

**Sicherheit**  
**Safety**

**Umwelt**  
**Environment**

**Zukunft**  
**Future**

**Tagungsband der 9. Internationalen  
Motorradkonferenz 2012**  
**Proceedings of the 9<sup>th</sup> International  
Motorcycle Conference 2012**

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

**Update on Brake Steer Torque Optimized  
Corner Braking of Motorcycles**

**Neue Erkenntnisse zur Bremslenkmomentoptimierten  
Motorrad-Kurvenbremsung**

Kai Schröter, Michael Wallisch, Oleg Vasylyev,  
Jean-Eric Schleiffer, Raphael Pleß, Hermann Winner

Institute of Automotive Engineering, Technische Universität Darmstadt, Germany

Kazuhiko Tani

Honda R&D Co. Ltd. Motorcycle R&D Center, Japan

Oliver Fuchs

Honda R&D Europe (Deutschland) GmbH, Germany

## Abstract

Braking in curves is a demanding control task on Powered-Two-Wheelers (PTW). Especially in unforeseen or hazardous corner braking situations, many riders show a limited capability to balance their brake action and compensation of the Brake Steer Torque (BST) instantaneously. The subsequent stand-up-tendency of the vehicle can further irritate the rider which may be unable to keep the intended cornering line (“BST-effect” [1-9]).

In order to enhance understanding of such events, various influences on the overall steering torque demand during corner braking are identified and discussed on the basis of a simple mathematical model. Among other factors, rider posture and driving style have a major influence. While “lean out” worsens the BST-effect, “lean in” lessens it.

As a first practical step towards BST optimized corner braking, a Honda CBR600RR motorcycle was prototypically equipped with a BST Avoidance Mechanism (BSTAM [1-5]). Driving experiments with a preliminary setup already prove a significant reduction of BST kick-in and stand-up-tendency, however, currently still at the cost of a relatively high steering torque demand during free cornering and an unfamiliar feel in standard driving maneuvers, such as slalom.

### Keywords:

Powered-Two-Wheeler (PTW) / Motorcycle Safety, Chassis, Brake Systems, Brake Steer Torque (BST), Brake Steer Torque Avoidance Mechanism (BSTAM), Corner Braking, Rider Influence

## Kurzfassung

Das Bremsen eines Einspurfahrzeugs in Kurven gehört zu den herausforderndsten Fahrmanövern für den „Menschen als Regler“. Speziell in unvorhergesehenen Notfallsituationen („Panikbremsung“) sind viele Motorradfahrer damit überfordert, Bremsdosierung und die Kompensation des Bremslenkmoments (BLM) aufeinander abzustimmen und so simultan zu beherrschen. Die sich daraus ergebende Aufstellbewegung des Fahrzeugs kann den Fahrer zusätzlich irritieren, so dass dieser seine geplante Fahrlinie nicht einhalten kann („BLM-Effekt“ [1-9]).

Um den Ablauf solcher Situationen besser verstehen zu können, werden verschiedene Einflussfaktoren auf den Gesamtlenkmomentbedarf bei Kurvenbremsung anhand eines einfachen mathematischen Modells identifiziert und diskutiert. Neben anderen Faktoren haben Fahrerhaltung und Fahrstil einen bedeutenden Einfluss. Während „Drücken“ den BLM-Effekt verschlechtert, kann dieser durch „Legen“ gemindert werden.

Als ein erster praktischer Schritt in Richtung einer bremslenkmomentoptimierten Kurvenbremsung wurde eine Honda CBR600RR prototypisch mit einem Bremslenkmomentverhinderer (BLMV [1-5]) ausgerüstet. Fahrversuche mit einem vorläufigen Setup zeigen bereits eine signifikante Reduktion des Bremslenkmomentsprungs und der Aufstellneigung. Diesem Vorteil stehen momentan jedoch noch ein relativ hoher Lenkmomentbedarf in ungebremster Kurvenfahrt sowie ein ungewohntes Fahrgefühl in Standardfahrmanövern, wie z.B. Slalom, entgegen.

### Schlüsselwörter

Einspurfahrzeug- / Motorrad-Sicherheit, Fahrwerk, Bremssysteme, Bremslenkmoment (BLM), Bremslenkmomentverhinderer (BLMV), Kurvenbremsung, Fahrereinfluss

**Update on Brake Steer Torque Optimized  
Corner Braking of Motorcycles**

# 1 Introduction

Undoubtedly, braking in curves is one of the most demanding tasks for the rider of a Powered-Two-Wheeler (PTW). In the early 1990ies, Weidele showed the great theoretical potential of ideal corner braking and pointed out the technical deficiencies of contemporary motorcycles and brake systems, which made it hard for riders to access the full physical potential. Among other enhancements, he also suggested the so called Brake Steer Torque Avoidance Mechanism (BSTAM), a mechatronic countermeasure against the brake force induced steering torque (BST), its ABS-induced fluctuations and resulting course deviations [1-5, 21-22].

However, in the past 20 years, big technology enhancements have been made. Modern motorcycles are available with combined brake systems (CBS) that simplify approaching the optimal brake force distribution (BFD) in all kinds of driving situations. Today's anti-lock brake systems (ABS) operate much smoother and allow a much quicker and closer approach to optimal slip and maximum friction potential, especially when regarding dynamic over-braking in the first ABS-cycle [19, 20]. Moreover, a large pitching control [19] is incorporated in many advanced brake systems that helps to keep the rear tire in road contact, avoiding a brake flip-over and undesired yaw-movements. Lastly, modern tires and chassis offer a high friction potential and neutral handling and at the same time show less disturbing reactions to ABS-regulated braking.

Anyhow, as underlined by accident statistics [1, 7-9] and other sources [6, 10], corner braking – even far below ABS-controlled deceleration limits – and especially the sudden kick-in of BST combined with the subsequent stand-up-tendency of the vehicle in unforeseen or hazardous situations are still relevant issues for driving safety in real traffic and well known among motorcycle riders.

Common explanations for the genesis of such situations regard both external and internal factors such as disadvantageous series of curve radii [7], rider training, fitness and shock reaction with steep brake force gradients as well as rider irritation by the change of vehicle dynamics [6, 8-10].

In this paper, these explanations are extended by the influence of rider posture and driving style, which put the rider in different anatomic starting positions to effectively counterbalance the BST-effect.

A simple analytical model of corner braking is used to illustrate both the rider influence and the influence of a BSTAM on the steering characteristics.

The theoretical considerations are verified in comparing driving experiments with a prototype motorcycle based on a Honda CBR600RR C-ABS (2010 model) that can be optionally operated with conventionally centered steering axis or with a BSTAM in different setups.

Conclusions are drawn and a future outlook is given.

Finally, correcting remarks to a prior publication [1] are provided in a supplementary section (“Errata 2010”).

## 2 General considerations on PTW Steering Torque Characteristics and BST

The steering torque characteristics of a PTW – both in magnitude and sense of direction (inward or outward a curve) – are of utmost importance for rider feel and vehicle handling. In steady turning, a low and outward the curve torque to be applied by the rider is typically desired. At the same time, this keeps rider stress low during free driving, gives the rider good feedback from the front tire and avoids a change of sign in steering torque demand when starting to brake in a curve.

As can be seen from various sources [e.g. 5, 11, 14] and Figure 1 (left), the overall steering torque demand, that is required of the rider to keep the steering system in equilibrium for a given driving situation, is composed of many contributes, some of them tend to align the steering system, while others are misaligning.

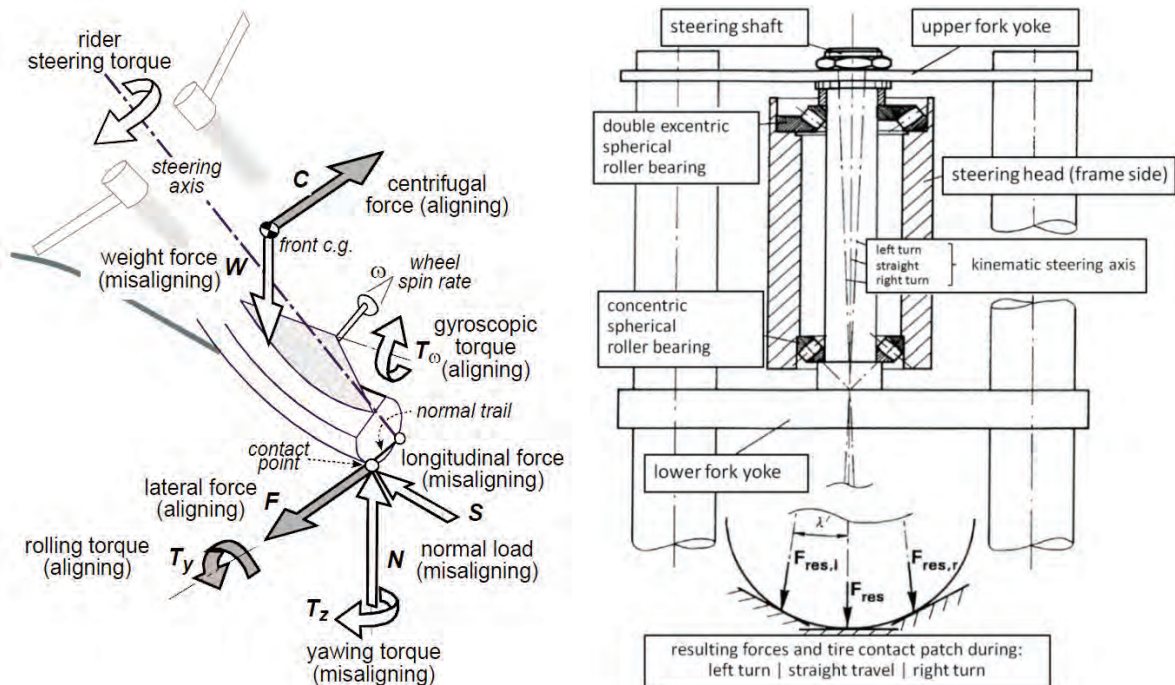


Figure 1: Equilibrium of the steering system [14: Cossalter (2010): Motorcycle Steering Torque Decomposition] and BSTAM principle of function [5: Weidele (1994)]

Due to the lateral inward migration of the tire contact patch, sudden strong braking in a curve will superimpose a highly misaligning steering torque component (the so-called “BST kick-in”), which will lead to an inward steering movement and subsequent stand-up-tendency of the vehicle, if not immediately counterbalanced by the rider (the so-called "BST-effect", see [1]).

The BSTAM principle as presented in Figure 1 (right) and prior publications [1, 5] was designed as a countermeasure against this phenomenon and makes use of an adjustable kinematic steering axis to eliminate the effective lever arm of brake forces. Since its excenter-kinematics at the same time alter the lateral steering axis inclination as well as caster angle and trail, this has side effects on the steering balance which is very sensitive to parameter variations [12-14]. Both the influence of a BSTAM and riding style on the steering torque components given through longitudinal, lateral and normal tire-road interaction forces are discussed in the following on the basis of a simple rigid body model.



## 2.1 Model Calculation for Overall Forces (Rigid Body Model)

In the following sections, equations are derived from schematic drawings. In order to illustrate the occurring effects in an intuitive way, forces are drawn in the direction that they point in reality. This means for instance, that front (ft) and rear (rr) brake forces  $F_{x,ft/rr}$  have positive values, even though they are oriented along the negative x-coordinate (in the road coordinate system x-y-z). The same holds true for the lateral acceleration  $a_y$  and the longitudinal deceleration  $a_x$ : both values are positive by definition. For easier reading of the equations, the total vehicle roll angle and unmodified stock caster angle are abbreviated with:  $\lambda_{tot} = \lambda$  and  $\tau_{stock} = \tau$ . Moreover, the roll angle dependency of variables is only selectively indicated.

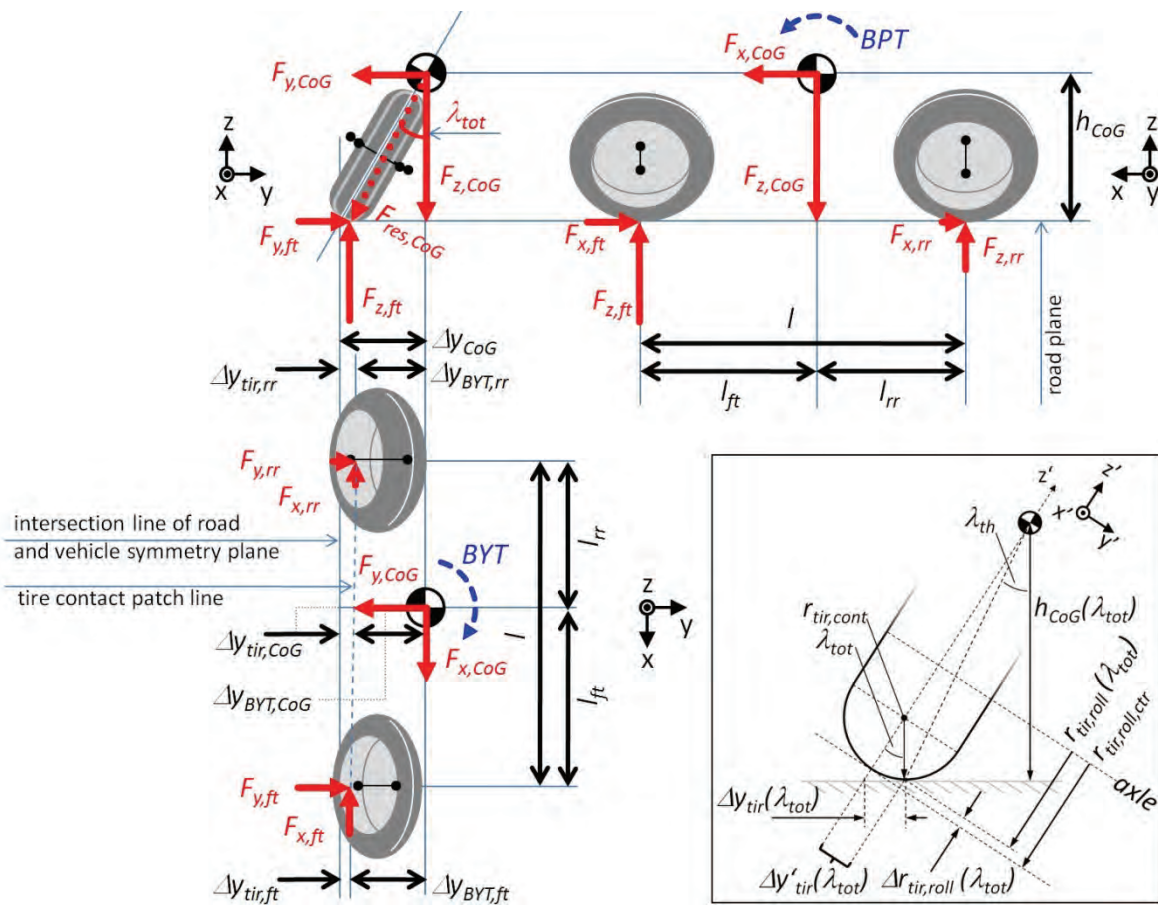


Figure 2: Equilibrium forces and effective lever arms on a rigid motorcycle model cornering at a total roll angle of  $30^\circ$  (in a left turn), decelerating with  $a_x = 0.5 g$  in road fixed coordinates. Dimensions and forces approximately drawn to scale for the BSTAM prototype motorcycle driving in x-direction, viewed from left side (figure: top right), front (top left), and bird-view (bottom left) | Roll angle dependant influences of tire contour (bottom right)

The model was designed to highlight two important effects. Firstly, the inertia force acting on the overall center of gravity (CoG) at its height over ground creates a so called Brake Pitch Torque (BPT), leading to a dynamic normal load transfer from the rear to the front wheel. Secondly, the lateral offset

between CoG and tire contact patch line analogously creates the so-called Brake Yaw Torque (BYT), which leads to a dynamic transfer of lateral loads from rear to front [5, 14]<sup>1</sup>.

At first, the effective lever arms that lead to the BPT and BYT are regarded.

Given a total equilibrium roll angle  $\lambda$ , both tire contact patches have a lateral offset towards the intersection line of the vehicle symmetry- and road-plane ( $\Delta y_{tir,ft/rr}$ ) which depend on their respective contour radii (Figure 2, bottom left and right):

$$\Delta y_{tir,ft/rr} = r_{tir,ft/rr,cont} \cdot \tan(\lambda)$$

Therefore, the tire contact patch line is slightly inclined towards the intersection line of the vehicle symmetry and road plane. As the offset distribution along the line is linear, a mean tire contour radius for a single wheel model mounted at the CoG location is derived as follows:

$$r_{tir,CoG,cont} = (r_{tir,ft,cont} \cdot l_{rr} + r_{tir,rr,cont} \cdot l_{ft}) / l$$

In analogy to the tire coordinates, the respective lateral offset amounts to:

$$\Delta y_{tir,CoG} = r_{tir,CoG,cont} \cdot \tan(\lambda)$$

The perpendicular height of the CoG (see Figure 2, right) decreases with increasing roll angle:

$$h_{CoG}(\lambda) = r_{tir,CoG,cont} + (h_{CoG,straight} - r_{tir,CoG,cont}) \cdot \cos(\lambda)$$

while its lateral offset towards the intersection line of the vehicle symmetry and road plane increases:

$$\Delta y_{CoG} = h_{CoG}(\lambda) \cdot \tan(\lambda)$$

The effective lever arms for both brake forces at tire contact patch level contributing to the BYT are:

$$\Delta y_{BYT,ft/rr} = \Delta y_{CoG} - \Delta y_{tir,ft/rr}$$

And the geometric definition for the overall effective lever arm for the total inertia force  $F_{x,CoG} = m \cdot a_x$  acting on the CoG and forming the BYT finally is written as:

$$\Delta y_{BYT,CoG}(\lambda) = (\Delta y_{BYT,ft} \cdot l_{rr} + \Delta y_{BYT,rr} \cdot l_{ft}) / l = \Delta y_{CoG} - \Delta y_{tir,CoG}$$

As for stationary constant radius cornering the resulting force  $F_{res,CoG}$  (Figure 2, top left) composed by the weight force  $F_{z,CoG} = m \cdot g$  and the centrifugal force  $F_{y,CoG} = m \cdot a_y$  acting on the CoG needs to

---

<sup>1</sup> Please note the different definition of BYT in the vehicle coordinate system in the main author's prior publication [1] that becomes obsolete with the new definition in road coordinates. See also section 6 Errata 2010.

point through the tire contact patch line, the correlation between the lateral acceleration and the total roll angle is given by:

$$a_y = \Delta y_{BYT,CoG}(\lambda) / h_{CoG}(\lambda) \cdot g$$

For braking conditions, the inertia force  $F_{x,CoG}$  is acting on the CoG as a third force component. Regarding the bird-view picture in Figure 2 (bottom left), the total resulting force will deviate slightly from the inclined tire contact patch line and create a small roll torque, trying to increase the roll angle. However, as the instant of beginning the braking procedure lies in the focus of the presented study, this influence is neglected.

Figure 2 (top right) illustrates that the BPT around the y-axis in the road coordinate system (dotted blue circular arrow) will increase the front and decrease the rear wheel load. For a given deceleration  $a_x$  it is defined as:

$$BPT = F_{x,CoG} \cdot h_{CoG}(\lambda) = m \cdot a_x \cdot h_{CoG}(\lambda)$$

Together with  $F_{x,CoG} = m \cdot a_x$  and  $F_{z,CoG} = m \cdot g$ , the wheels loads are:

$$F_{z,ft/rr} = m \cdot g \cdot \frac{l_{rr/ft}}{l} \pm m \cdot a_x \cdot \frac{h_{CoG}(\lambda)}{l}$$

As illustrated in Figure 3, the increase in front wheel normal load has a misaligning effect on the overall steering torque demand.

Figure 2 (bottom left) illustrates the genesis of the outward turning BYT (dotted blue circular arrow) around the z-axis in the road coordinate system<sup>1</sup>. It is expressed as:

$$BYT = m \cdot a_x \cdot \Delta y_{BYT,CoG}(\lambda)$$

It needs to be counterbalanced in form of an increasing lateral force at the front and a decreasing side force at the rear wheel. Thus, the overall lateral forces are calculated by superimposing steady turning and BYT induced lateral force components, with  $F_{y,CoG} = m \cdot a_y$ :

$$F_{y,ft/rr} = m \cdot a_y \cdot \frac{l_{rr/ft}}{l} \pm m \cdot a_x \cdot \frac{\Delta y_{BYT,CoG}(\lambda)}{l}$$

Assuming an ideal Kamm Friction Circle for the tire-road interaction and an “ideal” Brake Force Distribution (BFD) with equal levels of friction potential used at both wheels ( $\mu_{used}$ ), the brake forces are calculated as follows:

$$(1st) F_{x,ft}^2 + F_{y,ft}^2 = \mu_{used}^2 \cdot F_{z,ft}^2$$

$$(2nd) F_{x,rr}^2 + F_{y,rr}^2 = \mu_{used}^2 \cdot F_{z,rr}^2$$

Both brake forces together must deliver the desired overall deceleration:

$$(3rd) F_{x,tot} = F_{x,ft} + F_{x,rr} = m \cdot a_x$$

Reformulating the second and third equation leads to:

$$(5th) \mu_{used} = \sqrt{\frac{F_{x,rr}^2 + F_{y,rr}^2}{F_{z,rr}^2}}$$

$$(6th) F_{x,ft} = m \cdot a_x - F_{x,rr}$$

These two equations set into the first equation leads to:

$$(m \cdot a_x - F_{x,rr})^2 + F_{y,ft}^2 = \frac{F_{x,rr}^2 + F_{y,rr}^2}{F_{z,rr}^2} \cdot F_{z,ft}^2$$

After some arithmetic, the rear wheel braking force is expressed as follows:

$$F_{x,rr} = \frac{\sqrt{m^2 \cdot F_{z,ft}^2 \cdot F_{z,rr}^2 \cdot a_x^2 + (F_{y,ft}^2 \cdot F_{z,rr}^2 - F_{y,rr}^2 \cdot F_{z,ft}^2) \cdot (F_{z,ft}^2 - F_{z,rr}^2)} - m \cdot F_{z,rr}^2 \cdot a_x}{(F_{z,ft}^2 - F_{z,rr}^2)}$$

The formula to calculate the front wheel braking force can be derived in an analogue way. However, for a given deceleration and rear wheel braking force, it is easier to use the 6<sup>th</sup> equation.

If a maximum corner braking situation is to be looked at, there are two limiting factors on the maximal possible deceleration, which are characterized by rear wheel lift off and the maximum use of available tire-road friction potential.

In the presented study, rear wheel “lift off” conditions for the “ideal” BFD are defined as the situation, when the rear wheel normal force is just enough to provide the currently needed side force:

$$\mu_{available} \cdot F_{z,rr} = F_{y,rr}, \text{ with } \mu_{available} \text{ being the coefficient for the available tire-road friction.}$$

Thus, the maximal deceleration for rear wheel “lift off” is calculated as follows by using the previous definition of tire lateral and normal forces  $F_{z/y,rr}$ :

$$a_{x,max, "lift off"} = \frac{(\alpha_y - \mu_{available} \cdot g) \cdot l_{ft}}{\Delta y_{BYT,CoG}(\lambda) - \mu_{available} \cdot h_{CoG}(\lambda)}$$

The maximum possible deceleration at a full use of the maximum available friction potential at both wheels ( $\mu_{used} = \mu_{available}$ ) is the same as for a mass point model:

$$a_{x,max,fricton} = \sqrt{(\mu_{available} \cdot g)^2 - a_y^2}$$

The presented set of equations allows the computation of the characteristic “ideal” BFD diagram, that becomes more rear-wheel oriented for increasing roll angles [1, 5].

## 2.2 Coordinate Transformations and Effective Lever Arms

The forces as calculated in the previous section are referenced towards the road coordinate system ( $x$ - $y$ - $z$ ), while their effective lever arms towards the steering axis are defined in the steering coordinate system ( $x'_{st}$ - $y'_{st}$ - $z'_{st}$ ). Figure 3 illustrates the occurring forces and the two steps of transformation, first into the vehicle coordinate system ( $x'$ - $y'$ - $z'$ , rotation by the roll angle  $\lambda$ ) and then into the steering coordinate system (rotation by the caster angle  $\tau$ ).

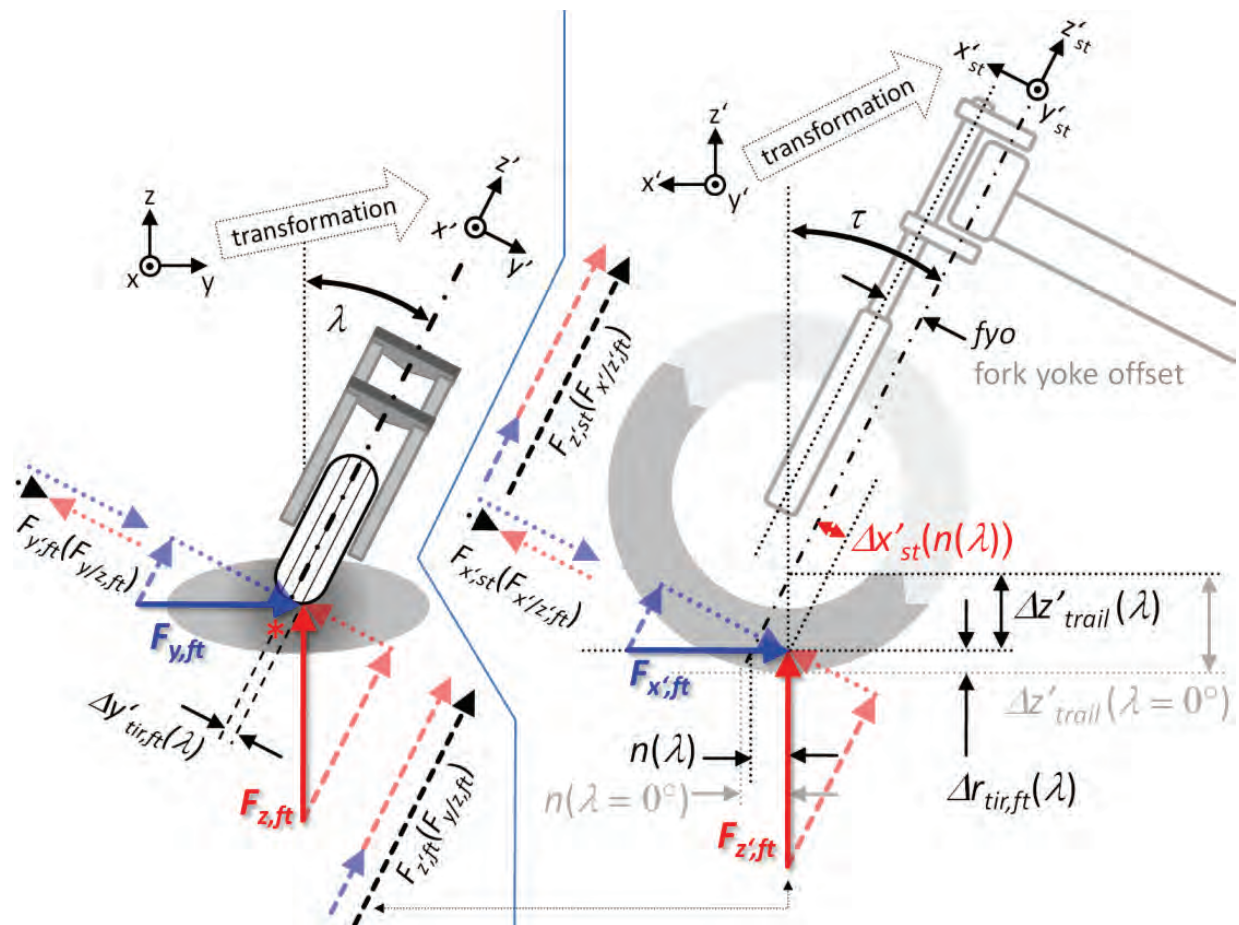


Figure 3: Coordinate transformations of forces and corresponding effective lever arms (left: road to vehicle coordinates, right: vehicle to steering system coordinates)

Figure 3 (left) shows a motorcycle driving through a left turn from its front (perpendicular projection along negative x-axis). While longitudinal forces are omitted in that picture, both vertical and lateral forces acting on the tire contact patch (solid red and blue arrows along z-, respectively y-axis) can be decomposed into force components in the vehicle z'-direction (dashed red and blue arrows) and the vehicle y'-direction (dotted red and blue arrows). The bottom of the figure shows, that the longitudinal forces are identical for the x- and x'-directions. All three force-components acting on the front tire contact patch transformed from the road to the vehicle coordinate system are:

$$F_{x',ft} = F_{x,ft}$$

$$F_{y',ft} = F_{y',ft}(F_{y,ft}) - F_{y',ft}(F_{z,ft}) = F_{y,ft} \cdot \cos(\lambda) - F_{z,ft} \cdot \sin(\lambda)$$

$$F_{z',ft} = F_{z',ft}(F_{y,ft}) + F_{z',ft}(F_{z,ft}) = F_{y,ft} \cdot \sin(\lambda) + F_{z,ft} \cdot \cos(\lambda)$$

The forces transformed from the tire contact patch in y'- and z'-direction are highlighted in form of a vector addition with the black dotted respectively dashed lines as the resulting forces.

Figure 3 (right) shows a motorcycle from the left side with its vehicle and steering system coordinate systems, vertical (red) and longitudinal (blue) forces. The projected lateral forces as calculated above are omitted. They are the same as in the vehicle coordinate system:

$$F_{y',st,ft} = F_{y',ft}$$

Both vertical and longitudinal forces acting on the tire contact patch (solid red and blue arrows along z'-, respectively x'-axis) can be decomposed into force components in the steering system's z'<sub>st</sub>-direction (dashed red and blue arrows) and the steering system's x'<sub>st</sub>-direction (dotted red and blue arrows). The transformed forces in the tire contact patch are:

$$F_{x',st,ft} = F_{x',st,ft}(F_{x',ft}) - F_{x',st,ft}(F_{z',ft}) = F_{x',ft} \cdot \cos(\tau) - F_{z',ft} \cdot \sin(\tau)$$

$$F_{z',st,ft} = F_{z',st,ft}(F_{x',ft}) + F_{z',st,ft}(F_{z',ft}) = F_{x',ft} \cdot \sin(\tau) + F_{z',ft} \cdot \cos(\tau)$$

Again, the forces transformed from vehicle coordinates into y'<sub>st</sub>- and z'<sub>st</sub>-direction are highlighted in form of a vector addition with the black dotted respectively dashed lines as the resulting forces.

Both transformations put together lead to the forces in the steering system coordinate system in dependence on the forces at the tire contact patch in the road coordinate system:

$$F_{x',st}(F_{xyz,ft}) = F_{x,ft} \cdot \cos(\tau) - F_{y,ft} \cdot \sin(\lambda) \cdot \sin(\tau) - F_{z,ft} \cdot \cos(\lambda) \cdot \sin(\tau)$$

$$F_{y',st}(F_{xyz,ft}) = F_{y,ft} \cdot \cos(\lambda) - F_{z,ft} \cdot \sin(\lambda)$$

$$F_{z'st}(F_{xyz,ft}) = -F_{x,ft} \cdot \sin(\tau) + F_{y,ft} \cdot \sin(\lambda) \cdot \cos(\tau) + F_{z,ft} \cdot \cos(\lambda) \cdot \cos(\tau)$$

In order to calculate the steering torque contributions from these forces, their effective lever arms have to be known. The lever arm for the projected longitudinal forces  $F_{x'st}(F_{xyz,ft})$  is given by the roll angle dependant tire scrub radius as shown in Figure 2 (bottom right):

$$\Delta y'_{tir,ft}(\lambda) = \sin(\lambda) \cdot r_{tir,ft,cont}$$

The lever arm for the projected lateral forces in the steering coordinate system  $F_{y'st}(F_{xyz,ft})$  are given by trail. For a stock chassis setup under the assumption of a rigid chassis (or parallel wheel travel) and constant caster angle, the effective trail varies with the roll angle due to the tire contour.

For upright conditions ( $\lambda = 0^\circ$ , grey elements in Figure 3, right), trail is known as a catalogue value:  $n(\lambda = 0^\circ) = n_{stock} = 98 \text{ mm}$ .

The height of the triangle for the intersection of the front wheel vertical axis and the steering axis is calculated as:

$$\Delta z'_{trail}(\lambda = 0^\circ) = n_{stock} / \tan(\tau_{stock})$$

Together with the roll angle dependant tire rolling radius difference (see Figure 2, bottom right)  $\Delta r_{tir,ft,roll}(\lambda) = r_{tir,ft,cont} \cdot (1 - \cos(\lambda))$ , the roll angle dependant height of the smaller triangle is given as:

$$\Delta z'_{trail}(\lambda) = \Delta z'_{trail}(\lambda = 0^\circ) - \Delta r_{tir,ft,roll}(\lambda) = n_{stock} / \tan(\tau_{stock}) - r_{tir,ft,cont} \cdot (1 - \cos(\lambda))$$

The roll angle dependant reduced trail is then written as:

$$n(\lambda) = \Delta z'_{trail}(\lambda) \cdot \tan(\tau_{stock}) = n_{stock} - (r_{tir,ft,cont} \cdot (1 - \cos(\lambda))) \cdot \tan(\tau_{stock})$$

Finally, the effective lever arm for the lateral forces is defined by:

$$\Delta x'_{st}(n(\lambda)) = n(\lambda) \cdot \cos(\tau_{stock}) = \Delta z'_{trail}(\lambda) \cdot \sin(\tau_{stock}) = n_{stock} \cdot \cos(\tau_{stock}) - (r_{tir,ft,cont} \cdot (1 - \cos(\lambda))) \cdot \sin(\tau_{stock})$$

Vertical forces in  $z'_{st}$ -direction lead to a fork compression and reactive forces in the steering head bearings. For a BSTAM setup, this generates additional steering torque components in dependence of the current excenter position. However, for a conventional steering system with its steering axis centered in the steering head, these force components do not contribute to steering torque demand.

## 2.3 Calculation of Steering Torque

After all force components and their corresponding lever arms towards the steering axis are mathematically defined, the overall steering torque demand is calculated by superimposition as illustrated in Figure 1 (left) and Figure 3:

$$T_{steer,tot}(F_{x',y',st}) = F_{x',st} \cdot \Delta y'_{tir,ft}(\lambda) - F_{y',st} \cdot \Delta x'_{st}(n(\lambda))$$

With the forces in the steering system coordinate system as a function of forces in the road coordinate system as defined in the previous subchapter, the steering torque components are decomposed as follows:

$$T_{steer,Fx,ft} = + F_{x,ft} \cdot \Delta y'_{tir,ft}(\lambda) \cdot \cos(\tau)$$

$$T_{steer,Fy,ft} = - F_{y,ft} \cdot (\sin(\lambda) \cdot \sin(\tau) \cdot \Delta y'_{tir,ft}(\lambda) + \cos(\lambda) \cdot \Delta x'_{st}(n(\lambda)))$$

$$T_{steer,Fz,ft} = + F_{z,ft} \cdot (-\cos(\lambda) \cdot \sin(\tau) \cdot \Delta y'_{tir,ft}(\lambda) + \sin(\lambda) \cdot \Delta x'_{st}(n(\lambda)))$$

with the sum of the x-, y-, and z-components defining the overall steering torque demand:

$$T_{steer,tot}(F_{xyz,ft}) = T_{steer,Fx,ft} + T_{steer,Fy,ft} + T_{steer,Fz,ft}$$

Together with the parameters defined in Table 1, the formulae presented above are used to perform a model calculation, the results of which are presented and discussed in the following.

Table 1: Parameter definitions for model calculation as illustrated in Figure 2 and Figure 3

Parameter	= Value and Unit	Explanation
$g$	= 9.81 m/s <sup>2</sup>	Gravitational acceleration
$\mu_{available}$	= 1.2 [-]	Max available tire-road friction potential
$\lambda_{tot}$	= 30°	Total roll angle
$a_x$	= 0   0.5   1.0 · $g$	Deceleration level
$\tau_{stock}$	= 23°55'	Stock caster angle (series value)
$n_{stock}$	= 98 mm	Stock trail (series value)
$h_{cog, straight}$	= 705 mm	Vertical height of the CoG in straight conditions
$l$	= 1,375 mm	Wheelbase (series value)
$l_{ft}$	= 745 mm	Longitudinal CoG position of BSTAM motorcycle with rider (80 kg, incl. protective clothes) and full tank (2011)
$l_{rr}$	= 630 mm	
$m$	= 320 kg	Rounded mass in same conditions as above
$r_{tir,ft,cont}$	= 64.6 mm	Estimated tire contour radii for a 120/70-ZR17 (58W) front and 180/55-ZR17 (73W) rear tire
$r_{tir,rr,cont}$	= 93.3 mm	



Figure 4 shows the steering torque demand with an “ideal” BFD (same use of friction potential at both wheels) as a function of roll angle and deceleration level for the chassis parameters enlisted in Table 1. Due to limited tire-road friction potential (*here:  $\mu_{available} = 1.2$* ) and rear wheel “lift off” conditions as defined before, the maximum possible deceleration and brake forces are also limited. Especially for large roll angles of  $\lambda \approx 55^\circ$ , the whole available friction potential is used to generate lateral forces and deceleration is no longer possible (even though the graph might suggest it). In consequence, the quasi-stationary BST that can practically occur (surface-graph) is lower than theoretical values that do not take these limitations into account (mesh-graph).

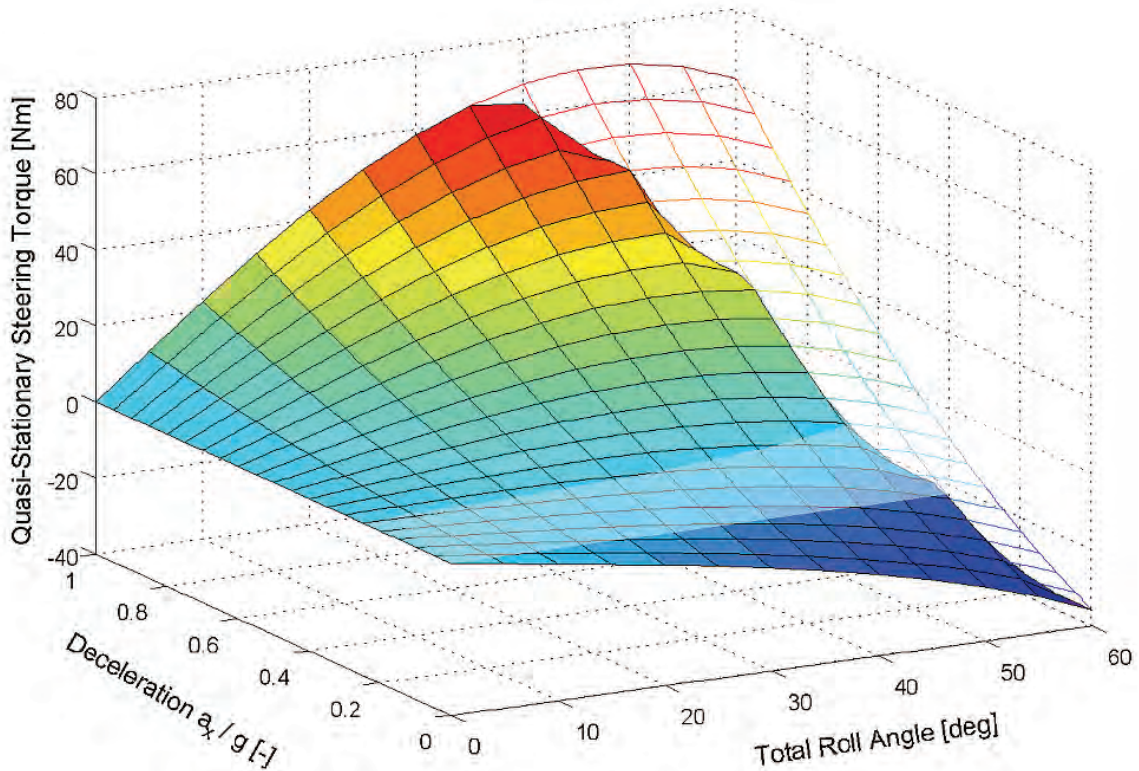


Figure 4: Idealized steering torque demand with “ideal” BFD as a function of roll angle and deceleration level for the BSTAM prototype motorcycle with standard Honda CBR600RR chassis parameters

While the mesh-graph illustrates the principal shape of the steering torque demand map, the surface-graph gives a rough idea about the force based amount of the maximum expected overall steering torque demand during corner braking with the conventional chassis that can reach peak values of about 70 Nm, if no pitching motion is considered.

The steering torque demand curve for free cornering ( $a_x = 0$  g) shows a slightly progressive form for increasing roll (the semi-transparent white plane is the zero reference). This is in line with model calculations done by Cossalter which are exemplarily depicted in Figure 5. For higher deceleration levels, the steering torque demand curve changes to a degressive shape with increasing roll angles.

Except from the very large roll angles the increase of steering torque demand as a function of increasing deceleration level  $a_x$  gets more and more progressive for larger roll angles. Generally speaking, for roll angles of about  $40^\circ$  and decelerations of up to about 1 g, the kick-in of increased steering torque demand for the rider due to corner braking will be rougher, the larger the roll angle, deceleration and brake force gradient.

Besides the effect of the reactive forces, Figure 5 also shows three other relevant influences on the steering torque demand. While the gyroscopic effect has a significant aligning influence, the mass forces acting on the steering system's center of gravity have a minor misaligning effect, and the tire twisting torque leads to a major misaligning contribution to overall steering torque demand. These three influences are especially important for chassis with variable kinematics such as with a BSTAM and are accounted for in advanced BST prediction models currently under development.

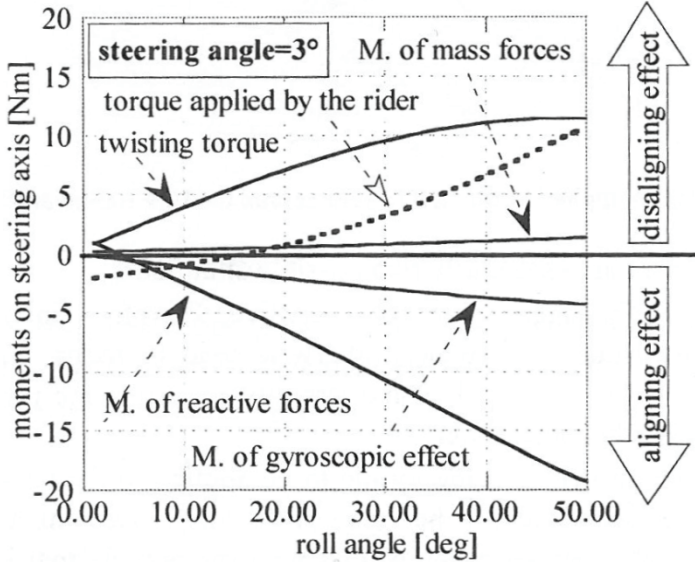


Figure 5: Torque applied by the rider and moments exercised around the steering axis for free cornering [11: Cossalter (2006): Motorcycle Dynamics, p. 136, Fig. 4-30.]

However, in order to take a closer look at how the overall steering torque demand is composed in the strongly simplified force based model, its contributing factors are separately listed for three different situations in Table 2.

Table 2: Exemplary values for the influence of deceleration level on the steering torque demand for “lean with” driving style at constant roll angle (compare to Table 3 for “lean in” and “lean out” driving styles)

$\lambda_{tot} = 30^\circ$ (equivalent to a lateral acceleration of $a_y \approx 0.5$ g)   $T_{steer}$ values in Nm			
$a_x / g$	0 (free cornering)	0.5 (see Figure 2, 0° and 10° pitch)	1.0 (0° and 10° pitch)
$T_{steer \rightarrow F_{x,ft}}$	0.0	31.7 (33.7)	84.4 (89.5)
$T_{steer \rightarrow F_{y,ft}}$	-58.7	-87.6 (-91.2)	-116.5 (-121.3)
$T_{steer \rightarrow F_{z,ft}}$	45.6	68.1 (85.5)	90.6 (113.7)
$T_{steer,tot} (F_{xyz,ft})$	-13.1	12.2 (27.9)	58.5 (81.9)
$\Delta T_{steer,tot,kick-in}$	0.0	25.3 (41.0)	71.6 (95.0)

In free cornering conditions, the calculated steering torque demand amounts to -13.1 Nm (which means the rider had to apply a steering torque inward the curve in order to counterbalance the vehicle reaction, if only the force based steering torque components were present). It is composed of the misaligning effect of the front tire normal force and the aligning effect of the front tire lateral force, the lever arms of which depend on trail and tire scrub radius (see Figure 3).

In the example, the aligning difference between both torque components increases slightly for higher decelerations and thus helps to mitigate the brake force induced steering torque. However, when taking brake pitch into account, the chassis geometry will switch to a steeper effective caster angle and less trail, so that the balance between  $F_y$  and  $F_z$  influence will be almost neutral while the  $F_x$  component will count even stronger (see values in brackets in Table 2, generated by replacing the caster angle in prior calculations with a smaller value). For 1 g of deceleration a rider would theoretically be faced with “kick-ins” of overall steering torque demand of 71.6 Nm (respectively 95.0 Nm at 10° pitch angle) when slamming the brakes at a roll angle of only 30°.

This simple example shows that it is important to account for both, the BPT- and BYT-effect at the same time and underlines that a well chosen balance between the  $F_y$  and  $F_z$  contributions to steering torque demand is essential for neutral vehicle handling and a low steering torque during free cornering. The sensitivity of this balance to slight changes in chassis geometry and the resulting lever arms is especially important for the variable BSTAM setup, as will be discussed in section 2.5.

## 2.4 Influences of Rider Position and Chassis Kinematics on the BST-Effect

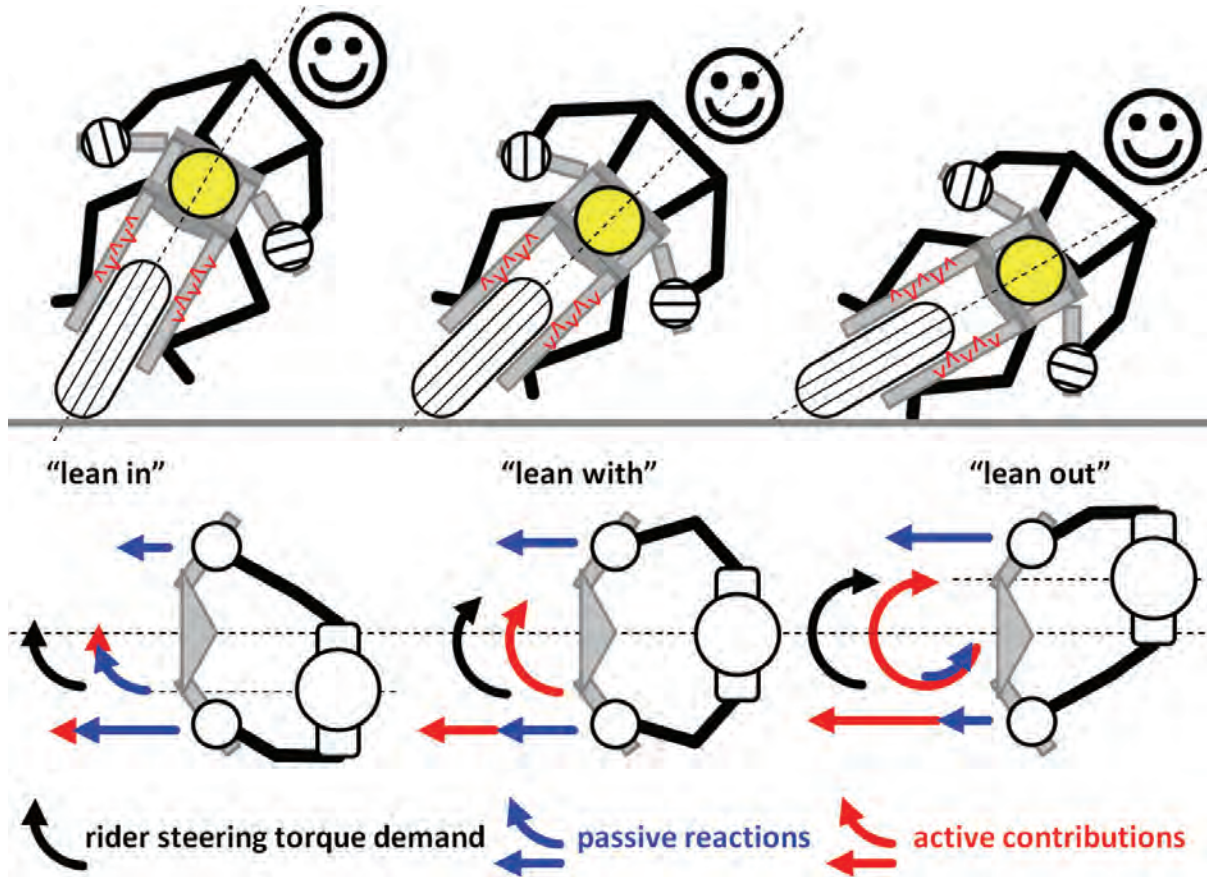


Figure 6: Exaggerated schematic comparison of vehicle roll angles, tire scrub radii, rider body and arm positions and correlated steering torque demands compared to active and passive rider (re-)actions for "lean in", "lean with" and "lean out" driving style (from left to right) for the same cornering conditions

As the rider contributes a great deal to the overall weight of the man-machine system (25% in the chosen example), it stands to reason that relative positioning and dynamic movements between the two system components are highly relevant for vehicle dynamics. While the prior considerations on steering torque demand are based on the classical "lean with" driving style, the same mathematical model is also used to analyze the influence of "lean in" or "lean out" driving style.

Assuming the same lateral acceleration and that the overall center of gravity will approximately keep a constant height over ground and horizontal distance towards the tire contact patch line for both driving styles (i.e. a constant theoretical roll angle according to [5]), the forces at tire contact patch level are the same as for the "lean with" driving style. A modification of the vehicle roll angle  $\lambda$  by only  $\pm 5^\circ$  in the coordinate transformations depicted in Figure 3 delivers the results presented in Table 3.

Compared to the values for "lean with" enlisted in Table 2, the rider's steering effort for free cornering must be more inward the curve for "lean in" and more outward for "lean out". Going back to Figure 3,

this is plausible, because at lower lean angles the aligning side forces dominate the misaligning normal forces and vice versa for higher vehicle lean angles. This difference in the balance of  $F_y$  and  $F_z$  steering torque contributions becomes even more significant, when the BPT- and BYT-effect are taken into account during braking. Both, the absolute values of steering torque demand as well as the “kick-ins” are mitigated for “lean in” and worsened for “lean out” which is complimented by the lean angle dependent variations in tire scrub radius that reduces or increases the effective lever arm for the brake force  $F_{x,ft}$ .

Table 3: Exemplary values for the influence of “lean in” and “lean out” driving style on the steering torque demand for constant deceleration (compare to Table 2, right column, for “lean with” driving style)

$\lambda_{tot} = 30^\circ \pm 5^\circ$ (equivalent to a lateral acceleration of $a_y \approx 0.5$ g)   $T_{steer}$ values in Nm				
Driving Style	“lean in” ( $\lambda - 5^\circ$ )		“lean out” ( $\lambda + 5^\circ$ )	
$a_x / g$	0 (free cornering)	1.0 (0° and 10° pitch)	0 (free cornering)	1.0 (0° and 10° pitch)
$T_{steers \rightarrow F_{x,ft}}$	0	71.3 (75.7)	0	96.8 (102.7)
$T_{steers \rightarrow F_{y,ft}}$	-60.5	-120.2 (-125.9)	-56.5	-112.2 (-116.0)
$T_{steers \rightarrow F_{z,ft}}$	38.5	76.5 (96.1)	52.3	103.9 (130.4)
$T_{steer,tot} (F_{xyz,ft})$	-22.0	27.6 (45.9)	-4.2	88.5 (117.1)
$\Delta T_{steer,tot,kick-in}$	0	49.6 (67.9)	0	92.7 (121.3)

As these are quasi-stationary considerations, it stands to question, in how far the building up of all torque components will happen instantaneously or if there are time delays that either benefit or burden the rider in his task of steering torque compensation.

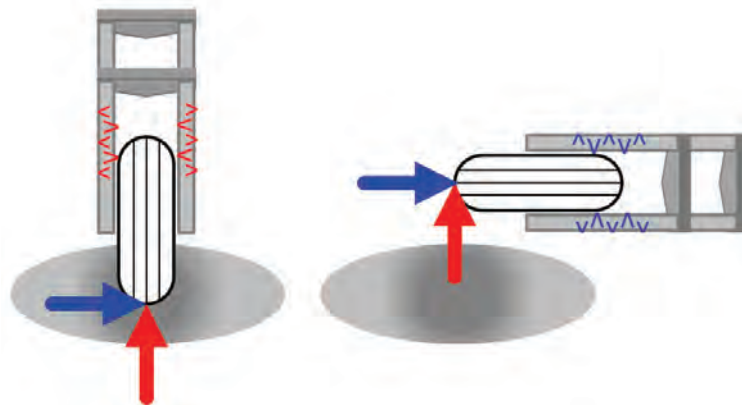


Figure 7: Illustration of chassis reaction characteristics to lateral (blue) and normal (red) forces in dependency of the vehicle roll angle

Figure 7 illustrates chassis reactions to lateral (blue) and normal forces (red) in exaggerated conditions. While in the left sketch (representing extreme “lean in”) the lateral forces (blue) can instantaneously be built up via the lateral fork stiffness, the increase in normal forces (red) depends on the compression of the fork springs which will create a certain time delay due to pitching inertia. For the configuration shown on the right side of the picture (representing extreme “lean out”), the opposite holds true and changes in misaligning normal forces (red) are transferred quicker than those of aligning lateral forces (blue). Of course, this does not consider real tire characteristics, but it shows, that besides the primary static effect there are also dynamic effects which help the rider to cope with the BST kick-in when using “lean in” driving style.

Finally, the rider posture and anatomic capabilities have been identified as a third influence, that promises better BST control during corner braking for “lean in” and worse control for “lean out”.

Looking back at Figure 6 (left, “lean in”) the rider upper body and inner arm are very much in line with the inner handle bar that is usually utilized to compensate the BST by pushing forward. The outward arm is much more stretched out, giving a poor anatomic posture to exert steering torques on the handlebar. Given a harsh brake kick-in, the rider will by reflex try to keep his upper body upright and exert a larger supporting force on the inner handlebar than on the outer. Thus, a great deal of a given BST kick-in can instantaneously be transferred with a low conscious effort of the rider. The opposite is the case for “lean out”, Figure 6 (right). While an already higher stationary steering torque needs to be compensated with the stretched out inner arm, the instantaneous support reaction for the upper body upon brake kick-in is even likely to create a misaligning rider steering torque, that is added on top of the BST kick-in. For “lean with”, the passive reactions are expected to be more or less neutral (Figure 6, bottom center). As shown in sections 3.2 and 4.1, also axial forces exercised on the handlebars might be relevant in this context.

In conclusion, all presented effects benefit the rider for “lean in” driving style. He will however be faced with a quick build up of misaligning steering torque when using “lean out” driving style and has less anatomic capabilities to counteract it. As he only can compensate a small portion of the steering torque demand (leading to low measurements in the experiment, see section 4.2), the steering system turns inward the curve and the stand-up-tendency is much larger than for “lean in”. This is the more tragic, since “lean out” is the preferred and correct reaction for quick changes of direction, e.g. an evasive maneuver or a course correction in a curve with a suddenly narrowing radius, giving a poor pre-condition for a subsequent brake maneuver, should this be necessary.

Finally, it must again be emphasized that this argumentation is build upon a very simplified model. The influence of gyroscopic effects, real tire characteristics, the steering system mass and inertia,

steering motion, chassis kinematics, aerodynamic effects and others will significantly alter the absolute values. However, the principal argumentation and direction of effect will stay the same.

## 2.5 Influences of a BSTAM on the BST-Effect and Consequences for its Control

As a BSTAM as presented in Figure 1 (right) and previous publications [1, 5] will alter the orientation of the kinematic steering axis during driving, both in a sense of lateral and longitudinal inclination, the calculation of its effective lever arms is more convenient in a vector notation. Since this description lags intuitive understanding, the principal effects are illustrated by an argumentation based on the prior simple model.

The general idea behind a BSTAM is to mitigate or eliminate the effective lever arm mainly of the front brake force with regards to the steering axis, in order to minimize or fully compensate the BST kick-in and the subsequent stand-up-tendency. This lever arm is primarily given by the roll angle and tire contour dependant tire scrub radius, see Figure 2 and Figure 3. The reduction of the effective lever arm is achieved, by pointing the steering axis through the tire contact patch, see Figure 1 and Figure 11. If an idealized BSTAM with a parallel migration of the steering axis in  $y'$ -direction is assumed and Figure 3 (right) is regarded, it is obvious that the aligning portion of the lateral and vertical tire forces (dotted red arrow) will in the same way lose their effective lever arm as does the brake force (dotted blue arrow). If the BSTAM is to be held ready for a brake kick-in at any time, the steering axis would continuously be kept in a position with reduced or eliminated lever arm. Consequently, the stationary steering torque demand in free cornering will rise by the lost aligning force components. Table 4 shows a comparison of the theoretical steering torque demands for centered steering axis (see Table 2) and the idealized BSTAM with parallel steering axis adjustment.

*Table 4: Comparison of steering torque demand for centered steering axis and an idealized BSTAM with parallel steering axis adjustment, "lean with" driving style and no pitch (original values for centered steering axis taken from Table 2, changes through BSTAM indicated with an arrow)*

$\lambda_{tot} = 30^\circ$ (equivalent to a lateral acceleration of $a_y \approx 0.5$ g)   $T_{steer}$ values in Nm			
$a_x / g$	0 (free cornering)	0.5 (see Figure 2)	1.0
$T_{steer \rightarrow F_{x,ft}}$	0.0 $\rightarrow$ 0.0	31.7 $\rightarrow$ 0.0	84.4 $\rightarrow$ 0.0
$T_{steer \rightarrow F_{y,ft}}$	-58.7 $\rightarrow$ -53.9	-87.6 $\rightarrow$ -80.5	-116.5 $\rightarrow$ -107.1
$T_{steer \rightarrow F_{z,ft}}$	45.6 $\rightarrow$ 61.9	68.1 $\rightarrow$ 92.4	90.6 $\rightarrow$ 123.0
$T_{steer,tot} (F_{xyz,ft})$	-13.1 $\rightarrow$ <b>8</b>	12.2 $\rightarrow$ <b>11.9</b>	58.5 $\rightarrow$ <b>15.9</b>
<i>Demand Difference</i>	<b>21.1</b>	<b>-0.3</b>	<b>-42.6</b>
$\Delta T_{steer,tot,kick-in}$	0.0 $\rightarrow$ 0.0	25.3 $\rightarrow$ <b>3.9</b>	71.6 $\rightarrow$ <b>7.9</b>
<i>Kick-In Reduction</i>	0.0	<b>21.4 (85%)</b>	<b>63.7 (89%)</b>

In case of free cornering, the rider would need to apply 21.1 Nm extra steering torque, amounting to 8.0 Nm outward the turn, instead of 13.1 Nm inward. However, since also the  $x'_{st}$ -components have no lever arm at full geometric compensation (see Figure 3 and Figure 11), in case of brake kick-in the overall steering torque demand will in the same way only be defined by the lateral force balance  $F_{y',st}$  in the steering coordinate system (see dotted black arrow in Figure 3, left). The negative side effect of high stationary steering torque demand with BSTAM will therefore be over-compensated at higher deceleration levels, leading to a merely slight increase in steering torque demand with increasing deceleration as a good feedback for the rider (8.0 Nm  $\rightarrow$  11.9 Nm  $\rightarrow$  15.9 Nm, Table 4). Starting from the rather unfavorable increased steering torque demand in free cornering, the BSTAM's benefit of low absolute steering torque demand for high decelerations goes along with a dramatic reduction of the irritating kick-ins, rating only 7.9 Nm versus 71.6 Nm for the standard steering at 1 g deceleration.

This example underlines the effectiveness of the BSTAM concept to deal with the BST-effect and assist the rider in his control task. However, it also shows the downside of high steering torque demand during free cornering. In everyday driving, riders typically avoid high decelerations in curves [18] and free cornering situations outnumber potentially BST critical corner braking situations by far. Therefore it is likely, that a BSTAM with a continuous control and its inherently higher steering effort will lead to quicker rider fatigue and thus possibly even decrease active driving safety.

This argumentation holds true for all thinkable BSTAM configurations that are based on common chassis geometry. If no significantly different geometric setup can be found to eliminate or mitigate this downside of the continuous BSTAM control, a potential solution is seen in a jump-function control that only activates the BSTAM, when braking in curves and keeps the steering axis centered in other driving conditions. Another option would be a combination of both strategies, with a small continuous control movement that is superimposed by a then smaller jump to the desired compensation position when the brakes are applied in a curve. Lastly, a steering torque actuator could superimpose the aligning portions of steering torque that are lost with the continuous control on the basis of a simple mathematical model, however at the cost of even more system complexity, weight and actuation energy, since this supportive torque would also be necessary in all non-corner-braking situations.

While the continuous BSTAM control has already been tested in simulation and experiment (see also [1] and sections 3.3 and 4.4), jump-functions with different controller characteristics are currently being investigated in a Multi-Body-Simulation model. Despite the small inertia of the actuated BSTAM components, it stands to question, if BSTAM adjustment in terms of a jump-function can be quick enough for steep brake force gradients with finite actuation power in real world testing.



### 3 The BSTAM Prototype Motorcycle

#### 3.1 Hardware Setup

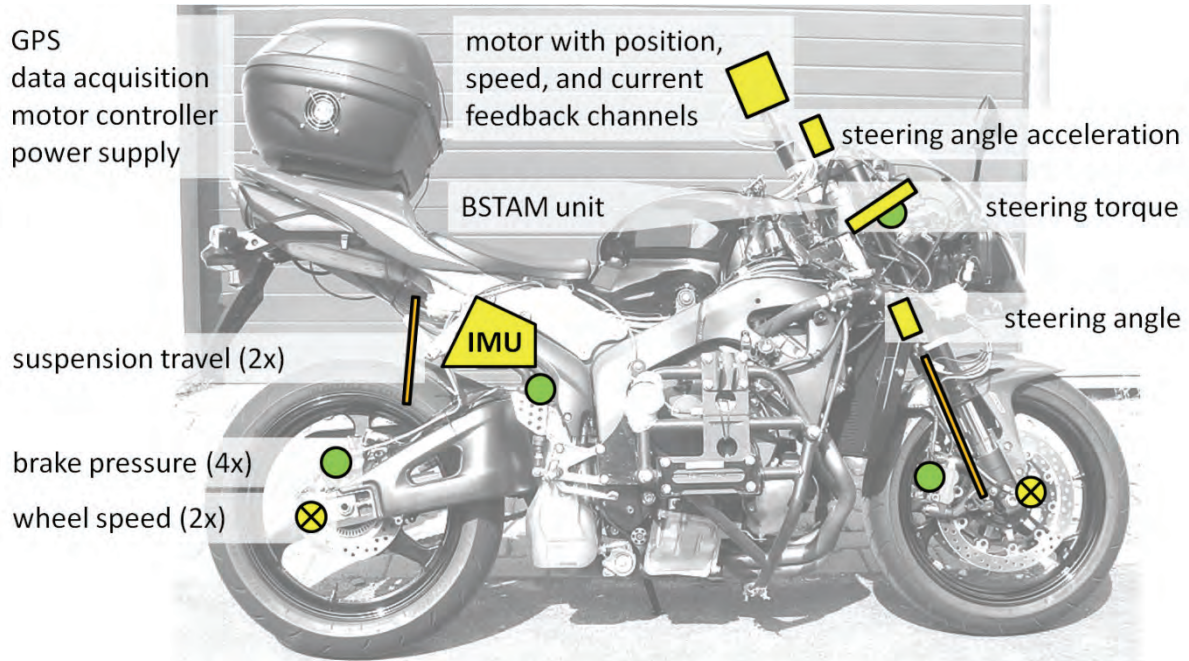
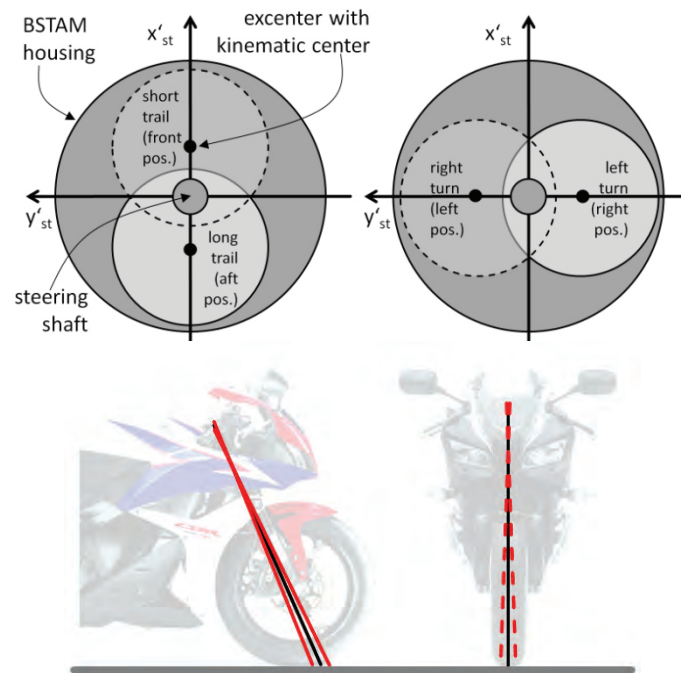


Figure 8: Component overview of the Honda CBR600RR (2010 C-ABS model) based BSTAM prototype motorcycle

A general overview of the BSTAM prototype motorcycle's main components is given in Figure 8. A GPS-aided xSens Technologies MTi-G serves as Inertial Measurement Unit (IMU). Equipped with three MEMS-based accelerometers and gyroscopes it computes 3D-orientation, velocity and acceleration data (roll, pitch and yaw angles, respectively velocities, x-y-z position, velocity and acceleration). Steering angle acceleration is determined as the derivative of the measurements from a Bosch ESP yaw rate sensor and steering torque measurement is achieved by two specially designed handlebars with strain gauges (see next section). Analogue measurements are captured by a National Instruments NI 6229 USB A/D-Converter at a sampling rate of 500 Hz and the 250 W brushless DC maxon motor (EC45-series) is powered via a maxon EPOS2 cascade controller that features automatic parameter identification for its three control circuits (position-velocity-current). To complete the electrical setup, the data acquisition and control-program is running on a Car-PC (CPU: 1.7 GHz Intel Dothan, RAM: 1 GByte) with MS Windows XP (SP3) and National Instruments LabView (version 8.6), providing a mean controller update rate of 10 Hz, which is at the same time the sampling rate for all non-analogue data channels.

On the mechanical side, the chosen BSTAM excentricity is limited to 8 mm for packaging reasons. The fork legs have been extended to make room for the BSTAM unit between frame and upper fork

yoke. While standard steering geometry (steering head angle  $\tau = 23^{\circ}55'$ , trail  $n = 98$  mm) can be achieved by replacing the BSTAM with a simple centered steering shaft, the BSTAM will either increase or decrease the steering head angle in straight driving ( $\Delta\tau \approx \pm 2^{\circ}$ ,  $\Delta n \approx \pm 30$  mm, furthermore referred to as “long” and “short trail” setups). Depending on the control algorithm (see section 3.3), the BSTAM excenter will be moved to lateral displacement positions, bringing the projected steering head angle back to production values, while increasing the lateral inclination of the steering axis (see Figure 1 and Figure 9).



*Figure 9: Kinematic steering axis orientation with BSTAM at extreme excenter positions for “long” and “short trail” as well as maximal lateral offsets (red lines) in comparison to standard steering geometry (black lines)  
[Motorcycle Pictures © Honda – Sketches approximately drawn to scale]*

In this case, the BSTAM works as a second torque path between the steering system and rear frame in parallel to the rider, creating a superimposed steering torque to the one that would apply for a centered steering axis in the same driving situation. The overall mass of the fully fueled prototype as depicted is 240 kg with BSTAM and 230 kg with centered steering axis, 16 kg of which are attributed to the additional steel frame as mounting position for outriggers. For the most recent experiments this frame has been replaced by crash pads, resulting in a total mass of 225 kg with BSTAM and 215 kg without, while the base vehicle brought 197 kg to the scales.

## 3.2 Comments on Steering Torque Measurement

Independent of the measurement principle, the steering torque measured on a motorcycle can merely describe the rider's active or passive action on the handlebars. This is only equal to the steering torque demand in steady state. However, in dynamic situations it might be higher or lower, leading to steering movements. Within the scope of the presented study, the steering torque measurement is of high relevance and is achieved by means of two handlebars especially designed as "bending beams" to mount strain gauges (sampling rate 500 Hz, low-pass filtered with 3 Hz cutoff-frequency). This is a widely spread principle [17] but only accurate under the assumption that the rider's (re-)action forces' projection into the handlebar plane (along the steering axis  $z'_{st}$ ) are applied perpendicular to the bending beams, like the dash-dotted normal forces in Figure 10 (center). However, the rider's arm orientation and the applied force directions will vary quite a lot during dynamic driving (see also Figure 6 and Figure 13). For straight running and "lean with" conditions they are assumed parallel to driving direction, like illustrated by the solid red arrows in Figure 10 and can be decomposed into normal (dash-dotted) and axial components (dashed arrows) acting in the handlebar plane, with  $F_{axial} = F_{normal} \cdot \tan(36^\circ) \approx F_{normal} \cdot 0.727$ . As both components have their respective lever arms  $l_{normal}$  and  $l_{axial}$  towards the steering axis, with  $l_{axial} / l_{normal} \approx 0.557$ , both components contribute to the rider steering torque, while only the normal components will be measured for each individual handlebar:  $T_{measured} \sim F_{normal} \cdot l_{normal}$ . The total steering torque is then:

$$T_{tot} = T_{measured} + T_{axial} = F_{normal} \cdot l_{normal} + F_{axial} \cdot l_{axial} = F_{normal} \cdot l_{normal} \cdot (1 + \tan(36^\circ) \cdot l_{axial} / l_{normal}) \\ \approx T_{measured} \cdot (1 + 0.405)$$

Given the slight vertical inclination of the handlebars and a superimposition of this effect on both handlebars, the real steering torque values will be approximately 40 % higher than the measured values under the assumption of parallel rider forces. Since this assumption does not hold true for all driving situations and extreme rider postures can be assumed that create axial forces of opposing direction (see Figure 13), future investigations should feature an additional axial force measurement to be able to quantify their actual influence. As this can currently only be estimated as shown above, the measured values presented in the following sections are not adapted. This will not alter the qualitative interpretation of the measured data, but has to be kept in mind, especially when regarding the measurements from a rider's point of view. Taking into account the vertical inclination of the rider's arms (Figure 10, top left) and the superimposition of counteracting left and right contributions, it becomes clear that the loads imposed on the rider will be considerably higher than the relatively low steering torque measurements might suggest. Finally, it is these real loads that affect the rider's subjective judgment and feel.

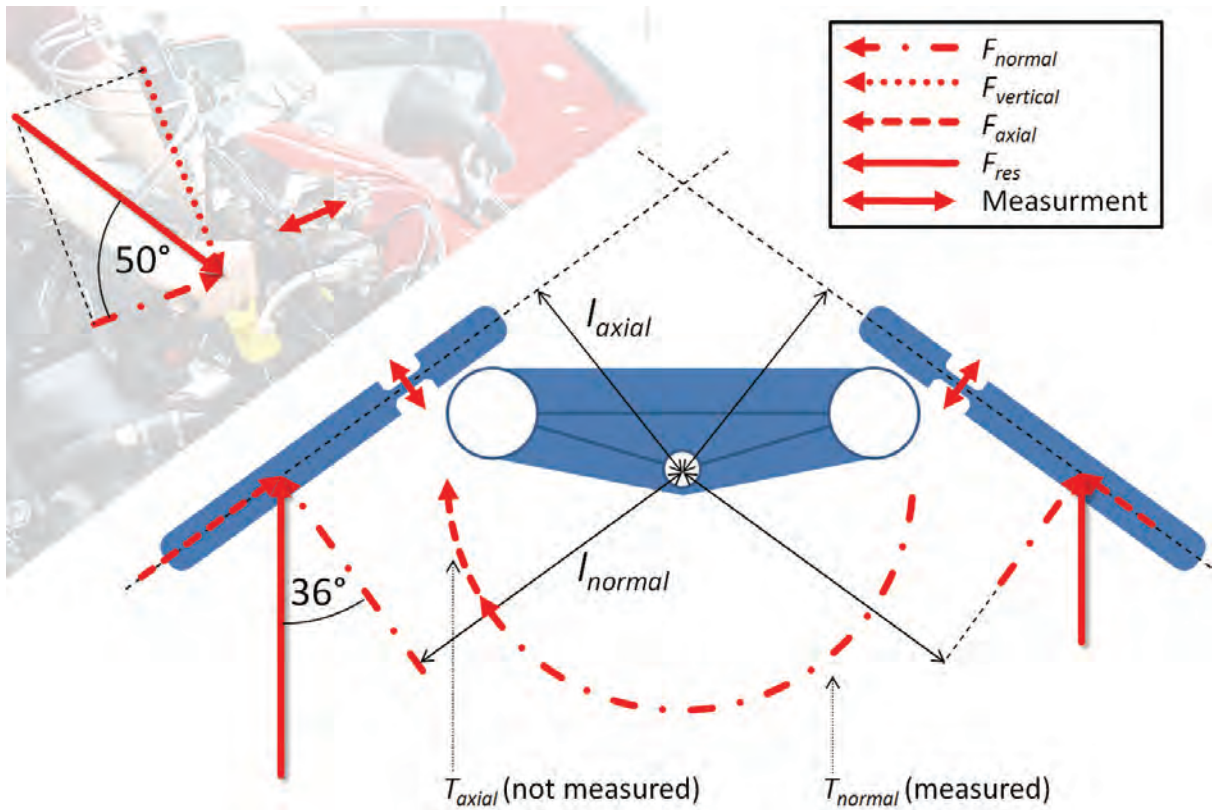


Figure 10: Influences on steering torque measurement and rider perception

### 3.3 BSTAM Control Algorithm

As shown in section 2, predicting the steering torque demand and level of BST kick-in is not trivial, even for a conventional chassis. Therefore, it is also very hard to express a desired BST compensation ratio for BSTAM control in torque values. As a solution to this problem, a simple geometrical target compensation ratio ( $tcr$ ) has been defined by using parallel projection of the steering system's kinematic hard-points and the theorem on intersecting lines, as schematically illustrated in Figure 11. This definition is universally applicable to all thinkable BSTAM concepts for conventional steering systems whose kinematic steering axes are defined by two bearing points.

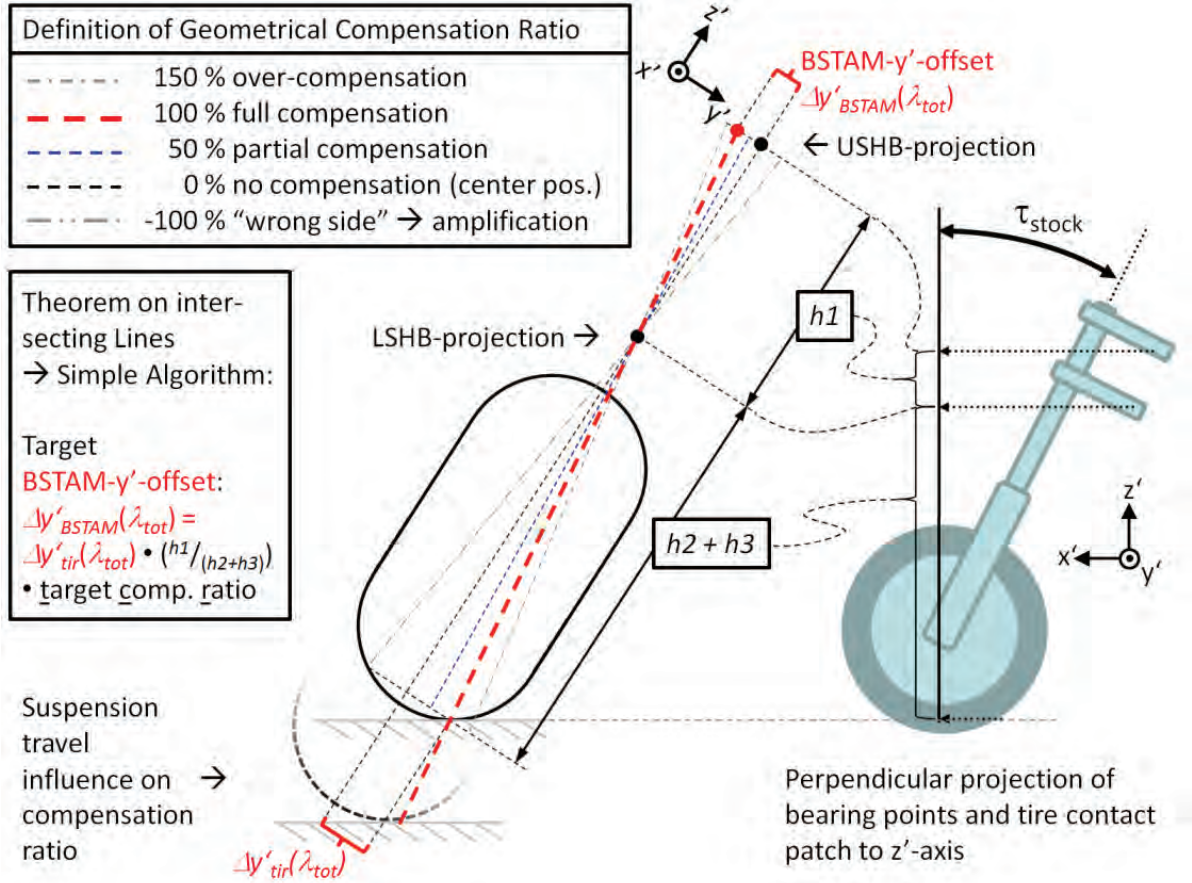


Figure 11: Definition of geometrical compensation ratio and illustration of suspension travel influences (USHB and LSHB stand for upper and lower steering head bearing, respectively)

The central illustration in Figure 11 shows a cross-section through a perpendicular projection of the steering system of a PTW driving in a left turn viewed from front. For full compensation, the projected kinematic steering axis needs to point through the tire contact patch (thick dashed red line) which is out of the symmetry plane by the size of the front tire scrub radius  $\Delta y'_{tir}(\lambda)$ . In order to achieve this, the projected position of the upper steering head bearing (USHB) needs to describe a lateral movement (black → red point) that is defined as follows:

$$\Delta y'_{BSTAM}(\lambda_{tot}) = \Delta y'_{tir}(\lambda_{tot}) \cdot (h1 / (h2+h3)) \cdot tcr, \text{ with } tcr \text{ being the desired target compensation ratio.}$$

As illustrated in the sketch, the computation of the desired lateral BSTAM-y'-offset for a full compensation ( $tcr = 1 = 100\%$ ) depends on the tire contour that defines its roll angle dependant scrub radius as well as on the projected geometric distances  $h1$ ,  $h2$  and  $h3$ . The value of  $h1$  is connected to the bearing distance in the steering head, whereas  $h2$  is linked to the effective fork length, that is variable with suspension travel, as well as  $h3$ , which depends on the current tire rolling radius (see Figure 2, bottom right). While the target compensation ratio  $tcr$  can be predefined as a fixed value, the effective compensation ratio ( $ecr$ ) will vary during driving experiments.

In order to achieve a smooth BSTAM control on an uneven proving ground, fork travel is neglected and a solely roll angle based control algorithm is implemented. In order to avoid geometric over-compensation (not necessarily equal to an over-compensation in terms of torque values), a fixed effective fork length for static trim conditions is assumed, resulting in under-compensation for further fork compression during braking experiments. A further limit set to the *ecr* is given by the BSTAM excentricity that is currently limited to  $exc = 8$  mm for packaging reasons. As illustrated in Figure 12, this allows full compensation for up to 23° degrees of roll angle while 75% compensation can be reached up to roll angles of 33° and 50% are feasible for about 52° of roll.

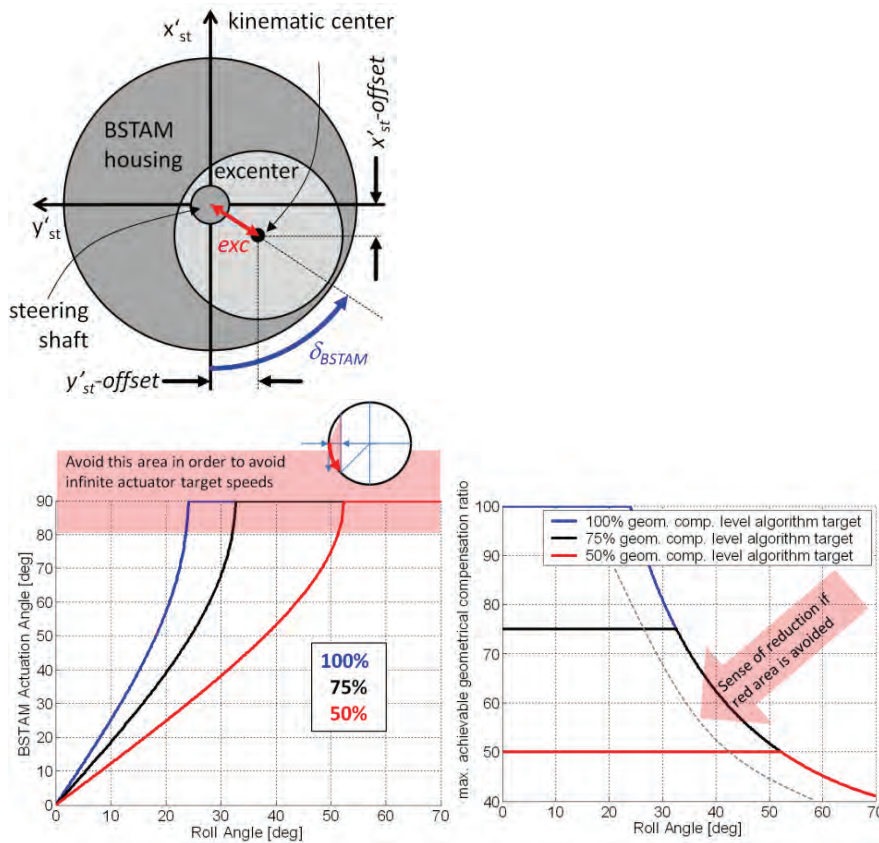


Figure 12: BSTAM actuation angle and geometrical limitations for "long trail" setup and different geometrical target compensation ratios (*tcr*)

Since the desired lateral BSTAM displacement is achieved by turning the excentric upper steering head bearing, a limit factor is implemented to keep the lateral target offset from exceeding the size of the excentricity. On this basis, the BSTAM actuation angle  $\delta_{BSTAM}$  (for short or long trail setup, with the excentric USHB in front or aft the physical steering axis) is calculated as follows:

$$\delta_{BSTAM,target}(\lambda_{tot}) = \pm \arcsin(\Delta y'_{BSTAM,target}(\lambda_{tot}) / exc),$$

while the corresponding longitudinal BSTAM offset is given as:

$$\Delta x'_{BSTAM,target}(\lambda_{tot}) = \mp exc \cdot \cos(\delta_{BSTAM,target}(\lambda_{tot}))$$

In this configuration, finite lateral target accelerations at  $\pm 90^\circ$  of excenter position require infinite rotational accelerations. Therefore, the angular actuation range has been limited to  $\pm 80^\circ$ . This leads to further reductions of the *ecr* during driving tests, so that *tc*r setups of 100% will be feasible for approximately  $20^\circ$  of roll angle, 75% setups for a little more than  $30^\circ$  and 50% setups for a little less than  $50^\circ$  of total roll angle. Running the respective setups at greater roll angles leads to increased geometric under-compensation, see Figure 12.

As proposed in section 2.5, the BSTAM can theoretically be actuated in a continuous way or with a “jump” or “kick-in” algorithm. For the presented study, the continuous approach was chosen, that keeps the kinematic steering axis always in ready position for brake kick-in, depending on the current roll angle and chosen *tc*r. However, an exemplary kick-in control for future investigations has already been defined by multiplying the computed desired lateral BSTAM offset with the quotient of current brake pressure and a maximal brake pressure that is empirically determined from ABS-regulated curve braking experiments. Of course, also a superimposition of both strategies is feasible.

## 4 Driving Experiments

Three types of test maneuvers have been conducted with the BSTAM motorcycle in different setups and with varying riding styles during the presented study. These are steady turning on a constant radius (R14), slalom (pylon distances 10 m and 15 m) and constant radius corner braking (R50) as the core experiment to evaluate the influence of rider posture and BSTAM on the BST-effect. The Honda Electronic Steering Damper (HESD) was disengaged for all presented measurements.

### 4.1 Steady Turning on Constant Radius (R14)

On the small 14 m radius, significant steering angles and relatively high tire yaw torques occur for lateral accelerations of up to  $8.5 \text{ m/s}^2$ . As expected before the background of section 2.4 and other authors [14], “lean out” delivers the highest stationary steering torques for a given lateral acceleration, while “lean with” and especially “lean in” driving style deliver lower values.

For extreme “lean out”, the test rider commented to be hardly able to exert all necessary steering effort with his inner hand and at times even used slight pulling forces on the outer handlebar to cope with the steering torque demand. As illustrated in Figure 13, the pushing force in the stretched out inner arm (solid red arrow) is likely to have an axial component (dashed blue arrow) that creates a misaligning steering torque. As the effective lever arm  $l_{normal}$  for the intended normal steering force component (dash-dotted red arrow) is greater than  $l_{axial}$ , the torque balance will be in the intended aligning direc-

tion, however at the cost of a significantly higher overall pushing force. The angular misalignment of arm direction and handlebar plane worsens this effect, leading to higher steering forces and the subjective impression, that a high steering torque is currently required.

In order to investigate this effect, the measurement setup will be extended by an axial force measurement in the future.

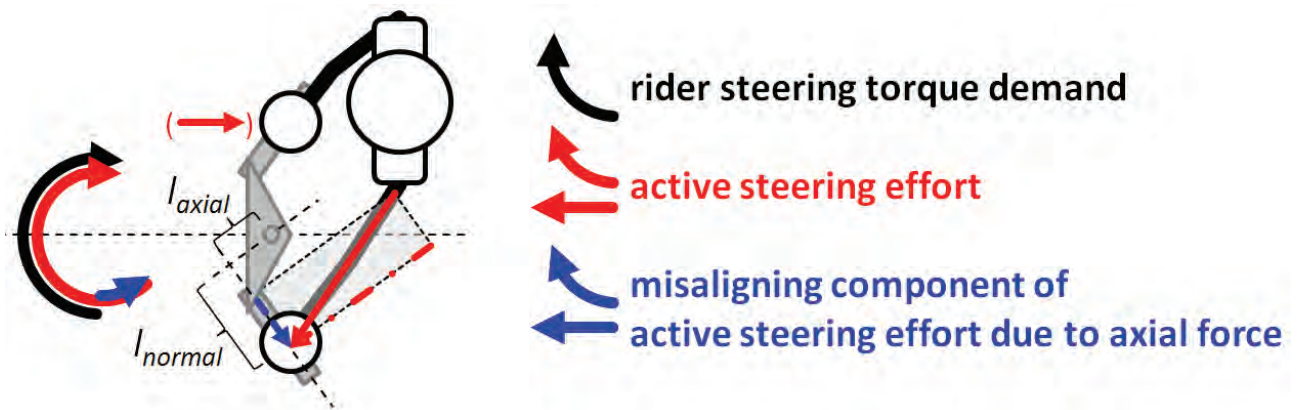


Figure 13: Disadvantageous superimposition of steering torque components for extreme "lean out" in a left turn

## 4.2 Constant Radius Corner Braking (R50)

The test track for this experiment consists of a curve segment with a constant turn radius of  $R = 50$  m and an opening angle of about  $90^\circ$ . The driving lane is bordered by pylons and has a width of 3.5 m which is within the typical range for rural roads in Germany.

The experiment comprises a sequence of driving maneuvers. Starting in a straight path and entering the constant radius turn at a constant speed of typically 15-17 m/s, the rider disengages the clutch and initiates a brake maneuver, when steady cornering conditions are reached at about  $30^\circ$  of roll angle and about 0.5 g of lateral acceleration. The test is repeated in both directions at least three times for each chassis and driving style setup.

Steering torques applied by the rider and steering angles are counted positive to the left, while roll angles are positive in right turns. Constant radius cornering and "lean with" driving style in a left turn will for instance show both a negative roll angle and steering torque (outward the turn), while the steering angle will typically be slightly positive (inward the turn). Due to difficulties with sensors or data channel synchronization, roll angle, speed and steering angle information are partially not displayed. The interpretation of the thus limited data set is however supported and verified by on-board videos. Finally, front suspension travel is given as an indicator for the delayed pitch motion at the beginning and the end of the braking procedure.



### 4.3 Experiments with Standard Chassis Setup (Centered Steering Axis)

The influence of riding style on the BST-effect and the rider capabilities for its compensation as treated in section 2.4 are discussed on the basis of four exemplary measurements for ABS-regulated front braking with the respective riding styles and centered steering axis. It is important to note, that with the Honda C-ABS, front brake actuation is always coupled with a slightly preponed rear brake activation [19, 20]. Thus the system-internal rear wheel speed can serve as a reference for a smooth ABS and pitch control, showing a very decent approach of the ABS-modulated front brake pressure curves to the longitudinal friction potential that increases with reduced lateral accelerations.

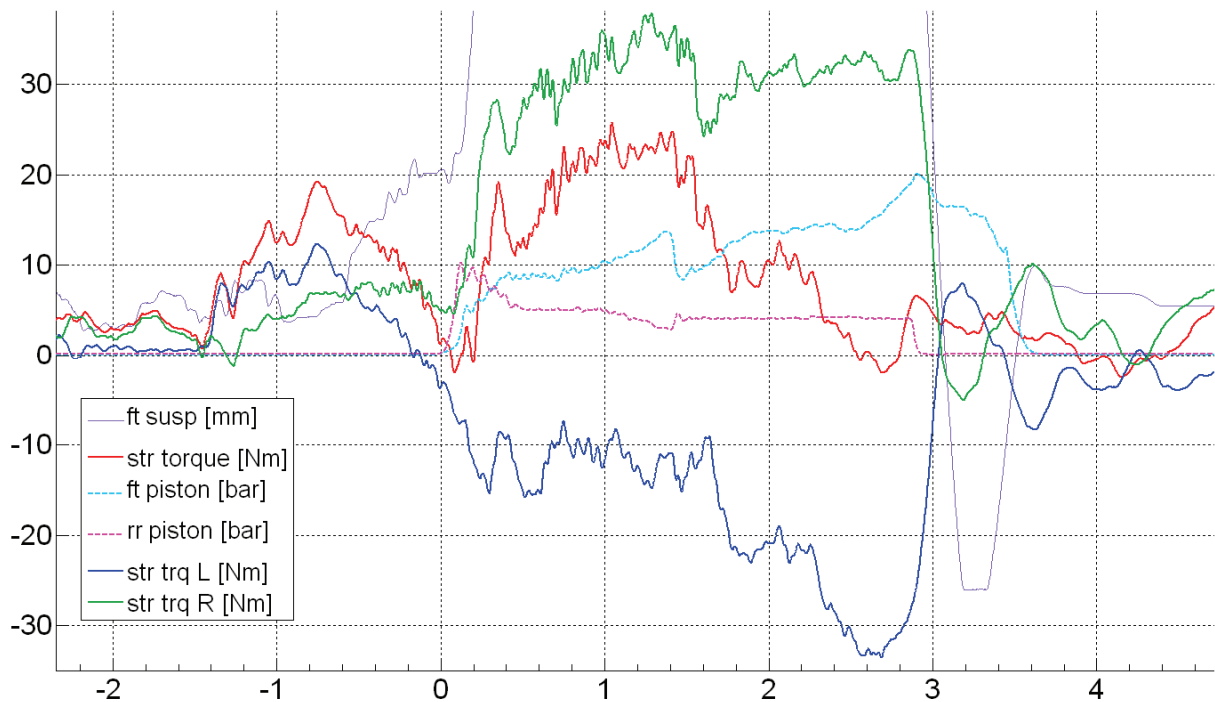


Figure 14: Measured results versus time in seconds for ABS-regulated corner braking and “lean with” in a right turn

Figure 14 shows the results of a corner braking maneuver for “lean with” driving style that may serve as a reference for the “lean in” and “lean out” styles, respectively. Starting from straight running conditions, the right turn is initiated by a steering torque (red) of up to 20 Nm outward the curve, while the stationary steering torque will be typically about 3 Nm outward the curve for cornering at constant speed. However, in the presented example, the rider used his right knee for a slight balancing motion before disengaging the clutch. Thus, the “steady state” of free rolling was given only a short settling time and the front brake kick-in (dashed cyan line, 0 s) alters the stationary steering torque starting from a slightly negative value inward the turn.

Regarding the left (blue) and right (dark green) steering torque components for the whole braking procedure, three general characteristics are observed. Firstly, the inward arm is reacting against the BST

kick-in and ABS-modulations more directly than the outward arm. Secondly, after a certain settling time, the inward arm contributes a somewhat constant aligning steering torque component (imagine a trend line at about 30 Nm), while the outward arm’s misaligning contribution continuously rises during braking (also imagine a linear trend line here), resulting in the characteristic overall steering torque curve (red) and matching the decreasing demand for lower speeds on the constant radius. Thirdly, approaching the end of braking, both handlebars carry a similar load, supporting the rider’s upper body at standstill (2.6-2.8 s).

Looking back at the beginning of the brake procedure, the whole vehicle and rider system needs to find a new equilibrium. This holds true for tire-road interaction and ABS-control, suspension travel, steering angle and steering torque, but as well for movements of the rider in relation to the motorcycle and the forces necessary to support his upper body. In the presented example, the initial brake kick-in causes steering angle fluctuations and a small but quick decrease in roll angle. Together with the increasing deceleration, this leads to a three-dimensional motion of the rider relative to the vehicle, superimposing minor translations to major rotational movements in all three directions. These movements modulate the rider’s arm forces that are often repeatedly balanced from left to right and vice versa due to the transfer behavior of the rider’s upper body, as becomes clearer in the following examples. However, in this example, these effects superimpose to a sharp drop in measured steering torque at 0.37 s.

