinger and Booth-Butterfield (2010) confirmed the finding that the more students felt “connected” to their class peers, the more willing they were to participate in class. Thus, using group activities to encourage relationship building with other class members was a significant and important mediator to student involvement.

Because the initial training class is only the first of many steps toward building riders’ character, the MSF has developed significant infrastructure to support riders in their ongoing development by promoting a sense of membership in the greater riding community, a culture of safe and responsible motorcyclists. One of the strategies for this goal is to provide an information gateway through the MSF’s public website, designed to serve multiple purposes: Those who already know they want to ride can find a *RiderCourse* at one of the over 2,500 training sites listed there. Those who are thinking about riding can view streaming videos of a typical Basic *RiderCourse* classroom and range. Riders who want more can purchase safety products and view free web-based programs such as the Rider Perception Challenge.

Realizing that the best system is only as good as a single delivery point, MSF has established a significant infrastructure to support the entire network of delivery partners and stakeholders. MSF often has made state-specific adjustments, with virtually no state funding. The MSF establishes certification standards for its programs, recognized throughout the U.S. and internationally, providing technical assistance for training and licensing, and actively participating in government relations, research, quality-assurance and public awareness programs. MSF RETS encompasses not only the comprehensive, multiple course offerings with supporting materials, but also includes many programs and services from the national MSF offices that are integral to achieving positive outcomes such as: licensing assistance, technical assistance, *RiderCourse* insurance for training providers and MSF-certified RiderCoaches and RiderCoach Trainers, RiderCoach professional development and re-certification opportunities, an online resource guide with a process for inclusion of best practices, a quality assurance system and an embedded research component. These aspects go far beyond an initial individual training course in order to ensure ongoing high-value processes and student outcomes.

Over the years, MSF has built tools and components into the system that support the successful implementation of training, such as a 24/7 staffed help desk, 24/7 real-time student registration system (online and toll free number), site and vehicle insurance, training motorcycle procurement, range size and design standards, range accessories, facilities and classroom requirements, training materials such as student handbooks, videos, and knowledge tests, the secure MSF student completion card, license exam waiver, policies and procedures, reporting and feedback mechanisms, and quality assurance processes. All of these tools and supporting infrastructure are necessary for achieving excellence in rider education.

For 2010 and beyond, MSF sought to raise what is generally perceived as the minimum threshold of motorcycle riding competence, with the goal of having better-prepared riders capable of higher levels of thinking and riding. With RETS in place, MSF began advocating a better way forward in its development of safer riders through a new standard for rider education and training. With an array of stakeholders weighing in, it is apparent that what many *want* for rider training is often not what riders actually *need*. Many who serve a designated managerial role in the system may want courses to be efficiently administered and may have a higher concern for efficient use of resources and standardized delivery. The administrative licensing function requires a focus on riding skills and testing. Riders are not typically motivated toward a safety renewal perspective. More than half ride untrained and most who seek training want a one-course inoculation, which will suffice for overall safety and provides as an insurance discount for life. Those seeking a license want to avoid the licensing function as provided by state departments of motor vehicles that generally includes scheduling difficulties and long lines.

Through experience, the MSF continues to assess and address what riders actually need, which includes: quality education and training, knowledge, skills, attitude, habits, values, risk management skills, self-awareness and self-assessment. While all of these characteristics may be present in a limited way, in one course, to encourage continuous improvement throughout a rider's many riding experiences, the MSF has introduced the CORE<sup>SM</sup> Curricula – three “core” sets of *RiderCourses* grouped into Essential, Expanded, and Recommended levels. All MSF CORE levels provide a progression of challenging hands-on exercises to help riders achieve finer skills plus increased capabilities for awareness, judgment and risk management, preparing them to use the executive functions like attention, prioritizing and strategizing (The National Safety Council's white paper report (2010); Meltzer, 2007) that are critically important for identifying and processing factors while riding. The "Essential MSF CORE Curriculum," which the MSF recommends as the minimum training for every beginning rider, includes the BRC combined with the new Street *RiderCourse* that provides licensed riders with a controlled riding experience in the real-world environment of streets and highways, as well as the new Basic Bike-Bonding<sup>SM</sup> *RiderCourse* that features skill drills to help students better handle their own motorcycles.

The "Expanded CORE" adds three courses to the Essential CORE: Street Smart – Rider Perception, a class featuring traffic perception activities relating to real-world situations; Advanced *RiderCourse*, a course with three classroom hours focusing on personal rider awareness and risk management, plus four hours of riding exercises that aim to develop both technique and judgment; and Street *RiderCourse 2*, a longer, more intensive version of Street *RiderCourse 1*, focused on improving and expanding the perceptual strategies of street riding.

The "Recommended CORE" adds two courses to the Expanded CORE: Ultimate Bike-Bonding *RiderCourse*, patterned after police training courses; and MSF Kevin Schwantz *RiderCourse*<sup>SM</sup>, a fine-skills course developed with world grand prix road racing champion Kevin Schwantz, using a much larger riding range, permitting speeds closer to those on public roads.

While its primary focus is on the motorcycle operator, the MSF also plays a vital role in championing safety through a variety of channels. Leadership is provided to the safety community through expertise, programs and partnerships. The MSF provides the essential leadership that transforms a conglomerate of individuals working for themselves and their friends into a national rider education and training system that is focused on positive student outcomes.

Research efforts are integral to MSF curricula development and improvement through the use of formative and summative research practices developed from a continuous loop improvement perspective. In many of the previous large-scale research efforts in motorcycle safety and accident analysis, the research design has looked for countermeasure effectiveness related to crashes. This approach views the problem from the improper perspective - after the fact, after the rider error. The MSF and its members are partnering with the Virginia Tech Transportation Institute (VTTI) on what is likely the world's first large-scale, naturalistic motorcycle riding study: The MSF Naturalistic Study of Motorcyclists. The study will combine unobtrusive, continuous data collection with post-incident interviews to create a comprehensive picture of many factors contributing to both crashes and near-crashes. A departure from traditional crash-causation research, the naturalistic method and technology is presently in use by researchers across the globe to target nearly every type of roadway user, with the exception of two-wheeled vehicles. Instead of searching for after-the-fact proof, the MSF will move toward research that seeks to improve the motorcyclists' environment, skills, attitudes, and outcomes prior to any crash involvement. This study will greatly advance the understanding of interactions among rider, motorcycle, roadway, other roadway users and the environment. MSF's funding of the MSF Naturalistic Study of Motorcyclists will soon begin to yield further insights and identify new opportunities to better serve our fellow riders.

MSF training is unique in that it does not simply aim to train people to ride a motorcycle; rather, it seeks to teach skill usage and encourage a positive, more responsible attitude shift. Ongoing rider development can be achieved by offering an attractive system of training programs and associated services that encourage riders to return to the system periodically for skills refresher opportunities that provide specific, pertinent information on certain skills/knowledge areas that is meaningful to the motorcyclist. Because MSF is a lifelong learning institution focused on building riders' character to result in safer, wiser riders, through the use of executive functions, the desired outcome of lower crashes, injuries, and fatalities can be achieved. How riders use and incorporate their riding knowledge and

skill set is tempered by their personal approach to motorcycling. Their attitude, even during a familiar ride they've made frequently, is influenced by their approach to risk management, capacity for responsible decision-making, awareness of hazards, and whether they take a defensive approach to riding. A rider may know how to operate a motorcycle; however, without a mature and respectful attitude towards riding, these skills may be secondary. Building rider "character" relates to how a motorcyclist rides without a trainer present or in the face of a peer group and its pressure. The MSF's education and training programs work with riders to not only develop and expand their personal skill set, but to make informed, appropriate safety-conscious decisions while riding.

## References

- ASHE Higher Education Report. (2005). *The challenge of involvement*, 31, 25-37.
- Brookfield, Stephen D. (1986). *Understanding and facilitating adult learning*. San Francisco: Jossey-Bass Publishers.
- Buche, T., Williams, S., Tyra, A. (2004, September). A proposal for defining, measuring, and documenting the effects of "Safety Renewal": A concept whose time has come. A paper presented to the 5<sup>th</sup> ifz-Motorcycle Conference "Safety – Environment – Future" Munich, Germany.
- Crone, J. A. (1997). Using panel debates to increase student involvement in the introductory sociology class. *Teaching Sociology*, 25, 214-218.
- Dewar, R. E., Olson, P. L. (2002). *Human factors in traffic safety*. Tucson: AZ: Lawyers and Judges Publishing Company, Inc.
- Dingus, T. A., Klauer, S.G., Neale, V. L., Petersen, A., Lee, S. E., Sudweeks, J., Perez, M. A., Hankey, J., Ramsey, D., Gupta, S., Bucher, C., Doerzaph, Z. R., and Jermeland, J. (2005). The 100-car naturalistic driving study, Phase II – results of the 100-car field experiment (Contract No. DTNH22-00-C-07007). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration.
- Garside, C. (1996). Look who's talking: A comparison of lecture and group discussion teaching strategies in developing critical thinking skills. *Communication Education*, 45, 212-227.
- Handelsman, M. M., Briggs, W.L., Sullivan, N., & Towler, A. (2005). A measure of college student course engagement. *The Journal of Educational Research*, 98, 184-191.
- Jensen, Eric. (1996). *Brain-Based Learning*. Del Mar: Turning Point Publishing.
- Junn, E. (1994). Pearls of wisdom: Enhancing student class participation with an innovative exercise. *Journal of Instructional Psychology*, 21, 385-387.
- King, K. (2010). As Michigan highways deteriorate, should we consider toll roads? The Grand Rapids Press, February 28, 2010.
- Kuh, G. D. (2007). How to help students achieve. *Chronicle of Higher Education*, 53, B12.
- Meltzer, Lynn (Editor) (2007). *Executive function in education: From theory to practice*. New York: The Guilford Press.
- Motorcycle Industry Council (2008). 2008 MIC Motorcycle/ATV Owner Survey Summary Report. Irvine, CA: Motorcycle Industry Council.
- Motorcycle Safety Foundation. (2008). MSF Cycle Safety Information (CSI) State Motorcycle Operator Licensing. Retrieved from <http://retsorg.org>.



Motorcycle Safety Foundation. (2010). RiderCoach trainer survey results. Retrieved from <http://retsorg.org>.

National Safety Council. (2010). *Understanding the distracted brain: Why driving while using hands-free cell phones is risky behavior*. White paper.

Rocca, K. A. (2010). Student participation in the college classroom : An extended multidisciplinary literature review. *Communication Education*, 59, 185-213.

Rowe, R. J., Irwin Broh & Associates (2006, March). Using a household panel study methodology to identify motorcyclist characteristics. Paper presented to the International Motorcycle Safety Conference, Long Beach, CA

Schmidt, R. A. & Wrisberg, C. A. (2000). *Motor learning and performance*. Champaign, IL: Human Kinetics Publishers.

Sidelinger, R. J. & Booth-Butterfield, M. (2010). Co-constructing student involvement: An examination of teacher confirmation and student-to-student connectedness in the college classroom. *Communication Education*, 59, 165-184.

Smith, D. G. (1977). College classroom interactions and critical thinking. *Journal of Educational Psychology*, 69, 180-190.

*Sport Rider*. (2009, June), Track day organizations: Find a track day near you. Retrieved from [http://www.sportrider.com/ride/146\\_0308\\_track\\_day\\_organizations/index.html](http://www.sportrider.com/ride/146_0308_track_day_organizations/index.html).

Strayer, D. L. & Drews, F. A. (2007). Cell-phone-induced driver distraction. *Current Directions in Psychological Science*. 16(3), 128-131.

Appendix A

MSF RETS: 2010

MSF RETS: 2010			
Learning-to-Ride	Improving-the-Ride	Specialized Programs	Host-An-Event
<p>Basic <i>RiderCourse (BRC)</i> Standard Expanded Small Group Tutoring Skills Practice Formal Remedial Training</p> <p>Basic <i>RiderCourse 2</i> License Waiver Skills Practice</p> <p>Street <i>RiderCourse 1</i></p> <p>Basic Bike-Bonding <i>RiderCourse</i></p> <p>Returning Rider BRC</p> <p>3-Wheel BRC</p> <p>Scooter BRC</p>	<p>Street <i>RiderCourse 2</i></p> <p>Advanced <i>RiderCourse</i></p> <p>Safe Motorcyclist Awareness and Recognition Trainer (SMART)</p> <p>Ultimate Bike-Bonding <i>RiderCourse</i></p> <p>MSF Kevin Schwartz <i>RiderCourse</i></p> <p>Street <i>RiderCourse 3</i></p>	<p><i>Introductory Motorcycle Experience</i></p> <p><i>ScooterSchool</i>. Introduction to Scooters <i>RiderCourse</i></p> <p>Military Motorcycle <i>RiderCourse</i></p> <p>Military <i>SportBike RiderCourse</i></p> <p><i>DirtBike School</i>. <i>DirtBike BRC</i></p> <p>Trail Riding <i>RiderCourse</i></p> <p>State Education Programs</p> <p>Online Programs</p>	<p>Intersection – <i>Motorist Awareness</i></p> <p>Share the Adventure – <i>Group Riding</i></p> <p>StreetSmart – <i>Rider Perception</i></p> <p>Riding Straight – <i>Alcohol Awareness</i></p> <p>SeasonedRider – <i>Aging Awareness</i></p> <p>Introduction to Motorcycling – <i>Helping Others</i></p>
<p><b><u>Essential Core</u></b></p> <p>Basic <i>RiderCourse</i> Street <i>RiderCourse 1</i> Basic Bike-Bonding <i>RiderCourse</i></p>	<p><b><u>Expanded Core</u></b></p> <p>Essential Core plus Street Smart – <i>Rider Perception</i> Advanced <i>RiderCourse</i> Street <i>RiderCourse 2</i></p>	<p><b><u>Recommended Core</u></b></p> <p>Expanded Core plus Ultimate Bike-Bonding <i>RiderCourse</i> MSF Kevin Schwartz <i>RiderCourse</i></p>	

**Examining the effect of student background  
on test performance in a novice riding course**

**Untersuchung des Einflusses persönlicher Merkmale auf  
Testergebnisse in einem Fahranfängerkurs**

Frank Kevins  
Chief Instructor

Ottawa Safety Council

## **Abstract**

The Canada Safety Council (CSC) “Gearing Up” basic training program consists of theoretical and practical training. The course format is typically one evening in a classroom setting followed by two days of practical instruction over one full weekend. Students must pass a variation of the MOST-II skills evaluation in order to pass the course. “Gearing Up” is offered across Canada, and in the Province of Ontario (population 13 million) over 13,000 students enroll in the program each year, at one of 25 locations. In Canada’s capital, the Ottawa Safety Council (OSC) annually enrolls over 1,000 participants at one of three training sites.

In 1998, the OSC began recording detailed student statistics including age, gender, prior experience, and test performance; this paper covers the period 1999-2009, except where noted. In a given teaching year, student age varies from 16 to 75, with the average age increasing from 32.6 in 1999 to 36.5 in 2009; while women represented 24.9 percent of 1999 students, their numbers increased to 32.4 percent of enrollments by 2009. This paper examines the skill test data of 9,138 students to determine the effect of age, gender, and prior experience on test outcome. Recognizing that test outcome is often a function of physical fatigue or learning overload, the objective of the analysis is to determine if alternate delivery models might better suit an increasingly diverse student population.

**Examining the effect of student background  
on test performance in a novice riding course**

## Contents

- 1 Background
- 2 Licensing and Training in Canada and Ontario
- 3 The Gearing Up Course
- 4 Changing Demographics
- 5 Demographics and Success Rates
  - 5.1 Student Age
  - 5.2 Prior Experience
  - 5.3 Gender
- 6 Conclusions
- 7 Possible Actions
  - 7.1 Curriculum
  - 7.2 Class Duration
  - 7.3 Delivery Models
  - 7.4 Optional Training
- 8 Intro Course Trial Findings
  - 8.1 Results
  - 8.2 Challenges

## Figures

- Figure 1 - Student Population by Age
- Figure 2 - Female Students as % of Total
- Figure 3 - Success Rate, 2003 - 2008
- Figure 4 - Success Rates – OSC (Gearing Up) vs. UK (Road)
- Figure 5 - Success Rates (Four-year Floating Average)
- Figure 6 - Male Students by Age Group
- Figure 7 - Female Students by Age Group
- Figure 8 - Success Rate by Age Group
- Figure 9 - Median and Average Student Age by Year
- Figure 10 - Student Experience Level – Distribution by Year
- Figure 11 - Success Rate by Experience Level
- Figure 12 - Success Rate by Experience Level and Gender
- Figure 13 - Student Experience Level by Gender
- Figure 14 - Experienced Students as % of Total by Age
- Figure 15 - Success Rate vs. Experience (Four-year Floating Average)

## 1 Background

In 1967, Mr. Stuart Munro, with backing from the Ottawa Safety Council and Transport Canada, helped establish one of the first motorcycle rider courses in North America; the OSC today offers the longest-running such program in Canada. The primary objective was to address the appalling number of deaths and injuries amongst young riders. In 1967, the motorcycling population was almost exclusively young males, a demographic known for risk-taking, and thus the target audience for the program. The program proved quite successful and in 1974 was adopted nationally by The Canada Safety Council. A new curriculum was introduced in 1987 and updated in 2003.

## 2 Licensing and Training in Canada and Ontario

Licensing and training of motor vehicles and operators falls under the jurisdiction of the Provinces and Territories of Canada, and therefore no national standard exists for motorcycle licensing. While some provinces mandate training, others do not. Similarly, some impose graduated licensing based on experience levels, others on engine displacement, while some grant a full, unrestricted license after the probationary (learners) phase is completed. In the province of Ontario, passing vision and written tests allows the novice rider to obtain an “M1” license (90 day learners’ permit) and legally ride a motorcycle of any size. Standard probationary restrictions apply such as riding at night or on major highways, with a passenger, or having consumed alcohol (0% blood alcohol content (B.A.C.) is required). After 60 days, the student may appear at a provincial testing location and after successfully passing a parking lot test, be upgraded to an “M2” license, which removes all restrictions except for the 0% B.A.C. requirement. The rider must stay at the “M2” level for a minimum of 18 months before attempting an on-road test; when successful at this test the operator is granted a full “M” license endorsement, which is valid for life. If the applicant is not successful or does not attempt the test within five years, the “M2” lapses, requiring the license holder to start over at the “M1” level if they decide to ride in the future.

Although not mandated by law, the CSC Gearing Up program and others of its kind have been so successful that the majority of new riders in Ontario opt for training. A supplemental reason for this uptake is the result of many insurance carriers offering discounts to trained riders, or in some cases refusing to provide coverage for untrained riders.

### 3 The Gearing Up Course

The standard Gearing Up course consists of approximately three hours of classroom activity and up to 20 hours of practical on-bike training, typically conducted over a single weekend. At the completion of the training, the student may ride a standard test (a modified version of MOST-II). The successful student is provided with a graduation certificate, and the Province of Ontario also recognizes not-for-profit course providers as signing authorities, meaning that graduates of the course need not take an additional test at a government testing facility. The not-for-profit schools are primarily run by community colleges or local safety organizations such as the OSC. The combination of the licensing capability and a moderate course fee (typically \$350 - \$450 depending on location) has resulted in the high rate of training seen in the province. All of the schools offering Gearing Up are self-financing, and receive no government funding in support of motorcycle training.

### 4 Changing Demographics

As noted earlier, the Gearing Up curriculum has undergone two major revisions - much of the impetus for the updates came from the recognition that the demographic of the student was changing; the “adolescent male” had gone from the majority of the student population to the minority. Figure 1 shows the student population broken into ten-year age groups.

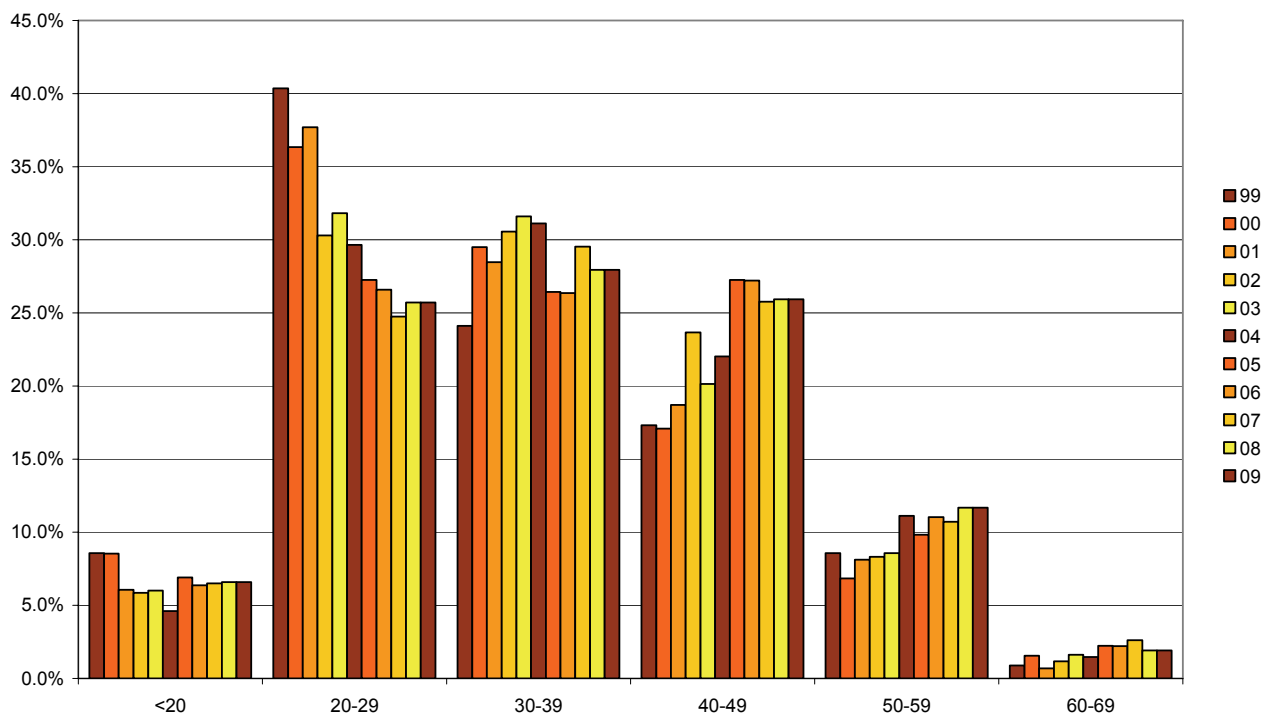


Figure 1 - Student Population by Age



While the 30-39 group has remained fairly consistent, in a little over a decade the twenty-year old cohort has dropped dramatically, while there has been consistent growth in the over-fifty group. In the same timeframe, the percentage of female students has increased from 24.9% of the total to 32.4%, as shown in Figure 2.

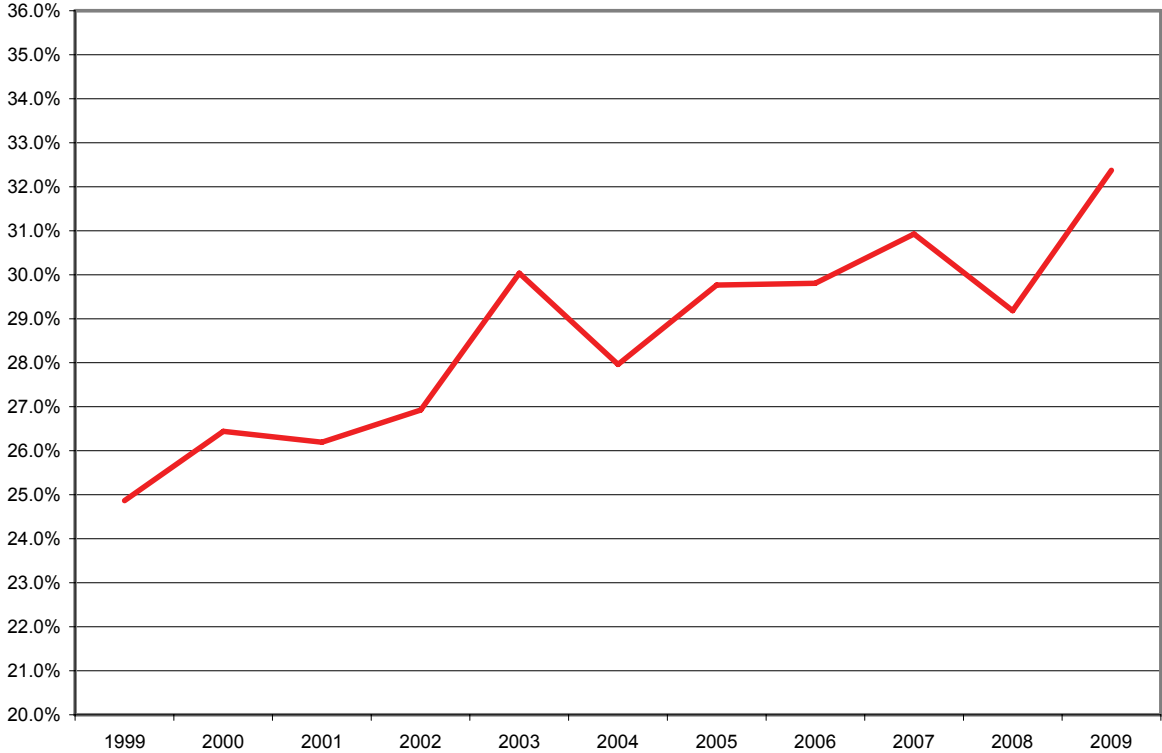


Figure 2 - Female Students as % of Total

## 5 Demographics and Success Rates

After a period of relative stability, we noticed that the course pass rate was slowly declining. While we do not measure the quality of the course solely on test outcome, for our students it is of great importance, and a declining success rate could also indicate that the course is becoming more difficult for the participants. Figure 3 shows the initial test success rate from 2003 – 2008. For purposes of this comparison, prior years were not considered because of the curriculum change introduced in 2003; 2009 was excluded due to mandated changes to test scoring introduced that year.

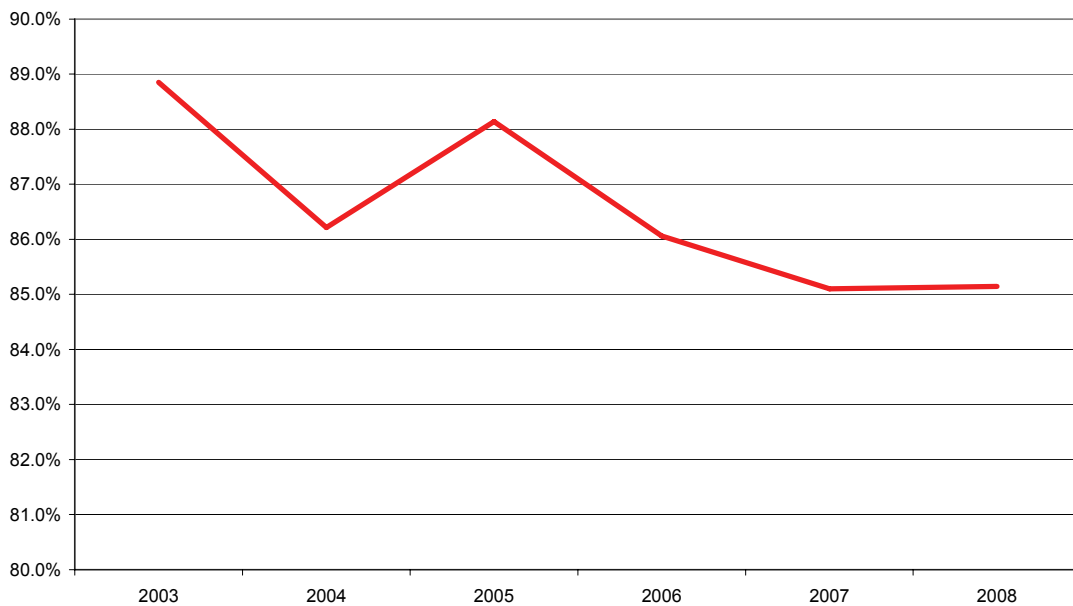


Figure 3 - Success Rate, 2003 - 2008

The success rate is based on all students who passed the skills evaluation on their first try and the total number of participants, including those who did not complete (DNC), or chose not to take the test (DNT). Hence the success rate is expressed as:

$$\text{RATE} = \text{PASS} / (\text{PASS} + \text{FAIL} + \text{DNC} + \text{DNT})$$

In 2007, an article appeared in a U.K. motorcycle magazine that spoke to the disparity of success rates between male and female applicants for the on-road motorcycle operators' test. It noted that although there was a period in the late teens / early twenties where women outperformed men, there was a substantial gap throughout the rest of the age ranges. This article prompted a study of the OSC data, as we suspected that our results might mirror those in the U.K. We manually entered the data points from the chart into a spreadsheet, and plotted the data against our results. In examining the data, it is important to note that it is definitely an apples and oranges comparison, as the two tests are quite dissimilar. The

U.K. results represent a road test; the degree of difficulty would be greater than our MOST-II test, which is conducted in a controlled environment on small displacement motorcycles at speeds in the 25-36 km/h range. The intent of the study was not to directly compare the test results, but to examine the effect of age, gender, and prior experience on those results.

Figure 4 compares our initial test success rates with the U.K. results; the data are from the years 2000-2006. In both cases, men carry a fairly stable success rate through to the late forties, followed by a precipitous decline. The women, on the other hand, begin a fairly steady decline beginning in the mid-to-late thirties. The similarity between the two sets of data suggests that the age and gender factors may be universal.

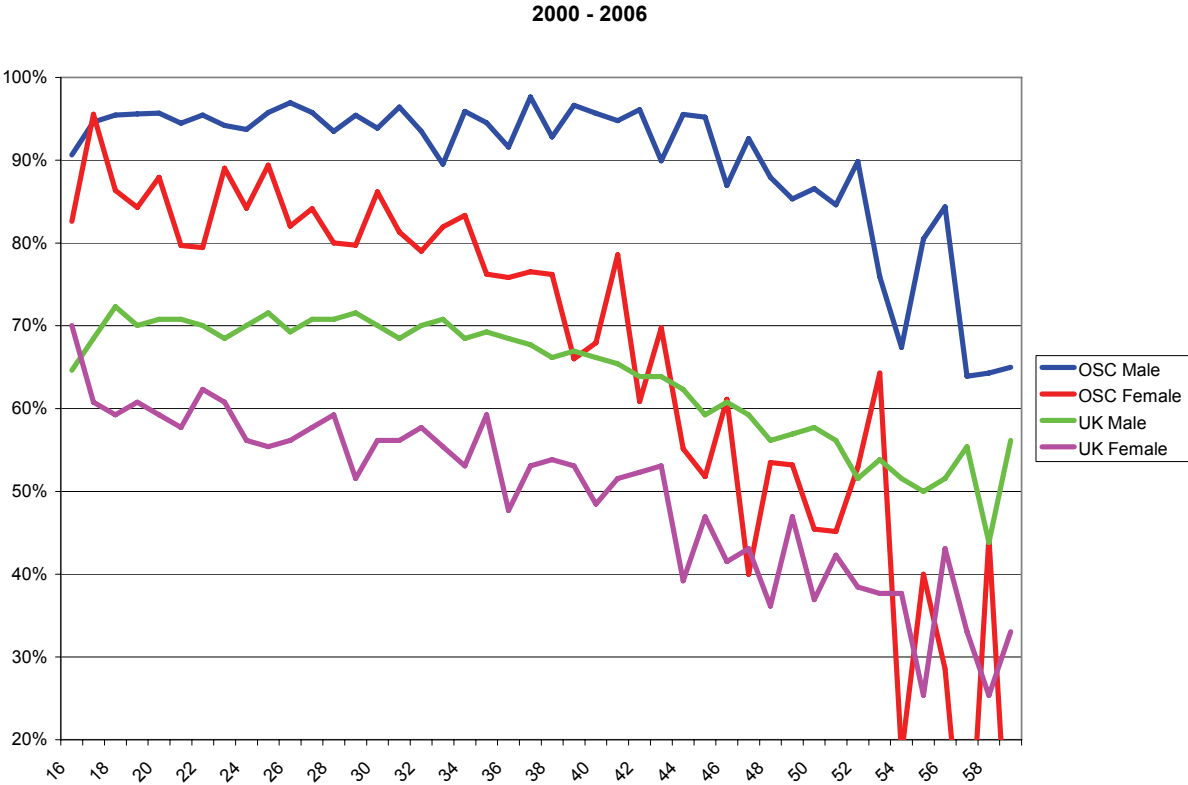


Figure 4 - Success Rates – OSC (Gearing Up) vs. UK (Road)

Figure 5 represents the result data as four-year floating averages; the smoothed lines show female success rates declining more rapidly after age 37. It should be noted that since 2005 the median age of female OSC students has been 38 or higher.

2000 - 2006

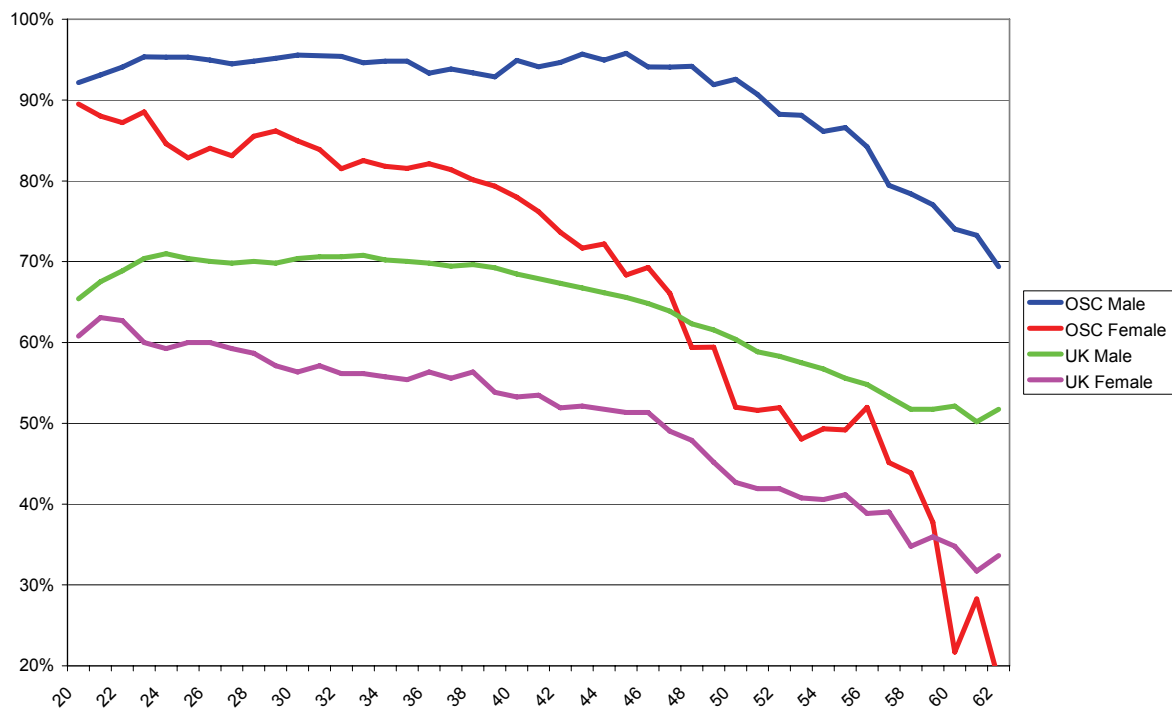


Figure 5 - Success Rates (Four-year Floating Average)

Figures 6 and 7 break out students by age groups (as in Figure 1) by gender; the charts show that there is a greater skew toward older students within the female ranks.

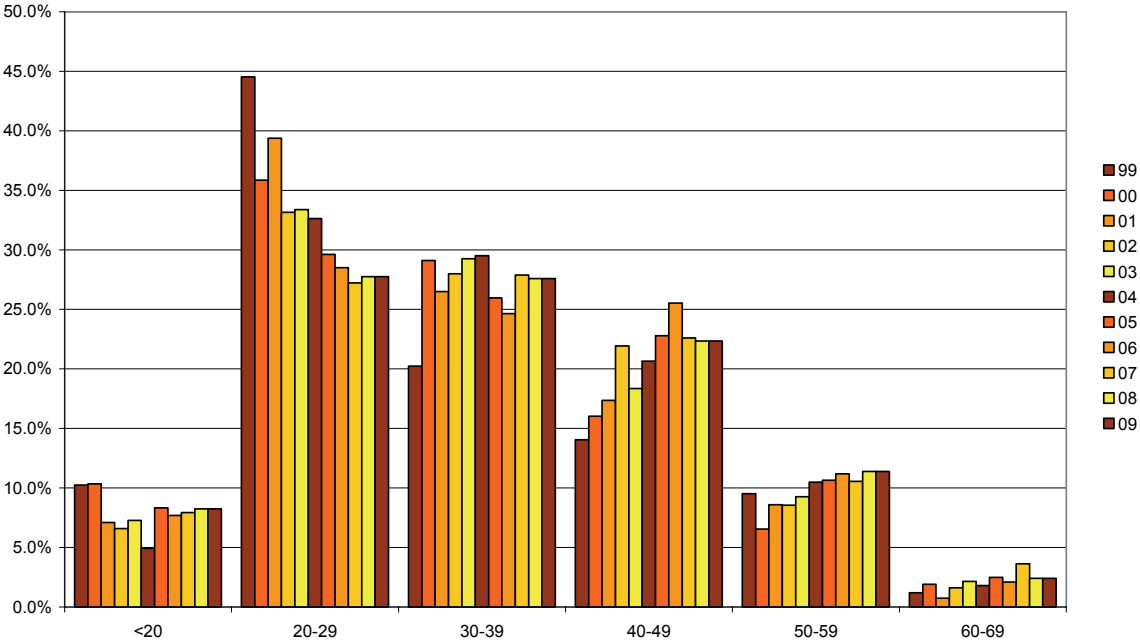


Figure 6 - Male Students by Age Group

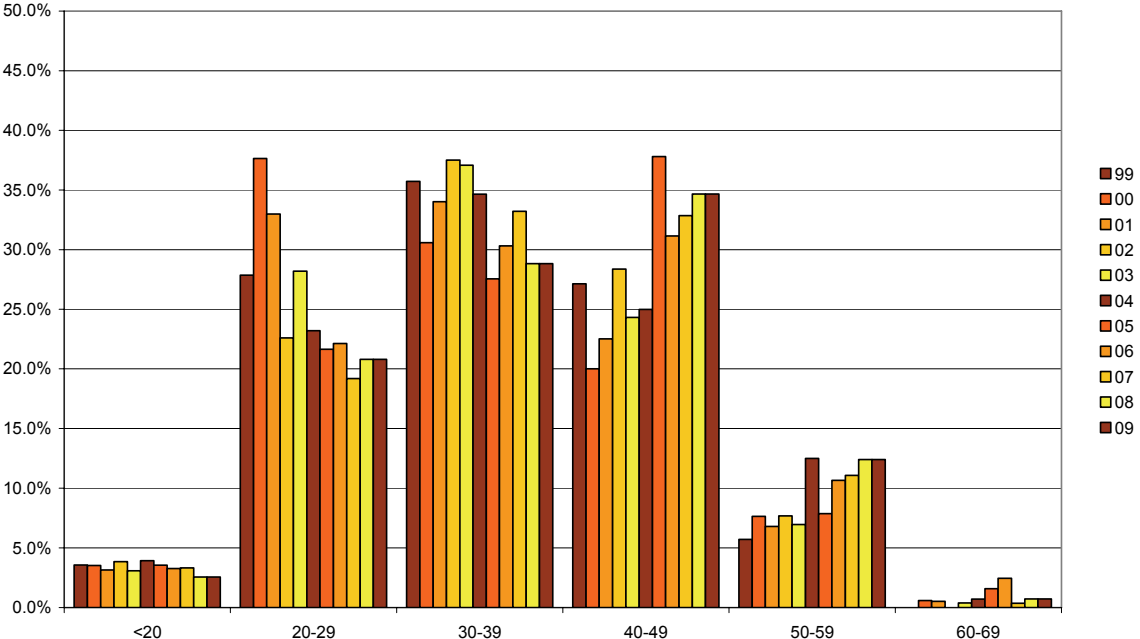


Figure 7 - Female Students by Age Group

This bias toward older female novices may be a local phenomenon. Anecdotally, there appear to be a substantial number of women enrolling after being passengers for many years; some do so to achieve a personal goal (good), others enroll at the behest of husbands or boyfriends (not so good).

### 5.1 Student Age

It is not surprising that age is a factor in success rates; after a slight increase in the transition from the teenage years, there is an increasingly steep decline thereafter. Figure 8 illustrates the success rate by age group, from teenage (under twenty) through the 60 – 69 group.

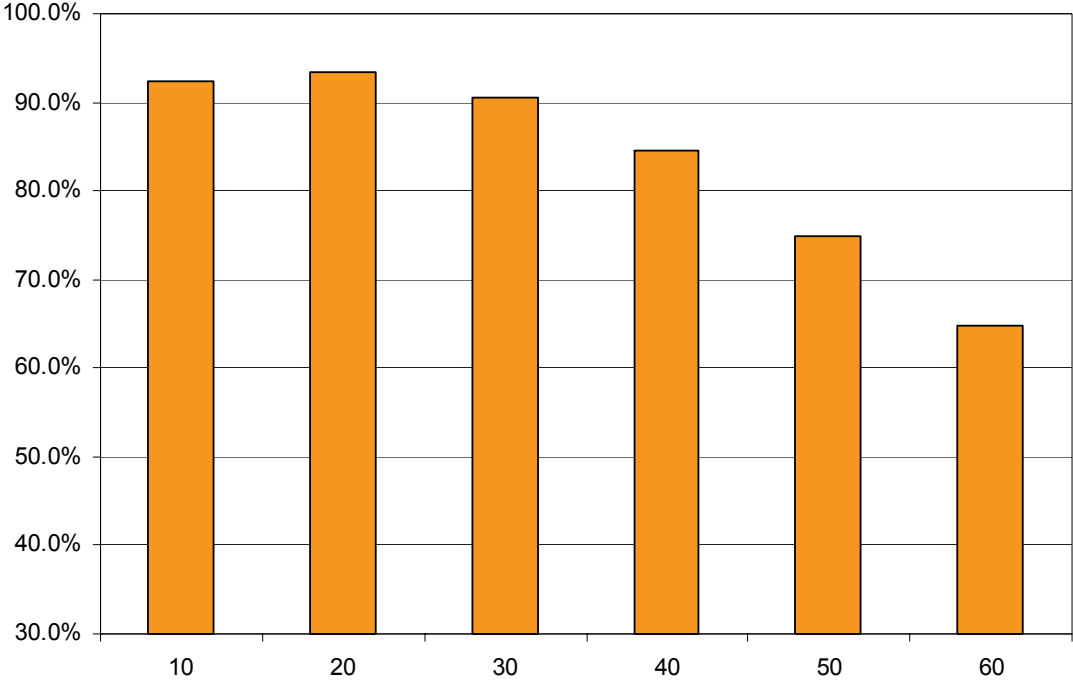


Figure 8 - Success Rate by Age Group

Figure 9 represents median and average ages of male and female students; while we regularly train students seventy years of age and older, their numbers are too small to be statistically significant.

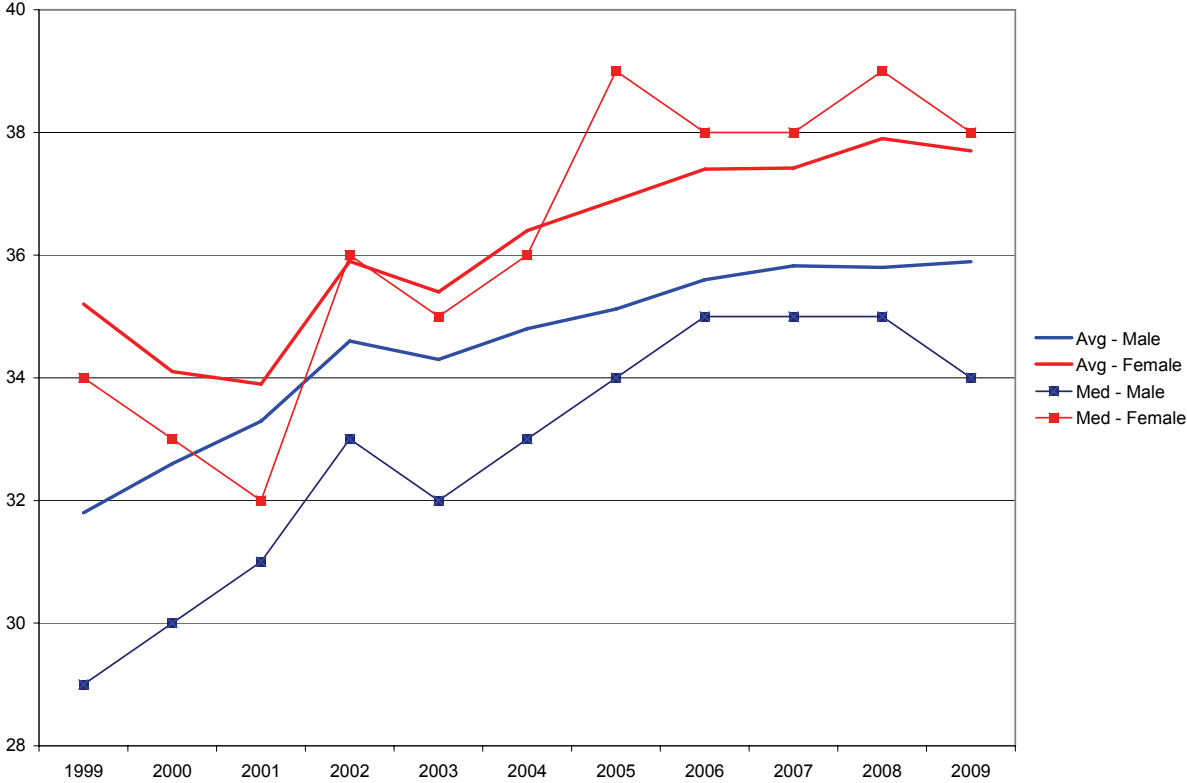


Figure 9 - Median and Average Student Age by Year

## 5.2 Prior Experience

While the distribution of (self-declared) previous experience varies somewhat from year to year, there does not appear to be any trend over time, other than an apparent slight decrease in the number of intermediate students, as shown in Figure 10.

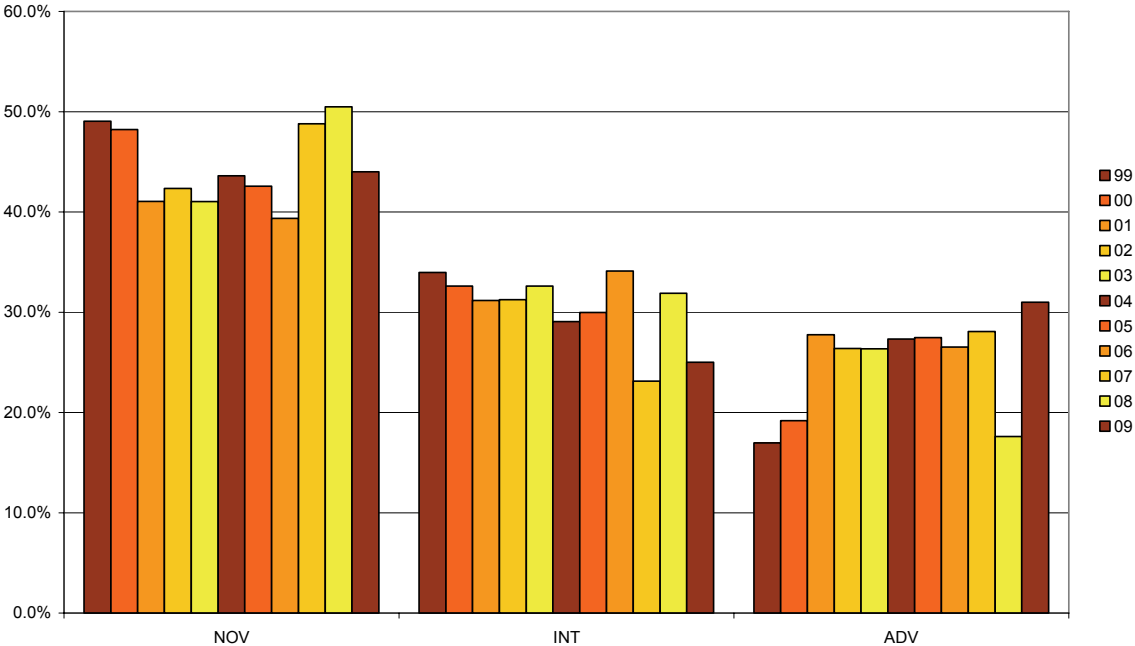


Figure 10 - Student Experience Level – Distribution by Year



Previous experience can be a factor in course success; in a basic course such as Gearing Up even an hour of riding in a parking lot (which qualifies the student as an “intermediate”) has an impact on success rate, as shown in Figure 11. Although it is demonstrable that even a small amount of prior experience is beneficial to the student, we do not encourage complete novices to practice on their own prior to their course, as they will be safer in a controlled environment coached by trained instructors. There have been many instances where students have related the experience of dropping their motorcycles while “practicing before the course”.

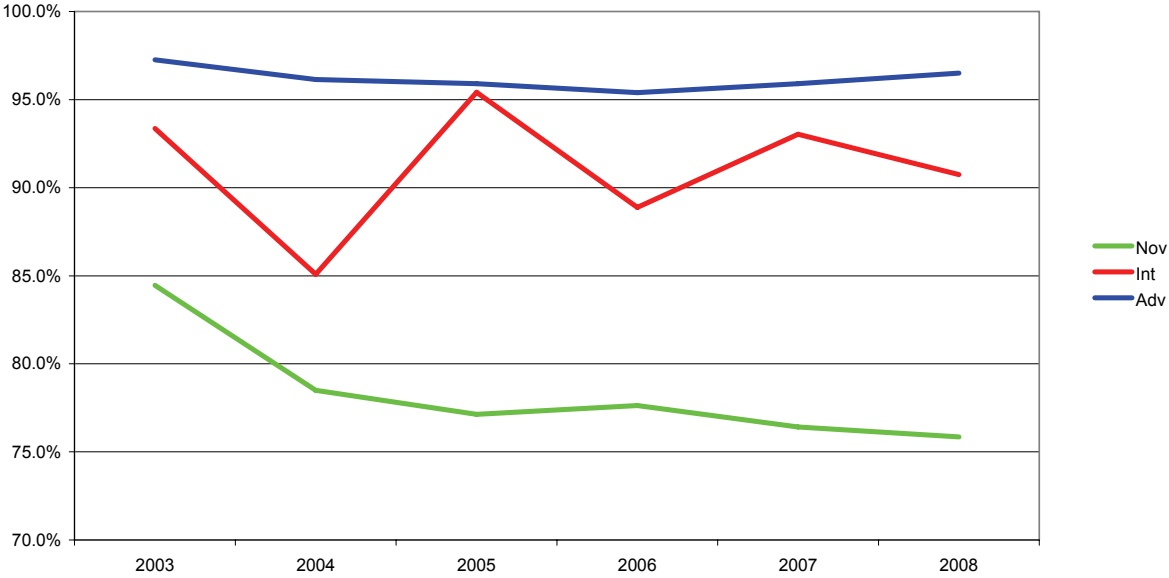


Figure 11 - Success Rate by Experience Level

### 5.3 Gender

While women have a lower success rate across all age groups, a contributing factor is their lack of prior experience. Figure 12 shows the success rates by prior experience for males and females.

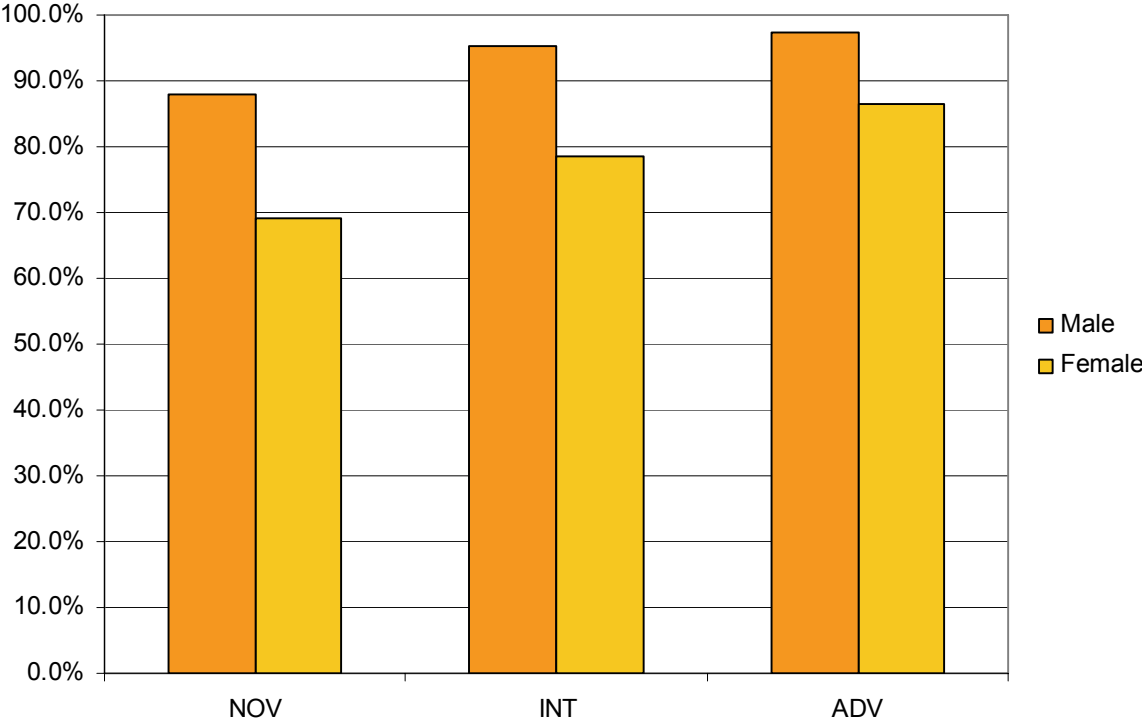


Figure 12 - Success Rate by Experience Level and Gender

While roughly 65% of male students have at least a small amount of prior experience, 67% of women have none, as shown in Figures 13.

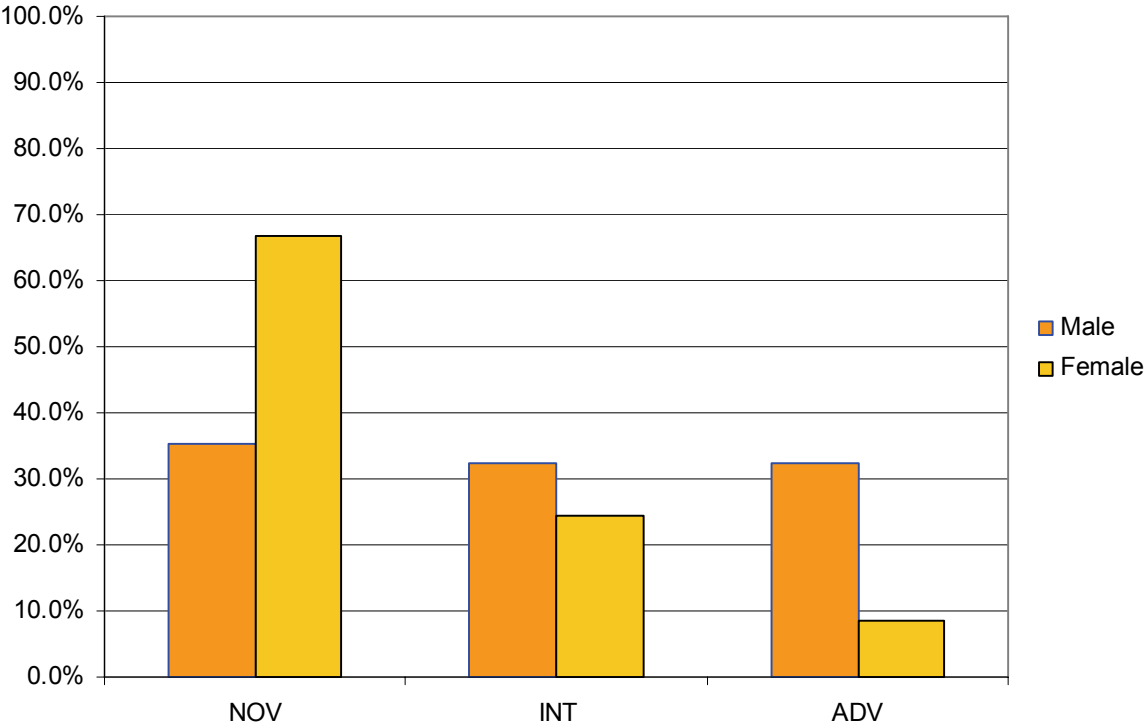


Figure 13 - Student Experience Level by Gender

Figure 14 plots the intermediate and advanced levels as a single “experienced” class (as a percentage of all students); the gender gap widens with increasing age.

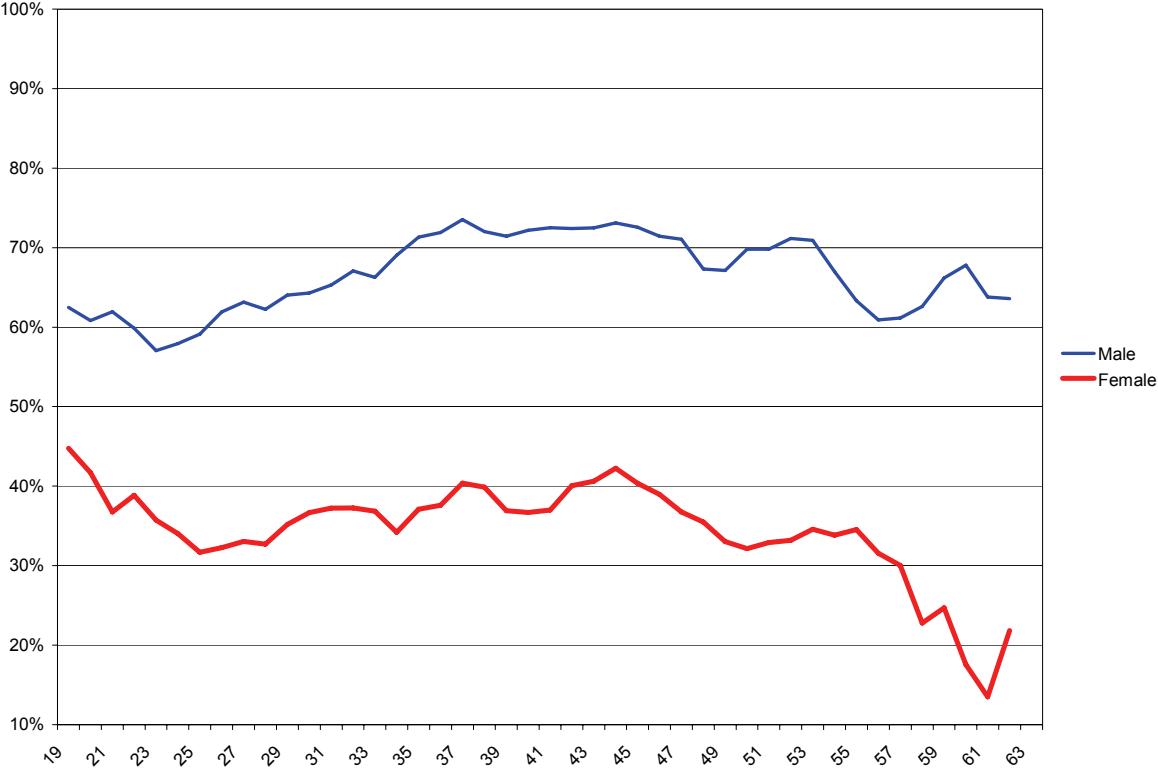


Figure 14 - Experienced Students as % of Total by Age

Figure 15 plots pass rates against the experience level (as in Figure 14) using a four-year floating average. This chart shows a correlation between the declining success rate and prior experience in the upper range of student age.

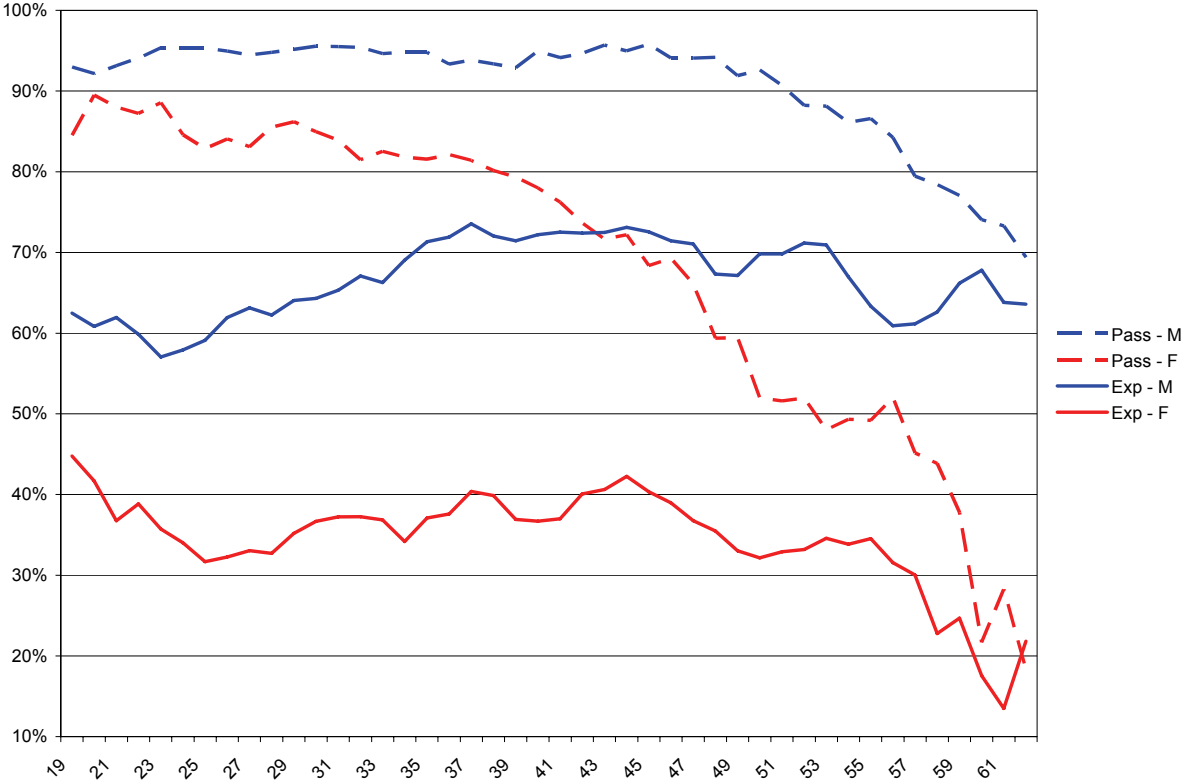


Figure 15 - Success Rate vs. Experience (Four-year Floating Average)

## 6 Conclusions

Although skill test outcome is not the only indicator of student satisfaction or course quality, it is useful in determining the effect of demographic factors such as age, gender, and prior experience on the student experience. Practical experience has shown strong support of this through student feedback and instructor observation; it is not surprising that a person of fifty years or older attempting to learn a new physical skill in a short timeframe will typically face greater challenges than a similarly-skilled person of twenty, thirty, or even forty years of age. Environmental factors cannot be ignored either, as Ottawa features an extremely variable climate. During the five-month training season temperatures typically range from low single digits (often accompanied by rain and occasionally snow) to highs of 35 degrees combined with extreme humidity. A person who has been relatively sedentary for 10 or 20 years will experience additional difficulty dealing with increased physical activity, exacerbated by weather extremes – there are typically fewer than 10 weekends featuring “ideal” weather in a given training season.

