

Sicherheit
Safety

Umwelt
Environment

Zukunft
Future

Tagungsband der 11. Internationalen
Motorradkonferenz 2016
Proceedings of the 11th International
Motorcycle Conference 2016

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

**An Approach for Automatic Riding Skill Identification –
Overview about the Methodology and first Results**

**Ein Ansatz zur Schätzung der Fahrfertigkeiten –
Überblick über Methoden und Ergebnisse**

Nils Magiera, Hermann Winner

TU Darmstadt Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD). Darmstadt, Germany

Herbert Janssen, Martin Heckmann

Honda Research Institute Europe GmbH, Offenbach am Main, Germany

Abstract

Due to the static and dynamic instabilities of a motorcycle the rider performs a highly demanding control task during e.g. cornering, braking or a combination of both. Thus safety and ride comfort strongly depend on the personal abilities and skills of the rider. As a result existing Advanced-Rider-Assistance-Systems (ARAS) for powered two-wheelers try to improve safety by taking rider characteristics into account and warn or intervene before the occurrence of critical situations. Biral¹ for instance determines rider characteristics from the distribution of achieved longitudinal and lateral acceleration during braking or cornering. However such characteristics don't take into account other qualities of the analyzed maneuver, e.g. smoothness and absence of corrective actions.

In this paper we present methods to estimate the quality of a cornering maneuver and derive a personalized riding skill model. The approach utilizes machine learning methods together with heuristic assumptions about the vehicle dynamics to detect and evaluate the quality of various cornering maneuvers from the onboard recordings of a motorcycle equipped with an Inertia Measurement Unit.

Motivated by self-conducted test rides and different to Yoneta² we propose to split the measurement data into segments that represent the control behavior of the rider rather than just cornering: roll-into-corner, stable-lean and roll-out-of-corner. To solve this objective several models including explicit rule based models and Hidden Markov Models (HMM) were evaluated. We use roll angle, roll rate and roll acceleration, derived by an extended Kalman-Filter to identify stationary and non-stationary segments in the cornering maneuvers. We show that a segmental HMM approach achieves the best results and outperforms explicit rule based models according to several evaluation criteria.

Based on the results of the segmentation we discuss multiple methods to calculate scores for the quality of cornering maneuvers and an overall personal rider skill score. We verify the usefulness of our scoring by comparing five riders with different mileage and experience: a novice, several experienced and a professional rider.

¹ See Biral, Francesco et al.: An intelligent curve warning system for powered two wheel vehicles, 2010

² See Yoneta, Keisuke et al.: Rider Characteristics Assessment Device, 2014

Zusammenfassung

Aufgrund der statischen und dynamischen Instabilitäten eines Einspurfahrzeugs ist der Motorradfahrer bei komplexeren Fahrmanövern wie der Kurvenfahrt, dem Bremsen oder derer Kombination besonders gefordert. Sowohl Verkehrssicherheit als auch Fahrkomfort hängen stark von den individuellen Fähig- und Fertigkeiten des Fahrers ab. Bereits bei heute bekannten Fahrerassistenz-Systemen (ARAS) werden deshalb den Fahrer beschreibende Kennwerte verwendet um beispielsweise vor individuell-kritischen Kurvengeschwindigkeiten zu warnen³. Ein solches Verfahren basiert auf den vom Fahrer erreichten Längs- und Querbeschleunigungen. Dabei werden jedoch keine weiteren Qualitätsmerkmale berücksichtigt, die beschreiben wie diese Kennwerte zustande kommen, z.B. wie sauber die Kurve gefahren wurde und ob Korrekturen notwendig waren.

In dieser Veröffentlichung stellen wir einen Ansatz vor, die Qualität von Kurvenfahrten retrospektiv zu bewerten und leiten daraus ein individuelles Modell der Fahrfertigkeiten des Motorradfahrers ab. Der Ansatz basiert rein auf der Nutzung von im Fahrzeug verfügbaren Sensordaten einer Inertialmesseinheit, die mittels probabilistischen und heuristischen Modellen ausgewertet werden.

Im Gegensatz zu bekannten Verfahren⁴ basiert unser Ansatz auf der Segmentierung der Messdaten in Segmente, die einzelnen Kontrollstrategien des Fahrers entsprechen. Ein als Kurvenfahrt klassifiziertes Manöver wird beispielsweise in: Einlenken, Regelung des Rollwinkels in stationärer Kurvenfahrt und Auslenken unterteilt. Zur gleichzeitigen Segmentierung und Klassifizierung der Messdaten wird ein Hidden-Markov-Modell (HMM) verwendet, das als Beobachtungen (Modelleingänge) den Fahrzeugrollwinkel, die Rollrate sowie die Rollbeschleunigung verwendet.

Basierend auf den segmentierten Messdaten werden Kennwerte berechnet, die sowohl die Qualität der Fahrzeugbeherrschung auf Stabilitätsebene als auch auf Bahnführungsebene beschreiben. Um die Nutzbarkeit der Kennwerte nachzuweisen, wird deren statistische Verteilung für insgesamt fünf Fahrer aus drei Fertigungsgruppen (Fahranfänger, Normalfahrer und professioneller Testfahrer) analysiert.

³ Vgl. Biral, Francesco et al.: An intelligent curve warning system for powered two wheel vehicles, 2010

⁴ Vgl. Yoneta, Keisuke et al.: Rider Characteristics Assessment Device, 2014

Ein Ansatz zur Schätzung der Fahrfertigkeiten –
Überblick über Methoden und Ergebnisse

1 Einleitung

Verglichen mit Insassen anderer Fahrzeuge sind Motorradfahrer im öffentlichen Straßenverkehr einem vielfach höheren Risiko ausgesetzt, bei einem Unfall schwer oder gar tödlich verletzt zu werden. Statistiken zeigen, dass das Risiko bei einem Unfall tödlich zu verunglücken, bezogen auf die zurückgelegte Distanz, bis zu 20 Mal höher ist als für einen Pkw-Fahrer. Neben tödlichen Unfällen wurden 2014 ca. 30.000 Motorradunfälle in Deutschland polizeilich erfasst. In 65 Prozent aller Fälle wurden Fahrfehler des Motorradfahrers als Hauptursache festgestellt⁵. Um diese Zahl weiter zu senken, werden heutzutage im wesentlichen zwei Ansätze verfolgt: Ein gezieltes Training des Fahrers zur Verbesserung seiner Fahrfertigkeiten sowie der sich verbreitende Einsatz von Sicherheitssystemen wie ABS, TCS oder auch MSC. Ein gezieltes Fahrertraining hat dabei den Vorteil, dass sich die allgemeine Verbesserung der Fahrfertigkeiten sowohl auf unkritische als auch kritische Fahrmanöver auswirkt. Allerdings werden Sicherheitstrainings nur von einer begrenzten Anzahl von Fahrern wahrgenommen und decken verglichen zu den im Realverkehr auftretenden Situationen nur eine kleine Anzahl an kritischen Manövern ab. Auf der anderen Seite unterstützen Sicherheitssysteme als auch ARAS den Fahrer während des Betriebs im öffentlichen Straßenverkehr. Heutzutage sind diese jedoch nicht auf die Interaktion mit dem Fahrer z.B. zur Verbesserung seiner Fahrfertigkeiten ausgelegt.

Die Nutzung der im Fahrzeug durch die Sicherheitssysteme verfügbaren Informationen für ein Online-Fahrertraining durch gezieltes Feedback zu den eigenen Fahrfertigkeiten oder aufgetretenen kritischen Situationen birgt weiteres Potential für die zukünftige Reduktion kritischer Fahrsituationen und von Unfällen. Der Schlüssel für eine solche Applikation sowie zukünftige intelligentere Assistenzsysteme ist eine Methode zur Bewertung von Fahrmanövern und der darauf basierenden Schätzung der individuellen Fahrfertigkeit. Die Kombination eines zuverlässigen Fahrfertigkeitsmodells mit der Methode zur Bewertung von Fahrmanövern ermöglicht dann auch die Detektion ungewöhnlicher, womöglich kritischer Fahrsituationen.

2 Stand der Forschung

Die Charakterisierung von Fahrern durch Kennwerte ist bereits seit Jahrzehnten ein wichtiges Thema im Automobilbereich. Die Anzahl an relevanten Veröffentlichungen mit dem Fokus auf der Beschreibung von Fahrfertigkeiten oder der Fahrexpertise eines Fahrers ist jedoch sehr begrenzt. Im Motorradbereich beschränken sich die Veröffentlichungen zur Charakterisierung des Fahrers anhand Fahrdynamikdaten im wesentlichen auf zwei Ansätze.

⁵ Vgl: Statistisches Bundesamt (Destatis): Verkehr Verkehrsunfälle, 2016

Biral et al. nutzen für ein vorausschauendes Kurvenwarnsystem ein Modell der vom Fahrer erreichten Beschleunigungen in Längs- und Querrichtung. Dabei werden die Grenzen des Motorradfahrers, bei der er ein Fahrmanöver noch als komfortabel empfindet, mittels einhüllender Geraden im g - g -Diagramm beschrieben^{6,7}. Während Biral so nur die Komfortgrenze eines Fahrers definiert, beschreibt Spiegel die Fahrexpertise verschiedener Fahrer von Beginner bis Koryphäe über die erreichten Bereiche im Längs- und Querbeschleunigungs-Diagramm⁸. Auch weitere Autoren im Automobilbereich nutzen diese Kennwerte, um Fahrer bezüglich ihres Fahrstils, nicht jedoch ihrer Expertise zu beschreiben.

Der zweite bekannte Ansatz zur Charakterisierung der Fahrfertigkeiten und Fahrexpertise basiert auf der Auswertung verschiedener Frequenzbereiche der Fahrdynamikdaten von Turning Manövern (Abbiege-Manöver). Yoneta et al. extrahieren bei diesem Ansatz aus dem zeitlichen Verlauf der Messdaten drei unterschiedliche Bewertungen für die Fahrzeugstabilität, den Kurvenverlauf sowie die Kopfstabilität. Diese Bewertungen werden anschließend zu einer Gesamtnote des Fahrmanövers auf einer 27-stufigen Skala zusammengefasst. Über mehrere Fahrmanöver wird anschließend die Fahrexpertise des Fahrers gemessen sowie dessen Entwicklung über die Zeit aufgenommen. Bei der Methode werden im Wesentlichen zwei Schritte vollzogen: Erstens, die Detektion von Abbiege-Manövern, indem ein Schwellwert für die Gierrate über- und nach einer gewissen Zeit unterschritten wird. Im zweiten Schritt werden die Messdaten mittels Filterung in einen hochfrequenten Anteil, der negatives Verhalten widerspiegelt und einen tieffrequenten Anteil, der bewusst gewollte Aktionen des Fahrers wiedergibt, aufgeteilt und daraus eine Bewertung generiert⁹.

Beide Ansätze haben spezifische Schwächen. Ersterer berücksichtigt nicht wie die Querbeschleunigung erreicht wird, z.B. durch untypische Manöver wie Slalomfahren oder Korrekturen während der Kurvenfahrt. Zudem hängen die während einer Fahrt erreichten Längs- und Querbeschleunigung auch maßgeblich von den Verkehrsverhältnissen, Umwelteinflüssen, wie z.B. Straßenbelag oder Wetter, und Gemüt des Fahrers ab. Eine zuverlässige Schätzung der Fahrfertigkeiten und Fahrexpertise anhand dieser Kennwerte ist im realen Straßenverkehr daher nur eingeschränkt möglich. Der zweite Ansatz trifft die Annahme, dass niederfrequente Bewegungen des Motorrads aus dem Einlenken in eine Kurve resultieren und Fahrfehler und mangelnde Fahrstabilität vorwiegend als hochfrequente Anteile im Signal auftreten. Gerade Korrekturen aufgrund fehlerhafter Kursplanung liegen jedoch im Bereich der Frequenzen des herkömmlichen Einlenkens.

⁶ Vgl: Biral, Francesco et al.: An intelligent curve warning system for powered two wheel vehicles, 2010

⁷ Vgl: Biral, Francesco; Lot, Roberto.: An interpretative model of g - g diagrams of racing motorcycle, 2009

⁸ Vgl: Spiegel, Berndt: Die obere Hälfte des Motorrads, 2003, S. 131

⁹ Vgl: Yoneda, Keisuke et al.: Rider Characteristics Assessment, 2014

3 Fahrmanöversegmentierung

Da die Schätzung der Fahrfertigkeiten und der Fahrexpertise im Realverkehr erfolgt, ist eine automatische Erkennung wiederkehrender Manöver wie z.B. Kurvenfahrten notwendig. In Realität unterscheiden sich Kurven bezüglich des Kurvenradius, des Kurvenwinkels, der Länge sowie der erlaubten Geschwindigkeit und damit auch der zeitlichen Ausdehnung der Messdaten. Zudem ist eine Aneinanderreihung verschiedener Kurven möglich, siehe hierzu Abbildung 1 und Tabelle 1.

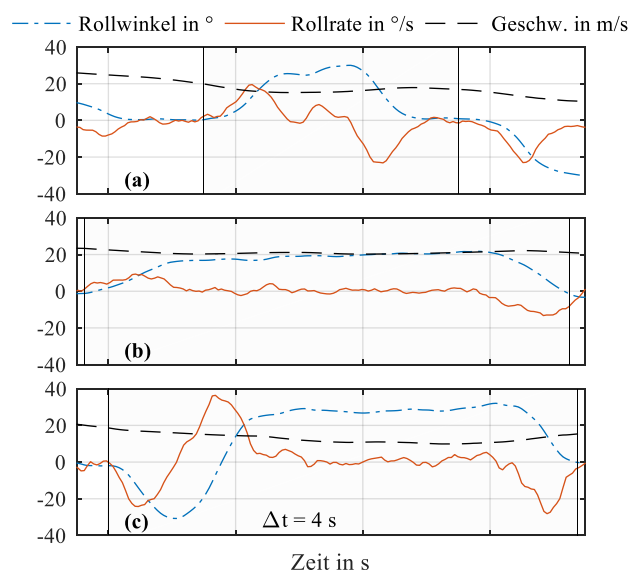


Abbildung 1. Exemplarische Kurvenausprägungen

Tabelle 1. Parameter der exemplarischen Kurven

Kurve	Krümmung	Winkel	Länge	Dauer
(a)	-17/km	60 °	120 m	8 s
(b)	-6.5/km	100 °	350 m	15.5 s
(c)	20/km	40 °	60 m	4 s
	-40/km	220 °	150 m	11 s

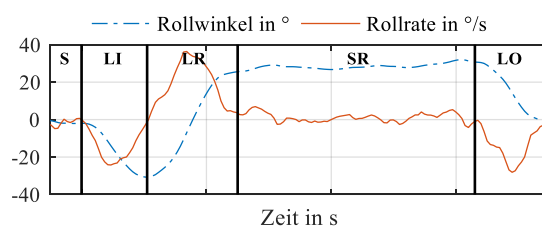


Abbildung 2. Zerlegung der exemplarischen Kurvenausprägung in Abbildung 1: (c)

Eine Analyse der Messdaten rein auf Manöverebene erscheint deshalb wenig aussagekräftig und würde ggf. zu stark schwankenden Kennwerten für eine spätere Klassifikation der Fahrexpertise des Fahrers führen. Auch haben verschiedene Studien^{10,11,12} gezeigt, dass der Mensch während komplexer Fahrmanöver zwischen mehreren einfachen Regelstrategien wechselt. Aus diesem Grund schlagen wir eine Zerlegung der Messdaten in Segmente vor, die wiederkehrenden Kontrollstrategien des Fahrers entsprechen. Diese werden als sogenannte Manöver-Primitive deklariert und sind in Tabelle 2 aufgelistet. Sie sind im Wesentlichen durch die Bewegungsrichtung als auch den Anfangs- und Endrollwinkel definiert, welche im Phasendiagramm in Abbildung 3 veranschaulicht sind. Die beispielhafte Zerlegung der Messdaten einer S-Kurve ist in Abbildung 2 dargestellt.

¹⁰ Agamennoni, Gabriel et al. (2014): Bayesian model-based sequence segmentation, S.1f

¹¹ Kim, J.-H. et al. (2005): Modeling of Driver's CA Maneuver based on Controller Switching Model

¹² Terada, R. et al. (2010): Multi-scale driving behavior modeling using hierarchical PWARX model

Tabelle 2. Liste definierter Manöver-Primitive

Abk.	Nr.	Bezeichnung	vorherige Zustand
S	1	Geradeausfahrt	RO, LO
SR	2	stationäre Rechtskurve	RI,LR,(RL)
SL	3	Stationäre Linkskurve	LI,RL,(LR)
RI	4	Einlenken Rechtskurve	S
LR	5	Wechsel Links-Rechts	SL,LI,RL
RO	6	Auslenken Linkskurve	SL,RL
LI	7	Einlenken Linkskurve	S
RL	8	Wechsel Rechts-Links	SR,RI,LR
LO	9	Auslenken Rechtskurve	SR,LR

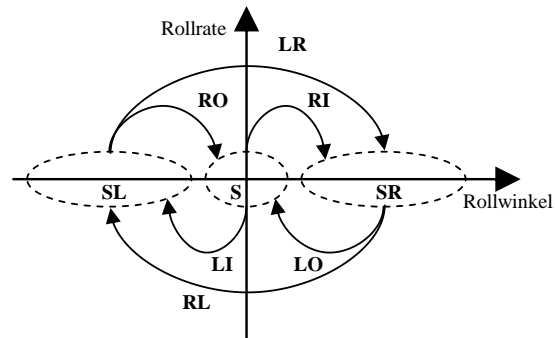


Abbildung 3. Lage der Manöver-Primitive im Phasendiagramm von Rollwinkel und Rollrate

Die automatisierte Zerlegung und Klassifikation der Messdaten erfolgt mit einem probabilistischen Modell zur Zeitreihensegmentierung, das auch bei ähnlichen Problemstellungen im Bereich der Sprach- und Gestenerkennung verwendet wird. Ein solches Hidden-Markov-Modell ist ein Modell für Prozesse, bei dem die eigentlichen Zustände (Hidden States) nicht bekannt sind, aber über Beobachtungen geschätzt werden können. Dabei wird angenommen, dass der aktuelle Zustand alleine vom vorherigen Zustand abhängig ist. Mit einem solchen Modell wird somit auch die Historie der Beobachtungen zur Klassifikation bzw. Segmentierung berücksichtigt.

In unserem Anwendungsfall sind die zuvor definierten Manöver-Primitive unbekannt. Als Beobachtung O_i zur Schätzung der unbekannt Zustände S_j werden die Messung von Rollwinkel, der Rollrate und der numerisch differenzierten Rollbeschleunigung verwendet. Aus diesen werden mittels Verteilungsmodellen (μ_j, Σ_j) die Wahrscheinlichkeiten $p_{i,j}$ berechnet, dass die aktuelle Beobachtung zu einem unbekannt Zustand S_j gehört. Die Segmentierung der Messdaten erfolgt anschließend mittels des Viterbi Algorithmus. Dieser berechnet die wahrscheinlichste Sequenz der Manöver-Primitive aus den aktuellen Beobachtungswahrscheinlichkeiten $p_{i,j}$ sowie den Übergangswahrscheinlichkeiten $\alpha_{j,j}$ zwischen den Manöver-Primitiven. Die Segmentierung wird abschließend noch mit einem heuristischen Modell verbessert, das nicht plausible, sehr kurze, Segmente eliminiert.

Die Güte der automatisierten Segmentierung wurde anhand manuell annotierter Datensätze einer ca. einstündigen Messfahrt im Odenwald evaluiert. Als Gütemaße wurden die sampleweise Übereinstimmung sowie die zeitliche Differenz zwischen den manuellen und automatisierten Segmentierungspunkten gewählt. Für die sampleweise Übereinstimmung ergibt sich ein Wert von knapp 90%. Auch liegen 75% der Segmentierungspunkte weniger als 0,2 Sekunden vom Referenzpunkt entfernt. Eine detaillierte Aufstellung der Ergebnisse ist in Tabelle 3 und 4 dargestellt.

Tabelle 3. Ergebnisse der Evaluierung der sampleweisen Übereinstimmung

	Ges.	nach Manöver Primitiven (s. Tab. 2)				
	m	m_1	m_2	m_3	m_{4-6}	m_{7-9}
Sample Übereinstimmung, in %	88,7	94,2	88,4	90,9	89,5	88,8

Tabelle 4. Ergebnisse der Evaluierung der zeitlichen Differenz der Segmentierungspunkte

	Δt in s					
	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	1
Anteil Referenz - Prädiktion $< \Delta t$, in %	47,8	75,2	77,7	85,1	88,7	95

4 Bewertung der Fahrexpertise anhand von Manöver-Primitiven

Die Segmentierung der Messdaten erlaubt die Auswertung der Manöver-Primitive entsprechend der dort theoretisch stattfinden Regelstrategie bzw. Fahrerintention. Aufgrund des Wissens über Anfang und Ende eines Segments ist es auch möglich, die bisherigen Auswerteverfahren an die zeitliche Länge des Segments anzupassen, z.B. über die Eckfrequenz eines Filteransatzes. Um die nachfolgenden Methoden zur Auswertung von stationären Manöver-Primitiven SR und SL zu veranschaulichen, ist exemplarisch ein Ausschnitt von Testfahrten dreier verschiedener Fahrer auf der identischen Strecke in Abbildung 4 dargestellt.

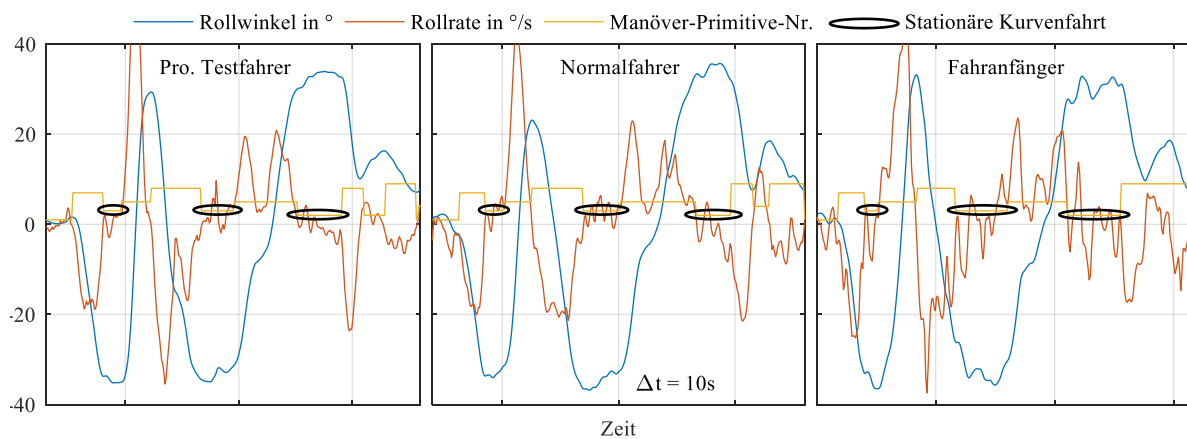


Abbildung 4. Vergleich von Rollwinkel- und Rollratenverlauf dreier Fahrer in Kurvenfahrt

Bereits die visuelle Analyse der drei Graphen in Abbildung 4 zeigt ein zunehmendes Niveau der Schwankung der Rollrate vom professionellen Testfahrer hin zum Fahranfänger. Der Normalfahrer bildet hierbei die Mitte, wobei die Kurvenverläufe rein visuell eher dem Testfahrer ähneln. Unterschiede zwischen diesen beiden Fahrern sind in Phasen konstanten Rollwinkels (stationäre Manöver-Primitive) zu erkennen. Hier zeigt der Normalfahrer stärker ausgeprägte Oszillationen der Rollrate. Die Phasen der Änderung des Rollwinkels sind bei diesen Fahrern hingegen wenig unterscheidbar. Bei einem Fahranfänger sind die Amplituden der Oszillationen der Rollrate nochmals größer. Zudem sind diese sich überlagernde Schwingungen auch in den Phasen sich ändernden Rollwinkels erkennbar.

4.1 Kennwerte zur Bewertung stationärer Manöver-Primitive.

In Phasen stationärer Kurvenfahrt stabilisiert der Fahrer das Motorrad dynamisch durch Gewichtsverlagerung, kleine Lenkwinkelkorrekturen und ggf. Geschwindigkeitsänderungen, um den von Kurvenradius und aktueller Geschwindigkeit abhängigen Rollwinkel zu halten. Aufgrund des für ein Einspurfahrzeug zur Verfügung stehenden Fahrraums und der damit verbundenen freieren Linienwahl im Vergleich zum Pkw sowie den Regularien im Bereich Straßenbau treffen wir die Annahme, dass der Fahrer in stationärer Kurvenfahrt den Rollwinkel quasi konstant hält oder mit einer geringen konstanten Rollrate ändert. Stationäre Manöver-Primitive können dann mittels Gleichung (1), der Standardabweichung der Rollrate des Segments bewertet werden.

$$B_{1SR,SL} = \sigma(\dot{\varphi}) \quad (1)$$

Bei näherer Betrachtung der Graphen fällt auf, dass die Rollrate insbesondere bei kurzen stationären Segmenten - beispielweise bei gut einsehbaren Kurven mit geringem Kurvenwinkel - einem linearen Trend folgen kann. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Kurve rund gefahren wird, d.h. nach dem ersten Einlenken die Rollrate mit einem flachen Gradienten in Richtung Auslenken verläuft. Die aus diesem Verlauf resultierenden Werte der Standardabweichung sind nicht von Werten durch Oszillationen oder einer Korrektur zu unterscheiden. Aus diesem Grund erfolgt die robustere Bewertung durch die Abweichung der Rollrate des Segments von einem linearen Modell θ wie in Abbildung 5 dargestellt. In Tabelle 5 sind die so ermittelten Kennwerte für die stationären Manöver-Primitive aus Abbildung 4 aufgelistet. Diese bestätigten die Ergebnisse der visuellen Analyse von Abbildung 4 auch mit objektiven Größen.

$$B_{2SR,SL} = \text{RMSE}(\dot{\varphi} - \dot{\varphi}_{lin}) \quad (2)$$

$$\dot{\varphi}_{lin} = \theta_1 t + \theta_2 \quad (3)$$

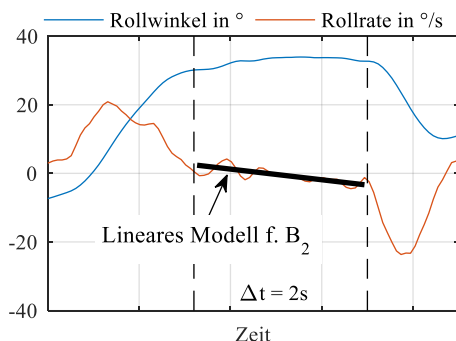


Abbildung 5. Auswertung stationärer Manöver Primitive mit linearem Modell

Tabelle 5. Kennwerte für stationäre Manöver Primitive aus Abbildung 4

Fahrer:	Kennwert	Segment-Nr.		
		1	2	3
Prof. Testfahrer	B_1 in °	1.8	2.6	2.2
	B_2 in °	1.6	2.6	1.4
Normalfahrer	B_1 in °	2.2	2.1	3.6
	B_2 in °	1.7	2.1	2.9
Fahranfänger	B_1 in °	4.3	5.8	5.5
	B_2 in °	4.4	4.6	5.5

4.2 Statistische Auswertung der Bewertungen stationärer Manöver-Primitive nach Fahrerarten

Zur Validierung der Auswertemethoden wurden Versuchsfahrten mit 5 verschiedenen Fahrern auf einer typischen Motorradstrecke in Deutschland im Odenwald durchgeführt. Die Strecke kann in zwei Sektionen unterteilt werden, die sich durch Kurvenradien sowie den Fahrbahnbelägen und auch Fahrbahnmarkierung unterscheiden (In Sektion 2 sind die Fahrstreifen nicht durch Markierungen getrennt). Insgesamt werden Kurven mit Radien von 20 bis 200 m abgedeckt. Die Strecke wurde von allen Probanden mehrfach in beide Richtungen befahren, sodass die Verteilung für Rechts- und Linkskurven ähnlich sind. Die Wetter- und Streckenbedingungen waren für Fahrer 2 bis 5 sonnig und trocken bei 25°C. Fahrer 1 fuhr unter bewölkten Bedingungen bei ca. 18°C und streckenweise leicht feuchten Fahrbahnabschnitten. Diese Abschnitte wurden aus den ausgewerteten Daten entfernt. Pro Fahrer liegen so jeweils zwischen 150 und 180 ausgewertete Datensätze für stationäre Links- und Rechtskurven vor. Bei Fahrer 1 handelt es sich um einen professionellen Testfahrer der Firma Honda R&D Germany. Fahrer 2 bis 4 werden als Normalfahrer klassifiziert. Sie haben alle mehrere Jahre Fahrerfahrung und mehrere 10.000 km zurückgelegt. Fahrer 5 ist ein Fahranfänger, der zum Zeitpunkt der Testfahrten seit 4 Monaten Motorrad fährt und seitdem ca. 2000 km zurückgelegt hat. Abbildung 6 zeigt die kumulierte Verteilung des mittleren Rollwinkels einer ausgewerteten Kurve über die Testfahrten hinweg für die einzelnen Fahrer. Erkennbar ist, dass die Fahrer 1, 3 und 5 eine ähnliche Verteilung aufweisen, die etwa gleichverteilt über den Bereich von 18 bis 35° ist. Rein aufgrund der erreichten Rollwinkel auf die Fahreigenschaften bzw. die Fahrexpertise zu schließen, ist mittels dieses Kennwerts alleine nicht möglich. Abgrenzen lassen sich Fahrer 2 und 4, die größere Rollwinkel erreichen. Dem gegenübergestellt ist die Verteilung der Bewertung der Segmente konstanter Kurvenfahrt in Abbildung 7.

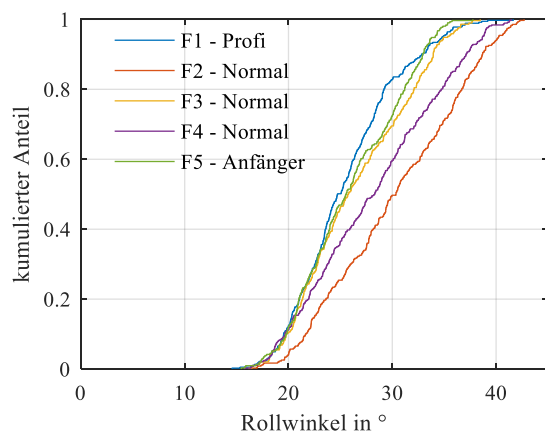


Abbildung 6. Verteilung der mittleren Rollwinkel für Kurvenfahrten nach Fahrer (Links- & Rechtskurven)

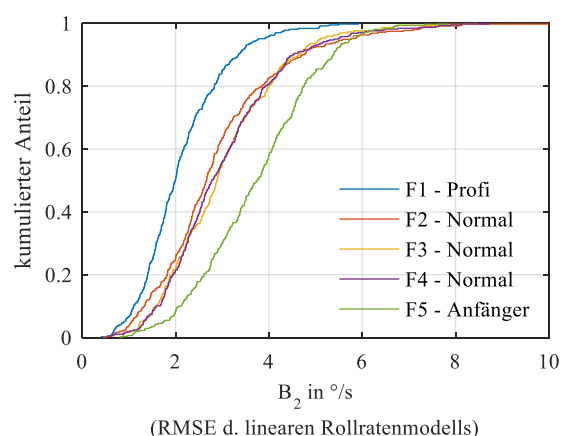


Abbildung 7. Verteilung der Bewertung der stationären Kurvenfahrt nach Fahrer (Links- & Rechtskurven)

Visuell zu erkennen ist, dass sich die drei Fahrerklassifizierungen: Professioneller Testfahrer, Normalfahrer und Fahranfänger anhand ihrer kumulierten Verteilungen unterscheiden lassen. Dabei ist der Unterschied zwischen dem Testfahrer und Fahranfänger besonders groß. Der Median der Bewertung des Anfängers liegt mit einem Faktor von 1,9 über dem des Testfahrers. Daneben unterscheiden sich auch die Interquartilabstände signifikant voneinander. Die Gruppe der Normalfahrer ist gut von beiden Extremen abgrenzbar. Allerdings ist die Differenzierung innerhalb der Gruppe nicht möglich, was auch die statistische Analyse mit dem nicht-parametrischen Kruskal-Wallis-Test¹³ bestätigt.

Zur Untersuchung der Differenzierbarkeit der fünf Fahrer wird der Einfluss von Kurvenparametern auf die Bewertungen mit Hilfe von Streudiagrammen und des Rank-Korrelationskoeffizienten r analysiert. Sowohl für den Kurvenwinkel als auch die zeitlicher Segmentlänge wird eine mittlere Korrelation im Bereich von $r = 0.5$ für einige Fahrer festgestellt. Die Bewertungen B_2 in Abhängigkeit des Kurvenwinkels sind in Abbildung 8 dargestellt. Zusätzlich dazu sind die linearen Regressionsgeraden abgebildet.

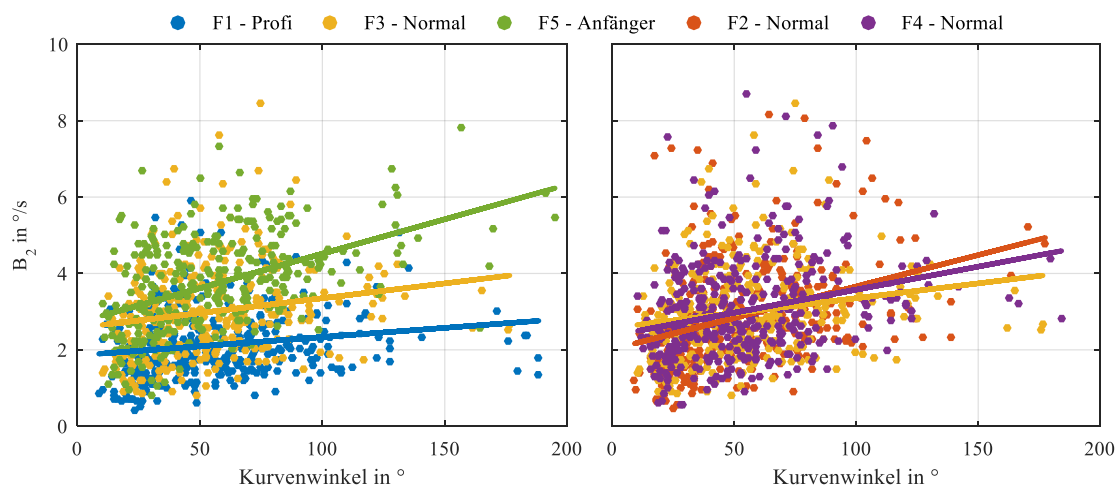


Abbildung 8. Streudiagramme der Bewertung B_2 in Abhängigkeit des Kurvenwinkels

Im linken Graphen der Abbildung 8 ist zu erkennen, dass die Bewertungen für den Fahranfänger mit zunehmenden Kurvenwinkeln ansteigen. Die Bewertungen für Fahrer 1 und 3 steigen dagegen nur mit einem geringen Gradienten an. Im rechten Graphen sind die drei Normalfahrer miteinander verglichen, deren kumulative Verteilung der Bewertung keine statistisch abgesicherte Unterscheidung zulässt. Auch in diesem Graphen sind nur geringe Unterschiede erkennbar. Auffällig ist, dass die Bewertungen von Fahrer 2 am stärksten über dem Kurvenwinkel ansteigen, obwohl dessen kumulierter Bewertungsverlauf am dichtesten an dem des professionellen Testfahrers liegt. Aus den Ergebnissen des linken, als auch des rechten Graphen, wird gefolgert, dass die Auswertung der Daten in Abhän-

¹³ Parametrische Tests können nicht angewendet werden da deren Voraussetzungen verletzt sind.

gigkeit dieses und weitere Einflussparameter ein genaueres Modell der Fahrer genauer bezüglich Ihrer Fahreigenschaften und Fahrexpertise ermöglicht.

5 Fazit & Ausblick

Das Wissen über die Fahreigenschaften und Fahrexpertise des Motorradfahrers ist eine Schlüsselkomponente für zukünftige intelligente Assistenzsysteme. Bisherige veröffentlichte Methoden haben keinen Nachweis erbracht, dass diese die Fahrexpertise des aktuellen Fahrers mit hinreichender Genauigkeit schätzen können. In dieser Veröffentlichung wird eine Methode vorgestellt, die basierend auf der Segmentierung in Manöver-Primitive eine Bewertung der stationären Kurvenfahrt allein mit Intertialmessdaten ermöglicht. Durch die kumulierten Bewertungen einzelner Kurvenfahrten konnten drei Fahrertypen mit unterschiedlicher Fahrexpertise eindeutig voneinander unterschieden werden. Es wurde zudem gezeigt, dass die Bewertungen vom gefahrenen Kurvenwinkel unterschiedlich stark für die einzelnen Fahrer abhängen. Diese und weitere Abhängigkeiten können genutzt werden um die Fahrer noch stärker voneinander zu differenzieren. Um die bisherigen als auch zukünftigen Ergebnisse statistisch abzusichern, müssen weitere Versuchsfahrten mit mehr Probanden durchgeführt werden. Es ist auch zu diskutieren, ob mehr als drei Fahrexpertise-Klassen: Testfahrer/Berufsfahrer – Erfahrene/Normalfahrer – Fahranfänger, zugeordnet werden können und wie mit einer Unterscheidung innerhalb dieser Gruppen umgegangen wird. Die Einordnung in diese Klassen wird in Teilen immer einem subjektiven Einfluss unterliegen.

Wie in Abbildung 4 gezeigt, sind auch in Phasen sich ändernden Rollwinkels Unterschiede zwischen den Fahrern erkennbar. Die Auswertung der Signale erfordert ein zusätzliches Bewertungsmaß, da die Annahme eines linearen Rollratenverlaufs in diesen dynamischen Manöver-Primitiven nicht gültig ist. Ansätze zur Auswertung dieser Segmente werden zurzeit untersucht. Die mögliche Auswertung der stationären Segmente verspricht eine weitere Verfeinerung der Beschreibung von Fahreigenschaften der individuellen Fahrer.

Desweiteren wird der Fragestellung nachgegangen, ob aus den Messdaten und deren Segmentierung eine direkte Identifikation von spezifischen Fahrfehlern mittels eines Klassifikatoransatzes möglich ist. Dies ist eine zentrale Voraussetzung, um den Fahrer während der Fahrt Feedback zu seinem Verhalten zu geben.

Danksagung

Die hier gezeigten Forschungen wurden innerhalb einer Kooperation mit dem Honda Research Institute Europe (HRI-EU) finanziert und von der Honda R&D Europe GmbH durch die Bereitstellung des Versuchsfahrzeugs samt Messtechnik unterstützt.

Literaturnachweise

Agamennoni, Gabriel et al.: [Bayesian model-based sequence segmentation, 2014]

Bayesian model-based sequence segmentation for inferring primitives in driving-behavioral data," in: 17th Int. Conf. Information Fusion (FUSION), Salamanca, Spain, Jul., 7-10, 2014, pp. 1-8.

Biral, Francesco; Lot, Roberto: [An interpretative model of g-g diagrams, 2009]

An interpretative model of g-g diagrams of racing motorcycle," in: Proc. 3rd Int. Conf. Mech. Eng. and Mechanics. Beijing, P.R. China, Oct. 21–23, vol 2, 2009.

Biral, Francesco et al.: [An intelligent curve warning system, 2010]

An intelligent curve warning system for powered two wheel vehicles," Eur. Transp. Res. Rev, vol. 2, no. 3, pp. 147–156, 2010.

Kim, Jong-Hae. et al.: [Modeling of Driver's CA Maneuver Based on Controller Switching Model, 2005]

Modeling of Driver's Collision Avoidance Maneuver Based on Controller Switching Model," IEEE Trans. Syst, Man, Cybern. B, vol. 35, no. 6, pp. 1131–1143, 2005.

Statistisches Bundesamt: [Verkehr Verkehrsunfälle, 2016]

Verkehr Verkehrsunfälle - Fachserie 8 Reihe 7 - 2014. Wiesbaden: Statistisches Bundesamt, 2016.

Spiegel, Bernt: [Die obere Hälfte des Motorrads, 2012]

Die obere Hälfte des Motorrads - Über die Einheit von Fahrer und Maschine. Stuttgart: Motorbuch-Verlag, 2012.

Terada, Ryota et al.: [Multi-scale driving behavior modeling using hierarchical PWARX model, 2010]

Multi-scale driving behavior modeling using hierarchical PWARX model, in 13th Int. IEEE Conf. Intell. Trans. Sys (ITSC 2010), Funchal, Madeira Island, Portugal, pp. 1638–1644.

Yoneta, Keisuke; Daimoto, Hiroshi, Yamamoto, Atsuo: [Rider Characteristics Assessment, 2012]

Rider Characteristics Assessment Device and Straddle-Ridden Vehicle Provided Therewith, EP2517952A1, Oct. 31, 2012.

Smart Phone Riding Style Feedback Application

Smartphone-Feedback-Applikation für den Fahrstil

Dr. Hartmut Kerwien, Wolfgang Stern
Institut für Angewandte Verkehrspädagogik, avp, Germany

Kay Schulte
Deutscher Verkehrssicherheitsrat, DVR, Germany

Abstract

Nearly one-third of motorcycle riders injured or killed in Germany during 2014 had a single-vehicle accident. Accidents in left-hand curves appear to be especially serious, and usually occur when the vehicle leaves the road to the right and strikes obstacles on the outside of the curve (Kühn et al., 2008). An analysis of fatal accidents (Bauer et al., 2014) revealed that approximately half of these accidents happened in curves and that the tilt angle did not exceed 20 degrees in any case. Increasing the tilt angle to 30 degrees would have prevented each one of these fatal accidents. More than one third of motorcycle accidents where the rider was at fault took place in linear traffic, where collisions with other traffic participants occurred among other things, also in urban areas. Here a large proportion of the accidents could have been prevented by braking manoeuvres in particular.

The feedback application is intended to provide the rider with information about the “riding style”. We include two aspects of riding behaviour under “riding style”:

1. The skill of the rider. This means the sensory-motor performance of the rider and the ability to control the machine
2. The ability to adapt to road traffic and act in a manner that avoids hazards

The smart phone application is intended to provide feedback on both aspects. A “Motorcycle Competence Test” was developed for this purpose in a preliminary study, covering all essential operator tasks. The trial group of riders had to complete this test. Information regarding socio-demographic variables and a self-assessment of the riding style collected from the test subjects using a questionnaire was correlated with the data obtained from the test. Three clearly delineated skill groups were the result. The insights that were gained serve to personalise the application upon initial use. This is intended to ensure acceptance by as many motorcycle riders as possible. Physical data about the acceleration, tilt angle and speed provides objective feedback about the rider’s competence. At the same time, this makes differentiated recommendations possible to develop a safety-oriented riding style.

Smartphone-Feedback-Applikation für den Fahrstil

In Deutschland hatten im Jahr 2014 annähernd ein Drittel der verunglückten sowie der getöteten Motorradfahrer einen Alleinunfall. Besonders gravierend erscheinen vor allem Unfälle in Linkskurven, die sich zumeist außerorts ereignen, wo es zu einem Abkommen von der Fahrbahn nach rechts kommt und ein Aufprall auf Hindernisse an der Kurvenaußenseite erfolgt (Kühn et al., 2008). Eine Analyse tödlicher Unfälle (Bauer et al., 2014) ergab, dass ungefähr die Hälfte dieser Unfälle in Kurven passierte und in keinem Fall eine Schräglage von mehr als 20 Grad erreicht wurde. Eine Erhöhung der Schräglage auf 30 Grad hätte jeden dieser tödlichen Unfälle vermieden. Mehr als ein Drittel der selbst verschuldeten Motorradunfälle waren Unfälle im Längsverkehr, wo es unter anderem, wie auch in städtischen Gebieten, zu Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern kommt. Hier wären es vor allem angemessene Bremsmanöver, die einen großen Anteil von Unfällen hätten vermeiden helfen.

Die Feedback-Applikation soll dem Fahrer eine Information zu seinem „Fahrstil“ liefern. Dabei subsumieren wir unter „Fahrstil“ zwei Aspekte des Fahrverhaltens:

1. Die Fahrkompetenz. Das heißt, die sensomotorische Leistungsfähigkeit des Fahrers, sein (Sport-)Gerät zu beherrschen und
2. Die Fähigkeit, sich im Straßenverkehr angepasst und gefahrvermeidend zu verhalten.

Die Smartphone-Applikation soll zu beiden Aspekten Rückmeldungen geben. Dazu wurde in einer Voruntersuchung ein „Motorrad-Kompetenztest“ entwickelt, der alle wesentlichen Fahraufgaben enthielt und von der Versuchsgruppe durchfahren werden musste. Die erhaltenen Daten wurden mit per Fragebogen ermittelten Angaben der Probanden zu sozio-demografischen Variablen und Fahrstil-Selbsteinschätzungen korreliert. Es resultierten drei trennscharfe Fertigungsgruppen. Die gewonnenen Erkenntnisse dienen bei der ersten Nutzung einer Personalisierung der Applikation. So soll die Akzeptanz bei möglichst vielen Motorradfahrern sichergestellt werden. Physikalische Daten zu Beschleunigungen, Schräglagen und Geschwindigkeiten liefern objektive Rückmeldungen zur Fahrkompetenz. Gleichzeitig ermöglichen sie differenzierte Empfehlungen zur Entwicklung eines sicherheitsorientierten Fahrstils.

In diesem Beitrag werden die Ergebnisse der Voruntersuchung und erste Schlussfolgerungen für die Programmierung der Applikation dargestellt.

Sportmotorischer-Test „Motorrad-Kompetenz-Test“

Der im Folgenden vorgestellte Motorrad-Kompetenz-Test orientiert sich an der Theorie der Sportmotorischen Testverfahren, die im Sport Erkenntnisse über den Trainingszustand und das Niveau der konditionellen und koordinativen Fähigkeiten liefern sollen. Sportmotorische Tests sind dementsprechend Bewegungsaufgaben, bei denen Probanden aufgefordert werden, das im Sinne der Aufgaben-

stellung bestmögliche Ergebnis zu erzielen. Sie müssen dabei den klassischen Hauptgütekriterien von Testverfahren genügen: Objektivität, Reliabilität und Validität. Ziel ihrer Anwendung ist der Schluss von den erfassten Leistungsdaten auf den individuellen Ausprägungsgrad der zugrundeliegenden motorischen Fertigkeiten und Fähigkeiten (Roth, 1999). Der Test enthält diejenigen Grundfahraufgaben, die für eine sichere Verkehrsteilnahme beherrscht werden müssen. Er basiert auf der Annahme, dass Fahrkönnen (Fahrkompetenz) sich über die benötigte Zeit zur fehlerfreien Durchführung einzelner Testaufgaben messen lässt. Dazu werden die Übungen so konzipiert, dass sie bei langsamer Fahrt von jedem Besitzer einer Fahrerlaubnis Klasse A bewältigt werden können. Mit zunehmender Geschwindigkeit und damit zunehmender Dynamik werden koordinative Fähigkeiten gefordert, die Aufschluss über die jeweilige Fertigungsstufe geben.

Die Messung der Fehlerquote, die sich unter Zeitdruck ergibt, lässt nicht nur Aussagen zur Qualität erlernter koordinativer Fähigkeiten zu, sondern gibt auch Hinweise auf den Fahrertyp und seine Psyche. Wer im ersten Durchgang, ohne Zeitdruck, bereits Fehler gemacht hat und sich dann im 2. Durchgang, unter vermeintlichem Zeitdruck zu einer schnelleren Fahrt verleiten lässt, mit noch mehr Fehlern, der zeigt ein erhöhtes Maß an Risikobereitschaft. Sanktionen (Gewinn/Strafe) für das Fahren auf Zeit werden bewusst nicht gemacht. Es ist allein die Aussage des Versuchsleiters „Fahre fehlerfrei und so schnell es geht“, die den Unterschied zum 1. Durchgang darstellt. Wir vermuten, dass sich signifikante Unterschiede in der Fehlerquote zeigen werden, die zur weiteren Charakterisierung des Fahrertyps genutzt werden können.

Die Zuverlässigkeit des Tests kann in einem dritten Durchgang geprüft werden. Hier wird der Parcours modifiziert, ohne den Probanden vorab darüber zu informieren. Die Aufgabenstellung bleibt wie im 2. Durchgang (fehlerfrei und schnell). Damit wird insbesondere die koordinative Fähigkeit zur Antizipation (Blickführung) überprüfbar und die Testergebnisse zur Risikobereitschaft können bestätigt werden.

Aufbau des Kompetenztests

Maße: Trainingsgelände ca. 100 x 40 m

Fahraufgaben:

3. Start-/Ziel-Box (2x3 m)
4. Kurzer Slalom (4 Pylonen, Abstände 3 m)
5. Langer Slalom (6 Pylonen, Abstände 10 m)
6. Kreisbahn (1,5 Mal = 540°-Linkskurve, 4 Tore je 2 m breit)
7. Beschleunigen, anbremsen, einlenken
8. Wenden links oder rechts (4 m Radius)

9. Beschleunigen, anbremsen, einlenken
10. Kreisbahn (1,5 Mal = 540°-Rechtskurve, 4 Tore je 2m breit)
11. Spurwechsel im Slalom (3 Optionen)
12. Zielbremsung in der Start- Zielbox

Durchführung

Die Fahrspuren im Kreis und beim Wenden werden wie oben beschrieben begrenzt, um eine präzise Fahrt zu erzwingen. Der Radius beim Wenden kann selbst gewählt werden. In definierten Abständen werden Pylonen aufgestellt und deren Standplatz mit Kreide markiert. Als Fehler gelten das Umwerfen, Verschieben oder auslassen von Pylonen oder das Verlassen der Zielbox. Für den dritten Durchgang wird der Parcours modifiziert, indem Tore im Kreis ca. 2 m nach außen versetzt werden. Es gibt keinen Probedurchgang.

Vor dem 1. Durchgang wird der Fahrweg mit Hilfe einer Skizze erläutert. Die Instruktionen lauten.

1. Durchgang: Fahre fehlerfrei
2. Durchgang: Fahre fehlerfrei und möglichst schnell
3. Durchgang: Fahre fehlerfrei und möglichst schnell

Bei jedem Durchgang wird die Zeit gemessen. Pro Fehler werden in der nachfolgenden Auswertung 5 „Strafsekunden“ berücksichtigt.

Konstruktion eines Erhebungsinstruments zur Fahrstilerfassung

Es wurde ein Fragebogen zur Selbsteinschätzung des Fahrstils konstruiert, der den Motorradfahrern vor den praktischen Fahrversuchen vorgelegt werden soll. Bezug genommen wurde dabei auf die Untersuchungen von Berger et al. (1975) und Schulz et al. (1996). Folgende Fahrstilvariablen wurden erfragt: Sportlich, Defensiv, Riskant, Offensiv, Genießerisch, Schnell, Tourenmäßig, Gleitend, Pilotierend, Langsam, Gelassen, Enduromäßig, Gekonnt, Choppermäßig, Regeltreu, Grenzen austestend, Nervenkitzel suchend, Geschickt, Spielerisch, Rennmäßig und Vernünftig.

Das Vorhandensein der Fahrstilvariablen (Antwortkategorien) muss dabei mit „nein“, „eher nein“, „eher ja“ und „ja“ angegeben werden.

Weiterhin wird die subjektive Fahrkompetenz erfasst:

- Wie schätzen Sie insgesamt Ihre fahrerische Kompetenz ein?
- Wie schätzen Sie Ihre Kompetenz beim Kurvenfahren ein?

- Wie schätzen Sie Ihre Kompetenz beim Bremsen ein?

Die Antwortkategorien lehnen sich an das Schulnotensystem an, wobei die Kategorie „ungenügend“ nicht berücksichtigt wurde.

Nach Berger et al. (1975) drängen die Fahrformen (Fahrstile) nach Realisierung. Gemäß dem Entscheidungsmodell von Kerwien (1997) besitzt die Handlungsalternative „Risikoakzeptanz“ einen höheren Anreiz. Es wird deshalb erfragt, inwiefern Fahrer dazu tendieren, ihre Fahrformen trotz „Verhinderungsverkehr“ realisieren zu wollen bzw. ob sie in der Lage sind, situationsangemessen zu reagieren, indem sie der Realisierung ihrer Fahrmotive widerstehen können. Dazu wurden zwei Entscheidungssituationen in Bezug auf das Entscheidungsmodell von Kerwien (1997) konstruiert. Die Situationen spitzen sich dabei bis zum Entscheidungspunkt zu. Es wird erfragt, inwiefern die Teilnehmer eine riskante Handlungsalternative wählen würden oder nicht.

Darüber hinaus werden demografische Variablen wie Alter, Geschlecht, Führerscheinbesitzdauer und Fahrerfahrung erfragt. Die subjektive Einschätzung der Teilnehmer soll kontrastiert werden mit einer Experteneinschätzung (Beobachtung). Diese Einschätzung bezieht sich auf die allgemeine Auslebentendenz und Fahrkompetenz sowie auf die Kompetenz zum Kurvenfahren sowie in Bezug auf das Bremsen. Die Kompetenzen werden mit Hilfe des Schulnotensystems erfasst, die Auslebentendenz mittels einer 5-stufigen Intensitätsskala von „gar nicht“ bis „sehr stark“.

Empirische Erfassung fahrstilrelevanter Größen mit Hilfe des Fahrfertigkeitstests

Die Datenerfassung erfolgte auf Trainingsgeländen in Hildesheim, Dülmen und Wüschheim. Wenn der Test-Parcours in ein Sicherheitstraining eingebunden war, erfolgte die Datenerfassung zu Beginn des Trainings, um den Einfluss von Übungseffekten möglichst gering zu halten. Durch die Anwesenheit zweier Trainer, konnte das Training parallel zum Parcoursfahren weitergeführt werden. Inklusive An- und Abfahrt nahm das Befahren des Test-Parcours pro Teilnehmer ca. 8 – 10 Minuten in Anspruch. Auf dem Gelände in Dülmen konnte auf Freunde und ehemalige Fahrschüler eines ortsansässigen Fahrlehrers und avp-Mitglieds zurückgegriffen werden sowie auf zwei Polizeibeamte des Landesamts für Ausbildung, Fortbildung und Personalangelegenheiten in Münster. Die Datenerfassung in Wüschheim fand mit angehenden DVR-Motorrad-Sicherheitstrainern im Rahmen der programmspezifischen Ausbildungswoche statt.

Insgesamt konnte auf 61 Teilnehmer zurückgegriffen werden. Da der Teilnehmerfragebogen einmal angepasst wurde und nicht immer alle Variablen erfasst werden konnten, wurden die Analysen letztlich auf der Basis von 53 Teilnehmern durchgeführt. Davon waren 41 (77,4%) Personen männlich und 12 (22,6%) Personen weiblich. Der Frauenanteil ist ein wenig höher als in der Gesamtpopulation der Motorradfahrer in Deutschland (ca. 14%). Das durchschnittliche Alter entspricht mit rund 47 Jahren

ziemlich exakt dem Durchschnittsalter der Motorradfahrer in Deutschland. Die befragten Fahrer fuhren durchschnittlich seit ca. 15 Jahren Motorrad und besaßen seit ca. 20 Jahren eine Fahrerlaubnis zum Führen eines Motorrades. Die Fahrer berichteten eine mittlere Jahreskilometerleistung von rund 7.800 Kilometern, welche deutlich über den bekannten Jahreskilometerleistungen der Gesamtpopulation liegt (4.740 km laut Motorrad-Studie MPS/IfD-Allensbach; Motor Presse Stuttgart, 2012). Laut dem DEKRA-Sicherheitsreport Motorrad 2010 (S. 43) beträgt die durchschnittliche Jahreskilometerleistung sogar nur noch 3.900 Kilometer. Die hohe Jahreskilometerleistung ist auch darin begründet, dass drei der befragten Teilnehmer jeweils angaben, 25.000 Kilometer im Jahr zu fahren. Da das arithmetische Mittel sehr sensibel auf Extremwerte reagiert, resultiert konsequenterweise ein recht hoher Wert. Der Median (50%-Wert) liegt bei 7.000 Kilometern und der Modus (häufigster Wert) bei 5.000 Kilometern.

Korrelationsstatistische Auswertung der Fahrstildaten aus den Teilnehmerfragebögen

Nach mehreren Auswertungsschritten wurden die fahrzeugspezifischen Variablen (z.B. Choppermäßig) und die Variable „Pilotierend“ aus der Auswertung ausgeschlossen, da entweder eine einseitige Ankreuztendenz (z.B. bei Choppermäßig) oder ein Verständnisproblem (Pilotierend) existierte. Es wurde sodann eine Hauptkomponentenanalyse mit anschließender Varimax-Rotation berechnet. Ziel dieser Analyse ist es, die Anzahl der erfassten Variablen zu reduzieren, um unabhängige (unkorrelierte) Dimensionen zu erhalten. Die Analyse ergab vier Faktoren mit einem Eigenwert > 1 (durch den Faktor aufgeklärte Varianz). Zunächst werden die Variablen mit den höchsten Ladungen (Korrelationen) auf den jeweiligen Faktoren genannt. Ein + bedeutet eine positive und ein – eine negative Ladung. Danach werden die Faktoren versucht, zu interpretieren.

Faktor 1 (ca. 35% Varianzaufklärung)

Sportlich +

Risikant +

Genießerisch –

Gleitend –

Der erste Faktor kennzeichnet einen Risikosportler und kann der Auslebenstendenz zugeordnet werden.

Faktor 2 (ca. 10% Varianzaufklärung)

Defensiv +

Langsam +

Gelassen +

Regeltreu +

Vernünftig +

Der zweite Faktor beschreibt den zurückhaltenden und vernunftbetonten Fahrer und kann der Absicherungstendenz zugeordnet werden.

Faktor 3 (ca. 9% Varianzaufklärung)

Offensiv +

Grenzen austestend +

Nervenkitzel suchend +

Rennmäßig +

Der dritte Faktor ist durch den Rennsport charakterisiert und ist ein typischer Auslebensfaktor.

Faktor 4 (ca. 6,5% Varianzaufklärung)

Schnell +

Gekonnt +

Geschickt +

Spielerisch +

Der vierte Faktor beinhaltet den gewandten Umgang mit dem Motorrad und kann weder Auslebens- noch Absicherungsfahrwelten zugeschrieben werden.

Die vier Faktoren in Kombination mit anderen Variablen

Geschlecht

Es wurden univariate Varianzanalysen gerechnet. Die Faktoren werden als unabhängige Variablen betrachtet. Bezüglich der ersten drei Faktoren gibt es keine signifikanten Geschlechtsunterschiede. Die Faktorwerte von Faktor 4 sind bei Männern statistisch höher ausgeprägt als bei Frauen. Männer schätzen sich folglich im Umgang mit dem Motorrad gewandter ein als es die Frauen tun.

Alter

Es wurden univariate Varianzanalysen für die Altersgruppen „bis 24 Jahre“, „25 – 35 Jahre“, „36 – 46 Jahre“, „47 – 57 Jahre“ und „über 57 Jahre“ gerechnet.

Die 25 – 35jährigen Fahrer haben höhere Werte im Faktor 1 (Risikosportler) als alle anderen. Die jüngsten Fahrer sind tendenziell zurückhaltender und vorsichtiger.

Parcourszeiten

Wer hohe Werte im vierten Faktor hat (Schnell, Gekonnt, Geschickt, Spielerisch) fährt deutlich niedrigere Zeiten in allen drei Durchgängen, wenn man die absolute Zeit betrachtet. In einem nächsten Schritt wurde pro Fehler eine „Zeitstrafe“ von 5 Sekunden einkalkuliert. Auch diese Korrelationen der Werte des vierten Faktors mit den korrigierten Zeiten bleiben signifikant.

Subjektive fahrerische Kompetenz

Fahrer die hohe Werte im gewandten Umgang mit dem Motorrad besitzen (Faktor 4), schätzen ihre allgemeine fahrerische Kompetenz, ihre Kompetenz beim Kurvenfahren sowie ihre Bremskompetenz hoch ein. Oder anders ausgedrückt: Je höher Fahrer ihre Kompetenz einschätzen desto gewandter gehen sie mit ihrem Motorrad um.

Fahrer, die hohe Werte im Faktor „Rennsport“ haben, schätzen ihre Bremskompetenz hoch ein. Oder anders ausgedrückt: Je rennsportlicher die Fahrer unterwegs sind, desto besser glauben sie bremsen zu können.

Ausleben oder „Belohnungsaufschub“

Es wurden zwei Situationen abgefragt, in denen der Druck geschildert wurde, seinen Fahrmotiven nachzugeben oder die riskante Entscheidung aufzuschieben. Je höher die Werte im Faktor 2 sind (Defensiv, Langsam, Gelassen, Regeltreu, Vernünftig) desto weniger sind die Fahrer geneigt, sich ihren Fahrmotiven hinzugeben (bei beiden Situationen).

Je ausgeprägter die Werte im Faktor 3 (Rennsport) sind desto eher sind Fahrer geneigt, die riskante Alternative zu wählen.

Fremd- vs. Selbsteinschätzung der Kompetenzen

Es gibt einen deutlichen positiven Zusammenhang (Korrelation) zwischen den Selbst- und Experten-einschätzungen. Die Korrelationskoeffizienten liegen zwischen $r=.41$ bis $r=.48$. Die Korrelationen

sind alle statistisch bedeutsam von Null verschieden. Allerdings sagen die Koeffizienten aber auch aus, dass der Zusammenhang nicht perfekt ist.

Eine Kreuztabellierung konnte zeigen, dass beispielsweise 19mal das Expertenurteil „gut“ für die allgemeine Fahrkompetenz vergeben wurde aber 24mal die Fahrer sich selbst als „gut“ eingeschätzt haben. Bei Vergabe der Note „befriedigend“ haben dagegen 18mal die Experten auf diese Note gesetzt und 26mal die Befragten. Ein „sehr gut“ gab es seitens der Experten 7mal und auf der Seite der Fahrer lediglich 2mal. Die Experten stuften 10mal die Kompetenz als ausreichend ein, wohingegen nur 4 Fahrer sich selbst so einschätzten. Ein „mangelhaft“ wurde von den Experten dreimal vergeben, von den Teilnehmern kam diese Einschätzung nur einmal vor. Ein Chi-Quadrat-Test führte konsequenterweise auch zu einem signifikanten Ergebnis. Die Einschätzungen unterscheiden sich folglich. Ähnliche Einschätzungsunterschiede finden sich für die Kurvenkompetenz sowie für die Bremskompetenz.

Zuordnung zu Kompetenzgruppen

Als Zuordnungsvariable diente die um Fehler (5 Sekundenstrafe für jeden Fehler) korrigierte Zeit im zweiten Umlauf. Der „Cut off“ für die erste Kompetenzgruppe wurde bei 1,1 Minuten gesetzt. Die Instruktion für den 2. Umlauf lautete, präzise und so schnell es geht zu fahren. Die erste Kompetenzgruppe besteht aus 16 Personen.

Charakterisierung der 1. Gruppe

Demografische Variablen (Deskription)

- Die Gruppe besteht, bis auf eine Ausnahme, aus Männern.
- Das Alter bewegt sich zwischen 23 und 52 Jahren, wobei 50% älter bzw. jünger als 40 Jahre sind. Der Mittelwert liegt bei 41 Jahren.
- Die Zeitdauer des Führerscheinbesitzes liegt zwischen 7 und 34 Jahren mit einem Schwerpunkt bei Besitzdauern von 32 und mehr Jahren (ca. 37%).
- Regelmäßig fährt diese Gruppe zwischen 2 und 34 Jahren (60% fahren 10 Jahre oder länger) mit einer Jahreskilometerleistung von 2.000 bis 25.000 Kilometern (über 80% fahren 5.000 km oder mehr). Der Mittelwert beträgt ca. 8.900 km.
- Drei Fahrer sind Spät- oder Wiedereinsteiger, da sie weniger Jahre regelmäßig fahren als sie ihre Fahrerlaubnis besitzen. Bei der ersten Gruppe (Hildesheim) wurden die regelmäßigen Fahrjahre noch nicht erfragt.

Die zweite Kompetenzgruppe besteht aus 19 Fahrern, die mehr als 1,1 Minuten und bis zu 1,25 Minuten für den zweiten Umlauf benötigten:

Charakterisierung der 2. Gruppe (Deskription)

Demografische Variablen

- Der Altersrange geht von 16 bis 59 Jahren (ca. 70% sind älter als 44 Jahre). Der Mittelwert liegt bei 45 Jahren.
- Die Zeitdauer des Führerscheinbesitzes liegt zwischen einem Vierteljahr und 40 Jahren. Fast die Hälfte der Fahrer besitzt ihre Fahrerlaubnis erst 6 Jahre oder weniger.
- Regelmäßig fährt diese Gruppe zwischen einem Vierteljahr und 40 Jahren (ca. zwei Drittel fahren 8 Jahre regelmäßig oder weniger) mit einer Jahreskilometerleistung von 300 bis 25.000 Kilometern (über 60% fahren 6.000 km oder mehr). Der Mittelwert beträgt ca. 9.600 Kilometer).
- Vier Fahrer sind Spät- oder Wiedereinsteiger, da sie weniger Jahre regelmäßig fahren als sie ihre Fahrerlaubnis besitzen. Bei der ersten Gruppe (Hildesheim) wurden die regelmäßigen Fahrjahre noch nicht erfragt.

Die dritte Kompetenzgruppe besteht aus 18 Personen, die mehr als 1,25 Minuten für den zweiten Umlauf benötigt haben:

Charakterisierung der 3. Gruppe (Deskription)

Demografische Variablen

- In dieser Gruppe befinden sich überzufällig viele Frauen (8 von 18).
- Der Altersrange geht von 38 bis 65 Jahren (ca. 40% sind älter als 55 Jahre). Der Mittelwert liegt bei 54 Jahren.
- Die Zeitdauer des Führerscheinbesitzes liegt zwischen 0,17 Jahren und 42 Jahren. Ungefähr 40% der Fahrer besitzt ihre Fahrerlaubnis erst 9 Jahre oder weniger. Über 50% haben ihre Fahrerlaubnis allerdings länger als 16 Jahre.
- Regelmäßig fährt diese Gruppe zwischen 0,17 und 42 Jahren (50% fahren 5 Jahre regelmäßig oder weniger) mit einer Jahreskilometerleistung von 500 bis 9.000 Kilometern. Der Mittelwert beträgt ca. 5.000 Kilometer.

- Vier Fahrer sind Spät- oder Wiedereinsteiger, da sie weniger Jahre regelmäßig fahren als sie ihre Fahrerlaubnis besitzen. Bei der ersten Gruppe (Hildesheim) wurden die regelmäßigen Fahrjahre noch nicht erfragt.

Inferenzstatistische Analysen

Für die folgenden Auswertungen werden die oben beschriebenen Gruppen als unabhängige Variable benutzt und es werden deren Einflüsse auf verschiedene Aspekte untersucht. Zunächst werden Varianzanalysen berechnet, mit denen Mittelwertunterschiede in den Werten der ermittelten Fahrstilfaktoren aufgezeigt werden können.

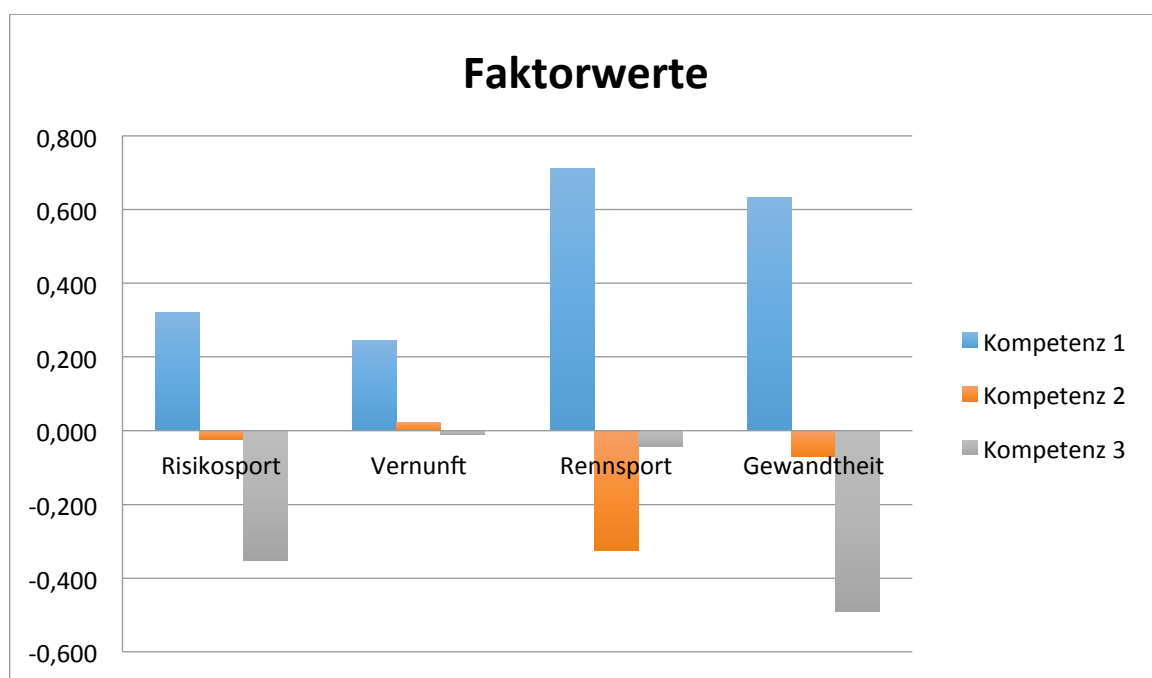


Abbildung 1: Fahrstilgruppen

Die Grafik zeigt deutlich, dass die kompetenteste Gruppe auf allen vier Faktoren durchweg höhere Werte hat. Bei den ersten beiden Faktoren „Risikosport“ und „Vernunft“ sind die sich andeutenden Gruppenunterschiede nicht statistisch bedeutsam. Die Mittelwertunterschiede bei den beiden anderen Faktoren sind hingegen signifikant. Das bedeutet, dass die Fahrer, die am schnellsten im zweiten Parcours waren und die wenigsten Fehler gemacht haben, einerseits eine Auslebendfahrwelt bevorzugen (Offensiv, Grenzen austestend, Nervenkitzel suchend, Rennmäßig). Die „zweitbesten“ Fahrer zeigen hier die niedrigsten Werte auf. Die Gruppe mit der höchsten Kompetenz (im Sinne des Parcoursfahrens) pflegt andererseits einen gewandten Fahrstil (Schnell, Gekonnt, Geschickt, Spielerisch). Die langsamsten Fahrer mit den meisten Fehlern haben hingegen die niedrigsten Werte.

Bezogen auf die Unterteilung in vier Fahrstilgruppen handelt es sich bei der 1. Gruppe um hoch kompetente Fahrer mit ausgeprägter Auslebenstendenz (Risikosportler). Rückmeldungen durch die Fahrstilapplikation sollten sich konsequenterweise auf die Risiken sportlicher Fahrweisen im öffentlichen Straßenverkehr beziehen bzw. auf das mögliche Überschreiten fahrphysikalischer Grenzwerte.

Die dritte Kompetenzgruppe wäre den „ängstlichen Anfängern“ zuzuordnen. Auslebenstendenz und Kompetenz sind eher gering ausgeprägt. Die 2. Kompetenzgruppe ist nicht eindeutig zu klassifizieren. Am ehesten könnten sie als „vorsichtige Könnern“ tituliert werden. Die Analysen zeigen aber auch, dass eine besonders gefährdete Gruppe nicht gefunden werden konnte, die „riskanten Anfänger“. Die entsprechenden Teilnehmer fehlten in der Stichprobe.

Subjektive Kompetenz

Einen guten Hinweis, inwiefern der Parcours tatsächlich die Fahrkompetenz abbilden konnte, können die selbsteingeschätzten Kompetenzen der Fahrer liefern. Hypothetisch müsste sich die Kompetenzgruppe 1 auch am kompetentesten eingeschätzt haben. Die folgende Grafik zeigt auf der Ordinate die Schulnoten zur Selbsteinschätzung.

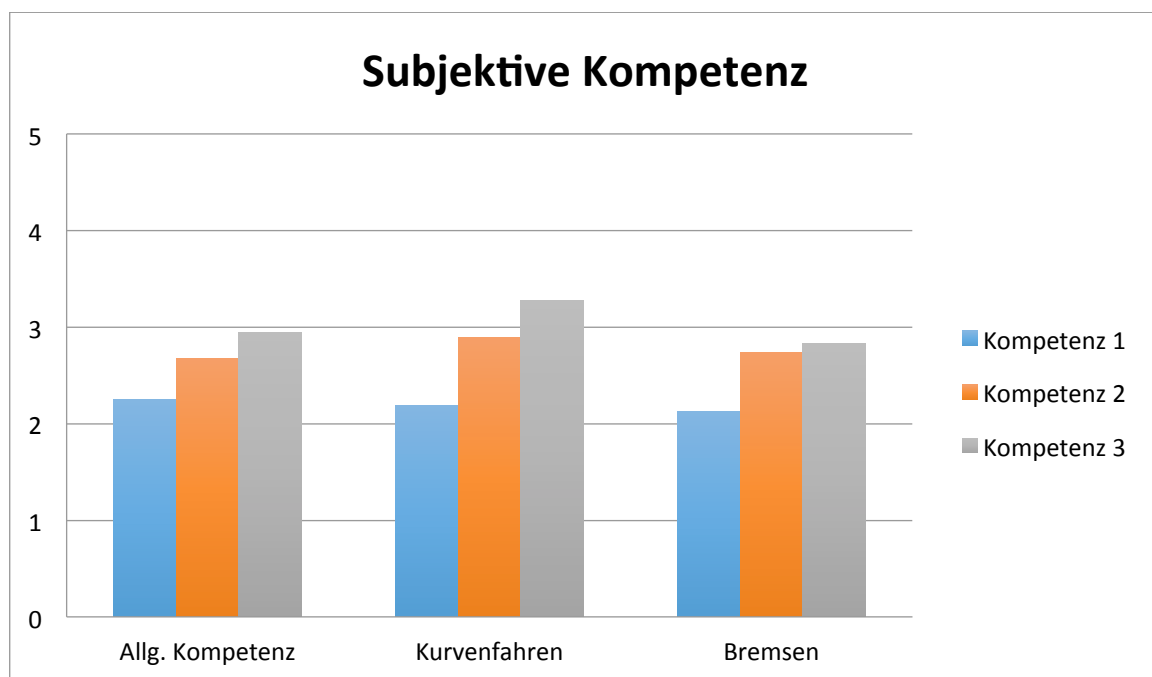


Abbildung 2: Subjektive Kompetenz

Es ist deutlich zu erkennen, dass die Kompetenzgruppe 1 sich auch tatsächlich in allen Bereichen besser einschätzt, als es die anderen Gruppen tun. Liegen die Einschätzungen der ersten Kompetenzgruppe im Mittel bei „Gut“, sind die Einschätzungen der anderen beiden Gruppen bei „Befriedigend“. Die Mittelwertunterschiede sind alle signifikant. Dieses Ergebnis lässt zwei Schlüsse zu:

1. Die Selbsteinschätzung stimmt mit der tatsächlich gezeigten Leistung gut überein.
2. Der Parcours konnte offensichtlich unter Zuhilfenahme von Zeitdruck und der Berücksichtigung der Fehler, gut zwischen Gruppen unterschiedlicher Kompetenz differenzieren.

Expertenvalidierung

Die Experten mussten von außen die Fahrkompetenz der Fahrer auf derselben Notenskala beurteilen. Dies war sicherlich kein einfaches Unterfangen, da objektive Messwerte fehlten. Die folgende Grafik liefert Aufschluss.

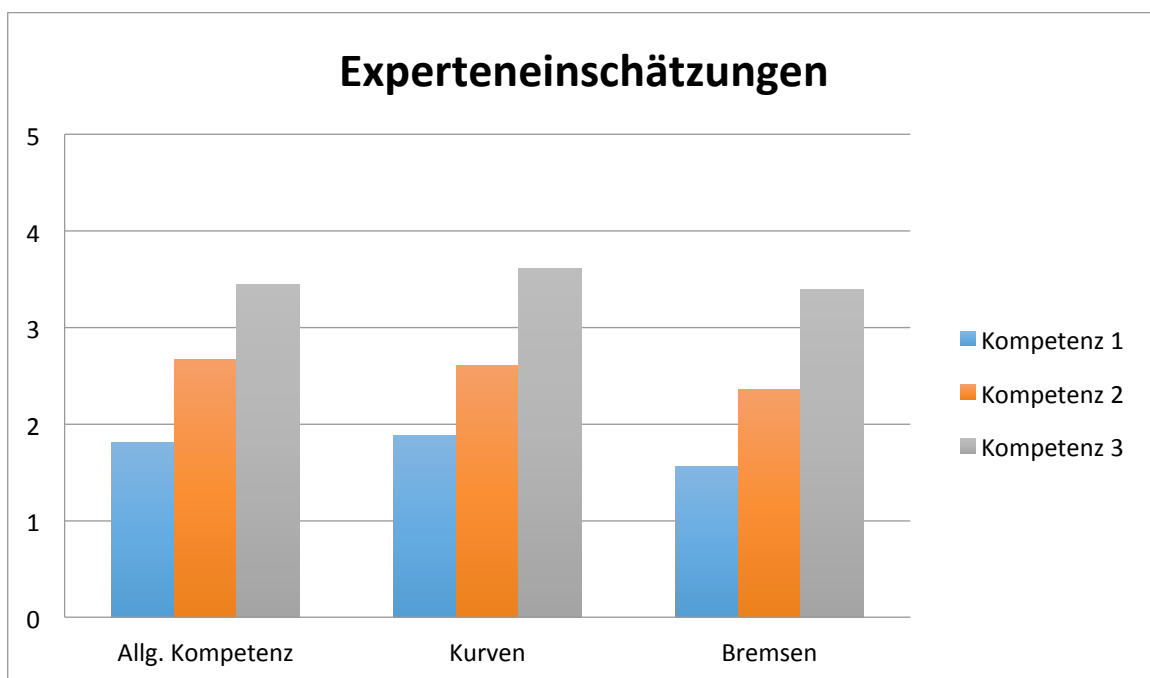


Abbildung 3: Experteneinschätzungen

Die Experten nutzten die Notenskala extensiver, kommen aber zu dergleichen Beurteilung. Die Kompetenzgruppen erscheinen sauber voneinander getrennt. Alle Mittelwerte unterscheiden sich statistisch bedeutsam.

Risikoentscheidungen

In Bezug auf die zwei zu bewertenden Entscheidungssituationen mussten die Teilnehmer angeben, ob sie sich ihren Fahrmotiven hingeben würden oder nicht. Die erste Situation beschreibt den typischen „Mitzieheffekt“ und die zweite Situation bezieht sich auf eine Überholsituation. Es ist der folgenden Abbildung zu entnehmen, dass fahrerische Kompetenz nichts mit situationsbezogenen Risikoentscheidungen zu tun hat. Hier spielen motivationale Faktoren eine weitaus größere Rolle.

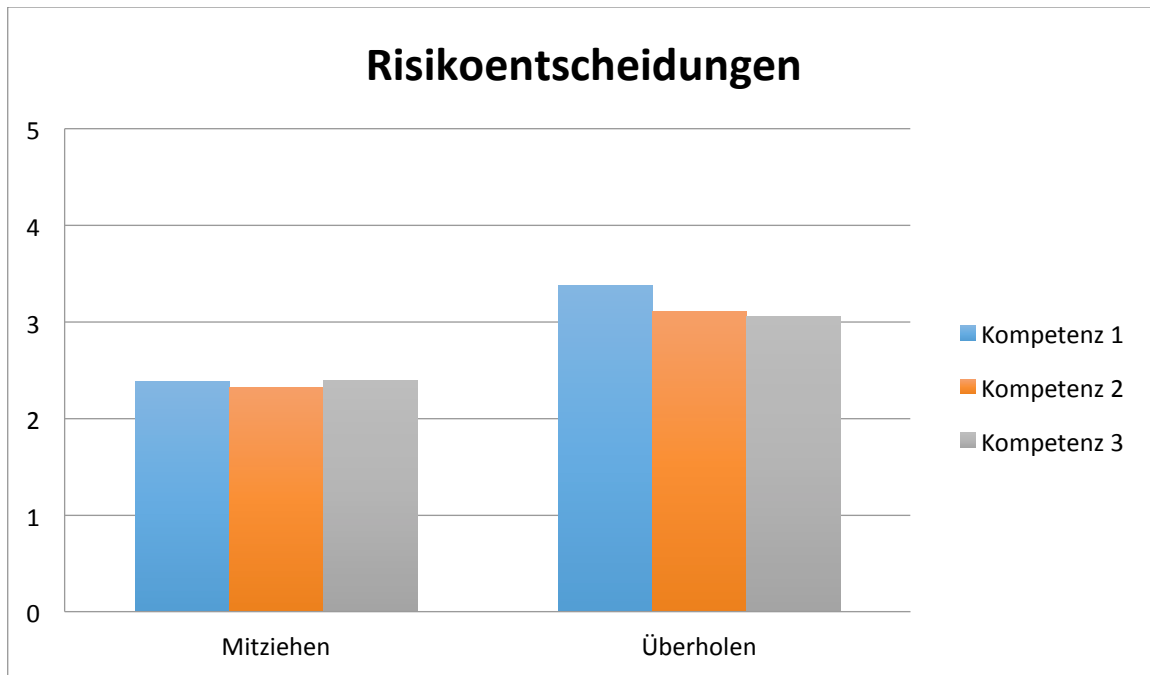


Abbildung 4: Risikoentscheidungen

Alter

Das Durchschnittsalter der verschiedenen Kompetenzgruppen ist in der folgenden Tabelle dargestellt.

Tabelle 1: Alter der Kompetenzgruppen

Kompetenzgruppen	Mittelwert	Standardabweichung
Gruppe 1	40,63	10,256
Gruppe 2	44,84	11,706
Gruppe 3	53,56	7,786

Die Mittelwertunterschiede sind signifikant. Das bedeutet, dass die „jüngeren“ Fahrer eine höhere Fahrkompetenz aufweisen als die älteren.

Fahrerfahrung

Legt man die Jahre, die regelmäßig Motorrad gefahren wurde zugrunde, gibt es keine signifikanten Unterschiede zwischen den Kompetenzgruppen. Auch die Besitzdauer der Fahrerlaubnis unterscheidet sich nicht zwischen den Kompetenzgruppen. Die Fahrerfahrung in Bezug auf die jährliche Kilometerleistung ist für die Kompetenzgruppen allerdings signifikant unterschiedlich.

Tabelle 2: Jährliche Kilometerleistung

Kompetenzgruppen	Mittelwert	Standardabweichung
Gruppe 1	8906	5429
Gruppe 2	9595	5984
Gruppe 3	5055	2537

Kompetenzgruppe 3 fährt folglich am wenigsten häufig Motorrad.

Geschlecht

Mit Hilfe eines Chiquadrattests auf Homogenität kann gezeigt werden, dass sich Männer und Frauen in der Fahrkompetenz unterscheiden. Zwei Drittel der weiblichen Teilnehmer befinden sich in der Kompetenzgruppe 3 gegenüber 24,4% der Männer. In der Kompetenzgruppe 1 befinden sich 36,6% der Männer und 8,3% (N=1) der Frauen. In der Kompetenzgruppe 2 sind 39% männlichen und 25% weiblichen Geschlechts.

Bremsverzögerung

Es wurden lediglich 14 Messungen durchgeführt. Dennoch zeigt sich, dass die Gruppen deutlich verschiedene Messwerte im Durchschnitt aufweisen.

Tabelle 3: Mittlere Bremsverzögerung

Kompetenzgruppen	Mittelwert
Gruppe 1	9,2 m/s ²
Gruppe 2	8,0 m/s ²
Gruppe 3	6,8 m/s ²

Schräglage

Es wurden insgesamt 22 Schräglagenschätzungen durchgeführt. Die Mittelwerte sind der folgenden Tabelle zu entnehmen.

Tabelle 4: Mittlere Schräglage

Kompetenzgruppen	Mittelwert
Gruppe 1	37°
Gruppe 2	29°
Gruppe 3	20°

Konsequenzen aus den Analyseergebnissen für die Ermittlung einer persönlichen Baseline

Zur Beschreibung werden die „Markeritems“, also die Variablen, die am höchsten mit den ermittelten Faktoren korrelieren, benutzt.

Kompetenzgruppe 1:

Zustimmung zur Variablen „**Sportlich**“ und gleichzeitige Ablehnung von „**Genießerisch**“.

Moderate Zustimmung bei „**Defensiv**“.

Deutliche Zustimmung bei „**Offensiv**“.

Deutliche Zustimmung bei „**Gekonnt**“.

Typisches **Alter**: 30 – 50 Jahre

Geschlecht: männlich (überwiegend).

Jahreskilometerleistung: ca. 9.000 km (zwischen 4.000 und 13.000 Kilometern).

Bremsen: Relativ gute Bremsleistung (Verzögerung).

Schräglage: Große Schräglagen mit wenig „Luft nach oben“.

Kompetenzgruppe 2:

Neutral bei „**Sportlich**“ und „**Genießerisch**“.

Neutral bei „**Defensiv**“.

Ablehnung bei „**Offensiv**“.

Neutral bei „**Gekonnt**“.

Typisches **Alter**: 32 – 56 Jahre

Geschlecht: männlich und weiblich (etwas mehr Männer).

Jahreskilometerleistung: ca. 9.000 km (zwischen 3.000 und 15.000 Kilometern)

Bremsen: Moderate Bremsleistung (Verzögerung).

Schräglage: Mittlere Schräglagen mit „Luft nach oben“.

Kompetenzgruppe 3:

Ablehnung von „**Sportlich**“ und „Zustimmung von „**Genießerisch**“.

Neutral bei „**Defensiv**“.

Neutral bis ablehnend bei „**Offensiv**“.

Deutliche Ablehnung von „**Gekonnt**“.

Typisches **Alter**: 46 – 61 Jahre

Geschlecht: weiblich und männlich (deutlich mehr Frauen).

Jahreskilometerleistung: ca. 5.000 km (2.500 bis 7.500 Kilometer).

Bremsen: Schlechte Bremsleistung (Verzögerung).

Schräglage: Geringe Schräglagen mit viel „Luft nach oben“.

Die obigen Gruppenbeschreibungen können einen ersten Anhaltspunkt zur Personalisierung der geplanten Applikation in Bezug auf die hier vorliegende Stichprobe liefern. Eine weitere Charakterisierung bezieht sich auf die „riskanten Anfänger“. Unter Zuhilfenahme der allgemein bekannten Erkenntnisse zum Risikoverhalten junger Fahrer, kann folgende Charakterisierung erfolgen:

Kompetenzgruppe „Riskante Anfänger“:

Zustimmung zur Variablen „**Sportlich**“ und gleichzeitige Ablehnung von „**Genießerisch**“.

Deutliche Ablehnung bei „**Defensiv**“.

Deutliche Zustimmung bei „**Offensiv**“.

Deutliche Zustimmung bei „**Gekonnt**“.

Typisches **Alter**: 16 – 25 Jahre

Geschlecht: männlich.

Jahreskilometerleistung: weniger als bei den anderen Gruppen.

Bremsen: Relativ schlechte Bremsleistung (Verzögerung).

Schräglage: Wenig bis mittlere Schräglagen mit „Luft nach oben“.

Zur ersten Kalibrierung der App werden vor allem Bremsverzögerung und Schräglage benutzt. Das bedeutet, dass der Nutzer der App eine Referenzbremsung machen muss und am besten eine stationäre Kreisfahrt zur Ermittlung der präferierten Schräglage. Zusätzlich muss er Einschätzungen zu den oben geschilderten Variablen vornehmen. Nicht alle Werte (subjektive Einschätzungen und fahrphysikalische Werte) werden gleichgewichtig in die Kalibrierung eingehen. Die objektiven Werte werden ein höheres Gewicht erhalten als die subjektiven Einschätzungen.

Erforderliche technische Anforderungen an die Feedback-App

- Erfassung der Bremsverzögerung (Maximalwerte und Bremsdruckverlauf)
- Erfassung von Schräglage (Maximalwerte und Schräglagenverlauf)
- Erfassung der streckenbezogenen Fahrgeschwindigkeit
- Erfassung von Motorradtyp (Schwerpunkthöhe), Reifengröße bzw. Reifenbreite,
- Erfassung des GPS-Signals
- Geographische „Verortung“ am besten unter Berücksichtigung möglichst aktueller Geschwindigkeitsbegrenzungen.
- Erfassung personenbezogener Daten (wie oben geschildert) und Angaben zum Fahrtzweck (z.B. Spazierfahrt, Trainingsfahrt, Alleinfahrt, Fahrt mit Sozia, Fahrt in der Gruppe)

Es müssen Algorithmen entwickelt werden, die sich auf die jeweiligen Kompetenzgruppen und den jeweiligen Fahrtzweck beziehen.

- Bei Fahrten mit Trainingsabsicht, (Vgl. DVR Programm „Sicherheitstrainings auf der Straße“) werden Messprotokolle zu den trainierten Fahraufgaben benötigt. Interpretationen beruhen auf sporttheoretischen Erkenntnissen zur Kompetenzentwicklung.
- Bei anderen Fahrten im öffentlichen Straßenverkehr werden die gewonnenen Daten zur Interpretation des Fahrstils genutzt.

Häufiges starkes Beschleunigen und Verzögern, extreme Schräglagen und hohe Geschwindigkeiten werden als Indikatoren für einen riskanten Fahrstil genutzt, der im Sinne sicherer Verkehrsteilnahme verändert werden sollte.

Alle Daten, Messprotokolle und Auswertungen müssen für eine detaillierte Analyse am PC visualisiert werden können. Eine Einbindung in soziale Netzwerke zum Datenvergleich sollte möglich sein.

Literatur

Bauer, K., Peldschus, S., Schick, S. (2014). Retrospektive Analyse tödlicher Motorradunfälle und Ableitung von Schutzmaßnahmen bei komplexen Bremsmanövern. In: Institut für Zweiradsicherheit e.V. (Hrsg.). *Sicherheit, Umwelt, Zukunft. Tagungsband der 10. Internationalen Motorradkonferenz 2014*. Forschungshefte Zweiradsicherheit Nr. 16.

Berger, H. J., Bliersbach, G., Dellen, R. G. (1975). Fahrformen und Erlebensentwicklungen bei der Teilnahme am Straßenverkehr. *Buchreihe der Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für Straßenverkehr und Verkehrssicherheit / Institut an der Universität zu Köln ; 25, 25*. Köln: Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für Straßenverkehr und Verkehrssicherheit

Kerwien, H. (1997). Intersituationale Risikostrukturen von Autofahrern. In U. Schulz (Hrsg.). *Wahrnehmungs-, Entscheidungs- und Handlungsprozesse beim Führen eines Kraftfahrzeuges. Zum Gedenken an Ulrich Tränkle. Entscheidungs- und Gestaltungsprozesse in Arbeit und Verkehr*. S. 105-130. Münster: LitVerlag.

Kühn, M., Körner, M., Unger, M. (2008). Analyse des Motorradunfallgeschehens. Interdisziplinäre Analyse der Sicherheitslage von Motorradfahrern in Deutschland. In: Institut für Zweiradsicherheit e.V. (Hrsg.). *Sicherheit, Umwelt, Zukunft. Tagungsband der 7. Internationalen Motorradkonferenz 2008*. Forschungshefte Zweiradsicherheit Nr. 13.

Motorrad-Studie MPS/IfD-Allensbach (2012). Motor Presse Stuttgart.

Roth, K., Willimczik, K. (1999). *Bewegungswissenschaft*. Reinbek: Rowohlt.

Schulz, U., Kerwien, H., Haase, W. (1996). Was sagt das Fahrverhalten über die Psychologie der Fahrer aus? Sicherheitstrainings für Motorradfahrer. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit* 2/1996, S.72-77.

Verkehrssicherheitsreport Motorrad (2010). Strategien zur Unfallvermeidung auf den Straßen Europas. DEKRA Automobil GmbH.

Maneuvering a Dynamic Motorcycle Riding Simulator –
Steering, Leaning and Coupling Effects in the Virtual Environment

Manöverumsetzung auf einem dynamischen
Motorrad Fahrsimulator – Lenken, Lehnen und Kopplungseffekte
in der virtuellen Umgebung

Raphael Pleß

TU Darmstadt Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD), Darmstadt, Germany

Sebastian Will

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH), Veitshöchheim,
Germany

Marius Hofmann, Hermann Winner

TU Darmstadt Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD), Darmstadt, Germany

Abstract

Aside from throttle-, brake- and clutch actuation, the rider inputs on a motorcycle – the steering as well as the leaning motion – are highly dependent to each other e.g. due to gyroscopic effects. These effects are referred to as the so called bidirectional steer-roll-coupling.

In order to achieve the highest possible immersion on a dynamic motorcycle riding simulator, it is mandatory to precisely determine the abovementioned rider inputs and generate a feedback to the rider that enables him to feel the motorcycle's dynamic behavior as he would feel it in the real world.

This paper concentrates on the steering system that has been implemented in the DESMORI motorcycle riding simulator and describes how it is influenced by the bidirectional steer-roll-coupling. Therefore, the rider motion determination via a roll torque sensor is discussed.

Zusammenfassung

Abgesehen von der Gas-, Brems- und Kupplungsbetätigung sind die Fahreingaben auf einem Motorrad – das Lenken und Lehnen – z.B. aufgrund gyroskopischer Effekte stark voneinander abhängig. Diese Effekte werden als bidirektionale Lenk-Roll-Kopplung bezeichnet.

Um eine höchstmögliche Immersion auf einem dynamischen Motorrad-Fahrsimulator zu erreichen, müssen die Fahreingaben präzise erfasst werden und zudem die Rückführungsgrößen so abgestimmt werden, dass sie dem Fahrer ein realgetreues Empfinden der Fahrdynamik ermöglichen.

Dieser Bericht befasst sich mit dem Lenksystem, das im DESMORI-Motorrad-Fahrsimulator implementiert wurde und beschreibt die Einflüsse durch die bidirektionale Lenk-Roll-Kopplung. Dazu wird die Fahrererkennung durch eine Rollmomentsensorik diskutiert.

Manöverumsetzung auf einem dynamischen
Motorrad Fahrsimulator – Lenken, Lehnen und Kopplungseffekte
in der virtuellen Umgebung

1 Einleitung

Bei der Motorrad-Fahrsimulation stehen Entwickler vor der Herausforderung, das mit den hohen möglichen Beschleunigungs- und Verzögerungswerten, der Schräglage bei Kurvenfahrt, sowie dem direkten Lenkverhalten verbundene Fahrempfinden realgetreu abbilden zu können. Daraus resultiert die Notwendigkeit geeigneter Eingabeerfassungs- sowie Rückführungssysteme bei der Nutzung eines dynamischen Motorradfahrsimulators. Ein solcher Simulator kann nur dann untersuchungsrelevante Ergebnisse liefern, wenn er Probanden in ausreichendem Maß realgetreu empfinden und handeln lässt. Während Will et al. [1] sich mit der Anwendung des hier behandelten Simulators in einer Pilotstudie befasst, werden in den nachfolgenden Abschnitten die technischen Herausforderungen hinsichtlich der Eingabeerfassungs- sowie Rückführungssysteme behandelt, durch die eine von Probanden als realgetreu empfundene Manöverumsetzung ermöglicht wird. Dabei werden zunächst das Motorrad-Lenkverhalten und mögliche Fahrereingaben des Realfahrzeugs dargestellt, bevor der DESMORI-Simulator inklusive dessen Lenksystem sowie der Rollmomentenerfassung im Detail beschrieben und diskutiert wird. Abschließend wird die gemeinsame Anwendung von Lenk- und Roll-System im Simulator erläutert und ein Ausblick auf die nächsten Entwicklungsschritte gegeben. Weitere manöverrelevante Eingabegrößen wie Gas, Bremse oder Kupplung werden nicht näher behandelt, da deren Erfassung im Simulator keine weiteren technischen Herausforderungen mit sich bringt.

2 Manöverumsetzung im realen Fahrzeug

Wie zuvor erwähnt, findet die Manöverumsetzung im Motorrad durch Lenk- und Lehnbewegungen des Fahrers statt. Beide können unabhängig voneinander zur Beeinflussung der Fahrzeugquerdynamik genutzt werden, wobei sie sich stark in den erreichbaren Gradienten und Amplituden unterscheiden (siehe Abschnitt 2.1) und ihr Einfluss von der Fahrgeschwindigkeit abhängig ist. Abbildung 1 stellt die Zusammenhänge zwischen Fahrer und Fahrzeug dar, welches durch zwei Hauptbestandteile – den Front- sowie Heckrahmen – beschrieben wird. Der Frontrahmen beinhaltet dabei das Vorderrad sowie dessen Führungssystem und ist im Lenkkopf drehbar mit dem Heckrahmen verbunden, der das Hinterrad sowie wiederum dessen Führungssystem beinhaltet. Der Fahrer ist über den Fahrzeugsattel an den Heckrahmen angebunden und ist in der Lage, Drehmomente (Lenkmomente) auf das Gelenk zwischen Front- und Heckrahmen aufzuprägen, sowie durch seine Lehnbewegung Drehmomente um die Fahrzeuglängsachse (Rollmomente) auf den Heckrahmen aufzuprägen. Abbildung 1 stellt diese Eingabegrößen schematisch dar (blaue Pfeile).

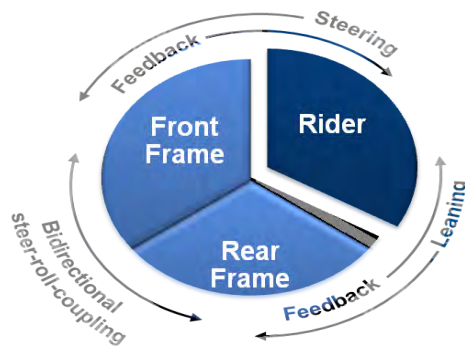


Abbildung 1. Fahrereingabe- und Rückmeldungsgroßen | Rider input and feedback cues [2]

Bringt der Fahrer ein Lenkmoment auf, so erhält er eine Rückmeldung durch ein entgegenwirkendes Widerstandsmoment sowie den sich einstellenden Lenkwinkel. Bringt der Fahrer (ggf. freihändig fahrend) durch das Lehnen zur Seite ein Rollmoment auf den Hauptrahmen auf, so erhält er eine Rückmeldung über den sich einstellenden Fahrzeugrollwinkel. Bedingt etwa durch Kreiselmomente und die sich einstellenden Kräfte im Reifenlatsch bei Schräglage wirken Änderungen von Lenk- und Rollwinkel gegenseitig aufeinander ein [3]. So folgt bei stationärer Geradeausfahrt auf eine Lenkbewegung nach links stets auch eine Rollbewegung nach rechts. Ebenso wird eine Rollbewegung des Motorradfahrers bspw. durch die Kreiselwirkung direkt zu einer gleichsinnigen Lenkbewegung führen.

2.1 Positive- und Countersteering

Die oben beschriebenen Gegebenheiten erlernt man im Allgemeinen bereits im Kindesalter, z.B. beim Fahrradfahren. Entsprechend sensibel können Probanden auf einem Simulator darauf reagieren, wenn sie nicht korrekt wiedergegeben werden. Hervorzuheben ist dabei das Empfinden von **„Positive- und Countersteering“**. Bei langsamen Fahrgeschwindigkeiten wird das Fahrzeug durch Körperverlagerung balanciert und ein bewusst oder unbewusst eingeleitetes Kippen des Fahrzeuges wird durch eine darauf folgende Drehung des Lenkers **in Kipprichtung** (engl.: **„positive“**) des Fahrzeuges aufgefangen, woraus sich erneut ein stabiler Fahrzustand ergibt. Bei zunehmenden Geschwindigkeiten steigt die Selbststabilisierung u. A. durch Nachlauf- und Kreiseffekte zunehmend an, wodurch die Rollbewegung bedämpft wird und eine Fahrerschwerpunktverlagerung weniger Einfluss auf das Fahrzeug nimmt. Zu diesem Zeitpunkt nutzt der Fahrer eine **Gegenlenkbewegung** (engl.: **„counter“**) um einen gewünschten Rollwinkel einzustellen. Es werden somit vom Fahrer je nach Fahrsituation unterschiedliche Dreh- und Momentenrichtungen am Lenker wahrgenommen.

Die bislang aus Forschung und Entwicklung bekannten Motorradfahrersimulatoren konzentrieren sich häufig auf die Anwendung nur eines der beiden Lenkprinzipien. Dadurch vereinfacht sich der Aufbau des Lenksystems – im Speziellen dessen Regelung – jedoch empfindet ein Fahrer je nach persönlicher Erwartungshaltung das Lenkgefühl in bestimmten Geschwindigkeitsbereichen als unnatürlich. Der „EF-Bike“-Simulator der Firma Eca-Faros [4] besitzt beispielsweise eine geschwindigkeitsabhängige Umschaltung zwischen Positive- und Countersteering, was jedoch im Übergangsbereich zu erheblichen Störungen der Bewegungsabläufe des Fahrers führen kann. Ziel bei der Entwicklung des DESMORI-Fahrersimulators ist eine realgetreue Abbildung beider beschriebener Effekte ohne Umschaltlogik.

Entgegen der weitläufig verbreiteten Meinung, dass Positivsteering nur bei langsamen Geschwindigkeiten und Countersteering nur bei schnellen Geschwindigkeiten auftritt, ist festzuhalten, dass es sich hier nur um unterschiedliche Wahrnehmungen der Bewegungsabläufe beim Einleiten einer Kurvenfahrt in verschiedenen Geschwindigkeitsbereichen handelt. Die physikalisch wirksamen Effekte, die in Folge einer Lenk- oder Lehnbewegung eine Rollbewegung des Fahrzeuges bewirken, treten lediglich unterschiedlich stark ausgeprägt und in unterschiedlicher zeitlicher Abfolge auf. Zur Erläuterung dient das nachfolgende Beispiel, in dem zwei Simulationsszenarien betrachtet werden, in denen bei jeweils gleicher Fahrgeschwindigkeit von $v = 10$ m/s eine Kurvenfahrt eingeleitet wird (Abbildung 2). Dazu wird das von der Fahrdynamiksimulationssoftware bereitgestellte Fahrermodell vom Fahrzeug getrennt und dieses stattdessen von externen Reglern gesteuert. Als Stellgröße dienen der Versatz des Fahrerschwerpunktes y_{rider} (durchgezogene Linie) sowie das Lenkmoment $T_{\delta, \text{rider}}$ (gestrichelt).

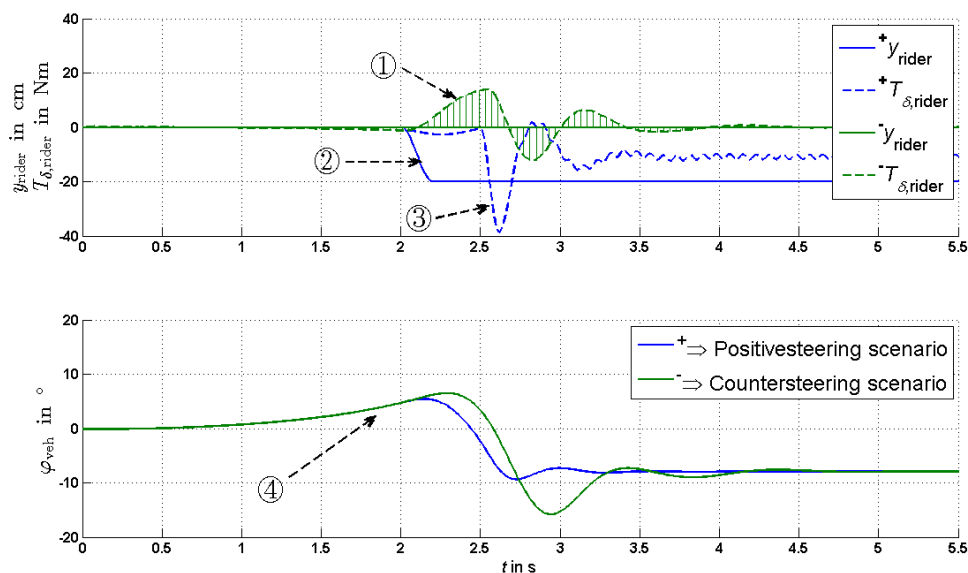


Abbildung 2: Positive- und Countersteering | | ① „Negativer Lenkimpuls“, ② Fahrerquerversatz, ③ „Positiver Lenkimpuls“ um Kippen entgegenzuwirken, ④ Rollwinkel-Drift zu Beginn der Simulation aufgrund Ungleichgewicht im Fahrdynamikmodell | | $v = 10$ m/s

Der Bereich vor $t = 2$ s zeigt die Startphase der Simulation ④, in der aufgrund zu geringer Eigenstabilisierung bereits ein kleiner Rollwinkel φ_{veh} nach links aufgebaut wird, der hier jedoch nicht weiter beachtet werden soll. Bei $t = 2$ s wird der Fahrerswerpunkt im „**Positivsteering**“ Szenario (blau) um 20 cm zur rechten Seite ausgelenkt ②. Das Fahrzeug beginnt erwartungsgemäß nach rechts zu rollen. Ab $t = 2,5$ s regelt der externe Regler mit dem Lenkmoment als Stellgröße die Rollrate zu Null, sodass ein konstanter Rollwinkel von ca. 8° erreicht wird. Es ist zu erkennen, dass zur Stabilisierung der Kippbewegung ein Lenkmoment zur Kurveninnenseite (rechtsdrehend) aufgebracht werden muss ③. Im „**Countersteering**“ Szenario (grün) wird – wiederum mit dem Lenkmoment als Stellgröße – nun der Rollwinkel φ_{veh} geregelt, wobei als Sollgröße der zuvor im „Positivsteering“ Szenario erhaltene Verlauf verwendet wird. Der Versatz des Fahrerswerpunktes wird dabei konstant zu Null gesetzt. Es ist zu erkennen, dass durch die Wahl der getroffenen Regelparameter Abweichungen im Rollwinkelsignal auftreten und ein Überschwingen über den Zielwert auftritt. Trotz des unzureichenden Regelverhaltens ist jedoch ersichtlich, dass zum Erreichen des Sollrollwinkels zu Beginn des Manövers ein nach links gerichtetes Lenkmoment ① aufgebracht werden muss. Das simulative Beispiel zeigt, dass zum Erreichen gleicher Trajektorien unterschiedliche Steuereingaben durch den Fahrer gemacht werden können. Es ist ersichtlich, dass sich abhängig vom Fahrstil (Lean-In, Lean-Out) des Fahrers das Lenkmoment in Vorzeichen und Amplitude ändern kann. Dieser Arbeit liegt demnach die These zu Grunde, dass **nur durch eine Erfassung von sowohl Lenk- als auch Lehn-eingaben eine realgetreue Steuerbarkeit des virtuellen Fahrzeuges möglich** ist. Wird die Lenkeingabe vernachlässigt, ist das Steuern des Fahrzeuges auf das freihändige Fahren begrenzt, wodurch vor allem bei hohen Fahrgeschwindigkeiten keine ausreichende Dynamik erreicht werden kann. Abbildung 3 zeigt das bei steigenden Geschwindigkeiten verringerte Rollvermögen durch Lehnbewegungen. Dabei werden Abstützkräfte zwischen Fahrer und Fahrzeug vernachlässigt.

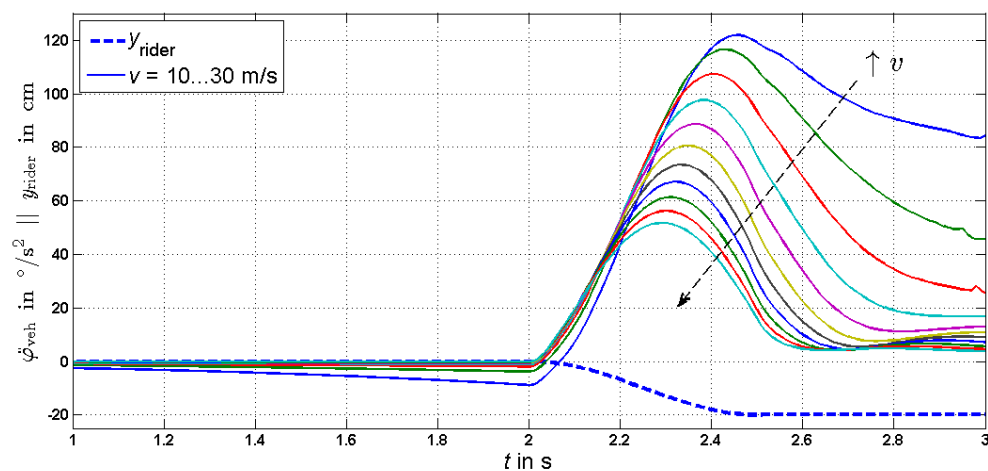


Abbildung 3. Rollbeschleunigung durch Querversatz des Fahrerswerpunktes

Würde stattdessen in der Simulation die Lehneingabe vernachlässigt, kann durch die Lenkung weiterhin eine hohe Dynamik erreicht werden. Abbildung 4 zeigt das Rollvermögen durch Lenkbewegungen. Das Simulationsmodell wird bei steigenden Fahrgeschwindigkeiten mit einem Lenkmomentensprung ($t = 2$ s, $T_\delta = 10$ Nm, $\Delta t = 0,2$ s) beaufschlagt. Die erreichten Maxima der Rollbeschleunigung unterscheiden sich dabei untereinander kaum. Jedoch übertreffen sie vor allem bei hohen Geschwindigkeiten die durch Versatz des Fahrerswerpunktes erreichten Rollbeschleunigungen.

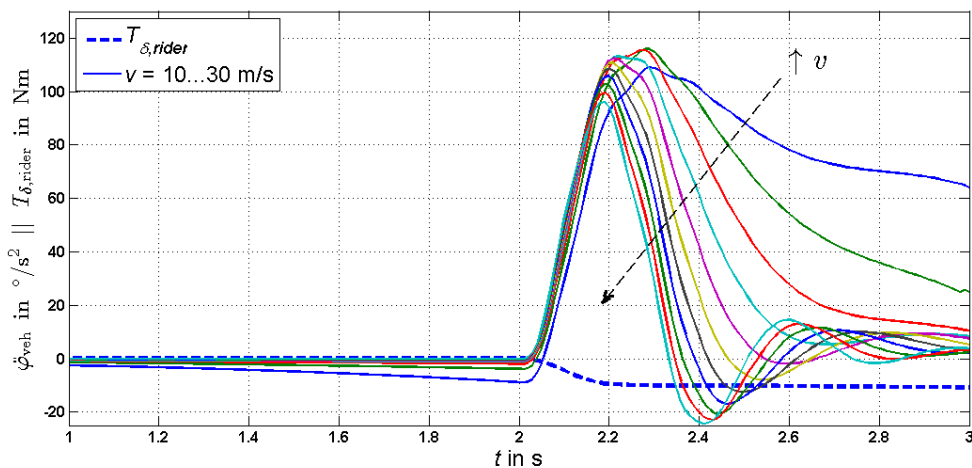


Abbildung 4. Rollbeschleunigung durch Aufbringen eines Lenkmoments

Wenngleich folglich bei alleiniger Verwendung der Lenkeingabe kein grundsätzlicher Verlust der Steuerbarkeit des Fahrzeuges zu erwarten ist, so kann doch bei Vernachlässigung der Lehneingabe keine Abbildung der gemeinhin als „Positive- und Countersteering“ bekannten Effekte geschehen. Daher ist der DESMORI-Simulator mit entsprechenden Systemen ausgerüstet, um den Probanden ein möglichst realgetreues Fahrgefühl zu ermöglichen, das ihrer Erwartungshaltung entspricht. Entscheidend ist, dass die Probanden nur dann am Fahrsimulator ihr natürliches Verhalten zeigen, wenn der Simulator entsprechend ihrer Erwartungen an das Motorrad reagiert. Diese Erwartungen entsprechen jedoch nicht immer den physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Der Einfluss der Gewichtsverlagerung auf die entstehende Trajektorie wird bspw. regelmäßig überschätzt. Ein Wegnehmen dieser Fahrereingaben kann daher die Akzeptanz des Motorradfahrsimulators schmälern. Das nachfolgende Kapitel beschreibt kurz den Aufbau des Simulators, bevor schließlich detailliert auf das Lenksystem und die Rollmomentenerfassung eingegangen wird.

3 Der DESMORI-Simulator

Der hier behandelte Simulator basiert auf Rahmen und Verkleidung eines Motorrads (BMW F 800 S), das auf einem hydraulischen Hexapod montiert ist, über den die Bewegungsdarstellung erfolgt. Das Am Motorrad-Mockup sind alle gängigen Eingabeelemente wie Lenker, Brems- und Kupplungshebel, Fußschalthebel und –bremspedal, so wie am realen Fahrzeug vorhanden. Die Lenkachse kann von einem Elektromotor mit einem Drehmoment von bis zu 80 Nm beaufschlagt werden. Eine zwischen Fahrzeug und Hexapod-Plattform verbaute Rollmomentsensorik ermöglicht es, Fahrerbewegungen zu erfassen. Der Simulator befindet sich in der Mitte einer zylindrischen Leinwand von 4,5 m Durchmesser und einer Höhe von 2,8 m, wodurch ein horizontales Sichtfeld von 220° aufgespannt wird. TFT Displays übernehmen die Darstellung der Rückspiegel sowie des Instrumentenkombis. Über helmintegrierte Kopfhörer erhält der Proband ein auditives Feedback zu Motor- und Windgeräuschen sowie der Umgebung (Witterungseinflüsse wie Regen, Umgebungsverkehr, etc.). Niederfrequente Schwingungen können zudem per Körperschallwandler auf das Fahrzeug aufgebracht werden. Über einen Seilzugmechanismus ist es ferner möglich, Längskräfte mit hohen Amplituden bei gleichzeitig niedrigen Frequenzen auf den Fahrer aufzubringen, wie sie bei Beschleunigungen und Verzögerungen oder durch Windlast in Realfahrten auftreten. Die Krafteinleitung erfolgt dabei mittels einer modifizierten Airbag-Weste (Motoairbag®) aus dem Motorradzubehör.

Abbildung 5 zeigt den Simulator bei einer virtuellen Landstraßenfahrt. Zu erkennen sind der Helm mit Soundintegration, die TFT-Rückspiegel sowie das Seilzugsystem.



Abbildung 5. DESMORI-Motorrad-Fahrsimulator

Die Ansteuerung des Simulators erfolgt über die Software SILAB der WIVW GmbH. SILAB übernimmt die Kommunikation mit allen benötigten Hard- und Software-Modulen und zeichnet alle relevanten Daten synchron zueinander auf. Als Fahrdynamiksimulationssoftware wird VI-BikeRealTime 16 (BRT) von der VI-grade GmbH verwendet. BRT wird in eine Co-Simulation mit MATLAB eingebettet, wo zudem weitere Regler sowie bspw. der Motion Cueing Algorithmus [5] hinterlegt sind.

Eine Herausforderung stellt dabei die Substitution des VI-Fahrermodells durch die Mess- und Regelgrößen dar. So müssen alle in Offline-Simulationen vom Fahrermodell übernommenen Stabilisierungsmaßnahmen auch in der Online-Simulation vom Probanden korrekt durchgeführt werden oder die Stabilisierungsaufgabe von einem zusätzlichen Regler übernommen werden.

3.1 Lenksystem

Das Lenksystem des DESMORI-Simulators (Abbildung 6) besteht aus einem starr am Fahrzeugrahmen angebondenen Elektromotor (HarmonicDrive® Actuator). Dieser ist über eine Drehmoment-Messdose (Torque Sensor) an die untere Gabelbrücke (Fork Crown) unterhalb des Lenkkopflagers angeflanscht.

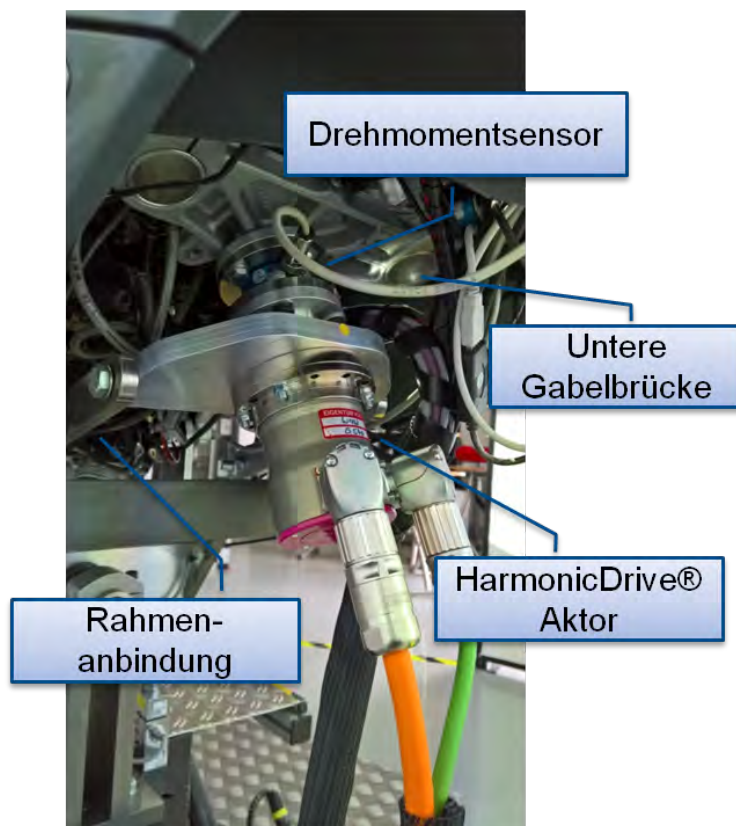


Abbildung 6. Hardware des Lenksystems

Es existieren zwei mögliche Eingabegrößen zur Lenkung des virtuellen Fahrzeugs: Der Lenkwinkel und das Lenkmoment. Die Verwendung der einen Größe als Eingang in das Fahrdynamikmodell ermöglicht jeweils nur die andere Größe als Ausgang des Modells zu erhalten. Unter dieser Voraussetzung sind wiederum zwei einfache Regelkreise denkbar:

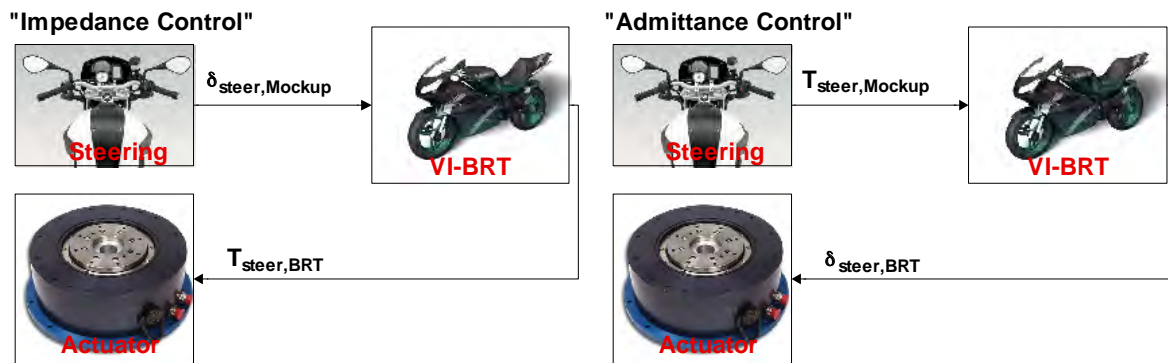


Abbildung 7. Direkte Lenksysteme

- **„Impedanzregler“**

Messung des Simulator-Lenk winkels \rightarrow Eingabe des Lenkwinkels in das Fahrdynamikmodell
 \rightarrow Ermittlung des resultierenden Lenkmoments in BRT \rightarrow Stellen des Momentes am Aktor

- **„Admittanzregler“**

Messung des Simulator-Lenkmomentes \rightarrow Eingabe des Momentes in das Fahrdynamikmodell
 \rightarrow Ermittlung des resultierenden Lenkwinkels in BRT \rightarrow Stellen des Winkels am Aktor

Sogenannte „Impedanzregler“ und „Admittanzregler“ finden häufig in der Robotik Anwendung [6,7], sind jedoch in Analogie auch für das hier beschriebene Lenksystem anwendbar. Ein Impedanzregler (auch Nachgiebigkeitsregler) reagiert auf von der Umwelt aufgebrachte Positionsänderungen mit entsprechenden Gegenkräften, während bei einer Admittanzregelung eine auf das Objekt wirkende Kraft in eine Bewegung umgewandelt wird.