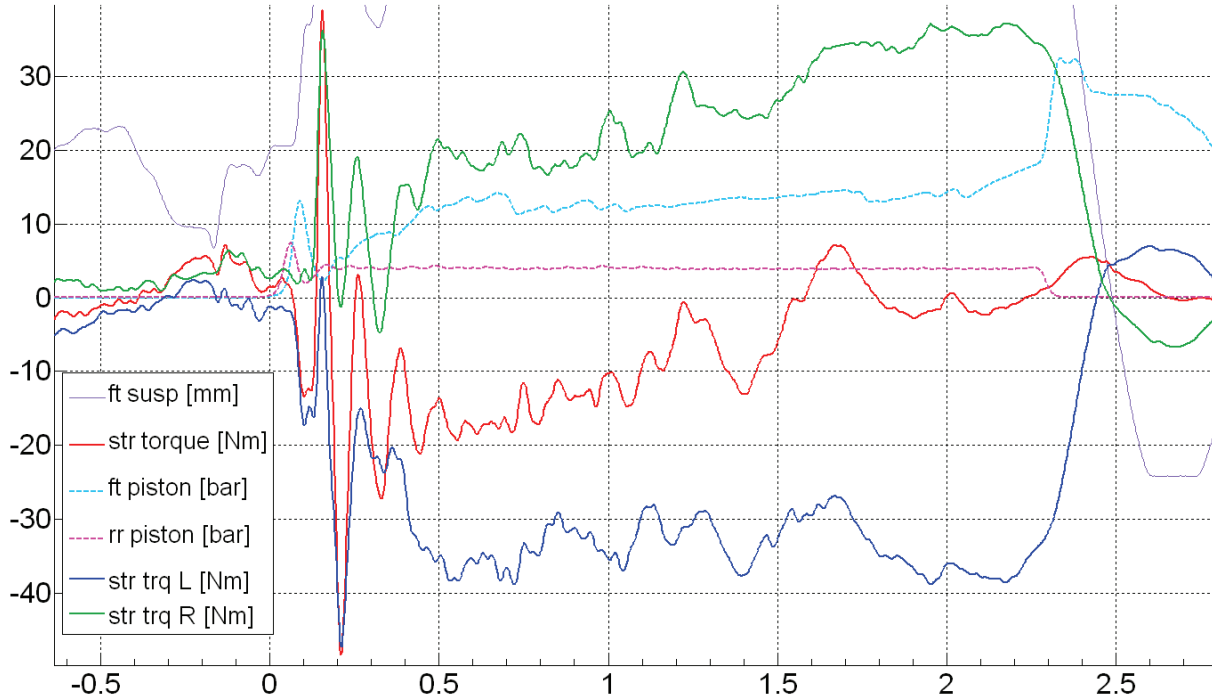


Figure 15: Measured results versus time in seconds for ABS-regulated corner braking and “lean with” in a left turn with dynamic over-braking of the front wheel

The measurement presented in Figure 15 exemplarily shows the effect of dynamic over-braking of the front wheel at the beginning of the braking procedure for “lean with”. The front brake pressure (cyan dotted line) rises rapidly and the inward arm instantaneously supports a great deal of the resulting steering torque demand (blue and red), while the outward arm shows hardly any reaction (green) at 0.0 s. This first brake kick-in goes along with the typical steering and sudden upward roll movements attributed to the BST-effect. When the ABS reduces the front brake pressure dramatically in a first control cycle, the steering torque contribution of the inward hand (blue) collapses directly with decreasing brake forces, while the outward hand just starts to apply its force to support the rider’s torso with a little time delay as discussed in the prior example. In the presented case these two effects are in phase and generate strong fluctuations in overall steering torque and steering angle at the beginning of the braking procedure. However, after two cycles of balancing the arm forces between left and right, a “steady state” is reached with the inward hand again contributing a more or less constant portion of the overall steering torque (blue), while the outward hand shows an increasing trend (dark green). Finally, the overall steering torque after the initial fluctuations is reduced due to the then already small roll angle and the test rider was able to handle even the initially huge steering torque fluctuations with a relatively small lateral course deviation.

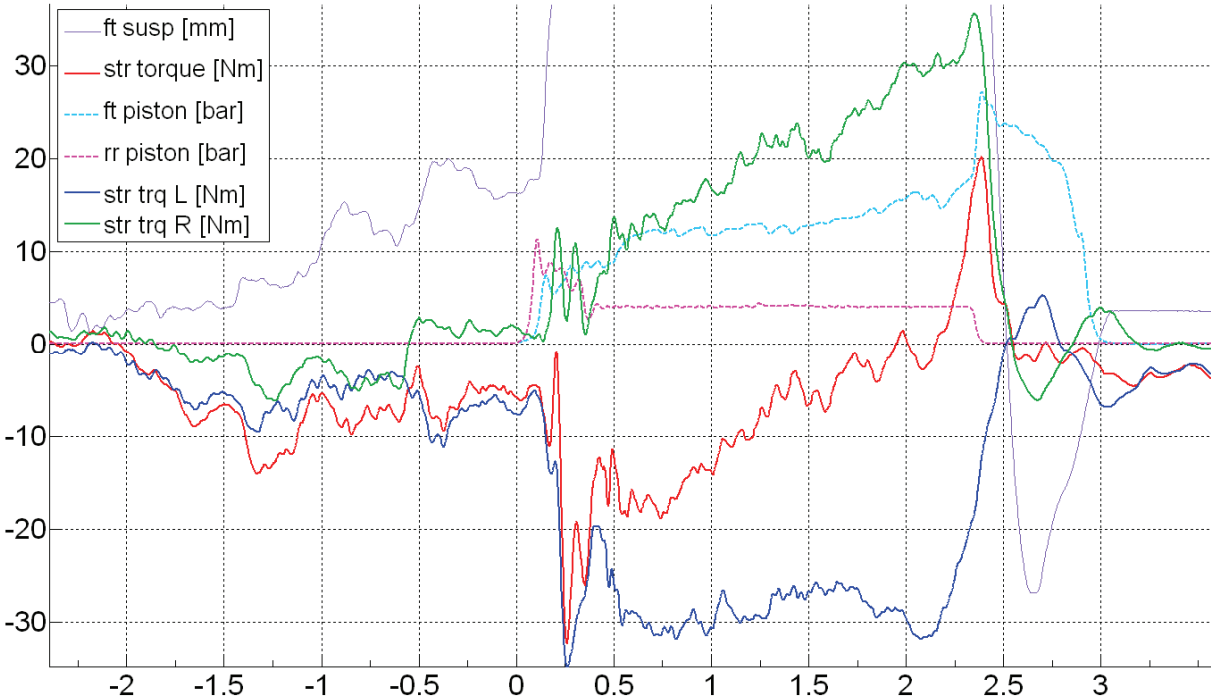


Figure 16: Measured results versus time in seconds for ABS-regulated corner braking and “lean in” in a left turn (initial roll angle ~ 25°)

While the stationary steering torque for cornering at constant speed and “lean in” style is typically close to neutral, the example in Figure 16 starts with about 3 Nm outward the curve, as is typical for “lean with” (red line). The same predominant effects as described in the prior examples are also ob-

served here. The initial rise of steering torque demand due to increase of front wheel brake pressure (cyan dotted, 0.0 s) is immediately responded to by the inward hand (compare red and blue lines), while the outward hand's contribution to support the rider torso will come a little late and just in phase with a small reduction in brake pressure. Again, the movement of the rider's torso balances forces from left to right and vice versa, until a "steady state" is reached, with a constant steering torque contribution of the inward hand (blue) and an increasing load on the outward hand (dark green). When stopping, the rider torso was still moving outward the curve. In order to decelerate this movement, a large supporting force is applied to the outward handlebar and the superimposed steering torque (red) turns inward the curve, however in standstill conditions. Even though the measured peak steering torque is higher than for the "lean with" example, the initial brake kick-in could be handled with smaller steering torque fluctuations, resulting in a smoother brake procedure with less steering angle and roll disturbances.

Even when heavier ABS-action (i.e. due to dynamic over-braking) was involved, the test rider remarked that braking maneuvers with "lean in" could be handled with low subjective steering effort. This underlines that the quick reaction to steering torque fluctuations is rather passive, thanks to the "rigid" connection of the rider's upper body to the inner handle bar (see Figure 6 and section 2.4).

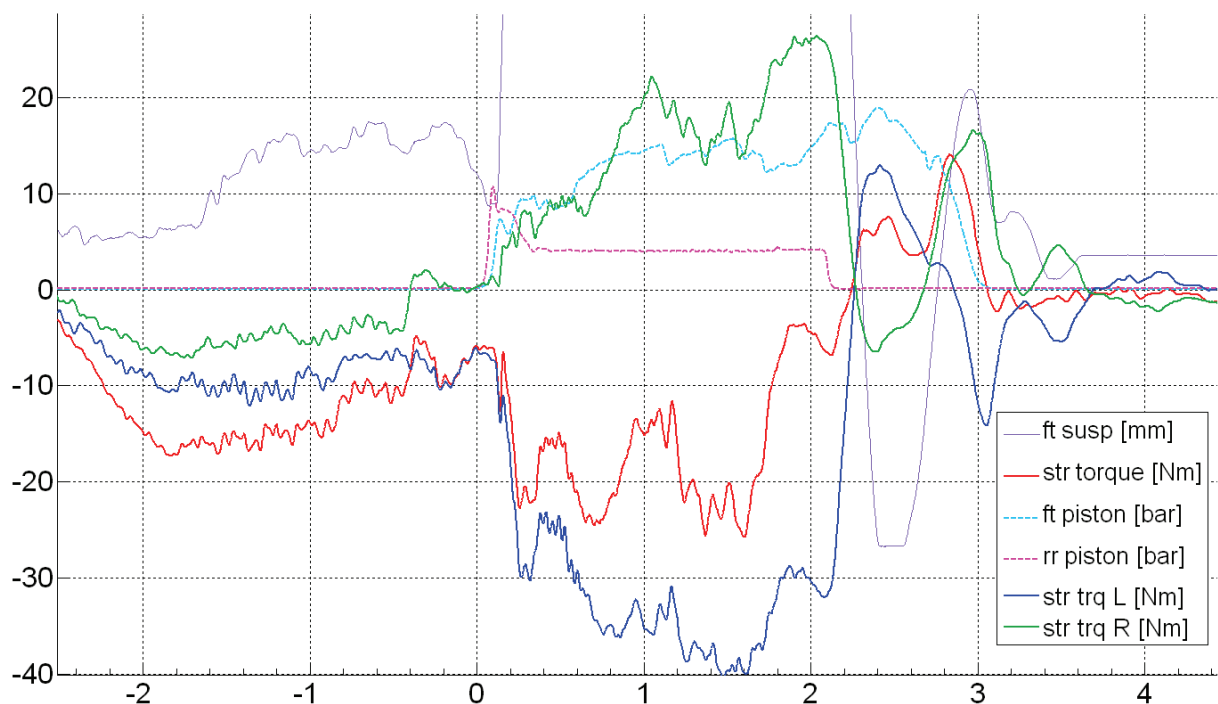


Figure 17: Measured results versus time in seconds for ABS-regulated corner braking and "lean out" in a left turn (initial roll angle  $\sim 35^\circ$ )

As a last example for corner braking with standard steering geometry, the effect of "lean out" driving style is illustrated in Figure 17. Free cornering conditions are reached at -0.2 s, displaying a typical

overall steering torque (red) of about 10 Nm outward the curve. Shortly later, the clutch is disengaged and the steering torque settles to about 6 Nm before the brakes are applied at 0.0 s. Since the stationary steering torque is mainly covered by the inward arm, it is already in direct connection to the handlebars upon brake kick-in and consequently reacts just as fast as in the other examples (blue compared to dark green line). Despite the low measured values of only 22 Nm after brake kick-in, the overall steering torque demand arising from the “lean out” position is significantly higher (as discussed in section 2.4) and the rider’s steering effort is not enough to counterbalance the BST kick-in. A combination of severe steering and roll angle fluctuations is the consequence, modulating tire-road interaction conditions and causing larger ABS-activity. Hence also the steering torque demand experiences fluctuations and makes the whole braking procedure less comfortable – but not unsafe – to handle for the rider.

As expected from the considerations presented in section 2.4, the measured steering torque values stay below the theoretical kick-in values calculated with the simplified model for all three riding styles. On the one hand, this is due to the imbalance between the rider’s steering effort and the steering torque demand that accelerates the steering system inward the curve. On the other hand, the building up of steering torque demand is subject to many more effects in reality than considered in the model and most of all will not happen instantaneously. Therefore, speed and roll angle will already be diminished and the steering torque demand will necessarily settle at lower values, matching the then already more upright cornering conditions. Finally, uncertainties of steering torque measurement as presented in sections 3.2 and 4.1 might play a role.

#### **4.4 Experiments with BSTAM (Long Trail Setup, 75% Target Compensation Ratio)**

As shown in the prior section about ABS-regulated braking with steep brake pressure gradients, the corresponding high steering torque (kick-in) values do not appear in the measurement. When the braking process has reached a “steady state”, the measured steering torque will already be greatly diminished in accordance with the reduced speed and roll angle. Therefore, partial braking experiments are used to illustrate the BSTAM functionality, since dynamic over-braking of the front wheel can effectively be avoided and “steady” braking conditions are reached more quickly. For the presented experiments, the outrigger frame was still mounted on the vehicle.

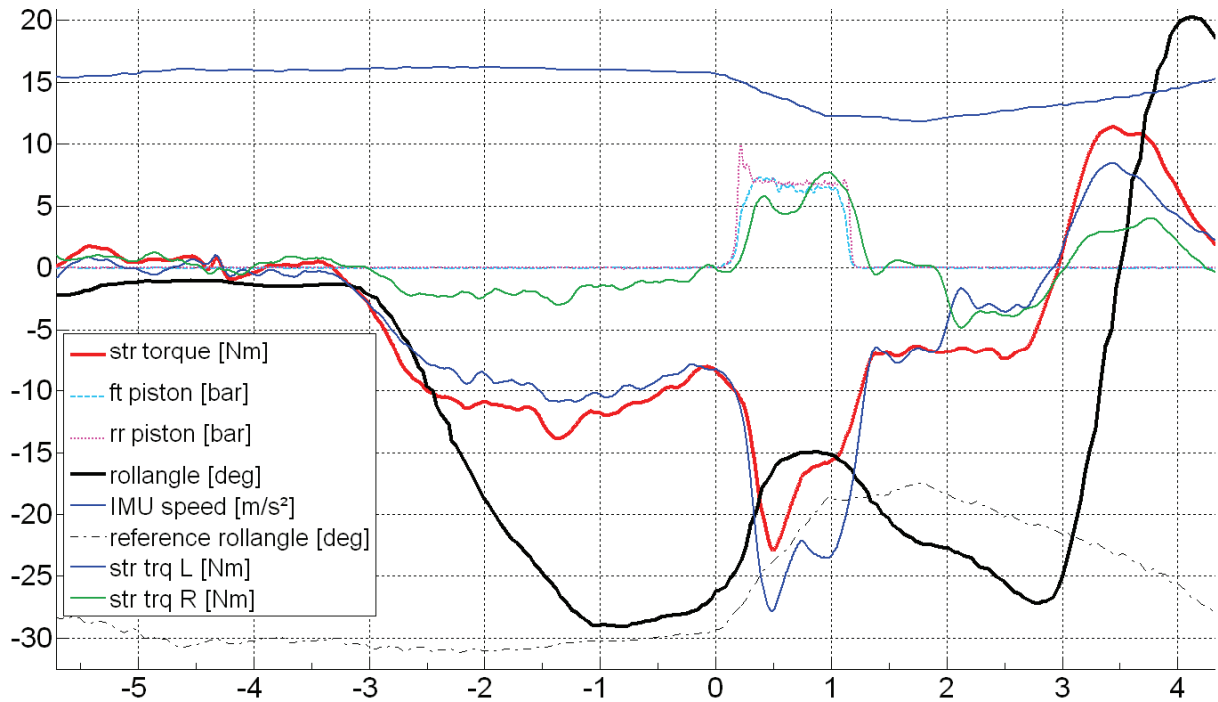


Figure 18: Measured results versus time in seconds for a partial braking maneuver in a left turn with BSTAM in fixed position with long trail, deceleration  $a_x \approx 5 \text{ m/s}^2$  at a starting speed of  $v_0 = 16 \text{ m/s}$

Figure 18 shows a typical partial braking maneuver in a left turn for a fixed BSTAM position in long trail setup. Starting from straight running, the curve is initiated by an outward steering torque (-2.7 s). Using corner cutting technique, the driven curve radius is slightly larger than 50 m and the measured roll angle stays slightly below the theoretical reference value ( $\lambda_{ref} \approx 1.1 \cdot \arctan(v^2/(R \cdot g))$ ) when steady cornering conditions are reached (-1.0 s). Starting from a roll angle of about  $28^\circ$  and a stationary steering torque of approximately 8 Nm, that is primarily covered by the contribution of the inward hand (blue) and supplemented by a slight pulling of the outward hand (dark green), the front brake is applied (0.0 s) and the steering torque almost triples to about 23 Nm. The rider supports his upper body against both handlebars with the characteristic distribution as discussed for the standard steering experiments. He is however not able to fully compensate the total steering torque demand and the BST-effect comes into play, showing a distinct stand-up-tendency in the roll angle signal (black) that is larger as would be appropriate for the diminished speed on the constant radius. As the resulting roll angle undershoot is linked with a smaller curvature, the test rider needs to built up a roll angle larger than the theoretical reference after the brakes are released, in order to stay within the track boundaries set by pylons.

The same test has been conducted with active BSTAM and 75% target compensation ratio, the results of which are shown in Figure 19.

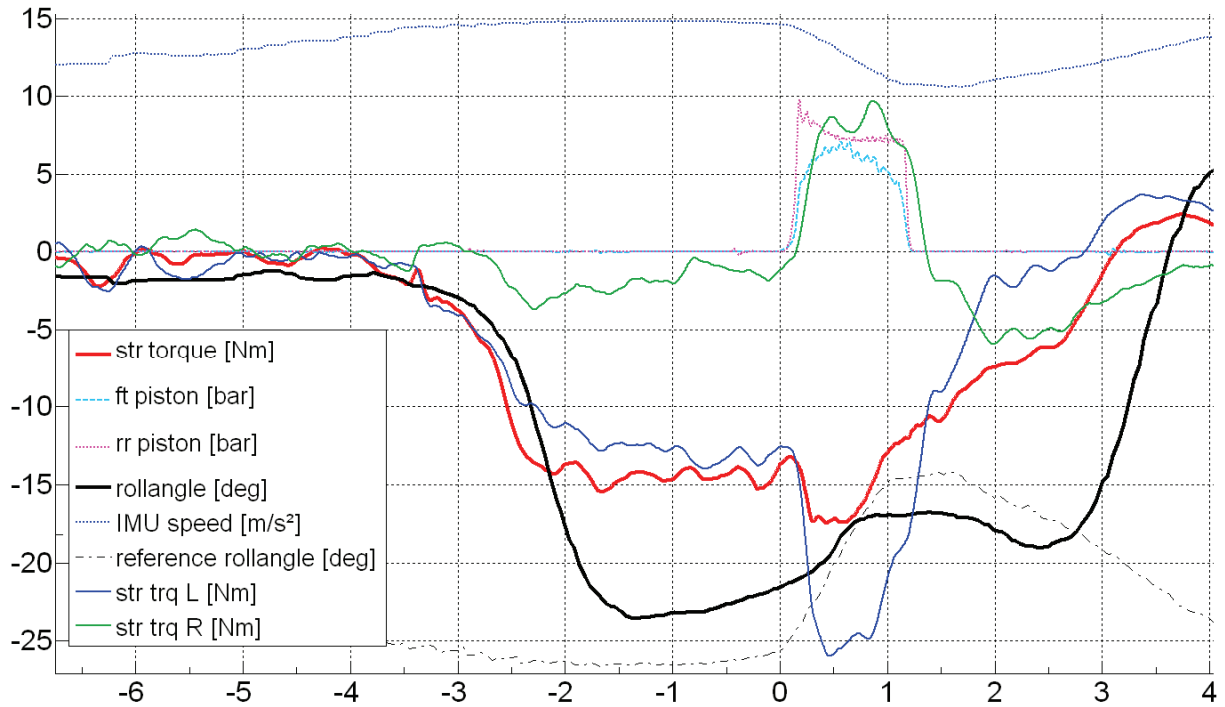


Figure 19: Measured results versus time in seconds for a partial braking maneuver in a left turn with BSTAM in active mode with long trail and  $t_{cr} = 75\%$ , deceleration  $a_x \approx 5 \text{ m/s}^2$  at a starting speed of  $v_0 \approx 15 \text{ m/s}$

When entering the turn from straight conditions, the BSTAM excenter is in the same “long trail” position as for the prior example with fixed BSTAM position. The steering response to the directional change is in line with the increased trail (128 mm compared to 98 mm series value) for conventional chassis setups with larger caster angle. However, with increasing roll angle, the excenter turns in accordance with the continuous control algorithm (see section 3.3). This results in an increase of steering torque demand until steady state conditions are reached at about 14 Nm (with a similar left/right distribution to the prior example) and a roll angle of only  $23^\circ$ , with the test rider heading towards the pylons. For higher speeds and a better match of the reference roll angle as in the presented example the stationary steering torque will be even a few Newton-meters higher. The brake application (0.0 s) shows a BST kick-in of merely 4 Nm, leading to an absolute steering torque demand of only 17 Nm and a resulting upward roll movement that is temporarily well in line with the reference (0.5 s) and subsequently even a little smaller. As the radius when entering the turn was chosen too wide, this assists the necessary course correction before the brakes are released and the rider accelerates out of the curve (1.2 s).

Herewith the theoretical considerations presented in section 2.5 are approved. A BSTAM in the current excentric setup and continuous control effectively mitigates the BST kick-in and absolute steering torque demand during corner braking, however at the cost of significantly higher stationary steering torques. As orienting driving experiments with active “short trail” setups show the same effect of super-elevated stationary steering torque demand, a mere adjustment of the base motorcycle’s caster

angle for the implementation of a BSTAM is not sufficient to deal with this system immanent downside. The most promising solution to this issue is seen in a “jump-function” that only actuates the BSTAM proportionally when a brake force is applied in a curve (see sections 2.5 and 3.3).

## 4.5 Slalom Experiments

Handling characteristics were subjectively evaluated during slalom maneuvers at various speeds from 12 m/s to 18 m/s with pylon distances of 10 and 15 meters. As a reference behavior of standard chassis setups, the transfer functions of the rider’s steering angle respectively steering torque input to roll angle reaction of the vehicle varies with changing slalom speeds [11]. From a subjective point of view, this also holds true for the tested BSTAM setups with long trail and 50% respectively 75% of geometrical target compensation ratio. As long as the slalom frequency is small enough for the BSTAM control to keep up with, test riders reported that handling the vehicle feels “a little unusual” but yet “as intuitive and easy as for standard chassis configurations”. For certain speeds, slalom frequency and controller time delay match in a way that the vehicle will do the slalom “almost by itself”, with very little steering effort, which was again judged “unusual but intuitive”. However, if the slalom is driven rather fast, BSTAM positioning will run out of phase, creating an asymmetric steering response which will force the rider to quit the slalom track in a worst case scenario. This underlines how essential a real time controller response – that is not given in the experimental setup – is for handling performance.

## 5 Conclusions and Future Outlook

It could be shown – in both model and experiment – that riding style and rider posture have a significant influence on the absolute level of BST as well as the ergonomic capabilities of the rider to counterbalance it. “Lean in” shows a positive influence while “lean out” has a negative one in comparison to “lean with”. Future investigations will need to deal in more detail with the sequence of effects at brake force kick-in by taking real tire characteristics under transient combined slip, gyroscopic effects, chassis movements as well as active and passive rider reactions and movements into account.

Simple theoretical considerations and driving experiments with standard steering geometry and BSTAM setup show, that the existence of the lever arm given by the roll angle dependent tire scrub radius is essential for neutral handling. By reduction of this lever arm, a BSTAM with continuous control algorithm is indeed effective in reducing the steering torque kick-in, the maximum steering torque demand and stand-up-tendency of the vehicle. However, this benefit is achieved at the cost of a stationary steering torque demand that is significantly higher than for the standard steering. Despite its



novel feedback and feel, the current BSTAM setup could therefore already be beneficial for racing applications with a lot of severe braking into the turns.

Nevertheless, BST-critical braking in curves is a rather seldom driving maneuver in real traffic compared to free cornering. Therefore, the additional steering effort generated by a BSTAM in current setup is judged disadvantageous for on road use, as it might even reduce overall active safety due to rider fatigue. In order to deal with this downside, alternative BSTAM chassis geometries and “kick-in” control algorithms are presently investigated in simulations.

Corner braking experiments with standard steering geometry revealed a well balanced interaction of the Honda CBR600RR’s chassis and brake-by-wire system. Thanks to the smooth control of its ABS, CBS and large pitching control functions [19, 20], test riders were able to deal with the BST-effect even for ABS-regulated (front) braking, earning just as much stand-up as appropriate for the diminishing speed on the constant radius. Before that background, the implementation of a cornering adaptive “ideal” brake force distribution (see section 2.1, [1, 5 and 22]) and limited brake pressure gradients for increasing roll angles [23] are seen as the next logical steps towards fully cornering approved brake systems and BST mitigation. In short- or mid-term perspective, these measures can possibly further benefit from interaction with (semi-) active suspensions and advanced semi-active steering damper control.

Starting from this improved state-of-the-art, in long-term perspective it must newly be judged, which benefit/cost ratio can be achieved by implementation of an advanced BSTAM or other suggested BST counter measures such as a counter steering torque actuator or multi lever steering systems [1, 24]. As a final remark it must be stated, that while the counter steering torque actuator concept theoretically offers a complete cure of the BST-effect without giving up the neutral handling in ordinary driving conditions, this concept is posing the highest requirements in modeling of rider intention (trajectory planning) and prediction of steering torque demand with all their influence factors.

## 6 Errata 2010

Even though the model calculation presented in the main authors' previous publication [1] becomes obsolete with the more sophisticated model presented in this paper, a mistake that found its way into the formulae to calculate the different BST components in the vehicle coordinate system shall be corrected in the following.

Regarding Figure 11, if the whole vehicle is seen as one rigid body and the tire contact patch line is assumed parallel to the vehicle symmetry plane despite the different tire contour radii in front and rear, the  $BYT_{2010}$  in the vehicle coordinate system ( $x'$ - $y'$ -plane from bird view) is calculated as follows:

$$BYT_{2010} = F_{Bfront} \cdot \Delta y'_{front} + F_{Brear} \cdot \Delta y'_{rear} \approx 35.48 \text{ Nm}$$

and the change in side forces in this vehicle fixed coordinate system is given through

$$\Delta F y'_{front/rear} = BYT_{2010} / l \approx 25.81 \text{ N}$$

Subdivision of the rigid vehicle assembly into a front and rear sub-assembly at the intersection of steering axis and road plane (which lies ahead of the front tire contact patch in  $x'$ -direction by the distance of trail  $n$ ) allows the calculation of the interconnecting overall steering torque demand to hold the two pieces in line from both, front and rear side. This delivers the following result:

$$\begin{aligned} BST_{tot,2010} &= (BYT_{2010} \cdot \frac{n}{l} + F_{Bfront} \cdot \Delta y'_{front}) \cdot \cos(\tau) = \\ &= (F_{Bfront} \cdot \Delta y'_{front} \cdot \frac{(l+n)}{l} + F_{Brear} \cdot \Delta y'_{rear} \cdot \frac{n}{l}) \cdot \cos(\tau) \approx 24.29 \text{ Nm} + 0.90 \text{ Nm} \approx 25.19 \text{ Nm} \end{aligned}$$

with the first portion resulting from the front wheel and the latter from the rear wheel contribution.

Herewith it becomes clear, that the  $BYT_{2010}$  as defined above already contains the rear-wheel contribution to the  $BST_{tot,2010}$ . Therefore, the prior separate definition contained the rear wheel contribution doubly, which is not correct. The same holds true for the mechanical transmission ratios for both front and rear wheel contributions, which are in the same way revised in the above formulae.

Finally, please note again, that both the prior 2010 BST and BYT definitions are completely different to the present 2012 ones, even though the same abbreviations have been used.

## 7 Acknowledgements

The presented work has been partially funded by Honda R&D (Japan and Germany alike) and supported in many practical ways, including the provision of the base motorcycle. Maxxxware ([www.maxxxware.de](http://www.maxxxware.de)) supplied solid state hard disk drives and GSG-Mototechnik ([www.gsg-mototechnik.de](http://www.gsg-mototechnik.de)) a full set of crash pads, both at a reduced price. The authors express their thankfulness to all contributors, including Dr.-Ing. Alois Weidele, the inventor of BSTAM, as well as the many students without whom this research would not have been possible.

## 8 Literaturverweise | References

- [1] Schröter, K.; Bunthoff, J.; Fernandes, F.; Schröder, T.; Winner, H.; Seiniger, P.; Tani, K.; Fuchs, O.: Brake Steer Torque Optimized Corner Braking of Motorcycles. 8th International Motorcycle Conference of the ifz. 4th-5th October 2010, Cologne, Germany.
- [2] Seiniger, P.; Schröter, K.; Gail, J.: Perspectives for Motorcycle Stability Control Systems, International Conference on Safety and Mobility of Vulnerable Road Users (VRU): Pedestrians, Motorcyclists, and Bicyclists, 30th May-2nd June 2010, Jerusalem, Israel.
- [3] Seiniger, P.; Schröter, K.; Gail, J.: Perspectives for Motorcycle Stability Control Systems, in Accident Analysis & Prevention, Volume 44, Issue 1, January 2012, Pages 74-81, journal homepage: [www.elsevier.com/locate/aap](http://www.elsevier.com/locate/aap), DOI:10.1016/j.aap.2010.11.018.
- [4] Weidele, A.: Braking While Cornering on a Motorcycle – Problems of Riding Dynamics, Influences of Rider Personality, Potentials of Development, Proceedings of the 1st International Motorcycle Conference of the ifz and MSF, Orlando (USA) and Bochum (Germany), 1991, ISBN: 3-923994-11-7, ISSN: 0175-2626.
- [5] Weidele, A.: Free Translation: Investigations on the Braking Behavior of Motorcycles with Focus on ABS-controlled Corner Braking, Original Title: Untersuchungen zum Bremsverhalten von Motorrädern unter besonderer Berücksichtigung der ABS-geregelten Kurvenbremsung, Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 210, VDI Verlag, Düsseldorf 1994, ISBN 3-18-321012-6.
- [6] Spiegel, B.: Free Translation: Everyday Motorcycle Training. – The exercise book for „The upper half of the motorcycle”, Original Title: Motorradtraining alle Tage: Das Übungsbuch zu “Die obere Hälfte des Motorrads”. Motor-Buch-Verlag, Stuttgart, Juni 2009.
- [7] Kühn, M.: Free Translation: Analysis of Motorcycle Accidentology, Original Title: Analyse des Motorradunfallgeschehens - Interdisziplinäre Analyse der Sicherheitslage von Motorradfahrern in Deutschland. Unfallforschung der Versicherer (UDV) im Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV), Präsentation, UDV Jahrestagung, 2008.
- [8] Hurt HH JR., Ouellet JV, Thom DR.: Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures, Volume 1: Technical Report. Traffic Safety Center, University of Southern California, Los Angeles; 1981. (US DOT Contract No. HS-5-01160).
- [9] European Association of Motorcycle Manufacturers, ACEM: MAIDS: Motorcycle Accidents In Depth Study – In-depth investigations of accidents involving powered two wheelers. [www.maids-study.eu](http://www.maids-study.eu), Final Report 2.0, April 2009 (“Maids Report”).

- [10] Aue, H.: Free Translation: Logic for Beginners, in: If it's too loud, you are too old – Motomania vol. 6, Original Title: Logik für Anfänger, in: Ist es zu laut, bist du zu alt – Motomania Bd. 6, 3<sup>rd</sup> Edition, Eichborn Verlag, Frankfurt am Main 2006, ISBN 3821830948.
- [11] Cossalter, V.: Motorcycle Dynamics (Second Edition), LuLu Enterprises, Inc., USA, 2006, ISBN 978-1-4303-0861-4.
- [12] Cossalter, V.; Doria, A.; Lot, R.: Steady turning of two wheeled vehicles. *Vehicle System Dynamics*, Vol. 31, No. 3, pp. 157-181, 1999.
- [13] Cossalter, V.; Lot, R.; Peretto, M.: Steady turning of motorcycles. *Journal of Automobile Engineering*, Vol. 221, No. 11, pp. 1343-1356, 2007, DOI: 10.1243/09544070JAUTO322.
- [14] Cossalter, V.; Lot, R.; Massaro, M.; Peretto, M.: Motorcycle Steering Torque Decomposition. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2010, Vol. II. WCE 2010, June 30 - July 2, 2010, London, U.K.*
- [15] Cossalter, V.; Doria, A.; Fabris, D.; Maso, M.: Measurement and identification of the vibration characteristics of motorcycle riders. In: *Proc. of the ISMA 2006 international conference on noise and vibration engineering*, Lovanio, Belgium, September 18-20, 2006.
- [16] Cossalter, V.; Doria, A.; Lot, R.; Massaro, M.: The effect of rider's passive steering impedance on motorcycle stability: identification and analysis. *Meccanica*, Vol. 46, No. 2, pp. 279–292, April 2011, DOI 10.1007/s11012-010-9304-1.
- [17] Cheli, F.; Pezzola, M.; Taroni, N.; Mazzoleni, P.; Zappa, E.: Driver's movements influence on the lateral dynamic of a sport motorbike, 19th Mediterranean Conference on Control and Automation, Aquis Corfu Holiday Palace, Corfu, Greece, June 20-23, 2011.
- [18] Präckel, J.: Free Translation: Braking of Motorcycles in the System Man / Machine / Surrounding, Original Title: Die Motorradbremsung im System Mensch / Maschine / Umgebung, *Fortschritt-Berichte VDI Reihe 12 Nr. 384*, VDI Verlag, Düsseldorf 1999, ISBN 3-18-338412-4.
- [19] Nishikawa, Y.; Nanri, T.; Takenouchi, K.; Takayanagi, S.; Tani, K.; Fukaya, S.: Experimental Study of Pitching Control of Large Motorcycles with Short Wheelbases using a Brake-by-Wire System. 7th International Motorcycle Conference of the ifz. 6th-7th October 2008, Cologne, Germany.
- [20] Tani, K.; Toda, M.; Takenouchi, K.; Fukaya, S.: Research on Brake-by-Wire System for Super-Bike Race Motorcycle. 8th International Motorcycle Conference of the ifz. 4th-5th October 2010, Cologne, Germany.

[21] Hikichi, T.; Tsuchida, T.; Thiem, M.: Free Translation: Influence of Anti-Lock-Brake-Systems on Braking in Turns with Motorcycles, Original Title: Einfluß von Antiblockiersystemen bei Bremsungen von Motorrädern in Schräglage. VDI Berichte 779, Motorrad: 3. Fachtagung / VDI-Ges. Fahrzeugtechnik, VDI Verlag, Düsseldorf 1989, ISBN 3-18-090779-7.

[22] Seiniger, P.; Winner, H.; Schröter, K.; Kolb, F.; Eckert, A.; Hoffmann, O.: Development of a roll angle sensor technology for future brake systems. 6th International Motorcycle Conference of the ifz. 9th-10th October 2006, Cologne, Germany.

[23] Roll, G.; Hoffmann, O.: Evaluation of the safety benefits of electronic brake-control systems in single-track vehicles. 8th International Motorcycle Conference of the ifz. 4th-5th October 2010, Cologne, Germany.

[24] Seidl, J.: Front wheel steering for motorcycle - incorporates horizontal forks and linked steering arms. Published Patent Application DE 3914050 A1, Filed 1989, Published 1990.

**Use of active suspensions with respect to motorcycle safety**

**Einsatz von aktiven Fahrwerken zur Erhöhung  
der Fahrsicherheit von Motorrädern**

Dipl.-Ing. Peter Rettweiler

Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen mbH Aachen

## Kurzfassung

16% aller Verkehrstoten in Deutschland sind Motorradfahrer und die Anzahl stagniert auf diesem hohen Niveau. Daher ist eine Verbesserung der Fahrsicherheit von Motorrädern zwingend erforderlich. Im Pkw leisten aktive beziehungsweise verstellbare Fahrwerksysteme einen positiven Beitrag zur Fahrsicherheit und helfen, Unfälle zu vermeiden. Hierzu zählen neben den Fahrdynamikregelsystemen wie ABS und ESP auch Verstelldämpfer und Stabilisatorverstellsysteme.

Dämpfer- und Stabilisatorsysteme beeinflussen die dynamische Radlast und können insbesondere im ABS-Regelbereich die Fahrsicherheit erhöhen. Der Einfluss geregelter Dämpfersysteme auf die Fahrsicherheit und den Komfort im Pkw-Bereich ist in ausführlichen Untersuchungen sowohl theoretisch als auch praktisch belegt. Im Krafradbereich existieren zwar Untersuchungen zu verstellbaren Dämpfersystemen, meist werden hier aber ausschließlich komfortorientierte Kriterien betrachtet. Neben der Übertragbarkeit der positiven Effekte, die im Pkw-Bereich hinsichtlich Komfort und Fahrsicherheit durch geregelte Dämpfersysteme erreicht werden, auf Krafräder, ist der Einfluss geregelter Systeme auf die besonderen krafradspezifischen Eigenschaften noch nicht ausführlich simulativ betrachtet worden. Das labile System Krafrad, das in Abhängigkeit der Fahrgeschwindigkeit stark veränderliche Eigenschaften bezüglich der Eigenstabilisierung aufweist, neigt je nach Geschwindigkeitsbereich zu unterschiedlichem Verhalten.

Die Zielsetzung dieser Untersuchung liegt somit in der Überprüfung der Übertragbarkeit der aus dem Pkw-Bereich bekannten Einflüsse geregelter Dämpfersysteme auf Fahrkomfort und Fahrsicherheit im Krafradbereich. Weiter soll hierbei auf krafradspezifische Fahrsituationen eingegangen werden, die in der Pkw-Forschung auf Grund des abweichenden Systemverhaltens keine Berücksichtigung finden.



**Roll Angle Estimation: Evaluation of Approaches based on  
Vehicle Dynamics and Video Sensors**

**Rollwinkelbestimmung: Bewertung von Verfahren basierend auf  
Fahrdynamik- und Videosensorik**

Benedikt Lattke, Daniel Schröter, Kai Schröter, Hermann Winner

Fachgebiet Fahrzeugtechnik, Technische Universität Darmstadt

Marc Schlipfing, Jan Salmen

Institut für Neuroinformatik, Ruhr-Universität Bochum

## Abstract

New Advanced-Rider-Assistance-Systems (ARAS) for powered two-wheelers (PTW) promise improved comfort and safety, based on roll angle estimation as a key element. Video-based assistance systems are already successfully deployed in cars. Their port at ion to PTWs requires information about the camera pose, since large roll angles produce significant variations in the recorded images. Therefore, accurate roll angle estimation is essential for video-based ARAS. In this paper, two approaches for roll angle estimation are introduced, compared and evaluated. One is based on vehicle dynamics sensors, the other one on video data.

For the vehicle dynamics approach, an extended Kalman filter is used. This filter estimates the PTW's roll angle by deploying models for roll dynamics and sensor characteristics. The video-based approach makes use of recurring geometry and object composition of the recorded scenes. By acquiring video data for maneuvers with given roll angle, characteristic orientation histograms of the image gradient can be found. Correlating new recordings with the learnt statistics, the current roll angle can be derived.

For evaluation, riding maneuvers covering all relevant vehicle dynamics are conducted. Furthermore, rides on a public road course representative for the German road network are carried out. The estimated roll angles of both approaches are compared with a highly precise reference sensor. A high accuracy of about 2 degrees error can be observed for both methods. A combination of both indicates a high potential for many new video-based applications in PTWs.

## Kurzfassung

Neue Fahrerassistenzsysteme versprechen ein verbessertes Fahrverhalten und einen zusätzlichen Sicherheitsgewinn für Motorräder. Dabei ist die Bestimmung des Rollwinkels ein wichtiger Bestandteil. Videobasierte Assistenzfunktionen sind in anderen Fahrzeugklassen bereits etabliert. Deren Übertragung auf Motorräder ist jedoch mit großen Herausforderungen verbunden, da die Schräglage große Variationen in den aufgenommenen Bildern bewirkt. Um diesen Einfluss zu kompensieren und videobasierte Fahrerassistenzsysteme für Motorräder zu realisieren, ist eine genaue Bestimmung des Rollwinkels erforderlich. In dieser Studie werden daher ein auf Fahrdynamiksensorik und ein auf Videosensorik basierender Ansatz zur Bestimmung des Rollwinkels vorgestellt, verglichen und bewertet.

Für den Fahrdynamik-Ansatz wird ein Extended-Kalman-Filter eingesetzt, das auf Basis von Modellen zur Rolldynamik und der Inertialsensorik den Rollwinkel des Motorrades schätzt. Der Video-Ansatz nutzt sich wiederholende Geometrie- und Objektzusammensetzungen der aufgenommenen Szenen aus. Durch das Aufzeichnen von Fahrsituationen mit bekanntem Rollwinkel lassen sich für jede Schräglage charakteristische Orientierungshistogramme der Bildgradienten finden. Durch Korrelation einer aktuellen Aufnahme mit der gelernten Verteilung kann der Rollwinkel abgeleitet werden.

Die Evaluierung der beiden beschriebenen Ansätze basiert auf Manövern, die relevante Fahrdynamikbereiche abdecken. Ergänzt wird dies durch Fahrten auf einer Strecke, die hinsichtlich der Ortslage das deutsche Straßennetz repräsentativ abbildet. Ein Vergleich der ermittelten Rollwinkelverläufe mit einer hochgenauen Referenzsensorik zeigt, dass beide Verfahren hohe Genauigkeiten im Bereich von ca.  $2^\circ$  erzielen, wobei sich wie erwartet Unterschiede zeigen, je nachdem welche Situation vorliegt. Eine Kombination beider Verfahren bietet somit Potential für viele weitere videobasierte Anwendungen im Motorrad.

## **Roll Angle Estimation: Evaluation of Approaches based on Vehicle Dynamics and Video Sensors**

# 1 Introduction

Driver/rider assistance systems increase safety and comfort and thus become more and more important also for powered two-wheelers (PTW). Anti-Lock and Combined Brake Systems (ABS / CBS) as well as Traction Control Systems (TCS) are the most common Advanced Rider Assistance Systems (ARAS) on modern PTWs. These and other applications aim at the stability of the vehicle in order to improve driving behaviour and safety. In this context the estimation of the vehicle's orientation and particularly the roll angle  $\lambda$  (see Fig. 1) is an essential task.

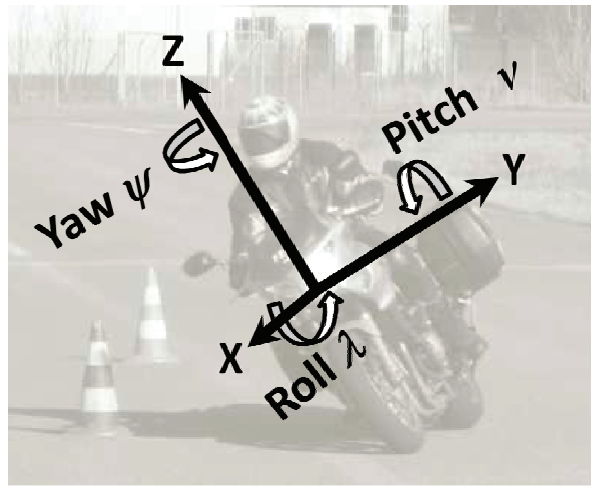


Figure 1: Illustration of the motorcycle coordinate system.

There are approaches to estimate vehicle states by integration of several sensor responses, i.e. velocity, acceleration, roll / pitch / yaw rate, and distance to ground plane [1][2][3][4][5]. Their setups include inertial measurement units (IMU) or other contact-free measurements in order to analyze vehicle dynamics or rely on visual information [6][7][8].

Recently, Schlipfing et al. [9] compared several IMU-based and video-based approaches for roll angle estimation. The approaches were evaluated by test drives on a proving ground. A high accuracy of about 2 degrees error were observed for the two best methods – a IMU-based Kalman filter method and an extension to the video-based method of Schlipfing et al. [10].

In this study, both mentioned methods are described and evaluated more in detail. Besides test drives on a proving ground, rides on a public road course representative for the German road network are carried out.

In the following section, the Kalman filter method is described. Sec. 3 presents the video-based method. The experimental setup including the description of utilized sensors, the driving sites and the applied test procedure will be given in Sec. 4. Experimental results in Sec. 5 will compare the perfor-

mance of the methods. In the final Sec. 6 findings are summarized and conclusions, concerning the problem of roll angle estimation for motorcycles, are drawn.

## 2 Kalman Filter Method

After stating the involved driving dynamics, this section describes an IMU-based approach by deploying an extended Kalman filter.

### 2.1 Motorcycle Driving Dynamics

The overall roll angle  $\lambda$  of the motorcycle can be divided into the physically relevant angle  $\lambda_{ph}$  and an additional roll angle  $\lambda_a$  which is due to the finite tire width as shown in Fig.2.

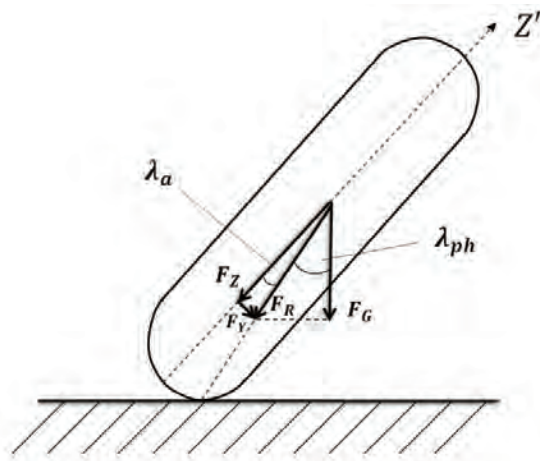


Figure 2: Composition of overall roll angle

One way to calculate the roll angle  $\lambda$  is the integration of the roll rate  $\dot{\lambda}$ . This is described by the following equation:

$$\lambda = \int \dot{\lambda} dt \quad (1)$$

According to Weidele [1], the tangent of the physical roll angle  $\lambda_{ph}$  is equal to the ratio of lateral force  $F_S$  and gravitational force  $F_G$  (for steady-state rides). This yields the following relation, depending on lateral acceleration  $a_Y$  and gravity acceleration  $g$ :

$$\tan \lambda_{ph} = \frac{F_S}{F_G} = \frac{a_Y}{g} \quad (2)$$

The lateral acceleration  $a_Y$  can be either obtained by the horizontal IMU measurements or calculated using angular rates and the vehicle velocity. Due to a higher level of noise in the measurements of the acceleration compared to the measurements of the angular rates, it is preferred to make use of the fol-

lowing equation depending on the longitudinal vehicle velocity  $v_X$  and the horizontal yaw rate  $\dot{\psi}$  (neglecting a side slip rate of the motorcycle):

$$a_Y = v_X \cdot \dot{\psi} \quad (3)$$

Inserting equation (3) into (2) and transforming the horizontal yaw rate  $\dot{\psi}$  into the measured body yaw rate  $\dot{\psi}_V$  results:

$$\tan \lambda_{ph} = \frac{v_X \cdot \dot{\psi}_V}{g \cdot \cos \lambda} \quad (4)$$

With the assumption  $\lambda_{ph} = 0.9 \cdot \lambda$  [1], equation (4) delivers the following relation between roll angle  $\lambda$ , longitudinal vehicle velocity  $v_X$  and body yaw rate  $\dot{\psi}_V$ :

$$\tan(0.9 \cdot \lambda) \cdot \cos \lambda = \frac{v_X \cdot \dot{\psi}_V}{g} \quad (5)$$

## 2.2 Roll Angle Estimation

Employing equations (1) and (5), a Kalman filter is used for roll angle estimation. Since equation (5) is nonlinear, the model of the extended Kalman filter is applied. Therefore, the following state vector  $\hat{\mathbf{x}}$  is defined:

$$\hat{\mathbf{x}} = \left[ \hat{v}_X, \hat{a}_X, \hat{\lambda}, \hat{\dot{\lambda}} \right]^T \quad (6)$$

For a Kalman filter, the discrete system model can be described as following:

$$\hat{\mathbf{x}}(k) = \hat{\mathbf{A}}\hat{\mathbf{x}}(k-1) \quad (7)$$

The assumption of constant acceleration and turn rate yields the following system matrix  $\hat{\mathbf{A}}$  with respect to the constant sampling time  $T_0$ :

$$\hat{\mathbf{A}} = \begin{pmatrix} 1 & T_0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & T_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad (8)$$

The employed system models are also known as Constant Acceleration Model and Constant Turn Rate Model [11]. The latter describes the roll motion and implements equation (1). Equation (5) is implemented by introducing the ‘‘combined’’ measurement  $y_{\dot{\psi}_V}$ :

$$y_{\dot{\psi}_V} = v_X \cdot \dot{\psi}_V = \tan(0.9 \cdot \lambda) \cdot \cos \lambda \cdot g \quad (9)$$

With respect to the measurement of longitudinal vehicle velocity  $v_x$  and the roll rate  $\dot{\lambda}$ , this yields the following measurement model:

$$\mathbf{y} = \begin{pmatrix} \dot{\lambda} \\ y_{\psi v} \\ v_x \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \dot{\lambda} \\ \tan(0.9 \cdot \dot{\lambda}) \cdot \cos \hat{\lambda} \cdot g \\ \widehat{v_x} \end{pmatrix} \quad (10)$$

Linearization (and discretization) of equation (10) results in the following:

$$\hat{\mathbf{y}}(k) = \hat{\mathbf{H}}\hat{\mathbf{x}}(k) \quad (11)$$

The measurement matrix  $\hat{\mathbf{H}}$  is determined by calculating the partial derivative of the measurement equations (10) with respect to the state vector  $\hat{\mathbf{x}}$  (Jacobian matrix). This leads to the following measurement matrix  $\hat{\mathbf{H}}$ , whereas the component  $\hat{\mathbf{H}}_{23}$  is not constant and has to be determined at every time step with respect to the most current estimate of the roll angle:

$$\hat{\mathbf{H}} = \begin{pmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0.9g \frac{\cos(\lambda)}{\cos^2(0.9\lambda)} - g \sin(\lambda) \tan(0.9\lambda) & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \quad (12)$$

For a good estimate of the actual states  $\hat{\mathbf{x}}(k)$ , it is essential to model the measurement noise. It is assumed that there is no correlation between the sensors for the measured variables. Therefore, the measurement noise matrix  $\mathbf{R}$  only contains the variance of the respective sensor on its diagonal. For the combined measurement  $y_{\psi v}$  the variance has been estimated with the Gaussian propagation of uncertainty. These assumptions yield the following measurement noise matrix  $\mathbf{R}$ :

$$\mathbf{R} = \begin{pmatrix} 0.06 & 0 & 0 \\ 0 & 0.09 & 0 \\ 0 & 0 & 0.0009 \end{pmatrix} \quad (13)$$

### 3 Video-based Roll Angle Estimation

Typical road scenes feature recurring geometry and compositions of objects. Recording those scenes, characteristic orientation distributions can be found and learnt from image gradients that code the roll angle of the motorcycle. By correlating the statistics (orientation histogram) of a single image with the learnt counterpart, the displacement can be derived. This novel approach was introduced in [10]. The main motivation was a cost-efficient porting of video-based assistance modules originally developed for cars to motorcycles. Results showed great promise for a robust estimation from video only and was confirmed in experiments carried out with a test vehicle [9].



### 3.1 Original Method

The learning algorithm is divided into training and test phase. Each processed image is represented by its gradient orientation distribution. For this, it is transformed to a low-dimensional angle histogram, capturing the occurrence frequency of reasonable angle intervals (see Fig. 3). In order to favor meaningful gradients, each orientation entry is weighted by its energy.

For training, which is performed offline, the orientations of the gradients are shifted by the corresponding roll angle (ground truth) towards a horizontal alignment. Thus, a mean histogram, coding the orientation distribution with respect to the horizon, is derived over time.

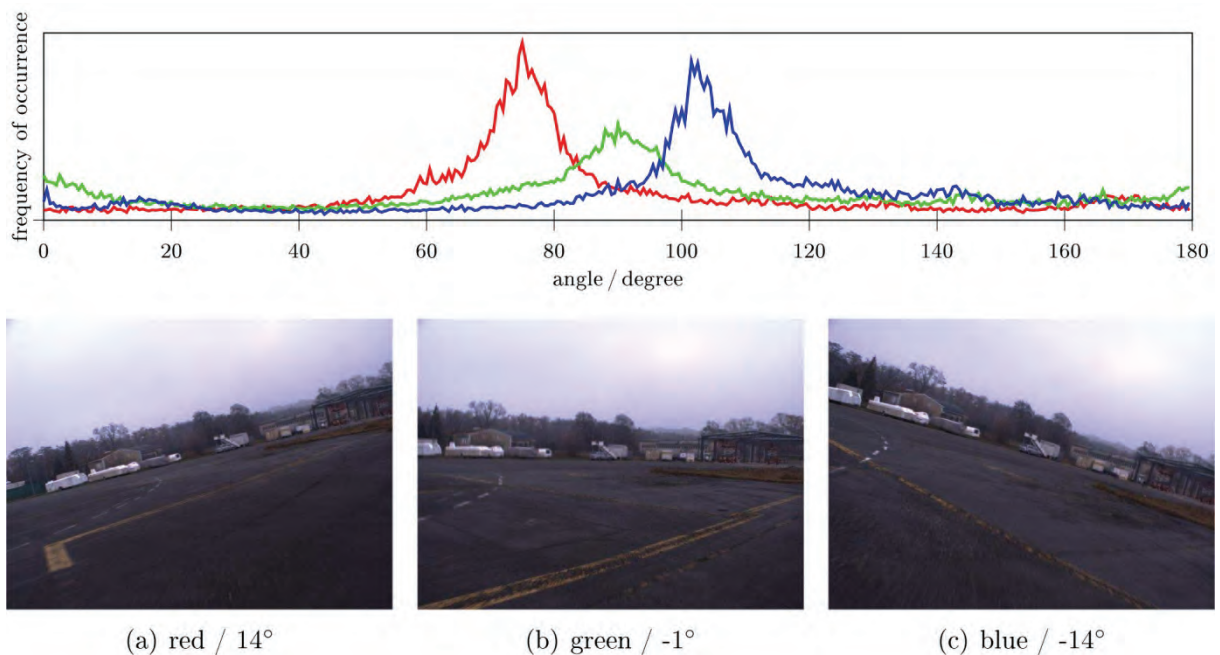


Figure 3: Normalised orientation histograms of three closely recorded images and their corresponding ground truth roll angle.  $0^\circ$  corresponds to vertical edges,  $90^\circ$  to the horizon.

During the test phase one is able to correlate each image's histogram with the learnt one. For this, it is translated by a range of reasonable roll angles, i.e.  $[-40^\circ, 40^\circ]$ . The straight forward solution is to pick the translation with the maximum normalised cross-correlation (NCC) and perform quadratic interpolation within the direct neighborhood.

Similarly, the roll rate is estimated. However, instead of the comparison with the learnt histogram, the correlation with one of the preceding images is maximised. Given the recording frequency of the camera, the measured roll angle can be derived in degree per second. Finally, both values are fed into a linear Kalman filter which is able to produce a smooth estimate of the roll angle, considering the physical relationship between the observed measures. For a detailed description and relevant formulas please refer to [10].

In [9] the authors proposed and proved three valuable extensions to increase robustness. Furthermore, the parameters involved in the training process were optimised using *Covariance Matrix Adaption evolution strategy (CMA-ES)*.

### 3.2 Learning Situation Categories

So far it was unclear to which extent the method would also perform well in every-day driving on public roads. The scenes' content and thus, their featured gradient orientations can vary quite extremely in a realistic environment. Therefore, one is not able to code the learnt distribution in a single angle histogram, which was confirmed in preliminary experiments.

This paper proposes a technique for learning reference histograms for different situations in an unsupervised manner and shows how to apply those during estimation. Firstly, the training sequences were sampled by collecting horizontally aligned mean histograms from short time intervals ( $\leq 1$  s). Assuming the type of situation would not change in such a short period, all samples were clustered in order to receive major scene categories automatically. Histograms were clustered by an agglomerative complete-linkage clustering algorithm (c.f. [12]), employing NCC as similarity measure. The six main clusters are visualised in Fig. 4, which shows significant differences between the learnt categories.

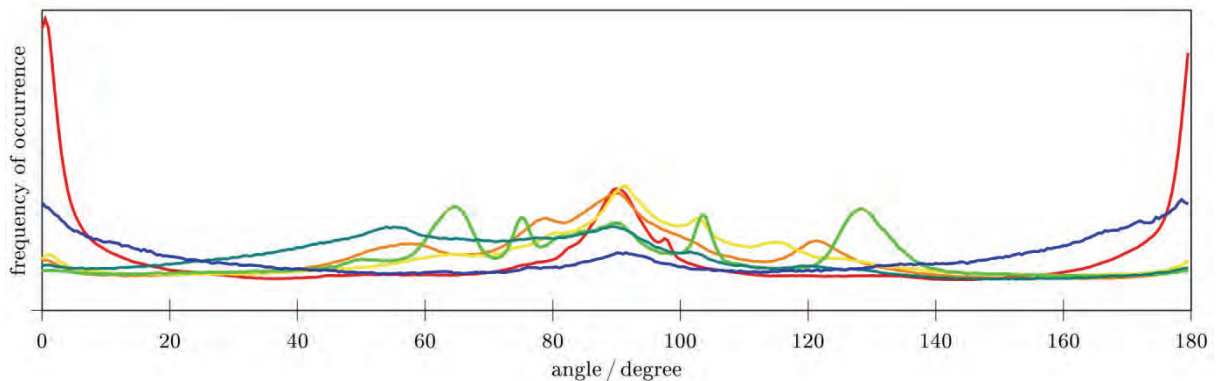


Figure 4: Six largest histogram clusters, colour-coded from red-yellow-blue (large to small). The red cluster features dominant horizontal and vertical structure, which can be found in urban areas with buildings. The green curve does not show much vertical structure, but several peaks around horizontal orientation, resulting from lane markings and crash barriers.

In order to use those tailored histograms during estimation, it is necessary to automatically decide which category best fits the current environment. It is assumed that the correct category histogram will be most similar to the observed distribution. Thus, the similarity measure (NCC) for each category is integrated over time (exponential smoothing), yielding the best fitting category use for estimation.

Confirming the intuition of clusters corresponding to different scene categories one can have a look at the images that produced histograms closest to the cluster centres (see Fig. 5).

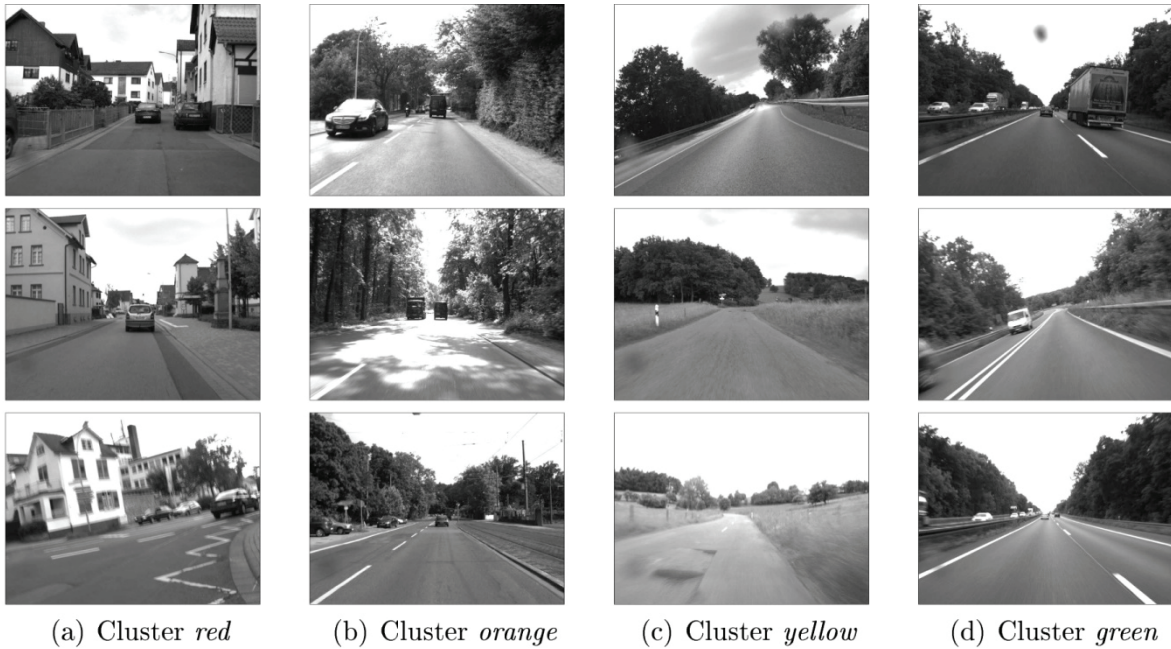


Figure 5: Images from the four largest category clusters.

## 4 Experimental Setup

This section will explain the sensory setup of the test vehicle, introduce the test environments and point out the conditions of the conducted experiments.

### 4.1 Motorcycle Sensors, Video and Data Acquisition

The on-board measurement setup, illustrated in Fig. 6, comprises two standard wheel speed sensors, a MEMS-based low-cost IMU mounted closely to the vehicle Center of Gravity (CoG) below the rider’s seat, and a GPS-supported high-precision IMU (Genesys ADMA-G) in the left side-case for reference measurements of ground truth data. The measured signals are transferred with individually optimized sampling rates via a CAN-Bus-System. A modified Car-PC in the right side-case is running carhs viilab® software, serving for data-acquisition and control of the test vehicle’s HMI.

The video recordings were acquired independent from the on-board hardware. The used CCD-camera is a *Prosilica GC1380CH* with a resolution of 1.3 Mpixels and a Gigabit ethernet interface. It was mounted on the vehicle in front of the wind-shield, facing ahead. Data was recorded with a frame rate of 30 images per second on a standard laptop placed in the backpack of the rider. For later synchronization with ground truth data an additional GPS signal was recorded.

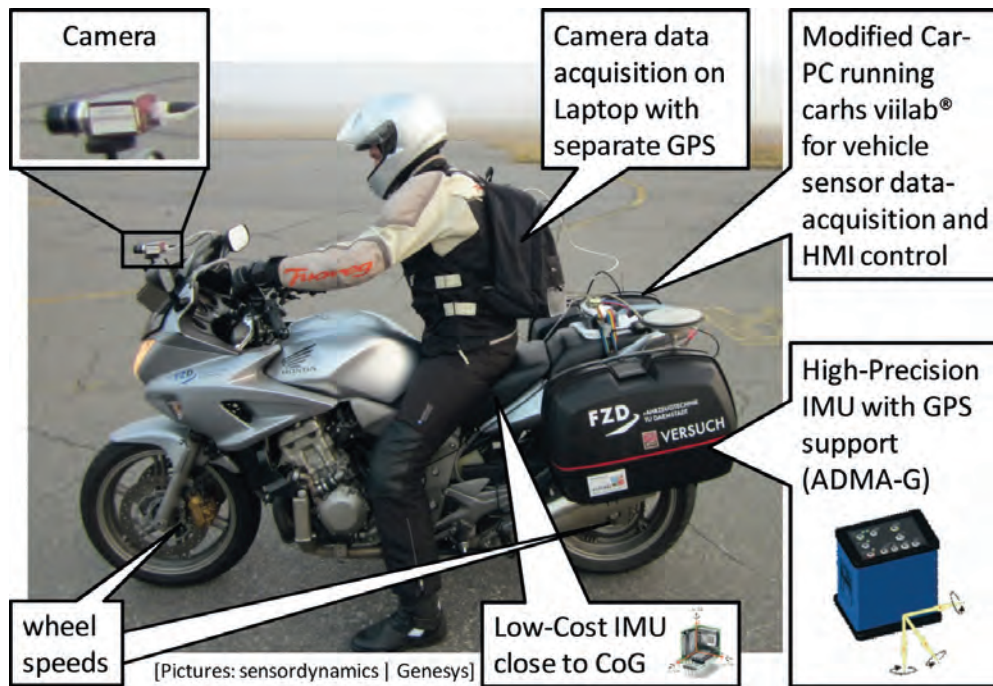


Figure 6: Setup of test motorcycle

## 4.2 Test Environment and Maneuvers

Test drives were conducted on a proving ground and on public roads. The following sections describe both series of experiments.

### 4.2.1 Proving Ground

The first series of test drives were conducted on TU Darmstadt's proving ground, Griesheim Airfield, in foggy cold conditions. While diffused light is helpful for a good scene contrast, water drops on the lens blur the view. The test site offers a large runway, a taxiway, a turning circle and the area in front of the control tower with several buildings nearby (see Fig. 7).

The asphalt surface partly features straight and circular lane markings like they can be found on urban streets or motorways. Nevertheless, in comparison to the acquisition of video data in real traffic scenarios the test site has a limited diversity. The cold and partially wet road surface did not allow extreme driving maneuvers. However, a set of generic maneuvers with roll angles of up to  $40^\circ$  was performed, in order to simulate real driving on rural roads. Among others, these are straight driving, constant and variable radius cornering, swerving, and slalom.

All maneuvers were conducted in steady state or superimposed with acceleration or braking, which results in considerable pitch angles. Moreover, as the road-unevenness of the airfield is representative for rural roads, a realistic vertical excitation of the vehicle and video-picture can be assumed.



Figure 7: Satellite image of the test site (source: Google Maps)

#### 4.2.2 Public Road

Besides the maneuvers on a proving ground, test rides on public roads were conducted. Therefore, a route described in detail by Präckel [13] was driven at sunny weather conditions. The route with a total length of about 90 km contains all relevant characteristics of the German road network. The route consists of dual-lane highways (Autobahn, Bundesstraße), rural roads and roads in urban areas. During the route, the rider has to pass 421 curves. At 252 of them, the road is sloppy. 351 curves are outside of built-up areas. The test rider was advised to regard the traffic rules and to ride defensively. This resulted in maximum roll angles of up to  $40^\circ$ .

## 5 Results

### 5.1 Proving Ground

For evaluation of test rides on the proving ground, experiments were conducted on three sequences (I – III). This section features a brief comparison of the presented approaches. Fig. 8 shows the determined values of the roll angle for an excerpt of sequence III.

Table 1 contains the root mean squared errors *RMSE* for both approaches and all sequences. Both approaches show a similar performance and a high accuracy with a *RMSE* of about  $2^\circ$ .

Table 1: Results (*RMSE*) in degree.

Method / sequence	I	II	III
Vision	2.24	2.78	2.26
IMU – Kalman filter	2.01	2.23	2.04

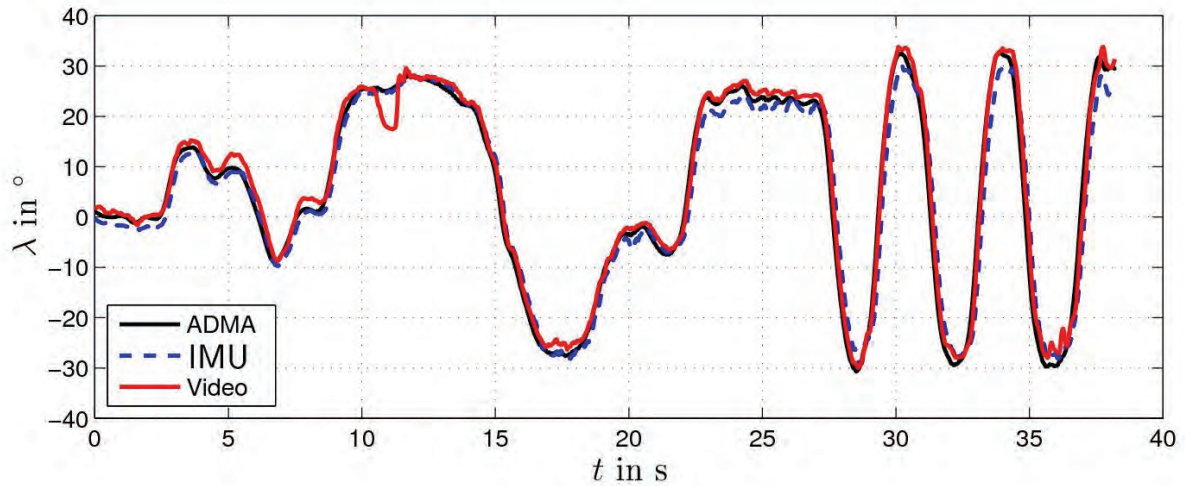


Figure 8: Reference values (ADMA) and estimates of the roll angle for the IMU-based Kalman filter method (IMU) and the video-based method (Video)

## 5.2 Public Road

For evaluation of the test rides on public roads, the roads on the mentioned route are divided in three categories. These are described below:

- Category 1: Urban, build-up areas
- Category 2: Multi-lane highways (Autobahn, Bundesstraße)
- Category 3: Single-lane rural roads, often without markings, much vegetation

For each of the categories, the *RMSE* is calculated. Table 2 shows the results for both approaches. For all categories, the IMU-based Kalman filter method shows a *RMSE* below  $2^\circ$ . The video-based method performs also very well in the categories 1 and 2. With an error around  $2^\circ$ , the results from the proving ground were confirmed in real traffic. Category 3 (rural roads) remains challenging as it does not feature histograms with clear peaks, which makes the matching process difficult in the majority of cases.

Table 2: Results (*RMSE*) in degree.

Method / category	1	2	3
Vision	1.94	2.29	7.00
IMU – Kalman filter	1.31	1.32	1.90

## 6 Conclusion

For the development of different ARAS, roll angle estimation plays an important role. This study presented the evaluation of two approaches, one based on vehicle dynamics and another one based on video only. For an unbiased comparison, maneuvers covering all relevant vehicle dynamics were driven on a proving ground. In the context of everyday's traffic environments, test rides on public roads were conducted.

With regard to the reference, the IMU-based Kalman filter method and the video-based method show a high accuracy of about  $2^\circ$  error on the proving ground. On public roads, the IMU-based approach performs even better, with errors below  $2^\circ$ . For the video-based approach, the results of the proving ground are confirmed in urban areas and on the highway. Due to the disadvantageous visual features, e.g. no lane markings, much vegetation and a missing horizon, the vision approach performed poorly in rural areas. This leaves room for further research, e.g. a fusion of the two presented methods or the incorporation of additional visual information, like the course of the road ahead.

## References

- [1] A. Weidele, "Untersuchungen zum Bremsverhalten von Motorrädern unter besonderer Berücksichtigung der ABS-geregelten Kurvenbremsung", in *Fortschritt-Berichte VDI*, vol. 12, no. 210, 1994.
- [2] P. Seiniger, H. Winner, K. Schröter, F. Kolb, A. Eckert, and O. Hoffmann, "Development of a roll angle sensor technology for future brake systems", in *Proceedings of the International Motorcycle Conference*, 2006, pp. 369-388.
- [3] A. Rehm, "Estimation of vehicle roll angle", *International Symposium on Communications, Control and Signal Processing*, pp. 1-4, 2010.
- [4] J. Ryu and J. C. Gerdes, "Estimation of vehicle roll and road bank angle", in *Proceedings of the American Control Conference*, vol. 3, 2004, pp. 2110-2115.
- [5] I. Boniolo, M. Norgia, M. Tanelli, C. Svelto, and S. Savaresi, "Performance analysis of an optical distance sensor for roll angle estimation in sport motorcycles", in *Proceedings of the IFAC World Congress*, 2008, pp. 135-140.
- [6] L. Gasbarro, A. Beghi, R. Frezza, F. Nori, and C. Spagnol, "Motorcycle trajectory reconstruction by integration of vision and mems accelerometers", in *Proceedings of the Conference on Decision and Control*, 2004, pp. 779-783.
- [7] F. Nori and R. Frezza, "Accurate reconstruction of the path followed by a motorcycle from the on-board camera images", in *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2003, pp. 259-264.
- [8] R. Labayrade and D. Aubert, "A single framework for vehicle roll, pitch, yaw estimation and obstacles detection by stereovision", in *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2003, pp. 31-36.
- [9] M. Schlipfing, J. Salmen, B. Lattke, K. Schröter, and H. Winner, "Roll angle estimation for motorcycles: Comparing video and inertial sensor approaches", in *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2012.
- [10] M. Schlipfing, J. Schepanek, and J. Salmen, "Video-based roll angle estimation for two-wheeled vehicles", in *Proceedings of the IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2011, pp. 876-881.
- [11] Y. Bar-Shalom, X.-R. Li, and T. Kirubarajan, *Estimation with Applications to Tracking and Navigation*. John Wiley & Sons, New York, 2001.



- [12] A. K. Jain, R. P. W. Duin, and J. Mao, „Statistical pattern recognition: A review“, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 22, no. 1, pp. 4-37, 2000.
- [13] J. Präckel, *Die Motorradbremsung im System Mensch / Maschine / Umgebung*, 1999, vol. 12, no. 384.

**A New Inertial Sensor Unit for Dynamic  
Stabilizing Systems of Powered Two Wheelers**

**Ein neuer Inertialsensor für stabilisierende  
Fahrerassistenzsysteme an motorisierten Zweirädern**

R. Willig, Bosch Engineering GmbH,  
Sensor Systems

M. Lemejda, Robert Bosch GmbH,  
Corporate Sector Research and Advance Development

## Abstract

Today's active driving-safety systems are based on the development of ABS technology. In 1978 Bosch was the first company in the world to introduce the Antilock Braking System (ABS) with electronic control to the market. The Traction Control System (TCS) based on ABS technology was launched onto the market in 1986. In 1995 Bosch launched the Electronic Stability Program<sup>®</sup> (ESP<sup>®</sup>) onto the market which makes a significant contribution towards road safety.

Today active driving-safety systems, such as ABS and TCS, take their way also into Powered Two Wheelers. These system functions require essential information about the complete dynamical behavior of the motorcycle, e.g. inertial six degrees of freedom (6 DoF) measurement. The dynamical driving behavior of a motorbike is more complex and has higher dynamics than a passenger car. To fulfill these demands a new Inertial Sensor Unit was developed.

The Inertial Sensor Unit, called SU-MM5.10, measures five inertial signals, two angular velocities and three linear accelerations. A new algorithm calculates the lean and pitch angle internally with high signal dynamic. In addition six degree of freedom values are provided in the coordinate system of the motorcycle. All nine signals are available with a high refresh rate via CAN.

Design, basic functions, and measuring results of the new Inertial Sensor Unit SU-MM5.10 are presented.

Lean and pitch angle as well as 6 DoF signals of the motorcycle will enable future system functions like cornering traction control, cornering ABS, wheelie and launch control, brake force distribution, cornering light, active suspension control, hill hold control, intelligent downfall detection with eCall and anti-theft protection.

**A New Inertial Sensor Unit for Dynamic  
Stabilizing Systems of Powered Two Wheelers**

# 1 Introduction

In 1995, Bosch started mass production of ESP<sup>®</sup> (Electronic Stability Program). The anti-skid system ESP<sup>®</sup> is known as a safety system for cars which controls the dynamic vehicle motion in emergency situations by controlled braking of individual wheels to control the vehicle motion, such that it approaches the direction intended by the driver. It uses signals to discern drivers' intention, such as steering wheel angle, brake pressure and engine torque, and signals to derive the actual motion of the vehicle, which is e.g. angular velocity of the car around its vertical axis and lateral acceleration.

Today such active driving-safety systems, like ABS and TCS, have also found their way into Powered Two Wheelers. Those system functions require essential information about the complete dynamical behavior of the motorcycle. Dynamics of the motorcycle are very different than car dynamics, are more complicated to be modeled and controlled in real-time, and have higher dynamics than passenger cars.

These requirements include increased robustness, high reliability and increased tolerance against external interference (vibrations and EMI).

Currently in mass production, the sensorbox DRS-MM3.10 from Bosch is used in several motorcycle applications. The sensorbox measures four inertial signals, two angular velocities and two linear accelerations and provides these signals via CAN. To detect the dynamic behavior of the motorcycle, the inertial roll (lean) and pitch angle are of capital importance for future system functions. Furthermore, the size ratio of the location in motorcycles is very limited. To fulfill these demands a new Inertial Sensor Unit was developed.

## 2 Function and Design of Inertial Sensor Modules

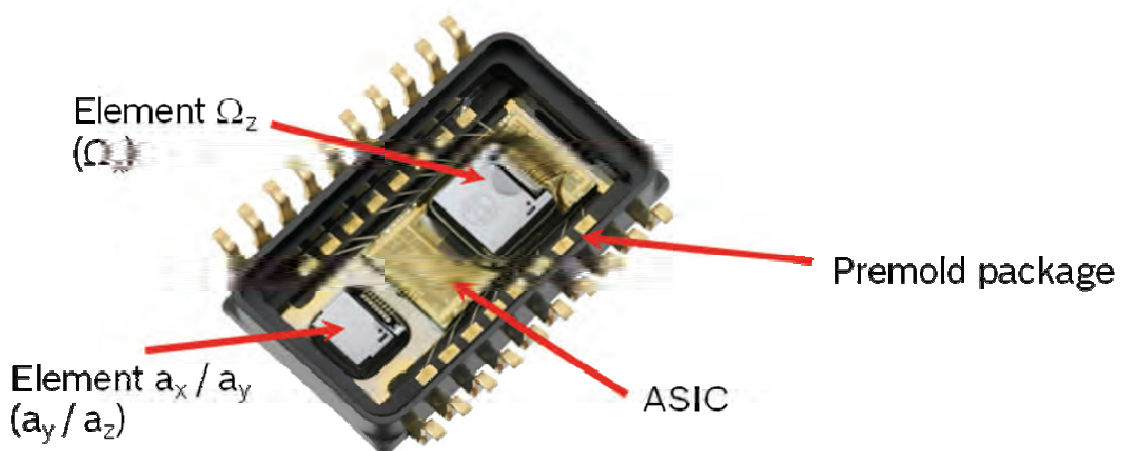
The sensor module consists of two micromechanical measuring elements, one electronic readout circuit (ASIC) and a plastic surface mount package (premold) as shown in Figure 2.1.

The micromechanical angular velocity measuring element belongs to the well known Coriolis Vibratory Gyroscopes (CVG, [1]-[15]). It is designed in an inverse tuning fork configuration with two linear in-plane orthogonal or one in-plane and one out-of-plane orthogonal oscillation modes, a drive mode and a detection mode [12]. The oscillation, as well as the sensing of the motion of the drive mode, is provided by electrostatic forces with comb drive electrodes. The measurement of the Coriolis acceleration in the detection mode is realized capacitively via electrodes. The measuring element is designed as two spring-mass structures, mechanically coupled via the coupling spring, with one natural resonant frequency for both oscillating modes [7 ]-[10], [12]-[15].

To reduce sensitivity to external mechanical interferences and overloads, the design of the micro-machined structures features a high natural resonant frequency of typically 15 kHz to be out of the range of the power spectrum in the motorcycle.

Similar to the angular velocity sensor element, the linear acceleration sensor element consists of a two- channel micromechanical measuring element.

The deflection of the spring-mass structure in the sensitive axis due to external acceleration forces is detected with a differential capacitive comb structure. The spring-mass structure covers a high mechanical g-range; together with the electronic readout circuit achieves a variable low g measurement range from 2 g to 5 g with low noise and high accuracy.



*Fig. 2.1: Sensor module SMI 500 (SMI 510): Photo of uncovered premold package with lead frame, micromechanical elements and ASIC*

The ASIC and the two micromechanical measuring elements are glued into the premolded plastic surface package with an adhesive that minimizes mechanical stress coupling to the micromachined elements. They are connected by chip-to-chip bond wires; the ASIC is bonded to the lead-frame. Finally the sensor modules, called SMI 500 and 510, are covered with a metal lid in a hot stamping process.

To fulfill the various demands of signal accuracy and performance (resolution, signal noise, linearity, offset and sensitivity error and signal drift or bandwidth) a high Q-factor, a double resonant oscillation and a closed loop principle is used and implemented into the sensor's electronic readout circuit (ASIC). A force rebalance control loop including an electromechanical  $\Delta\Sigma$ -modulator (high sampling rate and quantization, noise shaping) electrostatically drives the Coriolis force to zero. An electrostatic stiffness tuning and quadrature control loop is also implemented. The closed control-loop with electromechanical  $\Delta\Sigma$ -modulation and the double resonant principle have advantages regarding the signal noise, signal drifts and resolution. [13],[14],[15]

For the micromechanical measuring elements of linear acceleration, two new spring-mass structures have been designed for a high mechanical g-range; together with the new electronic readout circuit (ASIC) a variable low g measuring range with low signal noise and high accuracy is possible. In this way, external high mechanical interferences cause no clipping of the mechanical structure or of the signal processing. This high dynamic range was the challenge of the signal processing. The ASIC contains the analog front-end with a fully differential charge-to-voltage conversion and a correlated double sampling (CDS) to achieve high DC stability. The fully digital signal processing includes a mechanical open loop and an electrical closed loop  $\Delta\Sigma$ -modulation, filtering, offset adjust with temperature compensation, output filter and finally a scale factor calibration.

The tolerance to external mechanical interference and overloads in the vehicle such as linear and angular vibrations is also a result of the described sensor principles. Signal output filtering is performed with a digital Chebyshev-IIR low-pass filter, type 2. No additional mechanical damping measure in the Sensor Unit is necessary to suppress the effects of external interferences of vibration due to the mounting location in the vehicle, engine speed and specific driving maneuvers.

### 3 Design of the Sensor Unit

The Inertial Sensor Unit, called SU-MM5.10, measures five inertial signals, two angular velocities and three linear accelerations, with the two sensor modules SMI 500 and 510, see Figure 3.1

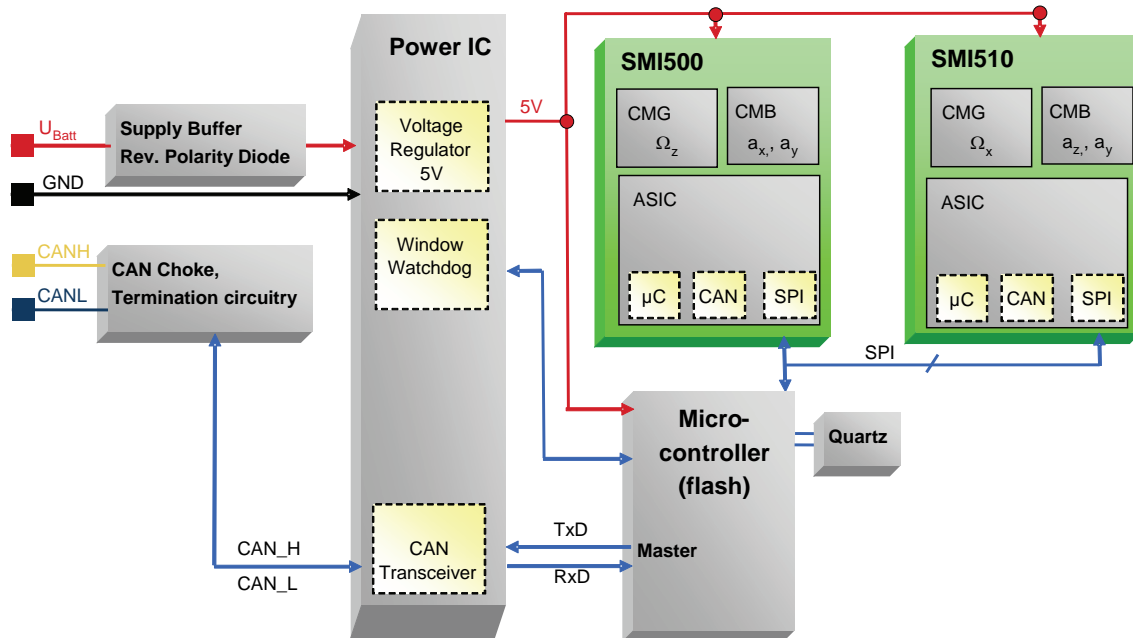


Fig. 3.1: Schematic circuit of SU-MM5.10

The internal supply voltage is 5 V. The internal data communication between two sensor modules and the microcontroller is done by a synchronous bidirectional serial data link (SPI). The microcontroller transforms the signals into one or more CAN messages together with necessary status information for communication with the system ECU.

A new algorithm calculates internally the lean and pitch angle with high signal dynamic. In addition six degree of freedom values are generated in the coordinate system of the motorcycle, see chapter 4 and figure 4.2. All nine signals are available with a high refresh rate via CAN adjustable from 5 ms to 20 ms according to dynamic system requirements.

Two packaged sensor modules, SMI 500 and 510 are mounted on a Printed Circuit Board (PCB) together with a microcontroller, power IC, quartz and passive components. The PCB is fixed in a plastic housing and sealed with a cover. A four-pin connector is used for the external power supply (14 V) and for data transfer via CAN, see figure 3.2.





*Fig. 3.2: SU-MM5.10, sensor coordinate system and inertial signals of the Sensor Unit*

The internal safety, plausibility and monitoring concepts of the Sensor Unit are based on a number of different levels. It uses various error counters and time bases to detect failures in the micromachined measuring elements, in the ASICs at interconnections (i.e. bonds and pins), at the SPI communication, in the microcontroller, in the voltage regulator and at the CAN interface. [15]

This design and safety concept was based on FMEA and FTA methods which are applied during the development process. The Sensor Unit was developed according to ISO 26262.

## 4 Calculation and Estimation of Lean and Pitch Angle and 6 DoF values

In order to realize a driving-dynamics control for motorcycles or to improve functions like ABS or traction control, information about the dynamic state of the vehicle is essential. In this context, often only the lean or roll angle is mentioned; but in comparison to passenger cars, the dynamics of a motorcycle is more extreme in many more aspects. Driving with a lifted front wheel while accelerating or a lifted rear wheel during braking is common. Therefore also the pitch angle is an important measurement for motorcycles to describe the dynamic position of the vehicle. Most of the methods in literature [16] - [19] need a roll and a yaw rate signal for an accurate determination of the lean angle  $\varphi$ . If additional high dynamic measurement of the pitch movement is required, for example to mitigate a roll-over during strong braking or to realize a wheelie control, a third angular velocity signal is necessary. The following method requires only two angular velocity signals for a common estimation of the lean  $\varphi$  and the pitch angle  $\vartheta$  with high dynamic and accuracy. With this, the costs are reduced and a small size of the Sensor Unit is realized.

For applying the described method, the Sensor Unit is mounted with a pitch angle  $\beta = -45^\circ$  so that the first angular velocity signal registers parts of the roll and yaw movement at the same time whereas the second sensor is orientated along the pitch axis of the motorcycle, as shown in Figure 4.1.

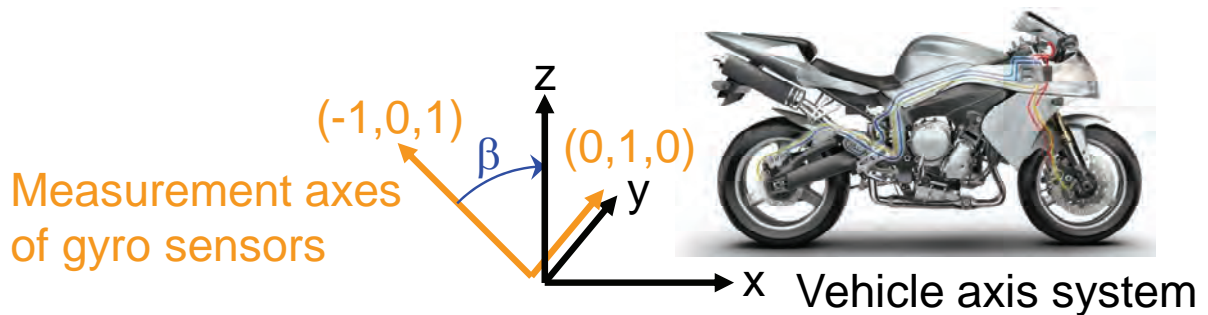


Figure 4.1: Necessary mounting position of the Sensor Unit. The first angular velocity sensor is mounted with a pitch angle of  $\beta = -45^\circ$  and the second is aligned parallel to the y-axis.

Because of the special mounting orientation of the Sensor Unit, the angular velocity of the first sensor  $\omega_1^S$  is a combination of the roll rate  $\omega_x$  and the yaw rate  $\omega_z$  in vehicle axis system:

$$\omega_1^S = \omega_z \cos \beta + \omega_x \sin \beta \quad 4.1$$

The goal is to separate the roll rate  $\omega_x$  from the sensor signal  $\omega_1^S$  and to estimate the lean angle of the vehicle. For this a model based yaw rate  $\omega_z$  is used (for physical model, see equation 4.12-2):

$$\omega_z = \frac{a_y - g \sin \varphi \cos \vartheta}{v_x} \quad 4.2$$

The lateral acceleration  $a_y$  is measured directly with the Sensor Unit. The longitudinal velocity  $v_x$  is calculated from the wheel speeds received via the CAN bus, while considering the dependence of the lean angle on the effective wheel radius. Lean angle  $\varphi$  and pitch angle  $\vartheta$  are taken from the last calculation cycle;  $g$  is the gravity of Earth. This model based yaw rate is now placed in equation 4.1 to calculate the roll rate:

$$\omega_x = \frac{g \sin \varphi \cos \vartheta - a_y}{v_x} \cdot \frac{\cos \beta}{\sin \beta} + \frac{\omega_1^S}{\sin \beta} \quad 4.3$$

By integrating the roll and yaw rate as well as the directly measured pitch rate  $\omega_y = \omega_2^S$  at last the lean angle  $\varphi$  results in [18]:

$$\varphi = \varphi_0 + \int (\omega_x + (\omega_y \sin \varphi + \omega_z \cos \varphi) \tan \vartheta) dt \quad 4.4$$

The lean angle  $\varphi$  is used again in equation 4.3 to calculate the roll rate  $\omega_x$  that is integrated to the lean angle in the next calculation step. Provided that a too low lean angle value causes a higher roll rate, the resulting lean angle  $\varphi$  is long time stable even if there are disturbances in the measured signal. In order to fulfill this condition the term  $\cos \beta / \sin \beta$  in equation 4.3 must be negative. Therefore the mounting orientation  $\beta$  must be in a suitable quadrant so that:

$$\frac{\cos \beta}{\sin \beta} < 0 \Rightarrow \beta \in ]-90^\circ, 0^\circ[ \cup ]90^\circ, 180^\circ[ \quad 4.5$$

Also the lean angle approaches asymptotically the actual lean angle, independent of the start value  $\varphi_0$ . Preferably, the mounting pitch angle should be near to  $\beta = -\pi/4$  in order to ensure a good proportion of pitch rate and yaw rate in the sensor signal  $\omega_1^S$ .

In addition to the pitch rate  $\omega_y$  also the yaw rate  $\omega_z$  has to be considered to determine the change of the pitch angle over time  $d\mathcal{G}/dt$ :

$$\dot{\mathcal{G}} = \omega_y \cos \varphi - \omega_z \sin \varphi \quad 4.6$$

Now the pitch angle can be estimated by integration:

$$\mathcal{G} = \mathcal{G}_0 + \int \dot{\mathcal{G}} dt \quad 4.7$$

Alternatively the pitch angle can also be determined from the measured longitudinal acceleration  $a_x$  and the change of velocity of the vehicle  $dv_x/dt$  (see 4.12-1):

$$\mathcal{G}_{kin} = \arcsin \frac{\dot{v}_x - a_x}{g} \quad 4.8$$

Indeed, this pitch angle  $\mathcal{G}_{kin}$  is noisier e.g. due to vibrations of the engine, but stable over long periods. Because of the tilted mounting position of the Sensor Unit, the longitudinal acceleration  $a_x$  first must be calculated from the sensor raw signals  $a_x^S$  and  $a_z^S$  by a rotation into vehicle axis system:

$$a_x = a_x^S \cos \beta + a_z^S \sin \beta \quad 4.9$$

To eliminate the start value  $\mathcal{G}_0$  in equation 4.7 and to reduce errors due to deviations in the integrated pitch rate, the pitch angle  $\mathcal{G}$  is estimated by integrating  $d\mathcal{G}/dt$  and the difference between the target angle  $\mathcal{G}_{kin}$  and the angle  $\mathcal{G}$  from the previous cycle:

$$\mathcal{G} = \int [\dot{\mathcal{G}} + L(\mathcal{G}_{kin} - \mathcal{G})] dt \quad 4.10$$

The value  $L$  of this simple Kalman-filter construct [18] has the meaning of a PT1-filter frequency.

Aside from the calculation of vehicle's lean and pitch angle, the monitoring of the result and the input signals is at least as important as the result itself. Especially for systems that demand higher safety requirements, an independent method is needed to be able to prove the input signals for valid values according to a physical model.

Therefore the following kinematic equation of an accelerated body in the earth's gravity field is used:

$$\vec{a} = \vec{\omega} \times \vec{v} + \dot{\vec{v}} + \vec{g} \quad 4.11$$

The sum of the inertial accelerations ( $a_x, a_y, a_z$ ) in each direction, which could be measured with the inertial acceleration sensors of the Sensor Unit, consists of the centripetal accelerations of a rotated body, the change of vehicle's velocity and the gravity field of the earth. In a stable driving motorcycle, there are only very small lateral or vertical velocities at the wheel road contact point of the rear wheel. With this simplification, equation 4.11 reduces to the following physical model for the accelerations along the vehicle axes:

$$a_x = dv_x/dt - g \sin \vartheta \quad 4.12-1$$

$$a_y = \omega_z v_x + g \sin \varphi \cos \vartheta \quad 4.12-2$$

$$a_z = \omega_y v_x + g \cos \varphi \cos \vartheta \quad 4.12-3$$

The plausibility check is based on verifying that all input signals and the estimated vehicle attitude angles are consistent among each other. Therefore all three equations of 4.12 must be valid at the same time.

As an example, some use cases of this monitoring concept:

1. In standstill the measured acceleration vector must fit in length and direction with the gravitation vector  $g$ . A wrong angular velocity signal has no direct influence in the equations 4.12 with  $v_x = 0$ , but it would change the estimated angles. With this, the equations are not fulfilled any more.
2. During driving, the 2<sup>nd</sup> equation of 4.12-2 is always valid, because it is identical to equation 4.2 that is used to calculate the yaw rate. But a failure in any quantity of this equation would also lead to incorrect yaw and roll rates that would cause wrong lean and pitch angles after the integration step. In this case, all three equations are not valid at the same time.

The concept is not able to detect which individual signal is invalid, but it is suitable to detect a general implausibility. In such cases the signal status is set to invalid. Each further system function can decide on its own whether the angles are then still suitable for the different use cases.

The usage of a physical pitch rate sensor plays an important role in the safety concept, because it is needed in equation 4.12-3. Additionally the roll and the yaw rates are bound with equation 4.6. In case of driving on plain surface both turn rates must behave according to:

$$\omega_y \cos \varphi - \omega_z \sin \varphi = 0 \tag{4.13}$$

Using this equation, the reliability of the sensors signals can also be checked directly.