Although there is a clear gap between the success rates for men and women, some of this may be attributed to the relatively higher age of female students. In addition, 65% of male students have some prior experience, versus 33% of women. While we see a sharper drop-off in test performance in women at an earlier age (37, versus 46 for men), this may be related to sociological factors. North American women are much more heavily involved in formerly male-dominated sports such as hockey, baseball, basketball, and soccer (football) than they were even one generation ago; it is possible that the decline that now commences at age 37 may begin later as the current generations of more active women age.

## **7 Possible Actions**

### **7.1 Curriculum**

Our goal is not simply to pass more students, but to provide a teaching environment suitable to a wide range of participants. For some students, the combination of age and environmental factors makes achieving the level of skill required to complete the skills evaluation difficult within the standard teaching timeframe. Certainly the safety factor cannot be ignored, as tired students are more likely to react poorly to unexpected situations, which can result in incidents or accidents. The curriculum changes that took place in 1987 and 2003 recognized this and moved the program closer to the needs of the current student. Indeed, the original 1967 curriculum was based to some degree on former military-style training and had a certain “March or Die” philosophy that would not be an ideal fit for twenty-first century adult learners. In essence the current curriculum cannot be made “easier” within the current licensing guidelines.

### **7.2 Class Duration**

It is important to recognize that 88.0% of all students enrolled in the program since 1999 passed the skills evaluation on the first try; with a DNC rate of 3.8%, students actually attempting the test have a success rate of 90.5%. Unsuccessful students are given the option of taking a re-test within four weeks of their initial course; students are offered one hour of practice on our motorcycles prior to the re-test. Students attempting the second test have a pass rate of 88.8%, which equates to a combined two-test success rate of 93.7%. This suggests that the current program structure meets the needs of the vast majority of students. There is also the North American consumer ethos to consider; applied to driver and rider training it suggests that many people would pay a premium if they could complete a course and receive their license in a single day. It is therefore neither practical nor desirable to increase the length of the course for the entire student population.

### **7.3 Delivery Models**

There is consensus that the most popular delivery model (two consecutive days of practical training) adds to the degree of difficulty for older students, especially in light of the environmental issues mentioned earlier. In order to address these needs, or in some cases to increase training capacity, other delivery models have been tried in Ottawa and elsewhere, including:

1. Teaching one evening a week for five weeks
2. Teaching every evening during a single calendar week
3. Teaching on two weekend days, but spread over two weekends (two consecutive Saturdays or Sundays)

The evening options present the following challenges:

1. Visibility concerns limit evening sessions to the single months before and after June 21.
2. In today's business climate, there are very few areas where evening training can be conducted.
3. Travel to the course site early enough to make training possible has become more difficult over time, as people work later and commuting times increase.
4. The last year evening classes were offered in Ottawa (2004), the majority of people signed up simply to get the "first available" class, not to take advantage of any benefits offered by the evening class itself.

The two-weekend option also has logistical issues, as scheduling becomes more difficult for course administrators as well as students, who must schedule two weekends rather than one. Not only is the student required to be at home for two consecutive weeks, but losing two summer weekends is a burden in a climate where there are only "fifteen weeks of summer" and the populace wishes to cram as much into those weeks as possible.

#### **7.4 Optional Training**

In part to address these demographic issues, some of the larger metropolitan-area schools had begun to develop in-house introductory courses which attempted to provide a stepping-stone to the standard course. Recognizing this need, the Canada Safety Council introduced a standardized "Intro to Gearing Up" course early in 2009. This new program is three hours in duration and is intended for those who are either unsure as to whether they want to ride (and do not wish to commit an entire weekend and a larger tuition), and those who feel they can benefit from some prior experience before entering the standard program.

The Intro course teaches rudimentary skills – balance, braking, starting the engine, and riding in a straight line with clutch control. While teaching time is limited to three hours, the standard course covers the same content in two hours. Students completing the Intro and later opting for the standard course will have spent five hours covering the basics versus the normal two. Practical experience has shown that the number one issue preventing successful course completion is failure to master the clutch; this curriculum path provides double the time for students to master this vital skill before moving on to more challenging exercises.



## **8 Intro Course Trial Findings**

### **8.1 Results**

While the limited number of Intro Course participants at the time of writing precludes comparison of test results, based on trial offerings in 2009 and 2010 the course appears successful in meeting its objectives. In addition to allowing the student to more easily ascertain whether motorcycling is an activity they wish to pursue, the smaller groups and less intense curriculum allows students to learn in a more progressive manner.

### **8.2 Challenges**

The primary challenge this model poses is correctly streaming the students most likely to benefit. While at least some of the early participants declared that the Intro “should be mandatory for everyone”, as we have seen earlier that would unnecessarily penalize the vast majority of prospective students. It would also not be practical (or probably legal) to bar anyone over a certain age from the standard course without first completing the Intro; it would be more problematic to set a different standard for women in the form of a lower cut-off age. Our approach for 2010 has been to offer the Intro at a very attractive price, and to credit the tuition against the cost of a full Gearing Up course if the student chooses further training. Further program success in 2010 and the potential for increased capacity in 2011 may see the OSC more aggressively marketing this approach as the desired training path for novice students.

**A comparison of rider attitudes and behaviours between  
crash-involved and non crash-involved returned motorcyclists**

**Vergleich der Fahrereinstellungen und -verhaltensweisen zwischen  
Wiedereinsteigern hinsichtlich der Unfallbeteiligung**

Christine Mulvihill  
Accident Research Centre, Monash University, Australia

Mark Symmons  
Psychological Studies, Monash University, Australia

## **Abstract**

Older motorcyclists (aged 25 and over) can be categorised into three groups: continuing riders, returned riders and new riders. While there is widespread concern about the safety of returned riders, little is known about the factors contributing to their crash involvement. Returned riders accounted for 24% of the 2,116 motorcyclists who responded to an on-line survey that asked about their riding patterns, attitudes and behaviours, and crash involvement. Attitudes and behaviours were compared between returned riders who had been involved in an on-road crash in the last five years (n=92) and returned riders who had never crashed (n=150). Crash-involved riders indicated a greater propensity towards risky riding behaviours than riders who had never crashed. Across the range of comparison variables, most of the behaviours for which statistically significant differences were evident related to speeding, both exceeding the speed limit and riding too fast for the prevailing conditions. The results support the use of insight training to help returned riders understand and manage better their exposure to risk.

## **Keywords**

Older motorcycle rider, Crash, Attitude, Behaviour, Returned

**A comparison of rider attitudes and behaviours between  
crash-involved and non crash-involved returned motorcyclists**

## Introduction

Motorcycle rider fatalities and injuries are increasing in many developed countries as a result of an increase in crashes involving older riders (aged 25 and over) [1]. In 2008 the average age of motorcycle riders killed in crashes across Australia was 37, compared to 32 in 1999 and 25 in 1989 [1]. The percentage of riders killed on Australian roads who were aged 25 and over increased from 36% in 1989 to 74% in 2008 [1]. The increasing involvement of older riders in crashes probably reflects an increase in their exposure. The number of motorcycles registered in Australia increased by 53% from 1999 to 2009, showing the strongest growth of any vehicle type [2, 3]. There is relatively less information available regarding the age profile of riders. In New South Wales the number of motorcycles registered to people aged 40 and over increased by 57% between 1995 and 2000, compared with a decrease of 33% in the number of motorcycles registered to people aged under 25 years [4].

Older riders can be categorised into three groups:

- riders who have held a licence and ridden for many years (continuing riders);
- riders who have obtained a licence recently (new riders); and
- riders who have held a licence for many years but have recently returned to riding after a break (returned riders).

While there is recent concern about the safety of returned riders, little is known about factors that contribute to their crash involvement. A small number of studies on older riders have investigated their crash involvement relative to continuing and new riders [5, 6, 7]; and issues of training [8], age and experience [5], and riding patterns [5, 6, 7]. A number of factors that might place returned riders at a higher crash risk compared to new and continuing riders have been identified. These factors include that returned riders are less likely to undertake training, more likely to ride a motorcycle that is of a higher engine capacity than they did in the past, more likely to ride as part of a group at the time of a crash, more likely to ride in rural areas, and more likely to ride for recreation. However, the findings provide little useful information about which aspects of a rider's behaviour or attitudes might be usefully targeted for modification in the interests of safety. Two particular studies of note have identified a relationship between behaviours and attitudes and crash risk among motorcycle riders.

In a survey of 1,500 Australian motorcyclists aged over 25, Symmons *et al.* [9] found that crash-involved riders rated themselves as more careless, confident, irresponsible, risky, fast, and intolerant than riders who had not crashed in the previous five years. Crash involvement could be predicted by perceived above average motorcycle control skills, a perceived increased likelihood of being involved in a crash in the future, a more tolerant riding style, a greater perceived ability to avoid hazardous

situations, and a self-assessed “safe” (rather than risky) riding style [9]. In a large sample of British motorcyclists [10], self-reported errors were the most important behavioural contributors to accident involvement (after controlling for mileage). Riding style and a liking for speed were identified as predictors of behavioural errors that were themselves predictors of crashes. Sexton *et al.* [10] argued that the link between errors and crashes may be as much to do with a careless, inattentive riding style and excessive speed as it is with lack of skill. Such relationships lend support to the view that an important element of the motorcycle safety problem stems directly from the motivations that lead individuals to ride motorcycles, which presents a challenging problem for road safety [10].

The relationship between crash involvement and psychological factors has not been explored in returned motorcyclists. In order to identify psychological attributes of this group that might be amenable to intervention, this paper compares the attitudes and behaviours of returned riders who have been involved in an on-road crash with those who have not.

## Method

An on-line survey of Australian motorcycle riders was undertaken in late 2009 to explore potential contributors to crash risk, such as attitudes, personal characteristics, self-reported riding behaviours and level of experience and training. To be eligible to participate, respondents must have ridden a motorcycle on a public road and held at least a learner permit at the time of completing the survey. Riders were asked a sub-set of questions from a modified version of the Motorcycle Rider Behaviour Questionnaire (MRBQ) and the Motorcycle Rider Motivations Questionnaire (MRBQ) [10], and completed a modified version of the Riding Style Scale [11]. The questions were designed to quantify the riders’ behaviours and attitudes and provide some understanding of the psychological antecedents of motorcycle crashes.

Riders were informed about the survey through four main avenues:

- advertisements in two popular Australian motorcycling magazines;
- an advertisement in the Royal Automobile Club of Victoria (RACV) magazine;
- links or other information about the survey on websites likely to be visited by riders; and
- emails sent to members of motorcycling clubs or organisations.

## Results

### Sample description

There were a total of 2,116 valid questionnaire responses. Respondents were classified as returned riders if they obtained their permit or licence ‘more than five years ago, rode for a while, then stopped riding for at least a year, then took it up again within the last three years’. New riders were defined in the survey as those who got their learner permit or licence only in the last five years; and continuing riders were those who got their licence more than five years ago and have ridden regularly since then. Of the 2,058 respondents who answered the question about rider type, 24% were returned riders, 27% were new riders and 49% were continuing riders.

Riders were asked whether they had ever been involved in a crash while riding on a public road. Overall, 58% of respondents (1,226 riders) had crashed. In order to determine the type of rider at the time of the crash (rather than at the time of survey completion), only “most recent” crashes in the five year period 2005-2009 were included in the analyses. Ninety-one percent of new rider crashes, 31% of continuing rider crashes and 32% of returned rider crashes occurred within this five year period. Continuing riders were relatively more likely to have crashed (43%), compared to 19% of the returned riders and 38% of the new rider group. These differences were statistically significant ( $\chi^2(8)=77$ ;  $p<0.001$ ). The focus for the remaining paper is on returned riders; a comparison between returned riders who had crashed within the period 2005-2009 and returned riders who had *never* crashed (rather than those who had only not crashed within the five-year period of interest). A total of 244 returned riders were available for analysis, 38% of whom had crashed within the last five years and 62% of whom had never crashed.

Riders who had crashed were asked how severely they were injured. The injury categories were collapsed into two composites – no injury or being treated at the scene (minor) and being taken to hospital (major). Two-thirds (66%) of the returned riders who had crashed suffered minor injuries and one third (34%) suffered major injuries.

## Demographics and motorcycle use

As shown in Table 1, there were no statistically significant differences between crash-involved and never-crashed riders in terms of age, gender, licence status, completion of training, and purpose of trip in the last month. Crash-involved riders rode further per month and more frequently but the differences were not statistically significant.

Table 1: Demographics and riding patterns of returned riders

Characteristic	Crash-involved	Never crashed	Statistic
Mean age	51 (SD=10)	48 (SD=11)	t(240)=1.6, p>.05
Male	91%	91%	$\chi^2(1)=0.03$ ; p>0.05
Full licence	97%	94%	$\chi^2(1)=1.7$ ; p>0.05
Training course last 5 years	61%	60%	$\chi^2(1)=0.005$ ; p>0.05
<i>Distance ridden in last month (km)</i>			
<50	2%	4%	
50-100	6%	10%	
101-200	5%	15%	$\chi^2(4)=8$ ; p>0.05
201-500	27%	24%	
>500	60%	47%	
<i>Number of trips taken in last month</i>			
1-10	52%	64%	
11-20	21%	16%	
21-30	7%	4%	$\chi^2(5)=7$ ; p>0.05
31-40	4%	7%	
41-50	7%	4%	
51+	9%	4%	
<i>Main purpose of trips in last month</i>			
Recreation	54%	55%	
Commute	34%	30%	$\chi^2(5)=7$ ; p>0.05
Other	12%	15%	

Table 2 shows that crashed riders reported more near misses while riding over the last month than never-crashed riders and were more likely to incur a traffic infringement over the last three years – both differences were statistically significant. The two rider groups did not differ statistically in the number of speeding infringements they had amassed within the last three years.

Riders were asked what was the maximum speed they had ridden in the previous year and the maximum speed they had ridden ever. Crashed riders claimed a higher maximum riding speed than those who had never crashed for both their fastest speed in the last year and their fastest speed ever (See Table 3). The differences between the groups for both of these comparisons were statistically significant.



Table 2: Near-misses and traffic infringements for returned riders

Characteristic	Crash-involved	Non-crash involved	Statistic
No. near misses last month	1.9 (SD=2.6)	1.1 (SD=2.3)	t(219)=2.4, p<.05
≥1 infringement last 3 years	32%	15%	$\chi^2(1)=9$ , p<0.005
<i>Speeding infringements last 3 years</i>			
1	25%	32%	$\chi^2(5)=3$ , p>0.05
2	36%	37%	
3	21%	16%	
4	14%	5%	
5	4%	5%	
6		5%	

Table 3: Highest self-reported speed in last 12 months and ever by returned riders

Characteristic	Crash-involved	Non-crash involved	Statistic
<i>Highest speed last 12 months</i>			
Mean	155 km/h	144 km/h	t(222)=2;p<0.05
Min	70 km/h	80 km/h	
Max	298 km/h	298 km/h	
<i>Highest speed ever</i>			
Mean	193km/h	171km/h	t(214)=3.3;p<0.005
Min	105 km/h	95 km/h	
Max	300 km/h	298 km/h	

## Riding style

Respondents were asked to consider the 12 statements listed below about their own riding style and decide how strongly they agreed or disagreed with each one. Respondents indicated their level of agreement on 7-point Likert scales ranging from ‘strongly agree’ through ‘neither agree nor disagree’ to ‘strongly disagree’. The items were randomly re-ordered for each respondent.

- Inattentive rather than attentive
- Safe rather than risky
- Indecisive rather than decisive
- Experienced rather than inexperienced
- Nervous rather than confident
- Patient rather than impatient
- Responsible rather than irresponsible
- Careful rather than careless
- Slow rather than fast
- Intolerant rather than tolerant
- Irritable rather than placid
- Selfish rather than considerate

Table 4 details the only two items that produced statistically significant differences between the crashed and never-crashed returned rider groups. Crashed riders were more likely to strongly agree than never-crashed riders that their riding was ‘experienced’ rather than ‘inexperienced’ ( $\chi^2(6)=17$ ;  $p<0.01$ ) and to somewhat disagree that their riding was ‘slow’ rather than ‘fast’ ( $\chi^2(6)=17$ ;  $p<0.05$ ). Crashed riders in general seemed to rate themselves as faster, with consistently lower percentages for ‘slow’ and higher percentages for ‘fast’.

*Table 4: Relative level of agreement with riding styles for comparisons reaching statistical significance for returned riders*

a. Experienced rather than inexperienced				b. Slow rather than fast			
Experienced	Crashed	Never crashed	Overall	Slow	Crashed	Never crashed	Overall
Strongly agree	33%	14%	21%	Strongly agree	4%	8%	7%
Agree	34%	33%	33%	Agree	17%	23%	20%
Somewhat agree	17%	24%	21%	Somewhat agree	21%	18%	19%
Neither	9%	16%	13%	Neither	17%	29%	24%
Somewhat disagree	3%	8%	6%	Somewhat disagree	27%	10%	16%
Disagree	3%	5%	4%	Disagree	11%	11%	11%
Strongly disagree	0%	1%	1%	Strongly disagree	3%	1%	2%
Total	100%	100%	100%	Total	100%	100%	100%

## Riding behaviours

Respondents were also asked to indicate on a 7-point Likert scale ranging from ‘never’ through to ‘always’ how often they had engaged in 35 behaviours while riding their motorcycle on the road in the past 12 months. Each behaviour related to either a hazardous or risky event or the absence of a safe or protective action. The propensity for respondents to choose extreme scores meant that in all but one of the 35 comparisons one of the requirements for using a chi-square test was violated – that cells do not contain an expected count of less than five. All items in this block were therefore recoded to a three point scale: 1- never, 2-occasionally (representing 2 and 3 on the original 7-point scale), and 3-regularly (accounting for 4-7 on the original scale). Recoding the scales in this way resulted in eight items for which there were statistically significant differences between the groups, as shown in Table 5a-5h below.

Table 5: Occurrence of behaviours over previous year that resulted in statistically significant comparisons for returned riders

a. Exceeded speed limit on residential streets

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	20%	24%	23%
Occasionally	48%	59%	55%
Regularly	32%	17%	22%
Total	100%	100%	100%

b. Exceeded speed limit on rural roads

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	10%	14%	12%
Occasionally	47%	60%	55%
Regularly	43%	26%	32%
Total	100%	100%	100%

c. Disregarded speed limit at night or early morning

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	42%	61%	54%
Occasionally	42%	31%	35%
Regularly	16%	8%	11%
Total	100%	100%	100%

d. Raced away from traffic lights to be ahead of traffic

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	11%	24%	20%
Occasionally	40%	41%	41%
Regularly	48%	34%	39%
Total	100%	100%	100%

e. Skidded on wet road, manhole cover, etc

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	32%	49%	43%
Occasionally	64%	42%	50%
Regularly	5%	9%	7%
Total	100%	100%	100%

f. Intentionally caught up to or kept up with another rider not met before

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	47%	63%	57%
Occasionally	44%	32%	36%
Regularly	9%	5%	6%
Total	100%	100%	100%

g. Ridden too fast for the conditions

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	32%	54%	46%
Occasionally	60%	43%	50%
Regularly	8%	3%	5%
Total	100%	100%	100%

h. Raced another rider or driver

How often	Crashed	Never crashed	Overall
Never	54%	65%	61%
Occasionally	36%	33%	34%
Regularly	10%	2%	5%
Total	100%	100%	100%

As shown in Table 5, just over half of all returned riders admitted to exceeding the speed limit on residential roads occasionally, and 22% did so on a regular basis. Returned riders who had crashed were more likely to regularly exceed the speed limit, while returned riders who had never crashed were more likely to do so only occasionally ( $\chi^2(2)=7$ ;  $p<0.05$ ). A similar pattern was evident for exceeding the speed limit on country/rural roads (including rural freeways). However, the overall percentage of riders speeding in such locations was higher, with only 12% claiming to never do it, compared with 23% of riders who said they never exceeded the speed limit on residential roads ( $\chi^2(2)=7$ ;  $p<0.05$ ).

Just over half of all returned riders said they never disregarded the speed limit at night. Crashed riders were more likely than never-crashed riders to disregard the speed limit at night – both occasionally and regularly ( $\chi^2(2)=8$ ;  $p<0.05$ ). An equivalent proportion of the two rider groups occasionally raced away from traffic lights to be ahead of traffic, but crashed riders were more likely to do it regularly – 48% versus 34% ( $\chi^2(2)=8$ ;  $p<0.05$ ).

Riders were asked how often they had “Skidded on a wet road, manhole cover, road markings etc”. Just under half of the never-crashed group said such a thing never happened to them compared to a third of the crashed group. Almost two-thirds of crashed riders had skidded occasionally versus 42% of never-crashed riders ( $\chi^2(2)=11$ ;  $p<0.01$ ).

About a third of riders admitted to racing another driver or rider occasionally, with only minor differences between the two groups. Crashed riders, however, were much more likely to have done this on a regular basis ( $\chi^2(2)=9$ ;  $p<0.05$ ). A higher percentage of crashed riders “intentionally caught up to or kept up with another rider they had not met before”, both occasionally and regularly – 63% of never-crashed riders never intentionally caught up to or kept up with another rider versus 47% of crashed riders ( $\chi^2(2)=6$ ;  $p<0.05$ ).

Just over half of all returned riders admitted that they had occasionally ridden too fast for the conditions in the last year, while 46% said they had not done so at all. Those who had never crashed were much more likely to say they had not ridden too fast, while the crashed group were more likely to report occasionally or regularly finding themselves in this situation ( $\chi^2(2)=12$ ;  $p<0.005$ ). Finally, crashed riders were more likely to admit that they occasionally or regularly raced other riders or drivers, and at least a third of both groups had raced ( $\chi^2(2)=9$ ;  $p<0.05$ ).

While not all of the 35 items posed to riders were related to speed, each of the items that demonstrated a statistically significant difference between the never-crashed and crashed groups were speed related (See Table 5). An additional four items from the original 35 that were also speed related did not result in statistically significant differences between the two rider groups. Those items were:

- Tried to break your own record for speed or time
- Open up the throttle to ‘go for it’ on a quiet road
- Ridden so fast into a corner that you scared yourself
- Attempted to keep up with other riders or drivers going faster than you.

## Riding motivation

Respondents were asked to consider the 13 items below in terms of their own motivations for riding. Respondents indicated their level of agreement with each item along 7-point Likert scales ranging from ‘strongly agree’ through ‘neither agree nor disagree’ to ‘strongly disagree’.

- I like the manoeuvrability of a motorcycle
- I get a sense of freedom when riding
- Riding is a good social activity
- When riding I feel I am one with my machine
- When riding I can feel the road
- When it is safe and I am not likely to be caught I like to open it up a bit
- Riding is risky
- I like accelerating rapidly
- I ride more cautiously than the average rider
- I would like to be a professional racer
- I take calculated risks when riding
- I like to ride hard
- I would like to ride on a road with no speed limits

The propensity for respondents to choose extreme scores, coupled with the relatively low sample size, meant that in most comparisons of rider motivation one of the requirements for using a chi-square test was violated – that cells do not contain an expected count of less than five. As for the earlier behavioural items, all items in this block were recoded using a three point scale, with one level each for disagreement, neutral and agreement. The strongly agree and strongly disagree options (and their disagree counterparts) were combined and the two somewhat levels and neutral were combined.

As shown in Table 6, collapsing to a 3-point Likert scale resulted in three statistically significant differences. Compared to never-crashed returned riders, crashed returned riders were more likely to agree than disagree that “I get a sense of freedom when riding” ( $\chi^2(2)=9$ ;  $p<0.05$ ), “I like to ride hard” ( $\chi^2(2)=8$ ;  $p<0.05$ ), and “I like accelerating rapidly” ( $\chi^2(2)=8$ ;  $p<0.05$ ).

Table 6: Motivations for riding for comparisons reaching statistical significance

a. Sense of freedom when riding

	Crashed	Never crashed	Overall
Agree	98%	86%	91%
Neutral	2%	13%	9%
Disagree	0%	1%	0%
Total	100%	100%	100%

b. I like to ride hard

	Crashed	Never crashed	Overall
Agree	18%	8%	54%
Neutral	56%	55%	55%
Disagree	25%	37%	32%
Total	100%	100%	100%

c. I like accelerating rapidly

	Crashed	Never crashed	Overall
Never	56%	39%	46%
Occasionally	41%	49%	46%
Regularly	3%	12%	8%
Total	100%	100%	100%

## Discussion

Overall, the results of this study show that crash-involved returned riders have a greater propensity towards risky riding behaviours than returned riders who have never crashed. In addition, most of the behaviours for which statistically significant differences between the groups were found related to speeding, both exceeding the speed limit and riding too fast for the prevailing conditions. Crashed riders were more likely to report that they had exceeded the speed limit on residential and rural roads or freeways, disregarded the speed limit late at night or in the early hours of the morning, raced away from traffic lights to be ahead of traffic, intentionally caught up to or kept up with another rider they have never met before, raced another driver or rider, ridden too fast for the conditions, and skidded on a wet manhole cover or road markings (with the assumption the rider had not slowed to take account of the environment and/or conditions). Crashed riders were also more likely to strongly agree than never-crashed riders that their riding style was fast rather than slow. Consistent with these findings, crashed riders claimed a higher speed than those who had never crashed for both the fastest speed they had ridden in the last year and the fastest speed they had ever ridden.

The results of this study do not indicate a causal link between crash involvement and speeding-related behaviour, but they do warrant attention. Previous motorcycle safety research has established a link between crash involvement and speeding and stunt-type intentional risk-taking behaviours, with motivations for riding related to pleasure and excitement indicating increased crash risk [10]. In the current study both crashed and never-crashed returned riders cited recreation as the main purpose of riding (a finding consistent with previous studies). Crashed riders demonstrated a greater propensity towards

motivations arguably associated with speeding related pleasure and excitement: ‘sense of freedom; ‘like to ride hard’ and ‘like accelerating rapidly’.

Riders who had crashed reported more near misses over the last month than those who had not crashed and were more likely to have incurred a traffic infringement over the previous three years. The contributory factors surrounding the near misses and traffic infringements are not known in the current study. Previous research has found that unintentional errors are the biggest predictor of motorcyclist crash involvement and often occur in a violational context, with those displaying a liking for speed and/or a fast and risky riding style being more likely to commit such errors [10]. For the purposes of developing rider countermeasures, it would be important to determine whether rider error played a contributory role in the near misses reported here. Despite the increased propensity for crashed riders to engage in risky speed related behaviours, no differences were found between the groups on speeding infringements in the last three years. However, a lack of detection does not necessarily indicate a lack of participation in speeding related behaviours.

If a crash provides a learning experience for riders then one might expect a more conservative risk profile from those who had crashed compared to those who had never crashed. However, the crashed riders in this study were either *worse* than those who had never crashed or statistically equivalent in terms of their risky riding attitudes and behaviours. There are several possible explanations for this finding. Insight from personal experience might be short-lived such that riders soon return to their habitual pre-crash “settings”, especially those with an increased appetite for risk taking or thrill-seeking. As they gradually return to pre-event settings not being involved in another crash results in the risky behaviours and attitudes becoming self-reinforcing, particularly if the cause of the event is attributed to external and/or transitory factors. Another possible explanation is that the crashes in the current study were not sufficiently serious to engender a change, or that riders stop riding altogether following a serious crash (non-current riders will not be sampled by any survey targeting riders, nor will those who were killed in a crash).

It would seem that “natural” insight from experiences while riding, at least in the current study, is insufficient to result in safer riding. To be useful, perhaps such insight needs to occur *before* taking up riding and probably in a guided or facilitated manner through training programs. Building opportunities for insight into compulsory training at the time of licensing will not be of benefit to returned riders, most of whom do not need to re-qualify for their licence. Compared to new and experienced riders, returned riders are potentially at increased risk due to remembering their pre-break riding skills and abilities through rose-coloured glasses. Their propensity to return to riding without some sort of check of their skills and attitudes [12] is evident in the relatively low take-up of refresher and other training [5,6,7] currently offered on a voluntary basis for returned riders. Perhaps any new or trans-

ferred motorcycle registration should require a certificate attesting that the rider has undertaken some approved training (licence or refresher or advanced) within the last five or so years, and that *all* training courses be required to build in some sort of guided insight.

A potential shortcoming of the current study is the relatively small sample size. Consistent with previous surveys of older riders, returned riders comprised a smaller proportion of the sample than the novice or experienced rider groups [5, 6, 13], and their involvement in crashes was also lower [5, 6, 10]. Other unpublished research has also found that returned riders are much harder to recruit than other types of riders. This may suggest that returned riders comprise a smaller proportion of the population of motorcyclists than other types of rider. It may also suggest that returned riders are less likely to come into contact with publicity materials posted on the internet and in motorcycling magazines, or that they are simply less likely to be interested in participating. This explanation would seem to fit with the profile of returned riders as more commonly weekend, fair-weather, recreational riders for whom motorcycling is more of a discretionary activity than for other riders (i.e., they ride less often and fewer kilometres [5, 6]). Despite the relatively small sample size, the characteristics of the returned riders in this study were not dissimilar to those found in previous surveys of returned riders in Australia [5, 6] and in the UK [10, 13]. This provides some confidence that the sample in the current study was representative.

As a first step towards countermeasure development, there needs to be a greater emphasis on encouraging the uptake of training by those returning to riding. As a second step, any training program must be able to reduce the propensity for risky riding behaviours and attitudes without removing the primary goal of enjoyment from riding.

## **Acknowledgements**

We are grateful to VicRoads for funding this research through the Victorian Motorcycle Safety Levy. A special thanks to all motorcyclists involved: providing comments on the draft questionnaire, publicising the survey, or completing the questionnaire.



## References

1. ATSB, 'Road deaths Australia: 2008 statistical summary', Canberra: Australian Transport Safety Bureau, 2009.
2. ABS, 'ABS catalogue 9210.0.55.001: Survey of motor vehicle use', Canberra, Australian Bureau of Statistics, 2001.
3. ABS, 'ABS catalogue 9210.0.55.001: Survey of motor vehicle use', Canberra, Australian Bureau of Statistics, 2009.
4. L de Rome, G Stanford, 'Positioned for safety. Road safety strategic plan 2002-2005', Sydney, Motorcycle Council of NSW, 2002.
5. N Haworth, C Mulvihill, M Symmons, 'Motorcycling after 30. Report No. 192, Melbourne, Monash University Accident Research Centre, 2002.
6. C Mulvihill, N Haworth, 'A survey of the crash characteristics of older motorcyclists', Proceedings Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Wellington, New Zealand, 14-16 November, 2005.
7. M Symmons, C Mulvihill, 'Survey of motorcyclists in Australia', Monash University Accident Research Centre, Confidential Report to VicRoads, Melbourne, 2010.
8. N Haworth, C Mulvihill, P Rowden, 'Teaching old dogs new tricks – training and older motorcyclists', Proceedings Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Gold Coast, Queensland, 25-27 October, 2006.
9. M Symmons, C Mulvihill, N Haworth, 'Motorcycle crash involvement as a function of self-assessed riding style and rider attitudes', Proceedings Australasian Road Safety Research, Policing and Education Conference, Melbourne, Victoria, 17-19 October, 2007.
10. B Sexton, C Baughan, M Elliot, G Maycock, 'The accident risk of motorcyclists' TRL 607, Crowthorne, Transport Research Laboratory, 2004.
11. A Guppy, P Wilson, J Perry, 'Driving attitudes and driving experience', Paper presented to the International Symposium on Driving Behaviour in a Social Context, Paris, 16-18 May, 1989.
12. C Mulvihill, S Liu, 'An assessment of returning riders' development needs and a review of rider training: Stage 1 - Focus group outcomes', Monash University Accident Research Centre, Confidential Report to VicRoads, Melbourne, 2009.
13. S Jamson, K Chorlton, 'The changing nature of motorcycling: Patterns of use and rider characteristics', Transportation Research Part F – Traffic Psychology and Behaviour, 12 (4), 335-346, 2009.

**Enhanced rider assistance via connection of the Engine- and  
Suspension Control Systems of the BMW S 1000 RR**

**Erweiterte Fahrerassistenz durch die Verknüpfung der Motor- und  
Fahrwerksregelsysteme der BMW S 1000 RR**

Dr. Christian Landerl  
Leiter Entwicklung und Baureihen, BMW Motorrad

Felix Deissinger, Hans-Albert Wagner, Hans-Jürgen Jahreiss  
BMW Motorrad

## **Abstract**

BMW Motorrad has continuously expanded its product range throughout the years. Especially considering the entry into new segments, like the super sport segment, it shows that one of the main targets is to add a range of high performance bikes to the BMW Motorrad Brand.

Nevertheless, outstanding performance has always to come with outstanding safety. Therefore, BMW Motorrad once more broke ground with the newest in technology to define a whole new standard regarding the controllability of a high performance motorcycle.

The key to this optimized active vehicle safety is the intelligent connection of already existing or newly developed driver assistance systems to one integrated system for the driver.

Different selectable driving modes provide the possibility for the driver to individually adapt the engine output and response as well as the braking- and acceleration characteristics of the vehicle to the road and/or the weather conditions.

For the first time the driver assistance system does not only consider the wheel rotation as a parameter but also the banking of the vehicle.

In the following, the necessary new system architecture of the BMW S 1000 RR will be detailed and the associated mode of operation will be explained.

## **Kurzfassung**

BMW Motorrad hat in den letzten Jahren sein Produktangebot kontinuierlich ausgebaut. Dabei zeigt vor allem der Einstieg in neue Segmente, wie z.B. dem Super Sport Segment, dass eine weitere Dynamisierung der Marke ein vornehmliches Ziel der Produktoffensive ist.

Einem Höchstmaß an Leistungsfähigkeit muss aber auch ein Höchstmaß an Sicherheit gegenüberstehen. Aus diesem Grund hat BMW Motorrad abermals neue technologische Wege beschritten, um für die Beherrschbarkeit eines Hochleistungsmotorrades einen neuen Standard zu definieren.

Der Schlüssel zu dieser optimierten aktiven Fahrzeugsicherheit liegt in der intelligenten Verknüpfung vorhandener bzw. weiterentwickelter Regelsysteme zu einer für den Fahrer optimal nutzbaren Einheit.

Verschiedene vom Fahrer vorwählbare Fahrmodi schaffen die Möglichkeit, die Leistung und das Ansprechverhalten des Antriebes sowie das Brems- und Beschleunigungsverhalten des Fahrzeuges individuell auf die Straßen- und Witterungsverhältnisse anzupassen.

Als Parameter berücksichtigen die Regelsysteme dabei erstmalig nicht nur die Raddrehzahlen, sondern auch die Schräglage des Fahrzeuges.

Im Folgenden wird die hierfür notwendige Systemarchitektur der BMW S 1000 RR vorgestellt und der damit verbundene Funktionsalgorithmus beschrieben.

## **Erweiterte Fahrerassistenz durch die Verknüpfung der Motor- und Fahrwerksregelsysteme der BMW S 1000 RR**

# 1 Einleitung

2009 war, gemessen an der Zahl der getöteten Verkehrsteilnehmer, das sicherste Jahr auf Deutschlands Straßen. Die Anzahl der bei Straßenverkehrsunfällen getöteten Personen ist im Vergleich zum Vorjahr um 7,3% gesunken (insgesamt 4152 GT). Dies setzt im 18. Jahr in Folge den positiven Trend in der Unfallstatistik fort. Einen wesentlichen Beitrag zu dieser Entwicklung hat sicherlich die sich weiter durchsetzende aktive und passive Sicherheitstechnik im Bereich der PKWs geliefert.

Konzeptbedingt ist dieser positive Trend bei motorisierten Zweirädern leider nicht in vergleichbarer Form sichtbar. Dies liegt im Wesentlichen an den im Vergleich zum PKW beschränkten Möglichkeiten, die Sicherheit eines motorisierten Zweirades zu erhöhen.

BMW Motorrad hat als Pionier in Sachen Motorradsicherheit unter anderem durch die Einführung des ersten Serien Motorrad ABS 1988 und vieler weiterer Sicherheitsinnovationen wie der Antriebs-schlupfregelung bis hin zum umfassenden Sicherheitskonzept des BMW C1 immer wieder neue Standards zum Thema Motorradsicherheit gesetzt.

Durch die langjährige Forschung und Entwicklung zu diesem Thema bei BMW ist auch bekannt, dass es durch den intelligenten Einsatz moderner Technologien weiterhin Potential gibt, die Sicherheit von motorisierten Zweirädern weiter zu optimieren. Durch die verbesserte Fahrzeugelektronik können heute schon Fahrerassistenzsysteme angeboten werden, die einen wesentlichen Beitrag dazu liefern.

Mit dem Einstieg von BMW Motorrad in das Super Sport Segment war es deshalb klar, dass einem Höchstmaß an Leistungsfähigkeit durch den Einsatz intelligenter Regelsysteme auch ein Höchstmaß an Beherrschbarkeit und damit Sicherheit gegenüber gestellt werden muss.

Dies wurde erreicht, indem die angebotenen Assistenzsysteme durch konsequente Weiterentwicklung und funktionale Verknüpfung dem Fahrer die Möglichkeit bieten, die wichtigsten Einflussfaktoren für die Beherrschbarkeit des Fahrzeuges individuell und einfach einzustellen.

Um den Fahrer mit einer Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten nicht zu überfordern, wurde das Setting der Regelsysteme optimal auf vier Grundmodi abgestimmt, die einfach über einen Knopf an der Handarmatur der BMW S 1000 RR im Stand oder während der Fahrt aktiviert werden können. Die vier Modi „Rain“, „Sport“, „Race“ und der über einen Kodierstecker zusätzlich aktivierbare Modus „Slick“ geben die unterschiedlichen Settings für folgende Funktionen vor:

- Drosselklappencharakteristik
- ABS-Funktion inkl. Hinterradabhebeerkenung, Bremskraftverteilung der Integralfunktion.
- DTC (Dynamic Traction Control) Vorsteuerung und Regelungsparameter, Wheelie-assistent bzw. situative Deaktivierung

Durch die Möglichkeit, die Charakteristik des Fahrzeuges jeweils optimal auf die entsprechende Fahr-situation abzustimmen, wird der Fahrer in die Lage versetzt, das überragende Einsatzspektrum der BMW S 1000 RR vom hochdynamischen Rennstreckenbetrieb bis hin zum Landstraßenbetrieb unter widrigen Witterungs-bedingungen einfach und sicher auszuschöpfen.

Der scheinbare Widerspruch, das Fahrzeug auf der Rennstrecke schneller und gleichzeitig im Verkehrsalltag sicherer zu machen, wurde damit gelöst.

## 2 Grundlagen der Fahrphysik

Die Fahrphysik eines Motorrades ist ungleich komplexer als die eines PKW. Sie ist durch die relativ hohe Schwerpunktlage im Verhältnis zum Radstand geprägt. Hinzu kommt, dass sich die Stabilitätskriterien deutlich von denen eines Autos unterscheiden und die daraus resultierenden Auswirkungen gravierender für den Fahrer sind. Das Motorrad kann bei starkem Bremsen oder Beschleunigen beispielsweise zum Überschlag neigen oder aufgrund eines blockierenden Vorderrades zu Sturz kommen.

Aufgrund dieser grundlegenden Rahmenbedingungen kommt den Reifen, als kraft-übertragende Komponente beim Bremsen und Beschleunigen eine besondere Bedeutung zu, auf die im Folgenden näher eingegangen werden soll.

Auf normalen Fahrbahnoberflächen haben Motorradreifen eine nahezu gleiche Charakteristik wie PKW-Reifen.

Grundsätzlich können ohne Relativbewegung des Reifens zur Fahrbahnoberfläche, auch Schlupf genannt, keine Kräfte übertragen werden. Dabei steigt mit zunehmendem Schlupf auf festem Untergrund die übertragene Umfangskraft an, bis bei ca. 10 bis 15% Schlupf der Maximalwert erreicht wird. Dann nimmt die Umfangskraft mit zunehmendem Schlupf kontinuierlich ab, bis das Rad bei 100% Schlupf blockiert bzw. durchdreht.

Die übertragbare Seitenkraft verringert sich mit zunehmendem Schlupf erst langsam, beim Überschreiten der maximalen Umfangskraft jedoch sehr schnell, so dass bei 100% Umfangsschlupf weniger als 10% der maximal übertragbaren Seitenführungskraft übrig bleiben. Dieses Verhalten ist in folgender Grafik dargestellt. Die durchgezogene Linie stellt dabei das Verhalten der Umfangskraft auf trockenem Asphalt dar, die gestrichelte Linie entspricht der dazugehörigen Seitenkraft.

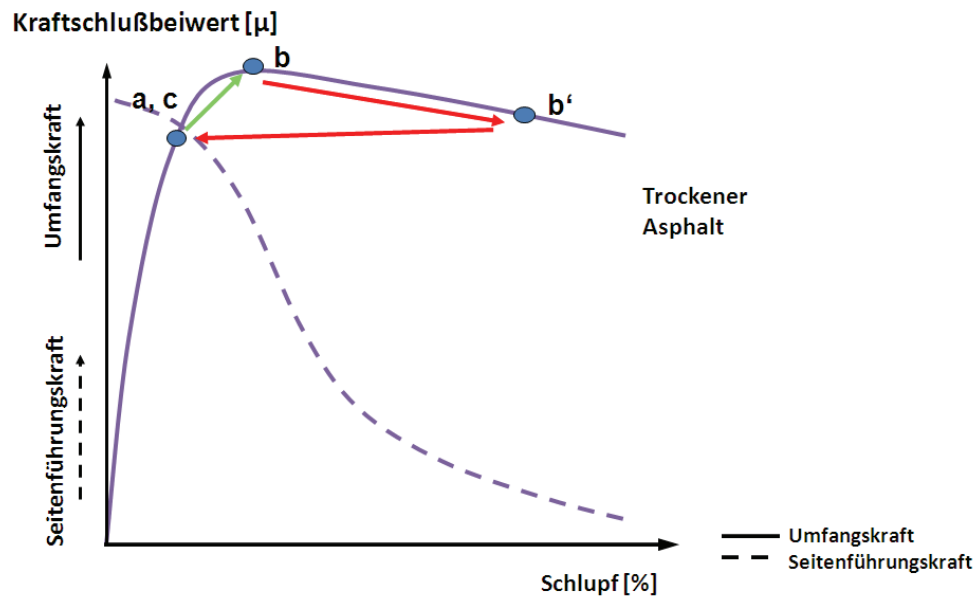


Abbildung 1: Kraftschlußbeiwert eines Reifens bei Geradeausfahrt

Für den beschriebenen Fall der Kraftübertragung eines Motorradreifens bedeutet dies, dass beim Überschreiten des in der Grafik dargestellten Betriebspunktes a über den Maximalwert der übertragbaren Umfangskraft b hinaus der Reifen in Richtung eines Betriebspunktes b' rutscht. Dies führt zu einem dramatischen Abfall der übertragbaren Seitenführungskraft. Beim Bremsen kann das Rad blockieren. Dabei verringern sich die Kreiselkräfte, die insbesondere am Vorderrad das Motorrad stabilisieren. Somit besteht akute Sturzgefahr. Spätestens hier greifen die Regelsysteme ein, um durch eine Drosselung der Motorleistung bzw. eine Rücknahme des Bremsdruckes eine Rückführung zum Betriebspunkt c (a) zu erreichen.

Wie weit dabei der Betriebspunkt b' nach rechts wandert, hängt nicht nur von der Reaktionszeit der Regelungssysteme, sondern auch vom Verhalten des Fahrers ab. Wird der Betriebspunkt der maximal übertragbaren Umfangskraft überschritten, geht der Reifen von Haft- in Gleitreibung über. Der Reifen beginnt nun infolge der geminderten Seitenkraft seitwärts zu rutschen. Dadurch entsteht gleichzeitig ein Kippmoment des Motorrads zur Kurveninnenseite. Wirkt ein geübter Fahrer dem entgegen, wandert der Punkt b' aufgrund der vorgegebenen Reaktionszeiten des Regelsystems weniger weit nach rechts, d.h. weniger weit in Richtung des größeren Umfangsschlupf. Das Motorrad kann somit weiter



am physikalischen Limit betrieben werden, ohne dass es zu einem Sturz kommt. Dieser Effekt muss bei Geradeausfahrt kaum berücksichtigt werden, gewinnt aber bei Kurvenfahrt mit zunehmender Seitenkraft und einhergehender Schräglage immer mehr an Bedeutung.

Ein weiterer wichtiger Einflussfaktor ist der Reibwert der Fahrbahn, der je nach Beschaffenheit stark variieren kann. So ist auf nassem Asphalt ein Eingriff der Regelsysteme bereits wesentlich früher nötig, um den hier schlagartig auftretenden Abriss der Kraftübertragung schon präventiv zu unterbinden.

Ein Regelungssystem kann die physikalischen Möglichkeiten eines Fahrzeuges bzw. eines Reifens grundsätzlich nicht erweitern. Es kann immer nur den Fahrer dabei unterstützen, die Grenzen nicht zu überschreiten bzw. sie besser auszunutzen (z.B. im Rennsport).

### 3 Die Systemarchitektur der BMW S 1000 RR

#### 3.1 Überblick

Um das gewünschte breite Einsatzspektrum der BMW S 1000 RR realisieren zu können und damit auch im Super Sport Segment die von BMW Motorrad erwartete maximale aktive Sicherheit darzustellen, musste für den Bereich der Fahrerassistenz ein neuer Standard definiert werden.

Dies erforderte eine bisher im Serienmotorradbau noch nie dagewesene Systemarchitektur, die durch ihre funktionale Verknüpfung ein Höchstmaß an Fahrsicherheit und Beherrschbarkeit gewährleistet. Im Folgenden sollen die Kernelemente des Systemaufbaus vorgestellt werden.

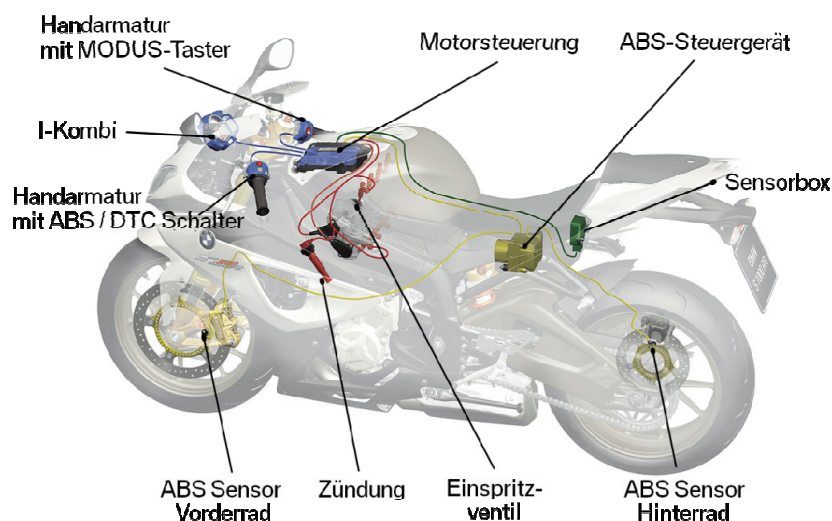


Abbildung 2: Systemarchitektur der BMW S 1000 RR

## 3.2 Race ABS

Das neue BMW Motorrad Race ABS ist ein völlig neu entwickeltes System (Bosch 9ME), das nochmals deutlich leichter als bisherige Teilintegralsysteme ausfällt.

Mit der nur 1,6 Kilogramm wiegenden Steuereinheit und einem Gesamtgewicht von lediglich 2,5 Kilogramm bietet es hervorragende Voraussetzungen für den Einsatz in Supersport-Motorrädern. Neben geringem Gewicht zeichnet sich das System aber vor allem durch ein nochmals verbessertes Regelverhalten aus. Verantwortlich hierfür ist die Verwendung von insgesamt vier Drucksensoren, die eine noch genauere Detektion von Fahrzuständen ermöglichen.

Für spezielle Anforderungen kann das Race ABS separat abgeschaltet werden.

## 3.3 Dynamische Traktionskontrolle (DTC)

Das Dynamic Traction Control System (DTC) ist eine Erweiterung der BMW Motorrad Automatic Stability Control (ASC). Analog zur ASC werden die Signale der ABS Radsensoren innerhalb der Motorsteuerung verarbeitet. Aus der Geschwindigkeitsdifferenz kann der Radschlupf am Hinterrad einfach ermittelt werden.

Das DTC verwendet als zusätzlichen Parameter auch die Fahrzeugschräglage (Siehe Sensorbox), wodurch nicht nur eine exaktere Schlupfbestimmung mittels einer Reifenradiuskorrektur durchgeführt, sondern situativ auch der Zielschlupf korrigiert werden kann.

Der Radschlupf wird aus der schräglagenkorrigierten Differenzgeschwindigkeit zwischen Vorder- und Hinterrad ermittelt. Hebt das Vorderrad aufgrund eines Wheelies ab, beschleunigt das Hinterrad weiter, während das Vorderrad mit konstanter Geschwindigkeit frei dreht.

Dadurch wird vom System ein "virtueller" Schlupf berechnet, der zu einem Motordrehmomenteingriff führt und dabei den Wheelie beendet. Das Vorderrad kommt zum Boden zurück.

Mit dieser Assistenzfunktion wird ein Überschlagen des Motorrades nach hinten verhindert. Auf der Rennstrecke kann diese Funktion auch deaktiviert werden, um maximalen Vortrieb zu gewährleisten.

Durch die aus der Schräglageninformation und den Radgeschwindigkeiten ermittelten Beschleunigungen können aber auch präventive Maßnahmen bezüglich der Motormomentbeschränkung durchgeführt werden.

Die BMS-KP Motorsteuerung der BMW S 1000 RR kann den Regelungsbedarf nun über drei verschiedene Stellgrößen ausgeben. Der bereits beim BMW Motorrad ASC praktizierte Eingriff über eine Gemischausblendung und Zündzeitpunktvariation wird um einen elektrischen Schließmotor der

Drosselklappen erweitert (eGas). Dadurch kann das Drehmoment jetzt stufenlos und harmonisch moduliert werden, womit eine noch sensiblere Fahrzeugstabilisierung realisiert werden kann.

Für spezielle Anforderungen kann das DTC separat abgeschaltet werden.

### **3.4 Hybridbordnetz**

Aufgrund der in diesem Segment hochpriorisierten Anforderungen an ein geringes Gewicht und geringen Bauraumbedarf der einzelnen Komponenten wurde speziell für dieses Fahrzeug ein sogenanntes Hybridbordnetz entwickelt.

Dabei entfällt ein zentrales Steuergerät, die zentrale Fahrzeug Elektronik (ZFE), dessen Funktionen aufgrund der minimierten Ausstattungsvielfalt zum Teil ins Instrumentenkombi (z.B. Licht- und Blinkersteuerung) integriert werden konnten.

Zur Vernetzung von Instrumentenkombination, ABS- und Motorsteuergerät wird jedoch nach wie vor ein CAN-Bus-System (Controller Area Network) verwendet. Diese Technologie ermöglicht eine intelligente Vernetzung der Steuergeräte und ist somit die Basis für moderne Fahrer Assistenzsysteme.

Auch bei der S 1000 RR kann eine einfache und umfassende Diagnose des Gesamtsystems zentral durchgeführt werden. Das Steuergerät der digitalen Motorelektronik (BMS-KP) ist nicht nur für die Motorsteuerung selbst zuständig, sondern übergibt auch sämtliche Daten an das Diagnosegerät. Fehler können damit gezielt und schnell geortet werden.

### **3.5 Sensorbox**

Im Gegensatz zur Automatic Stability Control (ASC) von BMW Motorrad benötigt die dynamische Traktionskontrolle (DTC) als weiteren Parameter neben den Raddrehzahlen von Vorder- und Hinterrad auch verlässliche Daten über die Schräglage des Fahrzeuges.

Dies ist aufgrund der spezifischen Fahrdynamik eines Einspurfahrzeuges kein triviales Unterfangen. Basis für die Schräglagenberechnung ist deshalb ein aus dem PKW Bereich übernommener Sensor MM3.10 der Firma Bosch mit zwei Drehratensensoren (Gier- und Rollrate) und zwei Beschleunigungssensoren (Vertikal- und Querachse). Die Ausgabe der Messwerte erfolgt auf dem CAN Bus, die Berechnung der Schräglage wird in der Motorsteuerung durchgeführt.

Erstmalig im Serienmotorradbau wird eine derartige Sensorbox in den mit DTC ausgestatteten BMW S 1000 RR verbaut.

### **3.6 E Gas**

Die Ansteuerung der Drosselklappen erfolgt über einen Elektromotor in Form eines E-Gas oder auch als Ride-by-Wire bezeichneten Systems. Dabei wird der Fahrerwunsch vom Seilzug des Gasdrehgriffs an einen Sensor weitergegeben. Die vollelektronische Motorsteuerung rechnet diesen Fahrwunsch in eine Drehmomentanforderung um und regelt die Drosselklappe entsprechend elektronisch. Die Erfassung aller Größen in Drehmomentdarstellung ermöglicht es, optimale Fahrbarkeit in den verschiedensten Situationen bis hin zum Eingriff der Traktionskontrolle zu realisieren.

Das E-Gas-System bedient sich des bereits bei BMW im Automobilbau bewährten Drei-Ebenen-Überwachungskonzepts. Zusätzlich wurde bei der S 1000 RR eine mechanische Kopplung des Seilzugs mit der elektronischen Stelleinheit realisiert. Dies ermöglicht es dem Fahrer, die Drosselklappe unter allen Umständen zu schließen.

### **3.7 Motorsteuerung BMS-KP**

Die S 1000 RR verfügt über die fortschrittlichste digitale Motorsteuerung, die es derzeit für Motorräder gibt. Die Software der so genannten BMS-KP (BMW Motorsteuerung mit Klopfregelung) ist eine Eigenentwicklung speziell für Motorräder. Vollsequenzielle, zylinderselektive Einspritzung, integrierte Klopfregelung, sehr schnelle Verarbeitung umfangreicher Sensorsignale durch modernste Mikroelektronik, kompaktes Layout, geringes Gewicht und Eigendiagnose sind ihre wichtigsten Kennzeichen. Den supersportlichen Bedürfnissen entsprechend wurde sie für die S 1000 RR mit einem schnelleren Rechnerkern versehen, weiterentwickelt und komplett neu adaptiert.

Die BMS-KP ermöglicht eine gezielte Drehmomentabgabe und eine feinfühligere Anpassung des Motorbetriebs an unterschiedlichste Randbedingungen. Die Grundlage der Steuerung stellt die angesaugte Luftmenge dar, die indirekt über den Drosselklappenwinkel und die Motordrehzahl bestimmt wird. Aus zusätzlichen Motor- und Umgebungsparametern (unter anderem Motortemperatur, Lufttemperatur, Umgebungsluftdruck) berechnet die Motorsteuerung zusammen mit abgespeicherten Kennfeldern und hinterlegten Korrekturfunktionen individuell abgestimmte Werte für Einspritzmenge und Zündzeitpunkt.

## **4 Funktionsalgorithmus der erweiterten Fahrerassistenz**

### **4.1 Überblick**

Wie bereits ausgeführt, lag ein Schwerpunkt für die Entwicklung der BMW S 1000 RR in der sicheren Beherrschbarkeit des Dynamikpotentials dieses Hochleistungsmotorrades im Super Sport Segment. Die Herausforderung war hierbei, die kompromisslose Auslegung beizubehalten und das Fahrzeug trotzdem für den Alltag mit einem Höchstmaß an aktiver Sicherheit auszustatten.

Da ein Sicherheitssystem nur dann wirksam sein kann, wenn es vom Kunden akzeptiert und aktiviert wird, lag das Hauptaugenmerk auf der einfachen und logischen Bedienbarkeit der Assistenzfunktionen und einer optimalen Integration in das Gesamtfahrzeugkonzept.

Im Falle der BMW S 1000 RR bedeutet dies, dass die Systemvorteile über alle denkbaren Einsatzzwecke spürbar sind und, auch aufgrund des geringen Gewichtes, dabei in keinem Bereich Kompromisse in Kauf genommen werden müssen.

Dabei wird das Einsatzspektrum der BMW S 1000 RR sogar noch erweitert, da die Fahrzeugcharakteristik von einer einfach zu fahrenden 600ccm Supersport Maschine bis hin zum rennsportlichen Superbike per Knopfdruck verändert werden kann.

So erlaubt die Auslegung der dynamischen Traktionskontrolle (DTC) beispielsweise sowohl ein sicheres Herantasten an den Grenzbereich auf einer Rennstrecke, als auch ein Maximum an aktiver Sicherheit bei Fahrten auf regennassen Landstraßen.

Erreicht wurde dies, indem der Fahrer für die unterschiedlichen Einsatzzwecke auf der Straße, auf nasser Fahrbahn oder der Rennstrecke durch einfachen Knopfdruck vorkonfigurierte Fahrmodi wählen kann, die jeweils optimale Settings für die Motor- und Fahrwerksregelsysteme ausgeben.

### **4.2 Die unterschiedlichen Fahrmodi der BMW S 1000 RR**

Grundsätzlich sind vier verschiedenen Fahrmodi aktivierbar. Für nasse Fahrbahn der Modus „Rain“, für trockene Straßen der Modus „Sport“ und für die Rennstrecke mit Supersportreifen der Modus „Race“ bzw. mit profillosen Rennreifen der Modus „Slick“.

Bei Fahrten auf nasser Strecke und damit wenig Grip wird im „Rain“-Modus die maximale Leistung auf 110 kW (150 PS) reduziert. Wichtiger als die Reduzierung der reinen Höchstleistung ist für die Fahrbarkeit jedoch die gleichzeitige Homogenisierung des Drehmomentverlaufes und des Ansprechverhaltens. Aus dem Leistungsdiagramm gut zu erkennen ist der dabei ab 7000 Umdrehungen vollkommen gleichmäßige Drehmomentverlauf.

Für den Betrieb auf trockener Straße stellt der „Sport“-Modus die volle Motorleistung von 142 kW (193 PS) in Kombination mit einer spontanen Gasannahme bereit. Dieser Fahrmodus ist insbesondere für den Einsatz auf Landstraßen entwickelt worden.

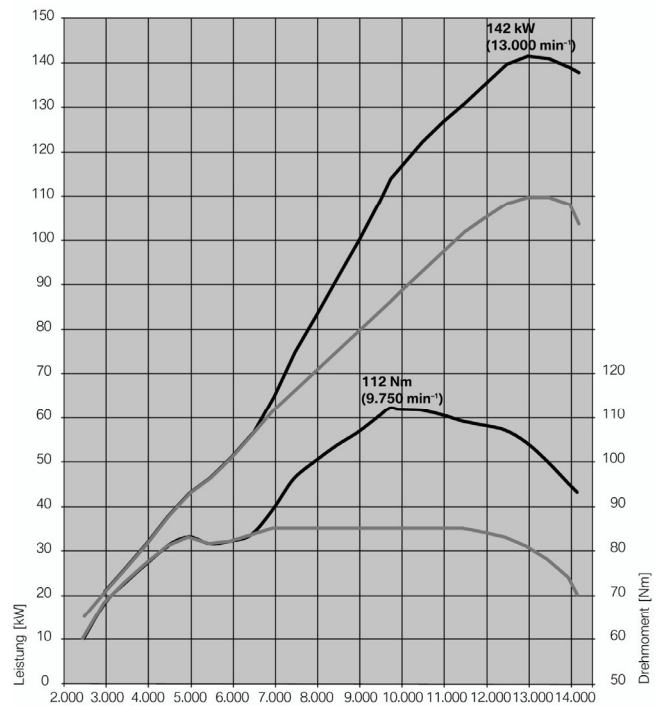


Abbildung 3: Leistungs- und Drehmomentverlauf der verschiedenen Fahrmodi

Der Modus „Race“ wurde speziell für den Einsatz der S 1000 RR auf Rennstrecken unter Verwendung straßenzugelassener Supersport-Reifen entwickelt. Hierfür steht ebenfalls die volle Motorleistung zur Verfügung, jedoch ist das Ansprechverhalten absolut direkt und spürbar dynamischer.

Der „Slick“-Modus ist ausschließlich für den Einsatz auf der Rennstrecke unter Verwendung profilloser Slickbereifung vorgesehen. Wie im „Race“-Modus gibt der Motor nicht nur seine volle Leistung ab, sondern spricht auch sehr spontan an.

Während die drei Modi „Rain“, „Sport“ und „Race“ vom Fahrer direkt vom Lenkerende aus aktiviert werden können, verfügt der „Slick“-Modus über eine Aktivierungssperre in Form eines Kodiersteckers für das Steuergerät unter dem Fahrersitz der S 1000 RR. Er wird erst durch Einsetzen dieses Steckers freigeschaltet.

### 4.3 Die ABS Matrix der verschiedenen Fahrmodi

Im Modus „Rain“ und „Sport“ agiert das ABS System analog zu den teilintegralen Systemen der aktuellen BMW Sport und Touren Modellen und bietet damit maximale Stabilität auf allen Fahrbahnen. Die Bremskraftverteilung ist an die Ideal-Bremskraftverteilung angelehnt. Dadurch bleiben die

Seitenkraftreserven an Vorder- und Hinterrad bei einer Bremsung in einer Kurve bei Betätigung des Handbremshebels optimal.