Beide Systeme, wie sie in Abbildung 7 dargestellt sind, unterliegen Latenzen bei der Messwerterfassung, der Verarbeitung innerhalb der Simulationsumgebung sowie der Stellgrößenerzeugung. Diese Latenzen schränken die erreichbare Dynamik stark ein. Bereits bei kleinen Totzeiten sowie durch begrenzte Verstärkungsfaktoren des Lenkaktors ist es nicht mehr möglich, einem vom Fahrer aufgebrachten Lenkimpuls das passende Widerstandsmoment entgegenzusetzen. Daraus resultiert eine unplausible Lenkwinkelvorgabe in der Fahrdynamiksimulation, die schließlich den geforderten Zustand nicht mehr simulieren kann und instabil wird – der Fahrer stürzt. Der Aufbau des Lenksystems analog zur Impedanzregelung kommt daher lediglich bei niedrigen Dynamiken in Frage und wird hier nicht weiter verfolgt. Das zu einer Admittanzregelung analoge System besitzt Vorteile hinsichtlich der Systemstabilität, da ein unplausibler Lenkmomentmesswert – solange er endlich ist – lediglich geänderte Lenkwinkelbeschleunigungen zur Folge hat, jedoch keine Unstetigkeiten erzeugen kann. Eine Verwendung dieses einfachen Systems wird jedoch durch die Drehmomentmessung verhindert. Schließlich kann der verwendete Sensor lediglich dann ein eingegebenes Moment messen, wenn es an anderer Stelle abgestützt wird. Wird jedoch bei einer bestimmten Fahrsituation kein, bzw. ein zu geringes

Drehmoment durch den Lenkaktor aufgebracht (bspw. bei stabiler Geradeausfahrt), so wird auch bei Verdrehungen des Lenkers durch den Fahrer kein, bzw. ein zu geringes Drehmoment vom Sensor erfasst. Das Verlassen der Geradeausfahrt durch eine Lenkeingabe ist folglich nicht mehr möglich.

Aus den dargestellten Gegebenheiten lassen sich folgende Bedingungen an das Lenksystem stellen:

1. Um Unstetigkeiten zu vermeiden, wird die Vorgabe eines Lenkmomentes in das Fahrdynamikmodell bevorzugt. (Lenkwinkelgeschwindigkeit oder -beschleunigung stehen zum Datum der Veröffentlichung nicht als Eingabegröße bereit)
2. Aus der Momentenvorgabe in BRT folgt, dass eine Bewegungsgröße (Lenkwinkel /-geschwindigkeit) als Ausgabe verwendet werden muss.
3. Die Messung eines Lenkmomentes ist nur bei Vorhandensein eines Abstützmomentes möglich.

Abbildung 8 skizziert das resultierende Systemblockschaltbild des im DESMORI-Simulator verwendeten Lenksystems. Lenker, Drehmomentsensor sowie Aktor sind wie in Abbildung 6 gezeigt starr miteinander verbunden. Ein PID-Regler führt den Simulator Lenkwinkel stets dem im Fahrdynamikmodell herrschenden Lenkwinkel nach. Dadurch sind o.g. Anforderung 1) und 2) erfüllt. Betrachtet man erneut das zuvor beschriebene Szenario der stabilen Geradeausfahrt, ist ersichtlich, dass nun eine Verdrehung des Lenkers durch den Fahrer einen Differenzwinkel Δ_δ zur Folge hat. Somit wird ein Gegenmoment durch den Aktor gestellt, das das Fahrerlenkmoment abstützt, das folglich vom Sensor erfasst werden kann und dem Fahrdynamikmodell als Eingangsgröße dient. Umgekehrt führen auch durch das Modell induzierte Lenkbewegungen (z.B. durch plötzliches Bremslenkmoment) zu Lenkbewegungen des Simulators. Werden diese vom Fahrer abgestützt, ergibt sich wiederum ein im Fahrdynamikmodell wirksames Lenkmoment.

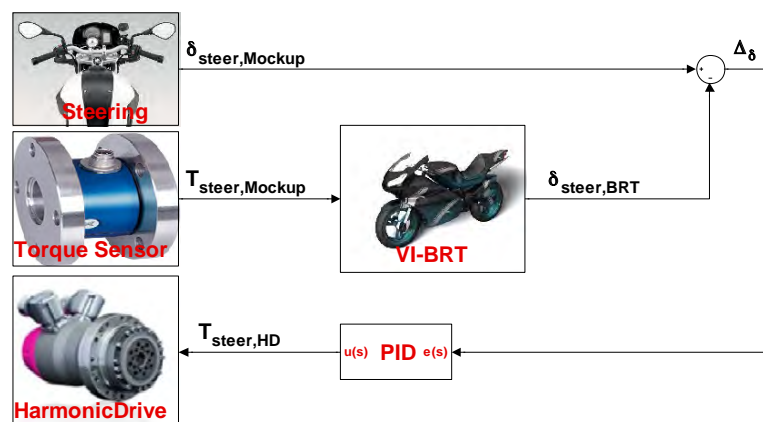


Abbildung 8. Nachführen des Lenkwinkels

Das gezeigte System ermöglicht das stabile Fahren des DESMORI-Simulators ab Fahrgeschwindigkeiten von ca. $v > 30$ km/h. Darunter bewirken die im System weiterhin vorhandenen Totzeiten bedingt durch die geringe Selbststabilisierung des Fahrzeugmodells eine unzureichende Steuerbarkeit. Gegenphasige und betragsmäßig falsche Lenkwinkel und –momente machen das Fahren des Simulators dann beinahe unmöglich. Um diesen negativen Effekt zu reduzieren, wird bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten das in BRT eingegebene Lenkmoment abgeschwächt und ein stabilisierendes Rollmoment auf das virtuelle Fahrzeug aufgebracht.

3.2 Rollmomentenerfassung

Um den Probanden auf dem DESMORI Simulator das Steuern des virtuellen Fahrzeuges per Körperbewegung zu ermöglichen, muss diese auf geeignete Art und Weise sensorisch erfasst werden. Die Positionsmessung körperfester Referenzpunkte bspw. durch eine Stereokamera ist zu diesem Zweck leicht zu implementieren und ermöglicht grundsätzlich eine gute Steuerbarkeit des Fahrzeuges durch bewusste Lehnbewegungen des Fahrers. BRT besitzt, wie in 2.1 gezeigt, die Möglichkeit, eine Fahrerschwerpunktbewegung im Fahrdynamikmodell aufzubringen. Diese wird jedoch lediglich als quasistatische Größe betrachtet. Demnach werden Abstützungskräfte zwischen Fahrer und Fahrzeug, obwohl sie eine große Relevanz für die Fahrdynamik besitzen, (z.B. „Counter Lean“ [8]) nicht abgebildet und müssen wiederum mithilfe externer Regler als zusätzliche (beschleunigungsabhängige) Kraft in Richtung der Fahrzeugquerachse aufgebracht werden. Für die Fahrer Masse sowie die Massenverteilung werden bei der kamerabasierten Positionserfassung i.A. Schätzwerte angenommen, die unabhängig vom Probanden beibehalten werden. Erfasst wird zudem lediglich die Bewegung angegebener Referenzpunkte. Eine Gewichtsverlagerung durch nicht betrachtete Körperteile (Arme, Beine, ggf. Hüfte) ist somit für das Fahrdynamikmodell irrelevant.

Um eine Betrachtung aller Bewegungseinflüsse des Fahrers auf das Fahrzeug abbilden zu können und sich dabei nicht auf einzelne Komponenten wie die Vertikalkraft auf die Fußrasten zu beschränken, wurde in den DEMORI Fahrsimulator statt der Positionserfassung oder der Rastenkraftmessung eine Rollmomentsensorik verbaut, wie sie in Abbildung 9 zu sehen ist.

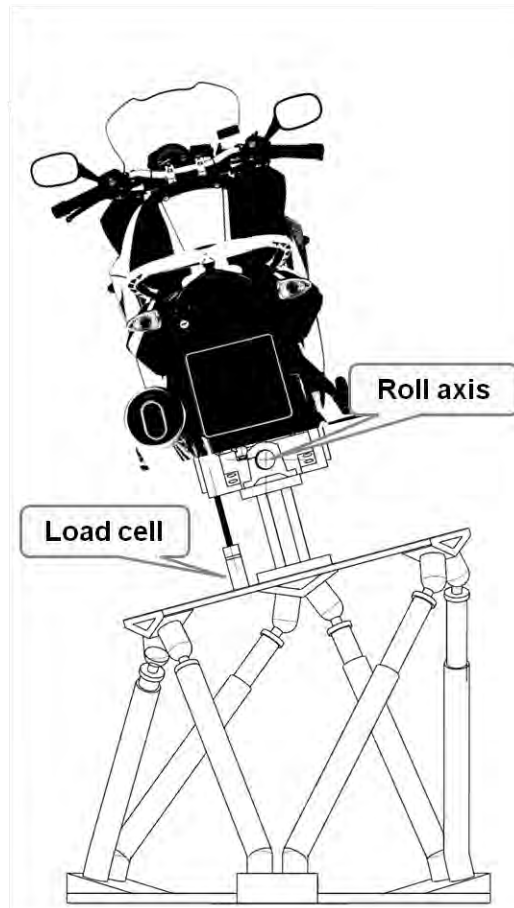


Abbildung 9. Rollmomentenerfassung auf dem DESMORI Simulator

Auf der beweglichen Hexapod-Plattform wird eine zusätzliche Drehachse verbaut, um die der Aufbau um die Längsachse rotieren kann. Der Aufbau wird dann gegen die Hexapodplattform über eine Kraftmessdose abgestützt. Unter Kenntnis des senkrechten Abstandes zwischen Kraftmessdose und Drehachse kann das Drehmoment um die Längsachse des Fahrzeuges ermittelt werden. Dabei ist es irrelevant, ob das Drehmoment aus bewussten oder unbewussten Bewegungen des Fahrers resultiert und mit welchen Körperpartien es erzeugt wurde. Dazu zählen bspw. auch etwaige Drehmomente, die in Fahrsituationen entstehen, bei denen der Fahrer „Druck auf die Fußrasten“ aufbringt oder „die Knie gegen den Tank abstützt“.

Es wird schnell ersichtlich, dass bei horizontaler, nichtbeschleunigter Lage des Hexapod die gemessene Kraft direkt und alleinig von der Fahrerbewegung abhängig ist und als Eingang in das Fahrdynamikmodell genutzt werden kann. Sobald jedoch Bewegungen durch den Hexapod wiedergegeben werden, entstehen auch bei Bewegungslosigkeit des Fahrers Momentenanteile bspw. durch Gravitationsterme, Quer- oder Rollbeschleunigungen, die in Abhängigkeit von der Masseverteilung des Fahrzeuges sowie des Fahrers stehen. Es gilt nun, die rein aus dem Aufbau resultierenden Anteile des ge-

messenen Drehmomentes zu bestimmen, sodass das rein durch den Fahrer induzierte Rollmoment durch Differenzbildung ermittelt werden kann. Abbildung 10 skizziert das gewählte Vorgehen.

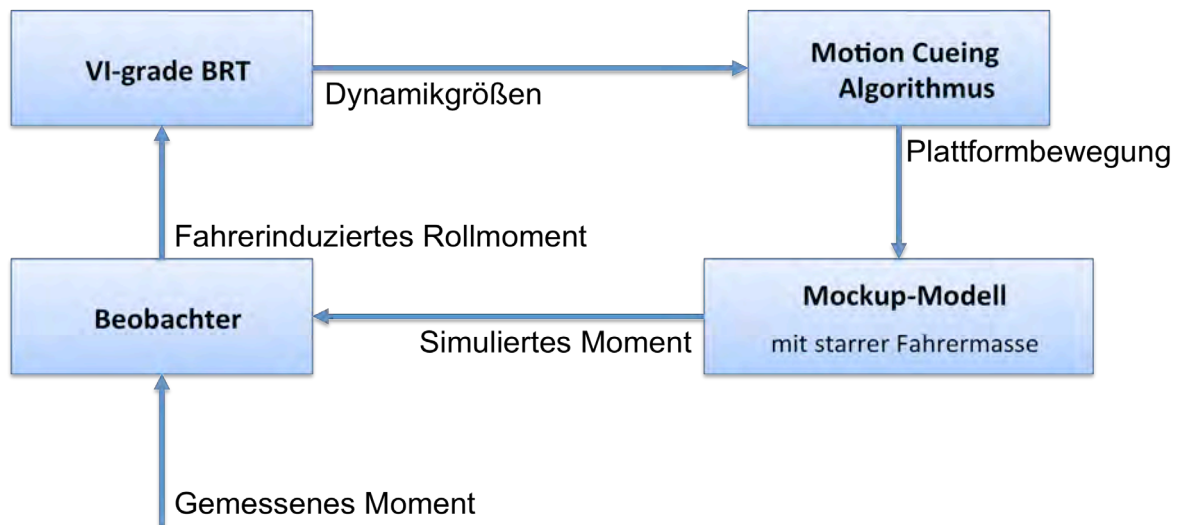


Abbildung 10. Bestimmung des fahrerinduzierten Rollmomentes

Ausgehend von der Fahrdynamik-Simulation werden Plattformbewegungen auf den Hexapod aufgebracht. Die Bewegungsgrößen des Hexapod, die z.B. aufgrund limitierter Pumpleistung der hydraulischen Aktoren vom Sollwert abweichen, werden gemessen und daraus ein Erwartungswert des Signals der Kraftmessdose unter Annahme einer starren, nicht beweglichen Körpermasse errechnet. Die Differenz aus dem gemessenen Signal und dem simulierten Erwartungswert entspricht der Kraft, die lediglich durch Fahreranregung entstanden sein kann. Sie beinhaltet dabei sowohl aktive Einflüsse z.B. durch bewusste Lehnbewegungen als auch Impedanzeffekte der Fahrer Masse, die dämpfend auf die Fahrzeugbewegung wirken. Abbildung 11 zeigt ein Indiz auf diese Dämpfung anhand von Roll- und Lenkwinkel. Darin sind φ_{norm} bzw. δ_{norm} normierter Roll- und Lenkwinkel und L_{φ} sowie L_{δ} sind die Pegel dieser Winkel bei eingeschalteter Rollmomentenerfassung („ T_{rid} on“) bezogen auf die Winkel bei ausgeschaltetem System. Als Fahrmanöver dient eine Slalomfahrt.

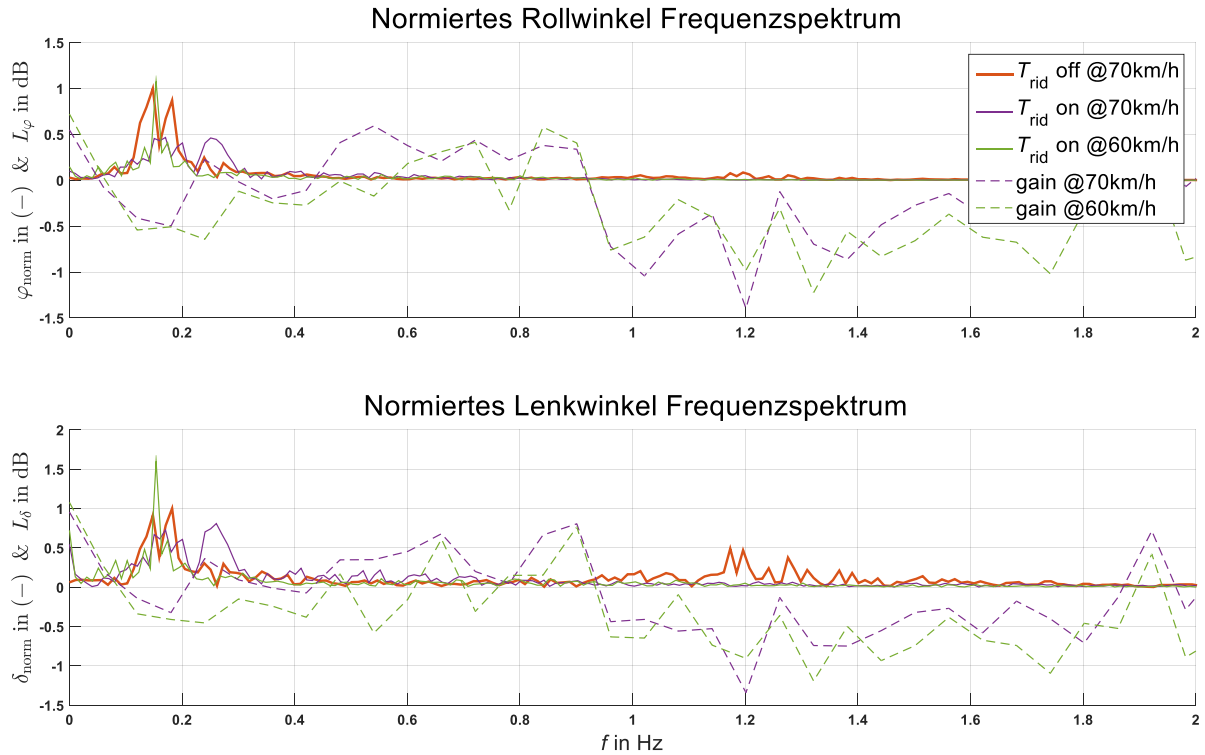


Abbildung 11. Dämpfung von Roll- und Lenkwinkel bei Verwendung der Rollmomentsensorik

$$\varphi_{\text{norm}}(f) = \frac{|\hat{\varphi}|(f)}{\max(|\hat{\varphi}|(f)_{T_{\text{riid off}}})}$$

$$L_{\varphi}(f) = \log_{10} \left(\frac{|\hat{\varphi}|(f)_{T_{\text{riid on}}}}{|\hat{\varphi}|(f)_{T_{\text{riid off}}}} \right)$$

δ_{norm} und L_{δ} ergeben sich analog zu φ_{norm} und L_{φ}

Die durchgezogenen Linien stellen die Frequenzspektren von Roll- und Lenkwinkel dar. Dabei zeigt die dicke rote Linie das Szenario mit ausgeschalteter Rollmomenterfassung („ $T_{\text{riid off}}$ “). Als dominante Frequenz ist klar die Schwingfrequenz der Slalomfahrt knapp unterhalb von 0,2 Hz zu erkennen. Ein weiterer während Simulatorfahrten spürbarer Amplitudenanstieg geschieht im Bereich von 1,2 Hz. Dieser wird als stark störend empfunden und kann zur Destabilisierung der Simulatorfahrt führen. Wird nun die Rollmomenterfassung eingeschaltet (grün @ 60 km/h und lila @ 70 km/h) ist die Slalomfahrt besser zu beherrschen. Die Frequenzanteile im Bereich von 1,0 bis 1,8 Hz werden bedämpft. Als Maß der Dämpfung dienen die Schwingungspegel (gestrichelt), welche eine Abnahme der Schwingungsamplituden um bis zu 1 dB im Vergleich zum nicht aktiven System zeigen. Der Frequenzbereich von 1,0 bis 1,8 Hz erscheint jedoch etwas niedrig im Vergleich zu typischen Fahrerkörper-Eigenfrequenzen [9] und auch aufgrund der Koppeleffekte zwischen Lenk- und Rolldynamik im

Fahrdynamikmodell bleibt der genaue Wirkmechanismus der beobachteten Dämpfung in Folge der Anwendung der Rollmomentenerfassung uneindeutig.

Im niedrigfrequenten Bereich – bei der bewussten Steuerung des Simulators durch Lehneingaben – kann hingegen eine klare Unterscheidung von Fahrmanövern erfolgen. So zeigt

Abbildung 12 drei Fahrmanöver, bei dem jeweils eine konstante Kreisfahrt mit unterschiedlichen Körperpositionen (blau: Lean In, grün: Neutral, Rot: Lean Out; siehe rechts im Bild) durchgeführt wurde.

Die oberen drei Diagramme zeigen die gemessene Kraft mit (dick) und ohne (dünn) Aufsassen bei der konstanten Kreisfahrt. Aus der Differenz (untere Diagramme, dünn) kann schließlich das fahrerinduzierte Rollmoment ermittelt werden (untere Diagramme, dick). Es ist zu erkennen, dass im Lean-In-Szenario ein eindrehendes und im Lean-Out-Szenario ein ausdrehendes Moment entsteht. In neutraler Fahrerposition wird erwartungsgemäß ein Rollmoment nahe Null ausgegeben.

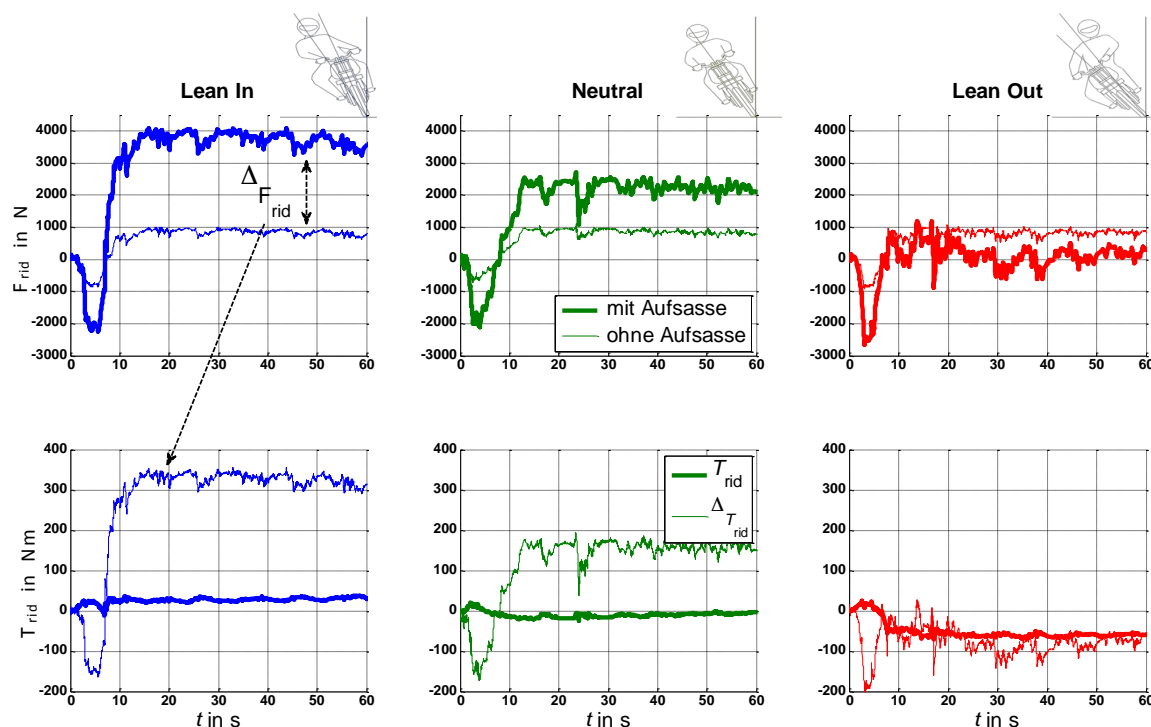


Abbildung 12. Szenarienunterscheidung mittels Rollmomentenerfassung

3.3 Gesamtsystem

Durch die zuvor erläuterten Systeme wird die Steuerbarkeit des virtuellen Fahrzeuges gewährleistet. Wenngleich bei niedrigen Fahrgeschwindigkeiten zusätzliche stabilisierende Regler integriert werden müssen, ist bei höheren Geschwindigkeiten eine stabile Fahrt aufgrund der selbststabilisierenden Effekte der Motorradfahrdynamik ohne solche zusätzlichen Regler möglich. Dabei besitzt der Fahrer die

Möglichkeit, Kurven wahlweise per Körperverlagerung oder durch Lenkeingaben einzuleiten. Die Lenkeingabe ist, wie in 3.1. beschrieben, durch ein gemessenes Lenkmoment möglich. Abbildung 13 zeigt das Durchfahren eines kurvenreichen Abschnitts (Path, links im Diagramm) auf dem Fahr Simulator. Es ist die gute Übereinstimmung der Lenkmomente (rechts oben im Diagramm) mit den Sollvorgaben der Simulation zu erkennen. Der Lenkwinkel (rechts unten im Diagramm) im Simulator (blau) ist von Sprüngen im Signalverlauf geprägt, welche jedoch nicht in das Fahrdynamikmodell (grün) übertragen werden. Diese sind dem gewählten Aktor geschuldet, dessen integriertes Getriebe bestimmte Raststellungen einnimmt. Eine Beeinflussung der Fahrlinie durch diese Raststellungen wird nicht beobachtet, was darin begründet wird, dass nicht der gemessene Lenkwinkel, sondern das gemessene Lenkmoment als Fahreingabe dient.

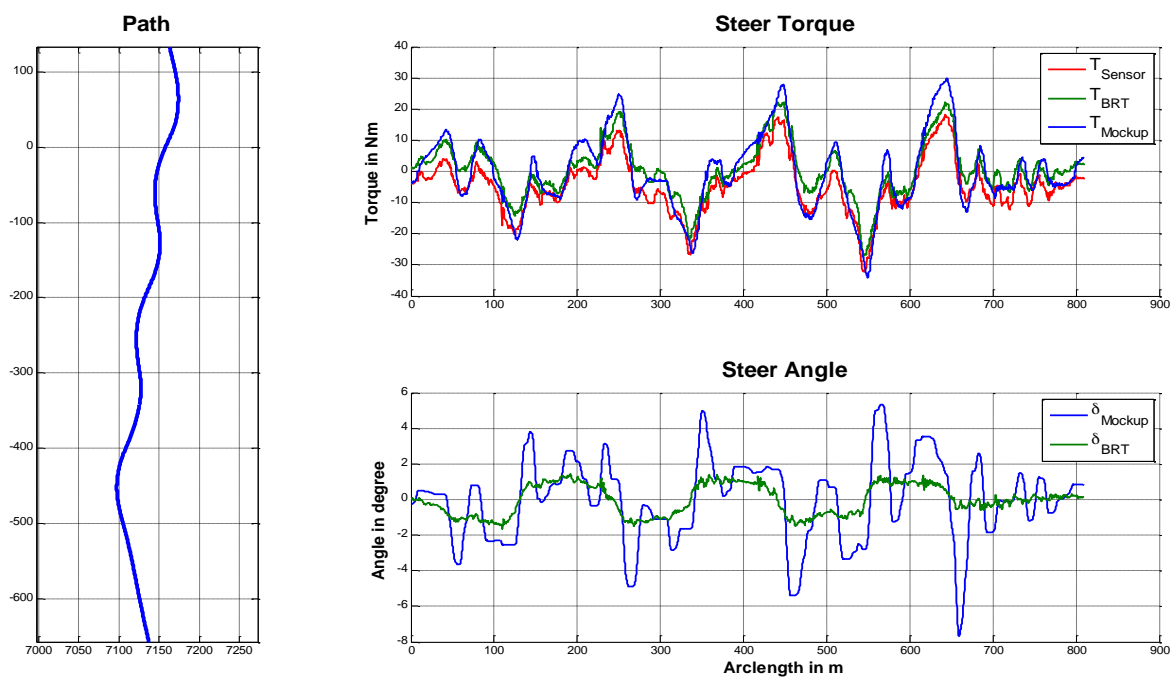


Abbildung 13. Lenkverhalten des Simulators bei Landstraßenfahrt [10]

Abbildung 14 zeigt den Einfluss der Rollmomentenerfassung auf das Lenkmoment T_{Steer} bei stationärer Kurvenfahrt. Bei annähernd konstantem Rollwinkel ϕ_{VI-BRT} des virtuellen Fahrzeuges wird zunächst eine neutrale Fahrerposition eingenommen. Ein daraufhin eingeleitetes Lean-In-Verhalten erhöht das gemessene Rollmoment (grün). Die Koppelleffekte in der Fahrdynamik bewirken eine Abnahme des Lenkmomentes (rot) bei $t \approx 100$ s. Der abschließende Wechsel in die Lean-Out-Situation bei $t \approx 200$ s dreht den Effekt entsprechend um und bewirkt einen Anstieg des stationären Lenkmomentes über das in Neutrallage erreichte Niveau heraus.

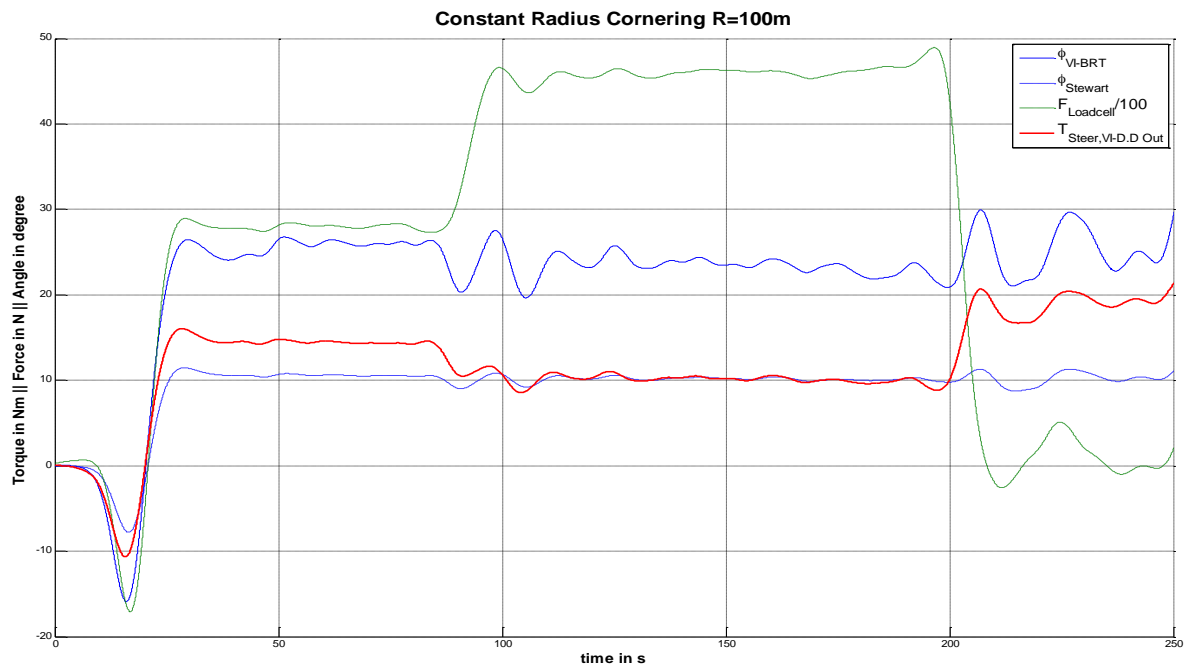


Abbildung 14. Lenk-Roll-Kopplung bei konstanter Kurvenfahrt [10]

4 Zusammenfassung und Ausblick

Der vorliegende Beitrag zeigt eine mögliche Umsetzung einer Fahrereingabeerfassung auf, die sowohl Lenkeingaben als auch Fahrerbewegungen berücksichtigt. Wie in Kapitel 2 dargestellt, kann eine realgetreue Steuerung des virtuellen Motorrades nur unter Berücksichtigung beider Größen erfolgen. Die Manöverumsetzung ist dadurch unabhängig vom persönlichen Fahrstil der Probanden möglich. Die von vielen Fahrern empfundenen Effekte wie „Positive- und Countersteering“, „Druck auf den Fußrasten“ oder „Abstützen am Tank“ können von den Probanden in Simulatorstudien angewendet werden. Die tatsächlich stattfindenden, fahrdynamisch relevanten Effekte wie der zeitliche Versatz von Lenk- und Lehnbewegung oder die Fahrerimpedanzänderung durch Körperspannung können durch die verwendete Sensorik erfasst und im Fahrdynamikmodell umgesetzt werden.

Die beste Fahrbarkeit des Simulators wird laut übereinstimmenden Meinungen der Probanden einer Expertenstudie bei mittleren bis hohen Geschwindigkeiten erreicht. Die gezeigten Eingabeerfassungssysteme sind für zukünftige Arbeiten noch hinsichtlich der Latenzen und erreichbaren Fahrstabilität zu optimieren, um auch im Niedriggeschwindigkeitsbereich nutzbar zu sein. Das Lenksystem würde dabei von einem Direktantrieb profitieren, um Reibung, Spiel und Elastizitäten im Lenkaktor zu vermeiden. Aus mechanischer Sicht ist zudem die Lagerung der zusätzlichen Rollachse des Rollmomenterfassungssystems hinsichtlich Reibungsarmut zu optimieren. Derzeit verbaute Gleitlager bewirken Reibmomente, die entweder modelliert werden müssen, was zu bekannten Problemen der

Reibungsmodellbildung und Nichtlinearitäten führt, oder minimiert werden müssen, um gegenüber den tatsächlichen Momentenverläufen durch Fahrerbewegung vernachlässigbar zu sein.

Erste Untersuchungen von Frequenzspektren der Bewegungsgrößen und Kraftverläufe sowie deren Übertragungsfunktionen lassen auf eine Beobachtbarkeit der Fahrerimpedanz schließen, wodurch Kontrollierbakeitsstudien mit hochdynamischen Fahrscenarien (Pendeln, Flattern, Notbrems- und Ausweichassistenz) denkbar werden. Wenn die Entwicklung motorradspezifischer Motion-Cueing-Algorithmen ebenfalls entsprechende Fortschritte macht, könnte zukünftig ein Teil der Entwicklung und Absicherung aktiver Assistenzsysteme in Verbindung mit realen Fahrern auf Fahrsimulatoren ergänzend zum Fahrversuch stattfinden.

5 Hinweise

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

6 Literaturnachweise

- [1] Will, S.; Hammer, T.; Pleß, R.; Guth, S.: “*Assessing Powered Two Wheelers’ display and control concepts – results from a pilot study*”, 11. Internationale Motorradkonferenz, 3.- 4. Oktober, Köln, Germany, 2016.
- [2] Pleß, R.; Guth, S.; Will, S.; Winner, H.: “Determining the rider induced roll torque on a dynamic motorcycle riding simulator”, Driving Simulation Conference, September 16-18, Tübingen, Germany, 2015.
- [3] Schröter, K.; Wallisch, M.; Weidele, A.; Winner, H.: „*Bremslenkmomentoptimierte Kurvenbremsung von Motorrädern*“, ATZ Automobiltechnische Zeitung Vol. 115: S. 436 ff., 2013.
- [4] ECA FAROS: „*EF-BIKE – High end motorbike simulator*“, Werbematerial, Lannion, France, 2011.
- [5] Guth, S.; Geiger, M.; et al.: „*Motion cueing algorithm to reproduce motorcycle specific lateral dynamics on riding simulators*“, Driving Simulation Conference, September 16-18, Tübingen, Germany, 2015.
- [6] Winkler, A.: “*Ein Beitrag zur kraftbasierten Mensch-Roboter-Interaktion*”, Dissertationsschrift, Technische Universität Chemnitz, Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik, Chemnitz, Germany, 2006.
- [7] Wen, K.; Neculescu, D.; Sasiadek, J.: “*Haptic force control based on impedance/admittance control aided by visual feedback*“, Multimedia Tools and Applications Vol. 37: S.39 ff., 2008.
- [8] Fajans, J.: “*Steering in bicycles and motorcycles*”, American Association of Physics Teachers Vol. 68 (7), 2000.
- [9] Doria, A.; Tognazzo, M.; Cossalter, V.: “*The response of the rider’s body to roll oscillations of two wheeled vehicles; experimental tests and biomechanical models*”, Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D, 2012.
- [10] Pleß, R.: “*Maneuvering the DESMORI motorcycle simulators*”, Workshop on Accidentology and Motorcycle Simulators, COST TU1407 Safe2Wheelers, Würzburg, 2016.

Kontakt

Raphael Pleß M.Sc.

Technische Universität Darmstadt

Fachgebiet Fahrzeugtechnik

Otto-Berndt-Straße 2

D-64287 Darmstadt

Tel: +49 (0)6151 - 16 24234

Fax: +49 (0)6151 - 16 24205

Mail: pless@fzd.tu-darmstadt.de

Brake or Swerve? Or both?

Bremsen oder Ausweichen? Oder sogar beides?

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

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

Abstract

Motorcycle riders have to react to hazardous situations in traffic with braking, swerving or both.

The initial rider training and further programs of advanced rider training make recommendations referring to this. The recommendations are not statistically backed at all. The recent study of the ifz will check the validity of the recommendations by a large-scale practical test.

In order to make representative statements regarding the riding behavior of motorcyclists, riding tests are performed with more than 100 riders. The results will show, what kind of riding maneuvers regarding to the riding speed are helpful to avoid collisions respectively to mitigate them. Further results will show, if motorcycle riders are able to brake and swerve at the same time.

These findings from the real behavior of motorcycle riders should support or complement existing training contents and possibly lead to alternatives.

Zusammenfassung

Den Fahrern motorisierter Zweiräder wird in prekären Situationen im Verkehrsgeschehen eine Entscheidung dahingehend abverlangt, ob gebremst, ausgewichen oder sogar beides kombiniert eingesetzt werden soll. Die Fahrschul Ausbildung und Programme von Fahrsicherheitstrainings geben hierzu statistisch nicht gesicherte Empfehlungen, die das ifz in seiner aktuellen Studie mit Hilfe eines Praxis-tests überprüft.

Um eine repräsentative Aussage hinsichtlich des Fahrverhaltens von Motorradfahrern treffen zu können, wurden Fahrversuche mit über 100 Probanden durchgeführt. Anhand der Ergebnisse sollen Aussagen darüber getroffen werden können, welche Fahrmanöver in Abhängigkeit der Geschwindigkeit zielführend sind, um die Kollision mit einem Hindernis vermeiden bzw. abschwächen zu können. Ebenso werden Erkenntnisse dahingehend erwartet, ob Motorradfahrer in der Lage sind, gleichzeitig bremsen und ausweichen zu können.

Die Ergebnisse der Studie aus dem Realverhalten sollen die bestehenden Ausbildungsinhalte untermauern bzw. ergänzen und gegebenenfalls zu Handlungsalternativen führen.

Bremsen oder Ausweichen? Oder sogar beides?

Inhalt

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

2 Methode

- 2.1 Die Durchführung praktischer Fahraufgaben
- 2.2 Test-Areal
- 2.3 Versuchsaufbau
- 2.4 Fahraufgaben
- 2.5 Teilnehmer

3 Auswertung

- 3.1 Ergebnisse „Bremsvermögen“
- 3.2 Ergebnisse „Spurversatz“
- 3.3 Vergleich „Bremsvermögen und Spurversatz“
- 3.4 Bremsvermögen bei gleichzeitigem Spurversatz“

4 Zusammenfassung und Ausblick

1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Viele Motorradfahrer kennen das folgende Szenario: Bei der Fahrt auf der Landstraße zieht er plötzlich und unerwartet heraus: Der Pkw aus der rechts einmündenden Straße. Nun ist schnelles Handeln gefragt. Reicht eine Vollbremsung aus, um noch vor dem Pkw zum Stehen zu kommen? Oder ist es doch ratsamer ein Ausweichmanöver einzuleiten, da der Bremsweg möglicherweise nicht mehr ausreicht? Oder gelingt eine Kombination aus beiden Varianten?

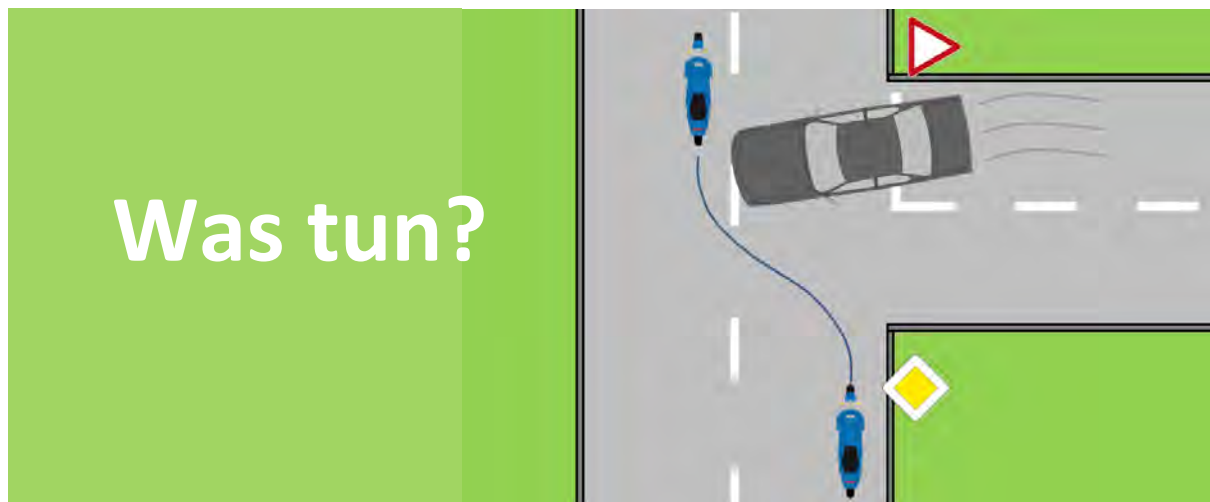


Abb. 1. Mögliche Kollisionsvermeidung auf der Landstraße

Die Beantwortung dieser Fragen bleibt natürlich stark situationsabhängig, zudem können noch weitere Umstände hinzukommen, die die Situation erschweren. Selbst aus der Distanz betrachtet, dauert es in den meisten Fällen, solchen Situationen ein optimales Handlungsmuster zuzuordnen. Wie soll dies also in Bruchteilen von Sekunden während der Fahrt gelingen?

Um zu verstehen, wie der zeitliche Ablauf bei Kollisionen beschrieben werden kann, wurden Auswertungen¹ basierend auf GIDAS zu Hilfe genommen. Demnach bleiben Motorradfahrern von der Reaktion bis zur Kollision im Mittel gerade einmal 1,7 Sekunden. Innerorts sind es im Mittel 1,6 Sekunden, außerorts 1,9 Sekunden, die inklusive einer Reaktion bis zur Kollision an Zeit zur Verfügung stehen.

Innerhalb dieser Zeit die Auswahl aus mehreren Handlungsalternativen zu treffen, bleibt schwierig bis unmöglich. Unumstritten ist, dass die Bremsung in diesen Situationen höchste Priorität haben muss, um eben eine geringe Geschwindigkeit bei einer möglichen Kollision erreichen zu können.

¹ Persönliche Informationen von Prof. Dietmar Otte (MHH) zu GIDAS-Auswertungen, 24.05.2016

GIDAS: Die German In-Depth Accident Study ist die umfassende Dokumentation von Verkehrsunfällen mit Personenschäden in zwei Erhebungsgebieten in Deutschland.

Vorhandene Empfehlungen, die bei Sicherheitstrainings vermittelt werden, geben für die Vermeidung von Kollisionsunfällen vor, dass bis 50 km/h eine Bremsung und darüber hinaus das Ausweichen Vorteile bringt (Rahmenbedingungen: $a = 8 \text{ m/s}^2$ Bremsverzögerung, Hindernisbreite 1,0 – 1,5 m). Dazu kommen Handlungsalternativen wie das Bremsen mit anschließendem Ausweichen und das Bremsen mit gleichzeitigem Ausweichen². Das Bremsen mit anschließendem Ausweichen – bekannt als „Bremsen-Lösen-Ausweichen (B-L-A)“ – verlangt vom Fahrer die Durchführung zweier komplexer Handlungsmuster hintereinander, also zeitlich versetzt. Die Schwierigkeit insbesondere dieser Handlung besteht darin, den optimalen Zeitpunkt für das Lösen der Bremse zu finden, was wiederum eine Einschätzung des noch vorhandenen Raumes bis zum Hindernis beinhaltet. Wann beim Bremsen-Lösen-Ausweichen also von einem Manöver zum anderen übergegangen wird, bedingt einer erneuten Entscheidung innerhalb des Fahrmanövers. Auch in der Fahrschul Ausbildung gehört das Ausweichen nach dem Abbremsen (B-L-A) zu den Grundfahraufgaben³.

Mit unseren praktischen Messreihen mit 101 Teilnehmern möchten wir diese Aussagen – wann gebremst und wann ausgewichen werden soll – überprüfen. Dazu ließen wir die Teilnehmer aus drei unterschiedlichen Geschwindigkeiten zunächst nur bremsen, dann nur ausweichen. Bei der dritten Fahraufgabe sollten die Teilnehmer bremsen und dabei gleichzeitig ausweichen.

Wie bereits erwähnt, verlangt das Geschehen im Straßenverkehr schnell funktionierende Handlungsmuster. Wie viele komplexe Lösungsstrategien, aus denen sekundenschnell gewählt werden muss, kann/darf man Fahrern zumuten? Zu großer Entscheidungsspielraum verwirrt oftmals mehr als er weiterhilft. Sicherlich gibt es eine Vielzahl an Situationen, in denen lediglich gebremst werden muss. In weiteren, nicht direkt einschätzbaren Kollisionssituationen – vor allem bei höheren Geschwindigkeiten – kann die Konzentration auf Fahraufgaben mit wenig Entscheidungsspielraum von Vorteil sein. Dabei sollte sich der Fahrer auf nur eine Handlungsabfolge – gekoppelt an nur eine Entscheidung – fokussieren.

Unsere Hypothese besteht nun darin, dass die Kombination von Bremsung und gleichzeitigem Spurversatz in diesen Fällen die vorteilhafteren Resultate erzielen kann. Sie lautet wie folgt:

Hypothese 1: In Gefahrensituationen mit Kollisionskurs auf ein sich bewegendes Hindernis ist die Konzentration auf ein Fahrmanöver mit einer eindeutigen Handlungsstrategie von Vorteil. Dieses besteht aus der Kombination einer Vollbremsung mit einhergehendem Ausweichen (Spurversatz). Die Vollbremsung steht dabei immer im Vordergrund.

² Deutscher Verkehrssicherheitsrat (DVR), Sicherheitstraining Motorrad, 2013

³ Amtsblatt des Bundesverkehrsministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur der Bundesrepublik Deutschland: Richtlinie für die Prüfung der Bewerber um eine Erlaubnis zum Führen von Kraftfahrzeugen nach Anlage 7 der Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV), 2014

Das Bremsen steht somit im Vordergrund, ergänzend wird dabei ein Spurversatz in Abhängigkeit der Geschwindigkeit und im Rahmen der gegebenen Möglichkeiten durchgeführt.

Zudem möchten wir untersuchen, ob eine Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz für Motorradfahrer überhaupt praktikabel ist und den allgemeinen Tenor überprüfen, dass Motorradfahrer mit solch schwierigeren Fahrmanövern überfordert sind.

Hypothese 2: Komplexe Fahraufgaben, wie eine Vollbremsung mit gleichzeitigem Ausweichen (Spurversatz), können den meisten Motorradfahrern nicht zugemutet werden.

2 Methode

2.1 Die Durchführung praktischer Fahraufgaben

Der zurückgelegte Weg bei einer Bremsung mit größtmöglicher Verzögerung oder die benötigte Strecke beim Spurversatz eines Motorrads bei einer bestimmten Geschwindigkeit kann mathematisch ermittelt werden. Die berechneten Ergebnisse lassen jedoch eine Vielzahl von Faktoren außer Acht, die einen enormen Einfluss auf reale, praktisch durchgeführte Ergebnisse haben. Der zentrale Einflussfaktor bei diesen Fahrmanövern ist der Mensch, also der Fahrer selbst.

Um möglichst reale, alltagstaugliche Aussagen über die benötigten Strecken bei Bremsungen und Spurversätzen zu erhalten, wurde im Rahmen der vorliegenden Studie mit Probanden (im folgenden „Teilnehmer“ genannt) gearbeitet, die mit ihrem eigenen Kraftrad auf einem speziell dafür vorbereiteten Test-Areal verschiedene, vorgegebene Fahraufgaben durchführen mussten.

2.2 Test-Areal

Durchgeführt wurden die Fahrversuche mit den Teilnehmern auf dem Gelände des Forschungs- und Technologiezentrums Ladungssicherung Selm gGmbH (F&T). Hier herrschen optimale Bedingungen für die Durchführung einer solchen Studie. Eines der wichtigsten Kriterien dabei war: Viel Platz. Mit Blick auf die Fahraufgaben aus höheren Geschwindigkeiten (100 km/h) muss vor und hinter dem Versuchsaufbau ausreichend Platz zum Anfahren sowie zum Bremsen (Auslauf) zur Verfügung stehen. Dazu bietet die Fahrbahnoberfläche auf dem Gelände eine sehr hohe Griffigkeit.



Abb. 2. Lage des Test-Areals (F&T); Bilder © 2016 AeroWest, Google, Kartendaten © 2016 GeoBasis-DE/BKG (© 2009), Google

2.3 Versuchsaufbau

Die zentralen Bereiche, in denen die verschiedenen Fahraufgaben (Bremsung, Spurversatz, beides zugleich) gefahren wurden, wurden auf der Fahrbahn des Test-Areals mit entsprechenden Dickschichtfolien⁴ gelb markiert.

⁴ Bei diesem Typ der Fahrbahnmarkierung handelt es sich um die vorübergehende Markierungsfolie Typ II – 3M™ Stamark™ A721 (15 cm Breite). Diese gelbe Dickschichtfolie auf Kautschuk-Basis wird für Arbeitsstellen von längerer Dauer für alle Längsmarkierungen eingesetzt. Die angewandte Technologie gewährleistet gute Tagsichtbarkeit und extrem gute Griffbarkeit. Zur Sicherheit unserer Teilnehmer wurde dieser Typ gewählt. Die Markierungen wurden mit freundlicher Unterstützung der Firma 3M von qualifiziertem Fachpersonal aufgebracht.

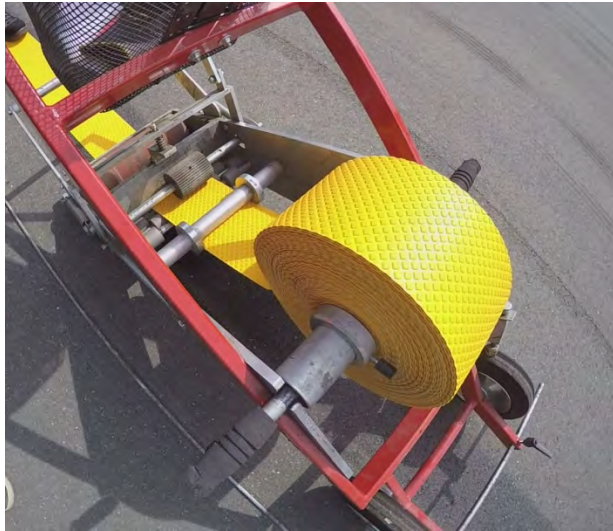


Abb. 3. Aufbringen der Markierungen



Abb. 4. Effiziente Verlegetechnik

Die Abbildungen 5 und 6 veranschaulichen den gesamten Versuchsaufbau:

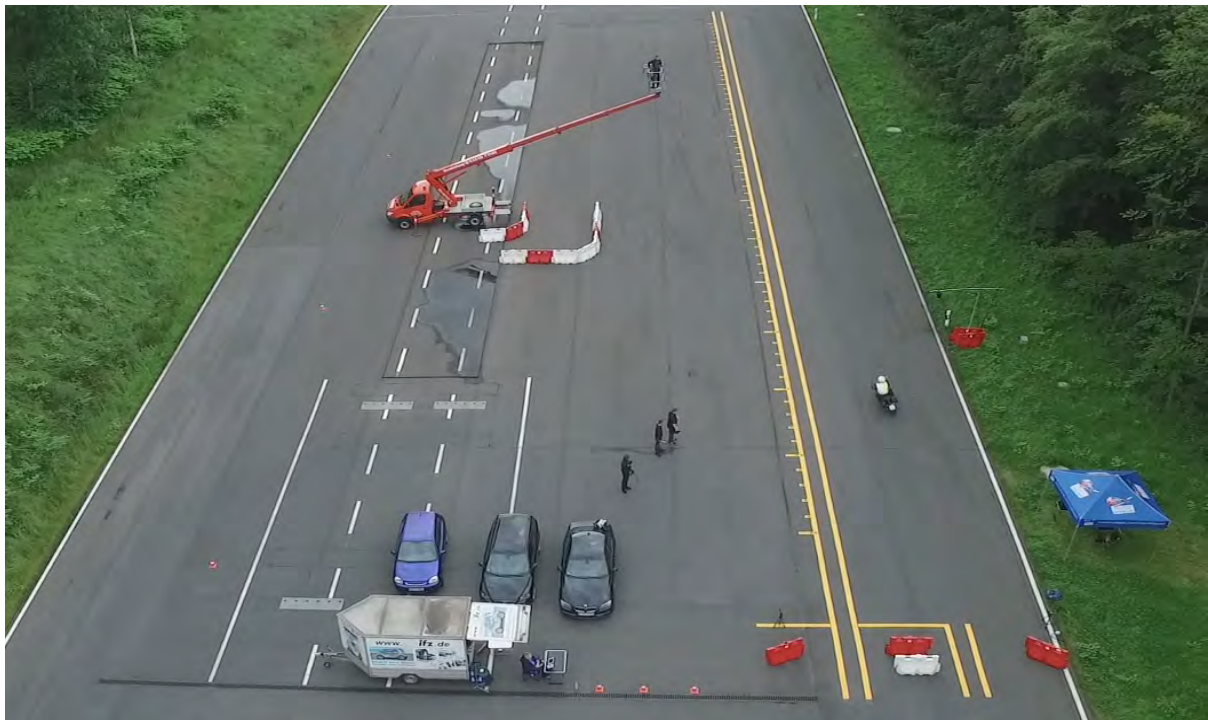


Abb. 5. Totale „Versuchsaufbau“

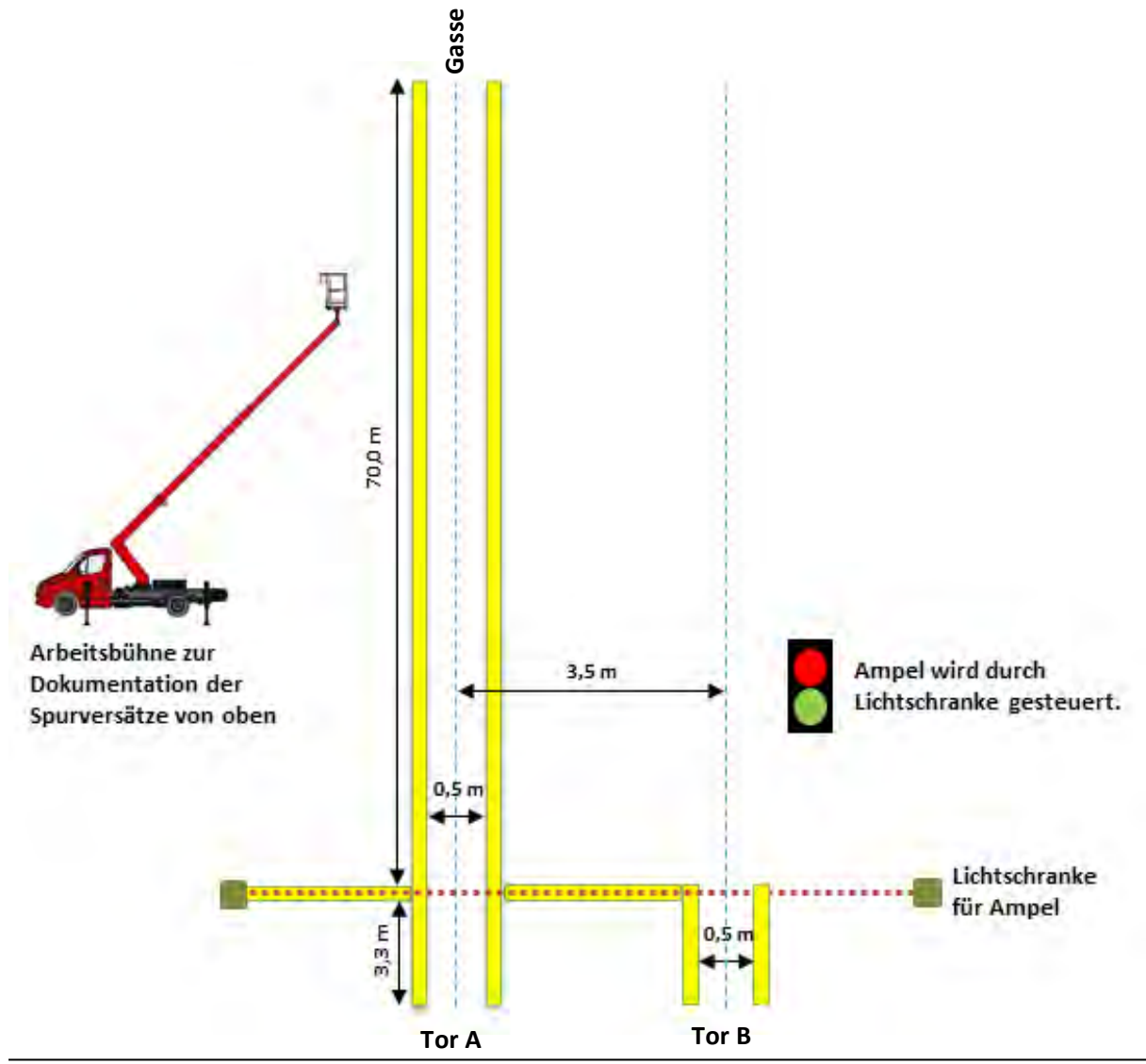


Abb. 6. Schema „Versuchsaufbau“ (nicht maßstabsgetreu)

TORE Für die verschiedenen Fahraufgaben gibt es zwei markierte Tore, die von den Teilnehmern anzufahren waren. Die Fahrspur innerhalb der Tore beträgt einen halben Meter. In Fahrtrichtung links das Tor A für die Fahraufgaben „Vollbremsung“. Rechts das Tor B für die Fahraufgaben „Spurversatz“ (Ausweichen) und die Fahraufgaben „Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz“ (*Detaillierte Erklärung der Fahraufgaben unter 2.4*).

Die beiden Mittellinien von Tor A und Tor B liegen exakt 3,50 Meter auseinander. Dies ist die Breite des durchzuführenden Spurversatzes. Die 3,50 Meter entsprechen der durchschnittlichen Breite der befestigten Fläche eines Fahrstreifens einer deutschen Bundesstraße. Fährt ein Motorradfahrer beispielsweise nahe am Fahrbahnmittelstreifen, hat er für ein Ausweichmanöver nach links in etwa die Breite des linken Fahrstreifens von 3,50 Meter zur Verfügung (Abb. 7). Ebenso sind andere Konstellationen von möglichen Konfliktsituationen denkbar (Abb. 8).

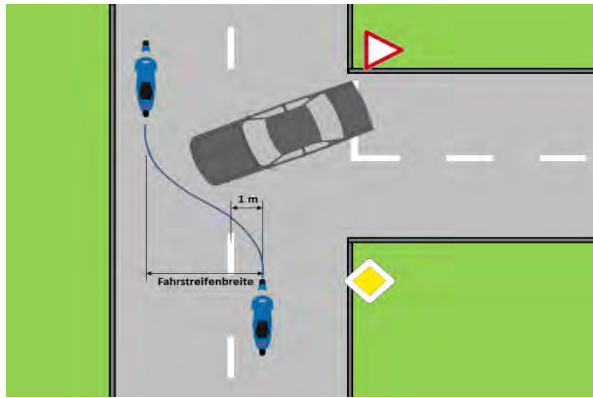


Abb. 7. Mögliche Kollisionsvariante A

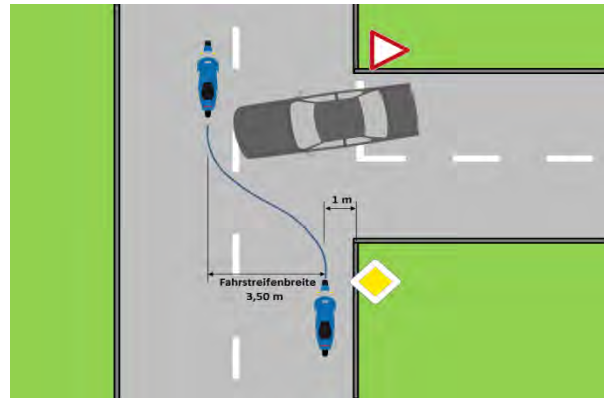


Abb. 8. Mögliche Kollisionsvariante B

GASSE Tor A mündet in einer 70 Meter langen Gasse, die zum einen als Messinstrument dient (Meterangaben), im Wesentlichen aber als Ziel für den Spurversatz. Dokumentiert wurden die Messergebnisse der Bremsungen direkt vor Ort von drei ifz-Mitarbeitern an verschiedenen Positionen, die jedes Ergebnis protokollierten.

SIGNALGEBUNG Rechts von Tor B, auf Höhe 20 Meter, befand sich eine eigens installierte Lichtzeichenanlage (Ampel mit zwei Signalfarben). Diese war mit einer Reflexionslichtschranke⁵ gekoppelt, die sich auf Höhe 0,00 Meter (Null-Linie) befand und beide Tore abdeckte; Nachdem ein Teilnehmer Tor A oder B passierte, schaltete die Ampel von Grün auf Rot. Der Teilnehmer musste mit der jeweiligen Fahraufgabe beginnen, sobald er die rote Ampel wahrnahm. Die ermittelten Ergebnisse berücksichtigen also die Reaktionszeit des Teilnehmers im Versuchsaufbau, so dass wir bei den Ergebnissen den jeweiligen Anhalte- bzw. Ausweichweg ermittelten. Die individuelle Reaktionszeit konnte von den Teilnehmern beeinflusst – verkürzt – werden, indem sie sich auf das Eintreten des Ampelsignals an gleicher Stelle (etwa ab Null-Linie) einstellten → Gewöhnungseffekt. Um dieses Verhalten für vergleichbare Ergebnisse zu berücksichtigen, wurde eine Bodenkamera hinter der Null-Linie installiert, die sowohl die Ampel als auch den passierenden Teilnehmer von hinten dokumentierte. Mit Hilfe dieser Kontrolle konnte der tatsächliche Beginn der Reaktion des Teilnehmers ermittelt und berücksichtigt werden (Abb. 9).

⁵ Es handelt sich um den Typ RLK61-55-Z/31/115 der Firma Pepperl+Fuchs, Ansprechzeit ≤ 25 ms



Abb. 9. Teilnehmeraufnahme Bodenkamera

DOKUMENTATION Links der Gasse auf Höhe 35 Meter wurde in ausreichendem Sicherheitsabstand eine Arbeitsbühne⁶ (Abb. 6) positioniert, um die benötigten Strecken für die Spurversätze (Ausweichwege) zu dokumentieren. Diese Art der „Ergebniserfassung von oben“ wurde eingesetzt, um einen großen Bereich sichtlich erfassen zu können, da die benötigten Strecken beim Spurversatz mit Tempo 50, 70 und 100 km/h weit auseinander liegen. Damit nicht jedes Teilnehmerfahrzeug zeitaufwändig mit Kameras versehen werden musste, wurde diese Methode genutzt, zumal sie in Vorversuchen ausprobiert und für geeignet befunden wurde. Versuche mit am Motorrad montierten Kameras ergaben speziell bei den höheren Geschwindigkeiten unscharfe Bilder und somit Ungenauigkeiten bei der Auswertung.

Ebenso war es nahezu unmöglich, allein durch Beobachtung eines ifz-Mitarbeiters das Erreichen der Gasse eines schnell vorbei fahrenden Motorrads zu dokumentieren.

Die Genauigkeit der Messergebnisse der Anhalte- und Ausweichwege in Fahrrichtung (in Längsrichtung) betragen +/- 10 cm. Die des seitlichen Spurversatzes bei der Fahraufgabe 3 sind zentimetergenau.

⁶ Es handelt sich hier um eine Arbeitsbühne (Steiger; 3,5 t) des Typs TB 220. Arbeitshöhe bis 22,10 m.

Um vor allem die tatsächlich gefahrenen Geschwindigkeiten der Teilnehmer zu ermitteln, wurde jeder Teilnehmer vor Antritt der Fahraufgaben mit einem Datenrekorder⁷ ausgestattet. Dieser wurde in einer kleinen Gürteltasche im unteren Rückenbereich des Fahrers platziert (Abb. 10 und 11).

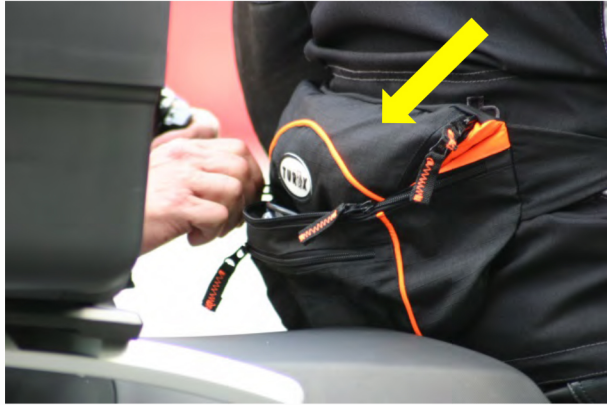


Abb. 10. Verstauen des Datenrekorders



Abb. 11. Datenrekorder „Speed Angle“

TEILNEHMERBEFRAGUNG Vor und nach dem Absolvieren der Fahraufgaben wurden die Teilnehmer mittels zweier Fragebögen befragt. Die Fragebögen wurden jeweils direkt vor Ort ausgefüllt. Die Beantwortung der einzelnen Fragen wurde über verschiedene Wege vorgegeben. Es handelte sich hierbei überwiegend um Multiple-Choice-Verfahren sowie um die Möglichkeiten freie Antworten zu formulieren. Bei einigen Fragen waren im Rahmen der Multiple-Choice-Lösungen Mehrfachantworten möglich. Das heißt, es konnten mehrere Antworten angekreuzt werden. Auch die Kombinationsmöglichkeit von vorgegebenen und freien Antworten war gegeben.

⁷ SpeedAngle Inc.: Typ GMOS JI100 S



Abb. 12. Theoretischer Teil: Teilnehmerbefragung

Abb. 13. Fragebogenmuster

2.4 Fahraufgaben

Die Fahraufgaben für die Teilnehmer bestanden aus drei Blöcken, die sich wie folgt darstellen:

1.
 - a) Vollbremsung bis zum Stillstand aus 50 km/h
 - b) Vollbremsung bis zum Stillstand aus 70 km/h
 - c) Vollbremsung bis zum Stillstand aus 100 km/h
2.
 - a) 3,5-Meter Spurversatz ohne dabei zu bremsen aus 50 km/h
 - b) 3,5-Meter Spurversatz ohne dabei zu bremsen aus 70 km/h
 - c) 3,5-Meter Spurversatz ohne dabei zu bremsen aus 100 km/h
3.
 - a) Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz bis zum Stillstand aus 50 km/h
 - b) Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz bis zum Stillstand aus 70 km/h
 - c) Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz bis zum Stillstand aus 100 km/h

Jeder Teilnehmer hatte somit insgesamt neun Fahraufgaben zu absolvieren. Zu Beginn durften die Teilnehmer drei Testrunden fahren, um sich auf dem Areal zurechtzufinden und sich an den Versuchsaufbau zu gewöhnen. Dabei wurde jede Fahraufgabe einmal mit 50 km/h probenhalber durchgeführt. Direkt im Anschluss wurden die Fahraufgaben absolviert. Die Fahrversuche wurden auf trockener Fahrbahn durchgeführt. Für die Durchführung der Fahraufgaben wurden pro Teilnehmer ca. 20 Minuten benötigt.

Zu den Fahraufgaben im Detail:

1. Vollbremsung bis zum Stillstand aus 50, 70 und 100 km/h

Der Teilnehmer fuhr mit entsprechendem Tempo auf das linke Tor A zu. Hierbei hatte er vor allem auf die Ampel zu achten. Auf Höhe der Null-Linie schaltete die Ampel von Grün auf Rot. Sobald der Teilnehmer das rote Lichtsignal erkannte, musste er verzögern und so schnell wie möglich zum Stillstand kommen – wie es auch in einer Notsituation erforderlich gewesen wäre. Der Bremsvorgang verlief weiter geradeaus in die gelb markierte Gasse hinein. Die Teilnehmer wurden instruiert zwischen den beiden gelben Linien in der Gasse zu bleiben. Sie verzögerten dort ihr Fahrzeug schnellstmöglich bis zum Stillstand. Anschließend protokollierten die ifz-Mitarbeiter die Länge des benötigten Anhaltewegs.

→ *Anhand dieser Fahraufgabe erhalten wir Aussagen über das Anhaltevermögen unterschiedlicher Fahrer auf unterschiedlichen Motorradtypen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten (Anhalteweg).*

2. 3,5-Meter Spurversatz ohne dabei zu bremsen aus 50, 70 und 100 km/h

Der Teilnehmer fuhr mit entsprechendem Tempo auf das rechte Tor B zu. Hierbei hatte er vor allem auf die Ampel zu achten. Auf Höhe der Null-Linie schaltete die Ampel von Grün auf Rot. Sobald der Teilnehmer das rote Lichtsignal erkannte, musste er so schnell wie möglich nach links in die Mitte der Gasse fahren. Er führte dabei einen Spurversatz von 3,5 Metern durch, wie es in einer Notsituation erforderlich gewesen wäre (Ausweichmanöver).

Dabei sollte auf keinen Fall gebremst, lediglich Gas weggenommen werden. Ob er bei diesem Vorgang die Kupplung zog oder nicht, blieb ihm selbst überlassen. Nach dem Spurversatz wurde direkt weitergefahren, es wurde nicht angehalten.

→ *Anhand dieser Fahraufgabe erhalten wir Aussagen darüber, wie viel Strecke für einen Spurversatz von 3,5 Meter von unterschiedlichen Fahrern auf unterschiedlichen Motorradtypen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten benötigt wird, um ungebremst einem Hindernis ausweichen zu können.*

3. Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz bis zum Stillstand aus 50, 70 und 100 km/h

Der Teilnehmer fuhr mit entsprechendem Tempo auf das rechte Tor B zu. Hierbei hatte er vor allem auf die Ampel zu achten. Auf Höhe der Null-Linie schaltete die Ampel von Grün auf Rot. Sobald der Teilnehmer das rote Lichtsignal erkannte, musste er so schnell es geht verzögern und dabei gleichzeitig einen Spurversatz nach links vollziehen (in Richtung der Gasse). Bei dieser Aufgabe ging es also um eine „Vollbremsung“ bis zum Stillstand mit gleichzeitigem Spurversatz nach links.

Wichtig dabei: Es ging nicht darum in die Gasse zu kommen, sondern nur so weit nach links wie möglich.

ifz-Mitarbeiter protokollieren die Länge des Anhaltewegs sowie das Maß für den erreichten Spurversatz nach links.

→ Anhand dieser Fahraufgabe erhalten wir Aussagen darüber, wie viel Strecke für eine Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz von unterschiedlichen Fahrern auf unterschiedlichen Motorradtypen bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten benötigt wird. Ebenso bekommen wir eine Aussage darüber, wie hoch der Spurversatz in Abhängigkeit zur Geschwindigkeit beim Verzögern ausfallen kann.

Instruktion der Teilnehmer

Bis zum Eintreffen auf dem Testgelände wussten die Teilnehmer noch nicht, worum es bei unseren Fahraufgaben ging. Im Vorfeld wurden keinerlei Informationen zum Prozedere bekannt gegeben. Der Hintergrund dieser Maßnahme bestand darin, dass die Teilnehmer keine Gelegenheit haben sollten, die spezifischen Fahraufgaben zu trainieren.

Um vor Ort effektiv vorgehen zu können, müssten die Teilnehmer selbstverständlich entsprechend eingewiesen werden. Nachdem ein Teilnehmer das Test-Areal erreichte, wurde er zunächst von unseren Mitarbeitern in einem Seminarraum hinsichtlich der Fahraufgaben instruiert. Dabei behilflich war eine Informationsmappe mit allen Handlungsanweisungen. Jede Fahraufgabe wurde hier detailliert in Bild und Text beschrieben, ergänzend wurden Informationen zum Thema „Bremsen“ allgemein geliefert. Dazu hatten die Teilnehmer die Gelegenheit ein eigens dafür erstelltes Video mit Erklärungen zu jeder Fahraufgabe anzuschauen.

Nach der theoretischen Vorbereitung begann der praktische Teil auf dem weiter abseits gelegenen Test-Areal. Jeder Teilnehmer war während der Fahraufgaben mit Kopfhörern ausgestattet und per Funk mit einem unserer Mitarbeiter verbunden, so dass ihm jederzeit genau gesagt werden konnte, was zu tun ist.

Wiederholt wurde dem Teilnehmer mitgeteilt, dass die Sicherheit bei den Fahrversuchen immer oberstes Gebot sei, sich niemand überschätzen und er sich stets im Rahmen seiner Möglichkeiten verhalten solle. Alle Fahraufgaben im Rahmen dieser Studie waren selbstverständlich freiwillig. Sollte den Teilnehmern etwas nicht gefallen bzw. eine Aufgabe nicht in Frage kommen, konnte jederzeit abgebrochen oder zur nächsten Aufgabe übergegangen werden.

2.5 Teilnehmer

Beginnend im März 2016 wurden Motorradfahrer auf der Dortmunder Messe „MOTORRÄDER 2016“ hinsichtlich ihrer aktiven Teilnahme an der Studie akquiriert. Darüber hinaus bestand die Möglichkeit auf die entsprechende Ausschreibung auf der ifz-Webseite zu reagieren. Zahlreiche Interessierte hatten sich für die Teilnahme beworben, letztendlich konnten unter Einbezug zeitlicher und örtlicher Einschränkungen 103 Motorradfahrer zur Teilnahme eingeladen werden.

103 Motorradfahrer haben an mehreren Terminen im Juni und Juli 2016 an der ifz-Studie teilgenommen. Ausgewertet wurden die Daten von 101 Teilnehmern.

Das Kollektiv der Teilnehmer besteht zu 87,1 Prozent aus männlichen und 12,9 Prozent aus weiblichen Personen. Der geschlechtsspezifische Anteil entspricht damit etwa dem Anteil der weiblichen Halter am Gesamtbestand an Krafträdern in Deutschland (13,4% am 1. Januar 2016)⁸

Die Spannweite des Alters der Teilnehmer beträgt 53 Jahre. Beginnend mit einem Alter von 17 Jahren bis zu einem Alter von 70 Jahren. Die Altersklasse der über 50-Jährigen dominiert mit 55,4 Prozent.

Einen weiteren Großteil stellen die 40- bis 49-Jährigen mit 26,7 Prozent, gefolgt von den 30- bis 39-Jährigen mit einem Anteil von 9,9 Prozent.

Im Mittel betrug das Alter der Befragten 48,7 Jahre (arithmetischer Mittelwert) und passt damit zum derzeitigen Durchschnittsalter der Motorradhalter in Deutschland von ca. 49 Jahren⁹.

Die Teilnehmer fuhren im Durchschnitt (arithmetischer Mittelwert) seit 27 Jahren Motorrad, teilweise mit Unterbrechung. Der Großteil nutzte das Motorrad überwiegend in der Freizeit (71,3 %). Im Alltag bewegten 15,9 Prozent der Teilnehmer ihr Motorrad. 10,9 Prozent nutzten das Motorrad im Alltag als auch in der Freizeit, keine Angabe dazu lieferten 1,9 Prozent.

73 der 101 Motorräder waren mit ABS ausgestattet, was einem Anteil von 72,3 Prozent entspricht. Die übrigen Teilnehmer (28 = 27,7 %) hatten die Fahraufgaben ohne die Unterstützung dieses Fahrerassistenzsystems absolviert.

⁸ Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg

⁹ Quelle: Destatis, 2014, Wiesbaden

3 Auswertung

3.1 Ergebnisse Bremsvermögen

Abbildung 14 zeigt die Ergebnisse von 101 Teilnehmern der ersten Fahraufgabe „Vollbremsung bis zum Stillstand aus 50, 70 und 100 km/h“ (siehe Kap. 2.4). Innerhalb der jeweiligen Geschwindigkeitsbereiche 50, 70 und 100 km/h sind deutliche Streuungen auszumachen. Dies nicht nur mit Blick auf die erreichten Anhaltewege, sondern auch auf die gefahrenen Geschwindigkeiten. Dies begründet sich darin, dass es den Teilnehmern kaum gelang, den Bremsvorgang mit exakt 50, 70 oder 100 km/h zu beginnen. Vorzeitige Gaswegnahme, Tachoabweichungen und natürlich auch die Konzentration auf die Ampel spielen hierbei die zentralen Rollen. Die Geschwindigkeitsauswertungen des Datenrecorders zeigten, dass beispielsweise für die Bremsungen aus 50 km/h die tatsächliche Geschwindigkeit zwischen 38 und 61 km/h lagen. Die erreichten Anhaltewege dabei lagen zwischen 13,7 und 30,0 m. Gleiche Streubreiten zeigten sich bei den weiteren Fahraufgaben zu 2. und zu 3.

Deutlich ist zu erkennen, dass die interindividuelle Streuung der Ergebnisse sowohl mit Blick auf die Anhaltewege als auch auf die gefahrene Geschwindigkeit mit zunehmender Geschwindigkeit deutlich zunimmt.

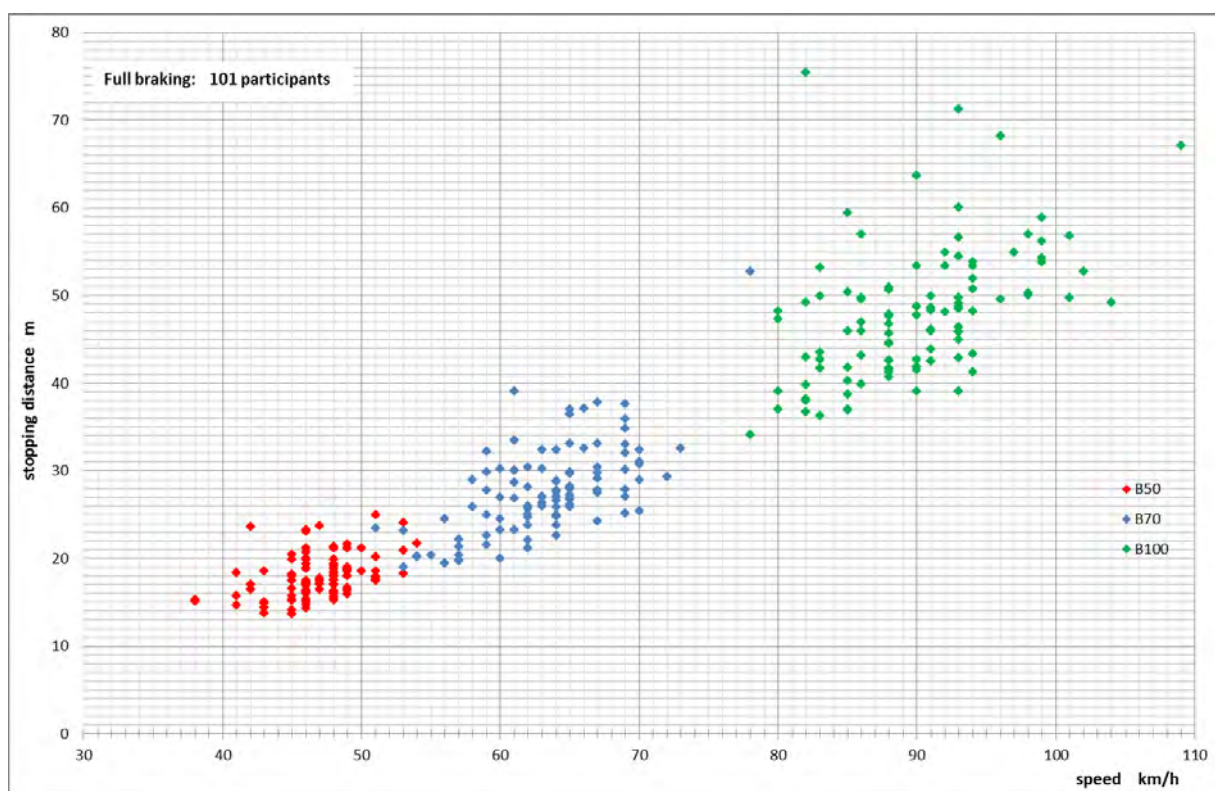


Abb. 14. Bremsergebnisse aller Teilnehmer bei 50, 70 und 100 km/h

Um die verschiedenen Ergebnisse der Teilnehmer vergleichen zu können, wurden die ermittelten Daten eines jeden Teilnehmers mit Hilfe einer Regressionsanalyse hinsichtlich der festgelegten Ausgangsgeschwindigkeiten umgerechnet (Abb. 15).

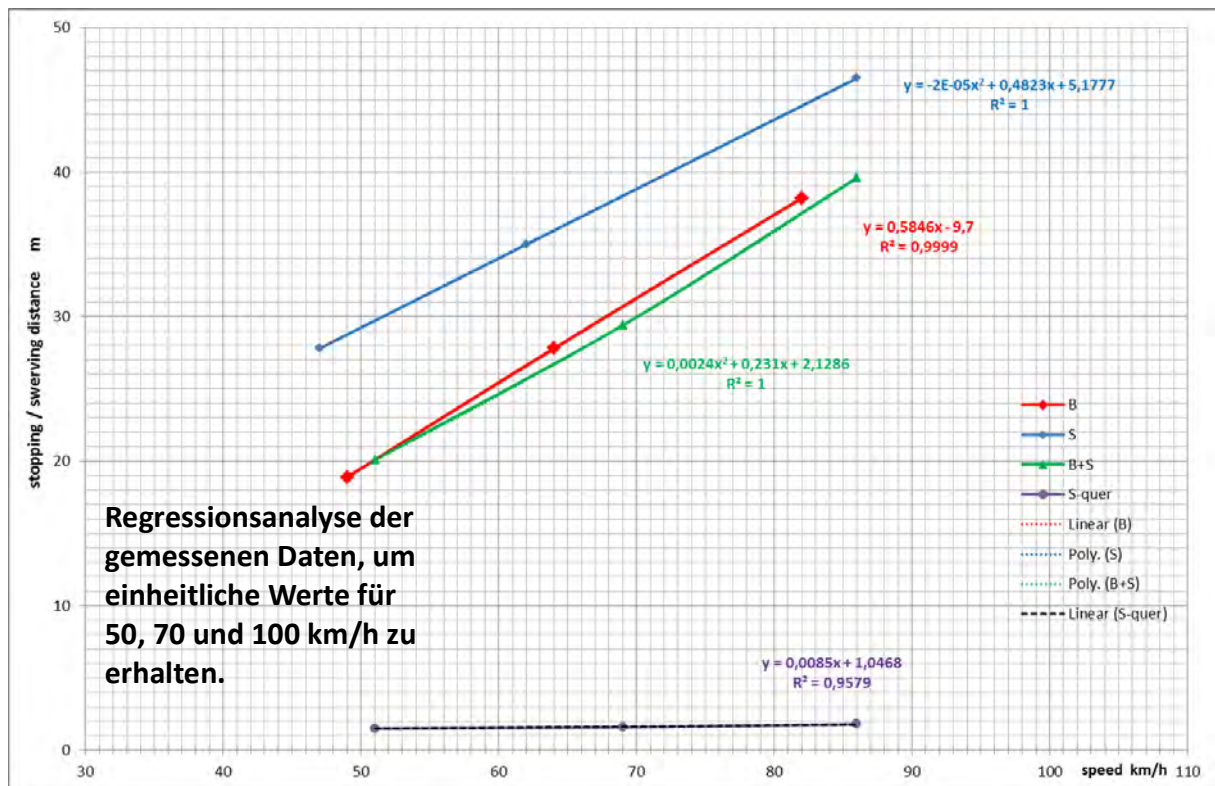


Abb. 15. Beispiel für eine Regressionsanalyse eines Teilnehmers

In Abbildung 15 entspricht die rote Kurve der „Vollbremsung bis zum Stillstand“, die blaue Kurve dem „3,5-Meter Spurversatz“, die grüne Kurve dem Anhalteweg bei der „Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz“ und die schwarze Kurve dem dabei erreichten seitlichen Spurversatz. Anhand der ermittelten Regressionsgleichungen (siehe Abb. 15), die alle einen sehr hohen Korrelationskoeffizienten besaßen, wurden die Anhalte- und Ausweichwege bei 50, 70 und 100 km/h berechnet. Auch kam es vor, dass eine Aussage bei 100 km/h wegen der zu gering gefahrenen Geschwindigkeit und der uneinheitlichen Punkteverteilung innerhalb der Kurve nicht möglich war. Diese Daten blieben somit unberücksichtigt.

Welche Differenzen sich in den Anhaltewegen bei der „Vollbremsung bis zum Stillstand“ ermitteln ließen, zeigt Tabelle 1.

Tab. 1. Normierte Minima und Maxima der Bremsergebnisse

	50 km/h	70 km/h	100 km/h
Kürzester Anhalteweg	15,9 m	25,2 m	42,7 m
Längster Anhalteweg	30,1 m	46,7 m	83,6 m
Differenz	14,2 m	21,5 m	40,9 m

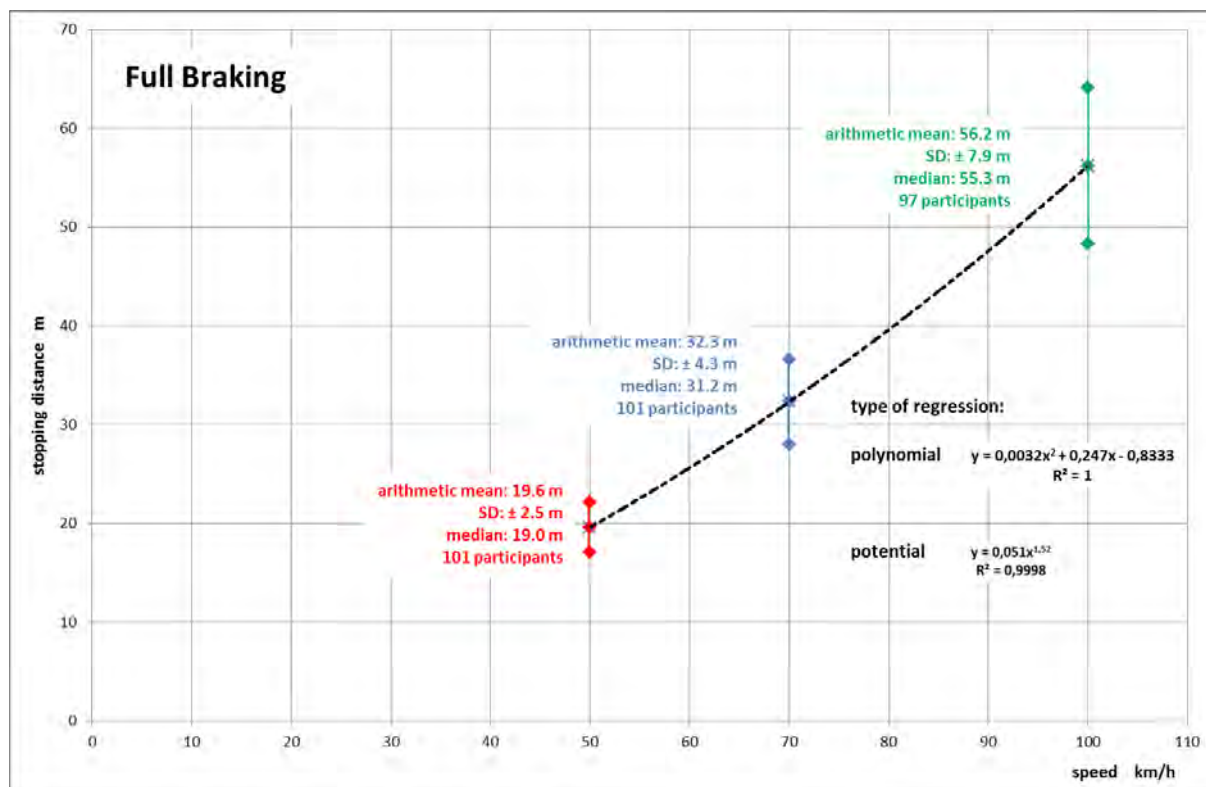


Abb. 16. Normierte Mittelwerte der Bremsergebnisse bei 50, 70 und 100 km/h

Entsprechend Abbildung 16 liegen die arithmetischen Mittelwerte und Mediane eng beieinander. Um die Ergebnisse hinsichtlich der ermittelten Anhaltewege nicht zu übervorteilen, beziehen wir uns im Weiteren in erster Linie auf das arithmetische Mittel, was bei allen drei Geschwindigkeiten den längeren durchschnittlichen Anhalteweg ermittelt.

Wie die Abbildung 17 veranschaulicht, ist der Anhalteweg die Strecke, die vom Erkennen einer Gefahr bis zum Stillstand benötigt wird. Die Faustformel für den Anhalteweg bei einer Gefahrenbrem-

sung, die den Berechnungen des theoretischen und praktischen Prüfungsstoffs der Führerscheinprüfung zugrunde liegt, kommt bei 100 km/h auf 80 Meter und berechnet sich folgendermaßen¹⁰:

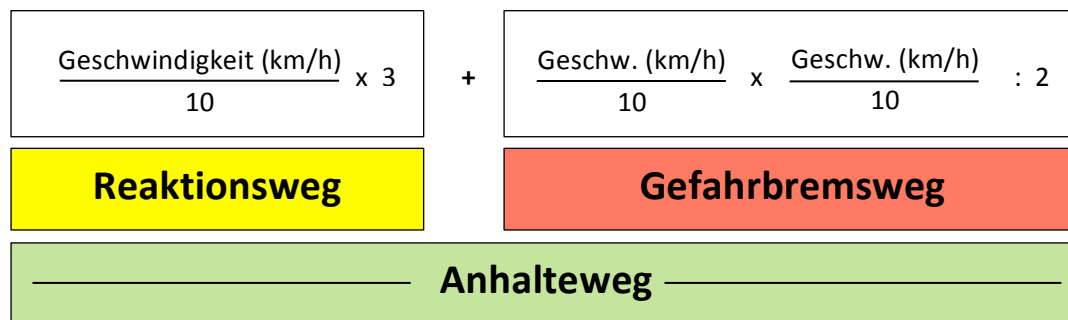


Abb. 17. Schema „Anhalteweg“

Die Werte der aktuell ermittelten Anhaltewege unserer Fahrversuche liegen deutlich unterhalb der theoretischen Werte. Als Gemeinsamkeit von Theorie und Praxis kann festgehalten werden, dass sich bei einer Verdopplung der Geschwindigkeit der Anhalteweg bei Gefahrbremungen in etwa verdreifacht.

Wie in den Ausführungen zum Versuchsaufbau geschildert wurde, beinhalten die gemessenen Anhaltewege die Reaktionszeiten der Teilnehmer, so wie es in realen Situationen auch der Fall wäre. Anzumerken ist dazu, dass die Teilnehmer durch den Einsatz des Ampelsignals wussten, wann sie zu reagieren hatten, wodurch sich gegebenenfalls in unseren Versuchen kürzere Reaktionszeiten zeigten.

Die Ergebnisse lassen ebenfalls erkennen, dass sich bei den Bremsungen die Standardabweichungen mit zunehmender Geschwindigkeit vergrößern. Dies ist ein Indiz dafür, dass die Bremsmanöver bei höherem Tempo für die Teilnehmer schwieriger wurden. Ergo: Je schwieriger die Aufgabenstellung beim Bremsen, desto größer sind die Unterschiede im Ergebnis.

Wie bereits unter 2.5 beschrieben, sind die Fahrzeuge von 73 Teilnehmern mit einem blockiergeschützten Bremssystem (ABS) ausgestattet. 28 Teilnehmer dagegen bewegen ein motorisiertes Zweirad ohne ABS. Abbildung 18 zeigt die Auswirkungen der verschiedenen Bremssysteme auf die erzielten Anhaltewege.

¹⁰ Quelle: Begleitbuch „Fahren lernen“ – Grundwissen für alle Klassen, Zusatzwissen für die Klassen B, BE, L, M und S; Verlag Heinrich Vogel, München 2012

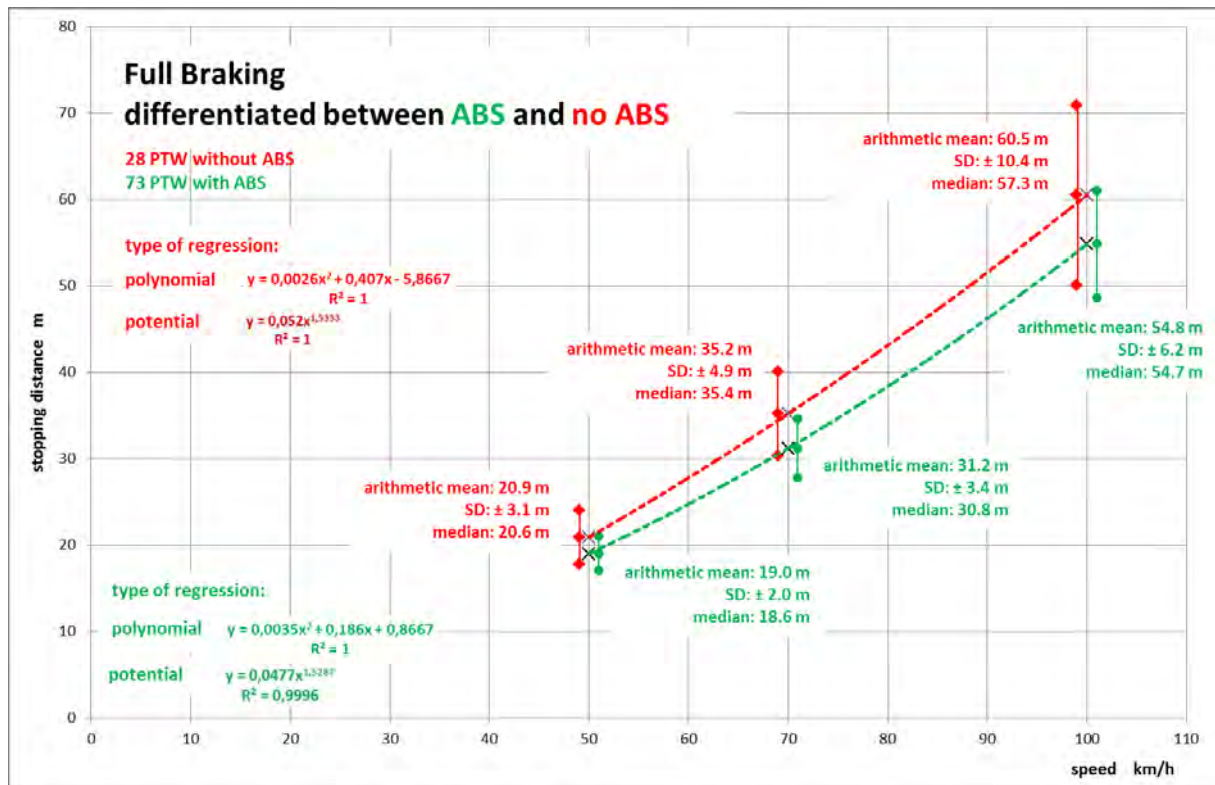


Abb. 18. Bremsergebnisse mit und ohne ABS

Die jeweiligen arithmetischen Mittel der Anhaltewege stellen sich demnach wie folgt dar:

Tab. 2. Bremsergebnisse mit und ohne ABS

	Meter bei 50 km/h	Meter bei 70 km/h	Meter bei 100 km/h
Mit ABS	19,0	31,2	54,8
Ohne ABS	20,9	35,2	60,5
Differenz	1,9	4,0	5,7

Die Resultate überraschen nicht. ABS ermöglicht den Teilnehmern kürzere Anhaltewege. Es ist bekannt, dass die meisten Fahrer bessere Anhaltewege erzielen können, wenn ihr Fahrzeug mit ABS ausgestattet ist. Auch hier zeigt sich, dass mit schwerer werdender Aufgabenstellung in Form der höheren Geschwindigkeit die Unterschiede zwischen den Teilnehmern mit und ohne ABS hinsichtlich ihrer erzielten Anhaltewege zunehmen.

Ergänzend liefert die Abbildung 19 Mittelwerte der mittleren Bremsverzögerungen für den Vergleich der Bremswege mit und ohne ABS.

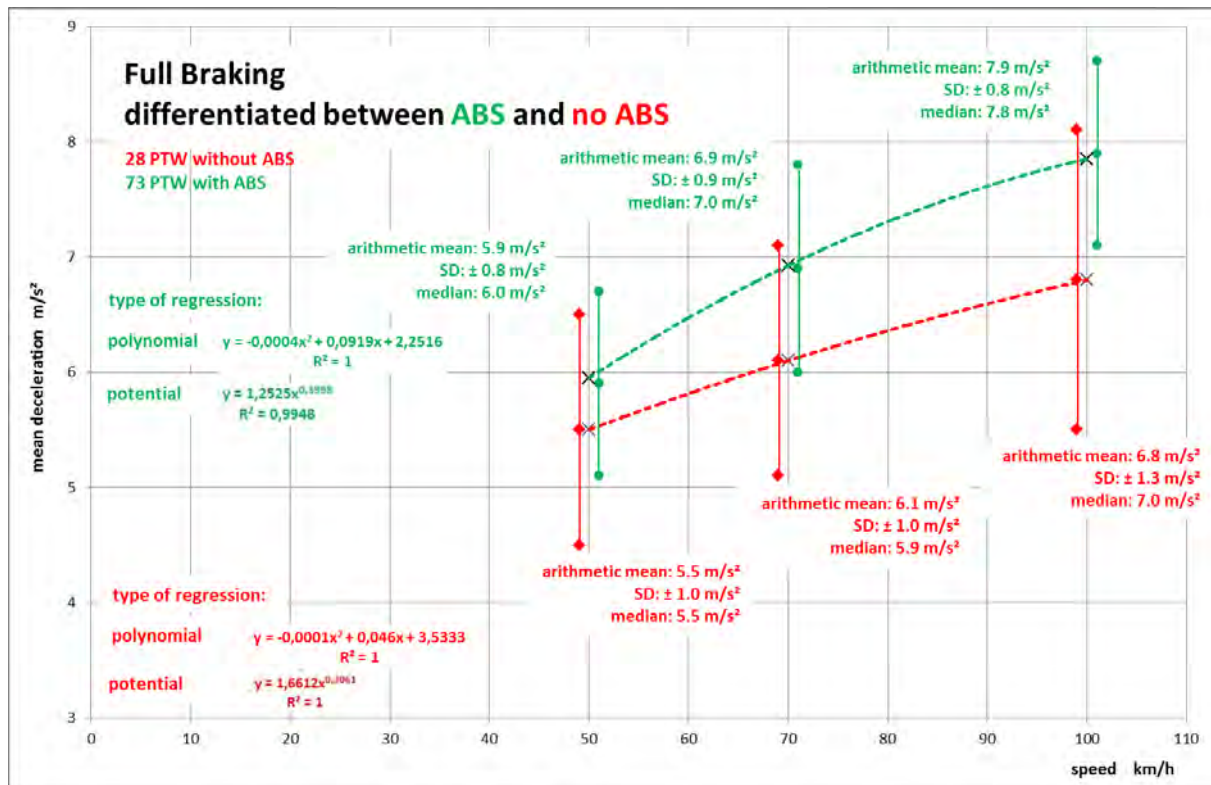


Abb. 19. Mittlere Bremsverzögerungen mit und ohne ABS (ohne Reaktionsweg)

Da wir in unseren Versuchen die Anhaltewege gemessen haben, mussten für die Auswertung der mittleren Bremsverzögerung die jeweiligen Reaktionszeiten herausgerechnet werden. Da die Teilnehmer auf eine Ampel reagiert haben und auch wussten, wann und wo die Ampel zum Einsatz kommt, haben wir die Reaktionszeiten mit 0,21 Sekunden sehr kurz angesetzt. Hierdurch wurden die Anhaltewege bei 50 km/h um 3 Meter, bei 70 km/h um 4 Meter und bei 100 km/h um 6 Meter gekürzt, um auf die Gefahrenbremswege schließen zu können.

Durch dieses Vorgehen fallen die mittleren Bremsverzögerungen im Durchschnitt geringer aus, weshalb der Anteil des benötigten Bremsweges vom Anhalteweg größer wird. Bei der späteren Betrachtung möglicher Aufprallsituationen am Ende einer Bremsung führen die geringeren Bremsverzögerungen wiederum zu höheren Kollisionsgeschwindigkeiten. Dies bietet den Vorteil hier eher nachteilige Situationen zu betrachten als beschönigte. Von daher beziehen wir uns also auf das „Worst-Case-Szenario“.

Die jeweiligen arithmetischen Mittel der mittleren Bremsverzögerungen stellen sich wie folgt dar:

Tab. 3. Mittlere Bremsverzögerungen mit und ohne ABS (ohne Reaktionsweg)

	m/s ² bei 50 km/h	m/s ² bei 70 km/h	m/s ² bei 100 km/h
Mit ABS	5,9	6,9	7,9
Ohne ABS	5,5	6,1	6,8
Differenz	0,4	0,8	1,1

Tabelle 3 zeigt uns eine zunehmende mittlere Bremsverzögerung mit zunehmender Geschwindigkeit.

3.2 Ergebnisse Spurversatz

Die Ergebnisse der zweiten Fahraufgabe „3,5-Meter Spurversatz ohne dabei zu bremsen aus 50, 70 und 100 km/h“ (siehe Kap. 2.4) liefert die Abbildung 20. Die Ergebnisse zeigen auf, wie viel Strecke in Metern die Teilnehmer für einen Spurversatz von 3,5 Meter (nach links) bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten benötigten.

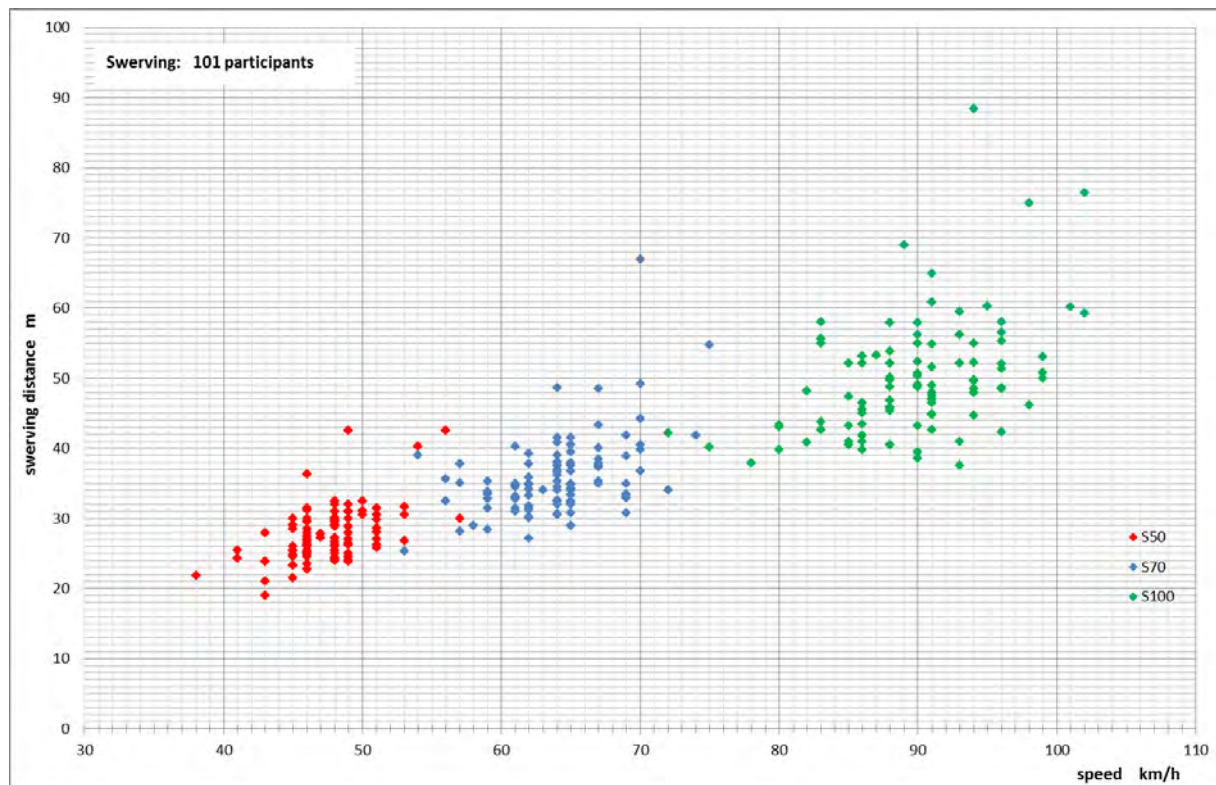


Abb. 20. Benötigte Strecken für den 3,5-Meter-Spurversatz bei 50, 70 und 100 km/h

Innerhalb der jeweiligen Geschwindigkeitsbereiche 50, 70 und 100 km/h sind – wie bei den Ergebnissen der Bremsungen auch – deutliche interindividuelle Streuungen unter den 101 Teilnehmern auszumachen, weshalb auch hier die Werte mit Hilfe der zuvor beschriebenen Regressionsanalyse normiert wurden. Diese Ergebnisse sind in Abbildung 23 festgehalten.



Abb. 21. Spurversatz 3,5 m



Abb. 22. Erreichen der Gassenmitte

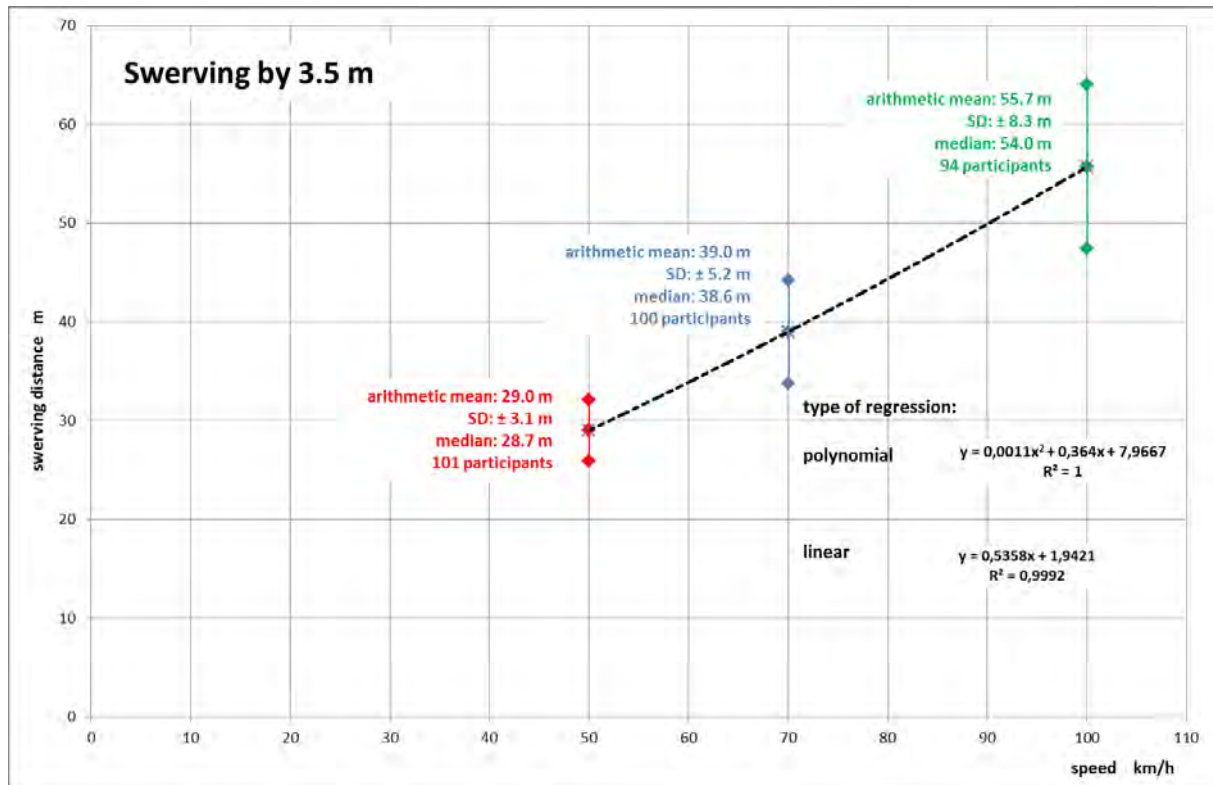


Abb. 23. Normierte Mittelwerte für benötigte Ausweichwege des 3,5-Meter-Spurversatzes

Welche Differenzen sich in den Ausweichwegen ermitteln ließen, zeigt Tabelle 4.

Tab. 4. Normierte Minima und Maxima der Ausweichwege (Spurversatz 3,5 m)

	50 km/h	70 km/h	100 km/h
Kürzester Ausweichweg	23,2 m	30,0 m	39,1 m
Längster Ausweichweg	40,3 m	67,0 m	82,1 m
Differenz	17,1 m	37,0 m	43,0 m

Die jeweiligen arithmetischen Mittelwerte der Spurversatzstrecken stellen sich wie folgt dar:

Tab. 5. Normierte Mittelwerte für die benötigten Strecken des 3,5-Meter-Spurversatzes

	50 km/h	70 km/h	100 km/h
Strecke Spurversatz	29,0 m	39,0 m	55,7 m

3.3 Vergleich „Bremsvermögen und Spurversatz“

Abbildung 24 veranschaulicht im direkten Vergleich die benötigten Strecken für die Anhaltewege und die Spurversätze aus den drei verschiedenen Geschwindigkeiten. Wie zu erkennen ist, erzielen die Teilnehmer bis zu einer Geschwindigkeit von annähernd 100 km/h beim Bremsen im Mittel die kürzeren Wege als beim Ausweichen. Beim schnellen Ausweichen, um das es hier geht, zeigten viele Teilnehmer deutliche Schwächen (vgl. hierzu Tab. 4).

Beobachtungen bei der Durchführung der Fahraufgaben zufolge, hatten viele Teilnehmer beim Spurversatz Schwierigkeiten einen gezielten Lenkimpuls setzen zu können. Der Lenkimpuls ist das kurzzeitige Lenken in die entgegengesetzte Richtung zu Beginn des Spurversatzes, um das Motorrad in die gewünschte Schräglage zu bringen. Obwohl der Lenkimpuls beim Einleiten jeder Kurvenfahrt und damit auch bei jedem Ausweichmanöver (Spurversatz) immer im Spiel ist, kann er bewusst oder auch unbewusst gesetzt werden. Wird er bewusst und gezielt eingesetzt, kann er den Spurversatz beschleunigen, was darauf schließen lässt, dass die meisten Teilnehmer den Lenkimpuls unbewusst einsetzen.

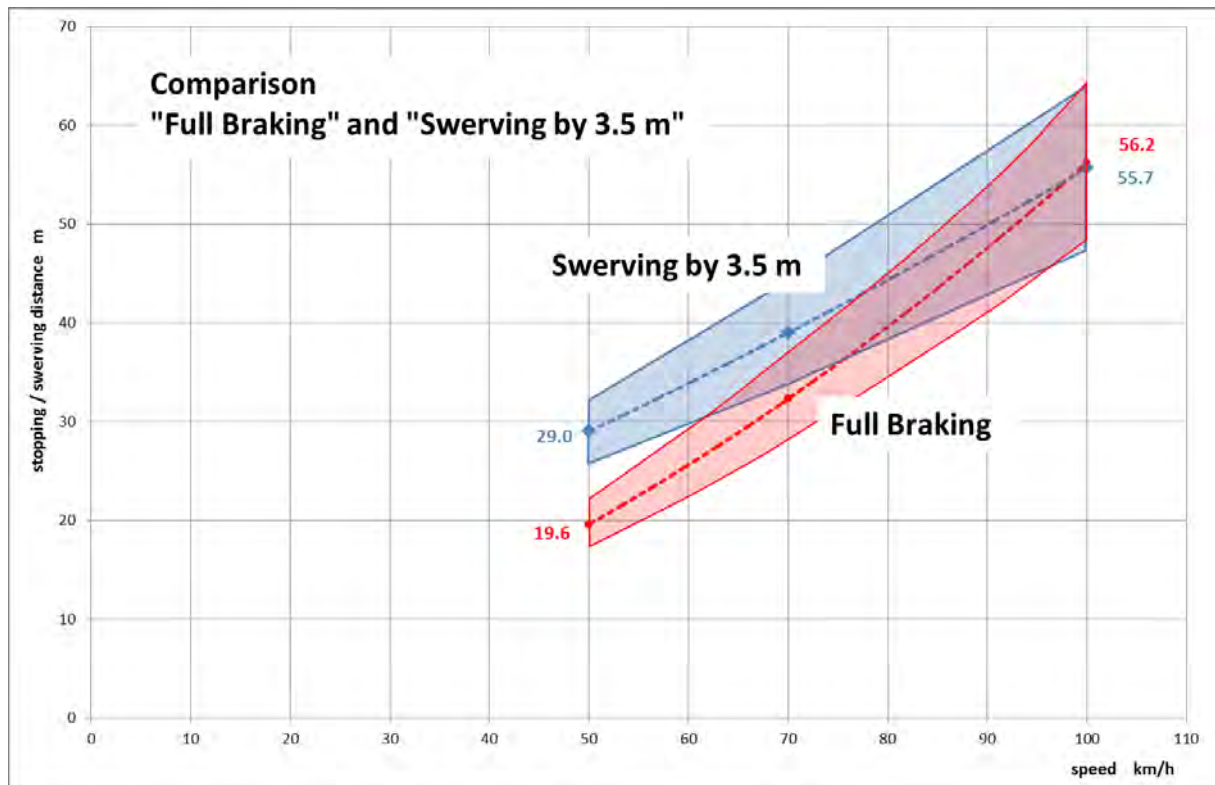


Abb. 24. Vergleich: Anhaltewege und benötigte Strecken des 3,5-Meter-Spurversatzes

Tab. 6. Vergleich: Anhaltewege und Ausweichwege des 3,5-Meter-Spurversatzes

	50 km/h	70 km/h	100 km/h
Anhalteweg	19,6 m	32,3 m	56,2 m
Ausweichweg	29,0 m	39,0 m	55,7 m
Differenz	9,4 m	6,7 m	0,5 m

Die Entwicklung der Differenzen zwischen benötigtem Anhalteweg und Spurversatz gemäß Tabelle 6 belegt klar, dass mit zunehmender Geschwindigkeit das Ausweichen an Bedeutung gewinnt.

68 Prozent der Teilnehmer auf Motorrädern ohne ABS erzielen bis zu einer Geschwindigkeit von 77 km/h kürzere Wege durch das Bremsen. Ab einer Geschwindigkeit von 78 km/h ist dann im direkten Vergleich der Spurversatz bzw. das Ausweichen vorteilhafter (Abb. 25).

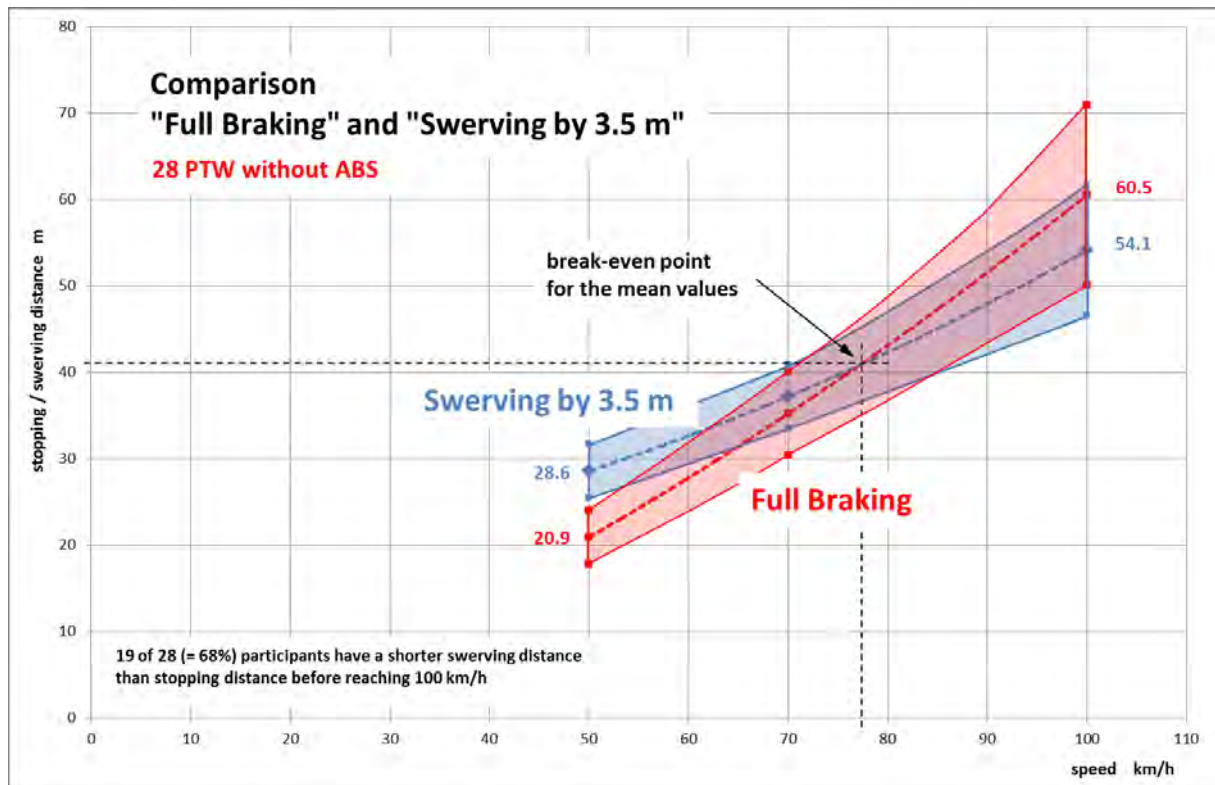


Abb. 25. Vergleich: Anhalteweg ohne ABS – Spurversatz

Die Nutzenschwelle (break-even point) zwischen Bremsung ohne ABS und Spurversatz liegt also bei einer Geschwindigkeit von 77 km/h. Der Anhalteweg und auch die benötigte Strecke für den 3,5-Meter-Spurversatz liegen somit bei ca. 41 Metern. Ab hier wird bei höherer Geschwindigkeit mehr Strecke für das Bremsmanöver benötigt als für den Spurversatz.

Bei den Teilnehmern auf Motorrädern mit ABS sieht es hingegen anders aus. Hier dominieren die kürzeren Anhaltewege bis zu einer Geschwindigkeit von 100 km/h (Abb. 26).

Dies dürfte unter anderem darin begründet sein, dass die Länge des Anhalteweges u. a. davon abhängt, wie schnell eine hohe Bremsverzögerung nach dem Bremsbeginn aufgebaut wird. Die meisten Fahrer verzögern jedoch direkt nach Bremsbeginn nicht stark genug, zum Beispiel aus Angst vor einer Vorderradblockade. Dadurch verlängert sich der Anhalteweg deutlich. Die anfänglich nicht genutzten Meter Bremsweg lassen sich auch durch stärkeres Bremsen hinterher nicht mehr kompensieren. Dieses Verhalten ist bei den Nutzern von Motorrädern ohne ABS stärker ausgeprägt. Fahrer mit der Unterstützung von ABS bauen schneller eine höhere Verzögerung auf, was sich letztendlich in einem kürzeren Anhalteweg widerspiegelt.