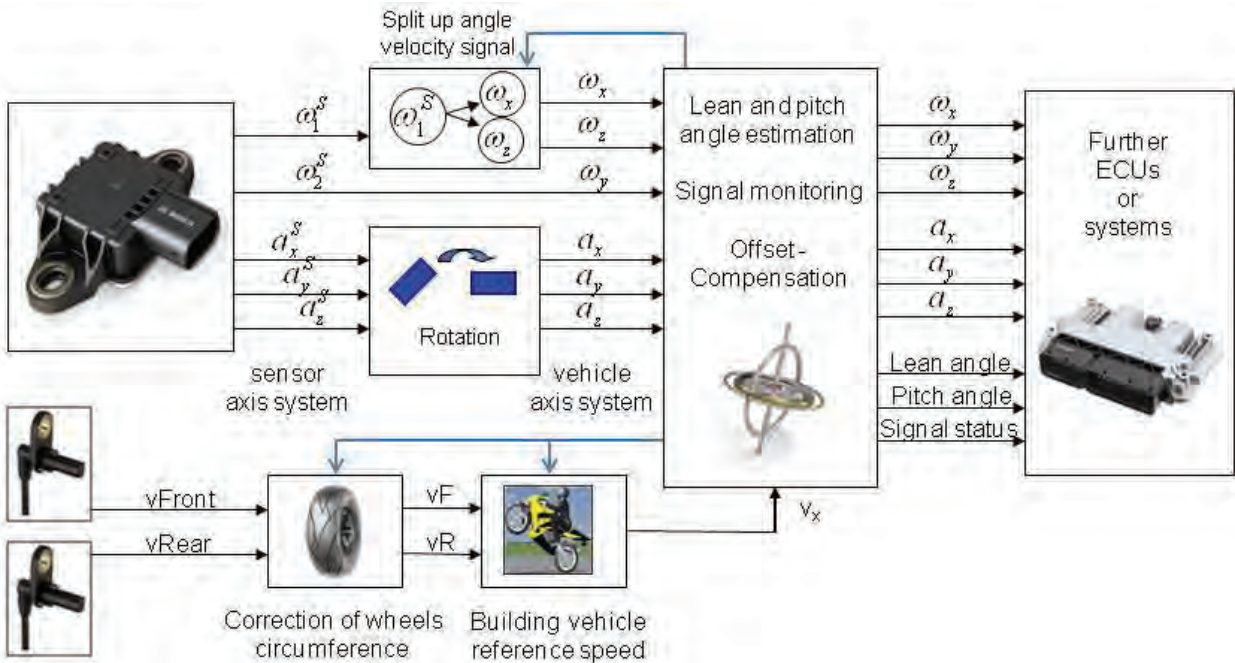


Figure 4.2: Schematic diagram of the main modules.

The schematic diagram of calculating the 6 DoF values in vehicle axis system and for estimating the lean and pitch angle is shown in figure 4.2. All of these modules can be calculated with the microcontroller inside the Sensor Unit.

The raw acceleration values from the sensor modules inside the Sensor Unit are transformed from the sensor axis system to the vehicle axis system by a rotation matrix. The method of splitting the roll and yaw rate is described above. The pitch rate is directly measured by an angular velocity signal. As result, all 6 inertial signals are available in the coordinate system of the motorcycle. For the angle esti-

mation, the longitudinal vehicle speed is also decisive. Therefore, the velocities of both wheels  $v_{Front}$  and  $v_{Rear}$  are needed as input signal from CAN.

First, the dependency of the lean angle on the effective radius of the wheels is considered. In the second step a single speed is extracted from the two wheel speeds. Therefore, the wheel velocities are weighted according to the actual driving situation. Apart from the angle estimation and signal monitoring 'long term compensation' is done to compensate permanent offsets in the sensor signals. This is used to eliminate possible offsets due to tolerances in the manufacturing process, deviations in the mounting position, temperature drift, or aging effects during the lifetime of several years can be eliminated.

In summary, the described method is able to estimate the lean and pitch angle of a motorcycle by using two angular velocity signals together with acceleration sensors and the longitudinal vehicle speed, with high signal dynamic in combination with a good accuracy. In addition, a monitoring concept is introduced to supervise the consistency of the input signals with dependence on the estimated results by using a physical model. With this independent monitoring concept, the calculated values fulfill the safety requirements.

# 5 Measurement Results

Processing of measurement data from many different driving maneuvers, e.g. public roads (highway, country roads), dynamic track, winding roads, uphill grade track, results show a standard deviation of  $\pm 1,5^\circ$  for both angles in respect to a reference measuring unit, see figure 5.1 and 5.2

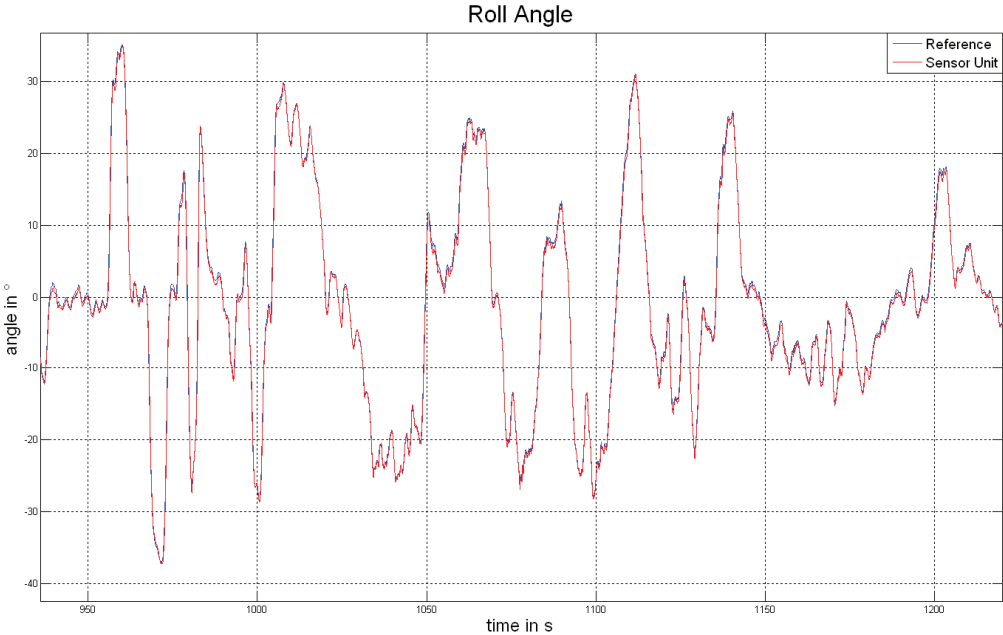


Figure 5.1: Measurement data of lean angle compared to a reference measurement unit (iTraceRT-F400)

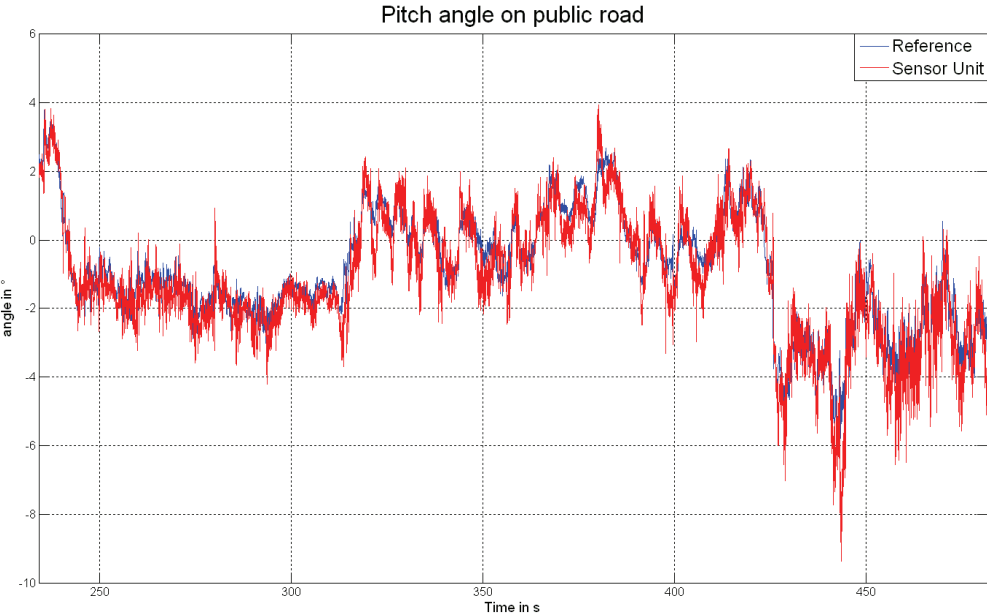


Figure 5.2: Measurement data of pitch angle compared to a reference measurement unit



## 6 Mounting Location, Position and Installation Site

Compared to cars the mounting location of the Sensor Unit in the motorcycle is different and more difficult because of occurrent vibrations and the available space. The size of the Sensor Unit has to be as small as possible and robustness against vibrations must be high as possible. The mounting location has to be found and assessed by measurements on the dynamometer and with specific driving tests. The mounting location of the Sensor Unit SU-MM5.10 is to be chosen such that only vehicle-dynamic related motions occur at the location. Due to the sensor measuring principle, which is based on accelerations, secondary, disruptive accelerations with high amplitudes and in a critical frequency range which are not due to vehicle dynamic motions have to be limited at the mounting location.

In terms of endurance and resistance over its lifetime, an acceleration spectral density and a sine wave is suitable to verify the capability of the device to withstand vibrations which might occur in the vehicle. Vibrations due to the engine over the speed range have to be investigated and a specific vibration loading has to be calculated.

In terms of function, a general acceleration spectral density or other specification that covers all aspects cannot be defined. This is because an enveloping spectrum would lead to requirements that are very hard to fulfill. In reality, the accelerations that occur in a vehicle are not constant, but vary with time, frequency, temperature and magnitude.

It is strongly recommended to verify the sensor performance in vehicle tests, under extreme driving and temperature conditions, e.g. gear shifting, complete engine speed range, off road condition, winding roads, etc.

## 7 Future Trends

Lean and pitch angle, as well as 6 DoF signals of the motorcycle will enable future active dynamic stabilizing and passive system functions like, cornering ABS, wheelie and launch control, brake force distribution, cornering light, active suspension control, hill hold control, intelligent downfall detection with eCall and anti-theft protection. These new system functions will assist the driver in safe and stable driving, reduce the accident impacts and increase the crashworthiness. In addition, the new inertial Sensor Unit will be part of overall vehicle connectivity.

## 8 Summary

Function and design of a new Inertial Sensor Unit SU-MM5.10 and its sensor modules are presented. A new algorithm is described to calculate and estimate lean and pitch angle and 6 DoF values in addition with a monitoring concept. Examples of measurement results are shown. Essential issues and recommendations regarding mounting location and position of the Sensor Unit in the motorcycle are given. Future system functions which require this from the Sensor Unit are mentioned.

## 9 Acknowledgements

The authors would like to thank all their colleagues at Automotive Equipment, Division Automotive Electronics and Division Chassis Systems for the design, development and testing of the complete sensor system, the design and layout of the sensor measuring elements and sensor readout electronic modules, and for the mechanical construction as well as for the support of the design and implementation of hard- and software.

## References

- [1] K. Funk, A. Schilp, M. Offenber, „Surface-micromachining of Resonant Silicon Structures“, *Transducers `95*, 519-News, page 50.
- [2] M. Offenber, H. Münzel, D. Schubert, “Acceleration Sensor in Surface Micromachining for Airbag Applications with High Signal/Noise Ratio, SAE Technical Paper, 960758.
- [3] A. Reppich, R. Willig, “Yaw Rate Sensor for Vehicle Dynamics Control Systems”, SAE Technical Paper 950537 (1995)
- [4] M. Lutz, W. Golderer, J. Gerstenmeier, J. Marek, B. Maihöfer, D. Schubert, “A Precision Yaw Rate Sensor in Silicon Micromachining“, SAE Technical Paper 980267 (1998).
- [5] A.W. Leissa, *Vibration of shells*, NASA SP-288 (1973)
- [6] G.B. Warburton, *Vibration of thin cylindrical shells*, *Journal Mechanical Engineering Science*, Vol 7 No 4 (1965).
- [7] C.H.J. Fox and D.J.W. Hardie, *Harmonic response of rotating cylindrical shells*, *Journal of Sound and Vibration*, 101 (4) (1985)
- [8] J.S. Burdess: *The dynamics of a thin piezoelectric cylinder gyroscope*, *Proc. I. Mech. E.*, Vol. 200 No c4 (1986)
- [9] P.W. Loveday, “Analysis and Compensation of Imperfection Effects in Piezoelectric Vibratory Gyroscopes“, *Diss. Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia*, 1999.
- [10] J.A. Geen, “A Path to Low Cost Gyroscopy“, *Solid-State Sensor and Actuator Workshop*, June 8-11, 1998
- [11] D. Sparks et al., “Multi-sensor modules with data bus communication capability”, SAE paper 1999-01-1277, 1999.
- [12] R. Willig and M. Moerbe, “New Generation of Sensor Cluster for ESP- and Future Vehicle Stabilizing Systems in Automotive Applications”, *AMAA* 2003.
- [13] U. Gomez et al. “New surface micromachined angular rate sensor for vehicle stabilizing systems in automotive applications”, *TRANSDUCERS 2005*, vol. 1, pp. 184-187.
- [14] R. Neul et al. “Micromachined angular rate sensor for automotive applications”, *IEEE Sensors J.*, Feb. 2007, vol 7, pp. 302-309

- [15] J. Schier and R. Willig, "New Inertial Sensor Cluster for Vehicle Dynamic Systems", AMAA 2005
- [16] Patrik Seiniger et al. „Verfahren und Vorrichtung zur Bestimmung des Rollwinkels eines Kraftrades“, Offenlegungsschrift DE102006061483A1, 2007
- [17] M.Tanelli et al. ‚Active braking control of two-wheeled vehicles on curves’, Int. Journal of Vehicle Autonomous Systems; 7(2009)3-4, S.243-269
- [18] S. Hillenbrand et al. „System zur Überwachung und Schätzung fahrdynamischer Signale“, VDI-Berichte Nr. 1931, 2006, S.239-248
- [19] I. Boniolo et al., "Estimate of the lean angle of motorcycles", VDM Verlag Dr. Müller AG & Co KG, 2010

## **Keywords**

Inertial Sensor Unit, 6 DoF, angular velocity, linear acceleration, dynamics, lean and pitch angle, cornering ABS and TCS, wheelie control, active suspension control, intelligent downfall detection with eCall

**Survey of the actual state of the initial rider training  
for motorcycle riders in Germany**

**Deutschlandweite Studie zur Überprüfung  
des Ist-Zustandes in der Fahrschul Ausbildung der Klasse A**

Dr.-Ing. Achim Kuschefski

Dipl.-Päd. Matthias Haasper

André Vallese B.A.

Institut für Zweiradsicherheit e.V. (ifz), Essen  
Institute for Motorcycle Safety (ifz), Essen

Kontakt / Contact:

info@ifz.de  
www.ifz.de



## Abstract

The initial rider training (driving school) is the basis for the entry to the traffic for most of the motorcycle riders. High requirements and profound quality of the education are a guarantor for safe riding not at all, but it is of vital importance. Only the motorcycle rider who has learnt the characteristics of a powered two wheeler within his theory and practical lessons will be able to handle its risks.

Against this background, the ifz started an online survey across Germany to receive information regarding the aspects of theory and practical lessons in driving school. The ifz received the answers of 1,502 motorcycle riders.

The results represent a wide range regarding the high quality of lessons offered in driving schools. Meaningful criteria for the evaluation of the quality of the educational level are the implementation of theory and practical lessons in form and content, the degree of equipment of the driving school, the knowledge and abilities of the graduates and their satisfaction regarding the driving school.

## Kurzfassung

Die Fahrschulausbildung bildet die Grundlage für den Einstieg in den Straßenverkehr für nahezu jeden motorisierten Zweiradfahrer. Ein hoher Anspruch und tiefgreifende Qualität der Ausbildung sind hierbei keinesfalls ein Garant für höchste Sicherheit, dennoch ein entscheidender Wegweiser, um sicherer unterwegs zu sein. Denn nur wer in Theorie und Praxis auch gelernt hat, wo die Besonderheiten des motorisierten Zweirades liegen, welche Risiken damit verbunden sein können und wie damit umzugehen ist, wird im späteren Alltag entsprechend reagieren können.

Vor diesem Hintergrund hat das ifz eine deutschlandweite Befragung bei Führerscheinabsolventinnen und -absolventen der Klasse A durchgeführt. In der anonymen Online-Umfrage unter 1.502 Motorradfahrerinnen und -fahrern wurden verschiedene Aspekte hinsichtlich Ihrer Fahrschulausbildung abgefragt.

Die Ergebnisse zeigen, dass es noch immer eine große Bandbreite bezüglich einer qualitativ guten Fahrausbildung im Bereich der Fahrerlaubnisklasse A gibt. Insbesondere die formale und inhaltliche Umsetzung sowohl des theoretischen als auch praktischen Unterrichts, der Ausstattungsgrad der Fahrschule, das Wissen und Können der Absolventen sowie deren Zufriedenheit mit ihrer Fahrschule geben Aufschluss über die Qualität des Ausbildungsniveaus in Deutschland.

**Deutschlandweite Studie zur Überprüfung  
des Ist-Zustandes in der Fahrschulausbildung der Klasse A**



# Inhalt

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

- 1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung
- 1.2 Vorgehensweise
- 1.3 Die Teilnehmer

## **2. Theoretische Ausbildung**

Abgefragt wurde ...

- 2.1 Klassenspezifischer Unterricht der Klasse A
- 2.2 Erarbeitung von Lösungen im theoretischen Unterricht
- 2.3 Behandelte Themen im theoretischen Unterricht
- 2.4 Fahrlehrer-Informationen hinsichtlich des eigenen Verhaltens – Selbstreflexion
- 2.5 Mentales Training
- 2.6 Lehrbuchnutzung

## **3. Praktische Ausbildung**

Abgefragt wurde ...

- 3.1 Trockenübungen vor der ersten Fahrt
- 3.2 Erste Fahrstunde im Schonraum
- 3.3 Fahrlehrer begleitet mit dem Motorrad
- 3.4 Fahrlehrer hat fahrpraktische Übungen mit dem Motorrad demonstriert
- 3.5 Fahrlehrer hat Kurvenfahren bei Überlandfahrten mit dem Motorrad demonstriert

## **4. Theorietest: Wissen der Teilnehmer**

## **5. Zufriedenheit der Teilnehmer mit ihrer Motorradausbildung**

- 5.1 Theoretische Ausbildung
  - 5.1.1 Beurteilung der Kompetenz des Fahrlehrers im theoretischen Unterricht
  - 5.1.2 Zufriedenheit mit theoretischer Ausbildung
- 5.2 Praktische Ausbildung
  - 5.2.1 Beurteilung der Kompetenz des Fahrlehrers im praktischen Unterricht
  - 5.2.2 Zufriedenheit mit praktischer Ausbildung
  - 5.2.3 Sicherheitsgefühl bei erster Fahrt allein nach Prüfung
- 5.3 Wiederbesuch der Fahrschule aus heutiger Sicht
- 5.4 Verbesserungswunsch hinsichtlich der Zweiradausbildung

## **6. Ausstattung der Fahrschule**

- 6.1 Fahrzeug(e)
- 6.2 Sprech- / Funkverbindung
- 6.3 Helm und Bekleidung
- 6.4 Zusammenfassung Helm und Bekleidung
- 6.5 Aktuelle Rechtsprechung zur Motorradbekleidung in der Fahrschulausbildung

## **7. Zusammenfassung zentraler Ergebnisse und abgeleitete Forderungen**

- 7.1 Zur theoretischen Ausbildung der Klasse A
- 7.2 Zur praktischen Ausbildung der Klasse A
- 7.3 Ausstattung der Fahrschule
- 7.4 Übersicht einiger Kriterien hinsichtlich des Nicht-Erfüllungsgrades

## **8. Ausblick**

### **Anmerkung:**

Im Folgenden werden für die Begrifflichkeiten Fahrlehrer – Fahrlehrerin; Fahrschüler – Fahrschülerin; Teilnehmer – Teilnehmerin; Absolvent – Absolventin etc. einfachheitshalber die maskulinen Formen genutzt.

# 1 Informationen zur Studie und zum Kollektiv

## 1.1 Aufgabenstellung und Zielsetzung

Die Fahrschulausbildung bildet die Grundlage für den Einstieg in den Straßenverkehr für nahezu jeden motorisierten Zweiradfahrer. Ein hoher Anspruch und tiefgreifende Qualität der Ausbildung sind hierbei keinesfalls ein Garant für höchste Sicherheit, dennoch ein entscheidender Wegweiser, um gut vorbereitet unterwegs zu sein. Denn nur wer in Theorie und Praxis gelernt hat, wo die Besonderheiten des motorisierten Zweirades liegen, welche Risiken damit verbunden sein können und wie damit umzugehen ist, wird im späteren Alltag entsprechend reagieren können.

Eigene Beobachtungen des ifz und vermehrte Anfragen von Fahrschulabsolventen legen die Vermutung nahe, dass es nach wie vor eine große Bandbreite bezüglich einer qualitativ guten Fahrschulbildung im Bereich der Fahrerlaubnisklasse A<sup>1</sup> gibt. Gemeint sind hiermit die Motivation und das Engagement des Fahrlehrers, sein eigenes Wissen und Können sowie deren Umsetzung im theoretischen und praktischen Unterricht und der Ausstattungsgrad (Fahrzeug(e), Bekleidung, Helme etc.) der Fahrschule.

Vor diesem Hintergrund hat das ifz eine deutschlandweite Befragung bei Führerscheinabsolventen der Klasse A durchgeführt. Die Erkenntnisse sollen dazu dienen, den Status Quo der Motorradausbildung in Deutschland hinsichtlich ihrer Qualität aufzuzeigen und Schwachpunkte im Rahmen der Ausbildung angehender Motorradfahrer aufzudecken.

## 1.2 Vorgehensweise

*Beginn der Studie:* Januar 2011

*Dauer der Umfrage:* Mitte Juni bis Mitte September 2011 (3 Monate)

*Umfragemittel:* In einer anonymen Online-Befragung unter Motorradfahrerinnen und -fahrern wurden verschiedene Aspekte hinsichtlich ihrer Fahrschulbildung abgefragt.

Die Befragung wurde mittels eines Fragenkatalogs (45 Fragen) durchgeführt. Die Motorradfahrer hatten die Möglichkeit, an der Befragung über die Internetseite des ifz ([www.ifz.de](http://www.ifz.de)) teilzunehmen. Aufrufe dazu erfolgten sowohl über die Fach- als auch die Tagespresse. Der Fragebogen konnte direkt online ausgefüllt werden. Wahlweise bestand die Möglichkeit, den Fragebogen auszudrucken und beantwortet per Post oder Fax an das ifz zu senden.

---

<sup>1</sup> Krafträder über 50 cm<sup>3</sup> oder über 45 km/h, auch mit Beiwagen

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

### 1.3 Die Teilnehmer

An der Umfrage des ifz haben 1.502 Motorradfahrer teilgenommen. Ausgewertet wurden alle Antworten, die sich auf eine Fahrerlaubnis der Klasse A beziehen, die nach dem 1. Januar 1999 erworben wurde. Die Gründe für diese konkrete Eingrenzung werden im folgenden Teil noch eingehender erläutert. Unter Zugrundelegung dieses Stichdatums basiert die Studie auf einer Teilnehmerzahl von insgesamt 1.193 Personen.

#### Geschlechter:

Das Kollektiv dieser Studie (siehe Abb. 1) besteht zu 83,2 Prozent aus männlichen und 16,8 Prozent aus weiblichen Personen. Der geschlechtsspezifische Anteil entspricht damit etwa dem Anteil der weiblichen Halter am Gesamtbestand an Kraftfahrzeugen in Deutschland (13,8% am 1. Januar 2012).<sup>2</sup>

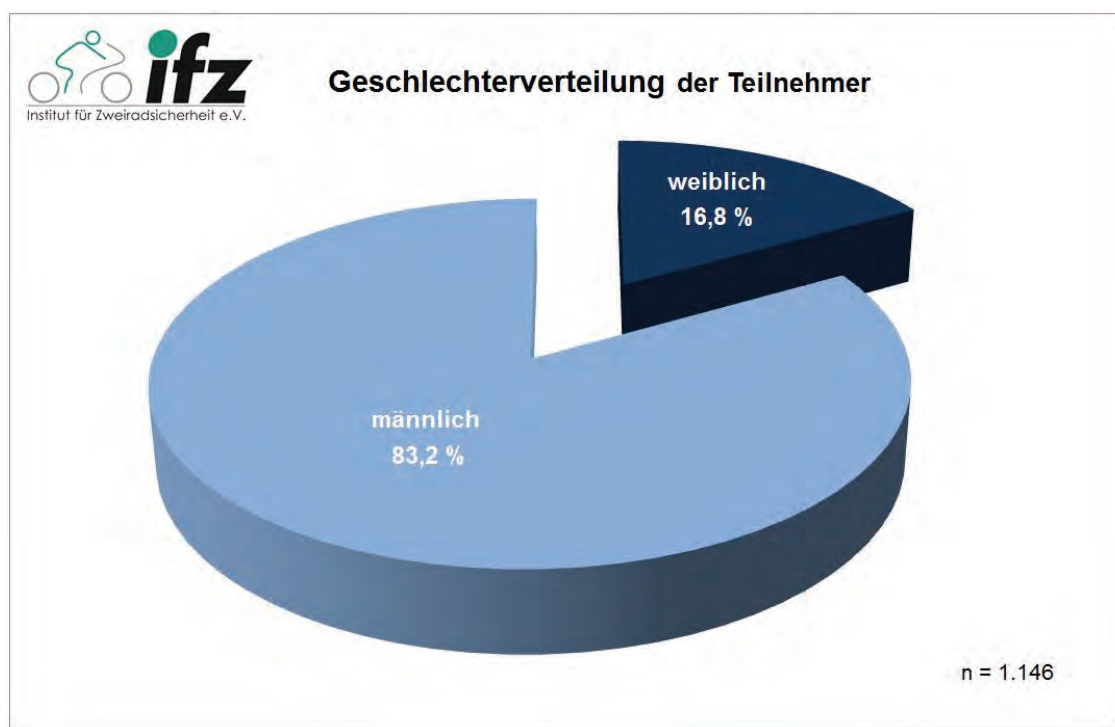


Abb. 1

<sup>2</sup> Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg

## Alter:

Die Spannweite des Alters der Teilnehmer beträgt 47 Jahre. Beginnend mit dem Einstiegsalter der Motorradklasse von 18 Jahren bis zu einem Alter von 65 Jahren. Die Altersklasse der 20- bis 29-Jährigen dominiert mit 40,6 Prozent (siehe Abb. 2). Einen weiteren Großteil stellen zu je fast gleichen Anteilen die 30- bis 39-Jährigen mit 20,3 Prozent sowie die 40- bis 49-Jährigen mit 21,1 Prozent. Die Altersklasse der über 50-Jährigen ist mit 9,5 Prozent vertreten. Junge Fahrer bis 20 Jahre sind nur mit 8,5 Prozent involviert.

Im Mittel beträgt das Alter der Befragten 32,8 Jahre (arithmetischer Mittelwert). Im Vergleich dazu liegt das Durchschnittsalter der Motorradhalter in Deutschland höher: im Jahr 2011 etwa bei 45 Jahren. Der Unterschied zwischen diesen beiden Mittelwerten begründet sich darin, dass sich hier aufgrund der Thematik (Führerscheinwerb) vermutlich eher jüngere Fahrer angesprochen fühlten.

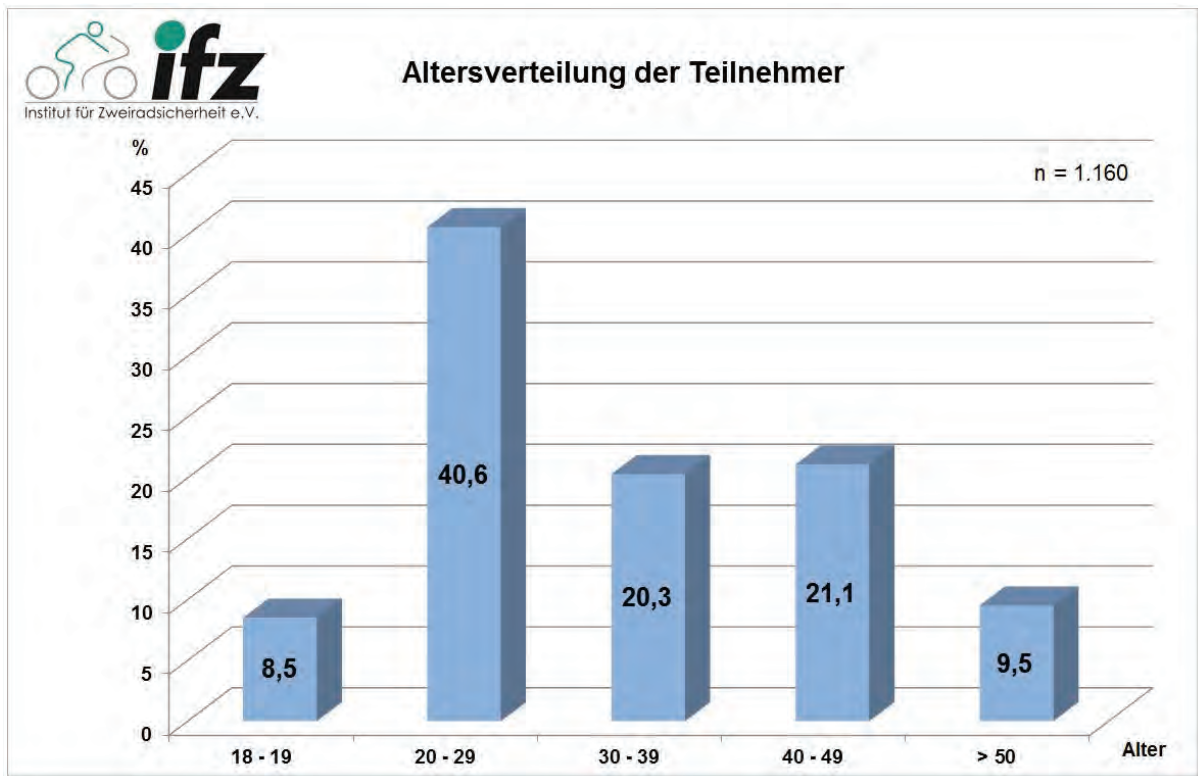


Abb. 2

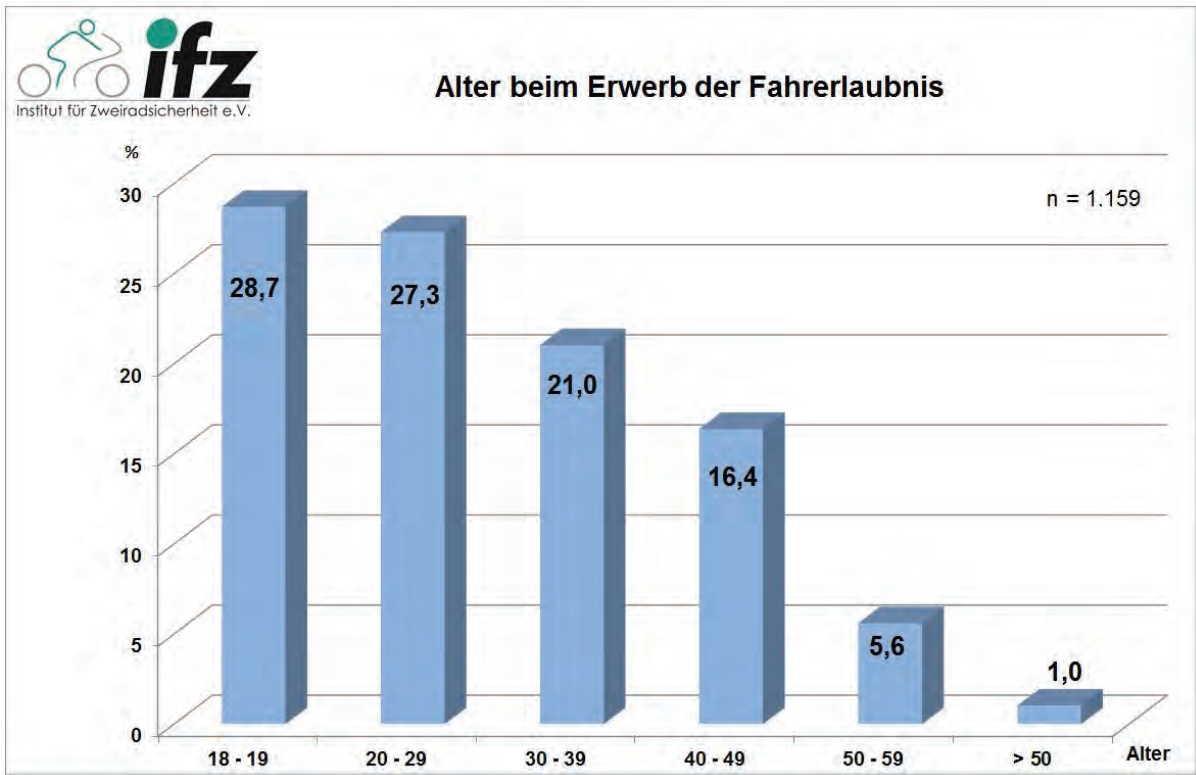


Abb. 3

Was das Alter beim Erwerb der Fahrerlaubnis angeht, so liegt die Gruppe der 18- bis 19-Jährigen mit 28,7 Prozent knapp vorne, ganz dicht gefolgt von der Altersklasse der 20- bis 29-Jährigen (siehe Abb. 3).

Mit 21 Prozent, also einem Fünftel der Befragten, schließt sich die Gruppe der 30- bis 39-Jährigen an. Ab dem 50. Lebensjahr aufwärts sind es deutlich weniger Befragte, die ihre Fahrerlaubnis in diesem Alter absolviert haben. Betrachtet man in diesem Zusammenhang die Daten der erteilten Fahrerlizenzen des Kraftfahrtbundesamtes<sup>3</sup> für die Fahrzeugklasse A deutschlandweit, so ergibt sich hinsichtlich der Altersverteilung eine ähnliche Verteilung.

#### Wohnsitz:

Die deutschlandweite Verteilung des Kollektivs orientiert sich weitestgehend am offiziellen Bestand amtlich zugelassener motorisierter Zweiräder (siehe Abb. 4).<sup>4</sup>

Dabei sind Nordrhein-Westfalen, Bayern und Baden-Württemberg als so genannte „Motorradhochburgen“ und bevölkerungsreichste Bundesländer herausragend.

<sup>3</sup> Quelle: Kraftfahrt-Bundesamt (KBA), Flensburg: Am Beispiel der Fahrerlaubnisstatistik 2010, da zum Zeitpunkt der Studie aktuellere Daten noch nicht vorlagen.

<sup>4</sup> Bestand amtlich zugelassener motorisierter Zweiräder, 1. Januar 2011, Kraftfahrtbundesamt (KBA), Flensburg

### Wohnsitz der Teilnehmer nach Bundesland

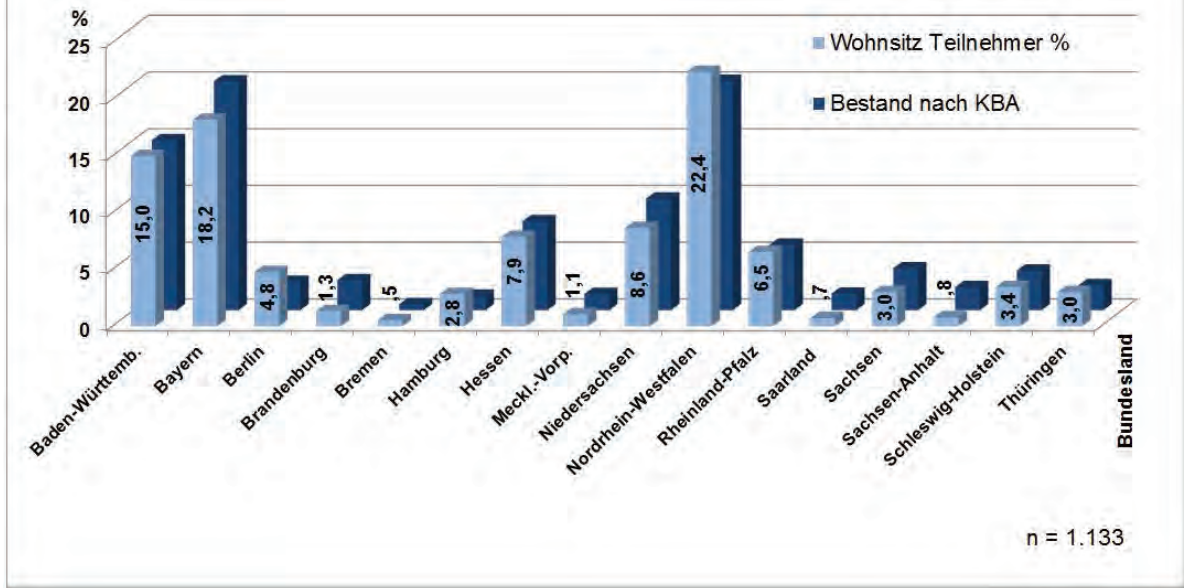


Abb. 4

#### Fahrerlaubnis:

Bei der Frage nach der Fahrerlaubnis, auf der die jeweiligen Antworten eines Teilnehmers beruhen, handelt es sich bei 43,5 Prozent um die Klasse „A-beschränkt“ sowie mit 56,5 Prozent um die Klasse „A-unbeschränkt“.

#### Fahrerlaubnisklassen: Klasse A (Krafträder) seit 01.01.1999:

**A beschränkt**  
(ab 18 Jahren möglich)                      Krafträder über 50 cm<sup>3</sup> oder über 45 km/h  
Während der ersten zwei Jahre: - bis 25 kW Leistung                      und  
- bis 0,16 kW Leistung je kg

**A unbeschränkt („offen“)**  
(ab 20 Jahren möglich, 2 Jahre  
Vorbesitz der Klasse „A beschränkt“  
notwendig)                      Krafträder über 50 cm<sup>3</sup> oder 45 km/h  
(Leistung und Leistungsgewicht nicht beschränkt)

Ab dem 25. Lebensjahr kann die Fahrerlaubnis der Klasse A ohne Beschränkung und ohne Vorerfahrung erworben werden (Direkteinstieg).

An dieser Stelle sei angemerkt, dass es zukünftig Änderungen im Fahrerlaubnisrecht geben wird. Ab dem 19.01.2013 sind die hier genannten Fahrerlaubnisklassen im Rahmen der Umsetzung der 3. Europäischen Führerscheinrichtlinie geringfügig abgeändert.

Die Spannweite der Erwerbsjahre der Fahrerlaubnis beträgt in diesem Kollektiv insgesamt 13 Jahre – von 1999 bis 2011. 58,9 Prozent der Teilnehmer haben ihre Motorradfahrerlaubnis innerhalb der letzten drei Jahre erworben. 41,1 Prozent sind es von 1999 bis einschließlich 2008 (siehe Abb. 5).

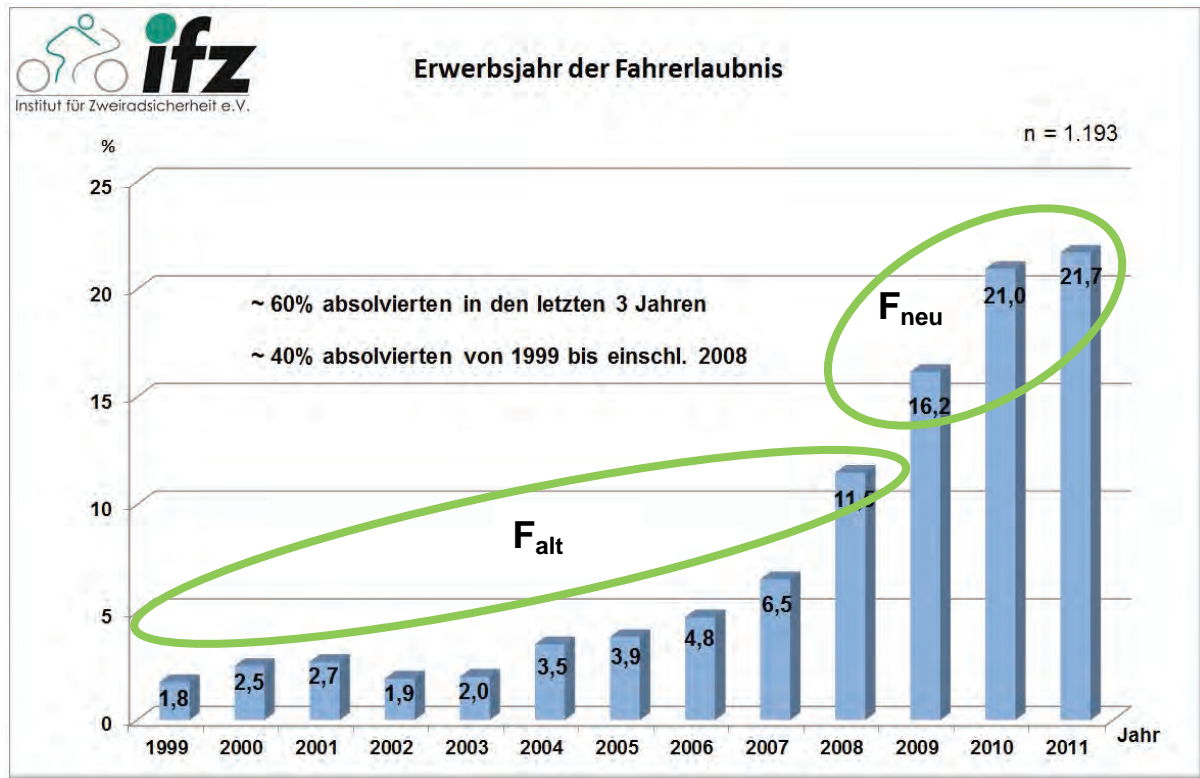


Abb. 5

Für Vergleichsbetrachtungen hinsichtlich der zeitlichen Entwicklungstendenzen in der Führerscheinausbildung wurden Gruppen verschiedener Abschlussjahrgänge gebildet.

Die Gesamtgruppe umfasst alle Fahrerinnen und Fahrer, die ihre Fahrerlaubnis ab 1999 erlangt haben. Die Zusammenlegung begründet sich darin, dass seit dem 1. Januar 1999 die derzeit (noch) gültige Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV) in Kraft getreten ist.

Innerhalb dieser Gruppe wurden zwei Vergleichsgruppen gebildet:

1. Gruppe **F<sub>alt</sub>** (im Folgenden **F<sub>alt</sub>** genannt):  
Führerscheinabsolventen der Jahre 1999 bis einschließlich 2008; n = 491
2. Gruppe **F<sub>neu</sub>** (im Folgenden **F<sub>neu</sub>** genannt):  
Führerscheinabsolventen der Jahre 2009 bis einschließlich September 2011, n = 702

In den folgenden Auswertungen werden somit häufiger Hinweise über relevante Auffälligkeiten hinsichtlich dieser beiden Jahrgangskategorien vorkommen. Dieser Vergleich dient u.a. dazu, Trends in



der Fahrschulausbildung zu erkennen oder aber auch eventuelle „Fehler aus dem Erinnerungsvermögen“ der Teilnehmergruppe  $F_{alt}$  aufzuspüren, da die Ausbildung dieser Teilnehmer schon mehrere Jahre zurückliegt.

#### Vorerfahrung:

Wichtig ist in Verbindung mit einigen Ergebnissen der Blick auf die praktischen Vorerfahrungen der Teilnehmer. Es geht hierbei konkret darum, ob vor dem Besuch der Fahrschule bereits ein Fahrzeug der Klein- oder Leichtkraftradklasse (Mofa, Moped, Mokick, Roller, Leichtkraftrad) gefahren wurde. Der Zugang zu diesen Fahrzeugkategorien ist ab dem 15. bzw. 16. Lebensjahr möglich.

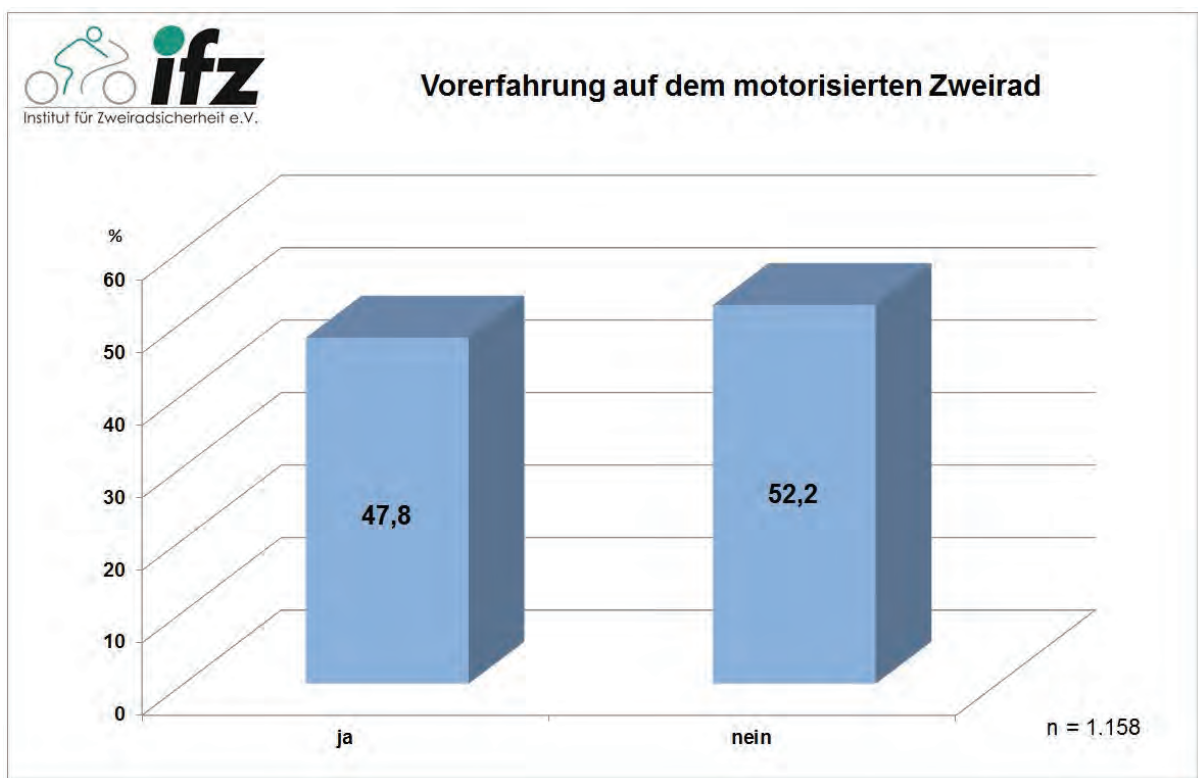


Abb. 6

Die Antwort auf die Frage, ob bereits vor dem Beginn der Motorradausbildung Vorerfahrung auf einem motorisierten Zweirad vorlag, beantworten insgesamt 47,8% aller Befragten mit „ja“ (siehe Abb. 6). Fast die Hälfte der Befragten hat also Erfahrungswerte vorzuweisen. Der Anteil derjenigen, die hier als absolute Neueinsteiger gelten, überwiegt leicht mit insgesamt 52,2 Prozent.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keinerlei Auffälligkeiten.

## Kriterien bei der Fahrschulwahl:

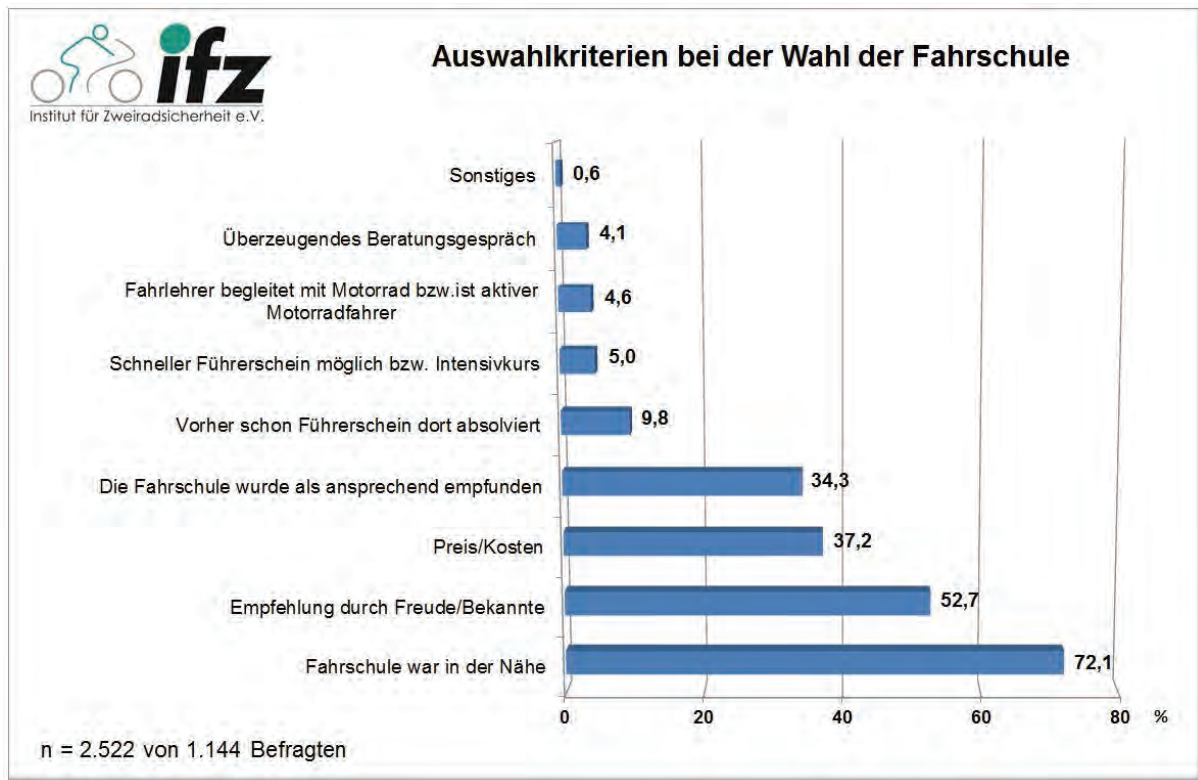


Abb. 7

Die meist genannten Antworten (89% aller Antworten) auf die Frage, was bei der Auswahl der Fahrschule ausschlaggebend war, lassen sich im Wesentlichen auf vier Kriterien verteilen:

Wichtigstes Kriterium für die Fahrschulwahl ist mit 72,1 Prozent der Antworten aller Teilnehmer die Nähe zum Wohnort (siehe Abb. 7). Die Fahrschule soll also gut erreichbar bzw. nicht zu weit vom eigenen Wohnsitz entfernt sein. An zweiter Stelle spielt die Empfehlung von Freunden und Bekannten mit 52,7 Prozent eine große Rolle. Auf Platz drei folgen die Kosten der Ausbildung (37,2%). Knapp dahinter ist es der „Eindruck der Fahrschule“ (34,3%), der stimmen muss.

In nur 4,6 Prozent der Fälle wird bei der Fahrschulwahl Wert darauf gelegt, dass der Fahrlehrer während der Fahrstunden selber mit dem Motorrad mitfährt bzw. selber aktiver Motorradfahrer ist. Diese Erkenntnis ist für uns sehr bezeichnend, weil hier wieder einmal deutlich wird, dass selbst unter den Auszubildenden die Vorteile einer Begleitung auf dem Motorrad unbekannt sind und somit völlig unterschätzt werden. Es kann davon ausgegangen werden, dass das Vertrauen des Schülers in die Fahrschule hierfür verantwortlich ist. Als kompetenter Ausbilder sollte diese wissen, welche Art der Begleitung die richtige ist. Führerscheinanwärter beschäftigen sich bei der Auswahl der Fahrschule zunächst nicht mit inhaltlichen Aspekten der Ausbildung. Während die anderen Kriterien eher auf formale, organisatorische Dinge eingehen, ist die Begleitung des Fahrlehrers mit einem Motorrad be-

reits ein inhaltlicher Aspekt hinsichtlich der Umsetzung praktischer Unterrichtseinheiten. Schaut man sich allerdings die Absolventen-Wunschliste der Verbesserungsmöglichkeiten bei der praktischen Ausbildung an (vgl. Kapitel 5.4, Abb. 33), so wird deutlich, wie sehr sich die bestandenen Fahrschüler hinterher eine Begleitung vom Fahrlehrer auf dem Motorrad gewünscht hätten.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Im Rahmen des Geschlechtervergleichs liegen bei der Fahrschulwahl folgende Besonderheiten vor:

Leichte Unterschiede zeigen sich bei den Kosten für die Fahrerlaubnis. Diese sind für die männlichen Fahrschüler etwas entscheidender (Männer: 38,5% zu Frauen: 31,7%). Auf einen ansprechenden Eindruck der Fahrschule hingegen legen die weiblichen Fahrschüler mehr Wert. Dieses Kriterium beantworteten die Frauen mit nahezu 8,2 Prozent häufiger (Männer: 33,1% zu Frauen: 41,3%). Mehr als doppelt so häufig war das Kriterium des überzeugenden Beratungsgespräches für die Führerscheinanwärterinnen relevant (Frauen: 7,4% zu Männer: 3,4%). Die gleiche Verteilung spiegelt sich bei der Tatsache wider, ob der Fahrlehrer auf einem eigenen Motorrad begleitet. Die weiblichen Teilnehmer belegen hier mit 7,4 Prozent einen doppelt so hohen Anteil der Antworten wie die männlichen (3,4%). Anscheinend fühlen sich die angehenden Motorradfahrerinnen durch das Mitfahren des Fahrlehrers auf einer eigenen Maschine besser betreut.

## 2 Theoretische Ausbildung

### 2.1 Klassenspezifischer Unterricht der Klasse A

Damit der klassenspezifische Lehrstoff für verschiedene Fahrerlaubnisklassen in der vorgesehenen Fülle und Intensität vermittelt bzw. exemplarisch vertieft werden kann, ist er laut gültiger Fahrerschülerausbildungsordnung (FahrSchAusbO)<sup>5</sup> gesondert zum allgemeinen Unterricht (Grundstoff für alle Klassen) durchzuführen. Für die Klasse A sind dies 4 Doppelstunden (FahrSchAusbO, Anlage 2.8).

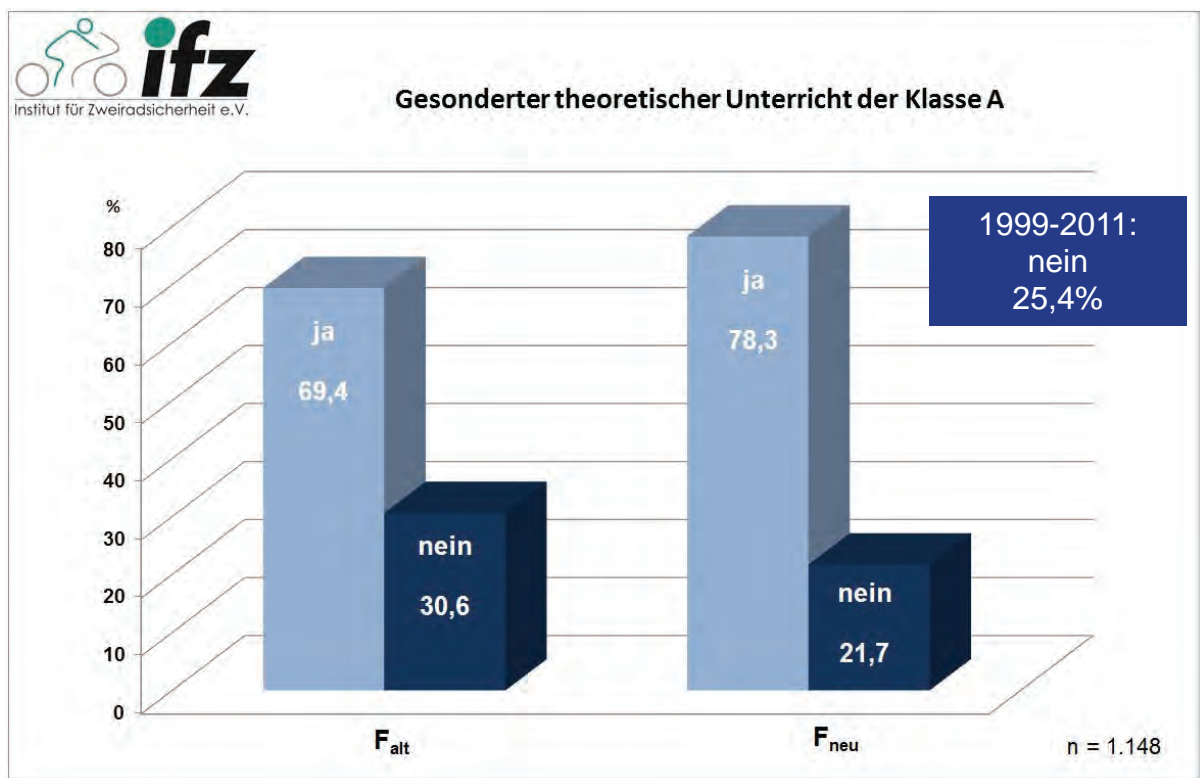


Abb. 8

Das Kollektiv beantwortet die Frage, ob der theoretische klassenspezifische Unterricht für die Zweiradklassen in der Fahrschule durchgeführt wurde in 74,6 Prozent der Fälle mit einem „ja“. Der Rest (25,4%) kann dies nicht bestätigen. In diesen Fällen hat somit kein gesonderter Unterricht mit motorradspezifischen Inhalten stattgefunden.

Abbildung 8 zeigt diesbezüglich auch den Vergleich der beiden Jahrgangskategorien  $F_{neu}$  und  $F_{alt}$ . Hier kann – das richtige Erinnerungsvermögen der  $F_{alt}$ -Absolventen vorausgesetzt – ein positiver Trend zu vermehrt gesondert stattfindendem Motorradunterricht festgestellt werden. Dennoch wird mit Blick auf die aktuelleren Jahrgänge ( $F_{neu}$ ) bei über einem Fünftel (21,7%) der Fahrschulen der

<sup>5</sup> Fahrerschüler-Ausbildungsordnung (FahrSchAusbO) vom 18. August 1998

klassenspezifische Zusatzstoff für die Klasse A nicht gesondert durchgeführt, wie es die gesetzliche Forderung eigentlich vorsieht. In diesen Fällen drängt sich der Verdacht auf, dass die theoretische Ausbildung im Rahmen der „Lehre rund um das Motorrad“ arg vernachlässigt und der jeweilige Absolvent mit unzureichendem Hintergrundwissen allein gelassen wird.

Interessant an dieser Stelle ist auch der Zusammenhang zwischen gesondert durchgeführtem „Motorradunterricht“ und dem theoretischen Wissen der Teilnehmer hinsichtlich zweiradrelevanter Aspekte. In Kapitel 4 dieser Studie wurden stichprobenartig drei Fragen zu motorradrelevanten Themen gestellt und ausgewertet. Betrachtet man die Ergebnisse dieses Wissens, so lässt sich generell festhalten, dass jene Teilnehmer deutlich besser abgeschnitten haben, deren Fahrschule den zweiradspezifischen Unterricht der Klasse A gesondert angeboten hat. Im Detail bedeutet dies, dass 63,5 Prozent der Teilnehmer, die an einem gesonderten Klasse-A-Unterricht teilgenommen haben, die Fragen mit „sehr gut“ und „gut“ beantworteten. Hingegen schafften dies die Teilnehmer, die keinen gesonderten Unterricht erfahren haben, nur zu 23,5 Prozent (vgl. hierzu auch Kap. 4).

## 2.2 Erarbeitung von Lösungen im theoretischen Unterricht

Im Rahmen des Fragebogens sollten die Teilnehmer angeben, ob im theoretischen Unterricht Lösungen allein oder auch in der Gruppe erarbeitet wurden oder ob der Fahrlehrer in Form von Frontalunterricht „allein“ agierte. Über die Hälfte der Absolventen (51,5%) gaben an, Lösungen in der Gruppe erarbeitet zu haben (siehe Abb. 9). 21,2 Prozent konnten Ergebnisse auch allein erarbeiten, während über ein Viertel (27,3%) „nur“ über den Fahrlehrer unterrichtet wurden.

Ein zentraler Nachteil des klassischen, eher lehrerzentrierten Frontalunterrichts besteht darin, dass selbständiges Arbeiten nur begrenzt gefördert wird. Doch genau diese Selbständigkeit soll im theoretischen Fahrschulunterricht begünstigt werden (siehe Curricularer Leitfaden zur Motorradausbildung<sup>6</sup>, S. 13 ff).

Eine Diskussion der „frontalen Unterrichtsform“ soll aber nicht Inhalt dieser Studie sein. Frontalunterricht kann sowohl Vorteile als auch Nachteile für Schüler und Lehrer haben. Ein entscheidender Faktor für einen positiven Unterrichtsverlauf bleibt hierbei vor allem der jeweilige Lehrer.

Insgesamt betrachtet, geben 72,7 Prozent der Teilnehmer an, Lösungen sowohl allein als auch in der Gruppe erarbeitet zu haben, was als positiv gewertet werden kann. Der Anteil derjenigen, die Lösungen jedoch ausschließlich durch den Fahrlehrer präsentiert bekamen, ist mit 27,3 Prozent relativ groß.

---

<sup>6</sup> Curricularer Leitfaden: Theoretische und Praktische Ausbildung Motorrad; Deutsche Fahrlehrer Akademie e.V., Korntal-Münchingen, 2005 (Wird im weiteren Verlauf der Studie vom Curricularen Leitfaden gesprochen, ist dieses Werk gemeint. Auch abgekürzt: CL-M)

Generell kann vermutet werden, dass die Selbstlernaktivitäten des Fahrschülers – wie in vielen anderen Prüfungssituationen auch – in erster Linie darauf abzielen, erforderliches Wissen für die bevorstehende Theorieprüfung zu erwerben. Hier muss zukünftig verstärkt daraufhin gewirkt werden, dass sowohl Fahrlehrer als auch die entsprechenden Lehrmedien zum „Lernen“ über den Fahrschulbesuch bzw. die Prüfungsvorbereitung hinaus anregen.

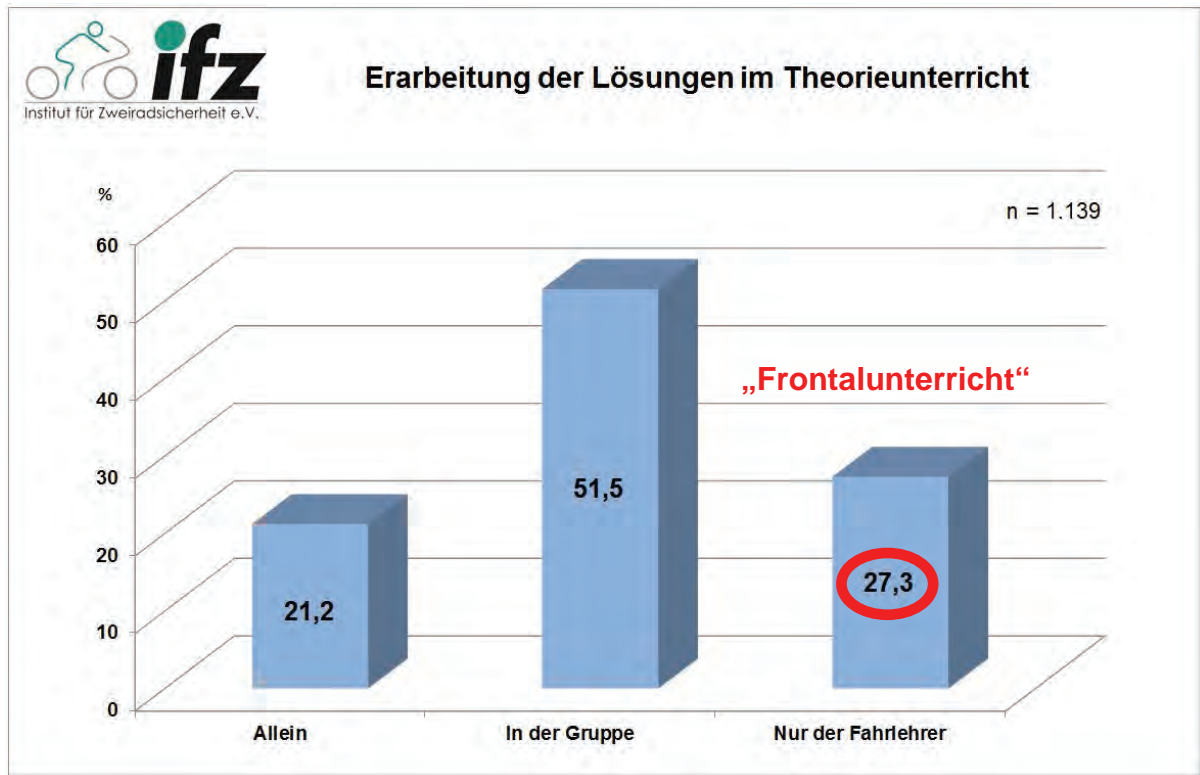


Abb. 9

### 2.3 Behandelte Themen im theoretischen Unterricht

Die diesen Bereich einleitende Frage, ob im theoretischen Unterricht alle Inhalte des für die Prüfung relevanten Lehrstoffes vermittelt wurden, beantworteten 92,3 Prozent der Befragten mit einem „ja“.

Jeweils über 90 Prozent aller Befragten haben die Bereiche „Allgemeine Gefahrenlehre“ (91,0%) und „Zweiradspezifische Risiken“ (90,2%) angegeben, womit ein sehr wichtiger Bereich hinsichtlich seiner Behandlung als zufriedenstellend betrachtet werden kann. Mit Angaben zwischen 80 und 90 Prozent bestätigt sich auch die Behandlung der Themen „Fahrtechnik“, „Sicherheits- / Abfahrtskontrolle“, „Fahrphysik“ und „Fahrerausstattung“ (siehe Abb. 10).

Ebenfalls zentrale Themen mit Blick auf sicherheitsrelevante Aspekte des Fahrzeugs sind die Bereiche „Motorrad Bremsanlagen“ und „Bereifung“. Betrachtet man hier den Anteil derjenigen, die angeben, dass diese Bereiche nicht im Unterricht behandelt wurden, so sind die Werte nur noch eingeschränkt

zufriedenstellend. 22,4 Prozent der Befragten wurden nicht über motorradspezifische Bremsanlagen informiert. 25,4 Prozent haben nichts über das entscheidende Bindeglied zwischen Fahrzeug und Straße, nämlich die Bereifung, erfahren.

Noch weniger zufriedenstellend sind die Nennungen der Bereiche „Weiterbildung/Training“ mit nur 42,6 Prozent und „Sicherheitsrelevante Fahrzeugtechnik“ (z. B. Funktionsweise des ABS) mit 48,1 Prozent. Die Zahlen belegen, dass hierbei nicht einmal die Hälfte der Befragten erreicht wurde! Nur 63,4 Prozent wurden zudem über die „Mitnahme von Personen“ und nur 56,5 Prozent über „Gruppenregeln“ – also das Verhalten bei Fahrten mit mehreren Motorrädern – unterrichtet.

Insgesamt fällt auf, dass Themengebiete, die mehr technisches Hintergrundwissen verlangen, weniger behandelt werden. Ebenso auffällig sind die Bereiche, die das Wissen über den „Solobetrieb eines Motorrads“ hinaus vernachlässigen.

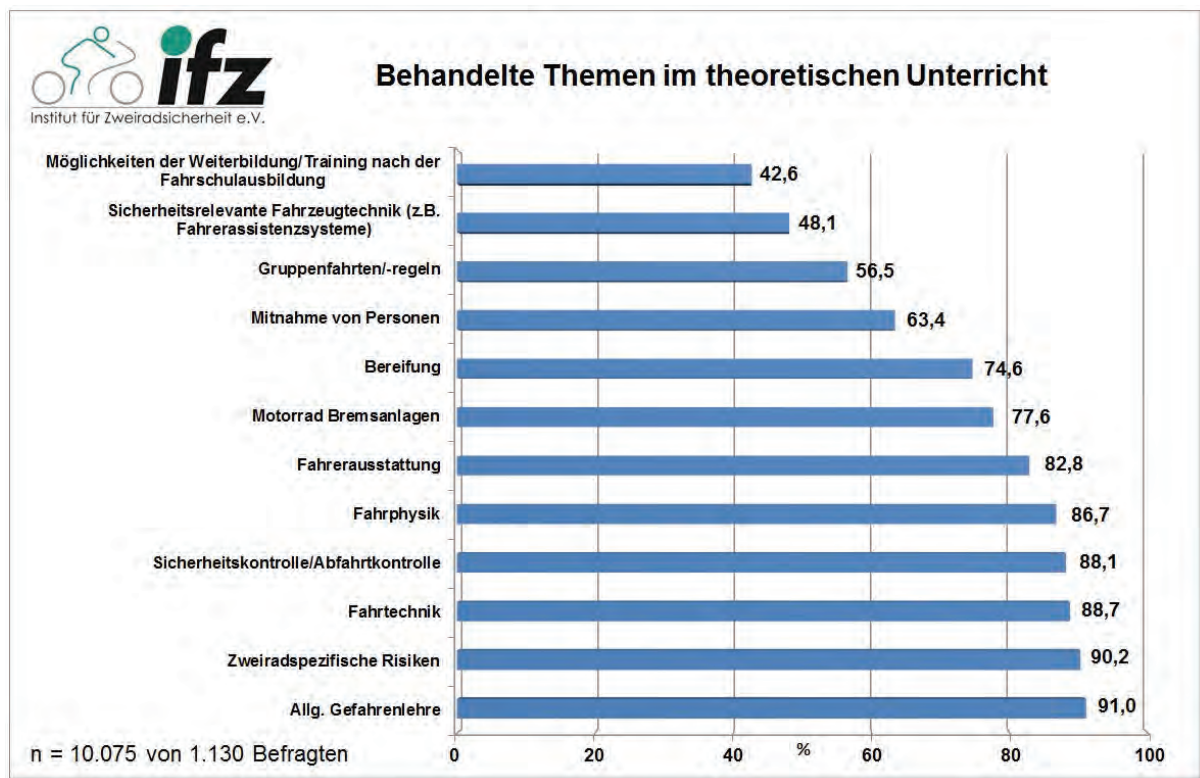


Abb. 10

Es bleibt festzuhalten, dass der Großteil dieser Themenbereiche zentrale Aspekte der Zweiradsicherheit beinhaltet und der weniger behandelte Teil von ihnen mehr Gewicht im Unterricht bekommen sollte. In Anbetracht der Ausbildungsdauer ist es selbstverständlich nur begrenzt möglich, all diese Themenbereiche in aller Ausführlichkeit zu behandeln. Dennoch sollten alle Bereiche zumindest angesprochen werden und ein klarer Hinweis erfolgen, dass es für den Fahrschüler und sein „späteres Leben auf zwei Rädern“ von großer Bedeutung ist, sich während und auch nach der Fahrschulausbildung

weiter in Eigenregie mit diesen wichtigen Thematiken zu beschäftigen. Das Lehrbuch (auch elektronisch) sollte hier wieder eine verstärkte Rolle einnehmen (vgl. Kapitel 2.6).

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Auf die Frage hinsichtlich der Vertiefung dieser Themengebiete (siehe Abb. 11) geben die meisten der Befragten mit 43,5 Prozent das Thema „Fahrtechniken“ an. Nahezu gleichrangig folgen die Themen „Möglichkeiten der Weiterbildung“ und „Fahrphysik“.

Nur 3,1 Prozent sind der Meinung, dass alle Themen ausreichend behandelt wurden.

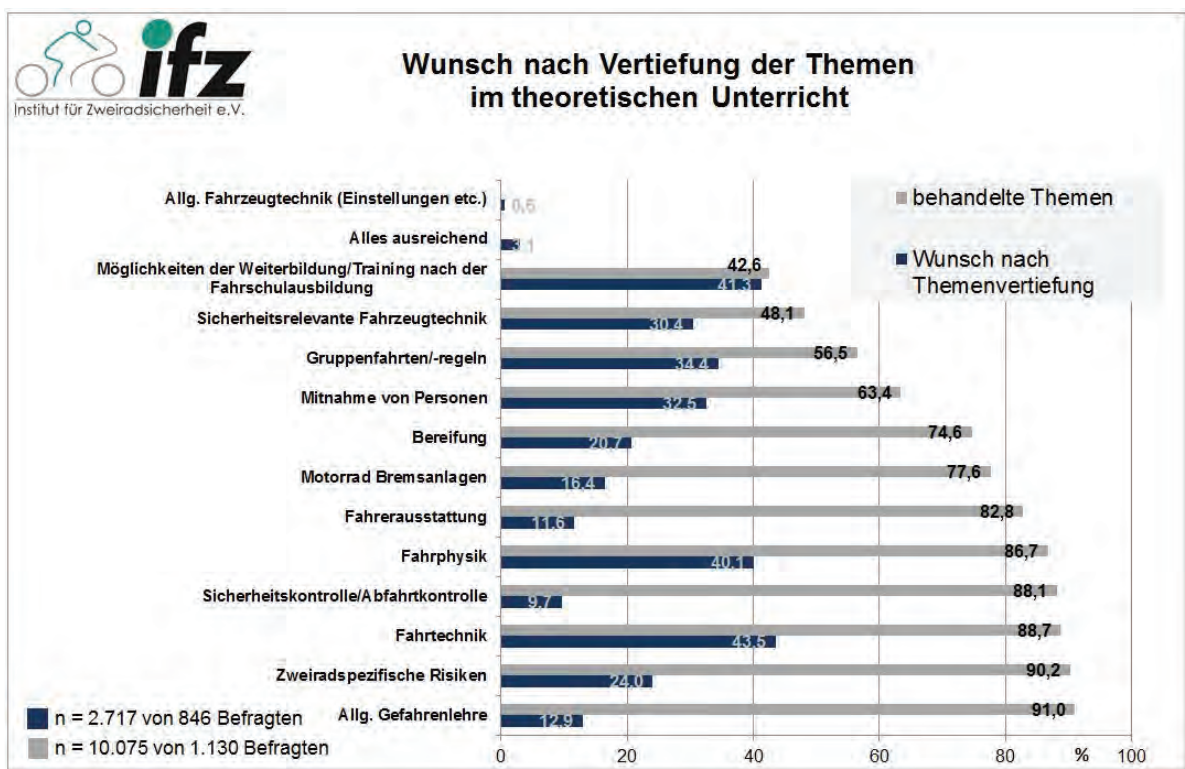


Abb. 11

Es fällt auf, dass die Nennung des Themas „Zweiradspezifische Risiken“ mit 24,0 Prozent nahezu doppelt so häufig genannt wurde wie die „Allgemeine Gefahrenlehre“ (12,9%). Eine Vertiefung der möglichen Problematiken, die sich speziell für die Zweiräder im Straßenverkehr ergeben können, scheint also auch in Zukunft weiterhin gefragt und äußerst sinnvoll zu sein. Gerade die zweiradspezifischen Risiken wurden bei den jüngeren Absolventen ( $F_{neu}$ ) häufiger genannt.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen nicht vor.



## 2.4 Fahrlehrer-Informationen hinsichtlich des eigenen Verhaltens – Selbstreflexion

Der Großteil der Befragten mit 68,2 Prozent wurde vom Fahrlehrer angeregt über das eigene Verhalten auf dem Motorrad nachzudenken (siehe Abb. 12). Stattdessen 31,8 Prozent wurden jedoch nicht angehalten, selbstreflektierend die eigenen Verhaltensweisen im Straßenverkehr kritisch zu betrachten bzw. zu überdenken.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Fahrlehrer, die ihre Fahrschüler während der praktischen Unterrichtseinheiten selber mit dem Motorrad begleiten, schneiden bei diesem Kriterium besser ab. Die aktiven Motorradfahrlehrer regen in 83,2 Prozent der Fälle ihre Schüler zum Nachdenken an. Bei denjenigen, die manchmal mitfahren, sind es immerhin noch 76,4 Prozent.

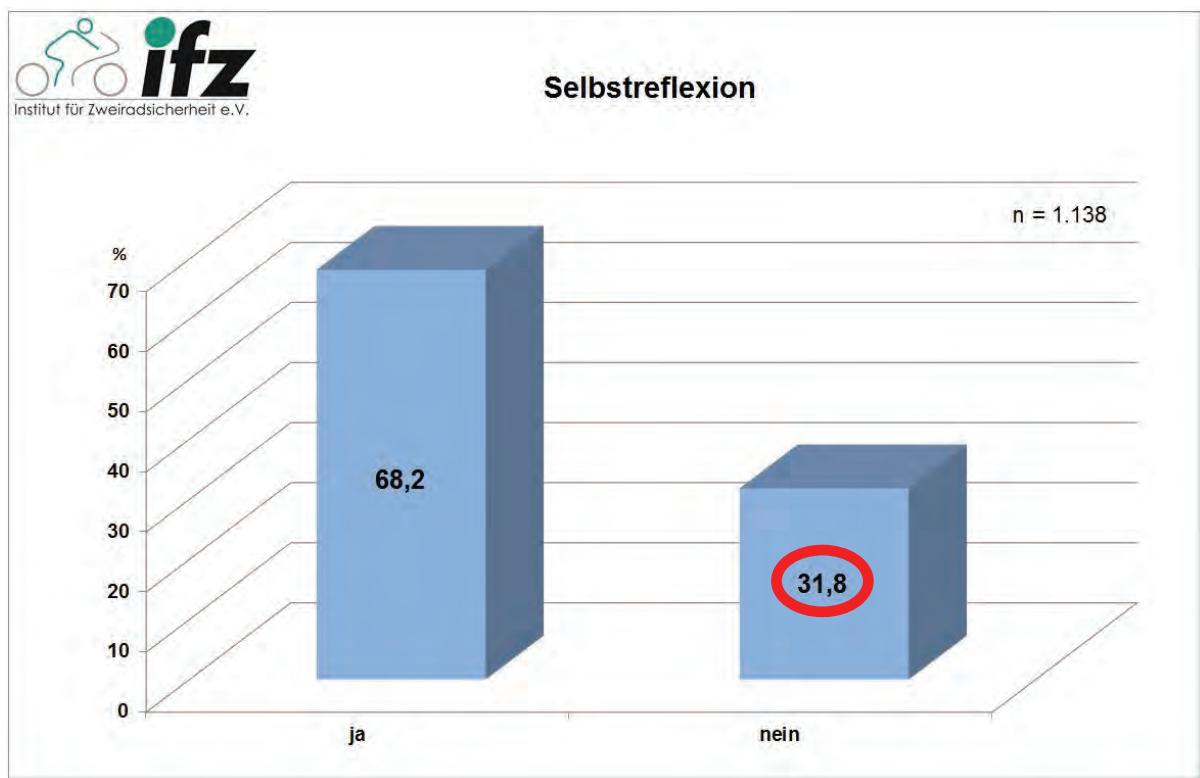


Abb. 12

Diese abnehmende Tendenz in Verbindung mit dem Kriterium „Mitfahren“ setzt sich fort. Denn: Fahrlehrer, die ihre Fahrschüler nie mit dem Motorrad begleiten, behandeln das Thema „Selbstreflexion“ lediglich in 62,2 Prozent der Fälle ( $p < 0,001$ , hoch signifikant).

Der Curriculare Leitfaden schreibt hierzu auf Seite 14: *„Im Mittelpunkt der Ausbildung zum Motorradfahrer muss die Entwicklung der Sozialkompetenz stehen. Bei der theoretischen und praktischen Ausbildung muss der Fahrlehrer sein Augenmerk auf die Entfaltung der Persönlichkeit des Fahrschülers im Sinne eines sicheren und verantwortungsvollen Verkehrsteilnehmers richten. Der Unterricht sollte durchdrungen sein von Impulsen und einbildungswirksamen Vorstellungen im Hinblick auf Einstellung und Verhalten, damit dem Fahrschüler die Verantwortung für Mensch und Umwelt in Fleisch und Blut übergeht.“*

Die Motivation zum Fahren, persönliche Einstellungen und die Selbsteinschätzung des eigenen Könnens und Verhaltens, sind zentrale Bereiche, die einen sicheren oder aber unsicheren Fahrer ausmachen. So hat ein junger Fahranfänger theoretisch nicht unbedingt mit einem erhöhten Unfallrisiko zu rechnen, sofern er seine noch geringen Fähigkeiten entsprechend einschätzt und seinen Fahrstil danach anpasst. Dies ist aber in erster Linie nur dann realisierbar, wenn er die Fähigkeit zur ehrlichen Selbsteinschätzung mit sich bringt bzw. dahingehend „instruiert“ wird.

Die Fahrschulausbildung wird hier in der zeitlichen Kürze des Ausbildungsrahmens keine Wunder vollbringen können, denn persönliche Einstellungen und Motivationen lassen sich kaum im Rahmen der relativ kurzen Fahrschulausbildung verändern. Dennoch sollten immer wieder Impulse seitens der Fahrlehrer erfolgen, die den Fahranfänger über sein Verhalten nachdenken lassen, denn die eigene Wahrnehmung des Könnens und Verhaltens wird auch den jeweiligen Fahrstil bestimmen.

## **2.5 Mentales Training**

Um Handlungs- und Bewegungsabläufe, wie beispielsweise bei einer Vollbremsung trainieren bzw. festigen zu können, kann das Mentale Training eine geeignete Unterstützung sein. Bekannte Abläufe können auf verschiedenen Wegen mental durchlaufen werden ohne die Handlung wirklich auszuführen. Es handelt sich also um eine bewusste Vorstellung einer Handlung im Rahmen einer „Trockenübung“.

Bei 76,2 Prozent der Absolventen wurde das Thema „Mentales Training“ während der Fahrschulausbildung in keiner Form erwähnt, obwohl der Curriculare Leitfaden für die Motorradausbildung dieses Thema recht umfangreich aufgreift (vgl. Curricularer Leitfaden S. 27 – 30). In 23,8 Prozent der Fälle wurde diese Thematik zumindest angesprochen (siehe Abb. 13).

Abbildung 13 zeigt ebenfalls die Anzahl der Fahrschulen, die ein Mentales Training mit dem jeweiligen Fahrschüler tatsächlich durchgeführt haben. Es sind gerade einmal 13,4 Prozent. Nur auf den Teil der Fahrschüler bezogen, die über die Möglichkeit des Mentalen Trainings informiert wurden (23,8%), sind es 56,3 Prozent, die dann auch mental trainierten.

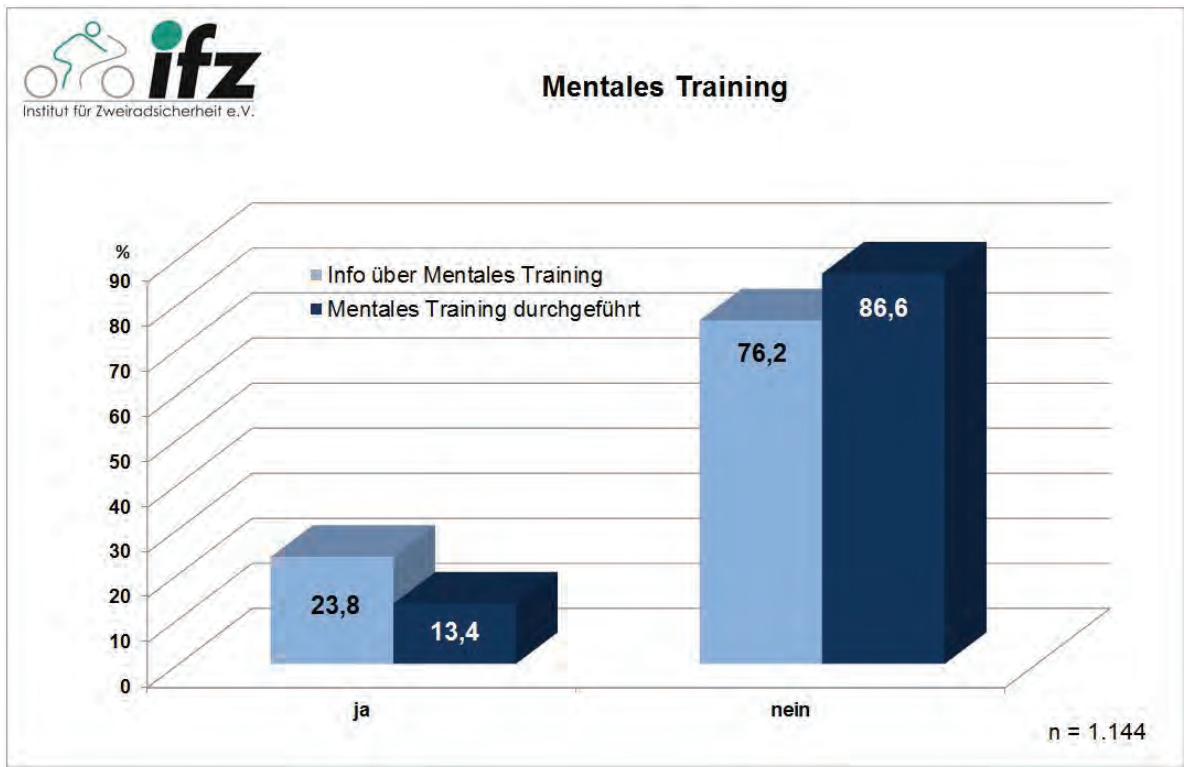


Abb. 13

Hinsichtlich der Jahrgänge, sind es die Absolventen  $F_{alt}$  (1999 - 2008), die mehr über die Möglichkeit des Mentalen Trainings informiert wurden. Ebenso kann festgehalten werden, dass die weiblichen Teilnehmer öfter Informationen über Mentales Training erhielten (weiblich 33,0% zu männlich 21,8%;  $p = 0,001$ ) und auch öfter mental trainierten (weiblich 22,0% zu männlich 11,6%;  $p < 0,001$ ).

Der Großteil mit 86,6 Prozent hat kein Mentales Training erfahren.

Betrachtet man auch unter diesem Punkt den Zusammenhang zur Bereitschaft des Fahrlehrers, seinen Fahrschüler aktiv mit dem Motorrad zu begleiten, so ist festzustellen, dass hier ein hoch signifikantes Verhältnis vorliegt: Fahrlehrer, die „immer“ oder „manchmal“ während des praktischen Unterrichts mit dem Motorrad begleiten, thematisieren Mentales Training wesentlich öfter als ihre Kollegen, die niemals mit dem Motorrad begleiten:

Fahrlehrer begleitet:	„immer“	„manchmal“	„nie“
Mentales Training thematisiert:	38,2 %	32,1 %	17,8 %

Ähnliche Tendenzen ergeben sich bei der Betrachtung des tatsächlich durchgeführten Trainings:

Fahrlehrer begleitet:	„immer“	„manchmal“	„nie“
Mentales Training durchgeführt:	21,8 %	20,0 %	9,0 %

Es sei an dieser Stelle erwähnt, dass Mentales Training keine gesetzliche Vorgabe für die Motorradfahrerschulung ist. Dennoch hat das Thema einen großen Stellenwert in der Fahrlehreraus- und -fortbildung.

## 2.6 Lehrbuchnutzung

Die Studie sollte natürlich auch aufzeigen, wie die Fahrschüler zu ihrem zweiradspezifischen Wissen kommen. Obwohl vieles auf andere Weise (Neue Medien) als durch ein begleitendes Lehrbuch in Erfahrung gebracht werden kann, sind wir jedoch der Meinung, dass z. B. die Suche im Internet ein kompaktes Werk, in dem alle relevanten Themen behandelt werden, nur ergänzen kann. Deshalb sehen wir in der intensiven Lehrbuchbenutzung (auch elektronisch) nach wie vor einen wichtigen Baustein in der Fahrausbildung.

Knapp ein Drittel der Befragten (31,1%) nutzen ihr Lehrbuch sehr intensiv. Weitere 26,7 Prozent gelegentlich und 8,3 Prozent gar nicht, obwohl sie eines besitzen. Hingegen besitzen 33,9 Prozent der Absolventen kein Lehrbuch mit den prüfungsrelevanten Inhalten (siehe Abb. 14).

Der Vergleich, der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt hierbei eine Abnahme der intensiven Nutzung des Lehrbuches von 36,7 auf 27,0 Prozent. Im Jahr 2011 sind es nur noch 22,9 Prozent. Dies zeigt, dass der Trend dahin geht, kein Lehrbuch zu nutzen. Während 26,2 Prozent der Gruppe  $F_{alt}$  kein Lehrbuch besitzen, sind es in Gruppe  $F_{neu}$  bereits 39,5 Prozent. Wird nur der Jahrgang 2011 betrachtet, so erhöht sich dieser Prozentsatz sogar auf 46,1 Prozent.

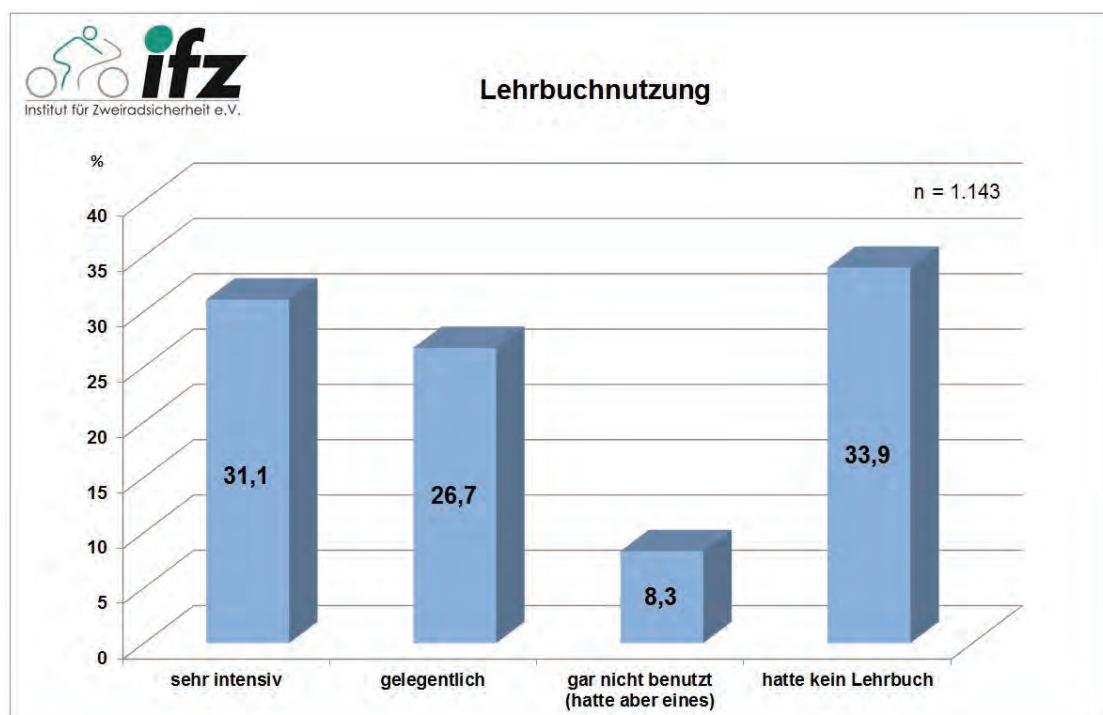


Abb. 14

Durch die Studie konnte nicht nachgewiesen werden, ob sich die Fahrschüler ihr Wissen eventuell über andere Medien geholt haben. Es liegt allerdings die Vermutung nahe, dass eher die Prüfungsfragen intensiv „gepaukt“ werden und zusätzliches relevantes Wissen – über die Prüfungsfragen hinaus – kaum erworben wird.

Entsprechend §3 der Fahrschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) soll das selbstverantwortliche Weiterlernen nach dem Erwerb der Fahrerlaubnis gefördert werden. Das Lehrbuch und dessen Benutzung können hier als ein Hilfsmittel betrachtet werden und somit über die Prüfung hinaus hilfreich sein. Deshalb sind wir der Meinung, dass der Erwerb des Lehrbuches bei der Anmeldung in der Fahrschule obligatorisch sein sollte.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen nicht vor.

Hinsichtlich des Alters fällt auf, dass mit 45,2 Prozent die 20- bis 29-Jährigen vermehrt kein Lehrbuch besitzen. Ist ein Buch vorhanden, dann wird es eher von älteren Fahrschülern genutzt.

### 3 Praktische Ausbildung

#### 3.1 Trockenübungen vor der ersten Fahrt

Die Antworten auf die Frage, ob vor der allerersten Fahrt „Trockenübungen“ mit/auf dem Motorrad durchgeführt wurden, sind anteilmäßig nahezu ausgewogen. Die eine Hälfte der Teilnehmer bestätigt das Absolvieren von Trockenübungen vor der ersten Fahrt mit „ja“ (49,2%), die andere Hälfte hingegen mit „nein“ (50,8%)<sup>7</sup>.

Unter „Trockenübungen“ sind erste Schritte im Umgang mit dem Motorrad zu verstehen, die ein Gefühl für das Fahrzeug und seine Reaktionen fördern sollen. Es handelt sich dabei beispielsweise um das Schieben des Motorrades (Motor aus) vorwärts und rückwärts, das Schieben und Bremsen, Auf- und Abbocken etc. In der Fragestellung wurde dies erläutert.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Um hier die Tatsache zu berücksichtigen, dass nahezu die Hälfte des Kollektivs (47,8%; siehe Abb. 6) bereits Erfahrungen mit einem Klein- bzw. Leichtkraftrad vorweisen kann, werden die folgenden Angaben zu den durchgeführten „Trockenübungen“ vor diesem Hintergrund betrachtet.

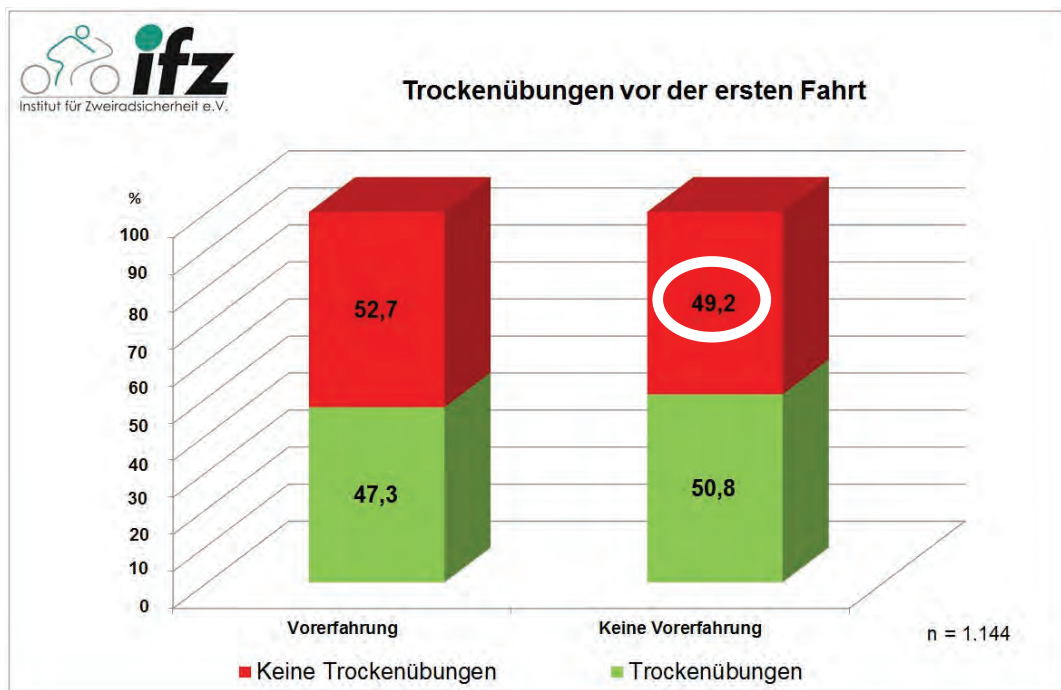


Abb. 15

<sup>7</sup> Diese Prozentsätze entsprechen rein zufällig einigen aus Abb. 15. Sie stehen aber hierzu nicht in Beziehung.

Interessant ist hier die Tatsache, dass knapp die Hälfte (49,2%) derer, die keine praktische Vorerfahrung auf einem motorisierten Zweirad besitzen, ohne vorherige Trockenübungen mit dem Motorrad losfahren muss (siehe Abb. 15).