Im Modus „Race“ ist die zulässige Fahrzeugverzögerung auf die speziellen Einsatzbedingungen der Rennstrecke abgestimmt, darüber hinaus kann jetzt auch der Überschlagassistent deaktiviert werden. Die Verzögerung kann damit auf einem höheren Niveau gehalten werden und ist gleichzeitig wiederholgenauer. Die Bremskraftverteilung wird am Hinterrad zurückgenommen, da auf der Rennstrecke häufig in Schräglage gebremst und zusätzlich heruntergeschaltet wird. Dies kann zu einem ungewollten Driften des Hinterrades führen.

Im Modus „Slick“ wird nun zusätzlich das ABS am Hinterrad bei Betätigung der Fußbremse deaktiviert. Der Fahrer kann am Kurveneingang das Hinterrad überbremsen, was im Rennbetrieb eine gewünschte Eigenschaft ist. Bei reiner Handbremshebelbetätigung steht nach wie vor ein ABS an beiden Rädern zur Verfügung.

ABS MATRIX S1000RR					
Modus	Rain	Sport	Race	Slick	ABS off
ABS	on	on	on	on	off
Integraler Druckaufbau	on	on	on	on	off
Verzögerungsbegrenzung	on	on	definiert auf mehr Performance	definiert auf mehr Performance	off
ABS hinten bei Fußbetätigung	on	on	on	off	off
Abhebeerkennung	on	on	off	off	off

#### 4.4 Die DTC Matrix der verschiedenen Fahrmodi

Das DTC stellt im „Rain“ Modus schon bei mittlerer Schräglage nicht mehr das gesamte Drehmoment der MD-Kennlinie 2 (siehe Abbildung 3, Rainmodus) zur Verfügung, bei geringerem Radschlupf wird das Motormoment weiter reduziert. Der Wheelieassistent ist aktiviert.

Im „Sport“ Modus stellt die DTC erst bei mittleren bis großen Schräglagen nicht mehr das gesamte Drehmoment zur Verfügung, bei mittlerem Radschlupf wird das Motormoment weiter reduziert. Der Wheelieassistent ist aktiviert.

Der „Race“ Modus wurde speziell auf Rennstreckennutzung abgestimmt und unterstützt das Fahren am Limit mit optimaler Traktion. Jedoch wird auch hier bei großer Schräglage nicht mehr das gesamte

Drehmoment zur Verfügung gestellt, bei großem Radschlupf wird das Motormoment weiter reduziert. Der Wheelieassistent ist auch hier aktiviert.

Im Unterschied zum „Race“-Modus arbeitet das DTC im Modus „Slick“ nur ab einem Schräglagenwinkel von 20 Grad (gegen die Hochachse) permanent. Dadurch wird bei Schräglagen von unter 20 Grad ein abhebendes Vorderrad nicht verhindert beziehungsweise 5 Sekunden lang zugelassen, um beim Herausbeschleunigen aus Kurven bestmöglichen Vortrieb zu ermöglichen.

Das DTC ist in diesem Setting nicht mehr für Fahrbahnen mit extrem niedrigem Reibwert wie beispielsweise nasses Kopfsteinpflaster oder Rollsplitt geeignet. Deshalb sollte der „Slick“ Modus nicht im öffentlichen Straßenverkehr aktiviert werden.

DTC MATRIX K46 S1000RR					
Modus	Rain	Sport	Race	Slick	DTC off
Regelungsniveau					
Wheelieassistent	on	on	on	off/5 sec.*	off

\*kleiner 20° Schräglage

## 4.5 eGas Matrix

Die eGas Matrix bewirkt eine kontinuierliche Anpassung des Motor Ansprechverhaltens über die verschiedenen Fahrmodi hinweg.

Im „Rain“ Modus wird die Drosselklappe bei kleinen Gasdrehgriffwinkeln weniger weit geöffnet. Dadurch wird eine weichere, leichter dosierbare Gasannahme erzeugt, die den Fahrer auf rutschigem Untergrund unterstützt, das Motorrad weich und sanft zu bewegen.

Zudem ist über die Md-Kennlinie 2 im „Rain“ Modus eine bessere Kontrollierbarkeit durch die harmonischere Drehmomentabgabe des Antriebes gegeben. Der starke Drehmomentzuwachs bei 7000 1/min wird von der Motorsteuerung komplett abgeschnitten und auf konstant ca. 85 Nm gehalten (siehe Abbildung 3).

Im „Sport“ Modus folgt die Drosselklappe bereits nahezu 1:1 dem Gasdrehwinkel, wodurch das Fahrzeug schon fast maximale Agilität erreicht.

Im „Race“ und „Slick“ Modus wird jeweils nochmals direkter auf den Gasdrehwinkel reagiert.



E-GAS MATRIX K46 S1000RR				
Modus	Rain	Sport	Race	Slick
Md-Kennlinie	2	1	1	1
Gasannahme	weich	←————→		direkt

## 5 Zusammenfassung

Durch die intelligente Verknüpfung der Motor- und Fahrwerksregelsysteme ist es BMW Motorrad mit der BMW S 1000 RR gelungen, den Kunden das sicherste Fahrzeug im Super Sport Segment anzubieten.

Vom Start weg beeindruckend, wurde bereits bei der Pressevorstellung auf einer Rennstrecke in Portimao/Portugal belegt, wie sicher ein modernes Hochleistungsmotorrad selbst im Grenzbereich bewegt werden kann. Es gab während der kompletten Veranstaltung keinen einzigen Sturz.

Die Verkaufserfolge im ersten Jahr zeigen, dass eine derartige Technologie auch bei den Kunden auf eine hohe Akzeptanz stößt. Die Ausstattungsquote der BMW S 1000 RR mit den Optionen ABS und DTC liegt bei nahezu 100%.

## 6 Literaturverzeichnis

Dipl.-Ing. Markus Poschner; Dipl.-Ing. Jörg Vogt; Dipl.-Ing. Gerd Wösle;

Dipl.-Ing. Hans-Albert Wagner.: Die neue BMW S 1000 RR

ATZ – Automobiltechnische Zeitung. Ausgabe Nr.: 2010-08

Wagner, H.-A./Jahreiß, H.-J./Reissing, J./ Bachmann, J./Mueller, P.: Entwicklungstendenzen von Fahrwerkregelsystemen bei BMW Motorrad

Forschungshefte Zweiradsicherheit, herausgegeben von Elmar Franke, Nr. 12, 2006

Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle – Unfallentwicklung im Straßenverkehr 2009, erschienen am 15. Juli 2010

Online unter: [www.destatis.de](http://www.destatis.de)

BMW Medieninformation: Die neue BMW S 1000 RR – Pressemappe 11/2009

**Research on Brake-by-Wire System  
for Super-Bike Race Motorcycle**

**Forschung am Brake-By-Wire System  
für Superbike-Rennmotorräder**

Kazuhiko Tani, Makoto Toda, Kazuya Takenouchi, Shuichi Fukaya

Honda R&D Co., Ltd. Motorcycle R&D Center, Japan

## **Abstract**

In a motorcycle race, a rider needs to reduce vehicle speed as quickly as possible in the approach to a corner, while being careful to avoid wheel lock and large pitching motions. On a wet surface, in particular, the rider has to apply the brakes very carefully. This need for very delicate brake control causes rider fatigue in endurance races involving many hours of racing. In 2008, Honda applied a brake-by-wire type combined ABS (Combined ABS), originally developed for super-sport motorcycles, to motorcycles in the super-bike racing category. In this brake system, a pressure sensor detects the rider's brake input and the hydraulic pressure in the brake caliper is regulated by an electrically operated modulator. The World's first Super-bike equipped with Combined ABS was competitive to a Super-bike equipped with a conventional brake system in spite of a 5.0 kg weight increase.

## **Kurzfassung**

Bei einem Motorradrennen muss der Fahrer die Geschwindigkeit seines Fahrzeugs so schnell wie möglich reduzieren, sobald er sich einer Kurve nähert. Gleichzeitig muss er dabei vermeiden, dass die Räder blockieren und es zu starken Nickbewegungen kommt.

Besonders auf einer nassen Oberfläche muss der Fahrer die Bremsen sehr vorsichtig betätigen. Die Notwendigkeit einer sehr feinen Bremsbedienung verursacht starke Erschöpfung während Ausdauerrennen, welche sich über viele Stunden Fahrzeit erstrecken.

Im Jahre 2008 brachte Honda ein Combined-ABS-Bremssystem vom Brake-By-Wire-Typ, welches ursprünglich für Supersport-Motorräder entwickelt worden war, bei Motorrädern aus der Kategorie Superbike-Rennen zur Anwendung.

Bei diesem Bremssystem erkennt ein Drucksensor den Bremsimpuls des Fahrers und der hydraulische Druck in der Bremszange wird von einem elektrisch betriebenen Modulator reguliert.

Das erstmalig eingesetzte Superbike, ausgestattet mit Combined ABS, war gegenüber den Superbikes mit konventionellen Bremsanlagen, sofort konkurrenzfähig, trotz 5.0 kg Mehrgewicht.

**Research on Brake-by-Wire System  
for Super-Bike Race Motorcycle**

## 1. Introduction

Honda has developed advanced brake technologies aiming to enhance the convenience of braking.<sup>(1)</sup> In long distance races, reducing rider fatigue is one way to help improve the finish results. Honda's Combined Brake System (hereinafter referred to as CBS) was first applied to the RCB1000 endurance racer in 1976. This first generation system combined both front and rear brakes which were then operated together by a foot lever (Fig. 1 on the left). In 1995 -1997, the Racing CBS was installed to the machines for the Super Bike race category, and an experimental study was conducted. In a sprint race, a rider sometimes makes minor speed adjustments and settles the suspension using the rear brake. In this second generation system the rear brake was operated by a torque reaction of the front brake, which was operated by a hand lever (Fig. 1 on the right) (the rear brake could also be operated independently using a foot lever). This system was well received by sprint racers.



*Figure 1 Race bikes with Racing CBS*

The first generation CBS was a very simple system that combined the front and rear brakes using a foot lever only, which was advantageous for long-distance races and providing additional stopping power when the rider only applied the foot lever. However, skill was necessary to precisely control speed by applying the rear brake only. In the second generation Racing CBS, hand lever operation also applied some rear brake to reduce pitching motions of the vehicle (Fig. 2), thus overcoming the challenge of the first generation. Nevertheless, this mechanical system did not allow optimized brake force distribution according to vehicle speed.

In addition, these systems did not have an anti lock function to prevent wheel lock , so precise braking pressure control was still required.

In 2008, Honda developed a Brake-by-Wire System called “Combined ABS” (Combined Anti-Lock Brake System) suitable for super-sport models <sup>(2)</sup>, and applied it to the mass-production CBR1000RR.

In this paper, the Combined ABS was applied to a racing motorcycle aiming to address the challenges described above. The results are described below.

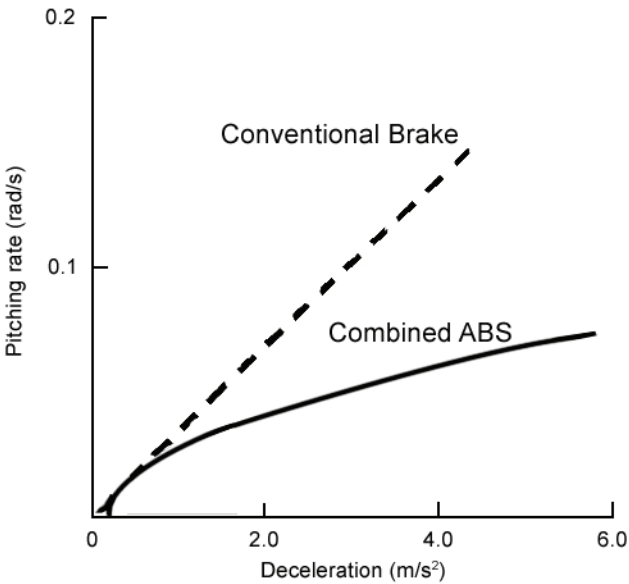


Figure 2 The effect using a rear brake in hand lever operation

## **2. Target requirements of system**

Honda set out to develop a system that included anti-lock and combined braking functions, while keeping the hand and foot lever feel of a conventional system and one that also minimized pitching motions. Additional considerations were as follows:

- (1) Prevent an increase of the weight and inertial moment of the vehicle without compromising the kinetic performance of the vehicle.
- (2) The brake caliper is not special for CBS.
- (3) The hand/foot lever should be linked to each other.
- (4) The hand/foot lever should not interfere with each other during operation. No pulsation shall occur in the hand/foot lever when the ABS functions.

## **3. Comparison of systems**

Figure 3 shows the first-generation system. In this system, the rear brake and one of two front brakes are operated together from the rear master cylinder.

Figure 4 shows the second-generation system. In this system, a second master cylinder integrated into the front brake caliper bracket and mounted on the front fork bottom case responds to the front brake torque and distributes hydraulic pressure to the rear brake. The pressure distribution characteristics are determined by the pressure control valve (PCV).



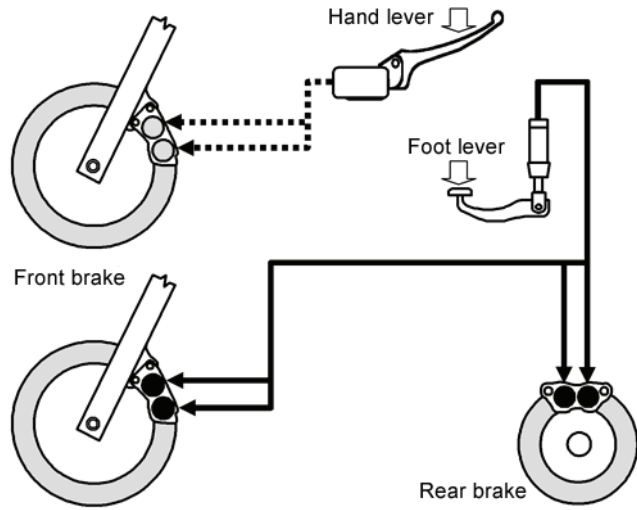


Figure 3 Diagram of first-generation combined brake system

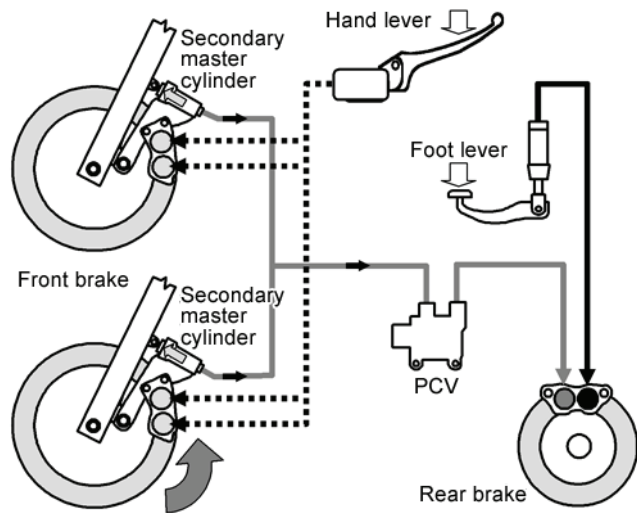


Figure 4 Diagram of second-generation combined brake system

Figure 5 shows the Combined ABS. Using the Combined ABS introduced in 2008 as a base, the control parameters in the Electronic Control Unit (hereinafter referred to as ECU) have been modified for race use. The basic operations of the system are the pressure sensor (PMC) detects rider input, and the power unit generates brake pressure. After detecting a rider input, the brake fluid passages on the input side are separated from the caliper side by an electromagnetic solenoid valve (SNOM). Brake pressure is generated and applied to the caliper by a power unit that is separated from the input side by the

SNOM and the ECU calculates depending on the input side fluid pressure, thus controlling the CBS<sup>(2)</sup>. Although there was no significant reduction in weight compared to other systems, the weight was reduced elsewhere in the vehicle. Eventually, the difference between the vehicles with and without the system was 5.0 kg. Also, by mounting the system at a position close to the center of gravity of the vehicle, the kinetic performance was maintained. Table 1 shows the codes of brake-by-wire system.

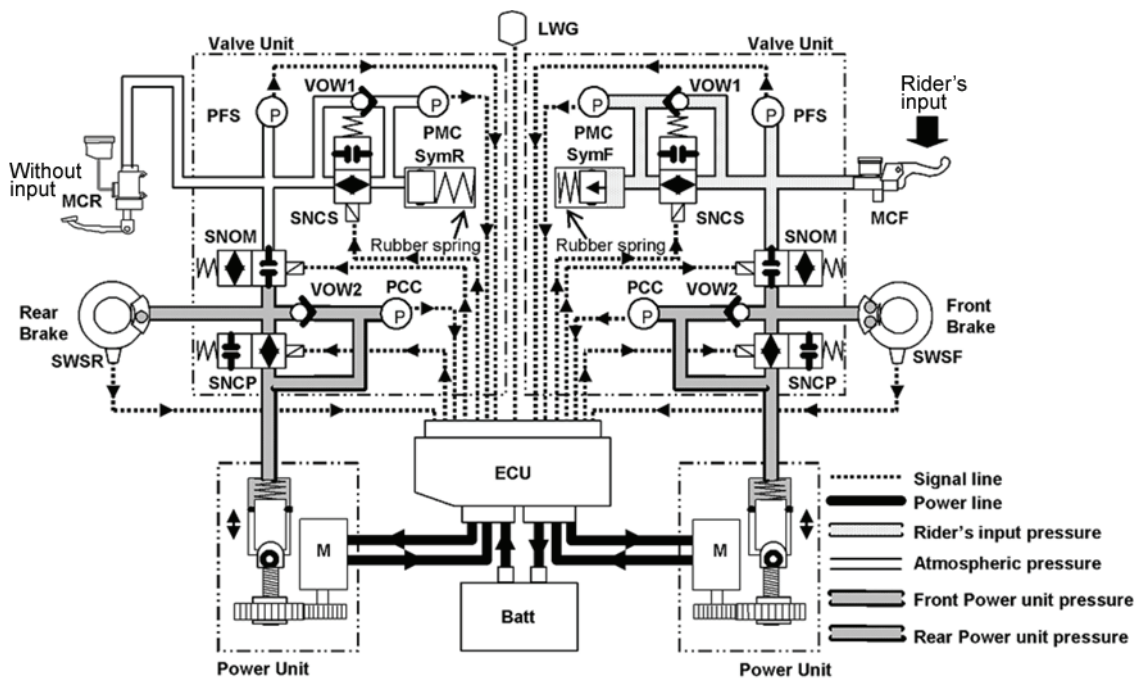


Figure 5 Diagram of brake-by-wire system

### 3.1. ABS control

In current systems generally based on an automobile ABS, pulsations occur in the lever due to pressure fluctuation during ABS operation. In many cases, the control of hydraulic pressure is not as precise as it could be because the controls are performed by repeatedly opening or closing the electromagnetic solenoid valve. In the motorcycle Combined ABS system described here, an electric motor provides seamless braking pressure control while pressure sensors provide feedback, allowing pressure regulation under ABS operation to be completed more precisely. Moreover, by use of a stroke simula-

tor, the feeling of the hand and foot lever operation during ABS operation is very similar to that of a conventional brake system, i.e., without pulsation to the hand and foot lever. Figure 6 shows a comparison of ABS control. The result is a smooth pressure control, less vehicle pitching, for super-bike racing.

Table 1 Brake-by-wire system codes

Codes	Meanings
SNOM	Solenoid valve, normal open, master cylinder
SNCS	Solenoid valve, normal close, simulator
SNCP	Solenoid valve, normal close, power unit
PMC	Pressure sensor of master cylinder
PFS	Pressure sensor of fail safe
PCC	Pressure sensor of brake caliper cylinder
VOW 1	One-way valve
VOW 2	One-way valve
SWSF	Front wheel speed sensor
SWSR	Rear wheel speed sensor
SymF	Front brake stroke simulator
SymR	Rear brake stroke simulator
MCF	Front brake master cylinder
MCR	Rear brake master cylinder
LWG	Warning lamp
Batt	Battery
ECU	Electronic control unit
M	Motor

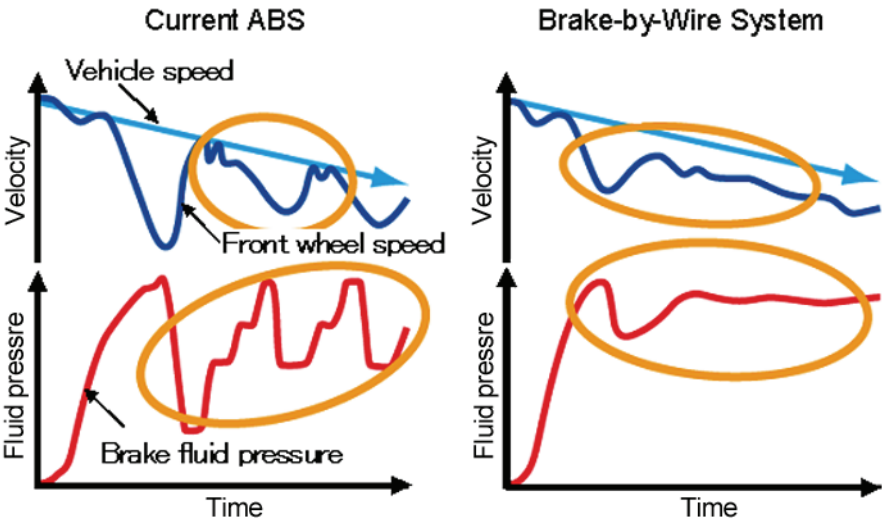


Figure 6 Comparison of ABS control

## 3.2. CBS control

### 3.2.1. CBS brake force distribution control

To cope with the shift of weight distribution on the front and rear wheels when braking, racers need to regulate front and rear brake forces. However, racers sometimes only use the rear brake in order to make finite speed adjustments. In the first-generation CBS, there was no option except for the prescribed brake force distribution. In the second-generation Racing CBS, the foot lever was not connected to the front brake and the rear brake could be operated independently. In our new system, no brake force is distributed to the front wheel until the ABS begins operation on the rear brake. After the rear brake ABS starts functioning, the system is controlled in such a manner that distributes the brake force to the front wheel in accordance with the rider's input pressure<sup>(3)</sup>. As a result, the CBS permits independent use of the rear brake, allowing finite speed adjustment, which is a desirable characteristic in racing. Thus, CBS characteristics suitable for racing are realized (Fig.7).

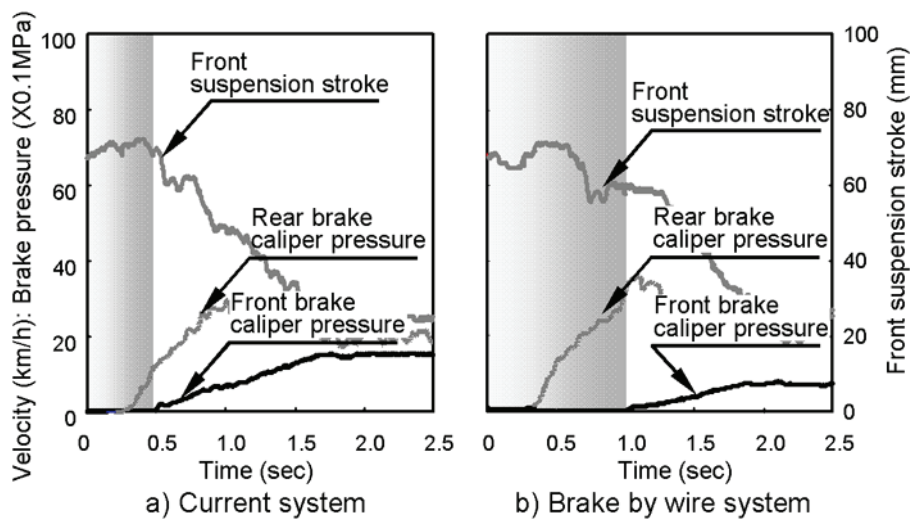


Figure 7 Control diagram of brake force distribution of CBS

### 3.2.2. Speed-dependent variable CBS control

In the second-generation Racing CBS, it was not possible to alter the prescribed brake force distribution. In this new system, speed-dependent control has become attainable by multiplying a constant for each vehicle speed by the basic rear brake force distribution when inputting a brake force into the front brake lever. In a motorcycle equipped with a conventional brake system, the rider uses the rear brake to reduce pitching motions of the vehicle. The rear brake input for the said purpose tends to differ between medium/low speeds and high speeds (Fig.8). In this new system, the brake force distribution by speed could be considered as speed dependent, and, as such, the rider's tendency could be reflected (Fig.9).

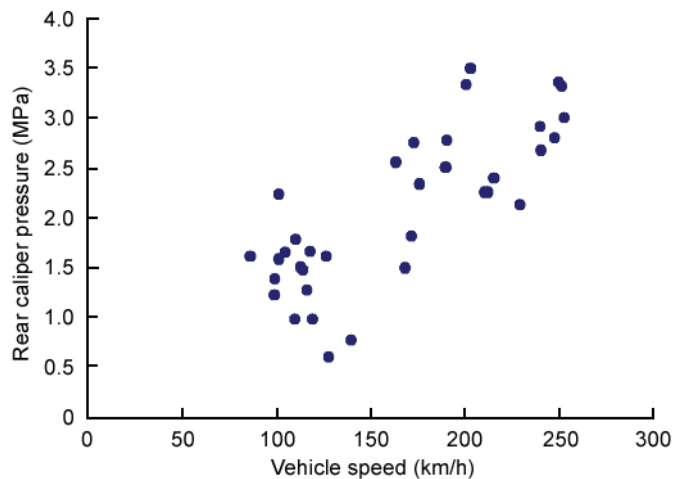


Figure 8 Usability of rear brake in race course

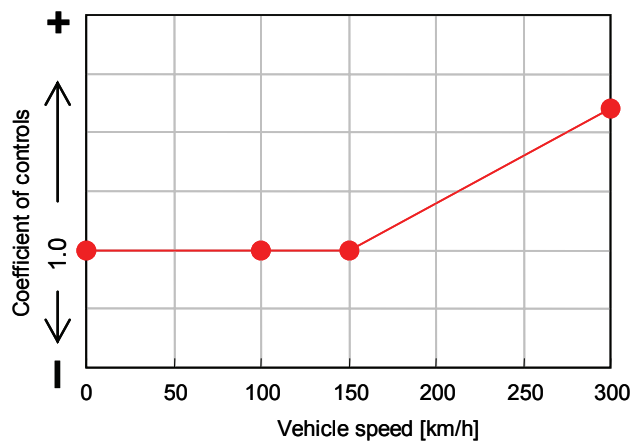


Figure 9 Coefficient of controls of rear CBS

### 3.2.3. Control Method of Releasing Brake on CBS

Figure 10 shows the principle of the CBS releasing control. The graph on the left is the distribution pattern of front and rear brake forces. The graph on the right shows the time-based changes of rear brake force from the start of brake application up to the release following the distribution pattern.

Figure 10(a) is an example of a mechanical CBS, and Figure 10(b) is an example of the new system. The brake force distribution of the hand lever needs to decrease the rear brake force, in order for the rear wheel load to decrease if the front brake force is increased. In the mechanical CBS, as the front and rear brake force distribution pattern is the same when applying and releasing the brake, the brake force on the rear wheel increases momentarily when releasing. In the new system, as the brake force distribution rate can be set independently for the front and rear brakes, there is no increase of rear brake force when releasing the front brake force<sup>(2)</sup>. As a result, a parameter-set for each speed permits reduction of pitching motions when using the front brake from high speeds to low speeds. Thus, CBS characteristics suitable for racing are realized.

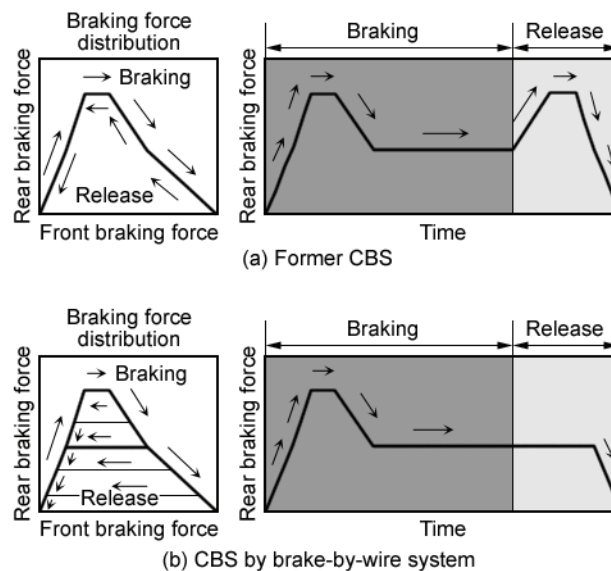


Figure 10 (a), (b) Method of CBS release

## 4. Test motorcycle

Table 2 shows the major specifications of the test motorcycle. Figure 11 shows layout of Combined ABS for super-bike racing motorcycles

*Table 2 Test motorcycle specifications*

Items		Specifications
Brake system	-	Brake-by-wire
Wheelbase	L (m)	1.415
Curb mass	M (kg)	As per the regulation
Distributed load ratio of motorcycle without rider	Front (%)	54.5
	Rear (%)	45.5
Suspension	Front	Outside is STD, Inside is Öhlins
	Rear	Öhlins
Tire size	Front	120/70ZR-17M
	Rear	190/50ZR-17M
Engine displacement	V (cm <sup>3</sup> )	999

# 5. Test method

On the Lausitzring racetrack, we measured the rate of increase of a rider's front brake input pressure, with ABS. The data was taken in the two corners shown in Fig. 12.

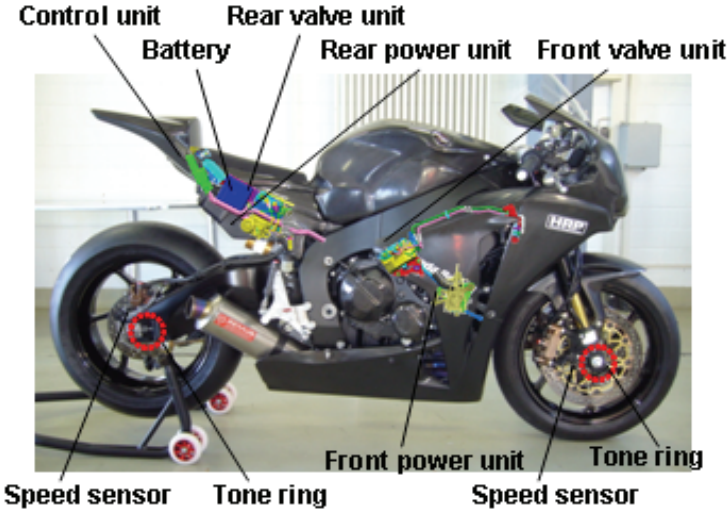


Figure 11 Layout of Combined ABS for super-bike race motorcycles



Figure 12 Layout of Lausitzring circuit



## 6. Test results

In measuring the braking distance from maximum speed on the end of the back and home straights, we calculated the rider's front brake input pressure rise rates. The front brake input pressure rise rate is referred to as an incline determined by dividing the fluid pressure from 0.0 MPa up to 1.0 MPa by the time. The average from that calculated result, excluding the best and worst results, was 2.94 MPa/sec at the end of the back straights and 4.31 MPa/sec at the end of the home straights with Combined ABS.

At the end of the home straight on the first lap, we observed that the input pressure rise rate was 3.96 MPa/sec with Combined ABS as shown in Figs. 13, which means that the rider's input pressure rise rate at this time was equivalent to the average rate.

In this test, the rider commented that this CBR1000RR equipped with Combined ABS had the same racing potential as a CBR1000RR equipped with conventional brakes despite a 5.0kg weight increase.

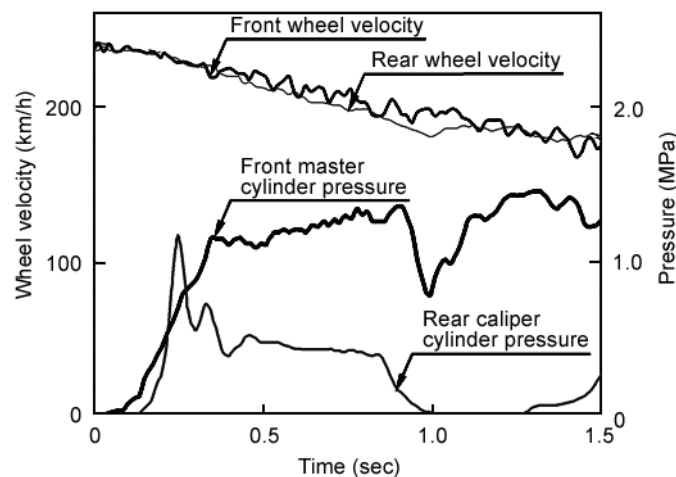


Figure 13 Time data of with ABS at home straight end

## 7. Conclusions

The following benefits were found from the application of an electronically controlled “Combined ABS” developed in 2008 to the super bike racing motorcycle and the verification of the compatibility of the system with a racing motorcycle.

- (1) With the ABS control that prevents wheel locking installed, the rider’s input pressure rise rate at the time of braking becomes greater, allowing attainment of higher braking efficiency.
- (2) The control of brake force distribution rate in the CBS permits independent use of the rear brake, allowing fine adjustment of vehicle speed.
- (3) The CBS-release control with a parameter set for each speed permits reduction of pitching motions when using the front brake.
- (4) The Super-bike equipped with Combined ABS was competitive to a Super-bike equipped with a conventional brake system despite a 5.0 kg weight increase.

## Postscript

The newly developed system was first used in the final round of IDM (German International Super Bike Championship) 2009, winning Heat 1 and finishing second in Heat 2 (Fig. 14).



Figure 14 With HRP team members at Hockenheimring circuit

## References

1. Tsuchida, T., Nishimoto, Y., Thiem, M.: Advanced Brake System for Powered Two Wheelers: CBS, ABS and Future Directions, 4th International Motorcycle Conference (2002), pp. 379-396
2. Nishikawa, Y., Nanri, T., Takenouchi, K., Takayanagi, S., Tani, K., Fukaya, S.: Experimental Study of Pitching Control of Large Motorcycles with Short Wheelbases using a Brake-by-Wire System, 7th International Motorcycle Conference (2008), pp. 123-128
3. Tani, K., Nishikawa, Y., Nanri, T., Takenouchi, K., Toda, M.: Control Technology of Brake-by-Wire System for Super-sport Motorcycles, SAE international 2010 World Congress, No. 2010-01-0080, pp. 15-18

## **Brake Steer Torque Optimized Corner Braking of Motorcycles**

### **Bremslenkmomentoptimierte Motorrad-Kurvenbremsung**

Dipl.-Ing. Kai Schröter, B. Sc. Jan Bunthoff, B. Sc. Felipe Fernandes,  
B. Sc. Timm Schröder, Prof. Dr. rer. Nat. Hermann Winner  
Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD), TU Darmstadt

Dr.-Ing. Patrick Seiniger  
Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt)/  
Federal Highway Research Institute

Kazuhiko Tani  
Honda R&D Co. Ltd. Motorcycle R&D Center, Japan

Oliver Fuchs  
Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH

## Abstract

In contrast to the decrease in overall annual traffic fatalities in Germany (4,477 in 2008 [1, 2]), the number of killed motorcyclists stagnates at a high level (656 to 992 fatalities between 1991 and 2008 [3]). An analysis of in depths accident studies [4, 5] shows that many single vehicle crashes are caused by insufficient or inadequate braking while cornering.

Even though corner braking offers a high theoretical potential [6], it overburdens the rider's control capacities [6, 7, 8, 9]. Current Anti-Lock and Combined Brake Systems support the rider to a certain degree. However, they do not explicitly take into account the cornering state of the motorcycle, e.g. through roll angle measurement [10]. Especially in shock situations, the brake force induced steering torque (BST) rises with high gradients. Along with the resulting upward roll movement of the motorcycle it can hardly be compensated by the rider [6] and leads to course deviations.

Four potential countermeasures are derived from the BST chain of effects (BST-Avoidance Mechanism, BSTAM [6], active counter steer torque/power steer, corner adaptive brake force distribution and steering damper control).

In cooperation with Honda, a BSTAM is for the first time being implemented in a motorcycle in order to investigate its function and interaction in the man-machine-system.

Different system setups are tested in simulation and driving experiments. If the system performs well, the BSTAM can presumably also be used as a basis for further safety systems (autonomous corner braking, correction and stabilization of the vehicle trajectory before collisions).

## Kurzfassung

Im Gegensatz zur kontinuierlich sinkenden Zahl der Gesamtverkehrstoten in Deutschland (4.477 im Jahr 2008, [1, 2]), stagniert die Zahl der jährlich getöteten Motorradbenutzer auf hohem Niveau (zwischen 656 und 992 in den Jahren 1991 bis 2008, [3]). Eine Analyse detaillierter Unfallstudien [4, 5] zeigt, dass viele Fahrnfälle auf unzureichende bzw. falsche Bremsbetätigung in Kurven zurückzuführen sind.

Obwohl die Kurvenbremsung ein großes theoretisches Potential bietet [6], ist der Mensch als Regler mit ihrer Umsetzung meist überfordert [6, 7, 8, 9]. Bisherige Anti-Blockier-Systeme und Kombi-Bremssysteme unterstützen den Fahrer zwar, gehen aber bislang nicht explizit auf die Erfordernisse der Kurvenbremsung ein, was erst möglich wird, wenn der Rollwinkel als Eingangsgröße bekannt ist [10]. Speziell das bei schreckhafter Kurvenbremsung mit hohen Gradienten auftretende Bremslenkmoment (BLM) und das daraus resultierende Aufstellverhalten des Motorrads kann vom Fahrer nur unzureichend kompensiert werden [6] und führt zum Verlassen der geplanten Trajektorie.

Ausgehend von der Entstehungskette des BLM, werden vier potentielle Gegenmaßnahmen abgeleitet (BLM-Verhinderer, BLMV [6], Aktives Gegenmoment/Servolenkung, Kurvenadaptive Bremskraftverteilung und Lenkungsämpferregelung).

Im Fokus der vorgestellten Forschungsarbeit steht der mechatronische BLM-Verhinderer. Dieser wird derzeit in Zusammenarbeit mit Honda erstmals an einem Motorrad prototypisch umgesetzt, um seine Funktion und Wechselwirkungen im Mensch-Maschine-System zu untersuchen.

Verschiedene Auslegungscharakteristika werden in Simulation und Fahrversuch getestet. Im Falle einer Bewährung des Systems ist zu vermuten, dass der BLM-Verhinderer auch als Basis für die Darstellung weiterer Sicherheitssysteme dienen könnte (autonome Kurvenbremsung, Korrektur und Stabilisierung der Trajektorie vor einem Anprall).

## **Brake Steer Torque Optimized Corner Braking of Motorcycles**

## Motivation: Accident Situation of Powered Two Wheeler Users

In the last decades, motorcycling has become a popular leisure activity for an increasing number of people. It is strongly linked with emotions of personal freedom, fun and the fascination of breathtaking driving dynamics. More than that, with a background of declining fossil energy resources and the omnipresent discussion about CO<sub>2</sub> emissions, Powered Two Wheelers (PTW) become an attractive option for future (urban) mobility solutions. However, PTW riders are vulnerable road users that undergo a high risk to be severely injured or killed.

In contrast to the decrease in overall annual traffic fatalities in Germany (4,477 in 2008 [1, 2]), the absolute number of killed motorcyclists stagnates at a high level (656 to 992 fatalities between 1991 and 2008 [3]) showing a slightly positive trend in recent years (Figure 1, left). Looking at the absolute numbers only leads to an increasing share of killed motorcyclists in overall road fatalities which is alarming for authorities. However, this interpretation can also be misleading.

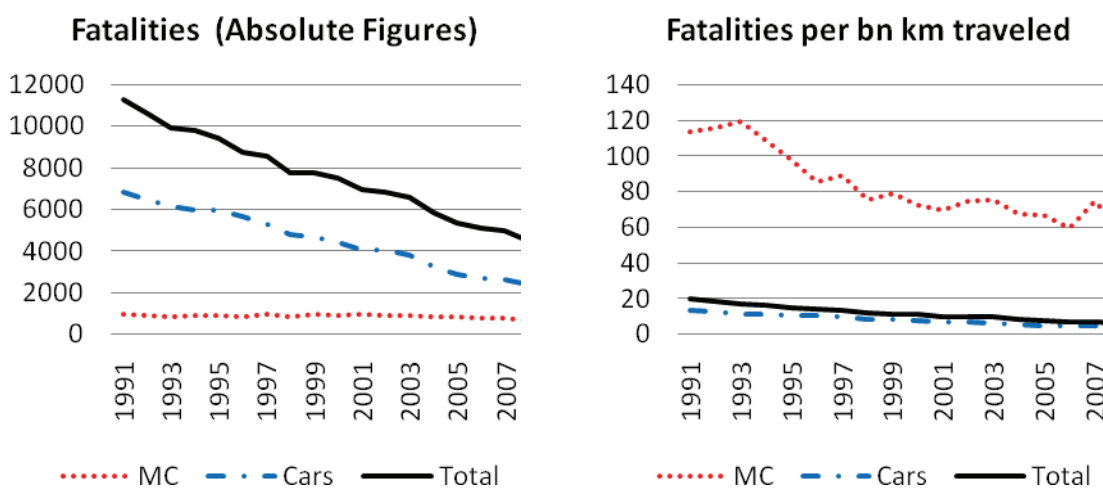


Figure 1: Development of absolute and relative accident figures in Germany for motorcycles (MC, > 125 cc engine displacement), passenger cars and traffic in total [2, 3 and 12]

Plotted against the annual distance traveled in billion kilometers, a strongly decreasing trend for motorcycle fatalities (Figure 1, right) can be observed. This might indicate that the implementation of various safety measures yields fruit. However, despite this positive trend, the risk to be killed or severely injured when traveling with a motorcycle is still 16 times higher than for car users, which motivates to look even closer into accidentology and do research for effective counter measures.

Annual statistics show, that driving accidents (meaning a loss of control occurred prior to the accident) are highly over-represented for PTW users [2].



An analysis of in depths accident studies [4, 5] shows that in more than 65% of all analyzed crashes the pre crash action taken by PTW riders involves either braking, swerving or both (Figure 2).

Moreover, it was shown, that when a loss of control was involved, it was “mostly related to braking and a subsequent change in vehicle dynamics” [5].

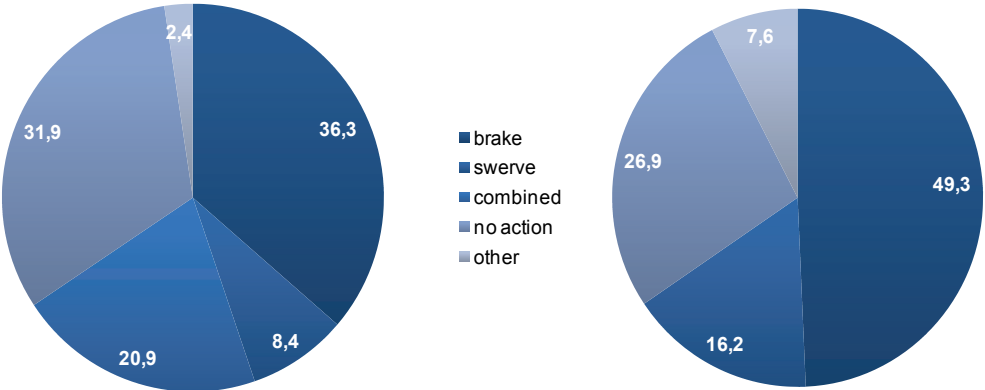

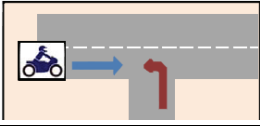

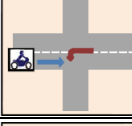



Figure 2: Pre crash actions of PTW users taken from “Hurt's Report” [4] and “MAIDS” [5]. – Please note that the diagram needs to be read clockwise from dark to light color and that the “combined” mode is not listed in the MAIDS data.

A recent study by the accident research division of German insurance providers (UDV, [13]) revealed that 17% of all accidents with severe injuries or fatal consequences can be attributed to running wide on left turn accidents, where the PTW rider was 100% responsible for all recorded accidents of this type (Table 1, cases 1 and 5 added).

Table 1: Predominant accident constellations for severe or fatal PTW accidents [13]

Accident Constellation	This constellation accounts for ...% of accidents with severe injuries or fatalities	... % of this kind of accident led to severe injuries or fatalities	In ...% of these cases the PTW rider was the main responsible
	14%	68%	100%
Driving accident: Running wide on left turn, overland/rural roads			
	12%	25%	25%
Entering T-Junction Collision, urban area			
	4%	55%	22%
Entering T-Junction Collision, overland/rural roads			
	3%	24%	14%
Turning Collision, urban intersection			
	3%	63%	100%
Driving Accident: Running wide on left turn, urban area			

In contrast to the left turn accidents, running wide on right turns very often does not lead to an accident. As long as there is no oncoming traffic, this type of loss of control event can most of the times be handled by the rider. However, as there should be as many left as right turns, this setup is a really dangerous “near accident scenario” which will very likely be fatal, if there is oncoming traffic.

Unfortunately the UDV study does not list the percentage of brake-action involved in the analyzed cases. Taking the numbers from Figure 2 as a rough estimate, at least about 50% to 65% of these should also be linked with braking. In conclusion, 8.5% up to 11% of all severe or fatal PTW accidents are linked with insufficient or inadequate braking while cornering and the disability of the rider to handle the vehicle dynamics of his PTW in these situations. Therefore, it is of particular interest to find technical solutions to the special challenges of corner braking.

## Motorcycle Dynamics and Stability Issues

The most obvious difference between four- and two-wheeled vehicles is the huge roll angle while cornering. The theoretical equilibrium roll angle  $\lambda_{th}$  depends mainly on the lateral acceleration. As defined in Figure 3, the theoretical roll angle is given as:

$$\lambda_{th} = \arctan\left(\frac{F_C}{F_G}\right) = \arctan\left(\frac{a_y}{g}\right) = \arctan\left(\frac{v^2}{R * g}\right)$$

with the centrifugal force  $F_C$ , the weight force  $F_G$ , lateral acceleration  $a_y$ , gravity  $g$ , cornering radius  $R$  and velocity  $v$ . Mainly due to the finite tire width, the total roll angle  $\lambda_{tot}$  will be around 10% larger, than the theoretical value, as characterized by the additional roll angle  $\lambda'$  (For more detailed Information on this topic, see [6]).

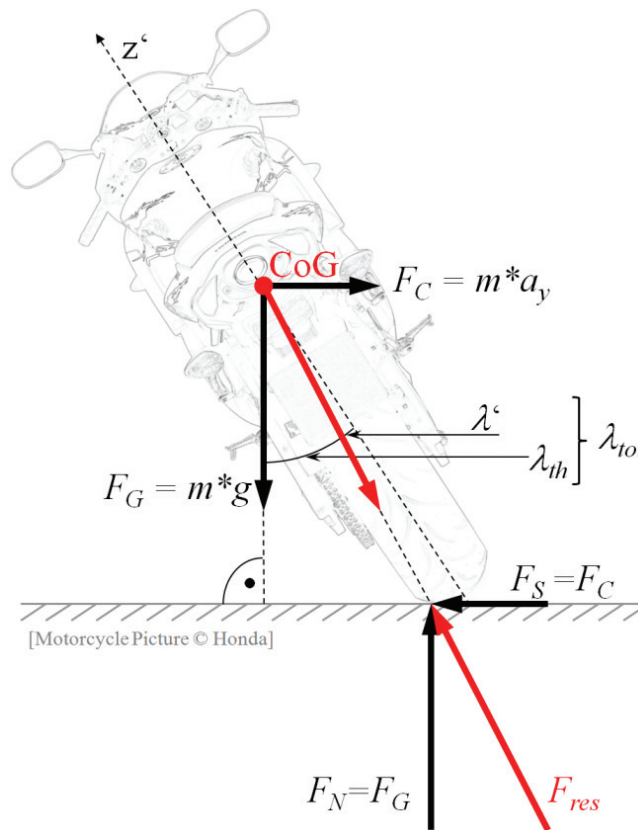


Figure 3: Definition of roll angle (CoG = Center of Gravity,  $m$  = total mass,  $z'$  = vehicle symmetry plane,  $F_G = F_N$  = vehicle weight and tire normal forces,  $F_C = F_S$  = centrifugal and tire side forces,  $F_{res}$  = resulting force)

The equilibrium for the roll angle is unstable. Small perturbations generate a roll momentum that would either cause a capsizing motion or a flip-over of the vehicle. The roll angular velocity can be con-

trolled by handle bar actuation: whenever the handle bars are turned into the bend, the lateral acceleration is increased and thus the vehicle is lifted, and the other way around.

For velocities above approximately 30 km/h, the gyroscopic coupling of mainly the front wheel connects handlebar movement and roll angular movement in a stabilizing way. Below this velocity, the rider needs to turn the handle bars in order to stabilize the vehicle, balancing the center of gravity above the tire contact patch line. Both mechanisms depend on an increase of the vehicle lateral acceleration, which is only possible, if the tire/road combination offers enough friction potential. Stabilization is not present in any case of exceeding this potential, which happens e.g. on slippery roads, and also if the accelerating or braking forces are too high. The gyroscopic coupling also vanishes when the front wheel locks, e.g. if the brake force is too high.

Moreover, the capsizing that occurs because of a locked front wheel generates a camber side force on the rear wheel. The sum of the side forces on the rear wheel does not stabilize (and for higher roll angles destabilizes) the side-slip angular movement. Both movements combine to a sudden fall of the motorcycle that can take as little time as 0.2 seconds from upright position and an accident is almost inevitable [9]. During cornering these times will be significantly shorter.

## **Theoretical Potential of Ideal Corner Braking and Brake Steer Torque Problems during Real Corner Braking**

In comparison to straight braking, corner braking under ideal conditions (even road, constant friction potential, ideal brake force distribution and ideal steering control through the rider) offers a great theoretical potential for shortening stopping distances, illustrated in Figure 4.

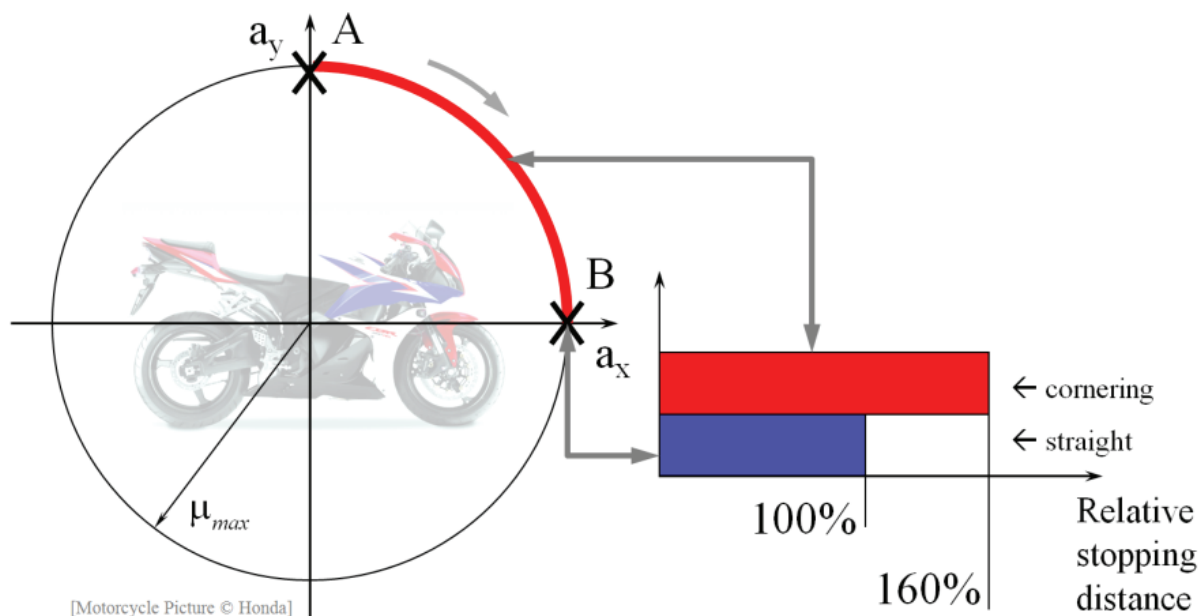


Figure 4: Kamm Friction Circle:  $a_x$ ,  $a_y$  = longitudinal and lateral accelerations, respectively.  $\mu_{max}$  = max. friction potential tire/road.  
 Bar Graph: Comparison of stopping distances (const. radius turn / straight) for a motorcycle from an initial velocity of 30 m/s to a stop (model calculation).

Beginning at steady state cornering conditions with 99 % of the overall friction potential used to generate the necessary side forces (high roll angle, point A), the friction potential for braking increases rapidly with decreasing velocity, side forces and roll angle (moving from point A to B on the Kamm Friction Circle). Thus the total braking distance in the above extreme example is just 60 % longer than in straight braking (being in point B all the time). Smaller initial lateral accelerations will lead to even much better ratios of the relative stopping distance.

A great deal of this potential can be accessed by trained riders under controlled conditions, as can be seen in Grand Prix Racing. However, the smallest irregularity can immediately lead to a crash. Unexpected hazardous situations in real traffic can cause the rider to fall in a sort of shock condition, leading to partly unreasonable reactions. Especially the coordination of conventional brakes under difficult conditions demands too much of the rider's control capabilities (see also quotes<sup>1</sup> from [4]).

---

<sup>1</sup> 12.1 Findings (page 417): "The typical motorcycle accident allows the motorcyclist just less than two seconds to complete all collision avoidance action." – "Motorcycle riders [...] showed significant collision avoidance problems. Most riders would over-brake and skid the rear wheel, and under-brake the front wheel greatly, reducing collision avoidance deceleration. The ability to counter-steer and swerve was essentially absent."

The rider needs to take care of appropriate Brake Force Distribution (increasing at the front and decreasing at the rear), prevent bike flip over and wheel lock plus keep the desired path, just to mention a few of all the control tasks that need to be performed at the same time. Current Combined Brake Systems (CBS) and especially Anti Lock Brake Systems (ABS) could already be of great help, if the riders would brake hard enough. However, knowing the risk of falling with an over-braked front wheel, most riders do not dare to do so, as was revealed by a naturalistic driving study conducted by TU Darmstadt on behalf of the German Federal Highway Research Institute (BAST, [8]).

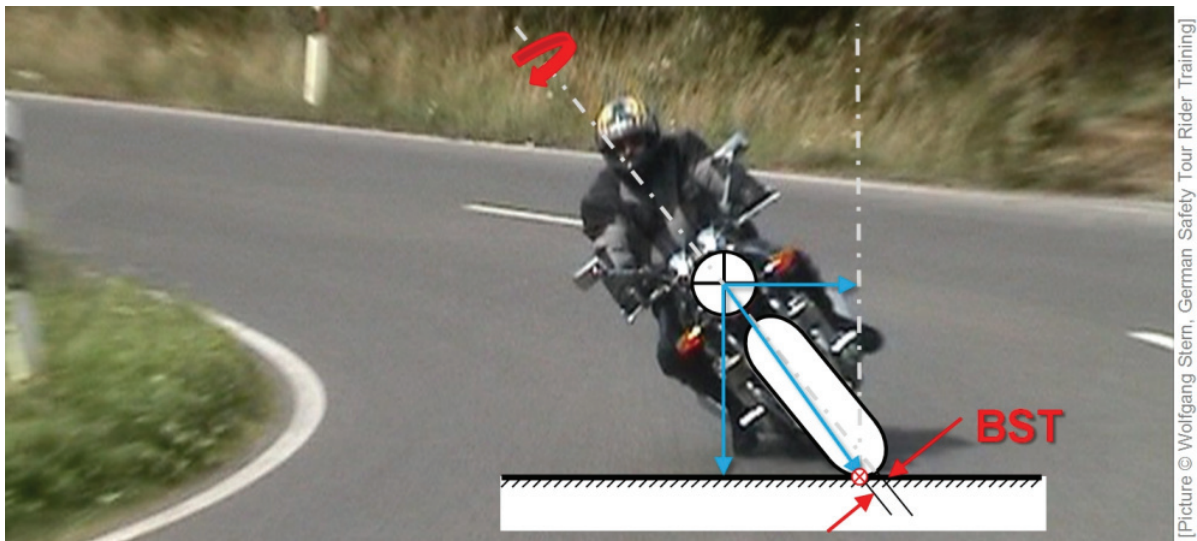


Figure 5: Generation of Brake Steer Torque (BST) through lateral offset between tire contact patch and steering axis in cornering conditions.

An additional disturbing effect that makes corner braking difficult for the rider is the so called Brake Steer Torque (BST, Figure 5). Due to the tire geometry, the tire contact patches move out of plane with the steering axis (see also Figure 3 and Figure 12). If a brake force is applied, especially at the front wheel, the roll angle dependant contact patch offset to the steering axis generates a BST, that wants to turn the handle bars to the inside of the bend. As described in the previous section, this leads to an upward roll movement of the bike, if the rider does not compensate the BST. Given a hazardous situation and high brake force gradients that can also arise from ABS activation, the BST gradient is so high, that the rider is not able to do so<sup>2</sup>.

Finally, even in physically uncritical situations, the upward roll movement of the PTW might confuse the rider when under the influence of shock. The tendency of the PTW to leave its trajectory tangen-

<sup>2</sup> An example time plot of a corner braking situation with an ABS control cycle can be found in [10].

tially often leads to an even stronger application of the brakes, which in turn amplifies the negative side effect (see also quotes<sup>3</sup> from [4]).

In order to take these cornering specific challenges into account, a roll angle sensor is essential for future safety systems [6, 10].

## Approaches to Brake Steer Torque Optimized Corner Braking

In a simplified form, the BST that needs to be compensated by the rider can be written as:

$$\text{BST}_{\text{rider}} = (\text{Brake Force}) * (\text{Offset between Steering Axis and Tire Contact Patch}) \\ - \text{Steering Damper Torque} \\ - \text{Active Counter Steer Torque}$$

This equation shows four different means to approach the BST problem:

1. Reducing the Brake Force (→ “Corner Adaptive Brake Force Distribution”)
2. Reducing the Offset between Steering Axis and Tire Contact Patch (→ “BST Avoidance Mechanism”, BSTAM)
3. Adapting the Steering Damper Characteristics (→ “Advanced (Semi-Active) Steering Damper Control”)
4. Providing an Active Counter Steer Torque (→ “Electronic Co-Pilot”)

### Reducing the Brake Force

Given the fact, that the contribution to the BST effect is much bigger at the front wheel than at the rear (see model calculation, Figure 10), and that the friction-optimal Brake Force Distribution (BFD) becomes anyway more rear wheel oriented under large roll angles (Figure 6), an over-braking of the rear wheel will relieve the front wheel to a certain degree from brake forces and thus reduce the BST effect in partial braking conditions.

---

<sup>3</sup> 7.18 Motorcycle Rider Loss of Control (page 150 ff.): “Also, those riders involved in “running wide on a turn loss of control” gave the same impressions of having no plan or strategy for traffic hazards. In those cases where the rider entered a curve at excess speed, the ability to brake effectively was always absent. Also it appeared that most of these riders would lean adversely (they would straighten up rather than lean into the turn) and thereby reduce ground clearance and cornering ability, and many of the collision contact conditions confirmed this impression.”

In order to assess the technical effectiveness of such a system, preliminary experiments have been carried out at TU Darmstadt. A series BMW F800S motorcycle (with ABS) has been equipped with measurement devices (among others: steering torque, steering angle, brake pressure, and roll angle sensors) as well as manually adjustable brake lever stops for front and rear brake (Figure 7).

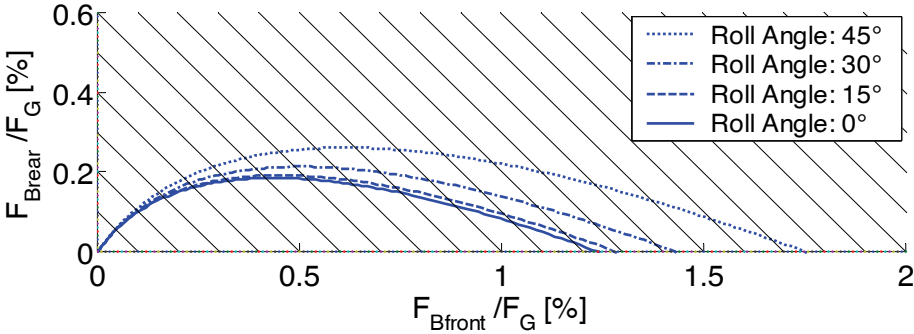


Figure 6: Friction-optimal Brake Force Distribution (BFD) at different roll angles (Model calculation for a sports touring bike equipped with measurement devices,  $F_{Bfront/rear}$  = front/rear brake force [N],  $F_G$  = vehicle weight force [N]). Under cornering conditions, the center of gravity is lower than straight. Since the wheel base remains almost constant, the BFD becomes more rear wheel oriented.



Figure 7: BMW F800S test bike equipped with measurement devices and manually adjustable brake lever stops during corner braking experiments.

The maximum deceleration for rear braking has been experimentally determined to be approximately 0.4 g before the ABS of the test motorcycle is activated. Consequently, this marks the maximal brake force that could be shifted from front to rear by means of a Corner Adaptive BFD. To estimate the benefit for the rider, the front brake lever stop has been adjusted to a point, that allows the same deceleration in a predefined cornering situation (Radius = 70 m, initial velocity = 60 km/h). After preliminary tests (with only two test riders) this seems to be the threshold value to recognize a disturbing BST



effect from a subjective rider point of view. (On a scale from 0 to 10, “don’t feel anything” to “out of control” it was ranked between 1 and 2. However, subjective ratings done on the test track always involve rider training effects. The same riders might judge differently when confronted with a real shock-braking situation.)

Moreover, there is a trade-off between the benefit in BST mitigation and rear wheel stability. On real surfaces an over-braked rear wheel has a strong tendency to wheel lock and thus ABS activation. With conventional ABS this leads to a perpetual alternation between a sliding and rolling rear wheel, causing a harmless and – under controlled boundary conditions – easy to control jerking movement of the bike, which might greatly disturb the rider in real traffic, especially in panic braking. Therefore, the overall positive impact of a Corner Adaptive BFD on the BST effect is estimated to be rather low, from today’s point of view.

However small the potential of such a solution may seem, it is easily accessible by adding a roll angle sensor to current CBS/ABS that offer the possibility to freely transfer brake load from front to rear and vice versa, especially when its ABS control is rather smooth, as it is the case with Honda’s C-ABS mounted on the current CBR-models.

### **Reducing the Offset between Steering Axis and Tire Contact Patch**

The second approach allows a variety of opportunities to deal with the BST effect, ranging from mitigation to full compensation and even over-compensation. The principle of function of a so called BST Avoidance Mechanism (BSTAM) is shown in Figure 8.