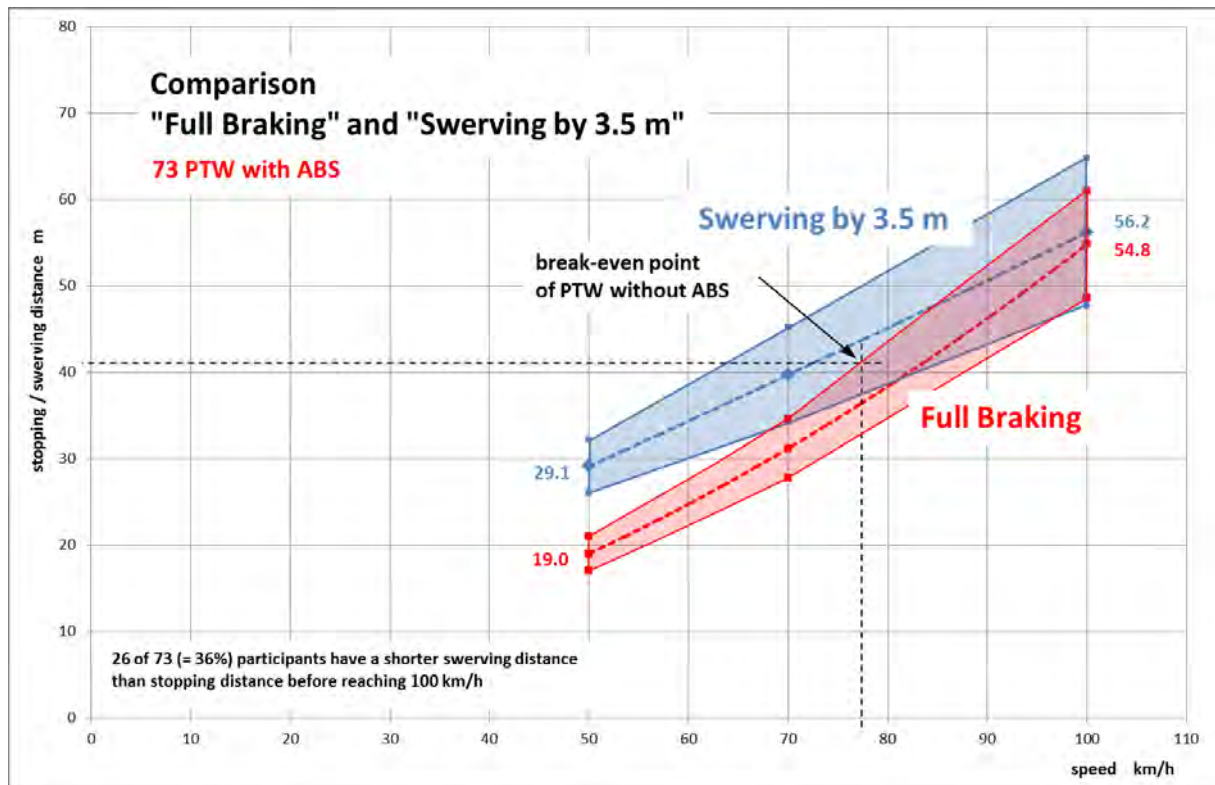


Abb. 26. Vergleich: Anhalteweg mit ABS – Spurversatz

Auch die Bezugnahme auf die Auswertungen der Unfalldatenbank GIDAS¹ bestätigt, dass der Geschwindigkeitsabbau in Notsituationen unumgänglich ist. Dem zufolge stehen Motorradfahrern bei Unfällen laut GIDAS von der Reaktion bis zur Kollision im Mittel die folgenden Wege zur Verfügung:

Innerhalb geschlossener Ortschaften: 19,4 Meter

Außerhalb geschlossener Ortschaften: 36,9 Meter

Bezugnehmend auf unsere Teilnehmer-Ergebnisse hinsichtlich der mittleren Anhalte- und Ausweichwege, ergeben sich die folgenden Geschwindigkeiten passend zu diesen GIDAS-Werten:

Innerhalb geschlossener Ortschaften benötigten die Teilnehmer 19,4 Meter

... für den Anhalteweg bei einer Geschwindigkeit von 50 km/h

... für den Ausweichweg bei einer Geschwindigkeit von 32 km/h

Außerhalb geschlossener Ortschaften benötigten die Teilnehmer 36,9 Meter

... für den Anhalteweg bei einer Geschwindigkeit von 76 km/h

... für den Ausweichweg bei einer Geschwindigkeit von 65 km/h

Es bleibt festzuhalten, dass sowohl innerhalb als auch außerhalb von Ortschaften die Anhaltewege stets kürzer sind, wenn es um die durchschnittlichen Wege geht, die Motorradfahrern bis zu einer Kollision zur Verfügung stehen.

3.4 Bremsvermögen bei gleichzeitigem Spurversatz

Zur Erinnerung: Es geht darum, schnellstmöglich zum Stehen zu kommen und dabei – also gleichzeitig – einen maximalen Spurversatz nach links durchzuführen. Zwei verschiedene Werte wurden nach dem Absolvieren dieser Fahraufgabe festgehalten: Zum einen der benötigte Anhalteweg bei der jeweils gefahrenen Geschwindigkeit, zum anderen die Länge des dabei erzielten Spurversatzes nach links.

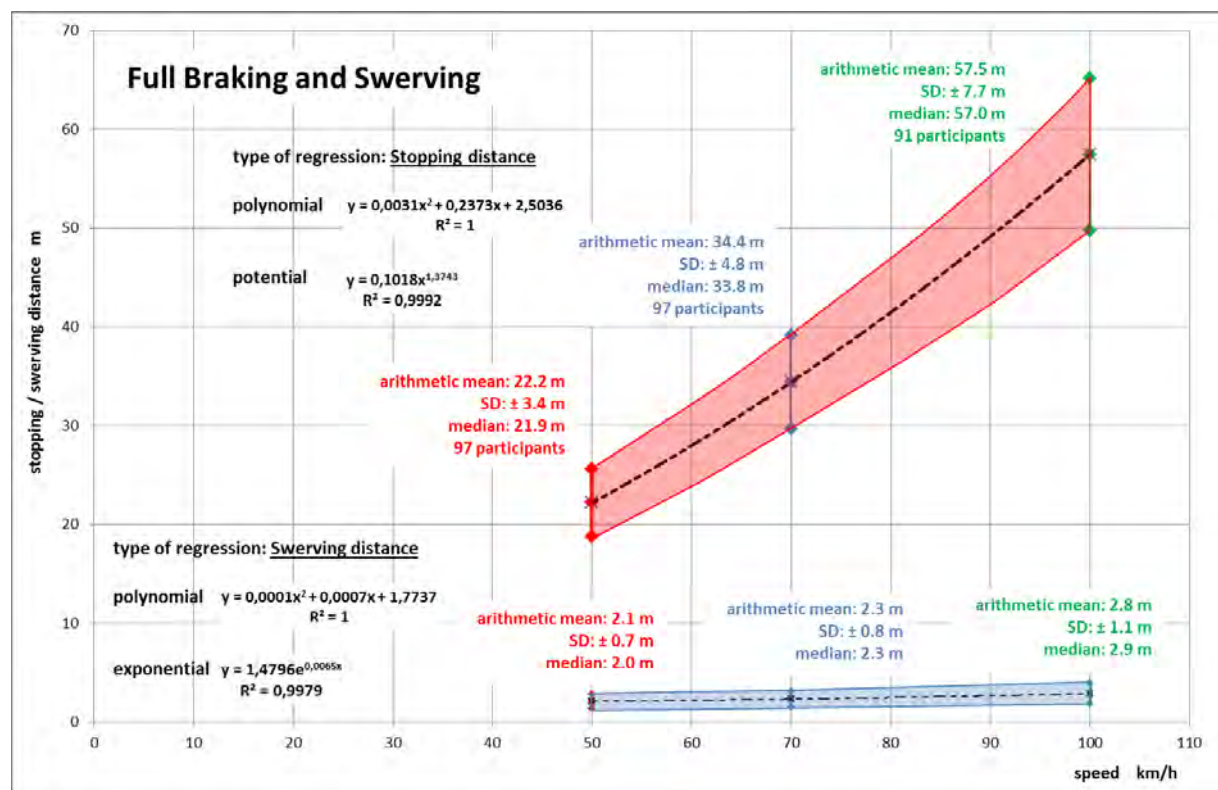


Abb. 27. Normierte Mittelwerte für Vollbremsungen inkl. Spurversatz

Im Vergleich zu den Anhaltewegen ohne gleichzeitigen Spurversatz (s. 3.1) fallen die arithmetischen Mittelwerte der Anhaltewege bei dieser Fahraufgabe bei jeder Geschwindigkeit etwas höher aus. Die Differenz der beiden Anhaltewege – ohne und mit Spurversatz – nimmt mit steigender Geschwindigkeit von 2,6 m (bei 50 km/h) bis zu 1,3 m (bei 100 km/h) ab. Die Mittelwerte der dabei erreichten Spurversätze liegen je nach Geschwindigkeit zwischen 2,1 und 2,8 Metern. Abbildung 28 kombiniert die Ergebnisse der verschiedenen Bremsungen (Fahraufgabe 1 und 3).

Auf den ersten Blick zeigt sich eine relativ große Streuung der Einzelergebnisse der Teilnehmer. Aber auch hier zeichnen sich für die jeweiligen Geschwindigkeiten Häufungen ab, die zu interessanten Aussagen führen.

Für die Ergebnisdarstellung wurde zunächst die Differenz der beiden normierten (mit einheitlicher Geschwindigkeit 50, 70 und 100 km/h), benötigten Anhaltewege eines jeden Teilnehmers aus der Fahraufgabe 1 (nur Bremsung) und Fahraufgabe 3 (Bremsung + Spurversatz) gebildet. Dies ergab einen positiven oder negativen Wert. Positiv dann, wenn ein kürzerer Anhalteweg bei Fahraufgabe 3 erzielt wurde als in Fahraufgabe 1. Dies war bei 16,5 Prozent der Teilnehmer der Fall ($n = 97$). Bei dem Großteil der Fahrer von 83,5 Prozent war der Anhalteweg aus Fahraufgabe 3 länger als der aus Fahraufgabe 1. Wir erhalten hier einen negativen Wert. Die x-Achse der Grafik liefert uns also eine Aussage darüber, ob der jeweilige Teilnehmer bei der Durchführung der Fahraufgabe 3 mehr oder weniger Weg zum Bremsen benötigt hat als bei der Einzelbremsung in Fahraufgabe 1 (\rightarrow variance of stopping distance: vsd). Die Mittelwerte der Differenzen der erzielten Anhaltewege befinden sich bei allen drei Geschwindigkeiten jeweils im Bereich links der Null-Linie. Es wurde somit im Mittel jeweils ein etwas längerer Anhalteweg bei der Fahraufgabe 3 benötigt.

Die y-Achse liefert uns den Wert für den erreichten Spurversatz (\rightarrow swerving distance: swd) während der Bremsung von Fahraufgabe 3.

Darüber hinaus wurden für die drei Geschwindigkeiten 50, 70 und 100 km/h die Bereiche um die Mittelwerte plus/minus Standardabweichung farblich gekennzeichnet.

Dabei bleibt folgende interessante Erkenntnis festzuhalten: Trotz eines leicht verlängerten Anhalteweges, der je nach Geschwindigkeit zwischen 2,6 m und 1,3 m länger ist (vsd), kann dabei im Mittel ein Spurversatz zwischen 2,1 m und 2,8 m erzielt werden (swd).

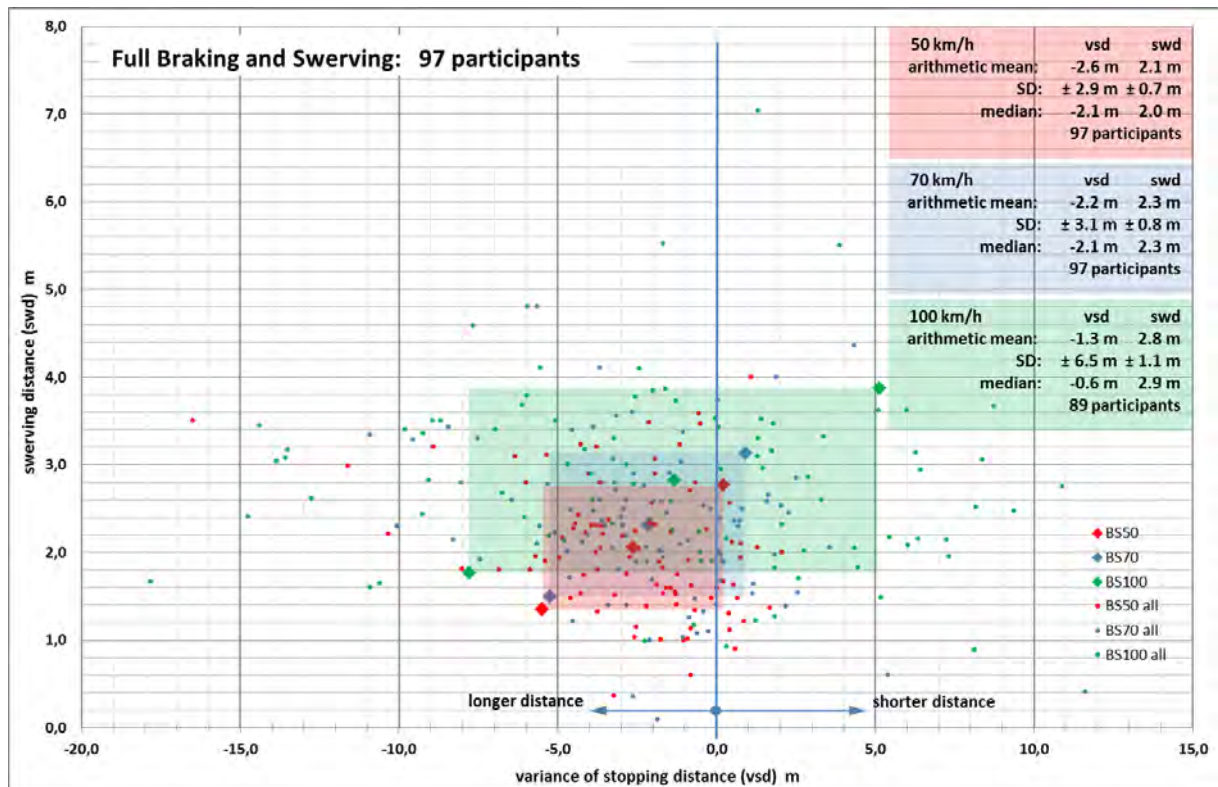


Abb. 28. Vergleich: Vollbremsung und Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz

Dies bedeutet zwar einen etwas längeren Anhalteweg, dafür aber einen relativ großen Spurversatz:

Tab. 7. Ergebnisse Bremsung und Spurversatz gleichzeitig

	50 km/h	70 km/h	100 km/h
vsd	-2,6 m	- 2,2 m	-1,3 m
swd	+ 2,1 m	+ 2,3 m	+ 2,8 m

Die folgenden Abbildungen 29 und 30 zeigen die Ergebnisse separiert nach Fahrzeugen ohne und mit ABS.

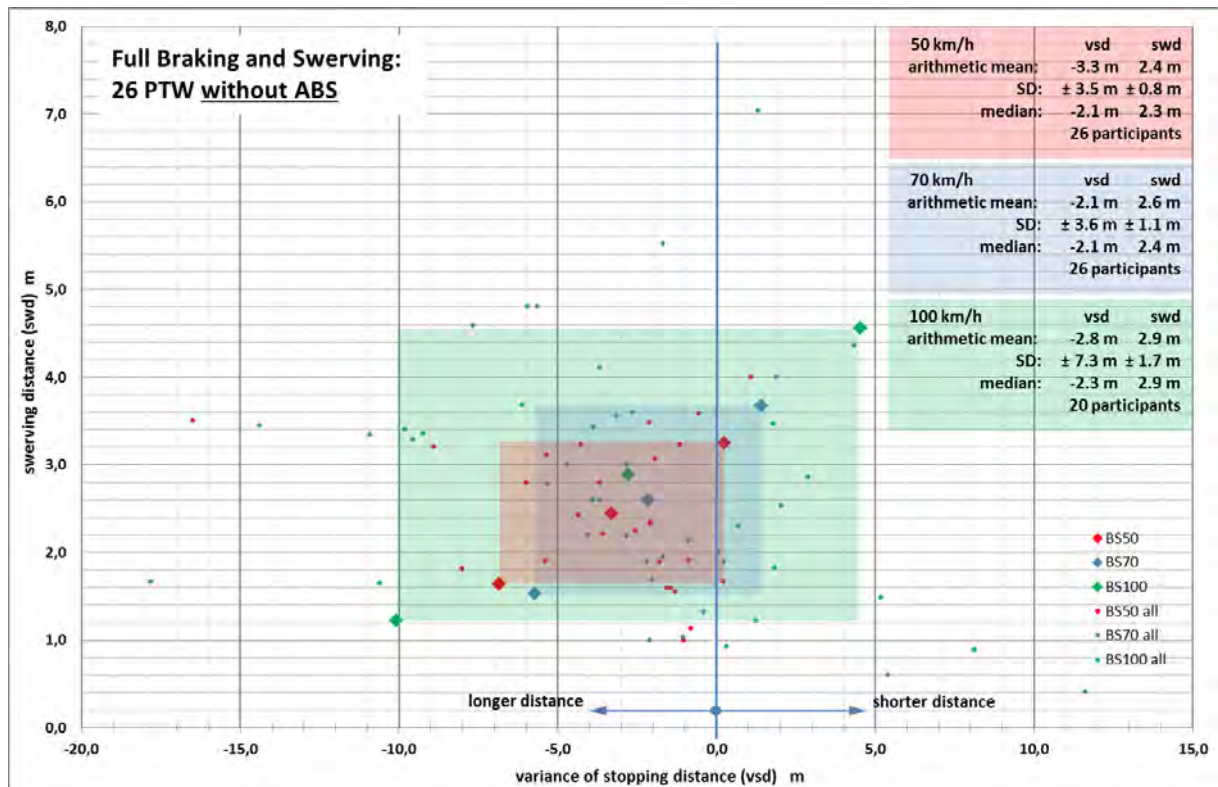


Abb. 29. Vergleich: Vollbremsung ohne ABS und Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz

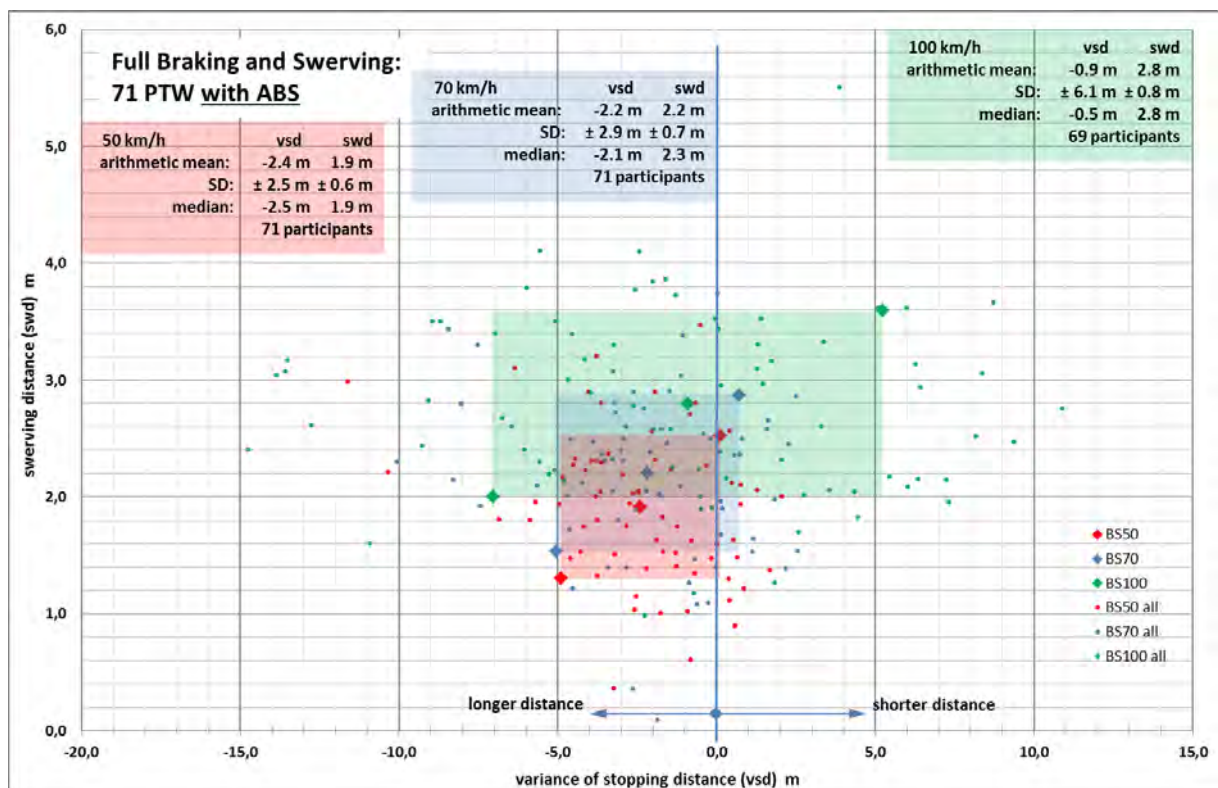


Abb. 30. Vergleich: Vollbremsung mit ABS und Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz

Wir können also festhalten, dass während einer Vollbremsung ein nicht unbeträchtlicher Spurversatz möglich ist – und dies bei Teilnehmern, die dieses Manöver bislang nicht trainiert haben –, ohne dabei großartige Einbußen hinsichtlich des Anhaltewegs hinnehmen zu müssen.

Diese Ergebnisse – mit Blick auf Motorräder ohne und mit ABS – ergeben unter Berücksichtigung der jeweiligen mittleren Bremsverzögerung aus Tabelle 3 die folgenden Kollisionsgeschwindigkeiten (Abb. 31). Hierbei wurde angenommen, dass bei alleiniger Geradeaus-Vollbremsung der Motorradfahrer noch gerade zum Stillstand gekommen wäre.

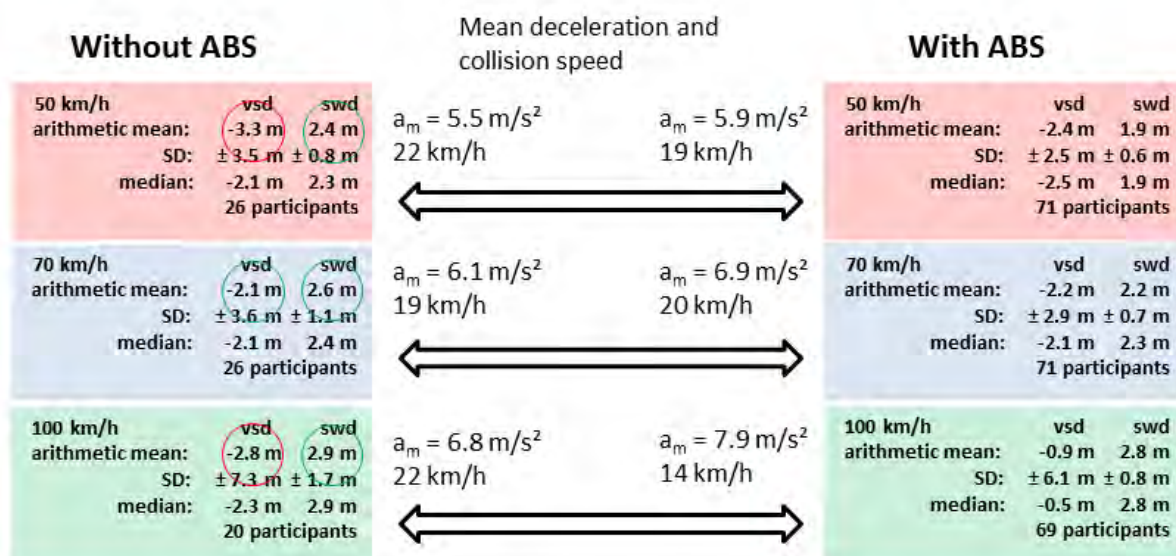


Abb. 31. Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz

Demnach benötigt ein 100 km/h fahrender Motorradfahrer auf einem Motorrad mit ABS für eine Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz einen im Mittel nur 0,9 Meter längeren Anhalteweg, während dessen er aber in der Lage ist 2,8 Meter nach links bzw. auch nach rechts auszuweichen.

Sollte das Ausweichmanöver in diesem Fall nicht hilfreich gewesen sein, würde er im Worst-Case-Szenario mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von 14 km/h auf das Hindernis auftreffen. Ein Risiko, dass aus unserer Sicht mit Blick auf die mögliche Verletzungsschwere in diesem Geschwindigkeitsbereich in Kauf zu nehmen ist, zumal sich hierdurch die Chance eröffnet, am Hindernis vorbei zu kommen.

Abbildung 31 lässt ebenfalls erkennen, dass auch die Fahrer von Motorrädern ohne ABS gute Werte beim Spurversatz (swd) erzielten. Sie waren in allen drei Geschwindigkeitsbereichen höher als bei den Fahrern mit ABS-Motorrädern. Allerdings benötigten sie hierfür in zwei Fällen (50 und 100 km/h) einen längeren Anhalteweg (vsd). Von daher kann festgehalten werden, dass für die Fahraufgabe 3 („Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz bis zum Stillstand“) ein Anti-Blockier-System

(ABS) nicht zwingend erforderlich ist. Auch gab es während der Versuche keinen Sturz wegen eines überbremsten Vorderrades.

4 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorliegende Studie befasst sich mit den verschiedenen Möglichkeiten für Motorradfahrer einer bevorstehenden Kollision mit einem Hindernis entgegenzuwirken. Die zentrale Rolle dabei spielen sich bewegende Hindernisse, wie beispielsweise Pkw, die unvermittelt die eigene Fahrspur kreuzen.

Diesbezüglich wurden eingangs zwei Hypothesen formuliert, deren Gültigkeit abschließend überprüft werden soll.

Hypothese 1:

In Gefahrensituationen mit Kollisionskurs auf ein sich bewegendes Hindernis, ist die Konzentration auf ein Fahrmanöver mit einer eindeutigen Handlungsstrategie von Vorteil. Dieses besteht aus der Kombination einer Vollbremsung mit einhergehendem Ausweichen (Spurversatz). Die Vollbremsung steht dabei immer im Vordergrund.

Ergebnis der Studie: Hypothese 1 kann anhand der Ergebnisse dieser Studie bestätigt werden.

In den meisten Konfliktsituationen im Straßenverkehr, bei denen Motorradfahrern die Kollision mit einem sich bewegenden Hindernis droht, steht die Vernichtung der kinetischen Energie im Vordergrund. Da im Vorfeld meist nicht bekannt ist, wann und wo das sich bewegende Hindernis zum Stillstand kommt, hat das Anhalten möglichst vor dem Hindernis oberste Priorität. Somit muss ein Geschwindigkeitsabbau durch das Einleiten und Durchführen einer Vollbremsung bis zum Stillstand stattfinden. Darüber hinaus besteht die Möglichkeit des Ausweichens (Spurversatz). Der direkte Vergleich der benötigten Strecken für die Vollbremsungen und die Spurversätze aus Geschwindigkeiten von 50, 70 und 100 km/h zeigt, dass die Teilnehmer bis zu einer Geschwindigkeit von 100 km/h bei einer Vollbremsung im Mittel kürzere Wege als beim Spurversatz benötigen. Die schnellen Ausweichmanöver erfordern im Durchschnitt also mehr Strecke als eine Vollbremsung. Bei Fahrern auf Fahrzeugen ohne ABS liegt die Nutzenschwelle von Bremsung und Ausweichmanöver mit Blick auf die Geschwindigkeit weiter unterhalb. Hier ist bereits ab einer Geschwindigkeit von 78 km/h der Spurversatz vorteilhafter. Bei Fahrern auf Fahrzeugen mit ABS dominieren die kürzeren Anhaltewege bis zu einer Geschwindigkeit von etwa 100 km/h.

Betrachten wir neben alleiniger Vollbremsung und alleinigem Spurversatz die dritte Möglichkeit: Die Vollbremsung mit gleichzeitig stattfindendem Spurversatz. Nach unseren Ergebnissen stellt diese Variante ein hervorragendes Fahrmanöver dar, da hierbei – im Gegensatz zur Geradeaus-

Vollbremsung – ein nahezu gleichlanger Anhalteweg erzielt wird, darüber hinaus aber ein nicht zu unterschätzender Spurversatz durchgeführt werden kann. Dieser beträgt je nach Geschwindigkeit zwischen 2,1 und 2,8 Meter. Die Formulierung „... *nahezu gleichlanger Anhalteweg* ...“ bedeutet dabei, dass die hier erzielten Anhaltewege geringfügig länger ausfallen als bei der alleinigen Vollbremsung. Der zusätzliche Anhalteweg liegt je nach Geschwindigkeit zwischen 2,6 und 1,3 Metern, was unter gleichen Bedingungen Kollisionsgeschwindigkeiten zwischen 14 und 22 km/h zur Folge hätte.

Ergeben sich also Situationen, in denen der Anhalteweg nicht mehr ausreichen sollte, kann der Fahrer bei der Durchführung dieses Fahrmanövers durch den gleichzeitig herbeigeführten Spurversatz die Kollision vermeiden. Gelingt dies nicht, kann er während der Vollbremsung seinen Kurs dahingehend beeinflussen, gefährlichere Aufprallbereiche wie zum Beispiel die A-, B- und C-Säule eines Pkw, in Richtung Motorhaube oder Kofferraum, zu vermeiden.

Was das alleinige Ausweichmanöver (Spurversatz) angeht, so sollte dies nur für Situation im Straßenverkehr angewandt werden, die für den Motorradfahrer eindeutig berechenbar sind. Hierbei sollte das Hindernis stehen und sich nicht mehr in Bewegung befinden, so dass auf eine Bremsung verzichtet werden kann. Dieses Manöver ist demnach unter den beschriebenen Voraussetzungen für Geschwindigkeiten ab 100 km/h (ohne ABS ab 78 km/h) zu empfehlen, bei denen nicht mehr genügend Platz zum Anhalten zur Verfügung steht.

Das Hauptaugenmerk sollte also immer auf die Bremsung gerichtet sein. Allerdings sollte das Trainieren von „schnellem Ausweichen“ nicht vernachlässigt werden. Viele der Teilnehmer zeigten hier deutliche Schwächen, die sich unter anderem darin begründen, dass sie den Lenkimpuls entweder nicht richtig erklärt und verstanden oder nie ausreichend trainiert haben.

Hypothese 2:

Komplexe Fahraufgaben, wie eine Vollbremsung mit gleichzeitigem Ausweichen (Spurversatz), können den meisten Motorradfahrern nicht zugemutet werden.

Ergebnis der Studie: Hypothese 2 kann nach Auswertungen der Ergebnisse nicht bestätigt werden.

Lediglich vier der 101 Teilnehmer haben die Durchführung der Fahraufgabe 3 (Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz bis zum Stillstand aus 50, 70 und 100 km/h) abgelehnt. Demnach haben sich 96 Prozent diese Aufgabe nach vorheriger Kenntnisnahme durchaus zugetraut. Wie bei den anderen Fahraufgaben auch, wurden keinerlei Stürze bei der Durchführung dieses Fahrmanövers verzeichnet. Im Durchschnitt erzielten die Teilnehmer ähnlich lange Anhaltewege wie bei den alleinigen Bremsungen und konnten dabei gute Spurversätze realisieren.

Wichtig war es, den Teilnehmern klar zu machen, dass bei dieser Aufgabe das Bremsen im Vordergrund steht und lediglich DABEI ausgewichen wird. Und nicht anders herum!

Einige Teilnehmer hatten am Ende des Fahrmanövers – kurz vor dem Stillstand – Probleme damit, das Motorrad abzufangen. Dies ist darin begründet, dass sich das Motorrad am Ende der Bremsung in Schräglage befindet und ein „Zur-Seite-Kippen“ im Stand drohen kann. Hierbei würde es sich in einer überstandenen Konfliktsituation im Straßenverkehr allerdings um eine Bagatelle handeln. Ein mögliches Umkippen wäre also durchaus in Kauf zu nehmen, wenn man durch den ergänzenden Spurversatz eine Kollision verhindern könnte.

Zu Hypothese 1 und 2 und den daraus resultierenden Aussagen gilt zu berücksichtigen, dass die Fahraufgabe der Vollbremsung und des gleichzeitigen Spurversatzes vom Großteil der Teilnehmer noch nie durchgeführt wurde. Da dieses kombinierte Fahrmanöver nicht in der Fahrschul Ausbildung zum Einsatz kommt und auch in Sicherheitstrainings nicht fest verankert ist, war es für die meisten Teilnehmer das erste Mal, dass sie dieses Manöver absolviert haben. Vor diesem Hintergrund, ist den Ergebnisse im direkten Vergleich zu den bekannten Fahraufgaben wie einer Vollbremsung und einem Ausweichmanöver, die eigentlich beherrscht werden sollten, besondere Beachtung zu schenken.

Vor allem im Vergleich zur „zeitversetzten“ Kombination „Bremsen-Lösen-Ausweichen“ bleibt als eines der zentralen Ergebnisse festzuhalten, dass durch die gleichzeitige Ausübung der Vollbremsung mit dem Spurversatz vorteilhafte Resultate erzielt werden können. Oberste Priorität behält dabei die Reduzierung der Geschwindigkeit. Zudem kann der Fahrer bei der Vollbremsung inklusive Spurversatz bis zum Ende des Fahrmanövers Geschwindigkeit abbauen. Im Gegensatz zum „B-L-A“ kann der Fahrer auch den Vorteil nutzen, sich von Anfang an auf die gleichzeitige Durchführung der Vollbremsung und des Spurversatzes als eine Aufgabe fokussieren zu können. Einmal gelernt, gibt es keinerlei Spielräume und Unsicherheiten mehr, die beim „B-L-A“ stets vorkommen, da hier für die Erfüllung des Gesamtmanövers zwei Handlungsabläufe strikt hintereinander gesteuert werden müssen, was wiederum eine handlungsinterne Entscheidung verlangt. Auch existieren beim „B-L-A“ keine genauen Angaben, die dem Fahrer als Richtlinie an die Hand gegeben werden, wann er die Bremse lösen soll. Es wird vielmehr darauf hingewiesen, dass es sich um keine automatisierte Handlungsfolge handelt. Bei der Durchführung von Notmanövern, wie sie in dieser Studie thematisiert werden, sind automatisierte Abfolgen jedoch vorteilhafter, da der Mensch für die Entscheidungsprozesse mehr Zeit und damit Strecke benötigt, als in diesen Situationen zur Verfügung steht.

Wie einleitend bereits geschildert, haben Motorradfahrer laut GIDAS-Auswertungen von 1.086 Kollisionsunfällen¹ sehr wenig Zeit für ihre Reaktion und Handlung zur Verfügung.

Aus all den Erkenntnissen sind wir zu dem Schluss gekommen, dass es an der Zeit ist, das Fahrmanöver „Bremsen-Lösen-Ausweichen“ bei Notmanövern zu überdenken und es durch die Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz zu ersetzen.

Was zukünftige Ausbildungsinhalte angeht, sind wir anhand der Ergebnisse und den damit verbundenen Beobachtungen während der Durchführung der Studie zum dem Schluss gelangt, dass ein Trainieren der Fahraufgabe „Vollbremsung mit gleichzeitigem Spurversatz“ verstärkt in Sicherheitstrainings stattfinden sollte. Dabei sollten Themen wie „Blickführung“ eine weitere Rolle spielen. Zudem werden Fahrerassistenzsysteme wie das Kurven-ABS, das schon seit geraumer Zeit an einigen Motorradmodellen zum Einsatz kommt, auch in Zukunft den Markt weiter durchdringen und speziell Fahrmanöver wie diese weiterhin unterstützen und eine Sturzwahrscheinlichkeit dabei weiter minimieren.

Danksagung

Die Mitarbeiter des Instituts für Zweiradsicherheit (ifz) möchten sich an dieser Stelle noch einmal ganz herzlich bei allen Kooperationspartnern und bei allen Teilnehmern bedanken, ohne deren Unterstützung die Durchführung der Studie nicht möglich gewesen wäre.

Besonders hervorzuheben ist hierbei die großartige Hilfe der Mitarbeiter des Forschungs- und Technologiezentrums Ladungssicherung Selm (F&T), die sich für unser Vorhaben viel Zeit genommen haben. Insbesondere möchten wir dem Geschäftsführer Bernhard Schröder und dem Akademieleiter André Bubenzer danken.

Des Weiteren möchten wir uns auch für die professionelle Vorbereitung der Bodenmarkierungen des Test-Areals durch die Firma 3M (Herr Matthias Müller) bedanken, die dazu beigetragen hat, dass alle Teilnehmer sicher den Testparcours durchfahren und die entsprechenden Fahraufgaben absolvieren konnten.

Darüber hinaus bedanken wir uns bei der Firma safepart (Herrn Wolfgang Oehlert, Hameln) für die kostenlose Zurverfügungstellung der Lichtschranke und Lichtzeichenanlage.

Letztendlich aber waren es vor allem die Teilnehmer, die dank ihres großen Engagements die repräsentativen Ergebnisse erst ermöglicht haben.

Vielen Dank!

In-depth study of bend taking practices, towards evaluation and
(re)training tools: the VIROLO++ research project

VIROLO++: Tiefenstudie über Kurventechniken, Evaluation und
(Um-) Schulungsmaßnahmen

Espié S.

Ifsttar/TS2, France

Larnaudie B., Vincke B., Delgehier F., Sadoun R., Bouaziz S.

UPSud/SATIE, France

Mammar S.

UEVE/IBISC, France

Mars F.

CNRS/IrCCyn, France

Laubenheimer C.

ENPC Editions, France

Reynaud J-P.

Gendarmerie Nationale/CNFSR, France

Abstract

The risks associated with Powered Two-Wheelers (PTW) use are a major public health issue in France and in Europe. The main part of the fatalities and injuries relates to interactions with other road users (truck, van and car mainly), but a significant part relates to “single vehicle” losses of control in bends. Several factors can explain such accidents, among them the difficulty to change the trajectory of a PTW while engaged in a bend. New technology (Bosch ESC in particular), that now equips some top of the range PTWs can help, up to some extent, riders to correct a trajectory. But it seems crucial to better train riders to adopt a safe trajectory for bends taking. This is why we started a new research project (called VIROLO++) aiming at producing scientific knowledge on (1) the bend taking practices of riders (novices and experienced ones), (2) the design of an objective measurement tool of the achieved trajectories, (3) the design of a training / retraining tool for safe bends taking trajectories, (4) the design of a model of the interactions during bend taking between the riders and the PTW.

The aims of this paper are (1) to present the VIROLO++ project prospect, (2) to detail the instrumentation that used for the “on closed roads” experiments that will be conducted from May to July this year (2016) – focusing on trajectories, (3) to present the acquired data and the prospects for training tools, (4) to present and discuss the on-going instrumentation aiming at measuring the interactions (pressures) exchanged between the riders and the PTW during bend taking manoeuvres.

In-depth study of bend taking practices, towards evaluation and
(re)training tools: the VIROLO++ research project

Context and objectives

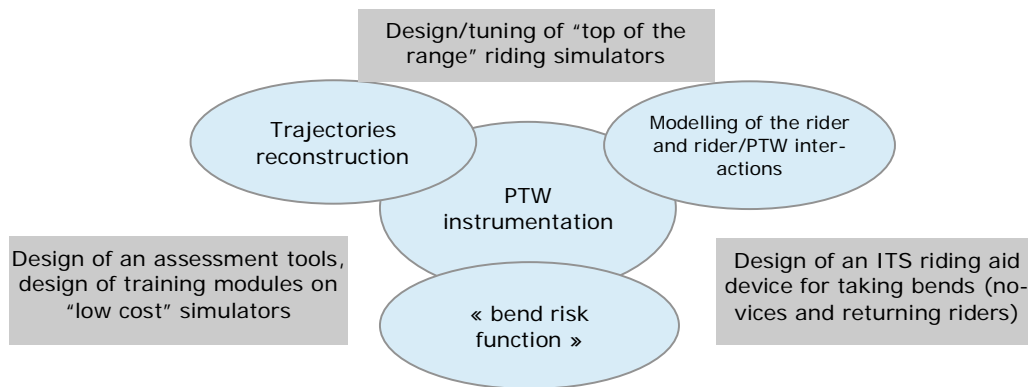
Research on riders of Powered Two Wheeled (PTW) vehicles has only begun fairly recently. Thus, in comparison with the existing literature about car driver behaviour, research into PTW rider behaviour is limited. There remains a lack of knowledge of real riding practices.

From a technical standpoint, the explanations given by the riders of PTWs on how they control the various stages of the bend-taking manoeuvre are diverse. Some riders state that they use a “counter-steering” technique, which consists of pushing the handlebars in the direction of the desired turn. Others explain that they use only their body weight to tilt the motorbike. In addition to the technical aspects, bend negotiation in an open road context is quite different from that practised on a competition circuit. An open road context is characterized by frequent lack of visibility, unpredictable road geometry and surface conditions, and the possible presence of other road users. Thus, any bend-taking manoeuvres rely not only on motor skills but also on cognitive processing of the driving context.

The loss of control in bends (including roundabouts and road junctions) is common largely because of the complexity of PTW dynamics and the intrinsic instability of such vehicles. The MAIDS 2004 study showed that about 30% of all PTW accidents occur in bends or at road junctions. One can estimate, therefore, that loss of control in bends accounts for more than 50% of single-vehicle accidents. In 2012, in France, more than a third of all PTW fatalities occurred in bends (248 killed)².

Counter-measures are needed to improve road safety and mitigate the risk of accidents in bends. In order to do so, it is necessary to observe the interaction between riders and their motorbikes in bends, and compare riders’ statements of how they act with what they actually do. A better understanding of rider behaviour would also make it possible to set up new training and retraining measures. Ultimately, it would help in identifying areas for the design and/or assessment of driving assistance devices dedicated to PTWs. Indeed, the design of active safety systems strongly depends on an accurate knowledge of rider behaviour, because the acceptability of such systems relies on the guarantee that they do not affect the equilibrium of the rider or PTW system. Knowledge of the interaction between riders and their PTWs is also crucial for the tuning of riding simulators, which can then be used by a broader set of the rider population.

The VIROLO++ project, that started in February 2016, is structured around the use of a more- or less-instrumented PTWs; the level of instrumentation depends on the requirements of various proposed studies. The following figure shows the organization of the scientific tasks and the targeted applications.



Understanding and modelling the interactions between riders and PTWs raise several questions. The intra- and inter-individual variability of rider behaviour, as well as the broad range of vehicles classified as “PTW” make the problem even more complex. From a technical standpoint, the acquisition of data takes place in an extremely noisy environment. In addition, it is necessary to take into account the intrinsic constraints of the vehicle in terms of compactness, weight and electrical consumption. In this project we plan to use pressure distribution measurement systems. Pressure will be measured at the rider/PTW contact points: handlebars, saddle, tank and foot pegs. These measures will complement the more usual assessment of vehicle dynamics. One PTW (Honda CBF 1000) will be equipped starting in September 2016, with the objective to conduct experiments in November 2016.

To identify behavioural indicators that allow the reporting of individual differences, we will look at the statistical relations that exist between behavioural representations of riding practices (riders’ statements of how they act) and their objective characterization (what they actually do).

From the acquired data we plan:

1. to improve existing riding simulators (the research riding simulator at Ifsttar) by improving pre-existing sensors in order to allow them to react as quickly as possible to PTW rider's actions (taking into account behavioural variability) and to design a) a commercial low cost riding simulator dedicated to safe bend taking training, and b) a commercial training tool allowing to assess, on road, the practised bend taking trajectories,
2. to design a cybernetic model of steering control which is as close as possible to that achieved by PTW riders. This model will be based on current knowledge in cognitive ergonomics, behavioural neuroscience and human biomechanics. The goal to be achieved - and, indeed, the main scientific challenge to be overcome - is to propose a biologically plausible model that is accurate enough to make predictions about rider behaviour. It must also be economic enough to be implemented in a low cost on-board computer. To succeed, it will be necessary to represent, at an adequate complexity level, the sensorimotor processes used by the central nervous system to control the vehi-

cle: visual anticipation, vestibular perception of the gravito-inertial forces, management of the handlebars, and postural adaptations required to control vehicle tilt. Control strategies may vary between riders; for example, some may counter-steer whilst others do not. These different strategies should be identified using discriminative behavioural markers. Thus, we will study the extent to which a unique model can account for differences through the manipulation of its parameters, or whether alternative models are required.

The modelling (and understanding) of the dynamics of PTW riders has been actively carried out for the past ten years, as shown in an extensive review by Popov et al. (2010). Two approaches coexist. The first approach attempts to set up “black box” type models using well-known optimal control tools, often with a preview function. The second approach, which is closer to ours, attempts to explicitly model the various sensory, cognitive and neuromuscular human functions. To our knowledge, however, no work has succeeded in proposing a synthetic model of the sensorimotor processes implied in PTW control which integrates the various sensory inputs used by the rider (visual, vestibular and haptic cues) and the biomechanics of the postural adjustments that determine how the rider tilts the PTW. Research proposed within VIROLO++ aims to generalize work carried out by IRCCyN (ANR VTT PARTAGE) for the PTW control activity (Mars et al. 2011; Saleh et al. 2013).

The reconstruction of the trajectories achieved when negotiating bends is particularly relevant to objectively assess the observance of instructions (e.g., safety, fuel economy). Such trajectories can be measured using ground-based systems or embedded systems. In terms of this project, the main concern is the accuracy and the genericness of the measurement solutions. Ground-based systems are complex to install and their dissemination in riding training schools seems uncertain. For this reason, we propose to design tools for the reconstruction of trajectories that are based on endogenous sensors.

To succeed, we propose that several localization means be combined in order to increase the accuracy, availability and reliability of the delivered information. From a scientific viewpoint, this raises a problem; it relies on defining the optimal fusing of inertial data (from accelerometers and gyrometers) and GPS data. We will combine the trajectory reconstruction method defined by IEF/Accis (Larnaudie et al., 2006) and the data collected from a GPS. To allow findings to be incorporated into commercial rider training we propose to study the problem in an algorithm-architecture context. Indeed, several architecture designs exist for off-line reconstruction. To our best knowledge, however, this is not the case for real-time on-line reconstruction. The selected architecture will be validated by simulation, and then implemented on a mobile platform. The objective is to achieve an accuracy better than 10 cm for the localization on the road (both longitudinally and laterally).

State of the art PTW instrumentation is poor (McLaughlin, 2011) . Together, IEF/Accis and Ifsttar make up one of the most advanced teams engaged in PTW instrumentation. Their common work has

already been used for the design and tuning of a wireless air-bag jacket system (ANR DAMOTO), and for conducting in-depth naturalistic riding studies (7th FP 2BESAFE and ANR SIM2CO+ noticeably) (Espíe et al., 2013).

Two PTWs have already been instrumented and on-road experimentations took place in June 2016. The instrumentation and the very first results are presented later in this paper.

“Bend risk function” design: numerous ITS technologies have been designed to improve the safety, comfort and efficiency of cars, trucks, public transportation systems and infrastructures. However, few technologies have been used on motorbikes compared with cars. There is a lack of literature relating to PTWs (Slimi et al., 2009). Proposed systems mainly consist of car technology being simply transferred to PTWs, without consideration for the specificities of the PTW riding activity. The 6th FP PISa, and SIM projects, and the 7th FP SAFERIDER project, have all dealt with the design and tuning of PTW ITS, often with limited validation and assessment phases. A literature review shows a significant delay in ITS research and development for PTW safety.

Due to the specific dynamics of PTWs, bend-taking is a difficult manoeuvre. A non-adapted speed is particularly difficult to correct because it is practically impossible to brake when negotiating a bend. It is crucial to “read” the bend; however, the ability to do so is based on experience-related know-how. Novices have the greatest difficulty in adapting their speed to a bend’s geometry (a fortiori for a sequence of bends). The ESC system from Bosch, which was recently introduced on “high-end” motorcycles only partly responds to the road safety question. Indeed, measures to correct badly balanced front/rear braking are only able to manage situations in which there is “limited” excessive speed. Moreover, the vehicles often used by novices (mid-size segment vehicles, often second hand) are not likely to be equipped with such safety systems in the near future. Indeed, it is estimated that it will be at least twenty years if we look at the time that was needed to introduce ABS onto the motorcycle market. ABS was first introduced in 1988 by BMW; however, in 2012, only an estimated 13% of the French PTW fleet was equipped as such, the percentage being roughly 30% for PTWs over 750cc.

The design of riding assistance devices aimed at alerting riders that they are approaching a bend too fast was alluded to within the 7th FP SAFERIDER project. However, the project failed to answer questions relating to the acceptability issue and large-scale deployment on a road network with such infrastructure characteristics as a lateral profile. In terms of acceptability, a major concern relates to the perverse use of any driving assistance device, whereby riders “play” with the proposed speed. Within VIROLO++, we intend to focus on novices and returning riders. Two reasons motivate that choice: firstly, the over-representation of novices in PTW accidentology, and the difficulties this population has in “reading” bends and selecting an appropriate speed. Secondly, the risk of perverse use

is limited because novices have not yet developed over-confidence. Moreover, we plan to promote the system's use under the control of trainers.

Instrumentation of PTWs, towards trajectories reconstruction

Three PTWs were expected to be instrumented during the VIROLO++ project: 2 from the Gendarmerie Nationale (GN) training school, and 1 from Ifsttar. In fact, Yamaha France (provider of GN at national level) loan us 2 PTWs for our experiments: one MT07 and on FJR 1300, both are representative of the PTW used by the GN training school and later by GN motorcyclists. The third PTW, from Ifsttar is a Kawasaki ER6n.

As previously stated, the aim of VIROLO++ is to design a low cost (i.e. acceptable for training schools) system able to reconstruct the achieved trajectories with a precision, better or equal, to 10cm. To reach such an ambitious goal, we set two important limitations: 1) the observed trajectory length is lower than 5km, and 2) the starting and ending points are precisely known. We consider that these two constraints are acceptable for riding schools, and within the project the GN selected two road sections they commonly use to assess their trainees.

The question of price will clearly forbid the use of expensive sensors, so we decided to test the use of low cost ones and compare their performances with top of the range ones (we called them "reference" sensors). The methodology we used consist in instrumenting one of the PTW with both low costs and "reference" sensors. For compactness, weight, electrical consumption, modularity and non intrusiveness reasons we redesigned a new version of the instrumentation previously used in the SIM2CO+ project. The system is design using CAN "nodes". Sensors are "canized" (i.e we add a microcontroller that collect the data and send CAN messages, either for the GPSs) and a data logger has been designed to store the messages on a USB memory (a stick or a SSD).

The test instrumentation consists in (Kawasaki ER6n) :

1. Steering wheel angle: magnetic sensor, 14 bits resolution, that give us a 0.17° precision. The acquisition frequency has been set at 100Hz,
2. Road wheel position: optical encoders in quadrature, using the ABS disk, 200 ticks per wheel revolution for a 50 holes ABS disk. The acquisition frequency has been set at 100Hz,
3. Inertial measurement units 1 & 2: 9DOF Xsens and 10DOF InvenSense (MPU9250 IMUs, commonly used for drones). The acquisition frequency has been set at 100Hz, we retrieve accelerations, rotation speed and Euler angles (using an additional algorithm for the 10DOF)

4. Lasers: two lasers measuring the distance to the pavement, one at the right and one at the left of the PTW frame. The acquisition frequency has been set at 100Hz,
5. Brake and turn signal contacts: we pick up the signals on the PTW wires. We don't modify the braking system for certification issues. The acquisition frequency has been set at 5Hz,
6. GPS: a RTK one at 25Hz and a "classical" one at 5Hz,
7. High speed video camera: one camera (global shutter, 150 fps) looking at the front of the PTW,
8. Data logger



Picture 1. some sensors on the Kawasaki: wheel, the two IMUs, a laser

For the MT07, we used a subset of this instrumentation, without the lasers and the video camera. Note that the compactness of the instrumentation/ data-logger (no need for a top-case).



Picture 2. the MT07 with some sensors: IMUs, steering wheel, RTK-GPS

Experiments, and first lessons

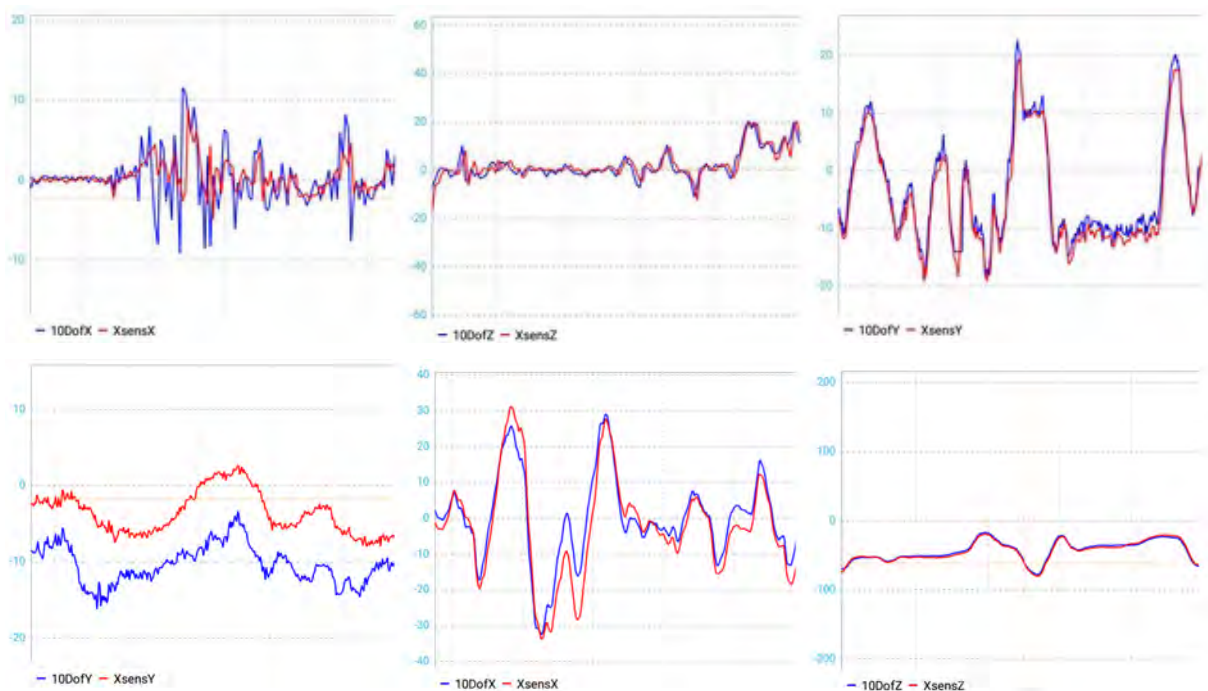
Within the project, the plan is to record the trajectories achieved by at least 20 riders. As the prospect is to compare the trajectories achieved by GN trainees to those achieved (or defined) by GN trainers, we choose to record the trajectories achieved by trainers, trainees at the beginning of the training course and trainees at the end of the training course, we will later call novices. Note that a specificity of the GN recruitment is that the recruited people have or not a "civil" riding license, thus we expected to measure the trajectories of very "random" riders and in particular before they follow the GN dogma for safe bend taking.

We conducted several experiments to tune the instrumentation. Then, we conducted two experiments with the GN instructors and trainees. One other experiment is planned in September 2016.



Picture 3. the selected trip, roughly 5km length

The data are currently being analyzed.



Picture 4. Snapshots of the acquired data (IMUs): a_x , r_y , m_z ; Euler angles pitch, roll and yaw. Note the offset for the pitch.

The two IMUs provide coherent data. However, the data provided by the Xsens is more filtered (including a delay), and we noticed a progressive shift in the magnetometers. The InvenSense provides

more noisy data, at lower speed, and the test we conducted to use the internal Digital Motion Processor was not successful, so we used an additional software algorithm to obtain the Euler angles.

The very first lessons of our tests are:

1. The difficulties to use GPS on real roads, to visualize data on maps, and to use jointly GPS data with odometry data: one of our objectives is to succeed to reconstruct “precise” trajectories using low cost sensors. The trajectories are achieved on open roads, where sequences of curves exist.
 - GPS precision, and coverage: standard GPS have a precision lower than one meter, while RTK GPS are supposed to give centimetric precision. However, these performances are achieved in “perfect” conditions (i.e. no corridor, good weather, and for the RTK-GPS good communication between the base and the rover). In real life (countryside roads for instance), these conditions are rarely existing: the terrain is not flat, the sequences of bends are often in road sections bordered with trees. Thus, the GPS localization is not optimal, the base – rover communication often don’t work due to occlusion, and the best performances are not reached.
 - GPS localization vs odometers: the conversion from GPS coordinates to “ground” meters is still an open question (see Mohinder et al. 2014 appendix C, and μ -Blox 1999 application note on Datum Transformations of GPS Positions for an in-depth discussion), thus it is complex to mix for instance distances provided with GPS and distances measured using odometers, at least for a “centimetric” precision. We are currently working on this issue.
 - GPS localization and maps: it is very convenient to visualize the acquired / reconstructed trajectories using images issued from satellites or planes. Unfortunately, it appears that the maps are not precisely “localized”. We conducted a small experience using the RTK-GPS (optimal conditions, centimetric precision) that consisted in positioning the rover at specific points easily recognizable on satellite based maps (i.e. specific horizontal road marking points). On Google Earth, we observed localization errors up to 60cm, and unfortunately the error is not constant over the maps (different points on the ground give different errors). Fortunately, using the satellite based maps from the French Geographic Institute (IGN), we did not observe such localization errors.



Picture 5. Localization on maps examples (red arrows show the precise localization of the rover), left Google earth, right IGN

To summarize, the use of RTK-GPS, as well as standard ones, is limited as the optimal precision is obtained only in optimal situations that don't often exist in real life. The use of satellite based maps needs to be validated on a case by case basis, and the mix of data obtained by GPS and by odometers are fairly complex as far as the requested precision is "high" (for us centimetric).

2. The use of lasers to measure the PTW leaning angle: the two lasers beams provide us with a distance measurement, one laser being on the right of the PTW, the other one on the left, both pointing the pavement. When the PTW is leaned to the right, the right distance is shortened, while the left one is enlarged. The measurement system is theoretically "perfect", but in reality several problems occur: the road pavement is not flat (to allow water to be evacuated), the pavement surface is sometimes reflective (peculiarly when wet), and the laser beam is sometimes outside the pavement (when the trajectory is too close to the pavement border and the leaning angle is important). So, in fact, the laser beams are usable mainly on "large" tracks, to validate the measurement provided by the IMUs (note that IMUs do not measure leaning, but provide a value by integration of "direct" measurements).

Conclusions and prospects

One can estimate that loss of control in bends accounts represent more than 50% of single-vehicle accidents. In 2012, in France, more than a third of all PTW fatalities occurred in bends (248 killed)¹. Counter-measures are needed to improve road safety and mitigate the risk of accidents in bends. A better understanding of rider behaviour in bends sequences would make it possible to set up new training and retraining measures.

The VIROLO++ project aims at designing a set of counter measures for riders' safety. One of these counter measure consists in the design of a curriculum for the training of safe bends taking practice. A

¹ Source ONISR (The French Road Safety Observatory).

pre requisite is an objective and precise measurement of the trajectories achieved by trainees in a sequence of curves. This paper aims at presenting the overall project, and the preliminary work achieved towards trajectories measurement and/or reconstruction.

Two PTWs have been instrumented with an ad-hoc instrumentation and data collection on road have been achieved. The data analyse is under going. The future work will consist in: the selection of a subset of low cost sensors allowing to measure/reconstruct the trajectories with a precision better or equal to 10 centimetres (our ambition), and the design of tools allowing to objectively compare the safe trajectories defined by trainers, and the trajectories achieved by trainees.

Further work will focus on the set up of a “heavy” instrumentation allowing the measurement of the efforts exerted by the rider to take bends and on the achievement of an experiment on track. This experiment is planned at the end of 2016.

References

- Espié, S., Boubezoul, A., Aupetit, S., Bouaziz, S. (2013) *Data collection and processing tools for naturalistic study of powered two-wheelers users' behaviours*. Accident Analysis & Prevention, Volume 58, September 2013, Pp 330-339
- Mars, F., Saleh, L., Chevrel, P., Claveau, F., & Lafay, J.F. (2011) "Modeling the visual and motor control of steering with an eye to shared-control automation". Proceedings of the Human Factors and Ergonomics Society 55th Annual Meeting – 2011, pp. 1422-1426.
- Larnaudie B., Bouaziz S., Maurin T., Espié S., Reynaud R. (2006) *Motorcycle platform for dynamic model extraction*, IEEE Intelligent Vehicle Symposium, Tokyo, Japan, du 13 juin 2006 au 15 juin 2006.
- McLaughlin , Shane B., Doerzaph, Zachary R., Cannon, Brad R. (2011) *Pilot Study of Instrumentation to Collect Behavioral Data to Identify On-Road Rider Behaviors*, NHTSA / DOT report HS 811 442
- Mohinder S. Grewal, Lawrence R. Weill, Angus P. Andrews (2004) *Global Positioning Systems, Inertial Navigation, and Integration*, Wiley Eds, ISBN: 978-0-471-46386-3
- Popov, A., Rowell, S., Meijaard, J-P. (2010) « *A review on motorcycle and rider modelling for steering control* », Vehicle System Dynamics, vol. 48, n°5, pp. 775-792, 2010
- Saleh, L., Chevrel, P., Claveau, F., Lafay, J.F. & Mars, F. (2013) "*Shared steering control between a driver and an automation: Stability in presence of driver model uncertainty*". IEEE Transactions on Intelligent Transport Systems, sous presse.
- Slimi, H., Arioui, H., Mammar, S., Nouvelière, L. (2009) " *Advanced Motorcycle-Infrastructure-Driver Roll Angle Profile for Loss Control Prevention* ", 12th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC'09), St. Louis, USA, October 3-7, 2009, pp 1-6.
- μ-Blox (1999) *Application note on Datum Transformations of GPS Positions*, <http://www.u-blox.ch>

BMW Motorrad Intelligent Emergency Call.
Mode of operation and synergistic effects to BMW cars.

BMW Motorrad intelligenter Notruf.
Wirkungsweise und Synergie-Effekte zu PKW.

Michael Heimrath
BMW Motorrad, UX-EE, München, Germany

BMW Motorrad intelligenter Notruf.
Wirkungsweise und Synergie-Effekte zu PKW.

BMW Motorrad als erster OEM mit fest verbautem Notruf. Wirkungsweise und Synergie-Effekte zu PKW.

Bereits seit 1999 wurde erstmalig in einem PKW der Notruf umgesetzt, der wenige Jahre später mit Intelligenz ausgestattet wurde. Hierzu gehört die Position des Fahrzeugs inkl. einer „Perlenkette“ an GPS-Daten der letzten Minuten, um eine eindeutige Richtung zu erkennen. Dies ermöglicht präzise Koordination der Rettungsleitstellen, wie es beispielsweise auf Autobahnen möglich ist (die Richtung wird im Callcenter-Client über die letzten Positionsdaten erkenntlich). Auch zusätzliche Daten über Sitzbelegung, Fahrzeugverzögerung, Auslösung des Airbags, Überschlag und Anzahl der Crashes verhelfen dazu, eine qualitativ hochwertige Aussage über die Unfallschwere beim automatischen eCall zu ermöglichen.

All diese Informationen werden über gesicherte Verbindungen als Datenpaket über das BMW Backend zu einem speziell geschultem BMW Callcenter-Mitarbeiter übertragen, der umgehend die jeweils zuständige Leitstelle informiert. Dies erfolgt für den Kunden transparent und in der Muttersprache, aus dem das Fahrzeug stammt. Somit ist auch grenzüberschreitend z.B. ein deutschsprachiger Notruf möglich, auch wenn der Kunde sich in Italien befindet.

Um auch bei Motorrad diesen lebensrettenden Dienst umzusetzen, wurde der bei PKW bereits seit Jahren etablierte intelligente Notruf auf die Einspur-Mobilität bei BMW übertragen und ist noch dieses Jahr in Form eines manuellen und automatischen Notrufs verfügbar. Sämtliche dafür notwendigen Komponenten wurden für das Motorrad angepasst und über eine Sonderausstattung dem Kunden verfügbar gemacht. Sichtbar ist der eCall lediglich über den Taster am Lenker für den manuellen eCall und den Lautsprecher/Mikrofon für die Sprachverbindung zum BMW Call-Center.

Wie auch bei PKW erfolgt die Daten- und Sprachverbindung zum BMW Backend über eine festverbaute SIM-Karte im Fahrzeug, die möglichst Crash-unabhängigen Position verortet ist. Ganz unabhängig vom Mobiltelefon des Kunden und sowohl im In- als auch im Ausland.

Der Auslösung des eCalls bei Motorrad teilt sich in drei Stufen auf:

- Automatisch ausgelöster Notruf bei einer von den Sensoren gemessenen schweren Kollision
Die Sprachverbindung zum Callcenter wird sofort ausgelöst und kann vom Kunden nicht abgebrochen werden.
- Automatisch ausgelöster Notruf bei einer von den Sensoren gemessenen leichter Kollision
Die Sprachverbindung wird in einem Zeitfenster von 25 Sekunden aufgebaut und kann bei einer möglichen Fehlauflösung vom Kunden abgebrochen werden.

- Manuell ausgelöster Notruf über den Notruftaster am Lenker.

Die Sprachverbindung wird in einem Zeitfenster von 10 Sekunden aufgebaut, nachdem der Notruftaster im Stand betätigt wurde.

Sollte die Auslösung des Notrufs versehentlich erfolgen und die Zeit zum Abbrechen des eCall bereits abgelaufen sein, kann der Callcenter-Mitarbeiter unter Einbezug des Notruf-Datenpakets und über die Sprachverbindung einschätzen, ob und welche Hilfe nötig ist und ggf. die Fehlauslösung erkennen.

Die Synergieeffekte zu PKW wurden maximal genutzt. Sowohl die Backend-Anbindung, Prozess-Ablauf, Callcenter-Infrastruktur, SIM-Karte, Cross-Border-Szenarien als auch Qualitäts-Tests wurden vollständig und unverändert übernommen. Abweichungen sind lediglich in Bezug auf Hardware-Anforderungen zu vermerken. Bauraum-Vorgaben und Notwendigkeit zur Witterungsfestigkeit bedingen eine Neuentwicklung des eCall-Steuergeräts für Motorrad. Trotz der notwendigen Hardware-Anpassung konnten durch die Synergie-Effekte mit PKW die Kosten spürbar gesenkt und das hohe Qualitätsniveau des Notrufs auch für die BMW Motorrad Kunden bereit gestellt werden.

Der Vortrag zeigt die Historie des Notrufs bei BMW PKW auf und den Übertrag auf die BMW Motorrad Infrastruktur und der damit aufkommenden Hürden bei der Umsetzung. Ziel ist eine deutliche Erhöhung der passiven Fahrersicherheit durch Nutzung bestehender und etablierter Technik und Prozesse bei BMW PKW.

BMW MOTORRAD INTELLIGENT EMERGENCY CALL. MODE OF OPERATION AND SYNERGISTIC EFFECTS TO BMW CARS.



Acceleration sensor



Control element



Network module

Michael Heimrath // BMW Motorrad, Munich

**BMW
GROUP**

THE NEXT
100 YEARS

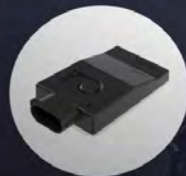


BMW Motorrad



BMW MOTORRAD INTELLIGENT EMERGENCY CALL.

**Mobile phone
network module**
with location detection.



BMW Call Center



Klick auf das Bild startet das Video.
Das Video liegt im Verzeichnis „Videos“ auf dieser DVD.

INTELLIGENT EMERGENCY CALL. RELIABILITY OF ACCIDENT DETECTION (V-MODEL).

Definition

System requirements

- Accident research
- FMEA*
- Experience based on car eCall
- Use case analysis
- ...

* FMEA
Failure Mode and Effects Analysis
Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse

Functional requirements

- Vehicle integration
- Availability after crash
- Mobile Network
- Project plan synchronisation (Vehicle)

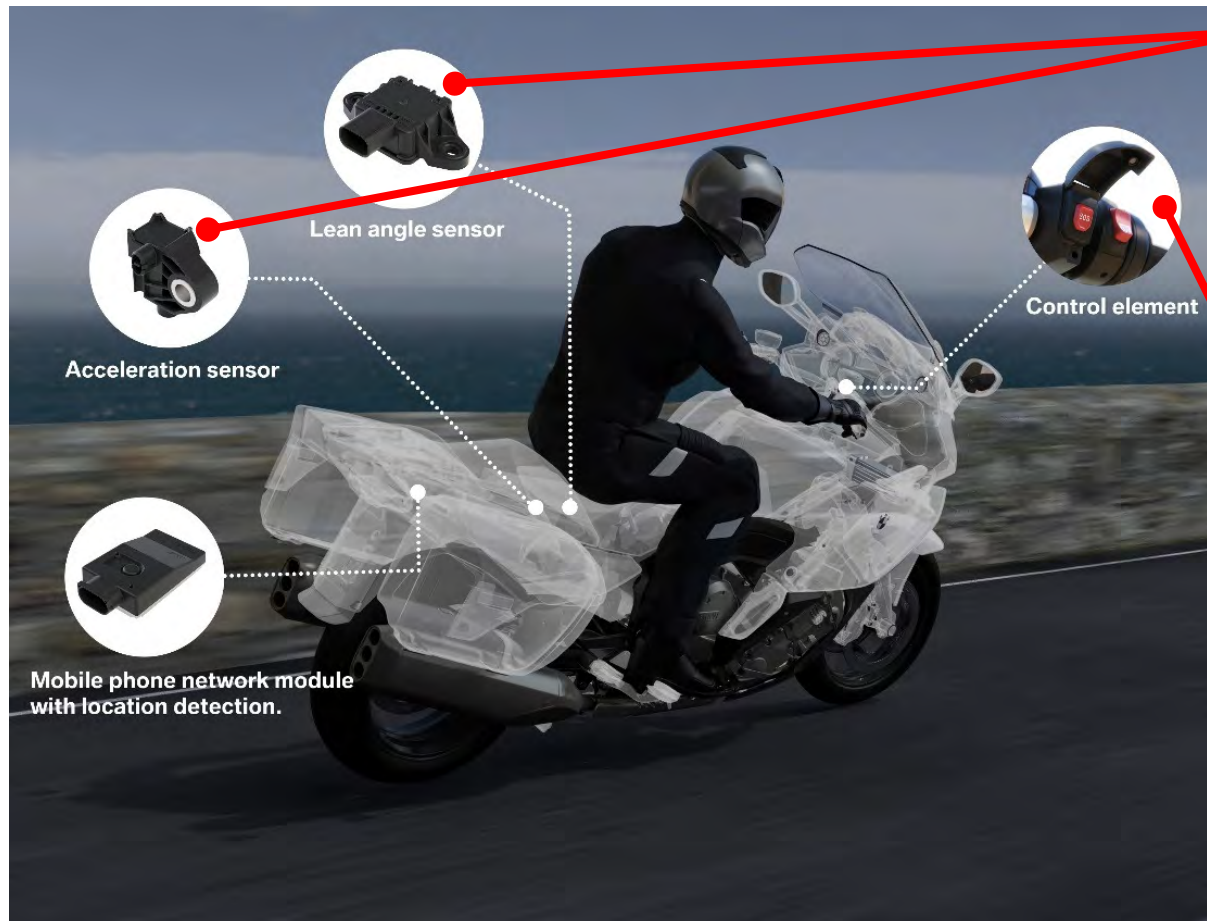
Test- & Integration



Validation / Simulation

- Reducing malfunction by intense validation.
- Crash tests for MUST-trigger cases.
- Misuse tests for MUST-NOT-trigger cases.

INTELLIGENT EMERGENCY CALL. VEHICLE INTEGRATION.



Automatic triggering in the case of a bad fall / collision

- eCall is triggered without delay.
- Call will be established - no cancellation.

Manual triggering by pressing a button

- eCall can be triggered by pressing the SOS button.
- Suppress eCall within **10 seconds** possible.

Automatic triggering in the case of a minor fall / collision

- Suppress within **25 seconds** possible.

INTELLIGENT EMERGENCY CALL. AUTOMATICALLY TRIGGERED ECALL.



Automatically triggered eCall

- A complex algorithm calculates automatically if an eCall is needed.
- Lean angle and acceleration sensors provide information about accident's severity.
- Direct voice connection to a BMW Call Center is established.
- Help will be initiated immediately.
- Speaker and Microphone integrated in right handlebar.
- Service is activated over vehicle's lifetime.

INTELLIGENT EMERGENCY CALL. MANUALLY TRIGGERED ECALL.



Manually triggered eCall

- For calling help for other road users.
- Manual triggering by pressing a button.
- Voice connection to BMW Call Center.
- Help will be initiated after conversation.
- Speaker and Microphone integrated in right handlebar.
- Activated over vehicle's lifetime.

INTELLIGENT EMERGENCY CALL. FUNCTIONALITY.



Cross-border-scenarios

- Current position as well as information for determining the driving direction are transmitted to simplify locating the motorcyclist - European-wide
- Even in hard-to-find locations such as motorway junctions.
- All major European languages are supported.
Comfort for our customers:
Call is based on native language - even abroad.



INTELLIGENT EMERGENCY CALL. TELEMATICS CONTROL UNIT.



Mobile phone network module

- Positioning using the integrated GPS/GLONASS antenna.
- Supports 2G/3G mobile network.
- Integrated algorithm to detect an accident.
- interface to
 - the lean angle sensor and acceleration sensor
 - the SOS-button, loudspeaker und microphone.
 - the LCD-Display in the instrument cluster
- Mobile phone network module is based on AUTOSAR operation system

INTELLIGENT EMERGENCY CALL. SYNERGESTIC EFFECTS TO BMW CARS.



	BMW Car	BMW Motorcycle
Hardware Components	Car specific	Motorcycle specific
Operating Mode	Loudspeaker/Microphone	Loudspeaker/Microphone
Backend Systems	BMW Backend	BMW Backend
Qualified Call-Center	BMW Callcenter	BMW Callcenter
Cross-Border-Scenarios	Available (native language)	Available (native language)
Market Availability	Europe, USA/Canada	Europe. Planned: USA/Canada
Mobile Network Provider	Embedded SIM	Embedded SIM
Quality-Test	BMW End2End	BMW End2End

INTELLIGENT EMERGENCY CALL. THANK YOU. QUESTIONS?



Preliminary Study of the Response of Forward Collision Warning
Systems to Motorcycles

Vorläufige Studie über Kollisionswarnsysteme mit Blick
auf Motorräder

John F. Lenkeit, Terrance Smith PhD
Dynamic Research, Inc., USA

Abstract

Existing and proposed near-future New Car Assessment Program (NCAP) activities are focused on evaluating the abilities of vehicle based crash avoidance technologies to avoid car-car, car-pedestrian and car-bicycle crashes but do not explicitly address issues of car-motorcycle crashes. Motorcycles represent a substantial portion of the motor vehicle fleet worldwide, and currently account for 14% of US traffic fatalities. By extension, the technologies for detecting potential conflicts between cars and motorcycles may currently exist and could provide useful improvements to motorcycle and overall traffic safety.

The goal of this preliminary project was to survey example current production vehicles equipped with Forward Collision Warning (FCW) systems to determine how well these systems function when the Principal Other Vehicle (POV) is an L3 mid-sized motorcycle.

To accomplish this, the protocols and two of the three test scenarios described in the US National Highway Traffic Safety Administration's (NHTSA) Forward Collision Warning System Confirmation Test (February 2013) were used. An 800cc Sport Touring motorcycle was substituted for the mid-sized passenger vehicle for use as the POV. In the first scenario, a subject vehicle (SV) approaches a stopped POV in the same lane of travel. In the second scenario the SV, traveling at a constant speed, approaches the POV moving at constant speed which is slower than the SV. The test vehicles were equipped with the same sensors, GPS and data acquisition systems used in the US NCAP FCW tests.

Preliminary results indicate that stopped motorcycles may not be consistently identified as potential collision partners by contemporary production FCW systems. In some cases no alert was provided; in others the timing of the alert was later than for those tests for which the POV was a mid-sized passenger car.

It may be hypothesized that as drivers become comfortable with, and rely more on ADAS technologies, they will become less attentive to the driving task, and that a possible consequence of broad ADAS implementation may be an increase in car-motorcycle accidents, even as car-car accidents decrease. Therefore motorcycles or their representations should be included in future ADAS test procedure development and retroactively introduced into existing ones.

Preliminary Study of the Response of Forward Collision Warning Systems to Motorcycles

Overview

Existing and proposed near-future New Car Assessment Program (NCAP) activities are focused on evaluating the abilities of vehicle based crash avoidance technologies to avoid car-car, car-pedestrian and car-bicycle crashes but do not explicitly address issues of car-motorcycle crashes. Motorcycles represent a substantial portion of the motor vehicle fleet worldwide, and currently account for 14% of US traffic fatalities. By extension, the technologies for detecting potential conflicts between cars and motorcycles may currently exist and could provide useful improvements to motorcycle and overall traffic safety.

Test procedures and equipment for use in evaluating the performance of Automatic Emergency Braking (AEB) systems have been, or are being, developed for scenarios involving a passenger vehicle in potential conflict with another passenger vehicle, a pedestrian or a bicyclist. Scenarios involving a motorcycle are not being explicitly addressed, even though current technologies for detecting potential conflicts between passenger vehicles and motorcycles exist and could provide useful improvements to motorcycle safety. In many ways these AEB systems are an outgrowth or further development of Forward Collision Warning (FCW) systems currently in production.

When evaluating AEB systems, either as part of system development or as confirmation of a production system, there is a need to have a collision “partner” that presents, to the systems being evaluated:

- characteristics that are suitably representative of the real world objects they are intended to represent;and
- no hazard to the test vehicle, personnel, etc.

Test procedures generally refer to this collision partner device as the Principal Other Vehicle (POV), and they may be generally referred to informally as “targets”.

With respect to rear end collisions, both NHTSA and Euro NCAP have test target systems in use for evaluating AEB systems in rear end collisions (Refs 1, 2). Pedestrian targets which have been developed in the US and Europe (Refs 3, 4) are being deployed in Euro NCAP testing, and studied by NHTSA (Ref 5). In addition considerable effort has gone into development of a cyclist target and test equipment for the evaluation of cyclist-AEB systems (Ref 6), and automobile-type targets for applications to other than rear end collisions are in the final stages of development (Ref 7).

If an FCW or AEB system functions correctly for automobile, pedestrian and bicyclist targets, then it might be assumed that it will function as well for a motorcyclist, but there is little published data to address this. The goal of this preliminary project was to survey example current production vehicles

equipped with Forward Collision Warning (FCW) systems to determine how well these systems function when the Principal Other Vehicle (POV) is a mid-sized motorcycle.

The protocols and two of the three test scenarios described in NHTSA's Forward Collision Warning System Confirmation Test (February 2013, Ref 8) were used to accomplish this. An 800cc Sport Touring motorcycle was substituted for the mid-sized passenger vehicle for use as the POV. In the first scenario, a subject vehicle (SV) approaches, from behind, a stopped POV in the same lane of travel. In the second scenario the SV, traveling at a constant speed, approaches, from behind, the POV moving at constant speed which is slower than that of the SV. The test vehicles were equipped with the same, or equivalent, sensors, GPS and data acquisition systems used in US NCAP FCW tests. For comparison, the same subject vehicles, systems and protocols were used to evaluate system performance with a mid-sized passenger vehicle as the POV.

Preliminary results for the stopped POV scenario indicate that motorcycles may not be consistently identified as potential collision partners by contemporary production FCW systems. In some trials no alert was provided; in others, the timing of the alerts was later than for the corresponding tests where the POV was a mid-sized passenger car. For the slower moving POV scenario, the results for the motorcycle and passenger car POV were generally in agreement.

As drivers become comfortable with, and rely more on Advanced Driver Assistance Systems (ADAS), they may become less attentive to the driving task. So, an unintended consequence of broad ADAS implementation may be an increase in the frequency of car-motorcycle accidents even as car-car accidents decrease. It is important therefore that consideration of motorcycles be included in future ADAS test procedure and equipment development, and retroactively introduced into existing ones.

Evaluation procedures and criteria

The current investigation used an adaptation of the procedures that are currently in use for evaluating FCW systems as part of the NHTSA New Car Assessment Program (NCAP) (Ref 1). To adapt these procedures;

- A mid-sized motorcycle was substituted for a mid-sized passenger car for the POV.
- The current investigation included Tests 1 and 3 of the NHTSA NCAP test procedures, as follows:
 - Test 1. Subject Vehicle (SV) Encounters Stopped Principal Other Vehicle on a Straight Road

- Test 3. Subject Vehicle Encounters Slower Principal Other Vehicle

The NHTSA NCAP Test procedures include a scenario (Test 2) in which SV encounters a decelerating POV. This was not run for the motorcycle because a suitable controller for repeatably controlling motorcycle deceleration was not available at the time.

- The timing and pass/fail criteria used for the NHTSA NCAP tests are based on passenger vehicle properties, not motorcycles, as the POV. Whether or not these criteria are appropriate for motorcycles is not considered herein. The criteria applied in this study are those of the NHTSA NCAP procedure.

Test 3 trials were performed with SV automatic transmission in “Drive”. If the SV FCW system provided a warning timing adjustment for the driver, only the most “conservative” (earliest warning) setting was used.

An overview of each of the test procedures follows.

Test 1. Subject Vehicle Encounters Stopped Principal Other Vehicle on a Straight Road

This test evaluated the ability of the FCW function to detect a stopped lead vehicle, as depicted in Figure 1.

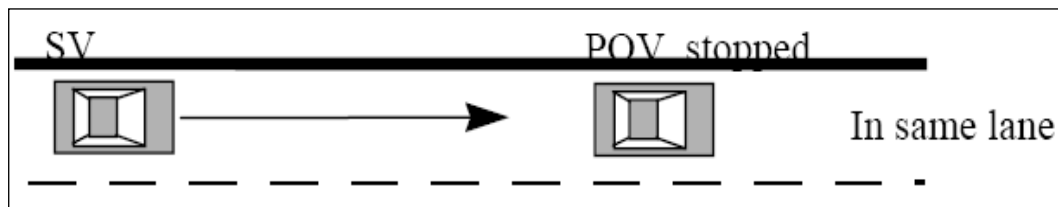


Figure 1. Depiction of Test 1

a. Alert Criteria

In order to pass the test, the FCW alert must be issued when the time-to-collision (TTC) is at least 2.1 seconds. In accordance with Ref 8, the TTC for this test was calculated by considering the speeds of the subject vehicle (SV) and the lead vehicle (POV) at the time of the FCW alert. This is when the SV and POV speeds are nominally equal to 45 and 0 mph (72.4 and 0 kph), respectively). Nominally, the Test 1 series comprised seven individual trials. The FCW system must satisfy the TTC alert criteria for at least five of the seven test trials.

b. Procedure

The POV was parked in the center of a travel lane. Its longitudinal axis was oriented parallel to the roadway edge, and facing the same direction as the SV, so the SV approached the rear of the POV.

The SV was driven at a nominal speed of 45 mph (72.4 kph) in the center of the lane of travel, toward the parked POV. The test began when the SV was 492 ft (150 m) from the POV and ended when either of the following occurred:

- The required FCW alert occurred.
- The TTC to the POV fell to less than 90 percent of the minimum allowable range (i.e., $TTC = 1.9$ sec) for the onset of the required FCW alert.

The SV driver then steered and/or braked to keep the SV from striking the POV.

For an individual test trial to be valid, the following was required throughout the test:

- The SV vehicle speed could not deviate from the nominal speed by more than 1.0 mph (1.6 kph) for a period of three seconds prior to (1) the required FCW alert or (2) before the range fell to less than 90 percent of the minimum allowable range for onset of the required FCW alert.
- The SV driver could not apply any force to the brake pedal before the required FCW alert occurred, or before the range fell to less than 90 percent of the minimum allowable range for onset of the required FCW alert.
- The lateral distance between the centerline of the SV, relative to the centerline of the POV, in road coordinates, could not exceed 2.0 ft (0.6 m).
- The yaw rate of the SV could not exceed ± 1 deg/sec during the test.

Test 3. Subject Vehicle Encounters Slower Principal Other Vehicle

This test examined the ability of the FCW system to recognize a slower lead vehicle being driven with a constant speed and issue a timely alert. As shown in Figure 2, the scenario used a closing speed of 25.0 mph (40.2 kph).

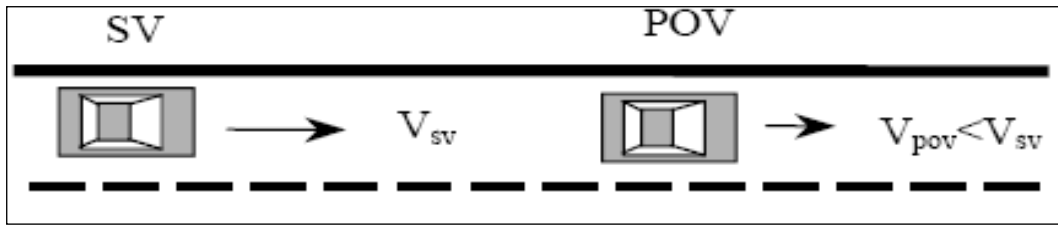


Figure 2. Depiction of Test 3

a. Alert Criteria

In order to pass the test, the FCW alert must be issued when TTC is at least 2.0 seconds. The TTC for this test, a prediction of the time it would take for the SV to collide with the POV, was calculated by considering the speeds of the SV and POV at the time of the FCW alert. Nominally, the Test 3 series comprised seven individual trials. The FCW system must satisfy the TTC alert criteria for at least five of the seven test trials.

b. Procedure

Throughout the test, the POV was driven at a constant 20.0 mph (32.2 kph) in the center of the lane of travel.

The SV was driven at 45.0 mph (72.4 kph), in the center lane of travel, toward the slow-moving POV.

The test began when the headway from the SV to the POV was 329 ft (100 m) and ended when either of the following occurred:

- The required FCW alert occurred.
- The TTC to the POV fell to less than 90% of the minimum allowable range (i.e., $TTC = 1.8$ sec) for the onset of the required FCW alert.

The SV driver then steered and/or braked to keep the SV from striking the POV.

For an individual test trial to be valid, the following was required throughout the test:

- The SV vehicle speed could not deviate from the nominal speed by more than 1.0 mph (1.6 kph) for a period of 3 seconds prior to (1) the required FCW alert, or (2) before the range fell to less than 90 percent of the minimum allowable range for onset of the required FCW alert.
- Speed of the POV could not deviate from the nominal speed by more than 1.0 mph (1.6 kph) during the test.

- The lateral distance between the centerline of the SV, relative to the centerline of the POV, in road coordinates, could not exceed 2.0 ft (0.6 m).
- The yaw rates of the SV and POV could not exceed ± 1 deg/sec during the test.
- SV driver could not apply any force to the brake pedal before the required FCW alert occurred, or before the range fell to less than 90 percent of the minimum allowable range for onset of the required FCW alert.

Principal Other Vehicles

A stock 2006 Honda VFR 800 sport touring motorcycle, as shown in Figure 3, was used as the Principal Other Vehicle (POV). All equipment necessary for use on public roads was installed. Vehicle loading consisted of the rider plus equipment and instrumentation. A 2000 Honda Accord, as shown in Figure 4, was used as the comparison POV.



Figure 3. Honda VFR800 POV



Figure 4. Honda Accord POV

FCW Equipped Subject Vehicles

Eight subject vehicle's FCWs were evaluated in this study. The SVs were all new (less than 500 mi), model year 2016 production vehicles available in the US. The FCW systems installed in the vehicles were from at least four different suppliers, and used different implementations of camera and radar sensors. Table 1 lists the FCW sensor types for each vehicle. It includes columns indicating whether the owner's manual for the vehicle addresses whether or not the system might detect motorcycles and whether the FCW alerts are a component of an AEB system.

Table 1. Subject Vehicle Characteristics

SV	Sensor Type(s)	Motorcycle Considered in Owner's Manual	AEB Function Provided
1	Camera, Radar	Yes	Yes
2	Camera, Radar	Yes	Yes
3	Camera	No	Yes
4	Camera, Radar	No	Yes
5	Camera, Radar	Yes	Yes
6	Camera, Radar	Yes	Yes
7	Camera, Radar	Yes	Yes
8	Camera, Radar	Yes	Yes

Instrumentation

Table 2 lists the sensors, signal conditioning and data acquisition equipment used for these evaluations. Figures 5 and 6 show the test instrumentation and equipment installed in the passenger car POV and motorcycle POV.

Table 2. Test Instrumentation and Equipment

Type	Output	Range	Accuracy, Other Primary Specs	Mfr, Model
Differential Global Positioning System	Position, Velocity	Latitude: ± 90 deg Longitude: ± 180 deg Altitude: 0-18 km Velocity: 0-1000 knots	Horizontal Position: ± 1 cm Vertical Position: ± 2 cm Velocity: 0.05 km/h	Trimble GPS Receiver, 5700 (base station and in SV)
Multi-Axis Inertial Sensing System	Position; Longitudinal, Lateral, and Vertical Accels; Lateral, Longitudinal and Vertical Velocities; Roll, Pitch, Yaw Rates; Roll, Pitch, Yaw Angles	Latitude: ± 90 deg Longitude: ± 180 deg Altitude: 0-18 km Velocity: 0-1000 knots Accel: ± 100 m/s ² Angular Rate: ± 100 deg/s Angular Disp: ± 180 deg	Position: ± 2 cm Velocity: 0.05 km/h Accel: $\leq 0.01\%$ of full range Angular Rate: $\leq 0.01\%$ of full range Roll/Pitch Angle: ± 0.03 deg Heading Angle: ± 0.1 deg	Oxford Technical Solutions (OXTS) xNAV 550 in motorcycle, Inertial+ in SV
Real-Time Calculation of Position and Velocity Relative to POV	Distance and Velocity to POV	Lateral Lane Dist: ± 30 m Lateral Lane Velocity: ± 20 m/sec Longitudinal Range to POV: ± 200 m Longitudinal Range Rate: ± 50 m/sec	Lateral Distance to Lane Marking: ± 2 cm Lateral Velocity to Lane Marking: ± 0.02 m/sec Longitudinal Range: ± 3 cm Longitudinal Range Rate: ± 0.02 m/sec	Oxford Technical Solutions (OXTS), RT-Range
Data Acquisition System [Includes amplification, anti-aliasing, and analog to digital conversion.]	Record Time; Position; Velocity; Distance to lane markings; Headway distance; Closing Velocity; Lateral, Longitudinal, and Vertical Accels; Roll, Yaw, and Pitch Rates; Roll, Yaw and Pitch Angles.	Sufficient to meet or exceed individual sensors	Sound digitized at 10 kHz, all other channels digitized at 100 Hz. Accuracy is sufficient to meet or exceed individual sensors	SoMat, eDaq ECPU processor SoMat, High level Board EHLS
Microphone	Sound (to measure time at alert)	Frequency Response: 80 Hz – 20 kHz	Signal-to-noise: 64 dB, 1 kHz at 1 Pa	Audio-Technica AT899
Light Sensor	Light intensity (to measure time at alert)	Spectral Bandwidth: 440-800 nm	Rise time < 10 msec	DRI designed and developed Light Sensor

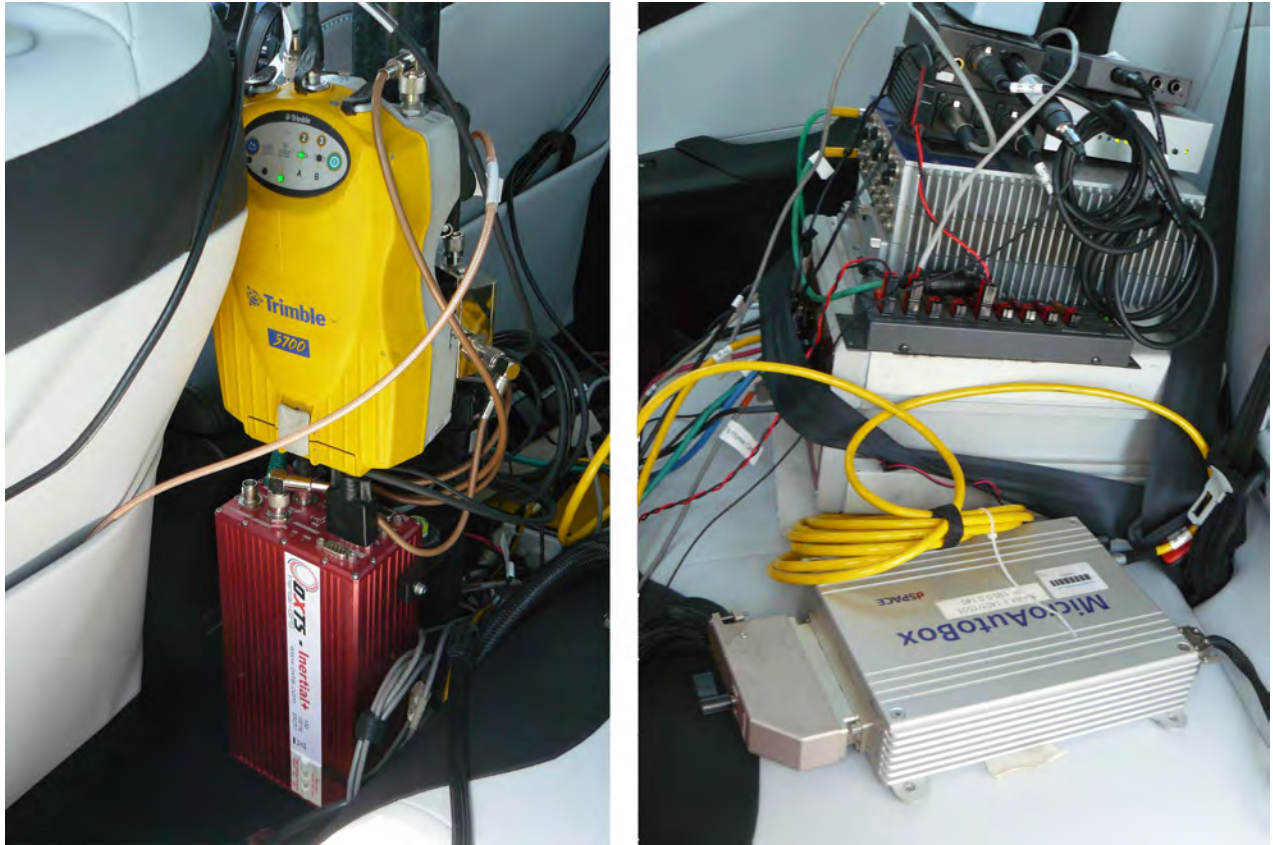


Figure 5. Instrumentation and Data Acquisition Installed in Subject Vehicle

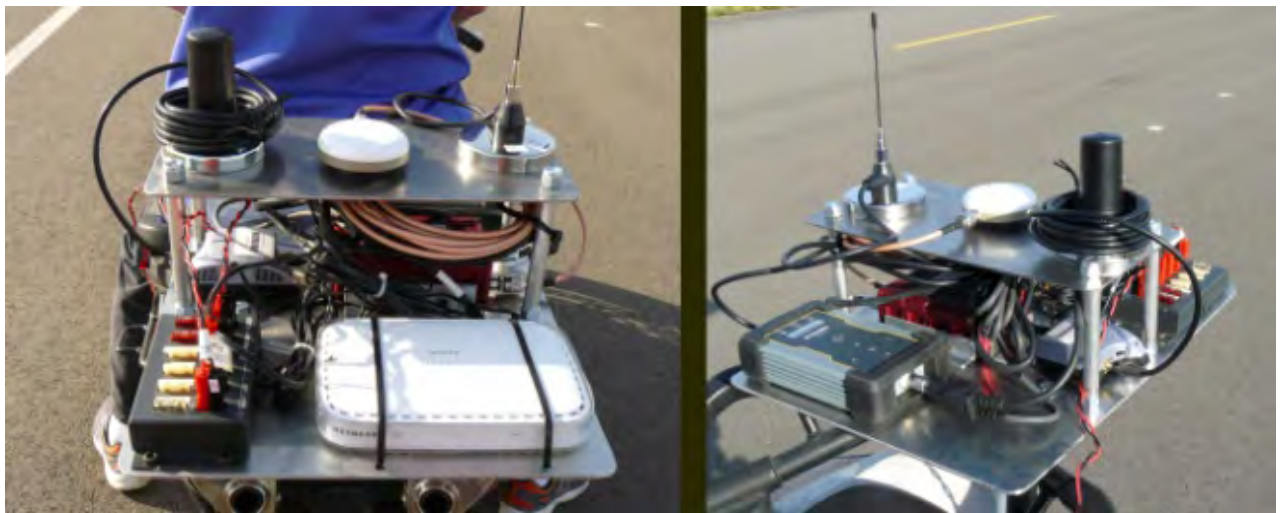


Figure 6. Instrumentation Installed on Motorcycle POV

For systems that implement auditory alerts it is important to accurately identify the onset of the auditory alert. Part of the pre-test instrumentation verification process was to determine the tonal frequency of the auditory alert through use of the PSD (Power Spectral Density) function in Matlab™. This was accomplished in order to identify the center frequency around which a band-pass filter is applied to subsequent auditory alert data so that the onset of such alerts could be determined. The bandpass

filter used for these warning signals types was a phaseless, forward-reverse pass, elliptical (Cauer) digital filter, with filter parameters as listed in Table 3.

Table 3. Auditory Warning Filter Parameters

Warning Type	Filter Order	Peak-to-Peak Ripple	Minimum Stop Band Attenuation	Pass-Band Frequency Range
Auditory	5 th	3 dB	60 dB	Identified Center Frequency \pm 5%

Evaluation results

The evaluation results for the two POVs (i.e., passenger car and motorcycle) in the two test scenarios are described below. Note that the timing and pass/fail criteria used for the NHTSA NCAP tests are based on studies done with passenger vehicles as the POV. Equivalent pass/fail criteria do not exist for motorcycle POVs at this point in time. Nevertheless, for purposes of this preliminary evaluation, and in order to provide a comparison, the terms “pass” and “fail” are used herein for both the motorcycle and passenger car POVs. With respect to the alert timing, an important metric is the Time to Collision (TTC) margin. For the stopped POV the NHTSA NCAP criterion is that the alert be provided to the driver at least 2.1 seconds prior to collision, and for the slower moving POV the criterion is that the alert be provided to the driver at least 2.0 seconds before collision. “TTC margin”, as used below, is a measure of how close to the allowable timing criteria the alert occurred. A negative value indicates that an alert was not provided within the specified timing window, and positive values indicate the amount of time before the criterion time that the alert occurred. For example, for the stopped POV test scenario, if the alert occurred at a TTC of 2.36 seconds, the TTC margin was 0.26 seconds (i.e., 2.36 – 2.10), and if the alert occurred at a TTC of 1.92 seconds the TTC margin was -0.18 (i.e., 1.92 – 2.10).

Stopped POV Scenario

Table 4 summarizes the results for all valid trials for the stationary Motorcycle POV scenario. Of the eight subject vehicles only SV2 and SV6 met the NHTSA pass criteria that the FCW system must satisfy the TTC alert criteria for at least five of the seven test trials. Only SV2 satisfied the TTC alert criteria for all valid runs. Five of the vehicles did not satisfy the criteria for all valid runs, as a result of late TTC alert, not providing an alert, or a combination of the two. Two of the vehicles (SV7 and SV8) never provided any alert. Of the 50 valid test trials, 36 (72%) resulted in an inadequate TTC alert.

Table 4. Summary of Results for Stationary Motorcycle POV

<u>SV</u>	<u>Valid Trials</u>	<u>Pass</u>	<u>Late</u>	<u>No warning</u>	<u>Overall</u>
1	7	0	7	0	No Pass
2	5	5	0	0	Pass
3	7	0	7	0	No Pass
4	7	4	3	0	No Pass
5	7	0	5	2	No Pass
6	7	5	0	2	Pass
7	6	0	0	6	No Pass
8	4	0	0	4	No Pass
Total	50	14	22	14	

By way of comparison, Table 5 summarizes the results for all valid trials for the stationary passenger car POV scenario. All eight of the subject vehicles met the NHTSA criteria that the FCW system satisfies the TTC alert criteria for at least five of the seven test trials. Of the 56 valid test trials, three (5.4%) resulted in an inadequate TTC alert.

Table 5. Summary of Results for Stationary Passenger Car POV

<u>SV</u>	<u>Valid Trials</u>	<u>Pass</u>	<u>Late</u>	<u>No warning</u>	<u>Overall</u>
1	7	7	0	0	Pass
2	7	7	0	0	Pass
3	7	7	0	0	Pass
4	7	7	0	0	Pass
5	7	5	2	0	Pass
6	7	7	0	0	Pass
7	7	6	0	1	Pass
8	7	7	0	0	Pass
Total	56	53	2	1	

Figure 7 shows the results for the stationary POV scenario for both the motorcycle and passenger car POVs graphically.

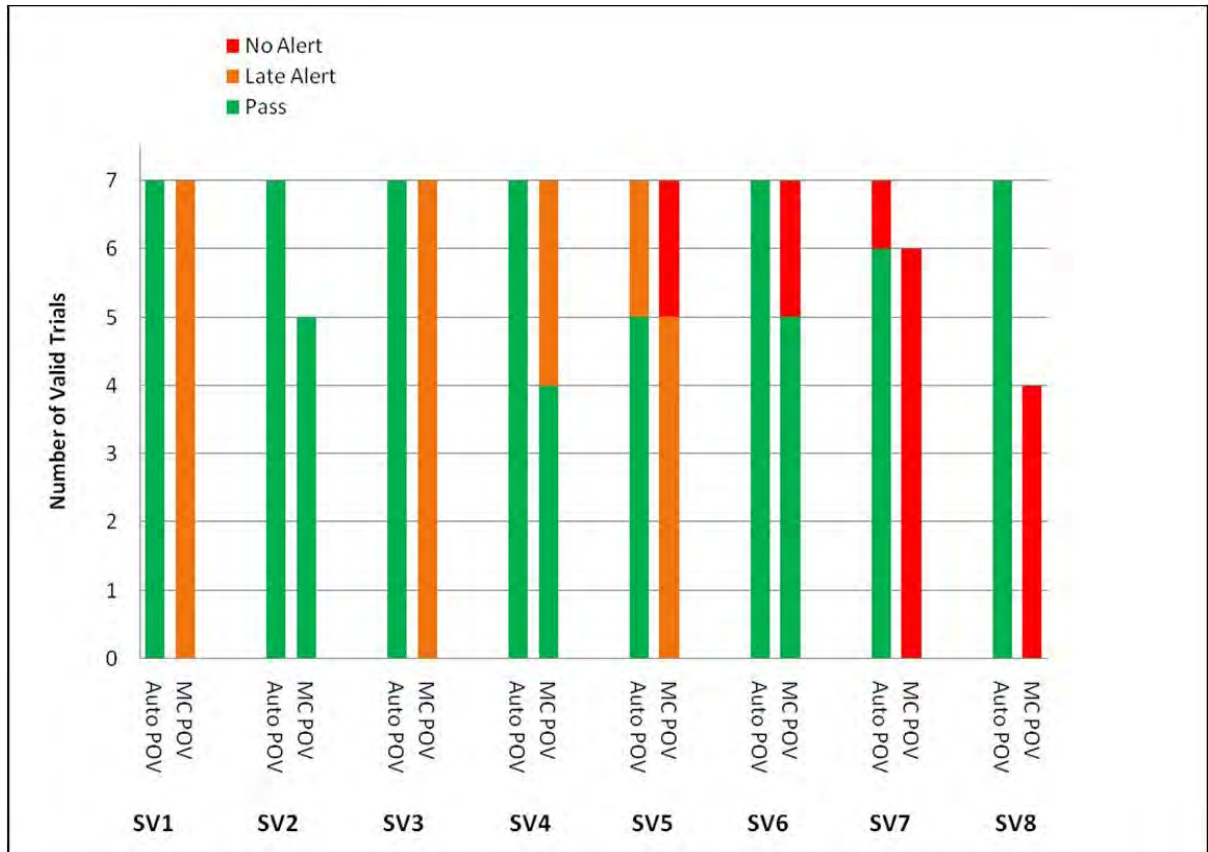


Figure 7. Summary of Valid Trials for Stationary POV

Figure 8 shows the TTC margins for the stopped POV scenario. In this figure, the average values for each SV-POV combination are indicated by the bar; the upper error bar indicates the maximum value, and the lower error bar indicates the minimum value. These error bars are provided to illustrate the range of results for each case. Note that data for trials in which no alert was provided cannot be represented in this figure, in particular, no data for the motorcycle POV are shown for SVs 7 and 8 as no alerts were provided in any of the trials for these SVs.

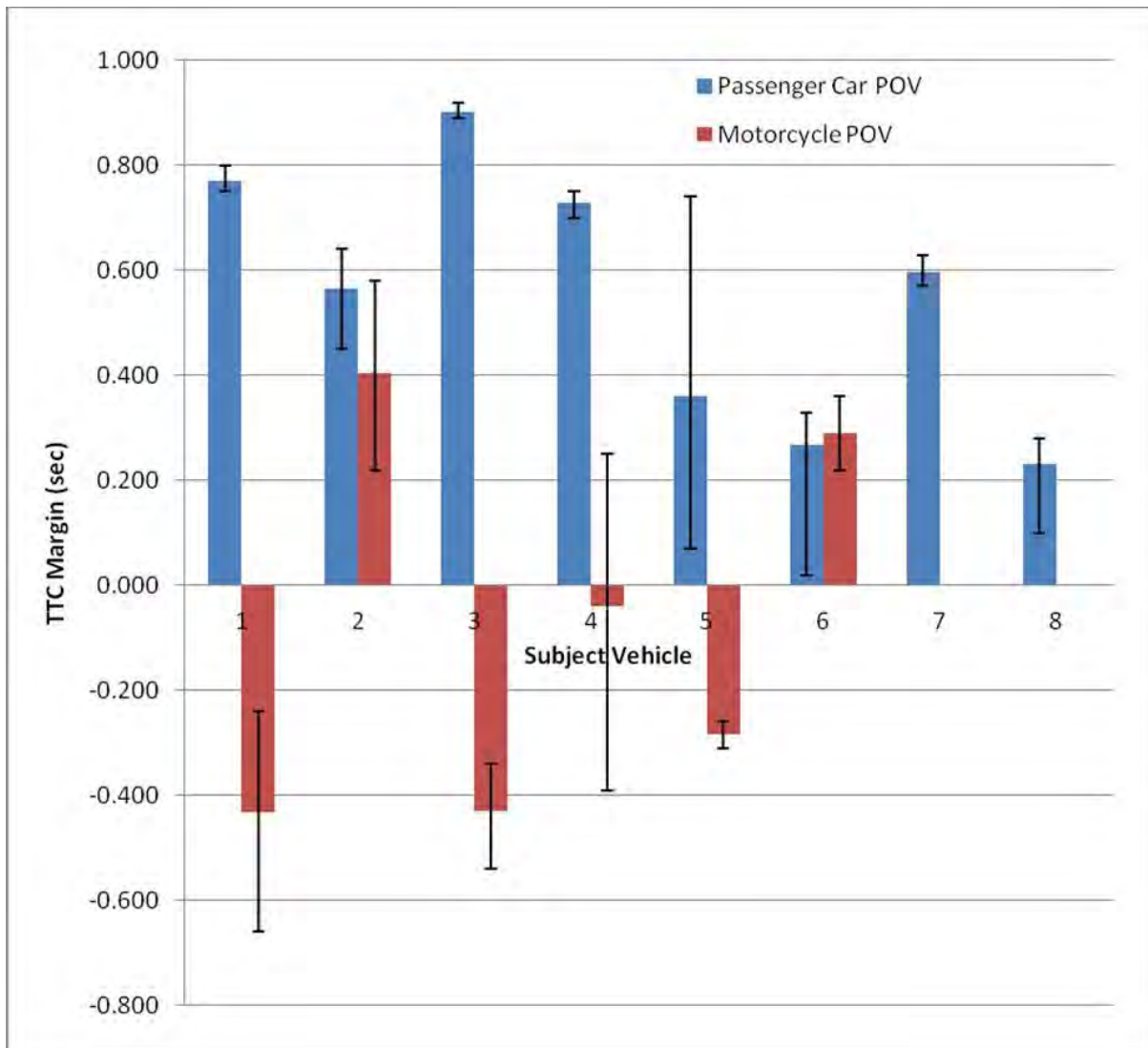


Figure 8. TTC Margins for the Stopped POV Scenario (when the alert occurred)

Slower Moving POV Scenario

Table 6 summarizes the results for all valid trials for the slower moving motorcycle POV scenario. The results indicate that five of the six subject vehicles studied met the NHTSA criteria that the FCW system satisfies the TTC alert criteria for at least five of seven test trials. (The sixth vehicle only completed six valid trials). SVs 4 and 7 were not tested with this scenario due to technical difficulties. Of the 40 valid test trials, 3 (7.5%) resulted in an inadequate TTC alert.

Table 6. Summary of Results for Slower POV, Motorcycle

<u>SV</u>	<u>Valid Trials</u>	<u>Pass</u>	<u>Late</u>	<u>No warning</u>	<u>Overall</u>
1	7	7	0	0	Pass
2	5	5	0	0	Pass
3	7	7	0	0	Pass
4					
5	7	7	0	0	Pass
6	8	8	0	0	Pass
7					
8	6	3	0	3	No Pass
Total	40	37	0	3	

Table 7 summarizes the results for all valid trials for the slower moving passenger car POV scenario. All eight of the subject vehicles met the NHTSA criteria that the FCW system satisfies the TTC alert criteria for at least five of the seven test trials. Of the 56 valid test trials, only 1 (1.8%) resulted in an inadequate TTC alert.

Table 7. Summary of Results for Slower POV, Accord

<u>SV</u>	<u>Valid Trials</u>	<u>Pass</u>	<u>Late</u>	<u>No warning</u>	<u>Overall</u>
1	7	7	0	0	Pass
2	7	7	0	0	Pass
3	7	7	0	0	Pass
4	7	7	0	0	Pass
5	7	7	0	0	Pass
6	7	7	0	0	Pass
7	7	7	0	0	Pass
8	7	6	1	0	Pass
Total	56	55	1	0	

Figure 9 shows the summarized results for the slower moving POV, for both POVs graphically.

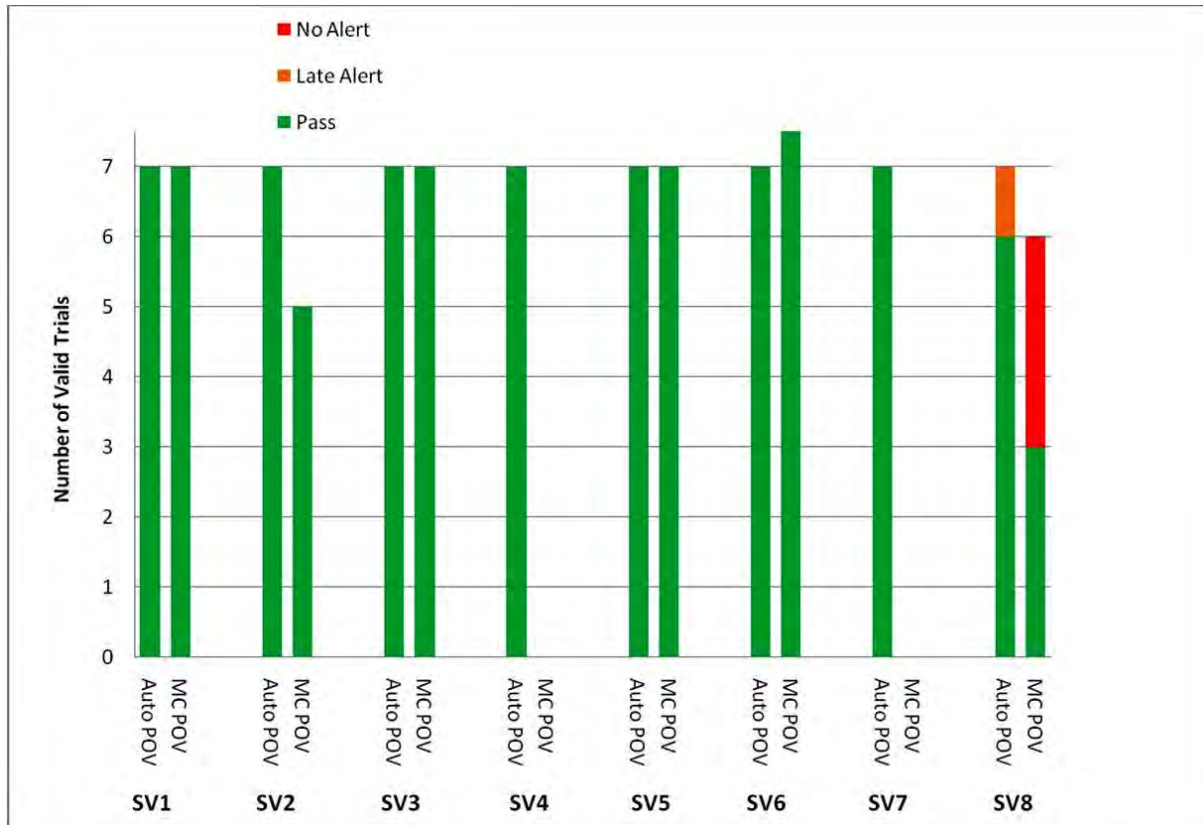


Figure 9. Summary of Valid Trials for Slower Moving POV

Figure 10 shows the TTC margins for the slower moving POV scenario. In this figure, the average values for each SV-POV combination are indicated by the bar; the upper error bar indicates the maximum value, and the lower error bar indicates the minimum value. These error bars are provided to illustrate the range of results for each case. Note that data for trials in which no alert was provided cannot be represented in this figure.

Figure 11 shows the combined results for all conditions, i.e., stationary POV and slower moving POV, expressed as a percentage of total valid trials. For the passenger vehicle POV, 3.6% of all valid runs did not meet the alert criteria, whereas for the motorcycle POV 41% of all valid runs did not meet the alert criteria.

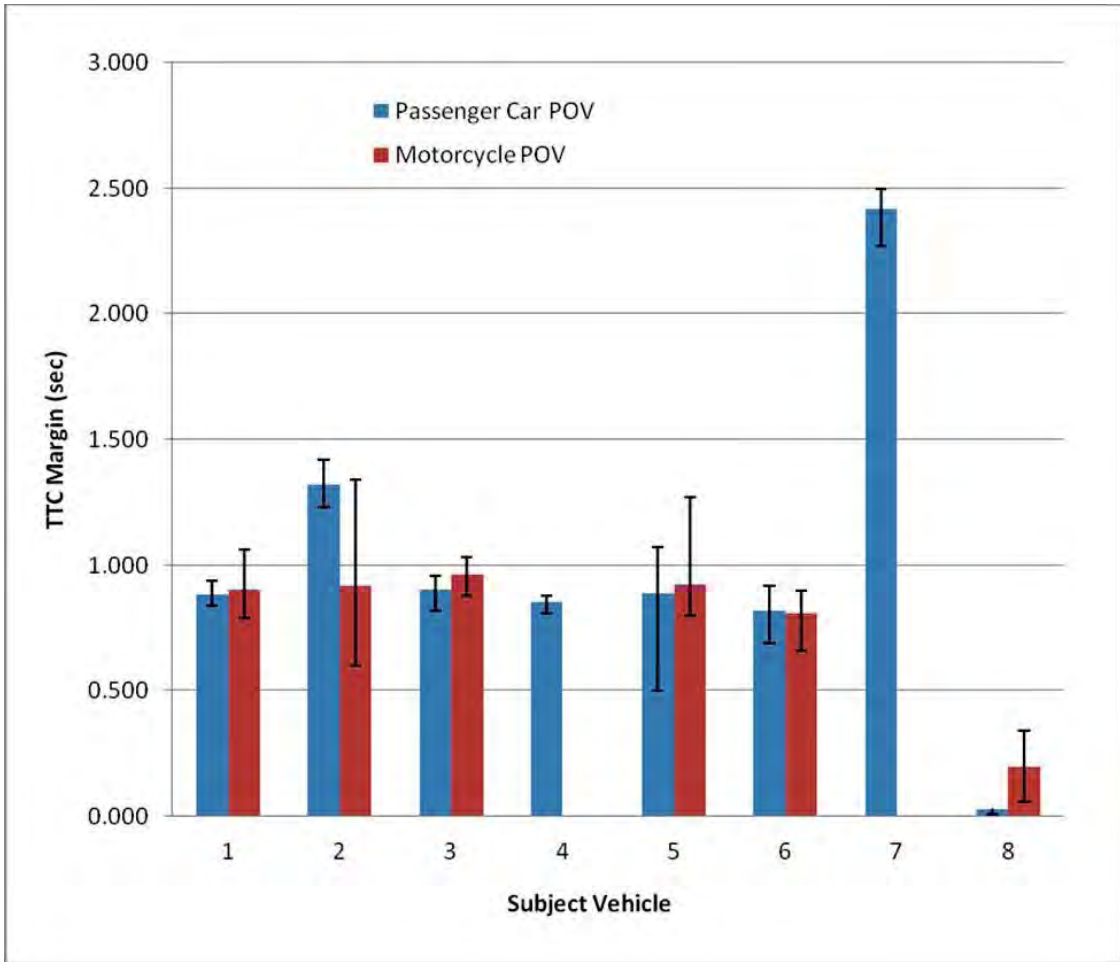


Figure 10. TTC Margins for the Slower Moving POV Scenario

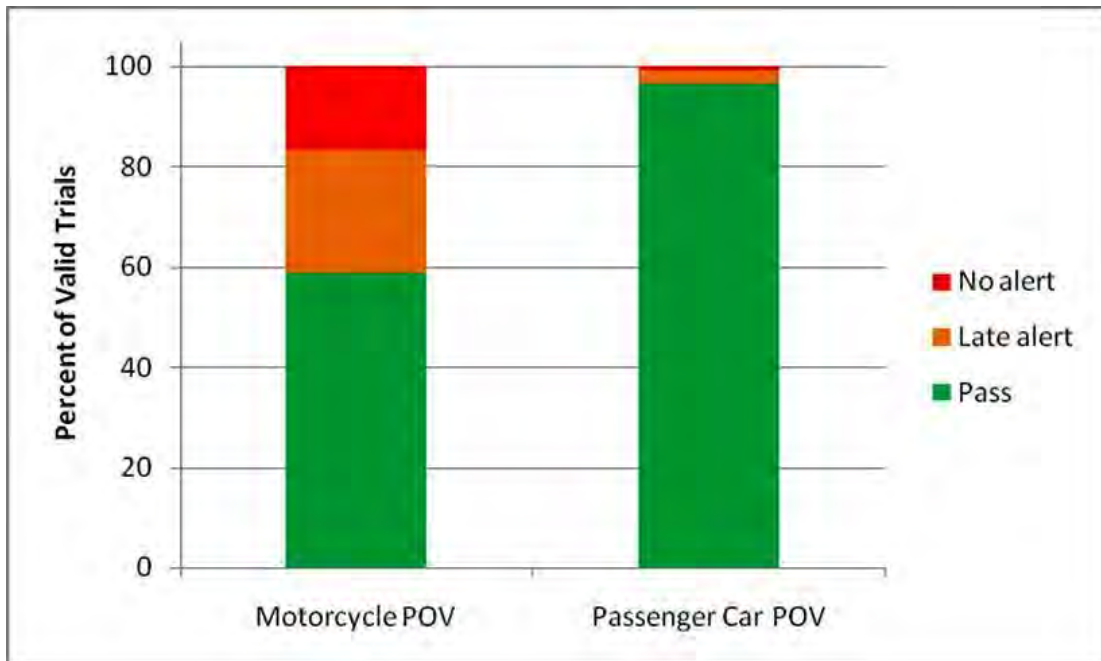


Figure 11. Combined Results for Stationary and Slower Moving POV as a Percentage of Valid Trials Completed

Discussion

It should be emphasized that the results of this evaluation are preliminary. They were accomplished with a single, stock example motorcycle and a small sample of subject vehicles. Further evaluations should be accomplished with additional motorcycle types, a broader range of subject vehicle FCW/AEB system types and evaluation conditions such as lighting conditions and vehicle speeds before definitive conclusions can be drawn.

The combined preliminary results over all valid trials and both evaluation scenarios indicate that the motorcycle POV was not adequately detected in 41% of the trials, compared to 3.6% for the automobile POV. In nearly 17% of the motorcycle POV trials, no alert was presented to the driver of the SV, compared to less than 1% for the automobile POV.

Of the two scenarios, the successful detection of the stopped motorcycle appears to be more difficult than detection of the slower moving motorcycle POV, where the results were mostly comparable to those of the passenger vehicle POV. For the stopped motorcycle POV, in 44% of the valid trials the alert was provided late, and in 24% there was no alert provided.

In-depth motorcycle crash investigations have clearly shown that the vast majority of other vehicle (OV) to motorcycle accidents occur in front of the OV driver. Data from the Motorcycle In-Depth Accident Study (MAIDS) (8) conducted in Europe has shown that 60% of all OV to motorcycle occur in a 120 degree arc in front of the OV driver (see Figure 12). The US Hurt Study (9) reported a similar finding in that 77% of all OV to motorcycle accidents occurred within a 60 degree arc directly in front of the OV driver.

Data from the MAIDS has shown that 2.4% of all collisions (n=22) involved an OV impacting into the rear of the motorcycle. In almost all of these cases, the motorcycle was stopped at the time of the collision, typically at an intersection.

Perhaps one of the more interesting findings of the MAIDS study was that 37% of all OV to motorcycle accidents involved an OV driver perception failure, meaning that the OV driver may have failed to see the motorcycle prior to the precipitating event that caused the crash. As noted above, the frequency of these types of motorcycle accidents may increase as drivers depend more and more upon ADAS systems.