Der *Curriculare Leitfaden Motorrad* beschreibt im Detail, wie vor der ersten Fahrt vorzugehen ist, um mit dem Motorrad vertraut zu werden (vgl. S. 31 CL-M). Dennoch wird dem, bei einem großen Teil der Fahrschüler, die keine Vorerfahrung vorweisen können, nicht nachgegangen.

### 3.2 Erste Fahrstunde im Schonraum

63,9 Prozent der Absolventen beginnen ihre praktische Fahrausbildung nicht direkt im Straßenverkehr. 36,1 Prozent hingegen schon. Der Blick auf die Jahrgangskategorien zeigt hier einen positiven Trend. Während 42,2 Prozent der älteren Absolventen ( $F_{\text{alt}}$ ) ihre erste Ausbildungsfahrt direkt im Straßenverkehr absolvieren mussten, sind es hingegen bei den Absolventen der letzten drei Jahre ( $F_{\text{neu}}$ ) mit 31,7 Prozent schon deutlich weniger.

Wichtig ist es auch hier, die praktische Vorerfahrung mit einem „kleineren“ motorisierten Zweirad (Klein- oder Leichtkraftrad) zu berücksichtigen. Bei einem Kreuzvergleich zeigt sich, dass diejenigen, die diese Vorerfahrung besitzen, öfter ihre erste Fahrstunde im Straßenverkehr absolviert haben, als die Unerfahreneren (45,1% zu 28,1%).

Der Großteil (71,9%) derer, die vorher noch keine Erfahrungswerte auf einem motorisierten Zweirad sammeln konnten, hatte auch die erste Fahrstunde im Schonraum. Aber mehr als ein Viertel der Befragten (28,1%) wurde direkt mit dem „neuen Fahrzeug“ im realen Verkehr auf die Probe gestellt (siehe Abb. 16). Insgesamt wurden 105 (9%) der hier beteiligten Absolventen ohne Vorerfahrung direkt in den Straßenverkehr geschickt und dazu ohne vorherige Trockenübungen. Man kann nur erahnen, wie überfordert diese Fahrschüler gewesen sein müssen.

Der *Curriculare Leitfaden* für die Motorradausbildung sieht vor, dass in vielen Fällen die Einstiegsschulung auf ruhigen Plätzen oder in sonstigen verkehrsarmen Bereichen durchzuführen ist, und dies nicht ohne Grund. Als verkehrsarmer Bereich kann beispielsweise eine Sackgasse oder eine wenig befahrene Seitenstraße gedeutet werden. In vielen Gegenden (vor allem in Großstädten) ist die Anzahl von geeigneten Plätzen für die Einstiegsschulung Mangelware, so dass den Fahrschulen nichts anderes übrig bleibt, als auf andere Möglichkeiten, wie beispielsweise die nahegelegene Seitenstraße, auszuweichen. Es gilt zu berücksichtigen, dass gegebenenfalls einige der Befragten diesen „Einstieg über Seitenstraßen“ als direkten Einstieg in den Straßenverkehr gedeutet haben. Dennoch besteht hier erhöhte Aufmerksamkeit seitens der Fahrschulen, den direkten Einstieg im Realverkehr zu vermeiden.

Absolventinnen wurden – verglichen mit ihren männlichen Kollegen – seltener (24,6% zu 38,2%) direkt in den Straßenverkehr geschickt.

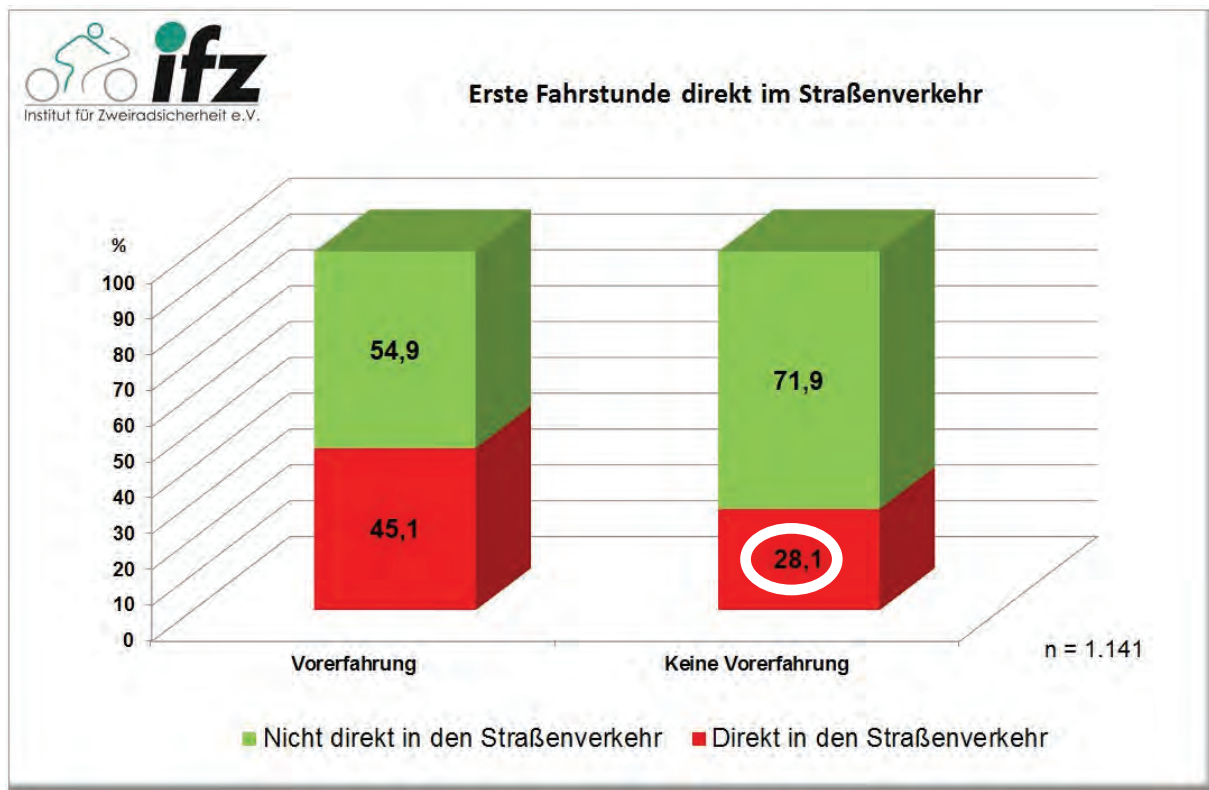


Abb. 16

### 3.3 Fahrlehrer begleitet mit dem Motorrad

Entsprechend Abbildung 17 begleiten die Fahrlehrer während der Fahrstunden nur in 8,9 Prozent der Fälle ihre Fahrschüler immer mit einem Motorrad. 29,2 Prozent der Befragten geben an, dass ihr Fahrlehrer sie manchmal mit dem Motorrad begleitet hat. Der Großteil der Fahrlehrer von 61,9 Prozent bevorzugt jedoch die Begleitung mit dem Pkw.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Der Curriculare Leitfaden hält hinsichtlich der Begleitfahrzeugwahl in der Motorradausbildung Folgendes fest: „Vom Fahrlehrer wird erwartet, dass er über ausreichende eigene Erfahrung mit dem Motorrad verfügt, die auch noch in die heutige Zeit hineinreicht. Ein guter Fahrlehrer ist mit Leib und Seele Motorradfahrer und hat ein persönliches Verhältnis zu seiner Maschine. **Noch immer hat das Vorbild des Lehrers am meisten Wirkung.**“ (S. 10)



Ebenso heißt es: „Die Ausbildung im Realverkehr umfasst die Vermittlung von Fahrtechniken, Verkehrsverhalten, Hilfestellungen und die Lernkontrolle. Ob die Begleitung vom Auto oder Motorrad aus geschieht, ist unerheblich. Viel wichtiger ist die Fachkompetenz des Fahrlehrers. **Natürlich ist es vielfach hilfreich, mit dem Motorrad zu begleiten und auf anschauliche Weise dem Schüler verschiedene Fahrmanöver exemplarisch zu zeigen und so das Prinzip der Nachahmung zu nutzen.** Auch kann die Akzeptanz des Fahrlehrers durch seine Schüler so gefördert werden.“ (S. 26)

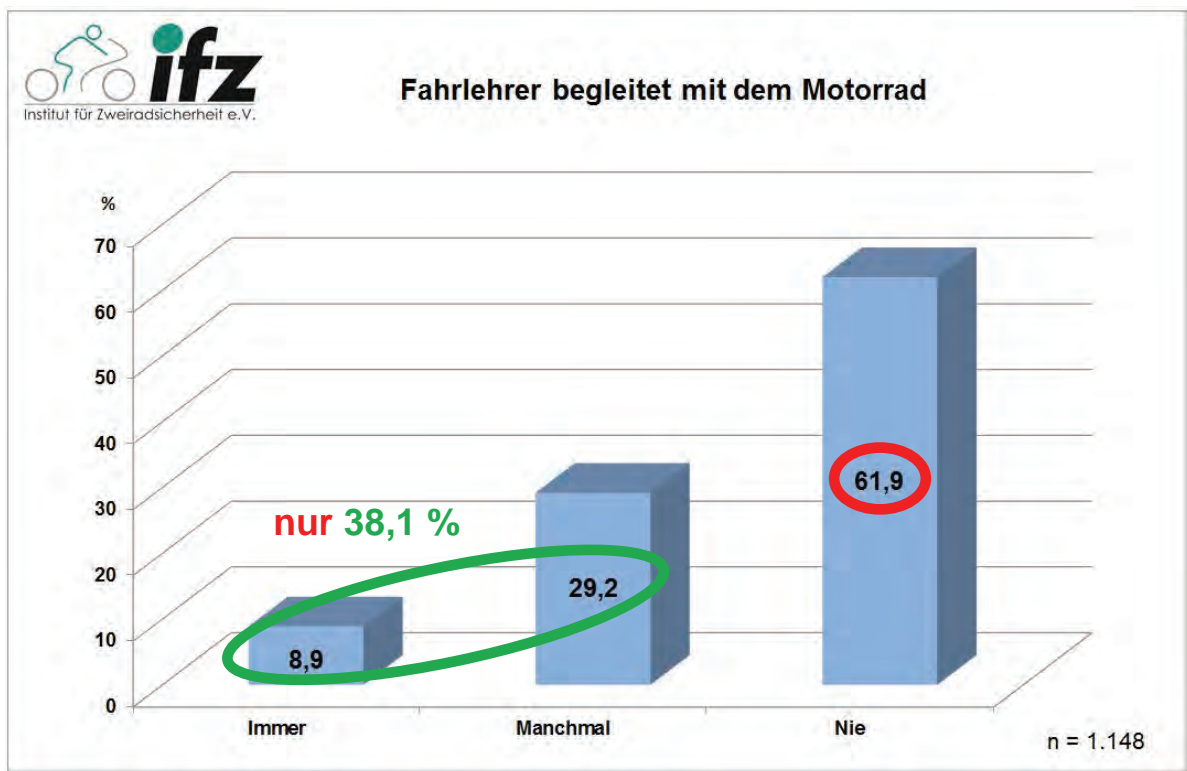


Abb. 17

Immer wieder steht die häufig kontrovers diskutierte Frage im Raum, ob ein Fahrlehrer seinen Motorradfahrerschüler selber mit einem Motorrad begleiten soll oder nicht. In einem Punkt dürfte Einigkeit herrschen: Es scheint nicht erforderlich, dass ein Fahrlehrer in jeder praktischen Unterrichtseinheit mit dem Motorrad begleitet. Unter diesem Aspekt können die beiden Antworten zu dieser Frage „immer“ und „manchmal“ zusammengefasst werden. Es sind demnach nur 38,1 Prozent der Fahrlehrer, die ihre Fahrschüler „immer“ oder „manchmal“ mit dem Motorrad begleiten (Abb. 17). Damit bleibt auch dieses Ergebnis ernüchternd.

Anmerkung: Natürlich muss die Begleitung auf einem Motorrad nicht in jeder Fahrstunde geschehen. Natürlich ist eine solche Begleitung im Vergleich zu einer Begleitung im Pkw mit erhöhtem Aufwand (Umziehen, Fahrzeug wechseln etc.) für den Fahrlehrer verbunden. Aber – die Vorteile einer Begleitung mit dem Motorrad und die damit verbundene bessere Ausbildung lassen sich nicht von der Hand weisen. Warum, wird auch durch die Abbildungen 18 und 19 deutlich.

Setzt man die Antworten über die Begleitung des Fahrlehrers (immer, manchmal oder nie) in Relation zu den Aussagen der Teilnehmer über ihre Zufriedenheit mit der praktischen Motorradausbildung (siehe Kapitel 5.2.2), so kann eindeutig ein hoch signifikanter Zusammenhang ( $p < 0,001$ ) erkannt werden. Abbildung 18 verdeutlicht, dass der Großteil, der seinen praktischen Unterricht mit „sehr gut“ beurteilte auch während der Fahrstunden vom Fahrlehrer immer mit dem Motorrad begleitet wurde (67,3%). In den weiteren Beurteilungen von „gut“ bis „mangelhaft“ wird die zunehmende Dominanz bei der fehlenden Begleitung durch den Fahrlehrer auf dem Motorrad sichtbar.

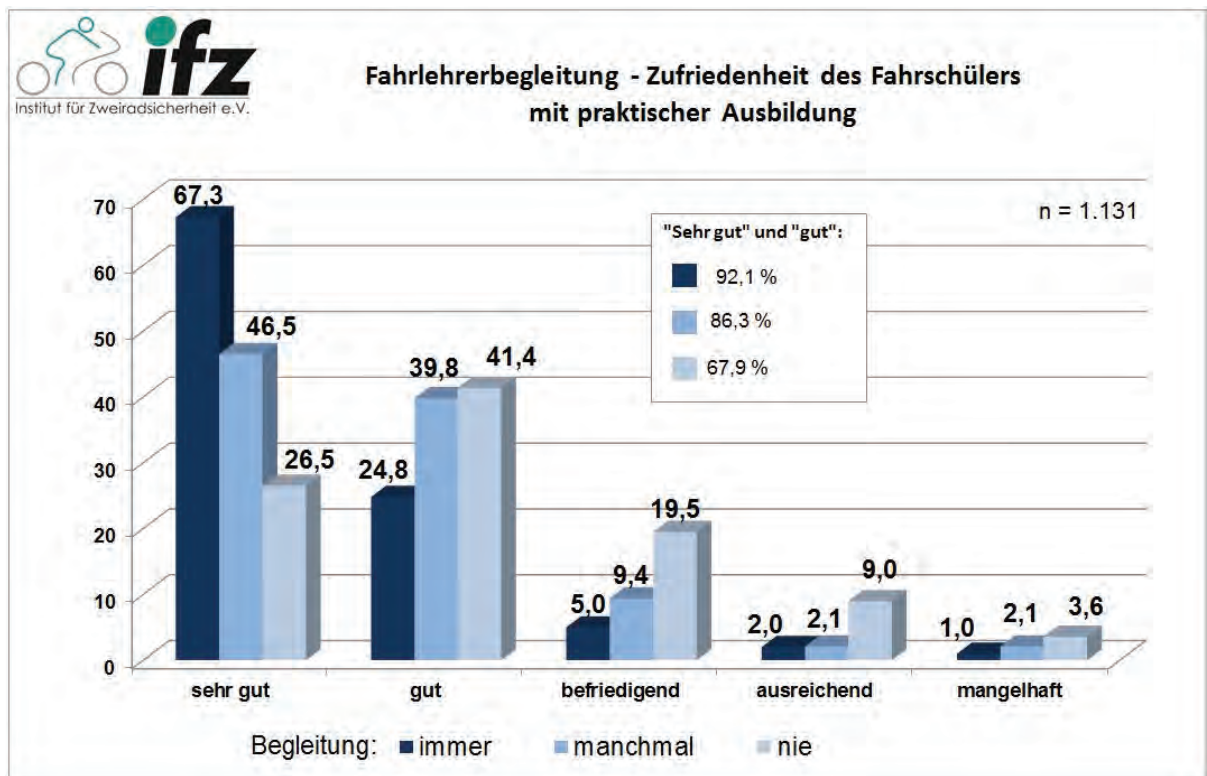


Abb. 18

Darüber hinaus macht diese Studie deutlich, dass sich die meisten Fahrschüler (78% derer, die nie vom Fahrlehrer mit dem Motorrad begleitet wurden) eine Begleitung des Fahrlehrers mit dem eigenen Motorrad gewünscht hätten. Als Antwort auf die Frage, warum sie sich dies gewünscht hätten, benannte der Großteil mit 80,2 Prozent die „Beispielfunktion des Fahrlehrers im Straßenverkehr“ (siehe Abb. 19). 8,2 Prozent finden es gut, den Fahrlehrer als Vorbild bei den fahrpraktischen Übungen beobachten zu können. 7,5 Prozent hätten durch die Mitfahrt des Fahrlehrers mehr Vertrauen in ihn bzw. sein Können und würden dadurch Ängste abbauen.

Hier untermauert die Studie eindeutig die Aussage des Curricularen Leitfadens und legt offen, dass dieser in der Praxis nur unzureichend umgesetzt wird.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Interessant an dieser Stelle ist auch die Erkenntnis, dass diejenigen Absolventen, die ihre Fahrschule nicht wiederbesuchen würden, sich zu 92,4 Prozent einen „aktiven Motorrad-Fahrlehrer“ gewünscht hätten ( $p < 0,001$ ). Auch dieses Ergebnis macht noch einmal deutlich, dass die Wichtigkeit der Fahrlehrerbegleitung auf einem Motorrad innerhalb der Fahrlehrerschaft nach wie vor unterschätzt wird. Deshalb darf vermutet werden, dass Zeit- und Kostendruck, aber auch Motivationsmangel bzw. Bequemlichkeit zu diesem Verhalten führen, zumal die Begleitung auf einem Motorrad auch nicht gesetzlich vorschrieben ist.

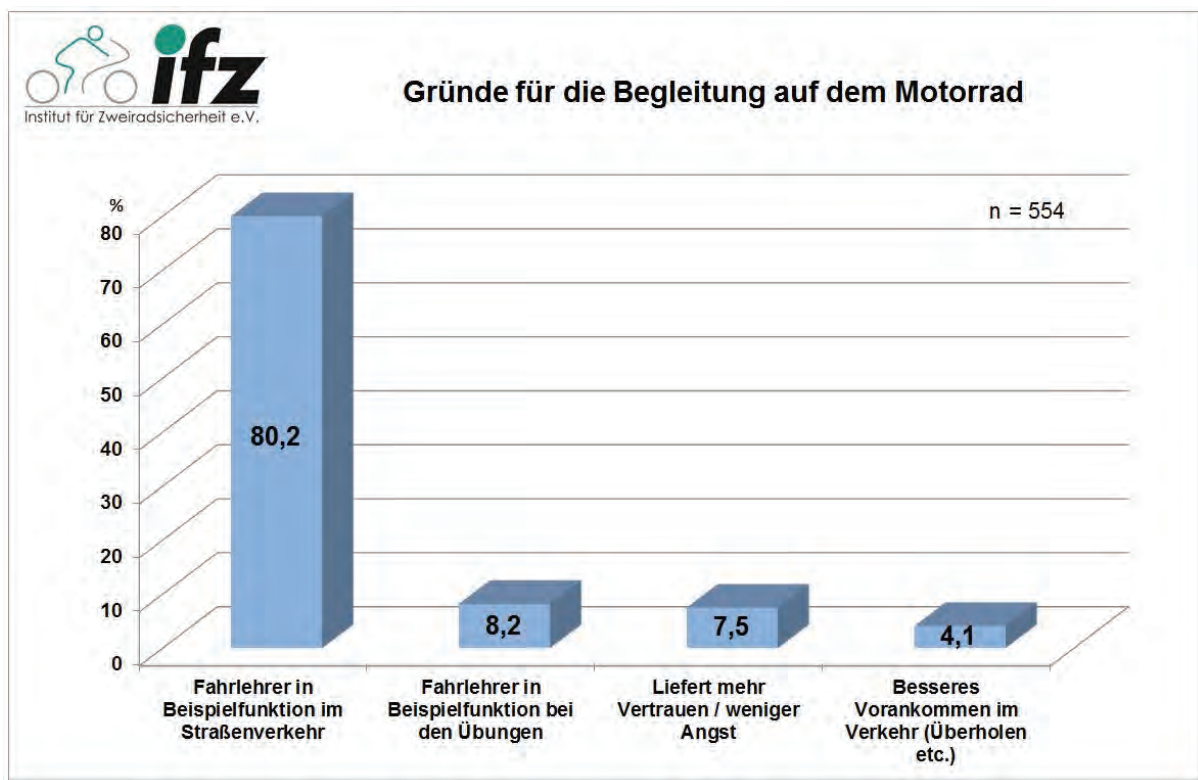


Abb. 19

Allerdings sollte u.a. von der Fahrlehrerschaft zur Kenntnis genommen werden, dass sich eindeutige Zusammenhänge nachweisen lassen. So schneiden besonders motorradaffine Fahrlehrer, die selbst Motorrad fahren und ihre Fahrschüler auch mit diesem begleiten, in allen untersuchten Bereichen deutlich besser ab als ihre im Pkw begleitenden Kollegen. Hier nur einige Beispiele:

### **Kreuzvergleiche mit dem Argument „Begleitung mit einem Motorrad“ zeigen, dass ...**

- der gesonderte klassenspezifische Unterricht für die Klasse A tendenziell öfter von den Fahrlehrern angeboten wird, die „immer“ (90,2%) oder „manchmal“ (80,2%) ihren Fahrschüler selber mit dem Motorrad begleiten. Bei denen, die dies „nie“ tun, liegt der Anteil nur bei 69,7 Prozent.
- das Thema Selbstreflexion öfter von den Fahrlehrern thematisiert wird, die „immer“ (83,2%) oder „manchmal“ (76,4%) ihren Fahrschüler selber mit dem Motorrad begleiten. Bei denen, die dies „nie“ tun, liegt der Anteil nur bei 62,2 Prozent. Gleiche Tendenzen können für das Mentale Training festgestellt werden („immer“ 38,2%; „manchmal“ 32,1% gegenüber „nie“ mit 17,8%).
- Trockenübungen eher von den zweiradbegleitenden Fahrlehrern durchgeführt werden („immer“ 56,9%; „manchmal“ 54,6% gegenüber „nie“ mit 17,8%).
- Fahrschüler bei der ersten Fahrt seltener direkt in den Straßenverkehr geschickt werden („immer“ 24,5%; „manchmal“ 27,5% gegenüber „nie“ mit 41,9%).
- die Absolventen der zweiradbegleitenden Fahrlehrer ihre erste Fahrt allein nach der Prüfung sicherer einschätzen („immer“ 31,0%; „manchmal“ 26,3% gegenüber „nie“ mit 17,4%).

Alle hier genannten Kreuzvergleiche sind hoch signifikant ( $p < 0,001$ ).

Schaut man sich die o. g. Abhängigkeiten an, so lassen sich deutliche Tendenzen feststellen. Alle hier untersuchten Kriterien zeigen, dass Fahrlehrer, die ihre Fahrschüler immer mit dem Motorrad begleiten, die besten Ergebnisse erzielen, gefolgt von den Fahrlehrern, die ihre Fahrschüler manchmal begleiten. Hingegen erreichen die Fahrlehrer, die nie begleiten, stets die schlechtesten Ergebnisse. Warum das so ist, liegt höchstwahrscheinlich an der jeweiligen Einstellung des Fahrlehrers bzw. der Fahrschule zum Motorrad. Denn als motorradfahrender Fahrlehrer bekommt man – genauso wie jeder andere Motorradfahrer – eine besondere Sensibilität für das Zweirad und die speziellen Erfordernisse bzw. die Bedürfnisse des Fahrschülers. Von daher kann an dieser Stelle der *Curriculare Leitfaden* nur nochmals zitiert werden:

*„Vom Fahrlehrer wird erwartet, dass er über ausreichende eigene Erfahrung mit dem Motorrad verfügt, die auch noch in die heutige Zeit hineinreicht. Ein guter Fahrlehrer ist mit Leib und Seele Motorradfahrer und hat ein persönliches Verhältnis zu seiner Maschine. Noch immer hat das Vorbild des Lehrers am meisten Wirkung.“ (S. 10)*

Schaut man sich nur den letzten Kreuzvergleich „Begleitung ↔ sicheres Gefühl direkt nach der Ausbildung“ an, so lässt sich fast ein doppelt so gutes Ergebnis (31,0% zu 17,4%) nachweisen. Allein diese Erkenntnis sollte jeden ambitionierten Fahrlehrer zu einer Begleitung mit einem Motorrad motivieren.

### 3.4 Fahrlehrer hat fahrpraktische Übungen mit dem Motorrad demonstriert

Während der praktischen Motorradausbildung muss der Fahrschüler bei den Grundfahraufgaben nachweisen, dass er ein Kraftrad selbständig handhaben kann. Hierfür müssen z. B. das Abbremsen mit höchstmöglicher Verzögerung oder verschiedene Ausweichmanöver geübt werden.

Bei 16,8 Prozent der Absolventen hat der Fahrlehrer diese fahrpraktischen Übungen „immer“ vorge-macht. Bei 19,7 Prozent der Befragten hat er die Übungen „manchmal“ demonstriert und bei 63,5 Prozent „nie“ (siehe Abb. 20).

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Wie bereits unter 3.3 aufgezeigt, gibt der Curriculare Leitfaden hinsichtlich der Vorbildfunktion in der Motorradausbildung Folgendes vor:

*„Vom Fahrlehrer wird erwartet, dass er über ausreichende eigene Erfahrung mit dem Motorrad verfügt, die auch noch in die heutige Zeit hineinreicht. Ein guter Fahrlehrer ist mit Leib und Seele Motorradfahrer und hat ein persönliches Verhältnis zu seiner Maschine. **Noch immer hat das Vorbild des Lehrers am meisten Wirkung.**“ (S. 10)*

Ebenso heißt es:

*„Die Ausbildung im Realverkehr umfasst die Vermittlung von Fahrtechniken, Verkehrsverhalten, Hilfestellungen und die Lernkontrolle. Ob die Begleitung vom Auto oder Motorrad aus geschieht, ist unerheblich. Viel wichtiger ist die Fachkompetenz des Fahrlehrers. **Natürlich ist es vielfach hilfreich, mit dem Motorrad zu begleiten und auf anschauliche Weise dem Schüler verschiedene Fahrmanöver exemplarisch zu zeigen und so das Prinzip der Nachahmung zu nutzen.** Auch kann die Akzeptanz des Fahrlehrers durch seine Schüler so gefördert werden.“ (S. 26)*

### Fahrlehrer hat fahrpraktische Übungen mit dem Motorrad demonstriert

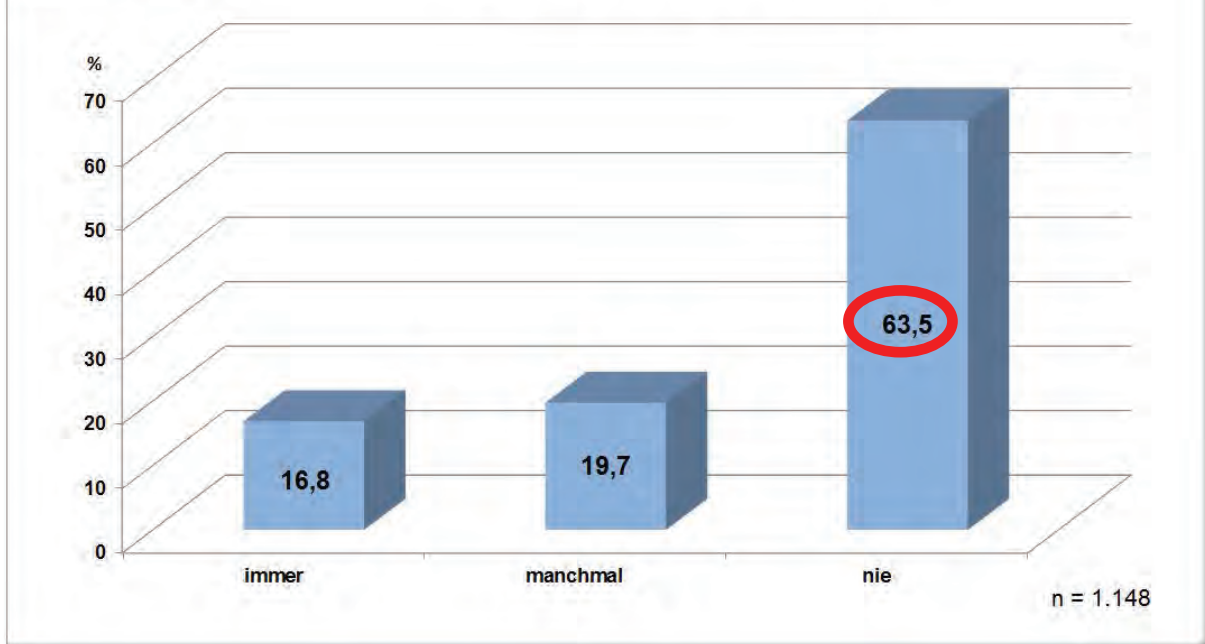


Abb. 20

Der Kreuzvergleich zwischen der Bereitschaft des Fahrlehrers – praktische Übungen selber zu demonstrieren – und der Bewertung seiner Kompetenz im praktischen Unterricht durch den Fahrschüler belegt, dass die Fahrlehrer, die „immer“ oder „manchmal“ Übungen vormachen, besser abschneiden als Ihre Kollegen, die dies nicht tun ( $p < 0,001$ ). Betrachtet man hier die Bewertungsintervalle „sehr gut“ und „gut“ zusammen, so ergibt sich folgende Verteilung:

Übungen vorgemacht:	„immer“	„manchmal“	„nie“
Häufigkeit der Kompetenzbewertung („sehr gut“ + „gut“):	96,8 %	91,0 %	73,0 %

Eine ähnliche Verteilung ergibt sich beim Kreuzvergleich „Übungen vorgemacht – Zufriedenheit des Fahrschülers mit praktischer Ausbildung“ („immer“: 92,6%; „manchmal“: 84,6%; „nie“: 62,7%).

Durch das aktive Verhalten des Fahrlehrers kann also das Vertrauen in ihn gefördert werden, zudem bietet die Möglichkeit seiner praktischen Teilnahme einen guten Weg, die Handlungsabläufe einzelner Übungen gezielt zu demonstrieren. Erkennt der Fahrlehrer anhaltende Schwächen des Fahrschülers, beispielsweise beim Abbremsen mit höchstmöglicher Verzögerung, so kann er dem Fahrschüler anschaulich vormachen, wie stark ein Einspurfahrzeug bisweilen verzögert werden kann.

Denkbar und auch bereits von einigen Fahrlehrern in der Praxis umgesetzt, ist die Möglichkeit der Mitnahme des Fahrschülers als Sozium bei den Übungen. Der Fahrschüler sitzt also beim Fahrlehrer

hinten auf dem Motorrad und kann beispielsweise bei der „Vollbremsung“ live miterleben, was zu tun ist und welche Verzögerung auch mit einem Einspurfahrzeug möglich ist.

### 3.5 Fahrlehrer hat sicheres Kurvenfahren bei Überlandfahrten mit dem Motorrad demonstriert

Im Curricularen Leitfaden der Motorradausbildung (S. 45 CL-M) wird speziell zu dieser Frage Auskunft gegeben: „Auch sollte bei einigen Überland- und Autobahnfahrten der Fahrlehrer den Fahrschüler mit einem Motorrad begleiten, um beispielsweise bestimmte Kurvenpassagen vorfahren zu können.“

Leider entspricht auch diese Vorgabe nicht der gängigen Praxis (siehe Abb. 21).

Anders als beispielsweise beim Fahren eines Pkws liegen dem An- und Durchfahren einer Kurve mit einem Motorrad andere Verhaltensmuster zugrunde, die entsprechend intensiv trainiert werden müssen.

In 27,5 Prozent der Fälle, also nur bei etwas mehr als einem Viertel der Fahrschüler, hat der Fahrlehrer das Fahren von Kurven demonstriert. In 72,5 Prozent der Fälle hat er dies nicht getan.

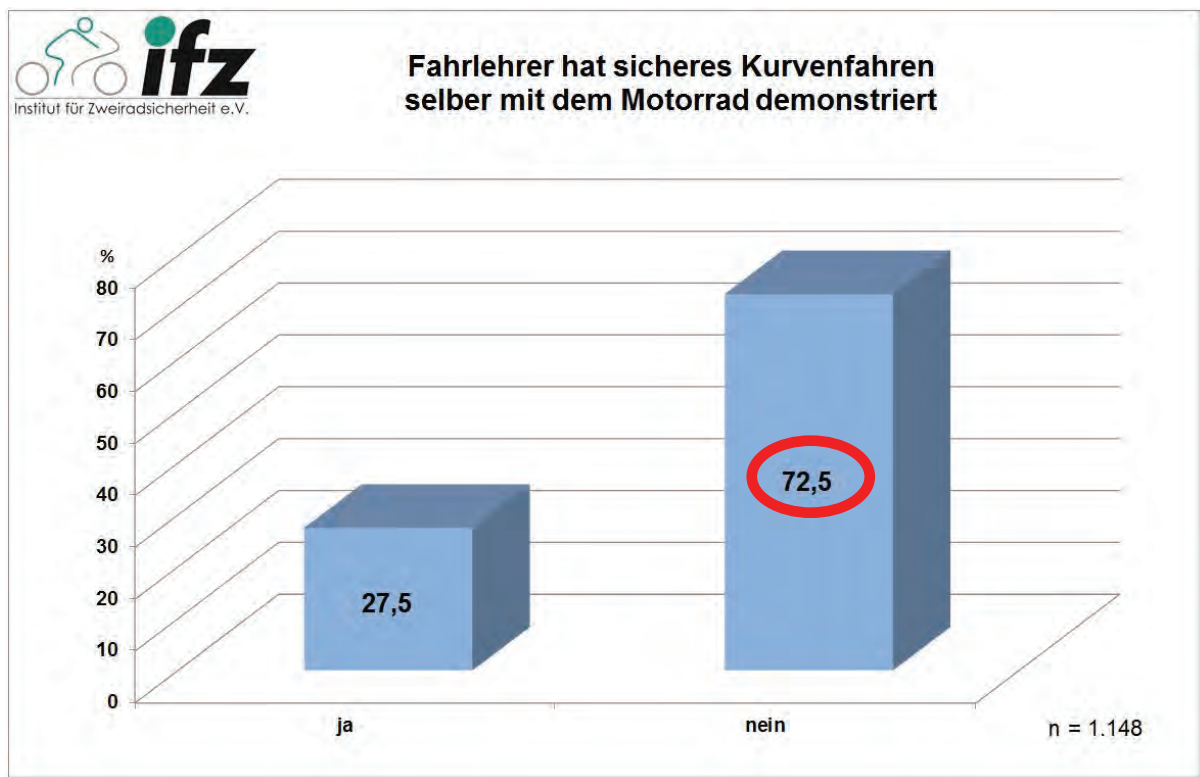


Abb. 21

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Der Kreuzvergleich zwischen der Bereitschaft des Fahrlehrers – sicheres Kurvenfahren durch Vorfahren zu demonstrieren – und der Bewertung seiner Kompetenz im praktischen Unterricht durch den Fahrschüler belegt, dass die Fahrlehrer, die das Kurvenfahren vorgemacht haben, besser abschneiden als Ihre Kollegen, die dies nicht tun ( $p < 0,001$ ). Betrachtet man hier die Bewertungsintervalle „sehr gut“ und „gut“ zusammen, so ergibt sich folgende Verteilung:

Kurvenfahrt demonstriert:	„ja“	„nein“
Häufigkeit der Kompetenzbewertung („sehr gut“ + „gut“):	97,7 %	73,9 %

Eine ähnliche Verteilung ergibt sich auch beim Kreuzvergleich „Kurvenfahren demonstriert – Zufriedenheit des Fahrschülers mit praktischer Ausbildung“ („ja“: 94,6%; „nein“: 64,0%).

Durch das aktive Verhalten des Fahrlehrers kann also das Vertrauen in ihn gefördert werden, zudem bietet diese Möglichkeit den besten Weg, die Handlungsabläufe während einer Kurvenfahrt gezielt zu demonstrieren.

Auch hier ist die Möglichkeit der Mitnahme des Fahrschülers als Sozios denkbar. Der Fahrschüler sitzt also beim Fahrlehrer hinten auf dem Motorrad und kann das An- und Durchfahren der Kurve sowie das Herausbeschleunigen direkt „in Perfektion“ miterleben und verinnerlichen. Dazu kann diese Variante hilfreich sein, dem Fahrschüler Schräglage näherzubringen. Bei vorhandener Angst vor – oftmals notwendiger – vermehrter Schräglage, stellt das Zusammenfahren eine willkommene Gelegenheit, zu zeigen, was ein Einspurfahrzeug „sicher kann“.



## 4 Theoretetest: Wissen der Teilnehmer

Um einen Einblick in das fachspezifische theoretische Grundwissen der Teilnehmer zu bekommen, wurden stichprobentypisch drei Fachfragen in den Fragenkatalog eingebunden. Es handelt sich hierbei um Fragen zu drei zentralen und wichtigen Bereichen des Motorradfahrens:

Bremsen (A.), Schräglage (B.) und Kurvenfahren (C.).

### A. Bremskraftverteilung

Die Frage zum Thema Bremsen befasst sich konkret mit der Bremskraftverteilung. Beim Bremsvorgang eines Motorrads verlagert sich aufgrund der Massenträgheit mit zunehmender Verzögerung die Last auf das Vorderrad. Das Hinterrad wird entsprechend entlastet. Man spricht hier von der dynamischen Radlastveränderung. Wer diese Tatsache kennt, wird besser verstehen, warum das Hauptaugenmerk beim Verzögern eines motorisierten Zweirades auf der Vorderradbremse liegen muss.

Folgende Frage wurde dazu gestellt: *Nennen Sie bei einer Vollbremsung **auf trockenem und griffigem Asphalt** die prozentuale Verteilung der Bremskraft bezogen auf Hinter- und Vorderrad.*

Einschlägige Fahrschulmedien vermitteln hier im Rahmen einer Vollbremsung ein Verhältnis von 20:80. Dies bedeutet, dass das Hinterrad bei einer Vollbremsung durchschnittlich 20 Prozent und das Vorderrad 80 Prozent der Bremskraft überträgt.

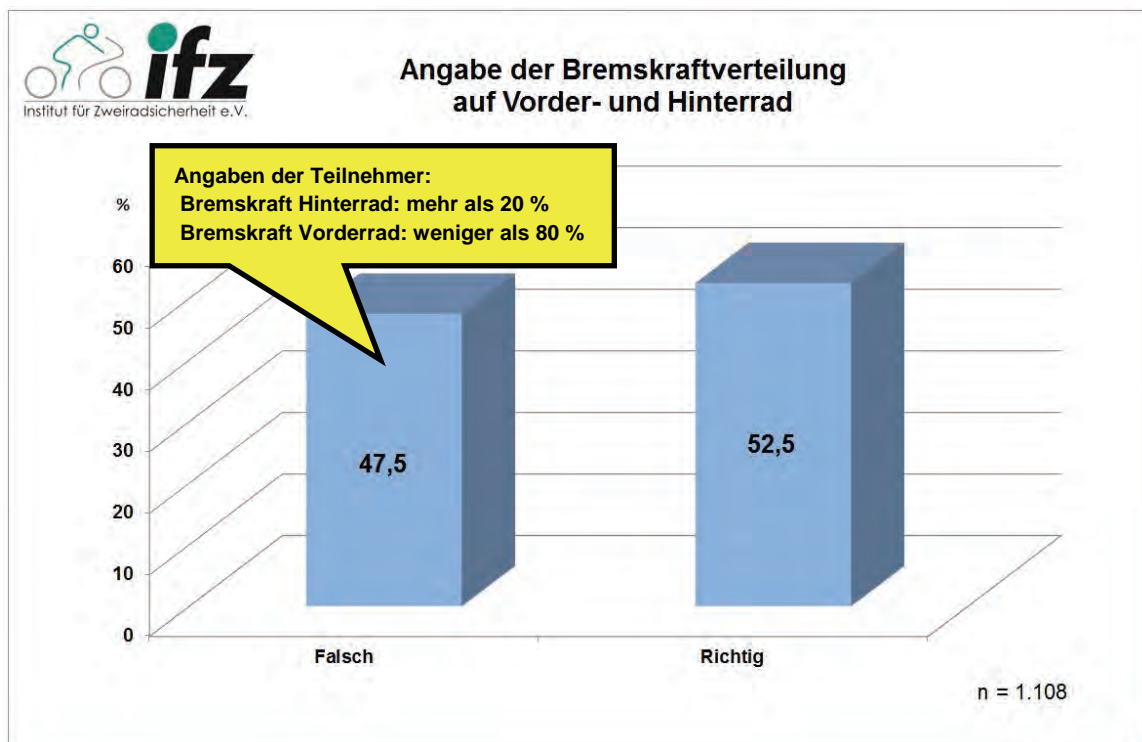


Abb. 22

Unter Berücksichtigung dieses Verhältnisses liegt fast die Hälfte der Befragten (47,5%) falsch (siehe Abb. 22).

Das Bremskraft-Verteilungsverhältnis (hinten zu vorne) von 20:80 ist unseres Erachtens für eine **Vollbremsung auf trockenem und griffigem Asphalt** zu hinterradlastig, zumal bei der Frage ein Motorrad vom Typ „Allrounder/Naked Bike“ abgebildet war. Würde man bei dem Motorradtyp von einem Chopper ausgehen, so könnte diese Verteilung noch als richtig angesehen werden.

Setzt man realistischere Werte an, die bei einer Vollbremsung der meisten Krafträder gelten, beispielsweise nur 15:85, lägen sogar annähernd 80 Prozent der Befragten daneben!

Hinsichtlich der Altersklassen und auch innerhalb derer sind bei den Antworten dieser Wissensabfrage keine Unterschiede festzustellen.

Sicherlich wird es gute Fahrer geben, die entsprechend gut bremsen können und trotzdem nicht in der Lage sind, diese Frage richtig zu beantworten. Dennoch ist es unumstritten, dass das Wissen um die Bremskraftverteilung ein durchaus ausschlaggebender Faktor ist, wenn es darum geht, ein Motorrad im Ernstfall möglichst schnell bis zum Stillstand zu verzögern. Wer weiß, dass die Vorderradbremse beim Bremsvorgang dominierend ist, wird auch im Handlungsablauf einen Schwerpunkt darauf legen.

## B. Schräglage

Bei der Frage zum Thema Schräglage geht es um die Faktoren, die einen Einfluss auf die Neigung des Motorrades bei der Kurvenfahrt haben:

*Wovon ist die Schräglage beim Motorradfahren bei vorgegebenem Kurvenradius abhängig?*

Vorgegeben waren acht Antworten, von denen vier richtig sind. Mehrfaches Ankreuzen war hier dementsprechend möglich.

Vorgegebene Antwortmöglichkeiten:

- Geschwindigkeit
- Reifenbreite
- Schwerpunkthöhe
- Motorradgewicht
- Hubraum
- Leistung
- Straßenbelag
- Radstand

Die vier richtigen Antworten sind deutlich am häufigsten ausgeprägt (siehe Abb. 23). Als positives Ergebnis kann festgehalten werden, dass 99,0 Prozent der Befragten die Geschwindigkeit als einen beeinflussenden Faktor für die Schräglage ansehen. Unsinnige Antwortmöglichkeiten wie Hubraum oder Leistung wurden nur relativ selten angekreuzt, was ebenfalls als positiv zu werten ist.

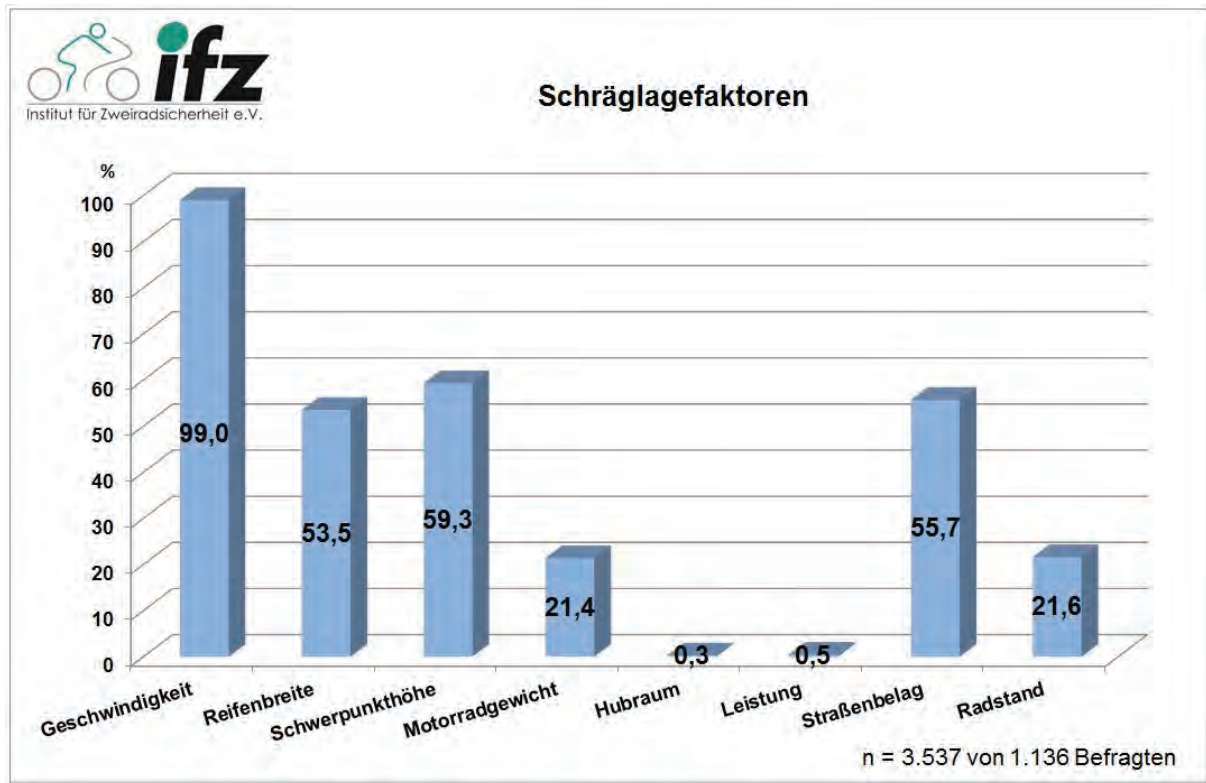


Abb. 23

Um dieses Ergebnis weiter einzugrenzen, zeigt die folgende Abbildung 24 die Gruppierungen nach der Anzahl richtiger Antworten. Bei der Auswertung wurde folgender Bewertungsschlüssel verwendet:

*Alles richtig* = Alle vier richtigen Antworten angekreuzt, darüberhinaus keine Fehlangebe.

*3 von 4 richtig* = Drei der vier richtigen Antworten angekreuzt, darüberhinaus keine Fehlangebe.

*2 von 4 richtig* = Zwei der vier richtigen Antworten angekreuzt, darüberhinaus keine Fehlangebe.

*1 von 4 richtig* = Eine der vier richtigen Antworten angekreuzt, darüberhinaus keine Fehlangebe.

Nur 8,5 Prozent des Kollektivs haben alle vier richtigen Lösungen nennen können, 36 Prozent hingegen haben falsche Antworten gegeben (ggf. mit richtigen Antworten kombiniert). Würde man einen durchschnittlichen Schulnotenspiegel anlegen, bei dem 50 Prozent der richtigen Antworten mit einem „ausreichend“ benotet werden, hätten 22,5 Prozent der Teilnehmer ein „ausreichend“. Insgesamt hätten somit 55,8 Prozent der Teilnehmer zwischen „sehr gut“ und „ausreichend“ abgeschnitten. Die restlichen 44,2 Prozent wären „mangelhaft“ und „ungenügend“.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Hinsichtlich der Altersklassen sind bei den Antworten dieser Wissensabfrage keine Unterschiede festzustellen.

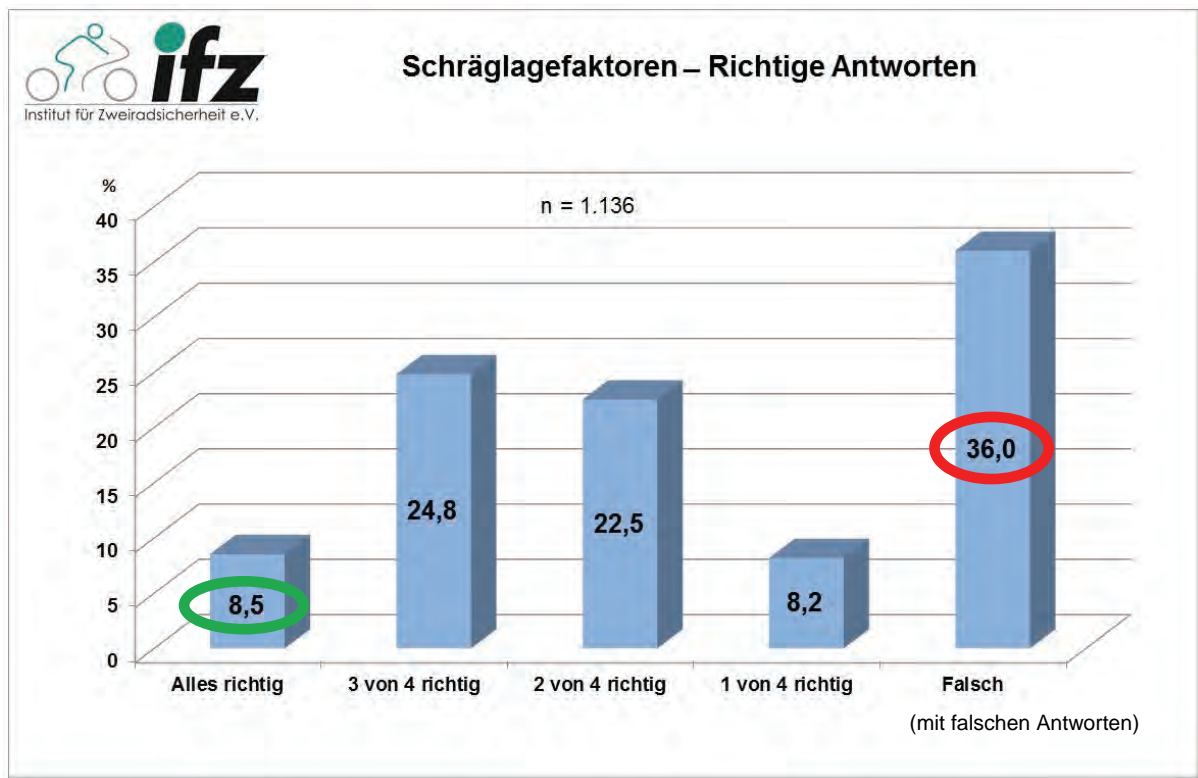


Abb. 24

Genauso wie bei der ersten Frage zur Bremskraftverteilung ließe sich auch hier einwenden, dass ein Motorradfahrer durchaus Schräglage fahren kann, ohne genau zu wissen, welche Einflussfaktoren wirken. Das ist richtig, aber unseres Erachtens nur bedingt. Denn wenn ein Motorradfahrer nicht weiß, dass er bei der gleichen Geschwindigkeit auf einem Motorrad mit breiteren Reifen und niedrigem Schwerpunkt (z. B. einem Chopper) schräger fahren muss als auf einem anderen Motorrad (z. B. Crosser), dann ist das eine Unwissenheit, die eine Gefahr in sich birgt. Genauso gut sollte jeder Motorradfahrer wissen, dass der Straßenbelag einen deutlichen Einfluss auf die maximal zu fahrende Schräglage hat. Gerade noch zufriedenstellend wäre es gewesen, wenn die Faktoren „Geschwindigkeit“ und „Straßenbelag“ jeweils zu 99 Prozent angekreuzt worden wären. Dies war aber nicht der Fall, so dass man leider von deutlichen Wissensdefiziten bei den Motorradfahrern ausgehen muss.

## C. Kurvenfahrt

Bei der dritten Wissensfrage sollten die Teilnehmer sich dahingehend äußern, wie eine Kurvenfahrt eingeleitet wird:

*Durch welche Handlung leiten Sie **überwiegend** eine Kurvenfahrt ein?*

Bei der Fragestellung wurde darauf hingewiesen, dass nur eine Antwort gegeben werden darf, demnach auch nur eine der Antworten richtig ist. Zudem war das Wort „überwiegend“ in der Frage fett dargestellt. Es wurde also hervorgehoben, dass andere der genannten Faktoren Einfluss haben können, aber nicht ausschlaggebend sind.

Vorgegeben waren vier Antworten, von denen eine richtig ist.

Vorgegebene Antwortmöglichkeiten:

- Gewichtsverlagerung
- Schenkeldruck
- Rastendruck
- Lenken

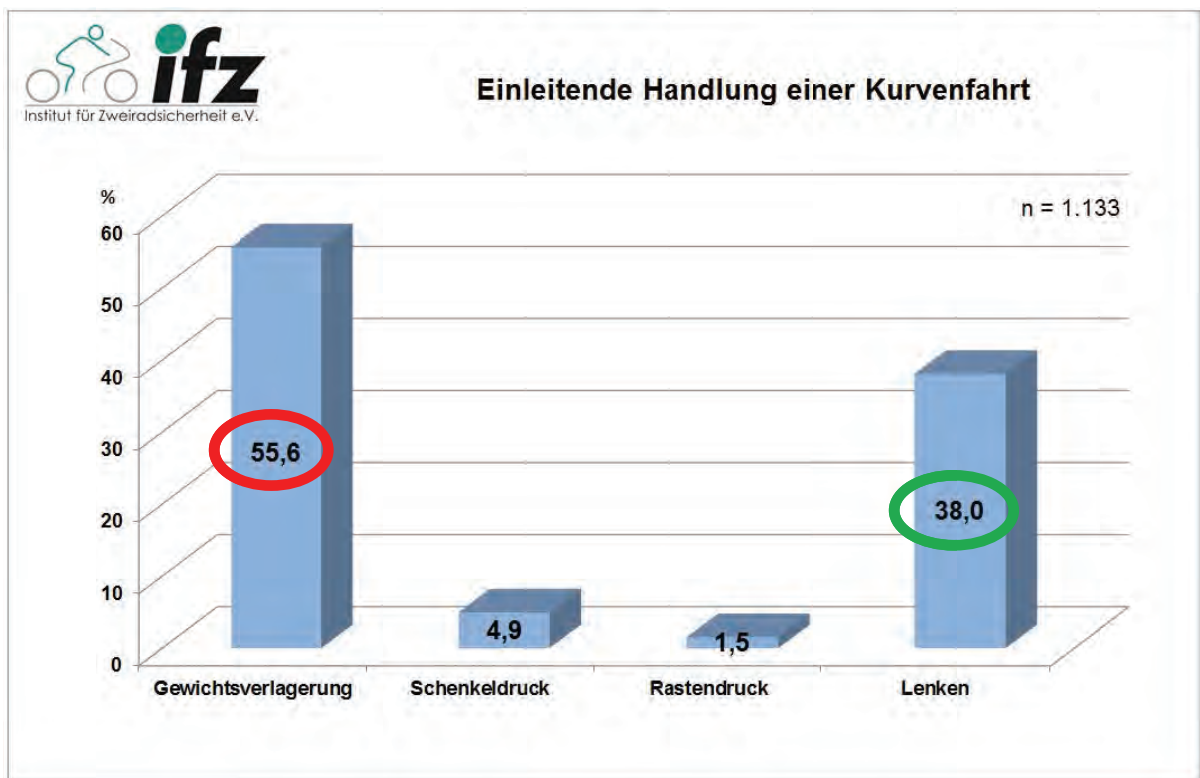


Abb. 25

55,6 Prozent der Befragten sind der Meinung, dass die Verlagerung des eigenen Gewichts auf dem Motorrad überwiegend eine Kurvenfahrt einleiten würde (siehe Abb. 25). 4,9 Prozent meinen, es sei der Schenkeldruck, 1,5 Prozent tippen auf den Druck über die Fußrasten. Immerhin 38 Prozent kommen zu der richtigen Lösung, dem Lenken.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Es liegen keine besonderen Auffälligkeiten innerhalb des Geschlechtervergleichs vor, obwohl die weiblichen Teilnehmer die korrekte Antwort etwas häufiger nennen (42,1% zu 37,4%; nicht signifikant).

Hinsichtlich der Altersklassen sind bei den Antworten dieser Wissensabfrage keine Unterschiede festzustellen.

Das Ergebnis dieser Frage ist mit Blick auf das theoretische Wissen der Teilnehmer mehr als nur bemerkenswert. Bemerkenswert, weil nach unserer Auswertung 62,0 Prozent (!) der befragten Motorradfahrer nicht wissen, wie eine Kurvenfahrt bzw. ein Richtungswechsel überwiegend eingeleitet wird. Sicherlich üben viele Motorradfahrer den Lenkimpuls intuitiv aus, aber das Wissen darüber sollte schon vorhanden sein. Denn nur der, der den Lenkimpuls kennt und ihn ausgiebig trainiert hat, wird ihn auch effektiv einsetzen können. Höchstwahrscheinlich ließen sich in diesem Zusammenhang deutliche Abhängigkeiten zum täglichen Unfallgeschehen herleiten. So z. B. auf die Fragen: Warum kommen viele Motorradfahrer von der Fahrbahn ab? Warum fahren viele Motorradfahrer beim Anbremsen von Kurven geradeaus? In der Unfallstatistik wird dieses Fehlverhalten durch „Nicht angepasste Geschwindigkeit“ begründet. Mit der Erkenntnis dieses Unterkapitels kann somit vermutet werden, dass eine der „wahren“ Unfallursachen ein „unzureichender Lenkimpuls“ ist. Diesen richtig zu vermitteln, sollte somit eine der grundlegenden Aufgaben einer Motorrad-Fahrschule sein.

**Zwischenfazit:** Die Frage, ob diese Ergebnisse von annähernd 1.200 Führerscheinabsolventen bzw. bereits teilweise routinierten Motorradfahrern zufriedenstellend sind, lässt sich kurz und knapp mit einem Nein beantworten. Allein diese stichprobenartigen Fragen zu drei sicherheitsrelevanten Bereichen belegen bei einem Großteil des Kollektivs erhebliche Mängel bezüglich ihres Wissens über elementares Motorradfachwissen. Entgegen der Argumentation, dass die Erinnerung über eine ausreichende Behandlung dieser Themen im theoretischen Unterricht schon zu lange zurückkläge, sei an dieser Stelle noch einmal angemerkt, dass das Kollektiv keine Unterschiede bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  hergibt. Also auch die Teilnehmer, die gerade ihren Führerschein absolviert haben, unterscheiden sich nicht von denen, die ihren Führerschein vor Jahren gemacht haben.

Hinsichtlich der Ergebnisse der Wissensfragen A, B und C wurden die Teilnehmer gefragt, ob solche Themen, wie zum Beispiel das Einleiten einer Kurvenfahrt, in der Fahrschule besprochen wurden. Hierauf antworteten 71,0 Prozent der Befragten mit einem „Ja“. 29 Prozent geben an, dass solche Themen nicht behandelt wurden.

Allein vor diesem Hintergrund sind die Ergebnisse der stichprobenartigen Wissensabfrage (Bremskraftverteilung, Schräglage und Kurvenfahrt) für den Lernerfolg während und nach der Fahrschulbildung als negativ zu bewerten, da die Themen in einem Großteil der Fälle behandelt oder zumindest angesprochen wurden.

Bei allen drei Ergebnissen (A, B und C separat betrachtet) lassen sich keine Abhängigkeiten zwischen dem jeweiligen vorhandenen Wissen und dem Alter der Teilnehmer bzw. dem Jahr des Führerschein-erwerbs nachweisen. Auffällig ist jedoch der Zusammenhang zwischen „gesondert durchgeführtem Motorradunterricht“ und dem theoretischen Wissen der Teilnehmer. Betrachtet man die Ergebnisse des vorhandenen Wissens, so lässt sich generell festhalten, dass jene Teilnehmer deutlich besser abgeschnitten haben, deren Fahrschule den zweiradspezifischen Unterricht der Klasse A gesondert angeboten hat (vgl. Kapitel 2.1).

Vertieft man diese Betrachtung und nimmt als zusätzliches Kriterium noch hinzu, ob der Fahrlehrer den jeweiligen Fahrschüler selber mit dem Motorrad begleitet hat, so spricht auch dieses Ergebnis dafür, dass engagierte Fahrlehrer besser ausbilden. Wurde also der klassenspezifische Zusatzstoff der Klasse A gesondert durchgeführt und der Fahrlehrer hat „immer oder manchmal auf dem Motorrad begleitet“, so schneiden die Fahrschüler bei den Wissensfragen zu 42,6 Prozent mit „sehr gut“ und „gut“ ab. Wurden jedoch die Teilnehmer nie mit einem Motorrad begleitet und hatten auch nie einen gesonderten Klasse-A-Unterricht, dann lieferten sie auch nur in 14,1 Prozent der Fälle „sehr gute“ und „gute“ Ergebnisse bei den Wissensfragen.

## 5 Zufriedenheit der Teilnehmer mit ihrer Motorradausbildung

### 5.1 Theoretische Ausbildung

Die Ergebnisse dieses Unterkapitels (5.1) beziehen sich ausschließlich auf den theoretischen Teil der Ausbildung. Das Kapitel spiegelt die **subjektive Meinung** der ehemaligen Fahrlehrer bezüglich ihrer Zufriedenheit wider.

#### 5.1.1 Beurteilung der Kompetenz des Fahrlehrers im theoretischen Unterricht

Der allgemeine Eindruck hinsichtlich der Kompetenz der Fahrlehrer im theoretischen Unterricht ist durchaus positiv. Nahezu 90 Prozent der Fahrlehrer werden mit „sehr gut“ bis „gut“ bewertet. 7,2 Prozent erhalten ein „befriedigend“ und nur 4,1 Prozent werden als „ausreichend oder schlechter“ eingestuft (siehe Abb. 26).

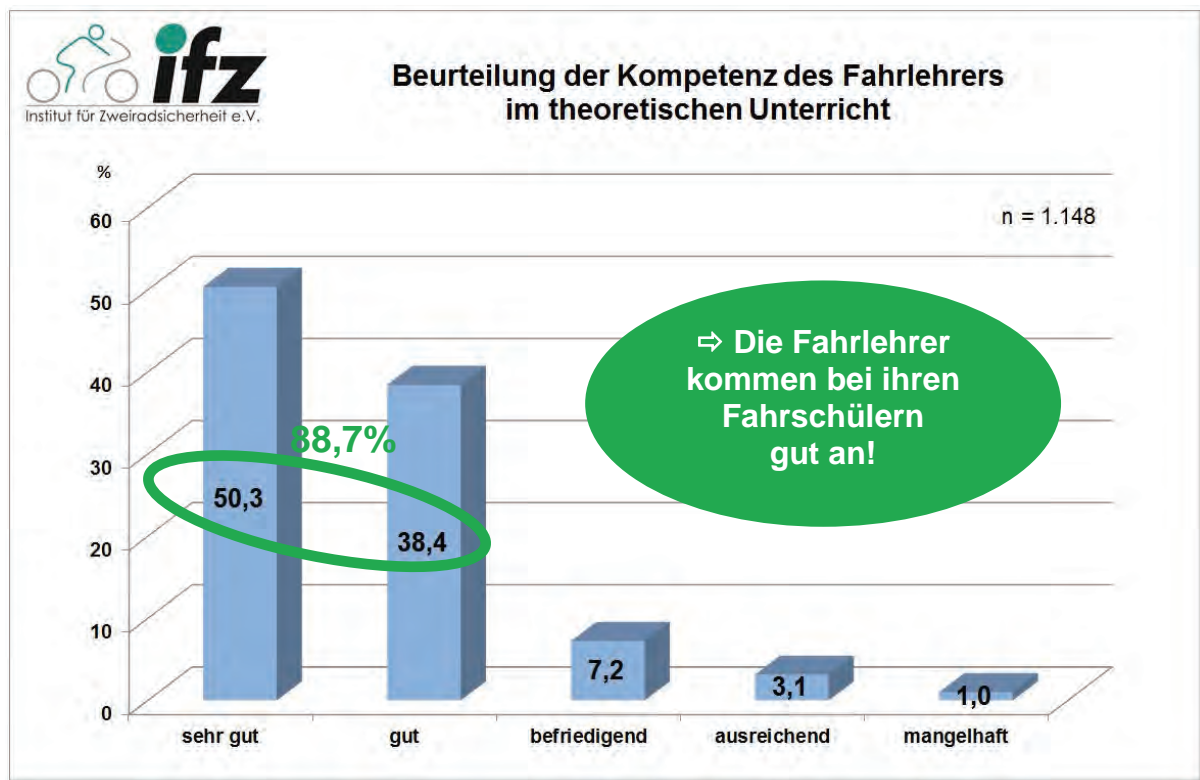


Abb. 26

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.



### 5.1.2 Zufriedenheit mit theoretischer Ausbildung

Neben der Kompetenzbeurteilung wurden die Teilnehmer auch nach ihrer Zufriedenheit mit der theoretischen Motorradausbildung gefragt.

30,5 Prozent aller Befragten vergeben hierbei ein „sehr gut“. 44,6 Prozent bewerten ihre Fahrschul-ausbildung hinsichtlich der Theorie mit „gut“, womit zusammen 75,1 Prozent aller Befragten die Note 1 oder 2 vergeben. Weitere 17,6 Prozent beurteilen ihren Unterricht mit „befriedigend“. 1,9 Prozent beurteilen ihn mit „mangelhaft“, während 5,4 Prozent den theoretischen Unterricht noch „ausreichend“ empfinden (siehe Abb. 27).

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Hinsichtlich des Geschlechtervergleichs bewerten die weiblichen Teilnehmer ihre theoretische Ausbildung etwas positiver. 40,7 Prozent der weiblichen Absolventinnen vergeben die Bewertung „sehr gut“. Im Gegensatz tun dies nur 28,6 Prozent der Männer.

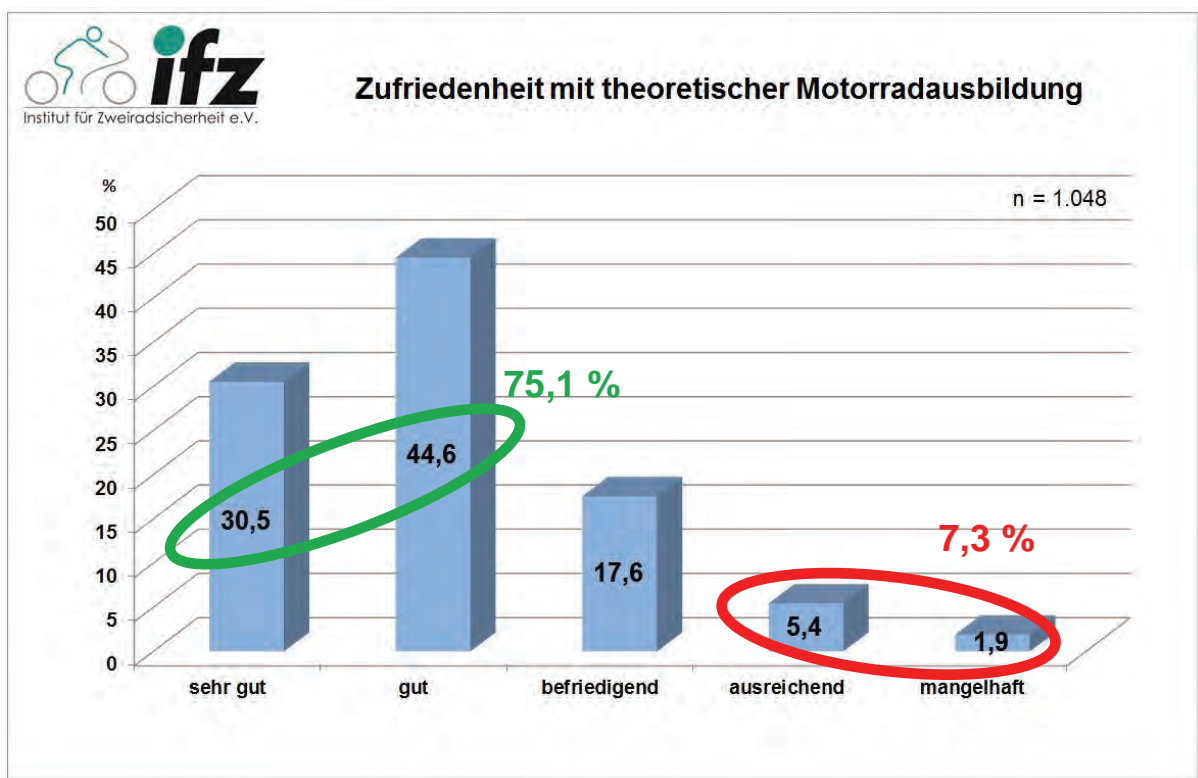


Abb. 27

Das Ergebnis kann durchaus als positiv bezeichnet werden. Zu berücksichtigen bleibt jedoch, dass dieses Ergebnis keinen Rückschluss auf die inhaltliche Qualität der Ausbildung bzw. das Können der Absolventen darstellt. Denn die Zufriedenheit der Fahrschulabsolventen spiegelt in erster Linie die

Differenz ihrer Erwartung an die Fahrschulausbildung und deren Erfüllung wider. Die Erwartung ist in diesem Fall der Wunsch nach der Fahrerlaubnis, die Erfüllung ergibt sich durch das Bestehen der Prüfung(en).

Das vordergründige Ziel, nämlich das Bestehen der Führerscheinprüfung und die damit verbundene Möglichkeit ein Motorrad fahren zu dürfen, ist dadurch erreicht. Sofern keine besonderen „Störfälle“ vorliegen, stellt sich beim Kunden Zufriedenheit ein. Darüber hinaus hat der jeweilige Fahrschüler auch keine Vergleichsmöglichkeit, da er ja nicht in unterschiedlichen Fahrschulen von unterschiedlichen Fahrlehrern ausgebildet wird. Allein aus dieser Erkenntnis sind Bewertungen der Zufriedenheit stets zu hinterfragen.

## 5.2 Praktische Ausbildung

Die Ergebnisse dieses Unterkapitels (5.2) beziehen sich ausschließlich auf den praktischen Teil der Ausbildung. Das Kapitel spiegelt die **subjektive Meinung** der ehemaligen Fahrschüler bezüglich ihrer Zufriedenheit wider.

### 5.2.1 Beurteilung der Kompetenz des Fahrlehrers im praktischen Unterricht

Hinsichtlich des praktischen Unterrichts stellen – ähnlich wie bei der Beurteilung der Kompetenz im Theoriebereich – die beiden Bewertungsbereiche „sehr gut“ und „gut“ mit 83,8 Prozent den Großteil der Antworten dar (siehe Abb. 28). Mit 56,0 Prozent wird die Antwort „sehr gut“ öfter genannt als bei der Bewertung der „Theoriekompetenz“ (50,3%). Dafür wird ein „gut“ nur in 27,8% der Fälle vergeben (Theorie: 38,4%). Beim Vergleich mit der Bewertung der „Theoriekompetenz“ ist eine leichte Gewichtsverlagerung zu beobachten. Die Spitzen sowohl im positiven als auch im negativen Bewertungsbereich sind stärker ausgeprägt. Höchstwahrscheinlich ist die Beurteilung der praktischen Kompetenz des Fahrlehrers für die Teilnehmer mit mehr Emotionen verbunden als die der Theorie.

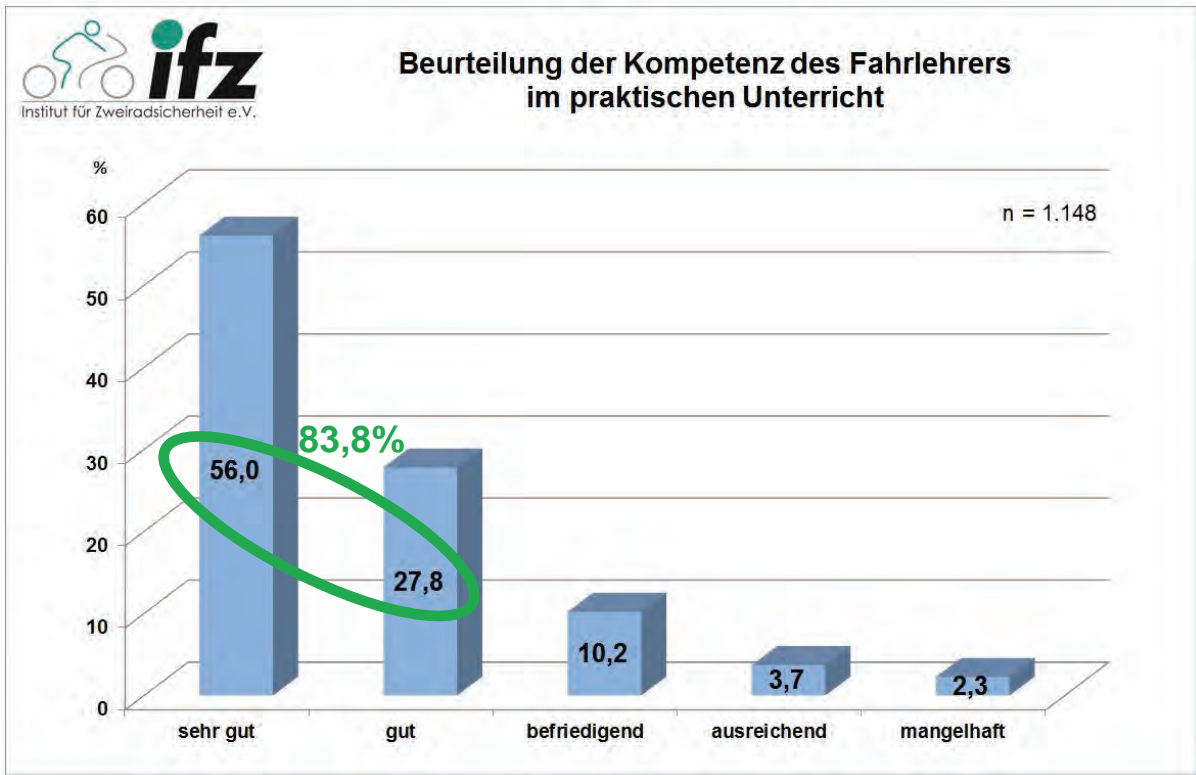


Abb. 28

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

### 5.2.2 Zufriedenheit mit praktischer Ausbildung

Der Blick auf die Beurteilung der Zufriedenheit hinsichtlich der praktischen Fahrschulung zeigt ein ähnliches Bild wie im theoretischen Teil.

75,4 Prozent aller Befragten beurteilen ihre praktische Fahrschulung mit „sehr gut“ bis „gut“ (36,0% „sehr gut“; 39,4% „gut“).

Das restliche Viertel ist weniger zufrieden: 2,9 Prozent vergeben ein „mangelhaft“, während 15,3 Prozent ihren Motorradfahrunterricht als „befriedigend“ und 6,4 Prozent als „ausreichend“ empfinden (siehe Abb. 29).

Der Vergleich der Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt einen positiven Trend. Die Absolventen der letzten drei Jahre ( $F_{neu}$ ) erreichen durch ihre Beurteilung die 80-Prozent-Hürde (sehr gut: ~40%; gut: ~40%).

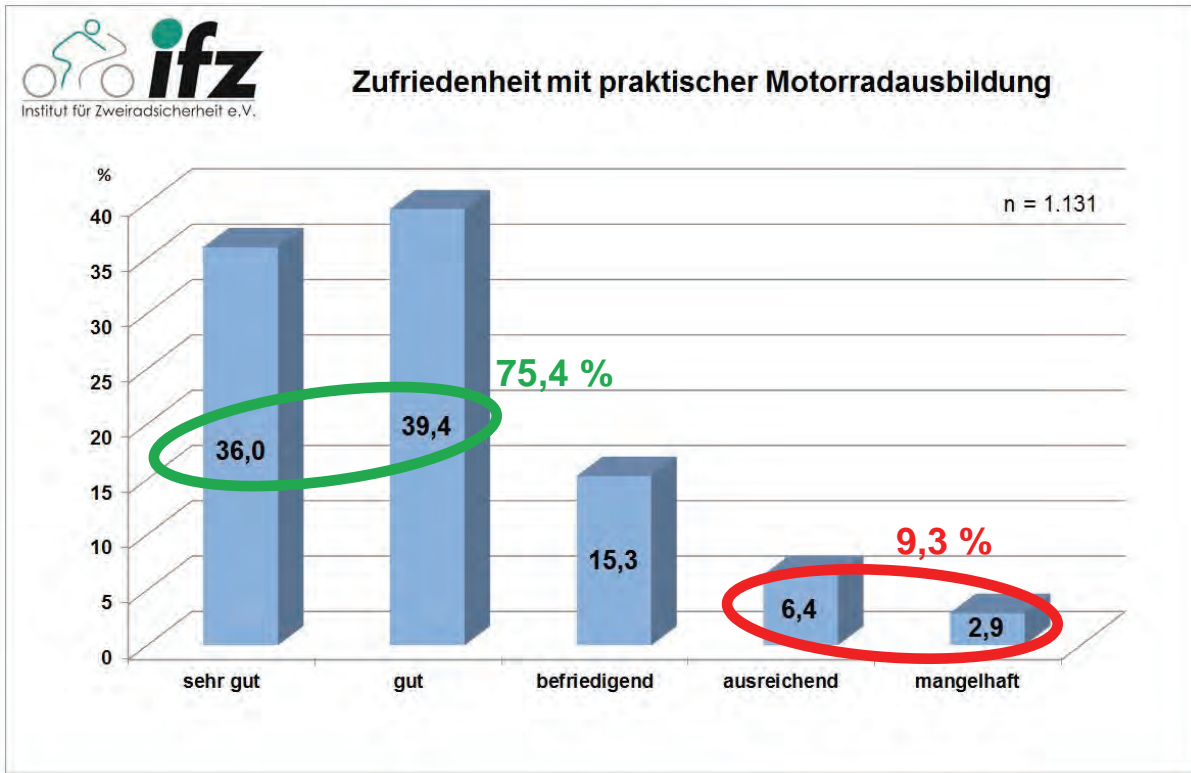


Abb. 29

Gerade noch als signifikant einzustufen ( $p = 0,046$ ) ist auch hier der Vergleich der Antworten bezogen auf das Geschlecht. Die weiblichen Teilnehmer vergeben zu 42,9 Prozent etwas öfter ein „sehr gut“ als die Männer (34,5%). Zu berücksichtigen bleibt aber auch, dass sie etwas öfter ein „ausreichend“ oder „mangelhaft“ vergeben.

### 5.2.3 Sicherheitsgefühl bei erster Fahrt allein nach Prüfung

Auf die Frage, wie „fit“ sich die Teilnehmer nach bestandener Prüfung bei ihrer ersten Fahrt allein im Straßenverkehr fühlten, kommen 21,2 Prozent zur Vergabe der Bewertung „sehr gut“, gefolgt von 48,2 Prozent mit „gut“. Damit erreichen diese beiden Bewertungen zusammen fast 70 Prozent aller Angaben (siehe Abb. 30).

21,0 Prozent können hier ein „befriedigend“ vergeben, was vor dem Hintergrund der Verkehrssicherheit nicht unbedingt überzeugt. Weitere 9,6 Prozent bezeichnen ihre erste Fahrt hinsichtlich des eigenen Könnens im Straßenverkehr als „ausreichend“ bzw. „mangelhaft“.

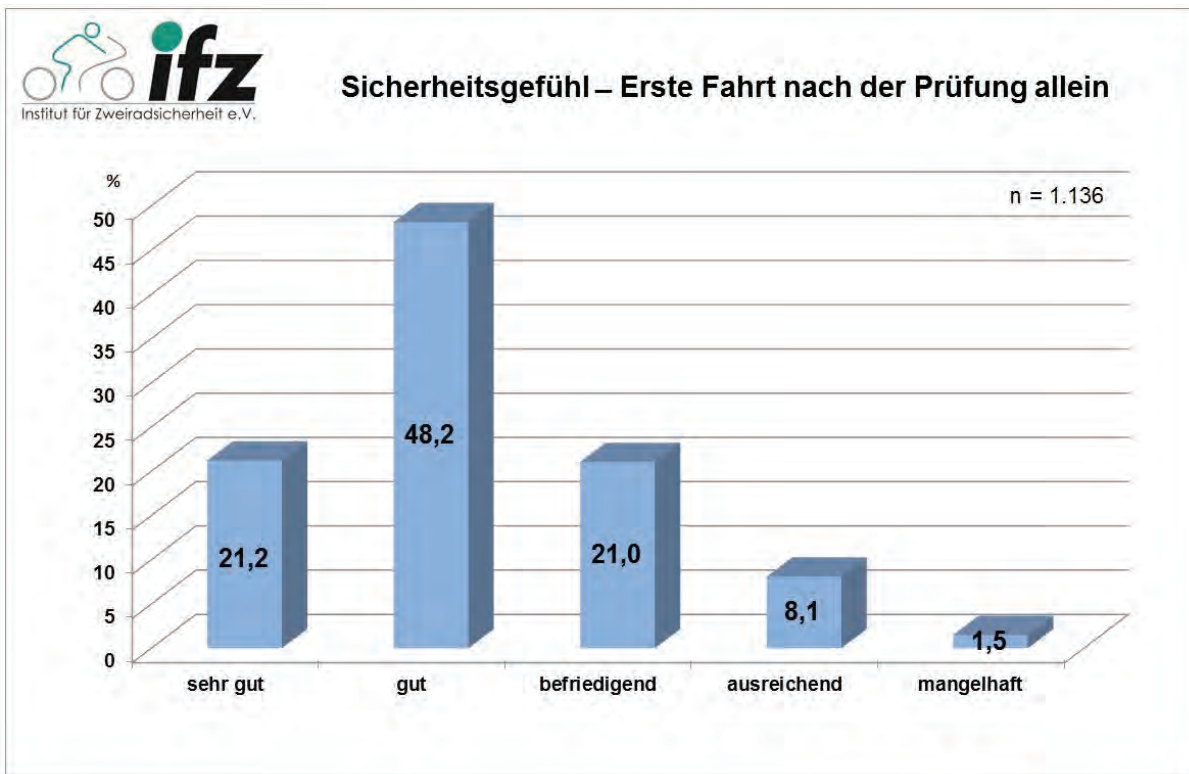


Abb. 30

Anmerkung: Nur auf das Jahr 2010 bezogen (1,3% der Angaben in 2010 „mangelhaft“ und lt. KBA<sup>8</sup> 113.771 erteilte Fahrerlaubnisse der Klasse A), waren somit annähernd 1.500 Motorradfahrer unmittelbar nach bestandener Prüfung im Straßenverkehr unterwegs, die ihr eigenes Fahrkönnen mit „mangelhaft“ bewertet haben.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Interessant ist noch die Tatsache, dass sich Männer bei ihrer ersten Ausfahrt allein nach bestandener Prüfung auf der ganzen Bewertungsebene besser einschätzen als Frauen ( $p = 0,018$ ).

### 5.3 Wiederbesuch der Fahrschule aus heutiger Sicht

Ein ebenfalls interessantes Ergebnis ergibt sich aus der Frage nach dem Wiederbesuch der Fahrschule. 82,0 Prozent der Befragten würden „ihre“ Fahrschule wieder aufsuchen wollen. Dies bedeutet auf der anderen Seite, dass 18 Prozent – also fast ein Fünftel – nicht mehr in dieselbe Fahrschule gehen würden (siehe Abb. 31).

<sup>8</sup> Kraftfahrt-Bundesamt, Fahrerlaubnisse, Fahrerlaubniserteilungen 2010

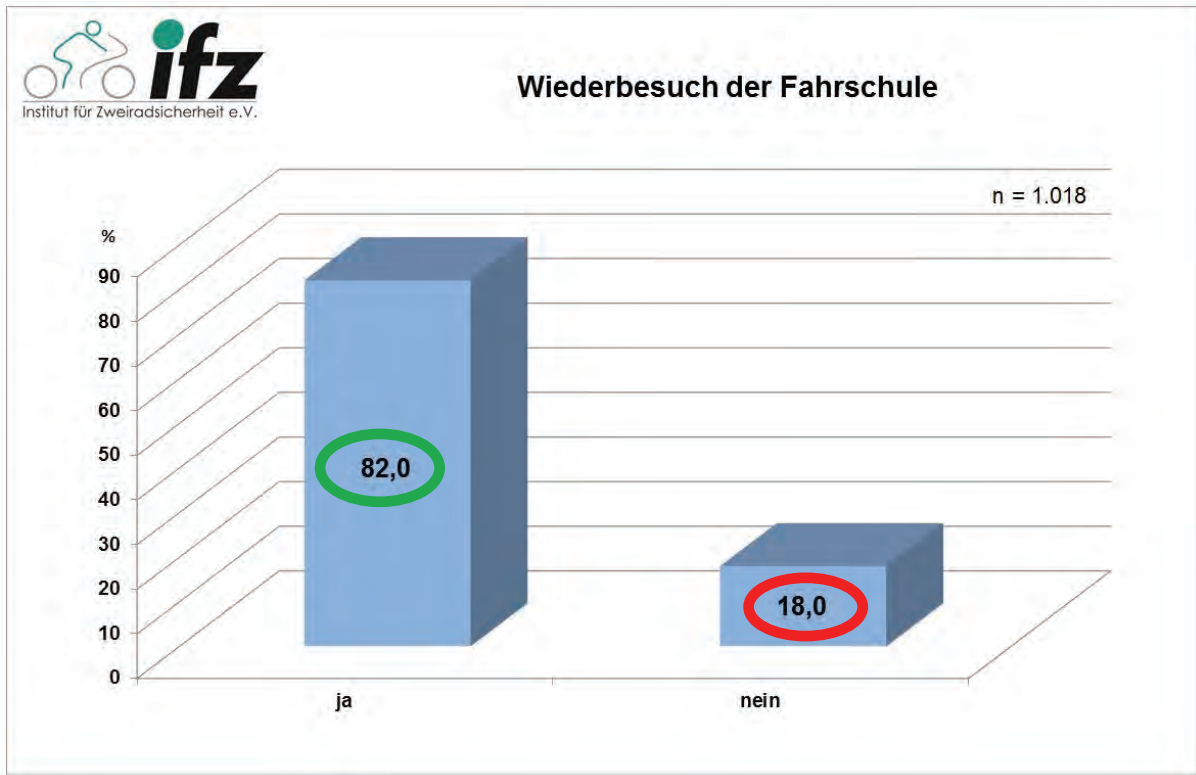


Abb. 31

Was die Zufriedenheit derjenigen Teilnehmer angeht, die sowohl mit ihrer theoretischen als auch praktischen Ausbildung zufrieden waren und darüber hinaus ihre Fahrschule auch wiederbesuchen würden, so sind dies insgesamt 54,7 Prozent aller Befragten.

Die Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigen einen leichten positiven Trend. Betrachtet man hierbei insbesondere die letzten drei Abschlussjahrgänge (2009, 2010 und 2011 =  $F_{neu}$ ), so sinkt die Anzahl der unzufriedenen Absolventen auf 15 Prozent.

Die Gründe derjenigen, die nicht wieder dieselbe Fahrschule besuchen würden, liegen zum einen in der Kompetenz des Fahrlehrers begründet. Die Unzufriedenheit im praktischen Unterricht dominiert hier.

Der weibliche Anteil derjenigen, die nicht wieder in dieselbe Fahrschule gehen würden, überwiegt (Frauen: 24,5% zu Männer: 16,8%;  $p = 0,018$ ).

Hinsichtlich der Teilnehmer, die ihre Fahrschule nicht wiederbesuchen würden, zeigen sich beispielsweise folgende signifikante Zusammenhänge bei der theoretischen und praktischen Ausbildung:

- Der klassenspezifische theoretische Unterricht für die Klasse A wurde nur in 56,3 Prozent der Fälle angeboten. Bei den „Wiederbesuchern“ waren es hingegen 79,1 Prozent.

- Bezüglich der Unterrichtsart überwiegt der Frontalunterricht mit 55,1 zu 31,3 Prozent im direkten Vergleich mit denjenigen, die ihre Fahrschule wiederbesuchen würden.
- Zur Selbstreflexion wurde lediglich in 33,3 Prozent der Fälle angeregt. Bei den „Wiederbesuchern“ wurde dies hingegen bei 75,3 Prozent erörtert.
- Zu ähnlichen Ergebnissen gelangt man beim Kriterium „Mentales Training“. Immerhin ist bei 27,5 Prozent der Teilnehmer, die ihre Fahrschule wiederbesuchen würden, das Thema „Mentales Training“ angesprochen worden. Bei denen, die das nächste Mal eine andere Fahrschule auswählen würden, sind es nur 4,4 Prozent.
- Hinsichtlich der Trockenübungen fällt auch auf, dass Teilnehmer, die ihre Fahrschule nicht mehr wählen würden, in nur 27,5 Prozent der Fälle entsprechend „instruiert“ wurden. Bei den „Wiederbesuchern“ waren es nahezu doppelt so viele mit 54,1 Prozent.
- Mit 43,2 zu 34,4 Prozent begann die erste Fahrstunde der unzufriedenen Teilnehmer – im Vergleich zu den „Wiederbesuchern“ – öfter direkt im Straßenverkehr.
- Absolventen, die ihre Fahrschule nicht wiederbesuchen würden, hätten sich zu 92,4 Prozent einen „aktiven Motorrad-Fahrlehrer“, der sie auch auf einem Motorrad begleitet, gewünscht.

#### 5.4 Verbesserungswunsch hinsichtlich der Zweiradausbildung

Der Fragebogen forderte die Teilnehmer auf, ganz allgemein in Form einer freien Antwort selbständig anzugeben, welche Verbesserungen hinsichtlich der Motorradausbildung in der Fahrschule wünschenswert seien. Zum einen konnten Angaben mit Blick auf den Theorieunterricht, zum anderen auf den praktischen Teil gegeben werden.

##### Zum theoretischen Teil:

Von den insgesamt 1.193 Studienteilnehmern haben hier 723 Personen Stellung bezogen, also 60,6 Prozent des Kollektivs.

An erster Stelle wurde mit einem Anteil von 68,5 Prozent angegeben, dass der Unterricht mehr über Fahrtechnik und Fahrphysik vermitteln sollte (siehe Abb. 32). Unter diesem Oberbegriff wurden Angaben zum Kurvenfahren, zu Bremsvorgängen etc. zusammengefasst.

Ein weiterer Verbesserungsvorschlag hinsichtlich des theoretischen Unterrichts ist das verstärkte Eingehen auf die zweiradspezifischen Risiken sowie deren Vermeidung (55,8%).

Ein weiterer Wunsch (29,8%) liegt darin, dass der theoretische Unterricht nur von Fahrlehrern durchgeführt werden sollte, die auch aktiv Motorrad fahren. Obwohl die Beurteilung der Fahrlehrer bezüglich ihrer Kompetenz durch die Fahrschüler recht gut ausfiel (siehe Kapitel 5.1.1), scheint es doch noch Verbesserungswünsche zu geben.

Unter „Sonstiges“ (13,4%) verbergen sich Angaben zu geringeren Führerscheinkosten etc.

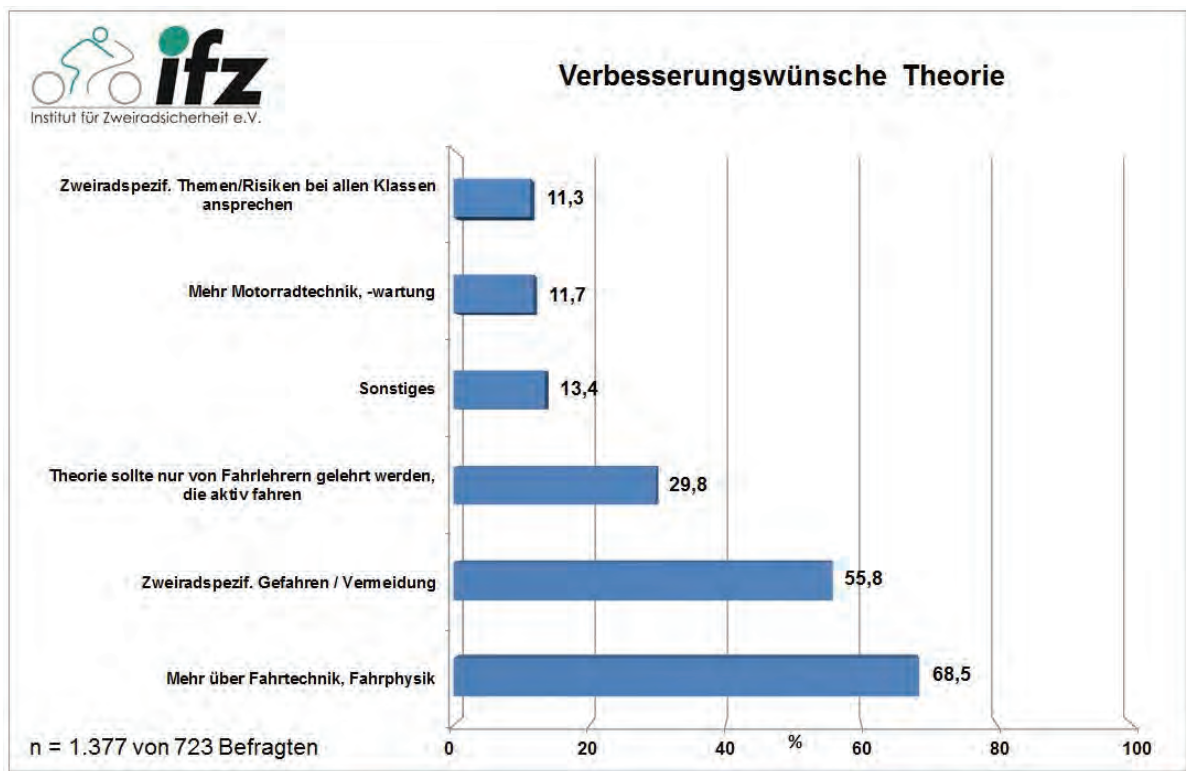


Abb. 32

Neben mehr Informationen zur Motorradtechnik und zu Wartungsangelegenheiten (11,7%) sind 11,3 Prozent der Meinung, dass die Vermittlung zweiradspezifischer Risiken generell im Unterricht aller Fahrerlaubnisklassen vonnöten ist.

Deshalb möchten wir diese Thematik hier noch einmal aufgreifen und genauer erläutern. Die Fahrschulausbildung findet hier die Möglichkeit, alle Verkehrsteilnehmer, also auch die zukünftigen Pkw-, Lkw-Fahrer etc. auf den Verkehrspartner „Motorisiertes Zweirad“ und seine Besonderheiten als schwächeren Verkehrsteilnehmer zu sensibilisieren. Die entsprechenden Ausbildungsinhalte verschiedener Fahrerlaubnisklassen sehen dies auch vor, ebenso wird dies auch umgesetzt. Dennoch scheint es sehr sinnvoll, diese Einwirkungsmöglichkeit verstärkt zu nutzen. Der Großteil der Unfälle zwischen Motorrad und Pkw wird laut Unfallstatistik von den Pkw-Lenkern verursacht. Im Jahr 2010 beispielsweise war bei Motorradunfällen mit einem zweiten Beteiligten in fast 70 Prozent der Fälle der andere Verkehrsteilnehmer der Hauptverursacher. 83 Prozent dieser Verursacher sind Pkw-Fahrer. In der



Regel wird der Motorradfahrer dabei schlicht weg übersehen bzw. falsch eingeschätzt. Grund genug, dies weiterzutragen, vermehrt klassenübergreifend darauf hinzuweisen und Vermeidungs-strategien aufzuzeigen.