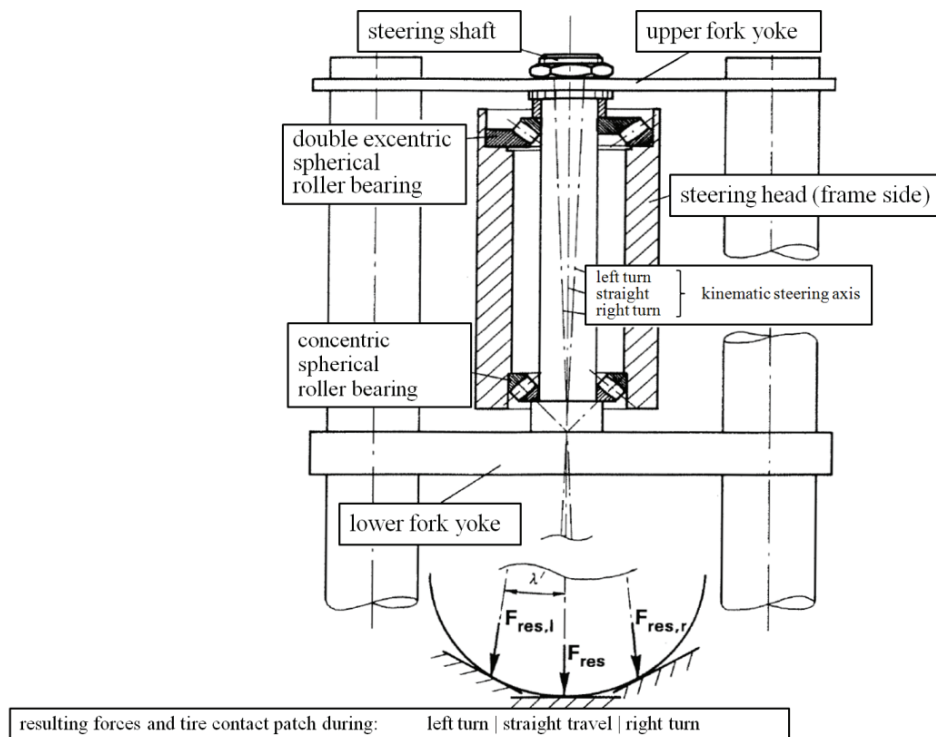


Figure 8: Principle of function of a Brake Steer Torque Avoidance Mechanism (BSTAM [6])

For a full BST compensation the steering axis<sup>4</sup> is moved sideways in such a manner, that it is always in plane with the front wheel tire contact patch<sup>5</sup>. In this BSTAM version, this is achieved by means of a double excentric pickup of the upper spherical roller bearing in the steering head. This solution is seen as the most promising one and will therefore be addressed in detail in the next chapter.

## Adapting the Steering Damper Characteristics

Semi active steering damper control with speed and acceleration dependant damping is already available on the market (e.g. the Honda Electronic Steering Damper (HESD) system in the current CBR-Models). Based on multi sensor information (e.g. brake actuation, roll angle, and others), such systems could be upgraded to selectively react on BST relevant corner braking situations as well. However,

---

<sup>4</sup> It is important to understand the difference between the kinematic steering axis and e.g. the steering shaft as a physical part that do not necessarily have to be collinear. Moving a bearing point means that only the kinematic axis is moved and all other parts stay in place. Only if there is an overlay of steering angle and BSTAM actuation, also the parts will move. Given the usually small steering angles that stay below 10° even for really narrow bends, only a small interference with BSTAM actuation is expected.

<sup>5</sup> This is a simplification to illustrate the function in an easy to understand way and holds approximately true for front braking only. In reality there are many more influences on the BST effect that will make it necessary that the steering axis points in slightly differing directions. (See also the section on control algorithm design.)

damping forces can only be applied when the steering is turned. The function of such a system is therefore limited to BST (gradient) mitigation.

### **Providing an Active Counter Steer Torque**

A fourth solution features an actuator to apply an additional steering torque. Based on a multi sensor layout that – to a certain degree – allows a prediction of the expected disturbing BST, this system allows even more degrees of freedom in terms of an “Electronic Co-Pilot”, than the BSTAM presented before. However, especially such a solution requires a thorough safety concept regarding the intuitive interaction with the rider.

### **Equipping a Test-Motorcycle with a BSTAM**

The theoretical benefit of using a BSTAM on PTW as presented is obvious. Despite the fact, that the initial idea by Weidele is already more than 20 years old, until today, such a system has never been realized on a PTW. Key questions concerning the man/machine interaction (Will the vehicle behavior be intuitive? How will it feel?) as well as the overall maneuver performance in comparison to state of the art system setups (To which degree does it benefit the rider?) remained open.

To find answers to these and other questions, a prototype bike equipped with a BSTAM is currently being developed at TU Darmstadt in cooperation with Honda. Different challenges, the current status and intermediate results of the project are reflected in detail in the next sections.

### **BSTAM System Layout: Mechanical Components & Actuation Concept**

The functional principle of inclining the kinematic steering axis by moving at least one of the steering bearings (see Figure 8) can be applied to a variety of front suspension/steering systems. However, as the telescopic fork mounted on a steering head is the most common system and since it offers advantages to adopt a BSTAM without modifications to the original frame, this combination has been favored. If chassis and fork are to keep their relative position when the kinematic center-point of the upper steering bearing is moved, its inner and outer ring need to be moved synchronously with regards to the steering shaft or frame, respectively. Therefore, a double excentric layout has been chosen (Figure 8 and Figure 9).

In contrast to the depicted version with a separate actuator for each excenter, a mechanical coupling via a set of planetary gears has been implemented. Apart from guaranteeing synchronous actuation, all reaction forces on the bearing are compensated with regards to the adjustment movement. Thus a comparatively small actuator with little energy consumption can be installed, because only inertial and friction forces have to be overcome.

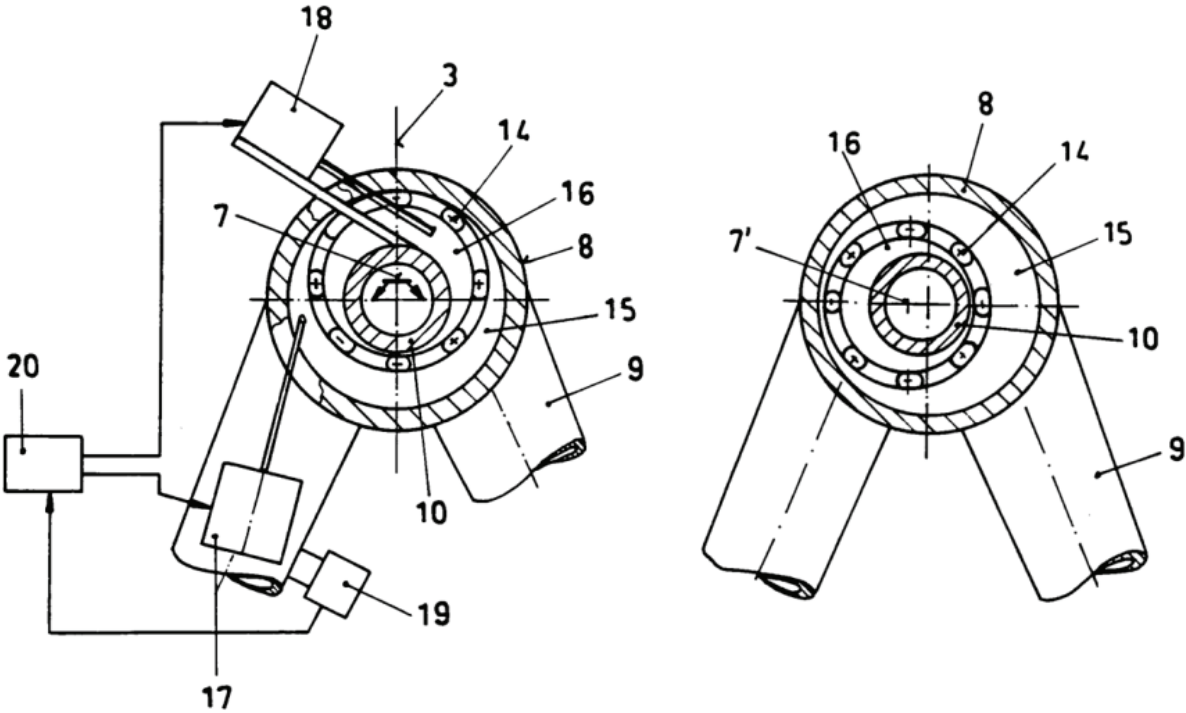


Figure 9: Double excentric BSTAM setup in centered and maximum offset position [14]. In detail: (3) vehicle symmetry plane, (7, 7') upper center-point of kinematic steering axis: centered/inclined, (8) steering head, (9) frame, (10) steering shaft, (14) self-aligning spherical roller bearing (upper steering head bearing), (15) excenter outer bearing ring to frame, (16) excenter inner bearing ring to steering shaft, (17, 18) actuators for outer and inner excenter, (19) roll angle sensor, (20) micro controller

The choice of excentricity depends on the desired maximum compensation factor. Given the fact, that the construction will get much larger with increasing excentricity, a value of 8 mm has been chosen for the presented study. This will allow a complete BST compensation for up to about 20° to 23° of roll angle for the target test bike Honda CBR600RR. Above that value, only partial compensation will be possible.

## Challenges for BSTAM Control Algorithm Design

There is a huge number of influences on the steering torque characteristics of a PTW, especially when it comes to corner braking and even more so when thinking of a vehicle equipped with a BSTAM, which will additionally vary the steering kinematics while driving.

Predominant influences for a standard chassis setup are demonstrated in the following model calculation for a left turn, illustrated in Figure 10.

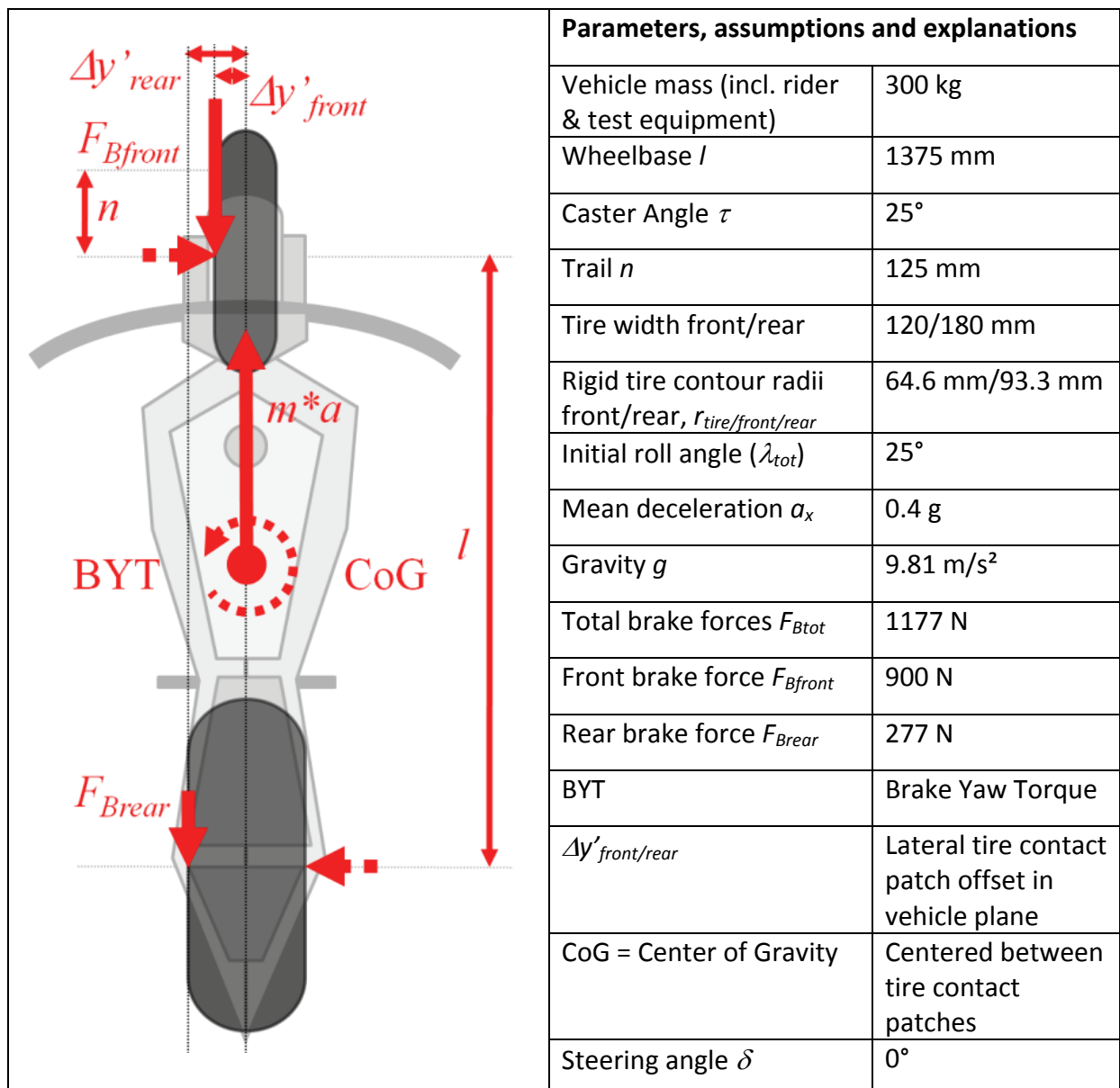


Figure 10: Brake Steer Torque Influences with standard chassis setup: Information for model calculation. (Please note, that the Brake Force Distribution is generic, not “friction-optimal”.)

Given the above parameters and boundary conditions, the lateral tire contact patch offsets in the vehicle plane (see also Figure 12) can be calculated as:

$$\Delta y'_{tire} = r_{tire} * \sin(\lambda_{tot}) \text{ and thus } \Delta y'_{front} \approx 27.3 \text{ mm and } \Delta y'_{rear} \approx 39.4 \text{ mm.}$$

The front wheel contribution to the BST is then:

$$BST_{front} = F_{Bfront} * \Delta y'_{front} * \cos(\tau) \approx 22.3 \text{ Nm.}$$

The brake force on the rear wheel generates a left turning torque on the vehicle body. This torque generates additional side forces on the wheels (one part of the dotted arrows in Figure 10) and the transmission to the steering is defined by trail and wheelbase values as follows:

$$BST_{rear} = F_{Brear} * \Delta y'_{rear} * \frac{n}{(n+l)} * \cos(\tau) \approx 0.9 \text{ Nm.}$$

Moreover, the lateral offset of the tire contact patch line relative to the symmetry plane and center of gravity of the PTW leads to a so called Brake Yaw Torque (BYT, dotted circular arrow) on the vehicle body, which is in the same way transmitted to the steering as the rear wheel contribution:

$$BST_{BYT} \approx F_{Btot} * \frac{1}{2} * (\Delta y'_{front} + \Delta y'_{rear}) * \frac{n}{(n+l)} * \cos(\tau) \approx 3.3 \text{ Nm.}$$

Altogether the quasi static BST for this situation will accumulate to approximately 26.5 Nm, the front wheel contributing the major part of 84%. However, the overall steering torque that needs to be applied by the rider is subject to many other influences. Some of them work in the opposite direction and will mitigate the aforementioned values. Among others, these are the steering torque resulting from side forces, the inertial forces acting on the steering system when cornering and under certain conditions also the wheel load and roll angle dependant steering torque (see also Figure 11). Furthermore, the rider position has a strong influence on the center of gravity position and thus the BYT, which will decrease or even change direction with increasing “hanging off”.

Apart from these general cornering specific issues, other influences on the steering torque characteristics arise from the steering axis inclination caused by the BSTAM.

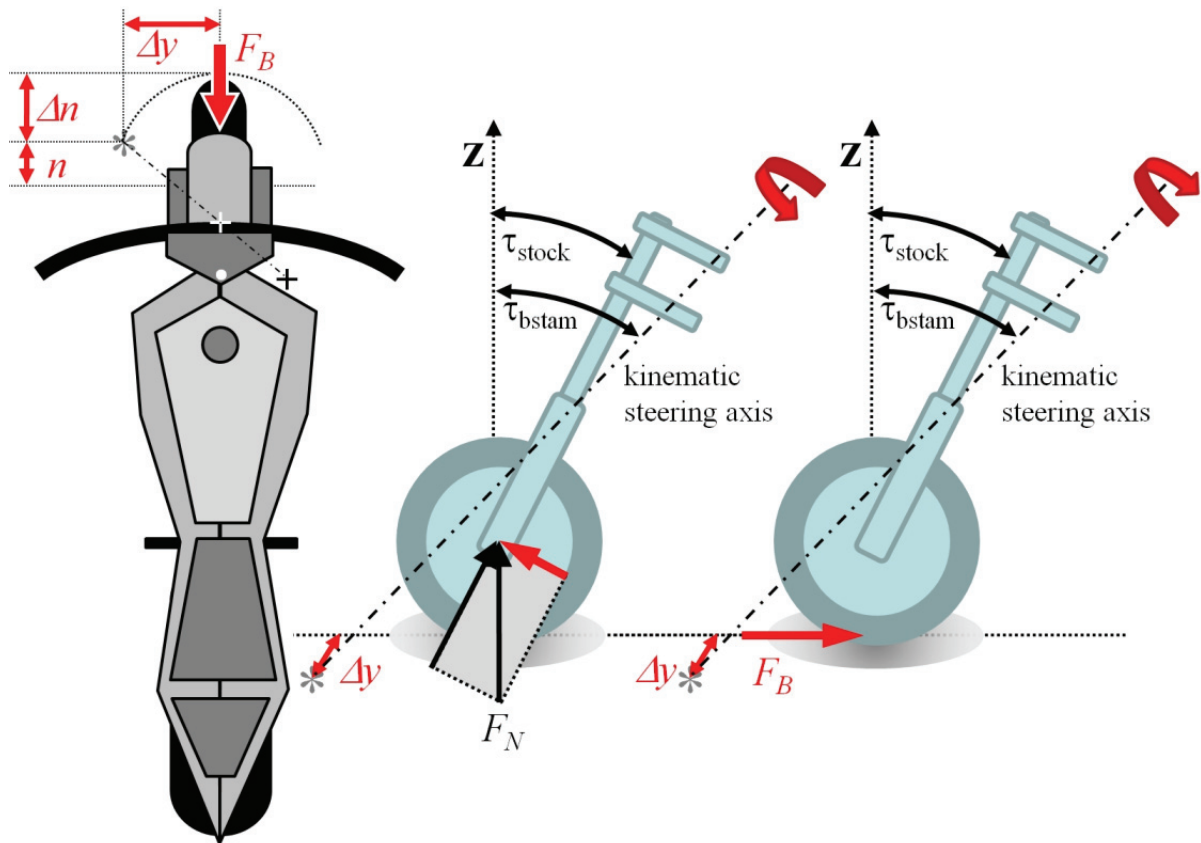


Figure 11: Examples for BSTAM specific influences on the steering torque in straight running conditions, steering axis inclined to the left (See full text for a detailed description.)

The left picture in Figure 11 shows the bird view of a motorcycle in straight running conditions. Upon BSTAM actuation, the upper steering bearing is moved from its design position (white dot on fork yoke to black “+”-sign). The kinematic steering axis (dash-dotted, defined by the two bearings, black and white “+”-sign) pierces the road plane in the spot indicated by the gray “\*”-sign. Depending on the BSTAM position, trail ( $n$ ,  $\Delta n$ ) and lateral offset between steering axis and tire contact patch ( $\Delta y$ ) vary (dotted circle). In the middle picture of Figure 11 it is shown, that the normal force ( $F_N$ ) on the front wheel has a component acting normal to the fork (red arrow in force-parallelogram). Given the lateral offset ( $\Delta y$ ) due to BSTAM deflection as depicted, this force generates a steering torque to the left. In consequence, the rider needs to apply a static steering torque to the right in straight running conditions already. This effect is amplified, if the front wheel load is increased, e.g. through dynamic wheel load transfer when braking, or it can cause steering torque fluctuations when running over a bumpy surface. The right picture shows, that if a brake force ( $F_B$ ) is applied in the front, this will generate a steering torque to the right. Thus, the sense of direction of the steering torque that needs to be applied by the rider may change sign suddenly if the front brake is applied or released while the steering axis is in an inclined position.

In real world tests, it is of utmost importance, to keep this special behavior in mind, when trying out a BSTAM with fixed offsets, e.g. when simulating an actuator failure, especially in cornering conditions.

Yet another effect that might pose a challenge for BSTAM control algorithm design with a telescopic fork is that the distance between the steering head bearings and the tire contact patch changes with suspension travel, as depicted in Figure 12. Thus, also the compensation level varies. The wheel load dependant deflection of the tires and the roll angle dependant effective tire rolling radius as well as the steering angle bring further insecurities.

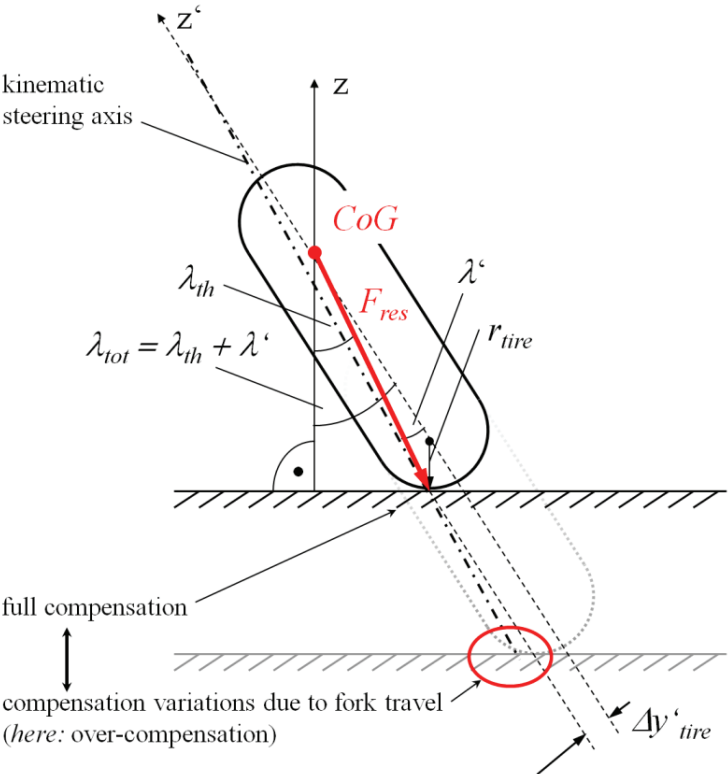


Figure 12: Roll angle dependency of the lateral tire contact patch offset and BSTAM compensation variations due to fork travel

Of course, when regarded in detail, the list of influences and variables is even longer than the basic effects presented above. For practical reasons it is neither possible to measure all of these influences and feed them to a controller, nor to easily assess their interaction in transient driving situations with simple analytical models. For a robust control application it is inevitable to find reasonable simplifications and strategies that cover the resulting uncertainties in a way, that the behavior of a PTW equipped with the system will always be predictable and intuitively to be handled by the rider.



In order to get an idea of the range of influence that the presented BSTAM hardware can give on vehicle dynamics, maximum and intermediate BSTAM deflections have been analyzed by means of a Multi-Body-Simulation model, as presented in the next section.

## Test Scenario Design and Simulation Testing

Test scenarios should be as close to reality as possible, be safe and easy to perform for the test riders and clearly show the BST(AM) effects, e.g. in order to evaluate different (worst case) system setups or derive information for control strategy design.

Based on the aforementioned control challenges and a study that identified typical BST relevant accident hot spots to be characterized by disadvantageous series of curve radii [11], the following test scenarios have been chosen for constant speed and braking experiments:

- Straight
- Entering into a turn from straight conditions
- Constant radius cornering
- Narrowing bend
- Slalom
- Lane change

In order to avoid surprises for the rider in first real world testing, all experiments are investigated in a Multi-Body-Simulation environment before they are transferred to the real world. Up till now, only passive BSTAM setups have been tested.

The simulation results of all experiment types show the same two predominant effects which have already been addressed in the previous chapter (see also Figure 11). These are the wheel load dependency and the possibility for a change of sign in the steering torque, whenever the brakes are applied or released with an inclined steering axis. The constant radius cornering and corner braking experiment may serve as an example for this behavior.

### Constant Radius Cornering and Corner Braking

The test track for this experiment consists of a 50 m straight that abruptly enters into a constant radius left turn of 70 m radius. Starting with a velocity of 17 m/s, the rider controller initiates the entrance to the constant curve radius by a steering impulse at 32 m distance travelled, which can be seen in both the steering torque and angle signal. The roll angle is increased until steady state cornering conditions are reached at a roll angle slightly above 25°. Shortly after reaching steady state, the clutch is disen-

gaged and a partial front braking with a mean deceleration of approximately  $3.75 \text{ m/s}^2$  ( $= 0.38 \text{ g}$ ) is initiated after 76.5 m distance travelled.

Since the braking signal is fed to the simulation in open loop, the rider controller is “surprised” by the sudden BST kick in, if spoken in human terms. The steering angle shows a slight turn towards the inside of the bend and also the steering torque signal reflects this dynamic disturbance with reactive peaks. However, these are soon leveled out by the controller and the already familiar change of sign in steering torque demand can be observed, especially for the “wrong direction” setups. Again, when releasing the brakes, this effect will be reversed and requires high attention in real world testing.

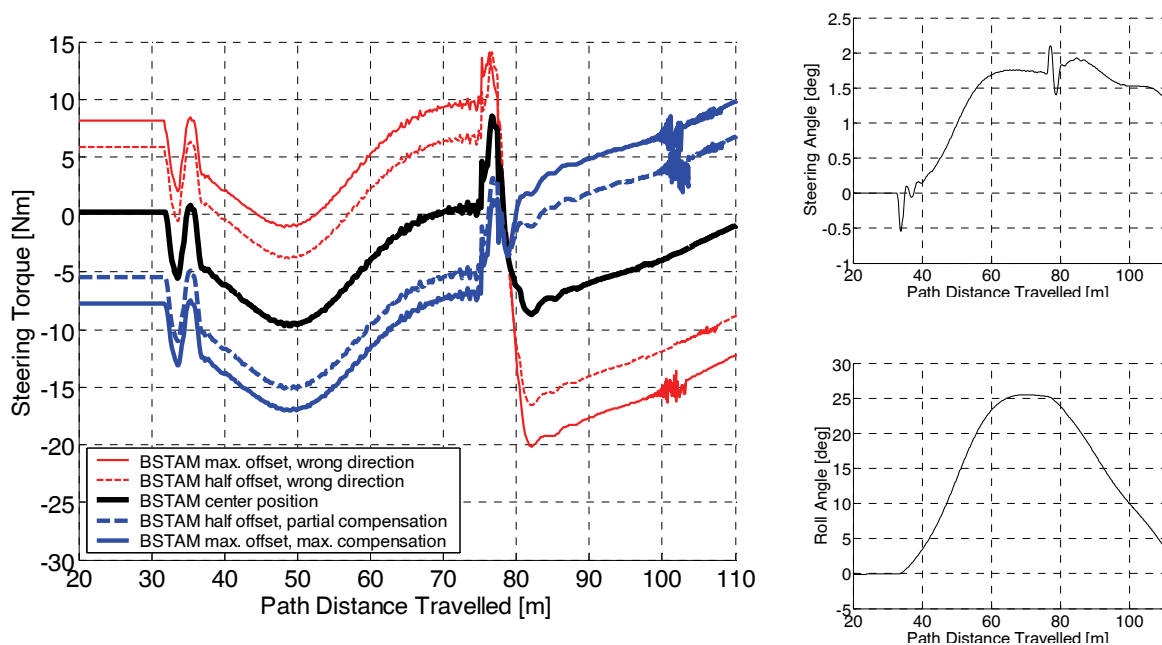


Figure 13: Steering Torque [Nm], Steering Angle [deg] and Roll Angle [deg] plotted against Path Distance Travelled [m] for a Constant Radius Cornering and Corner Braking Experiment with different passive BSTAM setups in a left turn. Roll and steering angle as well as steering torque are counted positive to the left.

Looking at the solid black centerline after quasi static corner braking conditions have been reached shortly after 80 m distance travelled, a BST of about 7.5 Nm can be observed. Given the constant radius and deceleration<sup>6</sup>, roll angle and with it the lateral tire contact patch offset towards the steering axis decrease, resulting in a positive trend in the steering torque demand.

<sup>6</sup> To be totally correct, also the resulting brake force at tire contact patch level will change with the roll angle dependant effective tire radius. A temperature and speed sensitive friction coefficient of the brake disc/pad combination will lead to additional insecurities in real world experiments, if brake demand is defined and held constant at brake pressure level, e. g. with brake lever stops.

Regarded from the perspective of control algorithm design, the whole area between the red and blue solid lines for maximal offsets can be covered by the mechanical setup. Thus a sophisticated control algorithm and powerful actuator could generate any desired (B)ST characteristic within this field.

When thinking about a simple roll angle proportional control strategy, a negative effect of much higher constant radius cornering steering torques when there is no braking can be observed (transition from the solid black centerline towards e.g. the dashed blue line while entering the constant radius turn). However, the results for partial compensation (dashed blue line) show the right trend towards zero BST disturbances, when active actuation will level out the climbing lines for travel distances greater than 80 m.

Another option for control algorithm design can be derived in form of a step control. For situations without braking, the BSTAM is held at center position. Roll angle and rider brake demand are measured, and as soon as a BST will occur, the BSTAM will jump to the correct compensation level and then follow in a continuous way or fall back when the brakes are released.

Apart from the change of sign problem, further problems with such active systems in real testing could arise from road unevenness, which will create varying disturbances with different BSTAM setups.

However, the more or less constant offsets in steering torque demand with passive setups should be intuitive to handle by test riders in all aforementioned maneuvers, as long as there is no harsh front braking and the correlated change of sign in steering torque.

## Conclusions and Future Outlook

The relevance of BST for cornering accidents has been derived from accident analyses. The effect kinematics have been shown and four different approaches to BST optimized corner braking have been presented. Focusing on the prototypical equipment of a motorcycle with a Brake Steer Torque Avoidance Mechanism (BSTAM), different challenges and possible solutions have been discussed. First simulation experiments have been carried out for passive system setups.

On one hand, these experiments underline the function potential of a BSTAM given an appropriate control design and on the other show restrictions and limitations, be it the increasing influence of wheel load variations to the steering torque demand or even more so the critical “change of sign behavior” for extreme configurations at (front) brake kick in respectively release.

Apart from the completion of the hardware setup, the main challenge for the progress of the project lies in the development of a control algorithm that allows intuitive vehicle handling in all conditions, eliminating side effects as increased stationary steering torque demands as much as possible and giving maximally neutral reactions on brake kick in or release. As such a design might necessitate to make use of the “wrong side” BSTAM actuation field, a thorough safety concept and fail safe design are essential. Other key issues will be the analysis of rider behavior patterns and a safe reproduction of relevant (critical) situations with test persons in the loop as well as the correlation of subjective impressions with measured data.

If the prototype can prove a significant benefit in comparison with state of the art layouts, further challenges would arise from the perspective of series production, in terms of making the system smaller, lighter, simpler and cheaper, or to adopt the system to other suspension/steering system combinations which might even benefit the function.

However, the possibility of applying a BSTAM to a PTW also could open new dimensions when thinking about front tire contour design and even more so the front tire width, especially when it comes to extreme “custom bikes”. More theoretical applications can be seen in pre crash measures such as autonomous corner braking or some sort of “Co-Pilot” function that makes use of the BSTAM control in order to adjust the current trajectory in order to bring the rider in a more beneficial position, e.g. before an airbag is deployed.

This of course lies in the far future and depends on the outcome of the next steps of bringing the BSTAM from the simulation to the real world.

## Quellen / References

- [1] **Bundesamt für Statistik (StBA):** Verkehrsunfälle – Unfallentwicklung auf deutschen Straßen 2008. Wiesbaden, Juli 2009
- [2] **Bundesamt für Statistik (StBA):** Verkehrsunfälle – Zeitreihen 2008. Wiesbaden, Juli 2009
- [3] **Bundesamt für Statistik (StBA):** Verkehrsunfälle – Zweiradunfälle im Straßenverkehr 2008. Wiesbaden, November 2009
- [4] **Hurt, Ouellet, Thom:** Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures Volume I: Technical Report. U.S. Department of Transportation, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, D.C. 20590, Final Report, January 1981 (“Hurt’s Report”)
- [5] **European Association of Motorcycle Manufacturers (ACEM):** MAIDS: Motorcycle Accidents In Depth Study – In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers. www.maids-study.eu, Final Report 2.0, April 2009 (“Maids Report”)
- [6] **Weidele, Alois:** Untersuchungen zum Bremsverhalten von Motorrädern unter besonderer Berücksichtigung der ABS-geregelten Kurvenbremsung. Dissertation TH Darmstadt, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1994
- [7] **Spiegel, Bernt:** Motorradtraining alle Tage: Das Übungsbuch zu Die obere Hälfte des Motorrads. Motor-Buch-Verlag, Stuttgart, Juni 2009
- [8] **Präckel, Jürgen:** Die Motorradbremsung im System Mensch/Maschine/Umgebung. Dissertation TU Darmstadt, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1999
- [9] **Funke, Joachim:** Belastung und Beanspruchung von Motorradfahrern bei der Bremsung mit verschiedenen Bremssystemen. Dissertation TU Darmstadt, VDI-Verlag, Düsseldorf, 2007
- [10] **Seiniger, Patrick et al.:** Entwicklung einer Rollwinkelsensorik für zukünftige Bremssysteme. In: Institut für Zweiradsicherheit (Hrsg.): 6. Internationale Motorradkonferenz. Köln, 2006
- [11] **Hessisches Landesamt für Straßen- und Verkehrswesen:** Maßnahmen zur Erhöhung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken, 2003 – Nach:  
**Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen(FGSV), Arbeitsgruppe Verkehrsmanagement:** Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken (MVMot R2), Ausgabe 2007
- [12] **Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung (BMVBS):** Verkehr in Zahlen 2009/2010. Deutscher Verkehrs-Verlag, Hamburg, 2010
- [13] **Kühn, Matthias:** Analyse des Motorradunfallgeschehens - Interdisziplinäre Analyse der Sicherheitslage von Motorradfahrern in Deutschland. Unfallforschung der Versicherer (UDV) im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), Präsentation, UDV Jahrestagung, 2008

[14] **Deutsches Patentamt:** Offenlegungsschrift DE 3933058 A1, [DE] Motorradlenkung, [EN] Compensated steering for motorcycle, Anmelder/Inhaber: Breuer, Bert; Weidele, Alois, Erfinder: Weidele, Alois. Anmeldung: 04.10.1989, Offenlegung: 11.04.1991

**Evaluation of the safety benefits of electronic brake-control  
systems in single-track vehicles**

**Untersuchung des Sicherheitsgewinns durch elektronische  
Bremsenregelsysteme in Einspurfahrzeugen**

Dr. Georg Roll, Oliver Hoffmann

Division Chassis & Safety  
Continental

## Abstract

Electronic brake-control systems with slip and vehicle dynamic control functionality are meanwhile an agreed standard in passenger cars. Unfortunately, motorcycles and motor scooters are rather rarely equipped with active safety systems until now, although especially in single-track vehicles great benefits could be achieved with these systems, as a detailed accident study shows based on real accident data provided by the DEKRA accident database for PTWs (powered two-wheelers).

Additionally to ABS and integral brake, some driver assistance systems based on obstacle recognition via camera and / or radar and active brake intervention (without driver reaction) are considered in the study.

With the help of some simple physical calculations the detailed accident data are used to estimate, how the damaging effects of the accidents could have been reduced and how many accidents could have been totally avoided, if the involved motorcycles had been equipped with the different brake-control and assistance systems.

As an example of an affordable brake-control system, which could be applied to all motorcycles and motor scooters of medium and high engine size, a 2-channel ABS (anti-lock brake system) with integrated TCS (traction control system) based on a quite simple digital engine interface is introduced.

A considerable safety advantage in single-track vehicles can be gained from the recognition of cornering maneuvers.

For the special case of a scooter with three wheels (two front and one rear wheel) it is shown how important parameters of ABS and TCS control can be adapted dynamically depending on the degree of cornering.

Moreover, the presented concept is well suited to perform vehicle dynamics control similar to the ESC (electronic stability control) interventions in passenger cars.



## Kurzfassung

In Personenkraftwagen sind elektronische Bremsenregler mit Schlupfregel- und Fahrdynamikregel-funktionen mittlerweile absoluter Standard. Leider haben derartige Sicherheitssysteme in Motorrädern und Motorrollern noch keine große Verbreitung gefunden, obwohl diese Systeme gerade in Einspur-fahrzeugen einen erheblichen Sicherheitsgewinn bieten, wie die hier vorgestellte Unfallstudie zeigt, die auf realen Verkehrsunfällen der DEKRA-Unfalldatenbank für motorisierte Zweiradfahrzeuge basiert.

Neben ABS (Antiblockiersystem) und Integralbremse werden in dieser Studie auch Fahrerassistenz-systeme bewertet, die auf einer Hinderniserkennung mittels Umfeldsensorik (Kamera, Radar) und aktiven Bremsengriffen (ohne Fahrerreaktion) basieren.

Anhand der exakten Unfalldaten wird berechnet, in welchem Maße die real aufgetretenen Unfallfolgen reduziert bzw. einzelne Unfälle vollständig vermieden worden wären, wenn die beteiligten Motorräder mit den betrachteten Bremsenregelsystemen ausgerüstet gewesen wären.

Als Vorschlag für ein kostengünstiges Bremsenregelsystem, das in allen Motorrädern und -rollern der mittleren und oberen Hubraumklasse eingesetzt werden könnte, wird hier ein 2-Kanal-ABS mit integriertem TCS (Traktionskontrollsystem) vorgestellt, das auf einer einfach zu realisierenden digitalen Motorschnittstelle basiert.

Einen erheblichen zusätzlichen Sicherheitsgewinn erzielt man in Einspurfahrzeugen durch die Erkennung von Kurvenmanövern.

Für den speziellen Fall eines dreirädrigen Motorrollers (2 Vorderräder, 1 Hinterrad) wird gezeigt, wie durch eine sichere Kurvenfahrterkennung wichtige Regelparameter von ABS und TCS dynamisch an Manöver mit variabler Querdynamik adaptiert werden können. Ferner erlaubt das Konzept fahrdynamische Regelungseingriffe, die dem ESC (Elektronische Stabilitätskontrolle) bei Personenkraftwagen nachempfunden sind.

**Evaluation of the safety benefits of electronic brake-control  
systems in single-track vehicles**

## Introduction

Having a closer look to the movement of a motorcycle in traffic it is necessary to mention that only the motorcycle including the driver represent a unit which is able to drive safely through the traffic. It is a unit which is able to organize and drive itself, a so called “self managing and movable unit” (see figure 1). Each task which needs to be solved by this unit can be distributed either to the driver or to the motorcycle itself.

The motorcyclist is the intelligent control center of the system. He first provides the commands to control the vehicle. This includes steering, the modulation of the throttle to accelerate and brake lever for braking as well as pressing the clutch with the related operation of the gear shift.

He must also continually check the road conditions and assess whether the selected driving maneuvers can be performed really well under the current circumstances. An observation of the space in front of the vehicle is to be done, just as that of the road surface and the traffic situation. A prospective motorcyclist also always considers security strategies that come into effect, if the traffic situation changes and alternative responses are required.

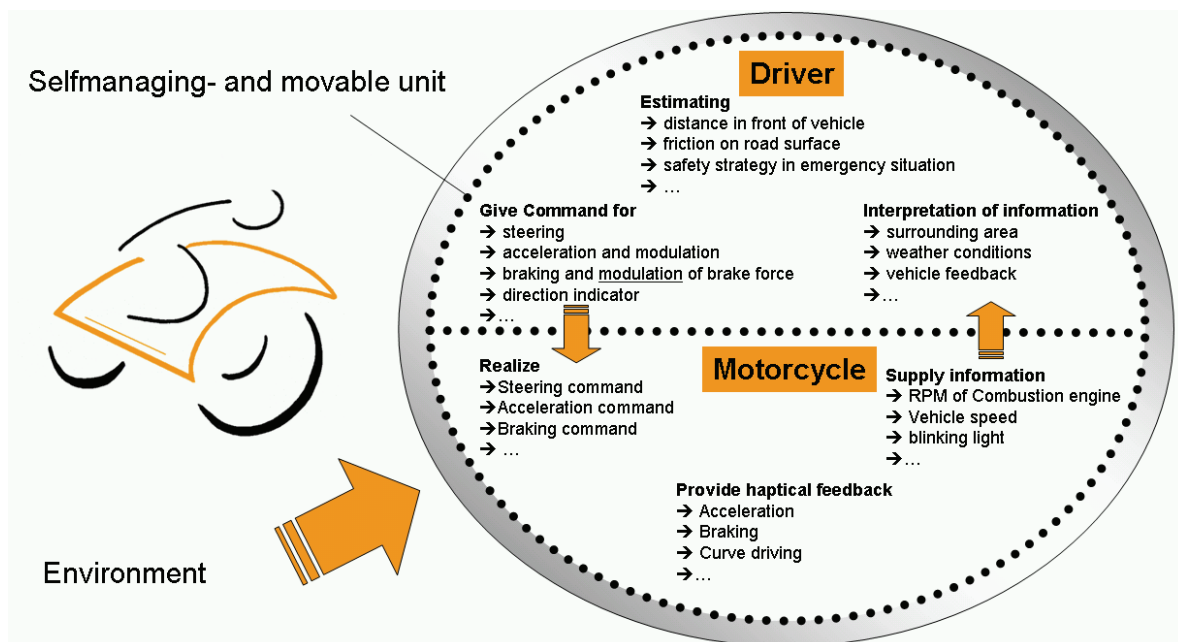


Fig. 1 Task distribution driver / motorcycle

The driver also must be able to interpret the information correctly in the environment of the situation. Changing weather conditions play an important role just as a changing road surface due to moisture or dirt.

The bike has implemented primarily the task of the conversion of the driver's commands, such as steering, accelerating and braking. The precision and the manner of this implementation is the standard

by which other motorcycle manufacturers in the international motorcycle market are defined and their competitive advantages measured.

The same applies to the provision of a general haptic feedback to the driver. The acceleration and braking is one of the essential elements of experience that the driver gets returned from the vehicle. Driving in the curve and in particular the way how to move a vehicle (the so-called handling) is for many vehicle segments an important experience criterion.

Furthermore, the driver is continually informed about the condition of the vehicle by the motorcycle i.e the revs of the internal combustion engine, the current vehicle speed, the condition of the turn signals and other information such as errors of electronic control units. Such information is transmitted by the cockpit displays.

All in all vehicle and driver are one unit, in which the provision of information and processing stands in a very close relationship. It is a tightly coordinated system where the driver includes the characteristics of the vehicle, which also has some value in the choice of the bike. A certain learning process runs during the run-in of the motorcycle in which the "intelligent control" (driver) adapts to these features. The final result is a coordinated, autonomous and mobile unit.

This system continuously monitors the actual driving data and compares them with the environmental conditions. However, there are situations, especially emergency braking situations in which the driver must devote his capabilities to the solution of a very complex task. Thus assisting the driver for certain sub-tasks is extremely helpful.

If the driver, for example, is confronted with the situation that another vehicle intersects the road, he must decide in split seconds how to manage the situation by braking and steering. The action must consider the surrounding area, especially the space in front of the vehicle as well as surrounding traffic. Especially when braking, the road surface and texture play an important role. The driver must assess how much kinetic energy can be degraded for the operation of braking without the locking of a wheel, because this could cause an almost immediate fall. On the other hand a tentative braking leads to a stable driving condition of the vehicle, but the stopping distance is unnecessarily prolonged because the maximum friction potential between the tire/road is not utilized and therefore not implemented to obtain maximum braking power.

It might be a possibility to reduce the vehicle speed substantially so that the driver can take an evasive action. This is naturally easier at low speed than at high speed.

The complexity of the reaction is enhanced by the fact that the driver in such a situation is in a kind of shock or stress state: a realistic scenario is a collision with the vehicle that just crosses the road. Such collisions, however, lead inevitably to significant injuries which are often fatal.

Therefore, the question arises, to what extent driver assistance systems, in particular ABS, are able to relieve the motorcyclist and which accident prevention potential is possible with such driver assistance systems.

The theoretical and practical investigations presented here are on the one hand are the result of development activities for ABS, TCS and driver assistance systems at Continental and on the other hand the outcome of certain research activities (SIM = Safety in Motion [1]) carried out in cooperation with other companies and institutes.

In the modern world of motorized single-track vehicles or powered two-wheelers (especially motorcycles and motor scooters) electronic brake-control systems are not very common yet, although these vehicles have meanwhile reached a very high technical standard concerning other components, such as engine and gear units, and are therefore partly positioned in high price classes.

The following section 1 discusses the results of theoretical investigations concerning the possible benefits of modern brake-control systems in single-track vehicles.

This is based on an evaluation of real-accident data. With the help of characteristic examples it can be shown that brake-control systems are capable of providing many secondary benefits which exceed the effects of the primary benefits of braking stability and optimized braking deceleration significantly.

Section 2 deals with the special requirements of properly working ABS and TCS systems for motorcycles and scooters, exposing the differences to the long-established systems in passenger cars. Some special features and adaptations for motorcycles are discussed with the help of some records of real braking and traction maneuvers.

In section 3 the situation of braked and accelerated cornering, particularly critical for motorcycles is discussed in detail. Based on an interesting 3-wheeled scooter (MP3 from Piaggio) a technical solution is shown to measure the degree of cornering (roll angle) in a quite simple manner.

# 1 Accident investigation based on the DEKRA accident database for PTWs

In order to evaluate the effects of modern brake-control systems in single-track vehicles, Continental analyzed accident data sets which had been generated from 1996 to 2007 based on severe traffic accidents and recorded in the DEKRA accident database for PTWs (PTWs = Powered Two Wheelers) for statistic purposes and further calculations.

Each of the recorded accidents is characterized by the fact that at least one PTW was involved. From the 350 stored cases DEKRA extracted exactly those cases where the respective PTW driver had tried to perform full braking at least during a certain time interval and therefore had shown the intention to avoid the oncoming collision by decelerating his own vehicle. The result of this case filtering was a set of 51 relevant accident scenarios where good braking would have been of advantage for the PTW driver.

The theoretical investigation then carried out by Continental had the aim to evaluate by what degree modern brake-control systems (such as ABS and higher control functions) would have been capable of mitigating the damages or of totally avoiding the collision, if the respective PTWs had been equipped with the certain systems (see figure 2).

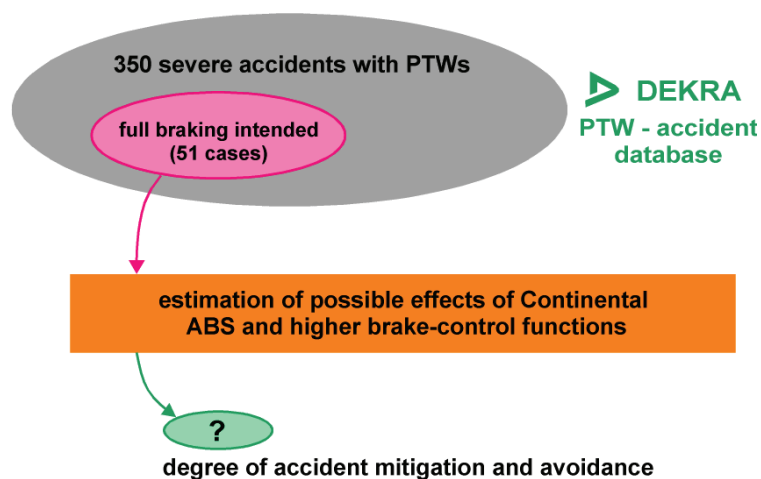


Fig. 2 Procedure of the accident-case selection and investigation

Figure 3 shows a photo of a typical scene of this accident category.

The driver of the passenger car responsible for the accident tried to cross a roadway without taking notice of an appearing motorcycle driving on the road with approximately 100kph.



*Fig. 3 Accident photo, final positions of the crash opponents  
Source: DEKRA accident database*

Figure 4 visualizes the proceeding of the accident with the help of a sketch. The true to scale map shows the environment of the accident and the positions of the crash opponents at certain characteristic time steps. These relative time steps refer to the collision time and are mainly characterized by the behavior of the PTW driver. The distances between motorcycle and passenger car can directly be seen from the map.

Further important parameters of the accidents are the driving speeds of the crash vehicles at the marked time steps, especially the respective speed of the motorcycle crashing head-on into the rear side of the car. Therefore the severity of the crash just depends on the speed of the motorcycle.

Point R (Reaction) in the sketch shows when and where the motorcyclist made the decision for braking. Point B (Braking) shows when and where the motorcyclist was first capable of operating the brakes in that way that we can talk about an (at least intended) full-braking state.

Point K (Collision) describes the crossing and collision point of the crash opponents at “time step 0”.

The table in figure 5 shows a summary of all relevant data.

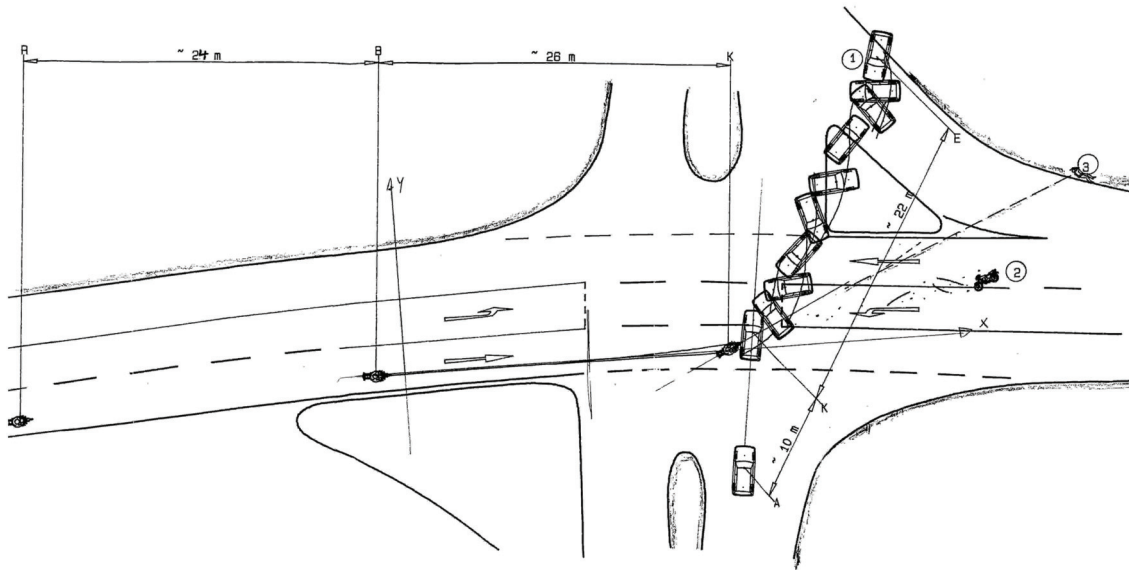


Fig. 4 Accident sketch, positions of the involved crash opponents at characteristic time steps  
Source: DEKRA accident database

As we can learn from the accident data, the motorcycle hits the car with almost 70kph. The severe crash forces the car to perform 1,5 turns around its vertical axis. Over the whole distance of 52m between the opponents at the reaction time of the PTW driver, the motorcycle could reduce its speed by no more than 23,6 kph.

So this example demonstrates impressively how low the median deceleration of a vehicle can be, if the brakes are applied in a hesitating and too careful manner.

Moreover, this case gives us a typical example for a situation where the collision could have been totally avoided, if the braking deceleration of the PTW had been a little higher. The motorcycle hits the car just at the rear. If the PTW had reached the collision point only a few 100 milliseconds later (due to higher deceleration) the car would have been already out of the way caused by its own driving speed so that the crash would not have happened at all, in spite of the still high crossing speed of the motorcycle.

Time to Collision	delta t	Driving velocity		Distance to Collision	delta s	Acceleration	Distance to coll.-partner	Sight distance to coll.-partner	Pre-Crash-Phases
[s]	[s]	[km/h]	[m/s]	[m]	[m]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	
0	0	70	19,4	0	0				Collision of PTW 01 against car 02
-0,45	0,45	81,4	22,6	-9,5	9,5	-7	11	11	Frontal and rear wheel braking, car 02 enters lane
-0,9	0,45	89,5	24,9	-20,2	10,7	-5	23	23	Driver 01 is braking, driver 02 looks to the left
-1,13	0,23	93,6	26	-26	5,8	-5	29	29	Driver 01 starts rear wheel braking
-2,13	1	93,6	26	-52	26	0	57	57	Reaction point driver 01, car 02 drives constantly

Fig. 5 Table of characteristic accident data  
Source: DEKRA accident database



All 51 investigated accident cases are characterized by similar conditions as the accident shown in figure 3. A car driver usually causing the accident underestimated the speed of an approaching motorcycle or did not take notice of the motorcycle at all. Normally the car driver tried to cross a road with the right of way or turned into such a road or tried to perform a U-turn on a road.

An early initiated braking with a deceleration close to the physical maximum would have been of enormous importance for the affected motorcyclists in order to reduce injuries and damages or to totally avoid the accident.

All motorcycles involved in the accidents were not equipped with an electronic brake-control system such as ABS.

In order to estimate the accident-mitigating effects of ABS and higher control functions in the individual cases, the investigation was carried out in two steps.

First, on the basis of the real-accident data (type of road surface, weather conditions, kind of maneuver) the physically achievable braking deceleration was determined, and then recalculated by using simple physical laws how the accident would have been affected if the respective motorcycle had reached this deceleration.

Unfortunately, we cannot learn from the accident database how exactly the particular driver applied the brakes (between point R and B in the above accident sketch) before full braking took place. We only know the starting point of full braking (point B) and the median deceleration between this point and the collision point (point K).

Nevertheless, the driver behavior previous to the full-braking interval is of importance.

Operating the brake lever(s) at full speed up to the locking point(s) of the wheel(s) has the favourable effect of reaching the full-braking point B sooner, and therefore the above-specified distance to the collision point K is increased. But it is not easy even for an experienced driver to reach optimal braking points abruptly without brake-control system.

This is due to the key factors described by two typical patterns of behavior of motorcyclists acting in panic (see figure 6).

The first one leads to the situation, the result of which is shown with the dashed signal lines. The driver first applies the front-wheel brake with high pressure increase gradient, then hesitates a little, and afterwards applies too much brake pressure, which forces the front wheel into locking. The PTW gets unstable, hits the ground and slides towards the crash opponent. Although the hard brake application leads to good deceleration results in the first braking interval, the overall deceleration is rather

low due to the occurring fall and the sliding. In 22 of the 51 analyzed cases the vehicle becomes unstable, and it comes to a fall before the main collision with the crash opponent occurs.

The second braking behavior shown in figure 6 with the continuous signal lines is similar to the first one, but instead of overbraking the PTW, the driver being aware of the danger of wheel locking shows a more careful and hesitating braking behavior, which leads to a clear underbraking with a bad overall deceleration result.

Therefore, in both cases the collision speed is rather high.

The most important problem of braking a PTW with high deceleration is the fact, that a locking front wheel leads to an unavoidable fall in almost all cases. Even if a driver is very much used to full braking and knows his PTW behavior quite well, it won't be easy for him to find an optimal operating point abruptly in the case of a panic situation. This is due to the fact that the wheel-locking pressure level varies considerably with the wheel load (violet lines  $P_{fw\_locking\_level}$  in figure 6), which again is highly dependant on the dynamic behavior of the PTW. So the locking pressure is rather low at first, when the driver performs an extremely hard front-brake application, because almost all PTWs need about 300ms to achieve the maximum load on the front wheel. Afterwards this full amount of load is reduced regarding to a certain characteristic, which is installed by the spring and damper adjustments. After approx 800ms the PTW is in steady state and the locking level remains on a constant value, presumed that the friction between tire and road surface remains constant too. But this friction is also a complex function of several parameters, which cannot be evaluated properly while acting in panic.

From practical tests with experienced drivers we know that without ABS it normally takes 0.3s up to 1s to apply the brakes from the first brake initiation up to braking points which can be considered optimal, even if the drivers are highly concentrated on the braking process and under knowledge of vehicle and road surface parameters.

Therefore, for all calculations done here we assumed a median brake fill time of 400ms for each of the real accidents (see figure 6).

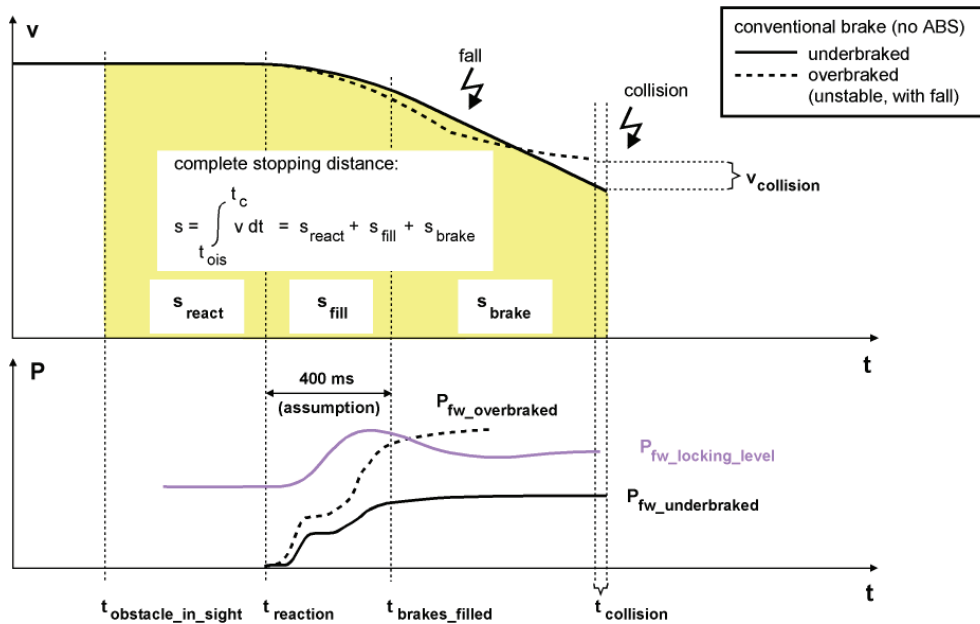


Fig. 6 Typical patterns of driver braking behavior in panic without ABS

In further calculations it was therefore determined which mitigating effects could have been achieved with full braking, if the assumed brake filling time (of 400ms) had been reduced by amounts of 50ms, 100ms, 150ms, and 200ms.

The results of these calculations are summarized in the diagrams of the figures 7, 8 and 9.

The three coloured bars show for different situations the number of collisions (black bar), the median collision speed (in kph) of the motorcycles (median value of all 51 cases, blue bar) and the median collision energy of the motorcycles (in percent related to the real situation, red bar).

The first column (three bars on the left side of the diagrams) shows the real situation: there were 51 collisions, the median collision speed of all involved motorcycles was 53,13kph, and the median collision energy is defined as reference value of 100%.

The three bars in the second column (maximum deceleration) show the estimated result under the assumption that the possible deceleration (due to effective friction estimated based on the knowledge of road surface, temperature, maneuver etc.) had been reached during the known full-braking interval (between points B and K).

The further 4 columns show the results under the assumption that additionally to the assumed optimal deceleration the brake-filling time would have been reduced.

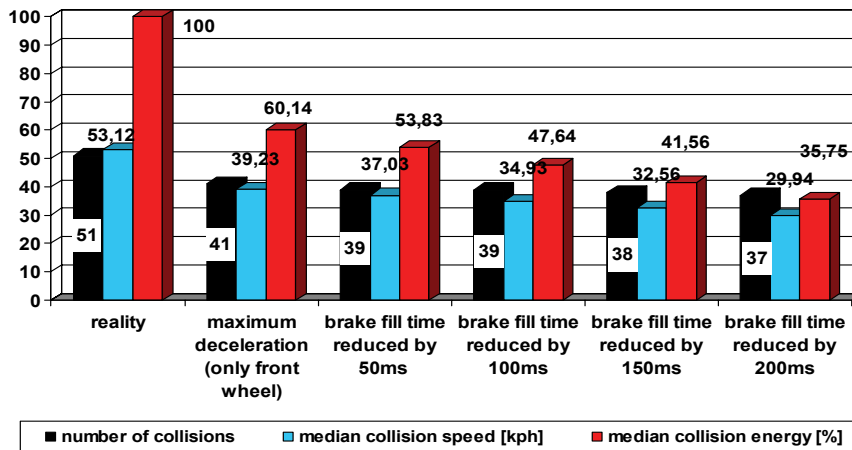


Fig. 7 Influence of an optimized full braking and of reduced brake fill times on the number and the severity of collisions (only front wheel braking with ABS)

The diagram in figure 7 shows all mentioned situations for the case that the driver in panic had focused just on one brake lever and therefore had performed only front-wheel braking.

The diagram in figure 8 shows the same situations for the case of immediate front but delayed rear wheel braking, so that the median deceleration is always 90% of the full-braking situation with both wheels simultaneously.

The simultaneous braking is finally shown in figure 9.