Over the last 10-15 years passenger vehicle occupant deaths in the United States have decreased substantially, while over the same time span, motorcyclist deaths have remained more-or-less constant. As a result, motorcyclist fatalities now account for approximately 14% of all US traffic fatalities (NHTSA Traffic Safety Facts, Ref 11). At least some of the reduction in the frequency of overall road

traffic deaths may be attributed to electronic control systems such as Electronic Stability Control (ESC), and a number of studies have concluded that ESC is highly effective in reducing single-vehicle crashes in cars and SUVs. FCW systems are becoming more common and along with them AEB systems, and we may expect that passenger vehicle occupant deaths will continue to decline as more of these systems make their way onto the roadways.

Detection of motorcycles by other vehicle drivers is a constant challenge in the current riding and driving environment. As drivers become comfortable with, and rely more on ADAS technologies, they may become less attentive to the driving task and thus be less vigilant at detecting motorcycles on the roadway. If ADAS systems are unable to correctly identify motorcycles, a possible consequence of broad ADAS implementation may be an increase in car-motorcycle accidents even as car-car accidents decrease.

In the longer term it is possible that Vehicle-to-Vehicle (V2V) communications between motorcycles and other road users offer possibilities for a benefit to motorcyclist safety. While there is currently activity in that technical area, market penetration of such technologies at a level that would afford measurable effects on motorcyclist safety are likely to be at least a decade away.

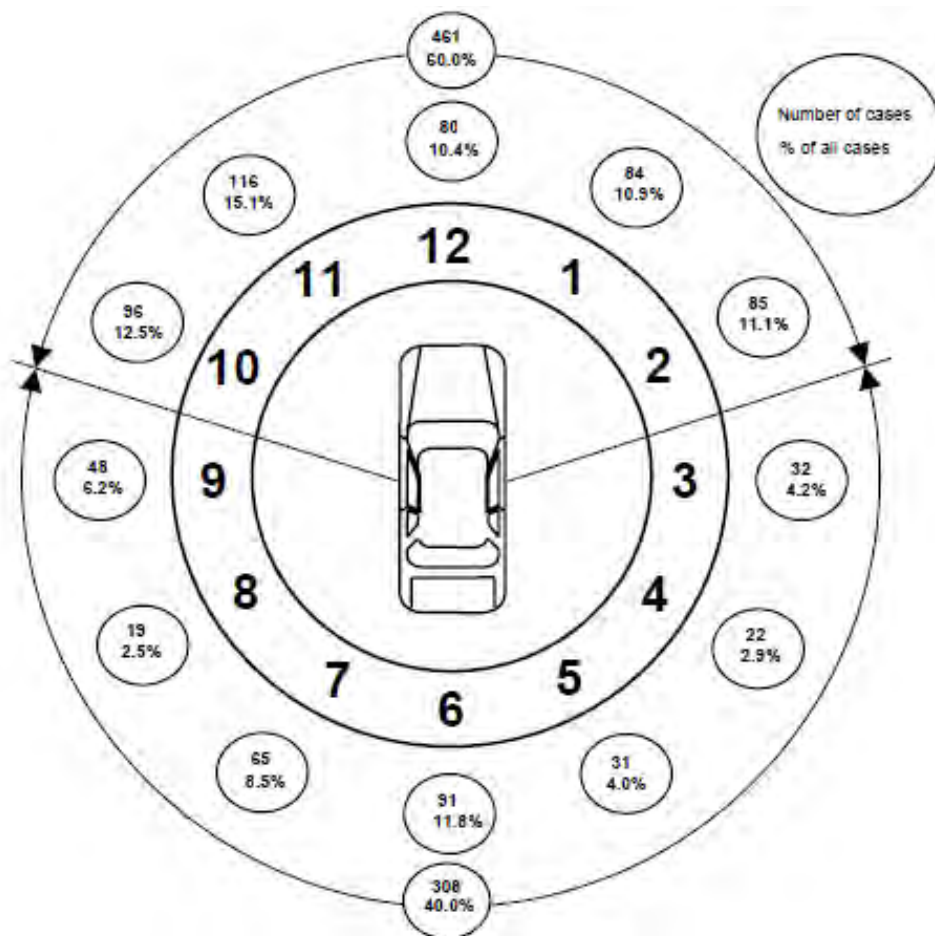


Figure 12. Other vehicle line of sight to the PTW (Ref 7)

The preliminary findings of this study indicate that in order for the safety benefits of ADAS systems to extend to motorcycles, such systems need to more reliably detect motorcycles in potential crash scenarios. One way to encourage and verify this would be to include motorcycles or their representations in ADAS test procedures. Suggested steps for future efforts include:

- identify the response properties of a range of actual motorcycles (including riders) to sensing technologies, including radar, camera, lidar, etc.;
- develop crashable motorcycle targets and delivery systems (Ref 7);
- identify and rank the most commonly occurring motorcycle-car accident scenarios and develop specific test scenarios to address those;
- include these targets and motorcycle specific scenarios in future test procedures; and
- retroactively introduce these into existing test procedures.

Acknowledgements

The authors would like to thank Brian Kebschull, Michael Van Auken, Stephen Rhim, Theresa Cornwell, and Nadine Wong of Dynamic Research, Inc. for their efforts and contributions in support of this study.

References

1. Versailles, M., "NHTSA SS_V (Strikeable Surrogate Vehicle)", WP.29-158-29 Informal Document for the 158th session of WP.29, November 2012 [accessed 26 July 2016] <https://www.unece.org/fileadmin/DAM/trans/doc/2012/wp29/WP29-158-29e.pdf>
2. Sandner, Volker. "Development of a test target for AEB systems." In ESV Conference Paper, no. 13-0406. 2013.
3. Yi, Qiang, Stanley Chien, Jason Brink, Yaobin Chen, Linxi Li, David Good, Chi-Chih Chen, and Rini Sherony. "Mannequin development for pedestrian pre-Collision System evaluation." In 17th International IEEE Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC), pp. 1626-1631. IEEE, 2014.
4. Schram, Richard, Aled Williams, Michiel van Ratingen, S. Ryberg, and Raimondo Sferco. "Euro NCAP's first step to assess Autonomous Emergency braking (AEB) for Vulnerable Road Users." In Proceedings of 24th Enhanced Safety of Vehicles (ESV) conference. 2015..
5. Barickman, F. S., "Pedestrian Crash Avoidance Research Program Update", NHTSA Heath Albrecht, NHTSA, Presented at the 2015 SAE Government Industry Meeting, Washington, D.C., January 2015.
6. Montfort, S. van, O. M. G. C. Camp, M. Fritz, and T. Wimmer. "Specification of a cyclist target and test setup for the evaluation of Cyclist-AEB systems." (2015).
7. Kelly, Joseph, Peter Broen, Jordan Silberling, Nenad Bozin, and John Zellner. "Development of a guided soft target for crash avoidance technology evaluation." SAE International Journal of Passenger Cars-Mechanical Systems 4, no. 2011-01-0580 (2011): 479-487.
8. National Highway Traffic Safety Administration. "Forward collision warning system confirmation test." Office of Vehicle Safety, Office of Crash Avoidance Standards, National Highway Traffic Safety Administration, Washington, DC (2013).
9. Anon, "MAIDS – In-Depth Investigation of Motorcycle Accidents", The Association of European Motorcycle Manufacturers (ACEM), 2009.
10. Hurt, H. H., J. V. Ouellet, and D. R. Thom. "Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures Volume I: Technical Report." Traffic Safety Center, University of Southern California, Contract No. DOT HS-5-01160 (1981).

11. Anon., Traffic Safety Facts: 2014 Motor Vehicle Crashes: Overview, DOT HS 812 246, National Highway Traffic Safety Administration, US DOT, Washington, D.C., March 2016.

BMW Motorrad – Side View Assist (SVA)

BMW Motorrad – Side View Assist (SVA)

Dipl.-Ing. Arne Purschwitz
BMW Motorrad, München, Germany

BMW Motorrad – Side View Assist (SVA)

Analysen der German In-Depth Accident Study (GIDAS) ergaben, dass 17% aller Unfälle mit Beteiligung von Zweiradfahrern aus unkorrekt ausgeführten Spurwechseln resultieren. Ein Großteil dieser Unfälle ereignet sich dabei im Stadtverkehr oder im urbanen Umfeld, wo durch das höhere Verkehrsaufkommen Verkehrsteilnehmer mitunter übersehen oder nicht wahrgenommen werden. Die Absicherung des toten Winkels seitlich hinter beziehungsweise neben dem Fahrzeug verringert in vielen Situationen die Kollisionsgefahr beim Spurwechsel. Nachdem sogenannte "Tote-Winkel-Assistenten" schon seit längerer Zeit Anwendung im Pkw-Bereich finden, bietet BMW Motorrad nun mit dem Side View Assist (SVA) das weltweit erste umfelderfassende Fahrerassistenzsystem im Zweiradbereich an.

Beim Fahren des Maxi-Scooter BMW C 650 GT wird der Fahrer im Geschwindigkeitsbereich zwischen 25 bis 80 km/h optisch vor einem, sich außerhalb des Spiegelsichtfeldes befindlichen, Fahrzeuges gewarnt. Da dieser Fahrzeugtyp hauptsächlich innerhalb von Städten oder Ballungsräumen eingesetzt wird, fokussiert das System durch seine Funktionsgrenzen somit die Gefahrenpunkte im innerstädtischen Verkehrsgeschehen, das speziell durch häufigere Spurwechsel geprägt ist. Die Erprobung des Systems erfolgte deshalb auch in verkehrsintensiven Städten wie Mailand oder Paris.

Der Warnhinweis orientiert sich an der Symbolik, wie sie bereits im BMW 3er eingesetzt wird. Befindet sich ein fremdes Fahrzeug im toten Winkel des Scooters, leuchtet ein Warndreieck im Spiegelfuß auf (vgl. Abbildung 1). Sollte der Fahrer trotzdem zum Spurwechsel ansetzen und den Blinker betätigen, beginnt das Symbol zu blinken. Jedoch obliegt auch weiterhin dem Fahrer die Verantwortung für die Fahrzeugführung, der Side View Assist greift nicht aktiv ins Fahrgeschehen ein, ein Schulterblick seitens Fahrer bleibt weiterhin unablässig.



Abbildung 1. Warnsymbolik im Bereich des Spiegelfußes

Um die Gefahrensituation zu erkennen, benutzt das System vier Ultraschallsensoren, von denen jeweils zwei im Bereich der Frontverkleidung und des Kennzeichenträgers angebracht sind (siehe auch

Abbildung 2). Die Sensoren entsprechen dabei jenen, die bereits im Pkw-Bereich für die Einparkhilfe Verwendung finden.



Abbildung 2. Positionierung der Ultraschallsensoren im Bereich der Frontverkleidung und des Kennzeichenträgers am Maxi-Scooter BMW C 650 GT

Zwischen einem motorisierten Zweirad und einem Pkw gibt es im Verkehr zwei für die Fahrerassistenzfunktion wichtige Unterschiede: die Position innerhalb des Fahrstreifens und natürlich die Breite des Fahrzeugs.

Damit einhergehend ist der Abstand zwischen den seitlich angebrachten Sensoren und dem benachbarten Fahrstreifen bei Pkw kleiner als bei Motorrädern oder Scootern. Während die ISO 17387 deshalb bei Pkw einen Warnbereich von 2,5 x 3m definiert, weitet sich die laterale Ausdehnung beim SVA-System für Zweiräder auf 3m aus. Abbildung 3 stellt die Warnbereiche beider Fahrzeuge gegenüber. Um den gesamten Warnbereich lediglich mit Ultraschallsensoren abdecken zu können, sind in den Kennzeichenträger trichterförmige Öffnungen eingearbeitet. Wie durch ein Sprachrohr wird auf diese Weise das vom Sensor ausgesandte Signal fokussiert, die Auffächerung somit begrenzt und die Reichweite erhöht. Die vier Sensoren decken einen Umkreis von 5 Metern um das Zweirad ab. Zusätzlich passt ein geschwindigkeitsabhängiges Kennfeld die Detektionsdistanz an. So kann sich das Warnsystem der wechselnden Geschwindigkeit des Scooters anpassen.

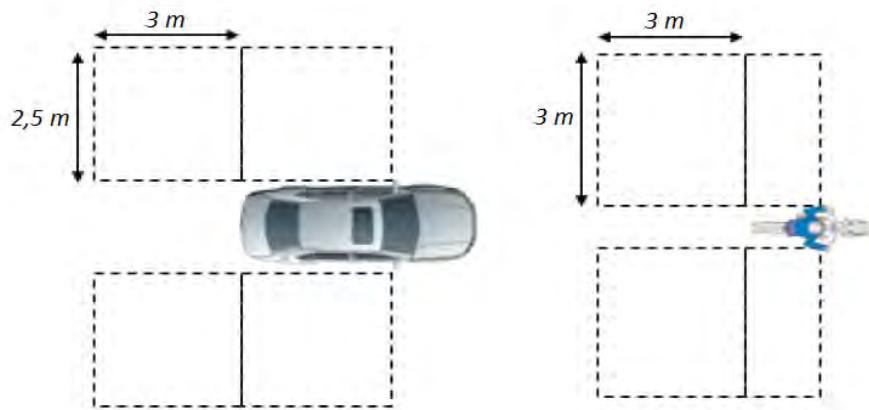


Abbildung 3. Vergleich der Warnbereiche bei Pkw (links) und motorisierten Zweirädern (rechts)

Die Funktion des Side View Assist kann im Wesentlichen in drei Szenarien definiert werden. Hierbei spiegelt Szenario 1 den Hauptanwendungsfall des SVA wieder:

1. Das eigene Fahrzeug **wird überholt**. Die **Differenzgeschwindigkeit** zwischen den Fahrzeugen ist **< 10 km/h**. In diesem Fall wird der Fahrer des C 650 GT durch das gelbe Warnsymbol über ein Objekt in seinem toten Winkel informiert (vgl. Abbildung 4).



Abbildung 4. Warnszenario Side View Assist

2. Das eigene Fahrzeug **überholt schnell** ein anderes Objekt (**Differenzgeschwindigkeit > 10 km/h**). In diesem Fall erfolgt keine Warnung durch den SVA.
3. Das eigene Fahrzeug **überholt langsam**. Die **Differenzgeschwindigkeit** beträgt in diesem Fall ebenso **weniger als 10 km/h**. Die Warnung erfolgt analog zu Abbildung 4.

Der Funktionsablauf kann zusätzlich folgendem Video entnommen werden:



*Klick auf das Bild startet das Video.
Das Video liegt im Verzeichnis „Videos“ auf dieser DVD.*

Die eigentliche Absicherung des toten Winkels wird hierbei von den hinten angebrachten Sensoren übernommen. Die vorderen Einheiten dienen lediglich zur Plausibilisierung des Signals. So kann der Side View Assist zwischen entgegenkommenden, parkenden und für den eigenen Spurwechsel relevanten Verkehrsteilnehmern unterscheiden. Auch das typische Fahrverhalten eines Scooter-Fahrers, wie beispielsweise Durchschlängeln im Stau oder auch große Schräglagenfahrten, erkennt das System und unterbindet ablenkende Warnungen. Demgegenüber unterstützt der BMW Side View Assist leichte Rollwinkel und garantiert so den Sicherheitsgewinn für den Fahrer und andere Verkehrsteilnehmer.

Anhand des Systems erkennt man des Weiteren die Herausforderungen bei der Entwicklung von Assistenzsystemen für den Zweiradbereich. Eine Übertragung von Pkw-Anwendungen ist nicht 1-zu-1 möglich. Neben offensichtlichen Unterschieden bei Bauraum, Schutz vor Witterungseinflüssen und abweichendem Fahrverhalten sind zum Beispiel die Unterschiede im Fahrerverhalten schwieriger zu quantifizieren. Zusätzlich ist beim Motorrad dem Thema HMI ein besonderes Augenmerk zu widmen, um Bedienbarkeit und Fahrerablenkung zu adressieren. Trotz des hohen Anpassungsaufwandes bietet die Übernahme von Fahrerassistenzsystemen aus dem Automobilbereich jedoch ein hohes Potential, in Zukunft das Motorradfahren sicherer zu machen.

Motorcycles in connected traffic – a contribution to safety

Vernetzte Motorräder – Ein Beitrag zur Sicherheit

Andrea Borin

Yamaha Motor R&D Europe, Italy

Hennes Fischer

Yamaha Motor Europe N.V., Netherlands

Arne Purschwitz

BMW Motorrad, Germany

Udo Rietschel

BMW Group, Germany

Kazuyuki Maruyama

Honda R&D Co.,Ltd. Saitama, Japan

Oliver Kohlinger

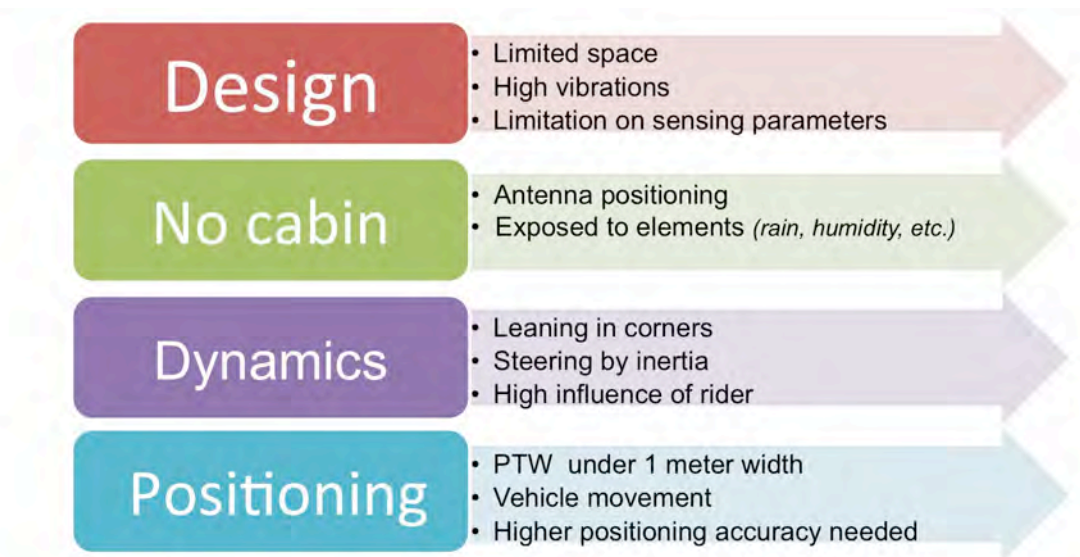
Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH

Motorcycles in connected traffic – a contribution to safety

The C-ITS technology is proceeding step by step towards maturity and deployment. Connected riders can offer an increase in motorcycle safety by communicating with other vehicles and infrastructure. While the roadmap for the cars is clear, motorcycles have not yet been in the spotlight as part of the connected vehicle world. PTW (Powered Two Wheelers) have some specific characteristics and constraints which will prevent a simple transfer of technology from cars to motorcycles. BMW, Honda and Yamaha have been involved in research projects and are founding members of the Connected Motorcycle Consortium and are working together with the common goal to be ready at DAY1 to deploy PTW C-ITS systems.

Several PTW's manufacturers already joined the CAR 2 CAR Communication Consortium where the specific requirements are discussed with car makers and other stakeholders.

The implementation of C-ITS on motorcycles will benefit greatly from research and development for cars. Nevertheless, motorcycles have some specific characteristics (environmental, usage, dimension, cost...) requiring additional work to adapt existing technology to PTWs.



Motorcycle's technical challenge

MAI/MAW – a real benefit for safety

In parallel to the above mentioned issues there is a continuous demand of increasing the safety on the road. It is known that one of the challenges for PTW is to be overlooked by other vehicle drivers. Increasing the conspicuity of the PTW (also called Digital Conspicuity) is a key element to decrease the number of accidents involving PTWs and other road users. Studies show that C-ITS functions like MAI (Motorcycle Approach Indication) and MAW (Motorcycle Approach Warning) will be supporting safety.

Conclusions

This paper presents the main focus of activities of the Connected Motorcycle Consortium (CMC) and the PTW sub-working group of the Car-2-Car Communication Consortium (C2C CC), addressing the main technical challenges towards the PTW DAY1 C-ITS implementation.

Motorcycles and Traffic Filtering

Motorräder und das Durchfahren von Staus

Heike Martensen, Julien Leblud, Freya Sootmans
Belgian Road Safety Institute, Belgium

Abstract

In 2011, traffic filtering of motorcyclists was legalized in Belgium under certain conditions. To evaluate the effect of this measure, motorcycle accidents before the measure (2009-2010) and after the measure (2012-2013) were compared with respect to their distribution across the type of road (motorway, urban, rural), type of accident (single vehicle vs multivehicle) and hour of the day (rush hour vs. off-peak hour). The accidents most relevant to traffic filtering – multivehicle accidents on motorways – represent only a very small part of all motorcycle accidents (2.6%). Comparing the two years before and after the legalization of traffic filtering, these accidents showed the same slight reduction as other motorcycle accidents on motorways (the single vehicle ones). We can therefore conclude that so far, legalizing traffic filtering did not have a measurable effect on accident occurrence.

The small share of multivehicle motorcycle accidents on motorways indicates that traffic filtering is not a dominant cause of motorcycle accidents in Belgium. It is probably also an indication that the phenomenon traffic filtering is less frequent on Belgian motorways than in some other countries. Therefore the results should only be transferred to other countries with care.

Keywords: Motorcycle, Traffic filtering, Motorway, Single vehicle vs multivehicle accidents, Rush hour, Odds-ratio

Motorcycles and Traffic Filtering

Background

Motorcycles are very popular and one of the many reasons is their flexibility in traffic. Often, when cars are stuck in a traffic jam, motorcyclists manage to filter between two lanes and pass the traffic jam. This is common practice in several countries but usually forbidden by law (1). In 2011, the Belgian government took the initiative to legalize this practice which gave the chance to also put rules on it.

Since 2011 traffic filtering by motorcyclists is allowed in Belgium if

1. the motorcyclist passes between the two leftmost lanes (on motorways)
2. the motorcyclist does not go faster than 50 km/h
3. the maximum difference in speed between motorcyclist and passed cars is 20 km/h.

Although this rule is valid on all roads with multiple lanes per direction, it is mostly relevant for the motorways. Moreover the rule concerns a situation with traffic that is not free-flowing and is therefore particularly relevant to rush hours between 7:00 and 9:00 and between 16:00 and 18:00.

The impact of legalizing traffic filtering could go two ways. On the one hand, passing between two lanes is risky. The passing distance is strongly reduced and car drivers might not expect a motorcyclist coming up from the back when all other traffic is slowed down. Legalizing this practice might have increased its occurrence and some motorcyclists might moreover interpret the law as permission to slalom between other road users. On the other hand, traffic filtering had been a common practice before and the new law with the communication related to it might have alerted car drivers to the possibility of motorcyclists coming up and passing them. Car drivers who are now aware that the motorcyclists are allowed to pass them between the 2nd and 3rd lane might be more cooperative, leave more space for motorcyclists and thus reduce the risk of this practice. As a consequence the observed effect could go both ways, legalization could have led to an increase or a decrease of accidents due to traffic filtering.

General development of motorcycle accidents in Belgium

Figure 1 shows the development of the number of injury accidents involving a motorcyclist between 2005 and 2013. After a rising tendency up to 2011, there has been a decreasing trend accident numbers since. A simple look at the global accident statistics would therefore suggest that legalizing traffic filtering has not increased the accident risk for motorcycles – rather the opposite. The following investigation is focused on the question whether the decrease in accident numbers observed since 2011 could be a consequence of the introduction of the traffic filtering.

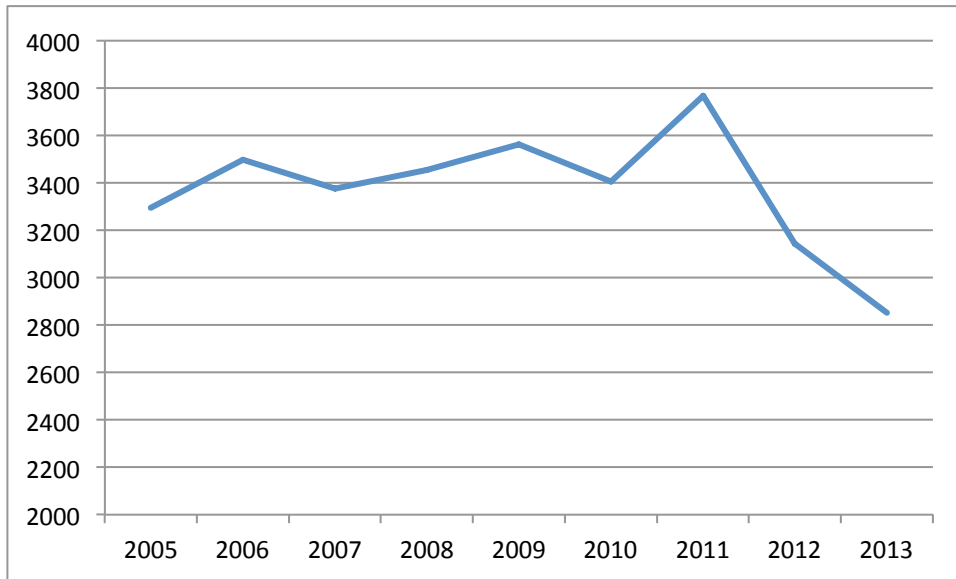


Figure 1. Annual number of injury accidents involving at least one motorcycle. Belgium 2005-2013

In Figure 2, the development of the vehicle kms for the same period are given per road type. Apart from the motorcycle kilometers (solid lines), the ones for all motorized traffic are given (dashed lines). In absolute numbers, these series differ widely. To make them comparable, the vehicle kilometers in 2011 are set to 100% for each series.

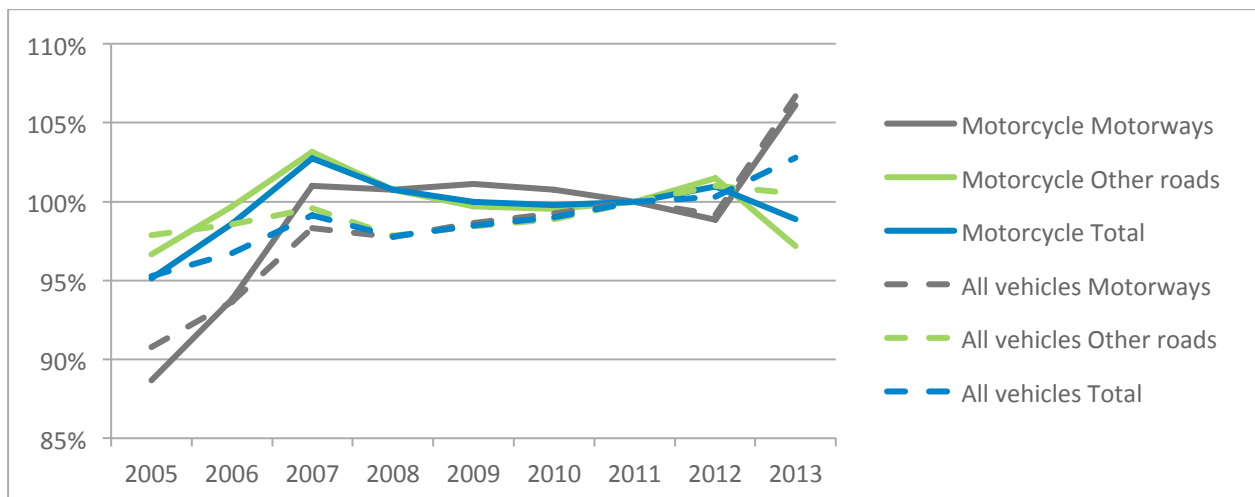


Figure 2. Relative development of vehicle kilometers (Belgium 2005-2013). Index 2011 = 100%.

In 2012 and 2013 the vehicle kilometers for motorcycles decreased, except for those on motorways, which showed the same increasing trend as observed for all motorized travel. On the basis of motorcycle mobility one might therefore expect a decrease of accidents for all road-types except for motorways.

Accident-types before and after traffic filtering law

Unfortunately traffic filtering accidents cannot be unambiguously identified in the Belgian accident database. It is safe to assume, however, that accidents due to filtering involve another vehicle. It can be argued that single vehicle motorcycle accidents can also occur due to a motorcyclists who tries to avoid another road user without eventually hitting him. However, the chance that a motorcyclist who filters between the leftmost two lanes of a congested road would eventually accident without hitting another vehicle is quite small. It can therefore be assumed that single vehicle motorcycle accidents have nothing to do with traffic filtering.

To zoom in on the target accidents for the traffic filtering law, Figure 3 differentiates between road type and between single vehicle accidents (SV involving only one motorcyclist) and multivehicle accidents (MV). In Figure 3, the distribution of accidents before (2009 – 2010) the traffic filtering law is compared to that after (2012 – 2013).

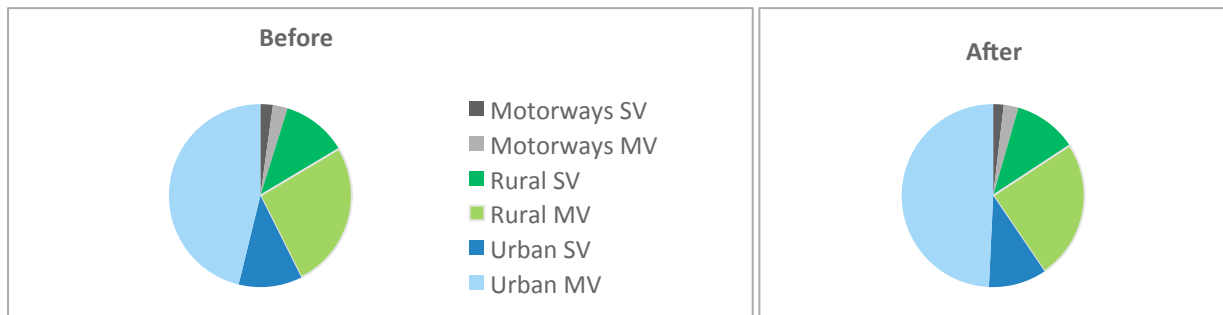


Figure 3. Motorcycle accidents in Belgium before (2009-2010) and after (2012-2013) legalizing traffic filtering. Distribution according to type of road and type of accident (SV=single vehicle, MV=multivehicle). Traffic with unknown road type or accident-type are not included.

The accidents most relevant to traffic filtering are multivehicle accidents on motorways. The share of accidents on motorways (in grey) is very small for motorcyclists and only half of them are multivehicle accidents. The distribution of accidents has moreover hardly changed from the years before the law to the years after. There was a small reduction of single-vehicle accidents on motorways, but the proportion of multivehicle accidents (and only these could have been caused by traffic filtering) remained constant at less than 3% of the total number of accidents.

Two preliminary conclusions can be drawn: 1.) generally the number of accidents that could be traffic filtering accidents (multivehicle accidents on motorways) is very small, suggesting that traffic filtering is not a major cause of accidents – neither before nor after legalization in 2011. 2.) The share of those accidents relevant to traffic filtering (multivehicle accidents on motorways) remained constant, while the share of other motorway accidents (motorcyclist alone) has slightly decreased since 2011.

In the remainder of this study it is investigated whether the difference in development for single and multivehicle accidents on motorways is significant and whether it could be related to the changes in the traffic filtering law.

Method

Motorcycle accident numbers are compared before and after the legalization of traffic filtering. In the formal tests described below, the year 2011 is not included as it cannot be identified as either “before” or “after” the legalization. The law became valid in September and it takes some time before and after the actual act to make road users aware of the new law. To have equal numbers for the before and after measurements, accidents between 2009-2010 were selected as “before” accidents, so that they cover the same length of period as the “after” accidents (2012-2013).

To investigate possible changes due to traffic filtering, accidents caused by this practice have to be identified and their development (i.e. the increase or decrease from before legalization to after) has to be compared to that of another type of accident that has nothing to do with traffic filtering. This comparison group is important because other trends – like changes in traffic volume, general compliance with speed limits, etc. – could also affect the number of accidents. As mentioned above, it was assumed that single vehicle motorcycle accidents have nothing to do with traffic filtering and can therefore function as a control group.

The investigation is focused on motorway where most incidents of traffic filtering are likely to take place. On motorways accidents between a motorcyclist and another vehicle are quite likely to involve traffic filtering while on other roads they mostly involve an other road user entering or leaving the road (2). Multivehicle accidents (MV) on motorways, are therefore compared to single vehicle (SV) accidents which are unrelated to traffic filtering and serve as a control group. Accidents with unknown accident-type or where the motorcyclist was not involved in the 1st collision but in a subsequent one, were excluded.

The development in the control group reflects changes that occurred independently of the changes due to legalization. These other changes have to be discounted in the development of the critical accidents. Changes due to the legalization of traffic filtering should therefore change the frequency of multivehicle accidents relative to that of single vehicle ones. Formally this can be tested with an odds ratio (OR).

$$OR = \frac{\frac{n(MV) \text{ after}}{n(MV) \text{ before}}}{\frac{n(SV) \text{ after}}{n(SV) \text{ before}}}$$

If there are no changes in the critical multilevel accidents relative to the neutral single vehicle ones, the odds ratio is one. An odds ratio larger than 1 indicates an increased risk for multivehicle accidents relative to single vehicle ones and an odds ratio smaller than 1 a decreased risk. The standard deviation of the odds ratio is estimated by

$$SE = \sqrt{\frac{1}{n(MV)_{after}} + \frac{1}{n(MV)_{before}} + \frac{1}{n(SV)_{after}} + \frac{1}{n(SV)_{before}}}$$

The confidence interval for the odds ratio is given by

$$CI = OR \pm 1.96 SE$$

The increase/decrease is significant if the confidence interval between CI- and CI+ does not contain 1. Before calculating the odds ratio, we will however look at the motorcycle accident data from different angles.

Result

Two types of comparisons were conducted. In the first comparison single vehicle accidents were compared to multivehicle ones and in the second comparison accidents during rush-hours were compared to off-peak ones.

Multivehicle versus single-vehicle accidents

Development 2005-2013

Traffic filtering was legalized in September 2010. If this law has an effect one would expect a change in the development around that time. Moreover this change should be specific to multivehicle accidents, but not be seen in single vehicle accidents which cannot be caused by traffic filtering. In Figure 4, the monthly number of accidents is therefore given for multivehicle and single vehicle accidents on motorways from 2005 to 2013.

In a Loess decomposition time series analysis (3), the monthly number of accidents was decomposed into a seasonal component and a trend component. The trend for single and multivehicle accidents is given in Figure 4.

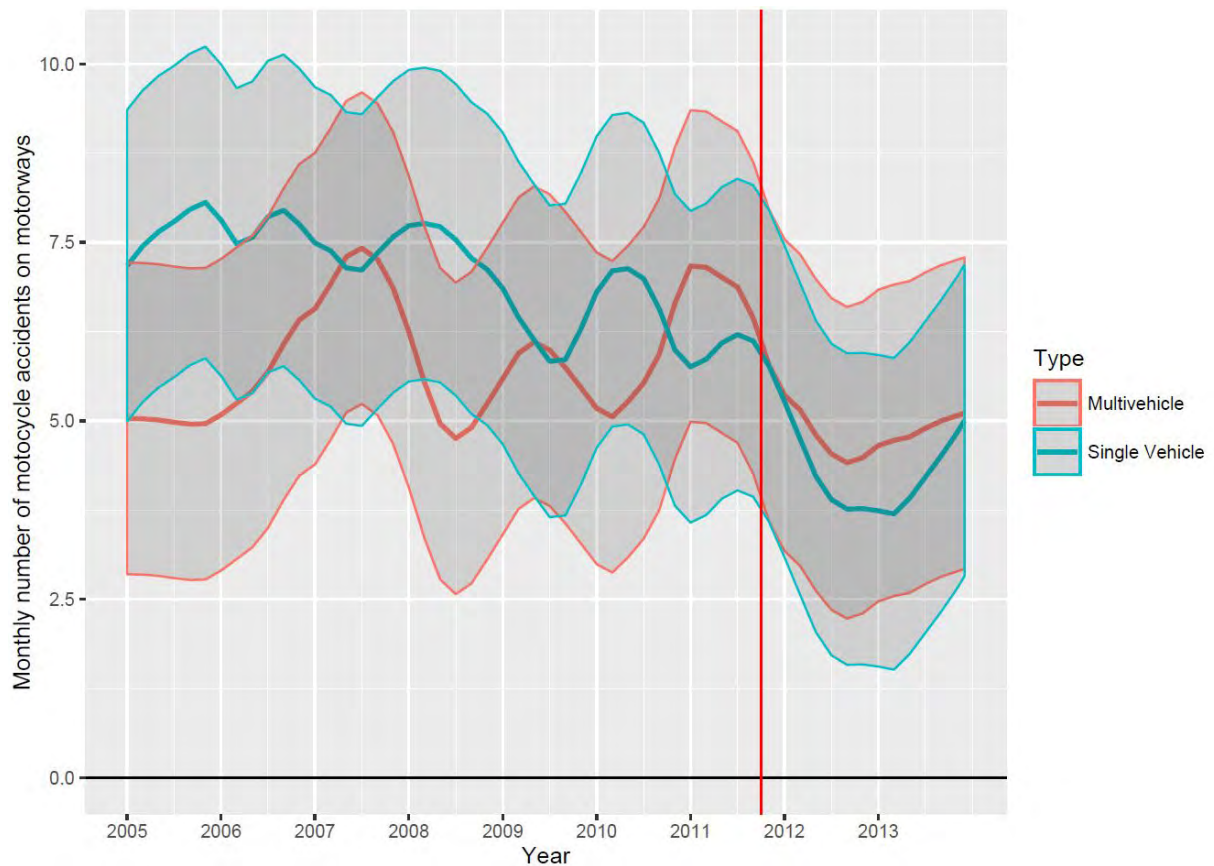


Figure 4. Monthly number of motorcycle accidents on Belgian motorways: Single vehicle (red) vs. multivehicle (blue) accidents.

A structural effect of legalizing traffic filtering should affect the multivehicle accidents but not the single vehicle ones and it should occur around the time when the law came to power. Since 2005 the number of single vehicle motorcycle accidents is reduced while the number of multivehicle ones has been more or less stagnating. However, we see no particular change in this tendency around 2011.

The decreasing trend in single-vehicle accidents (relative to multivehicle ones) does not seem a continuous trend rather than a reaction to the intervention in September 2011. It might be related to the increase of traffic volume on motorways, making single vehicle accidents less likely (4).

Before- and after test

To formally test whether the decrease in multivehicle accidents since the legalization of traffic filtering is smaller than that of single vehicle accidents an odds ratio is calculated as described in the method section. The relevant frequencies are given in Table 1.

Table 1. Frequency of Multi- and single vehicle accidents in Belgium before and after legalizing traffic filtering

	Before (2009-2010)	After (2012-2013)
Multivehicle accident	295	219
Single vehicle accident	152	99

The control accidents – single vehicle accidents – were slightly more reduced after legalizing traffic filtering than the critical accidents – the multivehicle ones. This difference is, however, not significant (OR=1,14; CI95-=0,83; CI95+=1,4).

Rush-hour vs off-peak accidents

As the development of multivehicle vs single vehicle accidents might be influenced by a continuous increase in traffic volume, it is use-ful to consider another approach to singling out traffic filtering accidents in parallel. Traffic filtering takes mainly place in rush hours when there are traffic jams. As a consequence one would expect changes due to the traffic filtering law to show specifically at these times and not at other times.

Hourly distribution of accidents

In Figure 5 the average annual number of multivehicle motorcycle accidents on motorway accidents is given for each hour during a working day. This means that weekend accidents, those involving only a single motorcycle, and those taking place outside motorways are excluded from this analysis. The distribution over the hours of a day is plotted for accidents before legalizing traffic filtering (in red) and after (in blue).

Accident numbers are low in off-peak hours and elevated in the morning and evening rush-hours. This is the case for accidents before and after the legalization of traffic filtering. However, there seems to be a reduction of evening accidents after 2011.

Before- and after test

To test whether in general multivehicle accidents decreased during the rush-hour more than at off-peak times, we define rush-our as all accidents between 6:00 and 9:00 as well as all accidents between 16:00 and 18:00. Only multivehicle accidents on motorways during weekdays are included. The relevant accident numbers are given in Table 2. Since the legalization of traffic filtering, rush-hour and off-peak accidents have practically reduced to the same extent (OR=1,1; CI95-=0,6; CI95+=1,6).

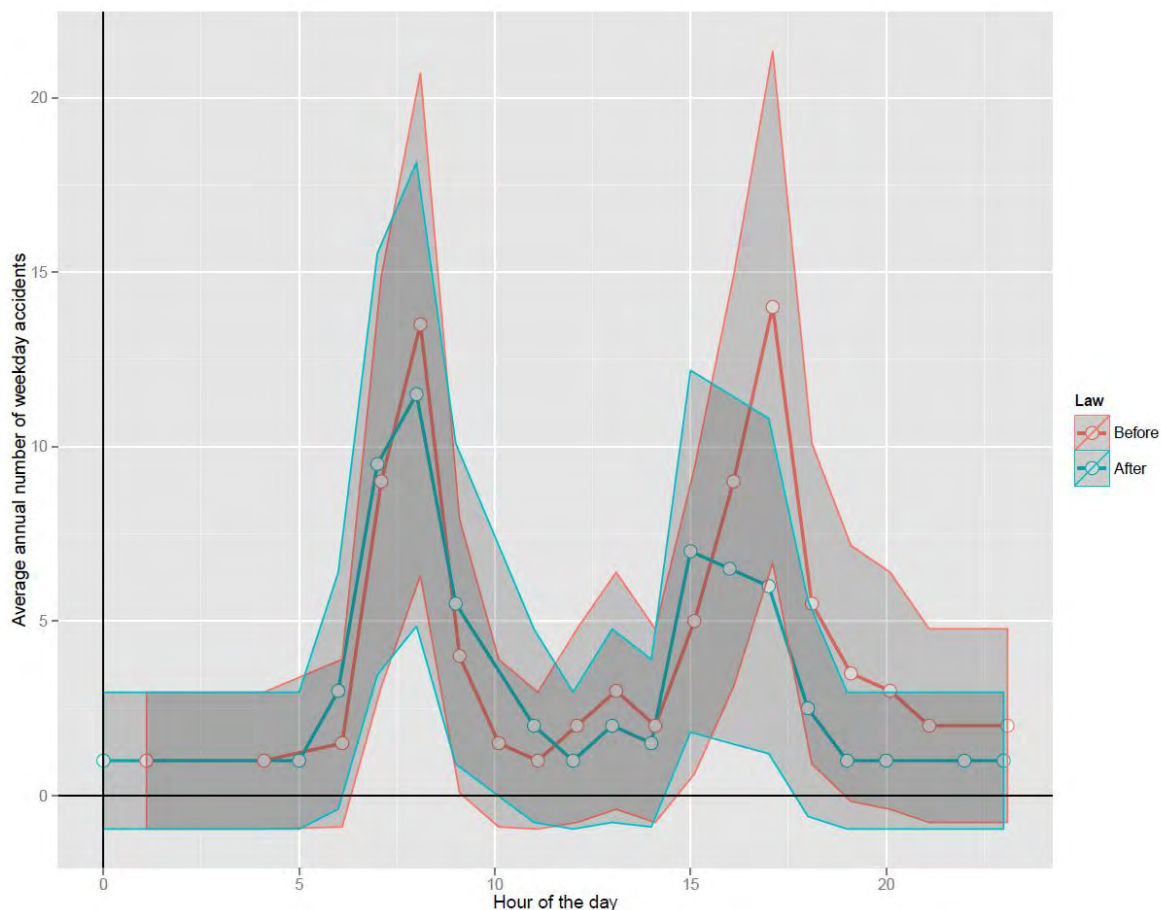


Figure 5. Average annual number of weekday accidents involving a motorcycle and at least one other vehicle on motorways by time of the day and period (Before = 2009-2010; After = 2012-2013). The confidence intervals are based on the assumption of a Poisson distribution, with $CI = N \pm 1.96 \sqrt{N}$.

Table 2. Frequency of rush-hour (6:00-9:00; 16:00-18:00) and off-peak accidents in Belgium before and after legalizing traffic filtering. Only multivehicle motorcycle accidents on motorways are included.

	Before (2009-2010)	After (2012-2013)
Rush hour	94	73
Off peak	58	41

Conclusion

The speed measurement among traffic-filtering motorcyclists show a worrying trend to ignore the speed limits set for this practice (50 km/h ~30 mph). In fact the majority of the motorcyclists rides faster than allowed and more than a third exceeds the set limit by more than 30 km/h and filters through traffic at more than 80 km/h (~50 mph).

In spite of this alarming tendency, the small share of multivehicle motorcycle accidents on motorways indicates that traffic filtering is not a dominant cause of motorcycle accidents in Belgium. While accidents involving traffic filtering motorcyclists cannot be identified unambiguously in the Belgian accident data, the number of accidents that are likely to be such accidents (multivehicle accidents on motorways) is very small (less than 3% of all motorcycle accidents). The small share of these accidents is probably also an indication that the phenomenon traffic filtering is less frequent on Belgian motorways than in some other countries (e.g. France). The transferability of these results to areas with a larger incidence of traffic filtering might therefore be limited.

To study the effect of legalizing traffic filtering, it was investigated whether there had been any change specifically to the frequency of accidents that are likely to involve traffic filtering. This part of the study was focused on motorway accidents. To take into account trends that have nothing to do with the legalization of traffic filtering, multivehicle accidents were compared to accidents only involving a motorcyclist. These latter accidents would be affected by the same general trend (e.g. an increase or decrease of motorcycle mileage on motorways) but they should not be affected by traffic filtering. No significant difference between the recent developments for both types of accidents could be found. There is a general trend in the sense that single vehicle accidents showed a slight decrease while the number of multivehicle accidents stagnated, but this tendency does not seem to have anything to do with the legalization of traffic filtering as it has started long before this measure was introduced.

The general tendency for single vehicle accidents to be more strongly reduced than multivehicle ones could be due to the increase of the traffic volume on motorways (for all motor traffic but also for motorcycles). An increased volume decreases the probability to observe single vehicle accidents – simply because any error of one road-user is more likely to involve other road users that happen to pass by (3).

As a second step, zooming in on multivehicle accidents on motorways, the number of accidents during rush-hours was compared to those in off peak ours. Again, this was done for accidents before and after the legalization of traffic filtering. Both types of accidents have decreased since 2011. There is, however, no difference in the extent to which they have decreased.

It can be concluded that accidents possibly due to traffic filtering represent only a very small share of the motorcycle accidents (2,6%). Although the number of motorcycle accidents has decreased since the legalization of traffic filtering, the share of the accidents critical to this practice has remained the same.

References

1. ITF/OECD. (2015). *Improving Safety for Motorcycle, Scooter and Moped Riders*. Paris: OECD publishing.
2. Martensen, H., & Roynard, M. (2013). *MOTAC – Motorcycle accident causation. Diepteanalyse van zware en dodelijke ongevallen waarin motorfietsers betrokken waren*. Brussel: Belgisch Instituut voor de Verkeersveiligheid – Kenniscentrum Verkeersveiligheid.
3. Cleveland, R.B., W.S. Cleveland, J.E. McRae, & I. Terpenning, 1990. STL: A seasonal-trend decomposition procedure based on loess. *J. Official Stat.*, 6:3-73.
4. Martensen, H., & Dupont, E. (2013). Comparing single vehicle and multivehicle fatal road accidents: A joint analysis of road conditions, time variables and driver characteristics. *Accident Analysis and Prevention*, 60, 466-471.

Definition of a safe barrier for motorcyclists

Definition einer motorradfreundlichen Schutzplanke

Maria Nordqvist

The Swedish Motorcyclists Association, SMC, Sweden

Göran Fredriksson

Swedish Safety Barrier Association, SVBRF, Sweden

Jan Wenäll

The Swedish National Road and Transport Research Institute, VTI, Sweden

This final report is made through a donation from “Skyltfonden” and the Swedish Transport Administration. Any conclusions, positions or methods in the report reflects the authors and does not have to be in line with the views, conclusions, positions or methods in this field of the Swedish Transport Administration.

The literature review was conducted by a team of experts; project manager Maria Nordqvist, SMC, Göran Fredriksson, SVBRF and Jan Wenäll VTI. Global research, studies and statistics have been collected and studied. A workshop with participants from different areas in Sweden, Norway and ERF in Brussels was held 20th February when a draft of the literature study was presented along with seminars with researchers from Germany and USA. This is the final report from the literature study and the workshop.

Abstract

The best barrier for a motorcyclist is no barrier at all. If the barrier itself is more dangerous than what it is designed to protect, no guard rail should be installed. Since there are bridges, trees, steep mountain roads, oncoming traffic and other obstacles in the road environment, there will always be a need of barriers to protect the road users on roads and bridges. But, a barrier is never safe, only less dangerous than the risk behind the barrier.

According to all tests carried out, barriers with Motorcycle Protection System, MPS, gives the lowest risk of injury, whether the rider slides into the barrier or is sitting on the motorcycle. We therefore choose the term MPS in the future since it gives positive effect, mainly in sliding but also in a sitting collision. In a collision where the rider is sitting, sharp edges and corners as well as posts sticking up over the barrier has a major significance for the outcome of injuries. Most studies show a lower risk of injury for collisions with concrete barriers compared to the w-profile and cable barriers, some displays of comparable severity.

Guardrails with unprotected posts and protruding parts lead to the most serious injuries. Smooth barriers without unprotected posts, provide less risk of injury. Several studies have excluded accidents with cable barriers depending on the low number of accidents. The risk of injury in collisions with cable barriers was higher than all other barrier types in some studies, while the risk of injury corresponded to a collision with W-profile in a few studies.

We have chosen not to analyze discontinuous MPS, with protection around the poles, since they give very little reduction in risk of injury. There is also a risk that the rider slide between the posts and collide with the obstacles that the guardrail is intended to provide protection for.

The distance from the road is important for both avoidance of accidents and the risk of injuries.

The most common injuries in guardrail accidents are legs, head, chest and pelvis. All studies show a very high risk of being killed or seriously injured when motorcyclists collide with guardrails.

The technical specification TS 1317-8 specifies a test method in which a dummy slid with head first into a guardrail at an angle where few accidents happen. It is a method that could be simplified, without reducing the safety for motorcyclists.

It is easy to reduce the risk of injury to motorcyclists in terms of both the design of the guardrail and the installation. There is enough knowledge and experience to come to decisions that will increase the safety of motorcyclists in terms of design and installation.

It is difficult to draw fair conclusions from international research. There are huge differences in the barriers used in different countries, the extent of barriers installed and how the barriers are installed. This makes a comparison more difficult to make since one type of barrier can be used very rare or not at all. This is the case concerning concrete barriers in Sweden.

Definition of a safe barrier for motorcyclists

1 Background

1.1 Literature study

Literature has been collected, mainly via Google Scholar and our global contacts. We have mainly looked for studies that highlighted three issues we have seen as important factors for the motorcycle safety.

1. Injuries or risk for injuries from different types of barriers
2. Injury risk depending on barrier design and type of barrier
3. Injury risk depending on installation of barriers

In addition, we compared data on Swedish motorcycle accidents against barriers with the rest of the world. Existing test methods has to some extent been analyzed, even if this part of our application for funding was rejected.

There is much research on the area and it grows as the number of killed and injured motorcyclists in barrier accidents increases. Most studies are done in Australia, New Zealand and the United States. Germany has conducted studies before and after MPS and other road safety measures were conducted. Unfortunately this literature is only available in German which reduces the understanding. Studies have also been conducted in Spain and Italy.

When it comes to concrete actions based on existing knowledge and experience, Norway has progressed furthest in Scandinavia. The Norwegian Public Roads Administration has a chapter in “Handbook for rekkverk (N101)” with clear requirements for the selection of barriers and the part of the roads where MPS should be installed. Spain and Portugal are the countries in Europe which have invested most in MPS for motorcyclists. Spain has developed a test method and set aside large sums for the retrofitting of MPS. Portugal has a regulatory framework since 2004 with demands for where MPS must be installed to increase motorcycle safety. Germany, as previously mentioned, also has a program for installation of MPS on popular motorcycle routes. Australia and New Zealand is aiming to install MPS, mainly black spots and popular motorcycle routes.

1.2 Share of fatal motorcyclists in barrier accidents

Six motorcyclists were killed in collisions with barriers in Sweden 2014, out of a total of 29 killed in two-wheel motorcycle accidents. The share of motorcyclists killed in Sweden in barrier accidents varies between 10-20 percent per year. The corresponding share in the USA 5.5, Australia 5.4 and 8-16

percent in Europe. Thus, Sweden has an alarmingly high proportion of motorcyclists killed in barrier accidents (1).

57 motorcyclists have been killed in a barrier collision in Sweden from 2000 to 2014, or nearly four persons per year (Annex 2). 26 riders (45.6 percent) have been killed in barrier accidents on the TENT network (Trans-European transport network). Six accidents occurred on municipal streets and roads. The remaining 25 accidents (44 percent) occurred in the smaller state road. During the same period, 2000-2014, 72 persons in cars were killed in barrier accidents. The risk of a fatal crash with a barrier is significantly higher for those traveling on a motorcycle compared to those traveling in a car. This is the case in all collisions where a motorcyclists is involved and the reason for seeing riders and passengers on motorcycles as vulnerable road users.

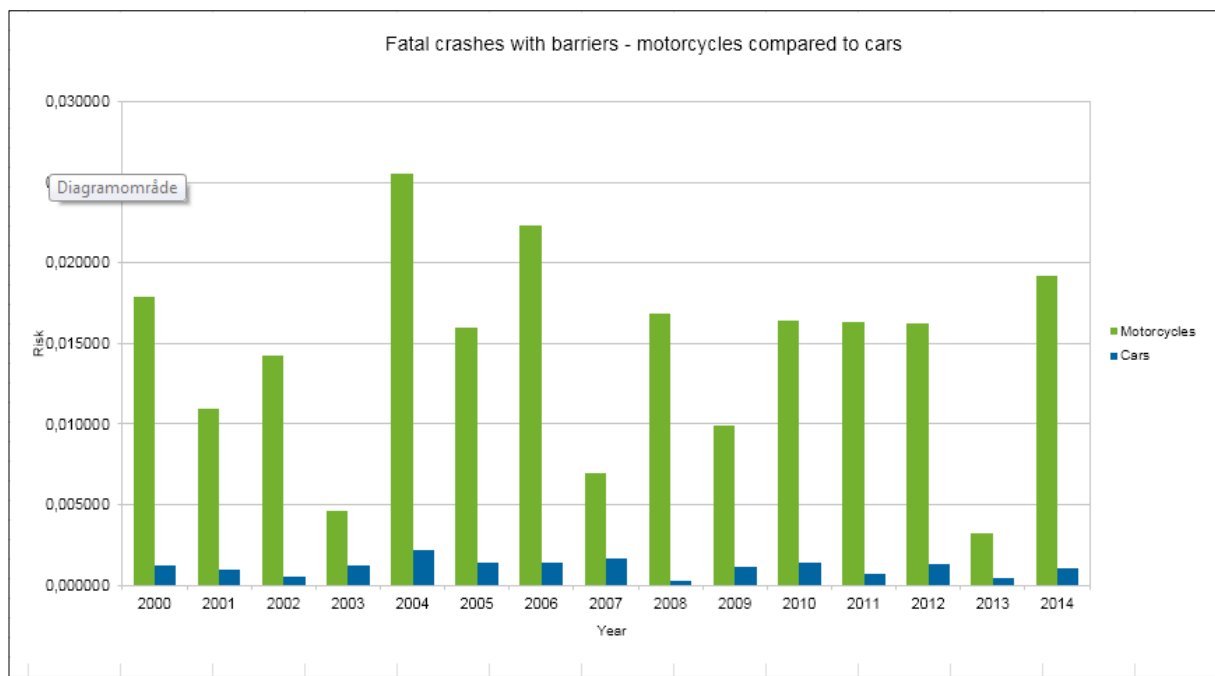


Figure 1. Risk per 1,000 vehicles of being killed in a barrier crash motorcycle/car 2000-2014. Source: The in-depth studies of fatal accidents, the Swedish Transport Administration and vehicle fleet SCB June 30 each year

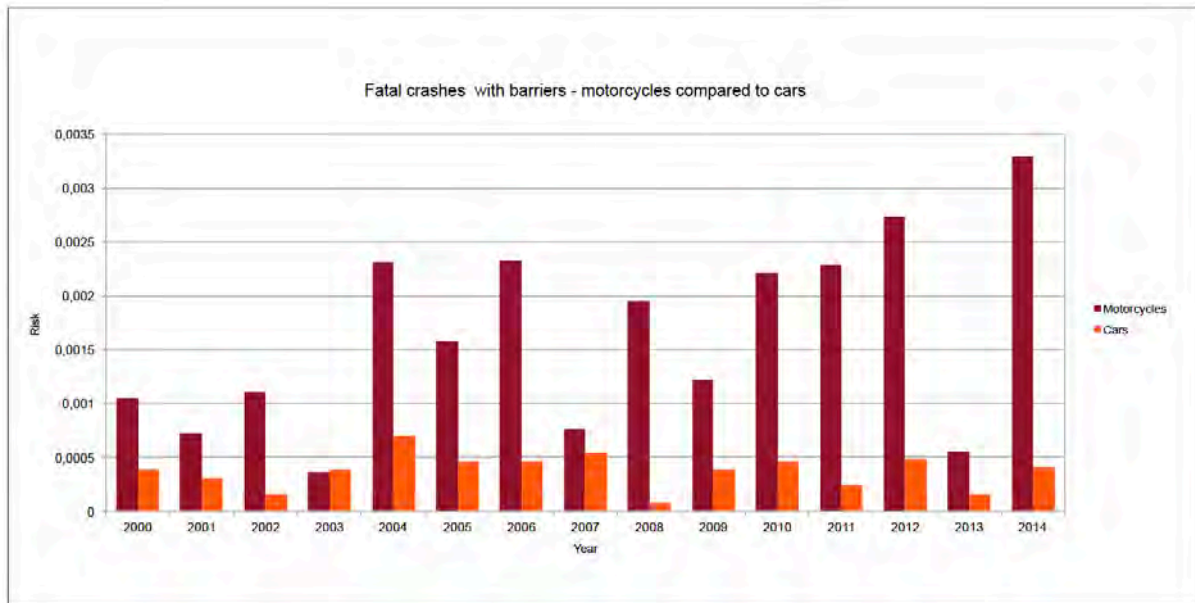
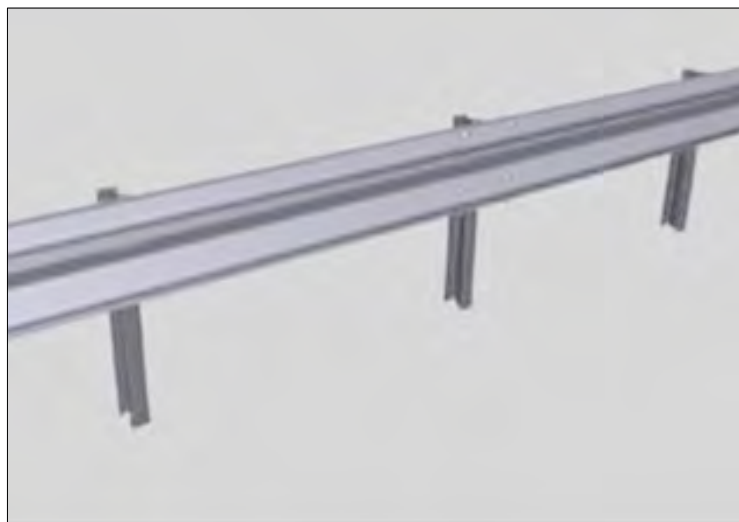


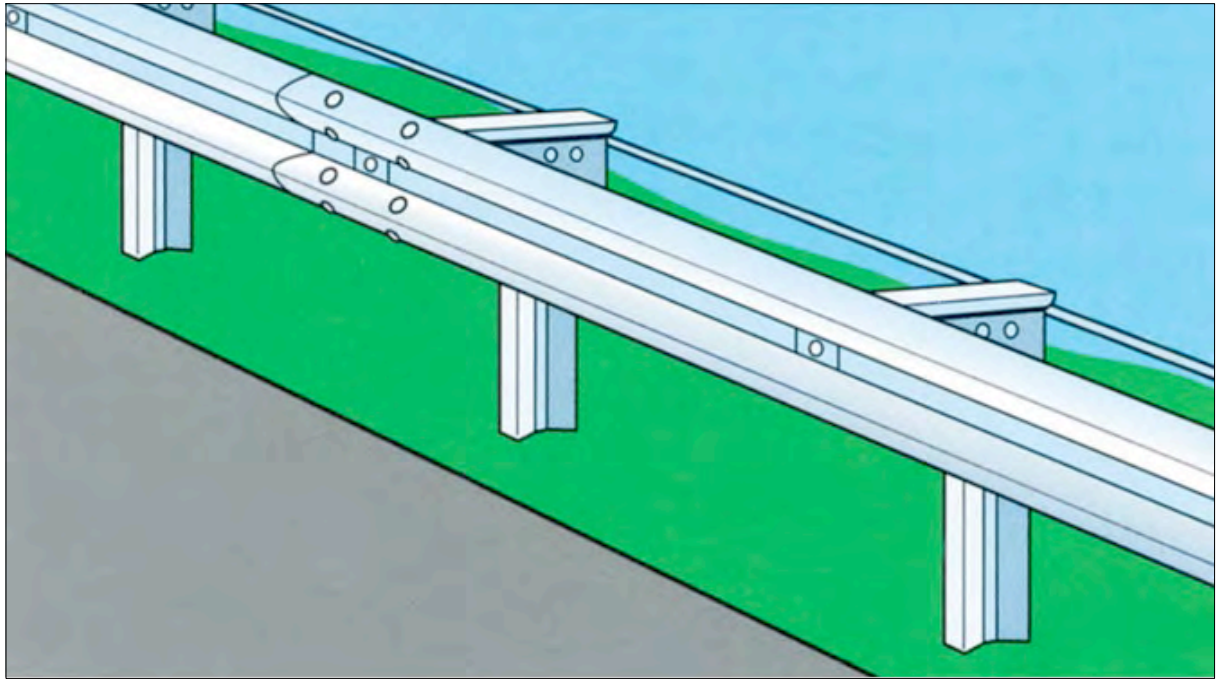
Figure 2. Risk per 1000 km of being killed in a barrier accident motorcycle/ car 2000-2014. Source: Swedish Transport Administration in-depth studies of fatal accidents and annual mileage according to Trafikanalys. Mileage for a car estimated for 2014. Mileage MC estimated for 2013-2014.

1.3 Barriers in Sweden

According to the Swedish Transport Administration there were 4000 kilometers of median barriers in Sweden in 2010. The shares were; wire rope barriers 2900 kilometers, 90 kilometers concrete barriers and the rest are pipe- and w-profile barriers. At the same time there were 7000 kilometers of side barriers. The share of side barriers are not known (25). The most common barrier in the world is a w-profile barrier (or A-profile as it is more commonly called) which can look a bit different depending on the country where it is produced.



Picture 1. A w-profile barrier original in Swedish design with sigma posts.



Picture 2. A w-profile barrier of Swedish design with a block-out (barrier name EM2). A w-profile barrier with a blockout gives a chance to install MPS on the poles, providing the distance to the ground is high enough. This is normally not the case on the original w-profile barrier.



Picture 3. W-profile barrier with MPS, installed on an exit of E4 outside Gävle 2014.

1.4 Maintenance

The Swedish Transport Administration has installed MPS protection in 2012 in order to determine their resistance to damage during winter. After two winter seasons, it has not recorded any injury outcomes that would be a hindrance, in terms of longevity and maintenance, installation of this type of protection. There is an accumulation of debris, gravel and leaves on the ground against the side of the road, however, which is an effect that requires some increased maintenance compared with barriers without MPS. The trials will be completed and evaluated after this winter season, becoming the third.



Picture 4. The first barrier with MPS was installed on a road outside Åkersberga May 2012.

2 Type of injuries and injury risk for different types of barriers

2.1 Myth or truth?

Many studies and presentations from a number of countries, including Sweden, states that it is a myth that cable barriers have a cutting or snagging effect and is usually dismissed as propaganda from motorcycle organizations. This is unfortunately no myth, neither in Sweden nor in other countries. We have taken note of injuries, both in fatal accidents from STRADA and reports from Rescue Services. There are a number of accidents involving motorcyclists who were divided into several parts when they crashed with a barrier (2-3). The same injuries can also be found among the seriously injured.

The cutting and snagging effect applies not only to cable barriers but also guardrails of type W-profile and kohlsua barriers. Wenäll noted in 2011 that autopsy reports described severed body parts, both

from cable and steel guardrails (4). The common denominator with cable barriers are a large number of unprotected posts. An Italian study, conducted by two pathologists, contains nasty pictures of mutilated motorcyclist killed in collisions with W-profile barriers. The authors believe that both motorcyclists could have survived if the posts were protected with MPS. The pathologists also adds that their unique knowledge of the injuries from traffic fatalities should be used to create safer roads (5). In general it is the poles, not the longitudinal barrier, that causes the most serious injuries on the motorcyclist.

2.2 Age

Motorcyclists are getting older, the Swedish motorcycle owner is on average 53 years (6) which increases the risk of serious injuries and fatalities in collisions with various obstacles on the side of the roads since older persons are more fragile (7).

2.3 Studies from different countries

2.3.1 Sweden

Two Swedish studies have looked at injuries to motorcyclists who collided with a motorcyclist. The first studied about 20 typical accidents against various barrier types. In almost all accidents, the rider was sitting on the motorcycle at the collision. Most common were injuries on legs and feet. In the fatal accidents dominated head, neck, chest and pelvis injuries. In the most severe accidents, limbs were torn off. In all the accidents where the motorcyclist died, he/she got caught in the barrier (4).

Another Swedish study has analyzed all police-reported motorcycle accidents with guardrails and made a number of in-depth interviews. Accidents on cable barriers, W-profile and kohlsua barriers have been studied (73 percent of all accidents), while accidents with concrete, pipes and unknown types were removed. The study covers 116 police-reported accidents and 55 interviews.

FSI ratio (Fatal Serious Injury) showed no difference in injury outcomes of motorcyclist collisions with any of the investigated barrier types: cable, w-profile and kohlsua. Meanwhile, the FSI ratio is high, 50 percent or more, in a crash between a motorcyclist and the three investigated barrier types. The FSI ratio is about 35 percent in general motorcycle accidents in Sweden.

The analysis also shows a clear association with risk of injury based on if the motorcyclist was sitting on the motorcycle at the collision or slid into the barrier. Motorcyclists who slipped into the barrier was injured considerably more serious than those who sat on the motorcycle in the collision. The predominant injuries were legs, especially among those who sat on the motorcycle in the collision. The author says that the risk of medical disability and severe outcome can be reduced (8).

2.3.2 Australia and New Zealand

In Australia and New Zealand, a number of studies have been made of 78 fatal accidents on three barrier types: cable, w-profile and concrete. The injuries that occurred was similar, regardless of barrier. Most injuries occurred to the chest, followed by head injuries. More injuries occurred to the chest and pelvis when the motorcyclist slid along the barrier. All riders who collided with cable barrier (seven accidents) had thoracic injuries (1). A previous study by the authors show that collisions with concrete barriers could possibly result in fewer serious injuries (9).

A study was presented in December 2014, based on the 78 accidents in Australia and New Zealand by the authors of the studies above. It constitutes the completion of seven years of research with the aim to clarify which barriers are safer for motorcyclists, where they should be installed and also proposes a new test method. The study concludes that smooth barriers (steel guardrails with MPS and concrete barriers) provides a significantly lower risk of injury to motorcyclists. The best effect is a guardrail with MPS which is envisaged to prevent serious head, neck and chest injuries in collisions at 15 degree angles at speeds up to 100 km/h. Concrete barriers are expected to prevent serious injuries in collisions at speeds below 80 km/h depending on the collision angle (10).

2.3.3 Germany

A German study 2005 compared the crash tests with both a seated dummy on motorcycle (60 km/h) as a sliding dummy against concrete, W-profile and guardrails with MPS. Measurements were made of the collision, both with the barrier and with the ground. This was compared with computer simulations of the seated dummy, which collided with cable barriers at Monash University in Australia. It is the only crash test between a motorcycle and cable barriers that the authors found. No country or manufacturer has conducted or published crash tests with motorcycles and cable barriers in reality.

When the motorcycle and seated dummy collided with the w-beam barrier, serious but not life-threatening injuries when the dummy got stuck and injured by protruding parts. Most injuries occurred on chest, shoulder and pelvis. A corresponding test with concrete barrier gave less damage, but the dummy was thrown over the barrier. The crash tests against w-beam barrier where the dummy and motorcycle slid into the barrier showed very serious injuries over the limit for survival when the dummy collided with a pole after five meters. In the horizontal test against the concrete barrier the dummy slid longer compared to the w-beam. This test also showed injuries that could cause serious or fatal head injuries while injuries to the thorax and pelvis were lower compared with the W-beam barrier.

The German tests provided a basis for a computer simulation in MADYMO model against cable barriers and concrete barrier where the rider drives into the barrier seated at two different speeds and an-

gles. The simulations with concrete barrier showed severe injury to the head and chest, within the limit of survival. The simulations with cable barriers showed very serious injuries, regardless of the speed and angle. In all simulations, the rider got stuck in cable barrier which caught the front wheel in the post and threw the rider forward with the head first. Since the rider got his leg stuck in the cable, the head and chest was hit in the rotating motorcycle. In all simulations the rider was thrown over the barrier with the head first, which meant head injuries that are impossible to survive. Although the risk of getting caught and getting leg snagged was severe in the cable barrier tests, the authors considered that the biggest risk is that the cable led the motorcycle into the posts where the front wheel got stuck and the rider was thrown from the vehicle. No simulations were made when the motorcyclist slid on the ground into the cable barrier.

The study showed that the lowest risk of injuries, in both sitting and lying collisions, was with guardrails with MPS. The MPS made it impossible for body parts to get stuck in the barrier at the seated test. The dummy however, fell over the barrier at the end of the test. The only barrier where a sliding dummy were measured to survivable injuries was in the test with MPS railing (11).

2.3.4 USA

Several researchers in USA have analyzed in-depth studies of fatal accidents on motorcycles. We have not found any study that describes injuries associated with barrier collisions, but a number that describes the risk of injury due to barrier types and other obstacles.

Gabler has studied fatal accidents on motorcycles in several reports 2007-2013 in the United States and 2000-2008. He concluded the one of eight motorcyclists who collided with a railing died. It gives a mortality risk that is 80 times higher compared to those traveling in a car. All studies show a comparable level of risk based on two compared barrier types: steel guardrails, w-profile and concrete barriers. All collisions with fixed objects leads to higher risk of death compared with the risk of colliding with another vehicle or a fall to the ground. The risk of being killed in collision with w-profile barrier is 12 percent, while the risk of being killed in collision with concrete barrier is 8 percent. Gabler concludes that the risk of serious injury is 1.4 times higher in crash with w-profile compared with concrete railing. The study found no significant difference in collision with a cable barrier compared to the w-profile barrier. Gabler has also found that the risk of death is higher in collision with both concrete and w-profile rail compared to cars where the risk is 4.8 per cent (12, 13, 14).

2.3.5 Malaysia

Computer simulations were carried out at different speeds, different angles and with different distances between the posts. It contained only simulations against w-profile barriers which are the most common barrier type on the particular motorcycle roads in the country. The study concludes that W-

profile barriers are not safe for motorcyclists and the risk of serious injury increases with higher speed, higher impact and the shorter the distance between the posts (15).

3 Accident sequence

Regardless of the study and the country in which research is conducted, the results show that in about half of the accidents the motorcyclist was sitting on the motorcycle at the collision, in half the motorcyclist was sliding into the barrier. When the motorcyclist is sitting on the motorcycle, the risk that the driver is thrown over the barrier is relatively high. The risk of being thrown over the barrier seems to be similar for w-profile and concrete barriers. Simulation studies made with collisions against cable barriers showed that the rider always was thrown over the barrier (11). The majority of the investigated accidents in all countries takes place at angles less than 15 degrees, while the European technical specification TS 1317-8 uses 30 degrees at the test.

3.1 Sweden

The Swedish study of 160 accidents showed that the impact angle was 1-20 degrees in 50 percent of accidents. 29 percent of all riders slid into the barrier, 23 percent were sitting on the motorcycle and fell over the barrier, 36 percent were sitting on the bike and did not fall over the barrier, and in 13 percent, the circumstances of the accident is unknown. An analysis of the fatalities in the Swedish study showed that 43 percent slipped into the barrier, 32 percent were sitting on the motorcycle and fell over the barrier and 25 percent were sitting on the motorcycle without falling over the barrier (16).

3.2 Australia and New Zealand

Out of the 78 surveyed fatalities in Australia, the average angle was 15.4 degrees and the average speed was 100.8 km/h. The distance from impact to stop was 28.9 meters for a seated motorcyclist, 26.3 meters when the motorcyclist scraped, rolled or slid along the railing top and 12.7 meters for the motorcyclist who slid along the ground (1).

3.3 Germany, the Netherlands, France, UK and Finland

The project APROSYS analyzed motorcycle accidents in four databases. It notes that most accidents occur at low angles at a speed of 50 km/h. It is more common that the motorcyclist is sitting on the motorcycle at the collision than the rider/passenger sliding into the barrier or other obstacles in the side area (17).

3.4 UK

In depth studies of motorcycle accidents in England and Wales showed that in 47 percent of the accidents the rider was sitting on the motorcycle, in 37 percent the rider was sliding on the road prior to the collision. Four percent rolled and 12 percent fell over the barrier (26).

4 Where do the accidents occur?

4.1 Sweden

A review of 57 Swedish fatalities among motorcyclists and motorcyclist from 2000 to 2014 shows that 26 of the accidents occurred on the TENT-network (18). 53 percent of all barrier accidents in STRADA 2003-2010 took place on collision-free roads without oncoming traffic. Two thirds of the accidents occurred on a curve, the rest on a straight road. 39 percent of the accidents occurred on roads with a maximum speed of 90 km/h or more, while 48 percent took place on 50 and 70 routes.

The Swedish study of 160 accidents conducted by Vectura and the Swedish Transport Administration identifies two types of rail accidents in Sweden:

1. Accidents on busy roads with high standards and high speed limit. No significant differences in risk of injuries between different W-profile barriers and cable barriers were found.
2. Accidents on smaller roads with low standard. 20% higher risk of injury in a collision with barriers compared to other single vehicle accidents where rider went off the road (16).

4.2 Australia and New Zealand

Accident analysis of all barrier accidents in New Zealand shows that twelve of the 20 accidents occurred on State highways with 100 as a speed limit. Fifteen of the fatalities occurred in the curve. Of accidents with non-fatal outcome, 83 percent occurred in a curve. Countries with guidelines for installation of MPS has demands for MPS in curves with a given radius and at slip roads. A brand new study from Australia/NZ notes that it is economically viable to install MPS along roads with a lot of motorcycle traffic (10). Germany has implemented similar initiatives combined with other measures in the road environment in Euskirchen which has resulted in fewer fatalities in motorcycle against barriers but more significant in a larger amount of seriously injured (19).

4.3 UK

A study of all police reported accidents in England, Scotland and Wales between 1992 and 2005 showed that a majority of the accidents with median barriers occurred on roads with high speed, 70 m/p h or 112 km/h. When looking at only the fatalities the shares are divided like this: 38,5 percent of the fatalities occurred on a straight road, 32 percent in a left hand bend and 19,1 percent in a right hand bend. 6,1 percent occurred on exits or entrances and 3,2 percent in a roundabout.

4.4 The installation of barriers

The Swedish study of a number of typical motorcycle accidents against different types of barriers drew attention to the importance of a recovery zone. A recovery zone allows the rider to take evasive action if something unexpected happens on the road. It is obvious that increased barrier expansion close to the roadway gives more barrier collisions for all types of vehicles (4).

The Swedish regulation for installation of Vehicle Restraint Systems, VRS, in the road environment is "Vägar och Gators Utformning, VGU". According to VGU it is allowed to install a median barrier 0,35 meters from the roadway. A side barrier should be installed 5 centimeters from the paved edge of the road. This is a very limited area for recovery if anything unexpected happens.

An American study based on accidents in Indiana describes which barriers have the best effect for accident reduction and at what distance from the road they should be installed. The study describes demands from different states in USA for median and barriers. Most states requires a median strip of 40-70 feet (12-21 meter). Based on the different distances between the road and the barrier the study gives recommendations on choice of barrier: concrete, wire or w-profile barriers (27).

Research is also available in this area which shows that increasing the distance of both barriers and other fixed obstacles in the road environment provides improved security. Several studies describe that higher demands on the roadway and roadside width increase safety. IRAP has presented a number of guidelines regarding the installation of obstacles in the road lane areas. The guidelines are based on iRAPs methodology to identify safe routes. ARRB Group has also evaluated iRAPs risk parameters. ARRB say that a very important factor for determining the risk of collision is road width, including paved shoulders. The risk decreases by increasing both the road and the coated roadside width. Several studies describe how the accident risk decreases by increasing the roadside width of 1.5-2.5 meters (20). Norwegian "Trafikksikkerhetshåndboken" points to the same accident reduction with increased width of the shoulder (21).

iRAPs guideline "Roadside Severity Distance" concludes that most collisions with obstacles in the road environment occurs in 5-20 degrees. The relatively low angle means that recovery zones up to

five meters or less can have an effect on the outcome of the accident. A number of studies are analyzed and all clearly show that an increased security zone from one to five meters would increase safety substantially, both for those who travel in cars and on motorcycles (22). The same results are reported in the Norwegian Trafikksikkerhetshåndboken (21).

5 Results

5.1 Conclusions

- All studies point in the same direction regarding accident sequence, injury risk and injuries. Based on accident data and simulations, we have based our definition of a safe barrier for motorcyclists. First, some certainties that are important to point out regarding barriers.
- If the barrier itself is more dangerous than what the barrier is designed to protect from - no barrier should be installed.
- The more barriers that are installed without MPS, the more motorcyclists will be killed and seriously injured in barrier accidents.
- The risk of injury to a motorcyclist who collides with a barrier is very high compared to those traveling in the car.
- The main task for the median barriers is to reduce the risk of collisions, which will benefit all road user groups. But the median barriers must also include a minimal risk of injury for those who collide with them, also vulnerable road users like motorcyclists.
- A gentle slope or a ditch without a fixed obstacle means significantly reduced risk of injury to a motorcyclist compared to a side barrier.
- Barrier types with unprotected poles; w-profile, kohlswa- and cable barriers have the highest risk of injury to motorcyclists. Uneven top with accessible pole tops increase the risk of serious injuries.
- Barrier types with MPS have the lowest risk of injury to motorcyclists, regardless of how the collision occurs.
- Most Swedish fatal accidents on motorcycles occurs in curves, also among the barrier accidents. The risk of being injured and killed in rail accidents is very high on TENT roads.

- A wider recovery zone, between barriers and road reduces both the risk of accidents and the risk of injuries.
- Guardrails where body parts may get stuck is worse than barriers where body parts can slide along the barrier.
- A motorcycle-friendly barrier shall not impair the safety of those traveling in cars or other types of vehicles.
- The road authorities can reduce the risk of injury to motorcyclists in the selection of the roadside measurements, the choice of barrier and the distance between barrier and roadway.

A safe barrier for motorcyclists is

- a barrier where you cannot be thrown over in a collision
- a barrier without protruding parts where parts of the body and/or the motorcycle can get caught
- a barrier without openings, vertical or horizontal, where parts of the body and/or the motorcycle can become trapped
- a barrier with a smooth upper surface
- a barrier without unprotected posts in both the ground level and the top side
- a barrier with energy-absorbing MPS
- a barrier that is not fitted with attachments which involve a higher risk of injury and
- a barrier which is located at a distance from the road surface allowing a rescue space

5.2 Classification of barriers, based on collision-friendly features

Based on the literature review, we have made a proposal for a classification of barriers, based on collision-friendly features when a motorcyclist, sitting or sliding, collides with a barrier. The classification is done from -1 to +5 where the 0 level is represented by the most common barrier in the world, the w-profile barrier. For each step upwards, positive barrier properties that reduce the injury risk are added. They are specified after the characters **, each of which reduces the risk of injury. In each class there are specified examples of typical barriers in the class. Pictures of each type of barrier are shown in Appendix 3.

Class	Positive barrier properties	Examples of typical barriers
5 **	** Smooth side with energy-absorbing MPS, smooth top, overrun protection fitted	Non existing
4	Overrun possible ** smooth barrier profile, energy absorbing MPS smooth top	Euskirchen Plus
3	Uneven top, top of post accessible, overrun possible, ** smooth barrier profile, energy-absorbing MPS	W-beam with MPS according to TS 1317-8
2	Uneven upper surface, overrun possible ** smooth barrier profile, existing MPS function with smooth side but not energy-absorbing, no unprotected poles	Concrete barriers
1	Accessible posts cc < 4 m, sharp edges, large openings in horizontal and vertical directions, overrun possible ** smooth barrier profile with smooth / dividing box beam guard rail ("roofed W-beam") with smooth steel profile both side and top	"roofed W-beam" with smooth profile on both side and top
0	Accessible posts cc < 4 m, sharp edges, large openings in horizontal and vertical directions, uneven top, overrun possible ** smooth barrier profile	W-beam, kohlsua
-1	Protruding parts on the barrier side and top, accessible posts cc < 4 m, sharp edges, large openings in horizontal and vertical directions, uneven side and top, overrun possible	Cable barriers with supporting hooks

Definitions:

Sharp edges implies a radius less than 40 mm (tubular barriers typical diameter of about 90 mm)

Protruding parts may be hanging devices for rope, screw heads which are not rounded, steel edges and pole tops sticking out above the barrier

Large openings are those in which a body part can enter, get caught or slide through

Uneven side constitutes that part of the barrier that serves as railing (capture/hold back the vehicle) is not smooth. In addition to an increased risk of injury when sliding along the barrier, the wheel on the motorcycle can get stuck as well as the foot pegs and body parts.

Uneven top means that the post tops are accessible, ends flush with or less than 50 mm below the top edge of the railing, alternatively the railing design is uneven for other reasons, such as joints between concrete elements.

A longer distance between the posts is supposed to increase the chance for a sliding rider or passenger of a motorcycle to slide between the posts without touching them. If the angle is narrow, the collision speed will most likely be reduced before the collision. Four meters between the poles is a typical max distance on a w-profile barrier and is thus seen as a "norm". A barrier where the posts are placed with a longer spacing than four meters can be seen as a reason for upgrading the barrier to a higher level in the classification scheme.

The possibility of retrofitting and adding MPS to existing guardrails to make the barrier more MC-friendly is a positive quality that is not valued above.

The distance from the roadside/outer coating and barriers are not taken into account since this is a factor that is assumed to limit the risk of collision, the greater the distance is. It is a positive effect but it is not a quality in the barrier itself. The table above instead assumes that a collision occurs and how the injury risk can be minimized when it happens.

6 Discussion and suggestions for action

6.1 Safer barriers

There is a huge difference between different countries when it comes to the type of barriers that are installed, in what extent MPS is installed and what distance is seen as a safe zone between the barrier and the road. This is important to have in mind when comparing international research.

An increased use of barriers in Class 3-4-5 above instead of -1 and 0 would reduce the risk of injury among motorcyclists significantly. Road authorities should endeavor to always choose barriers where the retrofitting of MPS protection can be used to increase motorcycle safety.

It would be possible to do the w-profile barriers safer by using a block-outs on the railing but not on the MPS. This will avoid that the foot peg and legs to collide with the MPS protection in a collision. It should also give greater possibility that the motorcyclist will not fall over the barrier. However, at the same time there is a greater risk of hitting the pole tops when a person slides on top of the barrier.

It should be possible to introduce similar regulation in Sweden as in Norway for where MPS should be installed on the road network. Most motorcycle accidents occur in curves and the Norwegian rules are based on crash tests with barriers based on the Vision Zero collision curves (23).

The above proposal does not solve the problem of barrier accidents on the TEN-T road network where there are only requirement of using MPS on side barriers at the exits. Studies from other countries point out that accidents also happens at entrances why MPS should be considered also at entrances. Most barrier accidents on TENT-roads occurs on the straight roads. A first measure is to increase the distance between the roadway and the median and side barriers. The safety zone in the middle of the road is narrow, or almost non-existing, on the roads rebuilt to 2+1-roads in Sweden.

In addition to this, the barriers on the TENT-roads with high speed limits should be chosen with great care. There are existing requirements to use barriers that are safer for unprotected road users (including motorcyclists) at the initial investment and replacement of barriers (24). Although it is desirable

that all barriers are fitted with MPS, it is unclear whether this is economically viable. At the workshop in February a barrier producer claimed that MPS can be sold at € 20 per meter if the volumes would increase, Today there is simply no demand from the Swedish Transport Administration.

This is an area where the Swedish Transport Administration could initiate and fund innovative work to find a barrier type that reduces the risk of injury for motorcycle riders while maintaining or even increase the protection for other vehicles. A slightly increased barrier height, about 100 mm for the W-profile barrier in containment level N2 provides better vehicle restraining effect and allows the installation of many existing MPS system. The MPS are often too high to fit between the existing W-profile and ground with the old standard height of 550 mm to the center of the railing. Median and side barriers with smooth and wider railings than what's on the existing railings is desirable. Existing concrete railings could be used to a much greater extent than today since they present a lower risk of injuries to motorcyclists compared to a cable-, w-profile- and kohlswa barriers. However, without initiative, requirements and wishes of road management, there will be no development in this area.

6.2 Safer road sides

It is not difficult to improve safety for motorcyclists regarding roadsides. A first response is to never install side barriers on the roadsides if they can be cleared of obstructions. Another measure is to increase the width of the paved shoulder and also the distance to the side barrier. This will also reduce the injury risk. This calls for clear requirements in all regulations that govern the roads and street design and maintenance.

6.3 Reduce fall over the barriers

One first measure is to demand higher barriers compared to today, for both median and side barriers. Higher barriers have in tests shown positive effects for several road user groups in USA (28-29). Another possible measure to reduce falls over median and side barriers is to trap the motorcyclist safely before the motorcycle and rider reaches the barrier. This could be accomplished by creating sand pits between roadside and road barrier in the same way as in the motorcycle sport.

6.4 Tests and international coalitions

Today's test method in which an MPS protection is tested by a lying dummy which slides with the head first against a barrier is too complicated. This method is costly since the dummy breaks in collisions above 60 km/h. Thus, it is difficult to measure the outcome of the collision. The collision occurs at an angle where few accidents happen, 30 degrees, and also sliding on the road. These accidents are less common compared to collisions with a motorcyclist sitting on the bike at the collision. It is not

possible to conclude from the present test if the barrier makes it possible for the rider to fall over the barrier or to get caught on the pole tops of the barrier.

After the workshop the working group got a document from Belgium that shows demands on tests for approval and installation of MPS at new installations where the containment level is H2 or lower or when the containment level is H2 or higher. The document also gives guidelines for retrofitting and completion of MPS on existing barriers. Examples are given on acceptable solutions on barrier type, attachment and what happens when the MPS protection is installed.

The present test method TS1317-8 is a translation of the Spanish method UNE135900, which is based on an early French method developed by Lier in France. The method appears to be authoritative with a dummy, dressed in motorcycle gear, is thrown in the barrier with head first. The test is only focusing on motorcyclists who have fallen off the bike and slides on the road into the barrier. There is no motorcycle involved in the test at all. The dummy is developed for tests of seat belts and airbags in cars. The dummy is wearing a helmet beside the motorcycle gear. There is a risk that the choice of helmet can have an outcome of the test, depending on the choice of helmet. There are however no doubts that the MPS systems that have been approved according to the test have saved lives and reduced injuries on motorcyclists who have crashed with the MPS system, both sitting on the motorcycle and sliding on the road when colliding with the barrier.

Few researchers have knowledge of what a human being can survive at a collision which is the reason for creating a test method the opposite way. If you first define what you want a safe barrier for a motorcyclist to do with the bike and the rider and what parameters that differs between a good and a bad barrier, you can design tests or demands focusing on those parameters. For example one can say that sharp metal edges are dangerous and thus describe minimum radius or that sharp edges should not be able to reach with a spherical dummy.

The dummy itself is a random scourge and could be replaced by a rubber lump with a cylindrical form. The rubber lump can give objective and repeatable measurements, regardless of angle or trajectory.

The helmet effects the test and should be replaced by a steel sphere, a steel ball which can be instrumented. To a technician a steel sphere is something that is repeatable and can give an objective result of the barrier properties, regardless of the quality of the helmet. Test methods is about creating repeatable conditions that can be interpreted. To us it is obvious that the TS 1317-8 should be revised as soon as possible and replaced with a standard for MPS.

6.5 Open standard

Sweden could create an open standard considering MPS that could also be possible to use on an international level.

An open standard allows interoperability between products of different makes that follows the standard and free competition between producers and engineers of these products. The possibility of creating an open standard and if the open standard can be used instead of the present technical specification should be investigated by the stakeholders taking part in the standardization work.

6.6 Dissemination of the result

The final report will be sent to the Swedish Transport Administration for approval. It will be sent out to our network in the Swedish Transport Administration and the Swedish Association of Local Authorities and Regions who are the major street and road owners in Sweden where motorcycle accidents with barriers occur and also in charge of the regulation for barriers in Sweden. The report will be spread to the insurance companies since they pay for the damage on both barriers and persons in these accidents. The Swedish Police force and the Rescue teams will receive the report since they are involved at the accident scenes. Politicians at different levels will get the report as well as the ministry of Transport in Sweden. It will be sent to all barrier producers in Sweden and ERF, European Road Federation in Europe. It will be sent to SIS and CEN – the Swedish and European Standardisation bodies. The websites of SMC, SVBRF and VTI will be used to launch the study as well as social media, membership magazines and other media. The study is translated to English in order to be used with our international partners.

References

1. Motorcyclist impact into roadside barriers, Grzebieta et al 2013
2. STRADA motorcycle accidents against barriers 2005-2014
3. Reports from Rescue Services in connection with fatal accidents with MC / railing
4. Motorcyclists colliding with crash barriers, Study of a number of typical accidents, Wenäll 2011
5. Massive Lesions Owing to Motorcyclist Impact Against Guard Rail Posts: Analysis of Two Cases and Safety Considerations, Brandimarti et al 2011.
6. The Swedish Transport Agency, Traffic Registry in 2014
7. Probabilistic Models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes, Savolainen et al 2006.
8. Motorcycle Crashes into Road Barriers: The Role of Stability and Different Types of Barriers for Injury Outcome, Rizzi et al, 2012
9. The Protective Effect of roadside barriers for motorcyclists, Bambach et al 2012
10. Motorcycle crashes into roadside barriers, Stage 4: Protecting motorcyclists in collisions with roadside barriers, Bambach & Grzebieta, 2014
11. Motorcycle impacts to roadside barriers – real world accident studies, crash tests and simulations Carried out in Germany and Australia. Berg et al 2005
12. The risk of fatality in motorcycle crashes with roadside barriers, Paper 07-0474, Hampton C. Gabler 2007
13. The emerging risk of fatal motorcycle crashes with guardrails, Hampton Gabler 2007
13. Fatality risk in motorcycle collisions with roadside objects in the United States, Daniello & Gabler 2010
14. Roadside barrier and passive safety for motorcyclists, Ibitoye et al 2007
15. Motorcycle accidents in the railing, Vectura / Transport Administration in 2011, presentation. Analysis of 160 rail accidents and 55 in-depth interviews.
16. Technical bases for the development of a test standard for impacts of powered two-wheelers on roadside barriers, Peldschus et al 2007
17. Crash barrier collisions, The Swedish Transport Administration in-depth studies of fatal accidents from 2000 to 2014
18. Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrssicherheit auf Motorradstrecken, 2007
19. Review of IRAP risk parameter, Turner et al ARRB Group, 2009.

20. Trafikksikkerhetshåndboken, Elvik et al Institute of Transport Economics, 2012
21. IRAP Road Attribute risk factors; Roadside severity-distance, 2013
22. Rekkverk och vegens sidoområder, Chapter 3.8, Norwegian Pulic Roads Administration in 2014.
24. Road Safety Act (2010: 1362) and TSFS 2010: 183rd
23. Inriktning för väg- och broräcken, Trafikverket TRV 2010/98486
24. Safety barriers and motorcyclists, G L Williams et al, 2008 TRL
25. Effectiveness of cable barriers, guardrails, and concrete barrier wallsin reducing the risk of injury,
Yaotian Zou et al 2014
26. Midwest guardrail system for standard and special applications, Bielenberg et al 2012
27. Development of the Midwest Guardrail System, Reid et al, 2002
28. The Swedish Transport Administration website, contact Hans Holmén

Appendix 1. Studies and research in the field and method

Appendix 2. Fatal motorcycle-barrier accidents Sweden 2000-2016

Appendix 3: Examples of barriers in each class.

Appendix 4: Notes from the workshop in Sollentuna 20th February 2015

Appendix 1. Studies and research in the field and method

Sweden

Motorcycle Safety – a literature review and meta-analysis, Pål Ulleberg 2003. Method: literature review.

VTI notat 38-2002, Motorcycles and crash barriers, Göran Nilsson. Method: Literature study and review of motorcycle accidents against barriers.

VTI notat 43-2005, Crash barriers and hazards to motorcyclists in collisions with a small angle, Håkan Andersson 2005. Method: Literature study of collisions with low collision angle to the road barrier, less than 20 °.

Motorcyclists colliding with crash barriers, Study of a number type accidents, Jan Wenäll 2011. Method: By calling for accidents from the Police, SMC and the Swedish Transport Administration examine the typical personal injury as a motorcyclist hit by the collision with a crash barrier, with a hope to be able to link the injuries to specific technical details and, if possible, identify possible improvements in barriers.

Motorcycle Crashes into Road Barriers: The Role of Stability and Different Types of Barriers for Injury Outcome, Rizzi others. Method: an analysis of police-reported accidents and in-depth interviews with a number of motorcyclists who collided with railings. Both analyzes compared the motorcyclists injuries.

Improved road design for future maintenance – Analysis of Road Barrier Repair costs. Hawzheen Karim 2011. Method: Treatise on the rack-life costs, including social costs, as well as injury rate per edge protection based on the cost of railing repairs and accidents in STRADA.

Motorcycle accidents with barriers, Vectura/the Swedish Transport Administration 2011, presentation. Analysis of 160 rail accidents and 55 in-depth interviews.

Norway

Trafikksikkerhetshåndboken, Alena Høye, Rune Elvik, Michael WJ Sørensen, Truls Vaa, Institute of Transport Economics in 2012. Methods: A comprehensive literature review concludes with suggestions. Describes, among other things, risks of side barriers compared with forgiving roadside areas and how the road's width and increased recovery zone can reduce the risk of accidents.

Rekkverk och vegens sidoområder, Public Roads Administration in 2014. Chapter 3.98 describes requirements on the railings outside the MC safety, and in which curves, based on speed and radius, railing protection to be installed.

Crash tests Nordic Test Center AS 2009, dummy against barrier with MPS protection (STAR MC Hallingplast AS). Objective: The approval of the MPS for the Norwegian market.

Italy

Massive Lesions Owing to Motorcyclist Impact Against Guard Rail Posts: Analysis of Two Cases and Safety Considerations, Brandi Marti multi 2011. Methodology: autopsy of two killed MC drivers against the railing with W-beam.

Germany

Schutzeinrichtungen am Fahrbahnrand kritischer Streckenabschnitte für Motorradfahrer, Jürgen Gerlach and Kai Oderwald, Heft 152 BAST 2007. Methodology: analysis of accidents in Rhineland-Pfalz. Analysis of road conditions where accidents occurred which were compared with distances without accidents. The booklet presents suggestions on where planners should consider measures MPS to reduce the risk of injury to motorcyclists.

Pruefung von Fahrzeug-Rückhaltesystemen an Straßen durch Anprallversuche Gemäß DIN EN 131, Heft 157, Ralf Klöckner and Jürgen Fleisch, BAST 2007. Method: The study deals with barriers and MPS that reduce the risk of injury for both heavy traffic and motorcyclists. The results will be used to develop a barrier standard.

Anprallversuche an motorradfahrerfreundlichen Schutzeinrichtungen, Heft 193, Ralf Klöckner, BAST 2010. Describes how the MPS developed to railings will be safer for both those who travel in cars and on motorcycles. A new railing protection, "EDSP-Motorrad" was designed based on research and experiences from the Federal Highway Research Institute.

Merkblatt zur Verbesserung der Verkehrsicherheit auf Motorradstrecken, 2007 . An MC-working group of the "Gesellschaft für Forschung und Straßen-Verkehrswesen" has studied motorcycle accidents, implemented measures and then presented a paper on how popular motorcycle roads can be made safer.

Germany/Australia

Motorcycle impacts to roadside barriers – real world accident studies, crash tests and simulations carried out in Germany and Australia. Berg & Grzebieta 2005. Method: Step 1 in Germany: Analysis of 57 motorcycle accidents leading to two different test scenarios (seated 12 ° / sliding 25 °) in 60 km / h on W-beam and concrete railings. Although tests against railing with MPS. Step 2 at Monash University, Australia. The German performance against the concrete railing was used for computer simulation for motorcycle drivers who collide with railing sitting on motorbike. The model has been used for different speeds in the 25 ° angle with the cable barrier.

Scotland

Safety barriers and motorcyclists, G L Williams et al, 2008 TRL. Method: literature study, a pan-European questionnaire, in depth studies of accidents and the barriers in use in England, Wales and Scotland. Special focus on cable barriers.

Spain

Improving motorcyclists' safety in Spain by Enhanced Crash Test Procedures and Implementation Guidelines, Garcia and others 2009. Methodology: evaluation and development of Spanish test method UNE 135900-2008.

Innovative Concepts for Smart Road Restraint Systems (RRS) to Provide Greater Safety for motorcyclists, Juan Alblamulti 2014. Methodology: a part of the project Smart RSS, which includes testing of the railing with sensors that function as e-call.

Technical bases for the development of a test standard for impacts of powered two-wheelers on roadside barriers, Steffen Peldschus et al 2007. Metho: 1000 analyzed in depth studies in various European databases and investigated the railing collisions. Also investigated methods of testing in Spain and Germany.

USA

Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes, Savolainen, Mannering 2006. Method: Investigated all police-reported motorcycle accidents in Indiana 2003-2005.

Death by Motorcycle: Background, Behavioral and Situational Correlates of Fatal Motorcycle Collisions, Samuel Nunn 2011. Method: Analysis of 601 police-reported fatalities from 2003 to 2008 on the motorcycle in Indiana, USA. Order to identify the causes of death and the factors that increase the risk of being killed.

The risk of fatality in motorcycle crashes with roadside barriers, Paper 07-0474, Hampton C. Gabler 2007. Method: Analysis of several different reporting of accidents and vehicles.

The Fatal and Serious Injury Risk of Motorcycle Collisions with Traffic Barriers, Hampton Clay Gabler, 2014. Presentation at the International Road Federation-Asia Conference Designing Safer Road Side.

The emerging risk of fatal motorcycle crashes with guardrails, Hampton Gabler 2007. Methodology: Comparative analysis of rail accidents in the US for motorcycle and car.

Fatality risk in motorcycle collisions with roadside objects in the United States, Allison Daniello, Hampton C. Gabler, 2010. Methodology: analysis of two databases Motorcycle accidents from 2004 to 2008. The aim is to clarify the risk of being killed in a collision with different object.

Characteristics of injuries in motorcycle-to-barrier collisions in Maryland, Allison Daniello and Hampton C. Gabler 2012. Method: investigated 1707 accidents among motorcyclists in Maryland 2006-2008 in order to compare collisions with barriers with three other types of motorcycle accidents and collisions.

Effectiveness of cable barriers, guardrails and concrete barrier walls in reducing the risk of injury, Yaotian Zou et al, 2014. Method: Investigated 481 roads with three different types of barriers in Indiana to find the injury reducing effects.

Malaysia

Roadside barrier and passive safety for motorcyclists, Ibitoye, Radin, Hamouda 2007 Method: Simulations MADYMO W-profile. Diff angles (15,30,45) diff speeds (32, 48, 60) and the varying distance between the poles (2 and 4 meters).

Australia/New Zealand

Motorcycle crashes into roadside barriers, Stage 4: Protecting motorcyclists in collisions with roadside barriers, Bambach & Grzebieta, 2014. Method: A fourth and final step in the research on collisions MC railings with a view to provide knowledge about how railings can be made safer for motorcyclists without increasing the risk to other road users. Analysis of 78 fatalities in Australia / New Zealand and a number of simulations. Motorcycle impact into roadside barriers, Grzebieta, Bambach, McIntosh, 2013. Method: Has studied 78 fatal accidents motorcyclist-railing (2001-2006) in Australia / NZ on cable barriers, W -balk and concrete.

Motorcyclist Impacts Into Roadside Barriers – Is the European Crash Test Standard Comprehensive Enough? Raphael Grzebieta, Mike Bambach, and Andrew McIntosh 2013. Method: Have compared

the European technical specification EN 1317-8 for motorcyclists who collide with railings and relevance for Australian fatal accidents where the motorcyclist collided with railings.

The Protective Effect of roadside barriers for motorcyclists, Bambach, Mitchell, Grzebieta, 2012. Method: Analyzed police reports and hospital data in 1364 cases from 2000 to 2009 and compared railing collisions with obstacles. Seven collisions with cable barriers were removed from the study, because of the low number.

Injury Typology of fatal motorcycle collisions with roadside barriers in Australia and New Zealand in 2011, Bambach, Grzebieta, McIntosh. Method: Analyzed autopsy reports of all fatal accidents MC In Australia and New Zealand, of 1348 were 78 fatal accidents against the railings.

Characteristics of fatal motorcycle crashes into roadside safety barriers in Australia and New Zealand, Jama Hussein, H. 2010. Method: Based on autopsy reports in Australia and New Zealand 2001-2006.

Singapore

An Analysis of Motorcycle Injury and Vehicle Damage Severity using Ordered Probit Models, MA Quddus, 2001. Methodology: Analysis of all motorcycle accidents in Singapore from 1992 to 2000.

EuroRAP

Barriers to Change – Designing safe roads for motorcyclists, EuroRAP 2007. Methodology: a panel of experts from various countries analyzed statistics and research, pointing to the proposed measures.

FEMA

Crash Barrier Report, Eric Thiollier FEMA 2000. Method: A review of existing test methods, railing protection and infrastructure safety railings in Europe. Concludes with proposals for action.

The road to success – reporting of ongoing measures to increase motorcycle safety with respect to the railings in Europe in 2005.

New Standard for Road Restraint Systems – Designing Safer road-side for motorcyclists, 2012. The document is written a FEMA under the project Riderscan where research, statistics and measures from all over Europe were compiled and analyzed.

IRAP

Review of IRAP risk parameter, Turner and others ARRB Group, 2009.

Road Attribute risk factors; Media Type, 2013. Method: iRAPs toolkit and literature studies

IRAP road attribute risk factors; Roadside severity-object, 2013. Method: Literature study iRAPs + toolkit.

IRAP Road Attribute risk factors; Roadside severity-distance, 2013 Method: iRAPs toolkit and literature studies.

Appendix 2. Fatal motorcycle-barrier accidents Sweden 2000 - 2016

R= rider P= passenger E=transeuropean network roads

Month	Day	County	Place	Road	Road	Age R/P
2016						
4	23	Västra Götaland	Trollhättan	Local	Landbergsliden	73/R
5	9	Västerbotten	Umeå	Trafikverket	RV 12	26/R
5	15	Halland	Halmstad	Trafikverket	E6	50/R
6	28	Västra Götaland	Kungsbacka	Trafikverket	E6	?/R
7	10	Halland	Falkenberg	Trafikverket	E6	?/R
7	16	Norrbottn	Kalix	Trafikverket	E4	40/R
7	16	Norrbottn	Kalix	Trafikverket	E4	20/P
8	15	Gävleborg	Nordanstig	Trafikverket	E4	60/R
2015						
7	26	Västra Götaland	Tanum	Trafikverket	E6	41/R
2014						
4	23	Uppsala	Enköping	Trafikverket	E18	54/R
5	30	Skåne	Åstorp	Trafikverket	E4	42/R
7	5	Ögötland	Söderköping	Trafikverket	LV799	34/R
7	16	Y	Örnsköldsvik	Trafikverket	E4	49/R
7	24	X	Sandviken	Trafikverket	E16	43/R
8	23	Sörmland	Nyköping	Trafikverket	E4	34/P
2013						
5	26	O	Strömstad	Trafikverket	Lv1027	21/R
5	26	T	Askersund	Trafikverket	LV205	30/R
6	24	K	Ronneby	Trafikverket	E22	27/R
7	27	H	Oskarshamn	Trafikverket	LV771	38/R
9	21	O	Partille	Trafikverket	E20	44/R
2012						
7	12	X	Gävle	Trafikverket	E4	63/R
2011						
4	24	AB	Nacka	Local	Street	44/R
5	20	AB	Sollentuna	Trafikverket	E4	39/R
5	21	LM	Ängelholm	Trafikverket	E6	20/R
6	26	AC	Umeå	Trafikverket	E4	38/R
7	30	AB	Vallentuna	Trafikverket	LV280	65/R

2010						
7	10	Y	Sundsvall	Trafikverket	E4	43/R
8	7	D	Nyköping	Trafikverket	E4	56/R
9	8	AB	Stockholm	Trafikverket	E4	18/R
9	10	O	Göteborg	Trafikverket	E45	30/R
9	27	LM	Örkelljunga	Trafikverket	A ALLM VÄG	21/R
2009						
6	15		Göteborg	Local		33/R
7	30		Älvsbyn	Trafikverket	LV 555	58/R
8	20		Kungälv	Trafikverket	E 6 MV	45/R
2008						
6	6	O	Göteborg	Trafikverket	A ALLM V	21/R
6	21	LM	Helsingborg	Local	A ALLM V	25/R
8	2	O	Göteborg	Trafikverket	E6/RV 45	42/R
8	6	F	Jönköping	Trafikverket	E4	48/R
8	24	X	Gävle	Trafikverket	RV 80	42/R
2007						
6	4	BD	Luleå	Trafikverket	E4 MV	59/R
8	23	BD	Luleå	Local	Street	29/R
2006						
6	21	K	Ronneby	Trafikverket	RV 27	23/R
6	8	S	Karlstad	Trafikverket	E18	29/R
6	14	AC	Umeå	Trafikverket	E4 MV	40/R
8	1	H	Västervik	Trafikverket	LV786	42/R
4	23	AC	Robertsfors	Trafikverket	LV 670	52/R
6	15	K	Olofström	Trafikverket	LV 538	56/R
2005						
10	1	D	Trosa	Trafikverket	LV 219	20/R
6	3	F	Jönköping	Trafikverket	RV 40	23/R
8	1	T	Kumla	Trafikverket	LV 529	25/R
7	27	T	Karlskoga	Trafikverket	E 18	58/R
2004						
4	15	O	Ale	Trafikverket	RV 45	25/R
5	22	U	Köping	Trafikverket	E 18	40/R
5	27	AB	Stockholm	Local	Street	27/R
6	24	LM	Vellinge	Trafikverket	E 6	32/R
8	14	LM	Helsingborg	Trafikverket	E4 MV	22/R
9	18	LM	Lund	Trafikverket	LV 945	16/P
2003						
8	20	W	Leksand	Trafikverket	LV 919	24/R
2002						
4	12	T	Kumla	Local	Street	22/R
7	28	U	Västerås	Trafikverket	E18	24/R
8	24	W	Hedemora	Trafikverket	LV270	45/r
2001						
8	19	AB	Vaxholm	Trafikverket	LV274	21/R
7	28	T	Ljusn-Berg	Trafikverket	LV792	33/R

2000							
7	28	AB	Vaxholm	Trafikverket	LV1002		28/R
8	1	D	Katrineholm	Trafikverket	LV216		30/R
7	9	N	Kungsbacka	Trafikverket	E6		45/R

Average age: 36 years. Two women, one passenger, one rider. 64 men, two passengers, 62 riders.

Most fatal barrier accidents on the following roads:

E4 15

E6 9

E18 5

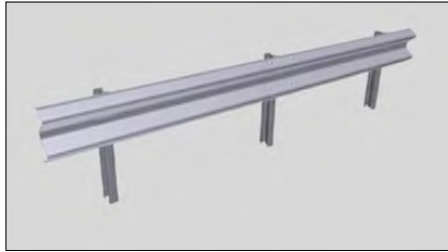
E16, E22, E20 and E45 = one fatal accident on each road. In total 33 fatal accidents on the TENT roads which means 50 percent. Seven fatal accidents on local authority roads/streets, 59 on the state owned roads.

Appendix 3. Examples of barriers in each class

Barriers class -1



Barriers class 0



W-profil



Kohlswa

Barriers class 1



Rooftop barrier



Roof rack with smooth profile on top



Barriers class 2



Barriers class 3



Barriers class 4

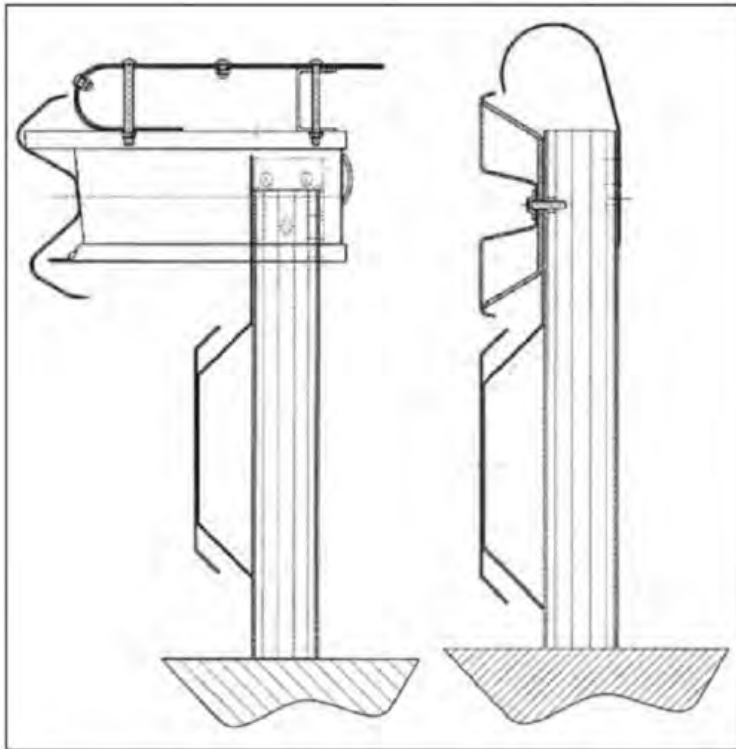


Bild 5: System EuskirchenPlus nach [GÄRTNER]

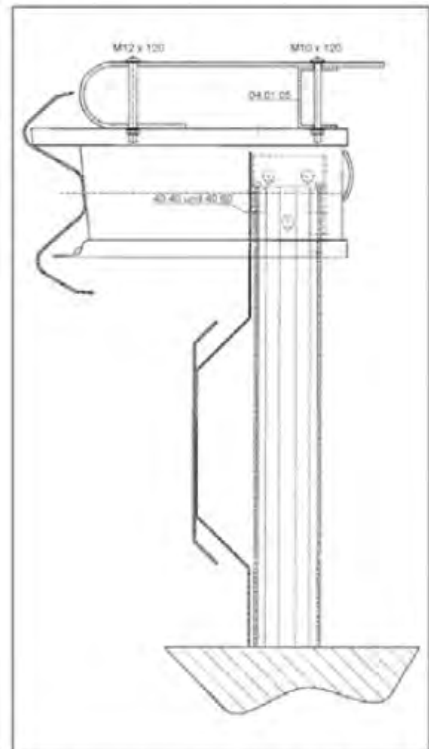


Bild 24: Querschnitt am Sigma-Pfosten der EDSP-Motorrad für die Variante mit Schutzplankenholm Profil A

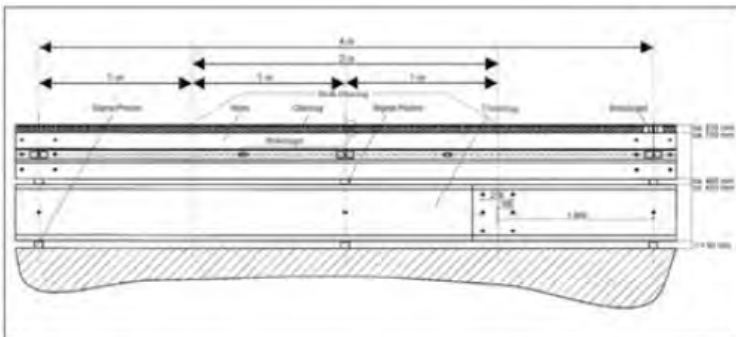


Bild 22: Frontansicht EDSP-Motorrad mit Anordnung der Unterfahrschutz- und Oberzugelemente. Die Stützbügel für den Oberzug werden auf den Abstandshaltern verschraubt (Abstand: 2 m). Die Aufhängebügel des Unterfahrschutzes werden vor jedem Sigma-Pfosten montiert (Abstand: 2 m)

Appendix 4: Notes from the workshop in Sollentuna 20th February 2015

An invitation was sent out at the beginning of 2015 to our network and anyone who could be concerned within the Swedish Transport Administration and to scientists, bikers, insurance companies, barrier manufacturers and consultants. In addition to the presentation of the literature study two researchers were invited: Uwe Ellmers from BAST in Germany, and Clay H Gabler, from Virginia Tech in USA.

The literature review was presented by Göran Fredriksson and Maria Nordqvist. The meeting asked for a development of the classification scheme with MC-friendly guard rail properties. It was presented as a concept linked to the results of the research done and the outcome of the literature study.

Clay Gabler, Virginia Tech

Clay Gabler presented the results of research from the United States. He has conducted several studies over a number of years and has drawn attention to the high number of motorcyclists killed in guard rail accidents. Since 2004 more motorcyclists than motorists have died in guard rail accidents in USA. 45 percent of those who are killed in collisions with the guard rails are motorcyclists.

Gabler examined several databases and compared the risk of being killed in a collision depending on what you collide with. He showed that the risk of death is higher in collision with both concrete and W-beam rail compared to a collision motorcycle - car where the risk is 4.8 percent. The risk of death is 80 times higher for motorcyclists who collide with a guard rail compared to those who are traveling in a car. The risk of being killed in a collision with W-profile barrier is 13.7 percent while the risk of being killed in collision with the concrete barrier is 8.2 percent. Thus Gabler concludes that the risk of serious injury is 1.4 times higher at collision with W-profile compared to a concrete barrier. The studies made by Gabler have not shown any significant difference in a collision with a cable barrier compared to a w-profile barrier. 951 accidents in four states have been investigated; Texas, Maryland, North Carolina and New Jersey. 35 percent of the accidents were fatal accidents and serious injuries. The risk of being seriously injured increased if the motorcyclist was separated from the motorcycle, the motorcyclist slid on the road towards the barrier and how the collision with the guard rail occurred. The collisions did not lead to laceration. Many accidents occurred on entrances and exits from highways.

Clay proposes various measures to reduce the risk of injury for motorcyclists who crashes with barriers; improve the top of the rail, avoid pole tops with sharp edges and attach MPS in front of the posts. This gives smoother guard rails. There is only one MPS installed in the entire USA.

One thing of Clay's presentation that drew the attention of all participants was the generous space between the road and the median barrier. An American cable barrier may also have eight meters between the posts. Cable barriers are often further from the paved edge of the road in the USA compared to both concrete and w-profile barriers which can affect the outcome of a guard rail collision positive since the speed drops before the collision with the barrier. Clay agreed with this and admitted that this had not been taken into account when looking at injury outcomes.



Picture 1. Median cable barrier installation in USA



Picture 2. Cable barrier installation 2+1 in Sweden (Finspång-Norrköping).

The following discussion was about installation of MPS at black spots. Maria Wedin, Länsförsäkringar, told the audience about their collection of all injuries in the traffic on a map, "Skada på karta". SMC described the project "10 000 kilometers road" where all motorcycle accidents in STRADA 2003 - 2009 are included along with the roads that are identified as the most important motorcycle roads in Sweden: <http://www.svmc.se/smc/SMCs-arbete--fragor/Infrastruktur/Bakgrundshistoria/>

There are old guard rails on the roads which are of really low quality. One issue discussed was why the insurance companies only replace the existing guard rail in case of an accident. Instead they can give funding that makes it possible to mount a safer rail when the damaged guard rail should be replaced. This is something that will be discussed among the insurance companies. Uwe Ellmers from BAST proposes that the classification scheme of guard rails should be used in these contexts.

The question of why Sweden has a lower standard compared to the rest of Europe when it comes to the guard rail height was raised once again. A lower barrier increases the risk of motorcyclists to fall over it and usually lower barriers have less ability to hold back larger and higher vehicles such as SUVs. This was also found in the USA a few years ago and followed by a general increase of the barriers installed. The difference in price on a barrier that is 5-10 cm higher is negligible. The reason for the lower height in Sweden is historic and the reasons yet unknown. The reason that nothing is done to increase the height depends, however, mostly on formal issues to formulate the requirements of the Swedish Transport Administration.

Uwe Ellmers, BAST

Germany began the work to increase motorcycle safety concerning barriers and other actions many years ago. This is really not science but is primarily about "best practice". The criteria for MPS was formed already 2004. In 2007, the MVMOT guidelines was published which describes how the infrastructure can be improved for motorcyclists. The guidelines have still not been implemented, partly because of cost and partly because they are optional to implement. There is a great potential for improvement of the road environment to increase the safety for motorcyclists.

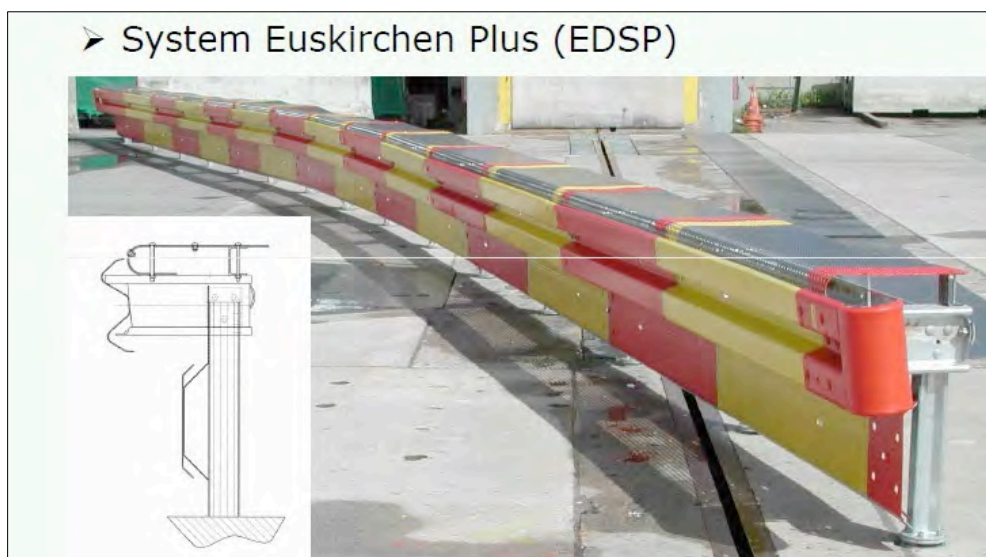
There are 28,000 motorcycle accidents in Germany every year. 650 are fatal accidents and 15 percent of the fatalities are guard rail accidents. However, it is also important to reduce serious injuries, since the barriers are involved in 16 percent of serious injuries and 31 percent of those who die outside urban areas. The guard rail design contributes to a more serious injury outcome of the accident. The number of seriously injured could be reduced with about 15 percent with MPS on guard rails. Most motorcycle accidents with barriers in Germany are on the smaller and curvy roads. However, there are also a lot of accidents on the exits from the motorway.

The German crash tests have been made by BAST both with the dummy seated on the motorcycle and sliding into the guard rail. For BAST it is important to test both scenarios. The first MC-friendly railing that was first used was box beam barrier with MPS.



Picture 3. Box beam barrier with MPS, Germany.

The development and testing continued where the last step was Euskirchen Plus. This barrier also has a protection for the top of the barrier. Tests have been made with both cars and motorcycles which show that this is a better option than the MPS previously used in Germany. This MPS is however only installed in one place. It is not designed to be easy to assemble and therefore it is difficult and expensive to install.



Picture 4. Euskirchen Plus, Germany.