Insgesamt decken sich die Wünsche der Teilnehmer mit den Angaben aus Kapitel 2.3. Hier wurde angegeben, welche Bereiche des Unterrichts vertieft werden sollen. Auch hier liegt der Bereich „Fahrtechnik/Fahrphysik“ vorn.

### Zum praktischen Teil:

Von den insgesamt 1.193 Studienteilnehmern haben hier 784 Personen Stellung bezogen, somit 65,7 Prozent des Kollektivs. Vergleicht man diesen Anteil mit dem bei den Verbesserungswünschen im theoretischen Teil, so lässt sich feststellen, dass der praktische Teil häufiger bemängelt wird bzw. häufiger Verbesserungswünsche vorliegen. Auch wurden insgesamt mehr Verbesserungsvorschläge pro Teilnehmer genannt.

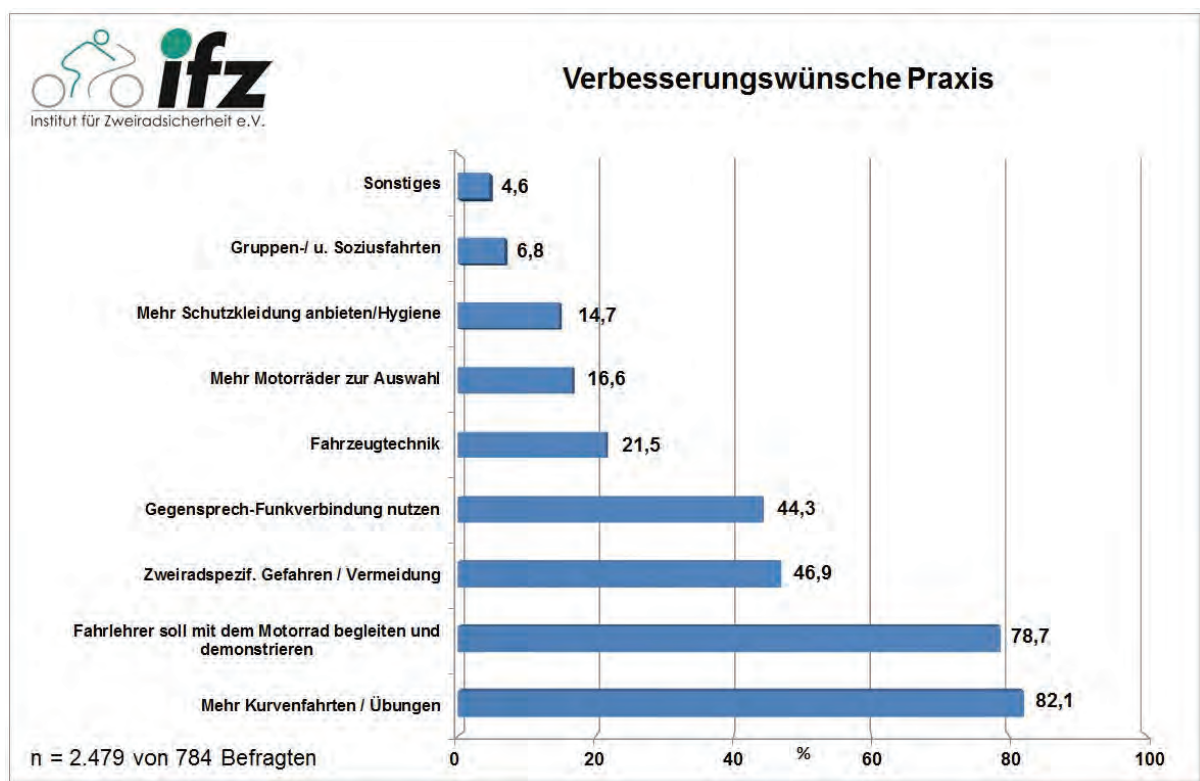


Abb. 33

Die meisten Nennungen mit 82,1 Prozent entfielen auf den Übungsbereich „Kurvenfahrten“ und mit 78,7 Prozent auf den Wunsch nach einer Begleitung des Fahrlehrers mit einem Motorrad bzw. einer häufigeren Begleitung, sofern diese Fahrschüler nur manchmal begleitet wurden (siehe Abb. 33). Unseres Erachtens kann ein Votum nicht deutlicher ausfallen. Deshalb ist es an der Zeit, dass die in der

Fahrlehrerschaft vorherrschende Meinung („es ist völlig egal, mit welchem Fahrzeug begleitet wird“) revidiert wird.

Weitere Verbesserungswünsche sind das Trainieren von Unfall-Vermeidungsstrategien (46,9%), die Benutzung von Gegensprech-Funk (44,3%), damit eine Fahrlehreranweisung vom Fahrschüler auch einmal hinterfragt werden kann sowie eine verbesserte Einweisung in die Fahrzeugtechnik (21,5%). Aber auch die Wünsche nach einer Fahrschulmotorrad-Auswahl (16,6%), einem verbesserten Angebot an Motorradbekleidung (14,7%) und dem Trainieren von Sozios- bzw. Gruppenfahrten (6,8%) wurden genannt.

Der Bereich „Sonstiges“ mit 4,6 Prozent beinhaltet hier Wünsche über Fahrstunden auf dem eigenen Motorrad, Überholmanöver, Anfahren an Steigungen, Aufbocken etc.

## 6 Ausstattung der Fahrschule

Diese Befragung sollte natürlich auch herausfinden, wie die Fahrschulen bezüglich ihres Equipments ausgestattet sind und ob es Unterschiede zwischen den Fahrschulen im Ausstattungsgrad gibt.

### 6.1 Fahrzeug(e)

#### Fahrschulmotorrad:

62,4 Prozent aller Teilnehmer geben an, keinerlei Auswahlmöglichkeit im Rahmen des Fahrschulmotorrades gehabt zu haben, was an dieser Stelle nicht weiter gewertet werden soll. Ein zusätzliches Ausbildungsfahrzeug kann Vorteile – etwa im Bereich verschiedener Sitzhöhen – bieten, ist aber kein grundsätzliches Indiz, das auf eine bessere Ausbildung schließen lässt. Bei den weiteren 37,6 Prozent der Befragten bestand die Möglichkeit, aus mindestens zwei Maschinen auszuwählen. Hierbei zeichnet sich die Tendenz ab, dass Fahrschulen, die ihre Klasse-A-Fahrschüler „immer“ oder zumindest „manchmal“ mit dem Motorrad begleiten, doppelt so häufig eine Auswahlmöglichkeit bieten können, als diejenigen, die „nie“ mit dem Motorrad mitfahren.

Bei bestehender Wahlmöglichkeit wurden die folgenden Kriterien genannt (siehe Abb. 34):

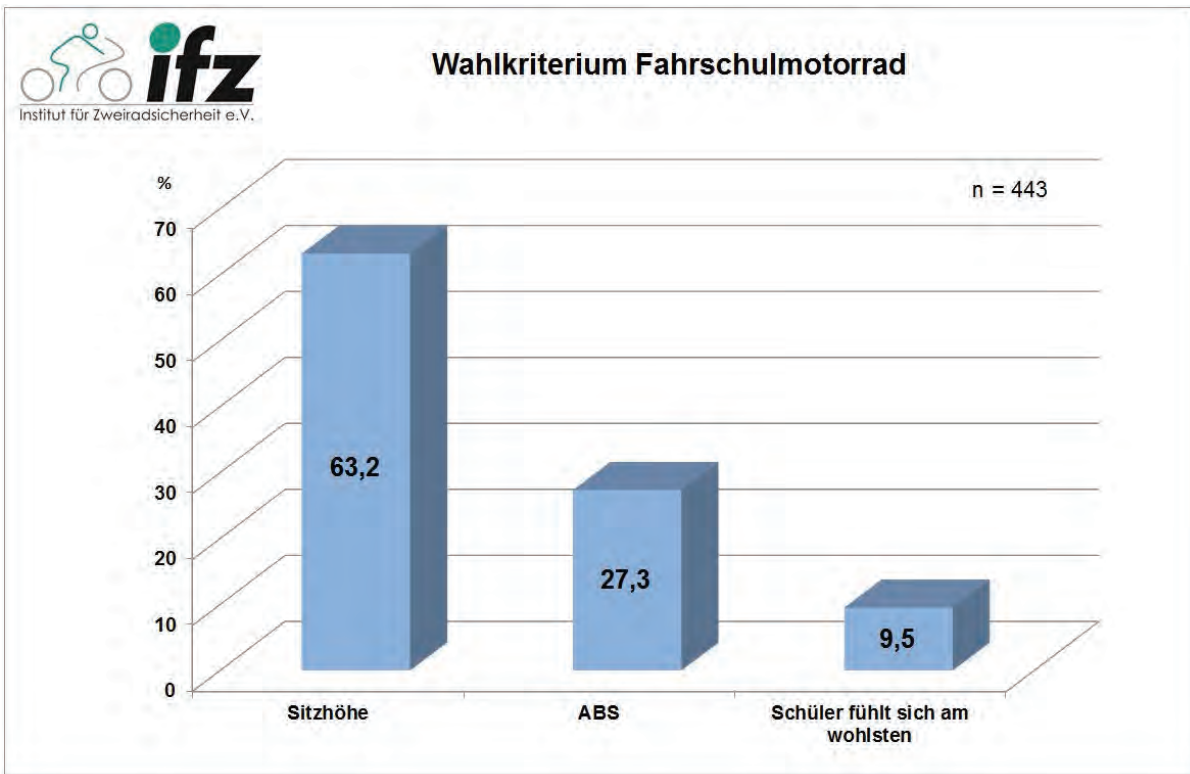


Abb. 34

Meist genanntes Kriterium bei der Fahrzeugauswahl mit 63,2 Prozent ist die Sitzhöhe des Fahrschulmotorrades. Weitere 27,3 Prozent entscheiden sich selber oder aber gemeinsam mit dem Fahrlehrer für ein Fahrschulmotorrad mit einem Antiblockiersystem (ABS). 9,5 Prozent können das Motorrad auswählen, auf dem sie sich ganz einfach am wohlsten fühlen. Alle genannten Punkte erhöhen die sichere Fahrzeugbeherrschung und damit die aktive Sicherheit.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Bezüglich der Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs fällt auf, dass die Teilnehmerinnen zu 53,2 Prozent eine Auswahlmöglichkeit beim Fahrschulmotorrad hatten, die männlichen Kollegen hingegen nur zu 34,5 Prozent ( $p < 0,001$ ). Bemerkenswerterweise zeigt sich diese Verteilung nicht bei den Fahrschul-Auswahlkriterien (vgl. Kapitel 1.3).

#### Bremssystem des Fahrschulmotorrades:

59,8 Prozent der Fahrschulmotorräder sind laut Studienergebnissen mit ABS, also einem Antiblockiersystem, ausgerüstet (siehe Abb. 35). Betrachtet man in diesem Zusammenhang den Vergleichszeitraum  $F_{alt}$ , also die Jahre von 1999 bis einschließlich 2008, waren es hier nur 40,6 Prozent. Mit Blick auf die letzten drei Jahre ( $F_{neu}$ : Absolventen 2009 - 2011), kann hier ein Anstieg auf 73,5 Prozent verzeichnet werden. Nur auf das Jahr 2011 bezogen, sind es sogar 77,1 Prozent. Der Rückblick auf das

Jahr 1999 zeigt, dass damals gerade einmal 10,0 Prozent der Fahrschulmotorräder mit ABS ausgerüstet waren.

Die Entwicklung hinsichtlich der Ausstattung von Fahrschulen mit ABS-Motorrädern ist positiv und wird sich aller Voraussicht nach auch weiterhin in Anlehnung an eine allgemein wachsende Marktdurchdringung von Jahr zu Jahr verbessern.

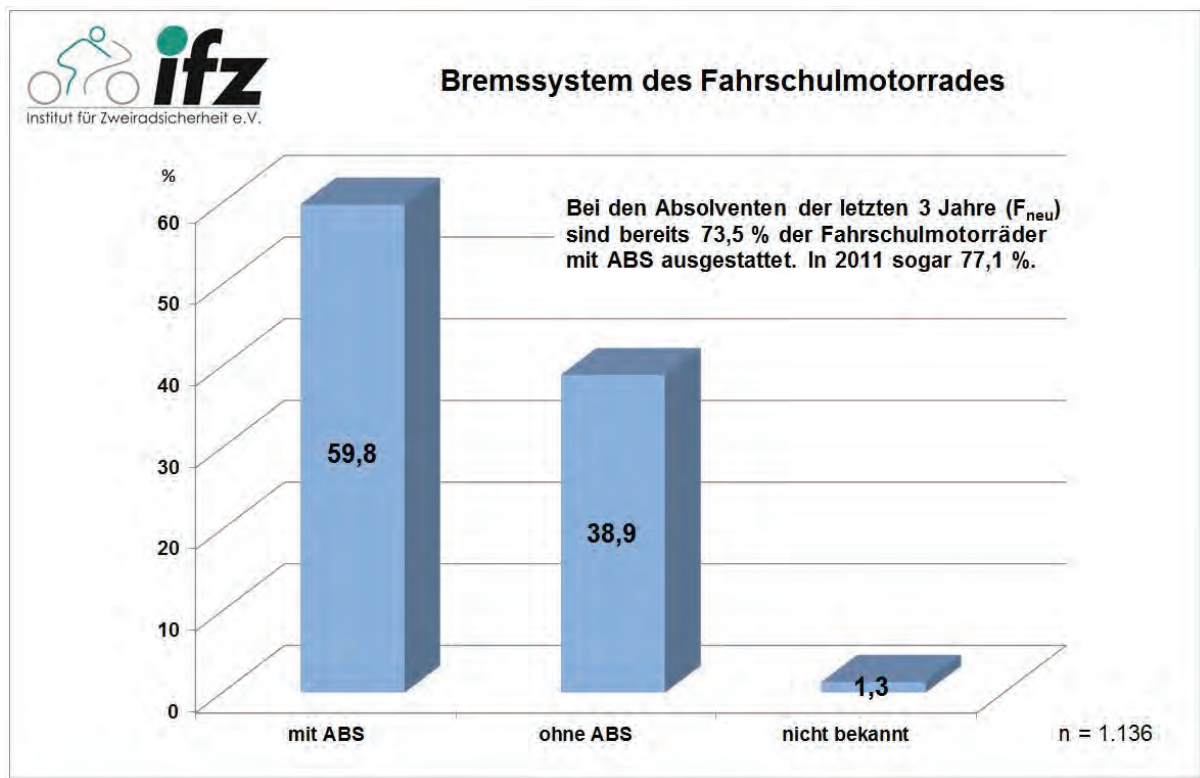


Abb. 35

## 6.2 Sprech- / Funkverbindung

Die Ausstattung des Fahrschülers mit Funk ist gesetzlich vorgeschrieben. Die Fahrschüler-Ausbildungsordnung schreibt dies in § 5, Abs. 9 vor: „Bei der Ausbildung auf motorisierten Zweirädern hat der Fahrlehrer den Fahrschüler zumindest in der letzten Phase der Grundausbildung und bei den Ausbildungsfahrten nach Anlage 4 überwiegend vorausfahren zu lassen. Dabei ist eine Funkanlage nach § 5 Abs. 2 Satz 1 der Durchführungsverordnung zum Fahrlehrergesetz zu benutzen.“

Zudem schreibt die Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV; Fahrerlaubnisprüfung, 2.2.16) für die praktischen Prüfungen ebenfalls mindestens einen einseitigen Führungsfunk vor.

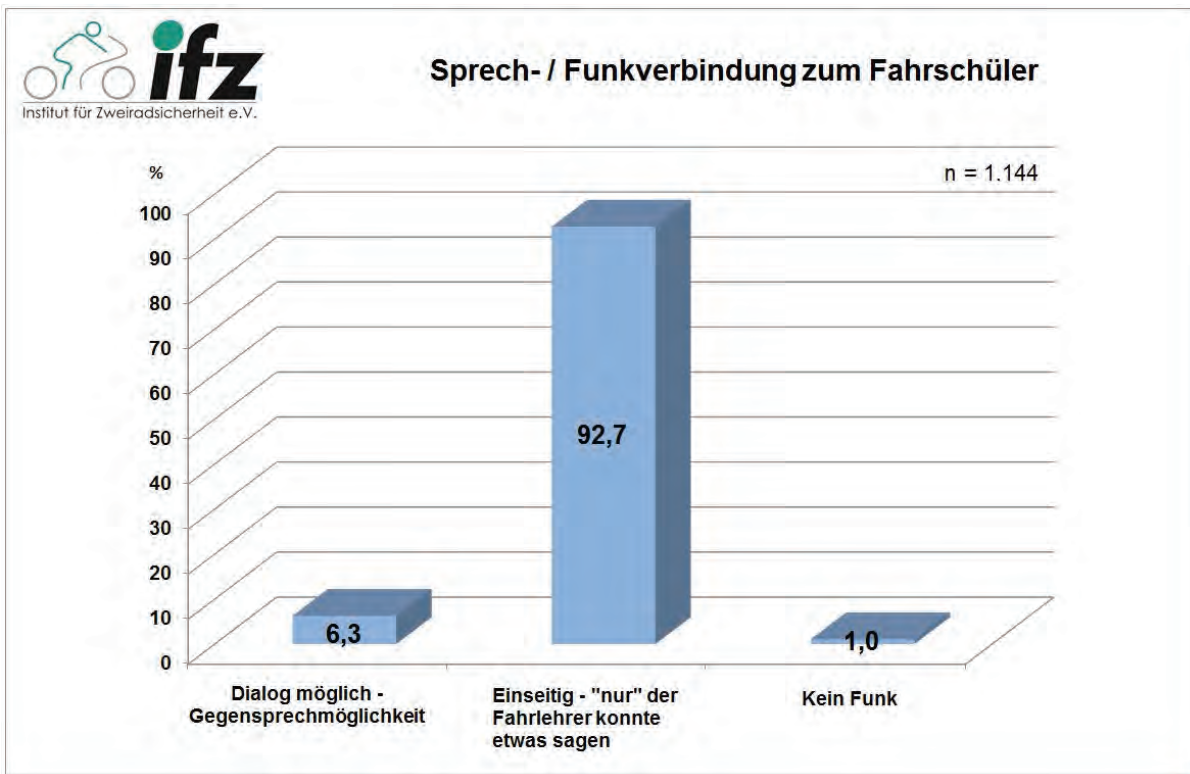


Abb. 36

Entsprechend Abbildung 36 hatte 1,0 Prozent der Befragten nicht die Möglichkeit, über Funk mit dem Fahrlehrer zu kommunizieren. Innerhalb dieser Gruppe hat der Fahrlehrer jedoch in fast 60 Prozent der Fälle seinen Fahrschüler mit dem Motorrad begleitet. Eine weitere Erklärung für diese Ausbildungsfahrten ohne Funk könnte darin bestehen, dass lediglich für die Prüfung Funk eingesetzt und während der Ausbildung darauf verzichtet wurde. Diese Regelabweichung scheint aber die Ausnahme zu sein.

Viel interessanter ist es, welche Art einer Funkverbindung während des praktischen Unterrichts bei den restlichen 99,0 Prozent genutzt wurde.

92,7 Prozent der Befragten wurden während der Fahrstunden über eine einseitige Funkverbindung mit Informationen versorgt. Dies bedeutet, dass „nur“ der Fahrlehrer Angaben per Funk machen kann („Kommandofunk“). Der Fahrschüler ist hier in der passiven „Empfängerrolle“.

6,3 Prozent der Teilnehmer konnten mit dem Fahrlehrer in einen Dialog treten. Interessant ist hierbei der Blick auf die Fahrlehrer, die während der Fahrstunden immer selber mit dem Motorrad mitgefahren sind. Ihr Anteil an einer Dialogmöglichkeit ist mehr als drei Mal so groß wie bei den Kollegen, die nur manchmal oder nie auf dem Motorrad begleitet haben (26,8% zu 7,1%).

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Während der Gesetzgeber Funk zumindest in gewissen Teilen der Motorradausbildung vorschreibt, ist die Art der Funkverbindung (einseitig oder beidseitig) nicht gesetzlich geregelt und bleibt Ermessenssache der jeweiligen Fahrschule bzw. des Fahrlehrers.

Der Curriculare Leitfaden Motorrad liefert zum Thema „Funkausbildung“ folgende Angaben:

Kommunikation während der Fahrt: *„So viel wie nötig – so wenig wie möglich“.*

*„So hilfreich und zielführend die Hinweise des Fahrlehrers auch sein mögen, sind sie doch für den allein handelnden Schüler immer auch eine Störung und Unterbrechung der gerade ablaufenden Überlegungen bzw. Handlungen. Der Einsatz von Funk verlangt also viel Fingerspitzengefühl. Die Anweisungen müssen knapp und klar erfolgen. ... Längere Funkstille kann zu Verunsicherung des Fahrschülers führen. Bei längeren Erläuterungen ist es besser, eine Fahrpause einzulegen und im direkten Gespräch mit dem Schüler die wesentlichen Inhalte aufzuarbeiten.“*

Weiter heißt es:

*„Eine Rücksprechmöglichkeit des Schülers ist zwar grundsätzlich zu begrüßen, allerdings unterliegt sie nur allzu häufig dem Missbrauch durch Rechtfertigungen und sonstigen Ausreden. Die dabei entstehenden gedanklichen Bindungen des Schülers könnten an anderer Stelle fehlen. Die dadurch denkbaren Gefahren sind letztlich nicht durch einen Fahrlehrereingriff zu entschärfen.“*

### Gegensprechmöglichkeit gewünscht (!?)

Das Verlangen seitens der Befragten ist relativ ausgewogen. Fast die Hälfte (48,1%) aller Teilnehmer wünscht sich eine Gegensprechmöglichkeit, also die Möglichkeit zum Dialog. Die andere Hälfte nicht (51,9%).

Was hierbei auffällt: Der Wunsch nach einer Dialogmöglichkeit (Gegensprechanlage) ist bei den Teilnehmern, die dieselbe Fahrschule nicht wiederbesuchen würden, größer. Fast 72 Prozent dieser Gruppe würden „bei einem nächsten Mal“ lieber „mitreden“ können.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Auffälligkeiten bei den Antworten innerhalb des Geschlechtervergleichs liegen ebenfalls nicht vor.

Die Antworten der Teilnehmer sind anteilmäßig ähnlich gelagert wie die Haltungen in den entsprechenden Passagen im Curricularen Leitfaden – nämlich ausgewogen. Obwohl dieser sich hier tendenziell nicht unbedingt für eine Dialogmöglichkeit ausspricht. Sicherlich können im Rahmen dieser Diskussion in vielen Bereichen Argumente für den, aber auch gegen den Einsatz einer

Gegensprehmöglichkeit gefunden werden. In den meisten Punkten stimmt das ifz auch mit den Aspekten aus dem Curricularen Leitfadens überein. Tendenziell sprechen wir uns jedoch für einen „Unterwegsdialog“ unter folgender Berücksichtigung aus:

Der Informationsfluss seitens des Fahrlehrers darf auf keinen Fall zu groß, der jeweilige Schüler also nicht überfordert sein. Eine sinnvolle Herangehensweise besteht darin, den positiven Nutzen der Dialogmöglichkeit dem fahrerischen Können des Schülers anzupassen. Wenn der Fahrschüler in den ersten Stunden noch das „Bedienen“ des Motorrades (Schalten, Schräglage etc.) erlernt und hierbei noch keine „Automatismen“ entwickelt hat, sollte der Dialog spärlicher ausfallen, um keine zusätzliche Ablenkung zu schaffen. Mit fortschreitender Fahrkompetenz kann dies bei Bedarf gesteigert werden.

Außerdem sollte der Fahrlehrer ein Gefühl dafür entwickeln, ob dem jeweiligen Fahrschüler weitere Informationen beim Fahren zugemutet werden können. Die Resonanzen des Fahrschülers, sowohl inhaltlich als auch in ihrer Art und Weise, liefern hier relativ klare Informationen über sein Befinden. Ebenso sollte der Fahrlehrer in der Lage sein, „unpassende“ Kommentare oder Rechtfertigungen des Fahrschülers zugunsten der Verkehrssicherheit abzublocken, wie z. B. in der Pkw-Ausbildung auch.

Eine Dialogmöglichkeit gibt hinsichtlich des Lernfortschritts für den Fahrschüler eine gute Unterstützung, um Fragen direkt stellen zu können, so dass der Fahrlehrer auch direkt kurz darauf eingehen kann. Für längere Ausführungen ist selbstverständlich eine Pause sinnvoller. Ebenso sollte der Fahrlehrer vor Fahrtbeginn mit dem Fahrschüler vereinbaren, dass auch der Fahrschüler eine Pause zwecks Diskussionsbedarfs oder auftretender Fragen einleiten kann, um diese ausführlicher zu besprechen.

### **Warum Gegensprehmöglichkeit?**

In Form einer freien Antwort geben 49,4 Prozent derjenigen, die sich eine Gegensprehmöglichkeit wünschen, als Begründung an, unterwegs fachliche Fragen stellen zu können. 32,8 Prozent möchten Unklarheiten beseitigen (Richtung, Tanken etc.). 17,8 Prozent möchten Anmerkungen des Fahrlehrers direkt kommentieren können (siehe Abb. 37).

### Wunsch nach Gegensprechmöglichkeit – warum?

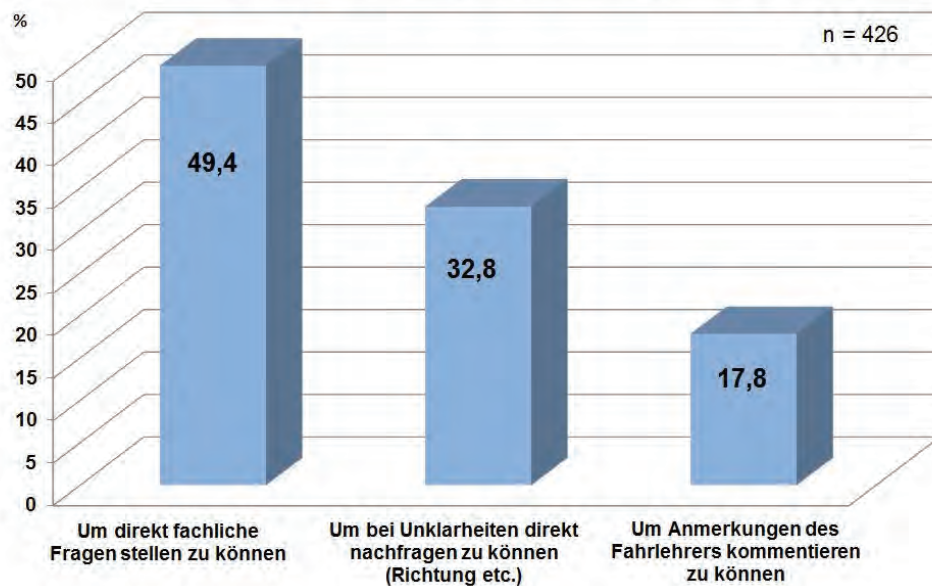


Abb. 37

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten, wie auch der Geschlechtervergleich.

### 6.3 Helm und Bekleidung

(Leih-) Helm der Fahrschule:

Auf die Frage, ob die jeweilige Fahrschule einen geeigneten Motorradhelm zur Verfügung gestellt hat, antworten 72,2 Prozent der Teilnehmer mit einem „Ja“. Demnach steht in 27,8 Prozent der Fälle seitens der Fahrschule kein Motorradhelm für die praktischen Unterrichtseinheiten zur Verfügung (vgl. Abb. 38).



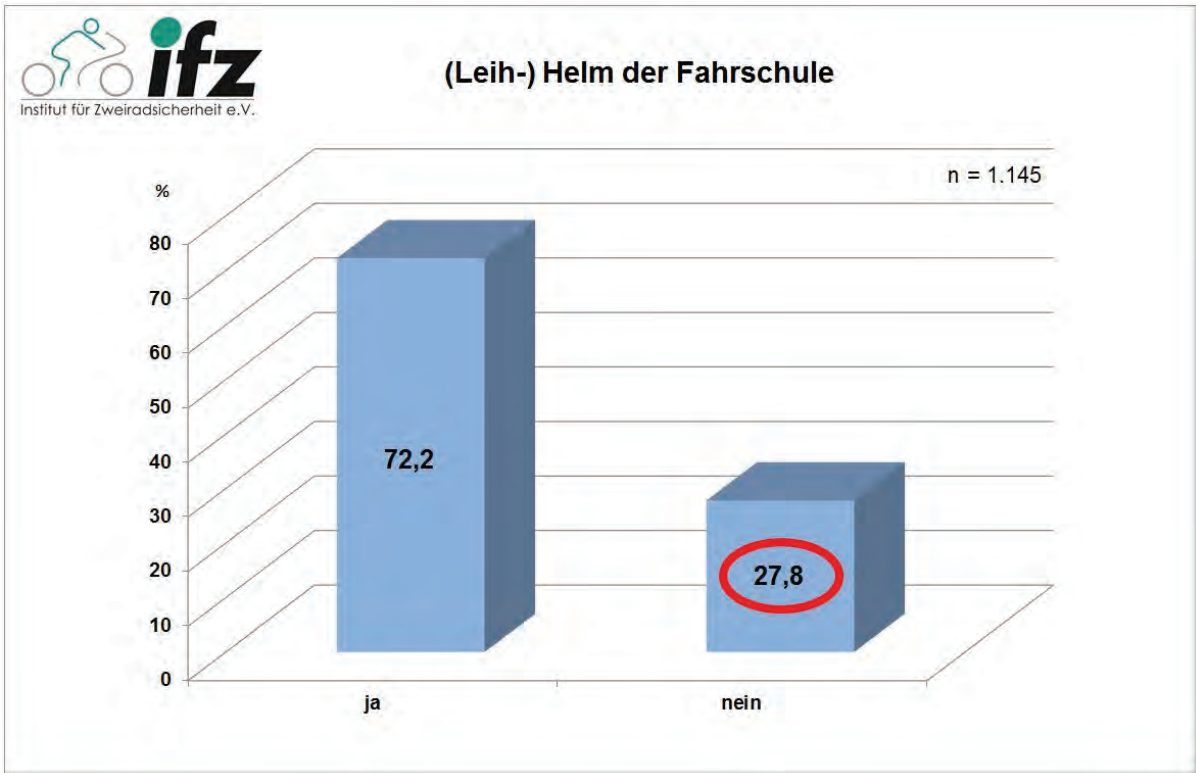


Abb. 38

Diese Zahl könnte sich darin begründen, dass es bei einigen Fahrschulen gängige Praxis ist, dem Fahrschüler direkt zum Kauf eines eigenen Helmes zu raten, den er langfristig sowieso benötigt und gleich von Anfang an im Rahmen seiner Ausbildung nutzen kann. Grundsätzlich spricht auch nichts gegen diese Vorgehensweise. Die Fahrerlaubnis-Verordnung (FeV; Fahrerlaubnisprüfung, 2.2.18) sieht lediglich vor, dass im Rahmen der Zweiradprüfung geeignete Schutzkleidung, u. a. ein Schutzhelm getragen werden muss. Dennoch kann nicht davon ausgegangen werden, dass jedem Fahrschüler gleich zu Beginn seiner Ausbildung der Kauf eines Motorradhelmes zugemutet werden kann. Gegebenenfalls verliert der Bewerber im Laufe der Ausbildung das Interesse, erkrankt, plant erst viel später ein Motorrad zu kaufen, etc. Die Gründe können ganz unterschiedlich gelagert sein. Deshalb sollte eine ordentliche Motorradfahrschule Leih-Helme in den gängigen Größen (siehe nächstes Kapitel) anbieten können.

Um die möglichen Fälle der Nutzung von eigener Ausstattung des Fahrschülers auszuschließen, wurde innerhalb der Fragestellung explizit darauf hingewiesen, dass ein „Ja“ (Fahrschule hat Leih-Helm angeboten) auch für den Fall anzugeben sei, wenn ein eigener, mitgebrachter Helm getragen wurde, ein Fahrschulhelm aber vorhanden war.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

### Fahrschulhelme in verschiedenen Größen:

60,4 Prozent aller Fahrschulen bieten ihren Fahrschülern eine ausreichende Auswahl hinsichtlich der Größe des Helms an (siehe Abb. 39). 33,3 Prozent der Fahrschulen stellen gar keinen Helm oder gar keine Auswahl an Helmen zur Verfügung.

In 6,3 Prozent der Fälle ist eine Auswahlmöglichkeit gegeben, jedoch nicht in ausreichender Form.

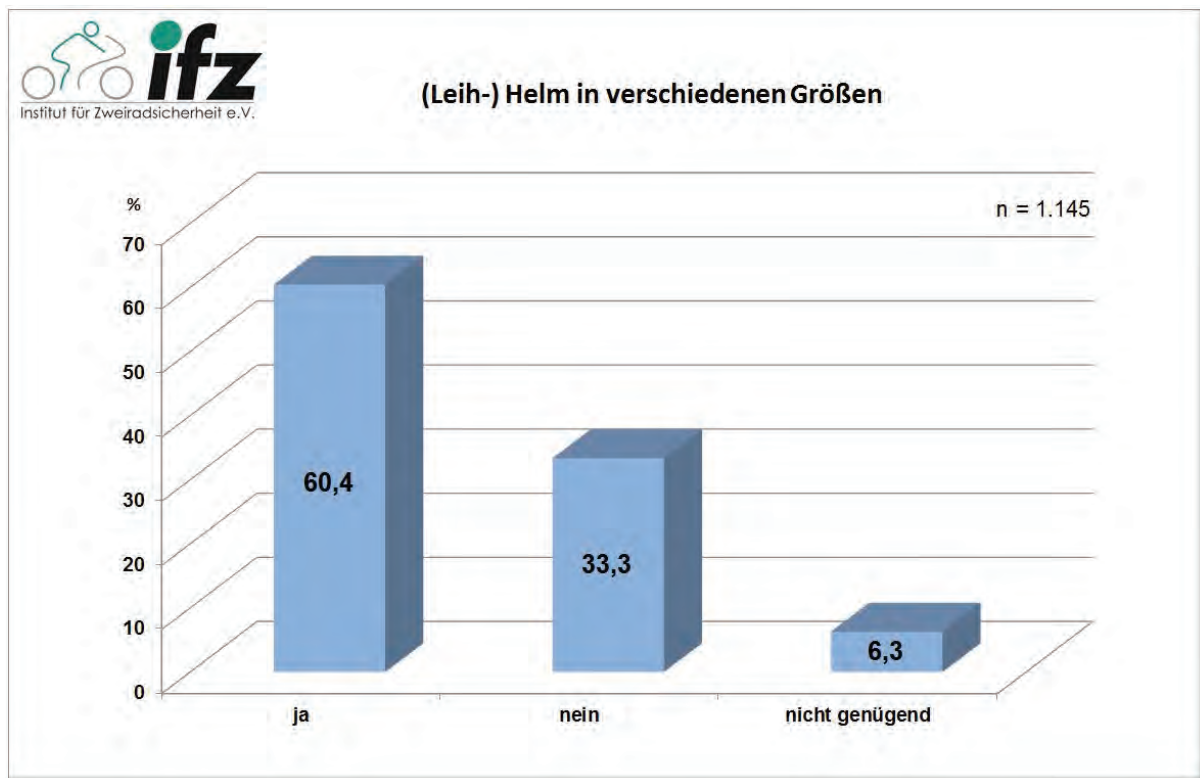


Abb. 39

Nach diesen Ergebnissen sind während der Motorradausbildung nicht einmal zwei Drittel der befragten „Fahrschüler“ mit einem Helm unterwegs, der richtig passt.

Ein zentraler Punkt bezüglich des Sicherheitsgewinns durch das Tragen eines Motorradhelms ist der korrekte Sitz, bedingt durch Form und Größe. Ein zu eng sitzender Helm wirkt sich in der Regel bei längerem Tragen erheblich auf das Wohlbefinden und die Konzentration des Fahrers und damit auf die aktive Sicherheit aus. Ein zu großer Helm bietet im Rahmen der passiven Sicherheit, also bei einem Sturz, keinen ausreichenden Schutz und kann sich sogar vom Kopf lösen. Während der Ausbildung in der Fahrschule müssen dem Fahrschüler genau diese Fakten in Vorbildfunktion erläutert und vorgelebt werden.

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

### Zustand des Fahrschulhelms:

Um den Zustand ihres ehemaligen Fahrschulhelms zu bewerten, konnten die Teilnehmer auf einer Skala von „sehr gut“ bis „mangelhaft“ ihrer Meinung Ausdruck verleihen (siehe Abb. 40).

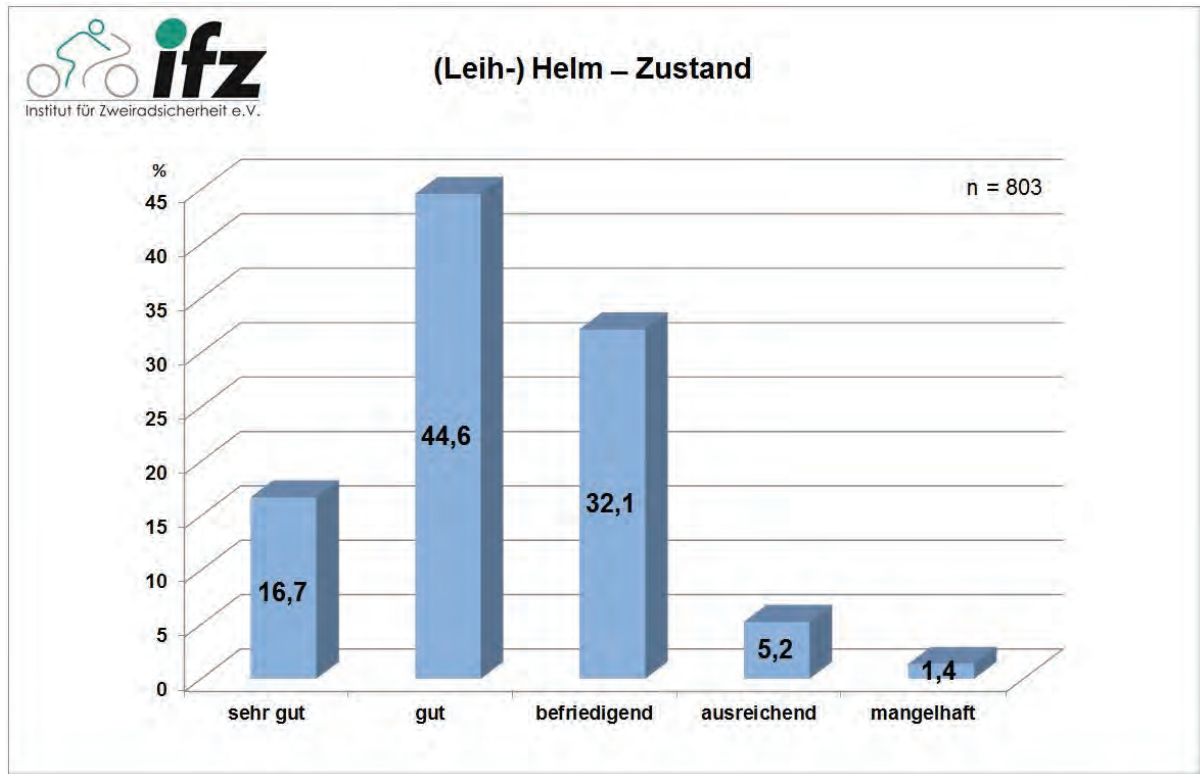


Abb. 40

Bei 93,4 Prozent der Angaben ist der Fahrschulhelm (inkl. des Visiers) in einem Zustand, der mit „sehr gut“ bis „befriedigend“ eingestuft wird.

Interessant ist die Tendenz, dass die Fahrschulen, die ihre Klasse-A-Fahrschüler immer oder zumindest manchmal mit dem Motorrad begleiten, einen höheren Ausstattungsgrad hinsichtlich Helm (und Bekleidung, siehe nächstes Kapitel) vorweisen können, als diejenigen, die nie mit dem Motorrad mitfahren.

### (Leih-) Motorradbekleidung der Fahrschule:

Auf die Frage, ob die jeweilige Fahrschule generell geeignete Motorradbekleidung zur Verfügung stellen konnte, antworten 69,8 Prozent der Teilnehmer mit einem „Ja“. Somit haben 30,2 Prozent der Fahrschulen ihren Fahrschülern keinerlei Motorradbekleidung für die Ausbildung angeboten. Fast ein Drittel der Fahrschüler musste also auf ausreichende Bekleidung seitens der Fahrschule verzichten. Auch im Rahmen dieser Fragestellung wurde explizit darauf hingewiesen, dass die Nutzung eigener

Ausstattung nicht berücksichtigt werden sollte. Es ging also konkret darum, ob die Fahrschule überhaupt einen Ausstattungspool vorhält.

Betrachtet man die Vergleichszeiträume  $F_{\text{neu}}$  und  $F_{\text{alt}}$ , so zeigt sich ein Anstieg bei den Fahrschulen, die Leihbekleidung anbieten, von 11,0 Prozent.

Bei der Frage, welche Bekleidung konkret zur Verfügung gestellt wurde, werden Handschuhe (55,1%), eine geeignete Jacke (57,8%) und Nierengurt (54,8%) etwa gleichrangig genannt. Nur 40,7 Prozent der Befragten wurde eine Motorradhose angeboten (siehe Abb. 41).

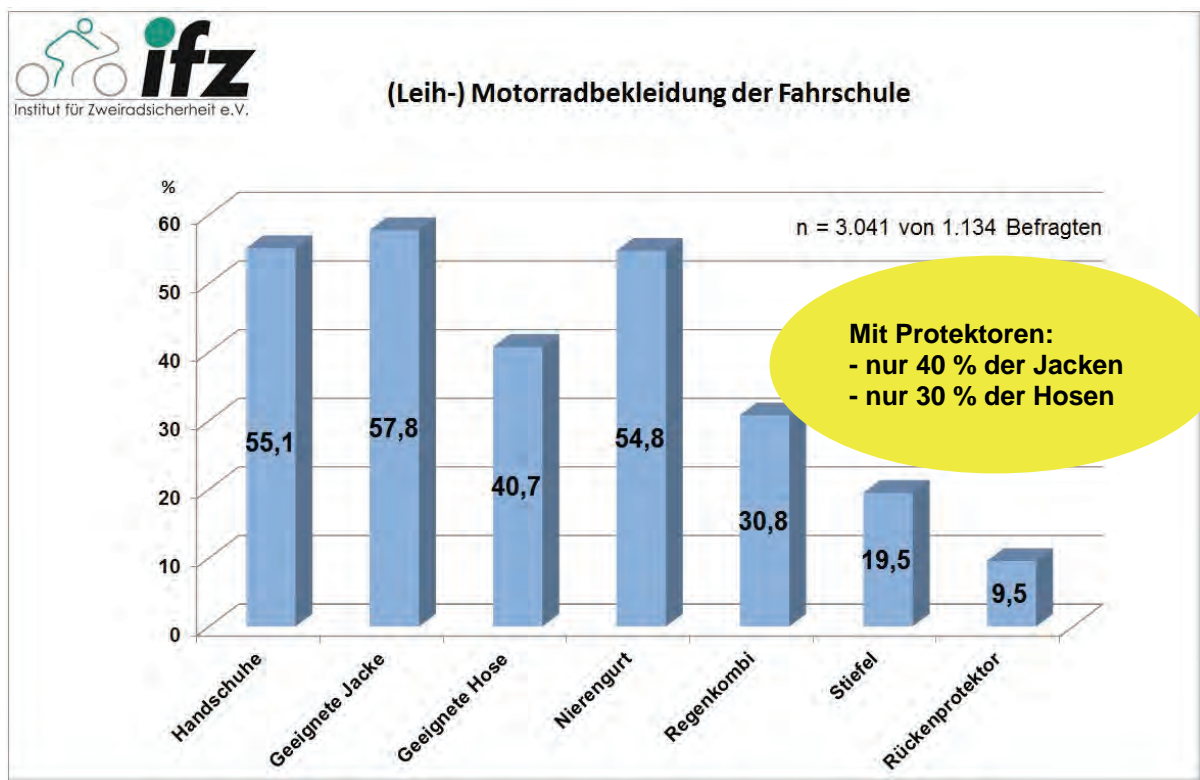


Abb. 41

Einen passenden Regenschutz (Regenkombi etc.) erhalten 30,8 Prozent aller Befragten. Hierbei gilt anzumerken, dass eine Regenkombi vermutlich auch nur bei Regen genutzt wird, der Großteil der Ausbildungsfahrten aber eher im Trockenen stattfindet. Ebenso wird wasserabweisende Textilbekleidung möglicherweise von den Teilnehmern nicht als Regenschutz im klassischen Sinne eingestuft.

Interessant wird es beim Schuhwerk: Nur 19,5 Prozent der Befragten werden Leih-Motorradstiefel von der Fahrschule angeboten. Was die Verletzungshäufigkeiten verschiedener Körperregionen<sup>9</sup> angeht, so sind gerade die unteren Gliedmaßen bei einem Motorradunfall mit rund 80 Prozent am häufigsten betroffen und sollten besonders geschützt werden. Die sich hier widerspiegelnde Bereitstellung von

<sup>9</sup> lt. Angaben der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH)

entsprechender Ausstattung ist somit als unzureichend einzustufen. Hier ist die Vorbildfunktion der Fahrschule viel zu sehr vernachlässigt.

Nur 39,4 Prozent der zur Verfügung gestellten Jacken und 29,1 Prozent der Hosen waren mit entsprechenden Protektoren ausgestattet.

Wie bei der Abfrage zum Helm schon erwähnt, zeichnet sich ebenfalls die Tendenz ab, dass die Fahrschulen, die ihre Klasse-A-Fahrschüler „immer“ oder zumindest „manchmal“ mit dem Motorrad begleiten, einen höheren Ausstattungsgrad hinsichtlich der Leih-Bekleidung vorweisen können als diejenigen, die „nie“ mit dem Motorrad mitfahren.

#### Motorradbekleidung in der Fahrschule vorhanden – verschiedene Größen:

47,6 Prozent der Befragten geben an, dass ihre Fahrschule Motorradbekleidung in verschiedenen Größen zur Verfügung gestellt hat. Weitere 11,9 Prozent empfinden die Auswahl als nicht genügend. 40,5 Prozent haben keine Auswahlmöglichkeiten (siehe Abb. 42).

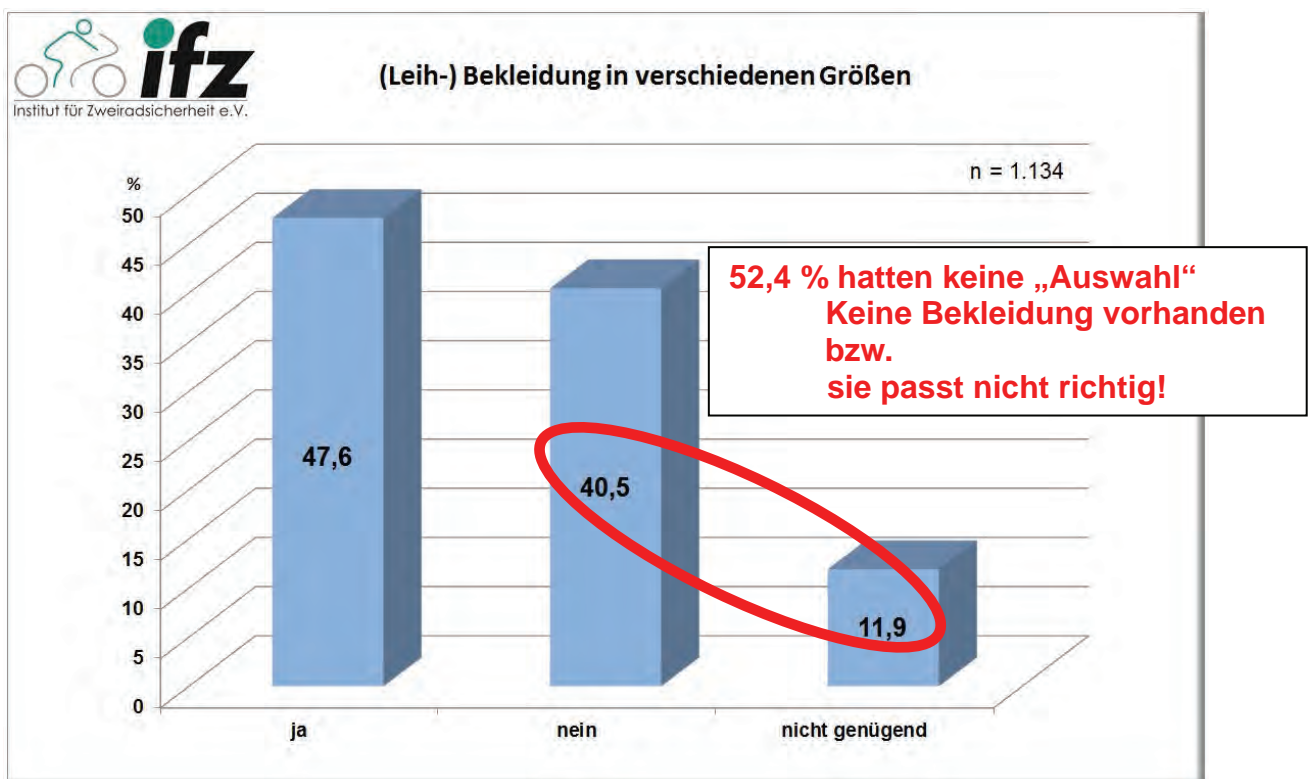


Abb. 42

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Zusammenfassend kann also festgehalten werden, dass über die Hälfte (52,4 %) der Fahrschüler nicht ausreichend bzw. gar nicht mit Motorradbekleidung in ihrer Fahrschule versorgt werden.

#### Motorradbekleidung vorhanden – Zustand:

12,2 Prozent bewerten ihre, von der Fahrschule zur Verfügung gestellte Motorradbekleidung als „sehr gut“. 48,3 Prozent der Teilnehmer vergeben hier ein „gut“, knapp 33 Prozent ein „befriedigend“. Neben 6,4 Prozent „ausreichend“ ist die Vergabe der Bewertung „mangelhaft“ kaum erwähnenswert (vgl. Abb. 43).

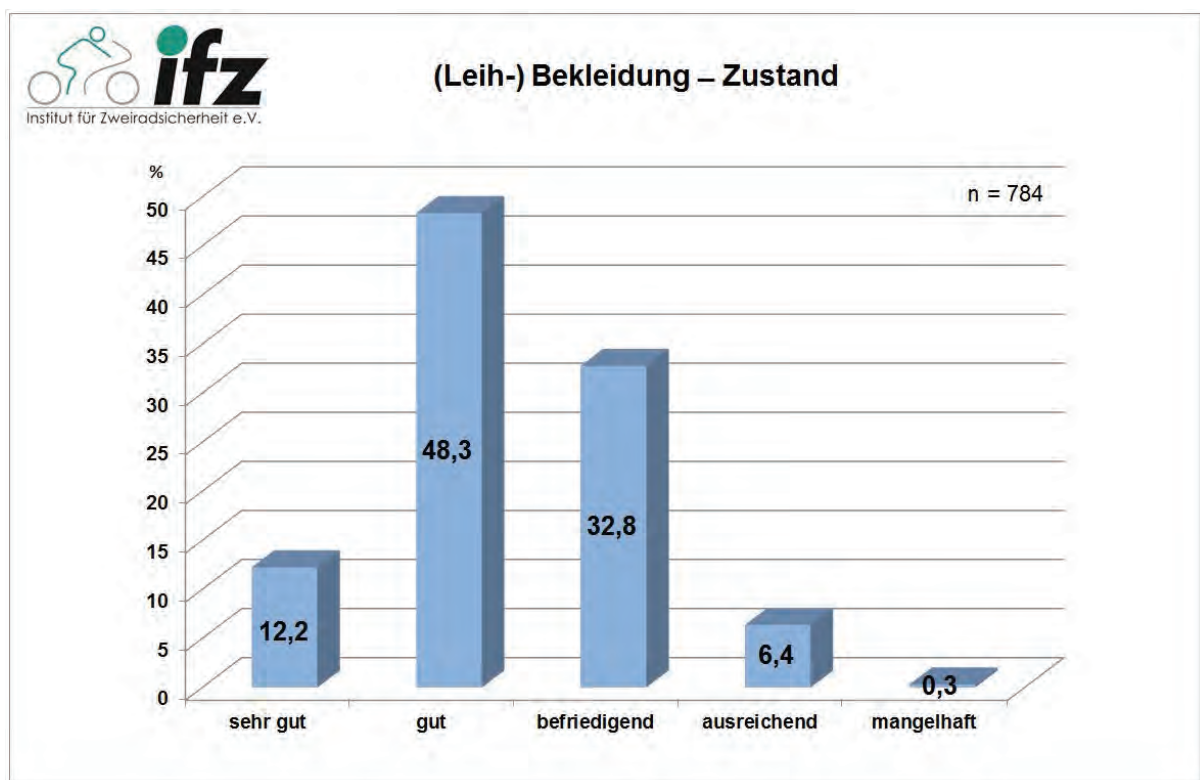


Abb. 43

Der Vergleich bezüglich der von uns gewählten Jahrgangskategorien  $F_{alt}$  und  $F_{neu}$  zeigt keine Auffälligkeiten.

Damit kann das Ergebnis der Befragung bezüglich des Zustandes der Leihbekleidung – sofern eine vorhanden war! – durchaus als positiv gewertet werden.

## 6.4 Zusammenfassung Helm und Bekleidung

Die in Kapitel 6.3 dargestellten Ergebnisse belegen, dass im Bereich der Fahrerausstattung große Defizite seitens der Fahrschulen festzustellen sind.

Der derzeitige gesetzliche Rahmen sieht vor, dass zumindest während der Prüfungsfahrt geeignete Schutzkleidung genutzt wird. Demnach müssen folgende Komponenten laut Fahrerlaubnisverordnung (FeV; Fahrerlaubnisprüfung, 2.2.18) vom Fahrschüler getragen werden:

1. Schutzhelm
2. Handschuhe
3. anliegende Jacke
4. Mindestens knöchelhohes festes Schuhwerk (z. B. Stiefel)

Darüber hinaus findet das Thema „Fahrerausstattung“ seinen Platz im theoretischen sowie praktischen Zusatzstoff für die Klasse A in der Fahrschüler-Ausbildungsordnung. Gerade hier fällt die vorhandene Diskrepanz zwischen den vorgegebenen Lehrinhalten und dem tatsächlichen Tragen von Motorradbekleidung während der praktischen Ausbildung auf.

Die Fahrschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) sieht im Rahmenplan für den klassenspezifischen Zusatzstoff der Klasse A (Anlage 2.1) unter 1. b) folgende theoretische Inhalte vor:

*„Schutz des Fahrers/Beifahrers: Anforderungen an Schutzhelme, geeignete Schutzkleidung, Schuhwerk, Handschuhe und sonstiges Sicherheitszubehör; auffällige, auf weite Entfernung erkennbare Bekleidung, Verletzungsschutz, Wetterschutz.“*

Darüber hinaus ist im entsprechenden Teil der Fahrschüler-Ausbildungsordnung für den praktischen Unterricht in der Anlage 3 unter 17.3.3 das Thema „Fahren mit Schutzkleidung“ vorgesehen.

Auch der Curriculare Leitfaden für die Motorrad-Ausbildung der Deutschen Fahrlehrer-Akademie e.V. (S. 18 und 25) geht sowohl auf theoretische als auch praktische Aspekte beim Thema „Helm und Motorradbekleidung“ ein.

All diese genannten Regelwerke versorgen die Fahrschulen bzw. die hier zuständigen Fahrlehrer mit gezielten Vorschriften und Aufforderungen hinsichtlich der Vermittlung von ausstattungsrelevantem Wissen. Dies geschieht nicht zufällig. Im Gegensatz zum Pkw mit Fahrgastzelle, Airbags und Schutzgurt, bietet ein motorisiertes Zweirad deutlich weniger Schutz gegen mögliche Sturz- und Unfallfolgen. Ebenso wenig gegen den Einfluss verschiedenster Witterungen (Hitze, Kälte, Nässe etc.). Helm und geeignete Motorradbekleidung schaffen hier sowohl im Bereich der passiven als auch der aktiven Sicherheit klare Vorteile. Aus diesem Grunde sollte bereits während der Fahrschulausbildung damit

begonnen werden, dem zukünftigen Motorradfahrer diese Vorteile zu vermitteln und auch praktisch zu verzahnen. Dazu ist die Vorbildfunktion des Fahrlehrers, der hier als gutes Beispiel fungieren sollte, von großer Bedeutung. Dabei zählen nicht nur das exemplarische Bereitstellen von Helm und Bekleidung, sondern auch ein ordnungsgemäßer Zustand sowie eine korrekte Passform.

Es geht also in erster Linie darum, dem zukünftigen Motorradfahrer zu vermitteln, dass neben dem Tragen des Helmes (gesetzlich vorgeschrieben) auch der Einsatz von entsprechender Bekleidung sehr wichtig ist und quasi gleichrangig dazugehört.

Sicherlich scheint es unter der Berücksichtigung finanzieller Gesichtspunkte nachvollziehbar, dass Fahrschulen nicht auf jede individuelle Größe reagieren können. Ein oftmals praktikabler Weg besteht darin, dass der Schüler seine schon vorhandene eigene Ausstattung nutzt bzw. ihm nahegelegt wird, sich entsprechend selber auszustatten. Wichtig ist aber auch hierbei, dass der Fahrlehrer den Zustand und die Passform kontrolliert und dem Schüler die Wichtigkeit dieser Thematik vermittelt.

Beim Blick auf die Angabe der Zufriedenheit mit der praktischen Ausbildung fällt auf, dass zufriedenen Teilnehmern signifikant öfter ein Helm in verschiedenen Größen zur Verfügung gestellt wurde als den „Unzufriedeneren“. 45,5 Prozent derer, die beim Helm aus mehreren Größen auswählen konnten, vergaben das Urteil „sehr gut“ hinsichtlich ihrer Zufriedenheit mit der Ausbildung. Bei denen, die keine Auswahlmöglichkeit hatten, waren es dagegen nur 20,9 Prozent. Der gleiche signifikante Zusammenhang besteht beim Thema „Helmzustand“.

Bei der Überprüfung der gleichen Zusammenhänge in Verbindung mit dem Wiederbesuch der Fahrschule ergeben sich ähnliche Ergebnisse. Mit nachlassendem Ausstattungsgrad bezüglich Helm und Bekleidung steigt die Anzahl derjenigen, die dieselbe Fahrschule nicht wieder besuchen würden.

Weitere Kreuzvergleiche verschiedener Ergebnisse untermauern den Verdacht, dass bei vermehrter Vernachlässigung der Ausstattung hinsichtlich der Klasse-A-Ausbildung auf ein geringeres Sicherheitsbewusstsein des Fahrlehrers bzw. der Fahrschule geschlossen werden kann. Dies zeigt sich u.a. an den folgenden Punkten: Absolventen, die keinen Leih-Helm zur Verfügung gestellt bekamen, führten auch verhältnismäßig weniger Trockenübungen vor der allerersten Fahrt durch (mit Helm: 52,7%; ohne Helm: 40,3%;  $p < 0,001$ ). Ein ähnliches Bild zeichnet sich in Anlehnung an die bereitgestellte Bekleidung ab (Bekleidung ja: 53,6%; Bekleidung nein: 38,9%;  $p = 0,001$ ).

Weitere Zusammenhänge lauten: Wird von der jeweiligen Fahrschule Motorradbekleidung angeboten, ist ...

- eher ein Motorrad mit ABS genutzt worden (hoch signifikant)
- der gesonderte klassenspezifische Unterricht öfter durchgeführt worden (hoch signifikant)



- der Fahrlehrer öfter „immer“ oder „manchmal“ mit dem eigenen Motorrad mitgefahren (signifikant)
- das Thema „Mentales Training“ öfter angesprochen worden (signifikant).

## 6.5 Aktuelle Rechtsprechung zur Motorradbekleidung in der Fahrschul- ausbildung

An dieser Stelle möchten wir den aktuellen Stand hinsichtlich des Einsatzes von Motorradbekleidung in der Fahrschulbildung darstellen. Aufgrund aktueller Rechtsprechung (Oberlandesgericht Nürnberg) hat die Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände (BVF) im April 2012 die Fahrlehrerschaft auf mögliche Auswirkungen hingewiesen<sup>10</sup>:

*„Im Rahmen der Motorradausbildung wird dem Fahrlehrer eine erhöhte Verantwortungs- und Sorgfaltspflicht auferlegt, die über die bloßen Bestimmungen des § 21a, Absatz 2 der Straßenverkehrsordnung (StVO) und Paragraf 4 der Fahrschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) in Verbindung mit Anlage 2.1 hinausgeht. Hiernach ist es gerade die Aufgabe einer Ausbildung, mehr zu vermitteln als das nach dem Gesetz absolut Notwendige.*

*Um Haftungsansprüche gegen Fahrlehrer weitestgehend ausschließen zu können, empfiehlt die BVF als Mindeststandard:*

- *geeigneter, passender Motorradhelm mit sauberem, unverkratztem Visier*
- *geeignete, eng anliegende Motorradjacke*
- *separater Rückenprotektor, sofern er nicht bereits in die Motorradjacke eingearbeitet ist*
- *geeignete Motorradhose*
- *Motorradstiefel mit ausreichendem Knöchelschutz*
- *Motorradhandschuhe*

*Als ungeeignet ist eine übliche Wetterschutz- und Freizeitbekleidung anzusehen, die nicht speziell auf die Bedürfnisse des Motorradfahrens zugeschnitten ist. Dem Kälte- und Nässeschutz ist zusätzlich Rechnung zu tragen.*

*Die neueste Rechtsprechung verpflichtet die Fahrlehrerinnen und Fahrlehrer dazu, die Ausbildung nicht durchzuführen, falls der Fahrschüler das Tragen der vorgenannten Motorradbekleidung verweigert.“*

Diese Empfehlung der Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände ist ein weiterer Schritt, der dazu beitragen kann, das Thema „Ausstattung des Fahrschülers“ in der Klasse-A-Ausbildung zu verbessern.

---

<sup>10</sup> Magazin Fahrschule 6/2012, S. 36

## 7 Zusammenfassung zentraler Ergebnisse und abgeleitete Forderungen

Eigene Beobachtungen, vermehrte Anfragen von und Gespräche mit Fahrschul-Absolventen haben die Annahme nahegelegt, dass es noch immer eine große Bandbreite bezüglich einer qualitativ guten Motorrad-Fahrausbildung gibt. Gemeint sind hiermit Faktoren wie die Motivation, das Wissen, das eigene Können des Fahrlehrers und der Ausstattungsgrad (Bekleidung, Helme, Motorräder, ...) der Fahrschule.

Die theoretische und praktische Fahrschulbildung zielt in erster Linie darauf ab, alle Fahranfänger auf ein Mindestmaß daraufhin vorzubereiten, selbständig am motorisierten Straßenverkehr teilzunehmen. Es steht also eine „Anfängerkompetenz“ im Vordergrund, die ein Weiterlernen in Eigenverantwortung im Straßenverkehr ermöglichen soll. Es sei an dieser Stelle angemerkt, dass die Fahrschulbildung in Deutschland im internationalen Vergleich als gut gegliedert und relativ hochentwickelt bezeichnet werden kann. Dennoch sind mit Blick auf die Ausbildung der Klasse A (Motorrad) Schwächen und Lücken vorhanden, denen Beachtung geschenkt werden muss.

Die vorliegenden Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass die Annahme vorhandener qualitativer Unterschiede im Grundsatz bestätigt werden kann und dass das Ausbildungsniveau deutschlandweit stark differiert. In vielen Fällen geht es hierbei darum, dass bestehende Regelwerke wie zum Beispiel Teile des Fahrlehrergesetzes (FahrlG), der Fahrerlaubnisverordnung (FeV), der Fahrschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) oder des Curricularen Leitfadens (Ausbildung Motorrad) nicht eingehalten bzw. nicht zur Genüge umgesetzt werden.

In den folgenden Zusammenfassungen werden jeweils an passender Stelle Vorschläge unterbreitet, wie Verbesserungen zustande kommen können, um das Ausbildungsniveau insgesamt anzuheben. Gerade auf einem motorisierten Zweirad, als schwächerer Verkehrsteilnehmer, ist eine hochwertige Ausbildung unabdingbar. Die folgenden Zusammenfassungen zeigen Möglichkeiten, wie eine potenzielle Verbesserung der Verkehrssicherheit für Motorradfahrer durch eine effizientere Fahrausbildung realisiert werden kann.

## 7.1 Zur theoretischen Ausbildung der Klasse A:

### Klassenspezifischer Unterricht der Klasse A (Details unter 2.1)

Der theoretische Unterricht im Rahmen der Ausbildung für eine Motorradfahrerlaubnis gliedert sich laut § 4 der Fahrerschüler-Ausbildungsordnung in einen allgemeinen Teil (Grundstoff – klassenübergreifend) sowie den jeweiligen klassenspezifischen Teil (Zusatzstoff), der gesondert durchzuführen ist.

#### *Zentrales Ergebnis:*

Dieser gesetzlich geforderte theoretische Zusatzunterricht für die Zweiradklasse A (zweiradspezifische Inhalte) hat in 25,4 Prozent der Fälle nicht stattgefunden. Demnach ist zu unterstellen, dass zentrale Inhalte dieses wichtigen Zusatzstoffes bei diesen Teilnehmern gar nicht oder unzureichend thematisiert wurden, da der allgemeine Unterricht dafür keinen Spielraum lässt.

Um aber auf die Fahreigenschaften eines Motorrades in verschiedenen Situationen entsprechend reagieren zu können, ist es wichtig, die grundsätzlichen Wirkungszusammenhänge zu verstehen. Der allgemeine Unterricht (Grundstoff für alle Klassen) bietet hier keine ausreichenden Ansätze. Da sich ein motorisiertes Zweirad (Einspurfahrzeug) in vielen Bereichen seines fahrphysikalischen Verhaltens deutlich vom Pkw (Zweispurfahrzeug) unterscheidet, ist es wichtig, genau diese „Eigenarten“ kennenzulernen, um auch entsprechend darauf als Fahrer reagieren zu können. In dieser Studie wurden u. a. drei Fragen zum Thema „zweiradspezifisches Fachwissen“ abgefragt, wodurch sich anhand der Auswertung eine eindeutige Abhängigkeit zwischen dem vorhandenen Fachwissen und der Teilnahme an dem zweiradspezifischen Unterricht nachweisen ließ: Teilnehmer, die an dem Zusatzunterricht teilgenommen haben, schneiden bezüglich ihres Fachwissen auch deutlich besser ab.

Deshalb fordern wir in diesem Punkt eine striktere Einhaltung der gesetzlichen Vorgaben. Es muss vermehrt darauf geachtet werden, dass der klassenspezifische Zusatzstoff (Motorrad: 4 Doppelstunden) auch gesondert für die Anwärter dieser Fahrerlaubnisklasse angeboten und durchgeführt wird. Eine Vermischung der klassenspezifischen Inhalte mit denen anderer Fahrerlaubnisklassen ist nicht zielführend und auch nicht zulässig. Angesprochen sind hier in erster Linie die Fahrschulen selber, aber auch die jeweiligen Kontrollinstanzen im Rahmen der Fahrschulüberwachung.

### Erarbeitung der Lösungen im theoretischen Unterricht (Details unter 2.2)

Die Paragraphen 3 und 4 der Fahrerschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) geben hinsichtlich der Ausbildungsgrundsätze und des theoretischen Unterrichts vor, dass selbständiges Lernen und auch das Weiterlernen nach dem Erwerb der Fahrerlaubnis gefördert werden sollen. Ebenso heißt es, dass der Unterricht methodisch vielfältig sein sollte.

### *Zentrales Ergebnis:*

Der Anteil derjenigen, die Lösungen ausschließlich durch den Fahrlehrer „präsentiert“ bekamen (Frontalunterricht), ist mit 27,3 Prozent relativ groß. Unumstößlich ist die Tatsache, dass der Frontalunterricht wohl eine der am häufigsten verwendete Unterrichtsform in Fahrschulen ist. Formen dieser Art des Lehrens sind auch durchaus zielführend, vor allem, um Sachverhalte schnell und gut organisiert zu vermitteln. Allerdings sollte nicht nur „mechanisches Pauken“, sondern auch die selbständige Erarbeitung von Lösungen und Zielen bzw. die Heranführung an diese Selbständigkeit – beispielsweise durch Gruppenarbeit – mehr im Vordergrund stehen.

Deshalb fordern wir in diesem Punkt, dass der Einsatz der frontalen Unterrichtsform anteilmäßig reduziert werden sollte. Wichtig ist ein vielseitiger Unterricht, damit alle Fahrschüler erreicht und eingebunden werden. Um an dieser Stelle Missverständnissen vorzubeugen: Es geht nicht darum, eine der beiden (oder auch weitere) Unterrichtsformen zu bevorzugen, sondern um eine abwechslungsreiche Interaktionsform, damit der Unterricht für den Fahrschüler interessant bleibt. Denn eines ist sicher: Je vielschichtiger und interessanter der Unterricht ausfällt, desto größer wird auch der langfristige Lerneffekt sein. Der Curriculare Leitfaden für die Motorradausbildung der Deutschen Fahrlehrer-Akademie spricht vor diesem Hintergrund vom „Handlungsorientierten Unterricht“. Hier geht es um einen ganzheitlichen und lernaktiven Unterricht, der zwischen Lehrer und Schüler und einem vereinbarten Handlungsgegenstand, z. B. „Vorfahrt – geben und nehmen“ einen gemeinsamen Unterrichtsprozess fördert. Gegebenenfalls ist es sinnvoll, bereits während der Ausbildung zum Fahrlehrer verstärkt das Thema „Unterrichtsform“ hinsichtlich dieser Ausführungen zu vertiefen.

### **Behandelte Themen im theoretischen Unterricht und der Wunsch nach deren Vertiefung (Details unter 2.3)**

Die Fahrschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) gibt sowohl die Unterrichtsinhalte für den Grundstoff (gemeinsamer Unterricht für alle Klassen) als auch die Inhalte für den klassenspezifischen Unterricht genau vor (Anlagen 1 und 2 der FahrschAusbO).

### *Zentrales Ergebnis:*

92,3 Prozent der Befragten geben an, im theoretischen Unterricht alle Inhalte des für die Prüfung relevanten Lehrstoffes vermittelt bekommen zu haben, was als zufriedenstellend bezeichnet werden kann. Zwischen 86 und 91 Prozent der Fahrschüler wurden in den Themen „Allgemeine Gefahrenlehre“, „Zweiradspezifische Risiken“, „Fahrtechnik“, „Sicherheits- und Abfahrtskontrolle“ und „Fahrphysik“ unterrichtet. Der Blick auf weitere übergeordnete Themengebiete verrät jedoch, dass nicht alle Bereiche zufriedenstellend behandelt wurden:

Themengebiet:	Im Unterricht nicht behandelt bei ...
„Fahrerausstattung“	... 17,2% der Befragten
„Motorrad Bremsanlagen“	... 22,4 % der Befragten
„Bereifung“	... 25,4 % der Befragten
„Mitnahme von Personen“	... 36,6 % der Befragten
„Gruppenfahrten/-regeln“	... 43,5 % der Befragten
„Sicherheitsrelevante Fahrzeugtechnik (z. B. Fahrerassistenzsysteme)“	... 51,9 % der Befragten
„Weiterbildung/Training nach Ausbildung“	... 57,4 % der Befragten

Was den Wunsch der Teilnehmer nach einer Vertiefung einzelner Themengebiete angeht, so finden sich hier interessanterweise wieder zwei Bereiche ganz vorne, die bei einem Großteil der Befragten behandelt wurden. Dies sind die Bereiche „Fahrtechniken“ und „Fahrphysik“. Eine Erklärung wäre, dass diese Bereiche im Unterricht entweder nicht ausreichend vom Fahrlehrer behandelt wurden oder ein gesteigertes Interesse der Teilnehmer vorliegt. An zweiter Stelle der Wünsche nach Themenvertiefung findet sich der Bereich „Weiterbildung/Training“. Im Weiteren fällt auf, dass insbesondere die Themenbereiche mehr gefordert werden, die bislang in den Ausbildungsinhalten eher stiefmütterlich behandelt werden. Beispiele wären hier Themen wie „Die Mitnahme von Personen“, „Gruppenfahrten/-regeln“ oder „Sicherheitsrelevante Fahrzeugtechnik“.

Der Wunsch nach einer Vertiefung des Themas „Zweiradspezifische Risiken“ ist fast doppelt so groß (24%) wie der nach der Vertiefung des Themas „Allgemeine Gefahrenlehre“ (12,9%). Auch hier scheint den Teilnehmern inhaltlich noch einiges zu fehlen, was ihnen langfristig zu Gute kommen könnte.

Wie in anderen Lern- und Prüfungsbereichen auch, besteht natürlich ein Unterschied darin, ob der Fahrschüler lediglich auf die Prüfung vorbereitet wird – oder der Unterricht dahingehend greift, auch über das prüfungsrelevante Wissen hinaus geschult zu werden. Der Großteil der hier beschriebenen Themengebiete beinhaltet zentrale Aspekte der Zweiradsicherheit, die auf jeden Fall im theoretischen Unterricht der Klasse A behandelt werden sollten. In Anbetracht der Ausbildungsdauer (4 Doppelstunden á 90 Minuten) ist dies natürlich nur begrenzt möglich. Die allgemeinen Ausbildungsgrundsätze aus § 3 beschreiben jedoch, dass die **exemplarische Vertiefung einzelner Inhalte wichtiger sein kann als die inhaltliche Vollständigkeit**. Dem ist aus unserer Sicht zuzustimmen, was im Umkehrschluss aber nicht bedeuten darf, dass andere zentrale Inhalte aufgrund einzelner Vertiefungen gänzlich vernachlässigt werden. Alle Bereiche sollten zumindest kurz angesprochen werden. Darüber hinaus muss ein klarer Hinweis erfolgen, dass es für den Fahrschüler von enormer Bedeutung

ist, sich während und auch nach seiner Fahrschulzeit weiterhin mit den sicherheitsrelevanten Aspekten des Motorradfahrens auseinanderzusetzen.

Die Ergebnisse dieser Studie belegen zudem, dass gerade wichtige Bereiche, die weniger prüfungsrelevant sind, oftmals vernachlässigt werden. Beispielsweise Hinweise auf und Informationen über Sicherheitstrainings nach bestandener Prüfung, die Wichtigkeit einer kompletten Fahrerausstattung, oder auch sicherheitsrelevante Fahrzeugtechnik müssen den Fahrschülern verstärkt nähergebracht werden.

### **Fahrlehrer-Informationen hinsichtlich des eigenen Verhaltens – Selbstreflexion (Details unter 2.4)**

Nach §1 der Fahrschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) besteht das Ziel der Fahrschulbildung u. a. darin, den Fahrschüler zu einem sicheren, verantwortungsbewussten und umweltbewussten Verkehrsteilnehmer zu erziehen. Im Weiteren ist davon die Rede, dass die Ausbildung eine realistische Selbsteinschätzung vermitteln soll. Die Bereitschaft und Fähigkeit zum rücksichtsvollen und partnerschaftlichen Verhalten und das Bewusstsein für die Bedeutung von Emotionen beim Fahren sollen ebenfalls entsprechend vermittelt werden.

Der Curriculare Leitfadens für die Motorradausbildung beschreibt dazu passend als Ausbildungsrichtlinie: „Im Mittelpunkt der Ausbildung zum Motorradfahrer muss die Entwicklung der Sozialkompetenz stehen. Bei der theoretischen und praktischen Ausbildung muss der Fahrlehrer sein Augenmerk auf die Entfaltung der Persönlichkeit des Fahrschülers im Sinne eines sicheren und verantwortungsvollen Verkehrsteilnehmers richten. Der Unterricht sollte durchdrungen sein von Impulsen und einbildungswirksamen Vorstellungen im Hinblick auf Einstellung und Verhalten, damit dem Fahrschüler die Verantwortung für Mensch und Umwelt in Fleisch und Blut übergeht.“

#### *Zentrales Ergebnis:*

68,2 Prozent der Befragten wurden von ihrem Fahrlehrer angeregt, über ihr Verhalten auf dem Motorrad nachzudenken. Bei den übrigen 31,8 Prozent war dies nicht der Fall. Sie wurden also nicht angeregt, selbstreflektierend die eigenen Verhaltensweisen im Straßenverkehr kritisch zu betrachten und zu hinterfragen.

Fahrlehrer, die ihre Fahrschüler mit einem Motorrad begleiten, schneiden hier deutlich besser ab als ihre Berufskollegen, die ihre Motorradfahrschüler lediglich mit dem Fahrschul-Pkw begleiten.

Die Motivation zum Fahren, persönliche Einstellungen und die Selbsteinschätzung des eigenen Könnens und Verhaltens sind zentrale Bereiche, die einen sicheren oder aber unsicheren Fahrer ausma-

chen. So hat ein junger Fahranfänger theoretisch nicht unbedingt mit einem erhöhten Unfallrisiko zu rechnen, sofern er seine noch geringen Fähigkeiten entsprechend einschätzt und seinen Fahrstil danach anpasst. Dies ist aber in erster Linie nur dann realisierbar, wenn er die Fähigkeit zur ehrlichen Selbsteinschätzung mit sich bringt bzw. dahingehend „instruiert“ wird.

Die Fahrschul Ausbildung wird hier in der zeitlichen Kürze des Ausbildungsrahmens keine Wunder vollbringen können, denn persönliche Einstellungen und Motivationen lassen sich kaum innerhalb der relativ kurzen Fahrschul Ausbildung einschlägig verändern. Dennoch sollten immer wieder Impulse seitens der Fahrlehrer erfolgen, die den Fahranfänger über sein Verhalten nachdenken lassen. Denn die eigene Wahrnehmung des Könnens und Verhaltens wird auch den jeweiligen Fahrstil bestimmen.

### **Mentales Training (Details unter 2.5)**

Um Handlungs- und Bewegungsabläufe trainieren bzw. festigen zu können, kann Mentales Training eine geeignete Unterstützung sein. Bekannte Abläufe können auf verschiedenen Wegen mental durchlaufen werden, ohne die Handlung wirklich auszuführen. Es handelt sich also um eine bewusste Vorstellung einer Handlung im Rahmen einer „Trockenübung“. Das Mentale Training ist keine gesetzliche Vorgabe für die Motorradfahrschul Ausbildung.

#### *Zentrales Ergebnis:*

76,2 Prozent der Teilnehmer haben während der Fahrschul Ausbildung in keiner Form etwas über „Mentales Training“ erfahren, obwohl der Curriculare Leitfaden für die Motorradausbildung dieses Thema sehr umfangreich aufgreift. In 23,8 Prozent der Fälle wurde das Thema zumindest angesprochen. Durchgeführt wurde ein Mentales Training in 13,4 Prozent der Fälle.

Fahrlehrer, die ihre Fahrschüler immer oder manchmal mit einem Motorrad begleiten, schneiden hier deutlich besser ab, als diejenigen, die dies nie praktizieren.

Mentales Training ist ein gutes Instrument zur Unterstützung des Lernerfolgs. Anders als beispielsweise beim Pkw gestalten sich die Handlungsabläufe auf einem Motorrad komplexer. Um diese Abfolgen regelrecht auswendig zu lernen, bietet sich die Möglichkeit des Mentalen Trainings. So empfiehlt es auch der Curriculare Leitfaden. Das wiederholte Sich-Vorstellen einer Handlungsabfolge kann eine Verbesserung des Bewegungsablaufs in der späteren tatsächlich ausgeführten Handlung bewirken. Dies führt zur mehr Sicherheit des Fahrschülers, dazu kann die Sturzwahrscheinlichkeit aufgrund von „Bedienungsfehlern“ gesenkt werden. Wie das jeweilige Mentale Training durchgeführt werden soll, bleibt Ermessenssache des Fahrlehrers. Auch bleibt hierfür im Ausbildungsrahmen nur wenig Zeit. So könnte der Fahrlehrer beispielsweise im Unterricht das Prozedere des Mentalen Trainings erläutern und als eine Art Hausaufgabe die Schüler bestimmte Handlungsabläufe zu Hause trainieren.

nieren lassen. Während der Fahrstunden bzw. der praktischen Übungen könnte kurz die folgende Handlung mental durchlaufen werden. Es gibt hier natürlich viele verschiedene Herangehensweisen, die jedoch an dieser Stelle nicht näher erläutert werden sollen.



## Lehrbuchnutzung (Details unter 2.6)

Damit sich der Fahrschüler ausgiebig auf die theoretische Führerscheinprüfung vorbereiten kann, bieten Fahrschulen in Ergänzung zu den amtlichen Fragebögen Begleit-Literatur an. Diese gibt es sowohl für den Grundstoff als auch klassenspezifisch und kann vom Fahrschüler optional erworben werden.

### *Zentrales Ergebnis:*

31,1% der Befragten nutzen ihr Lehrbuch sehr intensiv. Weitere 26,7 Prozent gelegentlich – und 8,3 Prozent gar nicht, obwohl sie eines besitzen. 33,9 Prozent der Absolventen besitzen kein Lehrbuch mit den prüfungsrelevanten Inhalten.

Bei der zeitlichen Betrachtung dieser Angaben kann beim Vergleich von  $F_{\text{alt}}$  zu  $F_{\text{neu}}$ <sup>11</sup> eine Abnahme der intensiven Nutzung des Lehrbuches von 36,7 auf 27,0 Prozent festgestellt werden. Im Jahr 2011 sind es nur noch 22,9 Prozent. Dies zeigt, dass der Trend eher dahin geht, kein Lehrbuch zu nutzen.

Durch die Studie konnte nicht nachgewiesen werden, ob sich die Fahrschüler ihr Wissen eventuell über andere Medien geholt haben. Es liegt allerdings die Vermutung nahe, dass eher nur die amtlichen Prüfungsfragen intensiv „gepaukt“ werden und zusätzliches relevantes Wissen – über die Prüfungsfragen hinaus – kaum erworben wird.

Obwohl individuelles Wissen vermehrt auf andere Weise (Neue Medien) als durch ein begleitendes Lehrbuch erworben werden kann, sind wir jedoch der Meinung, dass z. B. die Suche im Internet ein kompaktes Werk, in dem alle relevanten Themen behandelt werden, nur ergänzen kann. Deshalb sehen wir in der intensiven Lehrbuchbenutzung (auch elektronisch) nach wie vor einen wichtigen Baustein in der Fahrausbildung.

Entsprechend § 3 der Fahrschüler-Ausbildungsordnung (FahrschAusbO) soll das selbstverantwortliche Weiterlernen nach dem Erwerb der Fahrerlaubnis gefördert werden. Das Lehrbuch kann hierbei als ein Hilfsmittel betrachtet werden und somit über die Prüfung hinaus nützlich sein. Deshalb sind wir der Meinung, dass der Erwerb des Lehrbuches bei der Anmeldung in der Fahrschule obligatorisch sein sollte.

---

<sup>11</sup>  $F_{\text{alt}}$  = Teilnehmer der Führerscheinabsolventenjahrgänge 1999 bis einschl. 2008

$F_{\text{neu}}$  = Teilnehmer der Führerscheinabsolventenjahrgänge 2009 bis einschl. 2011 (siehe Kap. 1.3)

## 7.2 Zur praktischen Ausbildung der Klasse A:

### Trockenübungen vor der ersten Fahrt (Details unter 3.1)

Unter „Trockenübungen“ sind erste Schritte im Umgang mit dem Motorrad zu verstehen. Bevor der jeweilige Fahrschüler – ggf. das erste Mal auf einem motorisierten Zweirad sitzend – mit dem Motorrad losfahren darf, sollte ihm die Bedien- und Funktionsweise der jeweiligen Maschine am/auf dem Motorrad erläutert werden. Um ein Gefühl für das Zweirad zu bekommen, sollten Übungen wie beispielsweise das Schieben der Maschine (ohne laufenden Motor) vorwärts und rückwärts, das Bremsen beim Schieben, das Auf- und Abbocken praktiziert werden.

#### *Zentrales Ergebnis:*

49,2 Prozent der Teilnehmer können das Absolvieren solcher Trockenübungen bestätigen. Etwas mehr als die andere Hälfte (50,8 Prozent) kann das nicht.

Unter der Berücksichtigung der Vorerfahrungen auf Klein- oder Leichtkrafträdern liegt das Ergebnis vor, dass 49,2 Prozent derer, die keinerlei praktische Vorerfahrung auf einem motorisierten Zweirad besitzen, ohne Trockenübungen auskommen muss.

Der Curriculare Leitfaden für die Motorradausbildung beschreibt diese Eingewöhnungsphase an das Motorrad in Form der „Trockenübungen“ recht ausführlich. Ein Fahrtbeginn bei unerfahrenen Fahrschülern ohne diese Übungen ist nicht akzeptabel. Deshalb fordern wir in diesem Punkt ein verstärktes Einwirken darauf, dass zukünftig jeder Motorradfahrschüler vor dem Antritt der ersten Fahrt ausreichend instruiert wird.

### Erste Fahrstunde im Schonraum (Details unter 3.2)

Damit Fahrschüler, insbesondere diejenigen ohne praktische Vorerfahrungen auf einem Klein- oder Leichtkraftrad, nicht gleich mit dem neuen, ungewohnten Einspurfahrzeug im Straßenverkehr fahren müssen, ist es vorgesehen, die erste Fahrstunde bzw. einen Teil davon im Schonraum durchzuführen. So sieht es auch der Curriculare Leitfaden für die Motorradausbildung vor. Hier heißt es, dass die Einstiegsschulung auf ruhigen Plätzen oder in sonstigen verkehrsarmen Bereichen durchzuführen ist.

#### *Zentrales Ergebnis:*

63,9 Prozent der Absolventen beginnen ihre praktische Fahrausbildung nicht direkt im Straßenverkehr. Die restlichen 36,1 Prozent dagegen schon. Hinsichtlich der zuletzt genannten Zahl ist beim Vergleich von  $F_{\text{alt}}$  zu  $F_{\text{neu}}$  eine Abnahme von 42,2 auf 31,7 Prozent festzustellen.

Wie bei den Trockenübungen auch, ist es hierbei wichtig, die Vorerfahrung der Teilnehmer auf einem Klein- oder Leichtkraftrad einzubeziehen. Demnach ergibt sich, dass stattliche 28,1 Prozent derjenigen ohne diese Erfahrung ihre erste Fahrstunde direkt im Straßenverkehr absolvieren müssen.

Obwohl der Großteil der Fahrschüler ohne Vorerfahrung seine erste Fahrstunde nicht direkt im Straßenverkehr beginnt, wird dennoch ein großer Anteil an Teilnehmern mit dem „neuen Fahrzeug“ direkt im realen Verkehr „auf die Probe gestellt“.

Hier muss eine erhöhte Aufmerksamkeit seitens der Fahrschulen bestehen, den direkten Einstieg im Realverkehr zu vermeiden.

### **Fahrlehrer begleitet mit dem Motorrad (Details unter 3.3)**

Immer wieder steht die häufig kontrovers diskutierte Frage im Raum, ob ein Fahrlehrer seinen Motorradfahrschüler selber mit einem Motorrad begleiten soll oder nicht. Der Curriculare Leitfaden für die Motorradausbildung tendiert eindeutig zu einer Fahrlehrerbegleitung mit dem Motorrad. So liest man, dass das Vorbild des Lehrers am meisten Wirkung zeigt und es vielfach hilfreich sein kann, wenn der Fahrlehrer mit dem Motorrad begleitet, um eben dem Schüler auf anschauliche Weise verschiedene Fahrmanöver exemplarisch zu zeigen und das Prinzip der Nachahmung zu nutzen.

#### *Zentrales Ergebnis:*

In nur 8,9 Prozent der Fälle begleiten die Fahrlehrer ihre Fahrschüler immer mit einem Motorrad. Weitere 29,2 Prozent der Befragten wurden „manchmal“ begleitet; 61,9 Prozent „nie“.

Bei der Betrachtung dieser Antworten – in Relation zu den Aussagen der Teilnehmer über ihre Zufriedenheit mit der praktischen Motorradausbildung – ergibt sich eine eindeutige Tendenz: Teilnehmer, die von ihrem Fahrlehrer mit einem Motorrad begleitet wurden, sind wesentlich zufriedener und bewerten ihre praktische Ausbildung auch deutlich besser.

Zudem hätten sich 78 Prozent derer, die nie vom Fahrlehrer mit dem Motorrad begleitet wurden, seine Begleitung mit einem Motorrad gewünscht. Gründe hierfür liegen mit fast 90 Prozent in der Vorbild-/Beispielfunktion des Fahrlehrers.

Aus unserer Sicht scheint es nicht erforderlich, dass ein Fahrlehrer in jeder praktischen Unterrichtseinheit mit dem Motorrad begleitet. Unter diesem Aspekt können die beiden Antworten zu dieser Frage „immer“ und „manchmal“ zusammengefasst werden. Es sind demnach trotzdem nur 38,1 Prozent der

Fahrlehrer, die ihre Fahrschüler „immer“ oder „manchmal“ mit dem Motorrad begleiten. Damit bleibt auch dieses Ergebnis ernüchternd. Die Vorteile einer Begleitung mit dem Motorrad und die damit verbundene bessere Ausbildung lassen sich abermals aufgrund der Ergebnisse dieser Studie beweisen. Motorrad-affine Fahrlehrer, die selbst mit dem Motorrad „dabei sind“, schneiden in allen untersuchten Bereichen dieser Studie besser ab als ihre im Pkw begleitenden Berufskollegen. Von daher fordert das ifz eine zunehmende Bereitschaft der Fahrlehrer, die Qualität der praktischen Motorradausbildung durch ihren verstärkten Einsatz in diesem Punkt zu erhöhen. Zumindest auf allen Sonderfahrten sollte eine Begleitung mit dem Motorrad erfolgen.

#### **Fahrlehrer hat fahrpraktische Übungen auf dem Motorrad demonstriert (Details unter 3.4)**

Während der praktischen Motorradausbildung muss der Fahrschüler Grundfahraufgaben trainieren und deren Beherrschung während der Prüfung nachweisen. Hierfür müssen z. B. das Abbremsen mit höchstmöglicher Verzögerung, verschiedene Ausweichmanöver etc. geübt werden.

##### *Zentrales Ergebnis:*

Bei 16,8 Prozent der Absolventen hat der Fahrlehrer diese fahrpraktischen Übungen „immer“ selber auf einem Motorrad vorgemacht. Bei 19,7 Prozent der Befragten hat er die Übungen „manchmal“ demonstriert und bei 63,5 Prozent „nie“.

Der Curriculare Leitfaden beschreibt ausdrücklich, dass die Vorbildfunktion des Fahrlehrers am meisten Wirkung zeigt und es vielfach hilfreich sein kann, dem Fahrschüler auf anschauliche Weise verschiedene Fahrmanöver exemplarisch zu zeigen und das Prinzip der Nachahmung zu nutzen. Leider wird dies in der Praxis viel zu wenig umgesetzt. Vor diesem Hintergrund fordert das ifz eine intensivere praktische Einbringung des Fahrlehrers – in Abhängigkeit des individuellen Könnens des jeweiligen Fahrschülers.

#### **Fahrlehrer hat sicheres Kurvenfahren bei Überlandfahrten auf dem Motorrad demonstriert (Details unter 3.5)**

Die Verhaltens- und Handlungsmuster beim An- und Durchfahren einer Kurve mit einem Motorrad unterscheiden sich deutlich von den Verhaltensstrategien beispielsweise beim Fahren eines Pkws. Das richtige und sichere „Kurvenverhalten“ mit dem Motorrad muss entsprechend intensiv trainiert werden.

Im Curricularen Leitfaden der Motorradausbildung wird beschrieben, dass bei einigen Überland- und Autobahnfahrten der Fahrlehrer den Fahrschüler mit einem Motorrad begleiten sollte, um beispielsweise bestimmte Kurvenpassagen vorfahren zu können.

*Zentrales Ergebnis:*

In 27,5 Prozent der Fälle hat der Fahrlehrer das Durchfahren von Kurven demonstriert. In 72,5 Prozent der Fälle hat er dies nicht getan.

Auch in diesem Punkt fordern wir eine intensivere praktische Einbringung des Fahrlehrers. Selbstverständlich spielt das individuelle Können des Fahrschülers – gegebenenfalls basierend auf seiner Vorerfahrung auf einem „kleineren“ motorisierten Zweirad – eine entscheidende Rolle. Begleitet der Fahrlehrer jedoch nur mit dem Pkw, kann er Belange zum Thema „Kurve“ nicht praktisch demonstrieren. Von daher ergibt unsere Forderung nach einer Begleitung auf dem Motorrad – zumindest während der Sonderfahrten – auch hier wieder Sinn.

### **7.3 Ausstattung der Fahrschule**

#### **Fahrzeuge (Details unter 6.1)**

Um unterschiedliche Zweiradklassen (A beschränkt (zukünftig „A2“), A unbeschränkt (zukünftig „A“)) auszubilden, benötigen Fahrschulen natürlich unterschiedliche Fahrzeuge, die sich entsprechend der Klassen vor allem in ihrer Leistung unterscheiden. Ein Fahrzeug pro Leistungsklasse wird im Allgemeinen als ausreichend angesehen.

*Zentrales Ergebnis:*

62,4 Prozent der Teilnehmer hatten keine Auswahlmöglichkeit hinsichtlich ihres Fahrschulmotorrades. 37,6 Prozent der Teilnehmer konnten aus mindestens zwei Motorrädern eine Auswahl treffen.

Unter Berücksichtigung der erhöhten Anschaffungs- und Unterhaltskosten eines zusätzlichen Motorrades für ein und dieselbe Führerscheinklasse, scheint der Bestand von einem Fahrschulmotorrad pro Klasse vom Grundsatz her ausreichend zu sein. Hierbei muss jedoch beachtet werden, dass in Einzelfällen dieses Fahrzeug für den Fahrschüler nicht geeignet ist. So muss der verantwortliche Fahrlehrer grundsätzlich sicherstellen, dass die Sitzhöhe des Ausbildungsfahrzeugs für den jeweiligen Fahrschüler angemessen ist. Der Fahrschüler muss mit beiden Füßen den Boden sicher erreichen können, also nicht bloß mit den Zehenspitzen. Wenn die Studienteilnehmer zwischen unterschiedlichen Motorrädern auswählen konnten, war die Sitzhöhe in 63,2 Prozent das ausschlaggebende Kriterium. Zudem muss das Gesamtsystem „Fahrer-Fahrzeug“ stimmig sein. Ein sehr großgewachsener Fahrschüler wird auf einem sehr kleinen Motorrad mit niedriger Sitzhöhe ebenfalls seine Schwierigkeit haben. Die ergonomischen Verhältnisse sollten also passen, wozu auch einstellbare Hand- und Fußhebel zählen. Natürlich reicht das Vorhandensein dieser Einstellmöglichkeiten nicht aus – der Fahrlehrer muss auch

davon Gebrauch machen und individuelle Einstellungen vor Fahrtantritt vornehmen. Im Pkw sind Einstellungen dieser Art (Sitz, Innen- Außenspiegel) auch selbstverständlich.