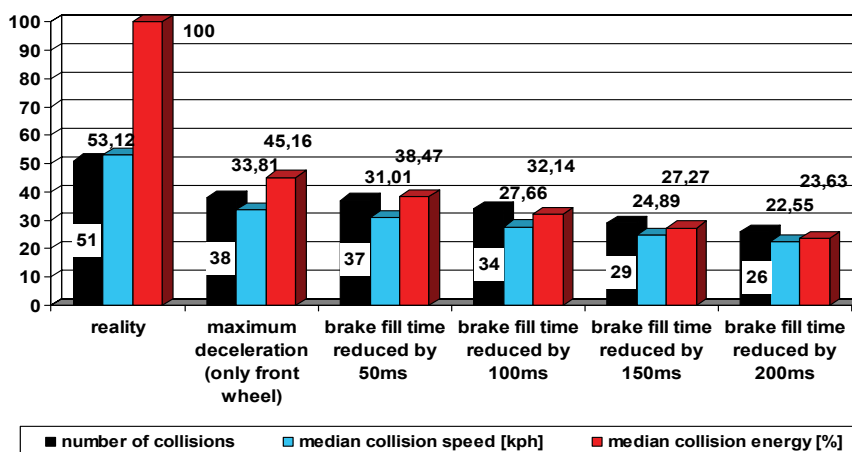


Fig. 8 Influence of an optimized full braking and of reduced brake fill times on the number and the severity of collisions (front wheel and delayed rear wheel braking with ABS)

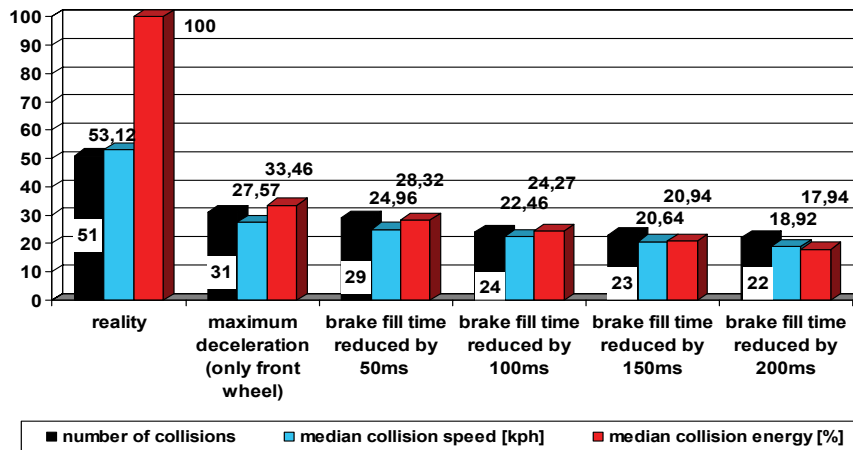


Fig. 9 Influence of an optimized full braking and of reduced brake fill times on the number and the severity of collisions (front wheel and rear wheel braking sync. with ABS)

As we can learn from the diagrams, many collisions could have been avoided due to the high decelerations. A decrease of the first brake application time is also of big importance.

Figure 7 shows us that as a median result all motorcycles were not able to reach the deceleration which had been achievable by braking only the front wheel in an optimal manner.

The synchronous full braking of both wheels would have been able to avoid 20 of the 51 accidents. With a brake apply time reduced by 100ms due to the driver's confidence to the anti-lock facilities of his system even 27 of the 51 collision could have been avoided just by the decrease of the stopping distances.

The calculations necessary for this estimation are not presented here, but are described in detail in [2].

In the second step of the investigation, it was estimated, which level of brake performance calculated for the situations shown in figures 7, 8 and 9 could have been achieved with certain brake-control systems (with different system behaviors shown in figure 10).

One of the most important advantages of ABS is that the driver may fully apply the brake levers and can absolutely rely on the optimal slip control with a highly reduced risk of becoming unstable. Hesitating and careful braking is no longer necessary. ABS will always limit the wheel pressures to values just below the respective locking pressure line, which is shown in the example of figure 10 (first diagram). Here, the same dangerous braking situation is presented as in figure 6, but the braking motorcycle is assumed to be equipped with ABS.

The two lines  $P_{fw\_locking\_level}$  (violet) and  $P_{rw\_locking\_level}$  (pink) represent the locking-pressure levels of the front and the rear wheel during the braking maneuver. The load of the PTW is dynamically transferred from rear to front wheel. With the help of the pressure decrease and increase patterns, ABS is always trying to find the wheel-pressure optimum, which is recognized by wheel slip and acceleration observation (recognition mechanism not shown in figure 10). The basic assumption for the estimations

of the ABS performance was that a driver with ABS should be able to apply the brake(s) within 300ms as a median result. The first diagram in figure 10 shows the situation of an ABS-controlled braking with the help of the vehicle speed  $v$  and the brake pressures.

When abruptly braking a motorcycle, there is the general disadvantage that two brake levers have to be dealt with in parallel.

Therefore, the so-called integral brake can be of help, which always provides the two wheels with an ideal brake-force distribution, even if the driver applies just one brake lever.

The wheel not directly braked by the driver is then filled with brake fluid actively by the system, using the ABS pump and some special valves. Thus, it is guaranteed that in all braking maneuvers, both wheels of a motorcycle are always braked in a balanced manner independent of the driver behavior, and a deceleration of 1g and even more is possible on highest friction by full application of just one brake lever.

Furthermore, it is helpful in a panic situation to expand the system functionality by a so-called brake-assist function.

The added brake-assist is assumed to have the advantage of filling the brakes always with the highest possible pressure increase gradient, whenever the driver shows a panic behavior by a partly high pressure increase gradient.

The overall effect of integral brake and brake-assist is assumed to lead to a fill time of 200 ms for both brakes simultaneously, as shown in the second diagram of figure 10.

It should be mentioned here, that even shorter pressure increase time intervals are possible with electronic brake devices from Continental. Due to the adjustment of the orifices of the wheel inlet valves, maximum pressure increase gradients are so high, that the wheel locking-pressure levels can usually be reached within 100ms. But those gradients must be set-up by the brake force of the driver and cannot be applied by the ABS pump of the control device alone. For this reason the pressure increase interval is set to the more restrictive value of 200ms for the estimations done here. This time interval can be assumed as a medium value, which can be easily achieved by the cooperation of drivers working with medium hand-force and a brake-assist function, which compensates a certain hesitation during the first brake application.

The active pressure increase of the brake-assist function is carried out with the same hydraulic devices as the integral brake. So it seems to be sensible to combine both functions in a system.

In the following part an advanced driver-assistance system (ADAS) is introduced. These systems are still in a development state and are based on surrounding sensors and different algorithms for pattern recognition and danger calculation. In case of recognizing a relevant obstacle, the system is able to pre-fill the brakes actively without any driver intervention (see third diagram in figure 10). This nor-

mally leads to a maximum deceleration of about 0,3g until the driver takes over and applies the brakes himself.

It is very difficult to make an assumption, when the system could have reacted in the studied accident cases and if the driver would have been aware of the danger a little sooner due to the automatic deceleration.

In order to be able to obtain a result and an idea of the possibilities at all, the following assumptions were made for each DEKRA case: 150ms after the driver makes a decision (point R), the system becomes active and starts filling the brakes.

It takes another 100ms to pre-fill the brakes with an amount of pressure, which leads to a medium deceleration of 0,3g until the brakes are filled.

With the help of ABS, integral brake and brake-assist, the driver is now able to perform a full brake application in just 120ms, because the brakes are already pre-filled.

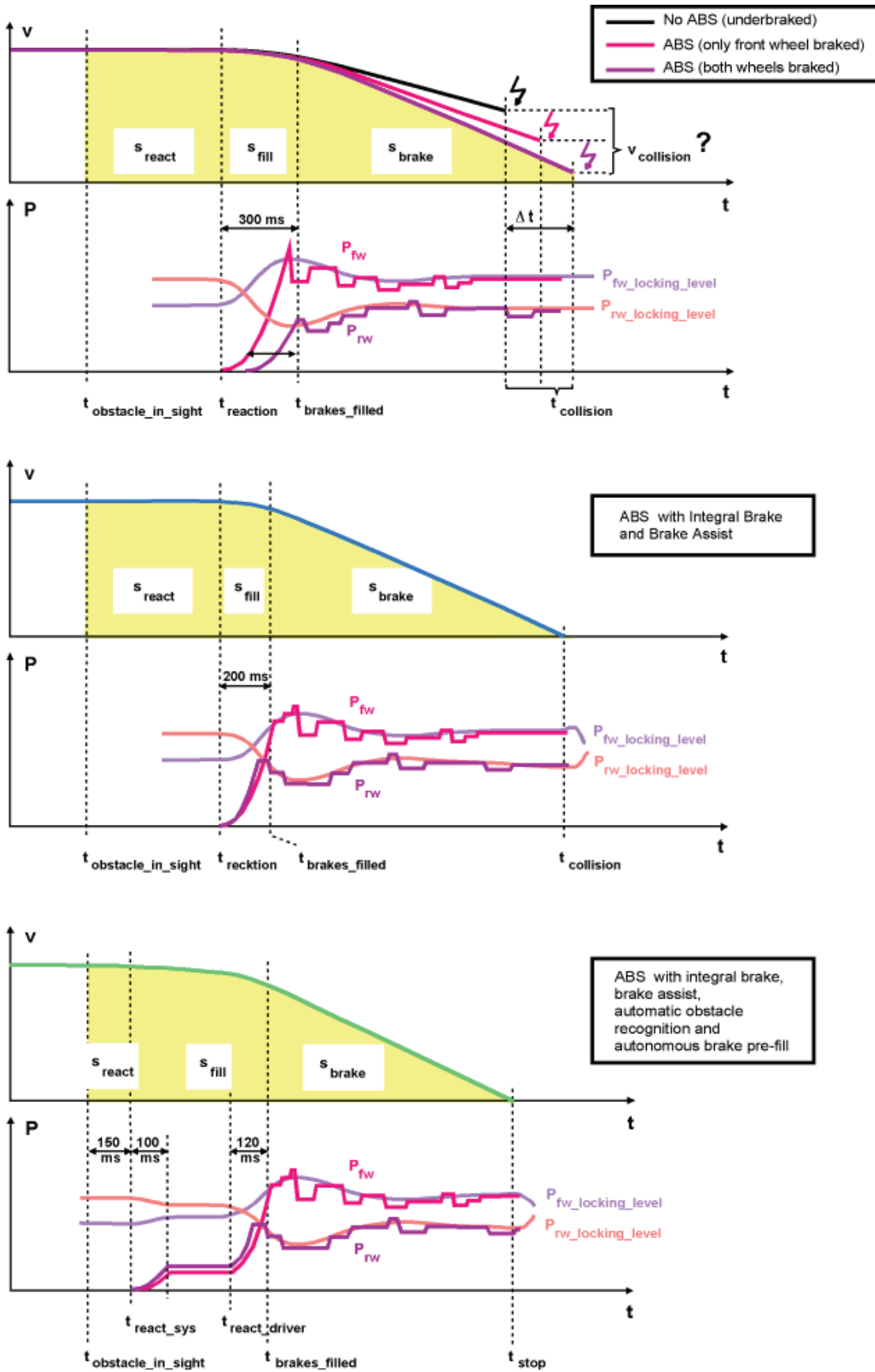


Fig. 10 Typical brake patterns for full-braking situations with different brake-control systems



The accident-mitigating effects of the different control systems defined by the time diagrams in figure 10 are summarized in figure 11.

As already mentioned above, a 2-channel ABS would have been capable of avoiding 27 of the 51 accidents. The ADAS-system (with integrated ABS, brake-assist and integral function, including timing as described above) increases the number of avoidable collisions by braking even to 39.

The results of the investigation have yet to be corrected due to the following facts.

In many critical traffic situations, motorcyclists without antilock facility of their brakes will frequently choose not to slow down by full braking but to try to avoid an impending crash by executing an evasive maneuver.

Probably for this reason, there is only the relatively low part of 51 to 350 cases, where drivers decided in favour of considerable braking.

Thus, we can assume that drivers with ABS system and being aware of the antilock facilities of their brakes would choose more often the safer way of slowing down by full braking.

Generally this behavior would be of advantage in many ways. A very important benefit of braking is always the reduction of collision energy in case of an unavoidable crash.

But there are some more benefits of braking, which do not relate directly to the reduction of stopping distance.

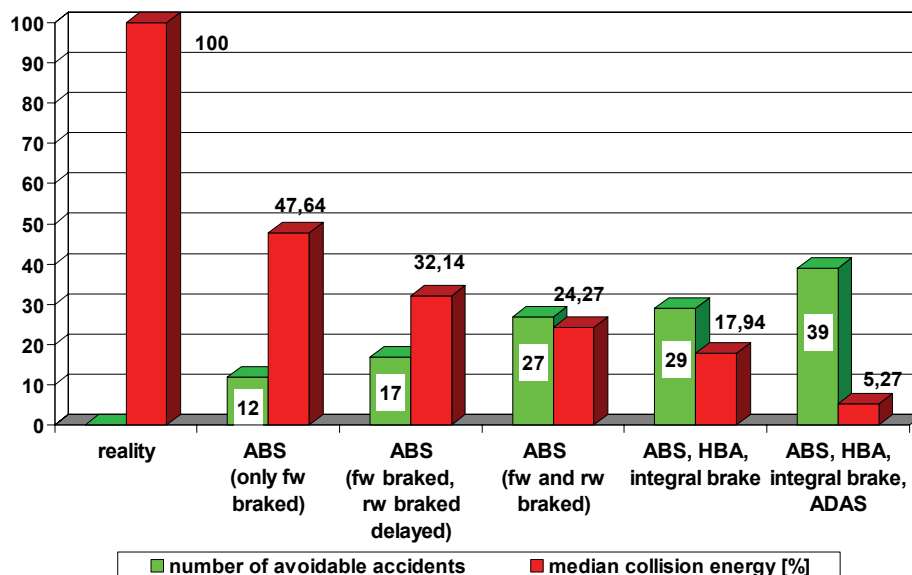


Fig. 11 Possible accident avoidance and mitigation by different brake-control systems

In order to make this visible, figure 12 summarizes the benefits of the safe and high vehicle deceleration.

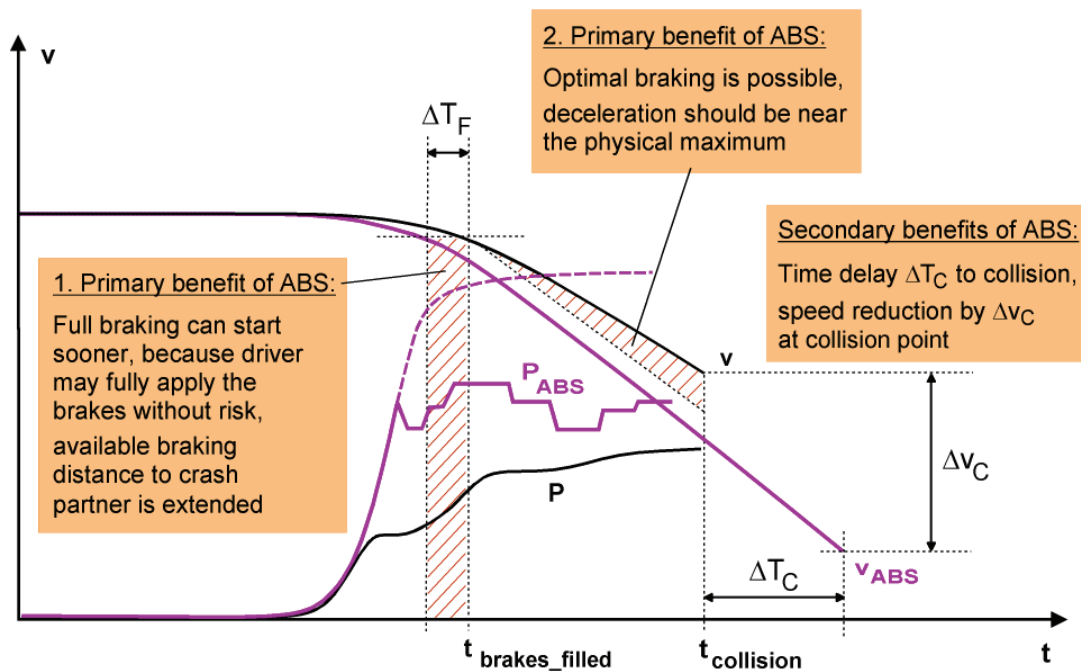


Fig. 12 Primary and secondary benefits of full braking controlled by ABS

In an emergency situation the motorcyclist may fully apply both brake levers up to the locking limits of the wheels and does not lose time by trying to find and to feel an estimated optimum. Thus fill-time is saved (first primary benefit). The driver may focus on getting and staying seated on the bike in a correct position in spite of the high deceleration.

During full braking ABS always finds operating points just at the physical maximum (second primary benefit). Therefore an unavoidable collision would happen with reduced damaging energy.

Due to the improved deceleration, the driver has an additional time interval  $\Delta T_C$  to decide what to do, when the impending crash seems to become unavoidable (first secondary benefit). Moreover the speed reduced by  $\Delta v_C$  gives the driver a better chance to avoid the obstacle by an evasive maneuver due to the improved maneuverability of the bike (second secondary benefit). And then, it might happen that the obstacle would be already out of the driving tunnel of the motorcycle due to its own speed and to the delay time interval  $\Delta T_C$  of the crossing of the collision paths.

But nevertheless, it is quite difficult and nearly impossible to take all the possibilities into account which may arise by the secondary benefits.

In the 51 analyzed accidents it was therefore checked from case to case how the speed of the respective accident opponent would have had a favouring influence on the positions of the vehicles caused

by the crash time delayed by  $\Delta T_C$ , where  $\Delta T_C$  itself depends on the considered function of the brake-control system.

The result shown in figure 13 demonstrates, that quite a lot of collisions could have been avoided just by the delayed vehicle crossing, e.g. in case of ABS and both wheels braked simultaneously 7 additional crashes would not have happened.

In additional 5 cases the crash could have been avoided by a slight evasive reaction of the involved motorcyclist (see results in figure 14).

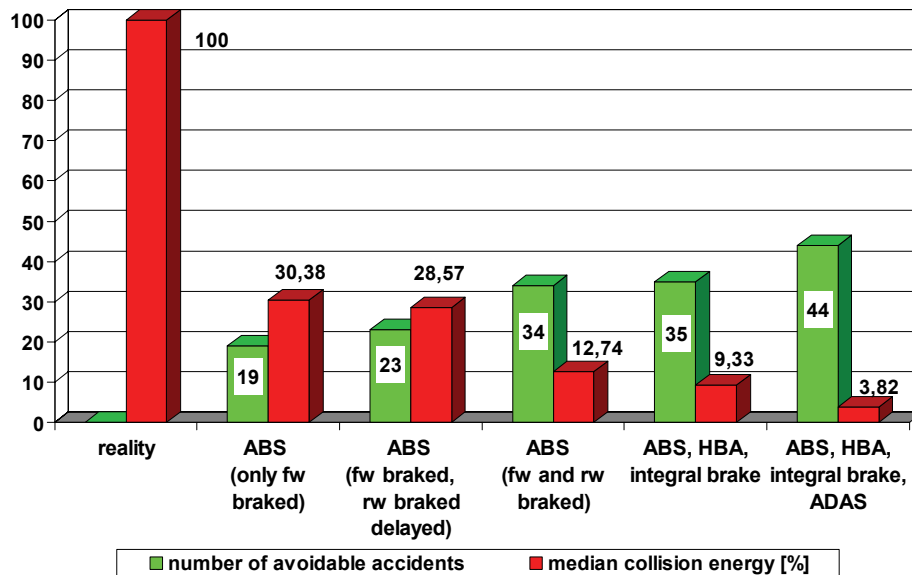


Fig. 13 Possible accident avoidance and mitigation by different brake-control systems under consideration of secondary system benefits (delayed crossing of collision courses, without evasive maneuver by driver)

Thus, taking the secondary benefits into account, leads to a far better overall result of accident mitigation and avoidance achievable by electronic brake-control systems.

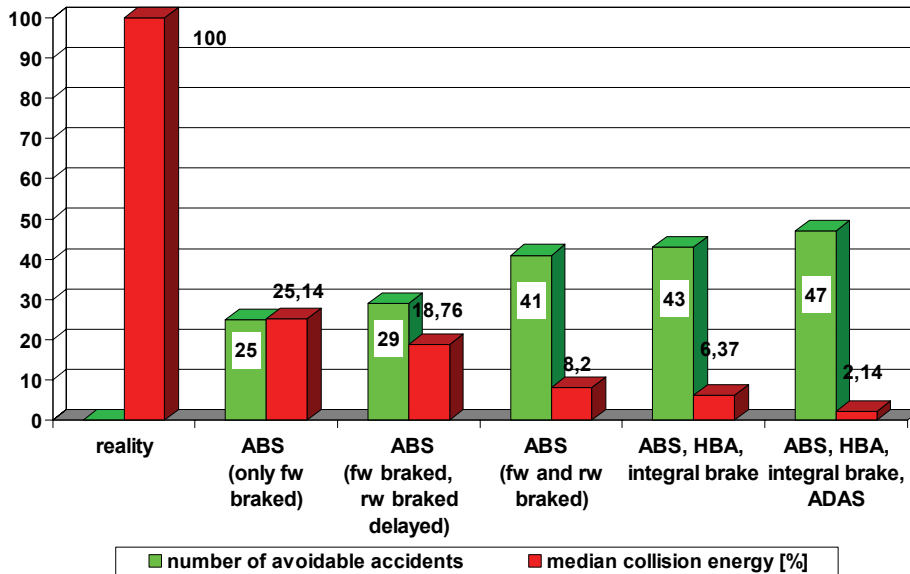


Fig. 14 Possible accident avoidance and mitigation by different brake-control systems under consideration of secondary system benefits (delayed crossing of collision courses, with slight evasive maneuver by driver)

Many of the 350 accident scenarios described in the DEKRA database are characterized by the fact that the participating motorcyclists often decide too late to apply the brakes or do not brake at all, even when a critical situation becomes visible. Possibly, the high dynamics of the motorcycle mediates the deceptive feeling to be always somehow capable of avoiding a collision with other vehicles or obstacles by evasive maneuvers and due to the narrowness of the own driving tunnel.

However, the high vehicle acceleration of a well-powered motorcycle of up to 1g is only theoretically faced with a potential deceleration of 1g. In practice we can see that this physically possible region (which is mostly even above 1g) cannot be approximately reached without effective brake-control systems [4]. Delayed initiation of braking, hesitant application of the brake-levers, and wrong estimation of the physical limits – especially under panic conditions – often lead to extremely poor exploitation of the available braking potential, as the above accident example shows us impressively. Nevertheless, vehicle instability due to occasional overbraking occurs in many situations.

Furthermore, the possible lateral dynamics of single-track vehicles is obviously often overestimated by the drivers. At high driving speeds even experienced drivers are almost incapable of changing the driving path spontaneously according to an unexpected event. A single-track vehicle demands the full body action of driver (and pillion-rider) to change the driving direction, while a car driver achieves this quite easily by simply turning the steering wheel with almost no force expenditure in any seating position.

Therefore, it takes relatively long time delays to change the driving path of a single-track vehicle, and due to the roll-angle needed for cornering the width of the driving tunnel almost extends to that of a two-track vehicle.

In many cases documented in the accident database, these circumstances lead to collisions with on-coming vehicles

In the one or other case, accidents of this kind could have been avoided or mitigated with the help of early acting driver-assistance systems, because a slight active braking and reduction of curve dynamics might have helped the driver to perform better course correction and therefore to pass the obstacle.

These facts are summarized in figure 15.

The upper part of the figure illustrates the fundamental behavior of a driver within four characteristic time intervals or phases before a critical event.

The Phase0 is characterized by the fact that a traffic situation arises which must be considered critical for a motorcyclist, who cannot be aware of the oncoming problem by now. For example, a slow construction vehicle (as indicated in figure 15) may be entering a winding road so that it is not in the sight of the motorcyclist. According to the red line in figure 15 the driver readiness of braking (or willingness of braking) is therefore 0 concerning this still unknown event.

In Phase1 the obstacle becomes visible for the motorcyclist so that he is forced to make a decision for appropriate acting. Since collisions are often avoidable by evasive or overtaking maneuvers and due to the distance to the obstacle seeming to be still large, the willingness of braking is quite low, even if the motorcyclist opts for braking.

In Phase2 the motorcyclist recognizes that an evasive maneuver would be too risky or even impossible due to the total traffic situation (oncoming traffic, blind curve etc.) and decides in favour of full braking. Taking into account the distance to the obstacle being still large, the motorcyclist tries to apply the brakes carefully in order to prevent the wheels from locking.

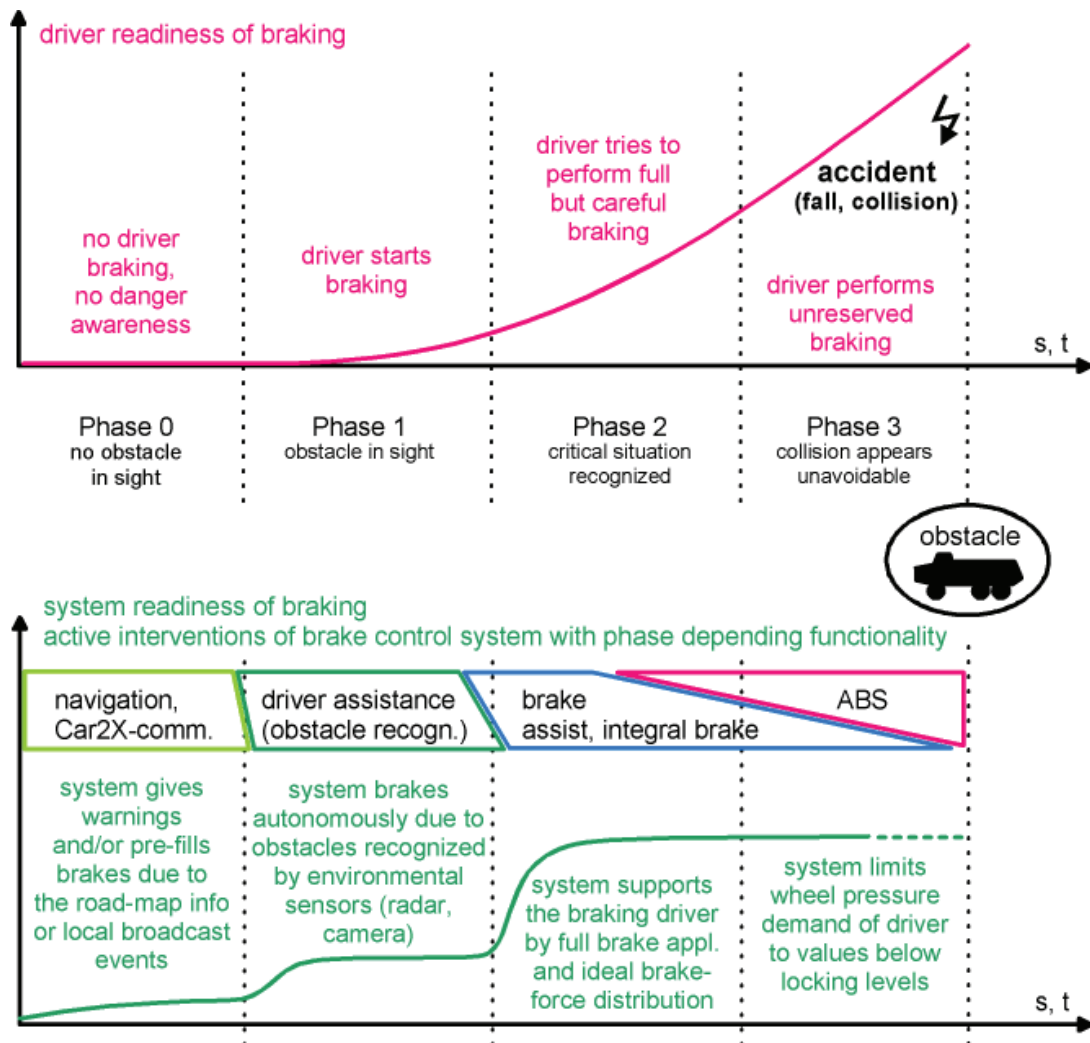


Fig. 15 readiness (willingness) to braking of different brake-control and driver assistance systems in comparison with the typical behavior of a driver acting in panic

In Phase3 the motorcyclist getting closer to the obstacle becomes more and more aware of the impossibility of getting his bike braked down to a collision-avoiding speed, and therefore the considerate and conservative brake dosage passes over into an uncontrolled full braking. The lower the distance to the obstacle, the more unreserved becomes the braking of the driver now acting in panic. This situation can lead to wheel overbraking with the result of a fall before the collision with the crash opponent occurs.

Many of the real accidents analyzed in this study show exactly this driver behavior of a delayed and initially low willingness of braking passing over into a panic reaction causing occasional overbraking and vehicle instability.

The lower part of figure 15 illustrates how modern brake-control systems are capable of supporting the motorcyclist during the different phases, the green line shows the brake willingness and/or the warning

level of the respective brake-control system, the functionality of which is described in the colored borders.

Because of the lack of sight in Phase0 only systems can be helpful here which are based on navigation (GPS and map material) as well as radio-based inter-vehicle communication (car2x communication).

Navigation systems in cars and as standalone units are already a widespread standard. Many current development activities are intended to build up advanced warning systems on today's navigation. For example, a warning system could give a message to a driver approaching a sharp curve at excessive speed, which is enabled by the known vehicle position on the map.

With the help of vehicle intercom, vehicles and facilities that pose a general threat (slow heavy trucks, vehicles with wide loads, shunting construction or agricultural vehicles, which enter into public roads, vehicles with the right of way, such as police and ambulance cars with flashing lights, etc., but also difficult recognizable and hinder traffic sites) could send warning messages to their immediate surroundings. These messages have then to be made visible in the recipient vehicles on appropriate displays and other HMIs (human machine interfaces).

Besides the displaying of warnings, the system receiving a message could also perform a certain pre-filling of the brakes in situations that are classified as critical for the own vehicle, where actions like this could additionally depend on the behavior of the respective vehicle driver (own speed, distance to source of danger etc.).

In Phase1 the above described driver assistance systems (ADAS) can be of help. An obstacle in sight recognized by camera and/or radar, which is considered relevant for the own driving path can initiate an active brake-pressure application, in order to make the driver aware of the problem and encourage him to take over responsibility of braking for one thing. And then the effect of the early braking is a speed reduction with can favour the further proceeding of the maneuver.

Once the driver has decided to brake significantly in Phase2, full-braking can be performed actively by the brake-assist and integral-brake functions in order to fulfill the driver demand as soon as possible.

Here and particularly in the subsequent Phase3 of the unconditional and unreserved intention of the driver to decelerate the motorcycle, ABS takes always care to limit the brake pressures to the locking levels and adjust brake pressure amounts just below the physical maximum.

As the figure 15 clearly shows the different brake-control systems are well suited to compensate for the initially slow and then panicked driver reaction by responding quicker to a threat and if necessary achieve the maximum vehicle deceleration combined with sufficient driving stability.

The figure 15 indicates by the slight time overlay of the functional borders how the different control functions cooperate and pass the control over to the next function.

The initial braking due to a critical radio message can be helpful for a better start into the subsequent ADAS-function, i.e., after a warning by radio a visually perceived obstacle could be considered as relevant in a shorter decision process without long problem verification.

This logical and physical transition between the subsequent control functions provides synergy effects within the total system.

An active ADAS-function can also trigger the brake-assist function.

Normally the brake-assist is not allowed to become active before certain brake patterns of the driver show a panic situation. Within an already active ADAS-function the brake-assist can be triggered by any driver braking reaction.

Therefore we have a strong overlay of ADAS and brake-assist functions.

Finally a total function overlay is given between brake-assist, integral-brake and ABS-functions. ABS has always the task of preventing the wheels from locking, independent of whether the braking source is the driver or an active function.

Thus the warning and braking responsibility is shifted from one control function to the next, where the experience of the previous function is further used synergistically.

The possible effects of navigation and intercommunication on the analyzed 350 accidents cannot be easily determined, since the efficiency essentially depends on whether the driver takes the warnings seriously and is able to derive reasonable action or not.

Some special accidents in the DEKRA database describe severe collisions with oncoming vehicles caused by high curve speeds and inattention of the motorcyclist. We can only assume, that in the one or other case of this category a warning or a slight pre-filling of the brakes would have helped the driver to become aware of a problem and to decide in favour of braking.

Figure 16 just indicates that many of these accidents then might have been transferred into braking situations which could have been supported by the above described brake-control functions.



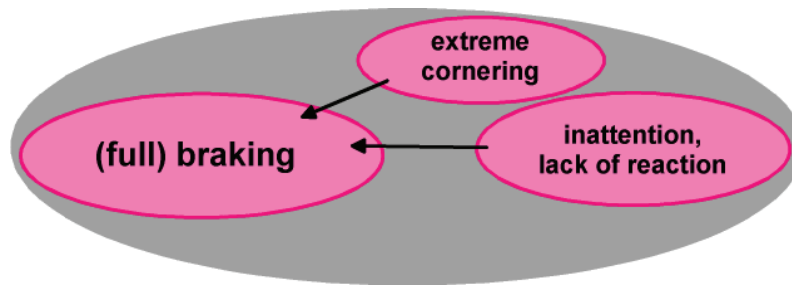


Fig. 16 Reduction of several accident scenarios of unbraked motorcycles to braking situations with the help of (intelligent) navigation, vehicle inter-communication and driver assistance systems

## 2 Optimized brake-control functions for single-track vehicles

This section describes two brake-control functions that can today already be developed properly and with low expense for single-track vehicles, the ABS and the (B)TCS.

### 2.1 Motorcycle ABS

In order to develop an ABS system in motorcycles and motor scooters capable of the above described stability and braking potential, it is necessary to adapt the control strategies carefully to the requirements of those vehicles.

The long-term developments of ABS for passenger cars have led to the situation that today a high driving stability can be achieved in addition to a very effective exploitation of the available friction amounts of almost all road surfaces and with a minimum of driver irritation.

As far as the single-wheel control strategy is concerned, ABS performs wheel-pressure modulation whenever the wheel behavior indicates that over or underbraking occurs, where the wheel pressure must not exceed the global pressure given by the driver or by an active control function.

Particularly the wheel pressure is reduced, whenever a locking tendency becomes visible (wheel instability), which can easily be observed based on certain wheel speed and acceleration patterns due to positive-feedback effects.

After stabilizing the wheel by pressure decrease, an increase must be carried out up to the new locking point. The increase is usually performed carefully in order to keep the wheel in a stable state over a long time interval. During the stable phases of the wheel it is sometimes quite difficult to estimate the reserve of stability. Thus the pressure increase amounts are calculated mostly in a feedforward mode based on learning and experience.

Additional to the wheel specific control strategy there are several overall ABS control strategies concerning the two tracks of the car, which can influence the car stability due to disturbing torques caused by high pressure differences at the wheels of an axle.

Therefore it is a general rule of car ABS to build up pressure differences at the front wheels only with strongly limited pressure gradients (yaw-torque control) and avoid pressure differences at the rear wheel at all in almost all situations (select-low control).

This intended underbraking of certain wheels in special time phases provides the car with sufficient braking stability, which is important especially on inhomogeneous road surfaces and during extreme cornering.

Since the single-track vehicles are not confronted with yaw torque like this, it would be obvious for motorcycles and scooters to take over the simple single-wheel strategy of car-ABS.

But nevertheless it must be taken into account that it is absolutely not sensible for motorcycles to allow always that amount of wheel pressure, which is the result of the pure antilock control.

In order to discuss this a little more in detail, section 3 deals with the problem of braking in curves, where the adjustment of the longitudinal wheel forces is always performed as a compromise with the requirements of the lateral dynamics.

But critical situations can even arise during straight-ahead braking on high-friction road surfaces as the following part shows.

Braking a single-track vehicle with full deceleration of approx 1g can cause the rear wheel to be lifted-off the ground, and in extreme cases the whole vehicle can be brought to overturn. This is due to the motorcycle's short wheel base and the relatively high position of the center of gravity. The tendency to overturn can be favoured or even initiated by inappropriate pressure modulation at the front wheel.

Thus a pressure modulation optimized for full braking could be the reason for a severe accident.

But this must not be, because one of the ABS system's biggest benefits should be to provide the driver with a safe feeling during full braking. So the driver should not be given responsibility for overturning prevention. Therefore it is the task of a properly working ABS to perform pressure modulation carefully in order to avoid rear wheel lift-off situations.

As an example, figure 17 illustrates the time diagram of a real ABS-controlled braking of a motorcycle on dry asphalt. Here the task of keeping the whole vehicle in a stable state is mainly fulfilled by a moderate and intelligent modulation of the front wheel pressure just below the wheel-locking point. In order to avoid high amounts of brake slip at the front wheel and large ranges of pressure modulation, the wheel pressure increase must be stopped before a strong locking tendency of the front wheel is initiated. In the example we see a pressure stop at 0,6s. The absolute wheel-slip amounts are limited to values of 10 to 12 kph at maximum, which can be managed with a pressure modulation of just a few bar.

The pressure profiles of the pressure increase phases are rather flat near the expected locking point. Therefore the subsequent locking tendency can be managed with moderate pressure modulation. Besides the ABS control frequency is reduced by this strategy, especially for low speeds just before standstill in order to avoid a kind of tothing effect between tire and road which could be the trigger for overturning.

As can be estimated by the locking level of the rear wheel, which is decreasing more and more during the brake procedure, the rear wheel load is reduced continuously. This pattern of behavior and additionally the bad acceleration of the rear wheel during the pressure decrease phases can be taken as a safe indicator for an impending rear wheel lift-off situation.

Even the smooth control strategy of figure 17 cannot ensure that rear-wheel lift-off situations will never occur. Therefore ABS must provide certain recognition and control functions for those critical events. The recognition part observes characteristic values, such as vehicle deceleration, rear-wheel locking pressure, rear wheel dynamics during pressure decrease phases etc. When the lift-off danger level reaches a determined threshold, the front wheel pressure must be reduced by a small amount, in order to reduce the vehicle deceleration very slightly. Afterwards a careful pressure increase such as shown in figure 17 tries to find the optimum point again.

The drag torque at the rear wheel caused by the powertrain leads to a continuous and appropriate part of brake force, although this is not indicated by the relatively rough and strong pressure modulation. The long time intervals of increasing rear wheel slip favour the braking stability and have a calming effect on the whole vehicle.

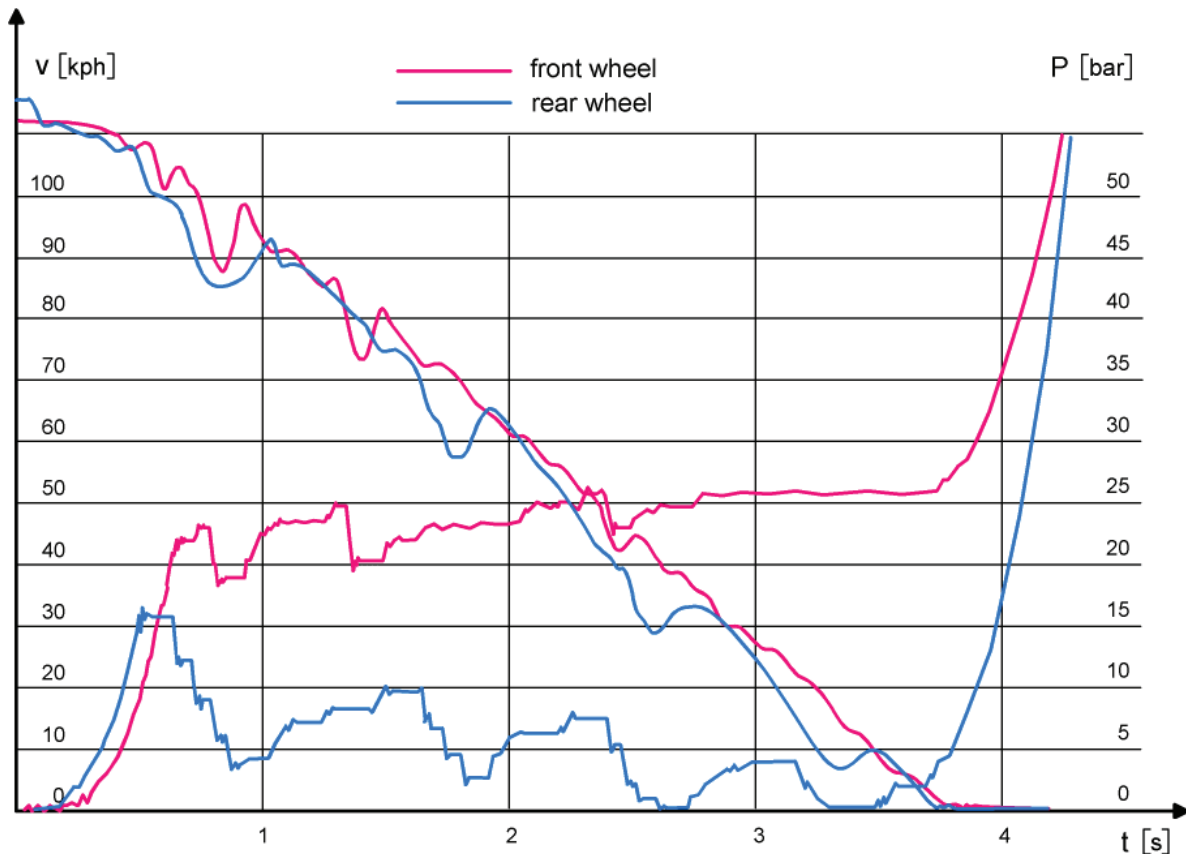


Fig. 17 Time diagram of a real ABS-controlled braking of a motorcycle on dry asphalt

In any situation (even on road surfaces with lower friction amounts) a well adapted motorcycle-ABS should work with a minimum modulation at the front wheel causing only little variation of vehicle deceleration without irritating jerks and always providing the vehicle with a continuously available side-force reserve at the critical front wheel.

The relatively smooth front wheel control with high sensitivity for wheel-locking tendencies requires an intelligent observation of the wheel behavior, in order to avoid underbraking on uneven roads (especially bad-road and off-road situations).

This should be achieved by special bad-road recognition and control functions, which react on wheel oscillation and wheel acceleration occurring without pressure decrease.

Due to the fact that high wheel dynamics cannot always be used as unambiguous sign of an uneven road, it could be helpful to use the sensor information of other controllers within a network, for example the damper movement known from active spring and damper control could be additionally used for safe bad-road recognition [1].

For off-road bikes it is recommended to implement a switch for parameter adjustment by the driver or complete system deactivation.

## 2.2 TCS for motorcycles

As we can see from the accident database, the reasons for many accidents of highly powered bikes are instability during normal driving, at acceleration and especially by sliding in extreme cornering situations (probably caused by traction slip).

It is therefore recommended to equip the standard ABS controller of single-track vehicles with the TCS functionality (TCS = traction control system) as well.

Today TCS plays an important role in passenger cars for improving the driving stability on low-friction road surfaces as well as for increased traction abilities especially on split  $\mu$  surfaces and during extreme cornering on high friction.

The function is mainly based on engine interventions, as far as the driving stability is concerned and both wheels of a driven axle show the tendency to spinning. As long as only one wheel of an axle tends to spinning, it is highly advantageous to brake the wheel-speed down in order to build up a counter torque against the spinning wheel and therefore also against the engine itself, which is then transferred via the differential to the other wheel of the axle providing the car with much more traction torque.

These circumstances are presented in the characteristic line of tire forces of figure 18.

Whereas ABS always tries to adjust operational points near the maximum of the longitudinal force lines at low slip values of each wheel (red regions in the first quadrant), TCS especially operates the spinning wheel in a wide slip range (see blue long force line in third quadrant). Here it is not of importance to brake the spinning wheel down to stable slip regions, but on the contrary the main aim of braking the spinning wheel is to adjust an optimal operational point at the traction wheel (see yellow long force of the high-side wheel in the third quadrant). So the wheel which is really controlled is not the braked wheel. By active wheel braking the low-side wheel (BTCS = brake traction-control system) the operating point of the high wheel is shifted towards the maximum of the long force line (see figure 18). During this adjustment large slip amounts at the low-side wheel are possible over long time intervals. This is not a problem from stability point of view, since the high-side wheel is the traction and the stability providing wheel in this case.

Thus the BTCS algorithm developed for passenger cars is totally unsuitable for use in single-track vehicles, since there is only one driven wheel (normally that of the rear axle). In these vehicles it is only possible to increase the overall traction abilities by very small amounts due to wheel braking by shifting the operational point to the long force maximum. But this can also be performed with the help of engine torque reduction, if an appropriate interface is provided by the engine controller.

Therefore, engine and brake interventions have the same effects concerning traction and stability in single-track vehicles. However brake interventions are insensible from the view of energy consumption and abrasion.

The essential aim of TCS in motorcycles is providing stability during cornering and on low-friction surfaces. This can only be achieved by braking a spinning wheel down to slip amounts in the stable operative ranges of figure 19 as quick as possible (see red regions of third quadrant). Otherwise the vehicle may slide sideward abruptly making a fall unavoidable especially at higher vehicle speeds. Thus contrary to the situation in cars, the only aim of TCS in motorcycles is to achieve stability.

Here the strategy of TCS is virtually the same as for ABS concerning the general adjustment of the operational points, and TCS can be seen as a kind of “inverse ABS” due to the sign of the controlled slip. This is also visible by comparison of the force lines in the first quadrant of the diagram in figure 18 with the lines in the third quadrant of the diagram in figure 19.

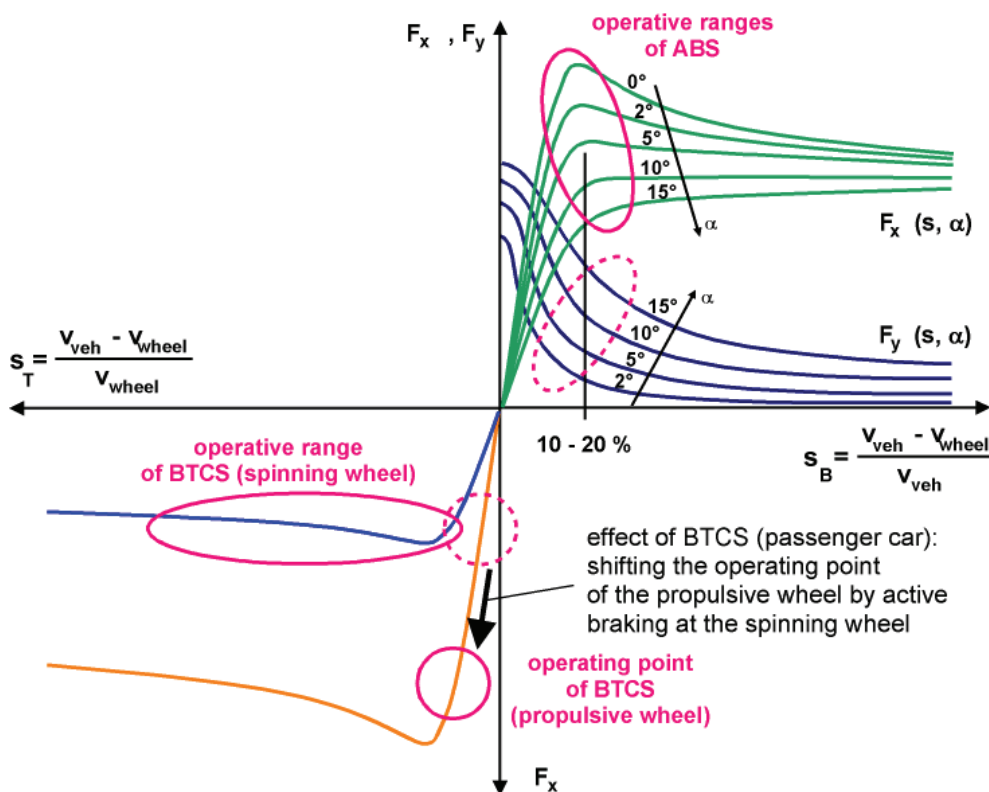


Fig. 18 characteristic lines of longitudinal and lateral tire forces: 1. quadrant relevant for ABS, 3. quadrant relevant for TCS, shown with 2 long-force lines of 2 driven wheels of a car

If the engine controller provides a well suited interface for external control of the engine torque it is sensible to perform pure TCS without brake control. It is then ideal to have a real torque interface for the direct demand of quasi-analog torque values adjusted via throttle position.

Also useful may be a purely digitally operating interface by which the engine controller is caused to stop the fuel supply for the engine completely (cylinder cut-off etc.). Here the TCS control must act in a more predictive manner since after an intervention of this kind the engine has a certain delay time to recover and build up torque again. Therefore the TCS control should comprise derivative components in order to compensate the delay times.

Of course TCS in single-track vehicles may also operate with brake interventions (BTCS), if the electronic brake-control system offers the possibility of active pressure buildup.

The disadvantage of a pure BTCS is that the first pressure build-up may take certainly 50ms up to 100ms when the totally emptied brake must be filled. Within this time interval a sudden step of engine-torque request may cause the driven wheel to spin by 40 kph up to 60 kph what can lead to an immediate sideward sliding of the vehicle on low-friction surfaces. Here, the usually very fast-acting engine intervention has significant benefits.

Another concept could be to perform the brake and engine interventions in parallel, particularly if the engine intervention can only be done digitally, and therefore should not be performed too often.

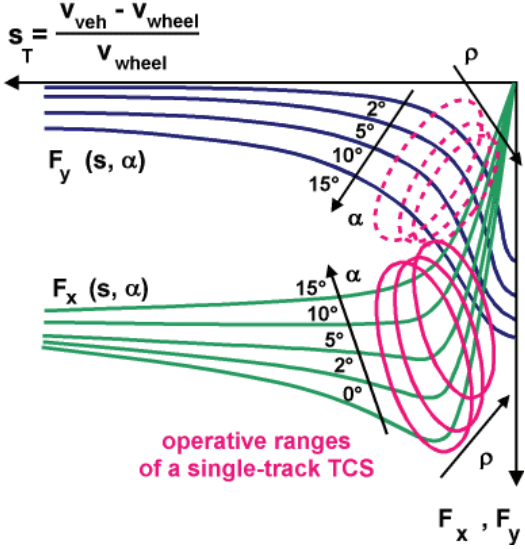


Fig. 19 characteristic lines of longitudinal and lateral tire forces: 3. quadrant relevant for TCS, shown for control situation of a motorcycle

Figure 20 shows a real time chart of a TCS-controlled starting operation of a scooter on a low-friction road (watered epoxy surface with a friction coefficient  $\mu$  of approx. 0,2).

Around the beginning of the event, the driver has suddenly chosen 100% throttle and maintained the position during the whole period.

The red line representing the speed of the undriven front wheel can be taken as the exact vehicle speed as the front wheel is freely running with the vehicle.

We see that the speed of the driven wheel (blue line) increases abruptly for the first time at 0,5s. This high wheel acceleration in combination with the resulting wheel slip triggers the TCS control, which consists only of the engine intervention (see yellow signal line).

Setting the signal to the value “1” means that the intervention is active, so that the power supply to the engine will be stopped. This breaks the driving torque of the engine down with a short delay time, and the wheelspeed decreases to the vehicle speed. The operation must be measured in its duration so that the spinning wheel speed approaches the vehicle speed without undershooting because brake-slip amounts would lead to an unwanted vehicle deceleration. As the diagram shows, a slight undershooting of the rear speed is sometimes unavoidable, and we can see the slight vehicle deceleration in these short time intervals.

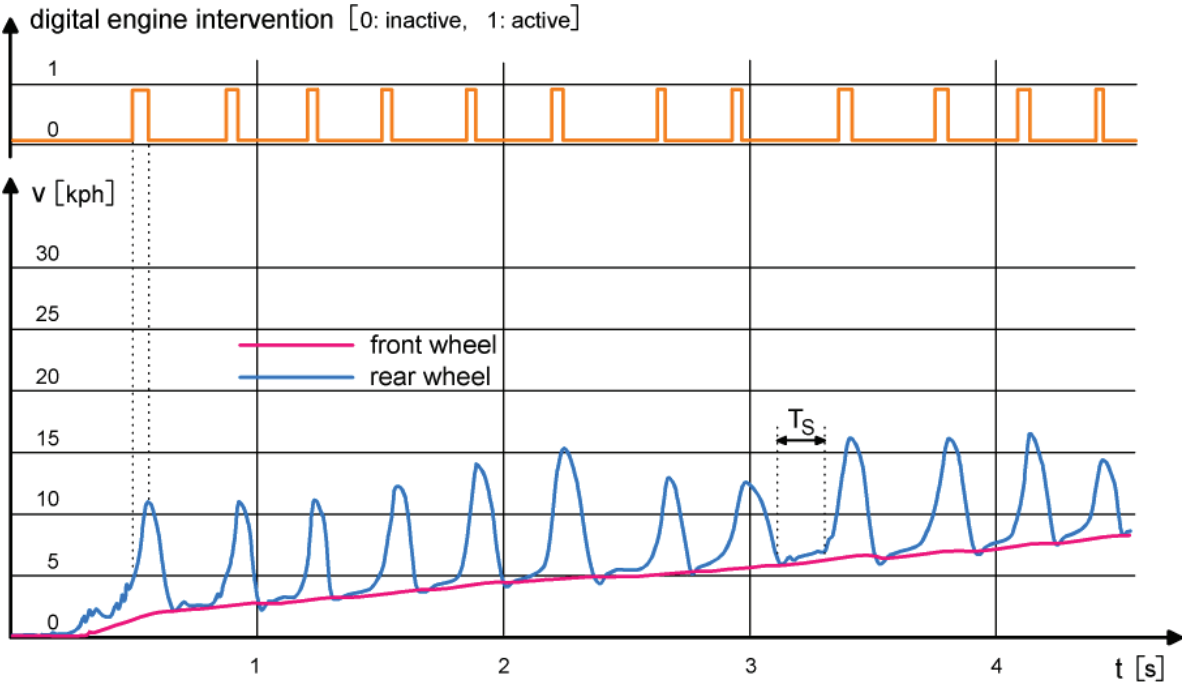


Fig. 20 Time diagram of a real TCS-controlled acceleration of a motorcycle on a watered epoxy surface with a friction coefficient  $\mu = 0,2$  (only TCS engine intervention)

The overall result is non-optimal vehicle acceleration.

Nevertheless, in spite of the very low road friction the vehicle behaves quite stable as long as the driver takes no inclination (roll angle) and focuses on keeping the vehicle in a vertical position.



The relatively good stability is achieved in that the driven wheel is always operated at small slip amounts (not more than 8 – 10 kph of absolute slip) and after each spinning tendency is kept quite stable for a time interval of  $T_S$  which is long enough to provide the vehicle with sufficient side force  $F_y$ .

As an alternative to this TCS-scheme of pure engine control, figure 21 shows the time diagram of a TCS control working with engine and brake intervention (BTCS) as well.

The increasing blue line represents the rear wheel pressure which is applied actively by the control system during the vehicle acceleration.

Optimal modulation of the brake pressure is very difficult since it takes a relatively long time interval to adapt the wheel pressure to the spinning behavior of the wheel. Decreasing the wheel pressure during wheel deceleration would mean to achieve a very irregular control with large pressure ranges.

Therefore, the following control strategy was used here.

The fast-acting engine intervention is used only for the first starting interval and later-on to cut-off the peaks of torque surplus during the first intervals of wheel-acceleration.

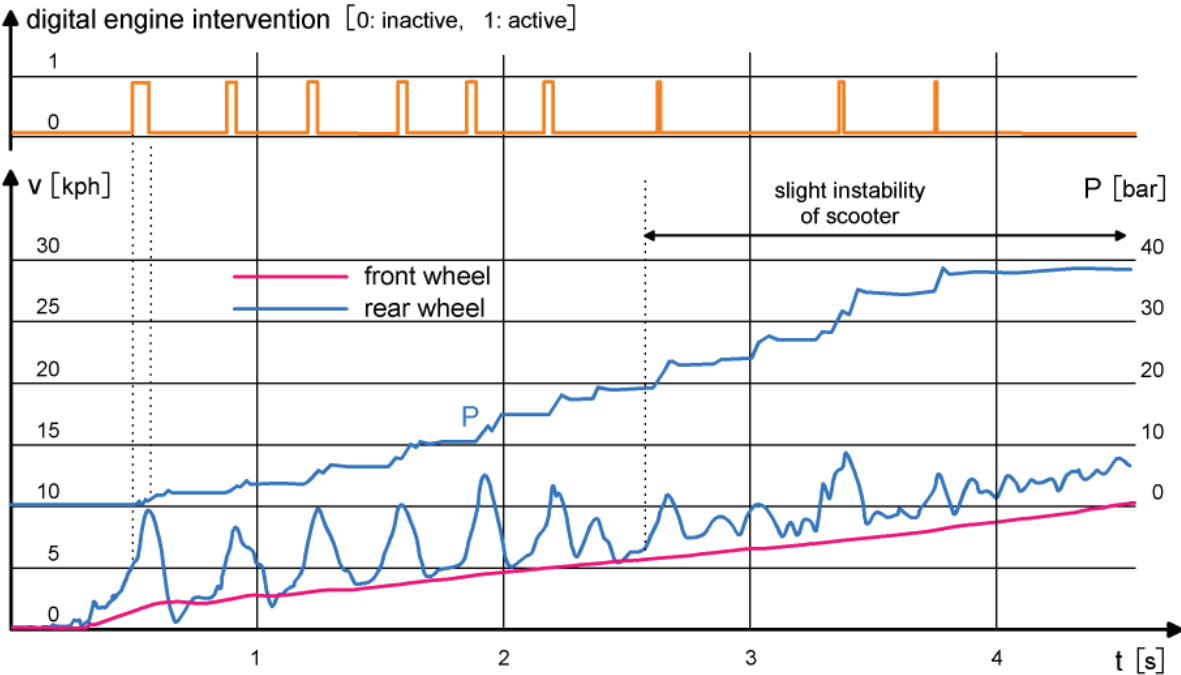


Fig. 21 Time diagram of a real (B)TCS-controlled acceleration of a motorcycle on a watered epoxy surface with a friction coefficient  $\mu = 0,2$  (brake and engine intervention overlaid)

After a certain settling time the whole control shall be taken over by the brake intervention mechanism. In order to achieve this, the pressure is always increased a little with each new wheel-spinning

tendency, but the pressure is not decreased afterwards as long as the driver requests a certain (high) throttle position.

The adjusted pressure amount is limited to a value which depends directly on the throttle position.

Thus the control strategy comprises a part of feed-forward control.

Since in this way the brake pressure is continuously increased during the running control (up to a calculated maximum, if necessary) the engine torque surplus is more and more compensated by the counteracting brake torque, and interval of wheel spinning are rare. After a certain time interval (at about 3s in the example of figure 21) almost the whole control is done with the brake, and engine interventions are less required.

The control strategy takes care not to reduce the brake pressure before the wheel slip falls short of a low threshold or the driver reduces the throttle position.

All in all this strategy provides a more homogeneous traction behavior since collapses of the engine torque are more and more avoided. Therefore the rear wheel speed does not show any tendency to fall into brake slip from about 2,5s in the example. Naturally, the vehicle acceleration is improved by this, so that the vehicle speed with 10 kph at the end of the chart is higher than with the strategy shown in figure 20 (only 8 kph). Thus, from control strategy point of view the combined strategy with brake and engine intervention works better than a pure engine control.

But the benefit of improved traction is faced with the disadvantage of a slightly reduced driving stability. Due to the continuously adjusted traction slip (starting at about 2,5s in the example) the driver must take more action to keep the vehicle stable. The phases  $T_S$  with high side-force reserves are enormously helpful in the first strategy.

Thus, the first strategy is well suited to manage acceleration situations on very low friction, whereas the second strategy has more benefits on road surfaces with higher friction amounts and at higher vehicle speeds.

Beside these two TCS control strategies a lot of more patterns and certain mechanisms in special situations can be considered.

The most important aim for single-track vehicle control is always to provide a stable and homogeneous vehicle behavior with sufficient traction force.

The best way to manage traction slip in single-track vehicles is the quasi-analog engine intervention by adjusting the throttle position. Brake intervention is then unnecessary.

On the other hand, overlaid brake intervention is helpful to improve pure digital engine interventions. Digital engine intervention without braking can be improved by a control strategy based on a good engine model, in order to considerate rise and delay times in the engine behavior.

Pure brake intervention is too slow and therefore not capable of always keeping the slip of a spinning wheel in a stable range.

Regarding the possible prevention of real accidents through an existing TCS, it is almost impossible to make a realistic estimation.

On the one hand the range of possible maneuver processes is so large that it is hard to predict how a particular traction maneuver would have occurred with and without control function, since the presence of a control function like this has an influence on the whole driver behavior, and on the other hand in most accidents we do not know at all how the involved motorcyclist acted before a fall or a collision occurred.

Nevertheless practical tests show that a TCS function can be very helpful for well-motorized single-track vehicles especially under critical road and weather conditions (slippery road, roads covered with foliage etc.).

### **3 Improvement of cornering safety of single-track vehicles by adaptive brake control**

The above-described control strategies for ABS and TCS are already well suited to keep single-track vehicles stable during full braking and strong acceleration on road surfaces with friction amounts above  $\mu=0,3$ .

However, this is essentially only for maneuvers without significant lateral dynamics. Since the lateral acceleration of a single-track vehicle requires a roll angle, it is generally critical, if the available tire forces are not sufficient to implement the desired dynamics.

In such cases, the lateral slipping and sliding of the tires can cause a fall.

Since strong braking and accelerating needs already high longitudinal forces  $F_x$  the reserve of side forces  $F_y$  is often severely restricted according to the simple theory of Kamm's circle (see figure 22.b). Basically, the whole horizontal force acting between tire and road surface  $(F_x^2 + F_y^2)^{1/2}$  can not lie outside the circle the radius of which is the product of the effective friction coefficient  $\mu$  and the vertical tire contact force  $F_z$  (wheel load force).

According to the characteristic force lines in figure 22.c, a side force  $F_y$  can only be built-up by a wheel side-slip angle  $\alpha$  (see figure 22.a) between tire and road surface. Physically this means that the

wheel follows a velocity vector, which differs somewhat from the direction of the longitudinal wheel axis, so that side forces are generated only by a beginning side-slip process.

Therefore, it would be desirable in the case of curve maneuvers to adapt the requested long force to the degree of cornering, that means to abandon a small amount of longitudinal force in order to meet the need for lateral force more safely.

This is shown for a full-braking situation in figure 22.c (first quadrant of the force diagram describes the braking). The areas outlined in red define the operative ranges normally adjusted by ABS, where the continuous line marks the available long force which is itself a function of the slip  $s$  and the side-slip angle  $\alpha$ . The dotted red line marks the range of the resulting side force.

With a slight underbraking (reducing the requested long force by  $\Delta F_x$ ) the operative ranges are transferred from the red to the green fields, where the side force is increased by  $\Delta F_y$  for example (same situation shown in figure 22.b, Kamm's circle).

Depending on the operative ranges a small reduction of long force can result in a significant improvement of the side force.