There are several opportunities in Germany that can be used to increase the safety of motorcyclists regarding guard rails. It is however a long-term process and the work must begin immediately. Uwe believes what can be used in Germany should work well also in Sweden. These measures are:

- Use the technical guidelines to increase safety on the most popular motorcycle roads
- Consider the development of active and passive safety in vehicles
- Use the proposed measures to improve motorcycle safety at accident black spots (BAST Report V 152)
- Audit of the regulatory framework for passive safety through safety barriers to be produced in Germany
- Finish the development work on the MPS and write recommendations
- Implement all this in practice

During the discussions following the interesting presentation with loads of test films Uwe told the audience that cable barriers are not used in Germany, they have always been prohibited. MPS is used almost exclusively in outer bends on curvy roads, since these are the places where most motorcyclists are injured or/and killed in guard rail accidents. It is important that TS 1317-8 becomes a standard for MPS since the specification available today is not compulsory. Uwe states that it is important to listen to the consumers - users.

Concluding discussion

Morten Hansen, NMCU Norway, held a speech about how the work to develop and install MPS on Norwegian roads progresses. An analysis of all fatal accidents have been conducted. It showed that 34 percent of all fatal accidents have occurred in a collision with an obstacle installed by the road owner in the actual safety zone of the road. A Vision Zero Road was created in 2008 in which a wide range of measures were taken, including installation of MPS in some curves. There have not been any problems with maintenance during winter or summer. Recently, there was a severe motorcycle accident on this road against the MPS, made of plastic. The motorcyclist survived without any injuries. The installation of MPS is only a recommendation for curves with a certain radius but at the same time a part of the Norwegian MC strategy for increased motorcycle safety as well as a part of the Norwegian handbook for rekkverk (N101). There is no need for more research in Sweden or other countries, says Morten. However there is a need for brave people who dare to take the necessary decisions. The Swedish Transport Administration must start a systematic effort to create a safer road environment for motorcyclists. He suggests that the classification scheme is further developed and that that someone looks for funding to create an implementation model of the scheme.

Hans Holmén, he Swedish Transport Administration, announces that the 3-year project regarding evaluation of MPS from a maintenance point of view, mainly winter, will be completed in 2015 with a final report.

Several manufacturers pointed out the need of a market demand for MPS, which only the Swedish Transport Administration can achieve, as well as a standard and guidelines from the Swedish Transport Administration to develop MPS and/or safer barriers for motorcyclists. Sweden cannot accept approved products from other countries. Myrko Bellman, ERF, saw no connection between the standard and demand. The current standard is not good. Another problem is that the guidelines for road design almost always includes new construction, not renovation and maintenance of roads.

Would you rather be able to imagine an open standard? According to Wikipedia, an open standard, is a standard that, in contrast to a proprietary technical specification, allows anyone to implement it without the owner of the standard sets up unreasonable or discriminatory barrier. This enables interoperability between products from different manufacturers are following the standard, and free competition between the developers of these products.

Birstaverken suggested that the SMC creates an open standard. SMC could raise funds through crowd-funding. SMC will investigate this issue but it is important that the Swedish Transport Administration accepts a standard created by a motorcycle organization. The conclusion was that an open standard SMC would be welcomed. Estimated cost is approximately 150 000 SEK.

Birstaverken was asked about the cost of the MPS. If they would get orders for large volumes for w-profile + MPS the cost would increase by approximately € 20 per meter, installed and ready.

Myrko Bellman, ERF, says that member countries are not allowed to write a national standard when there is already a technical specification. The question is whether we can try to get rid of the specification in favor of an open standard instead? The issue must be addressed within CEN.

The meeting ended with Maria Nordqvist promised to write report of the meeting and to incorporate the comments in the final report.

Sveriges MotorCyklister



The Swedish Motorcyclists Association, SMC, is a non-profit making organization. SMC has around 70 000 members. The most important fields of action for SMC is road safety, tourism, insurances, consumer issues, information and national and international advocacy for the motorcyclists.

Mortality of motorcyclists in Brazil from 2000 to 2014

Motorradunfälle in Brasilien von 2000 bis 2014

David Duarte Lima
Universidade de Brasilia, Brazil

Carlos André Machado
Traffic Safety Institute, Brasilia, Brazil

Mortality of motorcyclists in Brazil from 2000 to 2014

1 Introduction

Brazil has experienced strong economic growth over the past 15 years. Alongside this phenomenon, urbanization of the population grew strongly in the country, rising by 80 million people between 1980 and 2010. This additional population in cities engendered demands in various sectors of social life – such as housing, health, education, public transportation, infrastructure - that society is yet unable to solve.

The unsatisfactory solutions have resulted in slums, a disabled health care and educational, lack of sanitation. Failure to meet the demand for mobility by the government results in poor public transportation service in most cities thus forcing people to seek their own solutions, buying cars or often buying motorcycles for their locomotion. The corollary of this was that the number of traffic death accidents have increased over 50% since 2000, and in specific for motorcycles this it exceeded 400% increase.

The aim of this study is to analyze the high and rising increase in mortality of motorcyclists in Brazil between 2000 and 2014.

2 Source of data

The Ministry of Health data, the National Traffic Department and the National Insurance Federation were the sources consulted to achieve the objectives of this study.

3 Results

Mortality of motorcyclists in Brazil reaches catastrophe contours. In the period studied, between 2000 and 2014 about 120,000 bikers in the country were killed by road accidents. The number of injured persons exceeds five million. The situation is so serious that only in 2014 were paid almost six hundred thousand bikers (595,693) compensation fees for "permanent disability". These people suffered serious irreversible injuries place them in a difficult personal condition making it harder to reintegrate into the labor market and in society in general.

The number of deaths in motorcycle accidents has systematically increasing the period 411% (Table 1). The fleet of cars doubled and the number of the motorcycle multiplied by five (Table 2). The mortality of motorcyclists in 2000 represented 10% of all traffic deaths and in 2014 it accounted for about 30% of total accidents.

Table 1. Mortality in motorcycle accident and total mortality in traffic accidents.
Source: Ministry of Health - Brazil

YEAR	FATAL MOTORCYCLE (A)	TOTAL FATALITIES IN TRAFFIC (B)	% A/B
2000	2465	29439	8,4
2001	3100	30855	10,0
2002	3744	33089	11,3
2003	4271	33437	12,8
2004	5042	35460	14,2
2005	5974	36452	16,4
2006	7162	36941	19,4
2007	8078	38029	21,2
2008	8898	38939	22,9
2009	9268	38232	24,2
2010	10825	43716	24,8
2011	11433	44299	25,8
2012	12480	45769	27,3
2013	11983	43159	27,8
2014	12604	44561	28,3
Total	117327	572377	20,5

Male persons are by far the most frequently victims of motorcycle accidents being present nine times more than woman in such accidents.

The average age of the victims is around 30 years old, however, 15% of them is under 20 years and about 40% is in the range 20-29 years old. It is also appropriate to note that 4% of the deaths occurs in victims that are less than 7 years old. The Brazilian Traffic Code prohibits children at this age to be passengers on motorcycles.

Table 2. Vehicle fleet (in millions) 2000 – 2014. Source: National Traffic Department

YEAR	TOTAL	CARS	HEAVY VEHICLES	LITTLE TRUCS	MOTORCLYCLES
2000	29,7	22,8	2,0	0,3	4,0
2001	31,9	24,1	2,1	0,4	4,6
2002	35,5	25,9	2,2	0,8	5,8
2003	36,7	26,3	2,3	1,0	6,2
2004	39,2	27,6	2,4	1,2	7,1
2005	42,1	28,8	2,5	1,7	8,2
2006	45,4	30,2	2,6	2,0	9,4
2007	49,6	32,0	2,7	2,6	11,2
2008	54,5	33,6	2,9	3,5	13,1
2009	59,4	36,2	3,1	3,8	14,7
2010	64,8	39,0	3,3	4,3	16,5
2011	70,5	41,9	3,5	4,8	18,4
2012	76,1	45,0	3,7	5,2	20,1
2013	76,9	45,4	3,7	5,3	20,3
2014	86,7	50,7	4,1	6,2	23,0

A closer look at accidents involving motorcyclists reveals that, in general, unpreparedness, incompetence and recklessness in driving motorcycles in traffic are present. There are no national data available, but we know that much of the traffic victims motorcyclists do not have a driver license. The data shows that about 30% of motorcycle deaths occur in collisions with cars and 21% in collisions with large vehicles (buses and trucks). Another 21% of fatal accidents occur "no collision" after some kind of fall, and 15% in collisions with a fixed object. Other 10% of deaths occurring in collisions between two motorcycles.

Another aspect to be considered is that motorcycle accidents also kill others. During the study period there were about 20,000 deaths from other users, 51% pedestrians and 10% cyclists.

4 Conclusions

The magnitude of mortality and the number of injured in motorcycle accidents in Brazil is unacceptable. In addition to the deaths, we still have the injuries that exceed the figure of one million per year. It is certainly a serious public health problem that affects all ages, and it is specially devastating for the younger group.

The traffic departments need to support researches and understand how and why accidents happen and establish an improvement program to control the current situation.

Some facts that can bring these numbers down are well known such as, for example, the necessity to encourage the use of protective equipment, such as proper clothing and helmet. This happens especially in hot regions like the Northeast of Brazil where it is hot and people tend to not use them and where there is little enforcement.

The vast majority of accidents occur with motorcyclists who use the motorcycle as a work vehicle to transport goods and deliveries. These workers are called "motoboys" and are mostly young people who are pressured to flout traffic laws to gain time and a little more money.

The qualification process to pilot a motorcycle in Brazil is flawed and outdated. The techniques employed in teaching and training are clearly insufficient. The result is a large number of riders who everyday puts themselves and others at risk.

Brazilian traffic authorities and other traffic institutions seek to learn from other countries who have improved or solved their mobility issues.

It is imperative and urgent that Brazil looks at these high levels of deaths on our roads and reformulates the driving education system so that it can offer the driver a broader understanding of the Brazilian unique traffic ambient and that will also offer a comprehensive and thorough education that will in a practical way prepare the driver for the road as well as provide him with confidence, competence and respect for the rules of the mobility. The expected result is more safety for all involved in the traffic movement.

References

Departamento Nacional de Trânsito - Denatran. Available in:

<http://www.denatran.gov.br/frota2014.htm>. Brazil. From 2000 to 2014.

Departamento de Trânsito do Distrito Federal – Detran-DF. Available in:

http://detran.df.gov.br/images/documentos/O_Detran/estatisticas/Informativo%20nº04%20-%20Moto.pdf

Ministério da Saúde. Datasus. Available in:

<http://www2.datasus.gov.br/DATASUS/index.php?area=0205>

Seguradora Líder. Estatísticas DPVAT. Available in:

<http://www.seguradoralider.com.br/Documents/boletim-estatistico/Anuario-Estatistico-2014-DPVAT.pdf>

Assessing Powered Two Wheelers' display and control concepts –
results from a pilot study

Die Bewertung von Anzeige- und Bedienkonzepten motorisierter
Zweiräder – Ergebnisse einer Pilotstudie

Sebastian Will, Thomas Hammer

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH), Germany

Raphael Pleß

TU Darmstadt, Fachgebiet Fahrzeugtechnik (FZD), Germany

Sebastian Guth

BMW Motorrad, Germany

Abstract

In the automotive sector advanced driver assistance systems (ADAS) and on-board information systems (OBIS) are already widely spread. In order to avoid distraction and elevated workload of the driver, guidelines by different authorities have been developed on how to design, respectively test, appropriate human machine interfaces (e.g. NHTSA, 2012; AAM, 2006). During the last years, the amount of comparable systems for Powered Two Wheelers (PTW) such as board computers or navigation systems increased steadily. However, empirically funded and commonly agreed on guidelines for PTW HMI conceptualizations are missing so far.

To address this topic a pilot study was conducted within the scope of the project DESMORI using the WIVW dynamic motorcycle riding simulator. A standard test procedure dealing with driver distraction caused by in-vehicle electronic devices in passenger cars (NHTSA, 2012) was adapted to motorcycle riding. Participants had to follow a lead vehicle with oscillating speed at a given distance. Meanwhile, they had to perform different visual-manual tasks by operating a navigation system (e.g. manual destination entry or switching to night mode).

On the one hand, the study's aim was to address the effects of the different secondary tasks on rider behavior in that standard test procedure. On the other hand, the transferability of distraction indicators from the automotive sector to motorcycle research was investigated. The results of this pilot study containing data from eye-tracking, objective riding as well as subjective ratings show that passenger car research can work as a base to start from, but PTW specific adaptations are required.

Zusammenfassung

Im Automobilsektor sind Fahrerassistenz- und Informationssysteme bereits weit verbreitet. Verschiedene Institutionen entwickelten im Laufe der Jahre Richtlinien, wie derartige Systeme gestaltet und getestet werden sollten, um Ablenkung bzw. erhöhte Beanspruchung zu vermeiden (bspw. NHTSA, 2012; AAM, 2006). In den letzten Jahren zeigte sich ein steter Zuwachs bei vergleichbaren Systemen im Zweiradsektor (bspw. Boardcomputer, Navigationssysteme). Für die Gestaltung von Mensch-Maschine Schnittstellen am Motorrad fehlen bislang jedoch empirisch abgesicherte und allgemein anerkannte Richtlinien.

Um sich diesem Thema zu nähern wurde im Rahmen des Projekts DESMORI eine Pilotstudie am dynamischen Motorradsimulator der WIVW GmbH durchgeführt. Als Ausgangslage wurde eine gängige Testprozedur zur Untersuchung der Fahrerablenkung durch fahrfremde Bedieneingaben (NHTSA, 2012) auf das Motorradfahren übertragen. Die Probanden haben dabei die Aufgabe einem vorausfahrenden Fahrzeug mit oszillierender Geschwindigkeit in einem vorgegebenen Abstand zu folgen. Währenddessen mussten die Fahrer verschiedene visuelle-manuelle Aufgaben ausführen. Hierfür wurden Bedieneingaben mit unterschiedlicher Dauer an einem Zubehör-Navigationssystem ausgewählt (bspw. manuelle Zieleingabe oder das Umschalten auf Nachtmodus).

Ein Ziel der Studie war es, die Effekte unterschiedlicher Nebenaufgaben auf das Fahrerverhalten in dieser Standardaufgabe zu untersuchen. Darüber hinaus galt es zu prüfen, inwiefern bekannte Indikatoren für Ablenkung aus der Pkw-Forschung auf den Motorradbereich übertragen werden können. Die Ergebnisse der Blickbewegungsmessung, der objektiven Fahrdaten und subjektiven Einschätzungen der Fahrer zeigen, dass der Ansatz der Pkw-Forschung als Ausgangsbasis dienen kann, jedoch motorradspezifische Anpassungen notwendig werden.

Assessing Powered Two Wheelers' display and control concepts –
results from a pilot study

1 Introduction

The motorcycle market is undergoing a significant development in the last months and years. Infotainment and comfort functions such as Bluetooth connection, heated seats and advanced board computers are becoming increasingly popular. Furthermore, for the first time, a rider assistance system (BMW's side view assist) has been launched in a series PTW aiming at increased vehicle safety. What all these systems have in common, is the need for new display and control concepts in order to enable communication between rider and motorcycle. On the one hand, control concepts in the form of buttons, scroll wheels or switches are required. On the other hand, display concepts in a broader sense are needed to communicate e.g. the system status or warnings to the rider. This can be ensured by visual (e.g. warning icon, information on TFT-screen,...) but potentially also other sensory cues such as auditory warnings. All these in- and output devices have to be assembled in a user friendly way that facilitates intuitive operation and avoids distraction from the primary riding task. During the last decades, there has been a lot of research on how to design these interfaces in passenger cars resulting in different guidelines and recommendations (see e.g. SAE J2365, 2002; Burnett, 2008; NHTSA, 2012; ISO 15006, 2004; ISO 15008, 2003). However, when these requirements newly arose for cars, it was possible to learn from experiences made in the field of aviation which was already facing comparable challenges. It is an analogous process that is going on at the moment in the motorcycle domain. Motorcycle manufacturers as well as suppliers face the challenge of designing new Human-Machine-Interface (HMI) solutions that shall satisfy all requirements from usability to safety. Unfortunately, there is a lack of sophisticated PTW specific guidelines or recommendations dealing with appropriate HMI design from an empirically founded human factors perspective that they could rely on.

The main aim of this pilot test was therefore to check whether a recognized test procedure for in-vehicle electronic devices in passenger cars (NHTSA, 2012) can be adapted to motorcycles. Furthermore, the effects of different visual-manual secondary tasks are investigated. Additionally, it was of great interest to see which riding parameters are sensitive to changes in task demands and how gaze behavior is influenced.

2 Methodology

The following chapter includes a detailed description of the pilot study's methodology.

2.1 Test procedure

The NHTSA test is conducted in a driving simulator providing a safe and fully controllable environment. Several test procedures are suggested by NHTSA which make either use of occlusion testing or dynamic car following. For the present study the adaption of the dynamic car following protocol was chosen. The participants' task was to follow the vehicle in a given distance and with a stable lateral vehicle control. To make sure that the participants had the required distance an enhanced reality strip (ERS) was added to the protocol, which gave information regarding the time distance to the rider. Threshold values for participants' gaze behavior are given by NHTSA which are based on the distraction stemming from a manual radio tuning task. When considering the NHTSA criteria for the automotive sector, 85% of participants' total eyes of road time should be below 12 seconds. In addition, for 85% of the participants the mean glance duration should be shorter than 2 seconds and for 85% of the participants the percentage of gazes above 2 seconds should not exceed 15%. When the criteria are not met, the secondary task should not be available while driving (NHTSA, 2012). Furthermore, NHTSA states that any operation on an in-vehicle information system has to be less distracting than a manual destination entry in a navigation system.

The pilot study started with a ten-minute familiarization ride on the dynamic motorcycle simulator. After that the different secondary tasks were explained to the participants and they had about ten minutes to practice them offline. The operator controlled the successful conduction of every secondary task at the end of each training phase. The pilot study contained five test rides, each of which lasted about four to seven minutes. Every trial contained the performance of one of the four secondary tasks, three times in a row. The fifth trial was a baseline trial without any secondary task engagement. After every trial the participants filled in different questionnaires containing the Rider Activity Load Index (Pauzié, 2014), a controllability scale (Neukum, Lübbecke, Krüger, Mayser & Steinle, 2008) and two categorical classification scales regarding the effort of completing the secondary task and the distraction induced by the secondary task (Neukum & Krüger, 2003). The order of the trials was permuted. The study ended with a ten-minute final inquiry.

The primary riding task was to follow a lead vehicle on a highway with two lanes and an additional emergency lane at a given distance (see Figure 1 left).



Figure 1. Lead vehicle on the highway test course (left). Grey enhanced reality strip indicating the proper distance to the lead vehicle ahead (right).

The instructed distance was a time-headway (THW) between 1.0 and 1.8 seconds. The correct distance was displayed by a grey enhanced reality strip (ERS) that changed its color to blue if one approaches the lead vehicle too much and to yellow if one exceeds the instructed distance (see Figure 1 right). The beginning and end of each secondary task was marked by switching the upper beam on respectively off.

2.2 Motorcycle riding simulator

The DESMORI dynamic motorcycle riding simulator is equipped with a BMW F 800S as mockup mounted on a 6-DOF hydraulic Stewart platform (see Figure 2). The mockup enables the rider to interact with fully realistic components such as usual handlebar, brake lever / pedal, clutch, gear selector, etc. that he / she is used to. The manual gear shift uses a sequential six-speed gearbox. An electrical actuator is used to produce a steering torque at the handlebar up to 80 Nm. The rider steers the motorcycle through a combination of steering torque and induced roll torque by shifting his/ her weight. The cylindrical screen with a diameter of 4.5 m and 2.8 m of height enables 220° horizontal field of view. The two rear-mirrors are realized by 7" TFT-displays while the instrument cluster is represented by a 10" TFT-touchscreen containing a speedometer, revolution counter and gear indicator. A helmet with implemented Sennheiser HD419 headphones (frequency: 20 Hz – 20 kHz, impedance: 32 Ω , sound pressure level: 108 dB) is used for auditory feedback. Moreover, a shaker that is installed below the seat delivers vibrations from the engine and high frequent road roughness between 10 and 50 Hz to the rider. The vibrations and sound files were recorded in the BMW Motorrad laboratories using a four stroke flat twin engine with 1170 ccm displacement under various load and rpm combinations.



Figure 2. DESMORI motorcycle riding simulator at WIVW.

Furthermore, the rider is wearing a customized motorcycle airbag vest (Motoairbag[®]) with air-filled compartments. It is connected to a rope towing mechanism, so that the rider receives proprioceptive feedback on acceleration, speed and static wind forces by being pulled backwards. The simulator is running with the simulator control software SILAB. All rider related inputs (e.g. applied steering torque, induced roll torque, throttle position...) as well as vehicle dynamic parameters (e.g. lateral position on lane, acceleration, velocity...) were logged.

For this study a camera-based Smart Eye “Anti Sleep” eye tracking system was mounted on the handlebar. A second camera was positioned on the airbag vest over the shoulder to capture the participants’ engagement with the secondary task.

2.3 Secondary tasks

Operating different tasks with a portable navigation system (TomTom Rider 400) was chosen as secondary task with relation to display and control concepts on a motorcycle. The navigation system was mounted on the left side of the handlebar so that it could be operated by using the left hand. Four different tasks were chosen according to their duration (see Table 1). All tasks were extensively practiced offline prior to the test ride. The baseline ride without any secondary task delivers appropriate non-distracted performance of each rider. In order to have a fair estimation of performance impairment while operating the navigation system, the section of the baseline ride with the same lead vehicle behavior and same length is used for every secondary task.

Table 1. Description of secondary tasks.

Task	Description	Necessary operations
Manual destination entry (<i>MDE</i>)	The participant should enter the address “Am Hof, Bonn” into the search field. The address had to be entered completely.	29
Navigation to a gas station (<i>GAS</i>)	The participant should use the function “Gas station” and should navigate to a particular one.	6
Navigation to home address (<i>HOM</i>)	The participant should use the function “Ride home”.	3
Changing between night and day view (<i>NIV</i>)	The participant should change from day vision to night vision.	2

2.4 Rider panel

N = 10 participants took part in the study. All of them were familiar with the motorcycle riding simulator due to involvement in other studies or specific training. Three participants were women. Mean age of all participants was $M = 26.80$ years ($SD = 5.12$ years) and the mean riding experience was $M = 16\,950$ km ($SD = 19\,121.26$ km).

3 Results

As the pilot study contained only a small sample size, the following chapter is restricted to descriptive analyses. Due to missing or faulty data, some statistics include data from a reduced panel only. A selection of objective as well as subjective measures is reported.

The manipulation checks display that the intended variation of task duration (see Figure 3 left) as well as experienced disturbance by the four different tasks work as intended (see Figure 3 right).

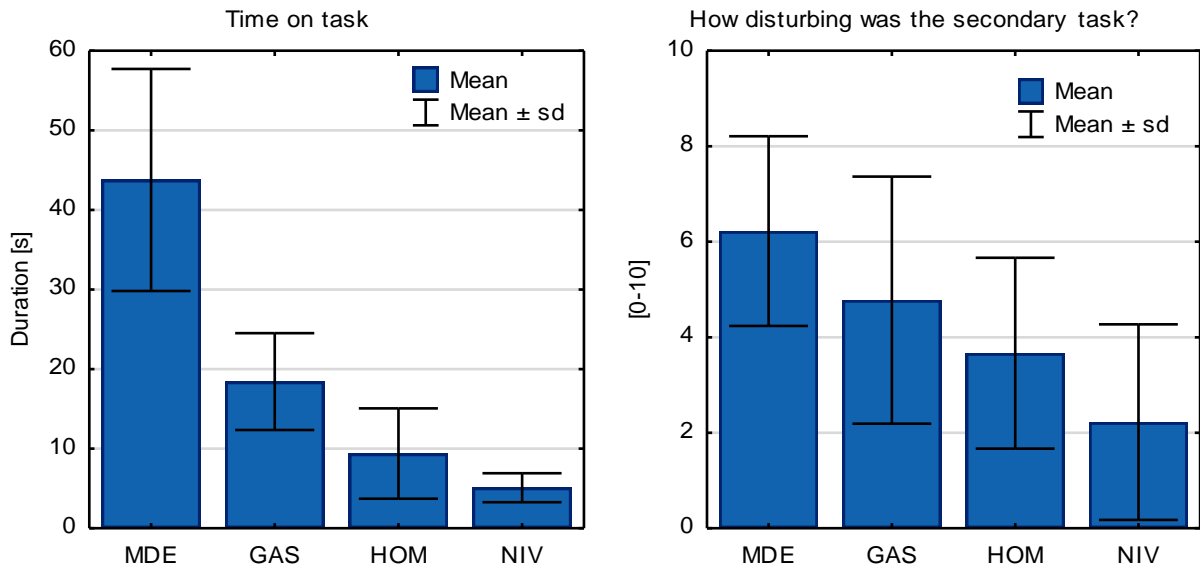


Figure 3. Secondary tasks' duration (left) and experienced disturbance by the secondary task engagement (right).

Participants' gaze behavior in terms of the amount of gazes towards the navigation system follows the same pattern. In order to complete a longer task including more operational steps, more gazes away from the forward roadway are necessary (see Figure 4 left). Interestingly, the mean glance duration at the navigation system doesn't seem to differ between the various secondary tasks (see Figure 4 right). On average these off-road glances last between 0.67 and 1.15 seconds.

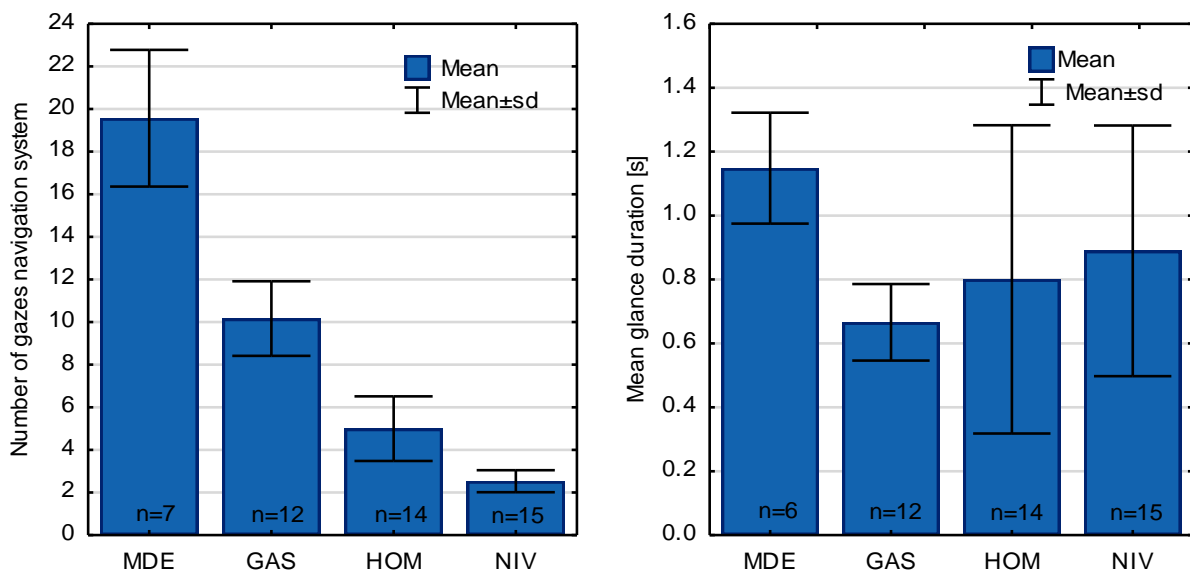


Figure 4. Average amount (left) and duration of gazes (right) given by type of secondary task. The number of observations is indicated at the bottom of the bars.

The share of gazes longer than two seconds out of all gazes per participant is displayed in Table 2. The manual destination entry task is very close to the limit of maximal share of gazes above two seconds (max = 15 % for 85 % of the participants).

Table 2. Share of gazes longer than two seconds given by type of secondary task.

	<i>MDE</i>	<i>GAS</i>	<i>HOM</i>	<i>NIV</i>
Gazes > 2 sec [%]	13.33	0.83	5.97	5.41

The percentage of time with throttle position adjustment is calculated as parameter to describe the riders' longitudinal regulation (see Figure 5). The data regarding the throttle position was smoothed before the adjustments were calculated. Participants that are engaged in a secondary task seem to keep the throttle position more constant. Whereas throttle adjustments are made in about 8 % of the time during baseline riding, the share is more or less halved during test trials. This holds especially true for the shorter lasting secondary tasks such as NIV or HOM.

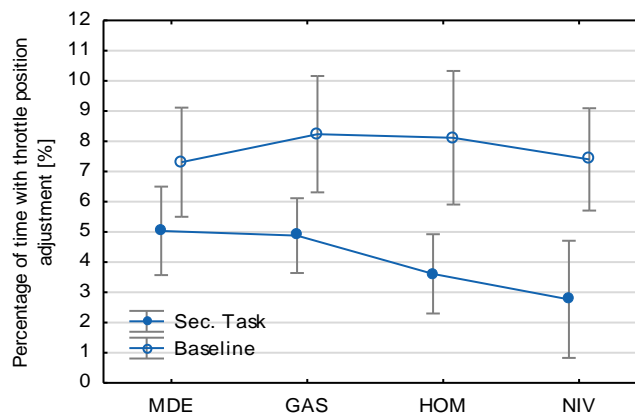


Figure 5. Average longitudinal regulation during test trial and baseline given by type of secondary task (Dots represent mean values; error bars represent 95 % CI).

Focusing on the lateral performance, the standard deviation of lateral position (SDLP) as well as the number of zero degree crossings of the steering angle is analyzed. The first parameter is well known to be sensitive for distraction and raised workload in passenger car research (see e.g. Tsimhoni, Smith & Green, 2004). However, the lateral behavior in terms of SDLP doesn't seem to be affected by the secondary tasks while riding a motorcycle (see Figure 6).

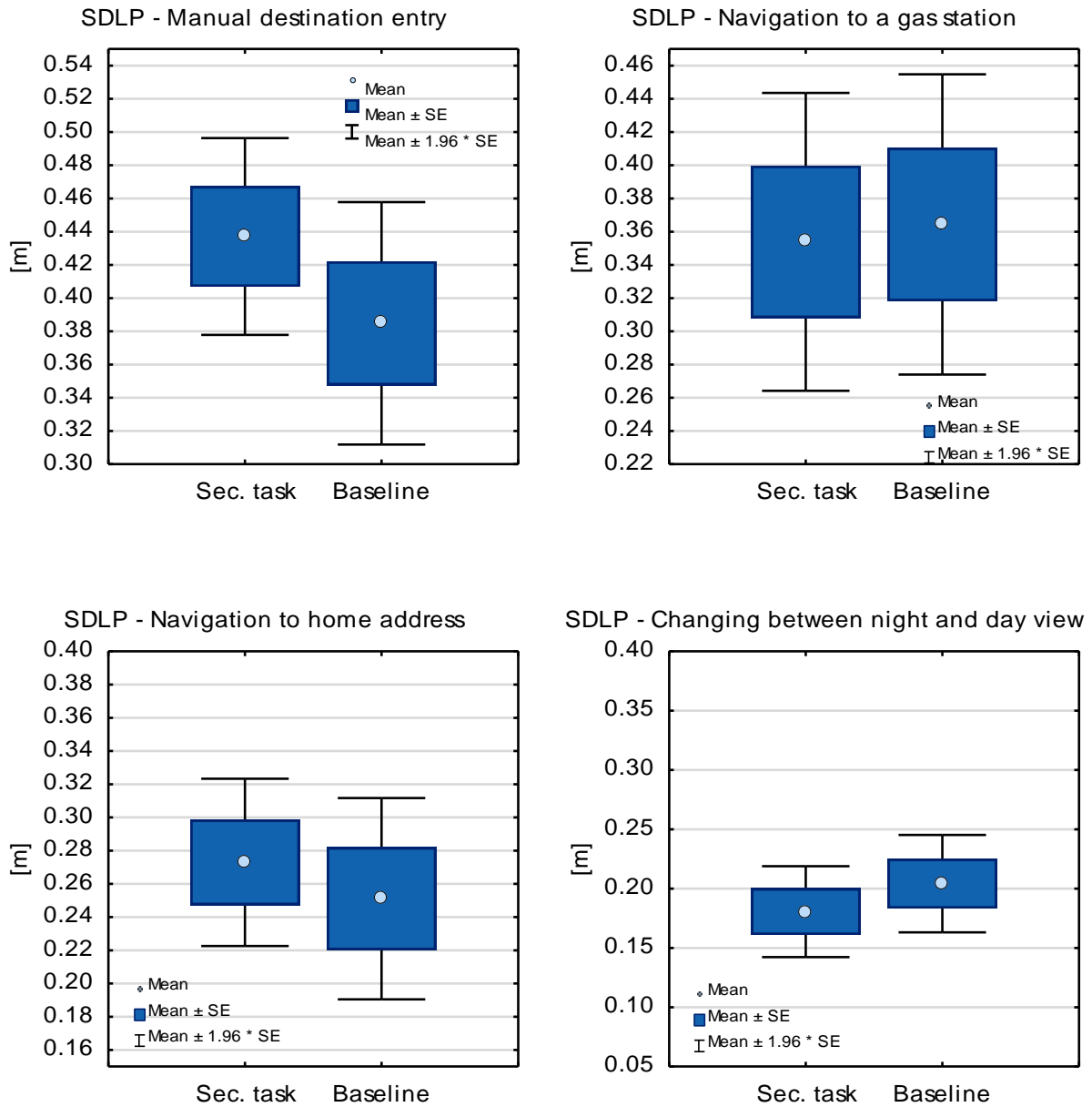


Figure 6. Standard deviation of lateral position during secondary task engagement and specific baseline given by the four different tasks (note: different ordinate scaling).

On the other hand, the secondary task engagement seems to affect the number of zero degree crossings of the steering angle (see Figure 7). Independent of the type of task the number increases in the test trials compared to baseline. The different baseline values reflect the variation between the types of secondary task.

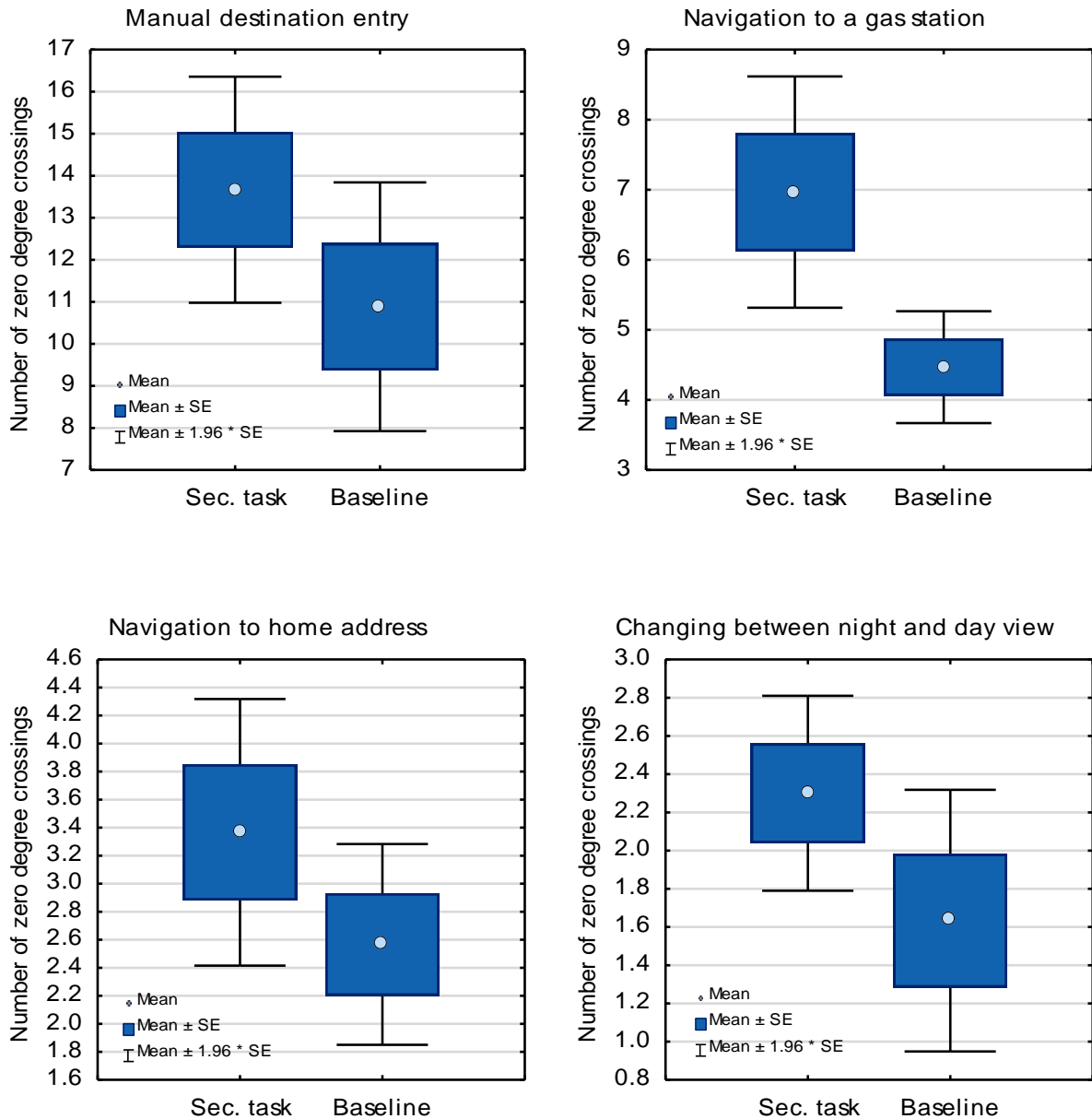


Figure 7. Number of zero degree crossings of the steering angle given by the four different secondary tasks (note: different ordinate scaling).

4 Discussion

The intended variation of task duration through the amount of operational steps was successful. Task duration as well as subjectively rated disturbance by the task increased with the amount of operational steps. Generally speaking, shifting the attention from pure riding to any secondary task seem to go hand in hand with reduced longitudinal regulation and higher swaying in lane. Both results can generally also be seen when assessing in-vehicle information systems in passenger cars (see e.g. Merat, Lai & Jamson, 2011), but not necessarily in the same parameters.

It has already been shown that well-established measures for workload and distraction in passenger car research, such as SDLP, don't seem to be sensitive for motorcycle riding. (Buld, Will, Kaussner & Krüger, 2014). However, one can't say that no performance impairment occurs. It only seems as if PTW specific measures for objective driving respectively riding data are needed. The number of zero degree crossings of the steering angle, as a motorcycle specific equivalent to the steering wheel reversal rate, indicates differences between trials and baseline. The higher amount of zero degree crossings implies a more instable lateral behavior. It is important to note that this difference stems from the interpretation of trial versus baseline for each type of secondary task. The different amount of zero degree crossings between the four tasks might just reflect the task duration. Further studies could evaluate the effect of riding one-handedly. This could alternatively explain parts of the results as releasing one hand from the handlebar was an inseparable element of all secondary tasks in this pilot study. Regarding NHTSA's criteria on gaze behavior, all tasks except the manual destination entry would be acceptable while riding. A study conducted in a passenger car simulator also revealed a comparable navigation task as being critical (see Purucker, C., Naujoks, F., Prill, A. & Neukum, A., 2016). Yet, it has to be mentioned again that the criteria are meant to be applicable for passenger cars. Further investigations should focus on the suitability of these criteria for motorcycles.

5 Summary & Outlook

This pilot study was a first attempt to transfer a standard methodology to assess display and control concepts from passenger car to motorcycle research. On the one hand, it worked fine in a manner that some dependent variables such as gaze behavior were able to illustrate variations in the secondary tasks. Therefore, it seems to be a reasonable base to start from. Hence, a more detailed comparison of passenger vehicle driving and motorcycle riding could deliver valuable information on motorcycle specific secondary task impairments. This could be used to adopt the procedure. On the other hand, the pilot study showed that it is not satisfactory to transfer the test procedure one to one. The results call for a deeper understanding of PTW specific measures that depict costs of poor display and control concepts reliably. Further research on this will be needed.

A found methodology to investigate display and control concepts on PTWs will be of even greater importance when facing newly arising challenges like HMIs for electric vehicles or the use of head-up displays in helmets.

6 Acknowledgements

This study was conducted within the ZIM (Zentrales Innovationsprogramm Mittelstand) funded project DESMORI supported by the Federal Ministry for Economic Affairs and Energy.

7 References

AAM (2006). *Statement of Principles, Criteria and Verification Procedures on Driver Interactions with Advanced In-Vehicle Information and Communication Systems*, Alliance of Automobile Manufacturers (AAM). Driver Focus-Telematics Working Group, Washington.

Buld, S., Will, S., Kaussner, A., & Krüger, H.-P. (2014). *Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Motorradfahren*. Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Reihe Fahrzeugtechnik, Heft F93. Carl Schünemann Verlag: Bremen.

Burnett, G.E. (2008). Designing and evaluating in-car user interfaces. In: Lumsden, J. (Ed.), *Handbook of Research on User Interface Design and Evaluation for Mobile Technology*. IGI Global, London, pp. 217–235.

ISO 15006 (2004). *Straßenfahrzeuge–Ergonomische Aspekte von Verkehrsinformations- und Assistenzsystemen–Anforderungen und Konformitätsverfahren für die Ausgabe auditiver Informationen im Fahrzeug*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

ISO 15008 (2003). *Straßenfahrzeuge - Ergonomische Aspekte von Fahrerinformations- und Assistenzsystemen - Anforderungen und Bewertungsmethoden der visuellen Informationsdarstellung im Fahrzeug*. International Organization for Standardization (ISO), Geneva.

Merat, N., Lai, F. & Jamson, S. L. (2011). The comparative merits of expert observation, subjective and objective data in determining the effects of in-vehicle information systems on driving performance *Safety Science*, 49(2), Pages 172-177.

Neukum, A., Lübbecke, T., Krüger, H., Mayser, C. & Steinle, J. (2008). *ACC-Stop&Go: Fahrerverhalten an funktionalen Systemgrenzen*. Paper presented at the 5. Workshop Fahrerassistenzsysteme-FAS.

Neukum, A., & Krüger, H.-P. (2003). Fahrerreaktionen bei Lenksystemstörungen– Untersuchungsmethodik und Bewertungskriterien. VDI-Berichte, 1791, 297-318.

NHTSA (2012). *Visual-Manual NHTSA Driver Distraction Guidelines for In-Vehicle Electronic Devices*. Docket No. NHTSA-2010-0053. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), Washington.

Pauzié, A. (2014). Evaluation of the driver's mental workload: A necessity in a perspective of in-vehicle system design for road safety improvement. *Cognition Technology and Work*, 16(3), 299-303.

Purucker, C., Naujoks, F., Prill, A. & Neukum, A. (in press). Evaluating distraction of in-vehicle information systems while driving by predicting total eyes-off-road times with keystroke level modeling. *Applied Ergonomics*

SAE J2365 (2002). *SAE Recommended Practice: Calculation of the Time to Complete In-vehicle Navigation and Route Guidance Tasks*. Society of Automotive Engineers (SAE), Warrendale

Tsimhoni, O., Smith, D. T. & Green, P. (2004). Address entry while driving: speech recognition versus touch-screen keyboard. *Human Factors*, 46(4), 600-610.

Contact Author:

Dipl.-Psych. Sebastian Will

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH)

Robert-Bosch-Straße 4

D - 97209 Veitshöchheim

Mail: will@wivw.de

Tel: +49 931 78009 203

Fax: +49 931 78009 150

Latest findings and achievements concerning the use of eye tracking in education and training of motorcycle riders

Neueste Erkenntnisse & Erfolge beim Einsatz von Eye-Tracking in der Motorradausbildung sowie beim Motorradtraining

Dr. Hartmut Kerwien, Martin Fellmer
AVP Institut, Plettenberg, Germany

Klaus Schwabe
viewpointssystem gmbh, Wien, Austria

Neueste Erkenntnisse & Erfolge beim Einsatz von Eye-Tracking in der Motorradausbildung sowie beim Motorradtraining

Die richtige Blickführung, vielmehr Blickstrategie, ist für das sichere Motorradfahren von essentieller Bedeutung. Im Hinblick auf die wieder steigenden Unfallzahlen und der Ergebnisse einiger Studien, ist eine gute Ausbildung und ein gutes Training, vor allem im Bereich Blicktechnik, für die Motorradsicherheit unverzichtbar.

Mit Hilfe der Viewpointssystem Eye-Tracking Brille war es möglich, erste optische Messergebnisse aus dem Praxiseinsatz in der Führerscheinausbildung und im Trainingsbetrieb zu generieren. Dabei beschäftigen wir uns mit den unterschiedlichen Blickstrategien, die sich bei verschiedenen Voraussetzungen, vorwiegend bei Befahren von Kurven, ergeben. (Messungen wurden bei Probanden mit unterschiedlichem Fahrkönnen durchgeführt) Der Einfluss der sich ständig ändernden Kurvenradien in Verbindung mit Fahr- und Ortskenntnissen auf die Blickführung und den Einmessvorgängen ist ein wesentlicher Bestandteil der Analysen.

In welchen Bereichen des Trainings und der Ausbildung Eye-Tracking besonders hilfreich sein kann, wird in diesem Vortrag anhand einiger Beispiele exemplarisch aufgezeigt.

Alles begann 1975 mit den Sicherheitsforschungen von Univ. Prof. Dr. Ernst Pflieger, der im Zuge seiner Unfallanalysen erkannte, dass der Grund für Verkehrsunfälle unter anderem in der falschen Blickstrategie der Lenker liegt. 2001 wurde der Prototyp, die Ur-Eye-Tracking-Brille, entwickelt, um mit den modernsten Technologien, das Blickverhalten wissenschaftlich zu analysieren.

Mittlerweile ist das System in einer leichten, bequemen Designerbrille integriert, das nun erstmals den Einsatz im Motorradbereich ermöglicht. Denn bei Eye-Tracking Aufnahmen im Motorradbereich ist es äußerst wichtig ein System zu haben, welches unter einen Helm passt und sich gut am Kopf fixieren lässt, dass es trotz eventueller Helmbewegungen seine Position beibehält und verwertbare Aufnahmen ermöglicht. Am besten eignen sich Klapphelme, da hier die Brille gut am Kopf fixiert werden kann, bevor der Helm darüber aufgesetzt wird. Nicht nur genaue Aufnahmen werden so generiert, auch die peripheren Wahrnehmungen können somit wiedergegeben werden.



Abb. 1. Eye-TrackingBrille – (Klaus Schwabe 2016)

Eine Eye-Tracking Lösung speziell für den Einsatz bei Helmen, wird derzeit von Viewpointssystem entwickelt und erprobt.

Die Messungen in der Ausbildung und im Training wurden mit dem System von Viewpointssystem durchgeführt. Dabei wurde die Eye-Tracking Brille mit der so genannten Smart Unit verbunden. Die generierten Daten konnten nach der Fahrt über eine spezielle Software ausgewertet werden.



Abb. 2. Eye-TrackingBrille – Systemübersicht (Viewpointssystem GmbH 2016)

Der Wahrnehmungsprozess und die Auswertung der Eye-Tracking Aufnahmen:

Für die Auswertung und Veranschaulichung unserer Messungen verwendet man meistens die „Circle“ Darstellung der „factfinder“ Software. Es wird mit dem kleinen Kreis der foveale Bereich, also der Bereich des „Scharfsehens“, dargestellt. Der große Kreis zeigt den parafovealen Bereich. Hier werden Farben, Formen und Kontraste besonders gut wahrgenommen. Alles andere ist dem peripheren Bereich zuzuordnen. Blickzuwendungen in diesem Bereich erfolgen bewusst oder beim Wahrnehmen von starken optischen Reizen in Form von plötzlichen Licht- oder Bewegungsreizen. Diese Reize führen zu einer reflexartigen Blickzuwendung. Die Objekterkennung erfolgt dann foveal oder parafoveal.

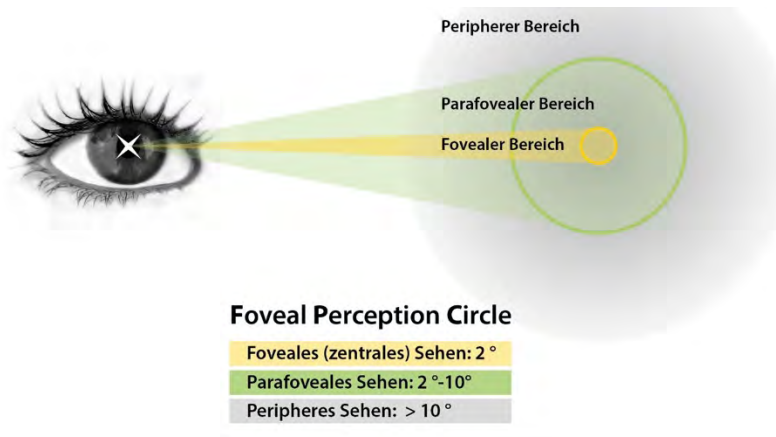


Abb. 3. Foveal Perception Circle (Prof. Ernst Pfleger)

Sehen und Wahrnehmen:

Bei der Auswertung der Eye-Tracking Filme ist besonders darauf zu achten, dass „Sehen“ nicht unbedingt bedeutet, dass der Schüler auch wichtiges „wahrnimmt“.



Abb. 4. Viewpointsystem GmbH

Bei einem großen Informationsangebot sind ungeübte Fahrer oftmals überfordert. Ihnen fehlt die Erfahrung, sich die nötigen Informationen für das Bewältigen der Fahraufgabe herauszusuchen.

Die Dauer und Häufigkeit der Blickzuwendungen auf ein bestimmtes Objekt, lassen sich bei der Analyse darstellen. So können auch Rückschlüsse gezogen werden, ob der Trainingsteilnehmer wichtige Dinge wahrgenommen hat oder nicht.

In der folgenden Abbildung ist dargestellt, wie eine Blickzuwendung zu der Person am Fahrbahnrand und zur LKW-Türe erfolgt. Auch der Bereich vor dem LKW wird abgetastet. Möglicherweise glaubt der Motorradfahrer, dass von dort eine Gefahr droht.



Abb. 5. Einmessen schwierige Verkehrssituation (Klaus Schwabe 2015)

Der dahinterliegende Prozess ist zunächst eine Aufmerksamkeitsleistung. Ohne diese kann keine Reizwahrnehmung stattfinden.

Man kann Aufmerksamkeit auch als Auswahlverfahren bzw. Filter sehen. Es wird durch Aufmerksamkeitsprozesse folglich ausgewählt, was ein Verkehrsteilnehmer wahrnimmt und was nicht. Erst dann werden die wahrgenommenen Informationen von uns Menschen bewertet. Mögliche Gefahren werden negativ bewertet, Anreize positiv.

Der sich anschließende Entscheidungsprozess darüber, was zu tun ist, wägt die positiven und negativen Aspekte gegeneinander ab. Was wahrgenommen wird und wie, wird durch Erfahrungen, Einstellungen, Motive und Zielvorstellungen beeinflusst. So ist auch zu erklären, warum manche Reize gar nicht oder erst zu spät wahrgenommen werden. Hat jemand beispielsweise noch keine Erfahrung mit Straßenarbeiten gesammelt, fährt er sorglos an der oben dargestellten Situation vorbei. Gefahrenaspekte werden dann nicht durch den Filter gelassen.

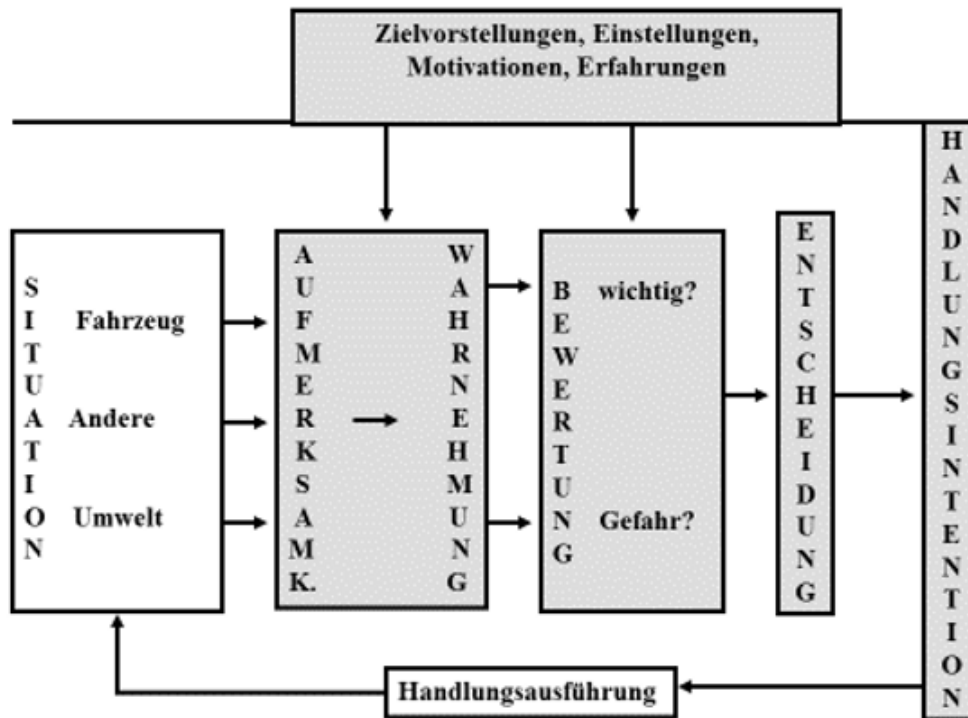


Abb. 6. Modell des Verhaltens in Straßenverkehrssituationen (Kerwien 2010)

Das gilt vor allem für kleinere Objekte, die oft die Wahrnehmungsschwelle nicht überschreiten. Ein notwendiger Blicksprung, der zur Objektidentifizierung unabdingbar wäre, bleibt aus und die Information kann nicht verarbeitet werden.

Hinzu kommen außerdem noch das zur Peripherie immer geringer werdende Auflösungsvermögen der Netzhaut und die neuronale Verschaltung der Nervenzellen. Vereinfacht ausgedrückt besitzt jede Sinneszelle im Punkt des schärfsten Sehens eine eigene „Leitung“, während zur Peripherie hin die Sinneszellen zusammengeschaltet sind und daher nur noch einen verschwommenen Eindruck liefern (verminderte Kontrastempfindlichkeit).

Eine gute Seite hat diese neuronale Verschaltung für die Wahrnehmung jedoch auch: Das periphere Sehen ist zwar unscharf, aber sehr sensibel für Veränderungen und daher wichtig für die Geschwindigkeitswahrnehmung als auch plötzliche Veränderungen in der Peripherie. Letztere lösen, die richtige Größenordnung vorausgesetzt, unweigerlich eine Blickzuwendung, die so genannte „Orientierungsreaktion“, aus um nachzusehen ob die Veränderung für den Fahrer relevant ist.

Blickführung:

Blickführung ist eine notwendige aber keine hinreichende Bedingung für gutes Motorradfahren. Auch mit geschlossenen Augen kann ein Kurs gefahren werden, wenn der mentale Plan passt. Nachts der

Weg aus dem Schlafzimmer ins Bad geht „blind“, nur wenn ein ungeplantes Hindernis im Weg liegt wird es spannend (Legostein).

Bei geübten Fahrern geht eine „schlechte Blickführung“ nicht unbedingt einher mit Fahrfehlern. Er kann Kurven wegen großer Erfahrung und Fahrkönnen trotzdem gut fahren. Kurskorrekturen bei Kurvenfahrt erfolgen bereits viel früher wie bei ungeübten Fahrern.

Bei der Auswertung der Blickstrategie ist daher auch immer das Resultat und die Erfahrung des Fahrers entscheidend. Die Blickstrategie ist bei geübten Fahrern ganzheitlicher als bei ungeübten. Es bestehen bereits sehr viele Referenzkurven in der „mentalen Landkarte“, die sich der Ungeübte erst erarbeiten muss. Bei Ungeübten gehen Blickfehler oft einher mit Fahrfehlern.

Besonders wichtig:

Egal ob ein geübter oder ein ungeübter Fahrer eine „Kurve“ meistern müssen. Je mehr der Fahrer an seine persönliche Schräglagengrenze kommt, umso wichtiger wird die „mentale Landkarte“. Ohne „mentale Landkarte“ wird es oft schwierig. Vor allem bei sich verengenden Kurven oder Kurven mit Hindernissen. Als Kontrolle, wie der/die Fahrer/in die Kurve im Griff hatte, dienen der Zeitpunkt des Beschleunigens in Verbindung mit der Fahrlinie. Geht der/die Fahrer/in früh an das Gas und fährt trotzdem eine sichere Linie hatte er/sie alles im Griff. Ist der/die Fahrer/in immer noch mit der Kurvenfahrt beschäftigt, obwohl die Straße bereits wieder geradeaus verläuft, dann sind entsprechende Blickfehler meistens eine Ursache dafür.

Eye-Tracking Analysen:

Bis zum heutigen Zeitpunkt hatte ein Trainer oder Fahrlehrer lediglich die Möglichkeit, sich auf die Helmbewegungen des Fahrers zu stützen. Mögliche Fehler oder mangelhafte Bewegungsausführungen (z.B. schlechte Linienführung) können so nur indirekt auf eine nicht probate Blickführung schließen lassen. „Wo hast Du hingeschaut?“ Die Antworten darauf sind oft sehr unpräzise.

Die Vorteile von Eye-Tracking Analysen sind die Mitschaumöglichkeit für Gruppenarbeiten in Fahrschulen und im „Advanced rider Training“. Im Einzelcoaching wie etwa in der Fahrschulausbildung kann nun passgenau auf den Schüler/Trainingsteilnehmer eingewirkt werden. Mit der Eye-Tracking Brille lassen sich Blickstrategien belegen, Fehler aufdecken und modifizieren. Durch einen Vorher-Nachher-Vergleich lassen sich Veränderungen in der Blickstrategie aufzeigen und weiter perfektionieren.

Beispiele:

Es konnte bei einem Trainingsteilnehmer die Blickstrategie in einer Haarnadelkurve genauer analysiert werden. Trotz genauer Instruktion durch den Trainer hatte der Proband die lange Linkskurve unbewusst geschnitten. Die Instruktionen lauteten, vor dem Kurveneingang einen Blickwechsel zum Kurvenausgang vorzunehmen, um eine mentale Landkarte zu erstellen. Danach sollte der Blick zum Kurveneingang zurückgenommen werden. Anschließend im Wechsel – Blickwechsel (Kurvenausgang) – Einmessen (Wo bin ich gerade?).

Der Proband schilderte, dass er alles genau umgesetzt hatte. Die Eye-Tracking Analyse zeigte, dass das Einmessen zu weit entfernt war und der Proband deshalb die Orientierung im eigenen Fahrstreifen verloren hatte. Bei der Analyse der Eye-Tracking Aufnahme konnten wir das Problem genau aufzeigen und die fehlerhafte Blickstrategie belegen.

Aufnahmen mit Hilfe der Blickteknikkamera eines unerfahrenen Motorrad-Fahrschülers bei einer Autobahnfahrt konnten zeigen, dass irrelevante Blickzuwendungen erfolgten, die augenscheinlich auf Nervosität, Überforderung oder Ängstlichkeit zurückzuführen waren. Der Blick war immer sehr nah vor dem Motorrad. Es gab einen permanenten Wechsel des Blicks vom Tacho auf die Straße. Erst sehr spät registrierte der Schüler einen überholenden PKW. Während der Fahrschüler vorausfuhr, machten die Körperhaltung und die Helmposition von der Position des hinterherfahrenden Fahrlehrers den „richtigen“ Eindruck. Es waren keinerlei Kopfbewegungen sichtbar.

Auch hier erzeugten die entsprechenden Nachfragen nach der Befindlichkeit des Fahrschülers und seiner Blickzuwendung, relativ unpräzise, kurze und stereotype Antworten. Die Anweisung weiter nach vorne zu schauen erzeugte beispielsweise die Reaktion, dass sein Blick bereits weit vorne wäre.



Abb. 7. Fahrstunde Blick nah
(Klaus Schwabe 2016)



Abb. 8. Fahrstunde Blickwechsel spät
(Klaus Schwabe 2016)

Nach einem Feedbackgespräch unter Zuhilfenahme der Videos und einer entsprechenden Korrektur/Unterweisung des Fahrlehrers, konnte eine deutliche Verbesserung der Blickführungsstrategie erreicht werden.



Abb. 9. Fahrstunde (Klaus Schwabe 2016)



Abb. 10. Fahrstunde Blickwechsel früh (Klaus Schwabe 2016)

Nach der Analyse war der Blick teilweise immer noch im Nahbereich. Die häufigen Blickwechsel auf den Tacho fehlten aber bereits. Folge: Der/die Schüler/in wurde lockerer und konnte den Überholenden deutlich früher wahrnehmen.

Wie komplex die Zusammenhänge von Blicktechnik, Fahrlinie und Fahrkönnen sind, zeigt das Beispiel Abbiegen nach rechts. Dabei liefert die Eye-Tracking Analyse interessante Zusammenhänge. Folgende Kriterien sind zu beleuchten:

- | | |
|-------------------------|---|
| Fahrlinie: | Welche Fahrlinie war gewünscht: Großer oder enger Bogen? |
| Blicktechnik: | Erst Blickwechsel nach rechts, dann Abbiegebeginn oder Blick noch nach links oder rechts unten im Nahbereich gerichtet, während der/die Fahrer/in bereits mit dem Abbiegen beginnt. |
| Beschleunigung: | trotz schlechter Fahrlinie erst spät oder sehr früh |
| Motivation: | Fahrer/in war unsicher und überfordert
Fahrer/in war abgelenkt
Fahrer/in hatte Angst. Gegenverkehr, Abwürgen des Motors
Fahrer/in sah keine Gefahr und wollte die Kurve genießen |
| Lenken: | Fahrer/in wollte eine enge Fahrlinie fahren, hat richtig geblickt aber vergessen während der Beschleunigung die Fahrlinie zusätzlich mit aktiven Lenken zu beeinflussen. |
| Fahrkönnen & Erfahrung: | Es gibt schon viele oder sehr wenige vergleichbare erlebte Situationen.
Fahrer/in kann das Motorrad sehr gut handeln oder ist sehr unsicher. |

Ein in der Eye-Tracking Brille eingebautes Mikrofon ermöglicht es, bei der Analyse die Blicktechnik in Abhängigkeit von der Beschleunigung zu beurteilen. Dies ist nicht nur beim Abbiegen wichtig, sondern auch beim Kurvenfahren im Allgemeinen, vor allem bei engen Kehren.

Es konnte gezeigt werden, dass der/die Fahrer/in die Kurve hoch angefahren hatte. Es folgte vor dem Kurveneingang ein Blick zum Kurvenende, um sich ein Bild über die nötige Fahrlinie zu verschaffen. Der Blick ging zurück zum Kurveneingang und wieder weit vor zur Kurveninnenseite am Ende der Kurve.

Bei der Auswertung der Eye-Tracking Filme gab es folgende Situationen:

Durch den extremen Blick zur Kurveninnenseite, wurde automatisch ein sehr enger Bogen eingeleitet. Dieser war hier auch nötig. Das Interessante war, dass einige Teilnehmer/innen glaubten, weit vor zur Innenseite zu blicken. Das war aber nur von kurzer Dauer. Der Blick folgte bei Beginn des engen Rechtsbogens wieder in den Nahbereich vor das Vorderrad und endete mit einem viel zu großen Bogen auf dem Fahrstreifen des Gegenverkehrs. Der/die Fahrer/in war mit dem engen Bogen überfordert und hatte Angst in die Kurve zu fallen.

Es gibt noch eine Reihe offener Fragen, die jetzt mit Hilfe von Eye-Tracking und Funk geklärt werden können.

Mit Hilfe des kommentierten Fahrens lässt sich herausbekommen, warum der/die Fahrer/in in einem bestimmten Moment genau an eine bestimmte Stelle blickt. Wichtig für die Beurteilung ist auch das weitere Befragen während der Fahrt um Zusammenhänge heraus zu bekommen.

- Was geht in Dir vor?
- Was hast Du gedacht?
- Emotionen: Hast Du Angst? Hast Du Spaß?...

Lässt sich anhand der Blickstrategie erkennen, wie erfahren ein Fahrer/ eine FahrerIn ist? Ist die Fahrlinie bei einem eher unerfahrenen Fahrer tatsächlich dadurch gekennzeichnet, dass es zu häufigen Kurskorrekturen während der Kurvenfahrt kommt, weil der Blick zu kurz gerät? Wird die Bremse immer einmal wieder in der Kurve betätigt, weil der Blick zu nah vor das Vorderrad gerichtet ist? Fährt der Fahrer oft zu schnell in die Kurve, weil er den Kurvenausgang nicht fixiert hat?

Fazit:

Eye-Tracking ist für den Trainings- und Ausbildungsbereich eine sehr große Bereicherung. So werden alte pauschale Blickstrategieangaben erweitert. Blicktechnikfilme bereichern bereits jetzt die Aus- und Weiterbildung von Schüler/in bis hin zum Trainer/in und Fahrlehrer/in sowie Trainingsteilnehmer/in. Eines der wertvollsten Hilfsmittel ist die Kontrollfunktion durch den/die Trainer/in Fahrlehrer/in während der Ausbildung um direkt eingreifen zu können.

Literatur:

Kerwien, H. 2010. Sichtbarkeit. In: Deutscher Verkehrssicherheitsrat e.V. „Risiko Raus – Fachliche Beiträge zu Themen der Kampagne Schriftenreihe Verkehrssicherheit (14) Bonn 2010.

Klaus Schwabe „Learn2burn“ Freilassing, 2015.

„Deutschlandweite Studie zur Überprüfung des Ist-Zustandes in der Fahrschulausbildung der Klasse A“, Dr.- Ing. Achim Kuschefski, Dipl.-Päd. Matthias Haasper, André Vallese B.A., Institut für Zweiradsicherheit e.V. (ifz), Essen 2012.

„Retrospektive Analyse tödlicher Motorradunfälle und Ableitung von Schutzmaßnahmen bei komplexen Bremsmanövern“, Klaus Bauer, Steffen Peldschus, Sylvia Schick, Institut für Rechtsmedizin, Ludwig-Maximilians-Universität München, Campus Tuttingen der Hochschule Furtwangen.

Harmut Kerwien, ADAC Handbuch.

GWM Sichtbarkeit.

Pfleger E., Hohenbüchler M.: Ablenkungen – Analysen des realen Ablenkungsgrades bei der Bewältigung von Fahraufgaben im Straßenverkehr – Objektive *viewpointssystem*[®]-Blickuntersuchungen bei Gefahren- und Unfallstellen; Förderprojekt des österreichischen Verkehrssicherheitsfonds VSF, Wien 2013.

Pfleger E., Hohenbüchler M.: Motorradsicherheit – Analyse des Blickverhaltens von Motorradfahrern an Unfall- und Gefahrenstellen. *viewpointssystem*[®]-Blickanalysen als Grundlage für die Gefahrenlehre, Schulung und technische Sanierung; Förderprojekt des österreichischen Verkehrssicherheitsfonds VSF, Wien 2013.

Pfleger E., Einsatz von Blickanalysen zur Hebung der Verkehrssicherheit von Motorradfahrern – Vortrag im Rahmen der 9. Internationalen Motorradkonferenz 2012.

Marx E. und Pfleger E., Forschungsarbeit. Veröffentlicht in der Kleinen Forschungsreihe des KfV, Band 29: Informationsaufnahme und Informationssysteme im Straßenverkehr. Wien, 1993.

Hohenbüchler, M.: Blickanalyse von Motorradfahrern. FSV-Seminar „Gibt es effiziente Lösungen für die Motorradsicherheit?“, Wien, 2012.

Feasibility of analysing the effects of personal protective
equipment using virtual human body models

Machbarkeitsstudie zur Wirksamkeitsanalyse persönlicher
Schutzausrüstung mit virtuellen Menschmodellen

Raúl Aranda

Biomechanics Group, Institute of Legal Medicine, University of Munich LMU,
Germany

Steffen Peldschus

HS Furtwangen and University of Munich LMU, Germany

Abstract

Powered Two Wheelers (PTWs) riders are still one of the most vulnerable group of road users and are exposed to a high risk of suffering severe injuries in a crash, principally because of their limited structural protection in comparison to other vehicle occupants.

The ongoing Initial Training Network (ITN) MOTORIST funded under the FP7 Marie Curie programme of the EU Commission pursues a new strategy to improve PTWs users' safety. Among others lines of research, the development of passive safety systems for those cases where crashes are unavoidable is a main focus.

In the framework of this project, the use of whole human body finite element models is considered in order to predict possible bone fractures, specially focused on limb joint injuries derived from severe impact conditions produced by different crash scenarios. The implementation of FE simulations using the THUMS V4 human model in LSDyna along with an appropriate validation of the methodology is proposed. This shall serve to analyse the effects of the personal protective equipment for limb joints currently certified by European standards and also for the evaluation of new designs of advanced personal protective equipment (e.g. airbags), both in terms of realistic injury mechanics fundamentals.

Feasibility of analysing the effects of personal protective equipment using virtual human body models

1 Introduction

Motorbike and moped accidents are causing an estimated 18% of the road fatalities in the European Union while they represent only 11% of the total motor vehicles [1, 2]. The risk of being in a fatally accident is higher for Powered Two Wheelers (PTW) users than for car users [3]. Only in Germany, 568 riders were killed and 8974 PTW users were severe injured in 2013 [4].

Establishing an analogy to some safety systems for cars, the focus of last research projects was the improvement of PTW active safety. In order to help to avoid crashes, the development of integrated safety systems was pointed out as a possible solution [5], resulting on the implementation of some new advanced rider assistance systems (ARAS) like an autonomous braking [5, 6] or the introduction of the Antilock Braking System (ABS) in the regulation as mandatory equipment in all two-three wheel vehicles [7].

Facing the impossibility of avoiding all road accidents, personal protective equipment (PPE), as the main PTW passive safety system, plays a crucial role on the prevention of severe injuries or fatalities. The establishment of wearing a helmet as mandatory for all riders and the benefits of future efforts and investments in designing safer helmets has been accepted and is not under discussion [8], but the benefits of wearing protecting clothes and impact protectors are not still fully assimilated by motorcycle users due to their effectiveness controversy [9]. Protective clothing has been found to prevent or reduce soft tissue injuries such as cuts and abrasions [10, 11], but the capacity of impact protectors evaluated by current European standards of preventing fractures derived from severe impact conditions is not clear.

The virtual human body models are commonly used for analysing the effects of some passive safety car systems like airbags and seat belts. Therefore, evaluating the feasibility of using virtual models to study the effects of protective personal equipment, especially limb joint protectors, is the objective of the work presented. For this purpose, the FE model THUMS V4 in LS-Dyna was used to simulate a fall on the side producing a direct impact on the hip, which is one of the protection areas covered by EN 1621. In comparison to a simulated fall without protective equipment, the effects of two different protectors' concepts and their injury prevention performance are analysed focusing on the trabecular bone fracture on proximal femur.

2 General method description

In order to evaluate the use of virtual human models to analyse the effects of personal protective equipment, especially the effects of limb joint protectors, a sideways fall that produces a direct impact on the hip was simulated.

Using the occupant version of the virtual human model THUMS V4 50th percentile, two hip protectors were analysed attending to their capacity of preventing injuries in a lateral fall: an impact protector certified by the current European standard and a simple conceptual airbag. Both simulation results were compared with a simulation of a sideways fall without any type of hip protector.

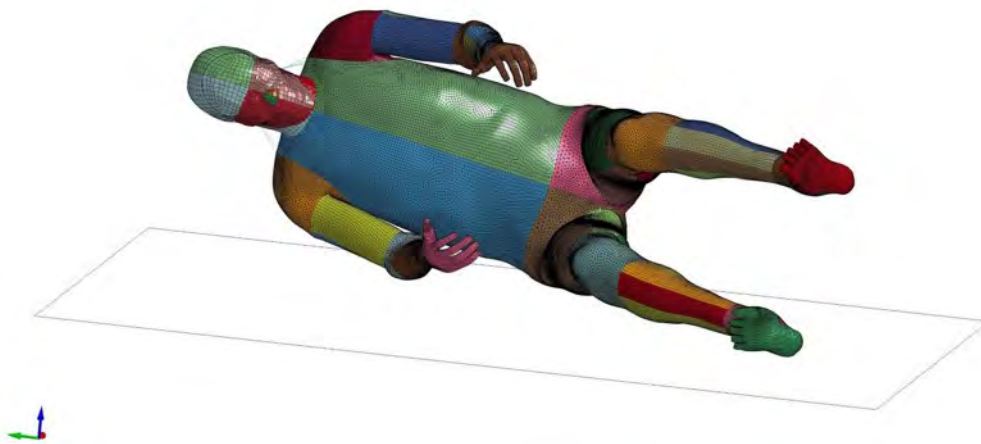


Figure 1. THUMS V4 positioned in a sideways fall.

In total, three simulations are presented. First of all, a simulation without a protector and then a different simulation with each protector's concept. In all of them the human virtual model THUMS V4 was positioned representing a sideways fall on the right side producing an impact on the hip against the floor at an impact's velocity of approximately 3,5m/s (Figure 1). This impact velocity can be understood as resulting for instance from a fall from somewhat more than 60cm height.

The injury analysis is based on biomechanical criteria and was focused on the trabecular bone's fracture in the proximal femur attending especially at the deformations produced on the femoral neck region. Regarding the deformations produced, the positive or negative effects of each protector and its influence in reducing or preventing this injury is evaluated. No kind of soft tissue injuries as cuts or abrasions are analysed.

All the models and simulations were implemented with the pre-processor LS-PrePost and were calculated with the numerical software LS-Dyna. The results examination was carried out with the environment HyperWorks and its post-processing tools HyperView and HyperGraph.

3 Simulations

Simulation without protector

This simulation represents a sideways fall from without any type of protector on the hip region. THUMS V4 impacts against the ground at an impact velocity of 3,5m/s. As in this simulation no protector was used, the injuries produced by the impact are assumed as start point for the comparison and analysis of the protectors.

During the fall, first contact is produced by the right foot followed by the hip area contact at 3ms. Femur is loaded at 15ms, and then the total right body side impacts against the floor. The sequence of the fall simulation is presented in figure 2.

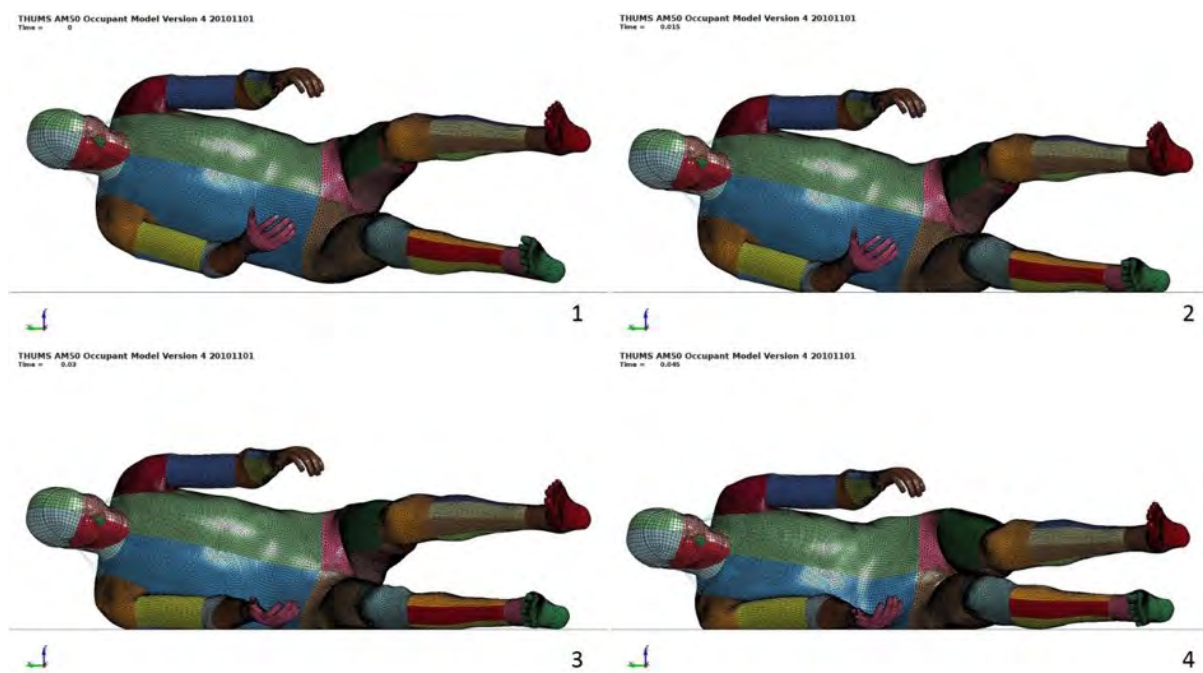


Figure 2. Fall simulation without hip protector. 1) 0ms, 2) 15ms, 3) 30ms, 4) 45ms.

Regarding the possible injuries produced because of the fall's impact and attending to the strain values assessed on the femoral trabecular bone, it is observed that the regions where more stress and load concentrates is on femur's neck region, especially in the area under the greater trochanter and the area close to the femoral head. The calculated strain values, presented in figure 3, need to be considered as critical for a fracture of the femur from an injury mechanics point of view.

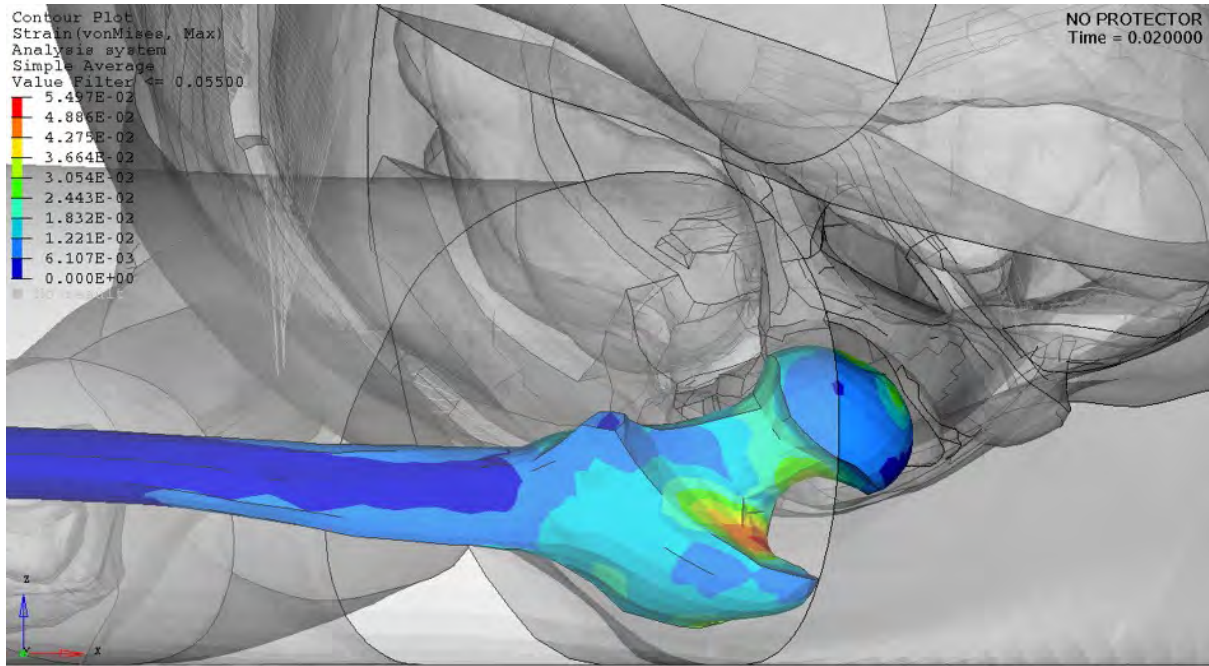


Figure 3. Von Mises strain values at femoral spongy bone.

Simulation with certified protector

In this simulation a protector certified by the European Standard EN-1621-1 was positioned between the human virtual model and the ground. The protector used is a SAS TEC-10/7 with a thickness of 10 mm. This hip protector was impact-tested in a drop tower and then reverse-engineered and validated for numerical simulations. See figure 4 for exemplary details.

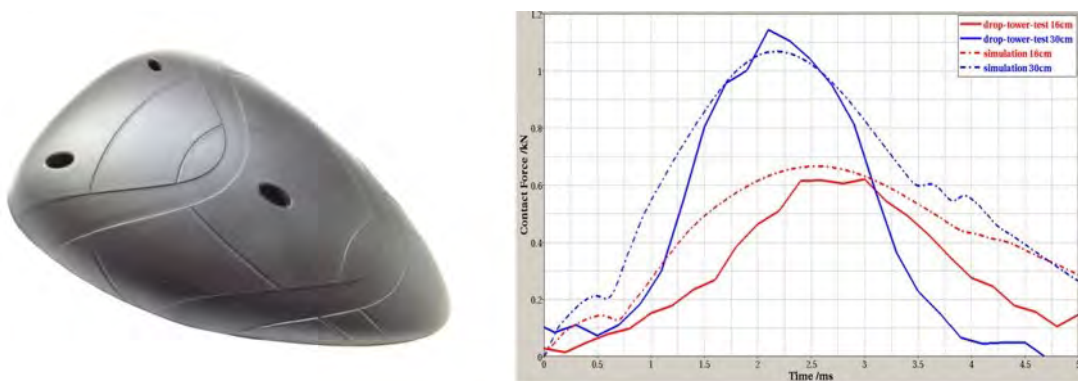


Figure 4. Validated hip protector.

It is observed that initially the protector deforms but from time 17ms, the protector does not undergo more deformation (figure 5). This observation suggests that probably the protector offers limited capacities of energy absorption in this impact.

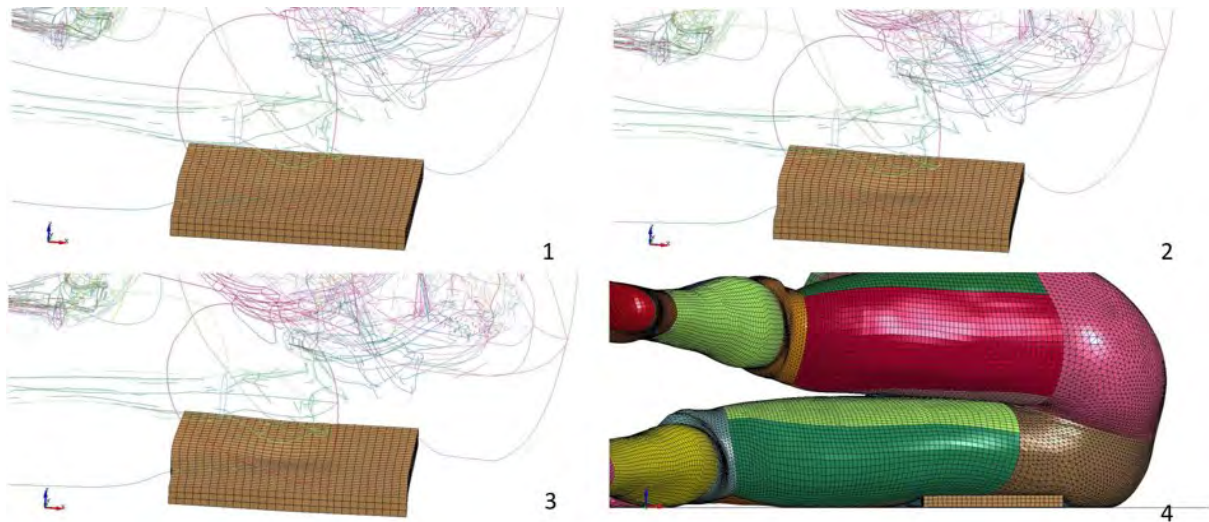


Figure 5. Fall simulation with a certified hip protector: 1) 10ms, 2) 17ms, 3) 24ms, 4) 40ms.

The analysis of contact forces between virtual body model and the protector shows that the force transmitted to the hip region are significantly reduced, as shown in Figure 6. This result initially suggests a positive effect of the protector.

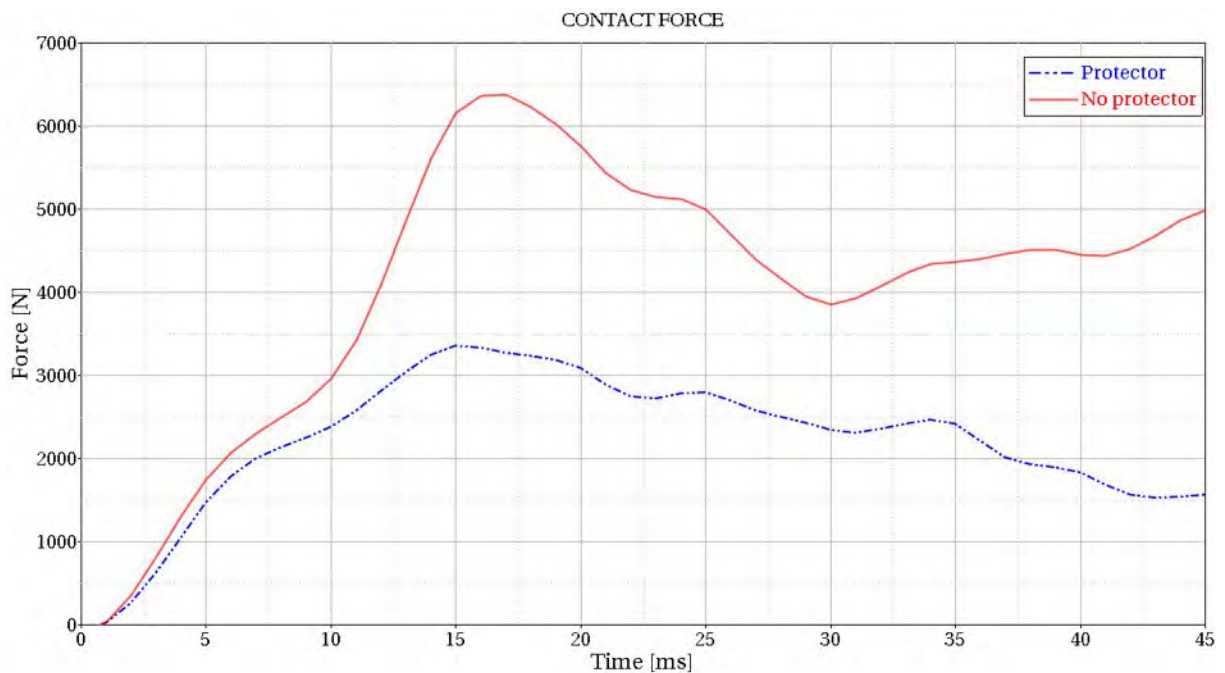


Figure 6. Comparison of contact forces.

Despite a benefit in the reduction of transmitted forces was observed, the analysis of the strain contour plot presented in Figure 7, does not show an improvement in the prevention of a severe injury. The strain values obtained do not differ significantly from the values obtained in the first simulation with-

out a protector. Even though a certified protector is used, femoral neck fracture would occur in the considered impact.

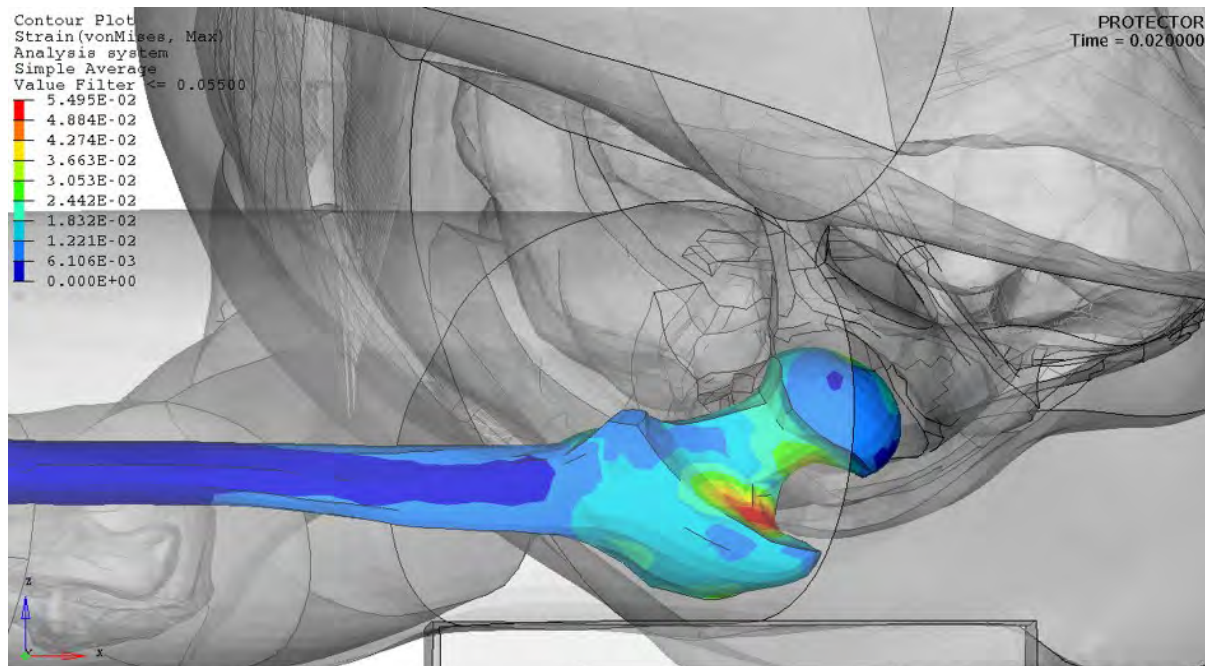


Figure 7. Von Mises strain values at femoral spongy bone.
Simulation with a certified protector.

Simulation with an airbag protector

At this case, a sideways fall was simulated positioning a self-design airbag protector to prevent injuries at the hip. It is worth mentioning that the airbag model used on the simulations it is not a commercial airbag model and hence is not certified by any current European standard. The design and optimization of a future commercial airbag model is not the aim of this work, therefore the model implemented in this work it is only a simply self-designed airbag model created to analyse its injury protection potential. Main airbag dimensions are 20 cm diameter and an approximated thickness of 9,5cm when it is completely inflated.

Looking at the simulation process, the airbag is fully inflated after 5 milliseconds, and begins to support the load after 11 milliseconds. From this moment, the airbag is compressed during the whole simulation working to mitigate the impact effects. This process is shown on Figure 8.

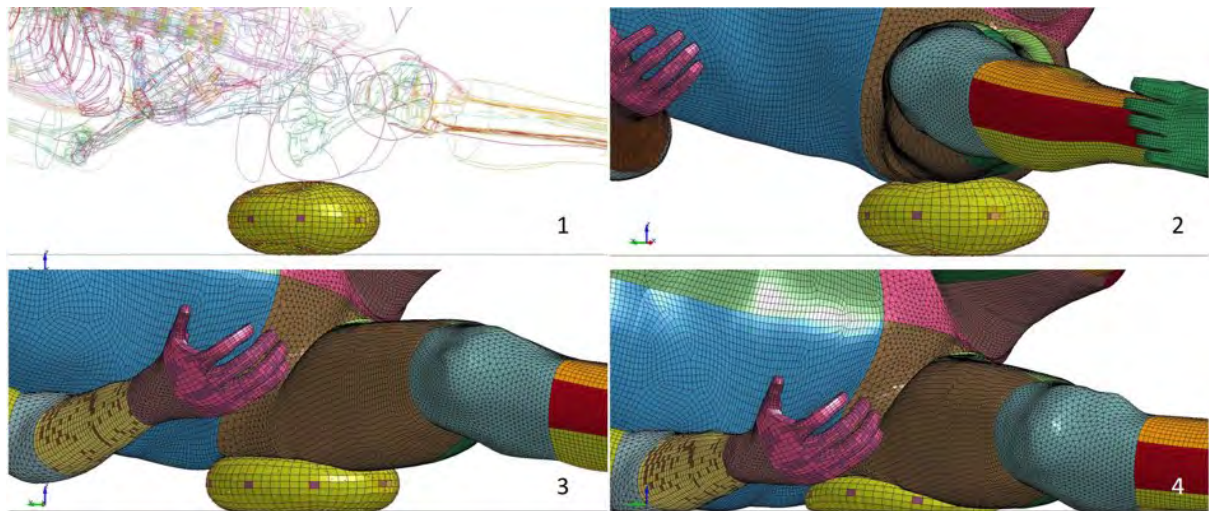


Figure 8. Fall simulation with an airbag protector: 1) 5ms, 2) 11ms, 3) 25ms, 4) 45 ms.

The analysis of the simulation shows that two peak loads on the bone are produced during the fall: A first peak at 35ms and then a second peak at 65ms is produced when the airbag is bottoming out. A benefit of the airbag protector is observed because the strain values obtained at the femoral neck region at both of these peak loads are considerably reduced comparing to the values resulted in the simulation with the certified protector. However, a risk of sustaining a femoral fracture cannot be excluded from an injury mechanics perspective. See Figure 9.

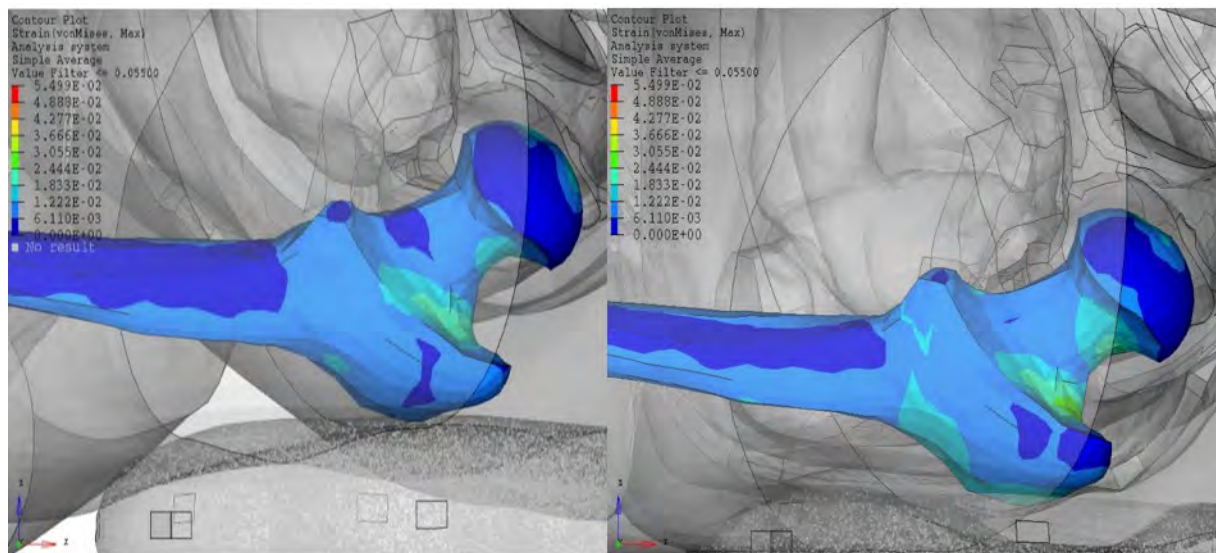


Figure 9. Von Mises strain values at femoral spongy bone. Simulation with an airbag protector. Left- First peak at 35ms. Right- Second peak at 65ms.

Another positive effect is that the force transmitted to the hip region is reduced in comparison with a standard protector particularly at the first 30ms (Figure 10). As it can be expected, the force transmission is developed over a considerably longer time span, with the first peak after 30ms.

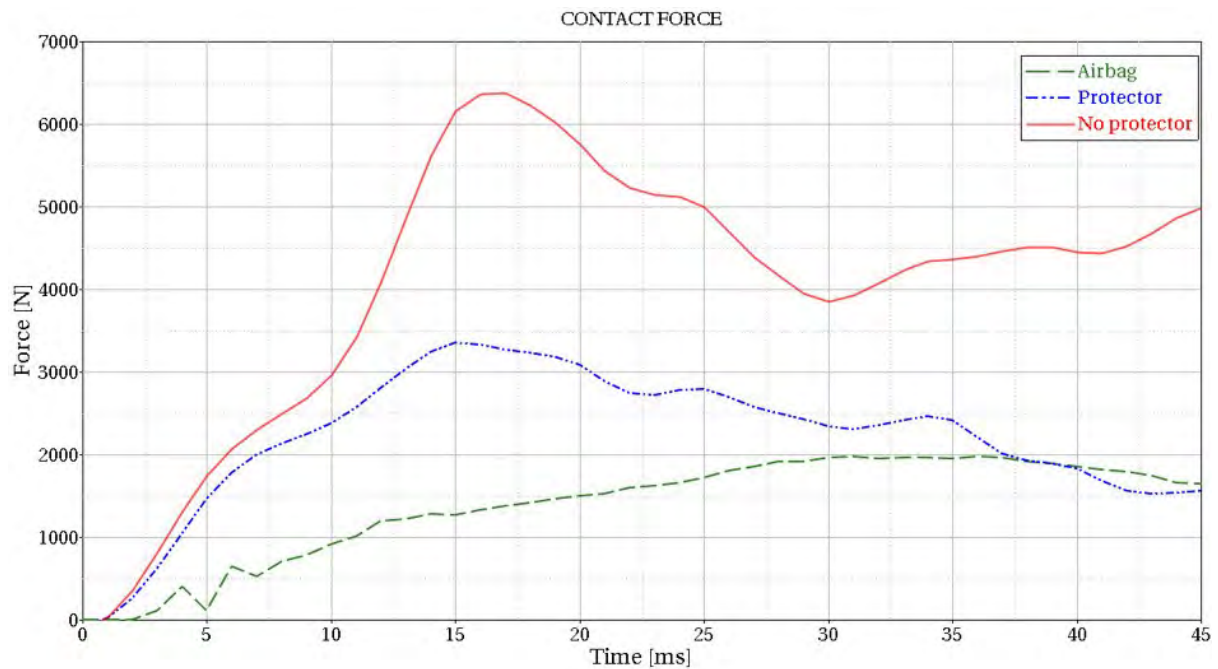


Figure 10. Contact force from airbag protector vs standard protector.

4 Summary and discussion

The aim of this study was to evaluate the potential of virtual human body models for analysing the effects of personal protecting equipment. Selecting the specific example of a sideways fall which generates a direct impact on the hip and using numerical simulations two different concepts of protectors where evaluated regarding biomechanical criteria.

The analysed conventional protector reduces the transmitted forces to the human body. However, the strain values shown after the impact are very similar to those values observed in case of a fall without protector. Despite the reduction in force transmission, the strain values obtained indicate a femur bone fracture. The results obtained question the injury prevention capacity of the protectors currently certified by the European standards under the conditions used for this study, roughly representing a 60cm-drop of the human body.

In contrast, the reduction of strain values observed by the airbag case was considerable in comparison to the certified protector example. In addition, the force transmitted to the human body is more reduced with an airbag protector than with a conventional one. This results point out the protection potential of an airbag protector in terms of injury severity reduction and suggest that with an optimized airbag's design, femoral fracture could be prevented.

Despite the promising results obtained, this work includes some limitations. Firstly, the sideways fall boundary conditions are not demonstrated as representative of a motorcycle fall on the side. In the

framework of the FP7 Marie Curie Action MOTORIST, currently a study of the realistic impact conditions by means of accident analysis is ongoing. Future work will include this information as an input for the simulations.

Secondly, to obtain high grades of bio-fidelity, the implementation of validated models is determinant. The evaluation of possible injuries is extremely dependent of the material properties and an appropriate material modelling. Because THUMS V4 is primarily developed for analysing the injuries produced in car occupants, femur's modelling technique is limited, especially the trabecular bone at the proximal region. The study of the trabecular bone under dynamic loading at the proximal region and the implementation of a validated model with its corresponding material properties is the current main research activity of the authors. This relates in particular to establishing failure criteria for trabecular bone, which would allow to address also the other body regions covered by the EN 1621-1.

Finally, regarding the results obtained in this study and its limitations, virtual human models are revealed as a promising analytic tool for the evaluation of personal protective equipment.

Acknowledges

This research was performed with founding from the EU Marie Curie Action Project MOTORIST. The work presented in this paper was funded by the 7th Framework Program of the European Commission within the Marie Curie Initial Training Network project MOTORIST - MOTOrcycle Rider Integrated SafeTy (Grant Agreement 608092).

References

- [1] World Health Organization, Global Status Report on Road Safety 2013.
- [2] SafetyNet 2013, Motorcyclist and mopeds users
(http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/statistics/)
- [3] Bauer K., Peldschus S., Schick S., 2014. Retrospektive Analyse tödlicher Motorradunfälle und Ableitung von Schutzmaßnahmen bei komplexen Bremsmanövern. ifz Forschungsheft Nr. 16, Tagungsband der 10. Internationalen Motorradkonferenz 2014, Köln, Deutschland.
- [4] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle 2013.
- [5] Savino, G., Pierini, M., Grant, R., Frampton, R., Talbot, R., Peldschus, S., Schuller, E., Oudenhuijzen, A., Pauwelussen, J., Scheepers, B., Teerhuis, A., Venkata, M.K., Babu, R., Roessler, B., Nanetti, M., Guggia R., McCarthy, M.G., Hulshof, W., 2010. PISa – Powered two-wheeler Integrated Safety. Development, implementation and testing of PTW integrated safety systems. In: Proceedings of the 8th International Motorcycle Conference 2010, Cologne, Germany.
- [6] Savino, G. Giovannini, F., Fitzharris, M., Pierini, M., 2013. Assessing the potential benefits of the motorcycle autonomous emergency braking using detailed crash reconstructions. Traffic Injury Prevention 14 (Suppl 1) 40-49.
- [7] Regulation (EU) No 168/2013 of the European Parliament and of the Council.
- [8] EC 2001. COST 327. Motorcycle Safety Helmets, Final report. European Commission.
- [9] de Rome, L., Ivers, R., Fitzharris, M., Du, W., Haworth, N., Heritier, S., Richardson D., 2011. Motorcycle protective clothing: Protection from injury or just the weather? Accident Analysis and Prevention 43, 1893-1900.
- [10] Motorcyclist road SAFety Improvement through better behaviour of the equipment and first aid devices. MOSAFIM project Final Technical Implementation Report, 2013. European Commission.
- [11] Schuller, E., Beier, G., Spann, W., 1986. Disability and impairment of protected and unprotected motorcycle riders. Proceedings of the SAE International Congress and Exposition – Crash Injury Impairment and Disability: Long Term Effects, Detroit, MI, Warrendale, PA, 51-56.

Motorcycle helmet effect as a function of crash severity

Motorradhelm – Einfluss auf die Verletzungsschwere

James V. Ouellet

Motorcycle Accident Analysis
Playa del Rey, CA, USA

Abstract

Background: This study attempts to minimize differences between helmeted & unhelmeted motorcyclists on factors such as speed, collision configuration, etc., by stratifying them based on crash severity, using the most severe injury below the neck (MAIS) as the measure of severity.

Methods: Motorcycle crashes at all levels of severity involving 900 riders in Los Angeles and 1,082 in Thailand were prospectively investigated on-scene immediately after the crash. Detailed examination of the accident scene, motorcycle and other vehicles, injury information and analysis of helmet damage were used to reconstruct each accident. The Abbreviated Injury Scale was used to rate injury severity. Crash severity was usually stratified as MAIS 0-2, MAIS 3-4, and MAIS 5-6 for comparison of brain injury rates. Riders were compared on fatality rates, survival with AIS>2 brain injury or a composite of those called "disastrous outcome." No medical cost data were collected.

Results: Forty-eight of 49 riders with AIS 5-6 injury below the neck died; helmet use had almost no effect in this extreme 2½% of crashes. MAIS 3-4 crashes were 10-15% in each study area. In this range, helmet use prevented about 75% of deaths. In low-severity crashes (MAIS<3), unhelmeted were two to three times as likely to be killed or, if they survived, to suffer AIS>2 brain injuries. About 27% of both helmeted and unhelmeted riders were hospitalized. Helmeted survivors generally had more severe below-the-neck injuries; unhelmeted riders had more severe brain injuries.

Conclusions: Helmet use had almost no effect in the extreme (MAIS 5-6) crashes that were 2-3% of all crashes but 40% of fatalities. In the remaining 97% of crashes, unhelmeted riders were two to six times as likely, depending on crash severity, to be either killed or to survive with a life-altering (AIS>2) brain injury. Studies of hospitalized or fatally injured riders should stratify them by some measure of below-the-neck injury severity before comparing helmet effectiveness. Ineffective "beanie" or "novelty" head coverage should be counted as "no helmet."

Keywords: Motorcycle helmet; injury severity; crash severity; fatality rate; brain injury; Thailand; hospital

Motorcycle helmet effect as a function of crash severity

Introduction

Comparisons of helmeted and unhelmeted motorcyclists based on hospital data often implicitly assume that the two groups are roughly equal on factors such as collision type, crash speeds, single or multiple vehicle, etc. They may also assume that helmeted and unhelmeted riders are equally likely to require hospital admission and for the about the same reasons. And they may miss three groups of riders who make up about 75-80% of the motorcycle crash population: 1) riders with minor injuries who do not go to the hospital, 2) riders who are treated in the emergency department and released, and 3) riders who die at the crash scene.

Two previous studies have evaluated motorcycle helmet effectiveness by adopting the strategy of comparing hospitalized riders matched on the basis of the severity of non-head injuries, which can serve as a useful proxy for crash severity. Probably no other method of evaluating helmet effectiveness minimizes so many sources of variability between helmeted and unhelmeted groups.

Offner et al. (1992) reported that among riders injured severely enough to be admitted, helmeted riders had more serious non-head injuries than unhelmeted riders (ISS_{nh} 12.5 vs. 9.7). When they grouped riders on the basis of non-head Injury Severity Score (ISS_{nh}), riders who wore a helmet were significantly less likely than non-helmeted riders to suffer head injury (38% vs. 66%) and had shorter hospital stays (11 days vs. 15.5 days). Similarly, Rutledge & Stutts (1993) grouped riders from North Carolina's trauma registry into quartiles based on ISS_{nh} and found that, within each quartile, unhelmeted riders were nearly twice as likely as helmeted riders to suffer some kind of head injury as unhelmeted riders.

Both Offner et al. (1992) and Rutledge and Stutts (1993) clearly acknowledge the sampling issue noted above. However, Lawrence et al (2002) also cautioned about the accuracy of helmet use information. Offner et al. relied on information provided by EMS and emergency room personnel to determine helmet use, while Rutledge & Stutts do not mention how helmet use was determined. Although EMS and emergency room personnel are correct about helmet use much the great majority of the time, accurately verifying helmet use is not a high priority for most medical care givers since it provides little guidance for subsequent medical treatment. Nonetheless, Offner et al. and Rutledge and Stutts apparently assumed 100% accuracy in identifying helmet use.

Neither study mentions the complicated determination of the relationship between brain injury and the moment in the crash sequence when ejection occurs. It's true that in some cases, significant brain injury occurs only after the helmet comes off. But in other cases the same impact may simultaneously cause brain injury and helmet ejection.

Hospital-based samples cannot determine how helmet use affected the riders who either died on scene or whose injuries did not need hospital admission. On-scene, in-depth studies of 1,082 accident-involved riders in Thailand (Kasantikul 2002a, 2002b) and 900 in Los Angeles (Hurt et al., 1981) suggest that hospitalized riders are only about 20-25% of the motorcycle accident population. This is in line with Offner et al., who reported that they identified hospital records for 20% of the accident reports in their study area. While about 5% of motorcycle crashes are fatal (NHTSA, 2015), more than half the fatally injured riders die at the crash scene so they are not transported to a hospital and do not show up in a hospital trauma registry.

The two studies reported here, one in Los Angeles and one in Thailand, attempt to compare helmet effectiveness over the full spectrum of motorcycle crash severity.

The data were collected prospectively by trained investigators at the accident scene immediately after the crash occurred, often before the rider left the scene. In addition, verifying helmet use was a crucial objective of the research, so the great majority of helmets worn in these accidents were obtained for inspection, disassembly and photography. This allowed investigators to verify helmet use and retention performance and to define the causal connections between the rider's collision motions, the objects he struck, the helmet damage and any brain injuries that may have occurred.

It is important to note that the head injuries reported in this study are explicitly brain injuries. Riders who had superficial head injuries without neurological signs were considered to have no head injury and were coded with a brain injury severity of zero.

Methods

Accident investigation – In both study areas, teams of investigators traveled to an accident scene immediately after the crash in order to conduct a detailed research investigation and analysis independent of the police investigation. The investigators were university graduates who had undergone extensive training that included motorcycle accident investigation and reconstruction, motorcycle design and handling, interviewing, injury cause analysis, helmet design and analysis, etc.

Investigation teams obtained crash notifications from police or ambulance communication centers. Once on-scene, investigators photographed the motorcycle(s) and other vehicles involved as well as skids, scrapes, “people marks” (such as blood, cloth marks, “soft” dents in vehicles), pre-crash paths of travel, etc. Investigators also measured and diagrammed the physical evidence as well as obtaining driver and witness interviews and injury information. In both studies, injury information was obtained from medical care providers and often from the riders themselves (usually when all injuries were minor and only first aid was provided). The investigators also collected accident-involved helmets,

which were later analyzed for damage and collision performance. Finally, they used the physical evidence to reconstruct the collision events and identify accident and injury causation and helmet performance.

The Thailand study investigated a total of 969 collisions involving 1082 riders and 399 passengers in six different regions within Thailand over a twenty month period. There were more motorcycles than collisions because about one-fourth of the Thailand multiple-vehicle collisions involved two motorcycles colliding with each other. The first twelve months of the Thailand study (all of 1999) were devoted to crash investigations in Bangkok (723 cases). In the remaining months (March – September, 2000) another 359 cases were investigated in the provinces of Phetchburi, Trang, Khon Kaen, Sara-buri and Chiang Rai), which were located 150 to 700 km from Bangkok.

The Los Angeles study involved 900 accidents at all levels of severity within the 464 square miles (1200 square km) of the City of Los Angeles in 1976-77.

The crash investigation and reconstruction methodology used in Los Angeles and Thailand study was essentially the same and has been described elsewhere in more detail (Ouellet, 1979; Smith et al., 2002). In Thailand, over 2000 data elements were recorded, using the OECD data form (OECD, 1999). Some data elements were simple items such as weather, roadway type, motorcycle manufacturer or rider gender. Other items were complex and required considerable analysis and integration of accident evidence, such as precrash and crash speeds, injury mechanisms, accident cause factors and helmet performance.

Helmet use and ejection were determined by a variety of means that included examination and disassembly of the helmet to identify and measure collision damage, as well as rider, passenger and eyewitness interview statements. The cause and timing of helmet ejection was determined wherever possible and always based on physical evidence. In Los Angeles, about 5% of helmets came off during the crash, usually because the rider failed to fasten the chin straps. This percentage is so low that all helmeted riders in Los Angeles are treated as “helmeted,” whether the helmet ejected or not. However, in Thailand, nearly one-fourth of helmets came off (again, usually due to poor fit or failure to fasten the retention system properly), so these ejection cases are considered separately from helmet-retained cases.

The Thailand injury data were coded using the 1990 version of *The Abbreviated Injury Scale*. Head injuries reported in this paper included the following AIS-90 codes: crush (11300.6), intracranial blood vessel injuries (12099.3 – 122806.3), brain and meningeal injuries (140299.5 – 140799.3), skull injuries (150200.3 – 150408.4) and loss of consciousness (160202.2 – 161000.2).

The head injury data from Los Angeles was coded using a system described by Ouellet et al. (1984). A rider was coded as having a brain injury if the injured system-organ was the brainstem, neocortex, subcortex, cerebellum, epidural, subdural or subarachnoid spaces, or if a skull vault or basal fracture was coded when an anatomically discrete brain injury was not identified (for example, if skull fracture with alteration of consciousness occurred, only the skull fracture might be coded.) Injury severity was coded in accordance with the 1980 revision of *The Abbreviated Injury Scale*. The use of two different versions of *The Abbreviated Injury Scale* should not be a problem because brain injury severity classifications were nearly identical in the two versions of the AIS and because all statistical comparisons reported here are made within each database, not across databases.

A chi-square statistical test was used for most of the comparisons reported here. If the expected cell frequency was less than 5, the results of Fisher's Exact Test are reported. The probabilities reported here are for a two-tailed test. Probabilities less than .05 are considered statistically significant. A rider was omitted if either one of two variables being considered was unknown; as a result there may be slight variations in the number of riders reported. The data reported here include only the motorcycle operators, but none of their passengers. The term "disastrous outcome" is used here to describe the situation in which a rider met either one of two criteria: 1) death, or 2) survival with a brain injury of AIS>2. If a rider met neither of the two criteria listed above, he or she was coded as not having a disastrous outcome. This method of classifying counts each rider only once and avoids the problem of counting a rider twice, once if he died and again if he had a brain injury with AIS>2. The AIS>2 brain injury severity level among surviving riders is chosen because Ross et al. (1992) showed markedly worse functional outcomes for riders who survived with head injury AIS>2.

Results

Helmet use was known for all but nine of the 1982 riders (99.5%), one in Thailand, eight in Los Angeles. In Los Angeles, 355 of 892 riders (40%) wore a helmet. In Thailand, 528 of 1081 riders (49%) were unhelmeted, while 420 (39%) wore a helmet that remained on through the entire crash sequence. The helmet ejected from the head 133 riders (12%) before they came to rest.

In both Thailand and Los Angeles, about 6% of riders were killed but fatality rates differed depending on helmet use, with unhelmeted riders about 2 – 3 times as likely to be killed as the result of a crash. In Los Angeles, about 28% of riders, whether helmeted or not, were hospitalized and survived. In Thailand, a nearly identical 28% of unhelmeted riders were hospitalized and survived compared to 22% of helmeted riders and 38% of riders whose helmet ejected.

Accident severity and medical treatment

The great majority of riders in both studies suffered only relatively mild below-the-neck injury. Only 20% percent of riders in Los Angeles and 12% of those in Thailand had a somatic injury worse than AIS-2 (moderate). The distribution of most severe somatic injury severity for the two studies is shown in Figure 1.

For the most part, helmeted and unhelmeted riders were equally likely to be admitted to a hospital for treatment beyond the emergency department. However, unhelmeted riders were much more likely to be fatally injured. Thailand riders whose helmet ejected had, by far, the highest rates of hospitalization and death. Figure 2 shows the percent distribution of medical treatment for riders grouped by accident study and helmet use or retention. “Minimal” treatment included riders who sustained no injury, those who had only first aid at the scene, or who were treated at an emergency department and then released. “Hospitalized” includes riders who were admitted to the hospital for any length of time and survived their crash. “Fatal” includes all riders who died, whether on scene or after life-saving medical efforts at the hospital failed.

Also, helmeted riders were more likely to be hospitalized for below-the-neck injuries than unhelmeted riders or (in Thailand) riders whose helmet ejected during the crash, although in Thailand this trend was not statistically significant.

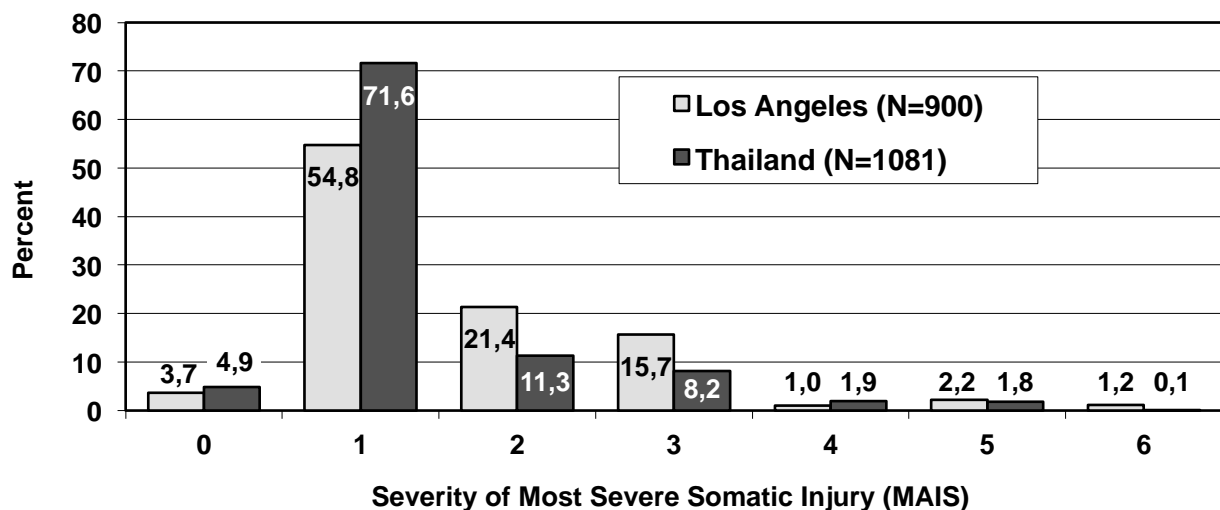


Figure 1. Percent distribution of most severe somatic injuries in Thailand and Los Angeles

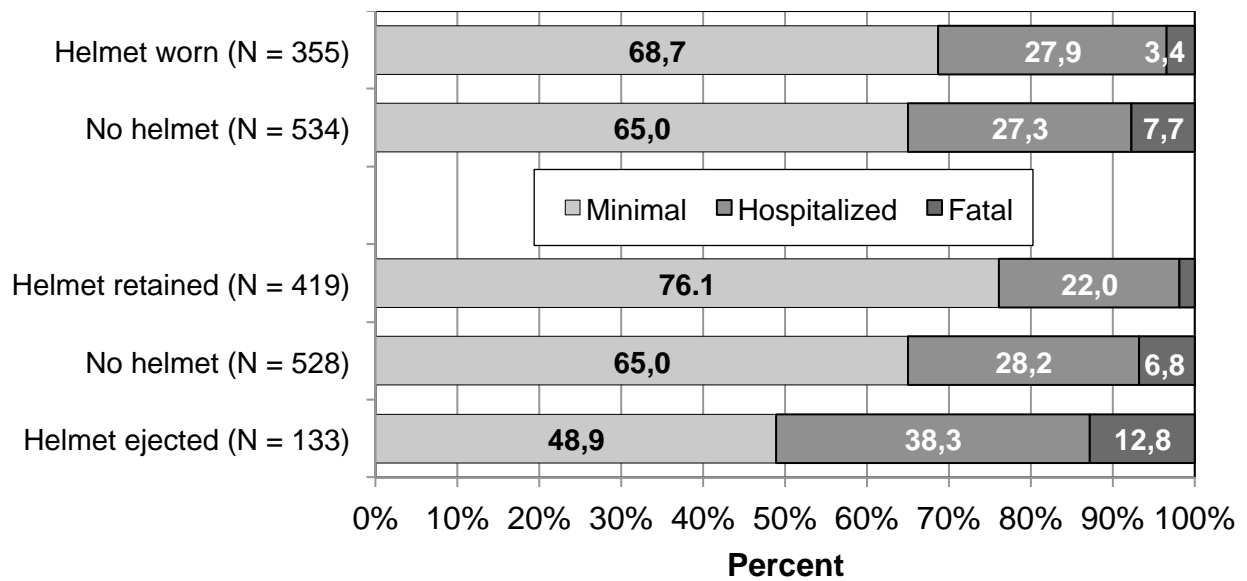


Figure 2. Rider medical treatment as a function of helmet use and retention. The lower three bars are Thailand data, the upper two bars are Los Angeles data.

In Los Angeles, helmeted riders in all non-fatal crashes (whether hospitalized or not) generally had more severe below-the-neck injuries than unhelmeted survivors. That is, significantly more of the 343 helmeted survivors had MAIS>2 injuries than the 493 surviving unhelmeted riders (26% vs. 19%; $\chi^2 = 6.18$, $p = .013$, $df = 1$). However, this difference was not statistically significant in Thailand, where 7% of both helmeted and unhelmeted survivors had MAIS>2 injuries.

Table 1 shows data for the subset of riders who were hospitalized and survived. Of 216 hospitalized survivors in Los Angeles, 70% of helmeted riders had MAIS>2 injuries compared to half of unhelmeted riders. Among Thai riders who survived and were hospitalized longer than 12 hours, helmet-retained riders were the most likely to have MAIS>2 injuries, followed by helmet-ejected riders, then unhelmeted riders (41% vs. 30% vs. 31%, respectively) but none of the differences were statistically significant.

Table 1: Hospitalized surviving riders with MAIS>2

Study area	No helmet		Helmet retained		Helmet ejected		χ^2	p	df
	N	%	N	%	N	%			
Los Angeles	127	50.4	89	69.7	-	-	7.99	.005	1
Thailand	115	29.6	70	41.4	39	30.8	2.91	.234	2

Fatality rates

In both Thailand and Los Angeles, about 6% of all crash-involved riders were killed. Nearly 100% of riders (48 of 49) in the two studies combined who had MAIS-5 or AIS-6 injuries below the neck died. In both studies, 57% of fatally injured riders died at the scene and thus were not seen at a hospital (31 of 54 in L.A. and 35 of 62 Thai riders).