### **Sprech- / Funkverbindung (Details unter 6.2)**

Für einen großen Teil der Motorrad-Fahrschulung sowie auch für die praktische Prüfung ist der Einsatz einer Funkanlage gesetzlich vorgeschrieben. Der Fahrlehrer steht damit in direktem Kontakt zu seinem, von ihm „räumlich getrennten“ Fahrschüler und kann Anweisungen geben und Erklärungen liefern. Welche Art der Funkverbindung (mit oder ohne Dialogmöglichkeit) genutzt wird, ist nicht geregelt.

#### *Zentrales Ergebnis:*

Diese Regelung des Funkkontaktes wird nach Angaben der Studienteilnehmer von 99 Prozent der Fahrschulen eingehalten. Ein positives Ergebnis. Was dem Fahrschüler darüber hinaus zu Gute kommen kann, ist der Einsatz einer Funkanlage mit Gegensprechmöglichkeit im Gegensatz zum einseitigen „Kommandofunk“. Dies wurde allerdings nur in 6,3 Prozent der Fälle genutzt, demnach konnten 92,7 Prozent der Fahrschüler nicht mit ihrem Fahrlehrer in einen Dialog treten.

Unter der Berücksichtigung folgender Punkte sprechen wir uns für den Nutzen einer Dialogmöglichkeit aus: Die Intensität des Dialogs zwischen Fahrlehrer und Fahrschüler muss vom fahrerischen Können des Schülers abhängig gemacht werden. Sind hier noch größere Unsicherheiten vorhanden, die eine erhöhte Konzentration des Fahrschülers fordern, darf er durch vermehrte zusätzliche Informationen nicht abgelenkt werden. Mit voranschreitender Fahrkompetenz des Fahrschülers kann die Intensität des Dialogs bei Bedarf gesteigert werden, stets unter der Prämisse, dass der Dialog keine Ablenkung/Störung darstellt.

Die Dialogmöglichkeit schafft aus unserer Sicht klare Vorteile für den Fahrschüler sowohl hinsichtlich seines Wohlbefindens als auch mit Blick auf den Lernfortschritt. Gerade Einsteiger fühlen sich durch den Kontakt mit dem Fahrlehrer nicht gleich gänzlich auf dem Motorrad „alleingelassen“. Diese direkte „verbale Verbundenheit“ kann im Gegensatz zum eher „abschottenden Kommandofunk“ ein Sicherheitsgefühl fördern. Zudem kann der Fahrschüler bei elementaren Unsicherheiten (Fahrzeugbedienung, Verkehrsregeln, Fahrtrichtung etc.) Rücksprache halten ohne anzuhalten bzw. auf die nächste Pause warten zu müssen. Ist der Fahrschüler bezüglich seines fahrerischen Könnens fortgeschrittener, besteht zusätzlich die Möglichkeit, je nach Bedarf einen kurzen fachlichen Austausch durchzuführen. Die Betonung liegt hier auf dem Wort „kurz“. Für längere Ausführungen ist ganz klar eine Pause sinnvoller. In diesem Punkt sollte vor Fahrtantritt mit dem Fahrschüler vereinbart werden, dass auch er durchaus eine Pause einleiten darf bzw. bei längerem Diskussionsbedarf anhalten soll. Mit Blick auf

die Kosten und Technik stellen Gegensprechanlagen für diesen Verwendungszweck heutzutage kein Problem mehr da.

### **Helm (Details unter 6.3 bis 6.5)**

Der gesetzliche Rahmen sieht vor, dass zumindest während der praktischen Prüfung geeignete Schutzkleidung (samt Helm) getragen werden muss (FeV). Auch die Fahrschüler-Ausbildungsordnung sowie der Curriculare Leitfaden für die Motorradausbildung gehen auf das Thema Fahrerausstattung gezielt ein. Dass ein Fahrer/Beifahrer eines motorisierten Zweirades stets mit geeignetem Helm und geeigneter Motorradbekleidung unterwegs sein sollte, muss an dieser Stelle nicht näher erläutert werden.

#### *Zentrales Ergebnis:*

27,8 Prozent der Befragten geben an, dass ihnen von der jeweiligen Fahrschule kein Motorradhelm für die praktischen Unterrichtseinheiten zur Verfügung gestellt wurde. Da ein Helm aber gesetzlich vorgeschrieben ist, müssen auch diese Fahrschüler während ihrer Motorradausbildung einen Helm getragen haben. Welcher Helm dabei genutzt wurde, bleibt Spekulation. Darüber hinaus wurde bei 33,3 Prozent der Befragten gar kein Helm bzw. keine Auswahl verschiedener Helmgrößen angeboten. Hingegen konnten 6,3 Prozent zwar eine Auswahl hinsichtlich der Größe treffen, die jedoch nicht in ausreichender Form gegeben war. Demnach sind mehr als zwei Drittel der Befragten während ihrer Motorradausbildung mit einem Leih-Helm unterwegs gewesen, der nicht richtig passte. Den Zustand der Leih-Helme bewerteten die Befragten, die einen Helm zur Verfügung gestellt bekamen, in 93,4 Prozent der Fälle mit „sehr gut“ bis „befriedigend“.

Wir fordern eine deutlich bessere Ausstattung der Fahrschulen mit geeignetem und einwandfreiem Fahrerequipment. Der Helm darf keine Beschädigungen aufweisen, zudem muss das Visier unverkratzt und nach Möglichkeit beschlaghemmend sein. Einige Fahrschulen bedienen sich der Vorgehensweise, dass sich der Fahrschüler unmittelbar vor Beginn der praktischen Ausbildung selber einen Helm kauft. Die Rechtfertigung besteht hierbei darin, dass nach dem erfolgreichen Abschluss der Ausbildung sowieso ein Helm gekauft werden muss, um Motorrad fahren zu können. Der Vorgang des Helmerwerbs wird also vorverlagert, mit dem positiven Ziel, dass der Fahrschüler einen Helm trägt, der auch perfekt sitzt. Nachteilig könnte sich dabei auswirken, dass der Fahrschüler noch keinen Helm kaufen kann/möchte und sich aus Verlegenheit einen Helm von einem Bekannten oder Freund ausleiht. Ob dieser Helm dann immer noch ordentlich passt, bleibt fraglich. Darüber hinaus sollte nicht jedem Fahrschüler bei Beginn seiner Fahrschulausbildung zugemutet werden, einen Helm kaufen zu müssen. Zumindest muss der Fahrlehrer einen eigens mitgebrachten Helm „begutachten“ und die korrekte Passform überprüfen. Nach wie vor sollte eine ordentliche Motorradfahrschule Leih-Helme in den gängigen Größen und ordnungsgemäßem Zustand zur Verfügung stellen, um eine gute Vorbild-

funktion zu gewährleisten. Auch in der aktuellen Empfehlung der Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände (BVF) heißt es: „geeigneter, passender Motorradhelm mit sauberem, unverkratztem Visier“. Bei Beschädigungen müssen Teile des Helms bzw. der ganze Helm unverzüglich ausgetauscht werden.

### **Motorradbekleidung (Details unter 6.3 bis 6.5)**

#### *Zentrales Ergebnis:*

30,2 Prozent der Teilnehmer geben an, dass ihnen seitens der Fahrschule keine geeignete Motorradbekleidung zur Verfügung gestellt wurde. Bei der Frage welche Bekleidung zur Verfügung gestellt wurde, wird die „geeignete Jacke“ mit 57,8 Prozent am häufigsten genannt. Ähnlich häufig wurden Handschuhe (55,1 %) und Nierengurt (54,8 %) gelistet. Dass das Tragen einer Jacke für wichtiger gehalten wird, als das Tragen einer geeigneten Hose, zeigen diese Angaben: Nur 40,7 Prozent der Fahrschüler wurden mit einer entsprechenden Motorradhose „versorgt“. Die geringsten Prozentsätze konnten beim Schuhwerk und beim Rückenprotector ermittelt werden. Denn nur 19,5 Prozent der Befragten geben an, Leih-Motorradstiefel bekommen zu haben, nur 9,5 Prozent einen Rückenprotector. Lediglich 39,4 Prozent der zur Verfügung gestellten Jacken und 29,1 Prozent der Hosen waren mit entsprechenden Protectoren ausgestattet.

Bei der Frage nach verschiedenen Größen, also einer Auswahlmöglichkeit, hat sich herausgestellt, dass mit 52,4 Prozent über die Hälfte der Befragten nicht ausreichend bzw. gar nicht mit Motorradbekleidung versorgt wurden. Was den Zustand der Leihbekleidung angeht, zeichnet sich ein positives Bild ab. 93,3 Prozent der Teilnehmer vergeben hier ein „sehr gut“, „gut“ oder „befriedigend“.

Auch die Ergebnisse aus diesem Bereich der Fahrerausstattung führen zu einer Forderung nach einer deutlich besseren Ausstattung der Fahrschüler mit geeigneter Motorradbekleidung. Hinsichtlich des Ausstattungsgrades der Fahrschulen wird deutlich, dass eine große Diskrepanz zwischen dem Lehrstoff – der dem Fahrschüler die Vorteile des Tragens von „Motorradbekleidung“ vermittelt – sowie der tatsächlichen Praxis besteht.

Die Fahrschulausbildung stellt hier einen wichtigen Punkt dar, dem zukünftigen Motorradfahrer zu verdeutlichen, wie wichtig das Tragen von korrekt passender Motorradbekleidung sein kann. Wie die Ergebnisse zeigen, ist dabei die Vorbildfunktion des Fahrlehrers von großer Bedeutung.

Die aktuelle Rechtsprechung (Oberlandesgericht Nürnberg) hat auch in Kreisen der Fahrlehrerverbände zum Nachdenken angeregt und deutliche Konkretisierungen hinsichtlich der Mindeststandards hervorgebracht. So sind jetzt in einer Empfehlung der Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände (BVF) die einzelnen Teile der Fahrerausstattung hinsichtlich ihres konkreten Verwendungszwecks im Ver-



gleich zu bisherigen Ausführungen in der Fahrerlaubnis-Verordnung weiter eingegrenzt worden. Demgemäß ist beispielsweise nicht mehr die Rede von einer „anliegenden Jacke“, sondern von einer „geeigneten, eng anliegenden Motorradjacke“. Bekleidungsstücke wie beispielsweise eine geeignete Motorradhose wurden komplett neu in die Liste notwendiger Fahrerausstattung aufgenommen. Vor dem Hintergrund der Empfehlung des BVF fordern wir, dass jeder Fahrlehrer darauf achten muss, dass sein Fahrschüler vor jeder Fahrt mit entsprechenden Komponenten ausgestattet ist.

Zusammenfassend kann für den Bereich der Fahrschulenausstattung festgehalten werden, dass hinsichtlich des verfügbaren Equipments deutliche Defizite erkennbar sind. In den meisten Fällen dürften finanzielle Gründe dabei das Motiv sein. Eine zielführende Maßnahme zur Kostenreduktion der einzelnen Fahrschule könnte die Zusammenarbeit verschiedener Fahrschulen im selben Ort (derselben Stadt etc.) sein, die aus besagten Gründen einen gemeinsamen Fahrzeug- und/oder Bekleidungspool verwalten.

#### **7.4 Übersicht einiger Kriterien hinsichtlich des Nicht-Erfüllungsgrades**

Abbildung 44 zeigt noch einmal im Überblick einige ermittelte Defizite (Nicht-Erfüllungsgrad) in der theoretischen und praktischen Motorradausbildung. Dabei wurde der Ausstattungsgrad der Fahrschulen bewusst weggelassen, um kleine und weniger finanzkräftige Fahrschulen nicht zu benachteiligen. Die einzelnen prozentualen Angaben zeigen den jeweiligen Anteil der Teilnehmerantworten, der – entgegen einer gewünschten, vollständigen Fahrschulenausbildung der Klasse A – nicht erfüllt wurde. Bis auf eine Ausnahme, liegen alle untersuchten Bereiche oberhalb von 25 Prozent.

### Wichtige Einzelergebnisse der Befragung hinsichtlich der theoretischen und praktischen Motorradausbildung Nicht-Erfüllungsgrad

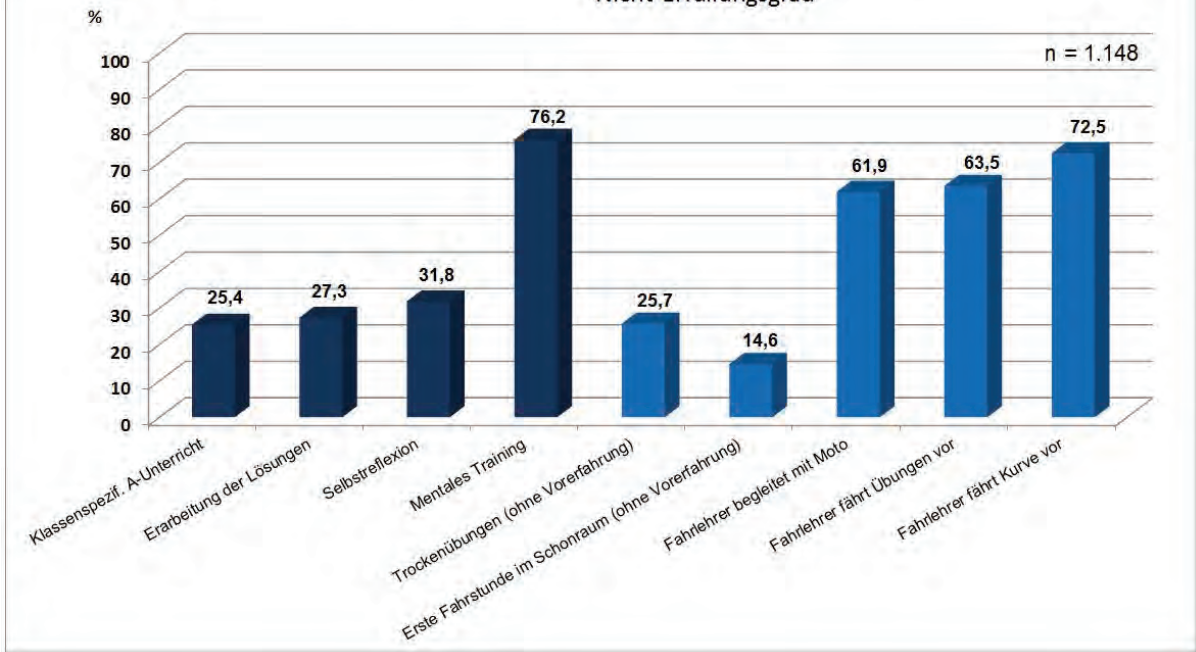


Abb. 44

Die deutlichsten Defizite lassen sich beim Mentalen Training (76,2%), aber auch bei der Fahrlehrerbegleitung auf einem separaten Motorrad (61,9%) und den damit verbundenen Übungen (63,5% bzw. 72,5%) feststellen.

In einer qualitativ guten Klasse-A-Ausbildung sollten grundsätzlich gewisse Kriterien erfüllt sein. Deshalb wurden drei Kriterien aus den obigen ausgewählt, wobei wir der Meinung sind, dass diese in jedem Fall erfüllt sein müssen. Diese lauten:

1. der klassenspezifische Unterricht wird durchgeführt
  2. der Fahrlehrer begleitet zumindest manchmal selber mit einem Motorrad
  3. bei Fahrschülern ohne Vorerfahrung werden Trockenübungen vor der ersten Fahrt durchgeführt.
- Setzt man diese drei Kriterien als K.-o.-Kriterien, so erfüllen gerade einmal 25,4 Prozent aller hier in der Studie beschriebenen Fahrschulen die Minimal-Anforderungen. An dieser Stelle ein besonderes Lob unsererseits an diese Fahrschulen.

Jedoch bleibt das Ergebnis ernüchternd und muss zwangsläufig dafür sorgen, dass sich die Fahrschulen, die noch nicht einmal diese Mindestanforderungen erfüllen (74,6%), selbst auf den Prüfstand stellen.

## 8. Ausblick

Die theoretische und praktische Fahrschulausbildung bereitet den zukünftigen Verkehrsteilnehmer daraufhin vor, selbständig am motorisierten Straßenverkehr teilzunehmen. Es geht also um eine Anfangskompetenz, die ein Weiterlernen in Eigenverantwortung ermöglicht und erfordert.

Ebenso ist es Fakt, dass die Fahrschulausbildung in Deutschland im internationalen Vergleich als gut gegliedert und hochentwickelt bezeichnet werden kann. Dennoch sind mit Blick auf die Ausbildung der Klasse A (Motorrad) Schwächen und Lücken vorhanden, denen Beachtung geschenkt werden muss. Um ein hohes Niveau in der Fahrschulausbildung aufrecht zu erhalten und auch in Zukunft weiter voranzutreiben, ist es wichtig, bestehende Regelwerke und deren Umsetzung zu überprüfen, um gegebenenfalls Verbesserungsmöglichkeiten zu finden.

Ohne Zweifel gibt es gute und auch sehr gute Klasse-A-Fahrschulen in Deutschland. Die Studie belegt, dass es zahlreiche engagierte Motorradfahrlehrer gibt, die hervorragende Arbeit leisten. Dennoch wird der Gesamteindruck aller Fahrschulen durch die Anzahl der schlechter abschneidenden Fahrschulen beeinflusst bzw. getrübt.

Schaut man sich die Bereiche aus dem theoretischen und praktischen Teil der Motorradausbildung an, so kann für die bestehenden Regelwerke (Ausbildungs-Gesetze und Empfehlungen der Fahrlehrerverbände) festgehalten werden, dass ein Großteil unserer Forderungen bereits zufriedenstellend geregelt ist. Die Vorgaben werden also weitestgehend erfüllt. Der Blick auf die tatsächliche Umsetzung im Fahrschulalltag zeigt bei vielen Fahrschulen jedoch ein anderes Bild, wie die ermittelten Ergebnisse eindeutig belegen.

Mitverursachend dafür könnte die Tatsache sein, dass sich Fahrlehrer bezüglich der Klasse-A-Ausbildung nach derzeitiger Gesetzeslage nicht klassenspezifisch fortbilden müssen. So hat ein Fahrlehrer nach § 33a des Fahrlehrergesetzes (FahrIG) alle vier Jahre an einem jeweils dreitägigen Fortbildungslehrgang teilzunehmen. Diese Regelung geht aber nicht auf eine bestimmte Ausbildungsklasse ein. Dies führt letztendlich dazu, dass ein Großteil der Fahrlehrer die Weiterbildungen hinsichtlich der Sparte „Motorrad“ vernachlässigen. Zur Verdeutlichung: Ein Fahrlehrer, der beispielsweise 30 Jahre lang Fahrschüler auf Motorrädern ausgebildet hat, kann dies getan haben, ohne jemals an einer Motorradfortbildung teilgenommen zu haben. Wenn ein Fahrlehrer also eine Fahrlehrererlaubnis in der Klasse A erworben hat, braucht er nie mehr an einer Fortbildung zum Thema „motorisiertes Zweirad“ teilzunehmen. Ein nicht hinzunehmender Zustand. Auch hier gilt es darüber nachzudenken, ob diese gesetzlichen Regelungen in dieser Form langfristig tragbar sind.

Darüber hinaus stellt sich die Frage, wie ein Fahrlehrer, der selbst so gut wie nie Motorrad fährt und auch die Fahrschüler niemals mit einem Motorrad begleitet, dem Fahrschüler das Wissen zu zweirad-

spezifischen Themen glaubwürdig vermittelt. Sicherlich mag es den einen oder anderen Fahrlehrer geben, der dies kann; verallgemeinernd ist diese Art der Vorbildfunktion jedoch weniger zielführend. Auf die Pkw-Klasse bezogen nahezu undenkbar: Wie glaubwürdig wäre ein Fahrlehrer, der selber nicht Auto fährt?

Wir hoffen mit den Ergebnissen dieser Studie unter anderem die Fahrschulen zu erreichen, die innerhalb der Motorradausbildung Defizite aufweisen. Jeder Fahrlehrer, der angehende Motorradfahrer ausbildet und dabei einen Großteil der hier erörterten Kriterien nicht erfüllt, muss sich ernsthaft überlegen, ob dies unter dem Aspekt der Verkehrssicherheit sinnvoll ist. „Ausbildung in allen Klassen!“ so lautet häufig die Werbung vieler Fahrschulen. Die Klasse-A-Ausbildung darf aber keinesfalls zum „Mitnahmegeschäft“ degradiert werden, dafür sind die Wissensvermittlung und das zukünftige Können der Absolventen zu wichtig für deren Verkehrssicherheit. Jeder Fahrlehrer sollte sich darüber im Klaren sein, dass seine Tätigkeit und der damit verbundene Ausbildungsrahmen die Basis für das Können des jeweiligen Fahrschülers legt.

Die Qualität der Fahrschulausbildung ist und bleibt ein öffentliches Interesse hinsichtlich der Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer. Nur wer engagiert und gewissenhaft ausbildet, wird durch sein „Dazutun“ langfristige Erfolge in der Verkehrssicherheit erzielen. Und darum geht es letztendlich: Weniger Unfälle und noch weniger Verunglückte.

Das Beherzigen der zentralen Punkte im Rahmen der Fahrschul-Motorradausbildung für eine bessere und effizientere Ausbildung wird eine Erhöhung der Verkehrssicherheit für Motorradfahrer zur Folge haben. Unsere bisherige gute Zusammenarbeit mit den Fahrlehrerverbänden sowie der Bundesvereinigung der Fahrlehrerverbände lässt die Hoffnung keimen, dass wir in naher Zukunft die gewünschten Änderungen gemeinsam angehen können.

Denkbar wäre auch – neben der vorliegenden Überprüfung der Fahrschulen/Fahrlehrer – eine Überprüfung der Fahrerlaubnisprüfer, die ähnlich gelagerte Defizite (z. B. Mangel an Erfahrung im Umgang mit dem Motorrad) aufzuweisen scheinen.

Obwohl schon vieles hinsichtlich der Ausbildung zukünftiger Motorradfahrer geregelt ist, gibt es auch weiterhin noch vieles zu verbessern!

**Hazard Recognition Training Programs and Their Relationship to  
Executive Functions in Motorcyclists**

**Programme für das Gefahrenbewusstseinstraining und ihre  
Auswirkung auf das Verhalten von Motorradfahrern**

Raymond J. Ochs  
Vice President of Training Systems

Motorcycle Safety Foundation  
2 Jenner  
Suite 150  
Irvine, California 92618

## Abstract

Research has shown that motorcyclists with experience scan the roadway and environment better than novice riders, and they recognize important clues much earlier in assessing a hazardous situation. Research in the United States, Europe and Australia confirm that one of the primary contributing factors in motorcyclist crashes is perceptual error. Both the United Kingdom and Australia have added a hazard perception component to their licensing process.

The Motorcycle Safety Foundation (MSF) has developed education and training programs designed specifically to provide training in hazard recognition. These programs are available to training providers, government agencies, and the general public in an effort to positively impact motorcycle crash rates. Dr. Raymond J. Ochs, Vice President of Training Systems, will provide distinguishing characteristics of MSF's hazard recognition programs, particularly the Street Smart – *Rider Perception* program.

To make early and accurate perception of the riding environment requires more than the ability to recognize a hazard in a controlled setting. The intent of MSF programs, beyond physical skills training, is to not only assist riders in their development of hazard recognition skills and instill the value of having good visual capabilities, but to connect a rider's potential perceptual ability to the executive functions of the brain. Giving riders an awareness of the importance of executive functions like attention, prioritizing and strategizing adds deeper meaning to hazard recognition training and provides transference in making safety a top-of-mind value when riding.

The purpose of this paper is to illustrate how hazard recognition training can transcend perceptual processes by appealing to a rider's executive functions, which refers to mindfulness associated with keeping safety a priority function of the riding task.

## **Hazard Recognition Training Programs and Their Relationship to Executive Functions in Motorcyclists**

## Introduction

Since March 1973, the Motorcycle Safety Foundation (MSF) has set internationally recognized standards of excellence in motorcycle rider education and training. The MSF is a leader in championing the safety of the motorcyclist in many ways. The Foundation develops and maintains a high-quality, research-based rider education and training curricula, establishes national certification standards, provides technical assistance for training and licensing programs, actively participates in government relations, research and public awareness, and partners with other motorcycling and public organizations toward improving the safety and enjoyment of motorcycling.

*Hazard Recognition Training Programs and Their Relationship to Executive Functions in Motorcyclists* explains how the MSF approaches hazard recognition training, and how it transcends the traditional methods that practice situational awareness. MSF programs use the acronym *S.E.E.*, which means to Search-Evaluate-Execute, which provides a framework to have hazard recognition become an unconscious process by connecting perceptual tactics with brain/mind processes.

Hazard recognition is considered to be a significant element in crash prevention. As noted in Groeger (2000):

It has been suggested that hazard-perception abilities can be trained and it does seem that people who receive rather general road safety training perform better on tests of hazard-perception ability (e.g. McKenna & Crick, 1991, 1994). Precisely what is learned from such training, and how it may generalize to hazard perception or actual driving, remains unclear. It is possible that what can be gained from such training is a general idea of what unexpected events may occur, and what the consequences of these might be, or that people are motivated to become more responsible or cautious.

Haworth and Mulvihill (2006) in their first stage of a program of research to develop hazard perception for motorcyclists, point out that Crick and McKenna (1992) define hazard perception as the ability to identify potentially dangerous traffic situations. Evans and McDonald (2002) define hazard perception as “the process whereby a road user notices the presence of a hazard.” For the purposes of this paper and as used in MSF programs, visual perception is defined as “seeing and understanding accurately.”

The MSF has developed a complete motorcyclist safety rider education and training system, from learn-to-ride courses to track-type programs. Over the period of several years and continually analyzed, improved and expanded its programs to help riders attain a superior, incident-free riding experience. With its Rider Education and Training System (RETS), MSF extend beyond physical skills train-



ing activities to provide a more robust training experience that can lead to a better quality of riding. The mental, perceptual and emotional aspects of this training are integrated into physical skills training programs, but also exist in stand-alone programs with hazard recognition improvement as a primary learning objective.

The purpose of this paper is to (1) provide a rationale for hazard recognition training, (2) connect the importance of addressing the executive functions of the brain in order to produce the most effective training possible, and (3) show how MSF has incorporated hazard recognition training into its education and training programs. Several MSF courses, including one specifically designed program titled *Street Smart – Rider Perception*, include hazard recognition awareness and training. This program, which is the primary focus of this paper, has a companion online interactive program called *Rider Perception Challenge!* It is found on the MSF website and is available to anyone with Internet access. (Note: The training situations in *Rider Perception Challenge!* use United States signs and highways, and all riding is assumed to be on the right side of the roadway.)

This paper addresses how hazard recognition training is expanded to emphasize human executive functions that are critically important for identifying and prioritizing factors while riding. A safety mindset is an antecedent for effective hazard recognition. Hazard perception training that focuses only on select situations may be limiting potential positive effects for helping riders manage their risks.

It is important to contextualize terms used in this paper. For purposes of this paper, here are some key definitions:

*Perception*: recognizing via the senses, mostly vision.

*Hazard Recognition*: synonymous with hazard perception.

*Rider Perception*: identifying important clues while riding.

*Metacognition*: thinking about one's own mental processes.

*Executive Functions*: how a person initiates, prioritizes and consciously supervises their mind.

It is important to not confuse metacognition with executive functions. The implementation of one's executive functions is far more diffuse than metacognition, which is related to thinking about one's own mental processes.

## Identification of the problem

Traffic safety experts have long known that motorcycling is a complex psychomotor task that includes mental, physical, social and emotional competencies and abilities. Motorcycling is a mental task because a rider must process information and make decisions; motorcycling is a physical task because it requires simple and complex motor skills; motorcycling is a social task because it requires interaction with other highway users; and motorcycling is an emotional task because riders base their decisions on how they are thinking at a given point in time.

The MSF characterizes the riding task as more a skill of the eyes and mind than of the hands and feet. This means that once basic skills are acquired, safety on the road is more about using the eyes well and using the brain to sort, organize and prioritize factors in the traffic environment. Riders must make decisions and take actions while keeping in mind capabilities and limitations. Quality rider education and training must transcend the notion that safety is to solely focus on skill development, particularly for riders who already possess basic skills. This is important because a rider must be not only attentive in traffic, but have safety as a high-priority function in order to best use perceptual processes. In Dorn (2005), it is noted:

In contrast to engineering and enforcement interventions, education has received comparatively little attention as a method to alter driver behaviour. Hitherto, much of the research on driver behavior is disappointing in not providing sound practical solutions to bring about a desired change in driver behaviour. It seems common sense then that training drivers would reduce the risk of collisions; yet studies to evaluate whether driver training delivers a safety benefit have been largely unsuccessful. However, driver training takes a skills-based approach and little attention is paid to the behavioural aspects of driving known to be a major factor in collision risk. This could explain why existing methods have frequently failed to reduce accidents. Notwithstanding, the vast majority of evaluation studies of driver training are limited due to poor methodology, biased selection procedures and crude outcome measures as reported in a recent major review (Ker, Roberts, Collier, Beyer, Bunn and Frost (2004)). So it is not clear whether the evaluation studies need to be more rigorously conducted or whether the skills-based approach misses the mark by not addressing driver behaviour.

The Hurt Report released in the United States, officially known as *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures* (1981), recommended that a priority for rider education and training programs would be to emphasize the rider's capabilities to see and be seen. The Motorcycle Accident In-Depth Study (MAIDS) (2004) showed similar crash results: "In about 1/3 of accidents PTW riders and other vehicle (OV) drivers failed to account for visual obstructions and engaged in

faulty traffic strategies.” Another MAIDS finding states that among the secondary contributing factors, PTW riders “failed to see the OV and they also made a large number of faulty decisions; i.e., they chose a poor or incorrect collision avoidance strategy. In 13% of all cases, there was a decision failure on the part of the PTW rider.”

Dorn (2005) notes that distributions of attention within the visual field play an important role for safe driving behaviour, as confirmed by several studies. The link between attention and traffic accidents was the subject of a study of Hendricks, Fell and Freedman (1999) who found by analyzing 723 crashes that 37.8 percent were due to driver inattention or perceptual errors. In an earlier investigation by Treat, Tumbas, McDonald, Shinar and others (1979), 2258 traffic accidents were evaluated and the authors concluded that improper outlook and inattention were the two leading causes of traffic accidents.

Motorcyclists should maximize their capabilities for vigilance and perception. Consideration must be given to how they spend their time looking and how they use their brain for thinking, prioritizing and analyzing riding situations. A rider who has safety as a priority value in the context of appropriate social and emotional characteristics will be able to enjoy motorcycling to the fullest and minimize the likelihood of a motorcycle crash. But riders do not operate in a vacuum. Devices that distract other highway users are on the increase, from cell phones that can be used for talking or *texting*, to video devices and navigation systems that cause inattention to the immediate operator tasks. What has been learned about driver distraction has implications for riders who may not give due attention to their capacities while riding.

Can hazard recognition training alone improve hazard perception on the road? Can training initiatives shape executive functions? Can hazard recognition training cause greater overall attention when riding? A white paper from the National Safety Council (2010) alludes to the fact that hazard recognition must connect to the executive functions to be effective. The brain handles tasks sequentially, switching between one task and another. A person’s brain can juggle tasks very rapidly, which leads to erroneously belief that one is capable of performing two tasks at the same time. In reality, the brain is switching attention between tasks – performing only one task at a time. From the report:

In addition to “attention switching,” the brain engages in a constant process to deal with the information it receives:

1. **Select** the information the brain will attend to
2. **Process** the information
3. **Encode**, a stage that creates memory
4. **Store** the information.

Depending on the type of information, different neural pathways and different areas of the brain are engaged. Therefore, the brain must communicate across its pathways. Furthermore, the brain must go through two more cognitive functions before it can act on saved information. It must:

5. **Retrieve** stored information
6. **Execute** or act on the information.

When the brain is overloaded, all of these steps are affected. But people may not realize this challenge within their brains. As noted in Spiegel (1998): Thus, *perception*, and in this case the perception of a particular *internal* psychological situation, is the key to everything that follows (page 112).

It is important for a rider to know both their internal tendencies toward making safe riding decisions as well as their actual hazard recognition capabilities. This can be determined by self-assessment in both formal training programs and in actual riding experiences. Clearly, a goal for safety-minded riders is to become cognizant of their own capabilities to prioritize and analyze riding situations. This self-awareness, if tied to an appropriate value system, can enhance personal safety. It is important for the safety training community to help riders make the connection between hazard recognition and personal executive functions.

Caine and others (2009) state the primary key to learning is *developing the ability to make good decisions in the real world, based on the knowledge that people have and the sense they have made of experience*. In short, at the heart of great teaching is the development of the executive functions of learners. They additionally posit that the “notion of thinking about one’s own thinking is called *metacognition*, and it has been studied extensively (see, for example, Perfect & Schwartz, 2002). In fact, working with metacognition is essential for enhancing the executive functions, all of which are strengthened as people become aware of their own behaviors, capacities, and predispositions.”

Motorcyclists ride like they live, and because motorcycling is a complex perceptual-motor task, the concept of safety renewal in the context of mindfulness has value. In Meltzer (2007) it is stated:

...life success depends increasingly on the mastery of executive function processes such as goal setting, planning, organizing, prioritizing, memorizing, initiating, shifting, and self-monitoring. Executive function is a cognitive process involved in controlling behavior and readying the person for situations. More important in real-life decision making and everyday reasoning than in responding to questions on standardized tests, executive function comprises the ability to be mentally and behaviorally flexible to changing conditions and to provide coherence and smoothness in one’s responses.

Chabris and Simons (2010) point out: “The problem is not with the limitations of motor control, but with limitations on attention resources and awareness” (page 23). It is clear that for riders to be as safe as reasonably possible, they must apply their executive function abilities directly to the riding task. To accomplish this, they not only need general executive function capabilities, but must also possess an extant strategy to effect proper perception, judgment, choices and decisions.

It is important for hazard recognition training to address the antecedents of good hazard perception: the executive functions. Most people recognize when they are visually or mechanically distracted and seek to disengage from causal activities as quickly as possible. However, people typically do not realize when they are cognitively distracted, such as taking part in a phone conversation; therefore, the risk lasts much, much longer (National Safety Council, 2010).

Riding safely requires more than good physical skills and attention to the riding task. It requires a deep-seated respect and a healthy attitude that places safety as a top-of-mind matter when riding. As noted in Forbes (1972), the question remains “Will an outright attempt to change driver skills help solve the problem or is the continued accident problem symptomatic of a deeper private and public issue? What assurance do we have that more skilled drivers will use their skills to avoid accidents, rather than slice the margin of safety more closely?”

At a more practical level, improved physical skills would seem to be of value only to those drivers who are already predisposed to drive safely. Add to this what Vanderbilt (2008) related about a real-time functional magnetic resonance imaging study: “That small peek into the brain of the driver revealed a simple, if underappreciated truth about driving: When we are in traffic, we all become on-the-fly risk analysts. We are endlessly having to make snap decisions in fragments of moments, about whether it is safe to turn in front of an oncoming car, about the right speed to travel on a curve, about how soon we should apply the brakes when we see a cluster of brake lights in the distance.”

To be a good risk analyst requires good judgment. Judgment can be defined as the ability to relate total experience to a specific activity. But experience alone does not help develop good judgment; careful reflection on experience does. A goal of developing and using good judgment is to be an effective decision-maker, with foresight as opposed to hindsight. Sugarman and others (2000) noted that the essential steps include: (1) reorganizing perceptions, (2) forming new relationships, and (3) influencing future thoughts and actions.

Formal rider education and training programs can provide the impetus to acquire the skills to use the brain and mind more effectively. As noted in Speigel (1998, page 118):

Improvement requires a constant intent to improve. A passive openness to learning is not enough. An active desire to learn – the *intent to train mentioned above* – is necessary. The

implementation and maintenance of this intent is a task that requires the utmost in rational control, which is a *duty* – a “*leadership duty*” – *of the conscious self*. The application of the training process and training aids that are useful in the implementation of the training intent is a job for the conscious self.

Education and training programs that address the human functions of the riding task, including hazard recognition, must provide awareness and development of the executive functions, or at least instill an appreciation for the value of making attention to safety a priority when riding. It is from this perspective that rider education and training can become more effective. As noted in Vanderbilt (2008): “Human attention, in the best circumstances, is a fluid but fragile entity, prone to glaring gaps, subtle distortions, and unwelcome interruptions. Beyond a certain threshold, the more that is asked of it, the less well it performs. When this happens in a psychological experiment, it is interesting. When it happens in traffic, it can be fatal.” Chabris and Simons (2010) add credence by commenting on the results of studies about multitasking: “These findings have an important practical implication: Training people to improve their attention abilities may do nothing to help them detect unexpected objects. If an object is truly unexpected, people are unlikely to notice it no matter how good (or bad) they are at focusing attention.”

## Development of the MSF S.E.E. strategy

The MSF RETS includes the breadth and depth necessary to favorably impact riders who take advantage of formal safety training, and it integrates opportunities to develop not only specific physical, mental, and social skills, but also the mindfulness related to the executive functions. This takes a rider’s emotional commitment.

Search-Evaluate-Execute (SEE) is the terminology used to address the human functions of the riding task. Over the years, many similar methods have been used. Most ubiquitous is Identify-Predict-Decide-Execute, which was adopted by many traffic safety agencies and promulgated in several driver and traffic safety education textbooks.

*IPDE* and *SIPDE* (S adds Search or Scan) are decision-making processes for motor vehicle operators that have been around the driver and traffic safety education community for many years. Although no one person or entity has been credited with their development, the source most often cited was reported in Traffic Safety Research Review (1967), where Lawrence E. Schlesinger stated:

...the skilled driver is one who accurately processes and organizes the information of the driving scene in terms of the field of safe travel and minimum stopping zone, and who maintains a safe field-zone ratio over time. The skills required to accomplish this task are

observation of the changes in the driving scene, identification of the change and estimation of its consequences, decision-making and executing the decision. These are assumed to be learnable and measurable. Research efforts aimed at discovering (1) procedures for the achievement of these skills, (2) methods for communicating these procedures in driver education and (3) methods for evaluating student accomplishment will be helpful in improving the value of driver education programs.

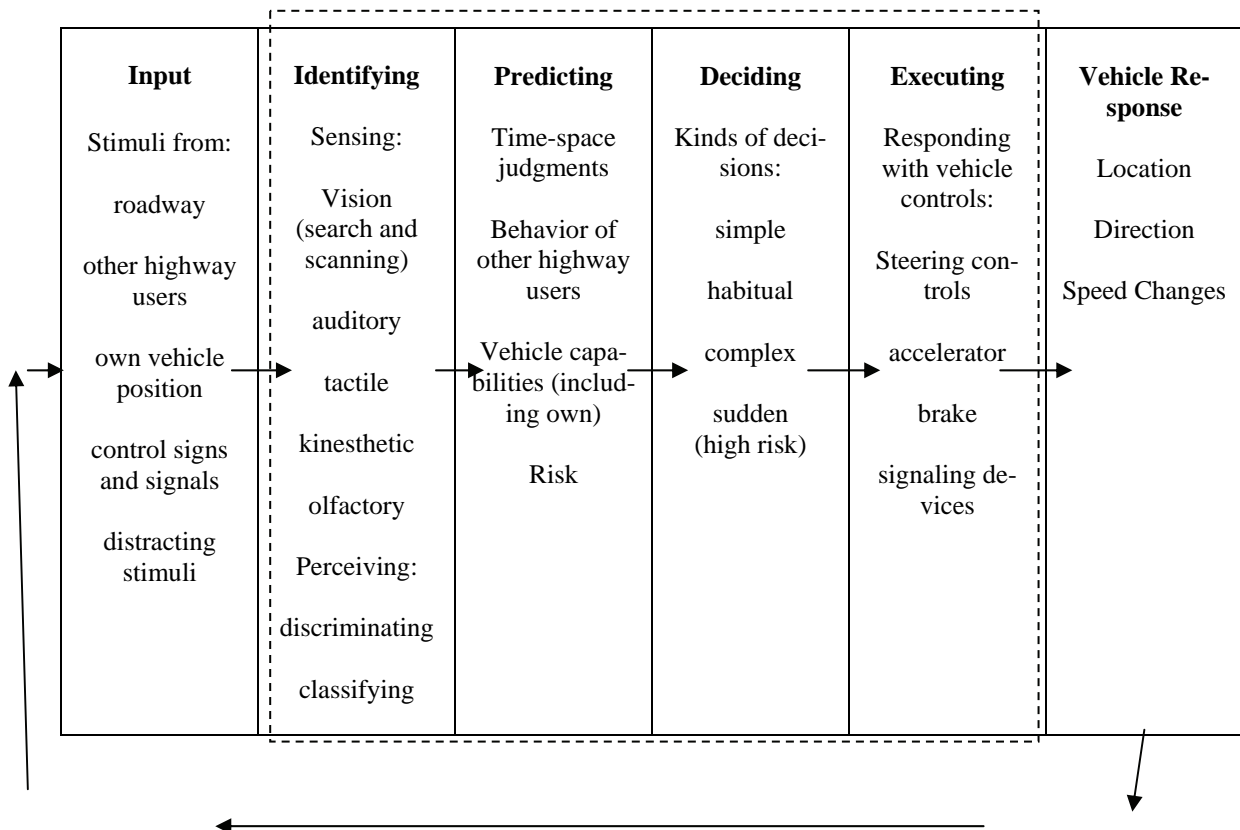
One of the early uses of IPDE is provided in an Automotive Safety Foundation (1970) publication. In explaining a curriculum rationale, the authors named as one of the aspects pervading the curriculum the “human functions.” In a section titled *Human Functions—Basic Points of Contact and Connection for the Curriculum*, it states:

Performance depends upon the efficiency and effectiveness of human functions applied to the task, so educational efforts should be directed toward the quality of these functions. Although researchers have classified these functions somewhat differently, these analyses appear to agree in substance. The terms of the study follow closely those proposed by Schlesinger. They are: 1) *identify* the relevant cues; 2) *predict* their significance; 3) *decide* what to do; and 4) *execute* your decision. The precise division and labels are not important so long as they come from a systematic and logical analysis, and are meaningful to the teacher and his students. Some may prefer to use ‘perception’ instead of ‘identify’; and ‘judge,’ ‘evaluate,’ or ‘assess’ instead of ‘predict.’ In any case the person senses and processes information, decides and acts. These functions tend to blend together and overlap in the rapidly changing environment. None of them is independent; indeed, listing them separately is more a convenience than a reflection of reality. They are separated in this project to stress the mental as well as the physical functions of driving, and also to help identify techniques for developing the functions.”

This resource curriculum provided a chart titled “Man-Machine-Environment Analysis: Human Functions.” The chart named six categories: input, identifying, predicting, deciding, executing, and vehicle responses (see Chart 1 below).

Chart 1. MAN-MACHINE-ENVIRONMENT ANALYSIS

Human Functions



There are several examples of how the basic IPDE system or similar processes or systems have been utilized. ... (1971) *Learning to Drive: Skills, Concepts, and Strategies* used the five-step process of See, Understand, Predict, Evaluate, Control. The 1972 text *Let's Drive Right* used IPDA (Identify, Predict, Decide, Act). The 1975 driver education text *Driving: A Task Analysis Approach* used SIPDE, and where the "S" stood for Sensing. AAA for many years has used SIPDE, with the "S" meaning Search. The Washington State curriculum Guide has adopted WEA (Watch, Evaluate, Action). The 1989 Motorcycle Safety Foundation Experienced *RiderCourse* utilized SPA (Search, Predict, Act). The National Safety Council Defensive Driving Courses have been utilizing Recognize the hazard, Understand the defense, Act correctly in time. The American Driver and Traffic Safety Education Association (ADTSEA), in its teacher preparation and recognition program, promotes a 3-step approach including Mottola's ABCs of Zone Control of A: Alert switched on to check zones, B: Before acting check other zones, and C: Create time/space management.

From an education and training viewpoint, the exact terminology is not critical to the achievement of objectives. It becomes a matter of what best communicates to riders and what best transfers from the



learning environment to actual streets and highways. As stated in an Automotive Safety Foundation (1975):

The precise division and labels are not important so long as they come from a systematic and logical analysis, and are meaningful to the teacher and his students. Some may prefer to use “perception” instead of identify”; and “judge” instead of evaluate, or “assess” instead of “predict.” In any case the person senses and processes information, decides and acts. There functions tend to blend together and overlap in the rapidly changing traffic environment. None of them is independent; indeed, listing them is more a convenience than a reflection of reality.

In many ways, rider perception is a euphemism for situational awareness. In Banbury (2004), it is noted that in surveying definitions of situational awareness (SA) reveals the variety of conceptions currently conveyed in the literature. Breton and Rousseau (2001) performed a systematic classification of 26 SA definitions. These definitions turned out to be evenly divided in two classes corresponding to the now accepted duality of SA as a *State* or as a *Process*.

The Motorcycle Safety Foundation Basic *RiderCourse* and other programs use the acronym SEE (Search-Evaluate-Execute) as a personal riding strategy (see Figure 1 below). Search, a visual function, means to actively scan and identify factors that could create increased risk; Evaluate, a cognitive function, means to consider potential problems from the interaction of those factors; and Execute, a motor skills function, refers to physical, manipulative actions required for communication as well as time and space adjustments.

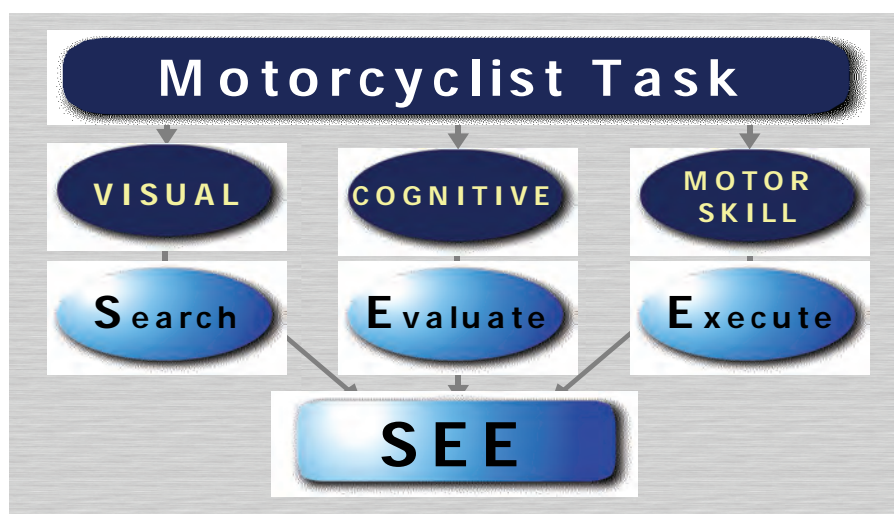


Figure 1. Motorcyclist Task

SEE is an active, thinking strategy that places responsibility on the motorcyclist to reduce risk by creating time and space in order to control a personal margin of safety. Besides being a simplified three-step process and easy to remember, SEE as a word acronym connects a thinking strategy with the importance of visual perception. This is supported by the Hurt Report (1981) that stated in one of its recommendations and proposed countermeasures: "...and this points out the need for the motorcycle rider to develop a traffic strategy so that he can see and be seen in traffic. This should be the most important component of any motorcycle rider training program."

### Integration of S.E.E. into the MSF rider education and training system

With the introduction of the MSF's latest learn-to-ride curriculum, the *Basic RiderCourse* in 2001, S.E.E. became the primary method used to convey the human functions of the riding task. But using S.E.E. is the tip of the iceberg in terms of improving rider safety through the development of hazard recognition ability. Consider the MSF Pyramid of Safety (see Figure 2 below). It illustrates the components of safe riding, which certainly transcends the notion that rider safety is a function of primarily physical skills. And the development of physical riding skills too often becomes the central feature of rider education and training safety programs.

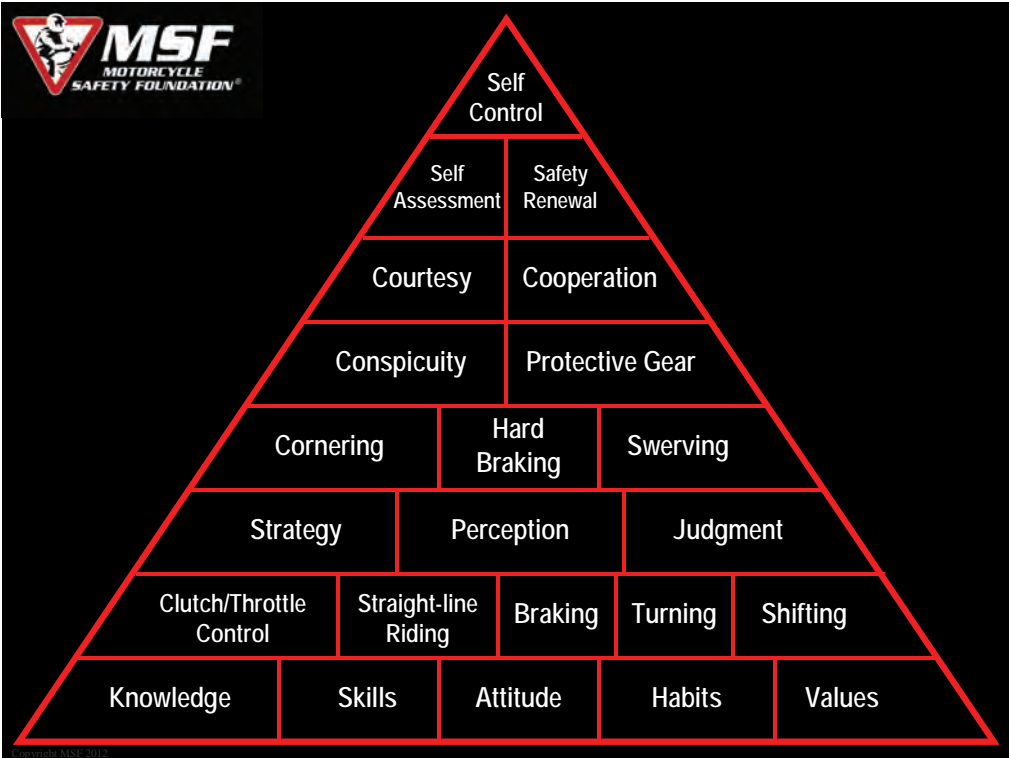


Figure 2. MSF RETS Pyramid of Safety

All MSF programs incorporate the topical areas of the pyramid. The more basic programs emphasize the baseline topics while acknowledging the higher-order functions; the more advanced programs renew the fundamentals of riding while delving deeper into the functions of rider decisions and choices.

It is important to situate *perception* in the context of a larger of general human error, which transcends the notion of basic hazard perception. As noted in Breakwell (2007), some hazards are the product of human error. Several types of error create hazards:

- Failures in problem analysis – e.g., missing the way peripheral elements in the problem can interact with each other to become major obstacles to it;
- Solution failures in problem solving – e.g., believing that the solution is identified without adequately testing it;
- Failure in attention to information – e.g., ignoring information that is available (or sometimes, not recognizing what information is not available);
- Failure in interpretation of information – e.g., misunderstanding the implications of the data that you have noted;
- Failure in the choice of action that a situation requires – e.g., deciding that it is necessary to intervene when it is not;
- Failure in the appropriate execution of the chosen action – e.g., either in when it is done or how it is done.

Note all but the final point address the brain/mind connection associated with perception. Dominguez (1994) suggests a set of processes “on which situation awareness depends: *information extraction, information integration, mental picture formation, and projection and anticipation.*” Training in hazard recognition should not only connect with the executive functions of the human brain, but also create the opportunity to delve deeper into a rider’s risk reduction management strategies. Endsley (1998) also describes three cognitive processes or functions: *perception, comprehension* and *projection*.

The MSF recommends a core set of courses for complete preparation in developing and maintaining safe and responsible performance and behavior. S.E.E. is the fundamental strategy the forms a central thread that integrates the mental and physical aspects of riding. Here are the primary programs of the MSF’s recommended core of courses, and how hazard recognition, via S.E.E., is addressed in each:

- Basic *RiderCourse* (BRC): S.E.E. is introduced as the strategy for minimizing risk. It is to be applied when learning basic operation on the closed-course practice area, and is reinforced in audio-visual training aids as it can be applied to actual riding situations.

- *Street RiderCourse*: Part IV of the Street Smart – *Rider Perception* program is used prior to the on-street instructional activities. During the route, riding experiences under the supervision of a RiderCoach with radio communication and during the mid-route debriefs, S.E.E. is used as the focal point hazard recognition.
- Street Smart – *Rider Perception*: this classroom-only program focuses on developing good perception and hazard recognition (details are provided later in this paper).
- *Rider Perception Challenge!*: a self-paced online program with elements from the MSF's Street Smart – *Rider Perception* program.
- *Advanced RiderCourse*: a segment of the classroom learning activities uses parts of the Street Smart – *Rider Perception* program.
- The Safe Motorcyclist Awareness and Recognition Trainer (SMART) – *Traffic Awareness*: this learning tool provides simulated traffic scenarios and uses S.E.E. in the learning environment, with rider-specific coaching (details are provided later in this paper).

Just as motor skills are developed from gross to fine skills, so too is rider perception developed over time with deeper levels of understanding and application. It would be preferred to have riders who are perfectly and completely capable before ever letting them on the street, but this is not practical. So it becomes important throughout training, particularly in the beginning when only basic skills have been acquired, that every rider knows how to keep their skills ahead of their risks. Riders must keep a margin of safety as they consider their capabilities and limitations. Awareness of and training in rider perception and hazard recognition can not only enhance risk management capabilities, but can also provide experiences in the vulnerabilities of riding in traffic. For maximum effectiveness, hazard recognition training must appeal to and connect with personal executive functions.

In summary, it is important for riders to have the mental, physical, social and emotional skills necessary for safe motorcycle operation. The mental aspect can be developed and used in a course, but more importantly, riders need the appreciation of and value for making safety a priority. One way to accomplish this is to provide learning activities that not only built hazard recognition skills, but show how quickly the eyes and mind can work if attention is devoted to the riding task; in other words, creating an awareness of perceptual awareness. If a rider makes safety a priority, has good hazard perception skills, and chooses to keep the mind in a state of readiness (an executive function), then hazard recognition training has accomplished more than surface learning and reached the core of human decision-making capabilities.

Provided below are details about two specific programs about hazard recognition. Each is designed to address not only hazard perception, but to create a respect for safety mindfulness as part of a rider's executive functions.

## **Street Smart – Rider Perception program**

Street Smart – *Rider Perception* (SSRP) is an MSF Host-an-Event program that is devoted to rider perception and hazard recognition. (Host-an-Event programs are complete curriculum-in-a-box kits available to the public and do not require specialized training or certification.) The SSRP has been implemented in two formats: one is a kit that contains a Leader's Guide with a core lesson plan, student workbooks, oversized playing cards and floor mats for highlighting central vision and peripheral vision, and a training aid with a PowerPoint program and interactive scenarios that consist of traffic signs and traffic situations; the other is an online web-based version that may be used as a perceptual awareness activity that includes self-assessment with personal perceptive abilities specific to motorcycle operation on a roadway and in traffic.

The SSRP kit consists of learning activities divided into four separate parts: (1) Introduction to Rider Perception; (2) Improving Perception; (3) Analysis of Collision Traps; and (4) Road Sign and Collision-Trap Practice. The PowerPoint program is designed with highly interactive learning activities and Part IV, Road Sign and Collision-Trap Practice tests participants as a capstone activity.

The stated objectives of the SSRP are:

1. Name several factors that affect perception.
2. Explain how quickly the eyes and mind can effectively work to accurately perceive a situation (in the case of this module, that would be quick identification of road signs and traffic situations).
3. Identify traffic signs and state their meaning.
4. Identify factors in traffic situations that could affect rider speed, lane position or path of travel.
5. Increase the speed of identification of key factors in traffic.
6. State the value of attention in identifying factors and managing risks.
7. Name several collision traps that could affect rider safety.

Items 2 and 6 above allude to the executive functions as they relate to hazard perception. As stated in the Leader's Guide when referencing the collision traps practice test items: "A point to keep in mind is

that the purpose is not to solve specific situations with an absolute, only-one-answer response, but to gain an appreciation of how quickly the eyes and mind can work....” For the online *Rider Perception Challenge!*, it is explained about the signs and situation tests that: “Both types of tests demonstrate how quickly your eyes and mind work together if you are attentive.” For a hazard perception experience, visit the MSF website ([msf-usa.org](http://msf-usa.org)) and click on *Hazard Perception Challenge!* It provides an example of hazard recognition training that connects with the executive functions.

### **Safe Motorcyclist Awareness and Recognition Trainer**

The Safe Motorcyclist Awareness and Recognition Trainer (SMART) is a training tool that provides simulated traffic experiences to provide a virtual riding environment. It combines a personal computer, computer generated traffic images and video monitor, plus a handlebar, seat, footrests and all the standard controls found on a real motorcycle. The combination of this specialized software with actual motorcycle controls makes it possible to navigate an on-screen motorcycle (or scooter) through various scenarios presenting the rider with real-world situations and hazards. The program will record the ride and provide feedback to the rider. The SMART is not a passive teaching device. It has a powerful playback feature that provides feedback regarding crashes or near crashes.

The purpose of the SMART is not to teach riders how to operate a motorcycle or acquire the feel of an actual motorcycle; rather the goal is to enhance a rider’s hazard recognition capabilities. It works for all experience levels by providing opportunities to experience typical hazards that riders face in city streets, suburbs and open highways. The way a rider perceives and responds to situations is measured and evaluated electronically. The SMART software gives feedback on the results and allows self-assessment of decisions regarding perception to various situations, provides an evaluative rating for each, summarize the results and offers advice for safety improvement.

## Summary

Hazard Recognition Training Programs and Their Relationship to Executive Functions in Motorcyclists illustrates how the Motorcycle Safety Foundation (MSF) acquaints riders with the importance of hazard recognition in its Rider Education and Training System programs. The purpose of this paper is to provide how MSF has incorporated hazard recognition training into its Rider Education and Training System, and to show select components of the Street Smart – *Rider Perception* program.

The MSF develops and maintains high quality, research-based rider education and training curricula. Its mission focuses on quality rider education and training as well as maintaining a safe riding environment.

With the development of a comprehensive rider education and training system, the MSF has transcended simple skill-based training programs and has expanded into behavioral programs the target rider perception as a primary executive function that can lead to safe and enjoyable riding.

Because MSF characterizes the riding task as more a skill of the eyes and mind than of the hands and feet, using the eyes well and using the brain to sort, organize and prioritize factors in the traffic environment is of integral importance for training programs.

The MSF will continue to develop programs to enhance rider safety. As new and more effective programs become available and as research demonstrates viable and effective programs, the MSF will embrace its programs and methods to improve and enhance its existing programs.

## References

- Automotive Safety Foundation. (1975). *A resource curriculum in driver and traffic safety education*. Lansing, MI: Michigan State University Press (reprint).
- Banbury, Simon and Trembley, Sebastian (Editors) (2004). *A cognitive approach to SITUATIONAL AWARENESS: Theory and application*. Burlington, VT: Ashgate Publishing Company.
- Breakwell, Glynis M. (2007), *The psychology of risk*. New York: Cambridge University Press.
- Caine, Renate and others. (2009). *12 brain/mind learning principles in action: Developing executive functions of the human brain*. Thousand Oaks, CA: Corwin Press.
- Chabris, Christopher and Simons, Daniel. (2010). *the invisible gorilla: and other ways our intuitions deceive us*. New York: Crown.
- Dorn, Lisa, (Editor). (2005). *Driver behaviour and training, Volume II: Human factors in road and rail transport*. Burlington, VT: Ashgate Publishing Company.
- Evans, Leonard. (1991). *Traffic safety and the driver*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Evans, Leonard. (2004). *Traffic safety*. Bloomfield Hills, Michigan: Science Serving Society.
- Evans, Leonard and Schwing, Richard C. (Editors) (1985). *Human behavior and traffic safety*. New York: Plenum Press.
- Forbes, T.W. (Editor) (1972). *Human factors in highway traffic safety research*. New York: WILEY-INTERSCIENCE.
- Groeger, John A. (2000). *Understanding driving: Applying cognitive psychology to a complex everyday task*. Philadelphia: Taylor and Francis inc.
- Harris, Laurence R. and Jenkin, Michael (Editors) (1998). *Vision and action*. New York: Cambridge University Press.
- Haworth, Narelle and Mulvihill, Christine and others. (2005). *Hazard perception and responding by motorcyclists: Summary of background, literature review and training methods*. Report 234. Monash University Accident Research Centre.
- Maryland State Department of Education. (1972). *The IPDE system*.



Meltzer, Lynn (Editor) (2007). *Executive function in education: From theory to practice*. New York: The Guilford Press.

National Safety Council. (2010). *Understanding the distracted brain: Why driving while using hands-free cell phones is risky behavior*. White paper.

Spiegel, Bernt (1998). *Upper Half of the Motorcycle: on the Unity of Rider and Machine*. English translation by Meredith Hassall. New Hampshire: Whitehorse Press (2010).

Sugarman Deborah A. and others (2000). *Reflective Learning: Theory and Practice*. Dubuque, Iowa: Kendall/Hunt Publishing company.

Traffic Safety Research Review (1967). *Objectives, Methods, and Criterion Tests in Driver Training*.

Vanderbilt, Tom. (2008). *Traffic: Why we drive the way we do*. New York: Vintage Books.

**Differences in defensive riding skill and 'RoadCraft' between  
novice and experienced motorcycle riders**

**Unterschiede bei unerfahrenen und erfahrenen Motorradfahrern  
bezüglich ihrer Gefahrenbewältigungsstrategien im Straßenverkehr**

Mark Collins  
Honda Australia Rider Training, Australia

Christine Mulvihill  
Monash University Accident Research Centre, Australia

Mark Symmons  
Monash University, Australia

## **Abstract**

Novice motorcycle riders generally exhibit higher crash rates compared to more experienced riders, a finding that might be explained, in part, by differences in important riding skills. However, contrary to expectations, when novice riders' basic defensive riding skills were compared to those of more experienced riders using a set of standard licence test-type measures, the scores of the two groups were not statistically distinguishable. This equivalence in performance did not extend to an on-road assessment of roadcraft such that experienced riders performed at a higher level than did novices on a series of variables. It is thus argued that more higher-order skills might be included in a beginner rider's curriculum and assessment without overloading the candidate.

**Differences in defensive riding skill and 'RoadCraft' between  
novice and experienced motorcycle riders**

## Introduction

Inexperienced motorcycle riders are overrepresented in crashes, particularly those aged under 25 years (e.g., Hurt, Oullet & Thom, 1981; Broughton, 1988; Chesham, Rutter & Quinne, 1993; Mullin, Jackson, Langley & Norton, 2000, Haworth, Mulvihill & Symmons, 2002, Sexton et al., 2004; ACEM, 2004; Harrison & Christie, 2005; Elliot, Baughan & Sexton, 2007). In Victoria (Australia), motorcyclists in their initial years of on-road riding are involved in more crashes than riders with more years of riding experience, and the crash rate for learner riders is approximately three times that for fully licensed riders (VicRoads, 2010). This pattern of novice rider crash risk is similar to that found in other jurisdictions in Australia and internationally.

The higher crash rate for novice motorcyclists may be explained, at least in part, by differences in important riding skills. For example, compared to more experienced crash-involved riders, crash-involved riders with less than six months experience were more likely to make decisions or execute manoeuvres deemed to have contributed to crashes (ACEM, 2004).

Licensing and testing regimes are intended to ensure a minimum standard of basic riding competency for beginners before they ride on the open road or graduate from one phase of the licensing system to the next. Licence tests may not significantly influence day-to-day riding behaviours following licensure, instead their key influence on safety stems from encouraging beginners to undertake basic training and practice in order to pass the test (Goldenfeld et al., 1999). In that sense, the content of the test and the test standards directly influence the types of exercises and amount of training and practice, which may in turn play an important role in reducing crash risk.

Many motorcycle licensing regimes suffer from a number of limitations. Most jurisdictions have historically focused on physical riding skills rather than what might be termed 'cognitive' riding skills as the deciding factors when it comes to determining the 'road readiness' of novice motorcycle riders. Assessment of motorcycle handling ability is easier and quicker to standardise and carry out and thus more practical for wide-spread deployment. They also have a comfortable face validity in the logic that a rider must be able to properly handle a motorcycle as a minimum prerequisite for safe riding. However, the focus can easily become a preparation to pass the test rather than an explicit emphasis on how to become a safer rider. Practical testing of physical handling skills at the pre-licence level is often administered off-road on relatively small training ranges. This means that testing is limited to a relatively small repertoire of basic skills demonstrated at relatively low speeds. Recognising that physical skills are only part of what makes for a safe rider, some jurisdictions have adopted elements such as hazard perception, perhaps using computer-based tools. By implementing a test in a real world environment, it may provide greater confidence that the applicant is equipped to manage a wider range of on-road hazards than can be obtained from an off-road test. In the current paper comparisons are

made between experienced and novice riders (i.e. low but not zero experience) in both on-road and off-road situations.

## Method

### Participants

Thirty motorcycle riders participated – 15 newly licensed novices and 15 experienced riders. A novice rider was defined as one who held a motorcycle learner or probationary qualification and had ridden around 500 km on-road, while an experienced rider had held a full motorcycle licence for at least five years and had ridden frequently and for a minimum of 20,000 km.

The average age was 33 years ( $SD=13$  years) for the novice riders, and 54 years ( $SD=9$ ) for the experienced riders. Three participants were women – all in the novice rider group. Riders were recruited as volunteers mostly by word of mouth and through contact with a commercial rider training provider.

### Instruments

Riders attended a training range at a local rider training school where they were supplied with a mid-size motorcycle (Honda CB400 with ABS) and were to attempt three currently used test exercises that are part of Victoria's motorcycle licensing program. Skill exercises selected for the on-range study required either a single evasive manoeuvre, such as swerving or braking, as well as a multi-skill demonstration – a slow ride in which several skills must be used in combination to achieve a high performance level. The tasks are described in greater detail below. Note that the off-road components used here do not constitute the entirety of Victoria's testing regime, but were selected for their focus on bike control and specific defensive riding skills.

#### *General Skill Demonstration*

**Slow Ride:** The objective in this exercise is to ride as slowly as possible from one end to the other of a 1m wide x 18m long painted rectangle without stalling, riding outside the sidelines, or putting a foot on the ground or falling. Participants were asked to maximise the time they spent reaching the opposite end of the course. Time-based penalties were subtracted from the completion time for errors: three seconds were deducted for loss of balance or riding outside the designated area, and five seconds were deducted for stalling the motorcycle. This exercise requires participants to operate a number of controls simultaneously, whilst maintaining balance and keeping within the narrow pathway. In order to ride as slowly as possible, riders have to feather the throttle and clutch simultaneously to keep the motorcycle moving forward, use rear and/or front brakes to reduce speed, and make rapid handlebar movements to maintain balance.

### *Evasive Exercises*

**Quick Stop:** The objective in this exercise is to stop as quickly and safely as possible once a red stop light is triggered on a fixed frame in front of the rider. This exercise was carried out twice from a speed between 20–29 km/h. The testing equipment measured the rider’s speed, triggered the stop light, and calculated a corresponding expected standard stopping distance. In instances in which the rider stopped within the allowed standard no points were accumulated. When participants required a longer distance to stop than the standard, the difference between the standard and the actual stopping distance was calculated, and points accumulated accordingly. The objective was to accumulate as few points as possible.

**Swerve:** Participants rode along a straight pathway towards a light system at a speed of between 20–29 km/h watching for either a left or right light signal, which specified the direction of the swerve to be executed by the rider. Speed was determined electronically as the rider passed through a timing box, which in turn triggered the left or right light to illuminate. Thus the standard swerving arc was individually calculated accordingly to the entry speed. If the rider met or exceeded (i.e. improved upon) the set lateral swerving distance no points were accumulated, otherwise points were added for insufficient degree of swerve. Again the objective was to accumulate as few points as possible.

### *On-Road Assessment*

For the on-road component riders were asked to complete a 16 km suburban circuit, which included a range of traffic environments: several different speed limits and road types, and intersections with a variety of controls (traffic lights, stop signs, give-way/yield signs, etc). Peak traffic times were avoided.

A tool was devised for scoring the rider’s on-road performance on 14 characteristics of their riding, along with an overall safety score. Each item was assessed using a 10-point Likert scale ranging from 1 “Poor” through 5 “Average” up to 10 “Excellent”. This instrument was devised in consultation with a panel of qualified, experienced rider trainers, tempered by practical considerations for how it would be used.

The 14 scoring items were:

- Speed control: Appropriate speed for conditions (speed limit not exceeded)
- Lane position: Appropriate and safe position for single and dual carriageway, turning, intersections, etc, with visibility and vision taken into account
- Hazard perception and responding: Evidence of detection of actual and potential hazards with appropriate and proportionate responses/precautions in terms of action and response

- Braking: Timeliness, proportional and appropriate application, wheels not locked
- Buffering/survival space: Appropriate separation from vehicles, infrastructure, and potential hazards
- Cornering: Approach and in-corner – speed, line, no under- or over-steer, appropriate braking and acceleration settings, head turns, planning
- Gap acceptance when crossing and entering traffic
- Appropriate following distance behind other vehicles
- Defensive riding: Read/anticipate other road user actions, identify situations early, with no sudden braking or swerving
- Bike control: Correct gear, head checks, mirrors, travelling with traffic
- Overtaking: Planning, suitability, space, completion
- Turning position: Defensive, manages road surface
- Signals: Communication of intent to others
- Confidence

## Procedure

After an initial briefing, eligibility (in terms of experience, qualification to legally ride on public roads, etc.) was confirmed by the instructor. Participants completed the on-range test first, followed by the on-road test. Prior to undertaking the on-range test exercises each rider was allowed five minutes to practice using the provided motorcycle. The on-range testing took about ten minutes to complete.

Prior to undertaking the on-road study, the instructor checked the suitability of the participant's clothing and protective riding gear and the roadworthiness of the participant's motorcycle. The instructor reiterated the expectations for the ride in terms of acceptable behaviour and the need to ride safely, but to try to ride in the manner in which they would normally ride. It was also made clear to participants that they could elect to cease the session at any time, and that the instructor, too, could terminate the session at any point due to safety concerns (regarding the participant, the instructor, or members of the public).

The instructor followed each rider at a safe distance as they completed the ride in segments. The instructor provided directions as needed to the rider via a radio link and they pulled over to the side of the road at one pre-determined point. The instructor provided no feedback to the participant at any time during the ride unless safety was a concern. Completing a circuit of the test route took about 40



minutes. At the conclusion of the ride the instructor completed the scoring rubric and provided some feedback to the participant<sup>1</sup>.

The on-road and range assessments were carried out by the same experienced, qualifying instructor.

## Results

The off-road test results are presented first, followed by the on-road test.

### Slow Ride

The aim of the slow ride test was to ride as slowly as possible while staying within a long narrow rectangle. After deducting penalties (by subtracting time) for losing balance, riding outside the delineated area or stalling, on average novices ( $M = 13.9s$ ,  $SD=6.6$ ) performed worse than experienced riders ( $M=14.5s$ ,  $SD=6.9$ ), though the difference was not significantly different ( $t(28)=0.2$ ;  $p>0.1$ ). Figure 1 displays the highest, lowest and mean scores for the two groups.

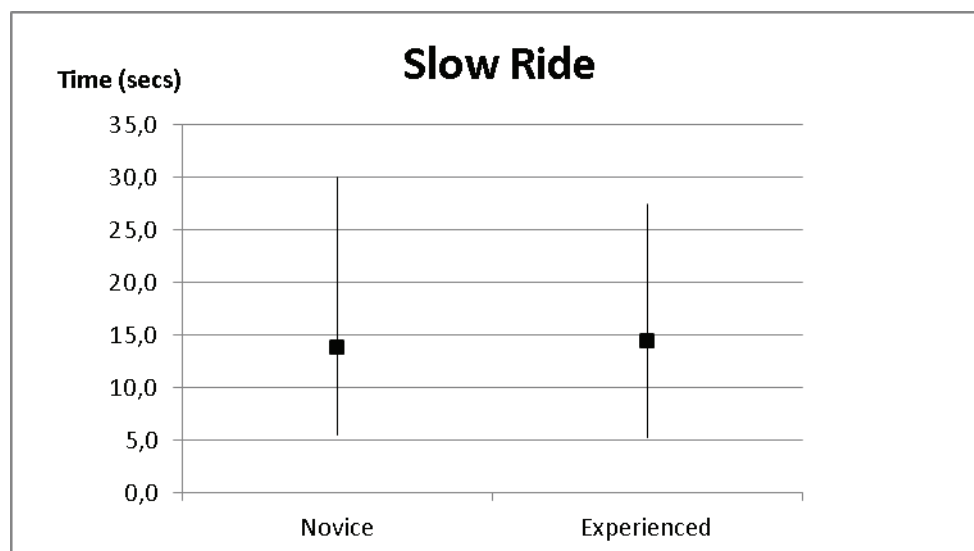


Figure 1. Highest, lowest and mean slow ride scores for the novice and experienced rider groups

### Swerve

Participants swerved as wide as possible in the direction indicated by the light system in order to accumulate as few points as possible. Producing a lower score, novices ( $M=8.1$ ,  $SD=3.3$ ) performed slightly better than the experienced riders ( $M=8.5$ ,  $SD=3.4$ ), but the difference was not statistically

---

<sup>1</sup> In the original research the on-road ride was recorded by the following instructor with a video camera. The footage was assessed by a pair of judges using the same scoring rubric. The participant also scored their own performance. A discussion of the on-road study and comparison of the scoring methods was published in Symmons & Mulvihill (2011).

significant ( $t(27)=0.3$ ;  $p>0.1$ ). Figure 2 displays the highest, lowest and mean scores for the two groups.

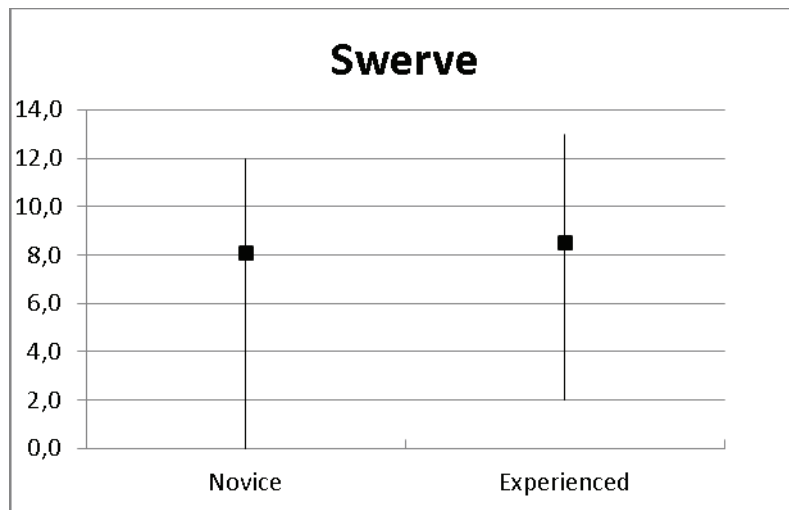


Figure 2. Highest, lowest and mean swerve scores for the novice and experienced rider groups

### Braking Test

Participants were required to stop as quickly as possible once a red stop light was activated, and their stopping distance measured against a standard for their speed. A low score indicated a good stop close to the standard required, a poor stop would accumulate more points as the participant would stop further than the standard. On average, the novice riders ( $M=15.9$ ,  $SD=6.9$ ) performed equivalently to the experienced riders ( $M=15.7$ ,  $SD=5.7$ ), ( $t(27)=0.05$ ;  $p>0.1$ ). Figure 3 displays the highest, lowest and mean scores for the two groups.

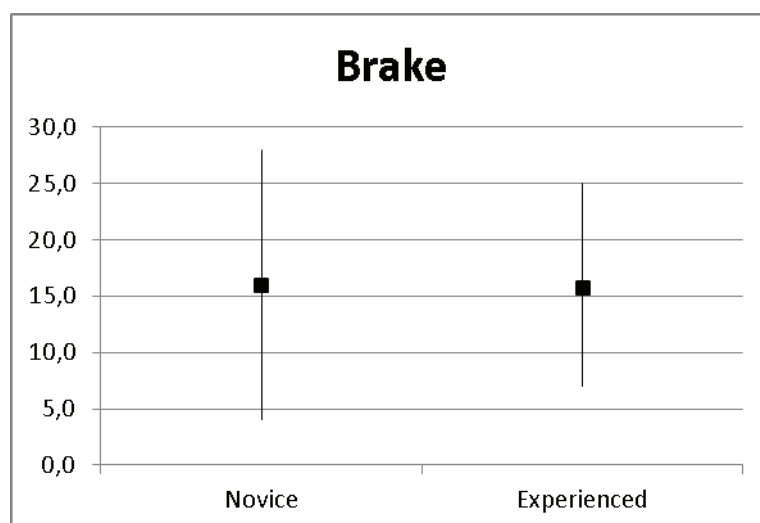


Figure 3. Highest, lowest and mean braking scores for the novice and experienced rider groups

## On-road test

Table 1 displays the comparisons between the experienced and novice riders for each of the 14 rating items out of 10, plus the overall performance rating (renamed in the table as Overall (score)). The table also includes a mathematical overall mean (Overall (mean)) for comparison against the Overall (score) value. A higher score represents better performance.

*Table 1. Mean rating scores assigned by the instructor for experienced and novice riders along with significant differences*

<b>Item</b>	<b>Novice</b>	<b>Experienced</b>	<b>Comparison</b>
Speed control	5.6	7.3	p <0.05
Lane position	4.3	5.1	
Hazard perception & response	4.9	6.7	p <0.005
Braking	5.2	7.0	p <0.005
Buffering	4.0	5.3	p <0.05
Cornering	5.1	6.9	p <0.005
Gap acceptance	6.0	7.3	p <0.01
Following distance	5.3	6.1	
Defensive riding	5.0	7.4	p <0.001
Bike control	5.2	7.1	p <0.005
Overtaking	4.6	6.8	p <0.005
Turning position	5.2	6.7	p <0.005
Signals	5.5	7.3	p <0.005
Confidence	6.4	7.9	p <0.01
Overall (mean)	5.2	6.8	
Overall (score)	5.1	6.8	p <0.001

As shown in Table 1, across all 14 rating items the instructor consistently assigned experienced riders the higher scores out of 10 compared to the novice riders. Significant group differences were found for 12 of the 14 items – only the lane position and following distance items did not result in a significant difference. For overall performance as rated by the Instructor (Overall (score)) the experienced riders scored significantly higher than the novice group. Taking a mathematical mean of the 14 items resulted in a set of overall means almost identical to the overall performance score between the two groups.

With possible scores ranging from 1 to 10 the median score is 5.5. With the assumption that these scores probably approximate a normal distribution, a score of 5.5 could be considered “average”. Novice riders scored less than 5.5 in 10 of the 14 scores, and 5.5, 5.6 and 6.0 in three others. The experienced riders scored less than 5.5 for two items – lane position and buffering. The overall mean across both groups was less than 5.5 for two items – lane position and buffering.

The lowest mean score for the novice rider group was 4.0 out of 10 for buffering. For experienced riders it was 5.1 for lane position. For both groups the highest score was obtained for confidence: 6.4 and 7.9 respectively.

Only three of the participants – one novice and two experienced riders – reported that they had crashed at some time, too few to conduct any meaningful analyses on this variable. All of the novice riders and nine of the experienced riders indicated that they had undertaken motorcycle training at some point.

In an open-ended question participants were asked to specify how far they had ridden during the last year. Responses ranged from zero to 200,000 kilometres. A t-test indicated that the distance ridden did not differ significantly as a function of rider type ( $t(28)=1.8$ ;  $p>0.05$ ). As the second-highest distance reported was 35,000 km it is possible that the 200,000 km reported by one experienced rider was an overestimate, or at least an extreme outlier. With that participant removed from the analysis a statistically significant difference between the rider groups did arise ( $t(27)=2.3$ ;  $p<0.05$ ). Table 2 indicates that on average, experienced riders rode further than the novice riders. The very large relative standard deviations urge caution in interpreting this data, though the median distances are consistent with the pattern indicated by the mean distances.

*Table 2. Summary statistics for distance ridden by riders during previous twelve months*

	<b>Novice</b>	<b>Experienced</b>	<b>Overall</b>
Mean	3,170	8,714	5,846
Standard deviation	4,609	8,147	7,028
Median	1,500	5,500	4,000
Minimum	650	2,000	650
Maximum	19,000	35,000	35,000

## Discussion

Novice and experienced motorcycle riders completed an off-road test followed by an on-road test to measure differences in defensive riding and roadcraft skills between the two groups. In the former, riders completed three exercises regularly used to measure general and defensive riding skills (primarily evasive skills in the form of swerving and braking) as part of the pre- license assessment process. For the on-road test, riders were assessed on 14 items designed to measure their roadcraft skills as they negotiated a 16 kilometre suburban circuit in normal traffic conditions.

Novice riders performed marginally better than experienced riders on one of the three off-road tests, but the differences were not statistically significant. Novices might have been expected to have performed at a higher level because of more recent training and assessment in similar exercises. A counter-argument could be mounted that experienced riders should be superior because of their ex-

perience, not just in terms of total experience, but also recent experience – here the experienced riders on average had ridden more than twice as far as the novices in the preceding year.

Despite their off-road equivalence, novice motorcyclist riders performed significantly worse than experienced riders on all on-road test items except lane position and following distance, for which the same trend was present but the differences were not statistically significant. This finding is not surprising for two reasons. One, it is unlikely that novice riders would have been instructed in hazard perception or higher-order roadcraft, and secondly, the experienced riders in this study had ridden significantly longer (and further) than the novices, both in total and in the last 12 months, and therefore had more opportunity to develop their roadcraft skills.

The lack of difference between the rider groups for the off-road testing may indicate that such basic skills are quickly and easily mastered. It is also possible that the tests are simply not sufficiently sensitive to detect any differences that might actually be present, though the lack of a slew of near-perfect scores indicate that a ceiling effect is not at play. It is also possible that novice riders quickly gain basic riding skills, whilst more experienced riders may reach a certain proficiency level following licensing, but then not continue to improve over time. Clearly on-road skill does not also fit this explanation, given the lower performance level of the novice riders.

The on-road testing revealed that novices were deficient in a number of important defensive road riding attributes when compared to the more experienced riders in the study. The significant differences found between the groups for buffering, following distance and defensive riding combine to highlight the novice group's general lack of hazard perception and situational awareness. Novices seem to display a limited understanding of potential risk indicators and signals that stimulated the experienced riders to react in a more defensive manner.

Furthermore, the novice group also displayed comparatively less developed roadcraft skills in terms of lane position, cornering, overtaking and communication with other road users. These defensive roadcraft skills were more repeatedly observed in the experienced group who would frequently re-position themselves on the road, or respond in a way to increase their survival space, visibility and escape options for a given situation. The instructor following the novice riders would recognise a potentially dangerous situation developing, but did not observe the expected defensive responses such as buffering away or slowing down, which could have indicated both hazard awareness and a corresponding defensive riding strategy.

A difference in hazard perception and roadcraft between the novice and experience groups is evident. This then raises the question as to whether these behaviours are skills that can be taught. It is not known whether the experienced riders who participated in this study gradually and 'unconsciously' (i.e. unintentionally) acquired these skills with experience, or whether they consciously set out to ac-

quire them, or whether they were taught them, or a combination of all three. For example, these higher-order multi-factorial skills may improve over time, with step-wise jumps in understanding and ability following critical incidents such as near misses and/or tips provided by peers. It is certainly the case that licensing authorities believe such skills can be assessed, given the proliferation of instruments such as computer-based hazard perception tests, and the move to on-road assessments. If it is possible to assess a skill it might be possible to teach it. If indeed that is the case then there is an argument that beginners should be taught higher-order, in-traffic skills early. Given that these novices were already equal to the experienced riders in terms of the basic handling skills assessed in this study, it may be the case that teaching higher-order skills as part of the pre-licence qualification will not be an overload for the new rider, though it should be noted that the novices here were not complete beginners. In their study of evasive actions in crashes, Ouellet and Kasantikul (2006) also suggest that training should concentrate on the skills and knowledge required to prevent a 'precipitating event' from occurring, rather than reaction skills, such as swerving and braking, after the event.

An important qualification is required when interpreting these results. It is possible that the on-road scores are biased against the novices. All 30 riders were followed and scored by the same riding instructor, who would have known which riders were novices and which were experienced (due to licence requirements the novices would have been required to display learner plates, constantly reminding the following instructor of their status). The off-road testing was carried out by the same instructor, but that scoring was more objective than the subjective scoring of the on-road test. The instructor was highly experienced and directed to specifically concentrate on the skill rather than licence status, but bias cannot be ruled out. In another paper based on the same study, Symmons and Mulvihill (2011) reported that scoring video footage of the same rides resulted in an overall higher level of performance of the novices (though still overall inferior to the experienced riders), with fewer significant differences between the novice and experienced groups. This difference is not likely to be due to bias however, since the video raters could also see the L-plates of the novices. Instead it may be that the on-road assessor was more cognizant of and sensitive to what was happening given that he was actually there with the participant.

Currently, roadcraft and hazard perception training make up a very small part of training providers' course curricula, or none at all. Many current training and licensing schemes concentrate on practicing and assessing physical riding skills required to evade or react to hazardous situations, such as emergency braking and swerving. We argue that a shift of focus to detecting or predicting a potentially hazardous situation is warranted earlier in the rider's licensing process. The challenge for researchers and licensing agencies is to develop the training exercises that will enable novice riders to accelerate their mastery of these skills.

## References

- ACEM (2004). MAIDS: *In-depth investigations of accidents involving powered two-wheelers*. Brussels: Association des Constructeurs Europeens de Motocycles.
- Broughton, J. (1988). *The relation between motorcycle size and accident risk. Research Report 169*. Crowthorne, Berkshire: Transport and Road Research Laboratory.
- Chesham, D.J., Rutter, D.R., & Quine, L. (1993). Motorcycling safety research: A review of the social and behavioural literature. *Social Science Medicine*, 37, 419-429.
- Elliot, M., Baughan, C., & Sexton, B. (2007). Errors and violations in relation to motorcyclists' crash risk. *Accident Analysis and Prevention*, 39, 491-499.
- Goldenbeld, C., Baughan, C.J. & Hatakka, M. (1999). Driver testing. In S Seigrüst (Ed). *Driver Training, Testing and Licensing: Towards Theory-based Management of Young Drivers' Injury Risk in Road Traffic. Results of EU Project GADGET, Work Package 3*. Berne: Schweizerische Beratungsstelle für Unfallverhütung BFU.
- Haworth, N., Mulvihill, C. & Symmons, M. (2002). *Motorcycling After 30. Report 192*. Melbourne: Monash University Accident Research Centre.
- Harrison, W. & Christie, R. (2005). Exposure study of motorcyclists in New South Wales. *Accident Analysis and Prevention*, 37, 441-451.
- Hurt, H.H., Ouellet, J.V., & Thom, D.R. (1981). *Motorcycle accident cause factors and identification of countermeasures*. Volume 1: Technical Report.
- Mullin, B., Jackson, R., Langley, J., & Norton, R. (2000). Increasing age and experience: are both protective against motorcycle injury? A case control study. *Injury Prevention*, 6, 32-35.
- Ouellet, J.V., & Kasantikul, V. (2006). *Rider training and collision avoidance in Thailand and Los Angeles motorcycle crashes*. Paper presented at the 2006 International Motorcycle Safety Conference
- Sexton, B., Baughan, C., Elliot, M. & Maycock, G. (2004). *The accident risk of motorcyclists. TRL Report 607*. Crowthorne: Department for Transport.
- Symmons, M.A., & Mulvihill, C.M. (2011). On-road comparison of returned, continuing and new motorcycle riders. Proceedings 21st Canadian Multidisciplinary Road Safety Conference.

VicRoads. (2010). Graduated licensing for motorcyclists - A discussion paper.

## **Acknowledgements**

The on-road component of this research was funded from Victoria's Motorcycle Safety Levy. We acknowledge Mark Russell of VicRoads for reviewing the paper and the staff at Honda Australia Rider Training for the significant part they played in conducting the research and collecting the data.



**Is it more dangerous to ride through  
a bend to the right or to the left?**

Results from accident analyses and a behaviour observation study

**Ist es gefährlicher durch eine Linkskurve  
zu fahren oder durch eine Rechtskurve?**

Ergebnisse aus Unfallanalysen und einer Verhaltensstudie

Véronique Huth  
IFSTAR – LESCOT, Lyon (France)

Javier Diez, Óscar Martín  
CIDAUT Foundation, Valladolid (Spain)

## Abstract

Motorcycle riding is often a leisure activity and especially curves allow for an expressive use of the motorcycle. On the downside, curves also represent a highly accident-prone location for motorcyclists. Losing the control of the motorcycle in a curve leads to particularly injurious crashes.

This study analyses a curve in a rural setting, which has been identified as an accident black spot. The accident statistics of this curve show that 9 out of the 10 registered crashes occurred in the left hand direction. In order to further explore this issue, a behaviour observation was conducted within the project 2 Be Safe. N=289 motorcycles were registered during a weekend, and the behaviour in the bend to the right and to the left was compared.

Coinciding with the accident analyses, the results of the observation reveal that more potentially risky behaviour occurs when riding through the left hand bend than through the right hand bend, leading to narrower margins for evasive manoeuvres or corrective actions. The riders trace a path that gets closer to the road edge markings, they are more likely to cross the centre line and they do so in more critical zones of the curve.

This research calls for specific measures that help riders to manage left-turn bends safely, such as improvements of the infrastructure or specific rider training. Furthermore this study shows that behavioural observations can provide insights beyond accident analyses and serve as a meaningful complementary tool that give relevant clues for the improvement of rider safety.

# 1 Introduction

Beyond practicality reasons, passion for motorcycles and performance are the most relevant riding motivations (Christmas et al., 2009). In order to enjoy the ride itself, riders may seek challenges they can meet by applying their riding skills (Broughton and Stradling, 2005). Herein, riding well around a set of curves represents a source of satisfaction and fun, since intense sensations of dynamics and control can be achieved (Broughton, 2005). However, such an expressive riding style increases the risk to lose control of the vehicle, owing to errors in appropriately judging the road situation and to adaptations of the riding behaviour that are insufficient for staying within safety margins (Di Stasi et al., 2009; Mannering and Grodsky, 1995). For instance, Clarke et al. (2004) found that most single vehicle motorcycle crashes were due to a misjudgement of the approach speed to a curve and that most riders are aware of the risk to commit this error. Losing control in a curve was repeatedly confirmed as a common accident type for motorcyclists (Preusser et al., 1995; Sexton et al., 2004; Clarke et al., 2007). In a first comprehensive motorcycle safety study, the Hurt report identified running off a curve as the most representative motorcycle crash (Hurt et al., 1981) and a more recent analysis of fatal crashes by Shankar (2001) confirmed that more than 50% of the motorcycle fatalities were related to negotiating a curve, mostly on rural roads. Accordingly, Abdel-Aty (2003) and Shankar et al. (1996) attributed an increased crash severity risk to curved road sections. Curve crashes occur more frequently outside urban areas and the highest crash severity can be found there (Assing, 2002).

Apart from the speed choice (Li et al., 2009), the factors that may be related to curve crashes include poor visibility (Savolainen and Mannering, 2007), shoulder width (Schneider et al., 2010), crests in the vicinity of curves, high bendiness and high gradients (Kühn, 2008). Gerlach (2007) analysed the combined effects of crossfall, gradient and curve direction in motorcycle crashes. It was shown that the crash frequency was highest for left curves with descending gradient and that negative crossfall was especially problematic in this configuration.

Vlahogianni et al. (2012) claimed that curve crashes, among other prominent accident configurations, should be further investigated in order to better evaluate the critical factors of motorcycle crashes. These analyses should include the motorcyclists' behaviour around critical situations, compensating for the shortcomings of accident statistics regarding their incompleteness, possible report biases and limited representativeness (Amoros et al., 2006; Njå and Nesvåg, 2007).

The present study was conducted in order to gain more knowledge on motorcycle crashes in curves. Specifically, it differentiates between left bends and right bends as one aspect of the roadway design which may have an influence on the occurrence of motorcycle crashes. Analyses of the Spanish Road Accident Database and a regional in-depth accident data base were followed by a case study on an accident-prone curve on a rural road. In addition to the analysis of the ten motorcycle accidents regis-

tered in this curve, a behaviour observation study was carried out on site, with the aim to detect aspects related to the crash risk that cannot be deduced from the information accident databases deliver. This way, the study strives after a more holistic view of motorcycle safety in curves.

## 2 Accident analyses

### 2.1 Macroscopic analysis

In a first step, queries of the Spanish Road Accident Database were performed, resulting in a macro-analysis of the role of the road infrastructure in motorcycle crashes. The Spanish Road Accident Database contains around 90.000 crashes per year, which have been documented by the police. It consists exclusively of accidents that happen on a public roadway and involve at least one vehicle with at least one victim (killed or suffering from injuries that require hospitalization or basic medical care). For the macro-analysis, the 97.600 crashes with at least one motorcycle (including 54% mopeds) between 2005 and 2007 have been extracted from the database. The analysis is merely descriptive and does not allow calculating crash risk, since exposure data is not available.

Most motorcycle crashes occurred in good weather conditions and with dry road surface. Still, it cannot be determined whether this finding is attributable to a lower exposure (i.e. avoidance of riding) or a more cautious behaviour of the riders in unfavourable weather conditions. The analysis confirms the relevance of curve crashes: Although the percentage of crashes that happen outside intersections is higher for straight stretches than bends, curve accidents lead to a higher number of fatalities (Table 1).

*Table 1: Accident severity for crashes with injuries at straight stretches and bends*

	Accident Severity			
	Fatal	Seriously injured	Slightly injured	Total
Straight	666 (1.7%)	6590 (16.4%)	32822 (81.9%)	<b>40078</b> <b>(100%)</b>
Bend	797 (7.2%)	4095 (36.7%)	6256 (56.1%)	<b>11148</b> <b>(100%)</b>
<b>Total</b>	<b>1463</b>	<b>10685</b>	<b>39078</b>	<b>51226</b>

Outside-urban run-off crashes happen far more frequently on express roads (n=5353) than on motorways (n=798). Figure 1 shows that the location of these accidents is on bends by a majority for both road types.

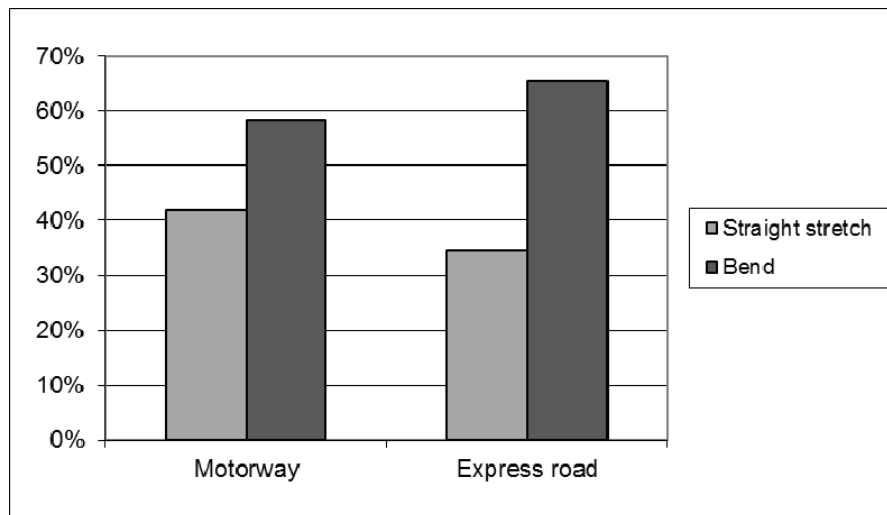


Figure 1: Percentage of run-off crashes at straight stretches and bends

Given that the width of the carriageway and shoulder may have an influence on the possibility to regain control of the vehicle or on the consequences of a crash, these parameters were analysed for expressways (which present a greater variability than motorways). Half of the carriageways of express roads where run-off accidents happened are more than 7 meters wide, and most of them lack hard-shoulder or have one which is less than 1.5 meters wide (90%).