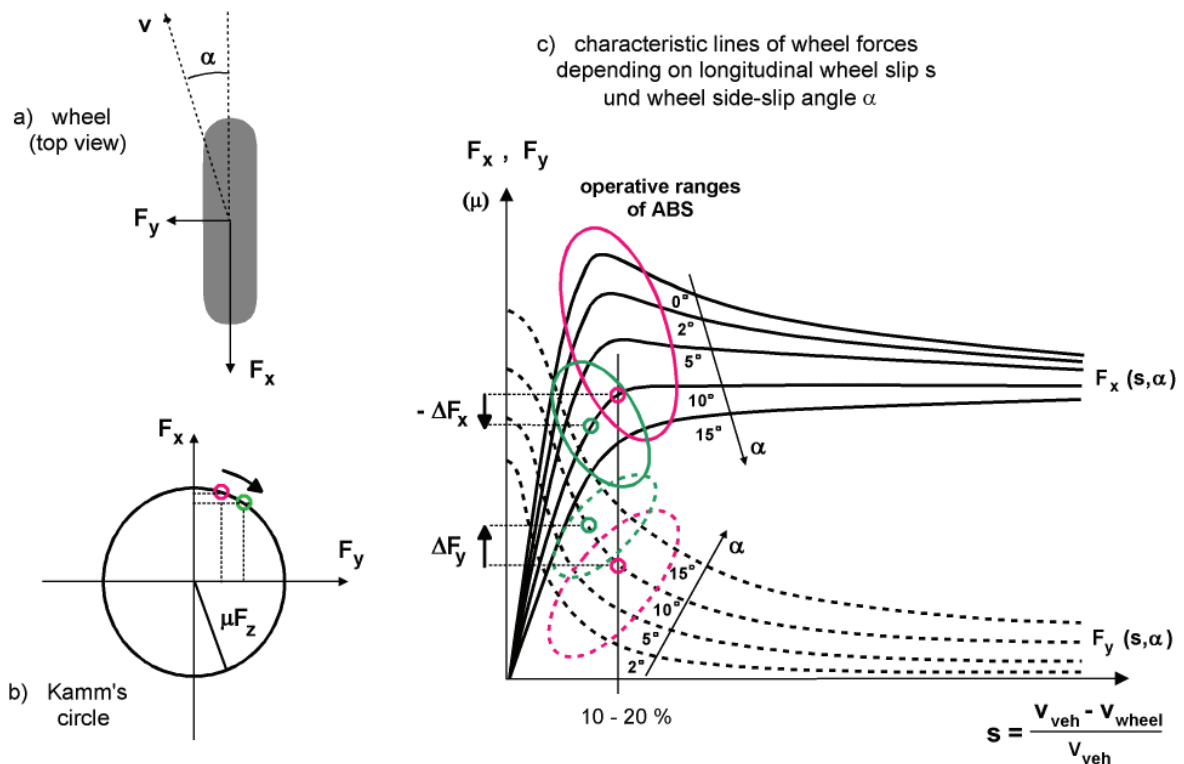


Fig. 22 a) Definition of the wheel side-slip angle  $\alpha$ , b) Kamm's circle  
 c) Characteristic tire force lines as functions of wheel slip  $s$  and side-slip angle  $\alpha$  for braking, operative ranges of ABS

In order to consider the cornering in ABS and TCS control, it would be sensible to adapt some control parameters dynamically to the degree of cornering that means to the degree of lateral dynamics. But this is only possible, if the system is provided by sensors capable of measuring the lateral dynamics (lateral acceleration or roll angle) with a sufficient exactness.

This is not to be done with conventional sensors in a standard single-track vehicle, as the figure 23.a illustrates. The whole body of a normal scooter must be tilted to adjust the roll angle  $\rho$  necessary for cornering, and therefore a lateral-acceleration sensor fixed to the body (see arrow) horizontally is tilted too, so that no (relevant) value is measured in the curve. The acceleration signal measured in this way is almost always near 0.

Theoretical investigations show that it is possible to estimate the degree of cornering with a certain arrangement of several acceleration and rotation sensors. But those methods are not only expensive, but also need a lot of computational power and are nevertheless not accurate and safe enough.

On the contrary, figure 23.b shows the concept of a very smart scooter with two small front wheels (MP3 from Piaggio). Due to the special front axle suspension with a horizontal bar, it is possible to fix an acceleration sensor on that bar, so that it is always kept in parallel position to the road surface and therefore indicates the effective lateral acceleration working on the vehicle. Even a yaw rate sensor as used for ESC (electronic stability control) can be placed on the horizontal bar.

Moreover an angle sensor can be placed between the horizontal bar and the steering axle which is tilted during cornering in the demonstrated way. The measured angle  $\rho'$  can be taken for simply calculating the roll angle with the equation  $\rho = 90^\circ - \rho'$ .

In order to determine the degree of cornering, the lateral acceleration sensor or the roll angle can be used.

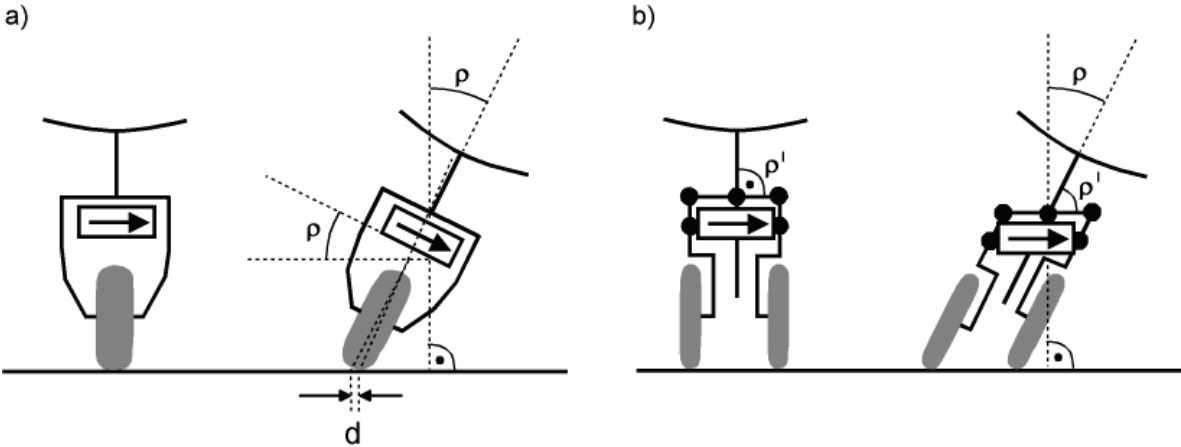


Fig. 23 Single-track vehicles in straight-ahead driving and cornering (roll position with angle  $\rho$ )  
 a) Conventional scooter, b) Special scooter with two front wheels

In the SIM-project funded by the EC [1], Continental fitted two MP3 scooters from Piaggio with appropriate sensors. Therefore it was possible to adapt important parameters of ABS and TCS dynamically during cornering.

As an example, figure 24 shows a threshold used in ABS to recognize a tendency to wheel locking which normally just depends on the vehicle velocity.

This standard function is given by the upper line marked with the value  $0^\circ$ .

For the MP3 the function was changed to the field of characteristic lines where the roll angle  $\rho$  is used as a parameter to select one of the lines dynamically during cornering (see red arrow in figure 24).

Beside this threshold parameter, about 20 other parameters relevant for ABS and TCS control were changed in the same way and made ready for dynamic calculation during running control depending on the current roll angle  $\rho$ .

All in all the vehicle stability during cornering was highly improved with this adaptive concept.

The parameter field marked with the blue arrow in figure 24 could be used, if a low-friction situation was recognized due to further sensors (for temperature and humidity etc.).

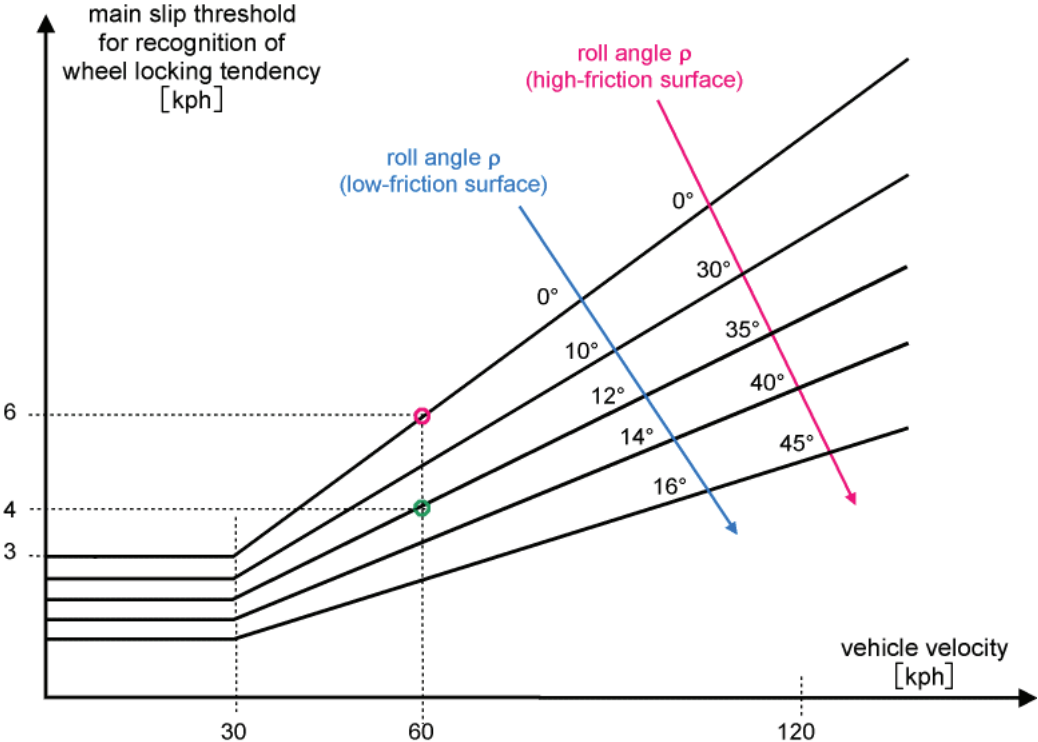


Fig. 24 Example for a dynamic adaptation of an important parameter for ABS control depending on the measured vehicle roll angle  $\rho$

Another problem of braking motorcycles during extreme cornering is given by the fact that the contact point of a tilted tire is shifted out of the vertical center line by a small amount  $d$  (see figure 23.a). This small distance operates as a lever to build up an additional steering torque when a brake force is applied to the wheel. This steering torque of  $M_L = F_B * d$  has the effect of emphasizing the steering action and therefore lifts up the motorcycle. The driver has the task to compensate the torque with a suited counter-torque. If a driver reacts in a nervous and inappropriate manner the vehicle may become totally unstable.

Even a well adapted ABS is not able to suppress the unwanted steering effect, because it occurs long before wheel locking.

Thus another feature for safe curve braking is suggested here and presented in figure 25.

The driver of a motorcycle may apply a pressure to the front main cylinder like the signal  $P_{mc}$ . This abruptly applied pressure increase is not directly led to the front wheel by the ABS-control system but limited to a maximum pressure-increase gradient which directly depends on the measured or estimated roll angle  $\rho$ . For high values of  $\rho$  that means extreme cornering a strong gradient limitation is done, like the green pressure profile demonstrates in figure 25.

This slow pressure increase has the effect of a slowly increasing steering torque which can easily be compensated by driver reaction and counter-steering.

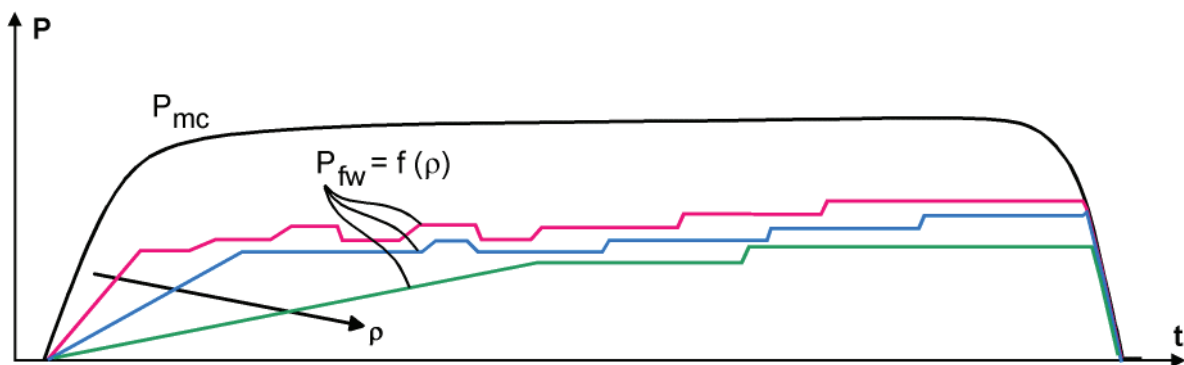


Fig. 25 Limitation of the first pressure-increase gradient at the front wheel depending on the vehicle roll angle  $\rho$  in order to reduce the disturbing steering torque during extreme cornering

Practical studies and theoretical simulation work have shown that in order to avoid sideward sliding of a vehicle, the entry thresholds for ABS and TCS must be chosen very low already for slight vehicle inclinations, if the road friction is significantly below  $\mu=1$ .

These sensitive parameters can affect unwanted control in individual cases, which may be disturbing to the driver. In order to avoid this problem, we could give the driver the possibility to choose the parameter adjustment himself via switches, for example safe or dynamic parameters could be chosen depending on weather condition.

It is of course imaginable that intelligent systems developed in the future will be able to make the decision automatically and perform parameter adjustments depending on sensor information (such as temperature, humidity of the air, but also optical information gained by a camera), resulting again in the field of driver assistance systems.

Finally, an interesting control feature for improved cornering of special single-track vehicles is discussed which is in a way similar to what is performed by ESC (electronic stability control) in passenger cars. The precondition for this control is that lateral acceleration and yaw rate of the vehicle can be measured with certain exactness, as it is possible in the MP3 (see figure 23.b).

In passenger cars the electronic stability control is handled primarily through a yaw-rate control (see simplified equation in the green frame of figure 26).

For that the actual yaw rate  $d\Psi/dt_{\text{meas}}$  is measured and compared with a so-called model yaw rate  $d\Psi/dt_{\text{model}}$ . The model yaw rate is considered as the reference for a car that follows the driver steering demand (requested by the steering angle  $\delta$ ) in an ideal manner taking also into account the vehicle velocity and the road friction estimated as a median value for all wheels. Whenever there is a significant difference between the signals, ESC tries to change the vehicle dynamics with the help of engine and brake interventions in order to bring the actual yaw rate near to the model yaw rate.

The model yaw rate for cars depends therefore directly on the steering angle

Thus it is not possible to take this concept over to single-track vehicles, since here the steering angle does not stand in direct relationship with the degree or even the direction of cornering.

passenger car:	$\dot{\Psi}_{\text{meas}} \leftrightarrow \dot{\Psi}_{\text{model}} = \delta \frac{v}{l + EG v^2} \quad \text{(calculated dynamically, limited by } \mu \text{)}$
motorscooter or motorcycle:	$\dot{\Psi}_{\text{meas}} \leftrightarrow \dot{\Psi}_{\text{model}} = \frac{a_y}{v}$

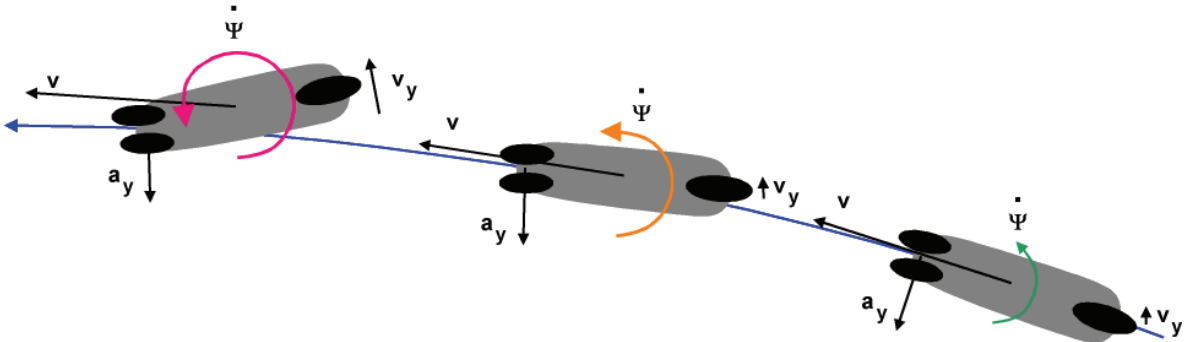


Fig. 26 cornering situation of a 3-wheeled scooter with a tendency to drifting (oversteering)



Therefore, it is proposed here, as shown in the red frame of figure 26, to take the signal  $a_y/v$  as a model yaw rate  $d\Psi/dt_{\text{model}}$ . This signal has the meaning of that yaw rate which can be compensated in a stable manner by the lateral acceleration  $a_y$  when the vehicle moves with velocity  $v$ . If the measured yaw rate exceeds that model yaw rate, oversteering occurs caused by a sideward sliding rear wheel like shown in figure 26.

The reason for the instability can be that due to strong traction and high long forces at the rear wheel, the available side force is getting too low to compensate the centrifugal forces.

The time diagram of figure 27 shows how the drifting of the vehicle can be suppressed by a kind of ESC control. The high engine torque demanded by the driver  $M_D$  (violet line in the upper part) is reduced to the signal  $M_C$  by the control algorithm, which recognizes the impending vehicle instability by a comparison of the two yaw rate (the measured yaw rate is the red signal in the lower part of the diagram, the reference or model yaw rate is the blue signal). With the help of a suited engine interface the torque reduction can be realized, and by reducing the traction (long) force, the side force is increased and the vehicle is transferred into a stable state again.

In order to make the control algorithm a little safer, an additional signal can be utilized, particularly the yaw acceleration  $d^2\Psi/dt^2_{\text{meas}}$ .

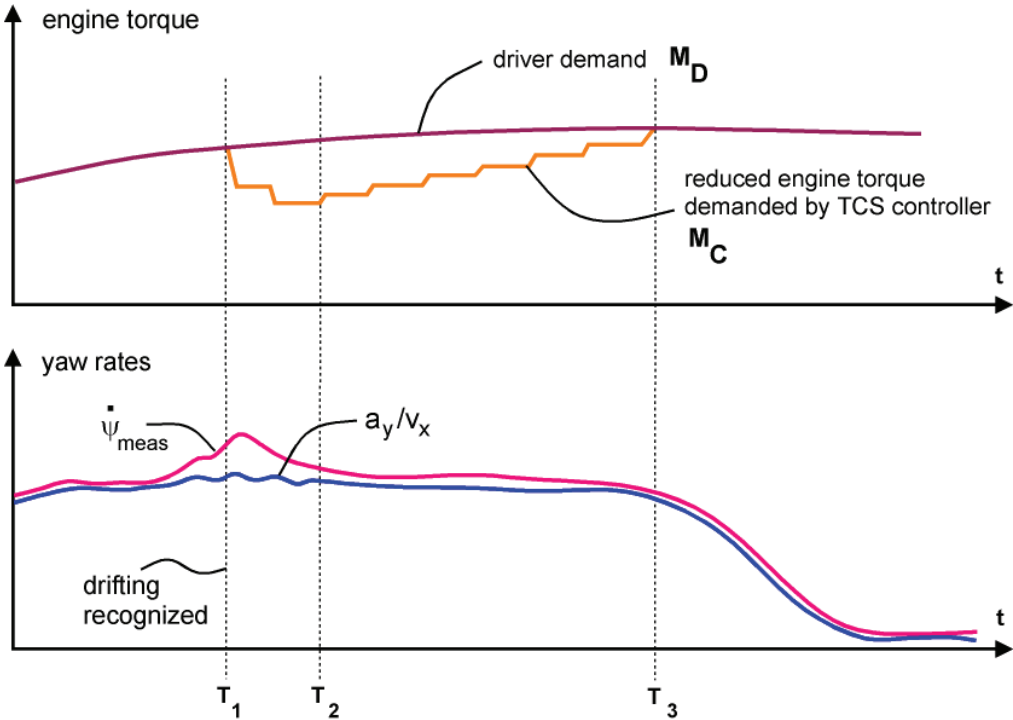


Fig. 27 Time diagram of a drift-control situation

## Summary

As mentioned in the introduction and shown in the previous sections, the driver of a motorcycle must fulfill a large number of tasks. This can lead to an overburden of the driver, especially in emergency situations when the correct decision can be a matter of life and death.

A motorcycle that is equipped with driver assistance systems, in particular ABS, can support the driver by taking-over several tasks (marked in red in figure 28).

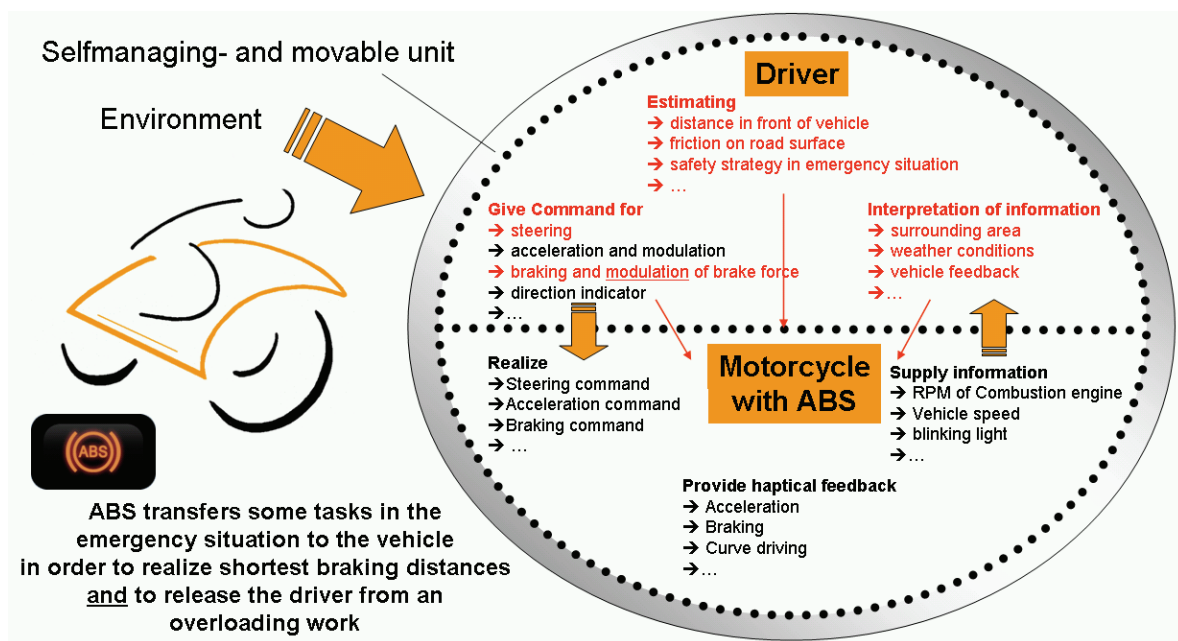


Fig. 28 Task distribution driver / motorcycle in the case of a running ABS control

ABS is able to detect a wheel-locking early and to modulate the hydraulic pressure in the brake calipers such that the maximum possible braking energy is converted and thus a short braking distance is realized. The driver has not to focus on the modulation of the brakes. The road conditions (wet / dry road surface) play a minor role for him, as ABS takes all these parameters into account for calculation of optimal pressure amounts, and therefore always realizes the maximum possible deceleration value. The driver can focus more on other tasks: Is the obstacle already out of my driving path, if I now strongly slow down? Can I possibly avoid a collision with a lower speed? Will I be able to come to a standstill in front of the obstacle?

The theoretical accident studies described in section 1 as well as practical vehicle tests of the control functions shown in section 2 have demonstrated that brake-control systems have a lot of safety benefits, particularly ABS in single-track vehicles.

Therefore it seems to be sensible to introduce ABS as a standard function in all motorcycles and scooters with a certain engine size.

To realize a TCS function simply based on an engine interface could be a useful extension.

Further development activities should focus on new methods of recognizing cornering in order to calculate important control parameters dynamically depending on the respective manoeuvre.

The most difficult task here is a reliable detection of the curve.

In the example of the MP3 scooter shown above, the lateral dynamics can easily be determined by direct sensing, but it is a real challenge for the future to achieve this in normal two-wheelers.

Advanced driver assistance systems as well as smart navigation and vehicle-intercommunication (Car2X) are largely still under development and need first to be established in vehicles of the upper and middle class during the next few years.

Motorcyclists will accept such systems certainly, if they open new benefits in the entertainment and fun area. For example, the front camera of a driver assistance system could also be used to record interesting routes and for the creation of holiday movies, navigation with GPS and map is anyway useful and already widespread, and the Car2X functionality could provide a new fun factor e.g. for driving in a convoy.

## References

- [1] SIM Safety In Motion  
Final Workshop, Piaggio Museum Pontedera, Italy, 26.Nov. 2009
  
- [2] G. Roll, O. Hoffmann, J. König  
“Effectiveness Evaluation of Antilock Brake Systems (ABS) for Motorcycles in Real-World Accident Scenarios”  
ESV21, Stuttgart, Germany, June 2009
  
- [3] B. Spiegel  
“Über das Bremsen aus Sicht des Verhaltensforschers“  
Eröffnungsvortrag des XX. Internationalen  $\mu$ -Symposiums,  
Bad Neuenahr, Germany, Oct. 2000
  
- [4] DEKRA Verkehrssicherheitsreport Motorrad 2010  
DEKRA, Stuttgart, Germany, 2010

## **Untersuchung des Sicherheitsgewinns durch elektronische Bremsenregelsysteme in Einspurfahrzeugen**

## Einleitung

Betrachtet man die Fortbewegung eines Motorrads im Straßenverkehr etwas detaillierter, so lässt sich zunächst feststellen, dass das Motorrad und der Motorradfahrer eine untrennbare Einheit bilden, die es nur im Zusammenhang ermöglichen, wirklich sicher durch den Verkehr zu kommen. Es handelt sich um eine Einheit, die sich als solches selber organisieren und fortbewegen kann. Die Aufgaben, die dieser Einheit zuteil werden, lassen sich auf diese 2 Hauptelemente, Fahrer und Motorrad, aufteilen (s. Abb. 1).

Der Motorradfahrer bildet die intelligente Schaltzentrale des Systems. Er gibt zunächst die Befehle zur Steuerung des Fahrzeugs. Dazu gehören das Lenken, die Modulation des Gasgriffs zur Beschleunigung und des Bremshebels zum Bremsen sowie das Betätigen der Kupplung mit dem damit verbundenen Betätigen der Gangschaltung.

Weiterhin muss er sich kontinuierlich über die Straßenverhältnisse im Klaren sein und abschätzen, ob die gewählten Fahrmanöver sich auch wirklich unter den gegebenen Umständen umsetzen lassen. Die Abschätzung des Raumes vor dem Fahrzeug ist dabei zu beachten, genau so wie die des Fahrbahnbereiches und der Verkehrssituation. Ein vorausschauender Motorradfahrer überlegt sich dabei auch immer Sicherheitsstrategien, die zum Zuge kommen, wenn sich die Verkehrssituation ändert und alternative Reaktionen notwendig werden.

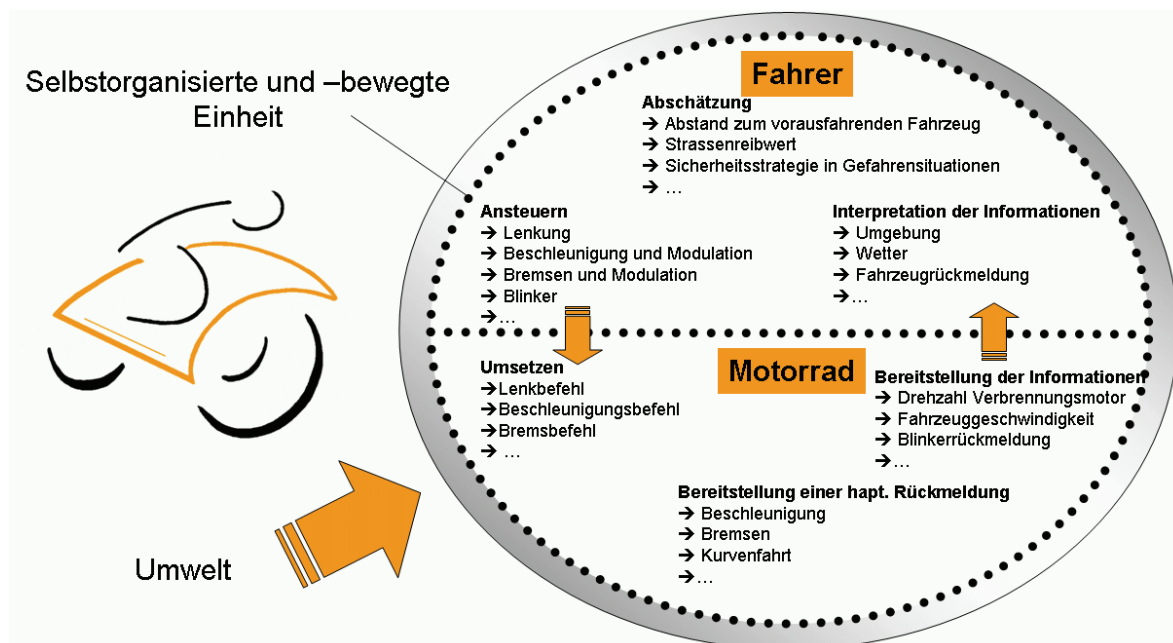


Abb. 1 Aufgabenverteilung Fahrer / Motorrad

Er muss zudem in der Lage sein, die Informationen der Umgebung richtig zu interpretieren. Sich ändernde Wetterbedingungen spielen dabei eine genau so wichtige Rolle wie eine sich ändernde Fahrbahnoberfläche durch Feuchtigkeit oder Schotter.

Das Motorrad hat in erster Linie die Aufgabe, die Befehle des Fahrers wie Lenken, Beschleunigen und Bremsen umzusetzen. Die Präzision und die Art und Weise dieser Umsetzung ist der Maßstab, mit dem sich die Motorradhersteller gegenseitig auf dem internationalen Motorradmarkt messen und ihre Wettbewerbsvorteile definieren.

Gleiches gilt für die Bereitstellung des generellen haptischen Feedbacks an den Fahrer. Das Beschleunigen und Verzögern ist eines der wesentlichen Erlebniselemente, das der Fahrer vom Fahrzeug zurückgemeldet bekommt. Das Fahren in der Kurve und dabei insbesondere die Art und Weise, wie sich ein Fahrzeug bewegen lässt (das sogenannte Handling) definieren bei vielen Fahrzeugsegmenten ein wichtiges Erlebniskriterium.

Weiterhin gibt das Motorrad dem Fahrer kontinuierlich Informationen über den Zustand des Fahrzeugs wie die Umdrehungszahl des Verbrennungsmotors, die aktuelle Fahrzeuggeschwindigkeit, den Zustand der Blinkanlage und weitere Informationen wie die Anzeige von Fehlern von elektronischen Steuergeräten. Solche Informationen werden über die Cockpitanzeigen übermittelt.

Alles in allem bilden Fahrzeug und Fahrer eine Einheit, bei der die Informationsbereitstellung und -verarbeitung in einem sehr engen Verhältnis steht. Es ist ein eng aufeinander abgestimmtes System, wobei der Fahrer die Eigenheiten des Fahrzeugs mit einbezieht beziehungsweise bei der Wahl des Motorrads auf bestimmte Eigenschaften Wert legt. Beim Einfahren des Motorrads laufen Lernprozesse ab, bei denen der „intelligente Regler“ (Fahrer) sich auf diese Eigenheiten einstellt. Das Ergebnis ist eine für sich abgestimmte, eigenständige und bewegliche Einheit.

Dieses System überwacht ständig die aktuellen Fahrdaten und gleicht diese mit den Umgebungsbedingungen ab. Es gibt jedoch Situationen, insbesondere Notbremssituationen, in denen sich der Fahrer der Lösung einer sehr komplexen Aufgabe widmen muss. Dabei ist eine Entlastung des Fahrers für bestimmte Teilaufgaben extrem hilfreich.

Kommt der Fahrer zum Beispiel in die Lage, dass ihm ein anderes Fahrzeug den Weg schneidet, so muss er in Sekundenbruchteilen darüber entscheiden, wie er aus der Situation durch Bremsen und Lenken wieder herauskommt. Dabei muss er den umgebenden Raum, insbesondere den Raum direkt vor dem Fahrzeug genau so berücksichtigen wie den umgebenden Verkehr. Weiterhin spielt insbesondere beim Bremsen die Fahrbahnoberfläche und -beschaffenheit eine wesentliche Rolle. Der Fahrer muss abschätzen, wie viel kinetische Energie er über die Betätigung der Bremse abbauen kann ohne die Räder ins Blockieren zu bringen. Ein Blockieren der Räder hätte einen nahezu direkten Sturz als Folge. Andererseits führt ein zu zögerliches Bremsen zwar zu einem stabilen Fahrzustand des Fahr-

zeugs, jedoch wird der Bremsweg unnötigerweise verlängert, da nicht das Reibwertpotenzial der Verbindung Reifen-Fahrbahn ausgenutzt und damit nicht das Maximum an Bremsenergie umgesetzt wird. Es wäre eventuell auch eine Möglichkeit, die Fahrzeuggeschwindigkeit erheblich zu reduzieren, um anschließend ein Ausweichmanöver fahren zu können. Diese fallen natürlich bei geringer Geschwindigkeit leichter als bei hoher.

Die Komplexität der Reaktion wird noch dadurch verstärkt, dass der Fahrer sich in einer solchen Situation in einer Art Schock- oder Stresszustand befindet: eine reelle Möglichkeit ist die Kollision mit dem Fahrzeug, das gerade den Weg kreuzt. Solche Kollisionen führen jedoch unausweichlich zu erheblichen Verletzungen, die auch häufig tödlich enden.

Von daher stellt sich die Frage, in wieweit Fahrerassistenzsysteme, insbesondere ABS, in der Lage sind, den Motorradfahrer zu entlasten und welche Potenziale der Unfallvermeidung sich mit solchen Fahrerassistenzsystemen ergeben.

Die hier dokumentierten theoretischen und praktischen Untersuchungen wurden bei Entwicklungsarbeiten für ABS, TCS und Fahrer-Assistenzsysteme bei Continental sowie auch im Rahmen von Forschungsarbeiten (SIM = Safety in Motion [1]) in Kooperation zwischen Continental und anderen Firmen durchgeführt.

In der heutigen Welt der motorisierten Einspurfahrzeuge bzw. Zweiradfahrzeuge (speziell Motorräder und Motorroller) sind elektronische Bremsenregelsysteme und Fahrerassistenzsysteme noch nicht sehr stark verbreitet, obwohl die Fahrzeuge bezüglich anderer Komponenten, wie Motoren und Getriebe, einen teilweise sehr hohen Entwicklungsstand erreicht haben und sich daher auch auf einem entsprechend hohen Preisniveau befinden.

In Abschnitt 1. wird zuerst das Ergebnis von theoretischen Untersuchungen zum Nutzen von modernen Bremsenregelsystemen in Einspurfahrzeugen diskutiert. Dazu wurden Daten realer Unfälle ausgewertet. An konkreten Beispielen zeigt sich, dass Regelsysteme auch vielfältige sekundäre Vorteile bringen können, die über die primären Vorteile der Bremsstabilität und der erhöhten Bremsverzögerung hinaus gehen.

Der Abschnitt 2. beschäftigt sich mit den speziellen Anforderungen an ABS- und TCS-Systeme für Motorräder und -roller, wobei die funktionalen Besonderheiten gegenüber den in PKWs bereits lange etablierten Systemen herausgestellt werden. An beispielhaften Messungen realer Brems- und Traktionsvorgänge werden einige charakteristische Merkmale guter Regler aufgezeigt.

In Abschnitt 3. wird die für Motorräder besonders kritische Situation der gebremsten und beschleunigten Kurvenfahrt betrachtet.

Anhand eines interessanten 3-rädrigen Rollers (MP3 von Piaggio) werden Möglichkeiten aufgezeigt, die sonst sehr schwierige Aufgabe der Kurvenfahrterkennung bei Einspurfahrzeugen auf verblüffend leichte Weise zu lösen. Dieses Fahrzeug verfügt über zwei Vorderräder, muss aber trotzdem fahrdynamisch als Einspurfahrzeug eingestuft werden.



# 1 Unfall-Untersuchung anhand der DEKRA-Unfalldatenbank für Zweiradfahrzeuge

Um die Wirkung moderner Bremsenregelsysteme in Einspurfahrzeugen realistisch einschätzen zu können, wurden seitens Continental reale Unfalldaten ausgewertet, die in den Jahren 1996 bis 2007 anhand schwerer Verkehrsunfälle registriert und zu statistischen Zwecken und zur möglichen Weiterverarbeitung in der DEKRA-Unfalldatenbank für Zweiradfahrzeuge (PTWs = Powered Two-Wheelers) abgelegt worden waren [1].

Alle in der Datenbank gespeicherten Unfälle zeichnen sich dadurch aus, dass jeweils mindestens ein PTW in den Unfall involviert war. Von den insgesamt 350 dokumentierten Unfällen wurden seitens DEKRA mit Hilfe einer gezielten Selektion nur die Unfälle extrahiert (s. Abb. 2), bei denen der jeweilige Motorradfahrer versucht hatte, die anschließende Kollision mit seinem Unfallgegner durch Abbremsen seines eigenen Fahrzeugs zu verhindern. Somit ergaben sich 51 relevante Unfälle, in denen gutes Bremsen des beteiligten Motorrads besonders wichtig gewesen wäre, um den Schaden zu verringern oder den Unfall vollständig zu vermeiden.

Die hier durchgeführte Untersuchung sollte die Frage klären, in welchem Grad moderne Bremsenregelsysteme die 51 Unfälle hätten abmildern können, wenn die betroffenen Motorräder damit ausgerüstet gewesen wären.

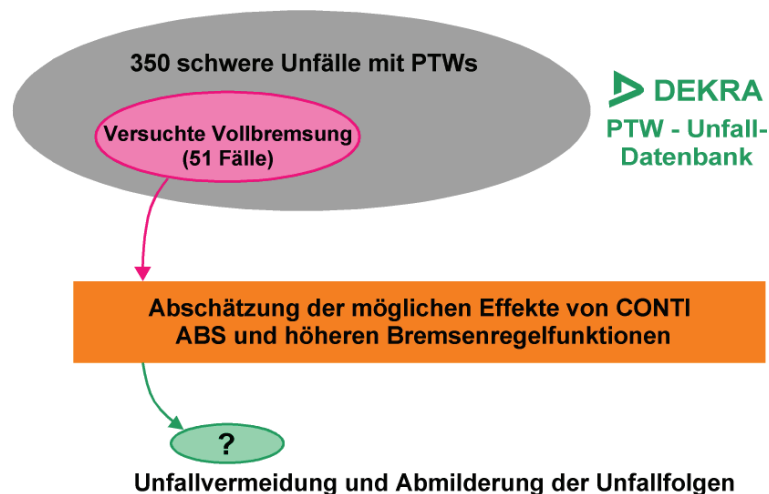


Abb. 2 Vorgehensweise bei der Unfalluntersuchung

Abb. 3 zeigt einen typischen Unfall dieser Kategorie.

Der den Unfall verursachende PKW-Fahrer hatte versucht eine Landstraße zu überqueren, ohne die Vorfahrt eines Motorradfahrers zu beachten, der sich mit etwa 100km/h der Kreuzung annäherte.



Abb. 3 Unfallfoto, Endpositionen der beteiligten Fahrzeuge  
Quelle: DEKRA-Unfalldatenbank

Abb. 4 zeigt den Unfallverlauf mit Hilfe einer maßstabsgetreuen Kartenzzeichnung der Unfallumgebung, wobei die Positionen beider Unfallgegner zu verschiedenen Zeitpunkten innerhalb der Straßenkarte dargestellt sind. Diese Zeitpunkte, die relativ zum Aufprallzeitpunkt gerechnet werden, sind insbesondere durch das Verhalten des Motorradfahrers charakterisiert. Die jeweilige Entfernung des Motorrads zum PKW kann direkt aus der Kartenzzeichnung abgelesen werden. Weitere wichtige Parameter des Unfalls sind die Geschwindigkeiten der Unfallgegner zu den charakteristischen Zeitpunkten, hier insbesondere die Geschwindigkeit des Motorrads, da das Motorrad frontal in die hintere Seite des PKW fährt und somit die Unfallschwere in diesem Fall nahezu ausschließlich durch die Motorradgeschwindigkeit verursacht wird.

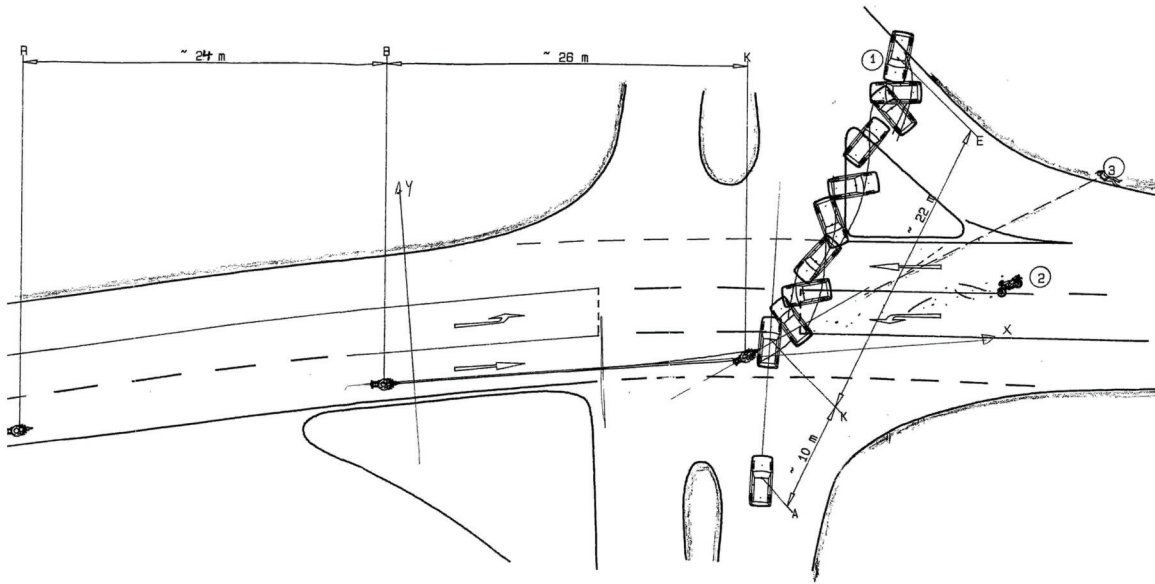


Abb. 4 Unfallskizze, Positionen der beteiligten Fahrzeuge zu charakteristischen Zeitpunkten  
Quelle: DEKRA-Unfalldatenbank

Punkt R (Reaktion) in der Unfallskizze gibt an, wann und wo der Motorradfahrer die Entscheidung zum Bremsen getroffen hat. Punkt B (Bremsen) zeigt, wann und wo der Motorradfahrer erstmalig die Bremsen so befüllt hat, dass von einer (zumindest beabsichtigten) Vollbremsung gesprochen werden kann. Punkt K (Kollision) beschreibt die Stelle des Aufpralls des Motorrads auf den kreuzenden PKW zum „Zeitpunkt 0“.

In der Tabelle in Abb. 5 sind die relevanten Daten zusammengestellt

Man sieht, dass das Motorrad mit noch fast 70 km/h auf den PKW trifft. Der Aufprall ist so stark, dass sich der PKW 1,5-fach um seine Hochachse dreht. Über die gesamte Distanz von 52m, die das Motorrad im Zeitpunkt der Fahrerreaktion zum PKW hatte, wurden trotz Vollbremsentscheidung nur ganze 23,6 km/h an Eigengeschwindigkeit abgebaut.

Dieses Beispiel zeigt eindrucksvoll, wie gering die Gesamtbremswirkung eines Fahrzeugs sein kann, wenn die Bremsen zu vorsichtig und zögerlich betätigt werden. Außerdem ist dieser Fall auch ein typisches Beispiel dafür, dass durch eine etwas bessere Bremswirkung des Motorrads der Unfall hätte gänzlich vermieden werden können. Das Motorrad trifft den PKW gerade noch am Heck. Hätte das Motorrad den Kollisionspunkt aufgrund einer geringfügig höheren Eigenverzögerung auch nur um Sekundenbruchteile später erreicht, so hätte sich der PKW aufgrund seiner eigenen Fahrgeschwindigkeit vollständig aus dem Fahrschlauch des Motorrads hinausbewegt, und eine Kollision hätte trotz noch hoher Restgeschwindigkeit des Motorrads überhaupt nicht stattgefunden.

Time to Collision	delta t	Driving velocity		Distance to Collision	delta s	Acceleration	Distance to coll.-partner	Sight distance to coll.-partner	Pre-Crash-Phases
[s]	[s]	[km/h]	[m/s]	[m]	[m]	[m/s <sup>2</sup> ]	[m]	[m]	
0	0	70	19,4	0	0				Collision of PTW 01 against car 02
-0,45	0,45	81,4	22,6	-9,5	9,5	-7	11	11	Frontal and rear wheel braking, car 02 enters lane
-0,9	0,45	89,5	24,9	-20,2	10,7	-5	23	23	Driver 01 is braking, driver 02 looks to the left
-1,13	0,23	93,6	26	-26	5,8	-5	29	29	Driver 01 starts rear wheel braking
-2,13	1	93,6	26	-52	26	0	57	57	Reaction point driver 01, car 02 drives constantly

Abb. 5 Wertetabelle, charakteristische Unfalldaten  
Quelle: DEKRA-Unfalldatenbank

Alle hier betrachteten Fälle zeichnen sich durch ähnliche Umstände aus wie der in Abb. 3 gezeigte Unfall. Das beteiligte Motorrad wird vom Unfallgegner meist nicht rechtzeitig bemerkt oder seine Geschwindigkeit falsch eingeschätzt. Der Unfallgegner versucht meist, eine Vorfahrtstraße zu überqueren, in eine Vorfahrtstraße einzubiegen oder auf einer Straße zu wenden, die vom jeweiligen Motorradfahrer befahren wird.

Eine frühzeitig eingeleitete Bremsung mit einer Verzögerung dicht am physikalischen Maximum wäre daher für den jeweils betroffenen Motorradfahrer enorm wichtig gewesen, um die Schäden, insbesondere Körperverletzungen, gering zu halten oder den Unfall ganz zu vermeiden.

Die in die Unfälle verwickelten Motorräder verfügten durchweg nicht über ein elektronisches Bremsenregelsystem.

Um den möglichen Effekt von elektronischen Bremsenregelsystemen (ABS und höheren Funktionen) in den einzelnen Fällen abzuschätzen, wurde die Untersuchung in den folgenden zwei Schritten durchgeführt.

Zuerst wurde auf der Basis der unfallbegleitenden Daten (Art des Bodenbelags, Wetterbedingungen, Art des Manövers) eine mit dem jeweiligen Motorrad mögliche Maximalverzögerung ermittelt und dann anhand von einfachen physikalischen Gesetzen zurückgerechnet, wie der Unfall verlaufen wäre, wenn der jeweilige Motorradfahrer diese Fahrzeugverzögerung erzielt hätte.

Aus der Unfalldatenbank geht natürlich nicht direkt hervor, wie der jeweilige Motorradfahrer die Bremse(n) betätigt hatte. Es gibt lediglich für den „vollgebremsten“ Abschnitt der Bremsung eine mittlere Bremsverzögerung. Wichtig ist aber auch die Vorgeschichte, die zur Füllung der Bremse(n) geführt hat.

Wir wissen daher nicht genau, wie die Bremsbetätigung zwischen den Punkten R und B in der obigen Unfallskizze erfolgte.

Bei schneller vollständiger Betätigung der Bremse(n) bis hin zum Blockierpunkt der Räder wird die Vollbremsung früher erreicht, und damit ist die oben angegebene Distanz zum späteren Kollisionspartner länger. Eine solche kurze „Füllzeit“ der Bremse(n) zu erzielen, ist selbst für einen PKW-Fahrer

in einer Paniksituation nicht leicht. Für den Motorradfahrer wird dies aber noch um zwei wesentliche Faktoren erschwert. Zum einen ist dem Zweiradfahrer stets bewusst, dass ein Überbremsen speziell des Vorderrads mit hoher Sicherheit zur Fahrzeuginstabilität und damit zum Sturz führt, zum anderen müssen zwei getrennte Bremshebel gleichzeitig betätigt werden. Beim Herangehen an die optimalen Bremspunkte, muss dann auch noch berücksichtigt werden, dass diese während des Anbremsvorgangs auch aufgrund der dynamisch veränderten Radlasten stark variieren.

Diese Verhältnisse sind in Abb. 6 anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  und des Bremsdruckverlaufs am Vorderrad eines in Panik gebremsten Motorrads dargestellt.

Die violette Linie zeigt den über der Zeit variierenden Blockierdruck des Vorderrads.

Die durchgezogene schwarze Linie stellt den typischen Verlauf eines zögerlich und vorsichtig eingestellten Vorderradbruchs mit anschließender Unterbremsungssituation dar. Die Druckanforderung des ängstlich agierenden Fahrers bleibt dauerhaft unter dem Blockierdruckniveau.

Demgegenüber stellt der gestrichelte Druckverlauf einen Vorderradbruch dar, der aufgrund von Panik bzw. von falsch eingeschätzten physikalischen Verhältnissen zwar auch zuerst zögerlich aufgebaut aber dann zu hoch gewählt wird, sodass er das Blockierdruckniveau überschreitet.

In 22 der 51 betrachteten Unfallsituationen kommt es aufgrund derartiger Überbremsungen zum Sturz des beteiligten Motorradfahrers bevor die eigentliche Kollision mit dem Unfallgegner auftritt.

Aus praktischen Tests mit geübten Fahrern ist bekannt, dass diese – ohne ABS – zum Füllen der Bremsen (von der ersten Betätigung der Bremsen bis zum Erreichen der als optimal eingeschätzten Bremspunkte) selbst bei hoher Konzentration auf den Bremsvorgang und in Kenntnis von Fahrzeug- und Fahrbahnparametern meist mehr als 0.3s und oftmals bis zu 1s benötigen.

Deshalb wurden für die hier angestellten Untersuchungen grundsätzlich Füllzeiten von 400ms angenommen (s. Abb. 6).

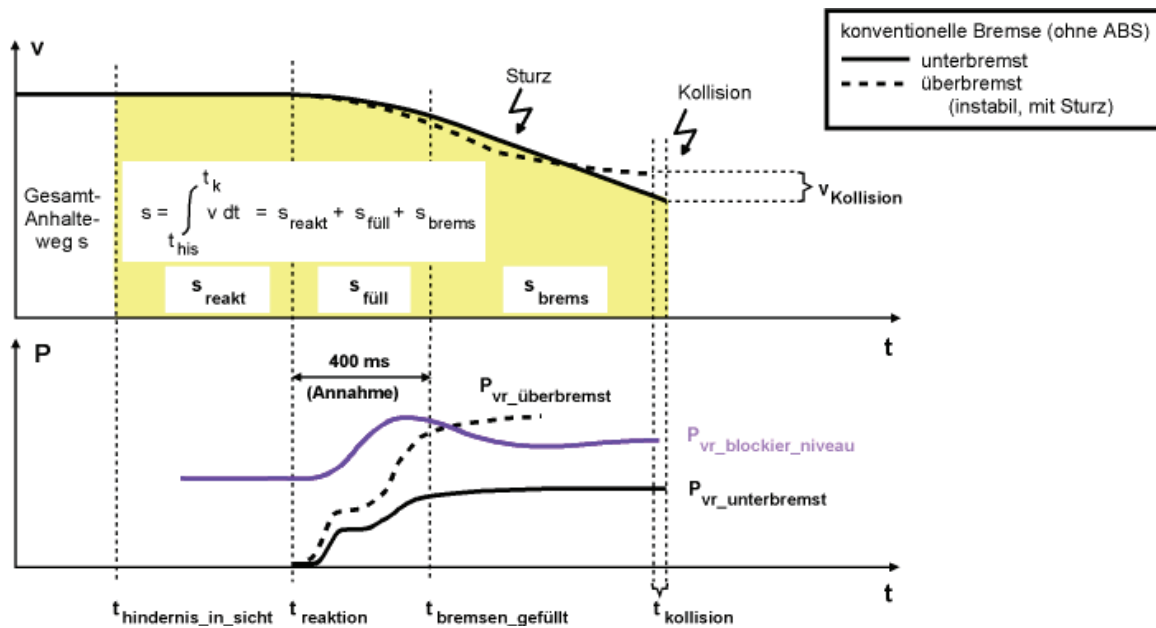


Abb. 6 Mögliche Abläufe von Vollbremsungen ohne ABS

In weiteren Berechnungen wurde daher ermittelt, wie die Vollbremsung verlaufen wäre, wenn man die Füllzeit aufgrund sehr schneller und adaptiver Bremsenbetätigung um kleine Beträge von 50 bis 200ms hätte verkürzen können.

In den Diagrammen der Abb. 7, 8 und 9 sind alle so ermittelten Ergebnisse dargestellt.

Die 3 farbigen Balken zeigen für verschiedene Situationen jeweils die Anzahl der auftretenden Kollisionen (schwarzer Balken), die mittlere Aufprallgeschwindigkeit (in km/h) der Motorräder (arithmetischer Mittelwert über alle 51 Unfälle, blauer Balken) und die mittlere Aufprallenergie der Motorräder (in Prozent, bezogen auf die Realsituation, roter Balken).

Die drei Balken links im Diagramm der Abb. 7 zeigen die realen Verhältnisse der 51 dokumentierten Unfälle: es traten 51 Kollisionen auf, die mittlere Aufprallgeschwindigkeit aller beteiligten Motorräder war 53,13 km/h und die mittlere Aufprallenergie aller Motorräder wird als Referenzwert mit 100% angenommen.

Die drei Balken daneben (Maximalbremsung) zeigen das geschätzte Gesamtergebnis aller Unfälle unter der Annahme, dass in der jeweiligen Vollbremszeit die Verzögerung erreicht worden wäre, die mit einer reinen Vorderradbremung mit ABS unter den jeweiligen physikalischen Randbedingungen (Fahrbahn, Wetter, Temperatur, Manöver etc.) möglich gewesen wäre.

Die weiteren Balkendiagramme in Abb. 7 stellen ebenfalls die Ergebnisse einer solchen Vorderrad-Optimalbremsung dar, allerdings unter der Annahme, dass der Fahrer aufgrund des durch ABS vermittelten Sicherheitsgefühls in der Lage gewesen wäre, die Vorderradbremse um einen kleinen Zeitbetrag (50 ms, 100 ms, 150 ms und 200 ms) früher zu befüllen, als es in der Realität ohne ABS erfolgte.

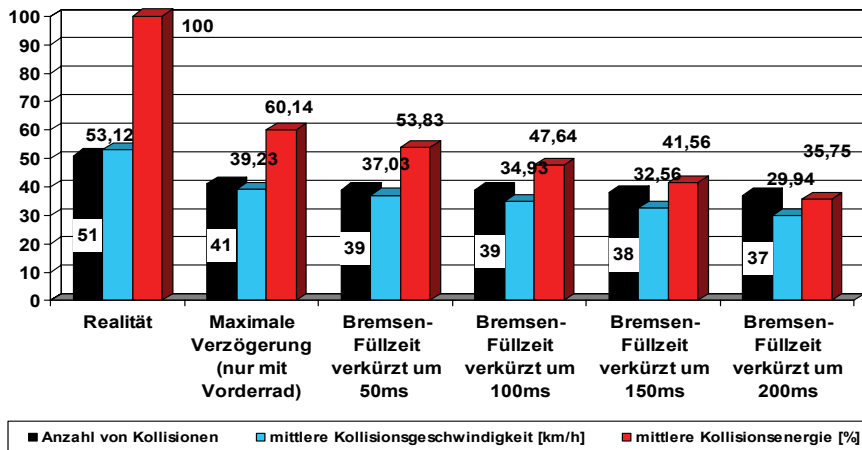


Abb. 7 Einfluss einer optimierten Vollverzögerung und von verkürzten Bremsenfüllzeiten auf die Unfallfolgen (reine Vorderrad-Bremung mit ABS)

Das Diagramm in Abb. 8 zeigt in gleicher Weise die Ergebnisse für den Fall, dass der jeweilige Fahrer nicht nur die Vorderradbremse benutzt, sondern die Hinterradbremse leicht verzögert betätigt hätte, sodass die Gesamtverzögerung jeweils 90% von der möglichen Verzögerung einer synchronen Vollbremsung an beiden Radkreisen betragen hätte. Die linken Balken zeigen als Referenz wieder die Realität, daneben ist das Ergebnis der ABS-geregelten Bremsung dargestellt, und die vier weiteren Balkendiagramme zeigen wieder die Ergebnisse für eine Reduzierung der Bremsenfüllzeit.

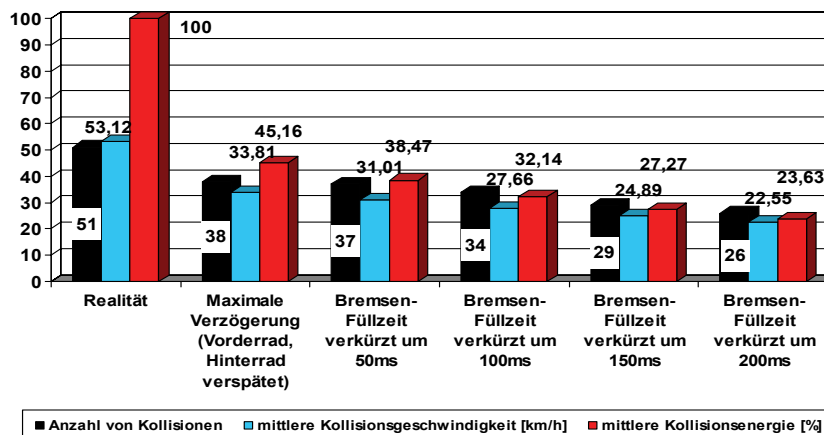


Abb. 8 Einfluss einer optimierten Vollverzögerung und von verkürzten Bremsenfüllzeiten auf die Unfallfolgen (Vorderrad-Bremung mit verzögerter Hinterrad-Bremung)

Das Diagramm in Abb. 9 zeigt schließlich die Ergebnisse in gleicher Weise für die synchrone Vollbremsung an beiden Rädern mit ABS.

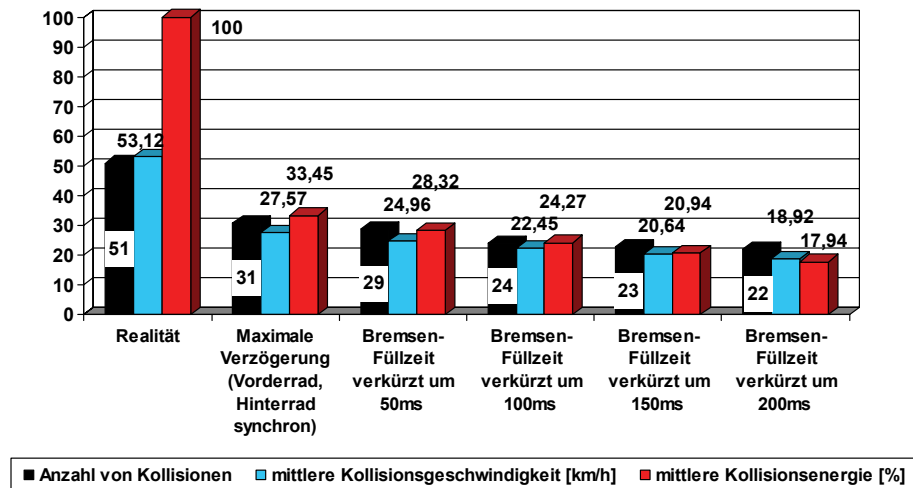


Abb. 9 Einfluss einer optimierten Vollverzögerung und von verkürzten Bremsenfüllzeiten auf die Unfallfolgen (gleichzeitige Vorderrad- und Hinterrad-Bremsung)

Aus den Diagrammen geht deutlich hervor, dass durch die hohen Verzögerungen bei geregelten Vollbremsungen sehr viele Unfälle hätten vermieden werden können. Eine Verkürzung der Füllzeiten beim ersten Anbremsen ist ebenfalls von eminenter Bedeutung. Anhand von Abb. 7 ist ersichtlich, dass die meisten Motorradfahrer nicht einmal die Bremsverzögerung erreicht haben, die physikalisch allein mit dem Vorderrad hätte erzielt werden können.

Mit der synchronen Vollbremsung an beiden Rädern wird die Anzahl der Kollisionen bereits von 51 auf 31 reduziert. Hätten die Fahrer im Bewusstsein ihres Blockierschutzes zusätzlich eine um 100ms verkürzte Füllzeit erreicht, so wären immerhin schon 27 der 51 Kollisionen allein aufgrund der Bremsung vermeidbar gewesen.

Die für die Untersuchung notwendigen Berechnungen und Abschätzungen werden hier nicht dargestellt. Diese sind detailliert in [2] erklärt.

Im zweiten Schritt der Untersuchung erfolgte nun eine Beurteilung, welche Bremsleistung innerhalb der gezeigten Diagramme (Abb. 7, 8 und 9) mit verschiedenen Bremsenregelsystemen und unterschiedlichen Verhaltensmustern der Fahrer physikalisch möglich gewesen wären.

Bei den hier durchgeführten Abschätzungen wurde dazu angenommen, dass ein Fahrer mit ABS durchschnittlich in der Lage ist, den Bremspunkt um 100ms früher zu finden als ohne die Sicherheit des ABS. In praktischen Bremstests wurde ermittelt, dass dieser Zeitgewinn in der Regel eher deutlich übertroffen wird.

Abb. 10 zeigt zu diesem Sachverhalt im oberen Teil ein typisches Zeitdiagramm einer ABS-Bremsung anhand der Fahrzeuggeschwindigkeit  $v$  und der vom ABS um die variierenden Blockierdrücke modu-



lierten Radbremsdrücke. Hier ist auch die Variabilität bei der Aktivierung der Bremsbetätigungen durch variable Fahrzeugverzögerungen berücksichtigt.

Beim abrupten Bremsen eines Motorrads besteht der prinzipbedingte Nachteil, dass zwei separate Bremsbetätigungen bedient werden müssen, um beide Räder zu bremsen.

Daher ist über die reine ABS-Funktion hinaus eine sog. Integralbrems-Funktion hilfreich, die bei Betätigung nur eines Bremshebels das vom Fahrer nicht bediente Rad in aktiver Weise mit Bremsdruck beaufschlagt.

Dies geschieht vorteilhafterweise mit Hilfe eines um einige Ventile erweiterten ABS-Bremsensteuergeräts, das einen Radbremsdruck über die ABS-Pumpe und über zwei Spezialventile ohne Einwirkung des Fahrers aufbauen kann. Der aktive Druckaufbau geschieht üblicherweise über eine ideale BKV-Kennlinie (Bremskraftverteilung), sodass die angeforderten Bremskräfte ausgewogen auf beide Räder verteilt werden.

Damit ist sichergestellt, dass eine Vollbremsung an allen Rädern möglich ist, auch wenn sich der Fahrer bedingt durch eine Paniksituation nur auf einen Bremshebel konzentriert.