In Los Angeles, unhelmeted riders were more than twice as likely to be killed as helmeted riders (7.6% vs. 3.4%) and the difference was significant ($\chi^2 = 6.92$, $p = .008$, $df = 1$). Helmeted riders were 40% of all crashes but only 23% of the fatalities.

In Thailand, unhelmeted riders were more than three times as likely to be killed, and helmet-ejected riders were more than six times as likely to be killed as riders whose helmet stayed on. That is, 6.8% of the unhelmeted riders died, compared to 12.8% of helmet-ejected riders but only 1.9% of the helmet-retained riders. The three groups differed significantly ($\chi^2 = 25.05$, $p < .001$, $df = 2$), as did all three pair-wise comparisons ($\chi^2 > 5$, $p < .02$, $df = 1$).

Figures 3 and 4 illustrate the fatality rates for riders at each MAIS level, for the Los Angeles and Thailand studies, respectively. The lower row of the horizontal axis (in parentheses) indicates the number of riders in each group at each severity level.

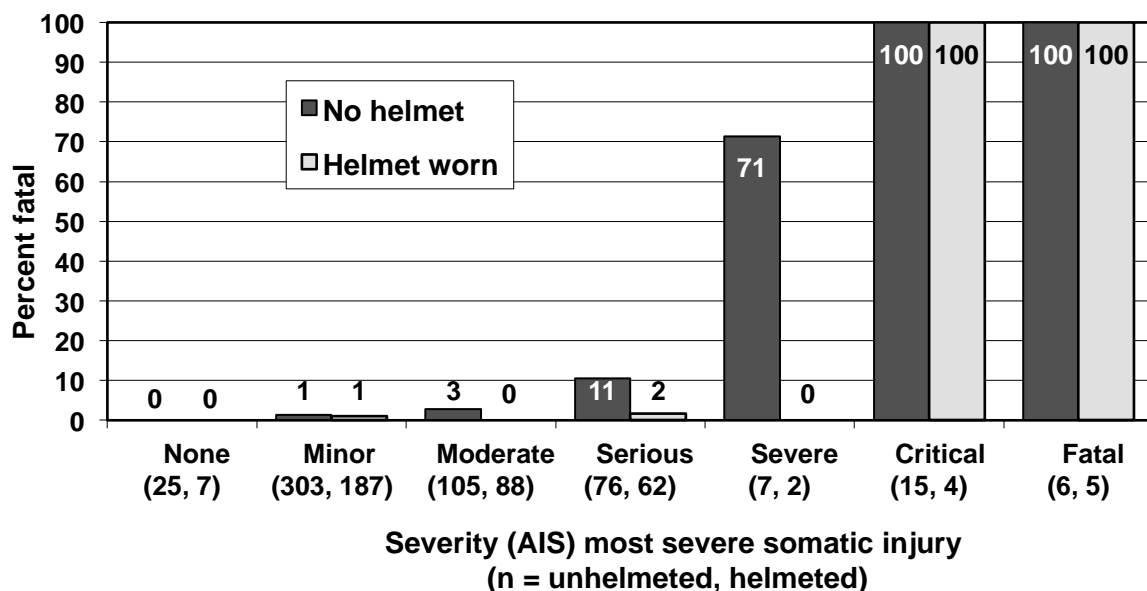


Figure 3. Los Angeles: fatality rate as a function of most severe below-the-neck injury and helmet use.

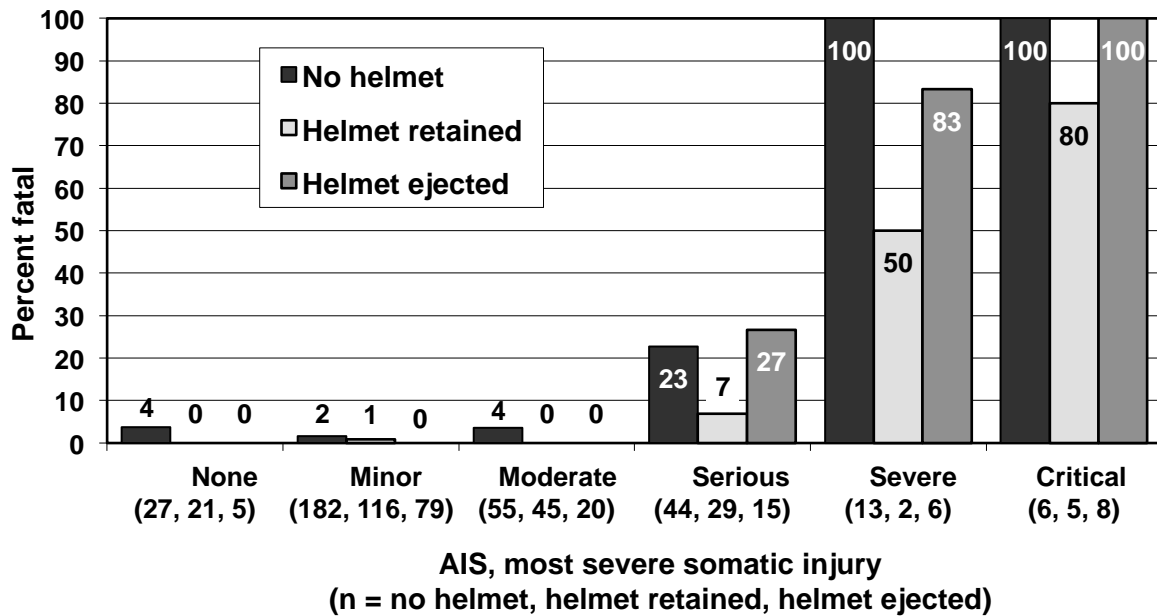


Figure 4. Fatality rate of Thailand riders as a function of helmet use and most severe below-the-neck injury

For Los Angeles riders with MAIS<5 injuries, fatality rates averaged 2.7% overall but unhelmeted riders were four times as likely to die ($\chi^2 = 7.22$, $p < .01$, $df=1$). Their fatality rate was twice as high in low severity crashes (MAIS 0-2) but about 10 times as high in serious-to-severe (MAIS 3-4) collisions.

In Thailand crashes with below-the-neck injury severity below AIS-5, unhelmeted riders were about four to five times as likely to be killed as helmeted riders. This was true for all 934 riders with MAIS<5 injuries and the 147 riders in the higher severity range (MAIS 3-4), where the differences were statistically significant. In the Thailand low-severity (MAIS 0-2) range unhelmeted riders were twice as likely to die as helmeted riders but the difference was not statistically significant.

The same pattern emerged in both studies: unhelmeted riders were generally 2 – 4 times as likely to die in both high (MAIS 3-4) and low (MAIS 0-2) injury severity ranges. The differences were non-significant in MAIS 0-2 range largely because fatality rate was so low in the low-severity crashes but the differences in fatality rates in MAIS 3-4 range were remarkably pronounced. Table 2 compares the fatality rates of helmeted and unhelmeted riders in Thailand and Los Angeles crashes where the most severe injury below the neck was AIS<5.

Table 2. Fatality rates for Los Angeles (L.A.) and Thailand riders with MAIS<5 injuries.

Comparisons of fatality rates as a function of helmet use									
Comparison	No helmet		Helmet re-tained		Helmet ejected		χ^2	p	df
	N	%	N	%	N	%			
L.A., MAIS 0-2	433	1.6	282	0.7	-	-	-	.49*	-
L.A., MAIS 3-4	83	15.7	64	1.6	-	-	8.34	.004	1
Total	516	3.9	346	0.9	-	-	7.22	.007	1
Thailand, MAIS 0-2	463	1.3	382	0.3	104	0.0	-**	-	-
Thailand, MAIS 3-4	58	39.7	31	9.7	21	42.9	9.83	.007	2
Total	521	5.6	413	1.0	125	7.2	16.68	.000	2

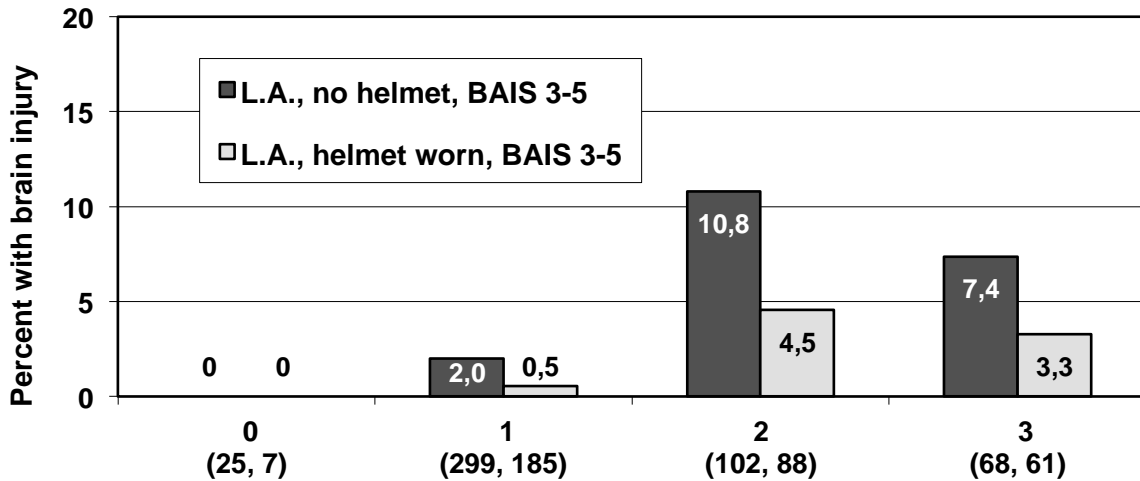
* Fisher's Exact Test, two-tailed

** Invalid test, 3 cells with n<5

Serious brain injury frequency in survivors

In Los Angeles, helmeted riders with MAIS<5 injuries suffered significantly fewer brain injuries of any kind in the BAIS 1-5 range (8.2% vs. 13.5%; $\chi^2 = 5.76$, $p = .016$, $df = 1$) and significantly fewer life-altering brain injuries in the BAIS 3-5 range (1.5% vs 4.8%; $\chi^2 = 6.95$, $p < .01$, $df = 1$).

Serious brain injury (BAIS 3-5) rates among surviving riders in the Los Angeles study varied as a function of helmet use and the most severe somatic injury, as shown in Figure 5. When the most severe injury below the head-neck region was MAIS 0-3, unhelmeted riders were nearly three times as likely to suffer a serious brain injury and the difference was statistically significant ($\chi^2 = 5.75$, $p < .01$, $df = 1$). One percent of 892 riders whose helmet use was known sustained MAIS-4 (severe) injuries. Five of the seven unhelmeted riders died, one suffered AIS-3 brain injury, the other an AIS-5 brain injury. Neither of the two helmeted riders with MAIS-4 had any brain injury. On the other hand, a few riders with critical brain injuries (BAIS-5) survived with somatic injury severity as high as AIS-4.



**Most severe injury below the neck
(n = no helmet, helmet worn)**

Figure 5. Los Angeles – debilitating (AIS>2) brain injury rates among surviving riders as a function of helmet use and most severe below-the-neck injury.

The Thailand data in Figure 6 suggest only that helmeted riders had fewer brain injuries than unhelmeted riders at nearly every MAIS level. There were too few brain injuries for any other trends to be apparent. Data above the MAIS-3 level are not shown because too few riders survived for intelligible statistics: all 13 unhelmeted riders with MAIS-4 injuries died, as did five of six helmet-ejected riders. One helmet-retained rider with MAIS-4 and one with MAIS-5 injury survived without serious brain injury. One helmet-ejected rider with MAIS-4 survived, but with an AIS-5 brain injury. Only one of nineteen riders with MAIS-5 injuries survived (his helmet remained on); both riders with MAIS-6 injuries died.

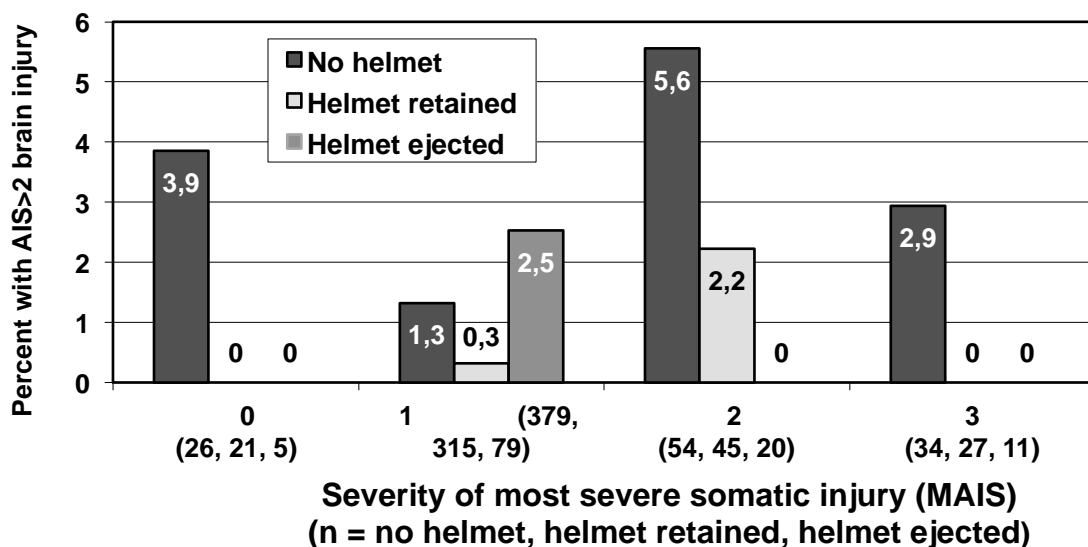


Figure 6. Thailand data: AIS>2 brain injury rates among surviving riders as a function of most severe somatic injury and helmet use.

Table 3. Percent distribution of most severe somatic injury by most severe brain injury for surviving riders in Los Angeles.

Surviving unhelmeted riders – Los Angeles (N = 496)						
Most severe brain injury (BAIS)	Severity of Most Severe Somatic Injury (MAIS)					Row Total
	0	1	2	3	4	
	None	Minor	Moderate	Serious	Severe	
0 – None	4.6	54.0	15.9	11.5	-	86.1
1 – Minor	0.2	2.2	1.0	0.4	-	3.8
2 – Moderate	0.2	2.8	1.4	0.8	-	4.8
3 – Serious	-	0.6	0.6	0.6	0.2	1.8
4 – Severe	-	-	0.6	0.2	-	0.8
5 - Critical	-	0.6	1.0	0.4	0.2	2.2
Column Total	5.0	60.3	20.6	13.7	0.4	100.0
Surviving helmeted riders – Los Angeles (N = 343)						
Most severe brain injury (BAIS)	Severity of Most Severe Somatic Injury (MAIS)					Row Total
	0	1	2	3	4	
	None	Minor	Moderate	Serious	Severe	
0 – None	2.0	51.9	23.0	14.3	0.6	91.8
1 – Minor	-	0.9	1.5	1.3	-	3.5
2 – Moderate	-	0.9	0.6	1.7	-	3.2
3 – Serious	-	-	0.3	-	-	0.3
5 - Critical	-	0.3	0.3	0.6	-	1.2
Column Total	2.0	53.9	25.7	17.8	0.6	100.0

Tables 3 and 4 crosstabulate the severity of the most severe somatic injury by the most severe brain injury for surviving riders in the Los Angeles and Thailand studies, respectively. A percent distribution of the total number of riders in each group is used in order to allow more direct comparisons of groups with unequal numbers of riders.

Table 4. Thailand riders, percent distribution of most severe somatic injury by most severe brain injury for helmeted and unhelmeted surviving riders. Cells show percent of total.

Most severe brain injury	Surviving unhelmeted riders – Thailand (N = 492)						
	Severity of most severe somatic injury (AIS)						Total
	None	Minor	Moderate	Serious	Severe	Critical	
None	4.9	68.5	9.1	5.9	-	-	88.4
Minor	0.2	7.1	1.0	0.4	-	-	8.7
Moderate	-	0.4	-	0.4	-	-	0.8
Serious	-	0.4	0.4	0.2	-	-	1.0
Severe	0.2	0.4	-	-	-	-	0.6
Critical	-	0.2	0.2	-	-	-	0.4
Total	5.3	77.0	10.8	6.9	-	-	100.0
Thailand surviving riders – helmet retained (N = 411)							
Most severe brain injury	Severity of most severe somatic injury (AIS)						Total
	None	Minor	Moderate	Serious	Severe	Critical	
None	5.1	75.4	10.7	6.3	-	0.2	98.1
Minor	-	0.7	-	-	-	-	0.7
Moderate	-	0.2	-	0.2	0.2	-	0.7
Serious	-	0.2	-	-	-	-	0.2
Severe	-	-	0.2	-	-	-	0.2
Total	5.1	76.6	10.9	6.6	0.2	0.2	100.0
Thailand surviving riders - helmet ejected (N = 116)							
Most severe brain injury	Severity of most severe somatic injury (AIS)						Total
	None	Minor	Moderate	Serious	Severe	Critical	
None	2.6	53.4	10.3	7.8	-	-	74.1
Minor	1.7	11.2	6.9	1.7	-	-	21.6
Moderate	-	1.7	-	-	-	-	1.7
Severe	-	0.9	-	-	-	-	0.9
Critical	-	0.9	-	-	0.9	-	1.7
Total	4.3	68.1	17.2	9.5	0.9	-	100.0

Half to three-quarters of the survivors had the combination of no brain injury and AIS-1 (minor) injury below the neck. At the other extreme, riders with MAIS 3-4 injuries and any level of brain injury (BAIS 1-5) made up only 3% of the survivors in Los Angeles and 1% in Thailand.

The lower left quadrant of each table shows the riders who survived with a combination of low somatic injury severity (none-to-moderate) but a high brain injury severity (serious-to-critical). Presumably, these are rather mild crashes that resulted in serious brain injury. In Los Angeles, 25 unhelmeted survivors (7.3%) had serious-to-critical brain injury; 17 of those (4.3% of the total) fell into this quadrant. By comparison, only five helmeted survivors (1.5%) sustained serious-to-critical brain injury,

and three of those (1%) fell into the lower left quadrant. A similar trend was found in the Thailand data. Ten of the 496 unhelmeted survivors (2%) had serious-to-critical brain injury and nine of those were in low-severity crashes. Only 4 of 411 helmeted survivors (1%) had serious-to-critical brain injuries and two of those were in low-severity crashes.

Disastrous outcome

"Disastrous outcome" was coded if a rider was either killed or survived with a brain injury of AIS>2. This avoids counting the same rider twice, once for BAIS>2 and again if he or she was killed in the crash.

In Los Angeles, unhelmeted riders were 2½ times as likely to suffer a disastrous outcome as riders who were wearing a helmet when they crashed. The likelihood of disastrous outcome increased with increasing somatic injury severity, but it increased much more rapidly for unhelmeted rider, as shown in Figure 6. At MAIS 0-2, unhelmeted riders were about 2.5 times as likely to suffer a disastrous outcome as helmeted riders (5.5% vs. 1.8%); at MAIS 3-4 unhelmeted riders were about five times as likely to suffer a disastrous outcome (25% vs. 5%). The differences were statistically significant. The data are illustrated in Figure 6 and detailed in Table 5.

In Thailand, riders whose helmet come off in the crash were significantly more likely to have a disastrous outcome than unhelmeted riders or those whose helmet remained on (15% vs. 8.5% vs 2.6%). Unhelmeted riders suffered a disastrous outcome more than three times as often as helmeted riders ($\chi^2 = 14.77$, $p = .0001$, $df = 1$). Disastrous outcome was rare among the 950 riders in MAIS 0-2 low-severity accidents, although unhelmeted riders were about four times as likely to have a disastrous outcome as helmet-retained riders (3.2% vs. 0.8%) and the difference was significant, as were pairwise comparisons of helmet-retained riders to the other two groups ($\chi^2 > 9.6$, $p < .002$, $df = 1$). At MAIS 3-4, unhelmeted riders were about four times more likely to suffer a disastrous outcome than riders whose helmet stayed on (41% vs 10%; $\chi^2 = 9.61$, $p < .002$, $df=1$). Figure 7 shows the frequency of disastrous outcome in the Thailand data as a function of somatic injury severity and helmet performance. The data are illustrated in Figure 7 and detailed in Table 5.

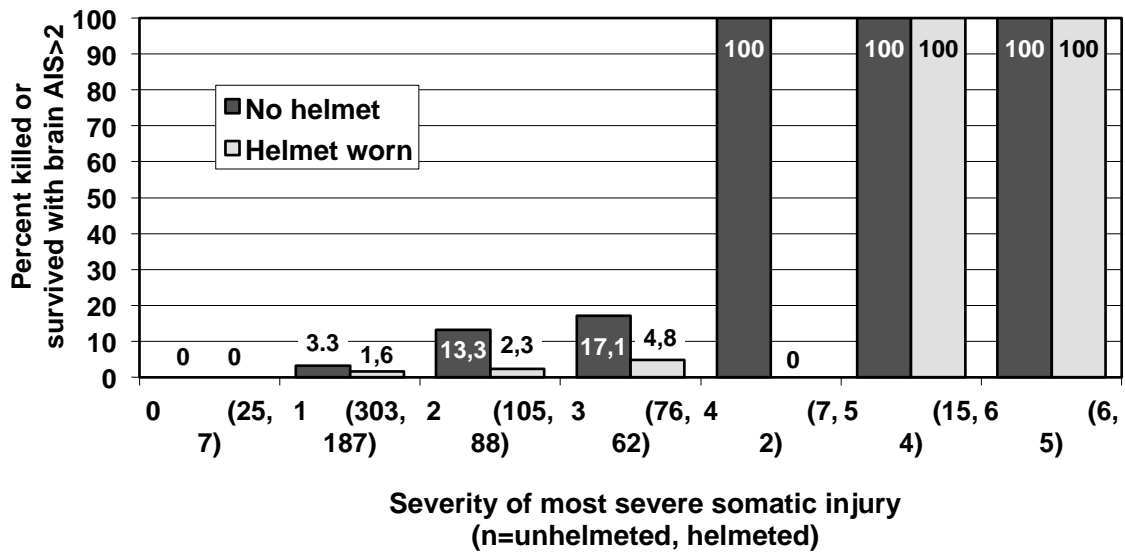


Figure 6. Los Angeles data, percent of riders with "disastrous outcome" (either surviving with AIS>2 brain injury or killed) as a function of helmet use and most severe below-th-neck injury.

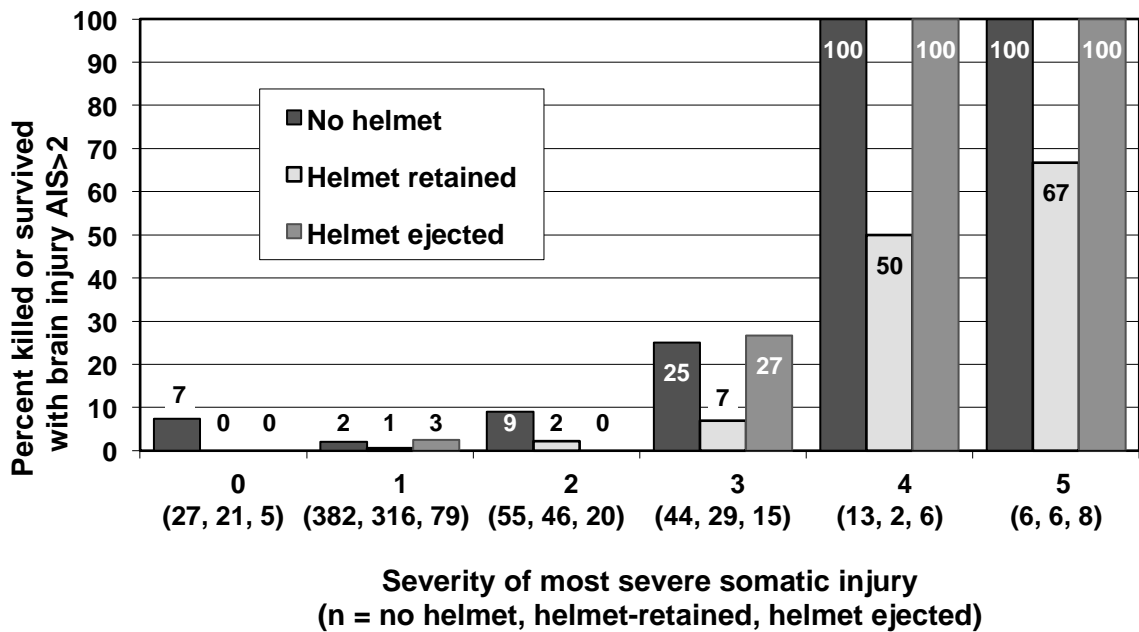


Figure 7. Percent of Thailand riders with "disastrous outcome:" either killed or surviving with AIS>2 brain injury.

Table 5: Rates of "disastrous outcome" (survival with AIS>2 brain injury or death) for Los Angeles and Thailand.

Comparisons of disastrous outcome rates as a function of helmet use									
Comparison	No helmet		Helmet retained		Helmet ejected		χ^2	p	df
	N	%	N	%	N	%			
L.A., MAIS 0-2	433	5.5	282	1.8	-	-	6.24	.013	1
L.A., MAIS 3-4	83	24.1	64	4.7	-	-	10.31	.001	1
L.A., MAIS 5-6	21	100.0	9	100.0	-	-			
Total	537	12.1	355	4.8	-	-	13.70	.002	1
Thailand, MAIS 0-2	463	3.2	383	0.8	104	1.9	*	*	2
Thailand, MAIS 3-4	58	41.4	31	9.7	21	47.6	11.37	.003	2
Thailand, MAIS 5	6	100.0	6	66.7	8	100.0			
Total	527	8.5	420	2.6	133	15.0	27.36	.000	2

* Invalid test; cells with expected frequency < 5

Discussion

A number of major points emerge from the results of these two prospective, on-scene, in-depth motorcycle accident studies:

1. In both studies, about 5-6% of crashes were fatal and about 27% of riders who survived required hospitalization.
2. Overall, unhelmeted riders were about two to four times as likely to die as helmeted riders. In Los Angeles, helmeted and unhelmeted riders were hospitalized at equal rates of about 27%. However, helmeted riders were more likely to be hospitalized for below-the-neck injuries, unhelmeted riders for brain injuries, even in low-severity (MAIS 0-2) crashes. In Thailand, riders whose helmet came off in the crash had the highest fatality rate (13%) and were the most likely to be hospitalized (38%), followed by unhelmeted riders (27% hospitalized, 8% killed) and helmeted riders (22% hospitalized, 3.4% killed).
3. Nearly 100% of riders (48 of 49) with critical or untreatable injuries (MAIS 5-6) below-the-neck died (the only survivor wore a helmet.) These 48 were 2.5% of all 1,973 riders in both studies combined but 43% of the 115 fatally injured riders. Given this near-100% fatality rate, it may be nearly impossible for helmet use to prevent death in cases where the injuries below the neck are AIS-5 or worse. That is, the severity of below-the-neck injuries limits how much universal helmet use can prevent deaths in motorcycle accidents.

4. The severity of below-the-neck injuries appears to have a more decisive effect on survival than brain injury. That is, 19 of 36 riders (53%) with AIS-5 brain injuries survived, even with somatic injury severities up to AIS-4 (severe) but only one of the 49 riders with MAIS 5-6 injuries survived.
5. Among the 97% of riders in potentially survivable crashes (MAIS<5), helmet use appears to prevent about of 75-85% of brain injuries and death.

Table 1 showed unhelmeted riders were as likely to be hospitalized as helmeted riders. Therefore, the sampling methods of previous studies by Offner et al.¹ and Rutledge & Stutts², in which riders were drawn retrospectively from trauma registries, appear to provide a valid representation of helmet use in the larger motorcycle accident population. Both previous studies also reported that helmeted riders tended to have more severe non-head injuries than unhelmeted riders, a finding confirmed here. Tables 4 and 5 give some clue as to why this might be so. In low severity crashes (MAIS < 3), unhelmeted riders were about three to four times as likely as helmeted riders suffer serious-to-critical brain injuries.

Taken together, these findings suggest that it generally takes a more severe crash to kill or hospitalize a helmeted rider than an unhelmeted rider. This shows up in at least two ways in these data. One is that when injury severity below the neck increases, especially at MAIS 3-4, the fatality rate does not escalate as rapidly for helmeted riders as it does for unhelmeted riders. Second, a higher proportion of hospitalized helmeted riders had severe (AIS>2) somatic injuries than unhelmeted riders – 41% vs. 30% in Thailand and 70% vs. 50% in the USC study. Conversely, both Hurt et al (1986) and Sarkar et al (1995) reported that fatally injured riders who wore a helmet were more likely to have high severity somatic injuries than their unhelmeted counterparts.

The finding that helmeted riders survive more severe crashes than unhelmeted riders is important for studies that compare hospitalization costs. A fair and balanced comparison of the economic effects of helmet use should stratify hospitalized riders by some measure of accident severity. Quantifying somatic injury severity in some way (such a MAIS or non-head ISS) is probably the best method.

Offner et al suggested that “. . . helmets are most effective for persons who sustain injury in less severe collisions . . . [that] make up more than 80% of motorcycle accident victims.” The data presented here paint a more nuanced picture. Because most crashes (83% in Los Angeles, 88% in Thailand) are low-severity (MAIS 0-2) events, even a small percentage reduction of head injury rates in such a large group can mean many lives saved and brain injuries prevented. On the other hand, serious-to-severe (AIS 3-4) crashes are a much smaller part of the accident population (17% in Los Angeles, 10% in

Thailand) but the very large benefit of helmet protection in this portion of the population can mean many lives saved and brain injuries prevented.

As an example, in Los Angeles, 1.8% of helmeted riders in the MAIS 0-2 range (5 of 282) had a disastrous outcome. Applying that same 1.8% rate of disastrous outcome to the 433 unhelmeted riders with MAIS 0-2 would result in about 8 disastrous outcomes, compared to the 24 we actually saw – a "savings" of 16 disastrous outcomes. Among the much smaller group of 64 helmeted riders with MAIS 3-4 injuries, three (4.7%) had a disastrous outcome, compared to 20 of 83 unhelmeted riders (24%). If those unhelmeted riders had instead worn a helmet when they crashed and had the same 4.7% rate of disastrous outcomes, they would have sustained four disastrous outcomes instead of 20, a "savings" of 16 disastrous outcomes. Universal helmet use by unhelmeted riders in Los Angeles would thus have produced a "savings" of 16 disastrous outcomes in the 85% of the population in low-severity crashes and 16 disastrous outcomes in the 15% of riders in the MAIS 3-4 range. This calculation suggests that helmets are very effective in preventing brain injury and death across almost the full range of motorcycle crash severities – excepting only the 2-3% of crashes with AIS 5-6 injuries below the neck, which are almost certain to be fatal regardless of helmet use.

Helmet ejection was a serious problem in Thailand. Both the Thailand and Los Angeles studies found that the primary cause of helmet ejection was failure to fasten the helmet securely on the head (90% of Thailand cases, 50% in Los Angeles). However, the Thailand data also suggest that helmet ejection may be related to accident severity because helmet-ejected riders in Thailand tended to have more severe below-the-neck injuries, higher rates of hospitalization, more frequent brain injuries, and more fatalities than unhelmeted riders.

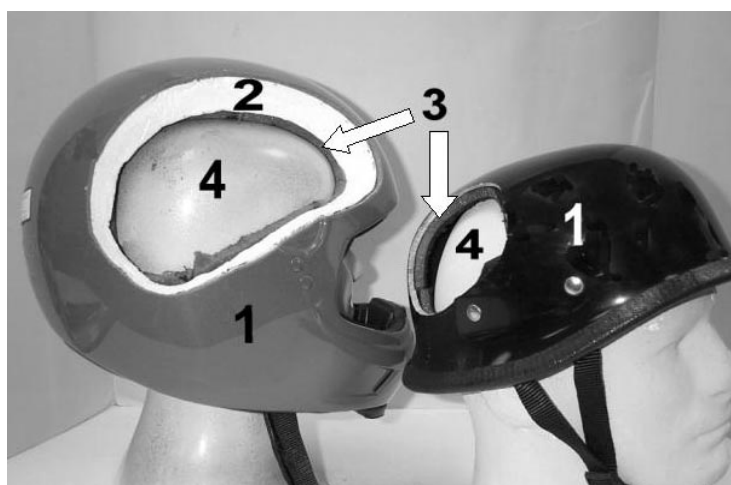


Figure 8: Cut-away view compares construction of a DOT-qualified helmet (left) and unqualified "beanie" headgear lacking the protective capability of energy absorbing liner.

- (1) Hard outer shell
- (2) Energy-absorbing liner
- (3) Soft comfort/sizing pads
- (4) Dummy head form

For researchers who try to document helmet effectiveness, it is important to distinguish between so-called "beanie" helmets (also called "bogus" or "novelty" helmets) and genuinely protective helmets

that are capable of meeting a performance standard such as the US DOT helmet standard FMVSS 218, ECE 22-05 or some other national standard. Wearing a beanie helmet is "like having a fake fire extinguisher" (David Thom, quoted in *Time* magazine, 2002-09-12.) Figure 8 illustrates how the construction of the two helmet types differ. Helmets built to comply with a standard have a thick layer of energy-absorbing foam (usually expanded polystyrene) that protects the brain by crushing during impact and allowing the head and brain to come to a more gradual stop. "Beanie" helmets, like the one on the right in Figure 8, lack any crushable, energy-absorbing layer of foam. As a result, they offer no impact protection.

Peek-Asa et al. (1999) reported that about 10% of helmets observed in use on California roads in the two years after a mandatory helmet law went into effect in 1992 were the unqualified "beanie" types. Turner and Hagelin (2000, 2005) reported that roadside observations in Florida showed that novelty headgear use increased from 15% of riders in 1993 to 40% in 1998 after helmet use became mandatory for all riders, then dropped to 5% when the state's universal mandatory helmet law was gutted in 2000 by requiring helmet use only for riders under the age of 21.

Peek-Asa et al (1999) reported that riders wearing "bogus" helmets (another name for novelty or beanie headgear) suffered higher fatality and brain injury rates than even unhelmeted riders. They acknowledged, however, that the data might have been biased if the police officers who reported helmet use might were more likely to report the use of a bogus helmet in those cases when brain injuries were severe. Plainly, the available laboratory test data and accident data suggest that riders wearing novelty headgear are better classified as "unhelmeted."

Mixing data from ineffective headgear with data from genuinely protective helmets reduces the apparent effectiveness of helmet use. For this reason, researchers need to look deeper than simply asking if "a helmet" was worn yes-or-no, and distinguish between genuinely protective helmets and beanie headgear and to identify helmet ejection cases. Unfortunately, such distinctions often go unmentioned (Bledsoe et al., 2002; Hotz et al. 2002; Grange et al., 2004; Hundley et al., 2004; Muller, 2004; Wiznia et al., 2016).

Is it worth wearing a helmet? Rutledge and Stutts (1991) quote a Dr. T.O. Stair in the *1990 Year Book of Emergency Medicine*, who wrote, "I still wonder whether helmet laws do not increase costs to society by turning immediate fatalities and organ donors into long-term nursing home patients." The data presented in this report should make it clear that there is no adverse effect to helmet use. Unhelmeted riders were not only more likely to die in a crash, they were also more likely to suffer a life-altering (AIS>2) brain injury in the crashes they do survive and they were twice as likely to survive with an AIS-5 brain injury that could result in long-term disability or nursing care.

References

Bledsoe GH, Schexnayder SM, Carey MJ, Dobbins WN, Gibson WD, Hindman, JW, Collins T, Wallace BH, Cone JB, Ferrer TJ. The negative impact of the repeal of the Arkansas motorcycle helmet law. *J Trauma*, 53(6): 1078-1087, 2002.

Committee on Injury Scaling. *The Abbreviated Injury Scale – 1990 Revision*. Association for the Advancement of Automotive Medicine, Barrington, IL, USA, 1990.

Committee on Injury Scaling. *The Abbreviated Injury Scale – 1980 Revision*. American Association for Automotive Medicine (now the Association for the Advancement of Automotive Medicine). Barrington, IL, USA, 1980.

Federal Motor Vehicle Safety Standard 218 - *Motorcycle Helmets*; 49 CFR 571.218, pp 644-659.

Grange JT, Corbett SW, Cotton A. Street bikes versus dirt bikes: a comparison of injuries among motorcyclists presenting to a regional trauma center. *J Trauma*, 57:591-594, 2004.

Hotz GA, Cohn SM, Popkin C, Ekeh P, Duncan R, Johnson EW, Pernas F, Selem J. The impact of a repealed motorcycle helmet law in Miami-Dade county. *J Trauma*; 52(3):469-474, 2002.

Hurt, HH, Jr., Ouellet, JV & Thom, DR. *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures, Final Report*. National Highway Traffic Safety Administration, Contract No. DOT-HS-5-01160, 1981. <http://isddc.dot.gov/OLPFiles/NHTSA/013695.pdf>

Hurt, HH, Jr., Ouellet, JV, Rehman, I. Epidemiology of head and neck injuries in motorcycle fatalities, in A Sances, DJ Thomas, CL Ewing, et al., Eds., *Mechanisms of Head and Spine Trauma*, Deer Park, NY; Aloray Publishers, 1986; 69-94.

Hundley JC, Kilgo PD, Miller PR, Chang MC, Hensberry MS, Meredith JW & Hoth JJ. Non-helmeted motorcyclists: A burden to society? A study using the National Trauma Data Bank. *J Trauma* 57 (5), 944-949; 2004.

Kasantikul, V, *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures in Thailand: Volume I: Bangkok*, Bangkok, KP Printing, 2002.

Kasantikul, V, *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures in Thailand: Volume II: Upcountry*. Bangkok, KP Printing, 2002.

Lawrence BA, Max W & Miller TR, *Costs of Injuries Resulting from Motorcycle Crashes: A Review*. National Highway Traffic Safety Administration; 2002; DOT HS 809 242. 1.

Muller A; Florida's motorcycle helmet law repeal and fatality rates. *Am J Public Health*; 94(4):556-558, 2004.

National Highway Traffic Safety Administration, National Center for Statistics and Analysis, *Traffic Safety Facts 2013*, DOT HS 812 139, 2015.

Offner PJ, Rivara FP, Maier RV. The impact of motorcycle helmet use. *J Trauma*. 1992; 22:636-641.

Organization for Economic Cooperation and Development, Directorate for Science Technology and Industry, Road Transport Research Programme, Co-ordinating Group for Motorcycle Accident Investigations, Technical Expert Group, OECD/DSTI/RTR/RS9/TEG, *Motorcycles: Common International Methodology for On-Scene, In-Depth Accident Investigation*, 1999.

Ouellet JV, "Motorcycles." in Barzelay, MD, Ed., *Scientific Automobile Accident Reconstruction*, NY, Mathew Bender Publishing Co. 1979.

Ouellet JV, Hurt HH Jr., Rehman I. A system for coding detailed head and neck injury data. *Proc 28th Annual Meeting*. American Association for Automotive Medicine, Barrington, IL. 1984; 189-207.

Peek-Asa C, McArthur DL, Kraus JF. The prevalence of non-standard helmet use and head injuries among motorcycle riders. *Accid Anal Prev*. 1999; 31:229-233.

Ross SE, O'Malley KF, Stein S, Spettell CM, Young G. Abbreviated injury scaling of head injury as a prognostic tool for functional outcome. *Accid Anal Prev*. 1992; 24:181-185.

Rutledge R, Stutts J. The association of helmet use with the outcome of motorcycle crash injury when controlling for crash/injury severity. *Accid Anal Prev*. 1993;25:347-353.

Sarkar S, Peek C, Kraus JF. Fatal injuries in motorcycle riders according to helmet use. *J Trauma*. 1995; 38:242-245.

Smith TA, Kasantikul V, Ouellet JV, Thom DR, Browne S, Hurt HH Jr. Methodology for the Development of an On-Scene Motorcycle Accident Investigation Research Program in Thailand Using the Hurt Study as a Model. *Proceedings of the International Motorcycle Safety Conference*, Irvine, CA, Motorcycle Safety Foundation (MSF). 2001. Available only on compact disc from MSF.

Turner PA & Hagelin CA. Novelty helmet use by motorcycle riders in Florida. Transportation Research Board. *TRB paper 00-1497*, 2000.

Turner PA & Hagelin CA; Motorcycle helmet use trends before and after Florida's 2000 helmet law change. Transportation Research Board. *TRB paper 05-1432*; 2005.

Wiznia DH, Kim CY, Feng Dai, Goel A, Leslie MP; The effect of helmets on motorcycle outcomes in a level I trauma center in Connecticut; *Traffic Injury Prevention*, 2016.

Factors that Increase and Decrease Motorcyclist Crash Risk

Einflussfaktoren des Motorradunfallrisikos

Vicki Williams, Shane McLaughlin, and Jon Atwood

Virginia Tech Transportation Institute,
Motorcycle Research Group/Center for Automated Vehicle Systems, USA

Tim Buche

Motorcycle Safety Foundation, USA

Abstract

Many approaches have been used to understand issues facing riders, and particularly the factors that lead to crashes. One approach has been to visit the site of motorcycle crashes and collect evidence to understand causes. Simulators have been used to explore various capabilities of riders. Similarly, measurements have been made in controlled experiments. This paper will report on a naturalistic study which was deployed by the Motorcycle Safety Foundation (MSF) to investigate safe riding and crashes in natural riding. Over 366,000 mi (589,019 km) of riding were collected by 100 participants on their personal motorcycles. Large differences were observed between riders in areas such as riding frequency, where people ride, and how they ride. The paper identifies factors that increased and decreased risk for riders based on observed crashes and near-crashes.

Factors that Increase and Decrease Motorcyclist Crash Risk

Introduction

In their latest analysis of motorcycle crash statistics, the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) reports that, although there were fewer motorcyclists killed in 2014 compared to 2013, there was a 5% increase in the number of injuries during that period (NHTSA, 2016). Factors such as protective equipment may contribute to the reduction in deaths, but more detailed research is necessary to investigate factors that might be related to an upward trend in motorcyclist injury. The injury rate (per 100 million vehicle miles traveled) increased from 434 (in 2013) to 459 (in 2014). Various agencies continue to emphasize the need for investigation into crash causation and related elements, including roadway, vehicle, drivers, riders, and rider-related factors (NHTSA 2006a, NHTSA 2006b).

A multitude of studies have attempted to describe events leading up to a crash, as well as rider inputs during the crash, using post-crash investigation methods. Although these studies are informative, observance of crash events via video and kinematic data collected during the actual riding event via naturalistic vehicle studies can reveal conditions that will otherwise remain unknown or misinterpreted. In one of the most widely known motorcycle studies, the authors report that riders tended to exhibit no evasive action to avoid the accident, and in fact rider statements about their evasive actions were usually not reflective of actual actions as indicated by physical evidence and witness accounts of the accident scene (Hurt, Ouellet, and Thom, 1981). This finding is just one indication that reliance on rider reporting, eyewitness accounting, and/or accident reconstruction is likely to lead to conflicting information about a crash. Another advantage of naturalistic vehicle studies is the addition of near-crash data which, as discussed in Guo, Klauer, Hankey, and Dingus (2010), provides a reliable surrogate measure of crash data. This near-crash database not only supplements the crash database (providing a larger sample for testing), but also offers real details about rider evasion of crashes and events leading up to dangerous situations.

The Motorcycle Safety Foundation (MSF) sponsored the first large-scale naturalistic motorcycle study (MSF 100 Motorcyclists Naturalistic Study), which was conducted by the Virginia Tech Transportation Institute (VTTI). Video and kinematic data were collected from 100 riders during their ordinary routine over a period of 2 months to 2 years per rider. This paper describes the crash and near-crash events discovered in the resulting database, and provides risk estimates (whether the risk of being involved in a crash or near-crash given exposure to a factor of interest is increased or decreased) based on collected variables that describe the riding environment and specific situational elements. The scope of this analysis will be risk to the overall sample population, not considering rider-specific demographics such as age, gender, motorcycle type, etc. These more specific considerations may affect risk estimates, and warrant future evaluation.

Methods

Recruiting and Motorcycle Instrumentation

One hundred motorcycle riders, recruited from Arizona, California, Florida, and Virginia, participated in the study. Recruitment locations represent varied riding conditions, and rider recruitment also focuses on ensuring a variety of motorcycle types. Seven motorcycle models (each categorized as touring, cruising, or sport) were chosen from a variety of manufacturers, and participant motorcycles were required to be within this set in order to allow unobtrusive and effective instrumentation. The data acquisition system (DAS) was installed to collect video and kinematic data, including five video views (allowing a panorama of the rider and surrounding conditions), GPS data, internal readings such as acceleration and gyro, and strain gauge feedback from brake levers. Technicians installed instrumentation such that no permanent damage or change to the motorcycle would result upon de-installation.

Emphasis was also placed on recruiting from a broad range of rider demographics. Before participating in the study, riders completed several questionnaires to capture data such as demographic descriptors, riding history, training experience, and risk adversity. Riders also completed a basic balance and coordination exercise, a Snellen visual acuity test, and grip strength assessment. All elements of study participation were reviewed and accepted by the Virginia Tech Institutional Review Board (IRB) to ensure protection of participants.

Upon instrumentation and survey completion, riders were released with instructions to ride in their normal manner. Remote diagnostic capability allowed continuous health checks of the installed system, as well as monitoring of hard drive capacity. When a rider's hard drive was sufficiently full, a technician retrieved the drive and replaced it with a new drive. All retrieved data (encrypted during collection on the motorcycle to prevent participant identification) were uploaded at VTTI.

Overall Rider Demographics

The final participant group consisted of 78 male and 22 female participants, ranging in age from 21 years to 79 years. Participant motorcycle types included cruising (41), touring (38), and sport (21). Table 1 includes the final study design for the 100 riders.

Table 1. MSF 100 Study Design

		Motorcycle Type		
Age Group	Gender	CRUISER	SPORT	TOURING
21-30	F	3	3	0
	M	10	4	1
31-40	F	2	2	0
	M	3	6	1
41-50	F	7	1	0
	M	3	4	8
51-60	F	2	1	1
	M	7	0	13
61-70	M	3	0	12
71-80	M	1	0	2
		41	21	38

The number of participants living in each location was as follows: California (47), Virginia (30), Florida (17), and Arizona (6). Out of 100 riders surveyed, 65% of all of the participants reported taking and passing at least one rider course (16% took two or more courses, while only 8% took three or more courses). Within the survey, the participants also reported how many months in their lifetime they had ridden motorcycles, which ranged from 1 to 684 months with an average of 203 months, or 17 years (SD=198 months). For the twelve months prior to study participation, the average estimated mileage indicated by the participants was 7,794 miles with a range from 40 to 40,000 miles (SD=7,607 miles).

Participants were recruited with the intention of being involved for one year or longer. Final participant involvement ranged from two months to two years, but the average enrollment was one year (SD=4.3 months). Reasons for abbreviated participation included relocation and selling the motorcycle of interest. Approximately 30,844 trips were recorded (a trip beginning when the motorcycle was started and ending when it was turned off). These trips represent around 9,354 hours of riding. If equipment installation days are summed across all participants, the total is 100.6 years of instrumented motorcycle time, with total mileage recorded of approximately 366,667 miles.

Data Dictionary Development

A concise, tested dictionary of descriptive terms is necessary to provide a thorough, consistent description of recorded crashes and near-crashes (CNCs). These terms must be equally applicable to the description of baseline events, which contain no observed CNCs and are used as comparison points to calculate the relative CNC risk under various conditions. The video reduction dictionary developed for automobile, truck, and motorcycle incident analyses at VTTI (including the 100-Car and SHRP2 naturalistic studies) is currently composed of 95 variables to describe CNCs and baselines, and was based on input from the General Estimates System Coding and Editing Manual (NHTSA, 2003). A preliminary analysis of the MSF 100 Motorcyclists Naturalistic Study utilized a subset of these variables to get an initial sense of the events (Williams, McLaughlin, Williams, and Buche, 2015).

The follow-up study described here includes utilization of the remainder of the 95 variables to fully describe CNCs for motorcycles. Following the initial video reduction of the MSF CNCs, the entire dictionary was reassessed collectively by VTTI researchers in the light vehicle, truck and bus, and motorcycle groups. The goal was to consolidate CNC reduction variables as much as possible for use in all of these types of research, and to provide a video reduction dictionary that contained all variables and descriptors necessary for a complete analysis of any CNC for any type of vehicle. However, due to the unique nature of motorcycle-related events and factors affecting these types of occurrences which are not so pertinent to other type of transportation research (such as the inherent instability of the vehicle), special consideration of variables and extended, detailed conversation was necessary. This extended review of motorcycle-related research, including consideration of collected naturalistic data, resulted in the addition of motorcycle-specific variables throughout the dictionary. Further discussion and iteration of dictionary variables occurred during data mining and video review (discussed in subsequent sections), with the goal of accurately incorporating all foreseeable motorcycle-related conditions into data reduction options.

Data Mining Methodology

Crash and Near-Crash Events

Some CNCs were discovered through rider self-reports, but most were discovered through the application of data mining algorithms. These algorithms involved data mining, in which kinematic data such as lateral and longitudinal acceleration were passed through filters in order to discover points at which previously-defined conditions exist. These conditions were developed to indicate extreme situations where a potential near-crash or crash (as defined in the video reduction data dictionary) exists. The process of finding and verifying candidate events (whether they are actually events of interest, based on video review) was iterative. Improvements to the algorithms were made based on the success rate of finding actual CNCs. Various algorithms were used, including ones based on a low-speed

drop (capsize), hard deceleration (normalized on a per-rider basis), and high speed into curve entry. The total number of candidate events in the dataset reviewed to find CNCs was over 10,000. All of these potential CNC scenarios were reviewed via video and data reduction by the VTTI Data Reduction Group. This group has over 15 years of experience with video reduction on large-scale naturalistic driving data, including rigorous quality control protocols, and video analysts selected for this study also had riding experience. Once candidate events were verified as potential CNC events, they were then passed along for full video reduction, using the 95 dictionary variables to provide a comprehensive description of the event, the rider, and the environmental factors.

Baselines

In order to perform Odds Ratio analyses (probability of event occurrence compared to event non-occurrence, specifically applied to Crash/Near-Crash events), researchers must collect and analyze epochs of riding containing no events (baseline epochs). The method of collecting baseline epochs for the MSF study were similar to methods used during other naturalistic studies at VTTI, with specific considerations for the unique situations inherent in motorcycle riding. Decisions affecting baseline selection include the total number of baselines per rider, length (time period) of the baseline, and conditions which are not allowed in baseline epochs (not representative of “normal” riding, when events of interest would occur).

Baseline selection criteria were based on a case-control design in which the selected baseline cases are equivalent to the controls in case-control design. Thus, the distribution of exposure was the same between cases (crashes and near-crashes) and controls (no event), stemming from the same source populations. The number of baselines per rider was calculated as a percentage of total mileage during the entire study. Specifically, mileage amassed during trips in which the maximum speed was greater than 5 mph was calculated for each rider, and each rider’s percentage of the total mileage summed across all participants was used as his/her percentage of the total number of baselines. Based on time constraints and reduction requirements along with previous study results, an average of 70 baselines per rider (7,000 total baselines) was chosen as the minimum goal. A minimum of 5 baselines per rider was also required, so if the mileage-based percentage of 7,000 baselines was less than 5, the number was elevated to 5 in the final selection process. The length of the baseline epoch to be analyzed for the current study was chosen to be 6 seconds, based on the event reduction protocol used by VTTI data reduction. Analysts perform complete video review of a 6-second epoch during analysis of events (crashes and near-crashes), so corresponding 6-second baseline (non-event) epochs will also be analyzed for comparison to event analyses. Because baselines were required to represent exposure similar to event cases, situations in which events were not analyzed were removed from potential baseline data. Occurrences that were not allowed to be part of baseline epochs include the following:

- Low/no-speed data occurring before the motorcycle first reaches 1 mph during a trip (low speed data during the remainder of a trip were retained since crashes and near-crashes were known to occur during such conditions)
- Periods during which the motorcycle is on the kickstand
- Periods during which face or forward video is unavailable (video analysis is not possible)
- Instances in which the participant is not the rider
- Instances in which the rider is not on the motorcycle
- Instances of riding on a closed track (not typical of street riding)

After the previous requirements were defined, the baseline epochs were randomly chosen from qualifying files. There were 7,028 baselines randomly selected based on the requirements. The number of baselines per rider ranged from 5 to 373. Figure 1 illustrates the distribution of the final number of baselines per rider.

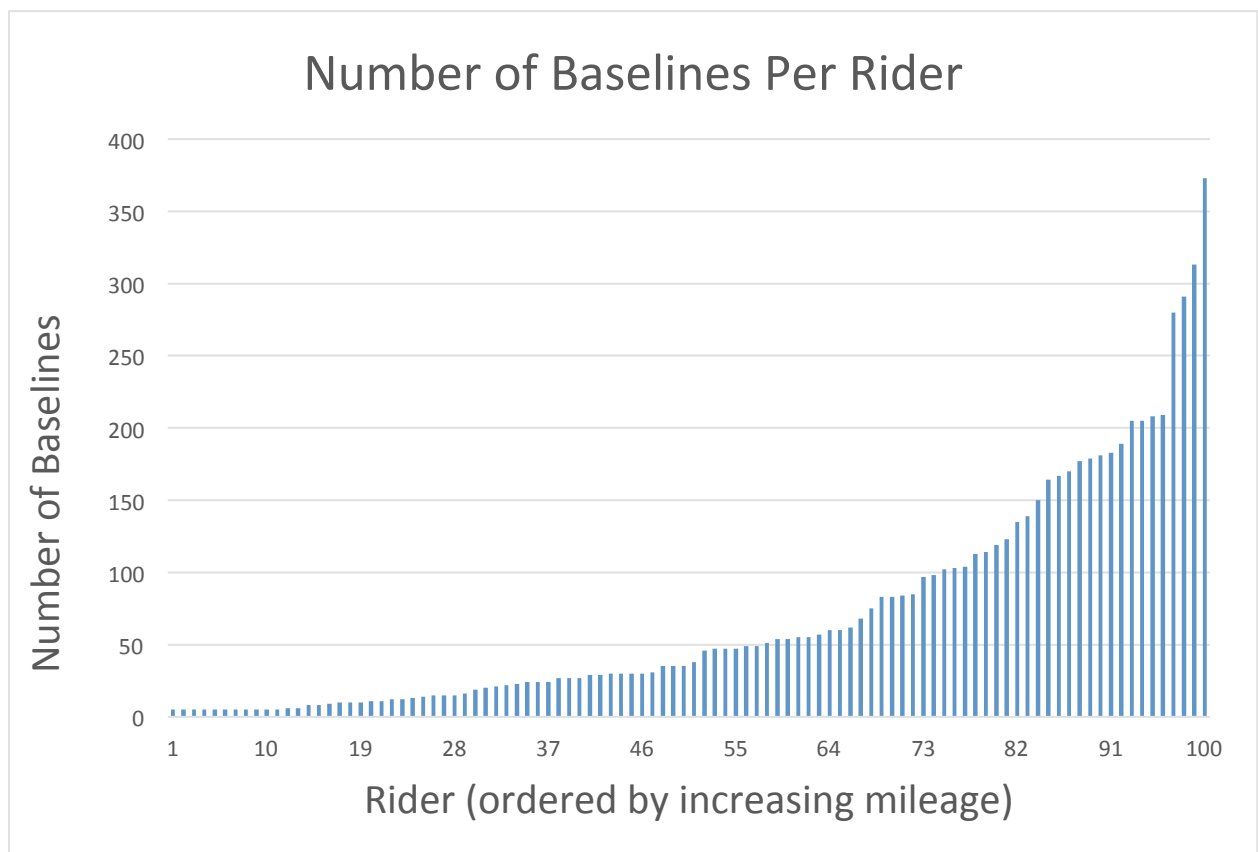


Figure 1. Number of baselines per rider

The baseline epochs were sent to the Data Reduction Group in randomized order for analysis. Randomly-selected baseline replacement epochs (partitioned by participant) were also sent to the reduc-

tion group in case a violation of any of the baseline requirements (such as “not the participant riding”) were recognized during video analysis. Replacement baseline epochs were selected in the same manner as the original baselines. Analysts reviewed each valid baseline epoch using a subset of the same variables used during CNC event video reduction (some dictionary variables are directly related to a crash or near-crash, and thus are not applicable to baselines). These baseline variables included the following:

- Riding Maneuver (going straight, negotiating a curve, turning)
- Riding Behavior(s) (e.g., exceeding speed limit, stop sign violation, illegal passing, failed to signal)
- Group Riding
- Passengers
- Environmental (Lighting, Weather)
- Roadway (Condition, Type, Lane Position, Traffic Density, Traffic Control, Junction, Alignment, Grade, Locality)

Video Reduction Methodology

The video reduction method utilized a VTTI video viewing tool which allows the analyst to view the five trip videos simultaneously (rider’s face, forward roadway, rider’s left side, rider’s right side, and rear roadway) and synchronized time series motorcycle sensor data. As the analyst views the event, they enter applicable categories of all 95 dictionary variables into a computerized database for each crash or near-crash event. Analysts may pause, repeat, or go to any point in the epoch at any time, allowing review of all data associated with the event, and may also modify variable entries if necessary. In addition, an extensive quality control protocol ensures that variables are checked by supervisors for high data reliability. Lastly, the VTTI Motorcycle Research Group reviewed every CNC event along with the corresponding 95-variable reduction, and held discussions and event evaluations with the Data Reduction Group to provide the final level of quality assurance. A related method of quality control was conducted prior to the final review, to ensure that reduced event videos (and baseline videos) were indeed those of the consented rider. Although participants were instructed to notify the research team if someone else rode their motorcycle, as an extra check a statistically-based sampling protocol was used to view videos to verify the consented rider.

Risk Factor Analysis Methodology

To determine what factors are related to increases in crash/near-crash risk for motorcyclists, statistical testing that incorporates exposure and outcomes is employed. The general question to be answered is: are the odds of being involved in a crash or near-crash given exposure to a factor (such as a particular roadway or environmental condition) higher or lower than the odds when not exposed to this factor? Knowledge of the number of CNC cases under that condition (and not) and the number of baseline cases under that condition (and not) will answer this question.

As detailed earlier, epochs of CNC cases as well as epochs of baseline cases (stratified by participant mileage) were extracted from the study population and analyzed via video review. This review resulted in a description of each type of event (CNC and baseline) using the same identically-defined variables, and the same epoch length. From there, since this results in what is statistically termed a case-cohort study design, a probability-based statistical tool (odds ratios) may be utilized to calculate the risk increase or decrease in CNC risk for the factors investigated during video review. As detailed by Guo and Hankey (2009), an odds ratio method (when used with properly sampled baseline epochs) is an appropriate approximation to use in the risk analysis of naturalistic crash and near-crash data.

A mixed logistic regression model was used to produce odds ratio estimates to determine which relevant variables increase the risk of crash and near-crashes in motorcycles. Because the independent variables in this model are categorical with multiple levels, the model works by choosing one level as the reference category, and creating individual variables for each of the other levels. For example, with the Surface Condition variable, the reference level was chosen as “Dry.” The model then creates a variable for each of the remaining categories that were observed in video epochs, which are “Wet” and “Icy.” The logistic regression model then tests whether the odds of a crash/near-crash are significantly different when riding on a wet or icy road surface compared to riding on a dry roadway.

In the Surface Condition case, if the odds ratio estimate is equal to 1, then the risk of a CNC under the tested variable level (wet surface, for example) is the same as that at the reference variable level (dry surface). If the odds ratio estimate is greater than 1, the risk of CNC under the tested level (wet) is that many times more than the risk at the reference level. For example, if the odds ratio estimate is 3, then the CNC risk when riding on wet roads is three times that of riding on dry roads. When the odds ratio is less than 1, the CNC risk is less for the tested level than that for the reference (there is actually a protective effect of the tested variable). So if the odds ratios estimate is 0.5, the CNC risk while riding on wet roads is half that of riding on dry roads. The model also provides a confidence interval (lower and upper limits) for the odds ratio estimate, which is the interval within which the odds ratio estimate will fall with 95% confidence. If this interval includes numbers that are *all* greater than one (or all less than one), there is statistical significance in the odds ratio estimate. If the interval encompasses some

values greater than one and some less than one (e.g., 0.8 to 1.2), then a conclusion cannot be made with 95% confidence that the risk is greater or less than the reference.

For each variable of interest, risk calculations included either all categories of that variable, or some type of aggregation of categories, based on both frequency count and similarity between categories. The following list indicates final categories observed within all analyzed variables, including aggregate categories. The Reference is the category against which all other categories were tested (normally the “null” or minimal category for that variable).

- LOCALITY (best description of surroundings that may influence traffic flow)
 - Open (open country, open residential) (*Reference*)
 - Moderate residential/business/industrial
 - Urban
 - Highway (interstate/bypass/divided highway controlled access, bypass/divided highway, access not controlled)
 - Miscellaneous/Other (airport, church, playground, school, other)

- INTERSECTION INFLUENCE (whether an intersection is influencing the subject’s movement, path, and/or speed)
 - No (*Reference*)
 - Yes, traffic signal
 - Yes, stop sign
 - Yes, uncontrolled
 - Yes, parking lot, driveway entrance/exit
 - Yes, interchange
 - Yes, other

- RIDER BEHAVIOR (participant’s behavior that might contribute to an event)
 - None (*Reference*)
 - Aggressive riding (e.g., passing on the right, intentional signal or signage violation (such as rolling stop), speeding, following too closely)
 - Avoidance (e.g., avoiding another vehicle, animal, pedestrian, cyclist, object)

- Lack of knowledge or skill/Inattention (e.g., improper turn execution, sudden or improper braking, did not see other vehicle during lane change or merge)
- Combination of behaviors
- PRE-INCIDENT MANEUVER (rider's action just prior to the event or baseline epoch start time)
 - Going straight, constant speed (*Reference*)
 - Going straight, other (accelerating, decelerating, starting or stopping in lane, passing or overtaking another vehicle)
 - Leaving or entering parking position or parked
 - Turning or negotiating a curve (turning left, turning right, U-turn, or curve)
 - Changing lanes or merging
 - Maneuvering to avoid an object (pedestrian, pedalcyclist, vehicle, animal, object)
 - Other (backing up other than for parking, other)
- TRAFFIC DENSITY (density of surrounding vehicles that affect participant's maneuverability)
 - Stable (level-of-service A1, A2, B, C) (*Reference*)
 - Unstable (level-of-service D, E, F)
- LANE SHARING (whether the participant is sharing the lane with another motorcycle (side by side))
 - No (*Reference*)
 - Yes, to left
 - Yes, to right
 - Yes, to right and left
- GROUP RIDING (whether the participant is intentionally riding with other motorcyclists)
 - Solo Bike (*Reference*)
 - Non-solo (pair or larger group)
- VEHICLE LANE ASSIGNMENT (whether the participant is lane splitting)
 - Not lane splitting (collapse all not indicating lane splitting) (*Reference*)

- Lane splitting
- WEATHER (weather conditions at the beginning of the event or baseline epoch)
 - Clear/Partly Cloudy (*Reference*)
 - Overcast
 - Fog
 - Mist/light rain
 - Rain and fog
 - Raining
- SURFACE TYPE (the type of road surface)
 - Paved smooth (*Reference*)
 - Paved rough
 - Gravel/dirt road
 - Gravel/dirt road over pavement
 - Grass
- SURFACE CONDITION (the condition of the road surface as it affects motorcycle traction)
 - Dry (*Reference*)
 - Wet
 - Icy
- ROADWAY ALIGNMENT (description of the road curvature in the participant's direction of travel)
 - Straight (*Reference*)
 - Curve left
 - Curve right
- ROADWAY GRADE (description of the roadway profile in the participant's direction of travel)
 - Level (*Reference*)
 - Grade up

- Grade down
- Hillcrest
- Dip
- RIDER IMPAIRMENT (possible participant impairment(s) that may affect behavior, judgment, or ability)
 - None apparent (*Reference*)
 - Headphones/earbuds
 - Other/Unknown (can't tell)
- REAR SEAT PASSENGERS (whether anyone is riding on the motorcycle behind the participant)
 - 0 (*Reference*)
 - 1
- LIGHTING (lighting conditions at the beginning of the event or baseline epoch)
 - Daylight (*Reference*)
 - Dawn/dusk
 - Darkness (Lighted and not lighted)
- VEHICLE LANE POSITION (position of the participant's motorcycle in the lane)
 - Center (*Reference*)
 - Left
 - Right
 - No lane (subject motorcycle is not in an area intended for traffic)

All variables which were recorded for CNC and baseline events that had a significant relationship to the risk of the motorcyclist being involved in a crash or near-crash (based on the logistics regression model) were tested further using the described odds ratio estimation technique. This analysis provided conclusions about significant risk increase or decrease associated with specific parameters.

Results

The following results provide a description and categorization of the crashes and near-crashes found in the MSF 100 Motorcyclists Naturalistic Study dataset. There were 30 crashes and 122 near-crashes (152 total CNC events). One crash (not included in the 30) was observed in the data but removed from all analyses because it was not representative of typical street riding (it was a crash on a race course). Of the 100 participants, the number of CNC events per rider ranged from 0 to 13 (55 of the riders experienced at least one event).

Event Description

The primary Incident Type for the 30 crashes is summarized in Table 2. The most common case was a ground impact at low speed, which is defined more fully in the data dictionary as "...two-wheeled vehicle falls coincident with low or no speed (even if in gear), due to issue not defined in other Incident Type categories. The rider allows the bike to lean while it is being stopped, just beginning to move from a stop, or making a turn at low speed. Vehicle upright stability is lost due to lack of input by the rider to counteract the effect of gravity." (Williams, McLaughlin, Williams, and Buche, 2015).

The low-speed ("capsize") crashes are a unique dataset that is not found in traditional crash studies. Though they occur at low (or negligible) speed, they are events that are important to riders. They also have the potential to reveal a breakdown in rider task execution, baseline proficiency, or a temporary reduction in readiness to ride (e.g., fatigue and attention) that could result in problems during a continued ride. These low-speed "crashes" appear to be relatively typical among everyday riding, and are included in the risk analysis. They are events that riders want to avoid, and their analysis provides a basis for continued exploration and categorization of all motorcycle incidents.

Table 2. Incident Types for 30 Crashes

Incident Type	Number of Cases	Percentage of Crashes
Ground impact - low speed	17	56.67%
Road departure (left or right)	3	10.00%
Other vehicle turn across path	3	10.00%
Rear-end, striking	2	6.67%
Ground impact - while underway	1	3.33%
Poor curve negotiation	1	3.33%
Rear-end, struck	1	3.33%
Other vehicle straight crossing path	1	3.33%
Subject vehicle turn into path (same direction)	1	3.33%

Near-crashes were also included in the risk analyses as a type of occurrence to avoid, an event requiring extra vigilance or riding practice, and one that is a surrogate for the less frequently-occurring crash event. Table 3 includes descriptors for crash *and* near-crash cases involving only the subject (no other vehicles or objects were involved). In these 53 single vehicle conflicts, over half (55%) of all cases involve the subject motorcycle negotiating a curve leading into the incident. These 53 cases represent 29 different riders.

Table 3. Event Descriptors for Single Vehicle Crashes and Single Vehicle Near-Crashes

Precipitating Event	Pre-incident Maneuver	Number of Events	Percentage of Single Vehicle Conflicts
Subject over left lane line	Negotiating a curve	18	34%
Subject over left edge of road	Turning right	1	2%
Subject over right edge of road	Going straight, but with unintentional "drifting" within lane or across lanes	1	2%
	Negotiating a curve	4	8%
Subject over right lane line	Negotiating a curve	2	4%
This vehicle lost control – excessive speed	Going straight, constant speed	1	2%
	Going straight, decelerating	3	6%
	Negotiating a curve	3	6%
This vehicle lost control – insufficient speed	Backing up (other than for parking purposes)	1	2%
	Entering a parking position, moving forward	1	2%
	Going straight, constant speed	1	2%
	Going straight, decelerating	2	4%
	Leaving a parking position, moving forward	2	4%
	Making U-turn	1	2%
	Negotiating a curve	1	2%
	Starting in traffic lane	1	2%
	Stopped in traffic lane	1	2%
	Turning left	1	2%
	Turning right	2	4%
This vehicle lost control – other cause	Backing up (other than for parking purposes)	1	2%
	Negotiating a curve	1	2%
This vehicle lost control – poor road conditions	Going straight, constant speed	1	2%
	Going straight, decelerating	1	2%
	Turning right	2	4%

Table 4 includes descriptions of the 99 crashes and near-crashes that involve at least one other vehicle or object. The Incident Types listed are for the primary event only (in some cases, there will be an initial event such as a rear-end collision avoidance near-crash, followed by a second event such as a ground impact crash).

Table 4. Incident Types for Multi-Vehicle Crashes and Multi-Vehicle Near-Crashes

Primary Incident Type	Number of Events	Percentage of Multi-Vehicle Conflicts
Rear-end, striking	35	35%
Sideswipe, same direction (left or right)	21	21%
Other vehicle turn across path	8	8%
Opposite direction (head-on or sideswipe)	7	7%
Animal-related	6	6%
Other vehicle turn into path (opposite direction)	6	6%
Other vehicle turn into path (same direction)	5	5%
Pedestrian-related	3	3%
Backing into traffic	2	2%
Rear-end, struck	2	2%
Subject vehicle turn into path (same direction)	1	1%
Other	1	1%
Pedal cyclist-related	1	1%
Other vehicle straight, crossing subject path	1	1%

Factors that Increase Risk

Table 5 includes the factors that resulted in a significant increase in risk of experiencing a crash or near-crash compared to the provided reference level, along with the odds ratio and 95% confidence interval (there is a 95% chance that the odds ratio is between the indicated lower and upper limit). Some of the confidence intervals are quite large (which happens if the number of events for that factor is small), but the entire range includes values greater than 1, thus an increased risk related to that factor is probable. Factors that are listed in the Risk Factor Analysis Methodology section but not included in Table 5 were not found to significantly increase the risk of crashes and near-crashes.

Table 5. Odds Ratios Estimates for Factors with Increased CNC Risk

Variable	Level	Reference	Odds Ratio	Lower 95% Confidence Limit	Upper 95% Confidence Limit
Intersection Influence	Yes, Uncontrolled	No	40.693	17.312	95.654
Intersection Influence	Yes, Parking lot, driveway entrance/exit	No	8.481	3.539	20.322
Intersection Influence	Yes, Traffic signal	No	2.903	1.421	5.933
Rider Behavior	Aggressive riding (only)	None	17.932	9.63	33.39
Rider Behavior	Lack of knowledge or skill/Inattention (only)	None	9.333	4.33	20.115
Rider Behavior	Combination of behaviors	None	30.427	14.888	62.184
Pre-incident Maneuver	Maneuvering to avoid object	Going straight, constant speed	11.824	1.134	123.302
Surface Type	Gravel/Dirt road	Paved, smooth	9.378	1.818	48.377
Roadway Grade	Grade down	Level	4.326	2.403	7.787
Roadway Grade	Grade up	Level	1.889	1.048	3.405
Traffic Density	Unstable	Stable	3.564	1.48	8.581
Roadway Alignment	Curve right	Straight	2.063	1.026	4.148

The largest risk of a CNC is for the motorcyclist whose motion, path, or speed is affected by an intersection that is uncontrolled in the participant’s direction of travel (no signal or other signage in the participant’s direction), with 40 times the risk of no intersection effect. The observed CNC cases for this situation, consisting of 7 crashes and 11 near-crashes, include a variety of situations and intersection types. Although the majority are “typical” intersection-related cases such as various types of conflicts with other vehicles intending to turn at the intersection, there are also some unique situations such as riders who are attempting to make a U-turn or maneuver down an unpaved, non-maintained roadway toward an intersection. Thus, this study captures commonly researched events like another vehicle making a left turn across a motorcycle’s path, but also other less frequently investigated situations that are not available through traditional accident/fatality reports. The overriding result in this analysis is that there are a variety of crash and near-crash situations that might occur at rider uncontrolled intersections, and due to the large risk of such occurrences, riders should be especially vigilant

in this situation. Likewise, other types of intersections such as parking lot and driveway entrances/exits and intersections with traffic signals present increased risk of CNC involvement.

Certain rider behaviors also indicate increased CNC risk. Coding was available to record multiple behaviors which fall into the categories aggressive riding, avoidance, and lack of knowledge or skill/inattention, as described in the Risk Factor Analysis Methodology section. If behaviors across more than one category were observed, the rider was categorized as exhibiting a “combination of behaviors.” The baseline reference is none of the listed behaviors. Note that the behaviors described here are based largely on actions only, but with assumptions sometimes necessary about why the action was executed. For example, signal violation may be intentional (aggressive riding--the rider saw the red light but rode through it) or unintentional (inattention--the rider did not see the red light). Behavior categories are available to allow this distinction when necessary, and in the few cases in which behavior is coded based on some intention, video analysts are well-trained and use all information available to make that distinction. In most cases, however, the behavioral action is the only recorded factor (the “why” is left open). For instance “following too closely” may be due to either inattention or frustration, but only the action is recorded.

When aggressive riding (such as speeding or passing on the right) occurs as the only behavior, the risk of CNC is 18 times that of not exhibiting any of the behaviors. When lack of knowledge or skill/inattention is the only observed type of behavior, the risk of CNC is 9 times that of the “no behavior” case. When observed behaviors include a combination of the categories (for example, the rider is behaving aggressively and exhibits a lack of knowledge or skill), their risk of CNC involvement is 30 times that of no behaviors. Other factors leading to a two or more times increase in CNC risk include maneuvering to avoid an object (vehicle, pedestrian, inanimate object, etc.), riding on a gravel or dirt road, riding on road that is not level, riding in traffic that is heavy with unstable flow, and riding through a right curve.

Factors that Decrease Risk

Table 6 includes the factors that resulted in significant decrease of risk of CNC from the reference level, and the associated 95% confidence intervals. All of the Locality types compared to Open Country/Open Residential produced a potentially protective effect (riding in these areas seem to protect against CNC occurrence, compared to riding in areas where no or few buildings or other structures are visible). Identifying the mechanism behind this decreased risk for riding in areas other than Open Country/Open Residential will require further investigation. Examples of explanations would be increased vigilance, a less lax style of riding, or not pushing ones abilities as much as when riding in less busy surroundings such as the open areas. Riding with a passenger also presents a slightly significant decrease in CNC risk. In this top-level general population analysis, no other factors from the var-

table list in the Risk Factor Analysis Methodology section indicated a significant protective effect in terms of CNC involvement. The next level of analysis would be exploration of the possibility that rider-specific factors such as age or motorcycle type may offer protective effects.

Table 6. Odds Ratios Estimates for Factors with Decreased CNC Risk

Variable	Level	Reference	Odds Ratio	Lower 95% Confidence Limit	Upper 95% Confidence Limit
Locality	Urban	Open country/ Open residential	0.134	0.019	0.936
Locality	Highway	Open country/ Open residential	0.153	0.069	0.339
Locality	Miscellaneous/Other	Open country/ Open residential	0.164	0.061	0.438
Locality	Moderate residential/ Business/Industrial	Open country/ Open residential	0.365	0.191	0.699
Rear Seat Passengers	1	0	0.347	0.128	0.937

Application of Findings

Naturalistic riding results can be applied to instruction in the situations in which risk has been identified (emphasizing vigilance and actual practice). Current MSF *RiderCourse* training already provides instruction in multiple areas in which these advances are applicable, such as Basic Operation, Preparing to Ride, Risk and Riding, Basic Street Strategies, and Strategies for Common Riding Situations (Motorcycle Safety Foundation, 2014). The following list includes some supporting and supplemental data from this study that could augment the classroom training material provided in the MSF *RiderCourse* program. The application of the material (on-road portion of the course) is likewise improved by focusing extra attention and time on areas in which risk was discovered (such as curve negotiation, maneuvering to avoid an object, and low-speed maneuvers).

- Section 4: About Basic Operation (Basic Turning)
 - Current instruction: “Whether called a turn, corner, or curve, changing direction requires special attention.” Supporting data: Study results indicate that riding in a right curve doubles the risk of a crash or near-crash compared to riding on a straight roadway. This type of event includes taking the right curve too wide or at excessive speed and crossing over the lane line into the oncoming lane (termed a near-crash due to the evasive maneuver required to regain control and proper lane position).

- Current instruction: General emphasis on the importance of appropriate speed in curve maneuvers. Supporting data: Study results indicate that excessive speed (one of 12 rider behaviors observed in curve-related crashes and near-crashes) is a factor in 45% of the events.
- Section 6. Risk and Riding
 - Current instruction: “Crashes, if they ever happen, occur mostly in curves and at intersections.” Supporting data: See Section 4 regarding curves; the risk of crashes and near-crashes are increased at various types of intersections: traffic signaled intersections (nearly 3 times), parking lot/driveway intersections (8 times), and intersections uncontrolled in the rider’s direction (40 times). Note that the indicated risk increases include near-crashes, not only crashes (including any type of loss of control, even if regained).
 - Current instruction: “There is rarely a single cause of any crash. Usually there are many factors that interact, or combine, to result in a crash. You do not want to ignore even minor factors because you want to break the chain of events that may lead to a crash.” Supporting data: Studies show that some of the factors that increase the risk of being involved in a crash or near-crash include locality (open country or residential areas), the effect of intersections, the type of road surface (gravel or dirt roads), the traffic flow (heavy, unstable flow), roadway grade (not flat), and roadway alignment (curves, especially right-handed). Practicing under these conditions, riding with extra vigilance, or just avoiding the risky situations will decrease one’s chance of being involved in a crash.
- Section 7. Basic Street Strategies
 - Current Instruction: Be visible, especially in curves and at intersections. Supporting data: See Section 6 regarding curves and intersections.
 - Current Instruction: “Use your eyes and mind to determine how and when to adjust position as situations unfold. Factors in front make up most of the hazards that affect you. You want to be able to identify them as early as possible so you can respond well ahead of time and do not have to react to an emergency at the last possible moment.” Supporting data: This study shows that having to maneuver to avoid an object (such as a pedestrian, cyclist, vehicle, animal, or other object) increases the crash/near-crash risk by nearly 12 times.

- Section 8. Strategies for Common Riding Situations
 - Current Instruction: General emphasis about the variety of intersection types to be cautious around. Supporting data: See Section 6 for risk factors related to specific types of intersections (emphasize these).
 - Current instruction: “Crash studies show running off the road accounts for many crashes.” Supporting data: Study results indicate that 55% of all single-vehicle crashes and near-crashes involved curve negotiation, and 83% of those were run-off-road or lane line crossing cases.
 - Current instruction: Special consideration for starting on a hill. Supporting data: Any type of maneuver on a grade should be practiced—studies show that riding on an uphill grade doubles the risk of crash/near-crash, and riding on a downhill grade increases this risk four-fold.
 - Current instruction: Detailed steps for crossing over obstacles. Supporting data: See Section 7, maneuvering to avoid an object increases risk by nearly 12 times.

- Section 8. Special Riding Situations
 - Current instruction: Types of road surfaces to be aware of, and how to react to them. Supporting data: Riding on a gravel or dirt road is related to 9 times the risk of crash/near-crash involvement than riding on paved, smooth roads.

Conclusions

The data from the MSF 100 Motorcyclists Naturalistic Study includes nearly 31,000 trips for 100 riders. Data mining methods uncovered 152 crash/near-crash events (30 of which were crashes, including 17 low-speed ground impacts), with 55% of the total participant population experiencing at least one of these incidents during their participation in the study. All of the crashes and near-crashes included in the risk analyses involve some type of control loss for the rider, whereas the baseline reference events include no loss of control.

Discovery of the factors that increase the risk of motorcycle crashes (and near-crashes) is useful in understanding how these events occur during every day riding, and also provides opportunities to supplement or improve rider training. In this study, 65% of the participants reported that they have passed at least one rider training course, whereas the national average as of 2014 was 44% (Motorcycle Industry Council, 2016). Therefore the study sample is at least as well-trained as the overall population.

One particular avenue for application of the study findings that would enable far-reaching safety improvement is the MSF training curriculum. Programs such as the MSF Basic *RiderCourse* offer global classroom and on-road training. Since 1974, over 7 million motorcyclists nationwide have successfully completed this course (Motorcycle Safety Foundation, 2016). These naturalistic study results fit nicely into the current curriculum, and increase the probability that riders will receive the messages and be encouraged to practice maneuvers in order to decrease their risk of being involved in a crash or near-crash. Formal education and training serve to improve a rider's vigilance and provide the opportunity for riding practice, both of which can improve the chance of a rider accurately interpreting the riding task and properly responding, even in an emergency situation.

Another byproduct of this study that facilitates the investigation of naturalistic riding is the data dictionary that was constructed specifically for motorcycle riding situations. This detailed tool is not a duplicate of the crash/near-crash dictionary previously utilized for automobile analysis, but was developed and refined based on naturalistic riding data, unlike any other motorcycle safety analysis tool currently available. Its continued usage will facilitate further understanding of what actually happens during motorcycle riding.

References

Guo, F., and Hankey, J. (2009). Modeling 100-Car Safety Events: A Case-Based Approach for Analyzing Naturalistic Driving Data. Report 09-UT-006. The National Surface Transportation Safety Center for Excellence, Blacksburg, VA.

Guo, F., Klauer, S. G., Hankey, J. M., and Dingus, T. A. (2010). Near-crashes as crash surrogate for naturalistic driving studies. *Transport Res Rec.*, 2147: 66–74.

Hurt, H. H., Ouellet, J. V. and Thom, D. R. (1981). Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures, Volume 1. Technical Report Contract No. DOT HS-5-01160 (Final Report). Traffic Safety Center, University of Southern California, Los Angeles, CA.

Motorcycle Industry Council (2016). Motorcycle/ATV Owner Survey. Irvine, CA.

Motorcycle Safety Foundation (2014). Basic *RiderCourse* Rider Handbook. Irvine, CA. Retrieved from <https://www.msf-usa.org/downloads/BRCHandbook.pdf>.

Motorcycle Safety Foundation (2016). Basic *RiderCourse*. Irvine, CA. Retrieved from <http://www.msf-usa.org/brc.aspx>.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2003). General Estimates System Coding and Editing Manual. Highway Traffic Safety Administration. Washington, DC.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2006a). Implementation Guide for the National Agenda for Motorcycle Safety. Publication DOT HS 810 680. Washington, DC.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2006b). Motorcycle Safety Program Plan. Washington, DC.

National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) (2016). Traffic Safety Facts 2014 Data. Publication DOT HS 812 292. Washington, DC.

Williams, S., and Heideman, J. A. (2013). Preliminary Look at Safety Critical Events from the Motorcyclists' Perspective. Presented at The International Motorcycle Safety Conference, Orange County Convention Center, Orlando, FL, October 16-17.

Williams, V., McLaughlin, S., Williams, S., and Buche, T. (2015). Exploratory Analysis of Motorcycle Incidents Using Naturalistic Riding Data. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board* 2520: 151-156. Washington, DC.

RIDERSCAN, what riders want

RIDERSCAN, was Fahrer wollen

Dolf Willigers

Federation of European Motorcyclists Associations (FEMA), Belgium

RIDERSCAN, what riders want





Dolf Willigers
General Secretary



RIDERSCAN

European Scanning Tour for Motorcycle Safety



The defined priorities were:

1. Training, testing and licensing
2. Data collection and statistics
3. Infrastructure
4. Accident reporting
5. Research
6. Traffic management/ITS
7. Awareness campaigns
8. National strategies
9. Motorcycle community



What did we do?

1. We did a EU documentation review: we gathered all known information, made abstracts, attached keywords, put it in our database
2. We conducted targeted surveys
3. We conducted stakeholders consultations
4. We organized information exchanges (three European Motorcyclists' Forums)
5. We did an information review
6. We identified priorities
7. We made recommendations
8. We made sure the information was validated by recognized experts
9. We set up websites with information for stakeholders about infrastructure and guard rails
10. We wrote a report



gaps
overlaps
action



knowledge
abstracts
new data



what does this
mean for you?



www.riderscan.eu

- the report
- the deliverables
- the outcomes
- the wiki
- a website on infrastructure
- a website on guard rails



www.mc-infrastructure.eu

Facebook MC-infrastructure.eu | Road sa... X +

www.mc-infrastructure.eu filtering in Norway

MC-infrastructure.eu

Road safety & information

Search

Home Issues Documents and Research RIDERSCAN project Initiatives Contact Us

Safe roads for all users

- FEMA Position Statement on infrastructure
- The FEMA Haddon Matrix
- RIDERSCAN project
 - Best practices and priorities
 - Common infrastructure problems in Europe
 - EU research main conclusions
 - Improving infrastructure for PTWs: Key Challenges

Safe roads for all users

Riding defensively and with anticipation is of crucial importance for motorcyclists. Riders need to concentrate on the traffic environment rather than on the road surface quality. However, infrastructure is often the primary or a contributing factor in single motorcycle accidents. Road design, maintenance and construction are generally directed towards the needs of multi-track vehicles, with the needs of motorcycles not taken into consideration.

Basic motorcycle needs for the best type of road network include:

- good adhesion whatever the weather conditions.
- clear signage that riders can see and understand,
- good mutual visibility,
- minimum risk of impact against obstacles.

Based on the Haddon Matrix, FEMA classifies infrastructure problems in 3 categories:

- road design and construction (including standardization and audits),
- road maintenance and
- black spot management.

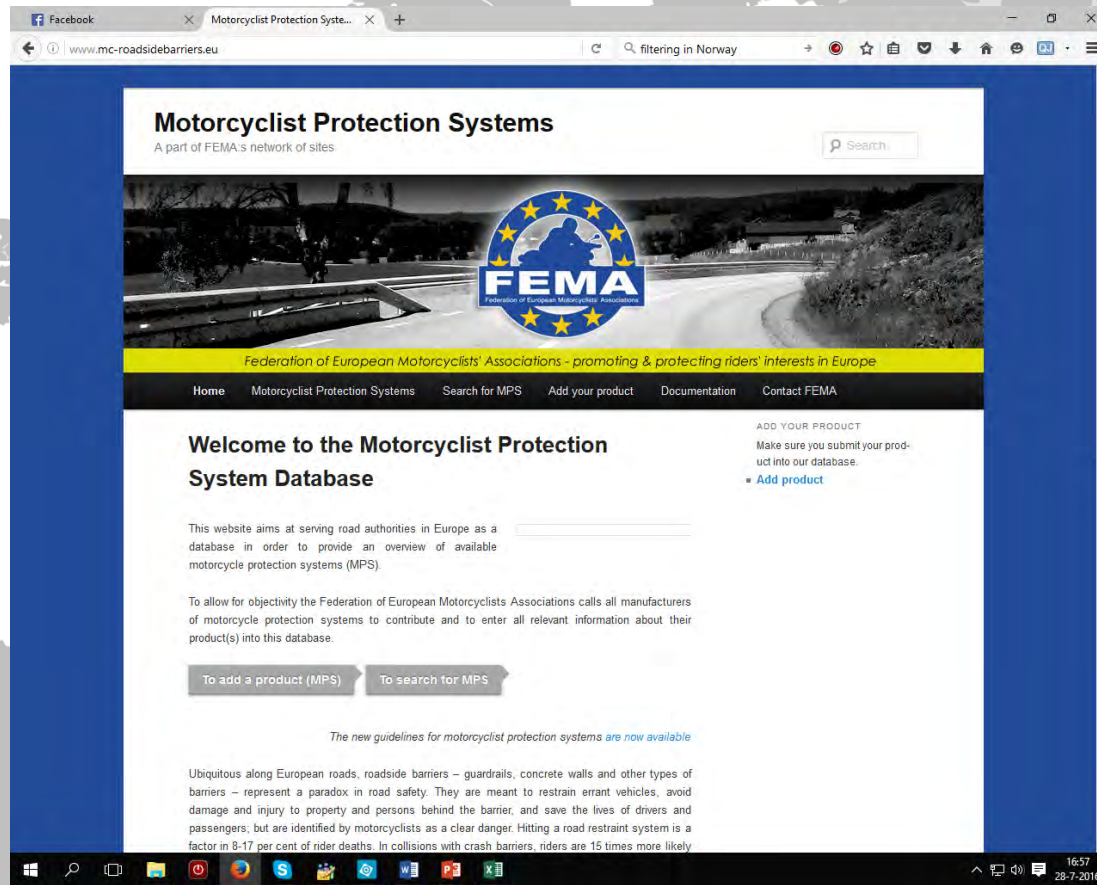
SPONSORS

Example sponsor banner

16:57 28-7-2016



www.mc-roadsidebarriers.eu



The screenshot shows a web browser window displaying the website www.mc-roadsidebarriers.eu. The page title is "Motorcyclist Protection Systems" and it is identified as "A part of FEMA's network of sites". The FEMA logo is prominently displayed in the center, featuring a blue circle with yellow stars and a silhouette of a motorcyclist. Below the logo, a yellow banner reads "Federation of European Motorcyclists' Associations - promoting & protecting riders' interests in Europe". The navigation menu includes "Home", "Motorcyclist Protection Systems", "Search for MPS", "Add your product", "Documentation", and "Contact FEMA". The main content area is titled "Welcome to the Motorcyclist Protection System Database" and contains the following text:

This website aims at serving road authorities in Europe as a database in order to provide an overview of available motorcycle protection systems (MPS).

To allow for objectivity the Federation of European Motorcyclists Associations calls all manufacturers of motorcycle protection systems to contribute and to enter all relevant information about their product(s) into this database.

Buttons for "To add a product (MPS)" and "To search for MPS" are visible.

The new guidelines for motorcyclist protection systems are now available

Ubiquitous along European roads, roadside barriers – guardrails, concrete walls and other types of barriers – represent a paradox in road safety. They are meant to restrain errant vehicles, avoid damage and injury to property and persons behind the barrier, and save the lives of drivers and passengers; but are identified by motorcyclists as a clear danger. Hitting a road restraint system is a factor in 8-17 per cent of rider deaths. In collisions with crash barriers, riders are 15 times more likely

On the right side of the page, there is a section titled "ADD YOUR PRODUCT" with the text "Make sure you submit your product into our database." and a button labeled "Add product".



FEMA – The Federation of ...

www.fema-online.eu Zoeken

FEMA The Federation of European Motorcyclists' Associations

the road riding motorcyclists federation in europe

HOME ABOUT US NEWS SUPPORT US! CONTACT US LIBRARY CONSUMER INFORMATION

FEMA NEWS

How to prevent motorcycle theft

Australian scientists: 'motorcycle crash risk can be managed'

European Commissioner: 'The car industry can no longer bend the rules'

MAKE GOOD USE OF THE ROADS: RIDE A MOTORCYCLE!

FEMA NEWS

FEMA'S SOCIAL MEDIA

f g+ i in



19:40 28-7-2016



Click on the picture to start the video.
The video is included in the folder "Videos" on the DVD.

Make good use of the roa... x +

www.fema-online.eu/website/index.php/2016/07/28/make-good-use-of-the-roads-ride-a Zoeken


the road riding motorcyclists federation in europe

HOME ABOUT US NEWS SUPPORT US! CONTACT US LIBRARY CONSUMER INFORMATION

You are here Home > FEMA news > Make good use of the roads: ride a motorcycle!

Make Good Use Of The Roads: Ride A Motorcycle!

FEMA news by Wim Taal - July 28, 2016




Motorcyclists know that riding a bike isn't just great fun, it's the best and most efficient way to travel as well.

Motorcycles are efficient

Motorcycles make efficient use of road space in congested areas, require less parking space than cars, have a lower environmental impact and running costs, offer an affordable option where public transport is limited and walking or cycling is unrealistic.

FEMA'S SOCIAL MEDIA





FEMA'S TWITTER FEED

@femaonline - 7 days ago
The free Road Safety App from the European Commission contains important road safety rules.
<https://t.co/Yv8PuD3mjP> <https://t.co/X6m6n8qEjv>

Follow @femaonline

We are looking for motorcyclists' associations all over Europe.





Windows taskbar: 20:03 28-7-2016

Click on the picture to start the video.
The video is included in the folder "Videos" on the DVD.

FEMA – The Federation of ... X +

www.fema-online.eu Zoeken

 The Federation of European Motorcyclists' Associations

the road riding motorcyclists federation in europe

HOME ABOUT US NEWS SUPPORT US! CONTACT US LIBRARY CONSUMER INFORMATION

FEMA NEWS

to prevent motorcycle theft

FEMA NEWS

Italian scientists: 'motorcycle crash risk can be aged'

FEMA NEWS

European Commissioner: 'The car industry can no longer play by the rules'

SCIENTISTS TURN A KTM INTO AN ACCIDENT RESEARCH BIKE

FEMA NEWS

FEMA'S SOCIAL MEDIA

f g+ i in

Windows taskbar: 19:42 28-7-2016



Click on the picture to start the video.
The video is included in the folder "Videos" on the DVD.

RIDERSCAN

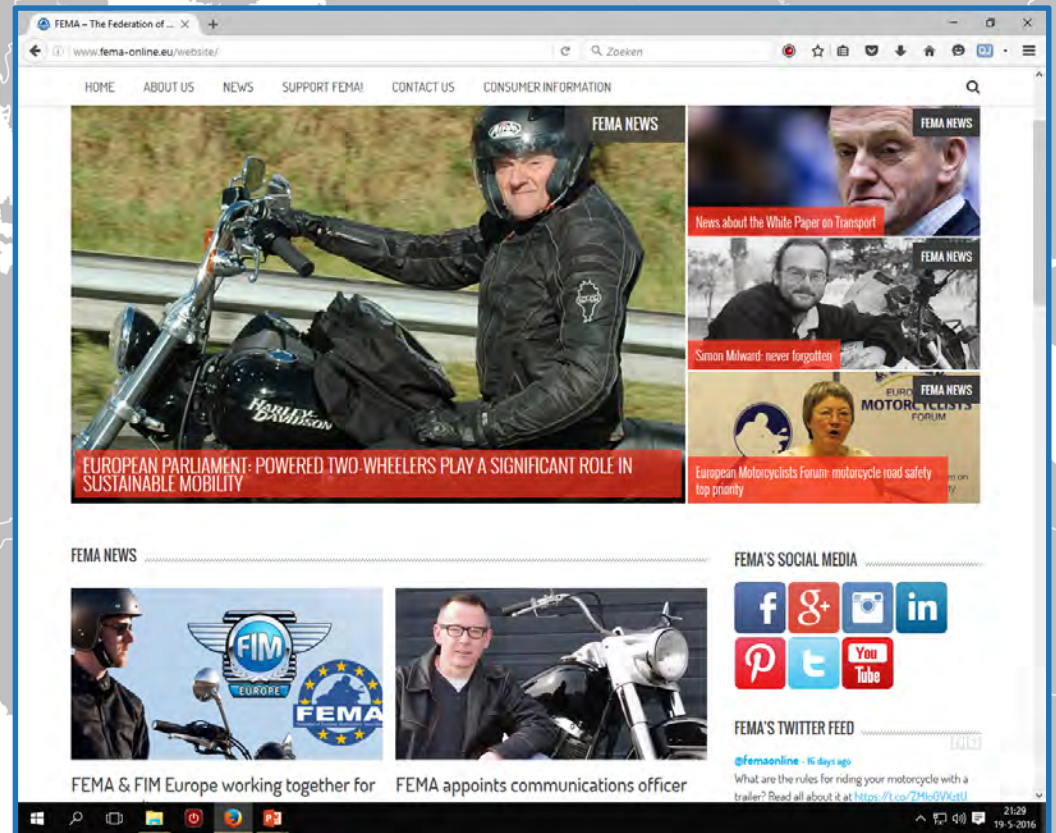
European Scanning Tour for Motorcycle Safety



Thank you for your attention!

Please visit us at
www.fema-online.eu

Or email us:
general.secretary@fema-online.eu



Investigations on the behaviour of motor cyclists with different
driving experience on test-areas and in real road traffic

Untersuchungen zum Verhalten von Motorradfahrern unterschied-
licher Fahrerfahrung auf Testgeländen und
im Realverkehr

Dipl.-Ing. Tino Staffetius

Zentrale Stelle nach StVG / Fahrzeugsystemdaten GmbH, Germany

Prof. Dr.-Ing. Michael Beitelschmidt

Technische Universität Dresden, Germany

Abstract

Investigations on the behaviour of motor cyclists with different driving experience on test-areas and in real road traffic

Starting point for investigation

The high number of accidents related to the vehicle fleet show that the risk in road traffic to be killed is for motor cyclists many times higher than for other road users. Particularly single accidents are common and causing often serious consequences so that a particularly high level of attention must be placed. Although the causes of accidents are different, the behaviour of drivers plays, influenced by its driving competence, a decisive role in the history of traffic situations.

Method

For the investigation of the driver's behaviour in subjective as well as objective critical and not-critical situations a motorcycle was equipped with extensive measurement equipment. Therewith test drives on a test-area as well as in real road traffic with drivers with different driving experience were conducted. The test drives were evaluated with respect to differences in the driver's behaviour. Moreover, a strategy for detection of different driver's experience was investigated.

Results

Differences in the driver's behaviour, often caused by differing driving experience, could be revealed. By extensive analysis of the recorded data driver-specific shortcomings could be detected.

Impacts / Effects / Consequences

With the knowledge of these driver-specific deficits, it is possible to indicate individual opportunities for improvement to the driver. Concepts were created to assist the driver in the extension of his competence in riding a motorcycle. These concepts provide analysis of situations while driving (online) and the follow-up (offline) to give the motorcyclists hints about its individual opportunities for improvement. The driver assistance is carried out either directly by direct release of information to the driver, or indirectly through support of a trainer or driving instructor. Therefore, an objective assessment basis is provided so that trainers can give the driver detailed recommendations for action.

Kurzfassung

Untersuchungen zum Verhalten von Motorradfahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung auf Testgeländen und im Realverkehr

Problemstellung / Untersuchungsansatz

Die nach wie vor hohen Unfallzahlen bezogen auf den Fahrzeugbestand zeigen, dass das Risiko im Straßenverkehr getötet zu werden für Motorradfahrer um ein Vielfaches höher ist als für andere Verkehrsteilnehmer. Insbesondere Alleinunfälle sind häufig und ziehen oft gravierende Folgen mit sich, sodass diesen ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit entgegengebracht werden muss. Auch wenn die Ursachen unterschiedlicher Natur sein können, spielt das Verhalten von Fahrern, maßgeblich beeinflusst von seiner Fahrkompetenz, eine entscheidende Rolle für den Verlauf von Verkehrssituationen.

Methode

Zur Analyse des Fahrerverhaltens sowohl in subjektiv als auch objektiv kritischen und unkritischen Situationen wurde ein Versuchsmotorrad mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet und Versuchsfahrten mit Fahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung auf einem Testgelände und im realen Straßenverkehr durchgeführt. Diese Versuche wurden im Hinblick auf Unterschiede im Fahrerverhalten und der möglichen Detektion der jeweiligen Fahrerfahrung analysiert.

Ergebnisse

Bei diesen Auswertungen konnte festgestellt werden, dass Unterschiede im Fahrerverhalten, häufig bedingt durch die unterschiedlichen Fahrerfahrungen der Teilnehmer, vorhanden sind. Durch ausführliche Analysen der Fahrdaten konnten fahrerspezifische Defizite festgestellt werden.

Konsequenzen

Mit dem Wissen um diese fahrerspezifischen Defizite ist es möglich, dem Fahrer individuelle Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Hierzu wurden Konzepte erstellt, den Fahrer bei der Erweiterung seiner Fahrkompetenz beim Motorradfahren zu unterstützen. Diese Konzepte sehen vor, Fahrsituationen während der Fahrt (online) und im Nachgang (offline) zu analysieren und damit dem Motorradfahrer Hinweise bezüglich seiner individuellen Verbesserungsmöglichkeiten zu geben. Die Unterstützung des Fahrers erfolgt dabei entweder direkt durch unmittelbare Informationsweitergabe an den Fahrer, oder indirekt durch Unterstützung des Trainers oder Fahrlehrers, dem eine objektive Bewertungsgrundlage zur Verfügung gestellt wird, sodass er dem Fahrer ausführliche Handlungsempfehlungen geben kann.

Keywords

Verkehrssicherheit, Motorradfahrer, Fahrerfahrung, Fahrkompetenz, Versuchsfahrten, Realverkehrsfahrten, Fahrsituationsanalyse, Fahrerverhalten, Motorrad-Fahrsicherheitstraining, Datenrekorder

Untersuchungen zum Verhalten von Motorradfahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung auf Testgeländen und im Realverkehr

1 Einleitung

Die Teilnahme am Straßenverkehr ist für Insassen von Personenkraftwagen (PKW) in Deutschland in den letzten Jahren aufgrund hoher Sicherheitsmaßnahmen nahezu stetig sicherer geworden. Im Jahr 1991 kamen noch 6801 PKW-Insassen¹ auf deutschen Straßen ums Leben, dagegen ist diese Zahl bis zum Jahr 2014 um knapp 76,8% auf 1575 gesunken. Die Zahlen der tödlich verunglückten Motorrad-Aufsassen² sind dagegen in den letzten Jahren nahezu konstant geblieben. In der Abbildung 1-1 sind diese Zahlen bezogen auf die beiden Fahrzeugklassen für die Jahre 1991 bis 2014 dargestellt.

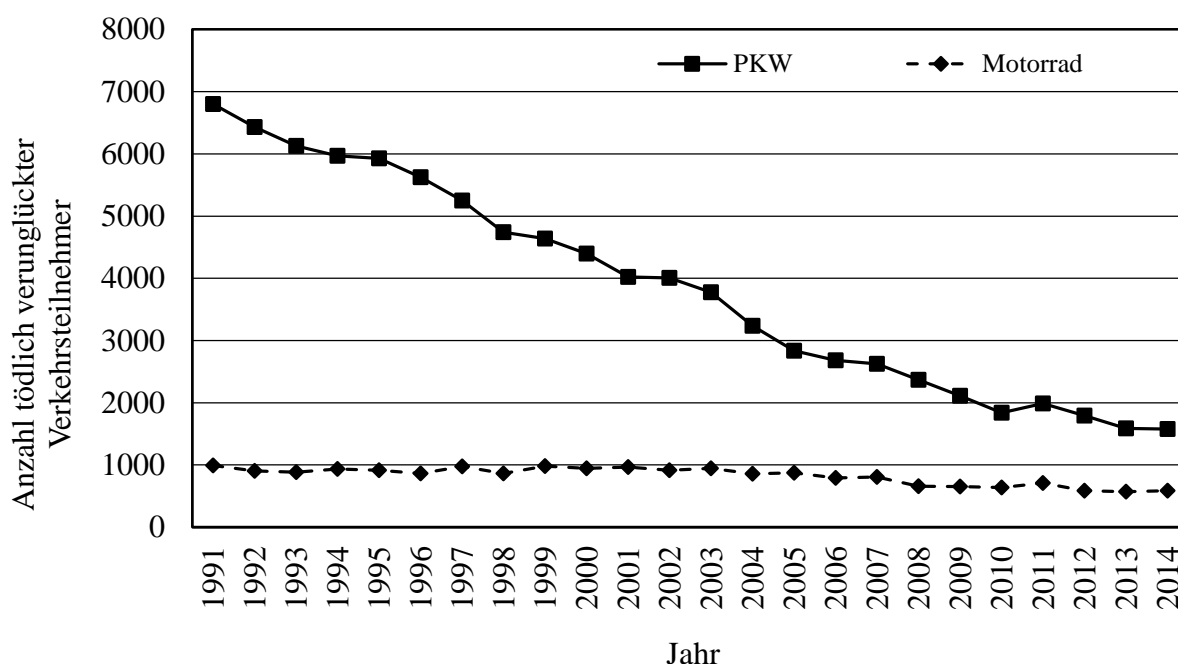


Abb. 1-1. Tödlich verunglückte Verkehrsteilnehmer von 1991 bis 2014; Eigene Darstellung, Daten entnommen aus [13]

Im Jahr 2014 kamen 587 Motorrad-Aufsassen ums Leben. Trotz dieser geringeren Absolutzahlen gegenüber der Anzahl tödlich verunglückter PKW-Insassen ist das Risiko, im Straßenverkehr getötet, zu werden für Motorrad-Aufsassen um ein Vielfaches höher, da für eine Risikoabschätzung beispielsweise der jeweilige Fahrzeugbestand mit einbezogen werden muss. Dieser Zusammenhang – ausgedrückt über eine Kennzahl – wird in der Abbildung 1-2 veranschaulicht.

¹ PKW-Insassen: Fahrer und Mitfahrer von PKW

² Motorrad-Aufsassen: Fahrer und Mitfahrer von Motorrädern

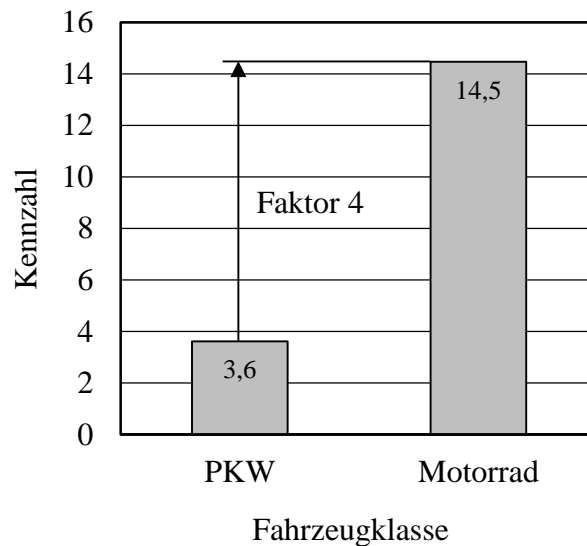


Abb. 1-2. Relative Anzahl getöteter Verkehrsteilnehmer im Jahr 2014 (bezogen auf 100000 Fahrzeuge des jeweiligen Bestandes); Eigene Darstellung, Daten entnommen aus [13]

Die relative Anzahl tödlich verunglückter Motorrad-Aufsassen bezogen auf den Fahrzeugbestand ist dabei etwa 4-fach höher als die von PKW-Insassen. Zur genaueren Berechnung des Risikos, im Straßenverkehr getötet zu werden, sind weitere Faktoren zu berücksichtigen. Dazu zählen beispielsweise der Zweck der Fahrt und die jährliche Fahrleistung. Motorradfahrer nutzen im Vergleich zu PKW-Fahrern ihr Fahrzeug überwiegend in den Sommermonaten und als Freizeit-Fahrzeug, was meist mit einer geringeren Jahreskilometerfahrleistung verbunden ist. Unter Berücksichtigung dieser jährlichen Fahrleistung ergibt sich ein noch höheres Risiko für Motorrad-Aufsassen.³

Diese Zahlen belegen demzufolge, dass Motorrad-Aufsassen im Straßenverkehr einem besonders hohen Risiko ausgesetzt sind, was dadurch begründet ist, dass sie auf der einen Seite keine Insassen sind, wie es beim PKW der Fall ist, sondern mehr oder weniger ungeschützt auf dem Motorrad sitzen. Weiterhin ist bei den überwiegend einspurigen Fahrzeugen die Gefahr eines Sturzes deutlich höher als bei einem Zweispurfahrzeug die Gefahr, die Fahrbahn unbeabsichtigt – beispielsweise durch einen Schleudervorgang – zu verlassen.

Die Anzahl der Alleinunfälle und der Unfälle mit mehreren Beteiligten im Jahr 2014 sowie deren Anteil am Gesamtunfallgeschehen bezogen auf Motorräder sind in der folgenden Abbildung 1-3 im rechten Bereich dargestellt. Der linke Teil der Abbildung zeigt die Anzahl der verunglückten Motorrad-Aufsassen bezogen auf die Ortslage und die Verletzungsschwere – ebenfalls für das Jahr 2014.

³ Im Jahr 2005 entsprach das Risiko, getötet zu werden, für Motorrad-Aufsassen etwa dem 14,3-fachen bezogen auf das Risiko von PKW-Insassen [7]

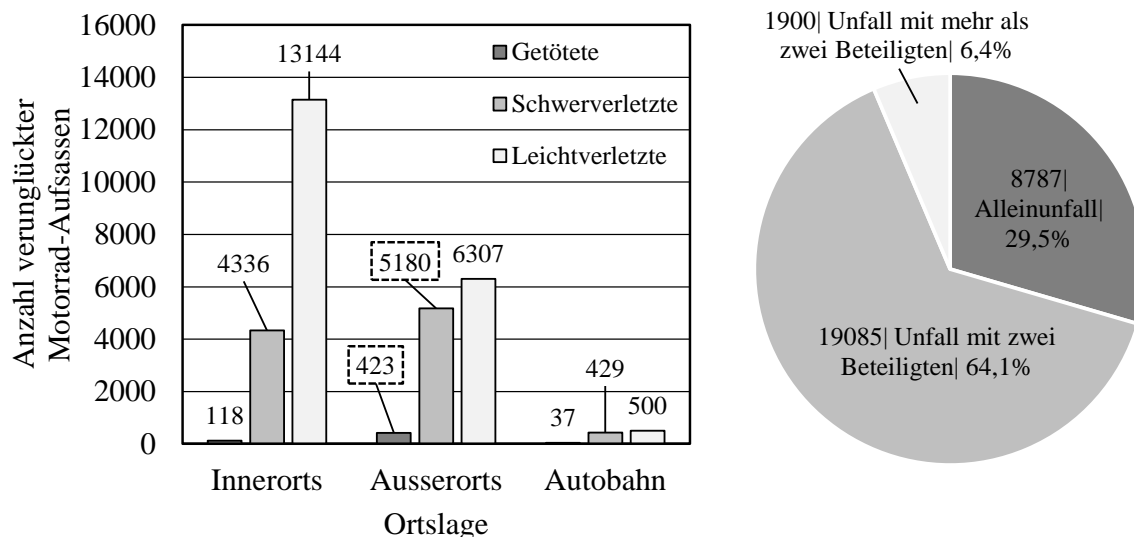


Abb. 1-3. Verunglückte Motorradfahrer im Jahr 2014 (bezogen auf Ortslage, Verletzungsschwere und Unfallbeteiligung); Eigene Darstellung, Daten entnommen aus [12], [14]

Bei Unfällen außerhalb geschlossener Ortschaften – Autobahnen sind dabei ausgenommen – kamen mit 423 Personen die meisten Motorrad-Aufsassen ums Leben. Ebenfalls wurden mit 5180 Personen in dieser Ortslage die meisten Motorrad-Aufsassen schwer verletzt. Dagegen waren leicht verletzte Motorrad-Aufsassen am häufigsten innerorts zu verzeichnen. Auf Autobahnen waren die Zahlen der Getöteten sowie Schwer- und Leichtverletzten im Vergleich zu den beiden anderen Ortslagen jeweils sehr viel niedriger.

Unfälle zwischen Motorrädern und einem weiteren Beteiligten gab es 19085. Dies macht einen Anteil von 64,1% aller Motorradunfälle aus. Unfälle mit mehr als zwei Beteiligten, bei denen Motorräder involviert waren, hatten einen vergleichsweise geringen Anteil von 6,4%. Alleinunfälle dagegen kommen überwiegend außerhalb geschlossener Ortschaften vor und haben mit 29,5% am Gesamtunfallgeschehen von Motorrädern einen großen Anteil. [12], [14] Da Alleinunfälle überwiegend außerorts, dort wo die Zahlen der getöteten und schwerverletzten Motorradfahrer am höchsten sind, stattfinden, kann schlussfolgernd gesagt werden, dass Alleinunfälle oft gravierende Folgen mit sich ziehen und diesen damit ein besonders hohes Maß an Aufmerksamkeit entgegengebracht werden sollte.

Die Ursachen für Alleinunfälle können unterschiedlicher Natur sein – beispielsweise kann eine Fehlbeurteilung der Fahrsituation durch den Motorradfahrer zugrunde liegen. Das Verhalten von Fahrern spielt dabei eine entscheidende Rolle für den Verlauf von Fahrsituationen. Im Gegensatz zu anderen Fahrzeugarten sind hinsichtlich der Fahrstabilität bei Motorrädern nicht nur die Bedienung des Fahrzeuges durch den Fahrer, sondern auch die Bewegung des Fahrers von hoher Bedeutung. Die Bedienung, wie beispielsweise das Betätigen des Lenkers oder der Bremsen, hat beim Motorradfahren unmittelbaren Einfluss auf die Bewegung des Fahrzeugs. Dahingehende Fehler des Fahrers können zu

starker Instabilität des Fahrzeugs führen und schnell eine kritische Fahrsituation entstehen lassen. Auch andere Einflüsse, wie beispielsweise eine plötzlich verschmutzte Fahrbahn in einer Kurve oder das Aufsetzen von Bauteilen des Fahrzeugs in einer Kurve, können ebenfalls zu kritischen Fahrsituationen führen. Allerdings kann ein Fahrer, je nach Fahrkompetenz⁴, einem Unfall entgegenwirken, indem er adäquat reagiert. An dieser Stelle sind aufgrund des direkten Einflusses der Bedienung und der Bewegung des Fahrers oft nur geringe Änderungen nötig, um die Stabilität des Fahrzeugs wieder herzustellen. Auch Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern können, selbst wenn die Ursache der kritischen Fahrsituation beim Gegenüber liegt, durch entsprechendes Handeln des Motorradfahrers, beispielsweise durch ein Ausweichmanöver, mitunter vermieden werden. Eine Verringerung von Unfallfolgen ist ebenso denkbar, wenn der Motorradfahrer etwa durch starkes Abbremsen frühzeitig Bewegungsenergie abbaut und somit der nicht mehr zu verhindernde Zusammenstoß durch die geringere Aufprallgeschwindigkeit in einer abgeschwächten Form erfolgt. Das Fehlverhalten anderer Verkehrsteilnehmer oder andere negativ auf eine Fahrsituation wirkenden Einflüsse können durch den Motorradfahrer, je nach Ausprägung seiner Fahrkompetenz, teilweise oder gänzlich kompensiert werden. Die Fahrkompetenz des Motorradfahrers hat somit einen großen Einfluss auf die Fahrsituation.

Im Rahmen der im Folgenden vorgestellten Untersuchung sollten das Fahrzeug- und Fahrerverhalten sowohl in subjektiv als auch objektiv kritischen und unkritischen Fahrsituationen analysiert und davon Unterstützungsmaßnahmen für Motorradfahrer zur Erweiterung seiner Fahrkompetenz abgeleitet werden.

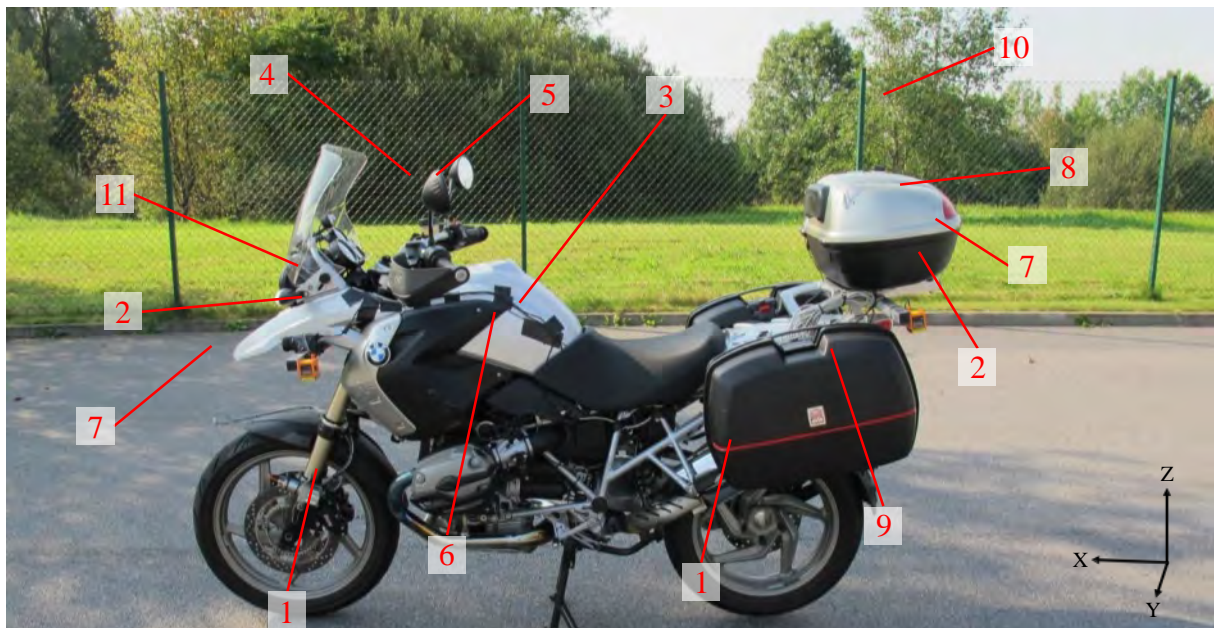
2 Versuche

Versuchsträger

Für die Untersuchungen der Fahrsituationen von Motorrädern sind vor allem Kenntnisse über die Position und Bewegung des Motorrades sowie die Handlungen des Fahrers in diesen Fahrsituationen von Bedeutung. Die Erfassung dieser Informationen kann über entsprechende Sensorik erfolgen. Aufgrund der weiten Verbreitung und der hohen Anzahl an unterschiedlichen Sicherheits- und Fahrerassistenzsystemen im PKW-Segment ist bereits serienmäßig eine Vielzahl an unterschiedlichen Sensoren in diesen Fahrzeugen verbaut, deren Signale für entsprechende Untersuchungen genutzt werden können. Bei Motorrädern ist dies heute noch nicht der Fall, sodass die notwendigen Signale und Informationen zum Motorrad, zum Fahrer und zur Umgebung über zusätzlich zu verbauende Sensoren erfasst werden müssen. Da die genauen Einflussgrößen mitunter nicht vollständig bekannt sind, wurde ein Motorrad mit umfangreicher Messtechnik ausgestattet. In der Abbildung 2-1 ist das Versuchs-

⁴ Die Definition des Begriffs „Fahrkompetenz“ wird beispielsweise in [15] gegeben

motorrad mit der integrierten Messtechnik dargestellt. Die in der Legende aufgelisteten Komponenten der verbauten Messtechnik stellen einen Ausschnitt der gesamten Messtechnik dar. So wurde beispielsweise zusätzlich die Herzfrequenz der Fahrer erfasst. Für einen Teil der Versuche wurde eine Drucksensormatte auf dem Fahrersitz aufgebracht, um die Sitzposition und die Bewegung des Fahrers auf dem Motorrad zu detektieren.[11] In Summe stehen damit etwa 120 Signale, die Informationen über das Fahrzeug, den Fahrer und die Umgebung liefern, für Auswertungen zur Verfügung.



Legende:

- | | |
|--|------------------------------------|
| (1) Raddrehzahlsensoren | (7) Oberflächentempersensoren |
| (2) Lasersensoren | (8) Faseroptischer Kreisel |
| (3) Beschleunigungs- und Drehratsensoren | (9) Messkoffer mit Steuereinheiten |
| (4) Lenkmomentsensor (Dehnmessstreifen) | (10) GPS-Empfänger |
| (5) Lenkwinkelsensor (Linearpotentiometer) | (11) Onboard-Kamera |
| (6) Bremsdrucksensoren (Vorsteuerdruck) | |

Abb. 2-1. Versuchsmotorrad mit Messtechnik

Probanden

Zur Analyse von Fahrsituationen hinsichtlich ihrer Kritikalität und zur Bewertung von Fahrerverhalten sind Versuche mit Motorradfahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung durchgeführt worden. Um eine möglichst große Vielfalt dieser unterschiedlichen Fahrer zu erhalten, wurden im Rahmen der Teilnehmerakquise für diese Studie interessierte Motorradfahrer aus dem Umfeld zu ihrem Fahrverhalten als Motorradfahrer befragt. Abgefragt wurden unter anderem neben dem Alter auch der Zeitpunkt des Führerscheinerwerbs und die durchschnittliche Fahrleistung pro Jahr. Außerdem sind die Interessenten nach ihrem Nutzungsverhalten bezüglich ihrer Motorräder gefragt worden und sie sollten ihre persönliche Fahrweise selbst einschätzen.