Unfortunately, this accident database neither contains data on the orientation of the curves nor on any further curve characteristic, such as radius, gradient and crossfall. Therefore a microscopic analysis was performed on an in-depth regional database.

## 2.2 Microscopic analysis

With the aim of gaining more specific knowledge on the possible influence of curve characteristics on motorcycle crashes, the Spanish regional database DIANA was analysed. It contains in-depth accident information, which has been collected by an accident investigation team who travels to the accident location to investigate the scene on the spot and works in close cooperation with police forces and medical services. DIANA incorporates more than 1000 variables for each incident, comprising the three key factors of traffic accidents: vehicle, occupants and infrastructure. The database contains accidents from the years 2003 till 2009. For this period, a sample of N=67 motorcycle accidents could be extracted. It is important to note that this sample is not representative of motorcycle crashes in Spain, since data collection for DIANA was limited to the department of Valladolid.

In line with the results of the macroscopic analysis, the majority of the motorcycle crashes occurred at daylight (80%), with good weather conditions (91%) and dry road surface (87%). Curve crashes represent 67% of the motorcycle accidents that occurred away from junctions, and of all run-off crashes more than 80% happened at bends. This result confirms the high relevance of further analysis of these

locations. For this reason, a microscopic analysis was performed on the direction, gradient, presence of hard shoulder, crossfall and radius of the curves.

72% of the crashes in curves (run-off or rollover on carriageways) happened at bends to the left. Three out of four curve crashes occurred at bends that feature a negative gradient, and in three out of four of those crashes the curve lacked a hard shoulder (or had an impassable one). Table 2 shows that the crossfall of the road appears to be a relevant infrastructure factor since higher values of crossfall result in fewer run-off road accidents. Nevertheless, rollovers on carriageways do not occur less frequently at higher values of crossfall of the road.

Table 2: Crossfall for run-off and rollover on carriageways curve crashes

		Run-off	Rollover	Total
Crossfall	Crossfall < 2%	6 (23%)	2 (8%)	<b>8</b> <b>(31%)</b>
	2% < Crossfall < 4%	5 (19%)	1 (4%)	<b>6</b> <b>(23%)</b>
	4% < Crossfall < 6%	4 (15%)	3 (11,5%)	<b>7</b> <b>(26,5%)</b>
	6% < Crossfall < 8%	2 (8%)	3 (11,5%)	<b>5</b> <b>(19,5%)</b>
<b>Total</b>		<b>17</b> <b>(65%)</b>	<b>9</b> <b>(35%)</b>	<b>26</b> <b>(100%)</b>

Most run-off accidents (63%) happened in curves with a radius inferior to 70m (Table 3). Sliding impacts after rollovers on carriageways are not more frequent at decreasing values of radius, so neither crossfall nor radius are determining factors by themselves on the dynamics of single vehicle motorcycle crashes.

Table 3: Curve radius for run-off and rollover on carriageways crashes

		Curve Radius				Total	
		R<70	70<R<150	150<R<300	R>300		
Run-off	Driving speed	30<Speed<60	1 (3,5%)	0 (0%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>1</b> <b>(3,5%)</b>
		60<Speed<90	6 (21%)	2 (7%)	1 (3,5%)	0 (0%)	<b>9</b> <b>(31,5%)</b>
		90<Speed<120	7 (24%)	1 (3,5%)	1 (3,5%)	1 (3,5%)	<b>10</b> <b>(34,5%)</b>
	<b>Total</b>	<b>14</b> <b>(48,5%)</b>	<b>3</b> <b>(10,5%)</b>	<b>2</b> <b>(7%)</b>	<b>1</b> <b>(3,5%)</b>	<b>20</b> <b>(68,5%)</b>	
Rollover	Driving speed	60<Speed<90	2 (7%)	1 (3,5%)	0 (0%)	0 (0%)	<b>3</b> <b>(10,5%)</b>
		90<Speed<120	2 (7%)	2 (7%)	0 (0%)	1 (3,5%)	<b>5</b> <b>(17,5%)</b>
		Speed>120	0 (0%)	0 (0%)	1 (3,5%)	0 (0%)	<b>1</b> <b>(3,5%)</b>
	<b>Total</b>	<b>4</b> <b>(14%)</b>	<b>3</b> <b>(10,5%)</b>	<b>1</b> <b>(3,5%)</b>	<b>1</b> <b>(3,5%)</b>	<b>9</b> <b>(31,5%)</b>	

### 3 Case study

An exemplary curve was chosen for a case study that should help further analysing the factors that may have an influence in motorcycle curve crashes. The rural curve was selected because it is an accident black spot. Ten motorcycle accidents occurred there between the years 2005 and 2007. In addition to an analysis of the accidents that occurred at this location, a behaviour observation study was carried out.

#### 3.1 Setting

The curve, where the case study was carried out, is located at km 9.2 of the national road AV 502 near the city of Ávila in central Spain. The road section between the localities of Navalperal de Pinares and El Hoyo de Pinares (Figure 2) is a popular route for recreational motorcycle riding, due to the landscape and especially to the numerous bends of this rural road.

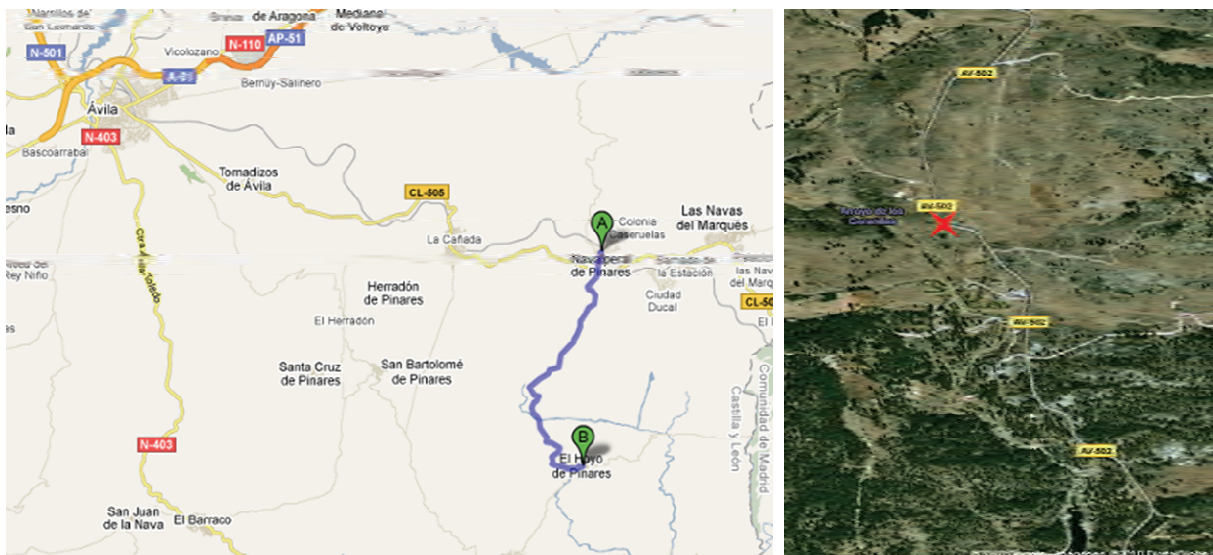


Figure 2: Location of selected curve

The curve has a recommended speed of 50km/h (indicated by a traffic sign), while the legal speed limit on this type of road is 90km/h. The two lanes with opposed traffic are separated by a solid line, however the restriction on overtaking is lifted in the centre of the curve. As shown in Figure 3, the curve has limited visibility due to the shaping of the surrounding landscape in both directions. A motorcycle-friendly guardrail is installed on the outer side of the curve. Before entering the curve in direction El Hoyo, the road user is warned by a sign indicating a sharp curve.



Figure 3: Directions of selected curve: bend to the left (left) and bend to the right (right)

### 3.2 Accident analysis

Ten crashes were registered at this curve between 2005 and 2007. They occurred during daytime (11.00h – 18.00h) and the majority happened on weekends. Only one crash was without victims, but none led to a fatality. In six crashes the rider was seriously injured, one of those was a collision with another motorcycle. Nine out of the ten registered crashes occurred in the left hand direction.

For four of those accidents, in-depth data is available. One of them was a rear-end crash between two motorcycle with high engine capacity (1000cc), which happened due to inappropriately short time headway. The other three were run-off crashes where the riders lost control of the vehicle when negotiating the curve. Their motorcycles also had rather high engine capacities (>600cc). The riders were riding at 70-100km/h and hit the guardrail at 30-40km/h. In one of the crashes, the rider crosses the solid centre line in the curve (Figure 4). However, it cannot be determined whether the loss of control is due to a related corrective or evasive manoeuvre the rider had to perform. All four crashes happened in the left-turn direction of the curve, featuring a slight negative gradient and a positive crossfall.



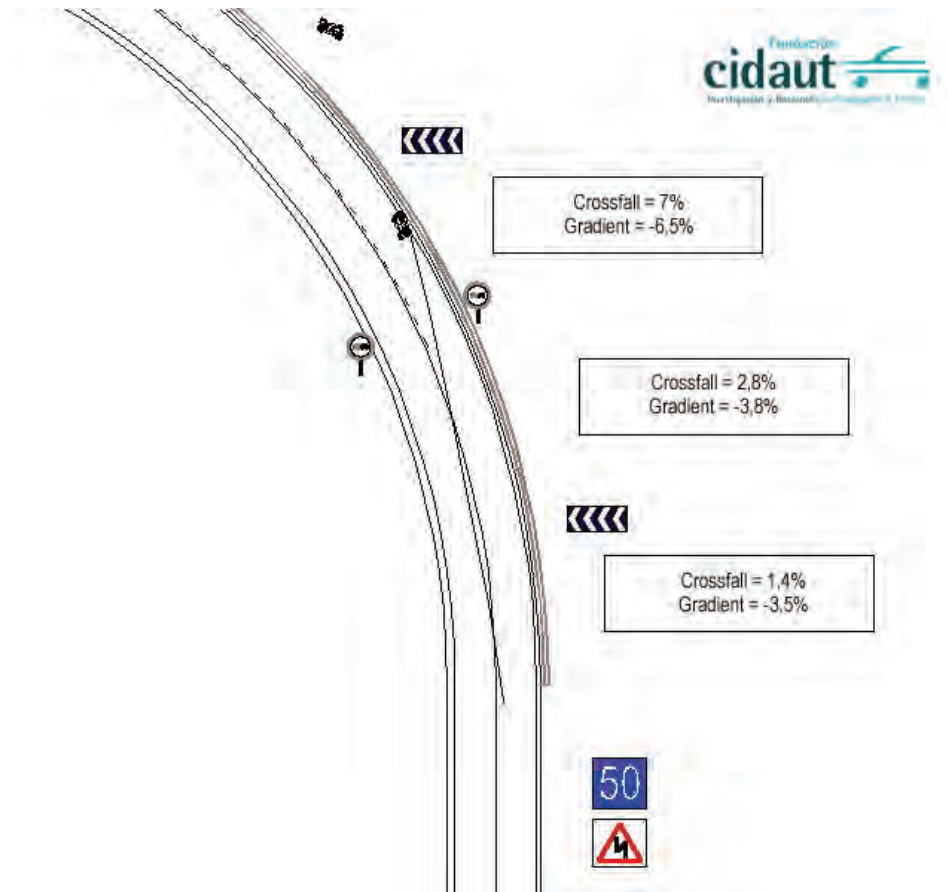


Figure 4: Run-off accident with centre line crossed

### 3.3 Behaviour observation

Crashes are rare events, but more frequently near-crashes are occurring where the accident can be avoided by an evasive or corrective manoeuvre and by regaining control of the situation. Even less critical situations, where the rider still has control of the bike, can give insights into possible origins of risky situations or crashes. Therefore, the case study on the rural curve also included an observation study, where the riding behaviour of the passing motorcyclists was registered and analysed. In line with the focus of the study on differences between left bends and right bends and with the associated results of the accident analyses, the behaviour was compared between the two directions.

In a first step two trained observers registered the riders' behaviour in an ad-hoc observation during one day, allowing for the identification of the parameters which cover the relevant aspects specific to the site. During this initial phase of the observation study, the researchers familiarized with the test location and rider behaviours and they created a specific sheet for the standardized observation.

Since the road is primarily used for recreational riding, the standardized observation was carried out by the two observers during two days at the weekend, ensuring a high density of recreational motorcycle riders. The observation took place at excellent weather conditions, with high visibility and dry road

surface. In order not to attract attention, the two observers were placed on a small hill in the inner side of the curve, from where they had a good overview of the entire relevant road section. The observation site was divided into several areas, allowing for a more precise codification, as shown in Figure 5.

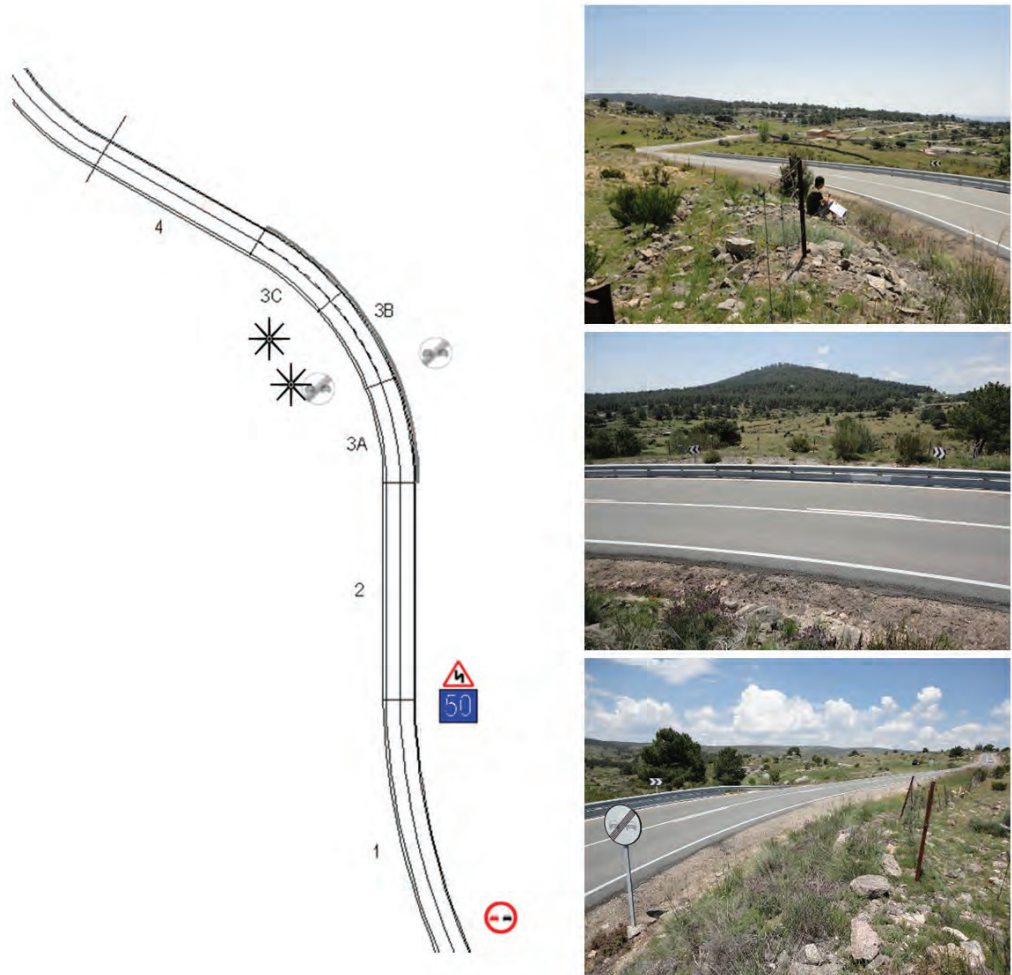


Figure 5: Sketch of the observation site with position of observers (left) and views of observer 1 (right)

According to the behavioural aspects observed in the ad-hoc study, the observation sheet included the parameters listed in Table 4.

Table 4: Variables registered in the observation sheet

Variable	Categories	Explanation
Speed	(1) slow (2) moderate (3) normal (4) high (5) extreme	Categorization of observed speed within the curve, with 4 and 5 appearing to be above appropriate speed for the conditions
Leaning	(1) upright position (2) 60-degree angle (3) 45-degree angle (4) 30-degree angle	Extent of leaning within the curve, degrees relative to the ground
Path traced within lane	(1) riding in the middle of the lane (2) taking the "ideal route" within the lane (3) riding an "extreme route" within the lane	Path chosen by the rider within the lane, characterizing how close the rider comes to the borders of the lane
Solid centre line crossed	(1) no (2) yes, with body - zone 1/2/3A-C/4 (3) yes, with bike - zone 1/2/3A-C/4	Indicator whether solid line crossed with body or bike during negotiation of curve, specification of zone where line was crossed

A total of nine hours' observation data was collected, achieving a sample of N=289 riders. The riders observed in the curve were travelling towards El Hoyo in n=171 cases (59%), thus taking the curve as left turn, while n=118 riders (41%) took the curve in the opposite direction towards Navalperal. Of all registered vehicle types 77% were sport motorcycles. Touring bikes made up 8%, enduros 7% and cruisers 6% of the sample. Only four mopeds have been observed in the curve, accounting for around 1% of the motorcycles.

Apart from comparative descriptive analyses on the observed behaviour parameters in the two directions of the curve, statistical testing was conducted. In order to determine whether the distributions of the registered behaviours significantly differ between the two directions, Chi-Square tests were performed. For ordinal variables, Mann-Whitney-U-tests were used to check for differences, comparing ranks of both distributions.

Slow speed was registered for 12% of the motorcycles, moderate speed for 36%. In 42% of the cases the speed was rated as normal, while 9% was coded as high speed and 2% was rated as extreme speed. Thus, a total of 11% of the riders took the risk to ride at speed that appeared inappropriately high.

Table 5 shows the distribution of the observed speed for the riders taking the curve to the right those taking it to the left. The statistical test (Chi-Square (4) = 9.96; p = .04) indicates that the speed distributions for the left turn direction and the right turn direction are different. The distribution suggests that the speed in the bend to the left has a tendency towards lower levels than in the bend to the right. However, the Mann-Whitney test cannot confirm this tendency.

Table 5: Distribution of speed categories for the bend to the right and to the left

		Curve direction	
		right	left
Speed	Slow	7 (5.9%)	18 (16.4%)
	Moderate	44 (37.3%)	59 (34.5%)
	Normal	57 (48.3%)	63 (36.8%)
	High	9 (7.6%)	17 (9.9%)
	Extreme	1 (0.8%)	4 (2.3%)
<b>Total</b>		<b>118</b> <b>(100%)</b>	<b>171</b> <b>(100%)</b>

Around half of all observed riders (51%) leaned in a 45-degree angle when riding through the curve. 25% leaned more strongly at a 30-degree angle and a similar percentage leaned less, adopting a 60-degree angle (21%). Only 2% of the riders rode through the curve in a constantly upright position. Table 6 displays the distribution of the observed leaning behaviour, compared for the two directions of the curve. The distributions of the leaning levels registered in the right turn direction and in the left turn direction are very similar. Correspondingly, neither the Chi-Square test nor the Mann-Whitney-U-Test proved to be significant.

Table 6: Distribution of leaning categories for the bend to the right and to the left

		Curve direction	
		right	left
Leaning	upright	4 (3.4%)	2 (1.2%)
	60° angle	23 (19.7%)	38 (22.2%)
	45° angle	60 (51.3%)	88 (51.5%)
	30° angle	30 (25.6%)	43 (25.1%)
<b>Total</b>		<b>118</b> <b>(100%)</b>	<b>171</b> <b>(100%)</b>

Concerning the path traced within the lane, 53% of the riders took the ideal route, 40% took an extreme one and only 7% kept riding in the middle of the lane. Table 7 shows the distribution of the route chosen within the lane to take the curve as a bend to the right and as a bend to the left. The differences in the distributions could be statistically confirmed ( $\text{Chi-Square}(2) = 6.426; p = .04$ ). When taking the left turn direction of the curve, riders are more likely to trace a more pronounced route in the lane (i.e. to get closer to the road markings) than when taking the right turn direction (Mann-Whitney-U-Test,  $p = .01$ ).

Table 7: Distribution of path categories for the bend to the right and to the left

		Curve direction	
		right	left
Path chosen within lane	Middle	11 (9.3%)	8 (4.7%)
	Ideal	69 (58.5%)	85 (49.7%)
	Extreme	38 (32.2%)	78 (45.6%)
<b>Total</b>		<b>118 (100%)</b>	<b>171 (100%)</b>

The riding behaviour in the curve led the rider to cross the solid centre line with the body in 21% of the observed cases and to cross solid line with the motorcycle in 10%. Accordingly, 69% of the riders negotiated the curve without crossing the solid line neither with the body nor with the motorcycle. Table 8 gives an overview of the percentages at which the line was crossed, distinguishing between riders who took the left turn direction and those who took the right turn direction. As confirmed by statistical testing, the motorcyclists are less likely to cross the line (with body or bike) when taking the curve in its right turn than in the left turn direction (Chi-square (1) = 38.739;  $p = .000$ ). Furthermore, the test for differences between the right turn and the left turn regarding the line being crossed with the body or the bike revealed a significant influence of the direction (Chi-Square (1) = 56.603,  $p = .02$ ). The riders, who cross the line, are more likely to do it with the motorcycle than with the body in the bend to the right and vice versa in the bend to the left.

Table 8: Distribution of solid line crossed for the bend to the right and to the left

		Curve direction	
		Right	left
Solid line crossed	No	105 (89.0%)	93 (54.4%)
	Yes with body	5 (4.2%)	56 (32.7%)
	Yes with bike	8 (6.8%)	22 (12.8%)
<b>Total</b>		<b>118 (100%)</b>	<b>171 (100%)</b>

Finally, Figure 6 displays where the line was crossed, depending on the curve direction. The percentages at which the line was crossed in each observation zone are indicated, regardless of whether it was crossed with the motorcycle or only with the body. The size of the dots reflects the percentage, although not at an exact scale. The same holds for the location of the dots: They are representative for the respective zone. The solid line was primarily crossed in zone 4 and zone 2 when riding in the bend to the right, whereas the line cross events were mainly located in the centre of the curve (zone 3B-C) for those riders who took the curve to the left.

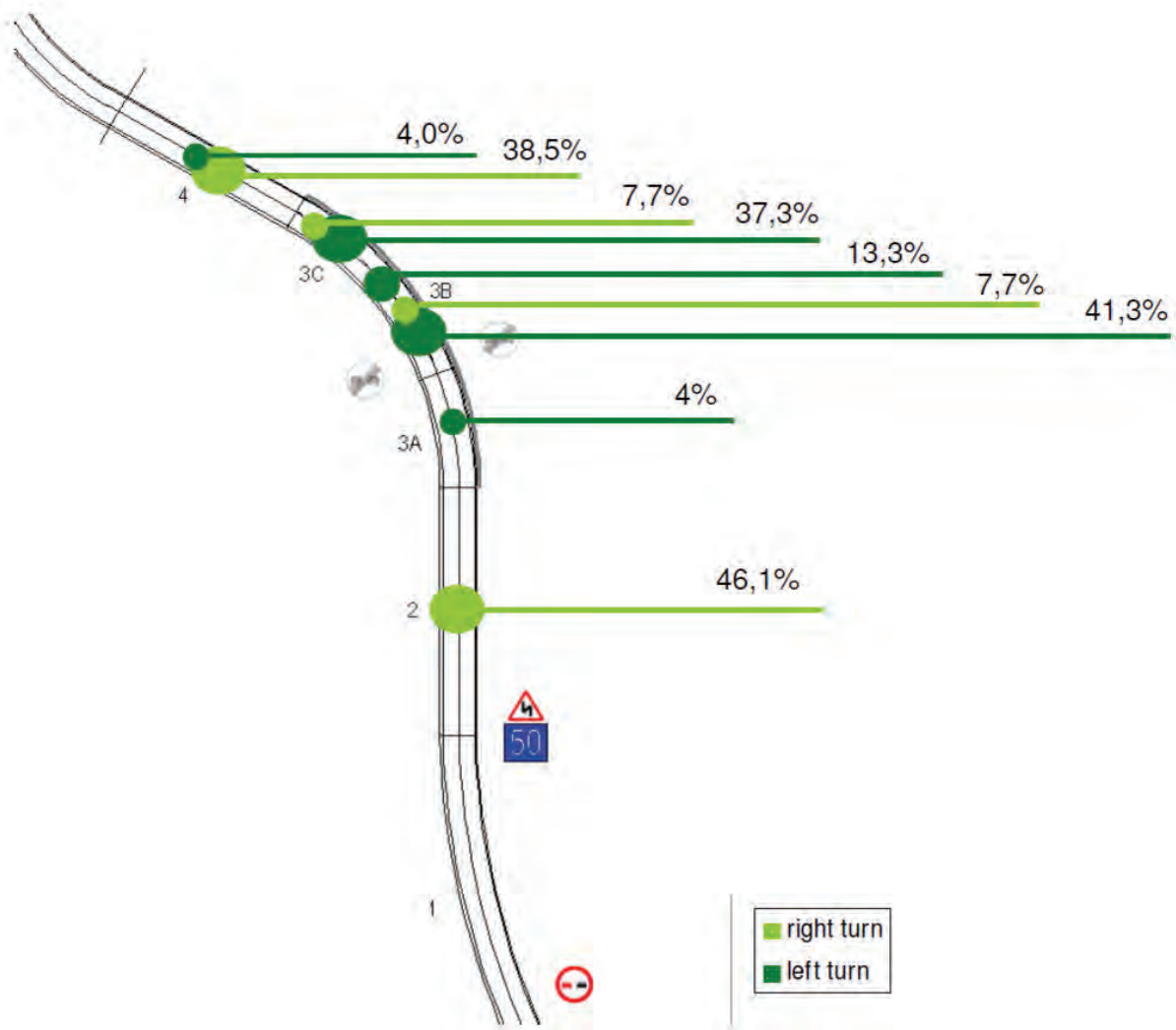


Figure 6: Scheme of the zones where the solid line was crossed

## 4 Conclusion and discussion

This study confirms the run-off crash at bends on rural roads as the most common configuration of severe motorcycle accidents. Mainly, these crashes occurred under good environmental conditions: at daylight, with good weather and dry road surface. Curve crashes happened mostly in the direction to the left; and descending gradients, missing hard shoulders, lower values of crossfall and small curve radii appear to be related to curve crashes. Consistent with broader accident analyses, in the case study of a rural curve almost all crashes happened in the bend to the left. The behaviour observation revealed a slight tendency of lower speed when riding through the curve to the left (which could not sufficiently be confirmed statistically and might be based on a too vague appreciation by the observers) and no differences in the leaning behaviour. Most interestingly, the riders chose a more pronounced path within the lane when they rode through the curve to the left than to the right, coming closer to the road

markings. As a result, they crossed the solid centre line more often with the body or with the bike in the left turn direction than in the right turn. This could represent a potential risk, since it narrows the margin for avoidance manoeuvres or other corrective actions in case of any incident and might also increase the possibility to get into conflict with other road users (oncoming traffic).

In the bend to the left, the line was crossed in more central zones of the curve, whereas the riders crossed the line in beginning or end of the curve when riding to the right. The inner zones can be considered as more critical for riding safety, since visibility and especially the riders' margin for corrective actions are worse there than in the outer zones of the curve.

These results make sense since tracing a curve to the right differs from tracing a curve to the left. Riding techniques for curves relate to the position of the motorcycle within the lane. Typically, bends to the left will be traced by positioning the motorcycle in the right border of the lane before entering the curve (corresponding with the outer part of the curve) and by approaching the left border of the lane while leaning more when drawing nearer to the apex of the curve (the point where the motorcycle is closest to the inside of the bend). At this point the motorcycle comes close to the centre line and may cross it due to the leaning or if the rider considers that the road situation allows for it. Riding through bends to the right implies the same manoeuvre within the lane, but the location of the motorcycle relative to the curve and opposite lane is different. The path starts close to the centre line and the apex lies close to the inner part of the curve. Thus, the rider will not get into the opposite lane in the centre of the curve, even though the leaning is strong.

It could be assumed that riders are more likely to regain the control of the vehicles when negotiating a right hand bend since they have the opposite lane to try some avoidance manoeuvre. On the contrary, a rider who loses the control of the vehicle during a left hand bend does not have so much space to avoid the run-off crash. The fact that most run-off crashes happen at curves that lack sufficient hard shoulder suggests that the rider has less opportunity for corrective actions in such settings. Riding with margins for corrective actions is especially important on unknown roads and can be vital in the case of unexpected hazards or an unpredicted layout of the curve. Wider carriageways, however, do not seem to have any protective effect.

An additional explanation could be that it is easier for the riders to survey a right hand curve than a left hand one. For a better navigation through the curve, the motorcyclist fixes his eyes along the line of the inner curve to a point on the horizon. In right hand turns, this line of vision corresponds to the course of the motorcycle that also lies in the inner curve. By consequence, the riders are more likely to detect possible hazards in the curve area earlier than when riding through a bend to the left, where the field of vision does not lie directly over the trajectory within the curve.

The results of this study suggest that specific countermeasures, which help riders to safely negotiate curves – in particular those to the left, should be developed and implemented. The infrastructure should be adapted where possible, avoiding the configurations of road design that lead to high numbers of motorcycle crashes. In that context, wider lanes are not expected to be beneficial, whereas the presence of hard shoulders should be positive for rider safety in curves. Besides, particular importance should be given to forgiving roadside and to motorcycle-friendly protective devices. Their installation is especially advisable along left hand bends with descending gradient. Furthermore, the riders should be warned by adequate signposting at hazardous locations.

The relevance of the riding behaviour in curves indicates that rider training plays a crucial role. Special consideration should be given to train riders for riding through bends to the left and raising awareness on the possible hazards that these locations entail. The riders need to be aware of the safety margins they are keeping at any point in curves with different characteristics and learn how to manage their speed, path within the lane (choice of apex) and leaning in a safe manner.

This study provides insight in riders' behaviour as well as factors of the layout of the curves that may contribute to motorcycle crashes. Factors that are hard or impossible to observe via accident analyses could be captured by behaviour observation and thus contribute to a better understanding of how critical situations or crashes may emerge. Yet, it is important to note that this study does not allow any calculation of risk and it cannot be stated that the factors highlighted in this study will individually promote crashes. Further limitations of the study are due to the sample that has been analysed. More investigation is needed to see whether the findings generalize over similar locations and other countries. The danger of getting into conflict with oncoming traffic could only be deduced from the invasion of the opposite lane, whereas no empirical proof could be collected due to low traffic density. Future studies should also explore possible influences of motorcycle types as well as interindividual difference among riders regarding riding styles and riding motives.

Further aspects that could be relevant when characterizing curves and their related hazards are the length of the curve, radius changes and the curve predictability. These aspects may represent a challenge for riders, since they require an adjustment of the riding parameters the riders may not always be prepared to perform.



## 5 Acknowledgements

The research leading to these results has received funding from the European Union's Seventh Framework Programme (FP7/2007-2013) under Grant Agreement N° 218703. It was carried out while the first author was a member of the Accident Analysis and Human Factors Department at the Cidaut Foundation. The authors wish to thank Ricardo Del Valle Pérez for his contribution to the data collection of the study.

## 6 References

- Abdel-Aty, M., 2003. Analysis of driver injury severity levels at multiple locations using ordered probit models. *Journal of Safety Research* 34, 597–603.
- Amoros, E., Martin, J.-L., Laumon, B., 2006. Under-reporting of road crash casualties in France. *Accident Analysis and Prevention* 38, 627–635.
- APROSYS, 2006. SP4 D413. Report on accident scenarios for motorcycle-motorcyclist-infrastructure interaction. State-of-the art. Future research guidelines. SP4 D413.
- Assing, K., 2002. Schwerpunkte des Unfallgeschehens von Motorradfahrern [Main aspects of motorcycle accidents], *Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Schriftenreihe „Mensch und Sicherheit“*, Heft M 137, Bergisch Gladbach.
- Broughton, P.S., 2005. Designing PTW training to match rider goals. In: L. Dorn (Ed.), *Driver behaviour and training* (vol. 2, pp. 233–242). Aldershot Publishing: Ashgate.
- Broughton, P.S., Stradling, S., 2005. Why ride powered two wheelers? In *Behavioural research in road safety, fifteenth seminar*. London: Department for Transport, 68-78.
- Christmas, S., Young, D., Cookson, R., Cuerden, R., 2009. Passion, performance, practicality: motorcyclists' motivations and attitudes to safety – motorcycle safety research project. Published Project Report PPR 442. Transport Research Laboratory. Crowthorne, UK.
- Clarke, D.D., Ward, P., Truman, W., Bartle, C., 2004. An in-depth case study of motorcycle crashes using police road accident files. *Behavioural Research in Road Safety: Fourteenth Seminar*. Department for Transport: London, 5-20.

Clarke, D.D., Ward, P., Bartle, C., Truman, W., 2007. The role of motorcyclist and other driver behavior in two types of serious accident in the UK. *Accident Analysis and Prevention* 39, 974–981.

Di Stasi, L.L., Álvarez-Valbuena, V., Cañas, J.J., Maldonado, A., Catena, A., Antolí, A., Candido, A., 2009. Risk behaviour and mental workload: Multimodal assessment techniques applied to motorbike riding simulation. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology* 12, 361-370.

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

Hurt, H.H., Ouellet, J.V., Thom, D.R., 1981. *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures*. DOT HS-5-01160. Traffic Safety Center: University of Southern California, Los Angeles.

Kühn, M., 2008. *Analyse des Motorradunfallgeschehens [Analysis of motorcycle crashes]*, GDV, Germany.

Li, M., Doong, J., Huang, W., Lai, C., Jeng, M., 2009. Survival hazards of road environment factors between motor-vehicles and motorcycles. *Accident Analysis and Prevention* 41. 938–947.

Mannering, F.L., Grodsky, L.L., 1995. Statistical Analysis of Motorcyclists' Perceived Accident Risk. *Accident Analysis and Prevention* 27 (1), 21–31.

Njå, O., Nesvåg, S.M., 2007. Traffic behaviour among adolescents using mopeds and light motorcycles. *Journal of Safety Research* 38, 481–492.

Preusser, D.F., Williams, A.F., Ulmer, R.G., 1995. Analysis of fatal motorcycle crashes: crash typing. *Accident Analysis and Prevention* 27 (6), 845–851.

Savolainen, P., Mannering, F., 2007. Probabilistic models of motorcyclists' injury severities in single- and multi-vehicle crashes, *Accident Analysis and Prevention* 39, 955–963.

Schneider, W., Savolainen, P., Moore, D., 2010. Examining effects of horizontal curvature on single vehicle motorcycle crashes along rural two-lane highways. *Transportation Research Record* 2194 (1), 91–98.

Sexton, B., Baughan, C., Elliott, M., Maycock, G., 2004. *The Accident Risk of Motorcyclists*. TRL Report TRL607, UK.

Shankar, U., 2001. Fatal Single Vehicle Motorcycle Crashes. DOT HS 809 360. National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA), U.S. Department of Transportation, Washington.

Shankar, V., Mannering, F., Barfield, W., 1996. Statistical analysis of accident severity on rural freeways. *Journal of Safety Research* 28 (3), 391–401.

Vlahogianni, E., Yannis, G., Golias, J., in press. Overview of critical risk factors in Power-Two-Wheeler safety. *Accident Analysis and Prevention*, doi: 10.1016/j.aap.2012.04.009.

**Indepth Study Of 39 Fatal Motorcycle Collisions In  
Northern Ireland (U.K.) Between 2004 And 2010**

**Unfall-Tiefenstudie über 39 tödliche Motorradkollisionen in  
Nordirland (U.K.) zwischen 2004 und 2010**

Elaine Hardy, PhD  
Director of Research, Right To Ride Ltd

With the collaboration of

Damian Coll, BSc, and Emerson Callender, PhD,  
Forensic Science, Northern Ireland, U.K.;

Richard Frampton, PhD,  
Transport Safety Research Centre, Loughborough University, England, U.K.



This study is supported by the British Motorcyclists Federation Foundation

## Abstract

The n.39 case studies analysed in this report are a representative sample of motorcycle fatalities in Northern Ireland between 2004 and 2010. The report contains an analysis of the collisions investigated and includes information relating to vehicle data, the collision scene and the environment as well as human factors. Overall, n.41 motorcyclists were fatality injured.

The evidence provided in this report indicates that each road traffic collision is unique but that in all cases the time frame from the perceived hazard to the conclusion of the impact either with another vehicle or with road infrastructure was typically between 2 and 3 seconds.

Information from the case studies indicates that the conditions for riding were generally optimal and during daylight.

In 63.4% of cases, (n.26/n.41) motorcyclists applied their brakes prior to the collision and n.18 (43.9%) applied their brakes severely. Of the n.17 (41.4%) motorcycles that slid after falling, n.10 (24.4%) fell onto their right side and the remaining n.7 (17.1%) fell onto their left side. There were two cases identified where Anti-Lock Braking Systems (ABS) may have made a difference to the outcome of the collision, both were on a straight section of road. At this point in time, the application of ABS on motorcycles is limited to straight sections of the road.

Of the n.39 cases analysed, there were n.17 cases (43.6%) in which another vehicle was considered the primary cause of the collision. In thirteen of these cases (76.5%), the evidence highlighted that the motorcycle's lights were switched on and therefore the other vehicle driver was in a position to see them. However, there appears to be a problem of looking but not seeing which may be due to the size of the motorcycle or simply because the car/van driver is expecting to see another car or van and has difficulty coping with the unexpected. There also appears to be an issue with the visibility from the cab of trucks to see the dipped beam of the motorcycle, which appears to be limited due to the height of the truck, this may have an effect on the perception of the oncoming motorcycle.

There were four cases (10.3%) of speeding, but in all cases, the actions of the other vehicle driver precipitated the collision. Equally there were four known cases (10.3%) in which the rider had levels of alcohol over the legal limit and or drugs in their blood. Three of these collisions were single vehicle (no other vehicle involved) and the fourth ran a red light through an intersection with no headlights on and impacted a car crossing the intersection.

There were n.9 cases (23%) in which the motorcyclists involved in a collision were either riding in a group or with another motorcyclist. In all these cases the total number of motorcyclists killed was n.11/n.41 (26.8%).

A focus group discussed the relevance of technology on vehicles as a deterrent to collisions as well as the advantages of teaching hazard perception and anticipation in initial and advanced training as a defence against potential collisions. The consensus was that while technology may in some cases be beneficial, good training was more important. However, the availability, image and cost of advanced training seemed to be a barrier to getting more riders involved.

Awareness campaigns were considered useful, but there is no method to measure their efficacy. However the consensus was that different avenues should be used to get the safety message out to the target audience, such as using the internet, social media, race meetings and specific road signage.

According to the participants of the focus group, the best solution to avoid road traffic collisions is anticipation and hazard awareness. The consensus was that the only reliable way to prevent motorcyclist injuries and deaths is to prevent the collision in the first place, which means the rider needs to get his/her eyes up and scanning ahead, taking evasive action when a potential collision is still several seconds from happening.

**Indepth Study Of 39 Fatal Motorcycle Collisions In  
Northern Ireland (U.K.) Between 2004 And 2010**

# Contents

1	Introduction
2	Background
3	Data collected on scene
4	Aims and Objectives
5	Vehicle factors
5.1	Tyre Pressure
6	Collision scene and environment factors of n.39 collisions
6.1	Road Conditions
6.2	Road Layout
6.3	Action taken by Motorcyclist
6.4	Road Infrastructure
6.5	Other Vehicle Involvement
7	Human factors
7.1	Helmet
7.2	Alcohol/drugs
7.3	Experience
7.4	Riding in Groups
8	Other Influencing factors
8.1	Speed
8.2	Lights
8.3	Conspicuity
9	Sequence of events
10	Braking, Deceleration and Perception/reaction time
11	Summary
12	Focus Group
12.1	Technology
12.2	Initial Training
12.3	Advanced Training
12.4	Awareness Campaigns
13	Conclusions
14	Recommendations
	Annex One: Summary of n.39 Case Studies



## Tables

- 1 Left hand approach prior to collision and subsequent action taken
- 2 Right hand approach prior to collision and subsequent action taken
- 3 Straight approach prior to collision and subsequent action taken
- 4 Road Infrastructure
- 5 Type of Collision involving Other vehicle that pulls out or performs U turn
- 6 Lighting (Other Vehicle involvement)
- 7 Sequence of events where the primary cause is the action of the OV
- 8 Sequence of events where the primary cause is the action of the MC but another vehicle is involved
- 9 Sequence of events where the primary cause is the action of the MC but no other vehicle is involved.
- 10 Summary of n.39 Case Studies

## Figures

- 1 Time of Collision
- 2 Season in which collision occurred
- 3 Weather
- 4 Location of Collision

## Acronyms

ABS: Anti-lock braking system also Advanced braking system

AT: Advanced Training

CBS: Combined braking system

CBT: Compulsory Basic Training

DOE: Department of the Environment Northern Ireland

DRD: Department of Regional Development (Roads Service)

DVA: Driver and Vehicle Agency Northern Ireland

FSNI: Forensic Science Northern Ireland

MC: Motorcycle

OV: Other Vehicle

PSNI: Police Service Northern Ireland

SCRIM: Sideways Force Coefficient Routine Investigation Machine

VRU: Vulnerable Road Users

## Contact Details:

Dr Elaine Hardy

[research@righttoride.co.uk](mailto:research@righttoride.co.uk)

Telephone: (+44) 02842757131

[www.righttoride.co.uk](http://www.righttoride.co.uk)

[www.righttoride.eu](http://www.righttoride.eu)

## 1 Introduction

This study is an examination of 39 collision scene reports from Senior Scientific Officers, Damian Coll, Emerson Callender and Lindsay McCormick of the Road Traffic Collision Investigation Unit, Forensic Science, Northern Ireland. The findings of these reports are supported by the Coroners' Verdicts, where available. The study and analysis of the reports was carried out by Elaine Hardy PhD, Research Director of Right To Ride Ltd, Elaine is an analyst with considerable experience in motorcycle safety research.

The three investigators are motorcyclists. Emerson Callender has a PhD in Mechanical Engineering while Lindsay McCormick has a B.Eng. in Mechanical Engineering and Damian Coll has a BSc BA Chartered Engineers and is a Member of the Institution of Mechanical Engineers; Member of the Institute of Traffic Accident Investigators. In the Road Traffic Collision Investigation Unit there are six investigators who attend vehicle fatalities in Northern Ireland.

## 2 Background

During 2004 to 2010 the Road Traffic Collision investigators attended road traffic collision scenes in which motorcyclists were fatally injured. This document analyses No. 39 cases (41 motorcyclists) from their investigations which is equal to 36% of the total motorcycle fatalities in Northern Ireland between 2004 and 2010 (there were 114 fatalities during this period). The cases reported in this study represent the investigations carried out by Damian Coll (n.21 reports), Dr Emerson Callender (n.16 reports) and Lindsay McCormick (n.2 reports) between April 2004 and June 2010.

The collision scenes were attended by an investigator, a PSNI photographer and mapper. The files that the investigators prepare include photographs of the collision scene, witness statements, as well as maps, diagrams, laboratory examinations and their findings which are compiled in a report from each collision investigation. Typically, the investigator arrives at the collision scene within 2 to 4 hours following the collision. Each accident investigation takes approximately six months to complete. The case studies from which this report is based, contain information from the Investigators' reports including their findings and comments.

There were 23 inquests held in relation to the collisions reported in this study, resulting in a Coroner's verdict. In the cases where there was no Coroner's verdict there may have been a prosecution; the person charged with an offence may have pleaded guilty or the family may have indicated that they did not want a public enquiry.

### 3 Data Collected On-Scene

#### Vehicle data

- Vehicle registration number, manufacturer, model
- Mechanical factors data, motorcycle and other vehicles
- Contribution of design or maintenance defects to collision or injury causation
- Collision or injury related cause factors
- Motorcycle pre-crash motions
- Other vehicle pre-crash motions
- Motorcycle collision motions
- Other vehicle collision motions
- Motorcycle post-collision motions
- Associate vehicle injury sources
- Vehicle speed for motorcycle and other vehicle
- Motorcycle lighting: headlamps, brake lights, etc.

#### Collision scene, environment

- Collision scene data
- Road motorcycle was travelling
- Road other vehicle was travelling
- Traffic and controls
- Verify collision configuration
- Preview collision cause factors
- Collision contribution of weather, view obstructions
- Collision contribution of road conditions and defects

#### Human factors

- Collision avoidance performance
- Helmet analysis

## 4 Aims and Objectives

The aim of this study is to analyse each case study presented from the findings of the FSNI investigators and where available, the Coroner's verdict.

The objective is to identify the primary cause of the collisions as well as the contributory factors and from that information, to understand collision causation and ultimately endeavour to draw conclusions from a focus group of trainers and police.

## 5 Vehicle factors

Details of all vehicles involved in the n.39 cases reported were recorded which included the vehicle registration, make and model. There were n.41 motorcycles involved in these collisions.

With regards to style, there were n.21 (51.2%) super sports motorcycles (in two cases there were two super sports involved respectively), five (12.2%) tourers (including one super sports tourer and two sports tourers), three cruisers, three scooters, three naked/semi-naked, two sports, two mopeds, one adventure trailie and one trail bike.

Of the n.41 motorcycles (including scooters and mopeds) n.31 (75.5%) had engine sizes between 600cc and 1300cc, there were two between 350cc and 400cc, six (14.6%) with an engine size of 125cc and two mopeds with an engine size of 50cc.

Mechanical factors and contribution of design or maintenance defects to collision or injury causation are recorded. n.36/n.41 (87.8%) motorcycles did not have any mechanical, design or maintenance defects which may have contributed to the collision or injury causation. In Northern Ireland all vehicles are subject to a regular annual technical inspection called MoT which covers lights, brakes, tyres, steering and general maintenance.

However in n.3/n.41 (7.3%) motorcycles, under-inflated tyres were identified as the cause or a contributory factor in the collision. In one case the front tyre was recorded as not for highway use. One motorcycle was recorded as having the steering damper missing which may have contributed to the loss of control. One motorcycle was burnt, so no information is available.

Of the cases where another vehicle was involved, in one case where the car driver performed a U turn in front of the motorcycle, the investigator noted that the C and D pillars may have restricted the view of the driver. In a case there a truck pulled out in front of the motorcycle, there was a problem with the visibility of the driver from the cab of the truck to see the light of the motorcycle which may have had an effect on his perception of the distance of the oncoming motorcycle. No other cases reported mechanical factors or design issues which may have contributed to the collision.

## 5.1 Tyre Pressure

The measured tyre pressure of the motorcycles indicates that in n.28/n.41 motorcycles recorded, n.13/n.28 (46%) of these motorcycles had under-inflated tyres of between -8 psi up to -25 psi. In two further cases, investigation indicated that there was a probability that the deflated tyres were under-inflated and were a contributory cause of the collision. Overall, evidence that under-inflated tyres contributed to the collision, was found in one case, while in two cases, the under-inflated tyres were the primary cause of the collision. Although the tyre pressure was below the recommended level as indicated by tyre manufacturers in the n.13 cases mentioned above, according to the investigators there was no evidence (apart from the three cases highlighted) that under-inflated tyres had an influence to the outcome of the collision.

## 6 Collision scene and environment factors of n.39 collisions

The time of day of the collisions highlights that 46.2% (n.18) occurred between afternoon and early evening. 17.9% (n.7) occurred in the evening and 33.3% (n.13) occurred between morning and early afternoon. One collision (2.6%) occurred in the early morning. The highest proportion of fatalities: 23%, (n.9) occurred between 18.30 and 19.30.

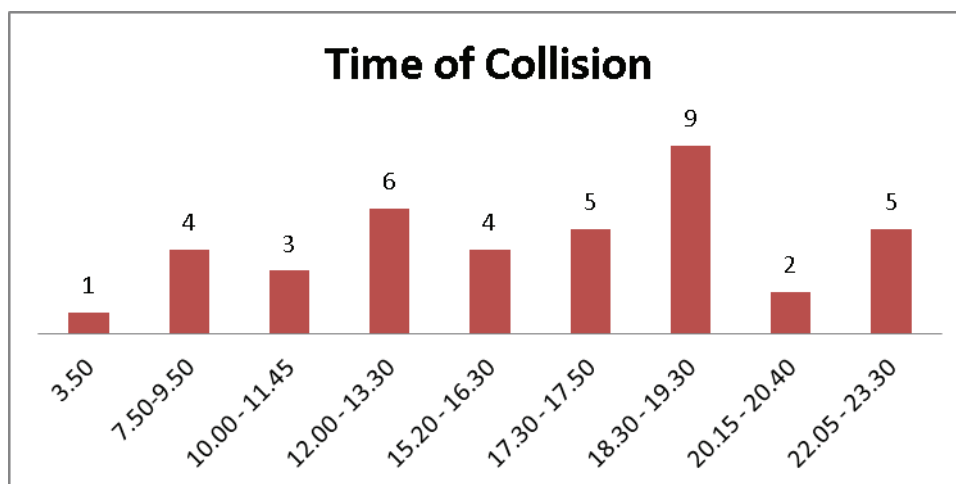
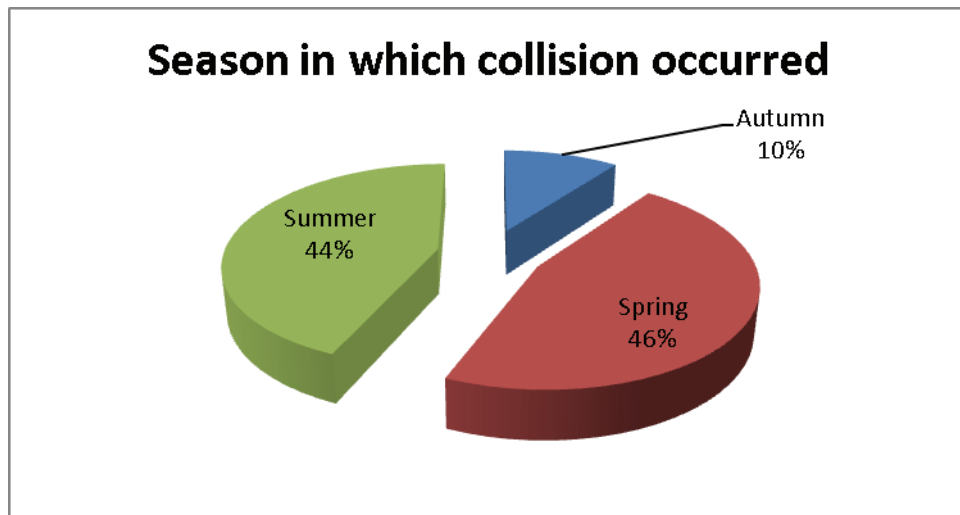


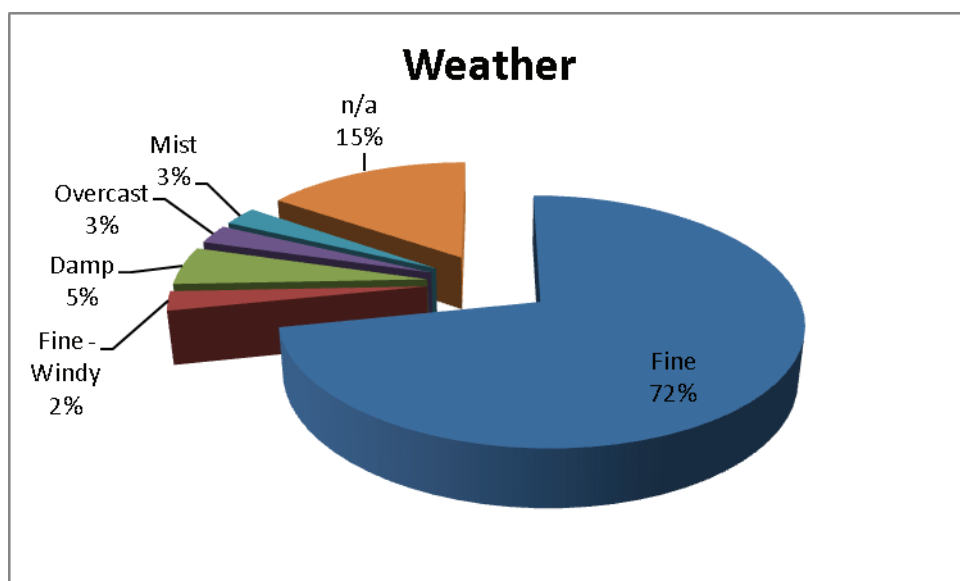
Figure One

The proportion of collisions occurring in Spring were 46.2% (n.18), Summer 43.6% (n.17) and autumn 10.3% (n.4).



*Figure Two*

In 72% (n.28) of cases, the weather was fine; in n.4 cases the weather was either overcast or damp. In six cases the weather was not mentioned.



*Figure Three*

Twenty eight collisions occurred in rural locations (71.8%) while n.6 (15.4%) occurred in urban locations, the remainder occurred in a semi-rural location (n.2), on a dual carriageway (n.2) and one occurred on a motorway.

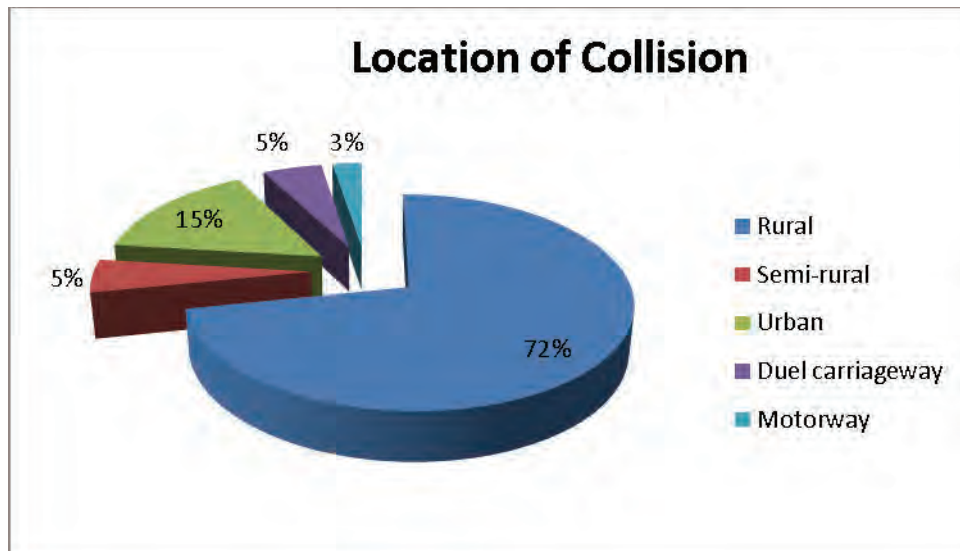


Figure Four

## 6.1 Road Conditions

The investigators examine the road where the collisions occur looking for contaminants, surface irregularities, quality and markings.

If the investigators suspect that there is an issue with the road surface, or to attempt to estimate the speed from the tyre marks, they would carry out a skid test, using a skid mark device to measure the coefficient of friction between the tyres and the road surface. Generally this would be applied more for cars, because the friction coefficient might be slightly higher for motorcycle tyres than what there would be in a test for a car. But if the investigators suspected that there was an issue with the traction of the road surface, or if they are to perform calculations based on the length of the tyre marks, then the investigators would conduct skid tests.

Typically there is a road test conducted at the scene while the road is still closed or at a later stage when the road is open, whereby the investigators will drive or ride through the collision scene or get another expert police motorcyclist to ride through the scene to comment on and/or determine whether it is possible to negotiate part of the road through the collision scene at a specific speed. The investigators need to be satisfied that the motorcyclist was not travelling in excess of that speed to eliminate this as a factor in the collision and demonstrate that there was no issue with the road surface.

In all cases, the condition of the roads was reported as “good”. In one case there were no road markings. In n.29/n.39 cases (74.3%), the surface of the road was “dry”. In three cases the surface of the road was “damp” and in one case there were loose stones on part of the road.



## 6.2 Road Layout<sup>1</sup>

In the approach to the collision scene, there were n.13 cases (31.7%) in which the approach was a right hand bend and in eight (19.5%) cases, the approach was a left hand bend. In the remaining n.18 (43.9%) cases, the approach was a straight section of road.

## 6.3 Action taken by Motorcyclist

63.4% (n.26/n.41) motorcyclists applied their brakes prior to the collision and n.18 (43.9%) applied their brakes severely. Of the n.17 (41.4%) motorcycles that slid after falling, ten (24.4%) fell onto their right side and the remaining seven (17.1%) fell onto their left side.

Table one highlights the actions of seven motorcyclists who approached the collision scene on a left hand bend. In five cases, the motorcyclist applied the brakes. Three motorcycles fell on the left hand side and two fell on the right side.

*Table One: Left hand bend approach prior to collision and subsequent action taken*

Style of MC	Approach to collision scene by MC	Position of MC prior to collision	Action taken by Motorcyclist	Side that MC slides after falling
Sports 750cc	Downhill left hand bend	Travelling on main road	Leans MC and applies front brake severely (locking wheel)	Left side
Super Sport 1100cc	Gentle left hand bend	Centre of lane	Applies brakes severely locking rear wheel	Motorcycle "high sides" then falls on right side
Moped 50cc	Gentle left hand bend	Approaches junction	Applies brakes severely	Right side
Trail 125cc	Left hand bend	Veers slowly towards kerbstone	Puts left foot down on raised verge	Left side
Super Sport 750cc	Sharp left hand bend	Attempts to overtake van and leans MC into the corner	Applies brakes to front wheel (locking wheel) changes down gears and leans MC left at same time	Left side
Super Sport 900cc	Uphill left hand bend	Centre of lane	Applies brake	N/a (Impacts car)
Tourer 1300cc	Uphill left hand bend	Travelling on duel carriageway	Moves left to avoid van	N/a (Impacts van)

*N/a = Did not slide*

Table two identifies n.14 motorcyclists that approached the collision scene on a right hand bend, in five cases, the motorcycle fell to the right, three fell to the left, two motorcyclists impacted the other vehicle.

<sup>1</sup> In Northern Ireland (as with the rest of the United Kingdom), vehicles drive/ride on the left hand side of the road.

Table Two: Right hand approach prior to collision and subsequent action taken

Style of MC	Approach to collision scene by MC	Position of MC prior to collision	Action taken by Motorcyclist	Side that MC slides after falling
Naked 600cc	Downhill right hand bend	Not recorded	Applies braking severely and almost locks front wheel	Right side
Tourer 1100cc	Downhill right hand bend	Travelling on main road	Veers suddenly to left and hits kerbstones deflecting MC	Right side
Scooter 125cc	Downhill Right hand bend	Veers to left to avoid metal covers on road	Applies brakes	N/a (impacts wall)
Sports 400cc	Gentle right hand bend	Close to left hand side	Applies brakes	Left side
Super sport (2) 1000cc and 1200cc	Gradual right hand bend	Centre of lane Two MCs speeding at >130 mph (1000cc behind and slightly to the right of 1200cc)	1200cc applies brake severely to both front and rear wheel; 1000cc applies brake	N/a (Impacts truck)
Cruiser 650 cc	Long sweeping right hand bend	Travelling on main road	No Action	N/a (impacts car)
Super Sport 600cc	Right hand bend	Motorcyclist leans to left and loses grip	No action	Left side (into oncoming car)
Super Sport 1000cc	Right hand bend	Overtakes bus, perceives hazard (oncoming vehicle)	Manoeuvres severely to left and applies brakes severely, locking front wheel	Right side
Super Sport 1000cc	Right hand bend	Travelling on main road	Applies brakes severely	Right side
Super Sport 1000cc	Right hand bend	Travelling on main road	Applies brakes severely, locking front wheel	Right side
Super Sport 600cc	Right hand bend	Travelling on Motorway, goes wide and moves left onto hard shoulder then top of Armco Barrier	No action	Flies over Armco barrier to construction site (impacts ground)
Sports Tourer 750cc	Right hand bend	Overtakes cars and follows wide path	Leans MC severely to the right and falls	Left side
Classic 350cc	Right hand bend	Travelling on main road into bend, loses control	Applies rear brake severely (locking wheel)	N/a (Impacts raised bank)
Super Sport 750cc	Uphill right hand bend	Overtakes three cars, centre line	MC goes out of control, motorcyclist applies rear brake severely and rotates left	N/a

N/a = Did not slide

The following table (three) indicates that there were n.18 motorcycles that approached the collision scene on a straight stretch of road. Of these, n.12 impacted another vehicle. In seven cases the investigators provided evidence that no action was taken (i.e. the motorcyclist did not apply the brakes). Three motorcycles fell on their right side and one on the left side.

Table Three: Straight approach prior to collision and subsequent action taken

Style of MC	Approach to collision scene by MC	Position of MC prior to collision	Action taken by Motorcyclist	Side that MC slides after falling
Sports Tourer 800cc	Straight (junction)	Manoeuvres to right of lane	Applies brakes	N/a (Impacts car)
Super sport 1000cc	Straight	Manoeuvres over centre line to opposite lane	Applies brakes	N/a (impacts car)
Advent. Traillie 1150cc	Straight	Attempts to overtake car and car applies brakes	Applies brakes (ABS) but too close to car in front	N/a (Impacts oncoming car)
Semi-naked 650cc	Straight	Travelling on minor road emerges from junction without stopping	Applies brakes severely	N/a (Impacts car)
Super Sport 1000cc	Straight	Approaches junction	Applies brakes severely front and rear wheel	N/a (Impacts truck)
Super Sport 600cc	Straight	Centre of lane	Applies brakes severely locking brake, causing rear wheel to lift	N/a (impacts car)
Super Sport 600cc	Straight	Travelling on main road	Applies brakes severely locking brake, reduces braking or transfers weight forward, causing MC to pivot on front wheel, lifting rear wheel	N/a (Impacts car)
Super Sport 600cc	Straight downhill	Crosses centre line	Applies brakes severely locking front wheel	N/a (Impacts oncoming MC)
Super Sports 1100cc	Straight	Travelling in group of Motorcycles	Applies front brake severely (locking wheel)	Right side
Super Sport Tourer 1100cc	Straight	Travelling on duel carriageway	Applies rear brake severely	Right side
Super sport 125cc	Straight at junction	Attempts to overtake truck while truck steers to the right	Impacts truck and slides towards oncoming car	Right side
Cruiser 125cc	Straight, crest then decline	Emerging from junction without stopping	No action	N/a (Impacts car)
Cruiser c.900cc	Straight	Overtakes bus and runs into car at junction	No action	N/a (impacts car)
Sports 1000cc	Straight	Manoeuvres to right of lane	No action	N/a (Impacts car)
Scooter 125cc	Straight	Travels across junction running red light	No action	N/a (impacts car)
Scooter 125cc	Straight	Moves gradually to left towards kerbstone	No action	Left side
Moped 50cc	Straight	Travelling on main road impacts friend's moped, loses control	No action	N/a (Impacts wall)
Super Sport 600cc	Straight (dip in the road)	Travelling along main road	No action	N/a (impacts van)

N/a = Did not slide

## 6.4 Road Infrastructure

Of the n.39 cases, there were n.12 cases (30.8%) in which the motorcyclist impacted against road infrastructure. In five of these cases the motorcyclist either impacted a fence or wall. In one of these cases, the wall had “dragon teeth” which caused the injuries to the motorcyclist. In four cases the motorcyclist impacted a

pole – in one case, the pole had a traffic monitoring box attached which caused the injuries of the motorcyclist. In two cases the motorcyclist impacted the bank or kerbstones on the side of the road and one motorcyclist impacted rocks in a construction area after “flying” over an Armco barrier. Of the n.12 cases, in five (12.8%), the collision involved another vehicle while in seven cases (17.9%) there was no other vehicle involved.

*Table Four: Road Infrastructure*

<b>Involvement of OV in the collision</b>	
1	Motorcyclist impacts a concrete post and wooden fence
2	Motorcyclist impacts traffic monitoring box on pole
3	First motorcyclist is projected onto road and second motorcyclist hits wooden fence
4	Motorcyclist impacts wall (and is projected back under a bus)
5	Moped rider impacts “dragon tooth” wall
<b>No involvement of OV in the collision</b>	
6	Motorcyclist impacts lower part of telegraph pole
7	Motorcyclist impacts poles of a warning sign
8	Motorcyclist impacts outer support pole for a speed limit sign
9	Motorcyclist impacts rocks in a construction area (after passing over Armco barrier)
10	Motorcyclist impacts kerbstones
11	Motorcyclist impacts bank
12	Motorcyclist impacts wall

## 6.5 Other Vehicle Involvement

There were seventeen cases (43.6%) in which another vehicle was considered the primary cause of the collision. As highlighted in table five, four of the other vehicle drivers performed a U turn in front of the motorcycle. One driver was a hit and run (i.e. after the collision the car driver left the scene of the collision). The remaining vehicles exited from a side road or private entrance in front of the motorcycle or turned across the road in front of motorcycle from the opposite lane. Of the seventeen cases, eight (47%) were cars, five (29.4%) were vans, two were trucks and one was a tractor.

*Table Five: Type of Collision involving OV that pulls out or performs U turn*

	<b>Style of MC</b>	<b>Type of Collision</b>
1	Sports 400cc	Van pulls out in front of MC
2	Super sport 1000cc	Car performs U turn in front of MC
3	Cruiser 650cc	(Hit and run) Car driver pulls out in front of the MC
4	Super sport 1100cc	Van performs U turn in front of MC
5	Sports Tourer 800cc	Car pulls out in front of the MC
6	Super sport 600cc	Car performs U turn in front of MC
7	Super sport 600cc	Car pulls out in front of the MC
8	Super sport 900cc	Car pulls out in front of the MC
9	Super sport 1200cc; Super sport 1000cc	Tipper truck pulls out from entrance to quarry
10	Naked 600cc	Car pulls out in front of the MC
11	Super sports tourer 1100cc	Car pulls out in front of the MC
12	Sports 1000cc	Car turning right in front of MC
13	Tourer 1300cc	Van performs U turn in front of MC
14	Super sport 1000cc	Truck pulls out in front of MC
15	Super sport 1000cc	Tractor pulls out in front of MC
16	Super sport 1000cc	Van driver cuts the corner in front of the MC's path
17	Super sport 600cc	Van driver pulls out in front of MC

## 7 Human factors

### 7.1 Helmets

Of the twenty eight cases where information about helmets is recorded, twenty six were full face and one was a flip face. In six cases, the helmet was recorded as not being secured. The type of closure was recorded for eight of the helmets: six had a “Double D” closure and two had a “locking tongue” closure. In two cases the visor was tinted, sixteen of the visors were clear and there was no information about visors for the remaining nine helmets.

### 7.2 Alcohol/drugs

There are four recorded cases in which the motorcyclists had levels of alcohol over the legal limit and or drugs in their blood. In Northern Ireland the maximum legal alcohol limit for driving is 80 mg per 100 mls. In three cases the alcohol content was more than two times over the legal limit. In one case the motorcyclist had also taken nerve suppressant drugs and possibly cannabis. In another case the motorcyclist also had ecstasy in his blood. Three of these collisions were single vehicle (no other vehicle involved) and the fourth ran a red light through an intersection with no headlights on and impacted a car crossing the intersection. The information on alcohol and drugs is only available from the Coroner’s Verdicts.

### 7.3 Experience

The information available from the Coroner’s Verdicts regarding the experience of the motorcyclists is limited (only six cases are reported). Based on the reference numbers of case studies in table ten (annex one), in case n.24, the rider was experienced, but was more than twice over the legal drink limit and had traces of ecstasy and cannabis in his blood. In case n.26 the rider was “very experienced” but veered suddenly and lost control; in case n.27 the rider had insufficient experience (he had returned to riding three years previously and had owned his motorcycle for one year). In case n.30 the rider had only one year’s experience. In case n.32 the rider had only passed his test eleven months previous to the collision and owned his motorcycle for two months, he was almost twice over the legal drink limit. In case n.34, the rider was experienced, but was more than twice over the legal drink limit.

### 7.4 Riding in Groups

There were n.9/n.39 (23%) cases in which the motorcyclists involved in collisions were either riding in a group or with another motorcyclist. Based on the reference numbers of case studies in table ten (annex one), in two cases (n.5 and n.35) the collision occurred between two or more motorcycles. In two other cases (n.15 and n.19), the motorcyclists were accompanied by another motorcyclist and were speeding above the national limit. In both cases, the catalyst for the collision was another vehicle pulling out in front of the motorcycles. In another case (n.21) the motorcyclist was accompanied by a second motorcycle, but the catalyst of the collision was a van performing a U turn in front of the lead motorcyclist. In one case (n.30) two mopeds

were involved, although the evidence is unable to determine with absolute certainty, one of the mopeds may have collided with the other and caused the moped and rider to deflect and hit a nearby wall. In cases n.5 and n.15, two motorcyclists were killed respectively. Finally there were three cases (n.10, n.20, n.27) in which the second rider (who was following a lead rider) was involved in a collision with another vehicle and/or road infrastructure. In all these cases the total number of motorcyclists killed was n.11/n.41 (26.8%).

## 8 Other Influencing Factors

### 8.1 Speed

Of the 39 cases, there were four in which evidence of speed above the national legal limit was recorded. In one case the speed of two motorcycles involved was above the national legal speed limit (>130 mph) and the motorcyclists were unable to stop in time when a truck exited from a quarry. According to the investigator, had the motorcycles been travelling at the national speed limit and had they begun braking at the location of the start of the long tyre mark, the collision would have been avoided. Furthermore travelling at a constant speed of 60 mph, it would have taken approx. 5.2 seconds for the motorcycles to travel from the start of the tyre mark to the impact area (139 metres). This would have given sufficient time for the truck to move away from the quarry entrance and clear the west bound lane. In this scenario, the collision could have been avoided without any brake application by the motorcyclists.

In the three remaining cases, the speed was higher than the national legal limit and in each case a vehicle pulled out from a minor road in front of the motorcycles. However, the actions of the other vehicle driver pulling out in front of the motorcycles were the primary cause of the collision, not the speed of the motorcycle. With regards to the actions of the motorcyclist, due to the speed of the motorcycle, the rider was restricted in his ability to brake sufficiently in time prior to impact.

*Table Six: Lighting (Other Vehicle involvement)*

Style of MC	Type of Collision	Lights on	Brake light used
Sports 400cc	Van pulls out in front of MC	Yes	Yes
Super sports 1000cc	Car performs U turn in front of MC	Yes	Yes
Cruiser 650cc	Car driver pulls out in front of the MC	Yes	Yes
Super sport 1100cc	Van performs U turn in front of MC	n/a	Yes
Sports Tourer 800cc	Car pulls out in front of the MC	Yes	Yes (CBS)
Super sport 600cc	Car performs U turn in front of MC	No	Yes
Super sport 600cc	Car pulls out in front of the MC	Yes	Yes
Super sport 900cc	Car pulls out in front of the MC	n/a	Yes
Super sport 1200cc	Tipper truck pulls out from entrance to quarry	Yes	Yes
Naked 600cc	Car pulls out in front of the MC	Yes	Yes
Super Sports tourer 1100cc	Car pulls out in front of the MC	n/a	n/a
Sports 1000cc	Car turns right in front of MC	Yes	n/a
Tourer 1300cc	Van performs U turn in front of MC	Yes	n/a (ABS)
Super sport 1000cc	Truck pulls out in front of MC	Yes	Yes
Super sport 1000cc	Tractor pulls out in front of MC	Yes	Yes
Super sport 1000cc	Van driver cuts the corner in front of the MC's path	Yes	Yes
Super sport 600cc	Van driver pulls out in front of MC	Yes	n/a (LED)

*N/a - information not available*

## 8.2 Lights

Of the 39 cases reported seventeen (43.6%) were collisions between a motorcycle and another vehicle that had either pulled out from a private entrance, another road (typically at a junction) or performed a U turn in front of the motorcycle. In these cases, the other vehicle was considered the primary cause of the collision. The investigators were unable to determine whether the motorcycle had its dipped beam or headlights on in three cases, while in a fourth case the dipped beam lights were not switched on, however in that specific collision, the car driver performed a U turn in front of the motorcycle which was coloured bright yellow and was being followed by a white car, which the car driver also failed to see. In the remaining thirteen cases, the motorcycles had their lights switched on and in one case the motorcyclist was wearing a high visibility jacket.

## 8.3 Conspicuity

For the purpose of conspicuity, 79.5% (n.31) of all the collisions occurred during daylight hours. In one of these cases where the collision involved another vehicle, (case n.22) there was a problem with the visibility of the driver from the cab of the truck to see the light of the motorcycle which may have had an effect on his perception of the distance of the oncoming motorcycle.

Below is a photograph of the view at 109 metres and indicates the position of the motorcycle when the motorcyclist perceived a hazard with the motorcycle at a speed of 80 mph.



*Photograph One: (perceived a hazard with the motorcycle at a speed of 80 mph)*

The speed at the location of the collision was 40 mph, however according to the investigator the motorcycle had been travelling at a speed of at least 68 to 80 mph at the start of the tyre mark. The Highway Code states that the braking distance at 40 mph is 24 metres. Therefore if braking had been applied at the start of the tyre

mark at 40 mph, it should have been possible to stop the motorcycle approx. 31 metres prior to the centre of the junction or 37 metres prior to the collision area.

According to the investigator, the motorcycle was being ridden on dipped beam illumination at the time of the collision, however as shown in the photographs above, the illuminated dipped beam headlight on a similar motorcycle does not significantly alter the visibility of the motorcycle in daylight when viewed from the inside of the truck at the end of the minor road. The illuminated headlight is much more apparent when viewed from a lower angle and when more closely aligned with the direction of travel of the motorcycle (see photograph two below).



*Photograph Two: Collision scene*

## 9 Sequence of events

The following tables, seven, eight and nine set out the sequence of events leading to each of the fatalities in the n.39 collisions. The sequences are structured from the first event which indicates the movement of the motorcycle and its direction of travel and whether the motorcycles had lights on.

The second event indicates the beginning of the actions which lead to a collision, including the underlying reason for the action and also indicates in the second and third actions the movement of a second vehicle and the commencement of the actions if any, of the motorcyclist.

The fourth and fifth sequence of events highlights the actions or reactions of the motorcyclist on perceiving the hazard or in the case where there was no action, the continuation of the progress of the events.

The sixth event identifies the circumstances which led to the primary cause of the fatalities.



The following table (seven) highlights the sequence of events where the actions of the other vehicle driver are the primary cause of the collision. The actions of the other vehicles do not imply that the other vehicle driver was necessarily responsible for the collision but that their actions precipitated the sequence of events which led to the collision.

*Table Seven: Sequence of events where the primary cause is the action of the OV driver*

	1 →	2 →	3 →	4 →	5 →	6
1	MC travelling south on main road with lights on	Van emerges from entrance to turn right, view unobstructed	Motorcyclist brakes prior to impact	MC impacts van and slides into stationary car	MC rebounds before coming to rest	Motorcyclist continues forward and impacts a concrete post and wooden fence
2	MC travelling south on main road with lights on	MC positioned onto North bound lane to overtake car which had right indicator on (possibly out of line of sight of car driver)	Car performs U turn in front of MC	MC brakes prior to impact	MC and motorcyclist impacts car	Motorcyclist is projected forwards and travels through air before landing on grass verge
3	MC travelling south on main road with lights on	Hit and run car emerges from minor road on left of MC (staggered cross junction)	Car pulls out in front of MC and leaves scene	MC impacts car	MC then slides across the road onto the minor road	Motorcyclist and pillion are thrown from MC. Motorcyclist suffers fatal injuries.
4	MC travelling north on main road with lights on	MC's position prior to left hand bend is not on the centre line, thus unable to see van about to turn right	Van performs U turn in front of MC Van driver's view restricted by hedge	MC brakes severely prior to impact	MC high-sides and falls on its right side, sliding into van	Motorcyclist travels through air and impacts van
5	MC travelling north-west on main road with lights on at night time	Car emerges from a minor road (at T junction) with clear give way markings, no visual impediments, from the left of the MC and crosses in front of MC	MC positioned to right of north-west bound lane in response to car's position	MC applies brakes prior to impact (link brakes)	MC impacts front of car	Motorcyclist is projected off his MC and travels through air landing on the ground
6	MC travelling towards exit of industrial estate, no lights followed by white car)	Car performs U turn (turning right) in front of MC	MC applies severe front brake and attempts to steer left	MC pivots with rear wheel lifting off the ground	Motorcyclist is thrown from MC against car	MC impacts car Motorcyclist is hit from behind by MC
7	MC travelling east on main road with lights on	Car pulls out in front of MC, intending to turn right at a junction with clear give way markings	MC applies severe front brake	MC pivots with rear wheel lifting off the ground	MC impacts car	Motorcyclist impacts car head on and comes to rest in an area near the impact
8	MC travelling west on main road travelling at speed poss. higher than legal limit	MC out of view when car driver commences manoeuvre to turn right across main road	Car pulls out in front of MC from minor road	MC applies brakes	MC unable to stop in time and impacts car	Motorcyclist impacts car
9	Two MCs travelling west on main road with lights on, both travelling at >130 mph	Tipper truck exits quarry to turn right	MC applies severe braking	Tipper truck had almost cleared the road when impact occurs	Both MCs impact tipper truck	Both motorcyclists impact tipper truck
10	MC travelling north west on main road with lights on	Car exits from minor road intending to turn right without indicating	Car pulls out in front of MC	MC applies severe braking and falls on right side	MC impacts car	Motorcyclist impacts front of car
11	MC travelling south with lights on	Car exits from private dwelling intending to turn right	Car pulls out in front of MC	MC moves to right to avoid car	MC impacts car	Motorcyclist separates from MC and comes to rest near a sign on the verge next to north bound lane
12	MC travelling north on main road (duel carriageway) travelling at fast speed	Car exists from minor road intending to turn right in front on MC (view possibly obstructed by shrubs and fence)	MC applies severe front braking	MC falls on right side and slides towards car	MC impacts car and both vehicles ignite.	Motorcyclist falls off MC and comes to rest on lane two. Car driver dies as a result of burn injuries
13	MC travelling south on duel motorway with lights on	Van stopped on hard shoulder, driver using mobile phone	Van performs U turn, turning right, across motorway in front of MC	Van crosses into lane two, MC impacts the rear of the van	After impacting van (while upright), MC falls on left side and continues to slide	Motorcyclist impacts van
14	MC travelling east on main road with lights on at higher than legal speed limit	Truck intending to turn right emerges from minor road in front of MC	MC applies brakes	MC impacts truck and continues towards side of road	MC impacts pole on side of road	Motorcyclist impacts traffic monitoring box on pole against which the motorcyclist had come to rest
15	MC travelling west on main road with lights on	Tractor travelling in opposite direction	Tractor turns right in front of MC into field	MC applies severe braking and falls on right side	MC slides along road surface and impacts tractor and trailer.	Motorcyclist impacts trailer
16	MC travelling south on main road with lights on	Van travelling in opposite direction	Van turns right in front of MC cutting the corner thus travelling across wrong side of road	MC applies severe braking and MC falls on right side	MC impacts van	Motorcyclist impacts van
17	MC travelling south-west on main road with lights on	Van travelling north-east on main road	Van turns right into private entrance in front of MC. View restricted due to dip in the road	Motorcyclist's view is obstructed due to dip in the road	MC applies brakes but unable to avoid impact and is upright on impact with van	Motorcyclist impacts van

The following table (eight) highlights the sequence of events where the actions of the motorcyclist are the primary cause of the collision.

The second event indicates the beginning of the actions which lead to a collision, including the underlying reason for the action. The second and third actions also highlight the movement of the motorcycle or another vehicle and the commencement of the actions if any of the motorcyclist.

The fourth and fifth sequence of events highlights the actions or reactions of the motorcyclist on perceiving the hazard or in the case where there was no action, the continuation of the progress of the events.

The sixth event identifies the circumstances which led to the primary cause of the fatalities.

Although there are fifteen cases in which another vehicle was involved in the collision, it was the actions of the motorcyclist that precipitated the sequence of events that caused the collision.

*Table Eight: Sequence of events where the primary cause of the collision is the action of the MC but another vehicle is involved*

	1 →	2 →	3 →	4 →	5 →	6
1	MC travelling north on minor road with lights on	MC does not stop at junction. Stop sign missing	Car driving along main road	Car possibly hidden from view due to hedge adjacent to exit lane from minor road	MC and motorcyclist impacts car	Motorcyclist is projected forward and left over a fence travelling through air and comes to rest approx. 43 metres from impact area
2	Two MCs travelling in opposite directions, one south one north, both with lights on	Second MC travelling south towards the first MC	First MC (travelling north) brakes severely and crosses over into south bound lane	First MC loses control and side swipes second MC	Both MCs then fall and slide across the road in opposite directions	Both motorcyclists are thrown from their MCs. 1st motorcyclist is projected onto road and 2nd motorcyclist hits wooden fence
3	MC travelling south on main road (side light on)	Car travelling north in opposite lane	MC negotiating RH bend, MC leans to left	MC applies severe front braking and loses control while negotiating bend	MC slides across carriage-way in front of car. Car driver attempts to avoid impact by steering to the left.	Motorcyclist separates from MC and passes beneath the car
4	MC travelling north on main road with lights on	Overtakes bus and enters Right Hand bend	MC applies severe front braking and loses control	MC falls on right side and rotates across road	MC impacts wall and is projected back under the bus, bus driver applies severe braking	Motorcyclist impacts wall and is projected back under the bus
5	MC travelling south west on main road with lights on	Car had slowed down to turn right into minor road	MC travelling behind a bus. Bus pulls out from a stop. MC overtakes bus	Bus obscures motorcyclist's view and MC impacts car	MC collides into the back of a car	Motorcyclist is projected forwards and left, passing through the air and lands on the hard shoulder next to SW bound lane
6	Moped travelling west. Front tyre under-inflated	Car travelling in opposite direction towards moped	Moped riders applies severe braking to avoid hazard	Moped loses control	Moped falls on right side	Moped rider separates from moped and slides towards oncoming car
7	MC travelling east in group on main road behind car one with lights on	Car one applies brakes in front of MC	MC applies brakes but impacts car one in front	MC rotates anti-clockwise and slides into path of oncoming car	Car two drives over motorcycle	Motorcyclist impacts car two
8	MC travelling south on main road with lights on	Car travelling in opposite direction	MC negotiates right hand bend	MC swerves towards nearside kerb (possibly due to wind)	MC loses control, goes into spin and crosses over onto opposite lane and collides with car	Motorcyclist impacts car
9	MC travelling north on main road following friend on MC in front	Overtakes van at sharp left hand bend	MC applies severe front braking	MC leans into corner and falls on left side	MC continues into path of oncoming car and impacts car then stone wall	Motorcyclist slides across road and impacts oncoming car
10	MC travelling west at night time, no lights. Alcohol above legal limit and drug found in motorcyclist's blood	Car travelling north across intersection	MC runs red light	MC does not brake and impacts car	MC falls on right side and slides across south bound lane before coming to rest	Motorcyclist impacts car and passes over the roof of the car, then travels through air before coming to rest on the road
11	Two mopeds travelling south. Moped one has lights on	Second moped loses control	Second moped falls on left side	First moped hits second moped or swerves to avoid second moped	First moped impacts stone wall in upright position	Moped rider impacts "dragon tooth" wall
12	MC part of group travelling north on main road	MC negotiates left hand bend	MC applies front and possibly back brake while leaning into bend	MC loses control and falls on left side	MC slides across road into oncoming car	Motorcyclist impacts car and goes underneath car
13	Three MCs travelling east on main road with lights on	First MC approaches a lay-by, the second MC commences to overtake first MC	Third MC travelling faster than second MC impacts first MC	Second MC then rides into path of third MC and falls onto right side	third MC applies severe braking, falls on right side and collides with second MC	Motorcyclist falls off MC and impacts second MC
14	MC travelling south-east on minor road with lights on (Helmet unfastened)	MC enters main road at junction (sign post partially obscured)	SUV travelling north-west on main road	MC applies severe braking	MC impacts SUV	Motorcyclist impacts SUV
15	MC travelling west behind truck with lights on	MC attempts to overtake truck, while truck steers to right (possibly to steer around a parked car on the left)	MC impacts rear of truck	MC falls on right side	MC and motorcyclist move towards east bound lane into the path of an oncoming car	Motorcyclist impacts car

The following table (nine) highlights the sequence of events where the actions of the motorcyclist are the primary cause of the collision and no other vehicle is involved.

Table Nine: Sequence of events where the primary cause of the collision is the action of the MC but no other vehicle is involved

	1 →	2 →	3 →	4 →	5 →	6
1	MC travelling east on main road. Road conditions wet/damp.	Overtakes cars then when exiting Right Hand bend, loses control	The back wheel slips on white lines as a result of motorcyclist applying throttle: rotates faster than front wheel	MC applies rear brake, MC flips into the air	MC impacts telegraph pole	Motorcyclist is thrown from MC and impacts lower part of telegraph pole
2	MC travelling north on main road early a.m. Alcohol in motorcyclist's blood 2 ¼ over legal limit with presence of ecstasy	MC veers off road into kerb	MC front tyre makes contact with kerb	MC continues along verge unable to turn right	Motorcyclist puts his left foot down on raised grass verge and falls down	Motorcyclist impacts poles of a warning sign
3	MC travelling north on main road	MC approaches change of speed limit and steers left into kerb	MC continues along kerbing and falls on left side	MC slides back out onto the north bound lane	MC slides towards for 45 metres before coming to rest	Motorcyclist falls off MC and slides along verge and impacts outer support pole for a speed limit sign
4	MC travelling north on motorway with lights on. Motorcyclist has alcohol almost twice legal limit in blood and helmet was not secured	MC attempts to negotiate right hand bend	MC loses control and moves left off the main carriageway onto hard shoulder	MC continues in upright position over Armco barrier	MC is airborne and falls onto area of new road construction below Armco barrier	Motorcyclist also airborne, then impacts rocks in the construction area
5	MC travelling along main road. Alcohol is more than twice the legal limit in Motorcyclist's blood.	MC attempts to negotiate right hand bend after overtaking two cars	MC leans severely to the right, rear tyre under-inflated	MC goes wide and rear tyre moves onto loose stones and slips sideways to the left	MC continues forwards to raised footpath and rear wheel strikes the kerbstones of the footpath and is deflected back onto the road	Motorcyclist falls off MC, impacts kerbstones and slides across the road
6	MC travelling east with pillion. Rear tyres under-inflated	MC enters right hand bend	MC loses control	MC applies severe rear braking and rear wheel locks	MC impacts raised bank and falls on side	Motorcyclist impacts bank
7	MC travelling south on main road	MC attempts to negotiate right hand bend	Possibly tries to avoid metal covers on the carriageway	MC travels towards footpath and wall. MC mounts footpath	MC impacts wall	Motorcyclist impacts wall

## 10 Braking, Deceleration and Perception/Reaction time

The deceleration rate of the motorcycle is dependent on a number of factors, one of which is the braking technique employed by the motorcyclist i.e. the severity of braking applied and the ratio of front/rear brake distribution.

Unlike a car, the front and rear brakes of the motorcycle in question are separate systems and the rider can vary the ratio of braking applied to each wheel. Under severe braking, the minimum deceleration is achieved with rear wheel only braking and a value of approximately  $0.4g$  ( $3.92 \text{ m/s}^2$ )<sup>2</sup> can be considered. A deceleration of  $1g$  ( $9.81 \text{ m/s}^2$ ) can be considered representative of strong braking by a skilled motorcyclist on, for example, a 1000cc engine Super Sports motorcycle using both front and rear brakes<sup>3</sup>. Following examination of the motorcycle, considering the nature of the tyre mark and considering the friction surface dressing on the road surface, the investigators are thus able to determine a range of possible deceleration rates.

<sup>2</sup> Interpretation of Motorcycle Rear-wheel Skidmarks, W. Bartlett Proceedings, Fourth International Conference on Accident Investigation, Reconstruction, Interpretation and the Law; Vancouver BC, Canada, August 2001. (g = gravity; m/s = miles per second).

<sup>3</sup> Motorcycle Handling and Chassis Design, Tony Foale, April 2002, Tony Foale Designs, ISBN 84-933286-1-8

Before the motorcyclist applies braking and begins to leave a tyre mark, there is a time period during which the rider perceives there to be a hazard ahead and then, typically reacts to that perceived hazard. The length of this perception/reaction time depends on a number of factors and cannot be known. However, a probable range of perception/reaction times of 0.75 to 1.5 seconds can be assumed.<sup>4</sup> These calculations for braking, deceleration and perception/reactions time are considered by the investigators when preparing the reports of the scientific examination of the material relating to the collision scenes.

## 11 Summary

With regards to style, there were 21 (51.2%) super sports motorcycles (in two cases there were two super sports involved respectively), five (12.2%) tourers (including one super sports tourer and two sports tourers), three cruisers, three scooters, three naked/semi-naked, two sports, two mopeds, one adventure trailie and one trail bike.

Of the n.41 motorcycles (including scooters and mopeds) n.31 (75.5%) had engine sizes between 600cc and 1300cc, there were two between 350cc and 400cc, six (14.6%) with an engine size of 125cc and two mopeds with an engine size of 50cc.

Mechanical factors and contribution of design or maintenance defects to collision or injury causation are recorded. n.36/n.41 (87.8%) motorcycles did not have any mechanical, design or maintenance defects which may have contributed to the collision or injury causation. Evidence that under-inflated tyres caused or contributed to the collision was found in three cases.

The time of day of the collisions highlights that 46.2% (n.18) occurred between afternoon and early evening. 17.9% (n.7) occurred in the evening and 33.3% (n.13) occurred between morning and early afternoon. One collision (2.6%) occurred in the early morning.

The proportion of collisions occurring in Spring were 46.2% (n.18), Summer 43.6% (n.17) and autumn 10.3% (n.4).

In 74.4% (n.29) of cases, the weather was fine; in four cases the weather was either overcast or damp. In six cases the weather was not mentioned.

Twenty eight collisions occurred in rural locations (71.8%) while n.6 (15.4%) occurred in urban locations, the remainder occurred in a semi-rural location (n.2), on a dual carriageway (n.2) and one occurred on a motorway.

---

<sup>4</sup> Forensic Aspects of Driver Perception and Response, Paul L. Olsen, Lawyers and Judges Publishing Company Inc. 1996. ISBN 0-913875-22-8

In all cases, the condition of the roads was reported as “good”. In one case there were no road markings. In n.29/n.39 cases (74.3%), the surface of the road was “dry”. In three cases the surface of the road was “damp” and in one case there were loose stone on part of the road.

Of the n.39 cases, there were 12 (30.8%) in which the motorcyclist impacted against road infrastructure. In five cases (12.8%), the collision also involved another vehicle while in seven cases (17.9%) there was no other vehicle involved.

In the approach to the collision scene, there were n.13 cases out of n.39 (31.7%) in which the approach was a right hand bend and in n.8 (19.5%) cases, the approach was a left hand bend. In the remaining n.18 (43.9%) cases, the approach was a straight section of road.

63.4% (n.26/n.41) motorcyclists applied their brakes prior to the collision and n.18 (43.9%) applied their brakes severely. Of the n.17 (41.4%) motorcycles that slid after falling, n.10 (24.4%) fell onto their right side and the remaining n.7 (17.1%) fell onto their left side.

There were seventeen cases out of n.39 (43.6%) in which another vehicle was considered the primary cause of the collision. Four of the other vehicle drivers performed a U turn in front of the motorcycle. One driver was a hit and run (i.e. after the collision the car driver left the scene of the collision). The remaining vehicles exited from a side road or private entrance in front of the motorcycle or turned across the road in front of motorcycle from the opposite lane.

Where the collision was caused by the action of another vehicle pulling in front of the motorcycle or performing a U turn, the investigators were unable to determine whether the motorcycle had its dipped beam or headlights on in three cases, while in a fourth case the dipped beam lights were not switched on. In the remaining thirteen cases (76.5%), the motorcycles had their lights switched on and in one case the motorcyclist was also wearing a high visibility jacket.

Of the twenty eight cases where information about helmets is recorded, twenty six (92.8%) were full face and one was a flip face. In six cases, the helmet was recorded as not being secured.

There are four recorded cases in which the motorcyclists had levels of alcohol over the legal limit and or drugs in their blood. Three of these collisions were single vehicle (no other vehicle involved) and the fourth ran a red light through an intersection with no headlights on and impacted a car crossing the intersection. This information is only available from the Coroners’ Verdicts.

Of the 39 cases, there were four in which evidence of speed above the national legal limit was recorded. In one case the speed of two motorcycles involved (who were travelling together) was significantly above the national legal speed limit (>130 mph). In all cases, a vehicle pulled out from a minor road or entrance in front of the motorcycles.

There were n.9/n.39 (23%) cases in which the motorcyclists involved in collisions were either riding in a group or with another motorcyclist. In all these cases the total number of motorcyclists killed was n.11/n.41 (26.8%).

## 12 Focus Group

On March 27th, 2012 a focus group of experienced trainers, police, government agency representatives and one of the investigators from Forensic Science Northern Ireland, was held to discuss the outcome of the study. Four topics were covered in the focus group:

1. Technology e.g. ABS brakes and warning systems – also for cars
2. Initial training both for car drivers and motorcyclists including hazard perception, distance perception, anticipation/prediction
3. Advanced training – how could this be improved
4. Awareness campaigns – what works

The following participants took part in the focus group:

- Emerson Callender – FSNI (Road Traffic Collision Investigation Team)
- Richard Crawford – Department Of the Environment, Vehicle Policy Branch, Road Safety and Vehicle Regulation Division, Northern Ireland
- Stevie Gregson – Supervising Examiner Driver and Vehicle Agency, Northern Ireland
- Gary McComb – Police Service Northern Ireland, Road Traffic Policing
- David McGuckin – IAM and RoSPA Advanced Instructor and initial rider trainer, Northern Ireland
- Marc O'Loideoin – Advanced Trainer – RoADA DIP; Consultant to the RSA (ROI); co-author of the Initial Rider Training Project Manual (EU funded)
- Martin Reilly – Chief ROSPA examiner for the ROI and ex Garda Driving School Dublin (ROI)
- Victor Rodgers – Approved Motorcycle Instructor(AMI)/Approved Driving Instructor (ADI); Chairman of AMIANI – (Approved Motorcycle Instructor's Association Northern Ireland)
- Charlie Stewart – Chief Instructor, POADA (Dip.) RoADA (Gold) IAM/RoSPA Advanced Instructor, Northern Ireland.