Im PKW-Bereich hat sich eine weitere Funktion als hilfreich erwiesen, um die Füllzeiten bei der ersten Bremsbetätigung zu verringern, der sog. Bremsassistent. Dieser wertet das Bremsbetätigungsmuster des Fahrers aus. Eine Panikbremsung ist oftmals dadurch gekennzeichnet, dass der Fahrer die Bremse zunächst mit hohem Gradienten betätigt, jedoch nach kurzer Zeit zögert und dann erst einen längeren Zeitraum benötigt, um Druckwerte in der Nähe oder oberhalb der Radblockiergrenzen einzuspeisen. Wird ein solches Verhaltensmuster im Ansatz erkannt, so baut der Bremsassistent aktiv mehr Druck auf, als der Fahrer direkt vorgibt.

Die Mittel zur hydraulischen Umsetzung sind dieselben wie bei der Integralbremse.

Daher können Integralbremse und Bremsassistent in Motorrädern gut kombiniert werden.

Wegen der aktiven Bremsunterstützung wurde weiterhin angenommen, dass mit der Kombination ABS, Integralbremse und Bremsassistent Füllzeiten erreicht werden, die durchschnittlich um 200ms unter denen der konventionellen Bremse ohne ABS liegen.

Dazu zeigt Abb. 10 im mittleren Teil wieder ein entsprechendes Zeitdiagramm mit den charakteristischen Zeitpunkten.

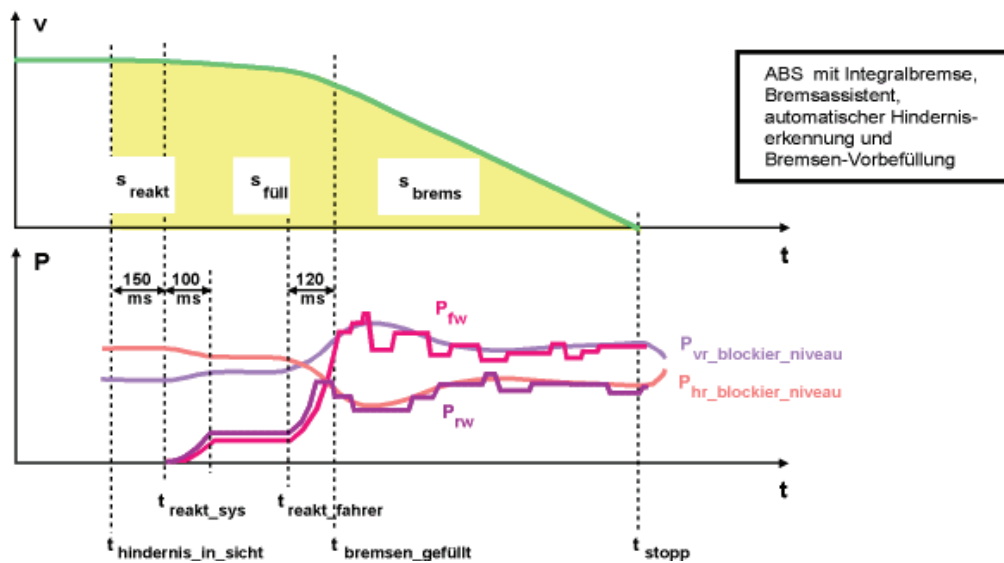
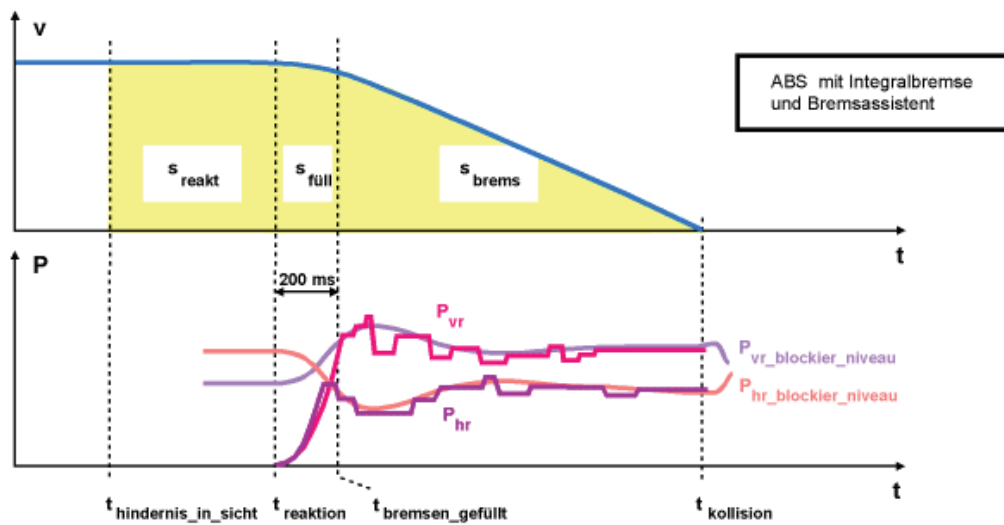
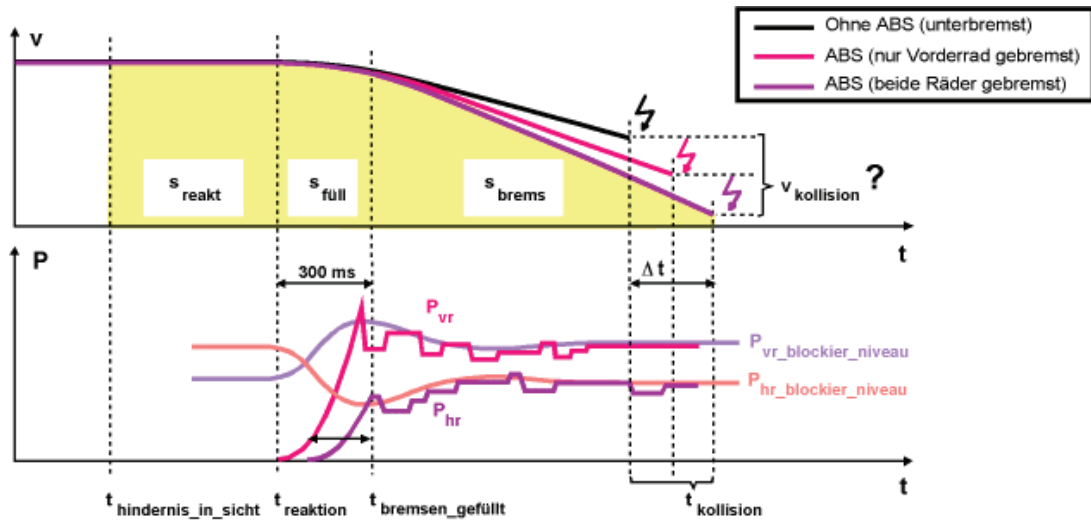


Abb. 10 Abläufe von Vollbremsungen mit Hilfe verschiedener Bremsenregelsysteme

Einen über die Vorteile dieser Funktionen noch deutlich hinausgehenden Sicherheitsgewinn kann man mit sog. Fahrer-Assistenzsystemen (ADAS = Advanced Driver Assistance Systems) erzielen, die gerade in Ober- und Mittelklasse-PKWs Verbreitung finden.

Diese arbeiten mit einer automatisierten Erkennung des Umfelds, hier vorzugsweise des vor dem Fahrzeug befindlichen Bereichs, indem die von Kameras und/oder Radarsystemen erfassten Bilder auf relevante Hindernisse überprüft werden, wobei im Bedarfsfall eine aktive Fahrzeugbremsung ausgelöst werden kann, bevor der Fahrer selbst eine Bremse betätigt. Die dabei eingestellte Fahrzeugverzögerung sollte für Motorräder allerdings klein, nicht über 0.3g gewählt werden, um den unvorbereiteten und möglicherweise schlecht auf dem Fahrzeug positionierten Fahrer nicht in dynamische Schwierigkeiten zu bringen.

Eine aktive Bremsung kann in vielen Situationen auch die Aufmerksamkeit des Fahrers erwecken, sodass dieser dann die Verantwortung des Bremsens vergleichsweise schnell übernimmt.

Ein großer Gewinn liegt hier in der aktiven Vorbefüllung der Bremsen und in einem ersten Abbau an Fahrzeuggeschwindigkeit.

Selbst aufmerksame Fahrer benötigen zur Reaktion und Bremsenbefüllung oft mehr als 1s. In den weitaus meisten der untersuchten Fälle ist die dabei durchfahrene Strecke von etwa  $v_{\text{Fzg}} \cdot 1\text{s}$  länger als die anschließend noch verbleibende Distanz bis zur Kollision.

Daher kann schon eine kleine Reduzierung der Fahrgeschwindigkeit in diesem Zeitbereich zu einer erheblich verbesserten Ausgangssituation für die bevorstehende Vollbremsung führen.

Abb. 10 zeigt im unteren Teil einen typischen Bremsablauf für einen beispielhaften Eingriff eines ADAS-Systems. Bei den hier durchgeführten Abschätzungen wurde angenommen, dass das System eine Reaktionszeit von ca. 150ms benötigt und dann nach weiteren 100ms den Bremsdruck aktiv aufgebaut hat, der für die Verzögerung von ca. 0.3g erforderlich ist.

Wenn der Fahrer anschließend die Bremsverantwortung übernimmt, erreichen Bremsassistent und Integralbremse den Aufbau der Raddrücke bis zu den Blockiergrenzen in nur 120ms, da sich die Bremsen bereits im vorbefüllten Zustand befinden.

Die Ergebnisse dieser Überlegungen sind im Diagramm der Abb. 11 zusammengestellt.

Mit den geschätzten möglichen Verzögerungen und unter den in Abb. 10 getroffenen Annahmen zur möglichen Verkürzung der Bremsenfüllzeiten hätte man beispielsweise mit einem einfachen 2-Kanal-ABS und synchroner Vollbremsung an beiden Radkreisen 27 der 51 dokumentierten Unfälle allein durch die Bremsung vollständig vermeiden können.

Mit dem in Abb. 10 definierten ADAS-System (mit ABS, Bremsassistent und Integralfunktion integriert) wären immerhin schon 39 der 51 Unfälle vermeidbar gewesen.

Die Ergebnisse der Untersuchung müssen noch über die nachfolgend diskutierten Sachverhalte korrigiert werden.

In vielen kritischen Verkehrssituationen wird sich ein Motorradfahrer ohne ABS häufiger dazu entscheiden, nicht zu bremsen, sondern die drohende Kollision mit einem Ausweichmanöver zu umgehen. Daher gibt es unter den dokumentierten 350 Unfällen prozentual wenige Fälle, in denen sich der jeweilige Motorradfahrer überhaupt für eine Vollbremsung entschieden hat. Fahrern, denen das unkritische Vollbremsverhalten mit ABS bewusst ist und die auf beherztes Bremsen trainiert sind, werden sehr viel häufiger die Vollbremsung wählen.

Dieses Verhalten bringt diverse Vorteile mit sich. Der entscheidende Gewinn einer frühzeitigen Bremsung liegt in der Reduzierung der Aufprallenergie im Falle einer unvermeidbaren Kollision.

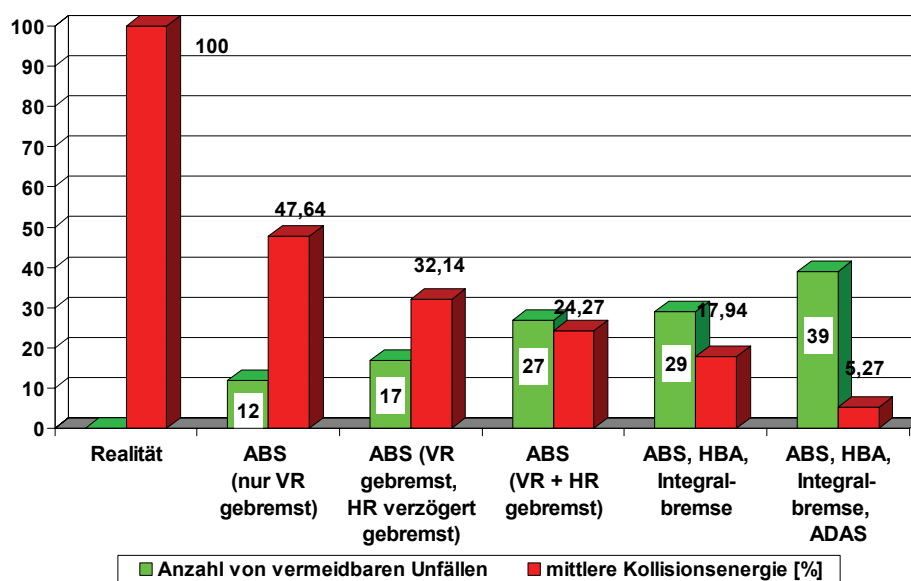


Abb. 11 Mögliche Reduzierung der Unfallfolgen durch verschiedene Bremsensysteme

Dazu sind in Abb. 12 nochmals die wesentlichen Vorteile der blockiergeschützten Bremsung dargestellt.

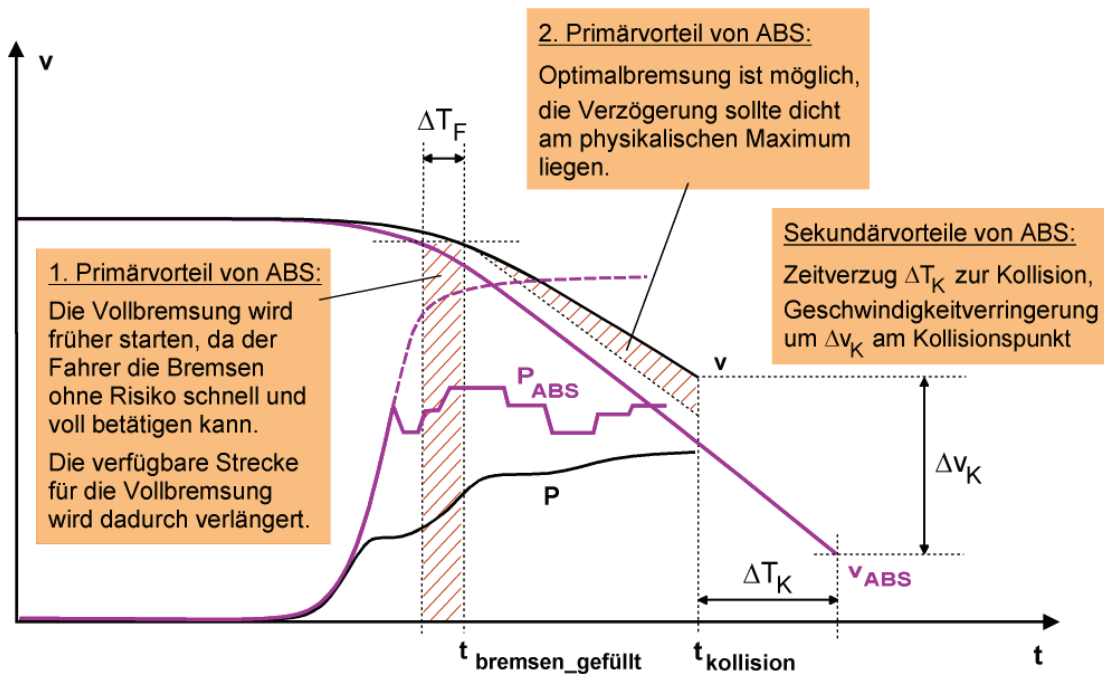


Abb. 12 Vorteile einer ABS-geregelten Vollbremsung

In der Notsituation kann der Fahrer abrupt beide Bremsbetätigungen bis über die Blockiergrenze hinaus bedienen und muss sich nicht lange an die optimalen Arbeitspunkte herantasten. Gleichzeitig kann sich der Fahrer darauf konzentrieren, in geeigneter Position auf dem Fahrzeug sitzenzubleiben und ggf. ein leichtes Ausweichmanöver einzuleiten, was gerade bei hoher Fahrgeschwindigkeit bei Einspurfahrzeugen sehr erschwert ist (Vorteil 1). Während der Vollbremsung ist ABS in der Lage, Fahrzeugverzögerungen zu erzielen, die dicht am physikalisch möglichen Maximum liegen (Vorteil 2).

Neben diesen Primärvorteilen einer früher einsetzenden und erhöhten Fahrzeugverzögerung gibt es auch noch diverse Sekundärvorteile, die sich in dem oben diskutierten Unfallbeispiel besonders hilfreich ausgewirkt hätten.

Durch die erhöhte Verzögerung wird der erwartete Kollisionspunkt um den Betrag  $\Delta T_K$  später und mit einer um den Betrag  $\Delta v_K$  kleineren Geschwindigkeit erreicht (s. Abb. 12). Das gibt dem Motorradfahrer eine deutlich erhöhte Chance eine Entscheidung zu treffen und ggf. zu manövrieren und kann weiterhin dazu führen, dass sich der Unfallgegner in dem gewonnenen Zeitraum  $\Delta T_K$  aufgrund seiner Eigenbewegung bereits aus dem Fahrschlauch des Motorrads entfernt hat.

Weiterhin muss auch berücksichtigt werden, dass durch die Geschwindigkeitsreduzierung eine deutlich verbesserte Manövrierfähigkeit ermöglicht wird.

Allerdings ist eine generelle Berücksichtigung dieser Sekundärvorteile sehr schwierig.

In den bekannten 51 gebremsten Fällen wurde einzeln durch genaue Analyse der Relativgeschwindigkeiten geprüft, wie sich der Unfallverlauf gestaltet hätte, wenn der Motorradfahrer den Kollisionspunkt um den jeweils durch ABS oder eine höhere Regelfunktion möglichen Zeitverzug später erreicht hätte. Das Ergebnis zeigt, dass in 7 der 51 Fälle eine Kollision durch die berechnete ABS-Verzögerung (beide Räder synchron gebremst) vollständig vermieden worden wäre. In etwa 5 weiteren Fällen hätte ein leichtes Ausweichmanöver bereits ausgereicht, um den Unfallgegner aufgrund des Zeitverzugs zu umfahren.

Das Ergebnis dieser Untersuchung ist in den folgenden Diagrammen dargestellt.

In Abb. 13 sind die Ergebnisse dargestellt, die sich für die verschiedenen Regelfunktionen eingestellt hätten, wobei hier – im Gegensatz zum Diagramm in Abb. 11 – nun die Eigenbewegung des jeweiligen Unfallgegners berücksichtigt ist.

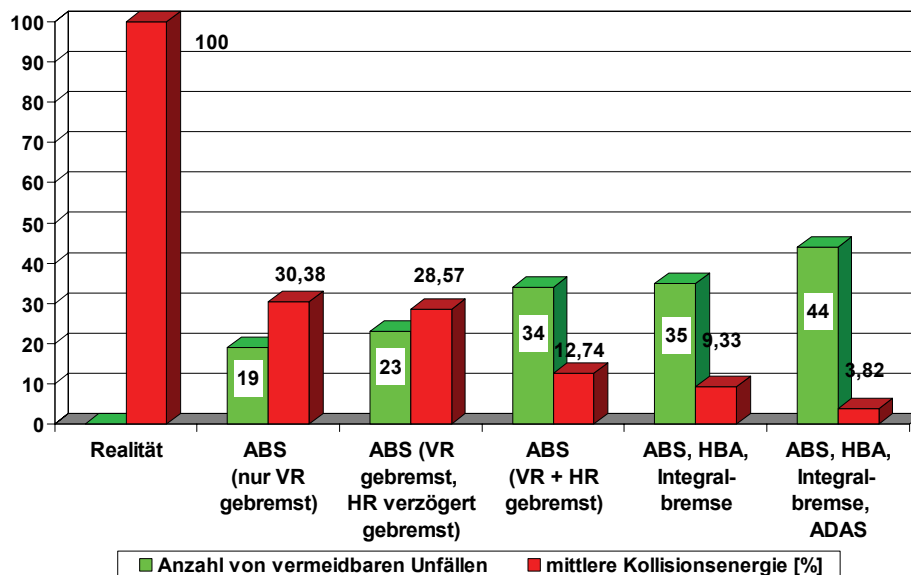


Abb. 13 Mögliche Reduzierung der Unfallfolgen durch ABS unter Berücksichtigung von Sekundärvorteilen (verzögertes Erreichen des Kollisionspunkts, ohne Ausweichmanöver durch Motorradfahrer)

Abb. 14 zeigt die Ergebnisse für dieselben Voraussetzungen mit der zusätzlichen Annahme, dass der jeweilige Motorradfahrer ein leichtes und unter den Randbedingungen mit hoher Wahrscheinlichkeit unproblematisches Ausweichmanöver eingeleitet hätte.

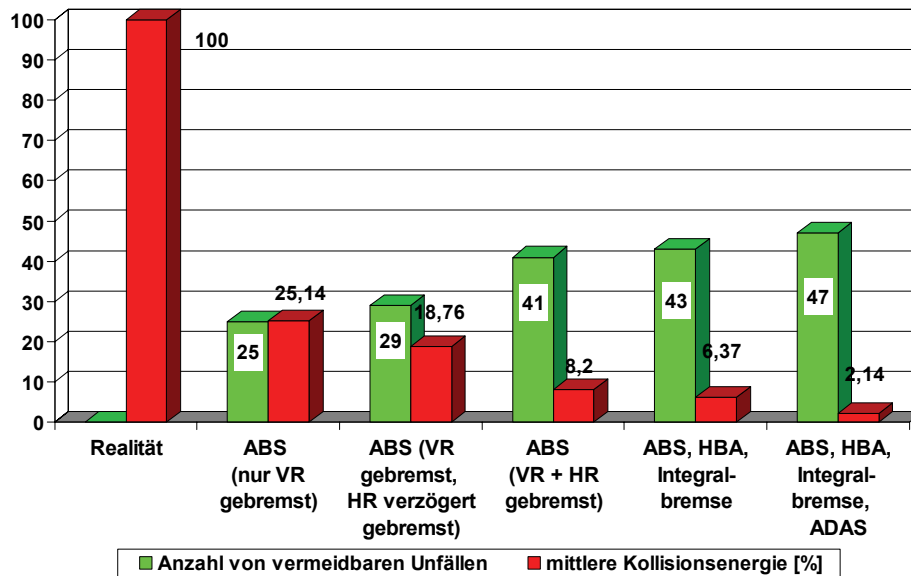


Abb. 14 Mögliche Reduzierung der Unfallfolgen durch ABS unter Berücksichtigung von Sekundärvorteilen (verzögertes Erreichen des Kollisionspunkts, mit leichtem Ausweichmanöver durch Motorradfahrer)

Viele der 350 beschriebenen Unfallszenarien in der Unfall-Datenbank sind dadurch charakterisiert, dass die beteiligten Motorradfahrer sich oftmals erst sehr spät oder überhaupt nicht für das Bremsen des eigenen Fahrzeugs entscheiden, auch wenn sich eine kritische Situation anzubahnen scheint. Möglicherweise vermittelt die hohe Dynamik der Fahrzeuge das trügerische Gefühl, eine Kollision mit anderen Verkehrsteilnehmern oder sonstigen Hindernissen irgendwie durch ein Ausweichmanöver oder auch aufgrund des schmalen eigenen Fahrschlauchs vermeiden zu können.

Allerdings steht der hohen Fahrzeugbeschleunigung eines gut motorisierten Motorrads von bis zu 1g nur theoretisch auch eine potenzielle Fahrzeugverzögerung von 1g gegenüber. In der Praxis zeigt sich, dass der physikalisch mögliche Verzögerungsbereich (von sogar mehr als 1g) ohne effektiven Bremsenregler nicht annähernd erreicht wird [4]. Verspätetes Einleiten der Bremsung, zögerliche Bremsbetätigung und falsche Einschätzung der physikalischen Gegebenheiten – besonders unter Panikbedingungen – führen oftmals zu einer katastrophal schlechten Ausnutzung des Bremspotenzials, wie das eingangs diskutierte Unfallbeispiel eindrucksvoll beweist. Trotzdem kommt es noch sehr häufig zur Fahrzeuginstabilität durch punktuell Überbremsen.

Weiterhin wird die mögliche Querdynamik von Einspurfahrzeugen offensichtlich häufig falsch eingeschätzt. Bei höheren Fahrgeschwindigkeiten sind selbst geübte Fahrer kaum in der Lage, die Fahrtrajektorie spontan an ein unerwartetes Ereignis anzupassen. Beim Motorrad erfordert ein abrupter Kurswechsel den vollen Körpereinsatz von Fahrer und ggf. Beifahrer, während ein PKW-Fahrer dies sehr schnell durch eine fast kraftfreie Lenkradbewegung in beliebiger Sitzposition erreicht.

Der Kurs eines in extremer Kurvenfahrt befindlichen Einspurfahrzeugs lässt sich daher nur mit großen Verzögerungszeiten variieren, und aufgrund der Schräglage des Fahrzeugs verbreitert sich der benötigte Fahrschlauch auch fast auf das Ausmaß eines Zweispurfahrzeugs.

Diese Umstände führen in diversen dokumentierten Situationen aus der Unfall-Datenbank zu Kollisionen mit entgegen kommenden Fahrzeugen.

Unfälle dieser Art hätten durch früh eingreifende Fahrerassistenzsysteme ebenfalls in ihrer Wirkung reduziert oder sogar vollständig vermieden werden können, da eine leichte Bremsung im einen oder anderen Fall sicher eine verbesserte Kurskorrektur erlaubt und damit indirekt ermöglicht hätte, am Hindernis vorbei zu fahren.

Diese Sachverhalte sind in Abb. 15 zusammengefasst.

Der obere Teil der Abbildung veranschaulicht das prinzipielle Verhalten eines Fahrers in vier charakteristischen Zeitintervallen bzw. Phasen vor einem kritischen Ereignis.

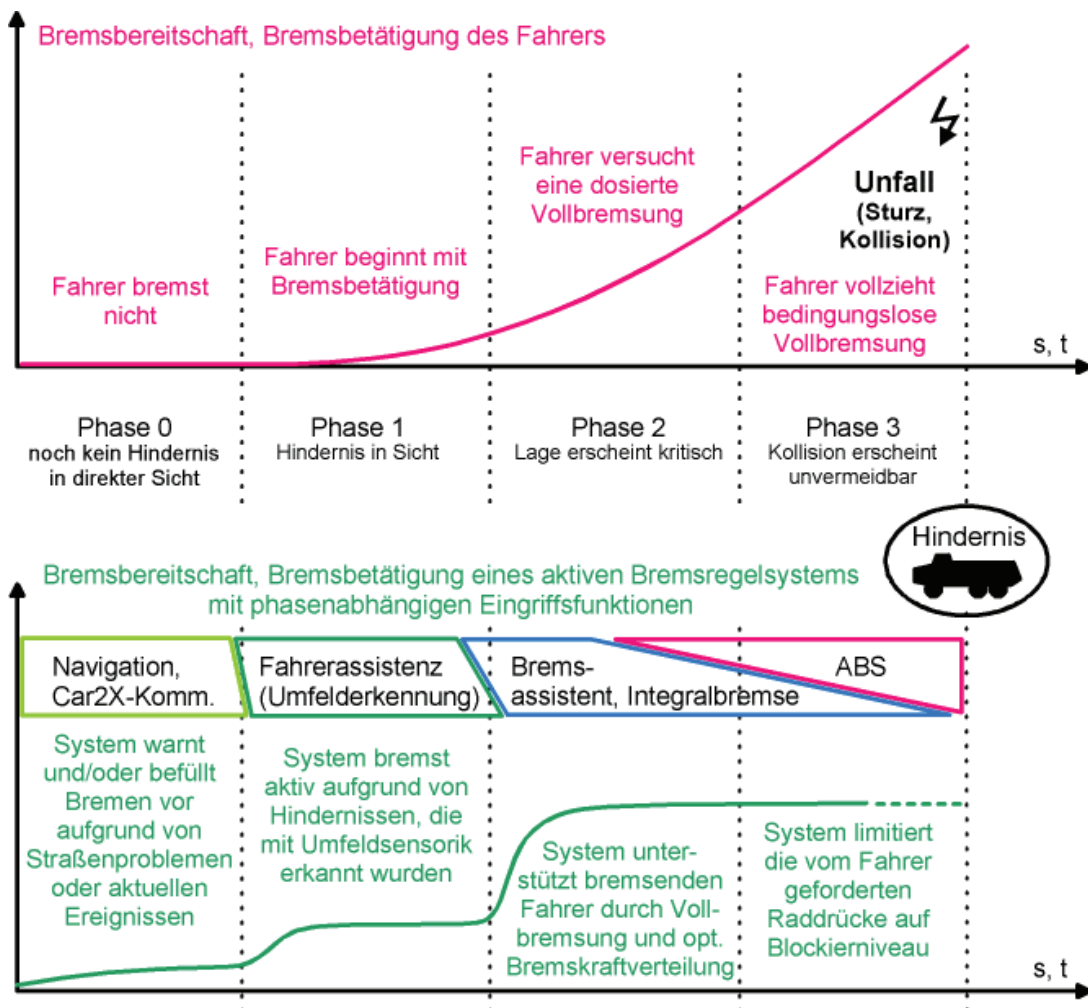


Abb. 15 Bremsbereitschaft verschiedener Bremsenregelsysteme und Fahrerassistenzsysteme im Vergleich zum Verhalten eines zu spät und dann in Panik handelnden Motorradfahrers



Die Phase0 ist dadurch charakterisiert, dass sich eine Fahrsituation einstellt, die später für den betrachteten Motorradfahrer kritisch werden wird, ohne dass dieser bereits jetzt Kenntnis davon haben kann. Beispielsweise fährt ein langsames Baustellenfahrzeug (wie im Bild angedeutet) in die vom Motorradfahrer befahrene Straße ein, die aber so kurvenreich ist, dass es zwischen den Fahrzeugen noch keine Sichtverbindung gibt. Die im Diagramm dargestellte Bremsbereitschaft (Bremswunsch) des Fahrers ist daher 0 bezüglich dieses noch unbekanntes Ereignisses.

In Phase1 wird das Hindernis für den Motorradfahrer sichtbar, sodass dieser eine Entscheidung für eine angemessene Reaktion trifft. Da eine Kollision oftmals durch Umfahren oder Überholen eines langsamen Fahrzeugs möglich ist und da die Entfernung zum Hindernis anfangs noch groß erscheint, ist die Bremsbereitschaft in dieser Phase noch gering, auch wenn sich der Fahrer für ein Bremsen entscheidet.

In Phase2 erkennt der Motorradfahrer, dass aufgrund der gesamten Verkehrssituation (Gegenverkehr, unübersichtliche Kurve etc.) ein Umfahren des Hindernisses mit Risiken verbunden oder sogar unmöglich ist. Daraus wird die Entscheidung für eine Vollbremsung abgeleitet, um vor dem Hindernis zum Stehen zu kommen. Aufgrund der noch relativ großen Distanz zum Hindernis und im Bewusstsein der Radblockiergefahr versucht der Motorradfahrer hier noch eine vorsichtige Bremsdosierung.

In Phase3 erkennt der Motorradfahrer, dass sein Fahrzeug kaum noch vor dem Hindernis zum Stehen gebracht werden kann, und die anfangs dosierte Bremsung geht nun über in ein unkontrolliertes Zuziehen der Bremsen. Je näher das Hindernis kommt, umso bedingungsloser versucht der in Panik geratene Fahrer seine Bremsverzögerung zu erhöhen, was leicht zum Sturz führen kann, bevor sich die eigentliche Kollision mit dem Unfallgegner ereignet.

Viele der hier analysierten Realunfälle zeigen als charakteristisches Merkmal genau dieses Verhaltensmuster der verspäteten und zunächst geringen Bremsbereitschaft, die dann in panische Reaktion übergeht, was zur punktuellen Überbremsung führen kann.

Der untere Teil der Abbildung zeigt, wie moderne Bremsenregelsysteme den Motorradfahrer in den verschiedenen Phasen unterstützen können, die grün gezeichnete Kurve zeigt dazu die Bremsbereitschaft bzw. den Grad der Fahrerwarnung durch die Systeme, deren Funktionalität in den farbigen Umrandungen beschrieben ist.

Wegen der fehlenden Sichtverbindung in Phase0 können hier nur Systeme hilfreich sein, die auf Navigation (GPS und Kartenmaterial) sowie auf funkbasierter Fahrzeug-Interkommunikation (Car2X) basieren.

Navigationssysteme sind im PKW-Bereich und als Standalone-Geräte bereits totaler Standard. Viele aktuelle Entwicklungstätigkeiten haben zum Ziel, erweiterte Warnsysteme auf der heutigen Navigation aufzubauen. Beispielsweise könnte ein Warnsystem eine Meldung an einen Fahrer geben, der sich mit zu hoher Fahrzeuggeschwindigkeit einer engen Kurve nähert, was durch die bekannte Position innerhalb einer Karte ermöglicht wird.

Durch Fahrzeug-Interkommunikation können Fahrzeuge und Einrichtungen, die eine generelle Gefahr darstellen (langsame Schwerlastfahrzeuge, Fahrzeuge mit Überbreiten, rangierende Baustellenfahrzeuge oder Landwirtschaftsfahrzeuge, die in öffentliche Straßen einfahren, Fahrzeuge mit Vorfahrtberechtigung, also Polizei- und Krankenwagen mit Blaulicht etc., aber auch schwer erkennbare und verkehrsbehindernde Baustellen) innerhalb eines Nahfunkbereichs Warnmeldungen an ihre nächste Umgebung schicken. Die Meldungen müssen dann in den Empfängerfahrzeugen über geeignete Displays und andere HMIs (Human Machine Interfaces) den Fahrern optisch, akustisch oder haptisch angezeigt werden.

Neben der Anzeige von Warnmeldungen könnte ein derartiges System in Situationen, die für das eigene Fahrzeug als kritisch eingestuft werden, schon eine Vorbefüllung der Bremsen durchführen, wobei solche Aktionen auch abhängig vom eigenen Fahrverhalten (Geschwindigkeit, Entfernung zum Hindernis etc.) dosiert werden können.

In Phase1 können sich die bereits oben beschriebenen Fahrerassistenzsysteme (ADAS) als hilfreich erweisen. Kommt ein Hindernis in Sicht und wird dieses für die eigene Fahrtrajektorie aufgrund der Auswertung von Radar- und/oder Kamerabildern als relevant eingestuft, so kann ein aktiver Druckaufbau ausgelöst werden, um den Fahrer einerseits auf die Gefahr aufmerksam zu machen und ihn für ein Bremsen zu sensibilisieren. Zum anderen baut der frühe Bremsdruck auch Geschwindigkeit ab und begünstigt damit den weiteren Verlauf des Manövers.

Hat sich der Fahrer in Phase2 für ein deutliches Bremsen entschieden, so können Bremsassistent und Integralbremse dafür sorgen, dass der Fahrerwunsch frühzeitig eine Vollbremsung auslöst.

Hier und vor allem in der anschließenden Phase3 der unbedingten Vollbremsung sorgt ABS durch Limitierung des Bremsdrucks für die Fahrstabilität und die Erreichung der optimalen Bremsverzögerung dicht am physikalischen Maximum.

Wie die Abb. 15 anschaulich zeigt, sind die verschiedenen Bremsenregelsysteme gut geeignet, um die anfangs zögerliche und später panisch werdende Fahrerreaktion auszugleichen, indem sie schneller auf eine Gefahr reagieren und im Bedarfsfall der Vollbremsung das physikalische Optimum bei guter Fahrstabilität erzielen.

Abb. 15 deutet durch die leichte Überlappung der Funktionsrahmen weiterhin an, wie die verschiedenen Regelfunktionen zeitlich ineinandergreifen und die Kontrolle weiterleiten.

Das aktive Bremsen bzw. Anlegen der Bremsen aufgrund einer kritischen Meldung kann im einen oder anderen Fall schon dadurch hilfreich sein, dass ein besserer Einstieg in die anschließende ADAS-Funktion erfolgt, d.h. nach einer Warnung per Funk könnte ein optisch wahrgenommenes Hindernis frühzeitig als relevant und bremsauslösend gewertet werden, ohne dass das Problem über einen längeren Entscheidungsprozess verifiziert wird.

Dieser logische und auch durch die Bremsenvorbefüllung physikalische Übergang von einer Funktion in die nächste sorgt für Synergien im Gesamtsystem.

Eine bereits aktive ADAS-Funktion kann auch den Bremsassistenten unterstützen, indem dieser bei ausreichender Fahrerbremsung direkt aktiv wird, ohne auf ein bestimmtes Bremsdruckmuster zu warten, das auf ein Panikverhalten des Fahrers schließen lässt.

Somit gibt es hier eine sehr starke Verzahnung der Funktionen.

Eine direkte Funktionsüberlappung gibt es dann schließlich bei Bremsassistent und Integralbremse mit dem ABS, das natürlich in allen Phasen darüber wacht, dass die Radbremsdrücke nicht zum Blockieren der Räder führen, unabhängig davon ob die Drücke vom Fahrer oder einem aktiv Regelsystem vorgegeben werden.

Somit geht die Warn- und Bremsverantwortung fließend von einer Regelkomponente zur nächsten über, die Erfahrung der vorherigen Funktion wird synergetisch weiterverwendet.

Die mögliche Auswirkung von Navigation und Fahrzeug-Interkommunikation auf die 350 betrachteten Unfälle lässt sich allerdings nicht leicht ermitteln, da der Nutzeffekt im Wesentlichen davon abhängt, ob der jeweils betroffene Fahrer Warnungen ernst nimmt und eine angemessene Verhaltensweise daraus ableitet oder nicht.

Im Rahmen der hier durchgeführten Untersuchungen wurden einige spezielle Fälle analysiert, in denen beispielsweise zu hohe Kurvengeschwindigkeiten zu Unfällen mit entgegen kommenden Fahrzeugen geführt haben. Eine Warnung basierend auf Kartenmaterial und ein leichtes aktives Einbremsen wären hier möglicherweise hilfreich gewesen.

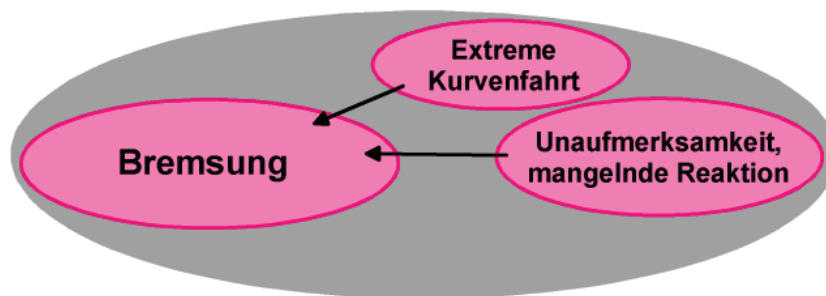


Abb. 16 Rückführung diverser Unfallsituationen von ungebremsten Motorrädern auf Bremsituationen mit Hilfe von Navigation, Fahrzeug-Interkommunikation und Fahrerassistenzsystemen

Das Prinzipbild in Abb. 16 deutet hierzu lediglich an, dass zahlreiche Unfälle, die durch extreme Manöver und Unaufmerksamkeit des beteiligten Motorradfahrers verursacht wurden, evtl. in Bremsmanöver hätten überführt werden können, die dann wieder durch die Standard-Regelfunktionen begünstigt worden wären.

## 2 Optimale Bremsenregler für Einspurfahrzeuge

Im Folgenden werden zwei Bremsenregelfunktionen diskutiert, die heute schon gut und preisgünstig für Einspurfahrzeuge entwickelt werden können, das ABS und das (B)TCS.

### 2.1 Motorrad-ABS

Damit ein ABS in Motorrädern und –rollern tatsächlich die oben zugrunde gelegten Vorteile bringt, müssen die Regelstrategien sorgfältig an die Gegebenheiten und Bedürfnisse der Einspurfahrzeuge angepasst werden.

Die langjährigen ABS-Entwicklungen für PKWs haben dazu geführt, dass hier eine hohe Bremsstabilität auf nahezu allen Böden bei gleichzeitig hoher Ausnutzung der verfügbaren Fahrbahnreibungswerte und bei minimaler Fahrerirritation erzielt wird.

Bei der Einzelradregelung sieht ABS generell vor, den Radbremsdruck immer dann zu modulieren, wenn bestimmte Radverhaltensmuster darauf hindeuten, dass das Rad über- oder unterbremst läuft, wobei der Raddruck nie über einen bestimmten Maximalwert angehoben werden darf, der vom Fahrer oder einem anderen aktiven Regler als globaler oder radspezifischer Wunschdruck vorgegeben wird. Insbesondere wird der Raddruck dann reduziert, wenn das betreffende Rad zum Blockieren neigt, was anhand der Radverhaltensmuster (im Wesentlichen bestehend aus Radschlupf und Radverzögerung) in den meisten Fällen aufgrund von Mitkopplungseffekten leicht zu erkennen ist. Druckaufbau erfolgt bei stabil laufendem Rad bis zur erneut erkannten Blockierneigung, wobei die Radstabilitätsreserve hier meist schwer zu beobachten ist, sodass der Druckaufbau (erfahrungs- und lernbasiert) gesteuert erfolgt.

Über die Einzelradregelung hinaus gibt es beim PKW-ABS zahlreiche fahrzeugübergreifende Strategien, die sich im Wesentlichen auf die zwei Fahrspuren beziehen, über die im Falle von hohen Druckdifferenzen an den Rädern Momente um die Fahrzeughochachse entstehen, die den Fahrer leicht überfordern und zur Destabilisierung des gesamten Fahrzeugs führen können. Daher werden hohe Differenzdrücke an den Vorderrädern meist nur mit begrenzten Aufbaugradienten (Giermomenteabschwächung) aufgebracht und an den Hinterrädern fast immer vermieden (Select-Low-Regelstrategie). Diese gezielte (oftmals nur phasenweise aktivierte) Unterbremsung einzelner Räder gewährleistet vor allem auf kritischen Fahrbahnen (Reibwertflecken) und bei Manövern mit Querdynamik (Kurvenfahrt, schnelle Richtungswechsel etc.) eine gute Bremsstabilität des gesamten Fahrzeugs.

Da die Einspurfahrzeuge das Problem des Gierens aufgrund spurbezogener Druckdifferenzen nicht kennen, wäre es naheliegend, für Motorräder und -roller einfach die simple Strategie der Einzelradregelung aus dem PKW-ABS zu übernehmen.

Bei Einspurfahrzeugen muss aber berücksichtigt werden, dass es auch hier nicht immer ratsam ist, die Räder mit den maximalen Bremsdrücken zu beaufschlagen, die sich aufgrund der reinen Blockierschutzregelung ergeben.

Dazu zeigt Abschnitt 3. die spezielle Problematik der Kurvenfahrt von Einspurfahrzeugen auf, wo die Längskrafteinstellung immer im Kompromiss mit der Querdynamik abgestimmt sein muss.

Kritische Situationen können aber auch bei Geradeausbremsungen auf Fahrbahnen mit sehr hohen Reibwerten entstehen.

Einspurfahrzeuge können bei hoher Verzögerung um  $1g$  aufgrund ihres kurzen Radstands und ggf. hoher Schwerpunktlage leicht den Bodenkontakt am Hinterrad verlieren, schließlich am Hinterrad abheben und dadurch im Extremfall zum Überschlag gebracht werden. Dieses Verhalten kann durch eine ungeschickte Druckmodulation am Vorderrad begünstigt und in extremen Fällen sogar angeregt werden.

Eine aus Verzögerungssicht optimale ABS-Regelung könnte also einen schwerwiegenden Unfall verursachen

Der Fahrer soll sich aber während einer Vollbremsung auf das System verlassen können und darf nicht die Verantwortung übertragen bekommen, ein Fahrzeugkippen selbst durch Lösen der Bremse zu vermeiden. Dann hätte man den mit dem Blockierschutz erreichten Sicherheitsgewinn durch die Gefahr des Überschlags zumindest teilweise zunichte gemacht. Also liegt es auch in der Verantwortung einer guten ABS-Regelung, die Radbremsdrücke so zu dosieren, dass keine Überschläge auftreten können.

Dazu zeigt das Zeitdiagramm in Abb. 17 eine mit einem Motorrad real durchgeführte ABS-Bremsung auf trockenem Asphalt (Geradeausbremsung), die einige wesentliche Faktoren einer guten Regelstrategie für Motorräder erkennbar macht.

Speziell bei hoher Fahrzeugverzögerung kommt es darauf an, das Vorderrad dauerhaft und ruhig an einem guten Druckpunkt dicht unter der Blockiergrenze zu halten. Das erfordert grundsätzlich eine frühe Erkennung der Radblockierneigung, vor allem beim ersten Regelungseintritt. Wie man sieht, erfolgt hier ein früher Druckstopp bei etwa  $0.6s$ .

Daraus resultieren geringe Schlupfeinläufe von maximal ca. 10 bis 12 km/h (Absolutwerte), die mit relativ geringer Druckmodulation ausgeregelt werden können, da das Vorderrad schon beim direkten Eintritt in den Instabilitätsbereich wieder in den Stabilbereich beschleunigt wird.

Die nach der Radstabilisierung erfolgenden Druckaufbauten sind so gestaltet, dass der Druck im Bereich der erwarteten Blockiergrenze nur mit minimalem Gradienten erhöht wird. Damit kann die

nächste Radblockierneigung wieder sicherer erkannt und leicht mit geringer Druckmodulation ausgeglichen werden.

Außerdem wird dadurch die ABS-Regelfrequenz verringert, vor allem im unteren Geschwindigkeitsbereich wird der Druck nahezu konstant gehalten, um ein „Verbeißen“ des Vorderrades mit Fahrzeugüberschlag zu vermeiden.

Wie man am sinkenden Blockierdruckniveau des relativ grob geregelten Hinterrades erkennt, verliert dieses während der Bremsung kontinuierlich an Aufstandskraft. Dieses Verhaltensmuster und das auch bei druckloser Bremse kaum beschleunigende Hinterrad sind ein Indiz für eine sich anbahnende Überschlagsneigung des Fahrzeugs.

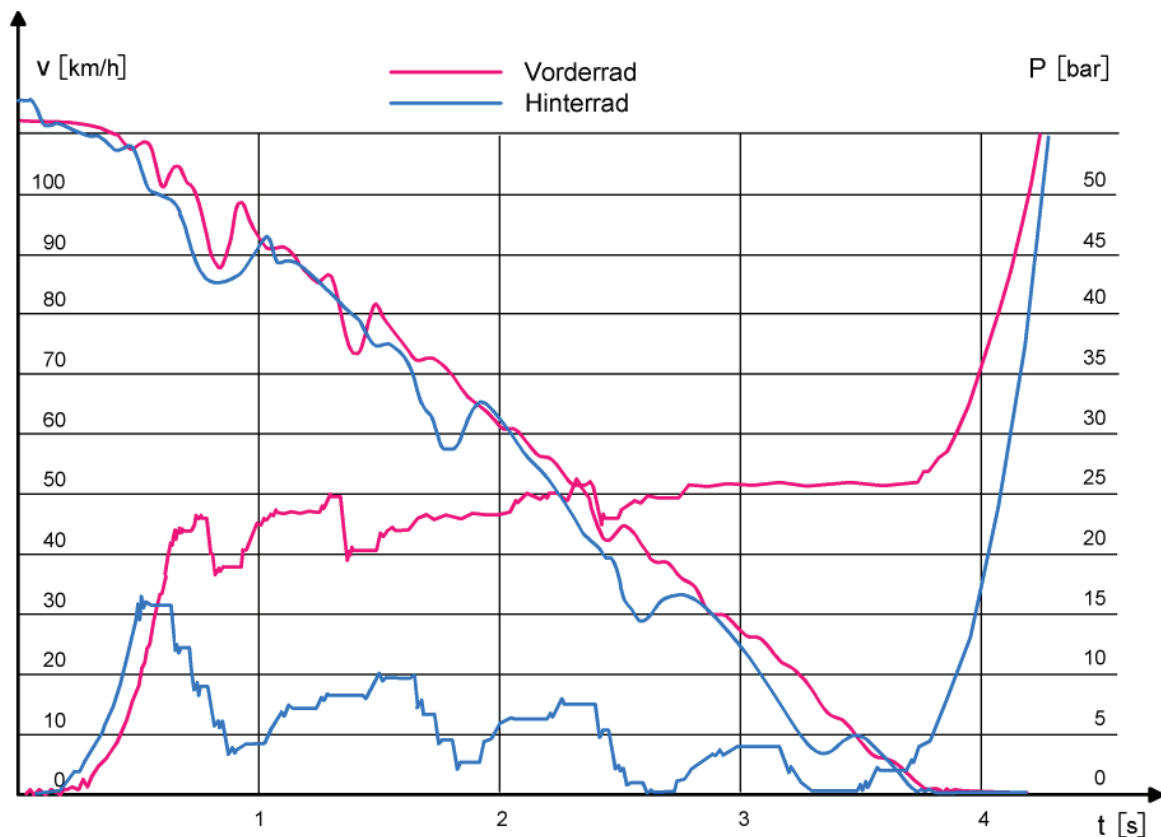


Abb. 17 Messung einer realen ABS-Bremmung eines Motorrads auf trockenem Asphalt

Mit einer speziellen Hinterrad-Abhebeerkenkung im ABS sollten extreme Muster dieser Art beobachtet werden. Bei erkannter Überschlagsgefahr wird der Druck am Vorderrad um einen bestimmten Betrag abgebaut. Damit verringert sich die Fahrzeugverzögerung geringfügig, und das Hinterrad wird wieder aufgesetzt.

In dem gezeigten Fall der Abb. 17 wird aber allein durch den geringen Modulationshub und die niedrige ABS-Regelfrequenz am Vorderrad wirkungsvoll verhindert, dass das Fahrzeug zum Nicken und zum Überschlag angeregt wird. Daher muss hier kein Druckabbau am Vorderrad erfolgen.

Das durch den Antriebsstrang verursachte Schleppverhalten des Hinterrads sorgt für einen guten und kontinuierlichen Bremsanteil, obwohl der große Modulationshub dies nicht vermuten lässt. Die langen Phasen, in denen das Hinterrad vergleichsweise große Schlupfwerte annimmt, sind für die Stabilität des Fahrzeugs eher förderlich, da das gut gebremste Hinterrad für eine Beruhigung des Fahrzeugs sorgt.

In allen Situationen (auch bei geringeren Fahrbahnreibwerten) sollte ein gut abgestimmtes Motorrad-ABS aber mit geringer Druckmodulation am Vorderrad arbeiten, damit nur geringe Schwankungen in der Fahrzeugverzögerung verursacht werden und das Fahrzeug möglichst ruckfrei bremst. Ein weiterer Vorteil liegt dann auch in der kontinuierlich verfügbaren Seitenkraftreserve am kritischen Vorderrad.

Die vergleichsweise feine Regelung des Vorderrads mit hoher Sensibilität und geringer Druckdynamik erfordert auf der anderen Seite eine intelligente Beobachtung des Radverhaltens, um auf extrem unebenen Böden (Schlechtwegsituationen speziell im Offroad-Betrieb) nicht total zu unterbremsen.

Dies leistet die sogenannte „Schlechtwegerkennung“, die hohe Radbeschleunigungen und Radschwingungen als Indiz für Störungen und Fahrbahnunebenheiten wertet und im Erkennungsfall die Sensibilität für die Erkennung der Radblockierneigung deutlich verringert, damit im zeitlichen Mittel gute Druckniveaus in den Radbremskreisen gehalten werden, auch wenn die Radgeschwindigkeiten mit großen Amplituden schwingen.

Da die Radgeschwindigkeitssignale hier nicht immer zu ganz eindeutigen Ergebnissen führen, kann eine Vernetzung mit anderen Komponenten, beispielsweise Feder- und Dämpfersystemen hilfreich sein, indem zur sicheren Schlechtwegerkennung auch die Federwege herangezogen werden [1].

Bei Geländefahrzeugen empfiehlt sich hier auch eine Taste, mit der der Fahrer bewusst eine verringerte Sensibilität der ABS-Regelung einstellen oder das System sogar komplett abschalten kann.

## **2.2 2.2 TCS für Motorräder**

Aus der Unfalldatenbank ist ersichtlich, dass viele Unfälle mit gut motorisierten Motorrädern auch durch Destabilisierung im normalen Fahrbetrieb, bei Beschleunigung und speziell durch Ausbrechen in Kurven (möglicherweise traktionsbedingt) verursacht werden.

Es bietet sich daher an, den ABS-Bremsenregler auch bei Einspurfahrzeugen mit der TCS-Funktion (TCS = Traction Control System) zu versehen.

Im PKW-Bereich spielt die elektronische Traktionskontrolle eine sehr wichtige Rolle sowohl zur Erhöhung der Fahrstabilität auf Fahrbahnen mit niedrigen Reibwerten als auch zur Verbesserung des Antriebsverhaltens, speziell auf Böden mit seitenweise ungleichen Reibwerten und auch bei extremer Kurvenfahrt auf Hochreibwertfahrbahnen.

Realisiert wird die Regelfunktion meist durch Motoreingriffe, wenn es um die Erhöhung der Fahrstabilität geht, vor allem wenn beide Räder einer Antriebsachse zum Durchdrehen neigen. Solange nur ein Rad einer Antriebsachse überdreht, wird dieses vorteilhafterweise durch aktiven Druckaufbau in der zugehörigen Radbremse abgebremst, wodurch sich ein Gegenmoment gegen das Motorantriebsmoment ergibt, das über das Antriebsdifferential auf das andere Rad der Achse wirkt. Wenn dieses Rad noch nicht zum Durchdrehen neigt, kann das volle Motormoment hier wirksam werden und die Traktion des Fahrzeugs deutlich verbessern.

Diese Verhältnisse sind im Reifenkraftkennfeld der Abb. 18 dargestellt. Während die ABS-Funktion versucht, während einer Vollbremsung immer die Punkte der optimalen Längskraft (Kraftmaxima) zu finden (im 1. Quadranten rot gekennzeichnet), die allgemein bei vergleichsweise kleinen Schlupfwerten liegen, arbeitet das TCS vor allem am durchdrehenden Rad (blaue Längskraftkennlinie im 3. Quadranten) teilweise mit sehr hohen Schlupfwerten. Entscheidend ist hier nicht das Erreichen eines stabilen Schlupfs am durchdrehenden Rad, sondern die Einstellung eines optimalen Betriebspunkts am Rad mit den besseren Traktionsreserven (gelbe Längskraftkennlinie im 3. Quadranten). Die auf aktivem Bremsen am durchdrehenden Rad basierende TCS-Regelung (BTCS = Brake Traction Control System) verschiebt also den Arbeitspunkt am anderen Rad (s. roten Bereich auf der gelben Kennlinie). Dieser Arbeitspunkt sollte dicht vor dem verfügbaren Kraftmaximum im stabilen Bereich der Längskraftkennlinie liegen und das Maximum möglichst nie überschreiten. Dabei können sich durchaus über längere Zeiträume einer Regelung sehr hohe Schlupfwerte am schlecht traktierenden Rad einstellen (s. roten Bereich auf der blauen Kennlinie), was die Stabilität des Gesamtfahrzeugs meist nicht negativ beeinträchtigt, da das gut traktierende Rad durch seinen stabilen Arbeitspunkt über eine hohe Seitenkraftreserve verfügt. Im gezeigten Beispiel würde ein Motoreingriff (Reduzierung des vom Antriebsmotor aufgebrauchten Gesamtmoments) dazu führen, dass der Arbeitspunkt am gut traktierenden Rad auch nur im rot gestrichelt gezeichneten Bereich der gelben Kennlinie liegen würde, was den Gesamtvortrieb des Fahrzeugs verschlechtern würde.



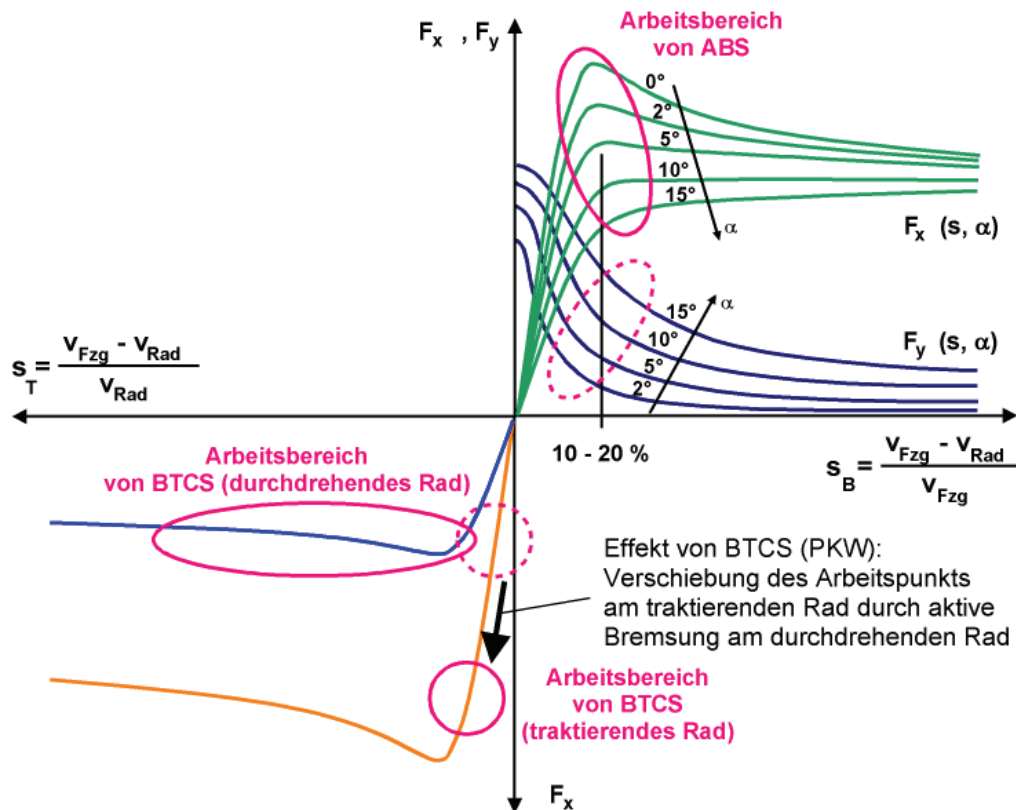


Abb. 18 Reifenkennlinien für Längs- und Querkräfte: 1. Quadrant relevant für ABS, 3. Quadrant relevant für TCS, dargestellt anhand von 2 Längskraftlinien für 2 Antriebsräder eines PKW

Bedingt durch die Tatsache, dass beim Einspurfahrzeug nur ein Rad einer Achse (üblicherweise das der Hinterachse) traktiert, ist der für den PKW entwickelte BTCS-Algorithmus völlig wirkungslos. Beim Motorrad kann durch Bremsen des überdrehenden Antriebsrads das Antriebsmoment nur unwesentlich erhöht werden, indem sich der Arbeitspunkt in das Maximum der Längskraftkennlinie bewegt. Dies kann aber auch durch Reduzierung des Motorantriebsmoments realisiert werden, wenn eine entsprechende Schnittstelle zum Motorsteuergerät existiert.

Bremsen- und Motoreingriff sind beim Motorrad bezüglich des Fahrzeugvortriebs also in der Wirkung identisch. Welche Art des Eingriffs gewählt wird, hängt daher wesentlich von den Ressourcen des Fahrzeugs ab. Ein Bremseneingriff ist natürlich auch daher von Nachteil, dass Antriebs- und Bremskräfte sinnlos gegeneinander wirken, was Energie verbraucht und zu Verschleiß führt.

Das entscheidende Regelziel bei der TCS-Regelung für Motorräder und -roller liegt darin, den Antriebsschlupf des durchdrehenden Rades sehr schnell auf Werte zu reduzieren, die eine möglichst hohe Seitenführungskraft  $F_y$  sicherstellen (gestrichelt gezeichnete Bereiche auf den Seitenkraftkennlinien). Ansonsten kann das Fahrzeug sehr schnell seitlich wegrutschen und einen Sturz vor allem bei höheren Geschwindigkeiten unvermeidbar werden lassen. Hier kommt es also – anders als beim PKW – praktisch nur auf die Fahrzeugstabilität an.

Somit handelt es sich bei der TCS-Regelung für Motorräder bzgl. der Arbeitspunkteinstellung tatsächlich um eine Art „inverse“ ABS-Regelung. Dies zeigt auch der Vergleich der Arbeitspunkte im 1. Quadranten der Abb. 18 (ABS allgemein) mit denen im 3. Quadranten der Abb. 19 (TCS für Einspurfahrzeuge).

Das geregelte Rad ist gleichzeitig auch das traktierende und das stabilisierende Rad.

Wenn es eine geeignete Motorschnittstelle gibt, über die eine Modulation des Motorantriebsmoments ermöglicht wird, so bietet sich bei Motorrädern der reine Motoreingriff an.

Ideal ist dabei eine echte Momentenschnittstelle, über die ein Wunschmodent direkt angefordert und durch Drosselklappenverstellung etc. umgesetzt werden kann.

Ebenfalls von Nutzen kann eine rein digital arbeitende Schnittstelle sein, über die die Motorsteuerung veranlasst wird, die Energiezufuhr für den Motor komplett zu stoppen (Zylinderabschaltung etc.). Dabei muss das TCS etwas „vorausschauender“ regeln, da der Motor eine kurze Anlaufzeit nach einem derartigen Eingriff benötigt, um erneut Moment aufzubauen. Die Regelung muss in der Phase etwas voreilen, um diese Verzugszeiten zu kompensieren, und daher mit stärkeren D-Anteilen arbeiten.

TCS kann bei Einspurfahrzeugen natürlich auch mit dem Bremseneingriff (BTCS) realisiert werden, wenn der elektronische Bremsenregler die Möglichkeit des aktiven Druckaufbaus bietet. Nachteilig bei einer reinen BTCS-Regelung wirkt sich aber aus, dass der erste Druckaufbau bei völlig entleerter Bremse recht lange, durchaus im Bereich von 50 bis 100 ms dauert. Innerhalb dieser Zeit ist ein schlagartig angefordertes Motormoment aber in der Lage, das Antriebsrad durchaus um 40 bis 60 km/h durchdrehen zu lassen, was beim Anfahren auf einer Niedrigreibwert-Fahrbahn zum sofortigen seitlichen Wegrutschen des Fahrzeugs führt. Hier hat der üblicherweise sehr schnell wirkende Motoreingriff erhebliche Vorteile.

Es bietet sich daher auch an, den Bremseneingriff mit einem Motoreingriff zu überlagern, vor allem dann, wenn der Motoreingriff nur digital erfolgen kann und deshalb nicht zu häufig durchgeführt werden sollte.