Zur Auswahl der Probanden wurden die drei Hauptkriterien Alter, selbst eingeschätzte jährliche Fahrleistung mit dem Motorrad und Länge des Motorrad-Führerscheinbesitzes herangezogen. Unter der Annahme, dass diese Kriterien im unmittelbaren Zusammenhang mit der Fahrerfahrung stehen, werden diese als Indikatoren zur vorläufigen und überschlägigen Ermittlung der Fahrerfahrung herangezogen.⁵ Die Kriterien sind entsprechend der Abbildung 2-2 unterteilt worden, sodass sich die in dieser Abbildung dargestellten Kombinationsmöglichkeiten ergeben. Diese Kategorisierung dient der später folgenden Gruppierung bezüglich der abgeschätzten Fahrerfahrung. Es ist angestrebt, jede Kategorie mit zwei Fahrern zu besetzen, um eine möglichst große Bandbreite von Fahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung und gleichzeitig einen Referenzteilnehmer pro Kategorie zu erhalten.

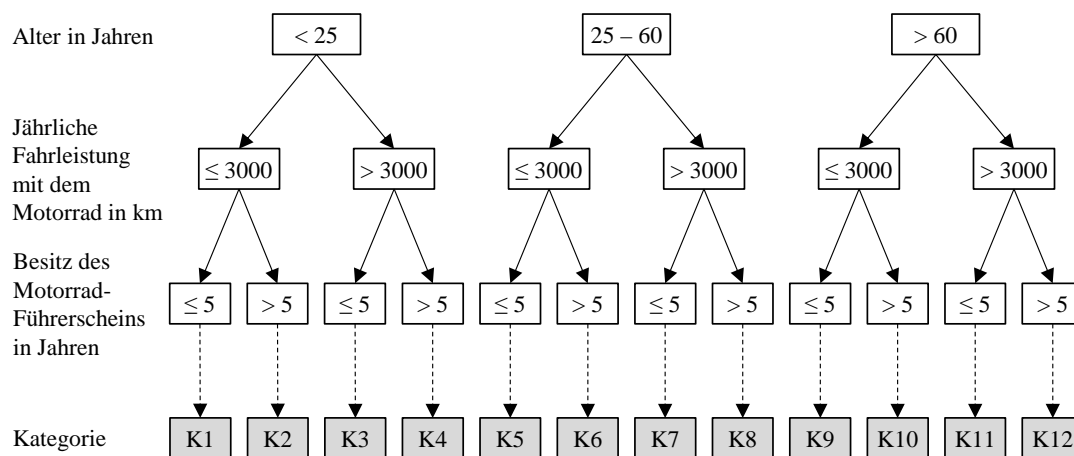


Abb. 2-2. Kombinationsmöglichkeiten

Den Kategorien K3, K9 und K11 konnten allerdings keine Interessenten zugeordnet werden. Den Kategorien K2, K4 und K5 sowie K7, K10 und K12 konnten jeweils nur eine Person zugeordnet werden. Dagegen gab es ausreichend Interessenten, die den Kategorien K6 und K8 zugeordnet werden konnten. Für die Entscheidung, wieviele Personen der Kategorie K6 und K8 zugeteilt werden und welche Interessenten ausgewählt werden, wurden die Nebenkriterien, wie beispielsweise die Selbsteinschätzung, das Geschlecht und das Nutzungsverhalten herangezogen. Dabei wurde darauf geachtet, dass sich diese Personen, trotz der Zugehörigkeit zu ein und derselben Kategorie, hinsichtlich dieser Nebenkriterien möglichst unterschieden. Damit wurden der Kategorie K6 sechs und der Kategorie K8 vier Probanden zugeteilt. Der Kategorie K1 wurden, wie vorgesehen, zwei Personen zugeordnet. Trotz dieser ungleichmäßigen Verteilung und der drei nicht belegten Kategorien liegt dennoch eine große Bandbreite an Motorradfahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung vor. Die Zuordnung der Fahrer zur jeweiligen Kategorie ist in Tabelle 2-1 dargestellt. Aus Gründen des Datenschutzes und einer möglichst objektiven Auswertung der Fahrdaten wurde jedem Teilnehmer eine Fahrer-ID zugeordnet.

⁵ Verwendung dieser Kriterien zur Beantwortung unterschiedlicher Fragestellungen beispielsweise in [4], [8], [9], [5], [16], [6]

Für die Analyse der Fahrdaten wird nicht hinsichtlich dieser Kategorien unterschieden, da diese Art der Einteilung für den Bezug zur Fahrerfahrung und deren Darstellung eher ungeeignet ist. Aus diesem Grund erfolgt eine fahrerfahrungsbezogene Gruppierung dieser Kategorien. Diese theoretische Einteilung der Fahrer in unerfahrene und erfahrene Fahrer beruht auf der Selbsteinschätzung der Teilnehmer und der Einschätzung des Versuchsleiters. Letztere basiert auf der Zuordnung der jeweiligen Fahrer zu einer Kategorie und den zusätzlichen Angaben aus den Fragebögen, wie beispielsweise dem PKW-spezifischen Kriterium der jährlichen Fahrleistung. Auch vorhandene Fahrpausen mit dem Motorrad oder etwaige Rennstreckenerfahrung der Fahrer werden dabei berücksichtigt. Am Beispiel der Kategorie K6 ist zu erkennen, dass erfahrene und unerfahrene Fahrer einer Kategorie zugeordnet sein können, sodass diese Einteilung in zwei Gruppen entsprechend der Fahrerfahrung als sinnvoll erscheint.

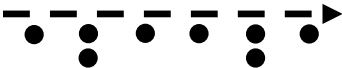
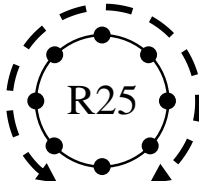
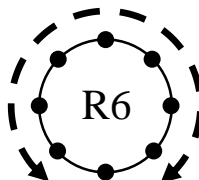




Tab. 2-1. Einteilung der Fahrer nach Fahrerfahrung in zwei Gruppen

Fahrer-ID	Kategorie	Fahrerfahrung	
		Erfahrener Fahrer	Unerfahrener Fahrer
F1	K8	x	
F2	K7	x	
F3	K8	x	
F4	K6		x
F5	K4	x	
F6	K1		x
F7	K5		x
F8	K12	x	
F9	K1		x
F10	K6	x	
F11	K10	x	
F12	K6		x
F13	K6		x
F14	K6	x	
F15	K8	x	
F16	K2		x
F17	K8	x	
F18	K6	x	
Anzahl		11	7

Standardmanöver

Zur Beurteilung des Fahrerverhaltens und der Fahrfertigkeiten der unterschiedlichen Probanden sind zunächst Versuchsfahrten auf einem Testgelände durchgeführt worden. Es galt, realistische Fahrsituationen und deren Kombinationen, wie beispielsweise Kurvenfahrten, Ausweichen und Abbremsungen bis zum Stillstand, abzubilden. In der Tabelle 2-2 sind die durchgeführten Fahrmanöver mit den jeweiligen Vorgaben und Analysemöglichkeiten dargestellt.

Tab. 2-2. Übersicht Fahrmanöver

Fahrmanöver	Vorgabe	Analysemöglichkeiten
 <p>Beschleunigte Geradeausfahrt</p>	<ul style="list-style-type: none"> Gleichmäßige Beschleunigung / Konstante Geschwindigkeit / Gleichmäßige Verzögerung Variation der subjektiven Beschleunigungs- und Verzögerungsintensität: schwach / normal / stark 	<ul style="list-style-type: none"> Subjektives Beschleunigungsverhalten und -empfinden beim Anfahren und Anhalten Individuelle Grenzen / Möglichkeiten Einhaltung der Vorgaben
 <p>Kreisfahrt 1 (R = 25 m)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Kreisfahrt mit konstantem Kurvenradius und stufenweiser Erhöhung der Geschwindigkeit Geschwindigkeitsstufen: 20 km/h / 30 km/h / 40 km/h Variation der Richtung: linksherum / rechtsherum 	<ul style="list-style-type: none"> Subjektives Verhalten und Empfinden in Schräglagen, insbesondere im fahrdynamisch stabilen Bereich Individuelle Grenzen / Möglichkeiten Einhaltung der Vorgaben
 <p>Kreisfahrt 2 (R = 6 m)</p>	<ul style="list-style-type: none"> Kreisfahrt mit konstantem Kurvenradius Geschwindigkeit 1: 25 km/h Geschwindigkeit 2: „Wohlfühlgeschwindigkeit“ Variation der Richtung: linksherum / rechtsherum 	<ul style="list-style-type: none"> Subjektives Verhalten und Empfinden in Schräglagen, insbesondere im fahrdynamisch instabilen Bereich Individuelle Grenzen / Möglichkeiten Einhaltung der Vorgaben
 <p>Ausweichen</p>	<ul style="list-style-type: none"> Ausweichen in entgegengesetzte Richtung des kurzfristig angezeigten Hindernisses <p>Ohne Abbremsen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Geschwindigkeit: 30 km/h <p>Mit Abbremsen:</p> <ul style="list-style-type: none"> Abbremsen von 50 km/h auf 30 km/h unter Beachtung der Bremsmarkierung 	<ul style="list-style-type: none"> Subjektives Verhalten hinsichtlich Ausweichtechniken und Kombination von Brems- und Ausweichtechniken Individuelle Grenzen / Möglichkeiten Einhaltung der Vorgaben
 <p>9m-Slalom</p>	<ul style="list-style-type: none"> Umfahren der Pylonen mit konstanter Geschwindigkeit Geschwindigkeiten: 20 km/h / 30 km/h / 40 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> Subjektives Verhalten hinsichtlich Fahrzeug-Handling (Lenk- und Bewegungstechniken) Individuelle Grenzen / Möglichkeiten Einhaltung der Vorgaben
 <p>18m-Slalom</p>	<ul style="list-style-type: none"> Umfahren der Pylonen mit konstanter Geschwindigkeit Geschwindigkeiten: 40 km/h / 50 km/h / 60 km/h 	<ul style="list-style-type: none"> Analog 9m-Slalom
 <p>Spurgasse</p>	<ul style="list-style-type: none"> Durchfahren mit möglichst geringer Geschwindigkeit Vermeidung von Fußabsetzen und Pylonenberührungen 	<ul style="list-style-type: none"> Subjektives Verhalten hinsichtlich Fahrzeugstabilisierung Individuelle Grenzen / Möglichkeiten Einhaltung der Vorgaben

Jeder Teilnehmer hatte bereits einen Motorradführerschein und war mit dem prinzipiellen Umgang mit einem Motorrad vertraut. Da es sich für die meisten Teilnehmer bei dem Versuchsmotorrad aber um ein Motorrad handelt, das sie selbst privat nicht fahren, hatten die Teilnehmer zu Beginn der Versuche zunächst die Möglichkeit sich mit dem spezifischen Handling des Versuchsmotorrads in Form von ca. 20-minütigen Eingewöhnungsfahrten auf dem Versuchsgelände vertraut zu machen. Zur nachträglichen Analyse und besseren Beurteilung der Fahrdaten, insbesondere hinsichtlich der Vergleichbarkeit der Ergebnisse, wurden die Versuchsteilnehmer vor und nach jedem Manöver (z.B. zur Kritikalität des Manövers und zur Einhaltung der Vorgaben) befragt. Auch der Versuchsleiter hat jede Fahrt mit seinem Blick von außen subjektiv bewertet, beispielsweise hinsichtlich der genutzten Fahrlinie und etwaigen Instabilitäten des Versuchsmotorrades.

Realverkehrsfahrten

Für die Untersuchungen des Fahrerverhaltens unter möglichst realistischen Fahrbedingungen wurden Fahrten im realen Verkehr durchgeführt. Bei der Auswahl der Strecke wurde darauf geachtet, dass der Fokus auf dem beliebten und typischen Terrain von Motorradfahrern – den außerortsgelegenen Landstraßen – liegt. Weiterhin ist diese Ortslage, wie bereits in der Einleitung gezeigt, die größte Gefahrenzone für Motorradfahrer, sodass insbesondere dort die Analyse des Fahrerverhaltens von großem Interesse ist. Autobahnabschnitte waren nicht enthalten, da in diesen Bereichen weniger fahrdynamisch interessante Fahrsituationen, beispielsweise kurvenreiche Streckenabschnitt, zu erwarten sind. Ebenso ist der Anteil von Fahrten im Stadtbereich gering, da Kollisionen mit anderen Verkehrsteilnehmern im Stadtgebiet nicht im Fokus dieser Untersuchungen sind.

Die Verteilung der Bereiche der Realverkehrsfahrt, der Streckenverlauf und das Höhenprofil der Realverkehrsfahrt sind in der folgenden Abbildung 2-3 dargestellt. Es wurde darauf geachtet, dass die Strecke abwechslungsreich ist und möglichst viele, unterschiedliche fahrdynamisch relevante Fahrsituationen vorkommen können. Dazu zählen beispielsweise schnelle und langsame Geradeausfahrten auf Landstraßen und in Ortschaften, schnelle und langsame Links- und Rechtskurvenfahrten und Streckenabschnitte auf Landstraßen, auf denen Überholmanöver möglich sind. Die Strecke wurde so gewählt, dass diese – abhängig von der jeweiligen Fahrweise und der Verkehrslage – in etwa 1 h durchfahren werden kann.

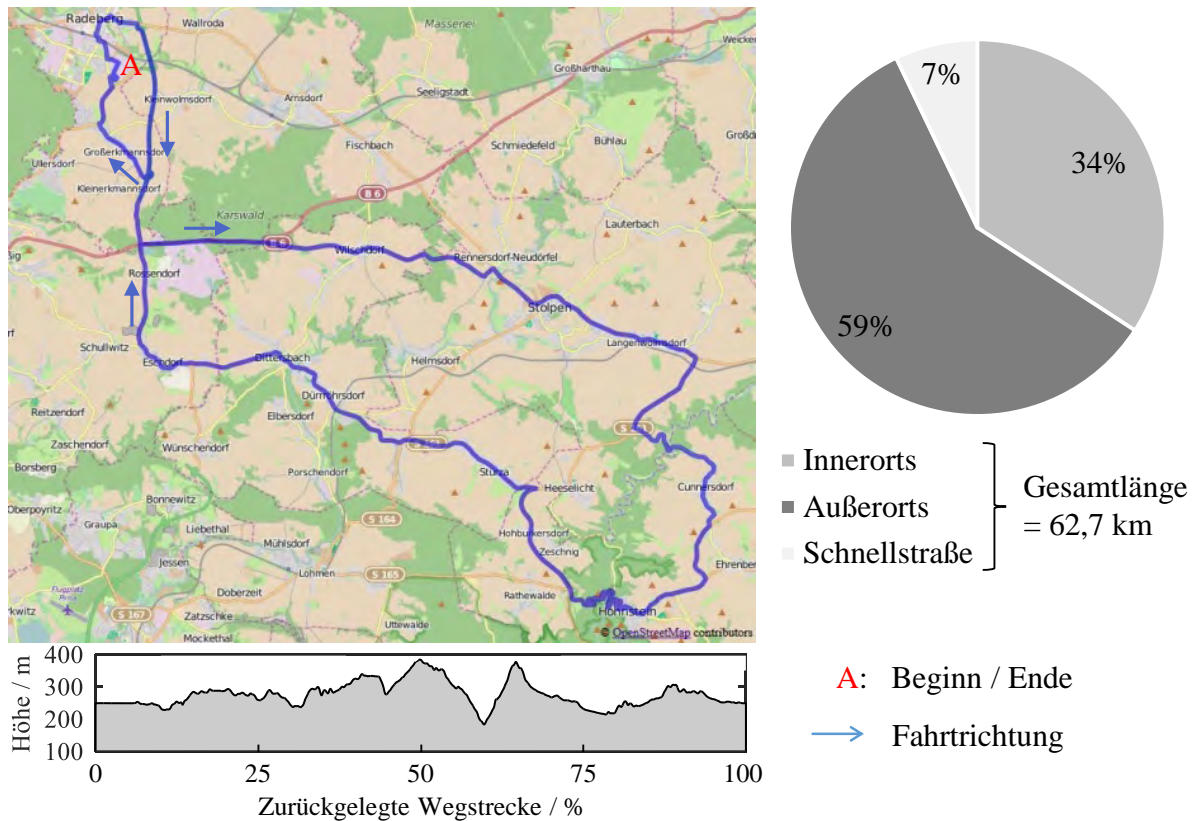


Abb. 2-3. Streckenverlauf⁶, Höhenprofil⁷ und Verteilung der Realverkehrsfahrt

Ausgehend vom Startpunkt A erfolgte zunächst eine ca. zehn-minütige Stadtfahrt. Anschließend fuhren die Probanden überwiegend auf der Landstraße durch das Gebiet der Sächsischen Schweiz, wobei einige Ortschaften passiert wurden. Die Fahrt endete wieder am Startpunkt A.

Neben dem Verkehrsaufkommen können sich aufgrund von unterschiedlichen Witterungsverhältnissen differierende Bedingungen für die Fahrer ergeben. Zur Berücksichtigung dieser bei den Auswertungen wurden diese Fahrbedingungen, wie beispielsweise die Umgebungstemperatur und die Niederschlagsbedingungen, erfasst. Auch bei diesen Fahrten im realen Verkehr wurden den Fahrern vor und nach der Fahrt Fragen zur persönlichen Verfassung und zur Strecke gestellt. Ebenso sollten gezielt Fragen zu ausgewählten, vermutlich anspruchsvollen Streckenabschnitten beantwortet werden.

⁶ Quelle: www.openstreetmap.org (überarbeitet)

⁷ Ermittelt über ein digitales Geländemodell (Datenbank des Landes Sachsen) und das aufgezeichnete GPS-Signal des Datenrekorders

Datenmaterial

Insgesamt, das heißt im Rahmen der Standardmanöver und der Realverkehrsfahrt, ergeben sich Fahrdaten über eine Gesamtzeit von ca. 29 Stunden und 11 Minuten. Die Abbildung 2-4 zeigt die prozentuale Verteilung der Daten bezogen auf den gesamten Bestand.

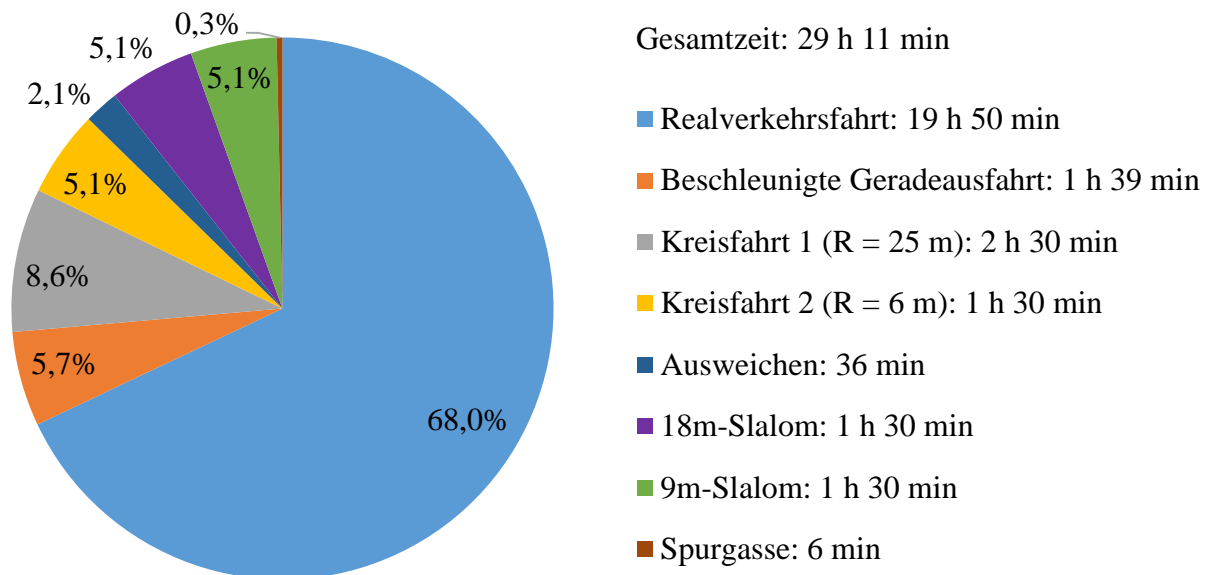


Abb. 2-4. Verteilung der generierten Daten aus Realverkehrsfahrt und Standardmanövern

Die Zeitangabe der Realverkehrsfahrten bezieht sich auf die Fahrten der 18 Teilnehmer und eine zusätzlich durchgeführte Referenzfahrt. Zum Vergleich der Fahrten der Teilnehmer mit einer einheitlichen Fahrt wurde im Rahmen dieser Referenzfahrt die gleiche Strecke abgefahren und dabei die zulässigen Höchstgeschwindigkeiten möglichst exakt eingehalten. Bei den Standardmanövern beziehen sich die angegebenen Zeiten auf die Durchführung der reinen Manöver ohne der jeweiligen Rückfahrten zum Ausgangspunkt und ohne Stillstandsphasen. Im Mittel wurden bei jedem der 18 Teilnehmer Daten von etwa 1 h 40 min Fahrt mit dem Motorrad aufgezeichnet.

3 Analyse des Fahrerverhaltens

Bei der Auswertung der Versuchsfahrten liegt der Fokus auf der Analyse des Fahrerverhaltens, insbesondere im Hinblick auf mögliche Sicherheitsreserven. Ein möglicher Einfluss des Versuchsmotorrades auf dieses Verhalten wird aufgrund des diesbezüglich überwiegend positiven Feedbacks der Teilnehmer bei diesen Untersuchungen als vernachlässigbar eingeschätzt.

3.1 Testgelände

Bei der Auswertung der Daten ist festzustellen, dass Fahrer mit geringer Fahrerfahrung die jeweiligen Fahrmanöver tendenziell als anspruchsvoller und kritischer empfinden als erfahrene Fahrer. Im Folgenden werden am Beispiel der beschleunigten Geradeausfahrt mit der Intensität „stark“ und dem Ausweichen ohne Abbremsen die generierten Daten bezüglich des Fahrerverhaltens analysiert.

Beschleunigte Geradeausfahrt

Mit der beschleunigten Geradeausfahrt wird in erster Linie das Verhalten der Probanden bei Verzögerungen analysiert. Hinsichtlich der Verkehrssicherheit ist insbesondere das Bremsverhalten der Teilnehmer bei der Vorgabe, stark zu verzögern, relevant, da dies im Falle einer herannahenden Kollision entscheidend sein kann und die Fahrer auf ihre Erfahrung und Kompetenz zurückgreifen müssen. Je höher die erreichte Verzögerung ist, desto höher ist die Chance, eine Kollision zu vermeiden. In der Abbildung 3-1 sind die von den Teilnehmern erreichten Verzögerungswerte bei der Abbremsung mit der subjektiven Intensität „stark“ dargestellt. Dabei handelt es sich um die mittleren Verzögerungswerte $a_{V,m}$ ab Beginn der Abbremsung bis zum Stillstand. Eine Abbremsung beginnt dabei mit erstmaliger Betätigung einer der beiden Bremsen.

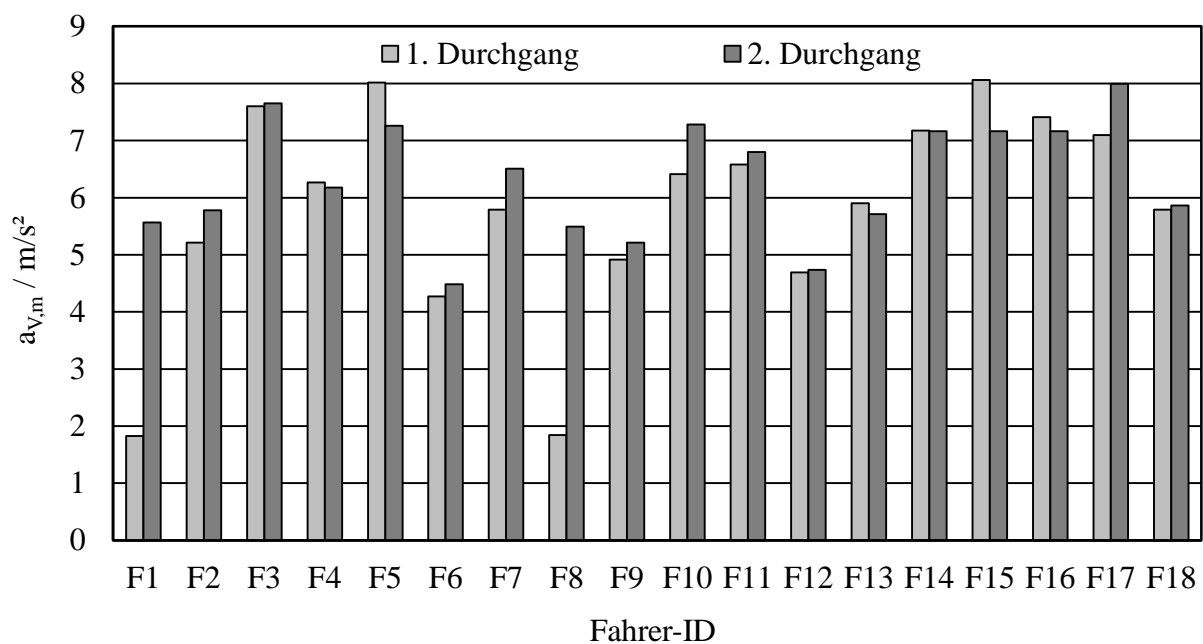


Abb. 3-1. Fahrerbezogene, mittlere Verzögerung bei subjektiv starker Abbremsung

Die im ersten Durchgang erreichten mittleren Verzögerungen von Fahrer F1 und F8 mit jeweils $1,8 m/s^2$ resultieren aus einer nicht entsprechend der Vorgabe durchgeführten Abbremsung und werden somit in den Auswertungen nicht berücksichtigt. Damit ergeben sich beispielsweise für den zweiten Durchgang mittlere Verzögerungen im Bereich von $4,5 m/s^2$ durch Fahrer F6 und $8,0 m/s^2$ durch

Fahrer F17. Der Fahrer F3 bremste das Motorrad im zweiten Durchgang mit $7,7 \text{ m/s}^2$ ab und erreichte damit eine nur leicht geringere Verzögerung als Fahrer F17. Obwohl es für alle Fahrer eine subjektiv starke Abbremsung war, liegen die Werte weit auseinander. So entspricht beispielsweise die Verzögerung von F6 56% der Verzögerung von F17 und 58% der von F3. Aufgrund vergleichbarer Umgebungsbedingungen, wie beispielsweise die Witterung und die Oberflächentemperaturen von Reifen und Fahrbahn, bei den Fahrten von Fahrer F3 und F6, werden diese im Folgenden analysiert und miteinander verglichen.

Die Abbildung 3-2 zeigt die Geschwindigkeitsverläufe sowie die Betätigung der Vorder- und Hinteradbremse und der Kupplung von Fahrer F3 und F6.

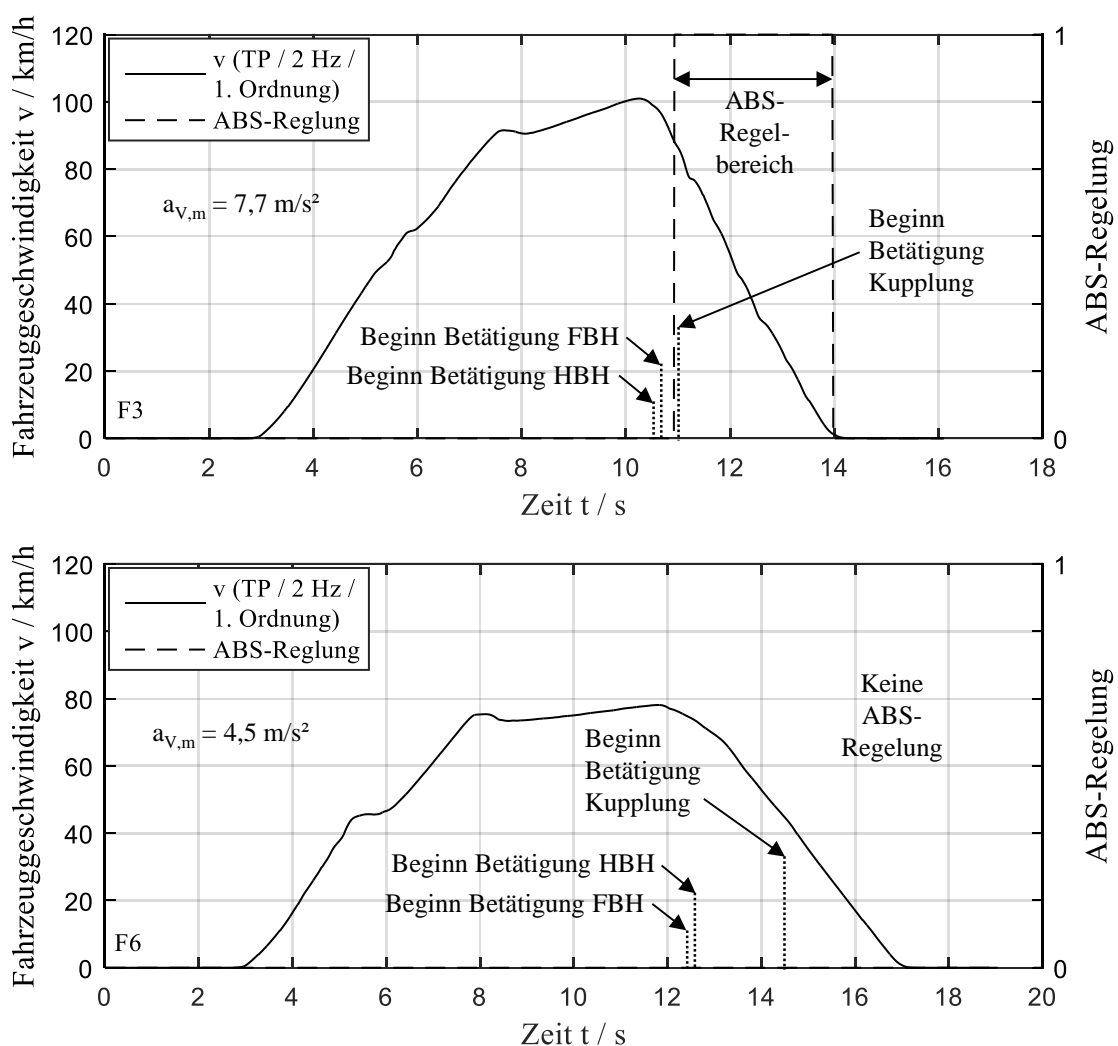


Abb. 3-2. Geschwindigkeitsverlauf von F3 und F6 bei beschleunigter Geradeausfahrt

Zunächst ist erkennbar, dass Fahrer F3 aus einer deutlich höheren Geschwindigkeit abbremsen muss als Fahrer F6. Die Ursache liegt in dem unterschiedlichen Empfinden der Beschleunigung während der Beschleunigungsphase. Bei dieser Fahrt sollten die Fahrer nicht nur subjektiv stark verzögern,

sondern auch zuvor auf einer Strecke von 90 m subjektiv stark beschleunigen und anschließend mit der erreichten Geschwindigkeit über 90 m konstant fahren, um dann bis zum Stillstand abzubremsen. In diesem Beispiel hat F3 deutlich stärker beschleunigt und damit auch eine höhere Geschwindigkeit als F6 erreicht. F3 leitet den Bremsvorgang bei 100 km/h mit der Vorderradbremse ein und F6 bei 75 km/h mit der Hinterradbremse. Bis zum Stillstand benötigt F3 etwa 3,6 s und F6 etwa 4,6 s. Der Fahrer F3 kommt während des Bremsvorgangs in die ABS-Regelung, F6 bremst hingegen ohne einen ABS-Eingriff. Beide Fahrer betätigen die Kupplung erst nachdem sie mit dem Bremsen über die Hand- und Fußbremshebel begonnen haben, wobei F6 mit etwa 2 s deutlich zeitverzögerter die Kupplung betätigt als F3. Die geringe Reduzierung der Geschwindigkeit unmittelbar vor dem aktiven Brems-Eingriff des Fahrers resultiert aus der Bremswirkung des Motors, aufgrund der Veränderung der Gasgriffstellung auf null durch den Fahrer. Den detaillierten Ablauf dieser Bremsvorgänge aus Sicht der Fahrerhandlung zeigt die folgende Abbildung 3-3, in der der Vorsteuerdruck von Vorder- und Hinterradbremse für beide Fahrten dargestellt ist.

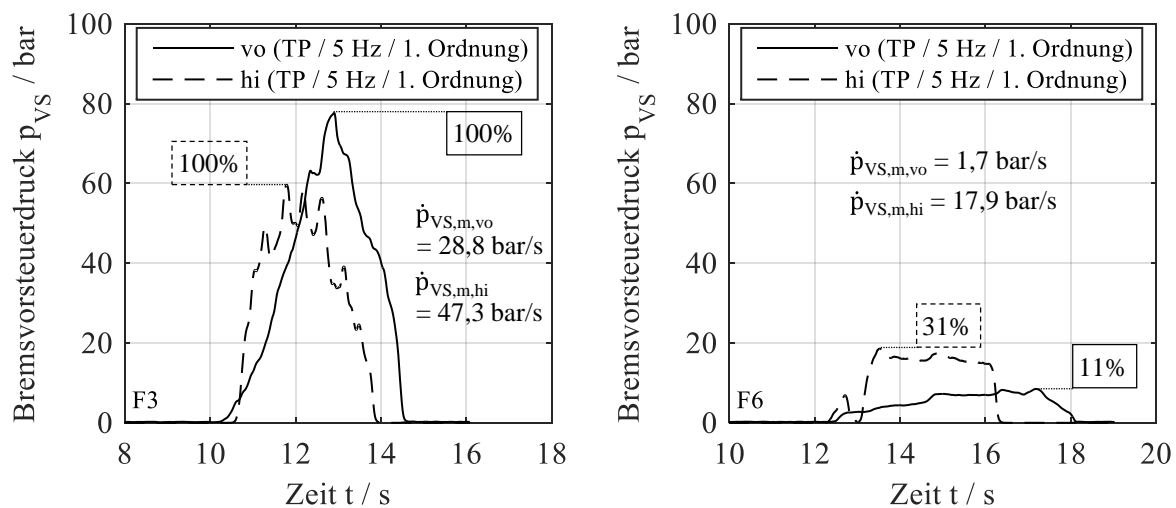


Abb. 3-3. Vergleich der von F3 und F6 aufgebrachten Bremsdrücke bei subjektiv maximaler Verzögerung

Auch in dieser Darstellung ist zu erkennen, dass der Fahrer F3 die Vorderradbremse zuerst betätigt und der Fahrer F6 die Verzögerung mit der Hinterradbremse einleitet. Bei F3 ist der mittlere Anstieg des hinteren Bremsdruckes $\dot{p}_{VS,m,hi}$ bis zum Erreichen des maximalen Bremsdruckes $p_{VS,max,hi}$ mit 47,3 bar/s höher als der des vorderen Bremsdruckes $\dot{p}_{VS,m,vo}$ mit 28,8 bar/s. Der maximal erreichte Bremsdruck beträgt bei Betätigung der vorderen Bremse etwa 77,5 bar und bei Betätigung der hinteren Bremse etwa 60 bar, das heißt F3 bremst vorn stärker als hinten. Bei dem Fahrer F6 ist der mittlere Anstieg des hinteren Bremsdruckes mit 17,9 bar/s ebenfalls höher als der des vorderen mit 1,7 bar/s. Der Aufbau des vorderen und hinteren Bremsdruckes erfolgt bei F3 somit jeweils schneller als bei F6. Auch die erreichten Maximaldrücke sind bei F3 jeweils um ein Vielfaches höher als bei

F6. So entspricht der maximale hintere Bremsdruck $p_{VS,max,hi}$ mit 19 bar bei F6 etwa 31% des von F3. Der maximale vordere Bremsdruck $p_{VS,max,vo}$ mit annähernd 8,5 bar bei F6 entspricht etwa 11% des Maximalwertes des vorderen Bremsdruckes von F3. Fahrer F6 bremst somit hinten stärker als vorn. Die Fahrer F6 und F3 unterscheiden sich demnach bei der Betätigung der Bremsen hinsichtlich Fokus der Bremsbetätigung, den Maximalwerten der Bremsdrücke und der Geschwindigkeiten des Bremsdruckaufbaus.

Die von F3 erreichte mittlere Verzögerung wird aufgrund der vergleichbaren Umgebungsbedingungen als mindestens erreichbare Verzögerung angenommen. Zur Erreichung vergleichbar hoher Verzögerungswerte wie F3, ergeben sich für Fahrer F6 folgende individuelle Verbesserungsmöglichkeiten:

- Fokus verstärkt auf vorderer Bremse
- Schnellerer Aufbau des Bremsdruckes vorn⁸
- Schnellerer Aufbau des Bremsdruckes hinten
- Erhöhung des maximalen Bremsdruckes vorn
- Erhöhung des maximalen Bremsdruckes hinten

Fahrerfahrung

Eine statistische Sicherheit liegt aufgrund der begrenzten Teilnehmerzahl nicht vor, sodass die Untersuchungen und Auswertungen zur Ableitung der Fahrerfahrung aus den generierten Daten als einsteigende Analysen betrachtet werden. Die Untersuchungen haben ergeben, dass beispielsweise durch Setzen von iterativ bestimmten, fiktiven Grenzwerten für die mittleren Beschleunigungen und Verzögerungen zur optimalen Trennung von erfahrenen und unerfahrenen Fahrern Erkennungsraten von bis zu 86% erreicht werden können. In der Tabelle 3-1 sind die optimalen Grenzwerte für die mittleren Beschleunigungen und die mittleren Verzögerungen jeweils für die Intensität „schwach“, „normal“ und „stark“ angegeben. Die Erkennungsraten sind für hohe Intensitäten, sowohl beim Beschleunigen als auch beim Verzögern am höchsten (vgl. Tabelle 3-1). So werden beispielsweise beim Setzen des Grenzwertes der mittleren Verzögerung bei Fahrten mit der subjektiven Intensität „stark“ auf 6,4 m/s² unerfahrene Fahrer zu 79% erkannt.

⁸ Durch die dynamische Radlastverteilung beim Abbremsen ist hierbei darauf zu achten, dass der vordere Bremsdruck, insbesondere zu Beginn der Abbremsung, progressiv ansteigt, um zunächst ausreichend Radlast am Vorderrad (Vertikalkraft in der Reifenaufstandsfläche) aufzubauen, sodass die anliegenden Bremskräfte übertragen werden können. Damit wird ein frühzeitiges Blockieren des Vorderrades verhindert.

Tab. 3-1. Detektion der Fahrerfahrung aus der beschleunigten Geradeausfahrt

	Beschleunigung			Verzögerung		
	N	Detektion		N	Detektion	
		absolut	relativ		absolut	relativ
Intensität	Schwach					
Fiktiver Grenzwert	1 m/s ²			2,5 m/s ²		
Erfahren	21	11	52%	20	10	50%
Unerfahren	14	10	71%	12	10	83%
Gesamt	35	21	60%	32	20	63%
Intensität	Normal					
Fiktiver Grenzwert	1,9 m/s ²			3,5 m/s ²		
Erfahren	22	15	68%	20	13	65%
Unerfahren	13	9	69%	13	8	62%
Gesamt	35	24	69%	33	21	64%
Intensität	Stark					
Fiktiver Grenzwert	3,3 m/s ²			6,4 m/s ²		
Erfahren	22	19	86%	20	14	70%
Unerfahren	14	9	64%	14	11	79%
Gesamt	36	28	78%	34	25	74%

Ausweichen

Am Beispiel des erfahrenen Fahrers F3 und des unerfahrenen Fahrers F4 werden die Fahrerhandlungen beim Ausweichen nach links analysiert. F3 hat das Fahrmanöver mit 1 bewertet und somit als unkritisch eingeschätzt. Beim Durchfahren hat er keine Pylonen berührt. Fahrer F4 hatte ebenfalls keine Pylonen berührt, ist aber nach Umfahren des Hindernisses nicht in die Ausfahrtsgasse eingefahren, sondern hat das Motorrad parallel zu dieser abgebremst. Nach eigenen Aussagen hat sich F4 nicht getraut in die Gasse einzufahren, da sich diese für F4 zu nah nach dem zu umfahrenden Hindernis befand. Das Manöver wurde als kritisch bewertet. Zur vergleichenden Analyse sind zunächst die Fahrzeuggeschwindigkeits- und Rollwinkelverläufe der zwei Fahrer in der Abbildung 3-4 dargestellt. Die Vorgabe, auf 30 km/h zu beschleunigen und anschließend mit betätigter Kupplung das Ausweichen durchzuführen, das heißt durchzurollen, haben beide Fahrer nahezu eingehalten. Die Geschwindigkeit reduzierte sich jeweils während des Manövers bei F3 und F4 von etwa 28 km/h unmittelbar vor dem Ausweichen auf ungefähr 20 km/h direkt nach dem Hindernis. Die Aussage von F4, dass sich die Ausfahrtsgasse zu nah nach dem Hindernis befindet, ist daher dem subjektiven Empfinden des Fahrers geschuldet, da andere Teilnehmer mit vergleichbaren Geschwindigkeiten das Manöver entsprechend der Vorgaben absolviert haben.

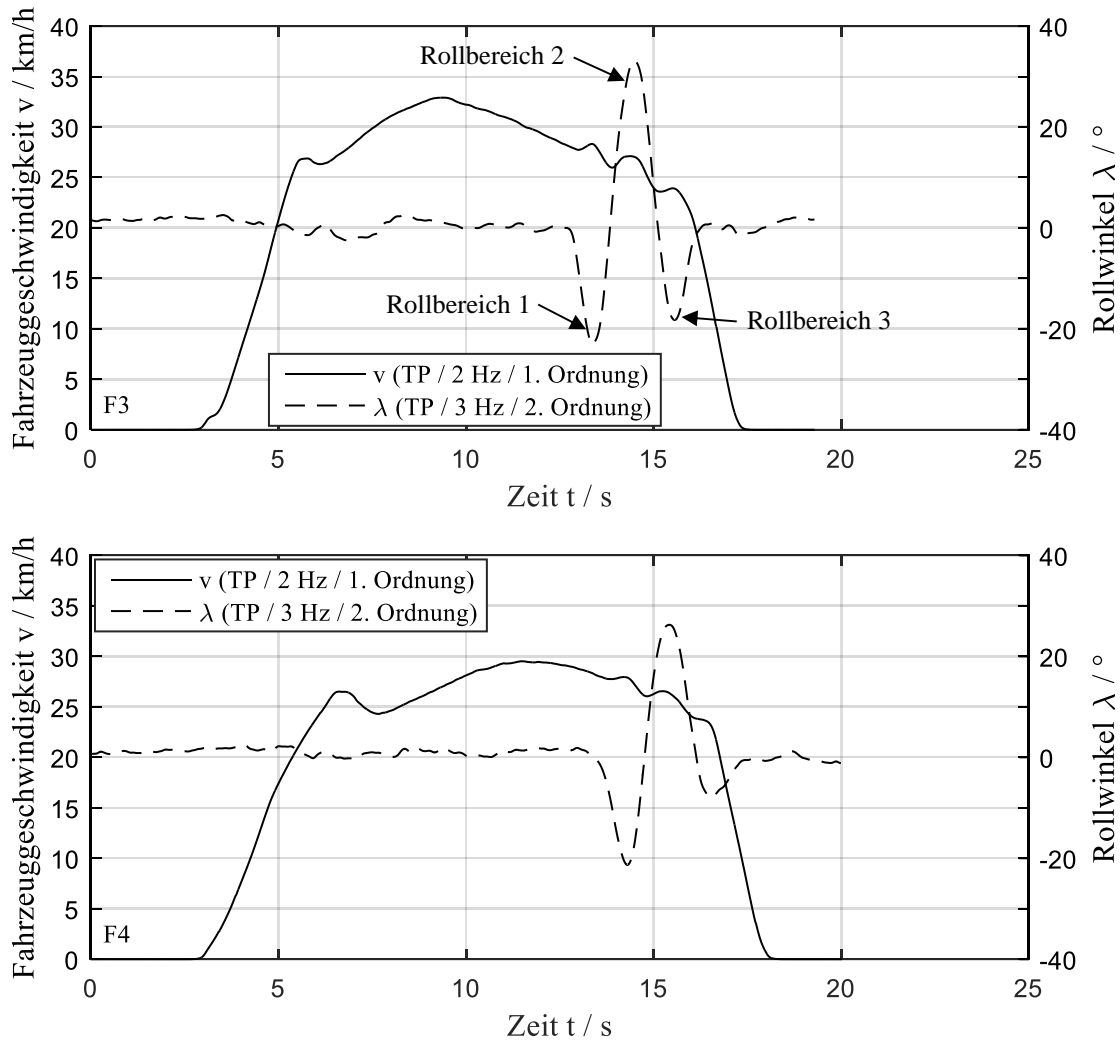


Abb. 3-4. Fahrzeuggeschwindigkeiten und Rollwinkel des erfahrenen Fahrers F3 und des unerfahrenen Fahrers F4 beim Ausweichen

Im Rollbereich 1 bringen die Fahrer das Motorrad nach links in Schräglage, um dem Hindernis auszuweichen. Anschließend wird das Motorrad in die andere Richtung nach rechts manövriert. In diesem Bereich umfahren die Fahrer das Hindernis. Im dritten Rollbereich wird wieder nach links in die Ausfahrtsgasse in Richtung der ursprünglichen Fahrtrichtung hinter dem Hindernis gefahren. Im ersten Rollbereich liegen die maximalen Rollwinkel von 21° und 22° annähernd auf gleichem Niveau. Im zweiten und dritten Rollbereich sind die maximalen Rollwinkel bei F4 dagegen geringer als bei F3. Der deutlich geringere maximale Rollwinkel bei Fahrer F4 im dritten Bereich geht damit einher, dass der Fahrer nicht vollständig auf die ursprüngliche Fahrlinie zurückgefahren ist und neben der Ausfahrtsgasse angehalten hat. Zur Analyse der möglichen Ursachen ist die Analyse der Intensität des Rollwinkelaufbaus erforderlich. Dazu sind in der Tabelle 3-2 die von den Fahrern aufgetragenen mittleren und maximalen Rollraten für die drei Bereiche gegenübergestellt.

Tab. 3-2. Rollratenvergleich von F3 und F4 beim Ausweichen

Fahrer-ID	Rollbereich	Parameter	
		Mittlere Rollrate $\dot{\lambda}_m / \text{°/s}$	Maximale Rollrate $\dot{\lambda}_{\max} / \text{°/s}$
F3	1	-34,4	-52,5
	2	50,2	88,1
	3	-48,0	-77,2
F4	1	-21,7	-41,2
	2	42,1	73,6
	3	-30,6	-55,0

Die mittleren und maximalen Rollraten sind bei F3 in jedem Bereich höher als bei Fahrer F4. Beispielsweise beträgt die mittlere Rollrate $\dot{\lambda}_m$ bei Fahrer F3 im ersten Bereich -34,4 °/s. Der Fahrer F4 bringt in diesem Bereich dagegen mit -21,7 °/s lediglich etwa 63 % der mittleren Rollrate von F3 auf. Mit entsprechend höheren Rollraten hätte Fahrer F4 in der zur Verfügung stehenden Zeit entsprechend höhere Rollwinkel aufbauen und somit das Fahrmanöver analog F3 optimal durchfahren können. Ein schneller Aufbau von Schräglagen kann über entsprechende Lenkimpulse erreicht werden. Durch Ziehen oder Drücken am Lenkerende kann das erforderliche Lenkmoment erzeugt werden. In der Abbildung 3-5 sind die Verläufe des linken und rechten Lenkmomentes der beiden Fahrer dargestellt. Zum Vergleich sind die Rollwinkelverläufe ebenfalls abgebildet. Negative Lenkmomente deuten darauf hin, dass der Fahrer den Lenker an der entsprechenden Lenkerseite zu sich zieht. Beim Beschleunigen wird meist aufgrund der Trägheit des Fahrers am Lenker gezogen, sodass sich negative Lenkmomentwerte einstellen. Entgegengesetzt verhält es sich beim Abbremsen.

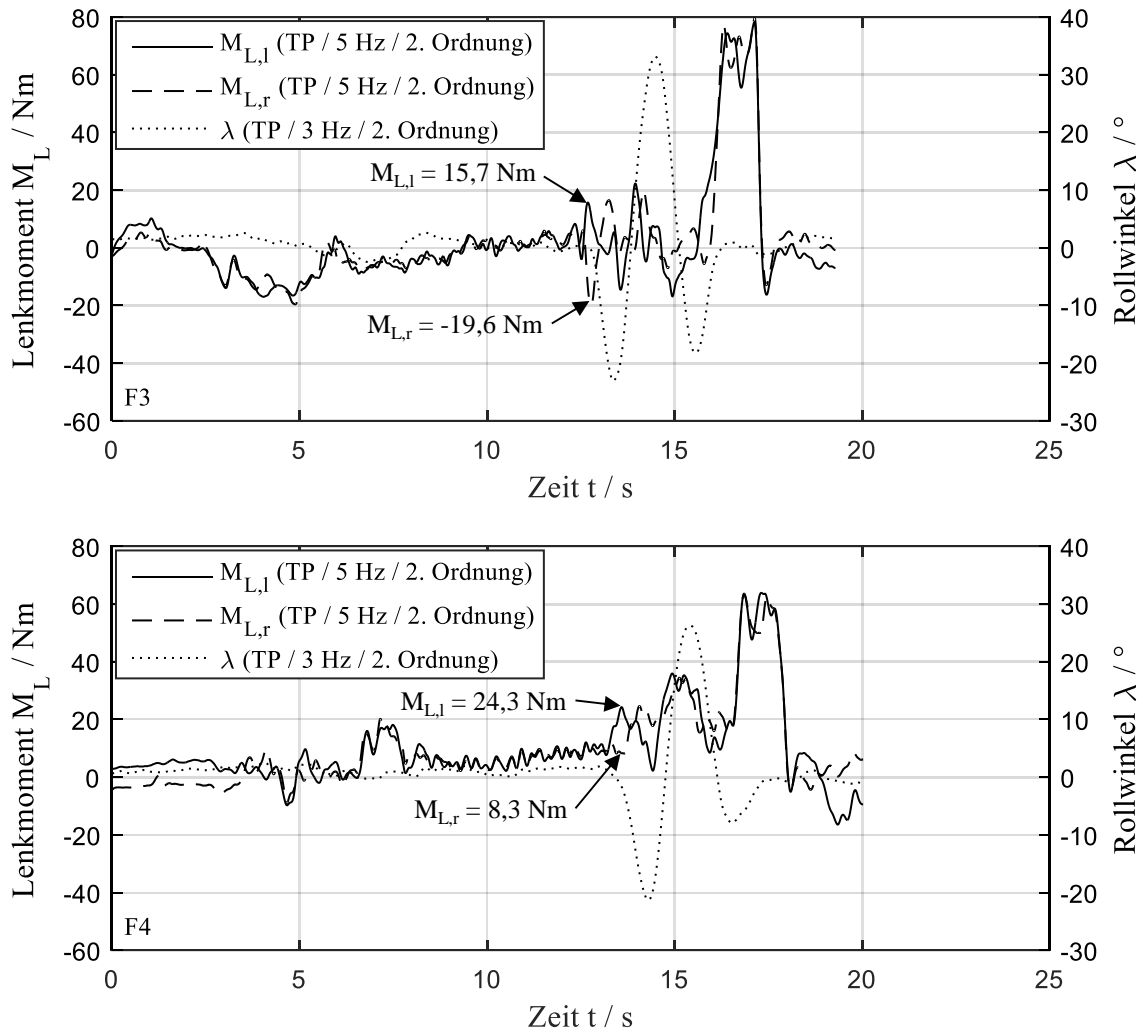


Abb. 3-5. Lenkmomentverläufe von F3 und F4 beim Ausweichen

In dieser Abbildung sind weiterhin am Beispiel des ersten Rollbereichs die aufgebrachten linken und rechten Lenkmomentwerte, mit denen die Fahrer diesen Rollbereich einleiten, dargestellt. Das resultierende durch den Fahrer eingeleitete Gesamtlenkmoment $M_{L,g}$ wird durch Subtraktion des linken $M_{L,l}$ von dem rechten Lenkmoment $M_{L,r}$ berechnet. Die jeweiligen Maximalwerte an der Stelle sind für beide Fahrer in der folgenden Tabelle 3-3 enthalten. Das maximale Gesamtlenkmoment bei dem Fahrer F3 beträgt -35,5 Nm. Dagegen bringt der Fahrer F4 nur -16 Nm, also etwa 45% des Lenkmomentes von F3, auf.

Tab. 3-3. Gesamtlenkmoment und Kräfte in der Lenkebene beim Ausweichen

Fahrer-ID	$M_{L,g}$ / Nm	$F_{L,l}$ / N	$F_{L,r}$ / N
F3	-35,3	42,4	-52,9
F4	-16,0	65,7	22,4

Zustände kommen diese Lenkmomente durch die in der Lenkebene aufgebrauchten Kräfte am linken und rechten Lenkerende. Diese Lenkkräfte resultieren aus dem jeweils gemessenen Lenkmoment und der geometrischen Abmessungen des Lenkers und sind ebenfalls in der Tabelle enthalten. Zum Aufbringen des entsprechenden Lenkmomentes drückt beispielsweise Fahrer F3 am linken Lenkerende mit 42,4 N und zieht gleichzeitig das rechte Lenkerende mit 52,9 N zu sich heran, um das Motorrad nach links in Schräglage zu bringen. An den Lenkkräften ist ebenfalls erkennbar, dass F4 leicht nach vorn gebeugt fährt, da die linke und rechte Kraft positiv sind, was bedeutet, dass er beide Lenkerseiten nach vorn drückt. Auch er hat die Möglichkeit links noch mehr Druck nach vorn auszuüben und rechts den Lenker heranzuziehen. Da die nach vorn gerichtete Kraft am rechten Lenkerende allerdings einem schnellen Rollwinkelaufbau nach links entgegenwirkt, sollte der Fokus auf das Ziehen am rechten Lenkerende gelegt werden. Der Fahrer F3 agiert links und rechts annähernd gleichverteilt, wobei der Fokus auf der rechten Lenkerseite durch Ziehen liegt.

Diese Analysen zeigen, dass bei dem unerfahrenen Fahrer F4 noch ausreichend Verbesserungspotential vorhanden ist und durch entsprechendes Agieren am Lenker das Fahrmanöver optimal durchgeführt werden kann. Insbesondere hätte er mit entsprechend hohen Lenkmomenten höhere Rollraten aufbringen können und dadurch fahrdynamisch günstigere Voraussetzungen geschaffen, in die Ausfahrtsgasse fahren zu können. Zusammenfassend können für Fahrer F4 bei der Durchführung dieses Fahrmanövers folgende individuelle Verbesserungsmöglichkeiten angebracht werden:

- Aufbringen von höheren Gesamtlenkmomenten durch gegensätzliches Agieren an rechter und linker Lenkerseite
- Stärkeres Drücken am linken Lenkerende beim Einleiten des ersten Rollbereichs
- Ziehen am rechten Lenkerende beim Einleiten des ersten Rollbereichs
- Geringfügige Veränderung der Sitzposition nach hinten zur Vermeidung von nach vorn gerichteten Kräften auf den Lenker (Drücken) unmittelbar vor der Einleitung von Rollbereichen

Auch wenn in diesem Beispiel der unerfahrene Fahrer geringere Rollraten als der erfahrene Fahrer aufgebracht hat, wodurch das Fahrmanöver von ihm nicht optimal durchgeführt werden konnte, kann

kein eindeutiger und direkter Zusammenhang zwischen der Einteilung der Fahrer entsprechend ihrer Fahrerfahrung und den aufgetragten maximalen Rollraten während des Ausweichens allgemein abgeleitet werden. Es besteht allerdings ein Zusammenhang zwischen der Qualität der Durchführung eines Fahrmanövers und den Rollraten. Zur Beurteilung dieser Qualität ist eine individuelle Betrachtung und detaillierte Analyse der Fahrdaten, analog des obigen Beispiels, erforderlich.

3.2 Realverkehr

Detektion verkehrssicherheitsrelevanter Fahrsituationen

Um im Nachgang aus der Vielzahl der Versuchsfahrten und umfassenden Fahrsituationen die zu detektieren, die als verkehrssicherheitsrelevant eingestuft werden können, werden unterschiedliche Werkzeuge verwendet. So wird die Herzfrequenz als erster Indikator für den personenindividuellen Anspruch herangezogen, da diese ein Indiz für den individuellen Belastungszustand einer Person beim Motorradfahren ist.[2], [3] In der Abbildung 3-6 ist der Verlauf der Herzfrequenz über der Fahrstrecke am Beispiel von Fahrer F4 aufgetragen.

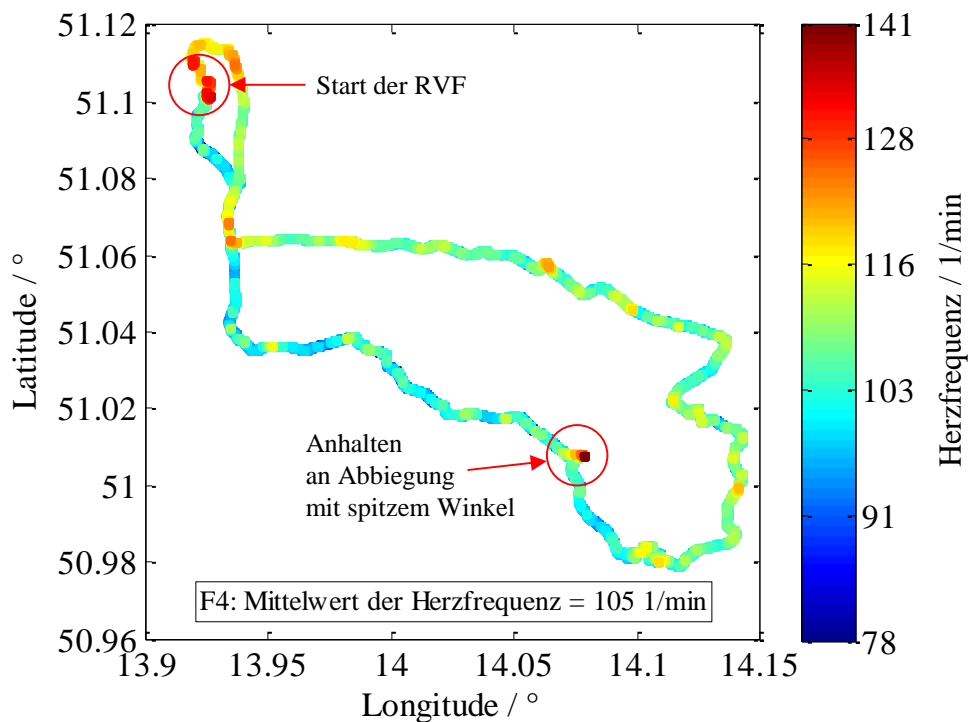


Abb. 3-6. Herzfrequenzverlauf von Fahrer F4 während der Realverkehrsfahrt (RVF)

Analog der Farbverlaufslegende im rechten Teil der Abbildung stellen blaue Bereiche geringe Herzfrequenzen und rote Bereiche hohe Herzfrequenzen dar. Die dunkelrot markierten Bereiche stehen somit im Fokus dieser Analysen. Zu Beginn der Fahrt ist die Herzfrequenz von Fahrer F4 hoch, ob-

wohl es in diesem Bereich zu keinen fahrphysikalischen und verkehrssicherheitsrelevanten Auffälligkeiten gekommen ist. Diese Tendenz ist bei nahezu allen Teilnehmern zu verzeichnen. Nach deren Aussagen waren diese aufgrund der Ungewissheit über den Verlauf der kommenden Realverkehrsfahrt angespannt. In den häufigsten Fällen sinkt die Herzfrequenz nach wenigen Minuten Fahrt. Die weitere Markierung in der Abbildung 3-6 stellt einen Kreuzungsbereich dar, an dem die Fahrer in einem spitzen Winkel nach links abbiegen. So gibt es Fahrer, wie beispielsweise F4, die Bereiche geringer Geschwindigkeiten und kleiner Kurvenradien als anspruchsvoll empfinden und sich dies auch im Verlauf der Herzfrequenz niederschlägt. In dem Fall von F4 ist die Fahrtsituation als sehr kritisch zu bezeichnen, da ein Umkippen des Motorrades nicht verhindert werden konnte. Neben diesen langsamen Passagen, wie beispielsweise beim Anhalten und Abbiegen, gibt es auch Bereiche hoher Geschwindigkeiten, die von anderen Fahrern als anspruchsvoller gegenüber erst genannten empfunden werden. In der Abbildung 3-7 ist dazu am Beispiel von Fahrer F6 der Verlauf der Herzfrequenz über der Fahrstrecke dargestellt.

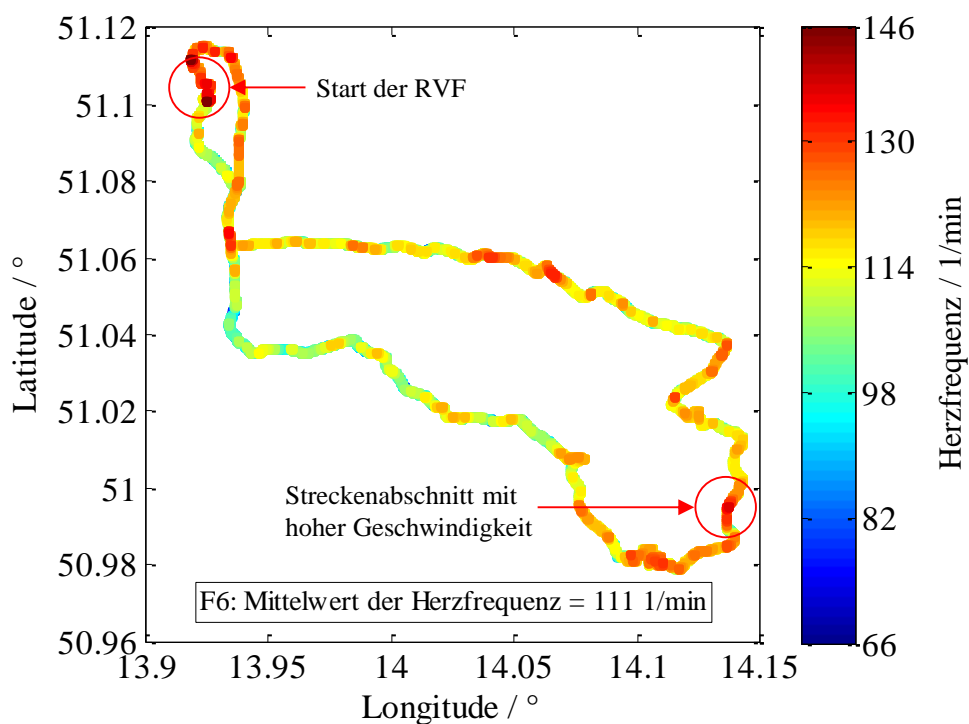


Abb. 3-7. Herzfrequenzverlauf von Fahrer F6 während der RVF

Neben dem bereits erwähnten Anstieg der Herzfrequenz zu Beginn der Fahrt, zeigt die Darstellung, dass Fahrer F6 häufig bestimmte Streckenabschnitte, beispielsweise den zweiten markierten Abschnitt, als anspruchsvoll empfindet. Nach eigenen Aussagen des Fahrers ist er in diesem außerortsgelegenen Bereich, in dem hohe Geschwindigkeiten gefahren werden, angespannter gegenüber Bereichen innerhalb geschlossener Ortschaften. Nicht nur unerfahrene Fahrer, wie F4 und F6, empfinden

bestimmte Streckenabschnitte als anspruchsvoll. So sind beispielsweise bei den erfahrenen Fahrern F3 und F15 in kurvenreichen Streckenabschnitten, insbesondere während der Fahrt auf den Serpentine bei Hohnstein, die Herzfrequenzen im Vergleich zu anderen Streckenabschnitten erhöht. Nach eigenen Aussagen haben sich die Fahrer in dem Bereich sehr konzentriert, empfinden diesen allerdings nicht als kritisch.

Auch wenn keine eindeutige, sowohl allgemeine als auch personenindividuelle, Ableitung der Verkehrssicherheitsrelevanz einer Fahrsituation möglich ist und es detaillierter fahrer-individueller Analysen bedarf, erscheint die Darstellung des Verlaufs der Herzfrequenz über der Fahrstrecke als erste Filtermethode zweckmäßig. Neben der Herzfrequenzanalyse werden ergänzend folgende Aspekte zur Detektion verkehrssicherheitsrelevanter Fahrsituationen herangezogen:

- Subjektive Beurteilung durch Fahrer (Wahrnehmung während der Fahrt und nachträgliche Videoanalyse der Onboard-Kamera des begleitenden Motorrads)
- Subjektive Beurteilung durch Begleitperson (Wahrnehmung während der Fahrt und nachträgliche Videoanalyse der Onboard-Kamera des begleitenden Motorrads)
- Persönliche Erfahrung der Begleitperson und des Fahrers bezüglich verkehrssicherheitsrelevanter Streckenabschnitte

Zur nachträglichen Offline-Detektion wird die Kombination aller Detektionswerkzeuge als besonders zielführend eingeschätzt, da diese im Rahmen der Untersuchungen häufig zu gleichen Ergebnissen führen. Das heißt, die Methoden sind teilweise redundant, womit mögliche Unsicherheiten, die bei Verwendung nur einer Methode vorliegen, reduziert werden.

Auf diese Weise wird beispielsweise eine fahrerindividuell anspruchsvolle und höchstkritische Fahrsituation der Realverkehrsfahrten detektiert. Die Fahrsituation ist dadurch gekennzeichnet, dass der Fahrer F16 in einem kurvenreichen Streckenabschnitt seine Fahrspur unbeabsichtigt verlässt und auf die Gegenfahrbahn gerät.

Beispielfahrsituation – Unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrspur

Ein solches unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrspur kann gravierende Folgen nach sich ziehen, indem der Fahrer beispielsweise mit anderen Verkehrsteilnehmern kollidiert oder gänzlich von der Fahrbahn abkommt und stürzt. In dem Fall von Fahrer F16 kam es zu keiner Kollision, da sich zum Zeitpunkt des Spurverlassens keine anderen Verkehrsteilnehmer im Gegenverkehr befanden. Die Wahrscheinlichkeit einer Kollision war allerdings sehr hoch, da dieser kurvenreiche Streckenabschnitt häufig sehr stark befahren ist und auch unmittelbar vor und nach dem Spurverlassen Fahrzeuge entgegengekommen sind.

Zur Analyse der Fahrsituation sind in der Abbildung 3-8 die Geschwindigkeits- und Rollwinkelverläufe im Zeitbereich um diese Fahrsituation dargestellt. Weiterhin sind in der Abbildung 3-9 Ausschnitte der Onboard-Kamera des Begleitfahrzeuges bezüglich dieser Fahrsituation dargestellt.

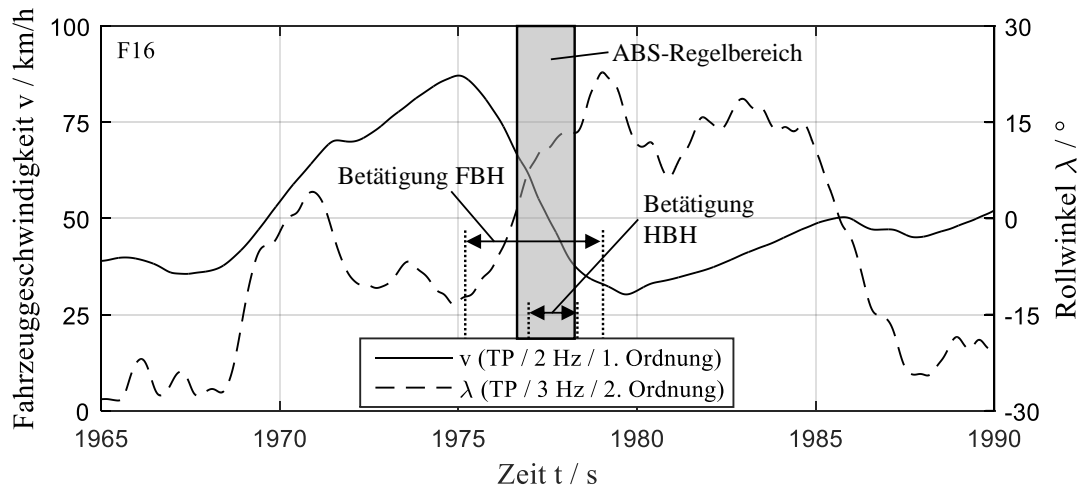


Abb. 3-8. Geschwindigkeits- und Rollwinkelverlauf bei Fahrer F16 während der RVF

Der Fahrer F16 durchfährt mit etwa 38 km/h eine Linkskurve und bringt dabei im Mittel Rollwinkel von -26° auf. Anschließend beschleunigt er am Kurvenausgang das Motorrad auf 87 km/h. In diesem Bereich befindet er sich, bedingt durch den Straßenverlauf, nicht vollständig auf einer Geraden, sondern in einer leichten Linkskurve (A), das heißt eine Kurve mit sehr großem Radius. Erkennbar ist dies in Abbildung 3-8 an den negativen Rollwinkeln. Aufgrund der nachfolgenden Rechtskurve (B) verzögert er das Motorrad ab Sekunde 1975 zunächst durch Betätigung der Hinterradbremse (FBH) und gelangt etwa 1,5 s später in den ABS-Regelbereich. Unmittelbar nach Beginn der ABS-Regelung betätigt er zusätzlich den vorderen Bremshebel (HBH). Erkennbar am Verlauf des Rollwinkels vom negativen in den positiven Bereich richtet er nahezu zeitgleich mit Beginn der Verzögerung das Motorrad auf und legt es vorbereitend auf die Rechtskurve nach rechts um (B). Am Verlauf des Rollwinkels ist weiterhin zu erkennen, dass der Anstieg im Bereich der ABS-Regelung geringer ist als unmittelbar zuvor, das heißt, dass F16 weniger Rollwinkel aufbaut. Direkt nach der ABS-Regelung löst er die Vorderradbremse und verzögert weiterhin durch Betätigung der Hinterradbremse bis auf etwa 30 km/h und bringt kurzzeitig Rollwinkel von 23° auf, das heißt er fährt einen engen Kurvenradius nach rechts. Anschließend beschleunigt er wieder und richtet dabei kurzzeitig das Motorrad auf, bevor er in Schräglage nach rechts die Kurve weiter durchfährt.

Wie bereits erwähnt, verlässt F16 in dieser Fahrsituation seine Fahrlinie (C) und Fahrspur (D) und gerät vollständig in die Gegenfahrbahn (E). Die Feststellung der exakten Zeitpunkte des Verlassens der Fahrlinie und der Fahrspur erfolgt durch nachträgliche Durchsicht des Videos der Onboard-Kamera des Begleitfahrzeuges.



Abb. 3-9. Unbeabsichtigtes Verlassen der Fahrspur

Die Zeitpunkte sind in der nachfolgenden Abbildung 3-10, die anhand der Geschwindigkeits- und Rollwinkelverläufe einen detaillierten Ausschnitt der Fahrsituation darstellt, gekennzeichnet.

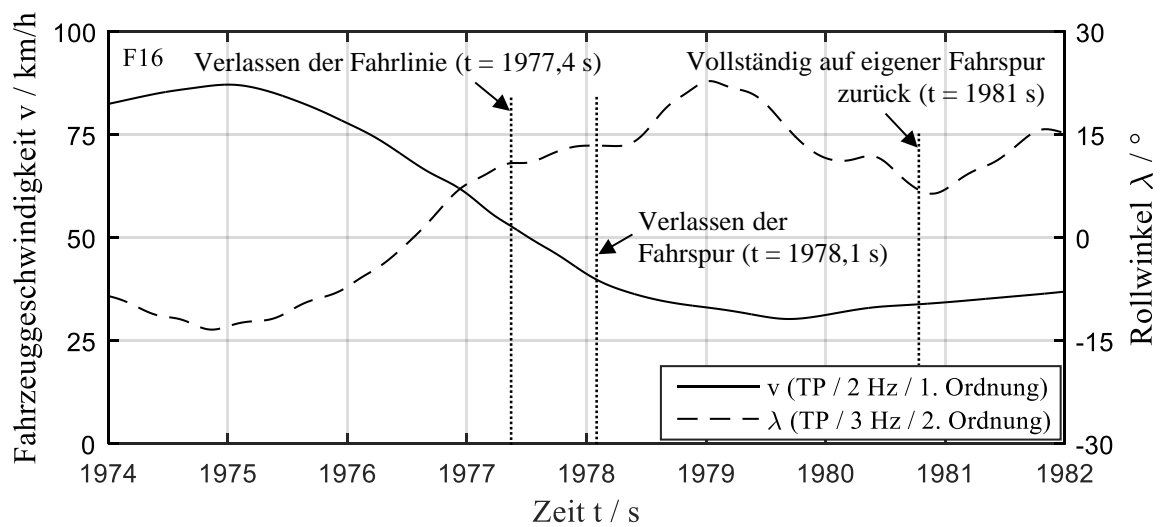


Abb. 3-10. Verlassen der Fahrlinie und Fahrspur von F16 während der RVF

Bei etwa 1977,4 s verlässt F16 seine Fahrlinie und ab etwa 1968,1 s seine Fahrspur, indem er mit dem Vorderrad die Mittellinie überfährt und anschließend vollständig auf die Gegenfahrbahn gerät. In den folgenden knapp 3 s versucht er durch Aufbau von Schräglage nach rechts zurück auf seine ursprüngliche Fahrspur zu gelangen. Ab Sekunde 1981 befindet er sich wieder vollständig auf seiner Fahrspur (F). Das Verlassen der Fahrspur hat F16 nach eigenen Aussagen nur bedingt wahrgenommen. Durch nachträgliche Befragung des Teilnehmers und gemeinsamer Durchsicht des Videos stellt sich heraus, dass er sich seines Fehlverhaltens bewusst ist, allerdings in der Fahrsituation nicht wahrgenommen hat, wie weit er tatsächlich auf die Gegenfahrbahn geraten ist. Nach eigenen Aussagen war er unsicher und hat gebremst, da er davon ausgegangen ist, dass er für diese Rechtskurve eine zu hohe Geschwindigkeit hat. Aus diesem Grund und aufgrund des wirkenden Aufstellmomentes durch das Bremsen hat er sich auch nicht zugetraut, das Motorrad weiter nach rechts in die erforderliche Schräglage zu bringen. Während dieser Realverkehrsfahrt ist er allerdings Kurven mit vergleichbarem Radius von etwa 42 m mit ungefähr 48 km/h und einem Rollwinkel von etwa 26° bereits durchfahren. Das zeigen zum einen die separaten Auswertungen der Fahrzeuggeschwindigkeiten und Rollwinkel in vergleichbaren Kurven als auch der in Abbildung 3-11 dargestellte Verlauf des Rollwinkels über der Fahrzeuggeschwindigkeit. Der rote Graph entspricht dem theoretischen Verlauf des tatsächlichen Rollwinkels nach der in der Abbildung dargestellten Gleichung für einen konstanten Kurvenradius R von 42 m.

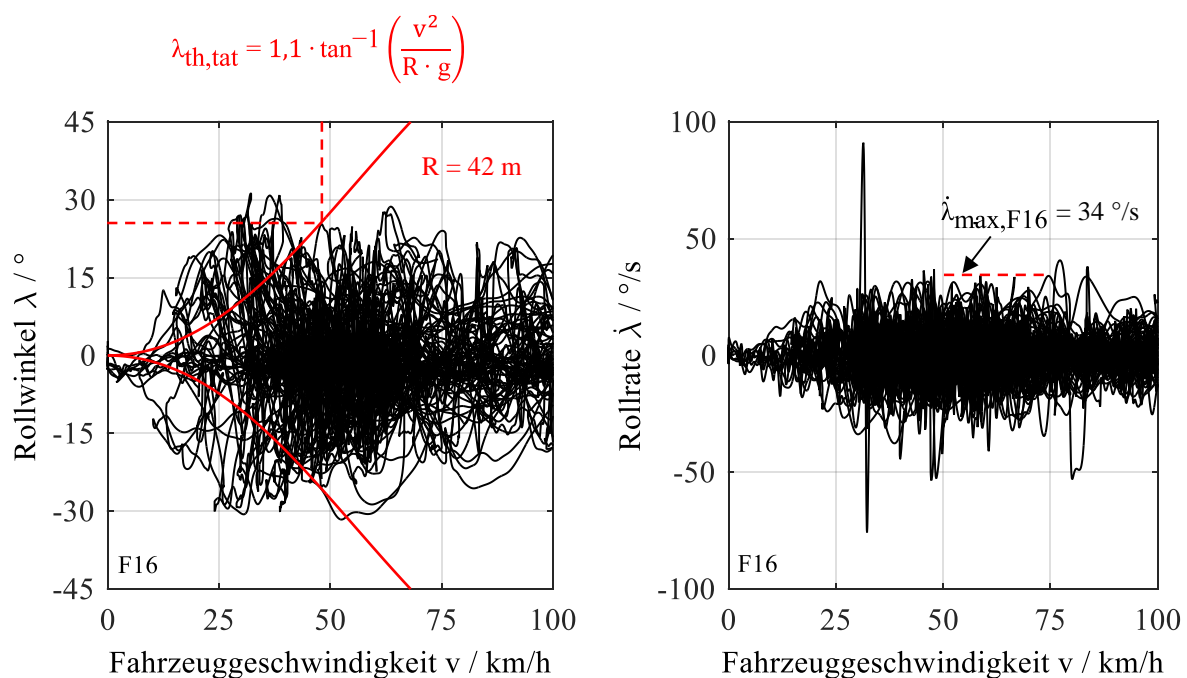


Abb. 3-11 Geschwindigkeitsbezogenes Verhalten von F16 während RVF

Ausgehend davon, dass diese Parameter seine individuellen Grenzen bei Kurven mit diesem Radius darstellen, werden diese als erreichbar angenommen. Unmittelbar vor und während des Verlassens der Fahrlinie befindet sich F16 in einem Geschwindigkeitsbereich von etwa 50 bis 75 km/h. In diesem

Bereich bringt er während der RVF bei Schräglagenaufbau nach rechts Rollraten von bis zu 34 °/s auf, wie im rechten Bereich der Abbildung 3-11 dargestellt. Auf Basis dieser Erkenntnisse sind in der Abbildung 3-12 die individuellen, theoretischen Soll-Verläufe von Rollwinkel und Fahrzeuggeschwindigkeit für zwei Möglichkeiten, mit deren Umsetzung F16 die Kurve einwandfrei durchfahren hätte können, abgebildet.

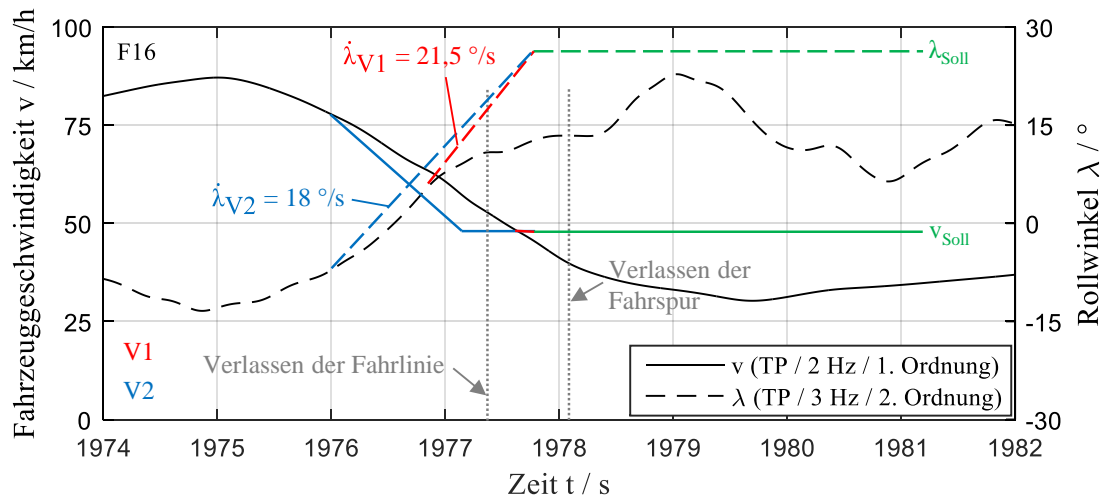


Abb. 3-12. Möglichkeiten zur Entschärfung der kritischen Fahrsituation von F16

Die erste Variante V1 ist, den Rollwinkelaufbau während der Verzögerung, wie in der Abbildung rot dargestellt, konstant fortzuführen und spätestens bei Erreichen der grün dargestellten Soll-Geschwindigkeit die Bremsen zu lösen. Eine weitere alternative Variante V2 ist es, die Geschwindigkeit vorab stärker bis zum Erreichen der Soll-Geschwindigkeit zu reduzieren und gleichzeitig den Aufbau der Schräglage nach rechts zu erhöhen und diese Rollrate bis zum Erreichen des Soll-Rollwinkels konstant zu halten. Die erforderlichen Rollraten beider Möglichkeiten liegen mit 18 °/s und 21,5 °/s unterhalb der in diesem Geschwindigkeitsbereich individuellen maximalen Rollrate von 34 °/s, sodass auch dahin-gehend eine Sicherheitsreserve vorhanden ist. Mit zunächst stärkerer Verzögerung, anschließend frühzeitigem Lösen der Bremsen und gleichzeitigem Aufbau von größeren Rollwinkeln wäre somit die Fahrsituation auch bei einer höheren Geschwindigkeit von annähernd 50 km/h unkritisch verlaufen.

Im direkten Vergleich mit anderen Teilnehmern fällt auf, dass der unerfahrene Fahrer F16 in Kurvensituationen Geschwindigkeits- und Rollwinkelbereiche nutzt, die mit denen anderer unerfahrener Fahrer vergleichbar sind. Dagegen fährt er im Bereich von Geradeausfahrten deutlich höhere Geschwindigkeiten als Fahrer adäquater Fahrerfahrung. In der folgenden Abbildung 3-13 ist das Verhalten von Fahrer F16 in der kritischen Fahrsituation jeweils zwei unerfahrenen und zwei erfahrenen Fahrern anhand der jeweiligen Geschwindigkeits- und Rollwinkelverläufe sowie hinsichtlich der Bremsbetätigungen bezogen auf die Wegstrecke gegenübergestellt.

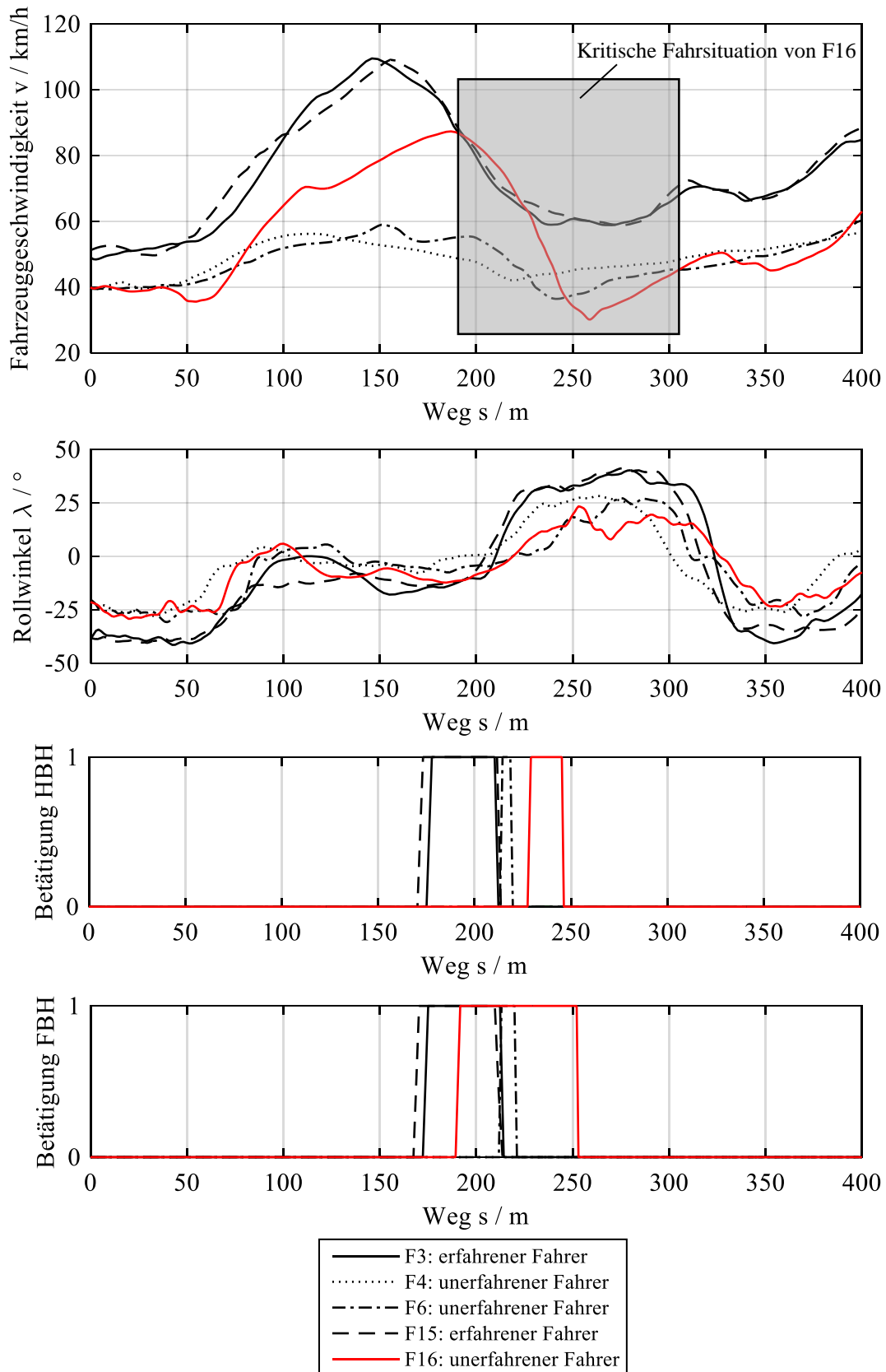


Abb. 3-13. Fahrervergleich im Bereich der kritischen Fahrtsituation von F16 während RVF

Aufgrund der geringeren Geschwindigkeiten der unerfahrenen Fahrer F4 und F6 sind bei diesen keine oder nur geringe Bremsbetätigungen erforderlich. Dagegen bremsen die erfahrenen Fahrer F3 und F15 vor der Kurve bewusst stark ab, lösen allerdings die Bremsen noch vor dem Rollwinkelaufbau nach rechts. Die Rechtskurve durchfahren die beiden erfahrenen Fahrer mit etwa 60 km/h und einem Rollwinkel von 40°. Der Fahrer F16 betätigt beide Bremsen sehr viel später, obwohl er unmittelbar vor der Kurve mit vergleichbarer Geschwindigkeit fährt wie die beiden erfahrenen Fahrer. Auch anhand dieser Darstellung ist erkennbar, dass F16 bis in die Kurve hinein bremsst. Dieser Vergleich mit den erfahrenen Fahrern zeigt weiterhin, dass hinsichtlich der Fahrzeuggeschwindigkeit und des Rollwinkels noch Potential vorhanden ist, auch wenn sich die unerfahrenen Fahrer dazu nicht in der Lage fühlen.

Globalanalyse

Die Analyse der beschriebenen Fahrsituation von Fahrer F16 zeigt, dass das individuelle und typische Verhalten der Fahrer von Bedeutung ist und bei der Bewertung von Fahrsituationen einbezogen werden sollte, aber auch die fahrerübergreifende Betrachtung nicht vernachlässigt werden sollte. Im Folgenden werden am Beispiel der Rollwinkelverläufe bezogen auf die Fahrzeuggeschwindigkeit die Fahrerverhalten der Teilnehmer während der RVF, insbesondere auf deren Unterschiede, global untersucht. In der Abbildung 3-14 sind diese für die unerfahrenen Fahrer F12 und F4 und die erfahrenen Fahrer F14 und F15 dargestellt. Der unerfahrene Fahrer F12 mit seiner defensiven Fahrweise bringt in unteren Geschwindigkeitsbereichen Rollwinkel von etwa 20° auf. Im Bereich höherer Geschwindigkeiten sinken die maximal aufgebrauchten Rollwinkel. Vergleichbares ist auch bei dem unerfahrenen Fahrer F4 und dem erfahrenen Fahrer F14 erkennbar. Allerdings sind die maximal aufgebrauchten Rollwinkel deutlich größer. Bei F14 sinken diese mit steigender Geschwindigkeit weniger stark als bei F4. Die größten Rollwinkel generiert der erfahrene Fahrer F15. Die von ihm maximal aufgebrauchten Rollwinkel sind über den gesamten Geschwindigkeitsbereich nahezu gleich groß.

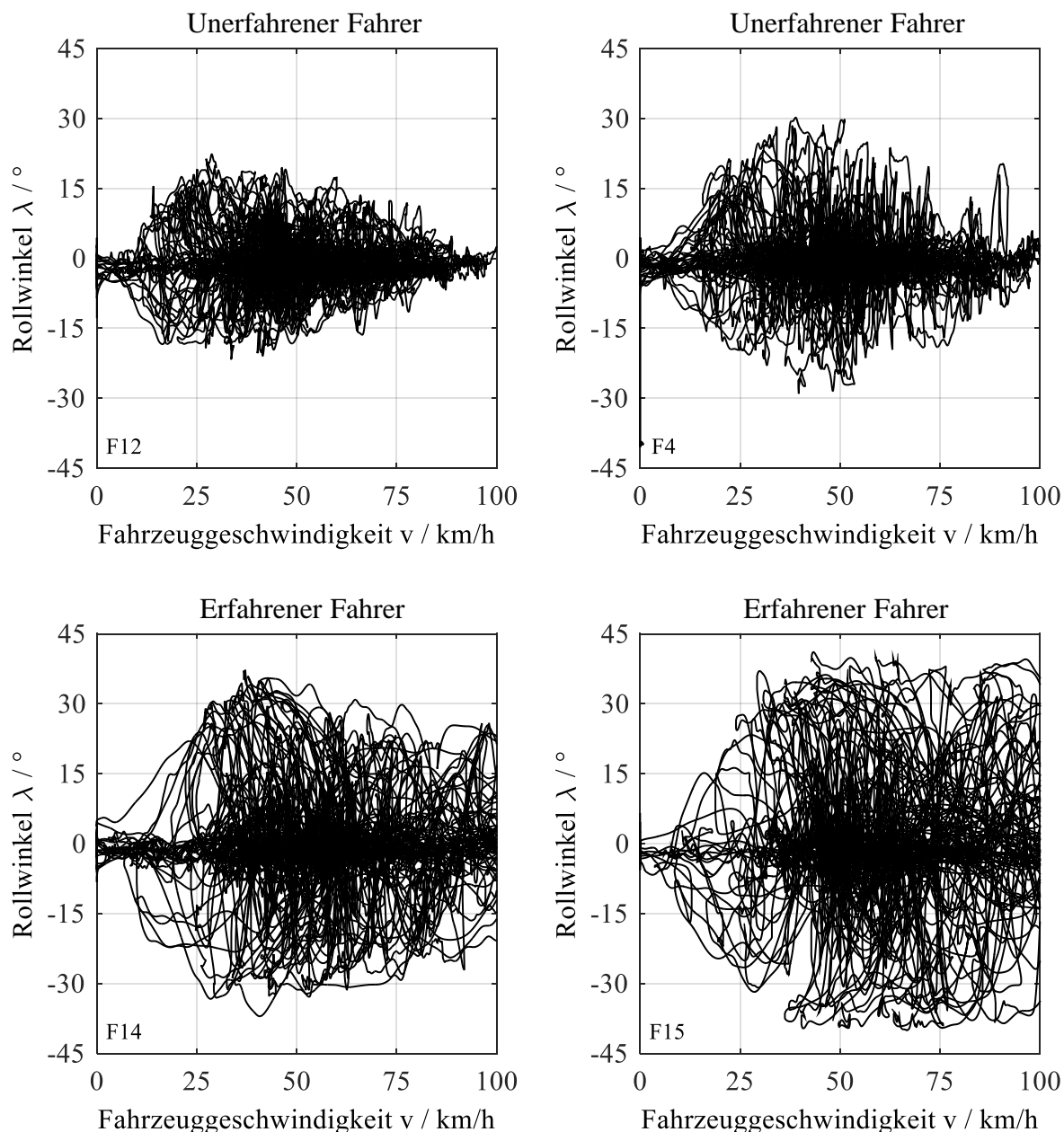


Abb. 3-14. Rollwinkel bezogen auf die Fahrzeuggeschwindigkeit für verschiedene Fahrer

Vergleichbares kann auch bei der Betrachtung anderer Parameter, wie beispielsweise der Rollraten oder der Längsbeschleunigung bezogen auf die Fahrzeuggeschwindigkeit, festgestellt werden. Auch bei Häufigkeitsverteilungen von ABS- und ASR-Regelungen oder der von Geschwindigkeitsbereichen oder Rollwinkeln sind gravierende Unterschiede erkennbar. Die erfahrenen Fahrer mit sportlicher Fahrweise überschreiten öfter die fahrphysikalische Grenze, was keine Auswirkungen auf die Einschätzung der Fahrer bezüglich der Kritikalität hat. Eine verallgemeinerte Ableitung der Fahrerfahrung aus diesen Erkenntnissen ist allerdings nicht möglich.

4 Ableitung von Unterstützungsmaßnahmen für Motorradfahrer

Die Auswertungen der Versuche zeigen, dass sich die Fahrer in ihrem Verhalten beim Motorradfahren mitunter stark unterscheiden. Schon bei zentralen Fahrsituationen wie beispielsweise dem Abbremsen sind verkehrssicherheitsrelevante Unterschiede erkennbar. Die Fahrer haben im Sinne der Verkehrssicherheit und der Erhöhung von Sicherheitsreserven bezüglich ihrer Handlungen zuweilen deutliches Verbesserungspotential. Bei Nutzung dieses Potentials würden sich größere Sicherheitsreserven ergeben.

Auch im Rahmen der Auswertungen der Realverkehrsfahrten konnten vergleichbare Zusammenhänge festgestellt werden. Am Beispiel der beschriebenen Fahrsituation von Fahrer F16 wird deutlich, dass diese per se nicht kritisch war, sondern nur durch das Fehlverhalten des Fahrers sich zu einer solchen entwickelt hat. Hätte der Fahrer gewusst, dass er anders handeln muss und dies fahrphysikalisch und bezogen auf seine Fahrkompetenz auch möglich ist, so hätte er diese Art der Fahrsituation vermeiden können. Vergleichbares stellt [1] fest und gibt an, dass von den untersuchten Fahrsituationen annähernd alle kritischen Fahrsituationen hätten vermieden werden können, wenn die Fahrer mehr Rollwinkel aufgebaut hätten.

Im Folgenden wird ein Konzept zur Unterstützung des Fahrers bei der Erweiterung seiner Fahrkompetenz beim Motorradfahren vorgestellt. Der Fahrer soll dabei während oder unmittelbar nach der Fahrt über seine individuellen Defizite und Verbesserungsmöglichkeiten informiert werden, sodass er bei Bedarf diese Hinweise entweder sofort oder zukünftig beachten kann und somit das vorhandene Potential ausnutzen kann, um individuelle Sicherheitsreserven generieren oder erhöhen zu können.

Anwendungsfälle

Der Ansatz besteht darin, den Fahrer während der Standardmanöver an seine persönlichen und fahrphysikalischen Grenzen heranzuführen und gegebenenfalls diese auch zu überschreiten. Während der Realverkehrsfahrt hingegen soll der Fahrer über die entsprechenden Grenzen lediglich informiert werden, sodass er sich der möglichen Sicherheitsreserven bewusst ist. Aus diesen Gründen wird die Kombination beider Anwendungen als erfolgsversprechend eingeschätzt.

Ausgehend von den Kriterien Fahrstrecke, Zeitpunkt der Unterstützung und primär unterstützte Person ergibt sich durch Kombination der jeweiligen Optionen (vgl. Abbildung 4-1) eine Vielzahl von denkbaren Anwendungsfällen, dargestellt in der Abbildung 4-1. Das Hauptziel der Unterstützung des Fahrers kann indirekt erfolgen, indem beispielsweise der Fahrsicherheitstrainer durch Erhalt von Detailinformationen primär unterstützt wird, sodass er dem Fahrer wertvolle Hinweise geben kann. Die Anwendung der zwölf sich ergebenden Varianten ist im Rahmen der Fahrschulausbildung und bei

Fahrsicherheitstrainings denkbar. Im Rahmen der Privatfahrt sind nur die Varianten V2 und V4 denkbar, da üblicherweise keine Standardmanöver außerhalb der Fahrschulausbildung oder von Fahrsicherheitstrainings gezielt durchgeführt werden und die Privatfahrten im Realverkehr stattfinden.

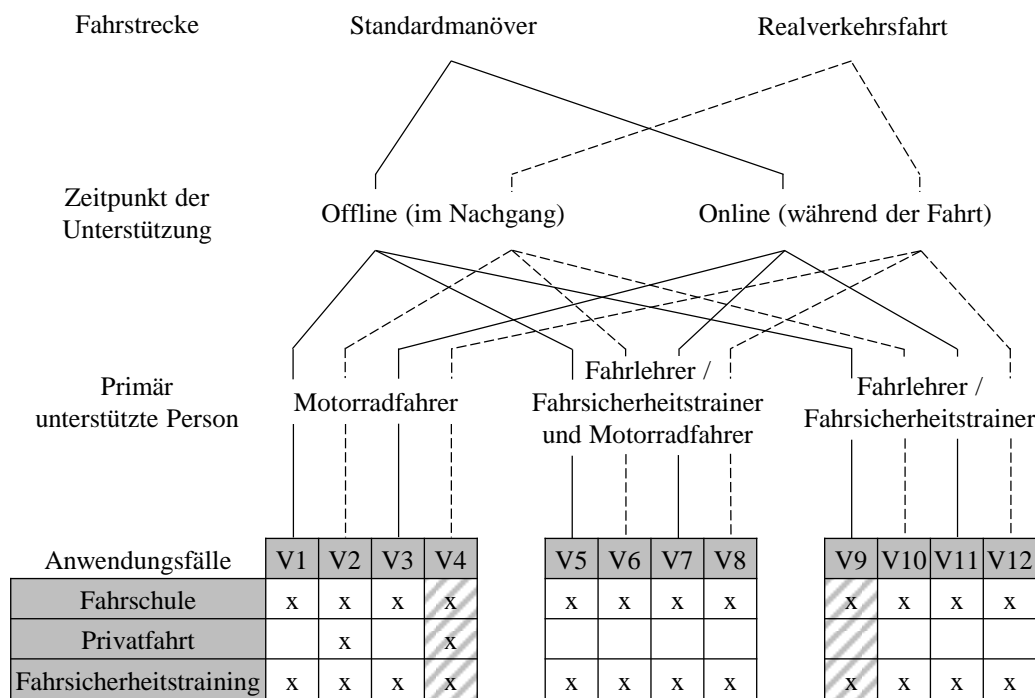


Abb. 4-1. Anwendungsfälle

Die Varianten V3, V7 und V11 werden als wenig praktikabel eingeschätzt, da während der Durchführung eines Standardmanövers das Zeitfenster zu klein ist, um gleichzeitig Hinweise aufzunehmen. Weder der Fahrer, der sich auf die Fahrt konzentriert, kann diese aufnehmen noch der Trainer oder Lehrer, der die Durchführung eines Manövers von außen beobachtet und bewertet. Die Varianten V4 und V9 werden als Vorzugsvarianten angesehen. Durch die Anwendung dieser werden die anderen Möglichkeiten mitunter mit abgedeckt, da beispielsweise Online-Informationen lediglich abgespeichert werden müssen, um sie im Nachgang offline abrufen zu können. Dem Fahrer zur Verfügung gestellte Informationen können zusätzlich einer weiteren Begleitperson bereitgestellt werden.

Offline-Fahrsituationsanalyse bei Standardmanövern

Die Offline-Fahrsituationsanalyse im Rahmen der Durchführung von Standardmanövern sieht vor, dass primär der Fahrlehrer oder Fahrsicherheitstrainer, im Folgenden als Trainer bezeichnet, unterstützt wird, indem diesem detaillierte Informationen, in Form von aufgezeichneten und berechneten Fahrparametern, zum durchgeführten Manöver bereitgestellt werden. Damit ist es dem Trainer möglich, dem Fahrer nach Beenden des jeweiligen Fahrmanövers zusätzlich zu seinem persönlichen Ein-

druck individuelle Hinweise und detaillierte Handlungsempfehlungen hinsichtlich möglicher Verbesserungen zu geben. Auf diese Weise wird dem Trainer ein unterstützendes Werkzeug zur Verfügung gestellt. Hohe Fahrerfahrung und fachliche Kompetenz des Trainers sind dabei grundlegende Voraussetzungen. Insbesondere die Erläuterung der wesentlichen manöverspezifischen Besonderheiten und die Beobachtung und Analyse der Fahrt von außen durch den Trainer sind unabkömmlich, um individuelle Verbesserungsmöglichkeiten zu besprechen.

Das Konzept sieht vor, die Fahrparameter der jeweiligen Fahrt des Teilnehmers mit denen einer optimal durchgeführten Referenzfahrt zu vergleichen. Als Positiv-Referenz sollte zunächst ein sehr erfahrener Fahrer, beispielsweise der Trainer einmal jedes Standardmanöver durchfahren. Um gleiche Bedingungen vorauszusetzen erscheint es sinnvoll, dieses unmittelbar vor jedem Manöver am gleichen Ort durch- und somit auch vorzuführen. Alternativ können die Referenzfahrten einmalig für verschiedene Fahr- und Umgebungsbedingungen durchgeführt werden und die Ergebnisse zukünftig herangezogen werden. Anschließend erfolgt die Durchführung des entsprechenden Standardmanövers durch den Teilnehmer. Nach Abschluss des Manövers werden dem Trainer die manöverspezifischen Parameter dieser Fahrt angezeigt und mit denen der Referenzfahrt verglichen.

Neben den bewährten Standardmanövern wird auf Basis der Erkenntnisse dieser Untersuchungen die Durchführung analog der in Tabelle 4-1 dargestellten Manöver empfohlen. Die in der Tabelle gegebenen relevanten manöverindividuellen Parameter und Informationen orientieren sich hinsichtlich ihrer Generierung an den im Rahmen dieser Untersuchung angestellten Betrachtungen und werden zusätzlich zu der Überprüfung der Einhaltung von Vorgaben, wie beispielsweise Pylonenberührungen, zur Beurteilung herangezogen. Beispielsweise ist die mittlere Verzögerung der wesentliche Parameter bei der Bewertung einer beschleunigten Geradeausfahrt. Sollten hinsichtlich dieses Parameters beachtliche Unterschiede zur Referenzfahrt vorliegen, so können über die weiteren Parameter, wie beispielsweise der Bremsdrücke, detaillierte Aussagen zu Verbesserungsmöglichkeiten getroffen werden. Beim Ausweichen wird zunächst die Durchführung der Fahrt durch Beobachtung von außen bewertet. Zur weiteren Beurteilung kann der Parameter Fahrzeuggeschwindigkeit auf Einhaltung der geforderten Ausgangsgeschwindigkeit geprüft werden. Sollten Auffälligkeiten, wie beispielsweise Pylonenberührungen oder Nichteinhaltung der Geschwindigkeitsvorgabe, vorliegen, so können die Rollraten und das Lenkmoment herangezogen werden, um Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Insbesondere die Fahrzeuggeschwindigkeit ist ein Parameter, der ein Fahrmanöver maßgeblich beeinflusst und der durch Beobachtung von außen ohne Messtechnik nicht ausreichend gut beurteilt werden kann. Allein durch Einbeziehung der Fahrzeuggeschwindigkeit in die Analyse kann beispielsweise die Beurteilung von Slalomfahrten maßgeblich verbessert werden. Damit können umfassendere Verbesserungsmöglichkeiten aufgezeigt und konkrete Handlungsempfehlungen mitgegeben werden.

Tab. 4-1. Manöverspezifische Parameter

Manöver / Durchführung	Relevante Parameter / Informationen
Beschleunigte Geradeausfahrt (wegbezogene Phasen: Beschleunigung, Konstantfahrt und Verzögerung / Beschleunigung und Verzögerung mit der subjektiven Intensität „stark“)	<ul style="list-style-type: none"> • Mittlere Verzögerung / Beschleunigung • Fahrzeuggeschwindigkeit / Bremsdrücke • Gasgriffstellung / Betätigung Kupplung • Fahrerfahrung
Kreisfahrt (kleiner Kurvenradius)	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeuggeschwindigkeit / Rollwinkel • Kurvenradius • Fahrlinie / Blickverhalten • Fahrerfahrung
Ausweichen (ohne Abbremsen / mit Abbremsen)	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeuggeschwindigkeit / Bremsdrücke • Rollwinkel / phasenbezogene mittlere und maximale Rollraten • Betätigung Kupplung • Lenkmoment links / Lenkmoment rechts
Slalom	<ul style="list-style-type: none"> • Fahrzeuggeschwindigkeit (Abweichung der mittleren Geschwindigkeit von der Soll-Geschwindigkeit, Standardabweichung) • Rollwinkel / Rollraten
Spurgasse	<ul style="list-style-type: none"> • Durchfahrtsdauer • Fahrzeuggeschwindigkeit / Gasgriffstellung • Bremsdrücke / Betätigung Kupplung • Blickverhalten / Stabilität / Häufigkeit Fußabsetzen • Fahrerfahrung

Online-Fahrsituationsanalyse im Realverkehr

Die Online-Fahrsituationsanalyse während der Fahrt im realen Straßenverkehr sieht vor, primär den Fahrer zu unterstützen, indem ihm Informationen zum aktuellen Fahrzustand bezogen auf den kommenden Fahrzustand bereitgestellt werden. Mit Hilfe dieser Zustandsbewertungen und -vergleiche werden dem Fahrer Handlungsempfehlungen gegeben. Der Fahrer kann bei Bedarf diesen folgen und damit möglicherweise einer herannahenden kritischen Fahrsituation entgegenwirken. Auch bei Vernachlässigen dieser Vorschläge ist davon auszugehen, dass der Fahrer allein durch die Informationsaufnahme ein Bewusstsein für verschiedene Fahrsituationen entwickelt. Auf diese Weise wird ihm ein Werkzeug zur Erweiterung seiner Fahrkompetenz beim Motorradfahren zur Verfügung gestellt.

Am Beispiel einer Fahrsituation wird in den Abbildungen 4-2 und 4-3 das Konzept der Online-Fahrsituationsanalyse im realen Verkehr erläutert. Die Abbildung 4-2 zeigt den Verlauf einer Rechtskurve in der Draufsicht und exemplarisch ein zugehöriges λ -v-Diagramm und die Abbildung 4-3 stellt den zugrundeliegenden Algorithmus zur Fahrsituationsanalyse schematisch dar. An der Stelle 1 befindet sich der Fahrer mit dem Motorrad im aktuellen Zustand Z1. Der Ist-Zustand Z1 ist über die ak-

tuelle Fahrzeuggeschwindigkeit v_{Z1} , der aktuellen Beschleunigung a_{Z1} und dem aktuellen Rollwinkel λ_{Z1} sowie der Position P_{Z1} definiert. Weiterhin liegt an dieser Stelle der aktuelle Kurvenradius R_{Z1} an. Der Soll-Zustand Z2 ist durch die gleichen Parameter an der Stelle 2, das heißt bezogen auf die kommende Fahrsituation definiert.

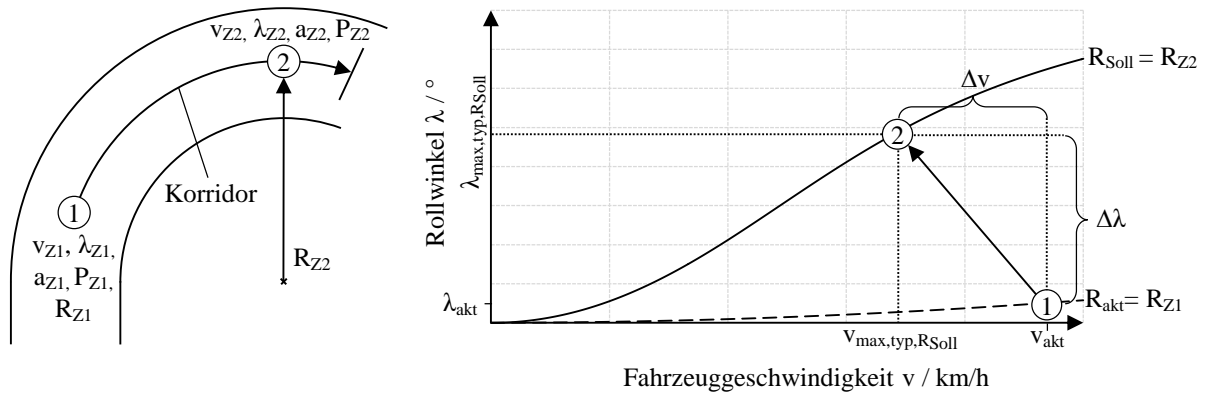


Abb. 4-2. Beispielsituation zur Online-Fahrsituationsanalyse im RVF

Der Fahrer fährt somit vom Zustand Z1 in den Zustand Z2. Die aktuelle Position P_{Z1} wird über die aktuellen GPS-Koordinaten und entsprechenden Kartendaten im Bereich der Positionsbestimmung ermittelt. Im nächsten Schritt wird die kommende Fahrsituation detektiert, indem ein vorausliegender Korridor, der einer Funktion der Fahrzeuggeschwindigkeit entspricht, festgelegt wird. Die Position P_{Z2} entspricht der Stelle, an der der Kurvenverlauf innerhalb des definierten Korridors den kleinsten Radius annimmt. Es wird davon ausgegangen, dass dieser Kurvenbereich fahrdynamisch am anspruchsvollsten und damit am potentiell kritischsten ist. Ausgehend von diesem Kurvenradius R_{Soll} an der Stelle 2 werden auf Basis der Fahrhistorie der typische und theoretische Maximal-Rollwinkel $\lambda_{\text{max,typ,R}_{\text{Soll}}}$ und die entsprechende Maximal-Geschwindigkeit $v_{\text{max,typ,R}_{\text{Soll}}}$ in Kurven mit vergleichbaren Radien ermittelt. In der Fahrhistorie sind dabei alle relevanten Fahrdaten bezogen auf verschiedene Kurvenradien abgelegt. Im Bereich der Zustandsbewertung erfolgen in erster Linie unabhängig voneinander Vergleiche bezüglich der Geschwindigkeiten und der Rollwinkel. Sofern die aktuelle Geschwindigkeit kleiner oder gleich der typischen Maximalgeschwindigkeit für die Stelle 2 ist, erfolgt keine Warnung. Ist die aktuelle Geschwindigkeit höher, erfolgt zunächst eine Differenzbetrachtung. Sofern die Geschwindigkeitsdifferenz Δv kleiner als der festgelegte und parametrierbare Grenzwert x ist erfolgt eine Warnung auf der weniger kritischen Stufe 1. Ist die Geschwindigkeitsdifferenz größer oder gleich diesem Grenzwert x , wird zusätzlich die Beschleunigung in Längsrichtung hinzugezogen. Ist diese ausreichend hoch, das heißt größer dem ebenfalls parametrisierbaren Grenzwert y , so wird davon ausgegangen, dass der Fahrer die hohe Geschwindigkeitsdifferenz noch verringern kann. In dem Fall erfolgt ebenfalls eine Warnung auf der Stufe 1. Sofern die Beschleunigung kleiner dem

Grenzwert y ist, wird dagegen auf der Stufe 2 gewarnt. Der Fahrer ist dazu angehalten die Geschwindigkeit stärker zu reduzieren.

Parallel zu diesen Betrachtungen erfolgt der Vergleich des aktuellen Rollwinkels mit dem typischen Maximal-Rollwinkel an der Stelle 2. Ist der aktuelle Rollwinkel kleiner als der typische Maximal-Rollwinkel, so wird dem Fahrer die Information bereitgestellt, dass eine Rollwinkelerhöhung möglich ist. Dem Fahrer wird dadurch mitgeteilt, dass er persönlich in der Lage ist, die Kurve auch mit größeren Rollwinkeln zu durchfahren. Es wird davon ausgegangen, dass er bestrebt ist, die Fahrlinie zu halten und dass er mit dieser Information intuitiv den Rollwinkel erhöht, sofern dies erforderlich ist. Für den Fall, dass der aktuelle Rollwinkel größer oder gleich dem Soll-Rollwinkel ist, wird keine Warnung ausgegeben. Dieses Szenario tritt auch dann auf, wenn der Fahrer aus Streckenbereichen mit kleinen Kurvenradien in Bereiche mit großen Radien, wie es beispielsweise beim Kurvenausgang der Fall ist, fährt. Bei diesem Übergang von der anspruchsvollen Fahrsituation Kurvenfahrt in die weniger anspruchsvolle Fahrsituation Geradeausfahrt wird weiterhin keine Warnung ausgegeben, da auch die aktuelle Geschwindigkeit geringer ist als die typische Maximal-Geschwindigkeit an der Stelle 2 im Bereich der kommenden Geradeausfahrt.

Durch die ausreichend hohe Auslegung der Sicherheitsreserve in Form der frühzeitigen Information zum Geschwindigkeits- und Rollwinkelzustand und ausgehend davon, dass der Fahrer der Empfehlung, die Geschwindigkeit zu reduzieren oder den Rollwinkel zu erhöhen, folgt, erübrigt sich der Vergleich der aktuellen mit der maximal möglichen Rollrate. Diese ist nur dann einzubeziehen, wenn der Empfehlung nicht gefolgt wird, was an dieser Stelle aus genannten Gründen vernachlässigt wird.

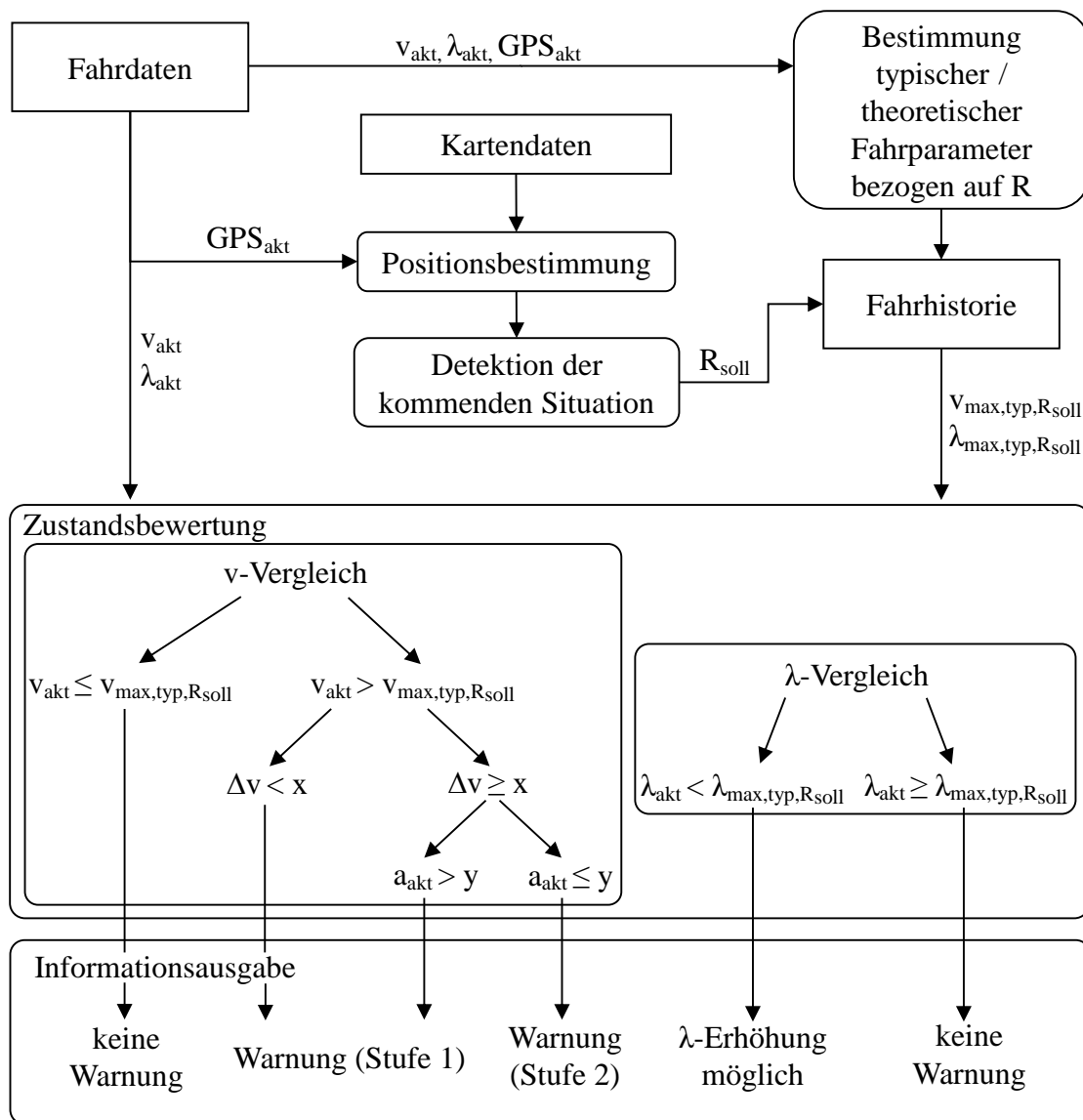
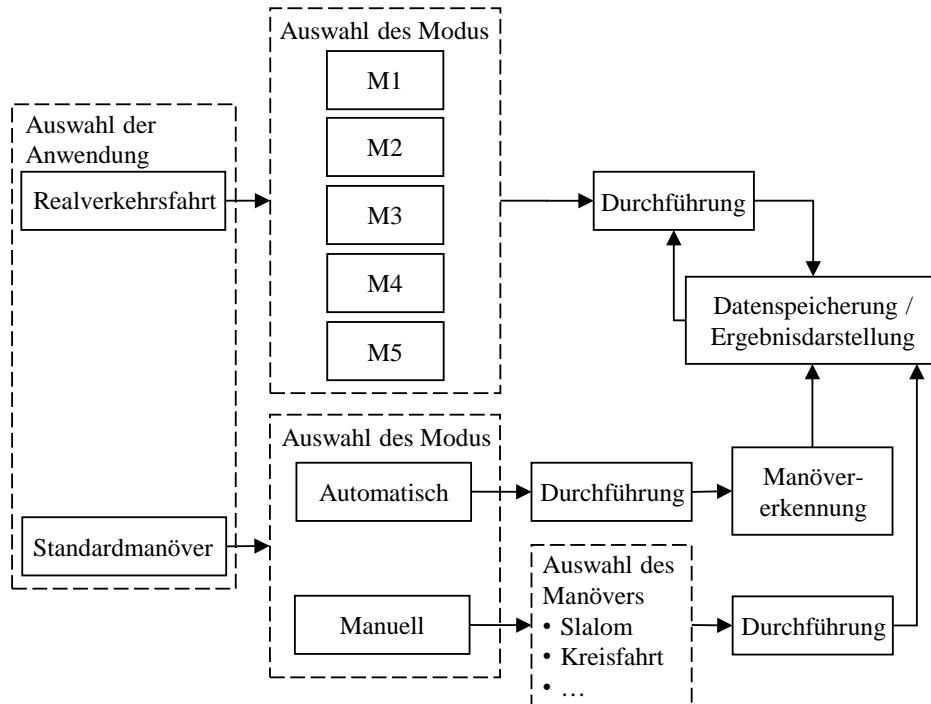


Abb. 4-3. Schematische Darstellung der Fahrsituationsanalyse

Auch bei der Online-Fahrsituationsanalyse sind Konfigurationen möglich. Je nach Fahrkompetenz und Anspruch können verschiedene Modi gewählt werden. Dabei handelt es sich im Wesentlichen um die Verstellung der Soll-Größen.

Konzeptfusion

Die Verknüpfung der beschriebenen Konzepte zur Offline-Fahrsituationsanalyse bei Standardmanövern und Online-Fahrsituationsanalyse im realen Verkehr wird als erfolgsversprechend angesehen. In der Abbildung 4-4 ist die Verschmelzung beider Konzepte in einer Anwendung schematisch dargestellt.



Vergleich aktueller Fahrparameter mit:

- M1: für den Fahrer typischen Fahrparametern
- M2: Fahrparametern eines Fahrers vergleichbarer Fahrerfahrung
- M3: Fahrparametern eines Fahrers höherer Fahrerfahrung
- M4: Fahrparametern aller (verfügbarer) Fahrer
- M5: theoretisch berechneten Fahrparameter

Abb. 4-4. Konzeptfusion

Die Analyse der kritischen Fahrsituation während der Realverkehrsfahrt von Fahrer F16 zeigt, dass schon allein der Modus M1 erfolgreich sein kann, indem die fahrerindividuellen Werte als Referenz herangezogen werden, wenn der Fahrer selbst sich deren nicht bewusst ist.