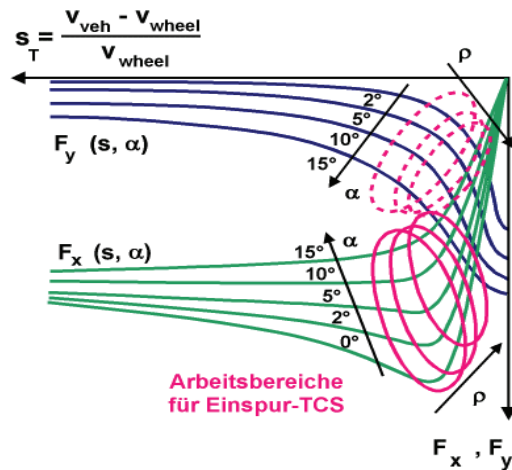


Abb. 19 Reifenkennlinien für Längs- und Querkräfte:  
3. Quadrant relevant für TCS, dargestellt für Einradsituation bei einem Einspurfahrzeug

Abb. 20 zeigt ein reales Zeitdiagramm eines TCS-geregelten Anfahrvorgangs eines Motorrollers auf einer Niedrigreibungwert-Fahrbahn (bewässerte Kunststofffläche mit einem Reibwert um 0.2). Etwa zu Beginn des Diagramms hat der Fahrer schlagartig eine 100%-ige Gasstellung gewählt und diese während des gesamten Zeitraums beibehalten.

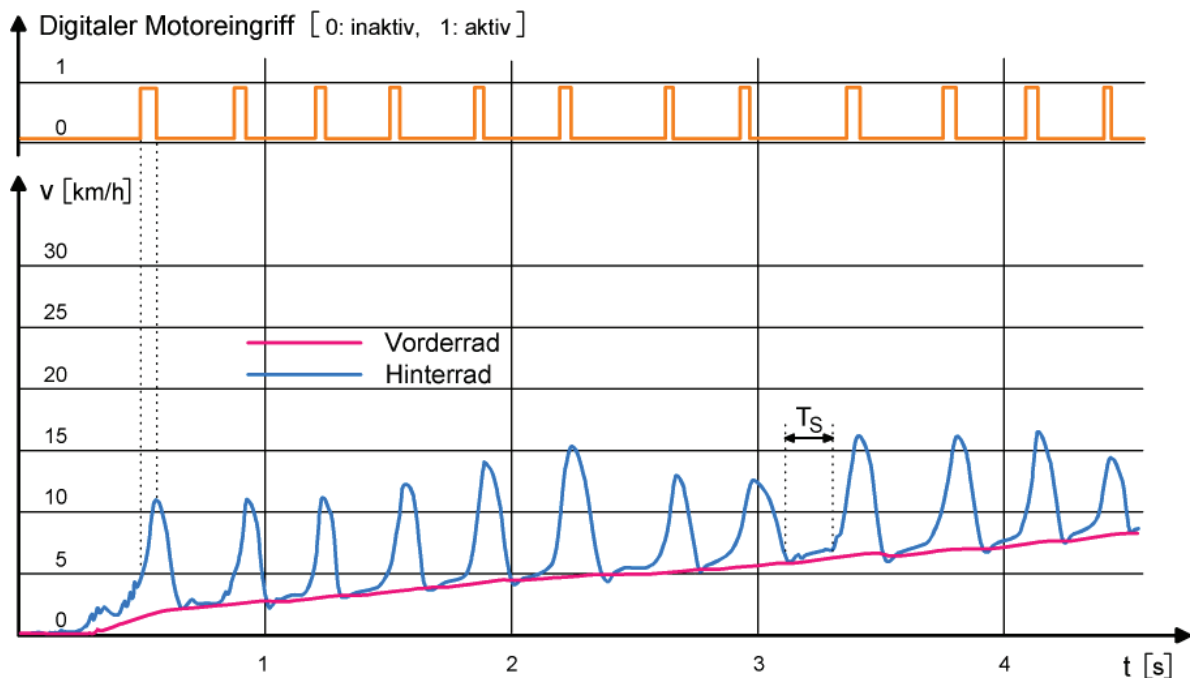


Abb. 20 Messung einer realen Anfahrtsituation eines Motorrollers mit TCS auf einer bewässerten Kunststoffbahn mit einem Reibwert von ca. 0.2 (nur Motoreingriff)

Die rote Linie, die die Geschwindigkeit des nicht angetriebenen Vorderrades darstellt, repräsentiert recht genau auch die Fahrzeuggeschwindigkeit, da das Vorderrad frei mit dem Fahrzeug rollt.

Man sieht, dass die Geschwindigkeit des Antriebsrads (blaue Linie) bei etwa 0.5s erstmalig abrupt ansteigt. Diese hohe Radbeschleunigung in Kombination mit dem entstehenden Radschlupf löst die TCS-Regelung aus, die hier nur aus einem digitalen Motoreingriff (s. gelbes Signal) besteht. Ein Setzen des Signals auf den Wert „1“ bedeutet, dass der Eingriff aktiv ist, die Energiezufuhr zum Motor also gestoppt wird. Dadurch bricht die Antriebsleistung des Motors für eine kurze Nachlaufzeit zusammen, und die Radgeschwindigkeit fällt wieder auf die Fahrzeuggeschwindigkeit. Der Eingriff muss in der Länge so dosiert werden, dass sich das durchdrehende Rad möglichst wieder ganz an die Fahrzeuggeschwindigkeit annähert, diese aber nicht unterschreitet, da dieser Bremsschlupf sonst das Fahrzeug verzögern würde. Wie die Messung zeigt, lässt sich ein derartiges Durchtauchen der Radgeschwindigkeit nicht immer vermeiden, und man kann in diesen kurzen Phasen auch die leichte Fahrzeugverzögerung erkennen.

Insgesamt ergibt sich damit eine nicht optimale Fahrzeugbeschleunigung.

Das Fahrzeug verhält sich aber trotz des äußerst geringen Fahrbahnreibungswerts recht stabil, solange der Fahrer keine Schräglage einnimmt und sich darauf konzentriert, das Fahrzeug in senkrechter Position zu halten.

Die relativ gute Stabilität wird dadurch erreicht, dass das Antriebsrad immer nur um kleine Beträge (nicht mehr als 8 bis 10 km/h) überdreht und nach dem jeweiligen Durchdrehen für ausreichend lange Zeiträume  $T_S$  im total stabilen Bereich der Reifenkraftkennlinien betrieben wird.

Als Alternative zu dieser reinen Motorregelung zeigt die Abb. 21 das Zeitdiagramm einer TCS-Regelung, die sowohl mit Motor- als auch mit Bremseneingriffen (BTCS) arbeitet.

Das blaue ansteigende Signal zeigt dabei den während der Anfahrzeit aktiv in den Hinterradbremsekreis eingespeisten Druck. Eine optimale Modulation des Bremsdrucks ist hier sehr erschwert, da ein Bremsdruckaufbau, der allein (ohne Motoreingriff) in der Lage wäre, das durchdrehende Rad zu stabilisieren, sehr lange Zeitintervalle in Anspruch nimmt.

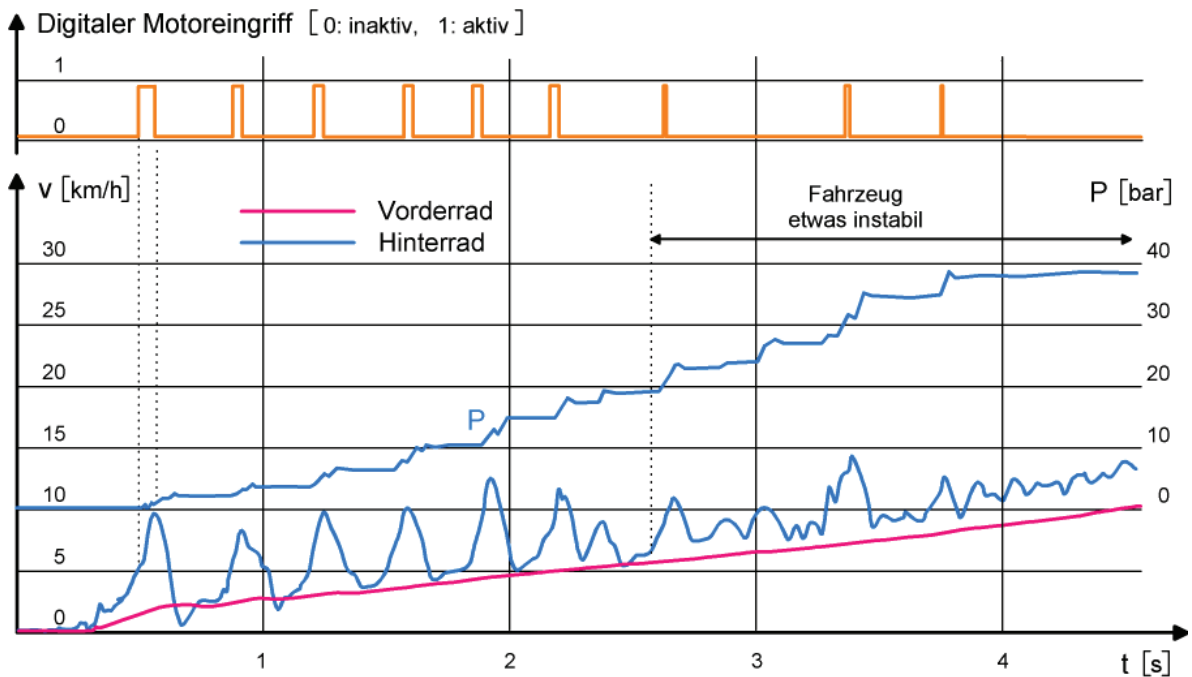


Abb. 21 Messung einer realen Anfahrtsituation eines Motorrollers mit TCS auf einer bewässerten Kunststoffbahn mit einem Reibwert von ca. 0.2 (überlagertes Motor- und Bremseneingriff)

Würde man den Druck bei stabilisiertem Rad sofort wieder abbauen, so ergäbe sich eine außerordentlich unruhige Modulation über große Druckbereiche.

Deshalb wurde hier folgende Regelstrategie eingesetzt:

Der (schnell wirkende) Motoreingriff wird prinzipiell nur eingesetzt, um den kurzen Momentenüberschuss des Motors in den Phasen der Radbeschleunigung zu kappen.

Nach einer gewissen Einschwingzeit soll die komplette Regelung mit der Bremsdruckmodulation übernommen werden.

Dazu wird bei jedem erneuten Ansatz für ein Raddurchdrehen etwas Bremsdruck aufgebaut, der nach der Radstabilisierung nicht wieder abgebaut wird, solange der Fahrer noch eine bestimmte (hohe) Gasstellung anfordert.

Es handelt sich hier also um eine überlagerte Vorsteuerung. Der einzustellende Druckwert wird auf einen Maximalwert begrenzt, der direkt von der Gasstellung abhängt.

Da sich der Bremsdruck auf diese Weise im Laufe der Regelung dauernd erhöht (bis ggf. der Maximalwert erreicht ist), wird immer mehr Motormoment durch das entgegengesetzt wirkende Bremsmoment kompensiert, und die Tendenz des Hinterrades zum Durchdrehen wird geringer. Dies macht immer weniger Motoreingriffe erforderlich, und die Bremse übernimmt so die nach und nach die alleinige Kontrolle über das zu stark traktierende Rad.

Insgesamt stellt sich dabei ein homogeneres Traktionsmoment ein, da die Zusammenbrüche des Motormoments vermieden werden.

Die Regelungsstrategie sieht weiterhin vor, den Bremsdruck erst dann wieder abzubauen, wenn der Fahrer entweder ein geringeres Antriebsmoment anfordert oder der Radschlupf bei angefahrenem Fahrzeug über einen gewissen Zeitraum unter eine Schwelle fällt.

Mit dieser Regelstrategie wird das Regelziel einer guten Traktion besser erreicht als bei der reinen (digitalen) Motorregelung. In dem gezeigten Anfahrvorgang fällt die Hinterradgeschwindigkeit etwa ab 2.5s nicht mehr in den Bremsschlupf. Die Fahrzeuggeschwindigkeit bei 4.5s liegt mit ca. 10km/h auch höher als im ersten Fall (etwa 8km/h).

Der verbesserten Traktion steht hier aber der Nachteil einer etwas reduzierten Fahrstabilität entgegen. In dem gezeigten Beispiel ist es aufgrund des permanent eingestellten Traktionsschlupfs ab 2.5s für den Fahrer etwas kritischer, das Fahrzeug auf Kurs und stabil zu halten. Bei der ersten Strategie sind diesbezüglich die Stabilphasen  $T_s$  des Hinterrades mit sehr kleinen Schlupfwerten enorm hilfreich.

Die erste Regelstrategie eignet sich daher besonders für Anfahrvorgänge auf Böden mit sehr kleinem Reibwert, während die zweite Strategie auf Böden mit mittleren Reibwerten (etwa auf nassem Asphalt) und bei etwas höheren Fahrzeuggeschwindigkeiten (oberhalb 50km/h) aufgrund der homogenen Wirkungsweise zu bevorzugen ist.

Neben den beiden diskutierten TCS-Regelstrategien lassen sich noch zahlreiche weitere Strategien und Einzelmaßnahmen für besondere Situation aufzeigen.

Wichtig ist in allen Fällen ein homogenes und stabiles Fahrzeugverhalten bei ausreichender Traktionsausnutzung.

Bei Motorrädern und -rollern mit einem Antriebsrad ist ein Motoreingriff ideal, der auf einer quasi-analog arbeitenden Momentenschnittstelle (E-Gas, Drosselklappenverstellung) basiert. Eine überlagerte Bremsung des Antriebsrads (BTCS) ist dann überflüssig.

Wenn lediglich ein digital arbeitender Motoreingriff möglich ist (Abschaltung der Benzinzufuhr, Zylinderabschaltung), bietet sich entweder die Überlagerung der Eingriffe mit einem im Druckprofil gut abgestimmten BTCS an, oder man kann den TCS-Regler mit Hilfe eines guten Motormodells stützen, das die Verzugs- und Totzeiten in der Motorreaktion hinreichend berücksichtigt.

Der reine Bremseneingriff (nur BTCS) ohne Beeinflussung des Motormoments ist i.a. zu langsam, um das schnell überdrehende Antriebsrad in einem für Traktion und Stabilität notwendigen Schlupfband zu halten.

Bezüglich der möglichen Vermeidung von dokumentierten Realunfällen durch eine vorhandene TCS-Funktion lässt sich nur schwerlich eine Aussage machen.

Einerseits ist die Bandbreite der möglichen Manöverabläufe zu groß, d.h. es ist kaum abschätzbar, wie sich ein bestimmtes Traktionsmanöver mit und ohne Regelfunktion abgespielt hätte, da das Vorhandensein einer Regelfunktion mit großer Wahrscheinlichkeit auch zu einem veränderten Fahrerverhalten geführt hätte. Außerdem ist in den meisten Unfällen dieser Art nicht eindeutig nachzuweisen, wie sich der Motorradfahrer überhaupt vor einem Sturz oder einer Kollision verhalten hat und was der eigentliche Auslöser für eine Fahrzeuginstabilität war.

Praktische Versuche zeigen aber, dass eine TCS-Funktion in einem gut motorisierten Einspurfahrzeug vor allem bei kritischen Straßen- und Wetterverhältnissen (rutschige Fahrbahnen mit losen Auflagen, Regen etc.) sehr hilfreich sein kann.

### **3 Erhöhung der Kurvenstabilität von Einspurfahrzeugen durch adaptive Bremsenregelung**

Die oben beschriebenen Regelungsstrategien für ABS und TCS sind schon sehr gut geeignet, um Einspurfahrzeuge auf Fahrbahnen mit Reibwerten oberhalb von etwa 0.3 sowohl beim Vollbremsen als auch bei starkem Traktieren stabil zu halten.

Dies gilt allerdings im Wesentlichen nur für Fahrmanöver ohne nennenswerte Querdynamik. Da die Querbeschleunigung eines Einspurfahrzeugs auf ebener Fahrbahn eine Schräglage des Fahrzeugs erfordert, wird es generell kritisch, wenn die verfügbaren Reifenkräfte nicht ausreichen, um die gewünschte Querdynamik umsetzen zu können. In solchen Fällen kann das seitliche Wegrutschen des Fahrzeugs einen Sturz verursachen.

Da beim starken Bremsen und Traktieren zudem bereits hohe Längskräfte  $F_x$  angefordert werden, ist die Reserve an Seitenkräften  $F_y$  oftmals erheblich eingeschränkt, wie die einfache Theorie des Kamm'schen Kreises zeigt (s. Abb. 22.b). Grundsätzlich kann die gesamte zwischen Reifen und Fahrbahn wirkende Horizontalkraft  $(F_x^2 + F_y^2)^{1/2}$  nicht außerhalb des Kreises liegen, dessen Radius das Produkt aus wirksamem Reibwert  $\mu$  und vertikaler Radaufstandskraft  $F_z$  ist.

Eine Querkraft kann sich zudem auch erst über einen gewissen Schräglaufwinkel  $\alpha$  des Reifens zur Fahrbahnoberfläche ausbilden, wie die Kraftkennlinien der Abb.22.c zeigen. Physikalisch bedeutet dies, dass das Rad einem Geschwindigkeitsvektor folgt, der etwas von der Richtung der Radlängsachse abweicht (Abb. 22.a), sodass sich die Querkraft letztlich erst aus einem beginnenden seitlichen Rutschvorgang entwickelt.

Daher wäre es im Falle von Kurvenmanövern wünschenswert, die Längskraftanforderung etwas an den Grad der Kurvenfahrt anzupassen, d.h. auf etwas Längskraft zu verzichten, um den Bedarf an Querkraften immer sicher abdecken zu können. Dies ist für eine Vollbremssituation in Abb. 22.c (1.Quadrant des Kraftdiagramms beschreibt Bremsung) dargestellt. Der rot umrandete Bereich be-

schreibt die vom ABS üblicherweise eingestellte jeweils weitgehend optimale Längskraft, die selbst eine Funktion des Radlängsschlupfs  $s$  und des Schräglaufwinkels  $\alpha$  ist. Daraus resultieren die verfügbaren Seitenkräfte, die in Abb. 22.c rot gestrichelt sind.

Durch leichte Entbremsung des ABS in Kurven, wird nun der Arbeitsbereich in die grün markierten Felder verlagert, die höhere Seitenkräfte verfügbar machen.

Je nach Arbeitspunkt kann durch eine sehr geringe Längskrafteinbuße bereits ein großer Gewinn an Seitenführungskraft entstehen.

Um innerhalb der Bremsenregelung eine Kurvenfahrt zu berücksichtigen, wäre es sinnvoll einige relevante Regelparameter dynamisch an den Grad der Kurvenfahrt anzupassen. Dies ist aber nur möglich, wenn das System über eine Sensorik verfügt, die eine ausreichend genaue Erfassung der Kurvenfahrt bzw. der Fahrzeug-Querbeschleunigung oder der Schräglage erlaubt.

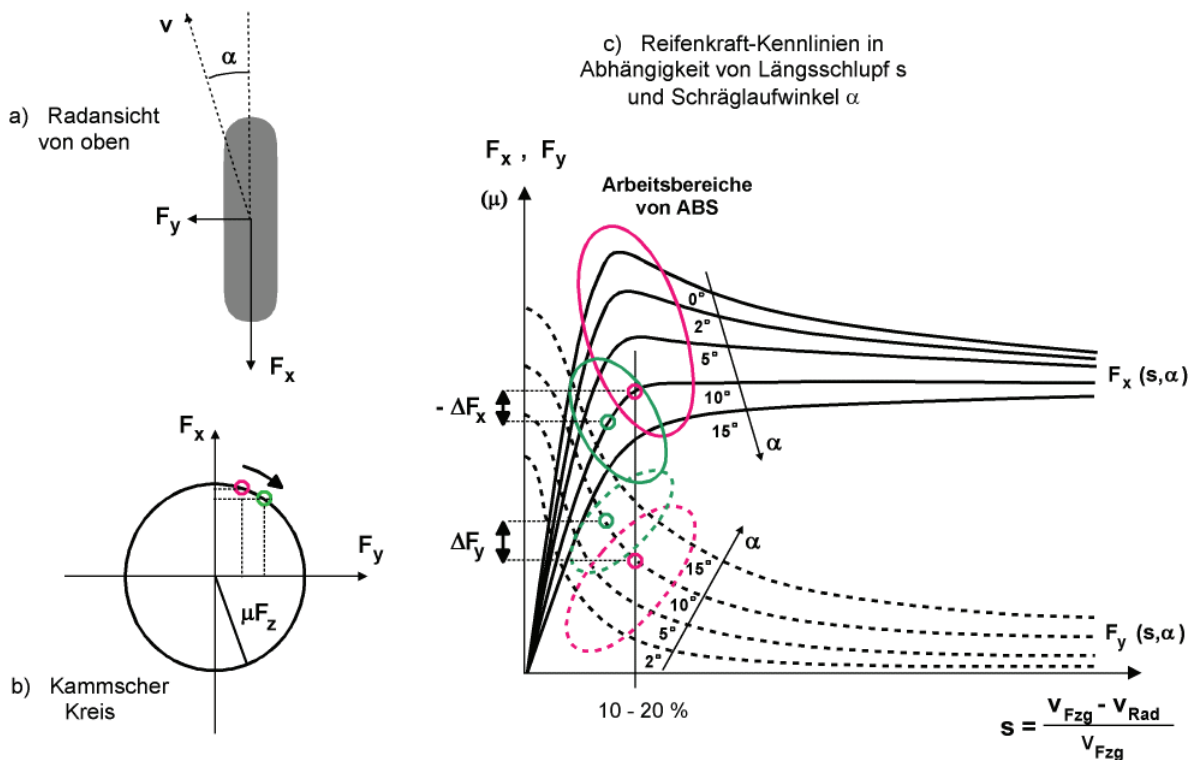


Abb. 22 a) Definition des Radschräglaufwinkels  $\alpha$ , b) Kamm'scher Kreis  
c) Reifenkraftkennlinien als Funktionen von Radschlupf  $s$  und Schräglaufwinkel  $\alpha$  für den Bremsbetrieb, Arbeitsbereiche von ABS

Abb. 23.a zeigt, dass dies bei konventionellen Einspurfahrzeugen aber nicht auf direktem Wege möglich ist. Beispielsweise neigt sich ein in horizontaler Richtung angebrachter Querbeschleunigungssensor (angedeutet als Pfeil) beim Durchfahren der Kurve mit dem in Schräglage gebrachten Fahrzeug



(Schräglagewinkel  $\rho$ ) und zeigt daher während der Kurvenfahrt praktisch den Wert 0 an, da das Fahrzeug in der Horizontalachse kräftefrei sein muss, um in der Kurve nicht umzukippen.

Eine quantitative Kurvenfahrterkennung bei allgemeinen Einspurfahrzeugen mit konventioneller Sensorik (Beschleunigungs- und Drehratensensoren) ist sehr kostenaufwendig, rechenintensiv und oftmals ungenau.

Demgegenüber zeigt Abb. 23.b das Prinzip der Vorderachse eines interessanten dreirädrigen Motorrollers (MP3 von Piaggio), bei dem eine Kurvenfahrt auf erstaunlich einfache Weise erkannt werden kann.

Durch die besondere Kinematik der Radführung bleibt der Querträger des Fahrzeugs auch bei extremer Kurvenfahrt praktisch immer in paralleler Position zur Fahrbahnoberfläche. Daher kann zur Bestimmung der Fahrzeugquerdynamik ein einfacher Winkelsensor zur Messung von  $\rho'$  zwischen Querträger und Lenksäule angebracht werden, der die Berechnung des Schräglagewinkels  $\rho$  nach der simplen Beziehung  $\rho = 90^\circ - \rho'$  erlaubt.

Weiterhin könnte auf dem Querträger auch eine konventionelle ESC-Sensorik bestehend aus Querbeschleunigungssensor und Gierratensensor angebracht werden, um die Dynamik des Fahrzeugs zu erfassen.

Mit beiden Mitteln (Winkelsensor oder ESC-Sensoren) lässt sich der Grad der Querdynamik erfassen.

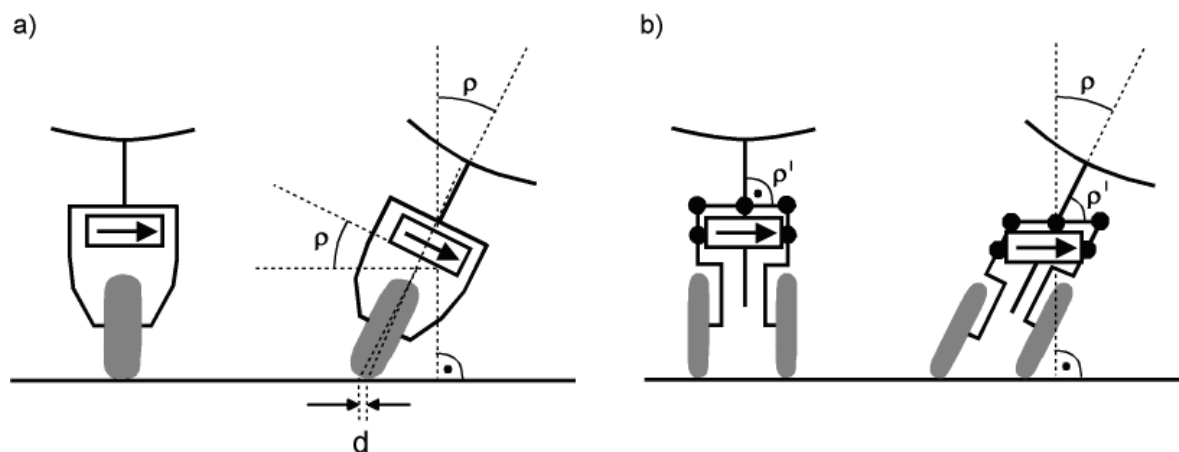


Abb. 23 Einspurfahrzeuge bei Geradeaus- und Kurvenfahrt (Schräglage)  
a) konventioneller Motorroller, b) spezieller Motorroller mit 2 Vorderrädern

Im Rahmen des von der EU geförderten SIM-Projekts [1] wurden bei Continental zwei MP3-Roller von Piaggio mit entsprechender Sensorik ausgerüstet und die im Bremsenregler implementierten ABS- und TCS-Funktionen dynamisch an die Kurvenfahrt adaptiert.

Abb. 24 zeigt als Beispiel eine für die Erkennung einer sich anbahnenden Radinstabilität benutzte Schlupfschwelle, die üblicherweise nur von der Fahrzeuggeschwindigkeit abhängt.

Diese Standardfunktion ist durch die obere Kurve mit der Kennzeichnung  $0^\circ$  gegeben. Wenn nun während einer Kurvenfahrt mit einem Schräglagewinkel  $\rho > 0^\circ$  gebremst wird, so wird zur Bestimmung der Radinstabilität eine gemäß dem gezeigten Kennlinienfeld modifizierte Schlupfschwelle herangezogen (s. roter Pfeil).

Neben diesem Parameter wurden noch ca. 20 andere für ABS und TCS relevante Parameter auf diese Weise dynamisch anhand der erkannten Schräglage  $\rho$  bestimmt und damit die Bremsung und das Traktieren in Kurven bezüglich der Fahrstabilität begünstigt.

Das mit dem blauen Pfeil gekennzeichnete Parameterfeld könnte dann aktiviert werden, wenn beispielsweise aufgrund von speziellen Sensoren (Temperatur, Feuchtigkeit etc.) oder aufgrund einer vorherigen Regelung ein Niedrigreibwert vermutet wird.

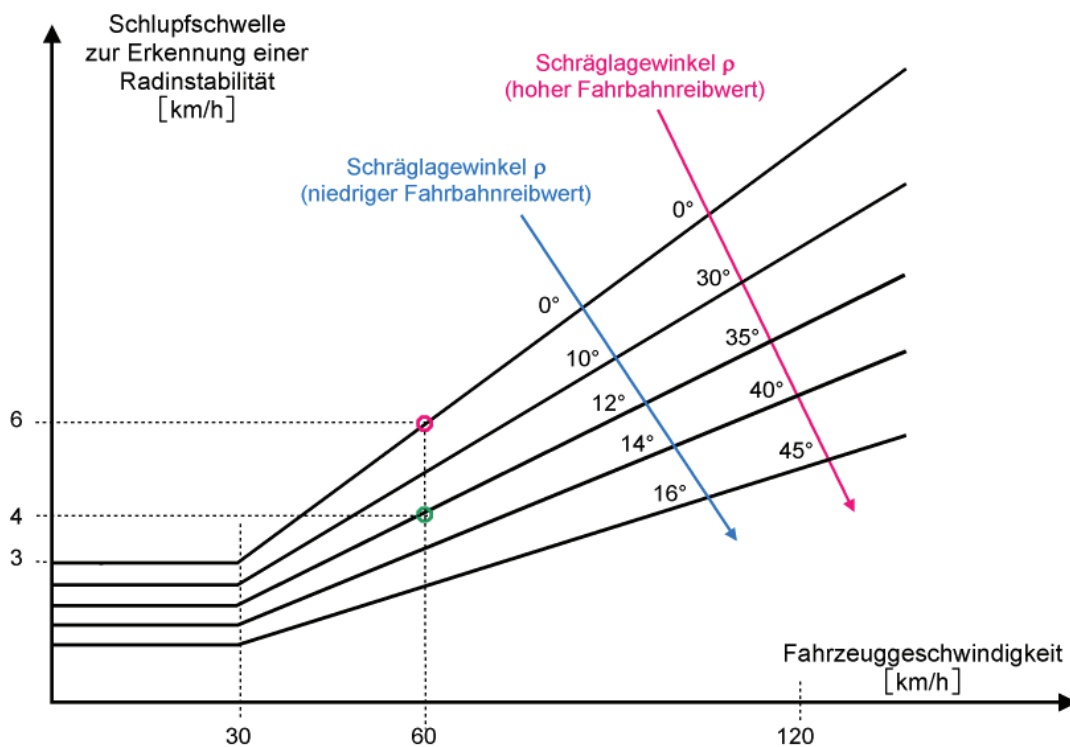


Abb. 24 Beispiel für die dynamische Adaption eines wichtigen ABS-Regelparameters in Abhängigkeit des aktuellen Fahrzeug-Schräglagewinkel  $\rho$

Ein weiteres Problem der Kurvenbremsung mit einem Motorrad besteht darin, dass sich die Radaufstandspunkte um einen kleinen Betrag  $d$  aus den Radmittellachsen (s. Abb. 23.a) verschieben. Diese kleine Distanz  $d$  wirkt beim Bremsen als Hebel für ein das Lenken des Fahrers verstärkendes Lenkmoment  $M_L = F_B \cdot d$ , das bei abruptem Auftreten eine Änderung des eingestellten Lenkwinkels und

dadurch ein Aufstellen des Fahrzeugs verursachen kann. Dadurch und durch die hektische Gegenlenkaktion eines darauf unvorbereiteten Fahrers kann das Fahrzeug völlig destabilisiert werden.

Durch eine sensible ABS-Anregelung kann der Effekt des plötzlich auftretenden Lenkmoments nicht hinreichend unterdrückt werden.

Daher wird hier vorgeschlagen, den anfänglichen Druckaufbaugradienten für das Vorderrad beim Bremsen in Kurven auf einen  $\rho$ -abhängigen Wert zu begrenzen.

Dazu zeigt Abb. 25 das Zeitdiagramm der Druckverläufe für ein hartes Anbremsen.

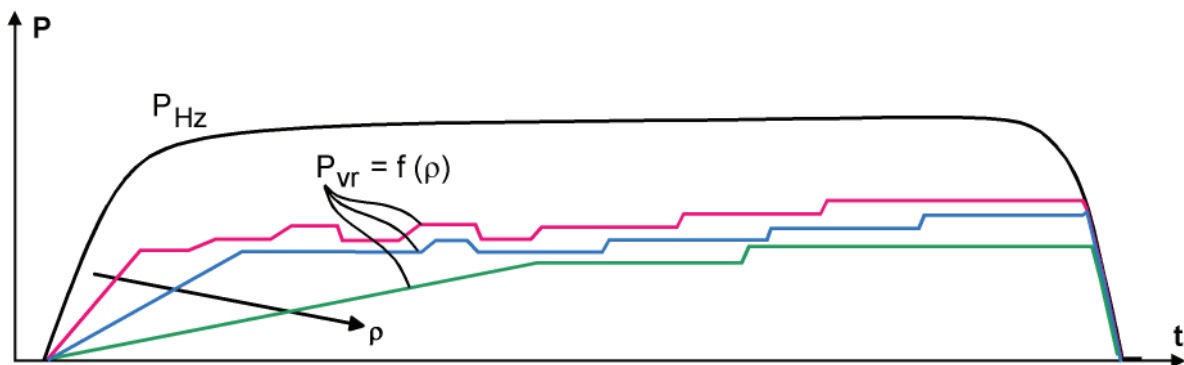


Abb. 25 Begrenzung des Druckaufbaugradienten am Vorderrad zur Lenkmomentreduzierung in Abhängigkeit des Fahrzeugschräglagewinkels  $\rho$  bei extremer Kurvenfahrt

Die Fahrerdruckanforderung  $P_{Hz}$  mit hohem Aufbaugradienten wird bei großer Fahrzeugschräglage für das Vorderrad auf ein sehr geringes Maß  $P_{vr}$  reduziert. Die sich dadurch langsam aufbauende Bremskraft  $F_B$  (proportional zum Bremsdruck  $P_{vr}$ ) verursacht auch nur ein sich langsam entwickelndes Lenkmoment  $M_L$ , sodass der Fahrer dieses Moment durch einfaches Gegenhalten kompensieren kann.

Praktische Untersuchungen zeigen auch, dass die Eintrittsschwellen für ABS und auch TCS schon bei leichter Schräglage des Fahrzeugs sehr niedrig gewählt werden müssen, um ein seitliches Wegrutschen des Fahrzeugs, vor allem auf Böden mit Reibwerten von deutlich weniger als 1, sicher zu vermeiden.

Diese sensiblen Parameter können in einzelnen Fällen aber ein ungewolltes Anregen bewirken, das der Fahrer auf Böden mit guten Reibwerten eher als störend wahrnimmt. Um dieses Problem zu umgehen, könnte man dem Fahrer die Möglichkeit geben, die relevanten Regelparameter bzw. die Regelcharakteristik selbst per Schalter wählen zu können. So könnte bei trockenem Wetter eine eher unsensible Regelung, bei kritischen Situationen (Übergangswetter, Feuchtigkeit, Anfrieren des Bodens, Laub auf der Fahrbahn etc.) eine sensible Regelung mit frühzeitigen Eingriffen gewählt werden.

Hier ist natürlich auch denkbar, dass Bremsenregelsysteme in Zukunft die Wetterlage selbst anhand von entsprechender Sensorik (Temperatur, Feuchtigkeit, Straßenbewertung durch Kamerabild etc.) erfassen und auch über eine Beobachtung des Fahrerverhaltens (sportlich, zögerlich, ängstlich) ermitteln, ob eine aufgrund der Wetterlage oder der Fahrersicherheit kritische Situation vorliegt. Abhängig von der erkannten Problematik könnten dann Regelschwellen automatisch und auch dynamisch während des Fahrbetriebs umgeschaltet werden, was wieder in den Bereich der Fahrer-Assistenzsysteme führt.

Abschließend wird noch eine interessante Regelstrategie für spezielle Einspurfahrzeuge diskutiert, die dem ESC (Electronic Stability Control) bei PKWs entspricht. Die Regelung ist dann möglich, wenn man die Gierrate und die Querschleunigung des Fahrzeugs verlässlich erfassen kann, was beispielsweise beim MP3 (Abb. 23.b) mit Sensoren möglich ist, die auf dem Querträger horizontal zur Fahrbahnoberfläche angebracht sind.

Bei PKWs wird die elektronische Stabilitätskontrolle im Wesentlichen über eine Gierratenregelung abgewickelt.

Dazu wird die tatsächliche Gierrate  $d\Psi/dt_{\text{mess}}$  gemessen und mit einer Modellgierrate  $d\Psi/dt_{\text{modell}}$  verglichen. Diese wird als Referenz für den idealen Fahrzustand herangezogen, den der Fahrer aufgrund des eingestellten Lenkwinkels erzielen möchte. Bei einer hinreichend großen Abweichung zwischen beiden Signalen wird versucht, durch geeignete Bremsen- und Motoreingriffe die tatsächliche Gierrate auf die Modellgierrate oder in einer Bandbreite zu dieser Referenz zu regeln.

Da diese Modellgierrate (s. vereinfachte Gleichung in Abb. 26) vom Lenkwinkel  $\delta$  abhängt, mit dem der PKW-Fahrer seinen gewünschten Kurs vorgibt, ist das Konzept für Einspurfahrzeuge nicht zu gebrauchen. Hier steht der eingestellte Lenkwinkel in keinem direkten Zusammenhang mit einem Fahrkurs oder der gefahrenen Richtung.

PKW:	$\dot{\Psi}_{\text{mess}} \longleftrightarrow \dot{\Psi}_{\text{modell}} = \delta \frac{v}{1 + EG v^2}$	(dynamisch, limitiert durch $\mu$ )
Motorroller oder Motorrad:	$\dot{\Psi}_{\text{mess}} \longleftrightarrow \dot{\Psi}_{\text{modell}} = \frac{a_y}{v}$	

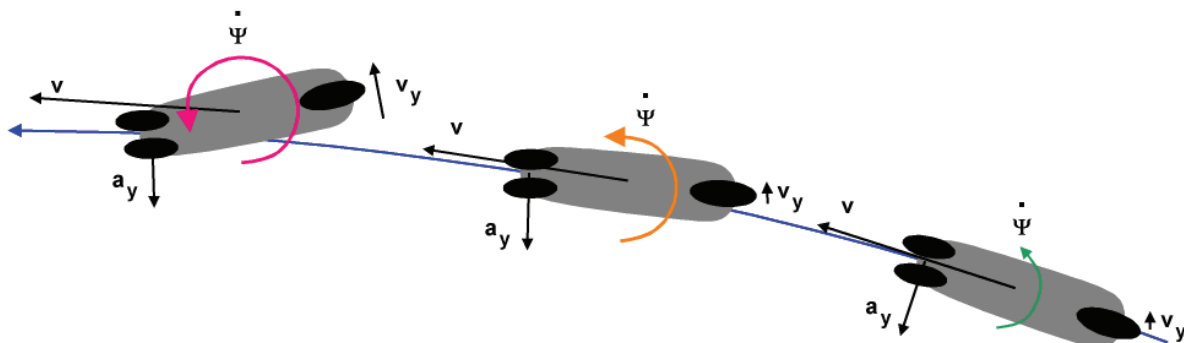


Abb. 26 Kurvenfahrt eines dreirädrigen Motorrollers mit Tendenz zur Drift

Daher wird hier gemäß Abb. 26 vorgeschlagen, als Modellgierrate  $d\Psi/dt_{\text{modell}}$  das Signal  $a_y/v$  zu verwenden, das auch die Bedeutung einer Gierrate hat. Es handelt sich dabei um die Gierrate, die das Fahrzeug mit der Fahrgeschwindigkeit  $v$  durch seine Querbewegung  $a_y$  maximal abstützen kann. Wenn die tatsächlich gemessene Gierrate diesen Wert überschreitet, so deutet dies auf ein Übersteuern hin, was durch seitliches Ausbrechen des Hinterrades auftreten kann (s. Phasen einer Kurvenfahrt in Abb. 26).

Die Ursache dafür liegt im Falle eines Beschleunigungsvorgangs in einer zu starken Traktion, d.h. die Seitenführungskräfte brechen am Hinterrad aufgrund einer zu großen Längskraftanforderung zusammen, und das Fahrzeug rutscht am Hinterrad seitlich aus der Kurve (Drift).

Im Zeitdiagramm der Abb. 27 ist dargestellt, wie ein derartiger Driftvorgang ausgeregelt werden kann, indem das vom Fahrer vorgegebene Motorantriebsmoment  $M_F$  reduziert wird, wenn die gemessene Gierrate die Referenzgierrate um einen gewissen Betrag überschreitet. Mit Hilfe einer geeigneten Motorschnittstelle wird das Antriebsmoment auf die Funktion  $M_R = f(d\Psi/dt_{\text{mess}}, a_y/v)$  limitiert, wodurch sich die beiden Gierratensignale nach einiger Zeit wieder annähern.

Um die Regelung sicherer zu gestalten, können weitere Signale herangezogen werden, wie insbesondere die Gierbeschleunigung  $d^2\Psi/dt_{\text{mess}}^2$ .

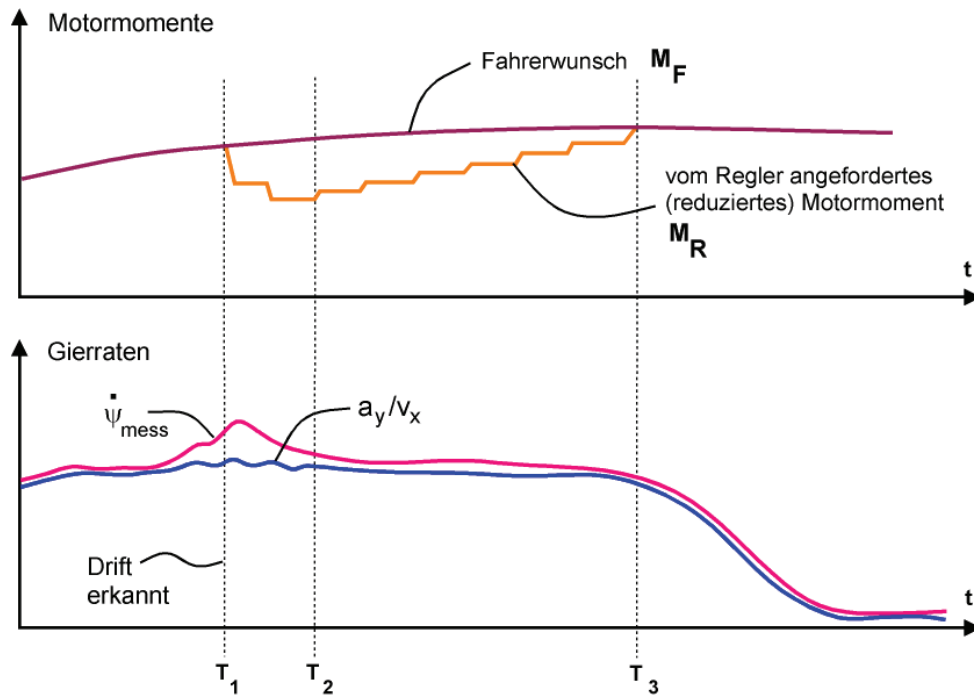


Abb. 27 Zeitdiagramm einer Driftregelung

## Zusammenfassung

Wie eingangs erwähnt und mit den vorangegangenen komplexen Fahrmanövern aufgezeigt, muss ein Motorradfahrer während des Fahrbetriebs vielfältige Aufgaben erfüllen.

Besonders in Notbremssituationen kann es leicht zur Überforderung kommen, gerade dann, wenn die richtige Handlungsweise in Sekundenbruchteilen über Leben und Tod entscheidet.

Ein Motorrad, das mit Fahrerassistenzsystemen, insbesondere ABS, ausgestattet ist, kann dem Fahrer bei der Bewältigung dieser kritischen Aufgaben helfen. Abb. 28 deutet dazu an, welche Aufgaben ABS bei einer Blockierschutzregelung übernimmt (rot markiert).

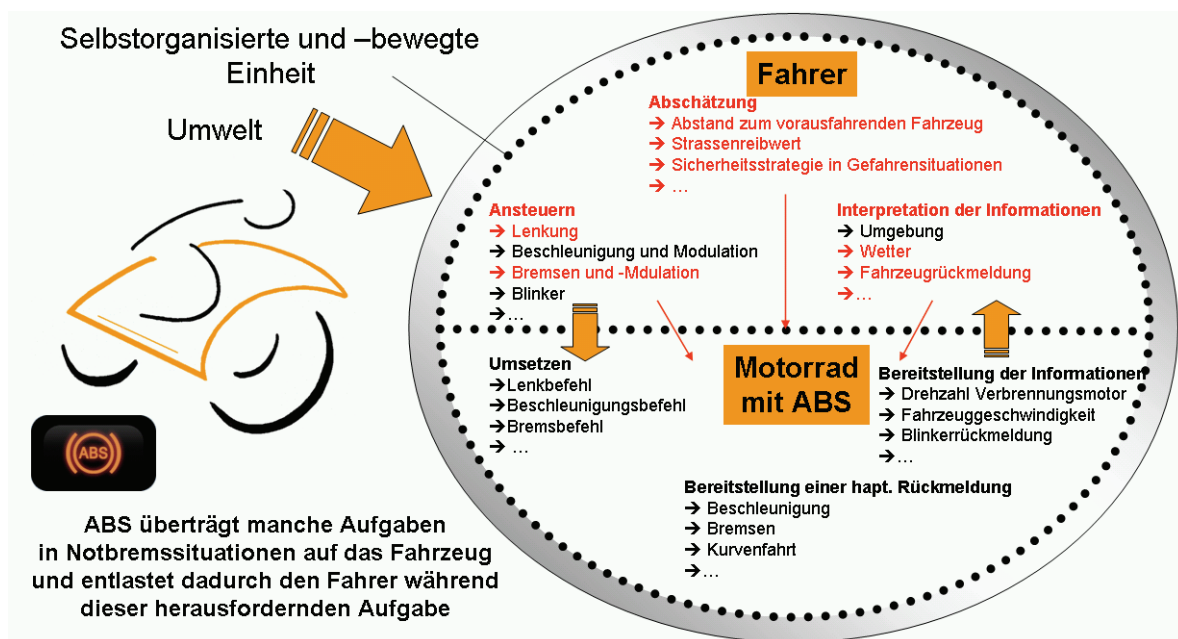


Abb. 28 Aufgabenverteilung Fahrer / Motorrad im Falle eines aktiven ABS

ABS ist in der Lage, ein Blockieren der Räder frühzeitig zu erkennen und den hydraulischen Druck an dem Bremssattel derart zu modulieren, dass die maximal mögliche Bremsenergie umgesetzt und damit ein kurzer Bremsweg realisiert wird. Der Fahrer muss sich nicht mehr auf das Modulieren der Bremsen konzentrieren. Die Fahrbahnbeschaffenheit (feuchte / trockene Fahrbahn) spielen dabei für ihn eine untergeordnete Rolle, da ABS dies mit in die Kalkulation einbringt und immer den maximal möglichen Verzögerungswert einstellt.

Der Fahrer kann sich mehr auf andere Fragen konzentrieren: Ist ein bewegtes Hindernis schon aus dem Weg, wenn ich jetzt stark verzögere? Kann ich eventuell mit geringerer Geschwindigkeit ausweichen? Komme ich mit der hohen Verzögerung noch vor dem Hindernis zum Stehen?

Die theoretischen Unfalluntersuchungen aus dem Abschnitt 1 und die vielfältigen bei Continental durchgeführten praktischen Fahrversuche zu den in Abschnitt 2 vorgestellten Bremsenreglern haben gezeigt, dass gerade in Einspurfahrzeugen ein erheblicher Sicherheitsgewinn speziell durch ABS erzielt werden kann.

Es erscheint daher sinnvoll, ein 2-Kanal-ABS als Standardsystem für alle Motorräder und Motorroller oberhalb einer gewissen Hubraumgrenze einzuführen.

Die einfach zu realisierende digitale Motorschnittstelle erlaubt zusätzlich eine mit geringen Zusatzkosten realisierbare TCS-Funktion.

Weitere Aktivitäten müssen dahin gehen, fahrdynamisch wichtige Reglerparameter in Kurvensituation zukünftig dynamisch an das jeweilige Fahrmanöver zu adaptieren. Die schwierigste Aufgabe dabei ist eine zuverlässige Erkennung der Kurvenfahrt. Im gezeigten Beispiel des MP3-Rollers von Piaggio ist dies aufgrund der besonderen Kinematik der Vorderachse zwar sehr einfach und sicher zu erreichen, für beliebige Einspurfahrzeuge mit zwei Rädern stellt sich hier aber eine echte Herausforderung für die Zukunft.

Höhere Fahrerassistenzsysteme sowie (intelligente) Navigation und Car2X-Kommunikation befinden sich großteils erst in der Entwicklung und müssen in den nächsten Jahren zunächst in den PKWs der Ober- und Mittelklasse Verbreitung finden.

Motorradfahrer werden derartige Systeme sicherlich auch akzeptieren, wenn dadurch neue Nutzeffekte im Unterhaltungs- und Spaßbereich eröffnet werden. Beispielsweise könnte die Frontkamera eines Fahrerassistenzsystems auch zur Aufzeichnung von interessanten Fahrstrecken und Erstellung von Urlaubsfilmern genutzt werden, Navigation mit GPS und Karte ist ohnehin sinnvoll und schon überall verbreitet, und die Car2X-Funktionalität könnte für das Fahren im Konvoi einen weiteren Spaßfaktor liefern.



## Referenzen

- [1] SIM Safety In Motion  
Final Workshop, Piaggio Museum Pontedera, Italien, 26.Nov. 2009
  
- [2] G. Roll, O. Hoffmann, J. König  
“Effectiveness Evaluation of Antilock Brake Systems (ABS) for Motorcycles in Real-World Accident Scenarios”  
ESV21, Stuttgart, Deutschland, Juni 2009
  
- [3] B. Spiegel  
“Über das Bremsen aus Sicht des Verhaltensforschers“  
Eröffnungsvortrag des XX. Internationalen  $\mu$ -Symposiums,  
Bad Neuenahr, Deutschland, Okt. 2000
  
- [4] DEKRA Verkehrssicherheitsreport Motorrad 2010  
DEKRA, Stuttgart, Deutschland 2010

**New Regulation for the approval and market surveillance of  
L-category vehicles (2- and 3-wheel vehicles and quadricycles)**

**Neue Verordnung für die Typgenehmigung von L-Kategorie  
Fahrzeugen (motorisierte Fahrzeuge mit 2, 3 oder 4 Rädern)  
und die Marktüberwachung im Sektor**

Guido Gielen

European Commission, Enterprise and Industry Directorate General  
Directorate D – Industrial Innovation and Mobility Industries  
Automotive Industry Unit / D5

## **Abstract**

### **Starting point for investigation**

Type-approval requirements for new vehicles in the L category are currently set out in Framework Directive<sup>1</sup> 2002/24/EC, associated 14 technical Directives and 21 amendments. A number of key concerns were identified relating to:

- the complexity of the legal framework;
- the level of emissions and its increasing share of overall decreasing total road transport emissions;
- functional safety aspects related to type approval requirements of vehicles;
- the lack of a legal framework for new technologies and
- selling and registration of certain vehicles, systems, components or separate technical units imported in the EU market which do not comply with the current type-approval requirements regarding vehicle functional safety and/or environmental protection.

### **Methods**

A public consultation<sup>2</sup> was conducted with the purpose of seeking the opinions of responses on key aspects of potential measures relating to type-approval of L-category vehicles.

Before the European Commission proposes new initiatives it assesses the potential economic, environmental, safety and social consequences that these may have. An Impact assessment is a set of logical steps which help the Commission to do this.

### **Results**

A new Regulation on the approval and market surveillance of L-category vehicles (2- or 3-wheel vehicles and quadricycles) will be adopted by the Commission on 01 October 2010 and subsequently transmitted and proposed for vote to the European Council and Parliament. In addition three delegated acts containing the test procedures and technical details and one implementing act containing the administrative provisions will be developed and adopted by the Commission in 2011 and 2012 time-frame. Target of first application of this complete package of legal requirements for L-category vehicles: 2013.

---

<sup>1</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/directives/motorbikes/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/directives/motorbikes/index_en.htm)

<sup>2</sup> [http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/consultation/2\\_3\\_wheelers/contributions.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/automotive/consultation/2_3_wheelers/contributions.htm)

## **Impacts / Effects / Consequences**

A comprehensive Impact Assessment report is published together with the Regulation on approval and market surveillance of L-category vehicles after the proposal was adopted by the Commission on 01 October 2010 and is accessible through the following link:

[http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/proposals/index\\_en.htm](http://ec.europa.eu/enterprise/sectors/automotive/documents/proposals/index_en.htm)

**Powered two wheelers –  
achieving environmental improvement for all**

**Motorisierte Zweiräder –  
Umweltrelevante Verbesserung für alle**

John Chatterton-Ross LL.B (Hons)  
Director of EU Public Affairs

Fédération Internationale de Motocyclisme

## **Abstract**

Traffic pollution remains a threat particularly in historic city centres. This is particularly felt in warmer climates where conditions make the problem even more urgent. Cities are still places where people have to work in large numbers. Even a doubling of public transport capacity would not solve the problem.

The electric and hybrid car presents a partial solution. However the weight of a motor car designed to meet modern regulations concerning safety (side impact protection and other features) presents engineers with considerable challenges given the current development of battery technology, as such vehicles have very limited range.

The powered two wheeler in its current form, as either a scooter or traditional motorcycle, presents a better prospect at this time for the use of current batteries. This is also being aided by rapid development of electrically powered racing motorcycles. Both on the track and “off road” disciplines. The FIM is active in this area using sport to drive technology forward.

A second area of importance is the development of bio fuel. The European Union is committed to targets for increasing the use of this fuel as a proportion of the fuel mix. This paper also examines the case for promoting research into genuine second generation fuels not dependant on food crops as their source.

**Powered two wheelers –  
achieving environmental improvement for all**

## **Mobility in city centres**

Across the world historic city centres continue to suffer the effects of pollution of which traffic is a major cause. Examples in Europe are particularly obvious in the south, in Italy and Greece. Increasingly Mayors and city councils are resorting to pedestrian only zones. – But this restriction on mobility can only be applied in limited zones. The problems are not confined to the south, even in the cooler and windier north of Europe there are still sensitive areas, for example the English city of Wells. Problems are often exacerbated where historic buildings are fashioned from softer stones such as limestone and sandstone.

As has been observed many times in previous editions of this conference the general reaction in politics is the same prescription as with road safety. More public transport is held up as the solution. There have been considerable extensions of the public transport network, for example in Athens as part of the Olympic developments when hosting the games. New metro capacity has been added in Rome. The challenges for engineers are however considerable when attempting to tunnel in areas which have been the site of human activity for thousands of years.

Even those cities which established extensive metro systems in the 19<sup>th</sup> century (such as London and Paris) – or in the mid to late 20<sup>th</sup> century (such as Brussels) continue to struggle with mobility for citizens. These problems are now promoting social change with the wealthiest citizens making the move back to city living for the working week.

Metro systems and urban railways are already operating at maximum capacity during peak periods in most large cities in Europe. The Powered Two Wheeler is an increasingly popular choice of citizens. It can be used for the complete journey or it can be used as part of a multi modal journey as parking is easier than with a car, either in a city centre or at a railway or metro station. It is important that policy makers continue to take into account the contribution of this form of transport. In the greater Rome area alone over 700,000 PTWs are in daily use. London, Paris and other northern and central cities are showing a growth in this form of transport too.

## **Battery electric and hybrid cars**

Politically every effort is being made to promote this new technology. Any hybrid car is automatically exempt from the London congestion charge even if it is only capable of travelling a short distance in electric mode. For most citizens the economic choice that remains best is a petrol powered car. Pure electric vehicles pay off in terms of cost only if long distances are driven (higher than 200,000 km) and this “kilometre breakthrough” is likely to exceed battery life and eliminate the fuel advantage. [1]



A pure electric vehicle likely to make a substantial impact on the market as a result of the plans for mass production is the new Nissan Leaf. According to Nissan's price announcement of May 2010 this vehicle will cost in the UK market (where it will also be built) GBP £23,350 and this includes the full UK government subsidy of GBP £5000 making the true cost GBP £28,350. The current starting price for a Peugeot 207 in the UK is GBP £9950. It is also questionable if this huge level of government subsidy to attract people to this new technology is sustainable in the current economic climate. The subsidy also distorts commercial norms where manufacturers compete in an open market.

Nissan claim the new Leaf will have a range of 160km. However experience with fleet use of battery electric vehicles suggests that "range anxiety" will have a substantial effect on battery life. – Drivers tend not to use the full capacity of the battery before resorting to recharging. Another factor is that current lithium batteries can only be safely "fast charged" within a limited range of their state of charge (SOC).

Finally battery electric cars (and hybrids) must be manufactured in a way that complies with all the norms and standards consumers expect of any other car. – Side impact protection etc. There are it is true some "cars" on the market powered by batteries which in fact are only Quadricycles but these are not the type of vehicle that the mainstream car buyer wants to buy.

## **The potential of battery electric motorcycles and scooters**

This is demonstrated from recent experience in our sport. In 2009 the FIM supported the TTXGP event held on the Isle of Man, Great Britain. The electrically powered motorcycles had to complete one lap (60km) of this traditional course. The course is exceptionally demanding not just on the rider, but also on machinery, starting at sea level and reaching the high point of 619 metres above sea level making for a real test of the battery capacity. Rob Barber secured his place in history as the first ever winner, riding the Team Agni motorcycle at an average speed of 140.67 kph (87.434 mph). A Kokam lithium polymer battery of 63 cells totalling around 16 kilowatt-hours of energy was used linked to two Agni motors.

This result tells us a great deal about the potential of the PTW in both motorcycle and scooter form. The Agni was built using a Suzuki chassis of the kind Rob Barber uses in conventional racing with a petrol engine. The overall weight of his machine was similar to the petrol one so requiring only minimal changes to the suspension set up. Within little over a year we can see that this design has already been far exceeded, so rapid are the developments being made in the field of electric racing. – For example increased power is leading now to the use of water cooled electric motors in racing.

Additionally the use of a traditional course for this event meant that the riding was much closer to the experience of normal road travel, climbing well above sea level, than would have been the case if this first event had been held on a normal road race circuit. Finally urban commuting is not carried out an average speed of 140.67 kph!

Another example of how motorcycles are already showing the potential of this technology comes from the first FIM Ride Green Eco Enduro. This event was held in December 2009 at the same time as COP15 the United Nations Climate Change Conference, in Copenhagen, Denmark. [2] This sporting event was organised jointly by Ivan Reedtz-Thott, Vivi Siig and Soren Clauding and the Danish Motor Union (DMU) with the support of the FIM.

The first two stages of the event were configured as a regular Enduro race, on different kinds of terrain, but on the last day the race became a Super Motard/MX race on a small circuit, built for the occasion in a military area, not far from downtown Copenhagen.

The French Enduro champion, Fabien Planet, won the Enduro round while 19 year old Danish rider, Stefan K. Olsen, triumphed in the Super final Supermoto in Copenhagen. Regarding the women's classification, the Swedish Enduro champion Vanja Kollmann won the Enduro round and the former cross-country World Champion Annie Seel won the super final.



The reaction of the competitors was interesting. Without exception all felt that this was a normal motorcycling sporting experience. It was not in any way an inferior one, it was a genuine competition. This suggests that street riders using motorcycles or scooters for commuting will feel the same way. If this technology can satisfy the most demanding requirements of top level competitors it will also satisfy the commuter too.

## FIM ePower series

At the present time most riders agree that in off road disciplines battery electric power is making for an experience which is quite close to that of petrol. The almost linear power output and high torque of electric motors suits off road conditions well. This is not yet the case with road racing. In order to further promote this development the FIM launched the ePower series. Within less than one season rapid developments have been observed. This is now reflected in some of the second generation vehicles being developed for road use. For example US manufacturer Brammo have recently launched a high power motorcycle fitted with water cooled engine.



Another spur to development is the interest shown by consumer electronics industry which of course is always looking for better technology to improve the performance of a wide range of products including mobile telephones and computers. Racing also throws up new technical problems as engines and batteries are subjected to the most extreme use. Within a year we have seen the top teams moving to new technology and new software to control the power flow. These rapid developments are aided by the very process of competition in sport.

## The development of bio fuel

This remains a topic of considerable controversy in the media and from time to time gives rise to a sustained series of reports about the conflict between bio fuel and food supply. This is a matter that needs to be addressed urgently and with considerably more funding for research.

There are some encouraging signs. Nobel laureate Dr Stephen Chu was recently appointed by President Obama to the post of US Secretary for Energy. Dr Chu previously led the research team at Berkeley, California examining the potential for new plants sources for fuel. This is substantial research being backed by a fund of 500 million US dollars from the oil company BP.

In Europe the Karlsruhe Institute of Technology is developing a system that can be run at “farm” scale. – Thus reducing the need to transport high bulk materials such as straw off the farm. A system of fast pyrolysis is used to produce materials that can be added to regular fuel and reduce the reliance on fossil fuels. At the same time these products have absolutely no effect on food production. – Instead they provide an additional source of income for farming.

In the special conditions that exist in the Brazilian market with fuel produced from sugar cane Honda have now produced the CG 150 Titan Mix motorcycle that will run on whatever type of local market fuel is chosen by the rider. Production is planned to reach 200,000 units per annum.

## **Bio Fuel in motorcycle racing**

During the 24 Hours of Le Mans in France, a mixture containing bio-fuel was successfully used by all teams, which shows the feasibility of the use of alternative energies during high level motorcycling competitions. New technical regulations were approved by the CTI (International Technical Commission) and the General Assembly during the 2008 FIM Congress concerning specifications of the current fuel/up to E10 and E85. The use of biofuels in racing events enables the FIM to test the compatibility with engines and to assess specific issues such as safety or energy supply.

## **Diesel**

Unlike the world of the automobile there is little sign that motorcyclists have any interest in diesel power. There is one major exception, the military both in the United States and in Europe. Here the M103OM1 – an adapted Kawasaki 650 single – is in extensive use. The machine was designed in the United Kingdom at Cranfield University as part of a research programme of the Royal Military College of Science. It is manufactured by the US company Hayes Diversified Technologies. It will run on either diesel or JP8 aviation kerosene. It complies with the NATO requirement of a “single fuel” for the battlefield for all military vehicles. It has a top speed in excess of 130km/h (80 mph).

The fuel consumption figures are startling cruising at a military pace of 55mph (88km/h):

110 mile/US gallon

140 mile/Imperial gallon

50km/litre

There have been discussions concerning the release of a civilian model but currently the demands from the military in both the US and Europe remains high and production of the civil version has been fur-

ther delayed. The M103OM1 is based on a fairly old design and is an adaptation of a petrol engine. It is likely that if modern design were applied to the motorcycle that the results could be very interesting. Currently there is not a sufficient base of available machines to start any competition activity in this area. Car racing by contrast has taken to diesel as well as petrol.

## **References:**

- (1) Baptista, P. Camos, C. Silva, C. Farias, T. « Impact of the Introduction of Electric based vehicles in São Miguel Island. 10<sup>th</sup> Conference on Energy for a Clean Environment, Lisbon July 2009
- (2) FIM Ride Green Eco Enduro [www.ecoenduro.com](http://www.ecoenduro.com)