Neben der manuellen Auswahl von Fahrmanövern ist es denkbar, diese während der Durchführung anhand der Fahrdaten automatisch zu detektieren. Hierfür ist zunächst das Fahrmanöver durchzuführen, sodass anhand der Fahrdaten unmittelbar im Anschluss die Erkennung des Manövers erfolgen kann und die Ergebnisse gespeichert und dargestellt werden können.

Mögliche Ansätze zur Erkennung von Fahrsituationen untersuchte [10] am Beispiel der im Rahmen dieser Untersuchung generierten Fahrdaten. Bei einer Online-Erkennung sind die Anforderungen, insbesondere aufgrund der damit erforderlichen Echtzeitfähigkeit, entsprechend hoch. Mit wahrscheinkeitsbasierten Ansätzen unter Verwendung von Methoden der Bayes'schen Netze und der Fuzzy Logik werden vordefinierten Fahrsituationen im Mittel zu etwa 80% richtig erkannt. Die wesentlichen Ursachen der Fehldetektionen liegen in den Übergängen von Geradeaus- und Kurvenfahrten, das heißt in Bereichen geringer Rollwinkel. Mit der Kenntnis über die Folge-Bewegung des Motorrades könn-

ten die Fehldetektionen stark reduziert werden. Es ist davon auszugehen, dass bei der mit niedrigeren Anforderungen verbundenen Offline-Erkennung von definierten Standardmanövern und den damit eindeutigen Bewegungsmustern des Fahrzeugs die Erkennungsraten bei nahezu 100% liegen.

Kompakter Datenrekorder

Für die Umsetzung dieser Konzepte ist ein möglichst kompaktes und leistungsfähiges Messsystem erforderlich. Der im Rahmen dieser Untersuchungen entwickelte erste Prototyp eines solchen kompakten Datenrekorders (KDR) ist in der Abbildung 4-5 dargestellt. Vorbereitend wurden erste Teilkonzepte, wie beispielsweise die Fahrsituationserkennung, implementiert und erfolgreich getestet. Die Mitteilung der Informationen an den Fahrer kann auf unterschiedliche Art und Weise erfolgen. Für den Prototypen wurde ein Display-Modul entwickelt.



Abb. 4-5. Komponentenübersicht des Gesamtsystems des KDR

Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass bei diesen Auswertungen festgestellt werden konnte, dass Unterschiede im Fahrerverhalten, häufig bedingt durch die unterschiedlichen Fahrerfahrungen der Teilnehmer, vorhanden sind. Durch ausführliche Analysen der Fahrdaten konnten fahrerspezifische Defizite festgestellt werden. Mit dem Wissen um diese fahrerspezifischen Defizite ist es möglich, dem Fahrer individuelle Verbesserungsmöglichkeiten aufzuzeigen. Die vorgestellten Konzepte, den Fahrer bei der Erweiterung seiner Fahrkompetenz beim Motorradfahren zu unterstützen, sehen vor, Fahrsituationen während der Fahrt (online) und im Nachgang (offline) zu analysieren und damit dem Motorradfahrer Hinweise bezüglich seiner individuellen Verbesserungsmöglichkeiten zu geben. Die Unterstützung des Fahrers erfolgt dabei entweder direkt durch unmittelbare Informationsweitergabe an den Fahrer, oder indirekt durch Unterstützung des Trainers oder Fahrlehrers, dem eine objektive Bewertungsgrundlage zur Verfügung gestellt wird, sodass er dem Fahrer ausführliche Handlungsempfehlungen geben kann.

Auch wenn der entwickelte Prototyp des kompakten Messsystems noch Optimierungspotential, insbesondere hinsichtlich Bauform und Größe, hat, wurde damit eine Basis geschaffen, die vorgestellten Konzepte entsprechend umzusetzen. Für eine umfangreiche Validierung der Konzepte und Auswertungsstrategien sollten umfassende Tests mit einem solchen kompakten Messsystem beispielsweise im Rahmen von Fahrsicherheitstrainings erfolgen.

Literaturverzeichnis

- [1] Bauer, K.; Peldschus, S.; Schick, S.: Retrospektive Analyse tödlicher Motorradunfälle und Ableitung von Schutzmaßnahmen bei komplexen Bremsmanövern. 10. Internationale Motorradkonferenz, IFZ Forschungsheft 16, Köln, 2014
- [2] Hackenberg, U.: Ein Beitrag zum Fahrereinfluss auf die Fahrdynamik des Kraftrades. IFZ Forschungsheft 3, Bochum, 1986
- [3] Huber, G.; Lehmann, M.; Keul, J.: Veränderungen der Herzfrequenz und der Stoffwechselfparameter beim Langzeitmotorradfahren und Motorradbergrennen. IFZ Forschungsheft 3, Bochum, 1986
- [4] Koch, H.; Hagstotz, W.: Einflussfaktoren auf die Unfälle von Motorradfahrern. Eine Empirische Überprüfung der Annahmen und Voraussetzungen eines Stufenführerscheinmodells. IFZ Forschungsheft 6, Bochum, 1990
- [5] Koch, H.; Schulz, U.: Was beeinflusst das Unfallgeschehen von Motorradfahrern? Diskussion der Ergebnisse empirischer Studien und verkehrspädagogische Konsequenzen. IFZ Forschungsheft 6, Bochum, 1990
- [6] Kuschefski, A.; Haasper, M.; Vallese, A.: Das Sicherheitsbewusstsein von Motorradfahrern in Deutschland. 6. Internationale Motorradkonferenz, IFZ Forschungsheft 12, Essen, 2006
- [7] Maier, R.; Schindler, V.; Körner, M.; Scholz, T.; Unger, M.; Kühn, M.: Unfallgefährdung von Motorradfahrern. Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V., Unfallforscher der Versicherer, Forschungsbericht FS01, Berlin, 2009
- [8] Schulz, U.: Zur Unfallverwicklung von Motorradfahranfängern. IFZ Forschungsheft 6, Bochum, 1990
- [9] Schulz, U.; Hagstotz, W.: Zur Unfallverwicklung von Motorradfahranfängern. Analyse der Unfalldaten der Studie Motorradfahren in Deutschland: Basisstudie 1988. IFZ Forschungsheft 6, Bochum, 1990
- [10] Soch, J.: Entwicklung eines Algorithmus zur Fahrsituationserkennung von Motorrädern in Echtzeit am Beispiel der BMW R 1200 GS. Diplomarbeit, TU Dresden, 2013
- [11] Staffetius, T.; Beitelshmidt, M.: Fahrstilerkennung und Ableitung der Fahrerfahrung durch Detektion der Sitzposition und Fahrerbewegung auf dem Motorrad. 9. Internationale Motorradkonferenz, IFZ Forschungsheft 15, Köln, 2012

- [12] Statistisches Bundesamt: Verkehr – Verkehrsunfälle 2014. Wiesbaden, 2015
- [13] Statistisches Bundesamt: Verkehr – Verkehrsunfälle – Zeitreihen - 2014. Wiesbaden, 2015
- [14] Statistisches Bundesamt: Verkehrsunfälle – Zweiradunfälle im Straßenverkehr 2014. Wiesbaden, 2015
- [15] Sturzbecher, D.; Mörl, S.; Kaltenbaek, J.: Optimierung der Praktischen Fahrerlaubnisprüfung. Berichte der BASt, Reihe Mensch und Sicherheit, Heft M 243, Bergisch Gladbach, 2014
- [16] Zehn, A.; Heger, R.: Was macht die Straße für den Motorradfahrer interessant und was gefährlich? Ein Beitrag zur Erhöhung der Sicherheit von Motorradfahrern. 5. Internationale Motorradkonferenz, IFZ Forschungsheft 11, Essen, 2004

First on to Scene: Awareness of hazards by electric motorcycles

Spezifische Gefahren von Elektromotorrädern

Bjarni Freyr Guðmundsson, Jesper Vind
Future Electric ApS, Copenhagen, Denmark

Abstract

The number of electric motorcycles on the road has increased rapidly over the recent years, and are becoming more noticeable in the general traffic. This new motorcycle-trend is expected to increase more rapidly over the coming decade as users/riders become more accepted to electric propelled vehicles. Moreover, the technology becomes more accessible as companies focusing on this market grow and becoming recognizable brands.

As with most new technologies, we need to better understand the safety issues with electric motorcycles, to improve safety. Today voltage is being pushed well beyond the touch-safe limits of 60 VDC and the energy capacity results in a potentially high short circuit current. The safety issues addressed in this paper are the ones which arise in case of accidents. This increases hazard risk of emergency response personnel and general public who are first to scene on accident sides. The increased risk is due to the lack of awareness and understanding on electric motorcycle characteristics.

Throughout own experience and a research on user's experience, Future Electric identifies in this paper some of the most common hazards of electric motorcycles, hazards that experienced ICE motorcyclist's or emergency personnel are commonly not aware of. This identification is the first step towards lowering hazard risks that the new technology brings to the general infrastructure.

Two approaches are proposed to lower this risk. Firstly, by education of both emergency staff and general public on the response to electric motorcycle accidents. Secondly, by implementing system protocols that eliminates the risk factors.

First on to Scene: Awareness of hazards by electric motorcycles

1 Introduction

In the recent years' electric motorcycles have gained an increased market share. Though this market share is still considerably small, it is expected to increase within the next few years.

In this study safety and hazard concerns are pointed out that might result in case of an accident. The identification of the potential hazards is based in Future Electric's experience, and a survey. This study is limited to two and three wheelers of category L3e and higher.

2 Availability

After a rocky start due to safety issues in the late 90s, the Li-ion battery industry established a strong momentum in the early 2000s, as the technology proved to be safe and reliable. Due to the mass manufacturing of Li-ion batteries for the cell phone market, the cells became more accessible to commercial market. This availability ignited the electric vehicle market. Today several companies are mass producing electric motorcycles, and more are expected to arise. Most of the larger, already established ICE motorcycle manufactures have commercialized low powered two wheelers.

Variety of electric motorcycles are available today, ranging from light off-roaders to powerful sport bikes. Several companies have managed to established a market and are mass producing.

The global market is estimated to be 20k to 40k units/year in 2016, and projected to reach 100k units in 2020 [1]. One of the limiting factors of the scaling-up for electric vehicles is the production rate of batteries cells. Larger manufactures seem to be entering the market, first with low powered vehicles, requiring smaller battery, and then move onto larger two-wheelers. The electric motorcycles are therefore becoming more common on public roads.

When new technology catches on, it is normal that new safety issues arise. The ICE motorcycle is a matured technology, most of its initial issues have been removed or reduced by years of development. On the other hand, the electric motorcycle is an immature technology, little effort in development can lead to effective changes. As technological limits are pushed on early stages, issues arise, some of which compromise safety.

A. One-off

One-offs motorcycles of particular interest are the ones build for racing and speed attempts. Looking at the design of such MCs gives a hint of what might be expected in production models later. Also,

this user group is most likely to experience some the early-on safety issues. Other one-offs are custom made and conversion projects, either done by individuals or small companies.

B. Off-Road

One of the first mass produced electric motorcycle was an off-roader, by Zero Motorcycles. Since then KTM have released their Freeride model and more new manufactures are expected to launch a product soon, including ALTA motors.

C. On-Road

The number of on-road electric motorcycles in traffic is growing and starting to become more noticeable. Two US manufactures (Zero Motorcycles and Victory) and one Italian (Energica) already have models on the market. Larger OEMs are testing the market's response by showing off concept units. As for the off-road two-wheelers, new manufactures are expected to launch their products soon, including Saietta Motorcycles with a commuting motorcycle and Fenris Motorcycles with a sport-bike.

3 Technological Trends

As the technology evolves, limits are pushed. For electric motorcycles, these are the limits of battery storage and powertrain power while maintaining the ideal motorcycle weight and size.

The powertrain's power has been increased by means of increased voltage level, more effective cooling and increased efficiency. While battery storage has mainly been increased by chemical and material engineering.

Two technological trends that are unique for electric motorcycles stand out, as they might increase hazards. This is the increased voltage level and battery capacity.

A. Voltage

Most of the early stage one-offs motorcycles in the mid- and end of 2000s were equipped with 48-96 V systems. The system voltage was greatly influenced by the limited availability of motors suitable for motorcycles, most of which were made to fit standard lead acid battery voltage levels. Notably two US brands emerged from the early-stage one-offs and started producing street legal motorcycles,

namely Zero Motorcycles and Brammo (now Victory Empulse). Both selling motorcycles today that operate slightly above 100 V.

Over the more recent years, a voltage level up to 400 V is becoming more common. Due to higher efficiency at higher voltage levels, motors and switching components can be made more compact and lighter. This trend in voltage applies both to on- and off-road motorcycles. Some example of this are;

- Energica's production line (Ego and Eva) with system voltage at 350 V, and
- KTM E-ride line with system voltage at 260 V.

More motorcycles seem to be on their way at this voltage level;

- Harley Davidson's Livewire operating at 300 V
- Alta Motors with off-roaders operating at 350 V
- Fenris Motorcycles, operating at 350 V
- Lightning Motorcycles, operating at 380 V

Tough one of the reasons for increasing the voltage levels is less physical motor size, the higher voltage level is independent of motor power size and battery energy size, as the vehicles mentioned above range from 2,6 to 15 kWh in battery size and 16 to 150 kW in motor size.

B. Battery Size

A high demand has been on increased driving range for electric motorcycles over the recent years, and is believed to be one the major obstacles for electric motorcycle's commercialization success. To achieved the longer range both efficiency and energy storage (battery) has been increased, while maintaining volume and weight.

Mainly two reasons explain why manufactures are able to equip the motorcycles with more energy. Firstly, the cells energy density is increasing as new manufacturing techniques and materials are developed. Secondly the cell's price has dropped from 1,600 €/kWh in 2009 to 250 €/kWh today. Furthermore, cell price on large format cells, commonly used in electric motorcycles is expected to drop below 200 €/kWh in 2018 [2].

The increased battery energy onboard motorcycles can be seen by looking at the 9-year history of Zero Motorcycle's products, see Image 1. In 2007, Zero Motorcycles had one off-road electric motorcycle listed as consumer market product with a battery carrying less than 2 kWh. For the past 5 years the on-board energy has jumped from 4 kWh to 14,2 kWh. The development process of new cell chemis-

tries indicates that battery energy for motorcycle application will soon reach 20 kWh, resulting in 300 km driving range in Combined Driving¹.

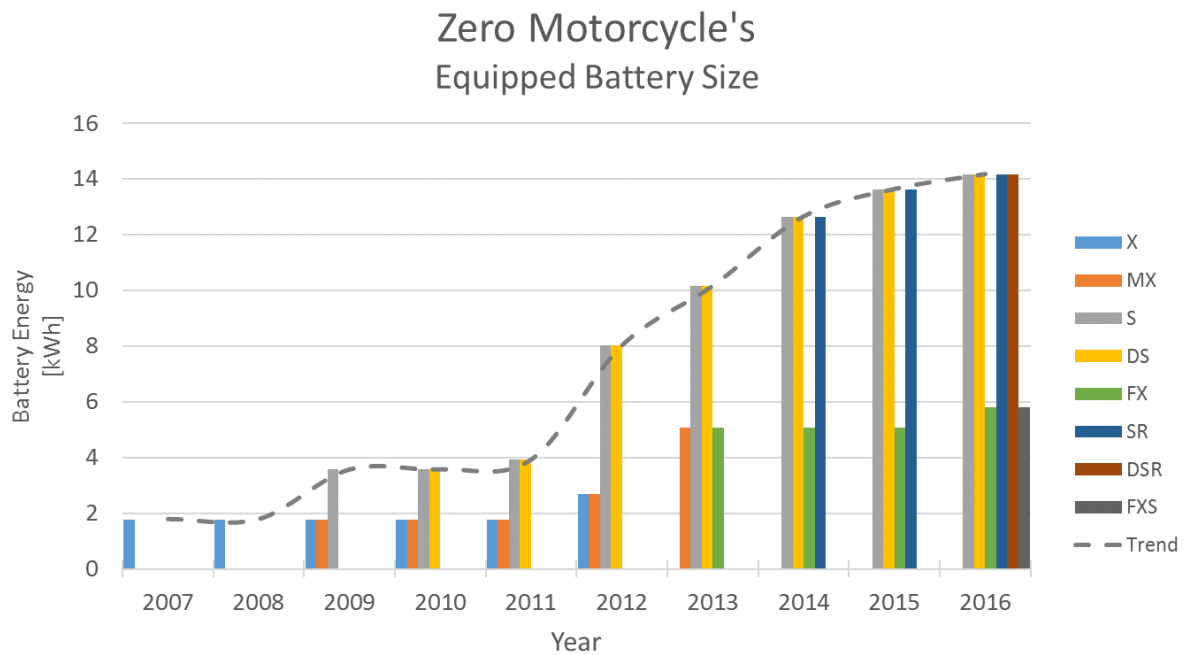


Image 1. The evolution of battery sizes in Zero's Electric motorcycles.

4 Identifying the risks

Under normal usage and in normal circumstances, the electric system in road legal electric motorcycles does not create nor increase any risk to users or bystanders. The electric systems are commonly engineered to withstand, or limit any hazards, forced that might occur in accidents. However, accident is the definition of abnormal circumstance involving unpredictable factors. In some cases, only experience can expose weaknesses in system's engineering.

To eliminate or reduce risk, designers and engineers must be aware of its existence. Here below are risks listed and explained, identified by Future Electric's experience, research and user survey.

¹ Assuming 15 km/kWh for the driving pattern defined by SAE J2982 Riding Range Test Procedure.

A. Fire

The vehicle can catch fire by several means of self-ignition. The signs of self-ignition can often be hard to spot by naked eye as the cause can be electric energy system failure, or thermal runaway².

Electric System Failure: Self-ignition can be caused by failure in the electric power system due to thermal runaway, abnormal used or abnormal ambient circumstance. Such failure can create a heat source, such heat source can melt materials and ignite a fire. This is a well understood failure due to the extended history of electric energy usage, and is not limited to electric vehicles, but electric energy systems.

Battery Thermal Runaway: A thermal runaway can occur in batter systems due to manufacture's defect, mishandling or damage. The battery's thermal runaway can therefore be the cause of an accident or be a result of an accident if battery is damaged.

As batteries become larger in electric motorcycles, the energy and chemical source fueling the fire becomes greater. A thermal runaway in a single cell can cause a thermal runaway in another cell. The battery fire can therefore be re-ignited, as long as thermal equilibrium is not reached, resulting in a chain reaction, in which each cell disintegrates on its own timetable. A burn out can therefore be from few seconds up-to several hours.

Extinguishing a battery fire is usually challenging as the heat is created by chemical reaction. It is therefore often recommended to firefighters by manufactures, to let the battery burn out, while cooling it down by extensive watering amount and prevent the fire from spreading.

Battery fire can also result in emittance of toxic gases. Gases emitted by li-ion cells in case of a fire includes carbon monoxide (CO), hydrogen (H₂), carbon dioxide (CO₂), as well as traces of Hydrogen Fluoride (HF).

B. Electric Shock

The severity of an electric shock is defined by the current running through the body. The National Fire Protection Association (NFPA) define the following hazardous effect on the human body by DC current [3]:

- 2 mA is perceptible
- 10 mA is considered the threshold of the let-go current.

² A thermal runaway is when heat creates a condition that leads to further heat increase.

- 40 mA for 1 second or longer may be fatal due to ventricular fibrillation.
- 500 mA for more than 0.8 seconds may lead to cardiac arrest.
- >1 A for less than 0.1 second can lead to ventricular fibrillation.
- >1 A for greater than 0.8 second, burn and death are probable.

The current passing through the human body depends on several factors:

Ohm's law. The ohm's law state that the current through a conducting body depends on the voltage between the two points and the conductor's resistance. The resistance of a human body is stated to be from 100,000 Ω at dry conditions to 1,000 Ω at wet conditions [4]. This also depends on the contact surface area.

Breakdown. At higher voltage electrical energy quickly breaks down human skin, reducing the human body's resistance [4]. Furthermore, the International Electrotechnical Commission gives the following values for the total body impedance from one hand to another, at dry skin, large contact areas and household AC currents [5], see table 1. Reading from this table as an example, the body resistance of 50% of the population is 1875 Ω or less if the voltage level between the two body parts is 100 V.

Table 1. Variable body resistance, depending on voltage levels.

Voltage	5%	50%	95%
25 V	1750 Ω	3250 Ω	6100 Ω
100 V	1200 Ω	1875 Ω	3200 Ω
1000 V	700 Ω	1050 Ω	1500 Ω

Current Limitation. Power sources can be limited to delivered safe amount of current, even at very high voltage, this is tough for very specific purposes.

Protective Devices. All electric circuits that are a potential threat of electric hazard shall have protective devises. Such protective devices can be fuses or other signal controlled breakers that insulate the failure from the energy source.

Voltage Level. A linear relation is between a current through a body and the voltage applied. The greater the voltage is, the greater the current is, for a constant resistance. A voltage level of 60 V DC is considered to be safe [3], and is the voltage level most adults start to feel the effects

of electric shock. Systems operating at voltage levels under 60 V DC expose a minimum threat to electric burns or explosions due to electric arcs.

The International Electrotechnical Commission (IEC) defines the following three different voltage for DC systems [6]:

<i>Extra-low voltage (ELV)</i>	<i>>120 V DC</i>
<i>Low Voltage (LV)</i>	<i>120 to 1500 V DC</i>
<i>High Voltage (HV)</i>	<i><1500 V DC</i>

The ELV system circuit is defined as low hazard voltage level as it is unlikely to lead to life threatening electric hazard. Due to the reasons above, some regional standards lower the ELV limit to a maximum of 60 V DC for increased safety [4].

The LV class of electric systems can be considered to be moderated threats. Protective devices can be set to isolate any failure within a very short time, limiting any damage. Also the LV systems are limited threats to Arc Hazards as voltage might in most cases not be high enough to ionize the air, which leads to an arc hazard, see below.

HV system pose a real threat to human lives as the energy available is in most cases great and the breakdown effect can lead to very low resistance, thereby high current. Arc-hazard is also a larger concern for HV as voltage level is high enough to ionize the air, breakdown the resistance and form a conducting path in the air, releasing high energy.

The severity of electric shocks can be difficult to predict and foresee, as the factors needed to be consider are non-constant. However, it is very clear that the hazard of electric shock becomes greater at higher voltage levels. Standards provide guidelines to define the safe, potential hazardous, and hazardous levels in terms of voltage levels.

For electric motorcycles, the system's operation voltage is tending towards 400 V. Their systems are therefore well beyond the safe limit of 60 V DC and are well within the LV class definition.

C. Arc-hazard

An electric arc is a relatively rare but very dangerous condition. It is a result of insulation breakdown, and a release of high energy. Protective device, designed to interrupt short circuit current, might mistake the arc current for overload current rather than short circuit current.

For electric systems operating at ELV the arc hazard is very limited. As the voltage level is increased beyond EVL onto the LV class, the possibility of an arc incident becomes greater.

An electric arc can be formed between two conducting parts (positive conductor and negative conductor) by external effect that lead to changes and reduction of insulation.

Image 3 displays an example how an arc can be formed through air. Under normal circumstances the air is non-conductive and is defined to be an insulated gas. Abnormal changes on system can initiate the arc formation, such as increased voltage level, dust, humidity, corrosion, shortened distance between conductors or changes in insulating gas. This can charge the particles around the conductor, resulting in increased voltage and ionization of the insulating gas, stage 1.

The increased charge keeps ionizing the insulating gas forming streamers towards the opposite polarity, stage 2.

A head-streamer is formed as soon as one arm of the streamers touch the opposite (here negative) conductor a low resistive ionized path has been formed through the insulated gas, stage 3.

After the head streamer has been formed, energy moves through the air between opposite polarity, stage 4. At this stage the streamer emits bright light and high heat is formed due to the resistance in the streamer.

The bright light will temporary blind a nearby person. The extreme heat can reach 20.000 °C, creating a fireball, and expanding the air, melting any surrounding metals. The expansion results in a loud explosion, any bystanders are likely to experience a temporary hear-loss, and a shock wave pushing them backwards, see Image 2.

Arcs are very unpredictable, and have only recently become a design feature for AC electric energy distribution systems. Throughout years of experimental studies on AC electric arcs, the Institute of Electrical and Electronics Engineering (IEEE) released a Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations in 2002 [8] for AC systems, no such guide has been made official for DC systems.

For Arc-Flash calculation in DC systems, methods described by R.F. Ammerman and Co. in [9] published in 2010 commonly used.



Image 2. Arc Flash Incident, from [10].

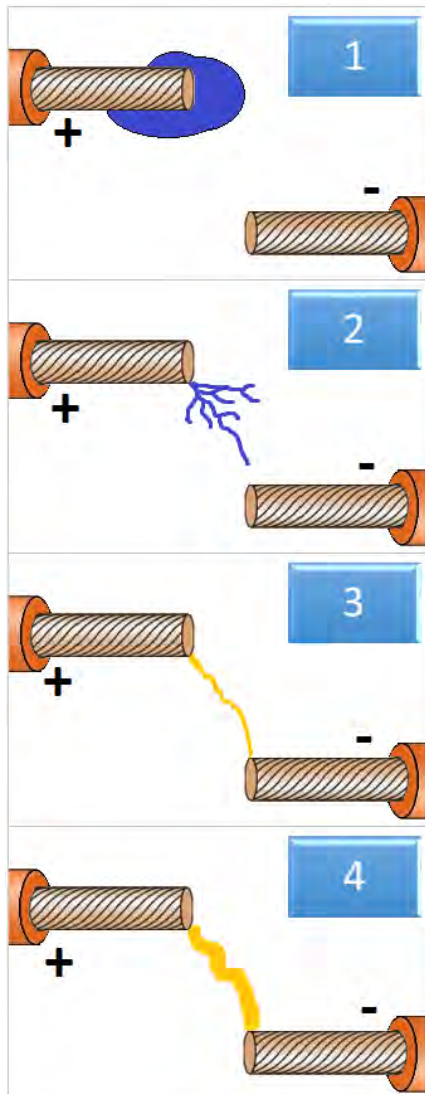


Image 3. Electric Arc Incident

CAT LEVELS			
Energy Levels (cal/cm ²)			
-	0	to	1,2
PPE 1	1,2	to	4
PPE 2	4	to	8
PPE 3	8	to	24
PPE 4	24	to	40

Image 4. PPE levels for protective equipment against arc flashes.

Calculating the arc flash hazard returns a value for energy per square centimeters (J/cm² or cal/cm²), which is in form of heat. Furthermore, the energy from the arc is categorized in 4 different categories, based on their energy value, by the NFPA [3].

A study was made on several different theoretical electric motorcycle batteries, ranging from 10 kWh to 15 kWh, and at different operation voltage, from 100 V to 500 V. This study led to the findings that batteries in electric motorcycles could pose an arc hazard threat. Several factors affect the results:

Fuse selection. Typically fuses are used to interrupt a fail current. In general, normal fuses commonly used in batteries for electric motorcycles are designed to detect and interrupt short circuit current. However, arc current is always less than short circuit, usually around 50% less, in systems with voltage under 1000 V. This difference can result in several second delay of failure interruption, as the fuse recognizes the current as overload current not failure current. This delay increases the energy released in arc flash incidents, thereby increasing the potential hazard. By selecting the fuse with perspective to both short circuit and arc fault current, this problem can be avoided in most cases.

Batteries inner resistance. All batteries have inner resistance; this resistance is the reason for power loss within the battery, and a thermal buildup at high current usage. Furthermore, the temperature increase reduces the batteries lifetime. It is therefore an increased focuses to build low resistance cells and battery modules to be used in electric motorcycles. The lower inner resistance results though in higher short circuit and arc current. The increased fault current results in higher energy release in case of short circuit or arc fault.

Voltage level. At lower voltage levels³ arc faults become less likely to occur. However, if they occur the difference between the arc fault current and short circuit current is likely to be more than 50%, and the protective fuse might not detect the current as a fault current. At higher voltage levels, arc faults are more likely to occur. However, the current is likely to be more or less the same as a short circuit current. Thereby the fuse should detect the failure with minimum delay and minimize the energy released.

³ With perspective to LV class systems, 100 to 1500 V systems.

D. Live Throttle

In case of an accident, bystanders and rescue workers are likely to attempt to move the motorcycle, due to safety concerns. In a case of an electric motorcycle, the bystander or rescue worker might not be aware that the motorcycle's throttle is live due to the lack of engine noise. The first instinct is often to assume the throttle is dead as no sound is coming from the engine.

The results of a study made in relation to this paper, on over 150 motorcycle accidents, yield out that the live throttle problem was electric motorcyclists main concern.

5 Eliminating the risk

The hazards listed in this paper pose a potential risk to electric motorcycle users, first on to scene rescue workers and bystanders. These risk can be reduced or eliminated by education, awareness and engineering guidelines.

The awareness and education requiring about the technology can be made through already established courses/trainings.

6 The way forward (Conclusion)

Electric motorcycles are very likely to gain a larger market share within the coming years. The trends of the technology indicate that the batteries are trending towards 15 kWh capacity, and 400 V.

The large batteries increase the fuel for fires, and can lead to long lasting fire that is difficult to extinguish. First onto scene individuals and rescue workers, should be aware that the battery might self-ignite due to thermal runaway. Such self-ignition often happens with little visual warning.

The increased voltage enables smaller powertrain design. The higher voltage also increases the risk for lethal electric shock. First onto scene individuals and rescue workers, should be aware not touch any of the electric energy system parts indicated by orange power cables. The voltage levels on electric motorcycles can lead to lethal electric shocks.

Electric arc incidents are rare but very dangerous condition. Studies for this paper indicates that arc flash incident might lead to a serious accident. These incidents for DC systems are though yet to be studied further for a better understanding. Currently there is only a standard to estimate arc hazard for AC systems.

Other awareness based on user's experience is the live throttle. Following an accident, a first on to scene bystander or rescue worker might attempt to move a motorcycle, without being aware of the potential live throttle.

The unique hazards of electric motorcycles pointed out in this paper are not considered to be a major safety issue. Today's engineering standards and approval processes minimize the risks of such hazards.

7 References

- [1] P. Dr. Harrop, F. Gonzalez and R. Das, "Electric Motorcycles and Three Wheel Electric Vehicles 2015-2025," IDTechEx, 2015.
- [2] S. Jaffe, "The Lithium Ion Battery Market," in *ARPA E RANGE Conference*, http://www.arpa-e.energy.gov/sites/default/files/documents/files/Jaffe_RANGE_Kickoff_2014.pdf, 2014.
- [3] *NFPA 70E: Standard for Electric Safety in the Workplace*, The National Fire Protection Association (NFPA), 2012.
- [4] *WORKER DEATHS BY ELECTROCUTION: A Summary of NIOSH Surveillance*, National Institute for Occupational Safety and Health, 1998.
- [5] J. P. Reilly, *Applied Bioelectricity: From Electrical Stimulation to Electropathology* (2nd ed.), Springer, 1998.
- [6] *IEC 60038:2009*, International Electrotechnical Commission, 2009.
- [7] *NFPA standard 79 article 6.4.1.1*, National Fire Protection Association, 2015.
- [8] *IEEE Guide for Performing Arc-Flash Hazard Calculations*, IEEE, 2002.
- [9] R. F. A. a. T. G. a. P. K. S. a. J. P. Nelson, "DC-Arc Models and Incident-Energy Calculations," *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 46, pp. 1810-1819, 2010.

Evaluation method of the crash safety of traction batteries for
electric driven motorcycles

Methode zur Bewertung der Crashesicherheit von Traktionsbatterien
elektrisch betriebener Motorräder

Christian Ellersdorfer, Alessio Sevarin, Ernst Tomasch, Wolfgang Sinz
Vehicle Safety Institute, Graz University of Technology, Graz, Austria

Arno Ebner, Nina Deitermann, Martin Forster
KTM AG, Mattighofen, Austria

Abstract

In case of damage of an electrical energy storage system (EESS), in particular lithium-ion based traction batteries, considerable hazards for people and the environment can occur. This issue is widely investigated in case of passenger cars; however, this research field is still in its early stages when it comes to electric driven motorcycles.

Therefore, the goal of this study is the generation of an overall valid safety evaluation method for the EESS, which can also be actively applied for the optimisation of its safety in case of crash. In particular, the crash safety should be increased without a reduction of the system functionality. Due to the different boundary conditions, the direct application of the results of the studies on electric passenger cars is not possible.

In order to define critical accident scenarios for the traction battery of electric motorcycles, the starting point is the analysis of real accidents data. This investigation was developed with assistance of descriptive statistics, statistical evaluations, in-depth analyses and computer-aided reconstruction of real accidents. Based on these investigations, the focus of the successive analyses is on critical energy storage system loads.

In order to determine the loads on the traction battery in critical scenarios, a series of full-scale crash tests with an electric motorcycle were developed. With this basis, it was possible to generate and perform further testing configurations for more detailed analyses at battery pack, which can reproduce the load boundaries of real accidents and therefore eventually substitute a complete vehicle crash test.

With the results of the developed tests, a nonlinear explicit finite element model was build and validated in order to permit a deeper analysis of loads at single cell level of the traction battery. Moreover the range of the possible crash configurations that can be evaluated was enlarged. With these simulations, it was possible to extend the investigated load configurations beyond the real tested crash scenarios and to ensure the crash safety of an electric motorcycle.

Thanks to the results of the analysis, electric driven motorcycles can undergo a safer design regarding possible loads on the traction batteries in crash situations. In this study also suggestions are provided for the application of an optimisation process, capable of increasing the functionality (range, weight, ...) in future developments of EESSs as well as entire electric driven motorcycles.

Evaluation method of the crash safety of traction batteries for electric driven motorcycles

1 Introduction

Among all electric vehicles, electric driven two-wheelers (motorcycles, scooters and e-bikes) represent the vehicle category with the highest potential of future individual transport in an urban environment [1]. In order to meet the consumers requirements and reach the desired performance, high-energy batteries are needed for the traction of the vehicles, especially in the case of electric motorcycles. Nevertheless, high hazards for people and environment can arise by the introduction of energy-dense batteries in vehicles, inter alia in case of road crash.

Due to the novelty of the technology and this vehicle type, the possible hazards originating from the damage of the traction battery are yet not considered and therefore no specific method for the safety evaluation of traction batteries of electric driven motorcycles in case of road crash is available.

Nevertheless, important information are available for the definition of possible motorcycle road accident scenarios. In the recent European project MAIDS (Motorcycle Accident in Depth Study) more than 900 motorcycle accidents in five different countries (France, Germany, Netherlands, Spain and Italy) were analysed in order to identify typical crash configurations. The study especially highlights the role of passenger cars as collision object for motorcycles. In fact it was discovered in this project, that 55,7% of motorcycle accidents involves a passenger car [2]. Special attention is also posed in the definition of the impact zone of the vehicle. In particular, the motorcycle front is defined as the most frequent impact zone for motorcycles [2]. Usually this has strong consequences for the safety of the rider (e.g. the loss of contact with the motorcycle can lead to severe injuries). Nevertheless, no indication is provided regarding the consequences and the loads acting on the motorcycle itself or more specifically on the traction battery. This information is especially important in the case of electric vehicles, as possible damages of the traction battery can lead to high hazards for the driver and environment.

Crash configuration parameters can also be found in international standards, which aim to reproduce with real tests possible road accidents. This is the case of the ISO 13232, which defines seven relevant full-scale crash test configurations [3]. These crash configurations intend to replicate frequent accidents with a high potential injury severity for the motorcycle rider. Due to the reason that the focus is on rider injuries, no evaluation of the motorcycle loads is provided [4].

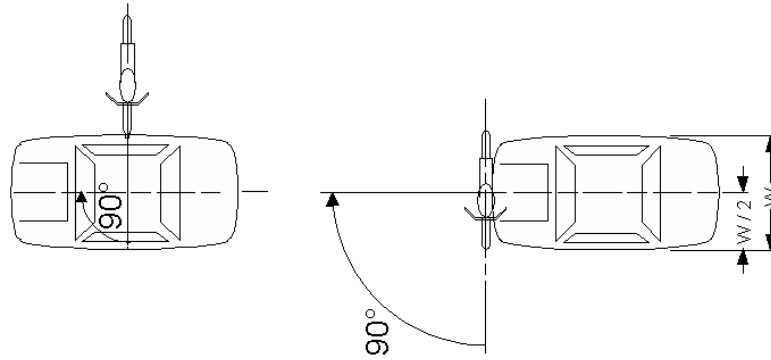


Figure 1. Example of two crash configurations proposed in the ISO 13232 [3].

The investigation of possible loads acting on a motorcycle or subcomponents can also be provided with the use of simulation models. In particular, Finite Element (FE) models ensure the possibility to simulate realistic behaviours also in case of high deformations [5] [6] and are therefore particularly suitable for crash simulations. Usually these simulations, in case of powered two wheelers, focus on rider injuries or protections effectiveness. Therefore the vehicle models are generally rudimentary and strongly simplified and do not offer the possibility of a precise evaluation of the loads acting on the motorcycle itself or on its components, e.g. the traction battery.

In the current State of the Art no study was performed to investigate the safety of the traction battery in full-scale crash test with electric motorcycles. Nevertheless, in order to evaluate the behaviour of the traction battery under load, a wide range of test configurations are suggested by various international organisations. These configurations focus on the deformation of the battery either with a force [7] or a deformation [8] amplitude limit in quasi-static-tests. Dynamic loads can also be applied for the same purpose as described in [9] and [10]. In this case a free fall test of the battery from an height varying from 1,5 m [9] to 10 m [10] is described. As these tests aim to ensure the overall safety of the traction battery not just after the integration into the vehicle but also in the manufacturing, storage and transportation phase, no specific reference to tests for electric driven motorcycles is proposed.

The evaluation of the danger and therefore of the safety of the traction battery is usually done after a test by visual inspection in combination with measurement data and possible hazards are quantified with the use of the EUCAR Hazard Table [10]. The Hazard Table presents eight hazard levels that span from no effect (hazard level 0) to explosion (hazard level 7). It has to be noted that this evaluation method was not developed for a specific load condition or test, but to offer general evaluation parameters that can be used in case of mechanical as well as electrical tests. Although no mandatory minimal hazard level is defined.

Table1. Hazard Table as proposed by EUCAR [10].

Hazard Level	Description	Classification Criteria & Effect
0	No effect	No effect. No loss of functionality.
1	Passive protection activated	No defect; no leakage; no venting, fire, or flame; no rupture; no explosion; no exothermic reaction or thermal runaway. Cell reversibly damaged. Repair of protection device needed.
2	Defect/Damage	No leakage; no venting, fire, or flame; no rupture; no explosion; no exothermic reaction or thermal runaway. Cell irreversibly damaged. Repair needed.
3	Leakage $\Delta_{mass} < 50 \%$	No venting, fire, or flame; no rupture; no explosion. Weight loss $< 50 \%$ of electrolyte weight (electrolyte = solvent + salt).
4	Venting $\Delta_{mass} \geq 50 \%$	No fire or flame; no rupture; no explosion. Weight loss $\geq 50 \%$ of electrolyte weight (electrolyte = solvent + salt).
5	Fire or Flame	No rupture; no explosion (<i>i.e.</i> , no flying parts).
6	Rupture	No explosion, but flying parts of the active mass.
7	Explosion	Explosion (<i>i.e.</i> , disintegration of the cell).

Another approach in this case also considers the use of simulation models to forecast possible damage of the battery. This is the case of the method proposed by Xia et al. [11] who simulated the behaviour in case of deformation of a complete traction battery of a passenger car in a multiple steps approach. In order to increase the precision of the results, a finer model is implemented in successive steps where high deformations are discovered. A final step takes into account a sub simulation with a more detailed simulation model, which can forecast possible damages of the cells.

Nevertheless, no approach for the evaluation of the overall safety of a traction battery of electric motorcycles in case of crash is available in the current State of Art. In this document, a method will be provided to reach this goal. Moreover, the method will be applied to an existing vehicle, a KTM Freeride E-XC, in order to evaluate the safety of its traction battery and prove the effectiveness of the approach.



Figure 2. Photo of the KTM Freeride E-XC taken as sample for the analysis [16].

2 Method

For the definition of a method for the safety evaluation of traction batteries of electric motorcycles in case of crash different techniques from the vehicle safety State of the Art are used.

At first, current motorcycle road accident scenarios are investigated with statistical analysis and in-depth studies in order to define relevant crash configurations for electric motorcycles. The reproduction of the retrieved relevant configurations in full-scale crash tests permits an initial evaluation of the safety of the traction battery in case of crash.

An important point of the method presented consists in the creation and validation of a FE model of the motorcycle and specifically of its traction battery. The validation of the model through the results of the full-scale crash tests permits an analysis of the traction battery at cell level and an increase of the number of crash configurations that can be analysed, providing the possibility of an evaluation of the overall safety of the traction battery in case of crash. A resuming scheme of the method is proposed in Figure 3.

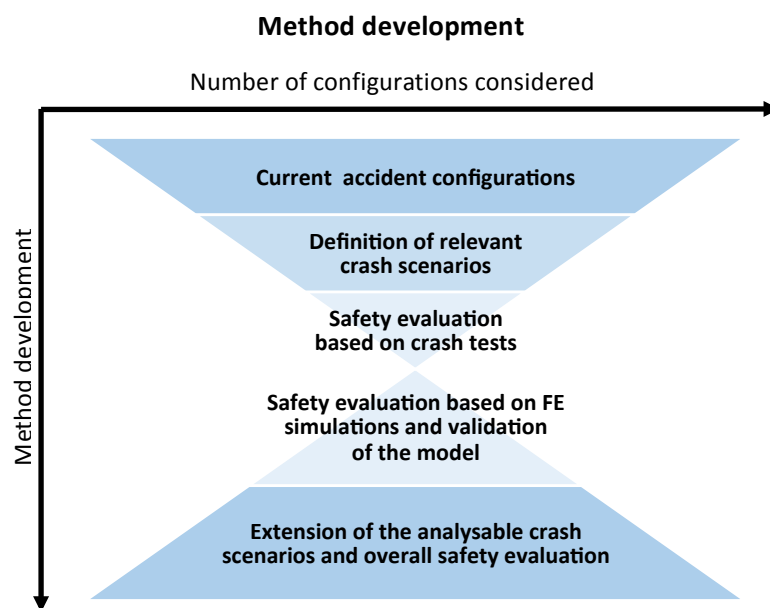


Figure 3. Resuming scheme of the method development.

2.1 Definition of relevant crash scenarios

The delineation of relevant crash scenarios is an important point for the definition and the investigation of possible loads acting on the motorcycle and specifically on the traction battery in road accidents. In particular, three different information were used for the definition of relevant crash scenarios: the collision object, the crash configuration and the impact speed.

The definition of the most relevant collision object permits at first a forecast of possible loads on the motorcycle due to the analysis of the geometry and structure of the accident object. Moreover, filtering the possible accident scenarios by collision object can result in a consistent reduction of the accident scenarios that has to be analysed.

The delineation of the most frequent crash configurations for motorcycles represents the second step for the complete definition of relevant crash scenarios for motorcycles. In fact, due to the wide range of possible impact configurations, the definition of the impact object alone does not provide exhaustive information about how to reproduce and then evaluate the impact.

Information about the collision object as well as the crash configuration were retrieved with an analysis of the Austrian statistical database. Nevertheless, more detailed information requires a further in-depth analysis. This approach was needed for the definition of the impact speed. In order to retrieve this parameter, computer-aided accident reconstructions were developed. The definition of the impact speed plays a central role for the evaluation of the possible loads and dangers on the traction battery. An underestimation of the impact velocity can lead to non-relevant loads while the overestimation can produce to unrealistic crash scenarios. For in-depth analysis, the accident database CEDATU (Central Database for In-Depth Accident Study Referenzen) was used [12] [13].

Finally, international standards were also used as reference for the relevant scenario evaluations. In these documents all the relevant parameters for the definition of the crash scenario are available. In particular the ISO 13232 was taken as reference due to its overall acceptance and use.

2.2 Entire vehicle crash tests

In order to verify the safety of the traction battery, a campaign of entire vehicle crash tests based on relevant crash scenarios was proposed. As the kinematic and deformation of the vehicle during the crash play an important role for the battery safety evaluation, high-speed videos were taken. The presence of short circuits in the cells of the traction battery can lead to high dangers therefore, the output voltage of the traction battery was measured.

As crash pulses are often mentioned as possible failure cause of single cells or entire battery packs, at least two three-axes accelerometers were attached to the vehicle in order to investigate the dynamic loads. The definition of the positions of the accelerometers (Acceleration sensor model 1203, Measurement Specialities, USA) were fundamental for the purpose of the method. An accelerometer was attached to a stiff part of the motorcycle with the goal to analyse the loads acting on the frame of the vehicle while, in order to measure the loads acting on the battery, one was applied on the top of the traction battery. The signal from the traction battery voltage measurement system and from the accelerometers were taken with a frequency of 20 kHz. Finally, for the synchronisation of the measure-

ments of the different devices a trigger (Switchtape) was used. The trigger was applied at the forecasted impact zone either on the motorcycle or on the passenger car.

An overview of the measurement devices applied to the vehicle is proposed in Figure 4.

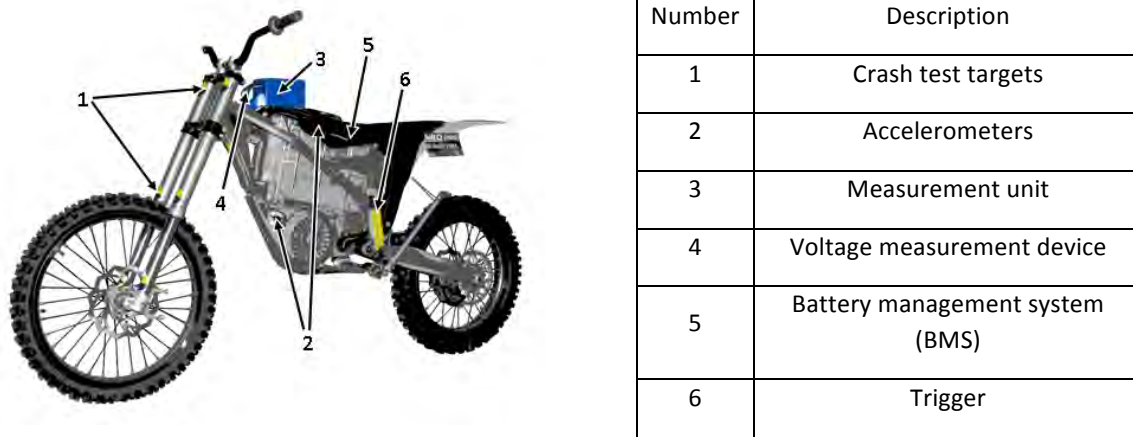


Figure 4. Overview of the measurement devices and solutions applied to the test motorcycle.

2.3 Numerical simulation of crash tests

The use of FE models plays an important role in safety evaluation analyses. The analysis of the simulation results can bring data that could not be retrieved during real tests, as the stresses of the components of the traction battery and in particular of single cells.

The FE model developed for the KTM Freeride E-XC is presented in Figure 5. The entire vehicle is modelled with more than 2,65 million elements. As the traction battery is the main objective of this study, its mechanical modelling was developed with extreme accuracy with more than 70% of the elements of the entire model.

In order to provide high accuracy, a detailed modelling of all structural components of the motorcycle was applied. Nevertheless in order to minimize the computational effort all components that do not provide a structural stiffness to the overall motorcycle structure and do not influence the dynamic of the vehicle (e.g. mirrors) were removed.

In order to provide a realistic kinematic behaviour of the vehicle in the crash phase, not only an accurate modelling of the structural components is needed, but also a precise definition of the possible relative motion boundaries. With this goal, particular attention was posed on the implementation of the realistic behaviour under load of the front and rear suspensions.

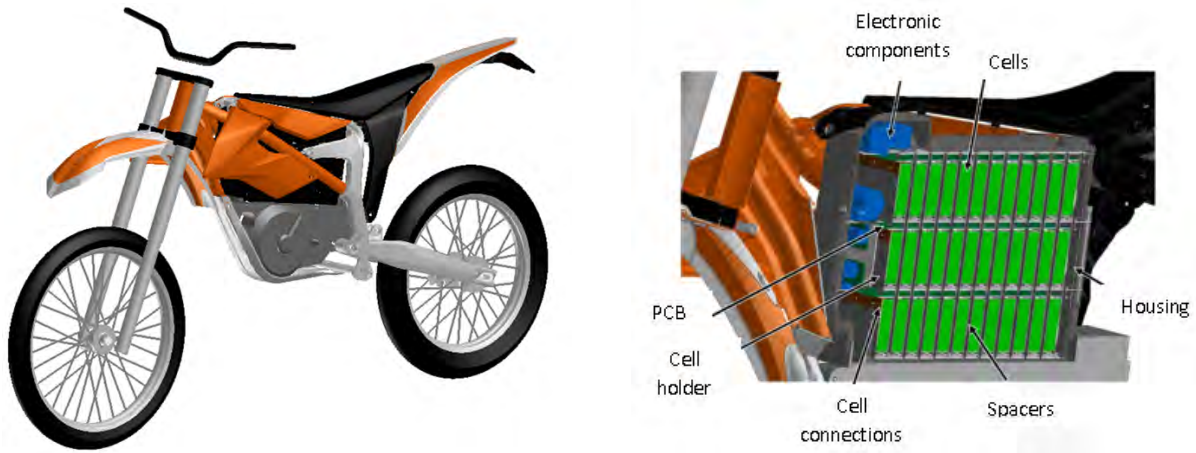


Figure 5. Finite Element model of the KTM Freeride E-XC and section view of the finite element model of the traction battery.

3 Results

3.1 Relevant crash scenarios

Due to the reduced dimension of the fleet of electric motorcycles no statistically valid data are available for this vehicle type. It has to be noted that electric motorcycles can be subjected to different crash configurations in comparison with internal combustion engine (ICE) motorcycles due to their characteristics (e.g. noise emissions, high torque, different center of gravity position, ...). Nevertheless, due to the lack of studies highlighting relevant differences, the data from (ICE) motorcycles were used for the analysis.

In order to identify the accident parameters (e.g. collision configuration, impact speed, ...) an in-depth analysis of motorcycle accidents can be used. With the goal to provide the data for the in-depth analysis more than 100 motorcycle accidents were subjected to computer-aided reconstructions. As the injuries of the rider can be usually linked with the severity of the impact, in order to analyse the most dangerous configurations, every selected case represents a fatal crash for the rider.

Thanks to the aforementioned analysis it was possible to determinate that passenger cars are the most frequent collision object for motorcycles with 44% of the cases while other vehicle types and vulnerable road users (VRUs) together reach only the 13 %. It has to be noticed that a notable percentage of the analysed cases (43%) was represented by accidents with no other moving vehicle involved. These cases represents single vehicle accidents involving three different object type. Impacts with road restraint systems, road infrastructures or the road surface itself are represented in these cases. Nevertheless also other possibilities are present as collisions with animals or parked vehicles. A last category can be identified as natural object like trees or bushes.

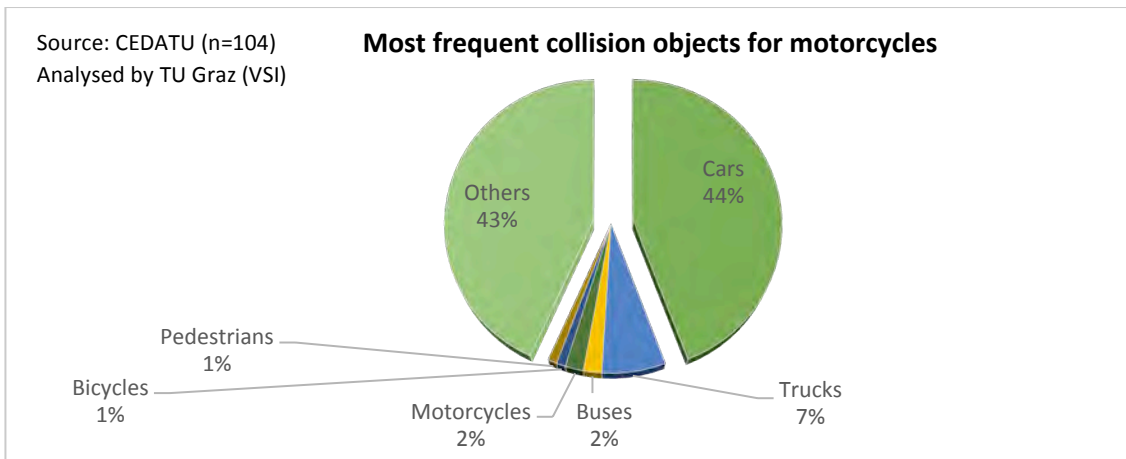


Figure 6. Most frequent collision objects for motorcycles as found from the in-depth analyses.

The single vehicle accident cases include many geometrically different collision objects, all with a small incidence for the total analysed crash scenarios. For this reason, no further investigation of this category was done and the focus was set to collisions with passenger cars. It has to be noted that also in the ISO 13232 no collision configuration takes into account a collision object different from a passenger car.

With the information provided from the previous analysis, the Austrian statistical database (Statistik Austria) was investigated in order to retrieve information about typical accident configurations between motorcycle and passenger cars. Thanks to the data provided by this database, it could be found that accidents at an intersection are the overall most frequent accident scenario, followed by accidents between two vehicles proceeding on the same direction. A collision with a vehicle proceeding in an opposite direction is a rare occasion and covers just 5,5 % of the cases.

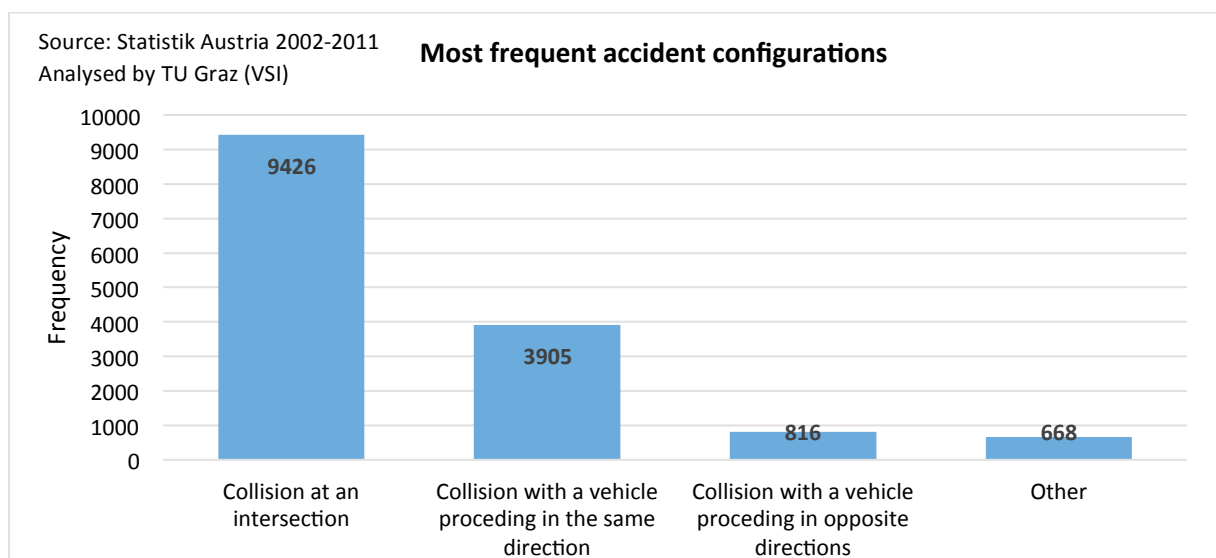
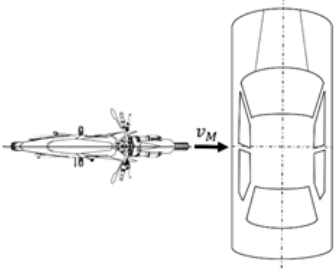
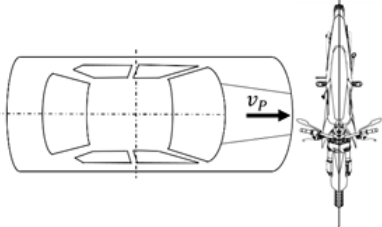


Figure 7. Most frequent accident configuration as found from the analysis of the Austrian statistical database.

Due to the high rate of occurrence of accidents at an intersection, this crash configuration was set as most relevant for motorcycles. Nevertheless, two different crash configurations for this study are taken into account. One possible configuration is represented by a frontal collision of the motorcycle with the side of a passenger car. The second possible configuration provides an opposite arrangement, with the moving passenger car impacting the side of the motorcycle (see Table 2). As the two configurations can lead to different loads on the traction battery, both were considered for the further steps of the analysis.

Table 2. Resuming table of the relevant crash scenarios defined in the analysis.

Configuration number	Representative of	Configuration
1	Collision at an intersection Motorcycle moving	
2	Collision at an intersection Car moving	

The third important factor is the impact speed. This data usually requires an in-depth analysis and was therefore retrieved from the developed in-depth study and MAIDS database [2]. The two data sets present interesting differences. In fact, the impact speed for the 50% percentile calculated from the MAIDS database is about 40 kph, if all the accidents are considered. In case of the developed in-depth study this value is set in the range 60-69 kph. This difference can be explained considering the injuries severity. While the cases considered for the in-depth analysis represent mostly fatal accidents, in the MAIDS study also cases with uncritical injuries for the rider were considered. It is therefore possible to state that the impact velocity can vary between 40 and 70 kph. It has to be noted that this range is considerably higher as the one consider in the ISO 13232, which defines a maximum impact speed of about 54 kph.

The definition of the impact speed plays an important role for the validity of the study. The impact speed was set to 51 kph in case of moving motorcycle. This value was defined considering the maxi-

mal velocity of the test vehicle (70 kph) and applying a typical deceleration as found by the in-depth analysis. In case of a crash with a moving car the speed of the impacting vehicle was set to 36 kph, which is a reasonable speed for a passenger car in an urban environment, considering also a deceleration before the impact. Moreover, this speed is in the range provided by the ISO 13232 [3]. A resuming table of the set speeds is proposed in Table 3.

Table 3. Resuming table of the impact velocities for the crash test campaign.

Relevant scenario number	Passenger car speed [kph]	Motorcycle speed [kph]	Impact angle [°]
1	0	51	90
2	36	0	0

3.2 Traction battery safety evaluation based on real tests

With the purpose to evaluate the safety of the traction battery in the current accidents scenarios, full-scale vehicle crash tests were developed with the relevant configurations defined in chapter 3.1.

As representative of a general passenger car, a Ford Focus was used as collision object. Moreover validated FE models of similar vehicles are public available.



Figure 8. Photo of the passenger car model used as collision object [17].

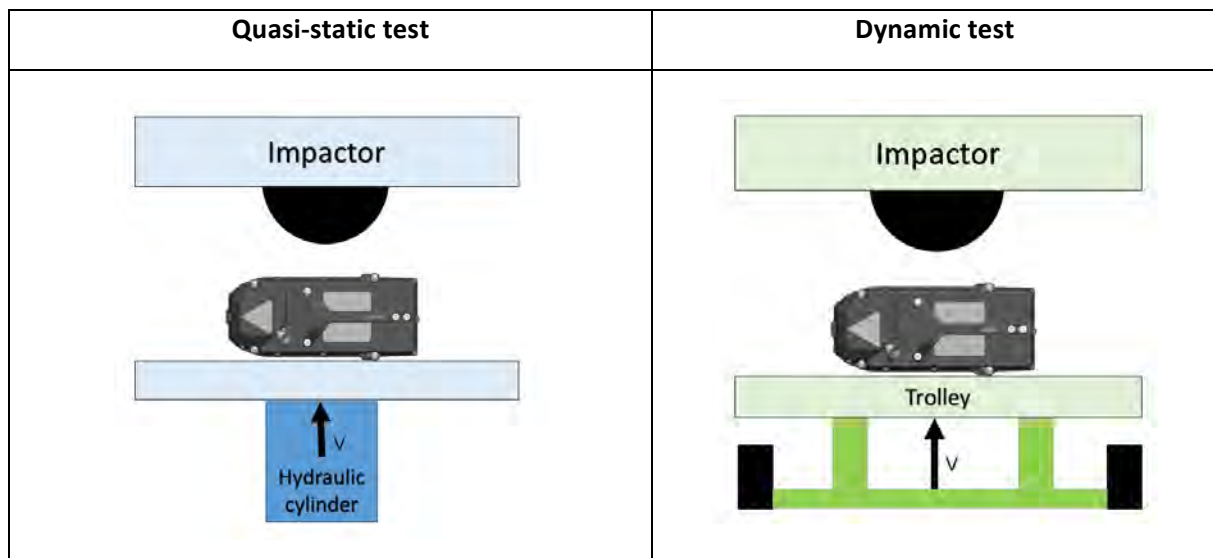
After the execution of the crash test the motorcycle was subjected to a complete three dimensional scan (with the use of FaroArm Platinum P08, FARO Technologies, USA) in order to reveal possible dangerous deformations of the motorcycles and in particular of the traction battery.

Despite the moderate to high severity of the impacts and a local deformation of the housing, no mechanical damage of the cells was observed. The battery pack output voltage was investigated in order to detect possible short circuits of the cells, but no sign of relevant voltage drops were found during the tests. As result of the crash test campaign, it could be found that no crash configuration exhibits a hazard level greater than zero.

Observing the behaviour under load of the traction battery one configuration with the potential to substitute the entire vehicle crash test was found. From the observation of the load path in the crash configuration simulating a collision at an intersection with a moving motorcycle (configuration number 1 of Table 2) it was clear that the traction battery remained almost untouched in the crash. In fact the impact acts first on the front wheel of the motorcycle, the loads are then transmitted to the frame of the motorcycle through the front suspensions, without acting on the battery. For this reason, no further investigations of this crash configuration were provided. In the case of the configuration representing a collision at an intersection with a moving passenger car (configuration 2 of Table 2) the impact hits almost directly the traction battery and can therefore lead to high dangers. In the analysed vehicle the battery housing provided anyway a durable protection of the cells.

In order to substitute the complete vehicle crash tests, one test configuration is proposed with a quasi-static and a dynamic approach (see Table 4). A quasi-static approach has the potential to reproduce the deformations of the traction battery as in the entire vehicle crash test. Nevertheless, no intense acceleration pulses can be obtained. On the other side, a dynamic test allows the reproduction of notable acceleration pulses on the traction battery and therefore tests its behaviour under mechanical shock. In this configuration the achievement of a predefined level of deformation can be provided by the definition of an impact speed and by adjusting the mass of the impact component in order to have the same initial energy of the system as in case of a complete vehicle test. The two approaches together permit to simulate all the loads acting on the traction battery and can potentially substitute the full-scale crash test.

Table 4. Resuming table of the possible substitutive crash test at traction battery level.



3.3 Safety evaluation of the traction battery based on FE simulations

The first step of the safety evaluation of the traction battery based on FE simulations is the numerical reproduction of the full-scale crash tests.

The development of a FE model of the electric motorcycle is described in chapter 2.3. In order to simulate the defined crash configurations a FE model of the passenger car is necessary too. Many validated passenger car models are currently public available, nevertheless, no validated model of the Ford Focus could be found. For this reason the model of a similar vehicle, a Dodge Neon model year 1996 [14], was used instead. The slight differences in the passenger car geometry are not supposed to be relevant for the goals of the analysis. It has to be noted that the passenger car model is validated just for frontal impacts. Nevertheless, due to the reduced stiffness of the motorcycle front in comparison with the passenger car side, this factor is negligible for the analysis.

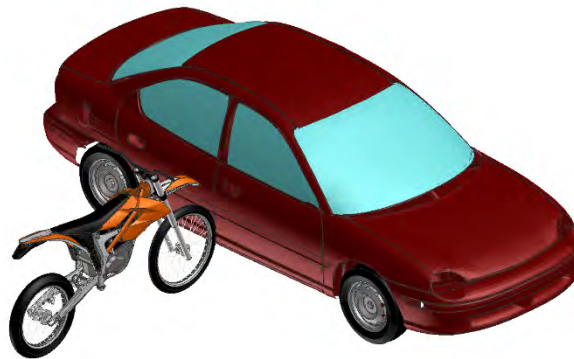


Figure 9. FE models of the motorcycle and of the passenger car prepared for the simulation of crash configuration number 1.

For the safety evaluation of the traction battery in FE simulations the Hazard Table [10] can not be used due to the impossibility in the current State of the Art models to measure the needed inputs for the hazard assessment. In fact, the simulation of multiphysic phenomena, needed for the definition of the danger following the Hazard Table classifications, leads to complex and effortful models. Nevertheless, as the short circuit, also of a single cell, is the cause of more dangerous hazard, a short circuit detection criteria based on global and local deformation of the cells was developed and implemented in the simulation model [15]. Thanks to the developed model, a high level of safety of the cells in the simulated crash test configurations was estimated.

In order to prove the accuracy of the results a validation of the model is necessary. Two different inputs were used to achieve this goal: the crash pulses measured from the accelerometers and the kinematic and deformation of the vehicle retrieved from the high-speed videos. The comparison of the acceleration pulses can provide an initial information about the validity of the FE model. In this study

a good compatibility between the measured and simulated crash pulse was found. Not only a comparable maximal amplitude is reached but also the trend of the acceleration is similar (see Figure 10).

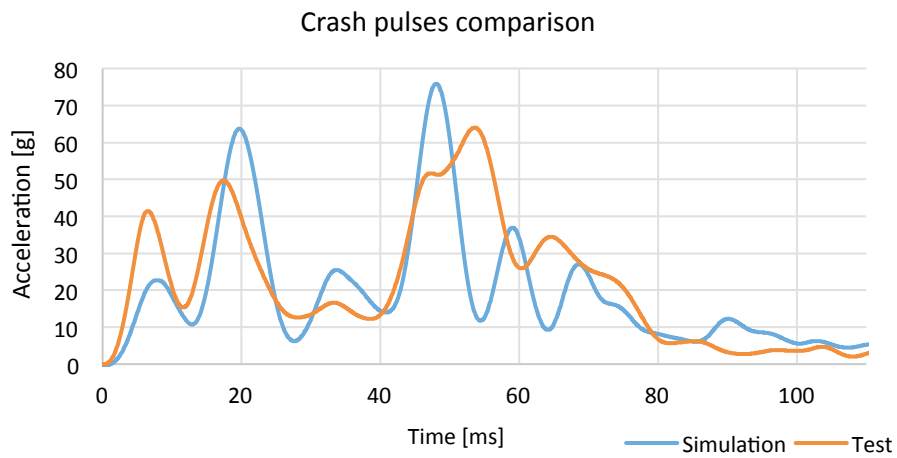


Figure 10. Comparison between the measured and simulated acceleration pulse in crash configuration number 1 after filtering with a CFC 180 filter.

An investigation of the kinematic of the vehicle in the crash phase was also used for the validation of the FE model. For this reason, an accurate analysis of the deformation zones and the dynamic of the vehicle in the crash phase was developed in order to ensure the validation of the model. Also in this case an elevated compatibility was found (see Figure 11).



Figure 11. Different instant of the simulation of crash configuration number 1 and of the full-scale crash test.

The high similarity of the crash pulses measured in the real crash tests and in the simulations as well as the similar kinematic in the crash phase provided enough information to ensure a validation of the finite element model.

Moreover, thanks to the validation of the model it was possible to simulate numerically crash configurations also with different initial parameters. In order to provide an overall evaluation of the safety of the traction battery the two relevant crash configurations were simulated with different impact velocities. The impact velocity was increased up to 100 kph in case of the car moving and up to 70 kph in case of the motorcycle moving. This limit was set due to the performance of the electric motorcycle and the current regulations. On the other side, an impact speed of the car of 100 kph represents a violation of the current regulation in most of the zone where the motorcycle can circulate and a worst-case scenario for the investigated vehicle. Thanks to the use of a short-circuit forecast method implemented in the FE model the deformation to short-circuit of the cells can be defined. The developed model permitted to prove the safety of the traction battery also in case of an increasing severity of the impact. In Figure 12 the highest cell deformation for the two crash configurations with different impact velocities is represented. Although the severity of the impact, the maximal cell deformation reached just the 16 % of the deformation needed to trigger a short-circuit. It has to be noted that a variation of the configuration and the initial speed provided a variation of the most loaded cell in the crash. For this reason a decreasing cell deformation by an increasing impact speed is possible.

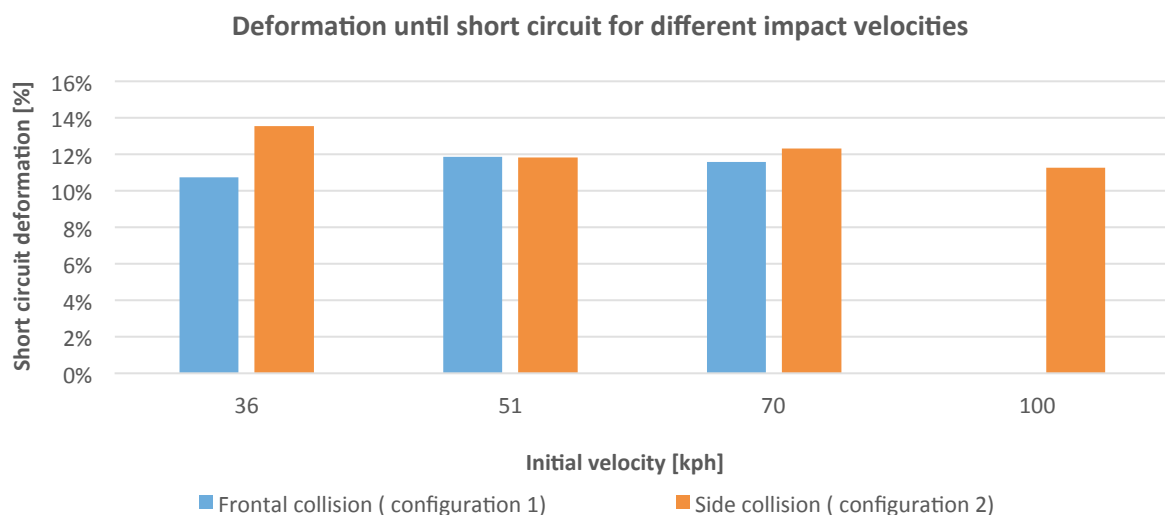


Figure 12. Comparison of the cell deformations until short circuit with a variation of the impact speed.

4 Conclusions

The presented study provides a method for the evaluation of the safety of traction batteries of electric motorcycles in case of crash. From the analysis of the current motorcycles accident scenarios two relevant crash configuration were retrieved. These configurations, a side impact between a motorcycle and a passenger car once with the motorcycle impacting the car and once with the opposite arrangement, were selected considering the frequency of the crash configuration and the severity of the impact. The execution of full-scale crash tests, reproducing the retrieved relevant configurations provided a first series of results for the safety evaluation. The safety of the traction battery of the test vehicle was ensured in two different crash configurations with a maximal speed of the impacting vehicle of 51 kph. Moreover, the analysis of the traction battery deformations permitted the definition of test configurations at battery level with the potential to substitute the full-scale crash tests.

The comparison between the kinematic and deformations of the real motorcycle and its FE model, as well as the acceleration pulses in the simulations and in the tests, permitted the validation of the FE model. The validation of the model allowed the possibility to define different initial parameters of the crash configurations. Increasing the impact speed in the two relevant configurations, it was possible to ensure the safety of the traction battery up to an impact speed of 100 kph.

Moreover, through the application of the method, an analysis of the behaviour in case of crash of the traction battery housing, as well as the frame of the investigated vehicle, can lead to precious information to optimize the structure in order to increase the functionality of the system without a reduction of the overall safety.

Acknowledgement

The authors would like to acknowledge the use of HPC resources of iCluster/dCluster provided by the ZID of Graz University of Technology and the Austrian Research Promotion Agency (FFG) for the financial support of the projects “SelECt” and “KoRe”, which delivered the results for this study.

References

- [1] M. Weiss, P. Dekker, A. Moro, H. Scholz and M. K. Patel, "On the electrification of road transportation - A review of the environmental, economic and social performance of electric two-wheelers," *Transp. Res. Part. Transp. Environ.*, December 2015.
- [2] Association of European Motorcycle Manufacturers (ACEM), "Motorcycle Accident in Depth Study (MAIDS) - In-Depth investigations of accidents involving powered two wheelers".
- [3] International Organisation for Standardization, "ISO 13232-2:2005 Motorcycles - 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," 2005.
- [4] International Organisation for Standardization, "ISO 13232-2:2005 Motorcycles - 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," 2005.
- [5] H. Namiki, T. Nakamura and S. Iijima, "A Computer Simulation for Motorcycle Rider - Motion in Collision," *SAE Technical Paper*, 2003.
- [6] D. Barbani, N. Baldanzini and M. Pierini, "Sensitivity Analysis of a FE Model for Motorcycle-Car Full-Scale Crash Test," 2014.
- [7] Underwriters Laboratories, "UL 1642:2012 - Standard for Safety for Lithium Ion Batteries," 2012.
- [8] SAE International, "SAE J2462 - Electric and Hybrid Electric Vehicle Rechargeable Energy Storage Systems (RESS) Safety and Abuse Testing," November 2009.
- [9] Institut national de l'environnement industriel et des risques, "ELLICERT - Version E - Certification Scheme for Battery Cells and Packs for Rechargeable Electric and Hybrid Vehicles - General requirements relating to certification Application to Lithium based Elements," October 2012.
- [10] D. H. Doughty and C. C. Crafts, "Freedom CAR Electrical energy storage system abuse test manual for electric and hybrid electric vehicle applications," *Sandia National Laboratories*, June 2005.

- [11] Y. Xia, T. Wierzbicki, E. Sahraei and X. Zhang, „Damage of cells and battery packs due to ground impact,“ *Journal of Power Sources*, December 2014.
- [12] E. Tomasch, H. Steffan and M. Darok, „Retrospective accident investigation using information from court,“ 2008.
- [13] E. Tomasch und H. Steffan, „ZEDATU (Zentrale Datenbank tödlicher Unfälle in Österreich): A central database of fatalities in Austria,“ *International Conference "ESAR - Expert Symposium on Accident Research"*, 2006.
- [14] National Crash Analysis Center, [Online]. Available: www.ncac.gwu.edu.
- [15] Ellersdorfer C., „Abbildung und Bewertung des Crashverhaltens von lithiumbasierten Batterien für elektrisch betriebene Motorräder,“ 2016.
- [16] KTM Ag, [Online]. Available: www.ktmfreeride-e.com.
- [17] Insurance Institute for Highway Safety, [Online]. Available: www.iihs.org.

Design of novel tilting electric four-wheelers

Design eines neuartigen neigbaren elektrischen 4-Rad-Fahrzeugs

Francesco Bucchi, Francesco Frendo

Department of Civil and Industrial Engineering, Università di Pisa, Pisa, Italy

Dragan Simic

AIT Austrian Institute of Technology GmbH, Wien, Austria

Onorino di Tanna

Piaggio & C. Spa, Pontedera, Italy

Martin Perterer

KTM Technologies GmbH, Salzburg/Anif, Austria



This project has received funding from the European Union's Horizon 2020 research and innovation programme under grant agreement nr 653511



EGVI
European Green
Vehicles Initiative

RESOLVE



RANGE OF ELECTRIC SOLUTIONS FOR L CATEGORY VEHICLES

Abstract

EU cities are increasingly congested due to the demand and usage of motor vehicles. Future scenarios for EU urban centers see a modal shift in personal mobility from cars to lighter, smaller, more specialized and environmental-friendly alternatives.

Electric L-category Vehicles (ELVs) are viable alternatives that can fulfill the commuter needs due to their small size and light-weight: by consequence the energy requirement, battery size and related costs can be strongly reduced respect to conventional electric cars.

However, this modal shift must overcome one main challenge: most car drivers do not consider L-category vehicles as a suitable option mainly due to L-vehicle dynamic limitations. To achieve that, the RESOLVE (Range of Electric SOLUTIONS for L-category VEHICLES) project, funded in the Horizon 2020 framework - Green Vehicles GV5-2014 call, will develop components and systems aimed to meet the low cost target required for this segment. At the same time, the project will deliver an exciting and attractive ELV driving experience by proposing new concepts (tilting and narrow track), while containing as much as possible the vehicle energy consumption.

In this paper, the dynamics analyses carried out to develop the architecture of ELV vehicles are presented. A stability analysis of the vehicles in straight line was firstly carried out and the results were compared to tilting two and three-wheelers for a wide range of speed. A detailed multibody model was developed to simulate the steady-state behavior of the 4-wheelers during turning and to perform further dynamic analyses. In addition, an entire vehicle model including electrical and mechanical components (battery, power electronics, e-motor, driveline, etc.) was developed to assess the ELVs energy needs during reference and real-world driving maneuver.

The results demonstrated the feasibility of this novel kind of vehicles, confirming the exciting driving experience typical of tilting vehicles, combined with comfort, low environmental impact and limited energy requirements.

Design of novel tilting electric four-wheelers

1 Introduction

Although ELV can fulfill most of the commuter needs due to their small size, light weight, low on board energy requirement and thus smaller batteries, their market share is still not relevant and, beside the low consumption achievable, have often limited handling capabilities. Within this project the driving experience is taken in the outmost regards by implementing a novel vehicle architecture aimed to ensure an effective and enjoyable riding dynamics similar to the motorcycle one while maintaining limited small transversal dimension.

This target can be achieved by implementing tilting multi-wheels architectures able to achieve a completely free roll motion, so that the wheels of each axle have the same roll angle of the vehicle frame maintaining all the external forces aligned with the vehicle vertical symmetry plane (Fig. 1): in this way no vertical load transfer is requested from left to right side.

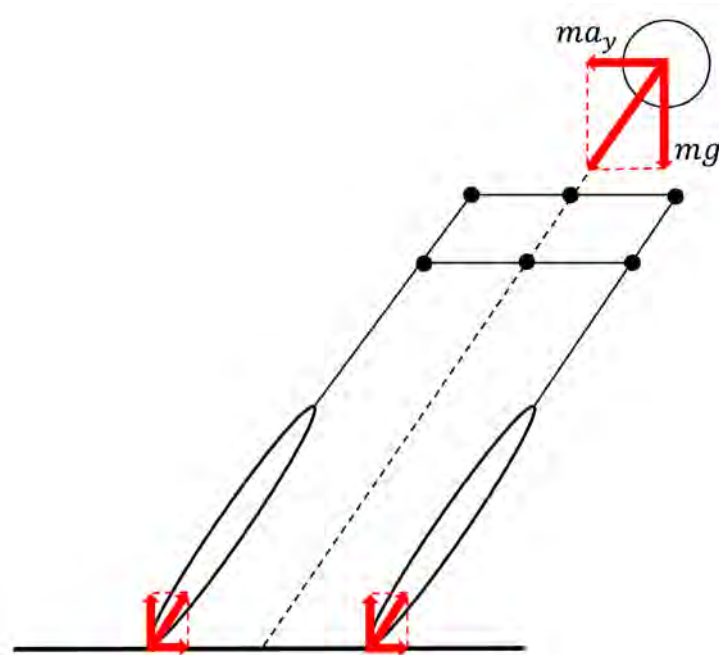


Figure 1. Roll equilibrium of tilting multi wheel vehicle

The equal split between the two wheels in all cornering conditions guarantees the optimal usage of tire performances. Indeed, due to the strong non-linear behavior of road-tire adherence depending on vertical load, the wheels can reach greater lateral acceleration values giving more safety margin in evasive maneuvers with respect to both conventional two wheelers and ELVs.

A similar architecture has been successfully exploited on the market thanks to vehicles with two front wheels like the Piaggio MP3. In the RESOLVE project, the concept will be further stressed by apply-

ing similar architectures to narrow four wheelers powered by electric powertrains in order to extend the obvious advantages also to the rear axle in order to increase static and dynamic stability and to allow for the investigation of advanced vehicle control functions (eg. torque vectoring). Two slightly different concepts for 4-wheeler tilting vehicles are considered that can be categorized in the L2e and L6e vehicle class. Both vehicles are designed for two people and a certain amount of luggage space.

2 Tilting four-wheeler vehicle description

The L2e vehicle consists of an aluminium alloy main structure that connects the front and the rear tilting components. The front suspension and tilting mechanism is based on a pseudo-McPherson concept. The rear suspension and tilting mechanism includes two separate swing arms with integrated motors and gear reduction with pull type spring-dampers. A torque vectoring principle allows for flexible power distribution between the two rear wheels and therefore enables the potential for investigation of innovative driving assistance functions for vehicle active safety improvement.

The L6e vehicle consists of a metallic mainframe partly made of aluminium alloy extrusion profiles, steel pipes and a structural battery case. This main structure is combined with a steel tubes roll cage covered with panels for weather protection and with two tilting substructures on front and back axles. The front suspension and tilting mechanism is based on a double transversal wishbone concept. The rear suspension and tilting mechanism consists of two swing arms with damper linked to a central rear tilting bar. The traction is provided to both rear wheels by a single electric motor encapsulated in the mainframe with a differential gear reduction with final belt transmission.

3 Longitudinal dynamics

For the longitudinal modelling and simulation of the vehicle demonstrators the Modelica simulation language using Dymola simulation software was chosen. In this paper, for the sake of conciseness, the architecture considered for the simulation is the L6e one, even if an identical analysis was performed for the L6e vehicle.

The demonstrator containing all the electrical and mechanical components of the vehicle is shown in Fig. 2. The electrical components include the traction 48V battery, the electric motors, the inverters and all the auxiliary modules powered by a service 12 V battery (recharged through a DC/DC converter). To simplify the entire vehicle simulation the sum of the power auxiliaries (e.g. the vehicle control, the lights, the energy needed for 12 V system, etc.) are represented by auxiliaries module. The e-machine model is coupled through the transmission to the rear axle/tires. The inverter model is

schematically represented, but in the entire simulation model is the inverter model integrated into the e-machine model. The total gear ratio of the transmission from the electric motor to the wheels is a sensitive design variable and was therefore modified during the simulation process in the range from 8:1 to 28:1, verifying both acceleration and energy consumption targets on various driving conditions and reference cycles.

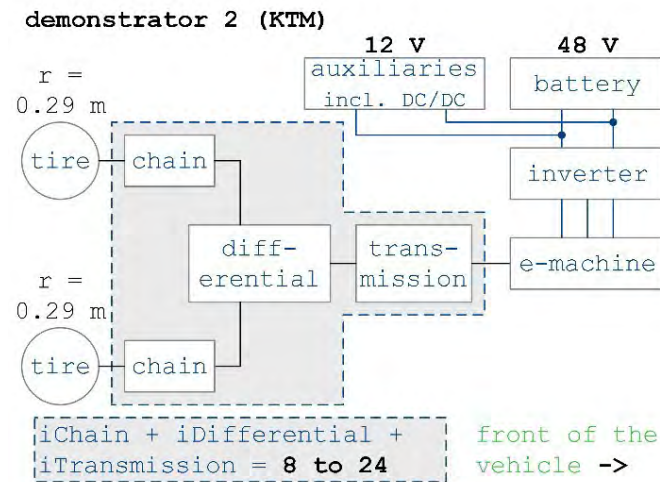


Figure 2. Electrical and mechanical architecture of the demonstrator 1 (KTM)

A simulation model for investigation and analysis of the demonstrator is shown in Fig. 3. The electrical four-wheel vehicle was modelled using the libraries SmartCooling [1] and SmartPowerTrains [2]. The powertrain models includes a battery (Bat.), an electrical machine (MG), a transmission including chain (Trans.) and a rear drive model (Axle Rear) including non-linear tires. A quasi-steady state model of the electrical machine with integrated converter and control system is used in the simulations and an idealized parametric battery model (Bat.) is used to supply the electrical machine and all the electrical components of the vehicle including auxiliaries (Aux.).

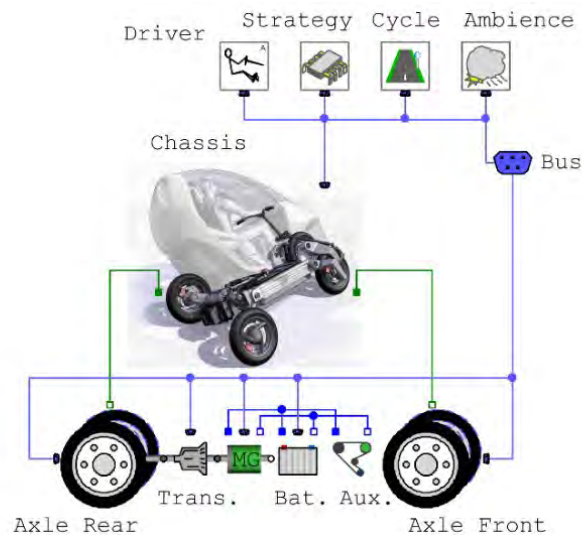


Figure 3. The Dymola using Modelica simulation model of the tilting four-wheeler

Both battery and electric motor/inverter are modeled on characteristic curves (operating maps) which can be easily calibrated based on measurement data or data sheets of the component manufacturer.

The battery model consists of a constant capacitor and a constant internal resistor with a state of charge (SOC) estimator designed as follows:

- if one cell is in the maximum state of charge (SOCMax) the output voltage of this cell is the maximum cell voltage (VCellMax);
- if the cell is discharged to the minimum state of charge (SOCMin) the output voltage of this cell is the minimum cell voltage (VCellMin).

As a consequence, the instantaneous output voltage level of the battery is associated with an instantaneous SOC. Figure 4 illustrates the relation between these two quantities used for the first simulation run.

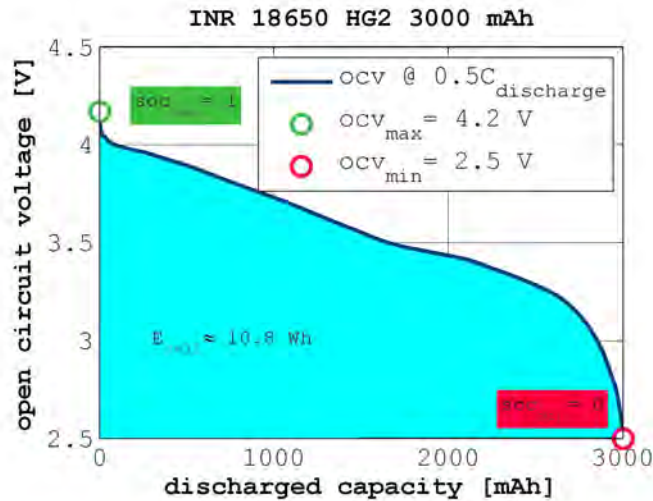


Figure 4. Relation between open source voltage and discharged capacity of the used cell at 3A discharge current

In order to effectively assess the vehicle performances depending on different driving styles and conditions, the following cycles have been considered: a) New European Driving Cycle (NEDC), b) Artemis, c) Worldwide Motorcycle Test Cycle (WMTC) and d) full load. Since the maximum vehicle speed is 45 km/h, the parts of the driving cycles which overcomes this speed values has been reduced to the maximum allowed speed of the demonstrators, as represented in Fig. 5 for WMTC.

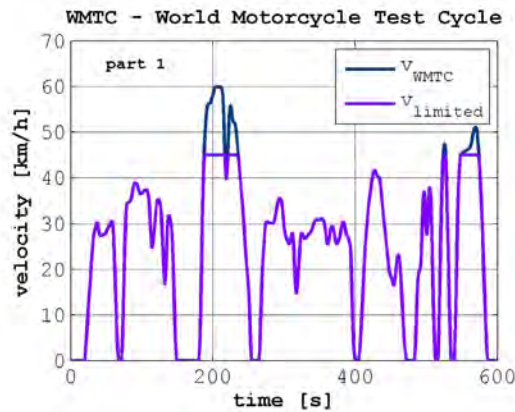


Figure 5. Part 1 of the Worldwide Motorcycle Test Cycle (WMTC), limited velocity

The same driving scenarios are simulated under all driving cycles by analyzing the sensitivity of energy consumption depending on both mass and gear ratio variations.

More than 300 simulation scenarios have been considered and analysed to identify the best gear ratio considering both energy consumption and acceleration performances of the vehicle. The analysis

shows that the best gear ratio of the transmission is in the range between 12 and 13. In Fig. 6a and Fig. 6b the analysed and described simulation results for the road-slopes 5% and 10% are depicted.

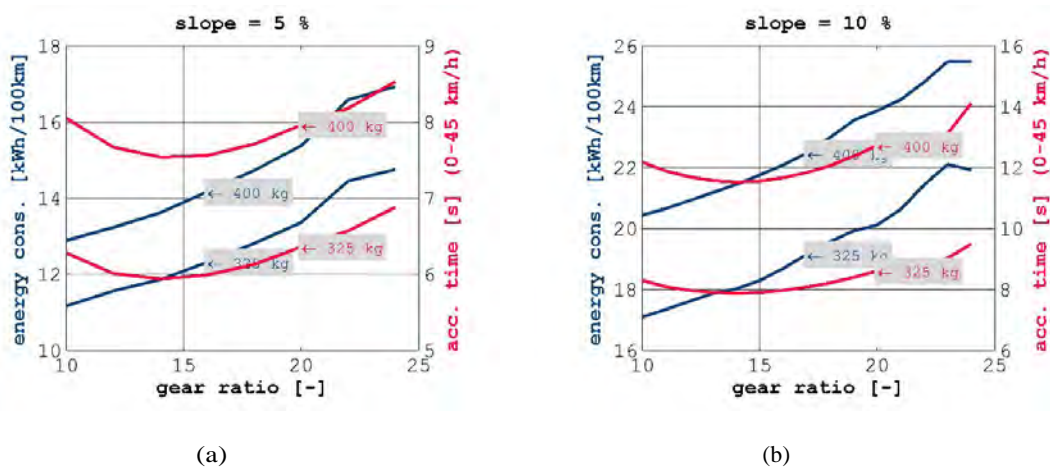


Figure 6. Acceleration performances and energy consumption for road-slope 5% (a) and 10% (b).

4 Lateral dynamics

In order to simulate the dynamic behaviour of the vehicle two different approaches were used:

- a numerical stability analysis of the tilting four-wheelers running in straight line at constant speed performed through a simplified model aimed at computing the vehicle eigen-modes;
- a multibody analysis including steady state and transient maneuvers (e.g. steering pad, double lane change, slalom etc.) performed using a specifically developed virtual rider.

4.1 Stability analysis of the rigid vehicle

The model developed for the stability analysis is shown in Fig. 11. It is composed of 23 rigid bodies, the suspension are assumed as infinitely rigid elements as well as the tire are modelled as rigid lenticular rings. The rider, which is not represented, is rigidly fixed to the main frame and the global center of gravity of the vehicle is assumed to be invariant in a vehicle reference frame.

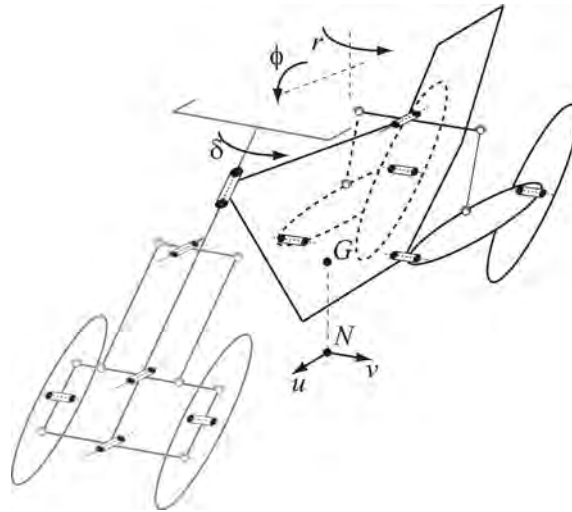


Figure 7. Stability analysis model and state variables.

Since the vehicle is equipped with front and rear tilting mechanisms, even if the suspensions are assumed as rigid, the model roll motion is still one degree of freedom for the system.

Five state variables fully describe the state of the model state which are:

- longitudinal (u) and lateral (v) speed of the projection of the center of gravity on the road (point N);
- yaw velocity of the main frame (r);
- steering angle δ ;
- roll angle φ .

Nine dynamic equilibrium equations were derived from the simplified model, along with four tire lateral constitutive equations (linear behaviour with respect to slip angle and camber) and eight congruence equations which relate the front and rear camber and slip angles and the inclination of the front and rear tilting mechanisms with the model state variables.

After suitable substitutions the system was linearized and written in the state space form and the eigenvalues and eigenvectors of the state matrix were computed for different longitudinal speed values in the range 0–40 m/s.

Figure 9 shows the real and imaginary parts of the most significant eigenvalues of the dynamic matrix.

The capsize mode [3, 4], which represent the vehicle fall aside, is non-oscillatory in the entire investigated range since its associate eigenvalues is always real and greater than zero, that means that the mode is unstable in the whole investigated speed range. The weave mode, which consists in a counter-phase oscillation of the steering wheel and the main frame, is characterized by two different real eigenvalues at very low longitudinal speed (non-oscillatory behavior) and two complex-conjugate eigenvalues (oscillatory behaviour) at higher longitudinal speed; the eigenvalue is stable since the real part of the eigenvalues is always negative and the oscillation frequency is in the range 0–1.5 Hz. The wobble eigenvalue, which consists in the oscillation (frequency 0–4.5 Hz) of the handlebar along the steering tube, in almost all the considered longitudinal speed range and becomes unstable at about 38 m/s: this value is way higher respect to the maximum allowed speed of the demonstrators. At very low speed, two different real eigenvalues were found which becomes two complex-conjugate eigenvalues at about 5 m/s. Finally, the rear wobble is a non-oscillatory and it is strongly stable in the whole considered longitudinal speed range and for this reason it is usually not deeply investigated in the literature [5].

The trend of the eigenvalues is similar to the ones already found for similar two and three wheelers [6]. The unstable eigenvalue related to the capsize exists, in different speed range, for every tilting vehicles and it is usually stabilized by the rider action.

4.2 Stability analysis of the tilting mechanism

Besides the analysis of the rigid vehicle eigenmodes, the suspension systems oscillations were considered separately. Indeed, once the right values of the spring and damping values of the front and rear shock absorbers were found considering classical ride dynamics [5, 7], additional possible oscillations arose, which do not exist in two-wheelers.

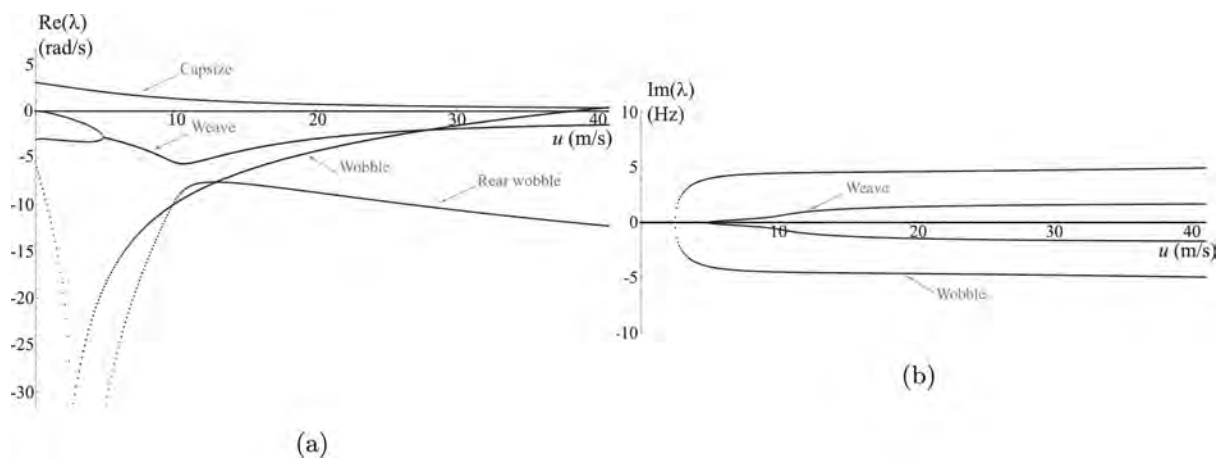


Figure 8. Real part (a) and imaginary part (b) of the eigenvalues of the rigid vehicle.

Figure 9a shows a simplified representation of the front tilting mechanism [8], which is composed by the front wheels, the inferior A-arms, the shock absorbers and the superior tilting lever which is linked to the main frame through a revolute joint. The mechanism is schematically summarized in Fig. 9b where a 3 degrees of freedom equivalent plane system is represented. The upper lever, which has inertia J_y computed about the rotation axis, can rotate by the angle θ and the translation of the wheel masses m (which also includes the equivalent mass of the inferior A-arms) are related to the state variables y_1 and y_2 . The shock absorbers stiffness and damping, k and c respectively, are assumed constant and are obtained through the vehicle ride analysis (omitted).

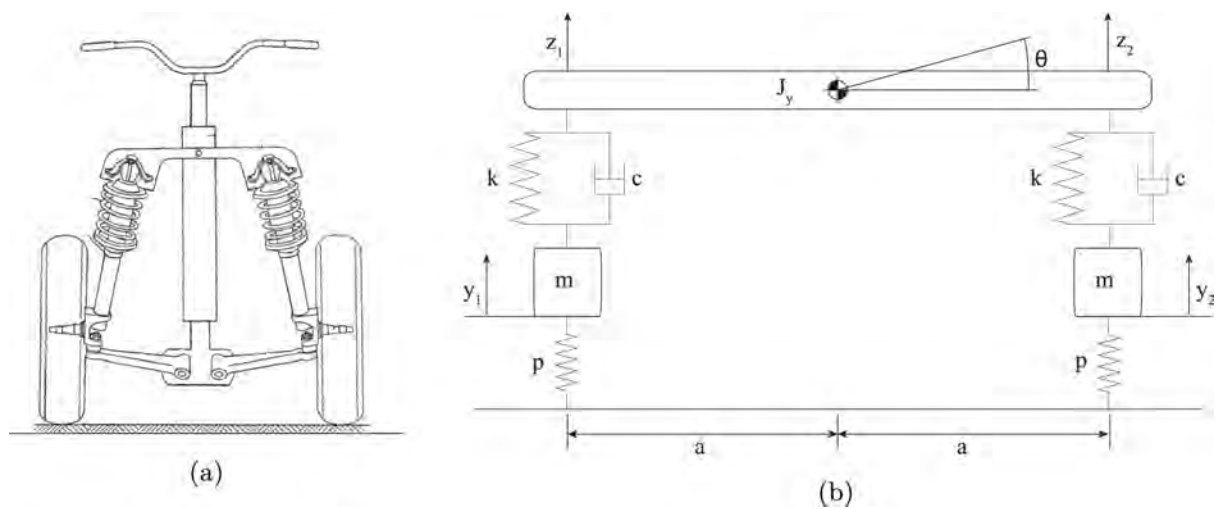


Figure 9. Tilting mechanism scheme (a) and model (b).

The dynamic equations were linearized considering the tilting mechanism in the central position and the eigenvalues and eigenvector were computed. The results, in terms of natural frequency and damping of each eigenmode, are shown in Fig. 10, as a function of the inertia of the tilting lever J_y .

Three natural modes can be identified which are ascribable to:

- Mode 1 rotation of the tilting lever and wheel masses fixed (red line);
- Mode 2 in-phase bounce of the wheel masses and tilting lever fixed (blue line);
- Mode 3 out of phase bounce of the wheel masses and rotation of the tilting lever (green line).

Mode 2 is, obviously, independent from the tilting lever inertia, since the body does not move. On the other hand, the tilting lever inertia influences the remaining two natural modes. In particular, if the inertia is low, the Mode 1 is over damped but the Mode 3 is almost not damped. This is due to the fact that, with low tilting lever inertia, the wheel masses have anti-symmetric displacement and the shock

absorber are not compressed since the tilting lever rotates in-phase with the wheels displacement. On the contrary, if the inertia is increased, the Mode 1 becomes oscillatory, even if it is strongly damped, and the Mode 1 is fairly damped: in this case, the rotation of the tilting lever and the anti-symmetric displacement of the wheel masses are not in phase and the damping element of the shock absorbers can actually dissipate energy.

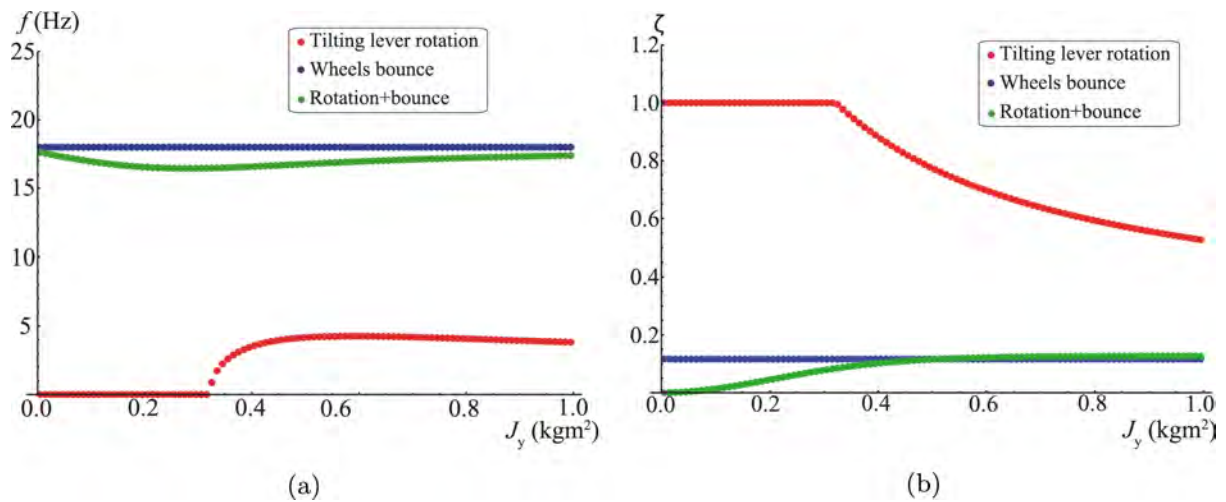


Figure 10. Natural modes of the tilting mechanism: frequency (a) and damping (b).

This analysis, even if performed with a simplified model, shows a possible issue of the tilting four-wheeler vehicles which does not exist in two wheelers and has to be taken into account to correctly design the tilting mechanism, in order to prevent undamped oscillations.

4.3 Multibody simulations

A multibody model of the vehicle was developed in MSC.Adams View environment. The model is made up of 32 rigid bodies connected through revolute, spherical and translational joints and it has 17 degrees of freedom, which can be ascribed to:

- three translations and three rotations of the whole vehicle assumed as a unique rigid body;
- four rotations of the wheels along their axis;
- four independent translations of the suspensions;
- two rotations of the tilting mechanism;
- one rotation of the handlebar along the steering tube.

The rider is assumed as a rigid body fixed to the main frame, the shock absorbers are modelled as constant stiffness and constant damping elements and the tire have radial compliance and non-linear longitudinal and lateral characteristics based on Pacejka model.

A virtual rider was implemented to reproduce the actual rider behaviour and was based on two independent controller [9]: the speed follower for the longitudinal dynamics and the roll follower for the lateral dynamics. In particular, the speed follower law, for each wheel, was determined on the basis of the following equations

$$T_{21} = \int_0^{\bar{t}} c_1(u_t(t) - u(t)) dt + c_2(u_t(t) - u(t)) + k(t) \quad (1)$$

$$T_{22} = \int_0^{\bar{t}} c_1(u_t(t) - u(t)) dt + c_2(u_t(t) - u(t)) - k(t) \quad (2)$$

where T_{21} and T_{22} are the rear left and rear right wheel traction torque respectively, c_1 and c_2 are controller parameters, $u_t(t)$ is the target speed profile and $u(t)$ is the actual longitudinal speed of the vehicle. The additional term $k(t)$ can be added to a wheel and subtracted from the other without affecting the longitudinal dynamics of the vehicle. This term can be a very important peculiarity of four-wheelers and can be actively controlled in order to obtain desired yaw control, as in cars, or to prevent vehicle fall. Indeed, as it is discussed below, due to tilting mechanisms equilibrium, the longitudinal forces affects also the vertical loads on the wheels.

Concerning the roll follower, the handlebar velocity $\dot{\delta}$ was determined as follows

$$\dot{\delta} = k_1\ddot{\phi} + k_2\dot{\phi} + k_3(\phi_t(t) - \phi(t)) \quad (3)$$

where k_1 , k_2 and k_3 are controller parameters, $\phi_t(t)$ is the target roll angle profile and $\phi(t)$ is the roll angle of the main frame.

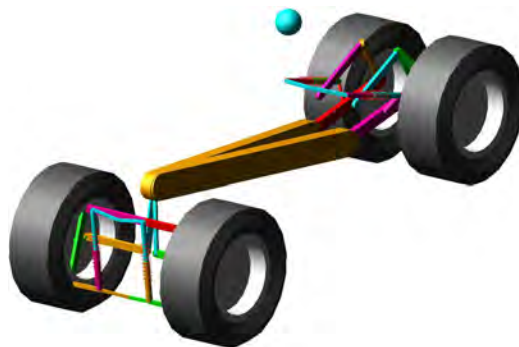


Figure 11. Multibody model in MSC.Adams View environment.

Figure 12 shows the results related to a manoeuvre composed by the vehicle acceleration from 0 to 30 km/h followed by a slalom. The vehicle accelerates up to the target speed in about 7 s (the acceleration time can be changed acting on the constants c_1 and c_2) and then keeps constant speed. Starting from $t=10$ s the slalom manoeuvre begins: the actual roll follows the target roll profile with a delay of about 0.1 s and the steering wheel angle, which is computed integrating the law given in Eq. 3, is almost in counter-phase. This is a very important result: indeed, as already discussed in [9], the roll (and trajectory) of a tilting vehicle is not related, by an almost in-phase constant, to the steering input as it happens in cars.

Finally, Fig. 13–15 shows the results obtained in a constant speed (45 km/h) rightward steering pad manoeuvre where the target roll angle was assumed 30° and different constant values of $k(t)$ (see Eq. 1–2) were imposed (i.e. zero, positive and negative). In particular, Fig. 13 shows the vertical loads on each tire, the target and actual roll angle and the steering angle during steering pad manoeuvre. Since the tire load are not statically determined, a load transfer is measured mainly on rear wheel, where the vertical load on the external wheel is higher than the one on the internal wheel. On the other hand, almost no load transfer is measured at front wheels. The steering wheel angle is initially leftward (counter-steering) and then rightward, as it happens in all tilting vehicle. This is a promising results since the driver probably will not perceive differences from classic tilting two-wheelers during normal ride.

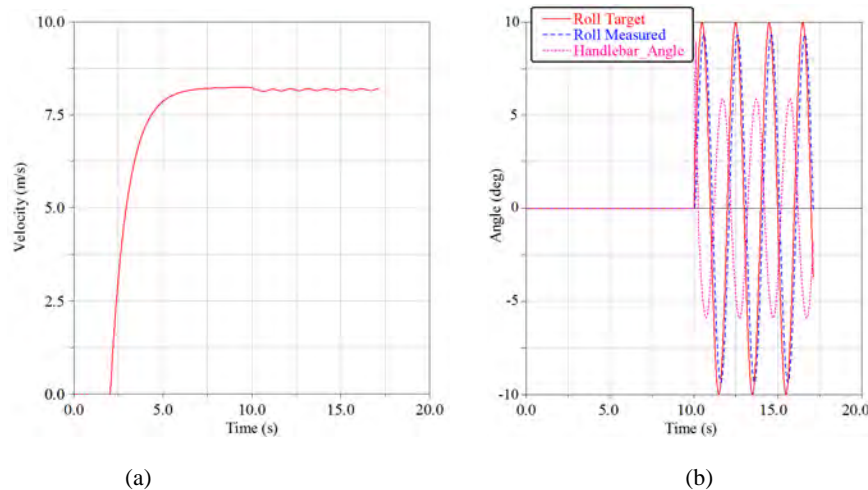


Figure 12. Vehicle speed (a) and vehicle roll (target and measured) along with steering angle (b) during acceleration and slalom manoeuvre.

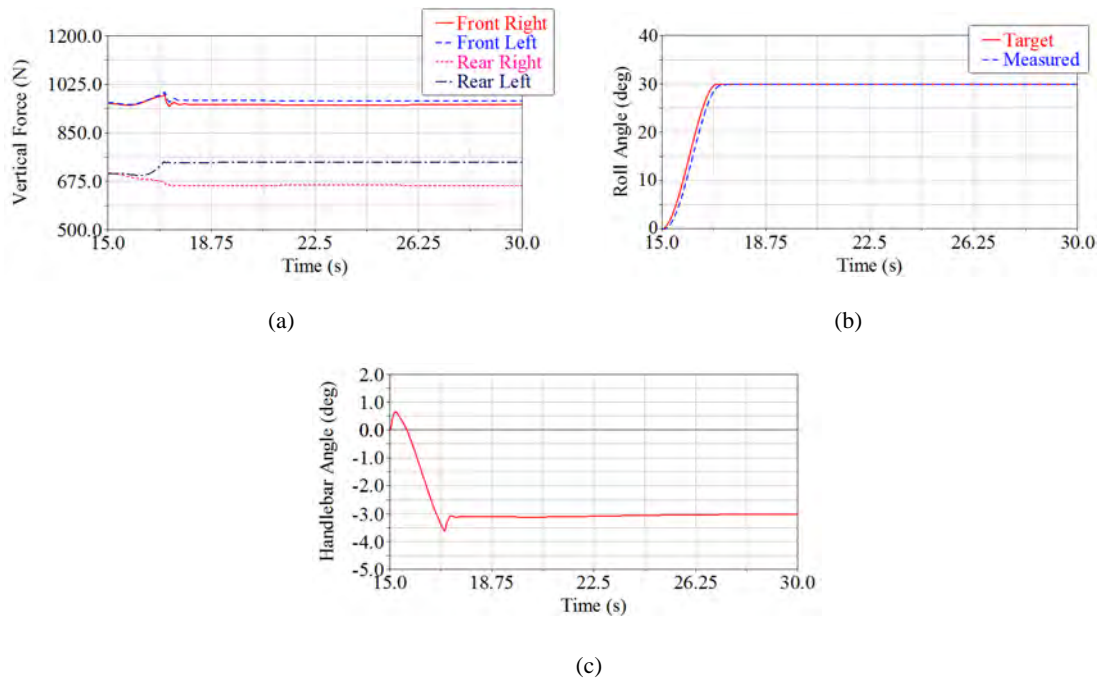


Figure 13. Vertical loads on wheels (a), target and actual roll angle (b) and handlebar angle (c) during steering pad manoeuvre – $k(t)=0$.

Fig. 14 shows the same manoeuvre performed with a constant positive $k(t)$ value superimposed to the longitudinal dynamics controller (Eq. 1–2). The effect of $k(t)$ does not affect neither the longitudinal speed (not represented) nor the roll angle but influences both the load transfer and the steering wheel angle. In particular, in this case the load transfer is increased with respect to the previous manoeuvres and the absolute value of the steering wheel angle necessary to keep the roll angle constant is reduced, resulting in a yawing effect on the vehicle lateral dynamics.

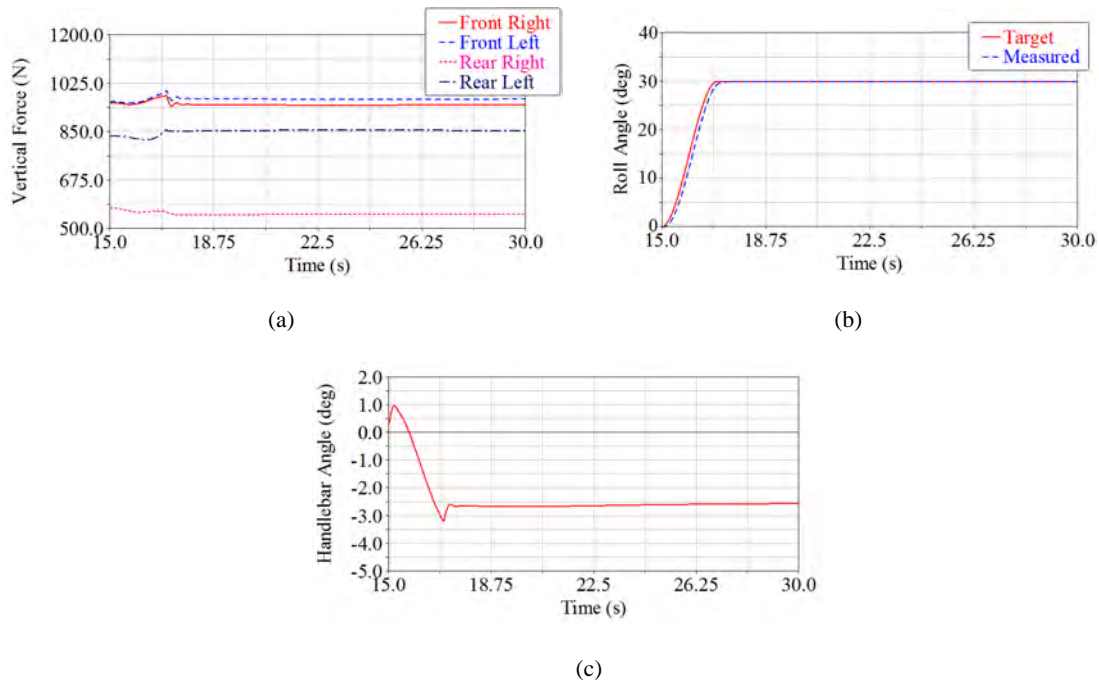


Figure 14. Vertical loads on wheels (a), target and actual roll angle (b) and handlebar angle (c) during steering pad manoeuvre – $k = \text{const.} > 0$.

On the contrary, if $k(t)$ is assumed constant and negative (Fig. 15), the load transfer on rear wheels is inverted (load higher on the external wheel) and the steering wheel angle necessary to keep the roll angle constant is (in absolute value) greater, resulting in a counter yawing effect on the vehicle lateral dynamics.

These preliminary simulations showed the capability of the model and of the virtual rider to correctly reproduce different speed and roll angle profiles and highlighted some important peculiarities of tilting four wheelers. In particular, a strong bond between the longitudinal forces on the rear wheels (which can be controlled by the electronic differential) and the vehicle dynamics, both in terms of vertical loads at each wheel and rider inputs, arose which opens up the possibility of controlling the yaw dynamics in an active way. This can be strongly beneficial in aiding the rider in order to prevent otherwise uncontrollable fall events.

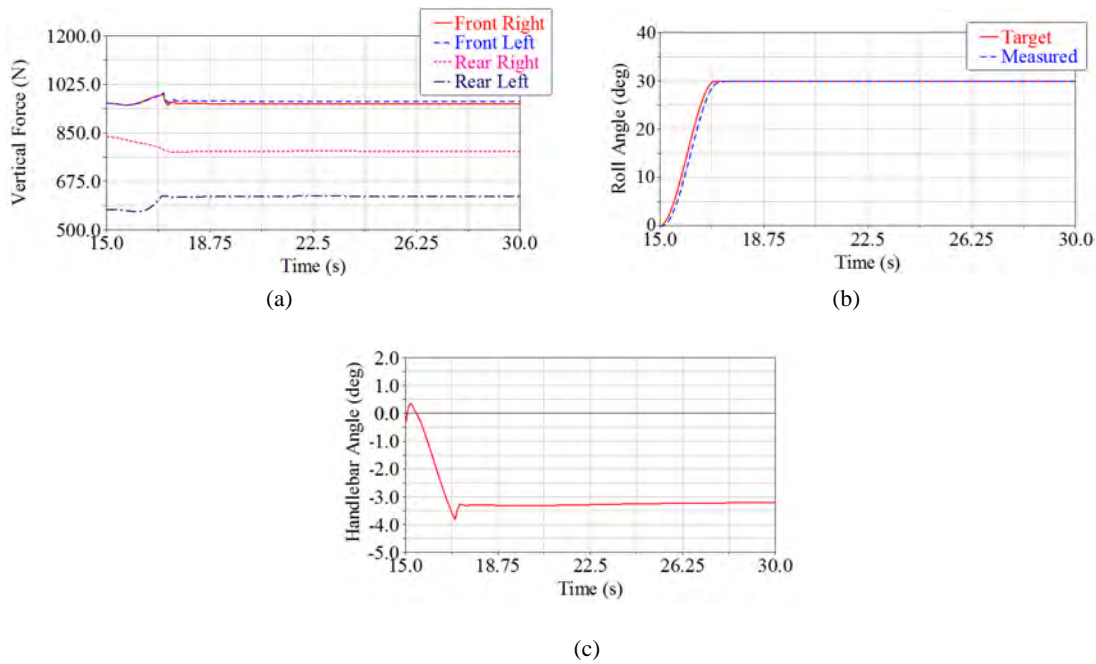


Figure 15. Vertical loads on wheels (a), target and actual roll angle (b) and handlebar angle (c) during steering pad manoeuvre – $k = \text{const.} < 0$.

5 Conclusions

L-category vehicles have the potential to be one of the key technologies for future urban mobility. The RESOLVE GV5 project is aimed to overcome the main limitations of the conventional three-four wheeler L-category products in terms of costs, energy efficiency and driving performance by the implementation of innovative vehicle concepts. Highly modular architectures, together with efficient batteries and electric drivetrain components as well as appropriate vehicle control systems will be used in order to develop lightweight and cost effective demonstrators. The tilting dynamic of the vehicles will be the key feature able to improve the handling performances and therefore the joy of use of these kinds of vehicles while maintaining limited lateral dimensions.

This paper focuses on the first steps of the virtual development of two vehicles in the L2 and L6 category. Using longitudinal simulation techniques and different driving cycles, the key performance of the vehicles was evaluated and the architecture of drivetrain and transmission was optimized guaranteeing the best compromise between energy efficiency and acceleration performances.

In a next step dedicated simulation models were developed to investigate the rigid vehicle stability, the stability of the tilting mechanism and handling behavior. The stability analysis results of the rigid vehicle showed a similar behavior compared to existing two and three wheelers on the market with a dominant unstable eigenvalue related to the capsize that is typical for all tilting vehicles and stabilized by the rider steering actions.

A specific modal analysis of the tilting mechanism with suspension elements revealed three modes: (1) rotation of the tilting lever and wheel masses, (2) in-phase bounce of the wheel masses and tilting lever and (3) out of phase bounce of the wheel masses and rotation of the tilting lever. These modes are heavily influenced by the tilting architecture itself and a specific design approach must be followed in order to prevent undamped oscillations while maintaining limited masses and dimensions for the vehicles.

In the multibody simulations, a virtual rider was implemented in order to reproduce the actual rider behavior for investigating the vehicle kinematics and dynamics. As expected, no significant lateral load transfer was found while cornering on the two front wheels, but the strong influence of the traction forces on the rear vertical loads allows for promising future developments in terms of control strategies for an active differential system.

The simulation results obtained in this phase of the project will guide the definition of the final vehicle architectures for the two demonstrators: parts and components will be engineered and integrated in the vehicle concepts. A final phase of experimental testing will be performed on the two full scale prototypes and the results will be used in order to validate and, eventually, finely tune the simulation driven engineering approach.

References

- [1] D Simic, H Lacher, C Kral, and F Pirker. Evaluation of the smartcooling (SC) library for the simulation of the thermal management of an internal combustion engine. Technical report, SAE Technical Paper, 2007.
- [2] D Simic. Simulation and evaluation of a powertrain of a hybrid electric all terrain vehicle (ATV). Technical report, International Advanced Mobility Forum, Geneva, Switzerland, 2010.
- [3] R S Sharp. The stability and control of motorcycles. *Journal of mechanical engineering science*, 13(5):316–329, 1971.
- [4] V Cossalter, R Lot, and F Maggio. The modal analysis of a motorcycle in straight running and on a curve. *Meccanica*, 39(1):1–16, 2004.
- [5] V Cossalter. *Motorcycle dynamics*. Lulu. com, 2006.
- [6] A Sponziello, F Frenzo, and M Guiggiani. Stability analysis of a three-wheeled motorcycle. *SAE International Journal of Engines*, 1(1):1396–1401, 2009.
- [7] M Guiggiani. *The Science of Vehicle Dynamics: Handling, Braking, and Ride of Road and Race Cars*. Springer Science & Business Media, 2014.
- [8] M Marcacci. Four-wheeler vehicle. *Patent EP*, 1694555B1, 2006.
- [9] F Bartaloni, O Di Tanna, F Frenzo, M Guiggiani, M Parenti, and A Sponziello. Dynamic analysis of a novel three wheeled tilting vehicle. In *poster presentation at IAVSD 20th Symposium, Berkeley CA*, 2007.