### 12.1 Technology

The premise for warning systems with regards to collisions between vehicles is intrinsically linked to the time line for a collision. The collision investigator explained that the time frame, depending on specific cases – but generally – is only a couple of seconds from when the motorcyclist perceives the hazard to when the

impact occurs. For example, in the scenario of a car or van pulling out in front of a motorcycle, typically there would be about one second of severe braking, the motorcycle falls over and there is about one second of sliding to impact. Considering a perception/reaction time of about a second before the braking commences, in all, it takes around two to three seconds for the impact in that type of scenario.

In terms of measuring speed at impact, the investigator explained that they do this in part based on the extent of the damage. However, for a motorcycle this is limited since when the front wheel and forks are forced back into contact with the engine, it behaves like a cannon ball, and not much more damage occurs. In certain cases, speed can be estimated by the damage that has been done to the other vehicle or possibly by the distance that the rider has been projected. Then the investigators are working back along the marks, if there are any pre-impact braking marks or sliding marks and really all the investigators can do is comment on the speed from the initial marks. Beyond that, it is an unknown.

The investigator also explained that with regards to OV drivers pulling out in front of the motorcycle, it is the size of the motorcycle that is the difficulty, because it does not change much in size until it is looming near. He said that it happens with trucks as well: they don't change much in size until they get very near and suddenly get a lot bigger. A lot of the right of way violations in these cases, were due to drivers looking but not seeing even though the motorcycle was in a position to be seen. So it is possible to train people to look but more difficult to train them to see. It is not the case that they did not look long enough, though if they had looked longer, they would have seen them. It seems that they are looking for cars or something that is a bigger threat.

The consensus of the group was that technology can be helpful. In the case of the Anti-lock Braking System (ABS), there were two cases in the study in which this braking system may have made a difference. In both cases, the motorcycles were 1100cc engine sizes, one was a Super Sport and the other was a Super Sport Tourer. The riders were on a straight section of the road, one applied the front brake and in doing so, locked the wheel and went down on the right side. The second applied the rear brake severely and also went down on the right side.

According to the investigator, when the motorcycle goes down, there is no control. Anything to keep the bike upright means that potentially that there is a better chance of avoiding an impact or it would be at a lower speed. In that second or two before impact, there are a couple of cases of looking at the line that the motorcycle has taken once it has gone down on its side, which indicates for example if the hazard is coming from the right, the rider might try and steer to the left while braking. But if he/she goes down and slides, they keep going to the left, whereas if they were able to stay up, it is possible that they would be able to go around behind the hazard and the collision would have been avoided. But he said, we would not hear about the cases where ABS has worked – because the accident has been avoided. Technology has a role to play. There is greater scope for the application in cars. Having directional control through braking should help.



The trainers held the view that high quality training is required, accordingly, this means high quality advanced observation. The consensus was that while it is good to build in technology but good quality observation is more important, including far distance, mid distance, back to the bike and mirrors. The rider has to have the information and making accurate judgements about what's going on ahead. Planning ahead and attitude is fundamental, technology is not the first port of call. A situation where a car pulls out across the road will always exist in spite of technology. High quality training and emphasis on this can prevent a lot of accidents.

## 12.2 Initial Training

One of the trainers pointed out that almost everybody including motorcyclists are also car drivers (possibly with the exception of moped riders). The inexperienced rider is also an inexperienced car driver, so their hazard perception is the same. Training car drivers to be aware when approaching a junction is important, not just one glance and away. Even in the case of lorries, cars will pull out, because they (the car drivers) are looking for the expected, which is another car.

As previously mentioned above, another trainer commented there is a problem of looking but not seeing and there isn't much to do about that with the experienced driver, the same with motorcycles, there are not many people who will do an advanced car test. The problems exist with all drivers, not just motorcyclists. Both need more training. What was highlighted in the report were simple things which are likely to happen passing a test – emergency stops and riding in groups. Nobody is taught how to ride in groups. So the lesson is not to look at the number plate in front but to look for your own road. With emergency stops, riders should go out and practice.

The observation from the Supervising Examiner of the DVA was in relation to training and distance perception. He commented that it can be difficult to train to make the right decision. Car driver trainers use very basic reference points to judge speed and position. So unless they are in the right environment where motorcycles are actually passing, it's hard to transfer those skills.

He said that it is something that should be done, but it should be done for both cars and bikes. Group riding was mentioned, he said that it is not actually mentioned anywhere in Northern Ireland scheme, while the DSA (Driving Standards Agency in Great Britain) mention group riding in their scheme, so maybe something the DVA should look at.

With regards to the car L test, it's hard for an examiner to test someone's knowledge on how to deal with vulnerable road users (VRU) motorcyclists included, unless something actually happens during the test where they are able to measure the response. It's mainly pedestrians and cyclists that would cause an issue for a learner driver and it's quite clear, sometimes they are not capable of dealing with those people. He suggested that if they are trained to deal with those two groups of VRU then they would be able to deal with motorcyclists as well.

He commented that the DVA has modules for cars and bikes for anticipation in the instructor qualification tests and it is a role play situation, unless something actually happens, it's hard to test competence in a practical manner.

He also mentioned hazard perception in the theory test and said that the DVA is moving towards animation which according to the DVA, would make it better to deal with scenarios from a rider's point of view as film clips have limitations. He said that they can build in collision factors into the animation for cars.

One of the trainers mentioned basic techniques like observation, but he commented that what is happening with novice training is that people are trying to get them through as quickly as possible to earn a "quick buck" and move onto the next candidate. There is not enough expertise in novice training. They should be teaching advanced techniques in novice training, because they (the riders) don't come back for advanced training.

However, another commented that the best possible training is based on the Initial Rider Training<sup>5</sup> project where the emphasis is not on machine control, but on hazard management, so that a novice has to think first to build the skill level up on the basis of if in doubt, check it out, so that they can have a second chance to take the bend again. He continued that based on the findings of this report, perhaps one of the manoeuvres that could be improved is the "Brake and Swerve" manoeuvre. These fatalities could have been avoided – perhaps – if there was a higher level of machine control skills in the brake and swerve manoeuvre as well as hazard perception.

According to one of the trainers, in Northern Ireland, there was a big discussion with the DVA when they brought compulsory basic training (CBT) in, such as road positioning, where the examiner would mark them down for taking the advanced line, which he believed is understandable. For example on right hand bends, the DVA would accept moving to the left to get a better view, but on a left hand bend, they are not keen on people moving to right to get a better view, because a novice can run wide. On a right hand bend they'd go into a hedge, on a left hand bend they'd go into oncoming traffic.

One of the trainers commented that while he understood the logic, he said that he taught a beginner where they should be positioned with the understanding that they need to rethink their positioning after they do their test. That's what a good instructor would do, but a poor instructor only follows the book. He concluded that generally that's what people want, to get enough training to get them through the test. Good instructors are using advanced techniques in novice training.

### **12.3 Advanced Training (AT)**

There is a major image issue – one of the trainers felt that the image of AT needed to be sexed up in order to show that there is an improvement in skills. It's the training and it's difficult to get the attention, but if riders

---

<sup>5</sup> [http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en\\_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=MI3110649](http://bookshop.europa.eu/is-bin/INTERSHOP.enfinity/WFS/EU-Bookshop-Site/en_GB/-/EUR/ViewPublication-Start?PublicationKey=MI3110649)

can be shown that they can improve their skills and safety – which for young riders is a by product, they want the skills, but their family will want the safety. This can be done through groups and clubs.

AT does suffer from the pipe and slippers image. Different tactics are needed to get riders involved. Access to AT requires the assistance of those with resources, i.e. a county council car park or a piece of land to use at the weekend, which is what happens in mainland Europe in some countries.

Dealers play a big part in this because they are on their hands and knees at the moment and can't sell bikes. So they will jump on any bandwagon to shift bikes out of the shop and they are encouraging these assessments to get cheaper insurance. Another trainer suggested encouraging young rider forums based on training or skills techniques to help disseminate good habits and practice.

AT and advanced techniques, one of the trainers raised the question of who pays for it. He commented that the problem is that here – out on the road, the instructors can only take two students. A track would be a different issue. The professional trainers – some are good and some are bad – so that creates a problem.

Advanced motorcycle training is expensive – same for car drivers – it's difficult to sell it whether there is a track or not. A lot more could perhaps be done by bringing in advanced techniques into novice training. But the best thing that the DVA and other authorities can do is to weed out the bad instructors and using a system to make it more obvious to the public who the good instructors are. However the difficulty is cost, instructors need to be paid too.

## 12.4 Awareness Campaigns

According to the representative from the Road Safety and Vehicle Regulation Division, one of the problems is to measure the effect of the campaigns. In terms of the message, there is the message, the target audience and the means of getting the message to that audience. TV is one of the most expensive means of targeting an audience. He said that the department is considering social media, which means really cutting edge stuff, trying to get at kids through games. Like a road racing game so the message would be don't speed. It's a really complex area and the most challenging aspect is developing a means of measuring and assessing the effectiveness of such interventions.

With regard to “Shock – Horror” videos and television advertisements, there were mixed views about their efficacy. However the consensus was that different avenues should be used to get the safety message out to the target audience, such as using the internet, social media, campaigns recommending training, race meetings and signage like that used in some English counties (Think Bike). Finally attitude and tackling aggression was also considered an important factor in road safety awareness campaigns.

## 13 Conclusions

The n.39 case studies analysed in this report are a representative sample of motorcycle fatalities in Northern Ireland between 2004 and 2010. Of the six investigators in Forensic Science Northern Ireland who attend road fatalities, the cases in this report represent the sum of collisions attended by two investigators as well as two sample cases from a third investigator. The total number of motorcyclists who died in these collisions was n.41 (36%) out of a total of n.114 motorcycle fatalities in Northern Ireland during 2004 to 2010.

The report contains an analysis of the collisions investigated and includes information relating to vehicle data, the collision scene and the environment as well as human factors.

Overall 12.2% (n.5) of the vehicles presented defects and of these, 7.3% (n.3) motorcycles had under-inflated tyres, one of the motorcycles had the steering damper missing, while the C and D pillars of one of the other vehicles involved may have restricted the view of the driver.

Information from the case studies indicates that the conditions for riding were generally optimal and during daylight. Eighteen (46.2%) of the collisions occurred mainly between the afternoon and early evening; 90% of the collisions occurred in Summer and Spring and the weather was fine in 72% of cases. 71.8% of the collisions occurred in rural areas with 15.4% in urban settings. The road conditions were good in all cases and in 74.3% of cases the surface was dry.

Before the motorcyclist applies braking and begins to leave a tyre mark, there is a time period during which the rider perceives there to be a hazard ahead and then, typically reacts to that perceived hazard. The length of this perception/reaction time depends on a number of factors and cannot be known. However, a probable range of perception/reaction times of 0.75 to 1.5 seconds can be assumed.

In 63.4% of cases, the motorcyclists applied their brakes 63 prior to the collision and n.18 (43.9%) applied their brakes severely. Of the n.17 (41.4%) motorcycles that slid after falling, n.10 (24.4%) fell onto their right side and the remaining n.7 (17.1%) fell onto their left side. However, there only appears to be two instances whereby anti-lock brakes may have benefitted the rider by keeping the motorcycle upright, in this case the collision occurred on a straight section of road. The one case where the motorcycle had ABS features, the rider was too close to the vehicle in front and was unable to brake in time before impacting the car.

For the purpose of conspicuity, 79.5% (n.31) of all the collisions occurred during daylight hours.

In one of these cases where the collision involved another vehicle, there was a problem with the visibility of the driver from the cab of the truck to see the dipped beam light of the motorcycle which may have an effect on the perception of the distance of the oncoming motorcycle for truck drivers in general.

Out of the n.39 cases, there were seventeen (43.6%) in which another vehicle was considered the primary cause of the collision, in three cases, the investigators were unable to determine whether the lights of the motorcycles were on, in one case the lights were switched off. However, in that case the driver of the car

failed to see the bright yellow coloured motorcycle and the white car which was immediately behind it, prior to performing a U turn in front of the motorcycle. In the thirteen remaining cases the motorcycles all had their lights on, but in nine cases the other vehicle driver either pulled out in front of the motorcycles and in four cases, performed a U turn across the path of the motorcycle.

In twenty eight cases, (72%), information is recorded about helmets, in n.6 cases, the helmet was not secured.

There were known four cases (10.3%) of speeding, but in all cases, the actions of the other vehicle driver precipitated the collision. Equally there were four cases (10.3%) in which the rider had levels of alcohol over the legal limit and or drugs in their blood. (In Northern Ireland the maximum legal alcohol limit for driving is 80 mg per 100 mls). Three of these collisions were single vehicle (no other vehicle involved) and the fourth ran a red light through an intersection with no headlights on and impacted a car crossing the intersection.

There were n.9 cases (23%) in which the motorcyclists involved in a collision were either riding in a group or with another motorcyclist. There were three cases in which the second rider (who was following a lead rider) was involved in a collision with another vehicle and/or road infrastructure. In all these cases the total number of motorcyclists killed was n.11/n.41 (26.8%).

The focus group discussed the relevance of technology on vehicles as a deterrent to collisions as well as the advantages of hazard perception in initial rider training and teaching anticipation as a defence against potential collisions. The consensus was that while technology may in some cases be beneficial, good training was more important. However, the availability, image and cost of advanced training seemed to be a barrier to getting more riders involved.

Awareness campaigns were considered useful, but there is no method to measure their efficacy. However the consensus was that different avenues should be used to get the safety message out to the target audience, such as using the internet, social media, race meetings and specific road signage.

## 14 Recommendations

The information provided in this report indicates that each road traffic collision is unique but that in all cases the time frame from the perceived hazard to the conclusion of the impact either with another vehicle or with road infrastructure is typically between 2 and 3 seconds. Within this time frame, although there is time to react, there may be insufficient time to avoid the collision. This time frame should be considered in any research regarding motorcycle accident causation.

In the seventeen cases (43.6%) the other vehicle driver precipitated the event. In thirteen of these cases (76.5%), the evidence highlighted that the motorcycle's lights were switched on and therefore the other vehicle driver was in a position to see them. However, there appears to be a problem of looking but not seeing which may be due to the size of the motorcycle or simply because the car/van driver is expecting to see another car or van and has difficulty coping with the unexpected. There also appears to be an issue with the visibility of the driver from the cab of the truck to see the dipped beam light of the motorcycle which appears impaired due to the height of the sitting position in the truck. This may affect the truck driver's perception of the distance of the oncoming motorcycle. Further investigation into the perception of lights on motorcycles by OV drivers would be warranted.

Panic braking by motorcyclists was an important factor in the cause of the fatalities. Anti-lock braking systems (ABS) may become mandatory shortly through proposed legislation from the European Union, however as indicated, this technology is relevant in some circumstances, but not all. At this point in time, the application of ABS is limited to straight sections of the road. It is not (yet) designed to work when the motorcycle is in a lean. The development of braking systems that can function as efficiently when the motorcycle is leaning either left or right, may improve casualty rates. However, care should be taken about too much focus on technology rather than good training and attitude.

Emphasis is needed in car driver training to include more focus on scanning for VRUs. However as mentioned by the representative of the DVA, it is difficult to test awareness out on the road unless the novice driver or rider is presented with a situation which requires them to apply the skills acquired during training. A possible solution could be simulator training whereby situations which include the unexpected (cases of VRUs appearing suddenly, or in the case of novice riders, the sudden appearance of another vehicle at a junction), may help to avoid panic situations, or prepare the novice to take more care and give more attention in specific situations – e.g. at junctions, or exiting onto a road from a private entrance.

According to the participants of the focus group, the best solution to avoid road traffic collisions is anticipation and hazard awareness training. The consensus was that the only reliable way to prevent motorcyclist injuries and deaths is to prevent the collision in the first place, which means the rider needs to get his/her eyes up and scanning ahead, and then taking evasive action when a potential collision is still several seconds from happening.

Annex One: Table Ten: Summary of 39 case studies

Case No.	Style of MC	Principle Cause	Contributory Cause 1	Contributory Cause 2	Primary cause of fatality
1	Sports 400cc	Collision with a van	Van driver pulled out in front of the MC	Panic braking caused MC to slide	Impacted van then concrete post and wooden fence
2	Cruiser 125cc	Stop sign missing on minor road from where MC emerged	MC was impacted by car	MC did not stop at junction and collided with car	Motorcyclist was projected over a fence into a field c.43 metres from impact area
3	Super sport 1000cc	Collision with car	Car performed U turn in front of MC	Motorcyclist misjudged car driver's intentions and MC impacted car	Motorcyclist was projected forwards and onto grass verge
4	Cruiser 650cc	Collision with car at junction	(Hit and run) Car driver pulled out in front of the MC	Car driver ignored give way sign	Motorcyclist thrown from MC and suffered severe head injuries
5a	Super sport 1000cc	Collision with MC	Motorcyclist on 600cc MC braked severely and hit other MC	Impacted with other MC	Motorcyclist projected onto grass verge
5b	Super sport 600cc	Collision with MC	Motorcyclist on 600cc MC braked severely and hit other MC	Veered over onto opposite lane	Helmet not secured, Motorcyclist projected off MC onto road
6	Super sport 1100cc	Collision with a van	Van performed U turn in front of MC	MC high-sided after severe braking, fell on side	Motorcyclists was projected forward and impacted van
7	Sports Tourer 800cc	Collision with car	Car driver pulled out in front of the MC	Motorcyclist misjudged car driver's intentions and MC impacted car	Motorcyclist was projected forwards and onto grass verge
8	Super Sports 600cc	Head on Collision with car	Motorcyclist lost control and MC fell on side	Motorcyclist braked while negotiating corner	Motorcyclist separated from MC and passed under the car
9	Super sports 750cc	Single vehicle	Motorcyclist lost control exiting bend, overtaking two cars	MC back wheel commenced to spin (possibly on white line) No steering damper	MC and Motorcyclist impacted against telegraph pole
10	Super sports 1000cc	Single vehicle	Motorcyclist lost control overtaking a bus on a bend	Motorcyclist braked in bend, lost control and hit a wall	MC and Motorcyclist were projected back onto road and under an oncoming bus
11	Cruiser c.900cc	Rear end collision with car	Collided with rear of car	MC fell on side and slid after braking	Motorcyclist was projected onto the hard shoulder
12	Super sports 600cc	Collision with car	Car performed U turn in front of MC	Severe braking caused MC rear wheel to lift off the ground	Motorcyclist thrown off and landed against the car
13	Super sports 600cc	Collision with car at junction	Car driver pulled out in front of the MC	Severe braking caused MC rear wheel to lift off the ground	Motorcyclist impacted car
14	Super sports 900cc	Collision with car at junction	Car driver pulled out in front of the MC (due to speed of MC, car driver may not have seen MC when exiting minor road)	MC speed probably higher than speed limit, motorcyclist braked but was unable to avoid impact	Motorcyclist impacted car
15a	Super sports 1000cc	Collision with tipper truck	Truck pulled out in front of MC	Excessive speed of >130mph motorcyclist was unable to avoid impact	Motorcyclist impacted tipper truck
15b	Super sports 1200cc	Collision with tipper truck	Truck pulled out in front of MC	Excessive speed of >130mph motorcyclist was unable to avoid impact	Motorcyclist impacted tipper truck
16	Naked 600cc	Collision with car	Car driver pulled out in front of the MC (possible visual impairment due to the position of the sun)	MC fell on side and slid after severe braking	Motorcyclist impacted car
17	Super sports 1000cc	Collision with car	Car driver pulled out in front of MC	Motorcyclist was unable to avoid impact with car	Motorcyclist impacted car
18	Moped 50cc	Collision with car	Moped rider lost control	Rider applied severe braking and lost control (tyres were significantly under-inflated)	Rider slid and hit an oncoming car
19	Super sports tourer 1100cc	Collision with car	Car driver pulled out in front of the MC. Both vehicles ignited.	MC speed probably higher than speed limit, motorcyclist braked but was unable to avoid impact	Motorcyclist impacted car
20	Advent. Trailie 1150cc	Collision with two cars	MC rear ended car one	MC moved onto the opposite lane in the path of car two	Car two impacted motorcyclist
21	Tourer 1300cc	Collision with a van	Van driver performed U turn in front of MC	Van driver possibly talking on mobile phone while performing U turn	Motorcyclist impacted van
22	Super sports 1000cc	Collision with truck	Truck driver pulled out in front of MC	MC speed probably higher than national speed limit, motorcyclist braked but was unable to avoid impact	Motorcyclist impacted truck

Table Ten: Summary of 39 case studies – cont.

Case No.	Style of MC	Principle Cause	Contributory Cause 1	Contributory Cause 2	Primary cause of fatality
23	Super sports 1000cc	Collision with tractor	Tractor driver turned into a field in front of MC	Motorcyclist applied severe braking and MC fell and slid into the tractor	Motorcyclist impacted with tractor
24	Trail 125cc	Single vehicle	MC hit kerb and was unable to counter steer	MC fell on side	Motorcyclist impacted poles of traffic warning sign
25	Super sports 1000cc	Collision with van	Van driver cut the corner in front of the MC's path	Motorcyclist severely braked, MC fell and slid into van	Motorcyclist impacted van
26	Tourer 1100cc	Collided with 4x4	Motorcyclist lost control possibly due to wind	Motorcyclist swerved and hit a nearside kerb, MC went into a spin and crossed over to the opposite lane	Motorcyclist impacted 4x4
27	Super sports 750cc	Collided with car	Motorcyclist overtook van, braked and lost control	MC slid under oncoming car	Motorcyclist was run over by oncoming car
28	Scooter 125cc	Collided with car at junction	Motorcyclist ignored red traffic light	crossed the junction	Motorcyclist impacted car
29	Scooter 125cc	Single vehicle	MC contacted kerbstone and Motorcyclist lost control	MC fell and slid across the road	Motorcyclist slid and hit the support pole for a speed limit sign
30	Moped 50cc	Collision with moped	Moped either contacted with friend's moped or swerved to avoid it and rider lost control	Moped impacted stone wall in upright position	Motorcyclist pivoted forward and hit "dragon tooth" stone wall
31	Sports 750cc	Collision with car	Motorcyclist braked and lost control while negotiating bend	Front wheel locked and MC fell onto its side	Motorcyclist impacted car travelling in the opposite direction
32	Super sport 600cc	Single vehicle	Motorcyclist lost control while negotiating bend	Motorcyclist flew over Armco barrier to new road construction area (112 metres from barrier to rest position)	Hit head on rocks in construction area, suffered severe head injuries
33	Super sport 600cc	Collision with van	Van driver pulled out in front of MC (Dip in the road may have restricted his view)	MC impacted nearside of van	Motorcyclist impacted with van
34	Sports Tourer 750cc	Single vehicle	Motorcyclist lost control (severe right steering) while negotiating a bend	MC fell over and slid into the nearby kerb	Motorcyclist hit kerb
35	Super sports 1100cc	Collision between three MCs	Catalyst was an Advent. Traillie overtaking and riding into the path of MC	Motorcyclist applied severe front braking and MC fell onto its side	Motorcyclist impacted other MC
36	Semi-naked 650cc	Collision with SUV	MC did not stop at junction and collided with SUV	Motorcyclist misjudged speed and distance (Give way sign partially covered)	Motorcyclist impacted SUV
37	Naked 350cc	Single vehicle	Motorcyclist applied severe braking and lost control while negotiating right bend	MC tyres were under-inflated	Motorcyclist impacted with grass verge
38	Scooter 125cc	Single vehicle	Motorcyclist attempted to avoid metal covers on the road	Motorcyclist lost control and mounted footpath	MC and motorcyclist impacted with wall
39	Super sport 125cc	Collision with truck and car	Motorcyclist attempted to overtake truck while truck was moving right	MC impacted with truck then fell on side	MC and motorcyclist fell into the path of oncoming car



**Creating a motorcyclists model for braking  
based on volunteer tests**

**Ein Motorradfahrer-Model für Bremsmanövertests  
basierend auf Tests mit Freiwilligen**

Ioannis Symeonidis

Biomechanics Group, Institute for Legal Medicine,  
Ludwig Maximilians University, LMU, Munich, Germany

&

Centre for Research and Technology Hellas Hellenic Institute of Transport,  
Thessaloniki, CERTH-HIT, Greece

Gueven Kavadarli & Erich Schuller

Biomechanics Group, Institute for Legal Medicine,  
Ludwig Maximilians University, LMU, Munich, Germany

Steffen Peldschus

Campus Tuttlingen, Hochschule Furtwangen University

## Abstract

From the LMU fatality database braking is a pre-crash manoeuvre performed in 40% of motorcycle accident, something that is also in accordance to the epidemiology studies from HURT and MAIDS. Sled-tests with a motorcycle mock-up were used to simulate the braking action of volunteers. Kinematics and muscle activity of the volunteers were captured using a motion capture system and an electromyography (EMG) device. The posture of the volunteers during the test was extracted from the motion capture data and the joint angles were calculated with inverse kinematics. The initial posture was defined as the volunteers' posture right before the initiation of the sled motion and it was fairly consistent for the volunteers between each trial. The muscle activation onsets were calculated from the EMG signal. Data analysis was performed based on clustering of two kinematics parameters: head displacement and head angle. Two types of volunteer behaviour were identified from the clustering. The final aim of this study is to derive an active bio-fidelic pre-crash model of motorcyclists during braking.

**Creating a motorcyclists model for braking  
based on volunteer tests**

# 1 Introduction

Motorcycle casualties represent 16% of the total road fatalities [COST, 2001], from the main two motorcycle accident epidemiology studies [Hurt, 1981] and [ACEM, 2004], braking was extracted as the most common motorcycle pre-crash manoeuvre with nearly 40% occurrence before a motorcycle accident. Similar results were also extracted from the LMU fatality database.

Braking is resulting in an out-of-position posture of the rider, due to inertial loads to his unconstrained body on the motorcycle. Different rider's posture may produce different impact points and injuries that are not taken into account during safety equipment development, while the change in the posture may also hinder the control of the motorcycle. The out of position posture was studied in various cases for car occupants [KumpfBeck et al., Morris and Cross, Horsch et al., Benson et al.]. While the stability and the control of the motorcycle during braking with the motorcycle up right or during cornering were also studied [Cossalter]. However to the knowledge of the authors the motion of the rider's body during braking was not studied.

A volunteers' test with a moving sled, reproducing similar inertial loads to motorcycle braking was performed. The stability of the rider was investigated by analyzing the rider kinematics during braking tests with volunteers on an acceleration sled in idealized laboratory conditions. Two types of volunteer responses were identified based on two simple kinematics parameters. An in-depth analysis was performed using inverse kinematics and EMG results with the aim of deriving a kinematics pre-crash model for motorcyclists during braking for use in simulations.

Simulations with active numerical models can become a useful tool for traffic safety, they can offer not only more bio-fidelic results from dummies but also the capability to be active and react to the various conditions. The active models can stiffen certain body parts or have a kinematics reaction during the pre-crash phase that influences significantly the type and severity of injuries [Meijer]. The development of such models demands long campaigns of complex biomechanical experiments. These experiments use multi modal instrumentation to record as many aspects of human reaction as possible, relevant to the model in development as kinematics, electromyography and ground reaction force. The amount and the different types of data produced don't allow a direct interpretation of the results. Further the data reduction methods that were used for the development of dummies, e.g. corridors for kinematics, are a bottleneck for the development of active models because only a small part of the information recorded during the experiments is the output of the analysis. This small output is not enough for the development and tuning of active models that have many parameters to be set. The use of the musculoskeletal software for the simulation of the experiment with target to have a better insight of how the different recorded signals are influencing each other is proposed here.

## 2 Materials and Methods

### 2.1 Materials

A device was built that could reproduce the geometry of a motorcycle (MGD). The MGD included only the motorcycle-rider interface and was mounted on a sled. It included footrests, a saddle, a fuel-tank and a handlebar with a brake lever. The positions of the footrests and the handlebar were selected based on a study of the geometries of the motorcycles available in Germany from one manufacturer. A detailed presentation of this analysis can be found in (Symeonidis et al., 2010a). Considering a series of pre-trials completed within the European project PISa (Grant et al., 2010), the geometry producing the largest horizontal displacement of the volunteers during braking was selected. This posture is rather upright and typical for a touring motorcycle. The MGD was mounted on a sled. The sled was connected to a falling weight by a steel cable. Using pulleys, the vertical force was transformed to the horizontal sled force that produced constant sled acceleration. A sled acceleration of 0.35 g was employed for the experiment. For protection of the volunteers from accidental injury, a restraint system with belts was used. This system allowed displacements of the volunteers only in the sagittal plane, i.e. the motions produced during braking with a motorcycle being fully upright. Backward sled motion, relative to the forward facing volunteer, was used to simulate braking. The sled could be activated externally by a researcher (unaware setup), or internally by the braking action of the volunteer (braking setup). In order to provide valuable input for modelling these two very distinct setups were selected, from a larger campaign of measurements regarding braking scenarios e.g. autonomous braking.

A bicycle helmet with additional weight placed in its perimeter was used instead of a motorcycle helmet due to the demands of neck visibility from the motion capture system. The total weight of the helmet for the male and female volunteers was 1.5 kg and 1 kg respectively. Volunteers were equipped with headphones with music used as white noise. The music was started prior to the test and continued throughout the test. The purpose of playing the music, producing an as continuous as possible white noise, was to prevent the volunteers from detecting the external initiation of the experiment by using the trigger. A black fabric was used to cover the volunteers' front field of view. On the one hand this kept volunteers from visually perceiving the external initiation of the experiment. On the other hand their visual perception of backward movement was limited this way.

## 2.2 Volunteers

Eight volunteers participated in the experiment. Their average age was 29 years (range: 27 -32 years), three of them were males and five females. Four of them were experienced motorcyclists. Volunteers having travelled more than 10.000 km were considered as experienced. Volunteer eight, a male experienced motorcyclist, did not complete the entire experiment protocol and thus the data collected from this volunteer is not presented in this paper. The volunteers did not have any history of neck or spinal medical condition. The volunteers were informed about the study and signed a consent form prior to the measurement. The volunteers were randomly selected among co-workers of the authors after expressing their interest following a communication about recruitment of volunteers. Relevant anthropometric measurements were performed on each of the volunteers according and they are presented in table 1.

*Table 1 Volunteer anthropometry lengths in cm weight in kg*

			head	body	greater trochanter - femur height		upper body
	gender	weight	height	height	right	left	height
v1	male	78.0	25.8	189.0	93.7	93.2	95.6
v2	female	59.4	23.7	168.6	84.5	84.5	84.1
v3	male	69.9	26.1	173.9	86.0	86.1	87.9
v4	male	81.7	24.3	184.5	98.3	98.4	86.2
v5	female	58.0	25.1	165.8	84.0	83.9	81.9
v6	male	53.0	25.4	166.4	82.5	82.7	83.8
v7	female	51.6	23.7	164.6	84.6	84.3	80.2

## 2.3 Instrumentation

An optoelectronic motion capture system (Motion Analysis, Santa Rosa, CA, USA) Eagle Digital System with 8 cameras (resolution 1.3 Mp, maximum frame rate 2000 fps) with a sampling rate of 1 kHz was used to record the kinematics of the volunteers. Motion capture systems are able to track the three-dimensional motion of markers. The calculation of the 3d motion is performed with triangulation algorithms from the 2d view of the markers by more than two calibrated cameras. Retro- reflective markers were placed on several anatomical landmarks of the volunteers upper body found by palpation. Four markers were placed on the sled and MGD for the calculation of the relative motion of the volunteer to the sled.

A uni-axial accelerometer MWS BS 4301 (MWS Sensorik GmbH, Pfaffenhofen) was placed on the sled to detect the onset of motion and record the profile of the acceleration.

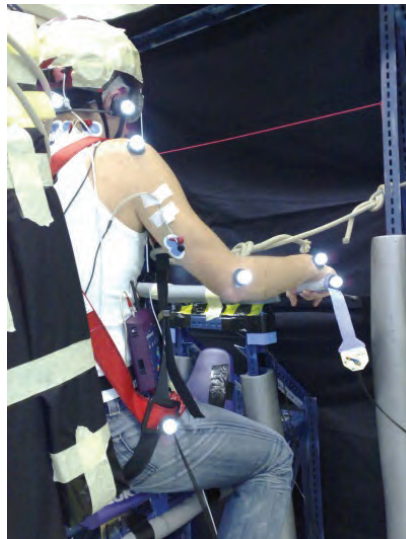
A surface EMG device (Noraxon, Scottsdale, Arizona, USA) Telemetry 8/16 with 8 channels and a sampling rate of 1 kHz was used to analyse the muscle activation. After the skin preparation, elec-

trodes were placed over the muscles sternocleidomastoid (neck flexion/rotation), splenius capitis (neck extension), posterior cervical (neck extension) muscles and the lateral head of triceps brachii (elbow extension).

A motorcycle brake lever was placed on the right side of the MGD handlebar. The brake lever was connected with the trigger that activated the sled motion. The signal of the brake was recorded with a data acquisition device.

All signals were exported in ASCII format from the respective software of each device and then synchronized and analyzed with a custom code developed in Matlab (The Mathworks Inc. Natick, MA, USA).

Volunteer 1 with instrumentation is presented in figure 1.



*Figure 1: Volunteer 1 with instrumentation right before an experiment*

## **2.4 Protocol of the experiment**

The experiment setup included two different triggering methods, one with the volunteer activating the sled motion by pulling the braking lever and the other with the volunteer unaware of the initiation of the sled motion. Two repetitions were performed for each setup.

The protocol of the experiment was approved by the ethics committee of the Medical Faculty of the University of Munich. The volunteers were interviewed concerning their riding experience and right before the experiment, they were informed about the risks and asked to sign a consensus for their participation.

After the placement of the EMG electrodes and the markers, the volunteers were positioned on the MGD; three Maximum Voluntary Contractions of neck flexion and extension were performed in order to normalize the EMG signal. To limit the degrees of freedom of the volunteers' postures and thus facilitating the comparison of results, the following procedure was followed for the positioning. The volunteers were asked to position themselves on the MGD by sitting as close as possible to the mock-up fuel tank. They were then asked to place their hands on the handlebar. For the head, a neutral position was defined by a horizontal Frankfurt plane of the volunteer's head. The Frankfurt plane is a transversal plane of the head defined by the inferior margin of the left orbit and the upper margin of each ear canal. The volunteers were asked to look forward while positioned on the MGD. They wore a pair of plastic glasses with a horizontal line marked over the whole glasses. Thereafter, the volunteers were instructed by the researchers to flex or extend their neck until the Frankfurt plane reached a horizontal position. Finally, a well visible thread was placed at a horizontal distance of about 60 cm in front of the volunteer's face. The height of the thread was adapted by the researcher to allow the volunteer to align it with the horizontal line on his glasses, without moving the head from the neutral position. The volunteers were asked to maintain the same head position at the beginning of every trial of the experiment by focusing on the alignment of the line and the thread. The volunteers remained seated on the MGD during the whole experiment.

The two addressed braking scenarios were simulated with the experimental setups presented in Table 2. The manual braking scenario is referred to as the "brake" setup. The autonomous braking scenario without a pre-warning is represented by the "unaware" setup. The order of the setups was random to prevent volunteers from expecting specific scenarios. In table 2 the test matrix is presented.

*Table 2: Test matrix*

Setup	brake	unaware
Sled motion trigger	volunteer /brake lever	researcher /external
Repetitions	2	2

## 2.5 Data reduction and statistical analysis

### 2.5.1 Motion capture data

A global coordinate system was defined with the x-axis being horizontal and aligned with the sled's direction of motion. The z-axis was defined vertically and positive upwards, and the y-axis completed the right handed coordinate system. The markers' 3d coordinates were transformed to this system. The motions of all the markers were expressed relatively to the sled. The parameters studied in this paper are the horizontal sternum displacement (+Tsx), positive when the sternum marker moves away from the handlebar, the horizontal head displacement (+Thx), positive when the helmet marker moves away



from the handlebar, and the head rotation. The latter was defined from the rotation of the vector connecting the helmet and the occiput marker (+Rhx), being positive for neck extension. The “elbow angle”, an approximation of the angle of initial elbow flexion represented by the contained angle defined from the acromion, elbow and styloid points, was calculated for all the tests. The coordinate data was interpolated when markers were obstructed from the cameras and filtered using the GCVSPL algorithm (Woltring, 1976). Geometric scaling to a reference value of a 50<sup>th</sup> percentile male was applied to the coordinate data. It was based on the anthropometric measurement of the distance between the great trochanter of the femur and the top of the head of the volunteer. The initial posture of the volunteers was defined as the posture right before the initiation of the sled motion.

For the inverse kinematics calculation a simple model was used to calculate the joint angles in the sagittal plane. A three link system of a double inverted pendulum on a cart was used to represent the motion of the sled ( $u$ ), the rotation of the torso ( $q_1$ ), neck ( $q_2$ ) and head ( $q_3$ ) as presented in figure 2.

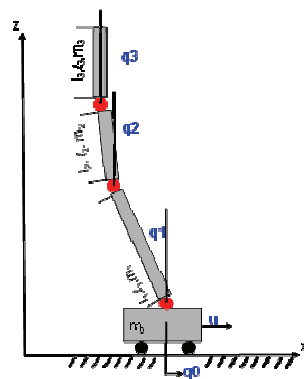


Figure 2: Model for inverse kinematics calculation

## 2.5.2 Acceleration data

The acceleration data was transformed to the same coordinate system as the motion capture data. The measured acceleration was filtered according to the SAE-J211/1 for vehicle acceleration with the CFC-60 filter (SAE 1995). The onset of the sled motion was defined at the point in time when the filtered acceleration signal became monotonically increasing.

## 2.5.3 EMG data

The onset, for the activation of each muscle, was calculated from the EMG signal. The onset was found when the signal exceeded a pre-defined threshold continuously for 100ms. The threshold for each muscle was calculated from a 100ms EMG signal's sample when the muscle was at rest. The threshold value was defined as the sum of 2 standard deviations of this sample plus the average value of the sample (Morey-Klapsing et al., 2004).

#### 2.5.4 Statistical analysis

The Freedman two way ANOVA by ranks was used to test for significant difference ( $p < 0.05$ ) in the stability between the two experiment setups (brake/ unaware), by performing three tests comparing the maximum absolute horizontal displacement of the sternum (Ts), of the head (Th) and the maximum absolute head rotation (Rh). Pearson's correlation coefficients were calculated between the kinematic parameters studied.

Clustering analysis for time-series was performed for the kinematics data as in (Roberts et al. 2006). For this analysis, two parameters (time-series) were selected (Th, Rh). The samples of the time-series were normalized with the standard score method, namely by a linear transformation, so that they have mean zero and standard deviation 1. Let  $\mu$  and  $\sigma$  be the mean and standard deviation, respectively, of the samples of the time series  $x(i)$ ,  $i = 1, \dots, N$ . Then the normalization transformation is  $z(i) = (x(i) - \mu) / \sigma$ . A first analysis for the estimation of the number of clusters was performed with a Hierarchical Ascendant Classification with a plot of a dendrogram. The normalized time-series for these two parameters for all the trials of all the volunteers were clustered using the Ward fusion algorithm based on the Euclidian distances of their samples for each frame for the complete time-series. The clustering was performed simultaneously for both parameters, so they both influence the result.

#### 2.5.5 Musculoskeletal simulation Model

For the musculoskeletal simulation the multi-body head and neck model, developed from [Vasavada], with some modifications was used. This model was available in the OpenSim library; OpenSim [Delp] is a software that allows the simulation of the biomechanical experiment with an anatomically detailed model that includes the bones and muscles.

The analysis method has the following steps [OpenSim]:

- Scaling of the musculoskeletal model to the subjects anthropometry
- Inverse kinematics
- Inverse dynamics
- Optimization to distribute the joint torques to several muscles
- Forward dynamics simulation that uses the calculated muscle activations

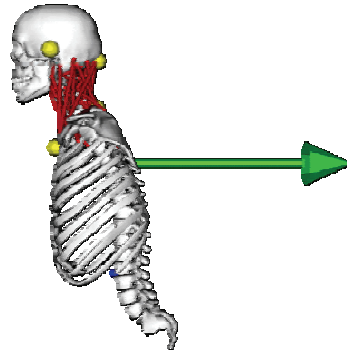


Figure 3: Model setup for the simulation, skeleton(white), muscles(red), markers(yellow), force(green)

Markers were placed at the same anatomical points like the experiment. Additional weight was placed on the head to represent the helmet. The sled deceleration was simulated with one force vector acting on the centre of mass of the model that produces the same acceleration. Following this procedure the joint angles and moments can be calculated for all the neck joints between the vertebrae. Finally the joint moments is distributed to the neck muscles with an optimization algorithm based on the geometry and the muscle models [Hills, Huxley, Zajac].

### 3 Results

The sled acceleration is presented in figure 4, compared to the acceleration measured in a field test with an instrumented motorcycle (Hugemann, 1993) in figure 5. The average value of the measured acceleration after the initial ramp was 0.35g, and the standard deviation of the average acceleration for all the trials was 0.0229.

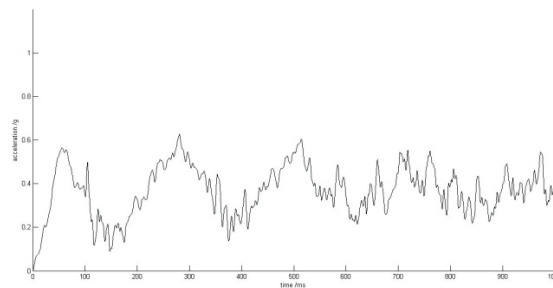


Figure 4: Sled acceleration

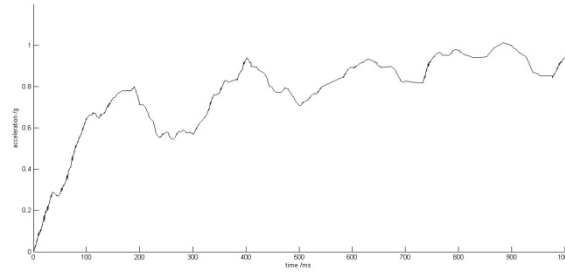


Figure 5 Motorcycle acceleration (Hugemann 1993)

A 3d reconstruction of the volunteers' motion relative to the sled motion at two instants of time is presented below.

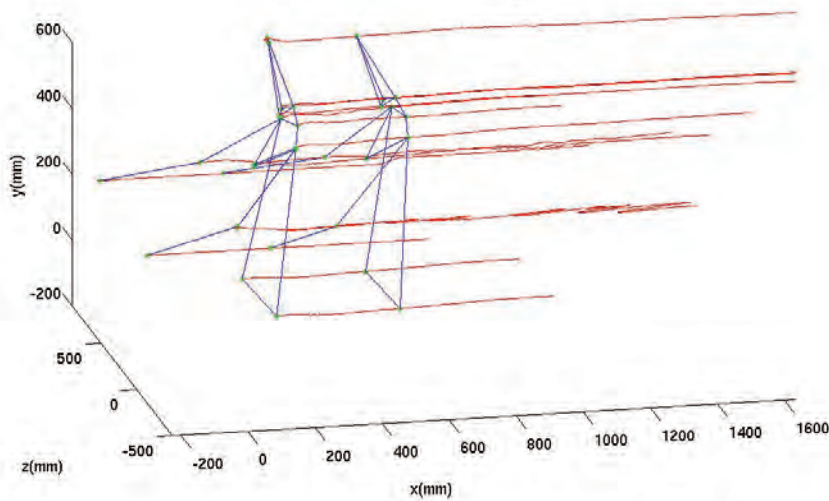


Figure 6: Kinematics data recorded with the motion capture system

None of the volunteers lost their grip at the handles and no motion of the mock-up fuel-tank was noticed during any of the trials. An inverse kinematics analysis was performed to the motion capture data and the following joint angles were calculated: torso (torso inclination), neck (neck extension), head (Frankfurt plane inclination) and elbow (elbow flexion). In figure 7 the torso, neck and head rotation is presented during the test relative to the initial posture.

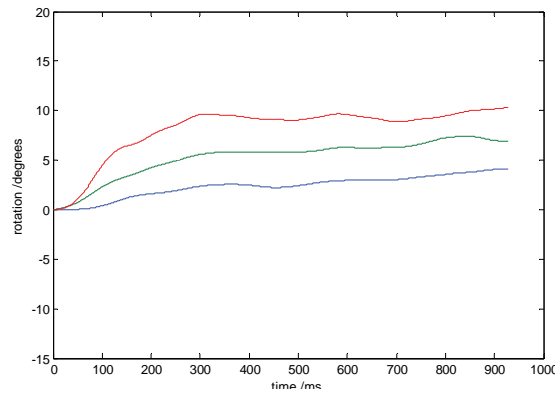


Figure 7: The inverse kinematic model and the joint angles head (red), neck(green), torso(blue)

In the next step the methodology of clustering of the above time-series was applied. Two clusters were selected as the number of groups based on the plotted dendrogram.

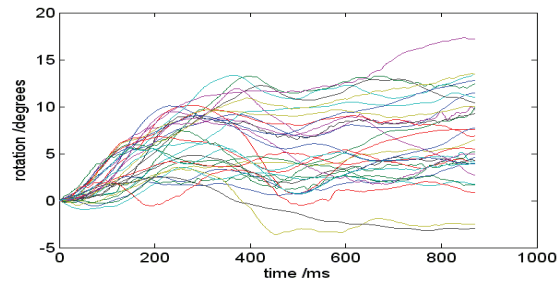


Figure 8 Head rotation (flexion)

The mean value of the identified clusters and one standard deviation for head rotation is presented below.

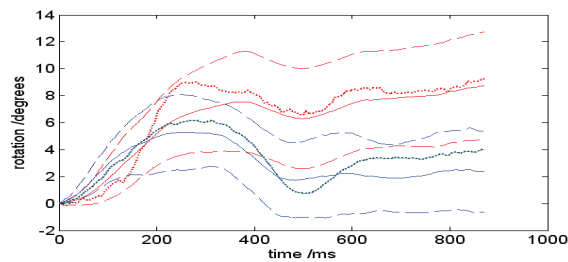


Figure 9 Results from clustering, with mean, one standard deviation and the track with the closest total distance from the mean (dotted line) per each cluster

Most of the volunteers consistently stayed in one of the two clusters during all the repetitions and for both the test setups.

The EMG onsets were calculated when the signal was two standard deviations over the baseline, and the standard deviation was calculated before the initiation of the sled motion. The correlation of the

EMG onsets to the clustering results was calculated and no correlation was found between them while there was also no significant difference when the EMG activation onsets were separated according to the two groups identified from clustering.

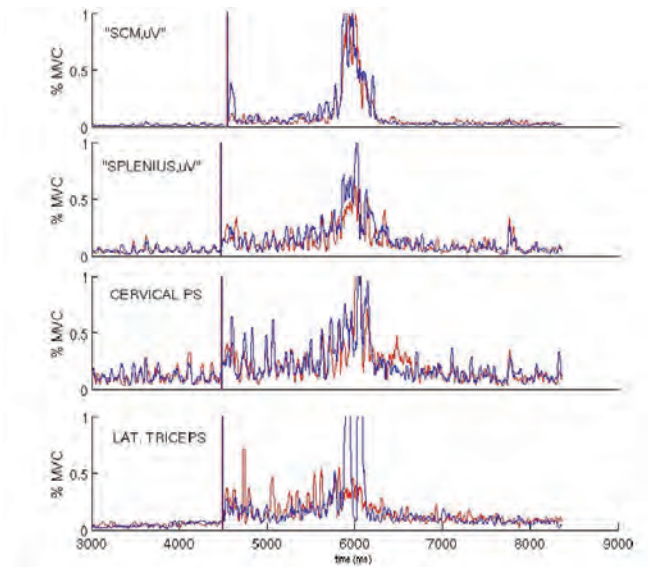


Figure 9 EMG onset calculations

## 4 Discussion

This research work is of particular importance when designing Passive-Safety systems such as airbags for PTWs. The postures of riders have been studied previously (Sabbah et al., 2007; Auken et al. 2005; Smith et. al., 2006). The change from the initial posture during dynamic events, like braking, is not described in the literature. In only 30% of the accidents however, riders do not perform any evasion manoeuvre (ACEM 2004). Significant displacements from the normal riding posture, as found in this study, are not only important for potential Active Safety applications e.g. autonomous braking; they are of importance for any crash analysis, in accident reconstruction as well as in the development of Passive-Safety systems. The results of this study can give first hints on estimating the positions of the head and upper body during a potential airbag deployment. The upright riding posture, typical for a touring motorcycle, as implied in these experiments is more likely to produce greater displacements during braking than a forward-lean posture like on a sport motorcycle. This can be attributed to greater lever arms of the rider's upper body (with respect to the seat and pelvis). Therefore, PTW ergonomics have to be considered as a relevant factor in the development of Active and Passive Safety systems, while appropriate as well as inappropriate PTW geometries, with respect to rider stability during braking, may be identified. The number of repetitions performed by each volunteer for each experiment setup was chosen as small as possible. That way learning effects could be minimized, which are unde-

sirable when investigating differences in reactions to expected and unexpected events. Due to the rather long and complex preparation of each test compared to its short duration, behavioural influences on the results cannot be excluded. Instead of using relaxed and tensed muscle scenarios [Ejima et al., 2008], a braking setup and an unaware setup was used achieving more realistic conditions for the experiment in the laboratory, closer to motorcycle riding. Although the volunteer's physical preparation to the deceleration was assessed by means of EMG signals, the preparation in behavioural terms could not be assessed. By comparing the sled acceleration to the one measured during a field test (Hugemann, 1993) a very similar initial increase is observed while the oscillations have similar frequency and amplitude in the following phase. The acceleration used was similar to motorcycle braking in normal riding, but not in emergency braking, even though it was sufficient to produce out of position posture for the volunteers. For the clustering analysis, considering the classification into two clusters, the results are in accordance with the literature. The two clusters can be assigned to the volunteer behaviours related to as "floppy" and "stiff", respectively ( Adamec et al. 2006; Vibert et al. 2006). The classification of kinematics behaviours of volunteers may prove beneficial for further studies on airbag deployment strategies.

As the study was performed in a laboratory setup in order to take detailed measurements, a few simplifications were made compared to the riding of PTWs. The issue of pitching during braking has not been addressed. This may however be of less importance in the future, as an active suspension system for the front wheel has been demonstrated in conjunction with a prototype of an autonomous braking system (Savino 2010). The deceleration profile during the manual braking scenario was not modulated by the brake lever, which only activated the trigger for the initiation of the sled motion. Since the duration of the measurement was less than one second, this simplification does not seem to influence the results. Another major simplification of the experimental setup is the inverse movement. Compared to previous studies with a similar setup (Ejima et al., 2008, Ono et al. 2000); the irritation of the volunteer by inverse movement (backward acceleration instead of forward movement with deceleration) was minimized by the blocked vision to the front (the black fabric on the sled). Nevertheless, the visual perception in such experiments needs further consideration with respect to its influence on the kinematic behaviour. The MGD device mounted on the sled could not lean laterally and it was not equipped to allow pitch. Only one motorcycle geometry was used (motorcyclist with an upright upper-body riding posture). This was selected due to larger amplitude of upper-body motions relative to other types during pre tests.

## 5 Conclusion

In this paper a study of the motorcycle posture during braking kinematics is presented. An experimental protocol that allows aware (active braking from the volunteers) and unaware (external trigger) setup was developed. For the analysis of the kinematics results a clustering method for time-series was used and its validity was studied. The main outcome of this research is that braking influences the position of the motorcyclist's upper body and especially the forward displacement of the head. The method used to constrain the volunteers' head was effective producing consistent intra-individual volunteers' postures during the trials. The inter-individual variability of the torso angle is due to the different anthropometry of the volunteers. The clustering methodology identified two kinematics models for the description of volunteers' motion during braking. The indifference of the EMG onsets between the two clustering groups can be explained by examining the grouping of the kinematics time-series. The difference between the two groups is not due to the onset of the volunteer reaction but because of the different shape of the time-series that represent different kinematics behaviours. Two strategies for head stabilization were identified (stiff and floppy).

Even though valuable results were found only by the analysis of kinematics, a direct connection of the kinematics to the muscle activity will enhance the insight offered from biomechanical experiments. A musculoskeletal simulation software provides a platform to study each experiment individually and to understand the cause and effect relationship in musculoskeletal systems. The study of the cause effect relationship between the EMG signal and the kinematics in complex dynamic systems like the neck has the following challenges.

- Several joints with many degrees of freedom.
- Larger number of muscles.
- Complex muscle activation control.

These challenges are very difficult to be addressed by directly examining the captured signals.

In this way the nervous system coordination of muscle activation can be analyzed and a small insight about the muscle recruitment from the nervous system can be gained. Even though, a big gap due to the model's individual component validity has to be closed, to be able to output reliable results.

The results from the experiment will be applied to an active human model that can predict the motorcyclist's kinematics during braking. Finally, since the amplitudes of head motion in unaware and braking setups were not found to differ significantly, further research seems valuable for the development of autonomous braking systems. Future studies should address the issue of out-of-plane motions. This includes asymmetrical rider positions prior to braking as well as unintended steering actions



## 6 Acknowledgement

This research was performed with founding from the EU Marie Curie Action Project MYMOSA. The work presented in this paper was partially funded by the 7<sup>th</sup> Framework Program of the European Commission within the Marie Curie Research Training Network MYMOSA (MotorcYcle and MOrtorcyclist SAfety, contract no. 035965) a Marie Curie action of the 6th research framework program of the EU under contract no. 035965.. The authors thank Prof. Schneider of the University of Federal Armed Forces, Munich, for providing the measuring devices for the experiment and Mr. Andreas Born for his assistance. The authors have no conflicts of interest to disclose.

## 7 References

- ACEM (Association of European Motorcycle Manufacturers), 2004 In-depth investigation of accidents involving powered two wheelers, report, Brussels, Belgium.
- Adamec J., Praxl N., Miehling T., Muggenthaler H., Schönplflug M., 2005. The occupant kinematics in the first phase of a rollover accident—experiment and simulation. In: Proceedings of the 2005 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Prague, pp. 145–156.
- Auken van R. M., Kebschull S., Broen P. C., Zellner J. W., Rogers M. N., 2005. Development of a rider size and position model to determine motorcycle protective device test conditions In: Proceedings of Enhanced Safety of Vehicles Conference 2005, Washington D.C., USA, paper no. 05-0392.
- C. Clauser, J. McConville, J. Young, 1969, Weight, volume and centre of mass of segments of the human body, Ohio, USA.
- Ejima S., Zama Y., Satou F., Holcombe S., Ono K., Kaneoka K., Shiina I., 2008. Prediction of the Physical Motion on Human Body based on Muscle Activities during Pre-Impact. In: Proceedings of the 2008 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact, Bern, Swiss, pp. 163-177.
- Grant, R. Frampton, R., Peldschus, S., Schuller, E., StClair, V., McCarthy, M., Babu, R., Pierini, M., Savino, G., 2008, PISa – Powered two-wheeler Integrated Safety. Project objectives, achievements and remaining activities. In Proceedings of the 8th International Motorcycle Conference 2008, Cologne, Germany.
- Hugemann, W., Lange, R, 1993. Neue Untersuchungsergebnisse zum Bremsverhalten von Motorradfahrern. Braking Performance of Motorcyclists. *Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik* 31, pp.62-68.

Morey-Klapsing G., Arampatzis A., Bruggemann G. P., 2004, Choosing EMG parameters: comparison of different onset determination algorithms and EMG integrals in a joint stability study, *Clinical Biomechanics* 19(2), pp. 196-201, NHTSA 2008, Traffic safety facts, ([www-nrd.nhtsa.dot.gov/pubs/811172.pdf](http://www-nrd.nhtsa.dot.gov/pubs/811172.pdf)), retrieved <23.03.2011>.

Thomas R., 2006. Kinematic Modeling of Balance Recovery Movements of a Standing Passenger following its Support Surface Translation, In Proceedings of 2006 Digital Human Modelling for Design and Engineering Conference, Lyon, France, SAE paper no.2006-01-2367, doi: 10.4271/2006-01-2367.

SAE ,1995,. Surface Vehicle Recommended Practice: Instrumentation for Impact Test Part 1, Electronic Instrumentation, standard.

Sabbah A. O, Bubb H., 2008. Development of a Motorcycle Posture Model for DHM Systems, In Proceedings of Digital Human Modelling for Design and Engineering Symposium 2008, Pittsburgh, PA, USA, SAE paper no. 2008-01-1866, doi:10.4271/2008-01-1866.

SafetyNet 2009, Powered two wheelers, ([ec.europa.eu/transport/road\\_safety/specialist/knowledge/pdf/powered\\_two\\_wheelers.pdf](http://ec.europa.eu/transport/road_safety/specialist/knowledge/pdf/powered_two_wheelers.pdf)), retrieved <23.03.2011>.

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 8<sup>th</sup> International Motorcycle Conference 2010, Cologne, Germany.

Siegel S., 1956. Nonparametric statistics for the behavioural science, McGraw-Hill, New York.

Smith, T, Zellner, J, Rogers, N, M, 2006, A three dimensional analysis of riding posture on three different styles of motorcycle. In: Proceedings of International Motorcycle Safety Conference 2006 “The Human Element”, Long Beach, CA, USA.

Symeonidis I., Kavadarli G., Brenna C., Zhao Z., Fraga F. , van Roij L., Schuller E., Peldschus S. 2010a, Developing a method to simulate injury mechanisms in motorcycle crashes. *Journal of biological physics and chemistry*, 9 (3), pp. 149–154.

Vibert N., Hoang T., Gilchrist D., MacDougall H., Burgess A., Roberts R., Vidal P., Curthoys I., 2006. Psychophysiological correlates of the inter-individual variability of head movement control in seated humans, *Gait & Posture* 23, pp. 355-363.

WHO 2009 European status report on road safety, report.

Woltring H. J., 1986. A FORTRAN package for generalized, cross-validatorspline smoothing and differentiation. *Advances in Engineering Software* 8(2), pp. 104-113.

Hurt, H.H., 1981. *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures*. Volume 1, Technical Report for the NHTSA. California, USA.

ACEM (Association of European Motorcycle Manufacturers), 2004. *In-Depth Investigation of Accidents Involving Powered Two Wheelers (Report)*. Brussels, Belgium.

Robert T., 2006. *Analyse biomécanique du maintien de l'équilibre debout suite à une accélération transitoire de la surface d'appui*, Ph.D. thesis, INSA Lyon, France.

Symeonidis I., Kavadarli G., Peldschus S., Schuller E., Fraga F., van Rooij L., 2010. *Characterisation of motorcyclist's upper body motion during braking manoeuvre*. In: *Proceedings of the 2010 International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*, Hannover, Germany.

Symeonidis I., Kavadarli G., Peldschus S., Schuller E., Fraga F., van Rooij L., 2009. *Volunteer lab-testing for the analysis of motorcyclists' behaviour during braking*. Edition, *Les collections de l'INRETS. Les Deux-Roues motorises*, p. 277:283.

KumpfBeck, M, Oertel, D and Pilatus, K. *Occupant Kinematics During Emergency Braking: An Investigation with Regard to the out-of-Position Issue for Passengers*. *Proceeding of the International IRCOBI Conference on the Biomechanics of Impact*.

Morris and Cross, 2005. *Improved understanding of passenger behaviour during pre-impact events to aid smart restraint development*. In: *19th International Technical Conference on the Enhanced Safety Vehicles*, USA, June 2005.

Horsch JD, Lau IV, Andrzejak DA, Viano DC, et al., 1990, *Assessment of air bag deployment loads*. Paper No. 902324, 34th Stapp Car Crash Conference, P-236, Society of Automotive Engineers, Inc., Warrendale, Pennsylvania.

Benson et al., 1996, Benson, B.R., Smith, G.C., Kent, R.W., Monson, C.R., 1996. *Effect of seat stiffness in out-of-position occupant response in rear-end collisions*. In: *Proceedings of the 40th Stapp Car Crash Conference*, pp. 331–344.

Meijer R., Rodarius C., Adamec J, Nunen van E., Rooij van L., *A first step in computer modelling of the active human response in a far-side impact* *International Journal of Crashworthiness* Vol. 13, Iss. 6, 2008.

COST 327. Motorcycle Safety Helmets, EU report, 2001.

Delp SL, Anderson FC, Arnold AS, Loan P, Habib A, John CT, Guendelman E, Thelen DG (in press). OpenSim: Open-source Software to Create and Analyze Dynamic Simulations of Movement. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 2007, vol. 54, p.1940-1950. Hill, A. V. The heat of shortening and the dynamic constants of muscle. *Proc. R. Soc. Lond. B Biol. Sci.* 126: 136–195, 1938.

Huxley, A. F. Muscle structure and theories of contraction. *Prog. Biophys. Biophys. Chem.* 7: 255–318, 1957.

Zajac, F. E. Muscle and tendon: properties, models, scaling, and application to biomechanics and motor control. In: *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, edited by J. R. Bourne. Boca Raton, FL: CRC, 1989, vol. 17, p. 359–411.

Vasavada A, Li S, Delp SL, Influence of Muscle Morphometry and Moment Arms on the Moment-Generating Capacity of Human Neck Muscles, *Spine*, 23:4:412-422, 1998.

OpenSim 2.01 User's Guide at <http://simtk-confluence.stanford.edu:8080/display/OpenSim/User%27s+Guide> retrieved <25.06.2012>.

Keshner EA, Campbell D, Katz RT, Peterson BW, 1989. Neck muscle activation patterns in humans during isometric head stabilization. *Experimental Brain Research*, Volume 75 Part 2 pp. 335-344.

Sommerich, C. Joines, S. Hermans, V. Moon, S, 2000. Use of surface electromyography to estimate neck muscle activity. *Journal of Electromyography and Kinesiology* Volume 10 Part 6: pp. 377-398.

Cossalter V., Lot R. and Maggio F., 2004, On the Braking Behaviour of Motorcycles, Society of Automotive Engineers of Japan, Inc. 2004-32-0018 / 20044305.

**Towards objective risk assessment: evaluation of the injury risk  
while riding a powered two wheeler**

**Objektive Risikoeinschätzung: Evaluierung des  
Verletzungsrisikos beim Motorradfahren**

Matteo Tasselli, Giovanni Savino, Federico Giovannini & Marco Pierini

Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali,  
Università degli Studi di Firenze, Italy.

## Abstract

The aim of this work is to investigate a new risk assessment method for powered two wheelers (PTWs) to evaluate an objective injury risk in car-following scenario. A risk function is built considering two influencing factors: the probability of a crash to occur and the probability for the rider to suffer injuries in case the crash will take place. The probability of collision is computed based on the current dynamic states and range for both the PTW and leading vehicle. The probability of injury is based on a correlation between impact speed and human injuries.

Relevant driving scenarios are simulated in a virtual environment with the use of the software Pre-Scan. The results of a set of simulations in terms of collisions prove to be coherent with the probabilities given by the proposed risk function.

The risk function and the results of the simulations provide a basis to investigate last second warning and intervention strategies.

**Towards objective risk assessment: evaluation of the injury risk  
while riding a powered two wheeler**

## Introduction

In the European Community in 2010 more than 31000 fatalities involving road vehicles took place and 15% of them were motorcycle and scooter riders. In the last ten years (2000-2009) the number of fatalities involving powered two-wheelers (PTW) increased. For this reason PTW road safety gained increasing attention by the entire scientific community and general public.

Recently, innovative solutions and interesting studies on active safety system for PTWs application were proposed. An important subset of the active safety technology is meant to avoid crashes or at least mitigate their consequences. Those systems consist of sensors (inertial measurement units and obstacle detection devices) and an electronic control unit which recognize the environmental kinematic conditions and predict any possible dangerous situation in advance. Active safety systems predict safety critical events using algorithms for the computation of a risk function. Several different algorithms were proposed in previous works especially in the field of four-wheeled vehicles. Distance based methods [1-2] measure the range between host and other vehicles. The distance between vehicles is compared to a threshold distance in order to assess the risk level. Time based methods [3-4] compute the risk level using the time left to the driver to avoid the collision by performing a braking maneuver. Other algorithms try to minimize an objective function [5], or take account of both the braking and the swerving action for the avoidance manoeuvre [6-7]. However, a common approach for the risk algorithms is to use a predetermined function to represent time evolution of the leading vehicle speed, e.g. assuming a constant velocity or constant deceleration.

The aim of this work is to investigate a new risk assessment method for powered two wheelers (PTWs) to estimate an objective injury risk in the hypothesis of car-following scenario (Figure 1). The objective nature of the proposed method is based on a probabilistic approach for the description of the leading vehicle (LV) speed. In particular, the braking event and the value of the braking deceleration for the leading vehicle is described in terms of probability that those events will take place. The probabilistic description of the LV is obtained by mean driving cycles.





*Figure 1. Car following scenario*

The proposed risk function also takes into account of a second risk factor being the consequences of the possible collision. The algorithm evaluates the probability that the imminent crash will lead to severe injuries for the rider, by using an experimental correlation between impact speed and the abbreviated injury scale (AIS) [8-9]. The AIS is widely applied to assess medical injuries. The correlation between AIS and impact speed should be extracted from in-depth crash databases (e.g. [10]).

The proposed method was developed for PTW application. The algorithms modelling the last second avoidance manoeuvre considered the typical performances of a two wheeled vehicle and injury estimation criterion can be obtained by analysing an in-depth PTW crash database.

## **Model**

The risk computation of a critical event occurring to a vehicle is usually related to subjective evaluations. In the following paragraphs the algorithm for collision risk computation with objective base will be described in detail.

### **Leading vehicle speed profile**

Current PTW and LV state parameters like speed and acceleration can be measured real time with accuracy. The evaluation of the collision risk is also linked with the time evolution of the LV speed, although the intentions of the LV driver are generally unknown in advance and a prediction of the LV speed profile even in the near future is challenging. In the present paper, a probabilistic approach is proposed. The method consists in associating a probability value to a the longitudinal action of the LV in the next time step. The probability is bases on a mean driving cycle of a passenger car in normal

driving conditions. In particular, a range of possible accelerations/decelerations are linked with the mean frequency with which they took place during the driving cycle. Investigations of car driving cycles are described in the literature [11], generally with application to efficiency and pollutant emission problems. Those studies make use of vehicles equipped with GPS and require extensive acquisitions taking account of the following variables:

- road type;
- test time and traffic situation;
- driver characteristics;
- vehicle type.

The data acquired is then post-processed to obtain the driving cycle. Driving cycles are specific for the city or the location where the data are taken and differences affect the evaluation of risk level. Whenever available, the risk function will be tuned using the driving cycle of the PTW location.

Continental and European driving cycles are available in the literature, made by NEDC (New European Driving Cycle) and ARTEMIS [12]. Those driving cycles were considered in this work. The use of national or continental mean values leads to a reduction of inaccuracies, although they will not be fully adherent to any specific location.

The probability of a determined deceleration of the leading vehicle in car following scenario is extracted from the driving cycle. The acceleration values are clustered into classes. Each class of acceleration is associated with the correspondent probability (Table 1).

*Table 1. Acceleration levels of a driving cycle*

Acceleration level (m/s <sup>2</sup> )	Probability (%)
-5	0.15
-2	11.5
-1	25.8
0	49.3
2	13.3
Tot	100

The selected classes of acceleration correspond to relevant possible manoeuvres:

- hard braking;
- normal braking;
- soft braking;
- constant speed;
- normal acceleration.

## First risk parameter: probability of collision

The proposed risk value is the combination of two parameters: the probability of the collision and the probability of serious injuries due to the collision.

The first parameter (probability of collision) ranges from 0% to 100%:

- 0 corresponds to a safe riding condition: no possibility for a crash to occur (rear end collision) in the next time step: e.g. free riding with no LV in the line of sight;
- 100% corresponds to certain impact within the next time step;
- Intermediate values indicate the probability that a collision will take place in the next time step.

The probability of collision is computed comparing the current range between PTW and LV with a reference distance  $d_{ref}$ . The selection of  $d_{ref}$  is crucial because it affects the whole algorithm.  $d_{ref}$  represents the minimum distance required to the host PTW to avoid the collision either by braking or by swerving. Two different parameters describing the minimum distance to avoid the crash by braking and swerving were defined, respectively  $d_{br}$  and  $L_{swerve}$ .

The parameter  $d_{br}$  is an extension of the National Highway Traffic Safety Administration (NHTSA) method [13-14], which computes the minimum braking distance assuming a constant deceleration for LV ( $a_{obj}$ ). Meanwhile, the PTW keeps a constant deceleration value ( $a_{ptw}$ ) during the reaction time ( $t_r$ ), then it begins to brake with the maximum possible deceleration  $a_{max}$  depending on the vehicle characteristics.

The model also considers  $a_{max} \leq a_{obj} < 0$  where  $a_{max}$  and  $a_{obj}$  are decelerations and assume negative values. Both PTW and LV arrive to a complete stop respectively in the time  $t_{hs}$  and  $t_{ls}$ . Consequently,  $d_{br}$  is calculated as follows:

$$\text{if } t_{ls} < t_{hs}$$

$$d_{br} = v_{ptw} t_r + \frac{1}{2} a_{ptw} t_r^2 - \frac{(v_{ptw} + a_{ptw} t_r)^2}{2 a_{max}} + \frac{v_{obj}^2}{2 a_{obj}} + D_{thresh}$$

$$\text{if } t_{ls} > t_{hs} \quad \text{or} \quad a_{obj} \geq -1$$

$$d_{br} = -v_{rel} t_r - \frac{1}{2} a_{rel} t_r^2 + \frac{(v_{rel} + a_{rel} t_r)^2}{2(a_{obj} - a_{max})} + D_{thresh}$$

with:

$$a_{rel} = a_{obj} - a_{ptw}$$

$T_r$  and  $a_{max}$  can be estimated with precision in normal driving conditions [14-16].  $D_{thresh}$  is the minimum distance at the complete stop. For the purposes of the present study it is assumed to be zero.

This method has got drawbacks: a)  $a_{ptw}$  is chosen as a fixed value; b) LV is always considered to be decelerating. In the present work, five  $d_{br}$  values are computed assuming  $a_{obj}$  equal to each one of the five classes of deceleration associated to the specific probability extracted from the driving cycle.

The minimum swerving distance  $L_{swerve}$  proposed in [17] and further investigated in [18] can be calculated by knowing instantaneous speeds and accelerations of both vehicles and by defining a maximum roll angle  $\varphi_{max}$  for the PTW while performing the emergency curve.

$$L_{swerve} = \sqrt{2 k v_{ptw}^2 s + s^2} + k v_{ptw} v_l \arccos\left(\frac{k v_{ptw}^2}{k v_{ptw}^2 + s}\right)$$

where:  $k = \frac{1}{g \tan \varphi_{max}}$ ,  $g$  is the acceleration of gravity and  $s$  is the minimum lateral distance between PTW and obstacle during the swerve manoeuvre.

Also for  $L_{swerve}$  five values are computed, each one associated with the correspondent probability.

The  $d_{br}$  and  $L_{swerve}$  parameters are used to compute the parameter  $Risk_1$  associated to the risk of collision. A linear function is assumed:

$$Risk_{1,i} = \frac{d_{ref,i}}{L} \cdot 100$$

where  $L$  is the range between PTW and LV and the index  $i$  varying from 1 to 5 indicates the deceleration class. The distance  $d_{ref,i}$  is the minimum between  $d_{br,i}$  and  $L_{swerve,i}$ .

Each  $Risk_{1,i}$  is associated to the probability  $P_i$ . The five contributes are combined into a single risk parameter according to the following equation:

$$Risk_1 = \sum_{i=1}^5 P_i \cdot Risk_{1,i}$$

## Second risk parameter: probability of serious injuries

The second step is to evaluate the consequences for the rider in terms of probability of severe injuries due to the collision. Several medical scales are available for the objective classification of the physical injuries. One of the most utilized and accepted by the scientific community is the Abbreviated Injury

Scale (AIS) [9-10]. AIS code is composed of six characters for each injury. The combination of those six terms indicates the injured part of the body and the injury severity. In particular the seriousness is represented by the last cipher, according to the scale showed in Table 2. The MAIS scale adopted in the present study corresponds to the maximum AIS score reported from the rider during the crash. A method to correlate one or more pre-crash parameters and the related MAIS score will be proposed hereafter. The crash cases are divided into different types of scenarios and the car following cases are considered. For each crash case the used parameters are the impact velocity and the medical consequences for the riders involved.

Table 1. Description of the AIS score

AIS score	Injury
1	Minor
2	Moderate
3	Serious
4	Severe
5	Critical
6	Unsurvivable

The crash cases are ordered by impact speed. For each speed the MAIS scores is analyzed to obtain their frequency. A threshold of MAIS 2 is set to discriminate between minor (<2) and relevant injuries (2+). The probability to report a severe crash at a determined speed was computed with the following equation.

$$P_{MAIS2+} = \frac{F_{MAIS2+}}{tot_{cases}}$$

where  $P_{MAIS+}$  is the probability to obtain a MAIS score 2 or greater;  $F_{MAIS2+}$  is the frequency of MAIS 2 or greater at the considered speed;  $tot_{cases}$  is the total number of cases at the considered speed. The crash cases are divided into classes of speed to reduce the random variations due to the possible small number of cases belonging to each specific speed.

An example of correlation between impact speed and severe injuries is plotted in Figure 2. In the example, the probability to suffer serious injuries increases with the impact speed and the linear regression reported a high coefficient of determination ( $R^2$ ) showing a good correlation between the data and the regression curves. Finally, the linear regression is used for the risk evaluation. The correlation shows that above a defined impact speed the probability for the rider to suffer serious injuries is almost 100%. This speed (corresponding to 24 m/s in the example) is used as reference ( $v_{ref}$ ) to define the range of the second risk parameter ( $Risk_2$ ) indicating the probability to suffer relevant injuries in case of a crash.

In particular:

$$Risk_2 = \frac{v_{ptw}}{v_{ref}}$$

The parameter  $Risk_2$  is limited in the range between zero to one:

- 0 indicates the PTW is stationary and the risk to suffer severe injuries due to speed is zero.
- 1 is obtained when the PTW speed is equal or greater than the threshold  $v_{ref}$ .
- Intermediate values indicate the probability to suffer MAIS 2 or greater injuries.

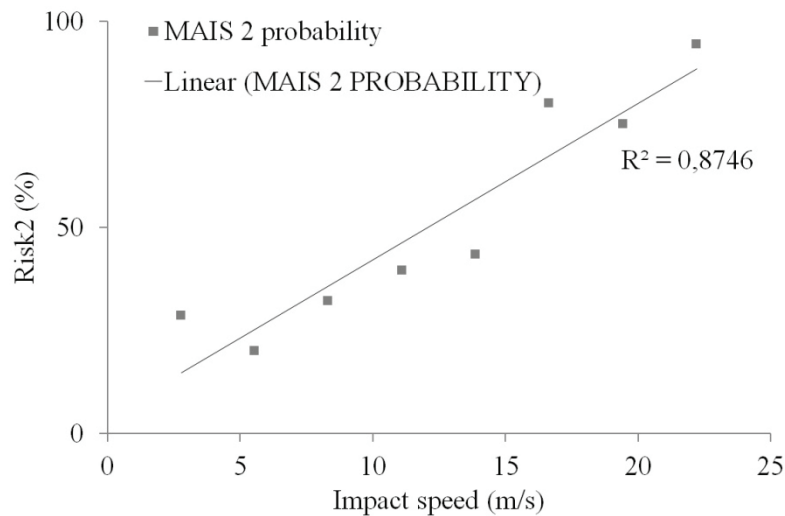


Figure 2. Example of linear correlation speed - probability to have MAIS 2+ (%)

## Risk algorithm

The proposed algorithm for the risk evaluation was implemented in Matlab Simulink. The algorithm requires the following data as input:

- instantaneous speed and acceleration of the PTW;
- instantaneous speed and acceleration of the LV;
- distance between PTW and LV;
- roll angle of the PTW;
- roll angle rate of the PTW.

The algorithm was developed for the car following scenario. The scenario assessment is considered to be out of the scope of the present paper. A method to identify the car following scenario based on the roll angle and roll rate measurements was presented in [19]. When the PTW is not in the car following condition the algorithm output will be a constant negative value to indicate that the risk evaluation is not reliable.

If all the hypotheses are fulfilled the algorithm computes  $Risk1$  and  $Risk2$ . The two risk values can be combined together into a single output taking account of both contributes. The combination of the two probabilities is obtained with a multiplication of the two parameters:

$$Risk = Risk_1 \cdot Risk_2$$

$Risk$  is the risk for the rider in car following scenario representing the probability that the current kinematical condition will lead to a crash producing serious injuries to the rider. The proposed method involved driving cycles and in-depth crash databases for the tuning phase of the algorithm thus providing an objective base for the risk evaluation.

## Analysis through simulations

The  $Risk1$  parameter (risk for collision) of the proposed algorithm was tested with the use of PreScan, a software tool for the simulation in virtual environment of advanced driving and riding assisting systems. The test scenario consisted in a straight and plane road, the PTW following a car at a variable longitudinal range. The LV (car) and the PTW had an initial speed of respectively  $v_{l0}$  and  $v_{ptw0}$ , the initial distance being  $L_0$ . The range  $L$  is the distance between the two vehicles during the test run.

The speed profile of the LV was constituted by a first segment at constant speed until time  $t_1$ , an accelerated segment up to speed  $v_{l2}$  achieved at time  $t_2$ , a segment at constant speed up to time  $t_3$  and a braking segment at constant deceleration reaching speed  $v_{l4}$  at time  $t_4$ . In the final segment the LV keeps constant speed  $v_{l4}$  for 20 second until time  $t_{stop}$  representing the end of the test in the case the collision did not take place (Figure 3).

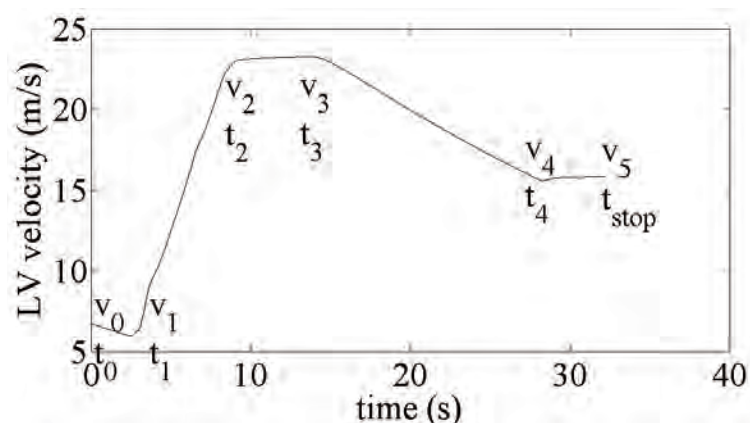


Figure 3. LV speed profile

In every simulation the test parameters were randomly chosen within a certain range and with a defined variability. The final set of simulations was analyzed to extract the specific drive cycle.

The PTW was controlled using a behavioural car following controller by Gipps et al. [20]. The model proposed by Gipps was validated for passenger cars and currently it is implemented in many simulators, e.g. Getram and Aimsum. Gipps proposed plausible values for the tuning parameters of the controller (in particular: reaction times and desired speeds), although they were oriented to four wheeled vehicles. The Gipps model was tuned by the authors for the PTW application using the values obtained from PTW naturalistic studies [14-16].

In the control model, two different situations are considered: free drive and car following. In free drive, the PTW is not influenced by the LV and the controller accelerates the PTW trying to reach the desired speed using a predetermined acceleration. In car following the dynamic of the PTW is influenced by speed and acceleration of LV and the range between the two vehicles. The controller regulates the PTW speed to keep the appropriate safety distance. At every time step the speed values of both free driving and car following are computed and the lower will be the target speed for the PTW. The controller tries to keep the desired speed as long as the LV is far and then slows down the PTW trying to keep a safe distance from the LV.

The inputs of the Gipps model needs are  $L$ ,  $v_l$ ,  $v_{ptw}$ , the safe distance  $sf$ , the desired velocity  $v_{des}$ , the desired acceleration  $a_{des}$ , and the maximum deceleration  $b_{max}$ . The output is the PTW target speed at the time  $t + \Delta t$ . The regulation is operated by an additional speed control or acceleration control module. For the latter, the acceleration at time  $t$  can be evaluated using the following equation:

$$a_{ptw} = \frac{v_{ptw}(t + \Delta t) - v_{ptw}(t)}{\Delta t}$$

Simulations were conducted with at a sample time of 20 Hz. A number of 10000 different test runs in car following scenario were simulated. Two different rider behaviours were tested: an aggressive rider and a conservative rider. The two riding styles were tested for the same kinematic scenarios (5000 runs).

Type 1 rider represents a young aggressive rider. The desired speed is higher and the desired safe margin is shorter than Type 2 rider. The reaction time was set to 0.7 s (attentive rider). Type 2 represents an mature rider and the reaction time was set to 1 s. The details of the two types of riders are given in Table 3.

Table 3. Rider types

Rider	Type 1	Type 2
Reaction time (s)	0.7	1
Safe margin (m)	0	10
Desired acceleration	3.5	2.5
Initial velocity (m/s)	10	2.5
Max deceleration (m/s <sup>2</sup> )	-5	-5



The *Risk1* algorithm was also adapted for the test purposes. Since the swerving manoeuvre is not allowed in the simulations (the PTW can avoid the collision with the LV only by braking), the risk function considers the sole reference distance  $d_{br}$ . Concerning the probability of a certain deceleration of the LV, the risk algorithm was tuned using the specific driving cycle of the test set. For the purposes of the investigation, the speed profile of the LV was created assuming an aggressive behaviour with high deceleration values, with the aim to produce a relevant number of crashes. Both behavioural car following model and risk algorithm were implemented in Simulink to interact with the PreScan simulation environment.

## Results and discussion

Analyzing the risk trend of a typical test run, two peaks of risk1 are generally reported, corresponding respectively to the phase A in which the PTW initially approaches the LV and to the phase B in which the LV is braking. The collisions obtained in the test runs were recorded with the additional information regarding the phase in which the collision took place.

A first result is that the risk1 value equal to 100% was reached only prior to collision and no collision took place without the risk1 level reaching 100%.

For every run, the risk level peaks in phase A and B were recorded. The maximum risk levels were clustered into different classes to check the percentage of test runs where a collision actually took place for each class of risk1. The analysis was conducted for Type 1 and Type 2 riders. In Table 6 the results are shown.

As expected, Type 1 rider was involved in more accidents than Type 2. In general, the risk1 values are higher for Type 1. The number of crashes in phase B was greater for Type 2 rider. The reason is two-fold. Firstly, the reaction time of Type 2 is greater. Secondly, the phase B is missing for those runs in which the collision took place, therefore the number of runs including the phase B is smaller for Type 1 rider.

The accordance between the risk of collision (probability of a crash) and the percentage of crashes in phase B using the proposed risk assessment algorithm is high. At the beginning of part B the PTW controller is already in car following condition and  $v_{ptw}$  is controlled in accordance with LV speed changes. Each one of the risk classes predicts the number of accident with accuracy (Tables 4, 5). The result supports the selection of a linear relationship between range and reference distance in the risk algorithm.

Table 4. Results of the simulation tests for Type 1 and Type 2 rider in phase B. The number expected collisions due to the number of events where the risk at peak was above the threshold values is close to the number of actual collisions.

Type 1: Aggressive rider. Phase B			
Risk1 at peak	Number of events	Expected collisions	Actual collisions
>= 5%	1281	64	
>= 10%	635	64	
>= 20%	247	49	56
>= 50%	106	53	

Type 2: Mature rider. Phase B			
Risk1 at peak	Number of events	Expected collisions	Actual collisions
>= 5%	1637	82	
>= 10%	802	80	
>= 20%	420	84	89
>= 50%	196	98	

Analyzing part A, the accordance between the probability of crash and the percentage of collision is low and especially for low risk classes. This result is influenced by the car following controller, which produced discontinuous behaviours of the PTW while passing from free ride to car following condition. The variations in the control outputs of the controller were greater when the initial difference between  $v_{ptw}$  and  $v_l$  was high. The controller was set to very aggressive behaviour in free drive conditions in order to obtain a relevant number of simulated crashes. In fact, only in few cases (36 out of 5000 runs) Type 1 rider reported 0% of maximum risk level in part A. The inaccuracy of the prediction is significantly smaller for Type 2 rider having lower initial and desired speed.

The time  $t_c$  to achieve 100% of *Risk1* parameter in case of a crash was also investigated. The time  $t_c$  was measured as the interval between the time instant when level risk reached a threshold rate  $\alpha=5/s$  and the time instant when the risk1 reached 100%. For Type 1 rider the medium time of risk growth  $t_c$  is 3.4 s. For Type 2 rider  $t_c$  was 4.5 s. According to the results, the *Risk1* parameter represented the probability for the PTW to collide with LV in the next few seconds.

## Conclusions and further development

A method to evaluate the injury risk while riding a PTW in car following scenario was presented. The proposed risk algorithm includes a first parameter providing the probability for the PTW to collide with the LV in the following 3-5 seconds. The probability of collision takes account of objective data coming from mean driving cycles. The algorithm also computes the probability that the possible accident will lead to severe injuries for the rider. This probability takes account of objective data coming from crash investigations, although the paper did not present a thorough study of the correlation be-

tween pre-crash kinematic parameters and injury severity outcome. A method for the correlation between impact speed and injury level was indicated and implemented in the risk algorithm. The combination of the collision probability and the injury probability in case of collision produced a risk parameter evaluating the probability that the rider will sustain serious injuries due to a crash in the following 3-5 s.

The collision risk parameter (*Risk1*) was analyzed through simulated experiments reproducing 10000 test runs of car following scenario along a straight road. The tests were performed using the PreScan software. The results of the simulations showed that the collision risk parameter evaluated the probability of collision with accuracy.

A possible application of the proposed risk algorithm is a new generation of warning systems where the riders could set their own threshold of (objective) injury risk before receiving a warning from the system. Each rider will choose the maximum accepted risk. The riding style could be modified accordingly, to keep the injury risk within the accepted limit.

The present work is a first attempt towards objective risk assessment while riding a PTW. This paper described a risk algorithm to provide an exemplification to implement the objective injury risk evaluation. Further research is needed to investigate the reliability of the collision risk parameter (*Risk1*), especially when the swerve manoeuvre is included. Particular focus should be given also to the influence of the rider experience. The authors also recommend further studies of the PTW in-depth databases to investigate the correlation between kinematical parameters and injury severity which is fundamental for the definition of the injury risk parameter (*Risk2*) used in the objective injury risk algorithm.

## References

- [1] Y. Fulita, K. Akuzawa, M. Sato, "Radar brake system," in Proceedings of the 1995 annual meeting of ITS America, vol.1, Washington D.C., USA, pp. 95-101 (1995).
- [2] R. Kiefer, D. LeBlanc, M. Palmer, J. Salinger, R. Deering, M. Shulmann, "National Highway Traffic Safety Administration NHTSA Forward Collision Warning Requirements Project Final Report – Task 1," U.S. Department of Transportation, USA (2003).
- [3] A.R.A. van der Horst, "A time-based analysis of road user behavior in normal and critical encounters," Delft University of Technology (1990).
- [4] Yizhen Zhang, Erik K. Antonsson and Karl Grote "A New Threat Assessment Measure for Collision Avoidance Systems," California Institute of Technology (2006).
- [5] E. Bertolazzi, F. Biral, M. Da Lio "Future advanced driver assistance systems based on Optimal Control: the influence of risk functions on overall system behavior and on prediction of dangerous situations," 2004 IEEE Intelligent Vehicles Symposium.
- [6] C. Ameling, A. Kirchner, "The electronic copilot for an autonomous vehicle state of development," Proceedings of the IEEE 2000.
- [7] M. Brannstrom, E. Coelingh, J. Sjoberg, "Model-based threat assessment for avoiding arbitrary vehicle collisions," IEEE transactions on intelligent transportation systems, vol 11, no. 3, September 2010.
- [8] Injury scale system, [ntuh.sicu.org.tw/upload/CASE](http://ntuh.sicu.org.tw/upload/CASE).
- [9] A. Pitidis, "I linguaggi del trauma: descrizione, gravità e valutazione d'esito," Istituto Superiore Sanità di Roma, Italy (2003).
- [10] ACEM European Association of motorcycles Manufacturers Database MAIDS (2001).
- [11] M. Montazeri-Gh e M. Naghizadeh, "Development of car drive cycle for simulation of emissions and fuel economy," Proceedings 15th European Simulation Symposium Alexander Verbraeck, Vlatka Hlupic (Eds.) SCS European Council (2003).
- [12] M. André, "The ARTEMIS European driving cycles for measuring car pollutant emissions," Science of the Total Environment 334 – 335 (2004).
- [13] NHTSA Technical report, "Development and validation of functional definitions and evaluation procedures for collision warnings/avoidance systems," DOT HS 808 964, August 1999.

- [14] R.J. Kiefer, D.J. LeBlanc, C.A. Flannagan, “Developing an inverse time-to-collision crash alert timing approach based on drivers’ last-second braking and steering judgments,” General Motors Structure and Safety Integration Center e University of Michigan Transportation Institute (2005).
- [15] K. Vavryn and M. Winkelbauer, “Braking performance of experienced and novice motorcycle riders—results of a field study,” in *4th International Conference on Traffic and Transport Psychology*, vol. 1 (2004).
- [16] J. Muttart et al., “Influence of riding experience on glance behavior, brake response time and deceleration rates by drivers and motorcyclists,” Proceedings of the Sixth international driving symposium on human factors in driver assessment, Training and Vehicle Design.
- [17] G. Savino, M. Pierini, and N. Baldanzini, “Decision Logic of an Active Braking device for Powered Two Wheeler application,” Proceedings of the Mechanical Engineering Institution - Part D - Journal of Automobile Engineering, 226(8):1026-1036, 2012.
- [18] F. Giovannini, G. Savino, M. Pierini, “Influence of the minimum swerving distance on the development of powered two wheeler active braking,” in Proceedings of the 22nd ESV Conference. Washington D.C., DC, USA (2011).
- [19] F. Giovannini, “Studio della Manovra Evasiva d’Emergenza nello Sviluppo di un Sistema di Frenata Automatica per Veicoli a Due Ruote,” Master Thesis, University of Florence, Italy (2010).
- [20] P. G. Gipps , “A behavioural car-following model for computer simulation,” Transportation Research Part B. Vol. 15B, pp. 105-111 (1981).

## **The Requirements of Future Pollutant Limit Stages**

### **Die Anforderungen zukünftiger Schadstoff-Grenzwertstufen**

Dipl.-Ing. Ralf Johannsen

TÜV NORD Mobilität GmbH & Co. KG

## **Abstract**

According to a proposal to the European Parliament and the Council the next mandatory pollutant limit stage (Euro 4) for new motorcycle types (class L3e) is planned for January the 1<sup>st</sup>, 2014. For the motorcycle industry that means the implementation of new components for reducing the exhaust emissions (e.g. activated carbon canister), the development of new systems (e.g. onboard diagnostic) and advanced or new test procedures. The presentation shows the tasks, which have to be faced in future by the manufacturer.

## Kurzfassung

Nach einem Vorschlag an das Europäische Parlament und des Rates ist die nächste verbindliche Schadstoff-Grenzwertstufe (Euro 4) für neue Motorradtypen (Klasse L3e) zum 01. Januar 2014 geplant. Für die Motorradindustrie bedeutet das die Einbindung neuer Bauteile zur Reduzierung der Schadstoff-Emissionen (z.B. Aktivkohlebehälter), die Entwicklung neuer Systeme (z.B. Onboard-Diagnose) und erweiterte oder neue Prüfverfahren. Der Vortrag behandelt die Aufgaben, denen sich die Hersteller in Zukunft stellen müssen.



## Die Anforderungen zukünftiger Schadstoff-Grenzwertstufen

## Inhalt

1. Hintergrund
2. Entwicklung der Fahrzyklen
3. Verschärfung der Grenzwerte für Kategorie L3e
4. Neue Anforderungen für Krafträder in Europa
  - 4.1 On-Board-Diagnosesystem (OBD)
  - 4.2 Verdunstungsemissionen
  - 4.3 Dauerhaltbarkeit

# 1 Hintergrund

Durch die Verschärfung der Grenzwerte im Pkw und Lkw-Bereich steigt der Anteil der Emissionen durch Krafträder an den Gesamtemissionen des Straßenverkehrs. Im derzeitigen Typprüfverfahren werden neue Technologien nur unzureichend erfasst und Prüfverfahren zu weiteren emissionsrelevanten Bereichen nicht berücksichtigt.

Nach einem Vorschlag an das Europäische Parlament und des Rates ist die nächste verbindliche Schadstoff-Grenzwertstufe (Euro 4) für neue Motorradtypen der Klasse L3e zum 01. Januar 2014 geplant.

Für die Motorradindustrie bedeutet das die Einbindung neuer Bauteile zur Reduzierung der Schadstoff-Emissionen (z.B. Aktivkohlebehälter), die Entwicklung neuer Systeme (z.B. Onboard-Diagnose) und erweiterte oder neue Prüfverfahren.

# 2 Entwicklung der Fahrzyklen

Mit der Richtlinie 2006/72/EG vom 18. August 2006 wurde als Alternative zum Neuen Europäischen Fahrzyklus (NEFZ) ein neuer Fahrzyklus mit eigenen Grenzwerten eingeführt.

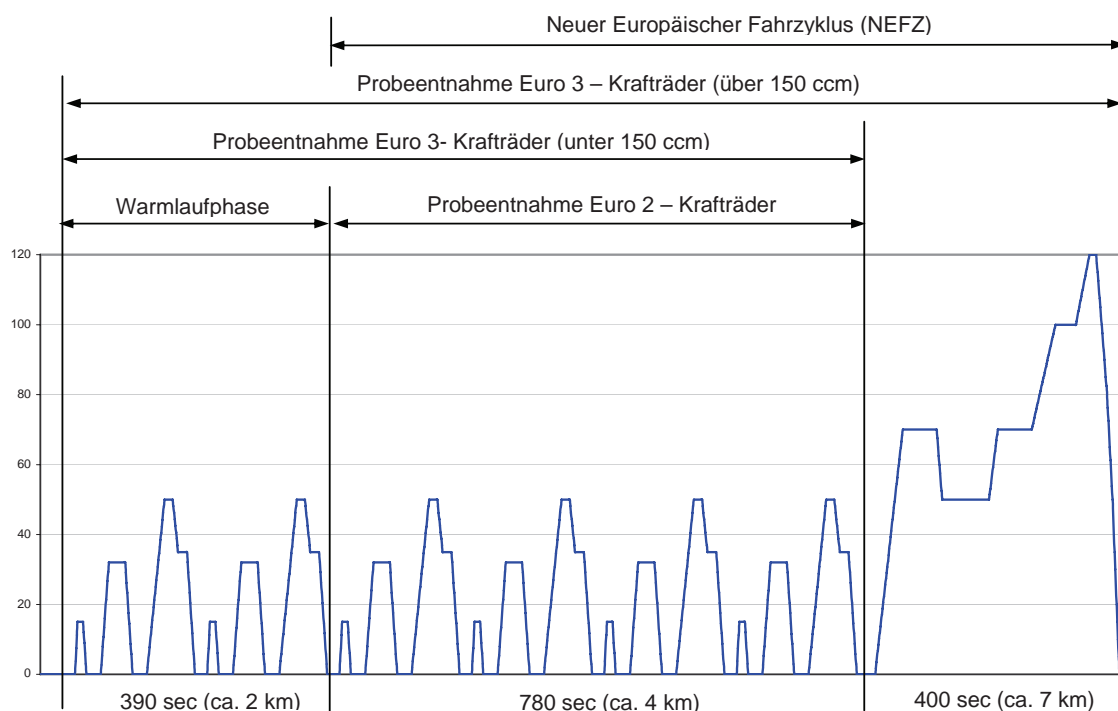
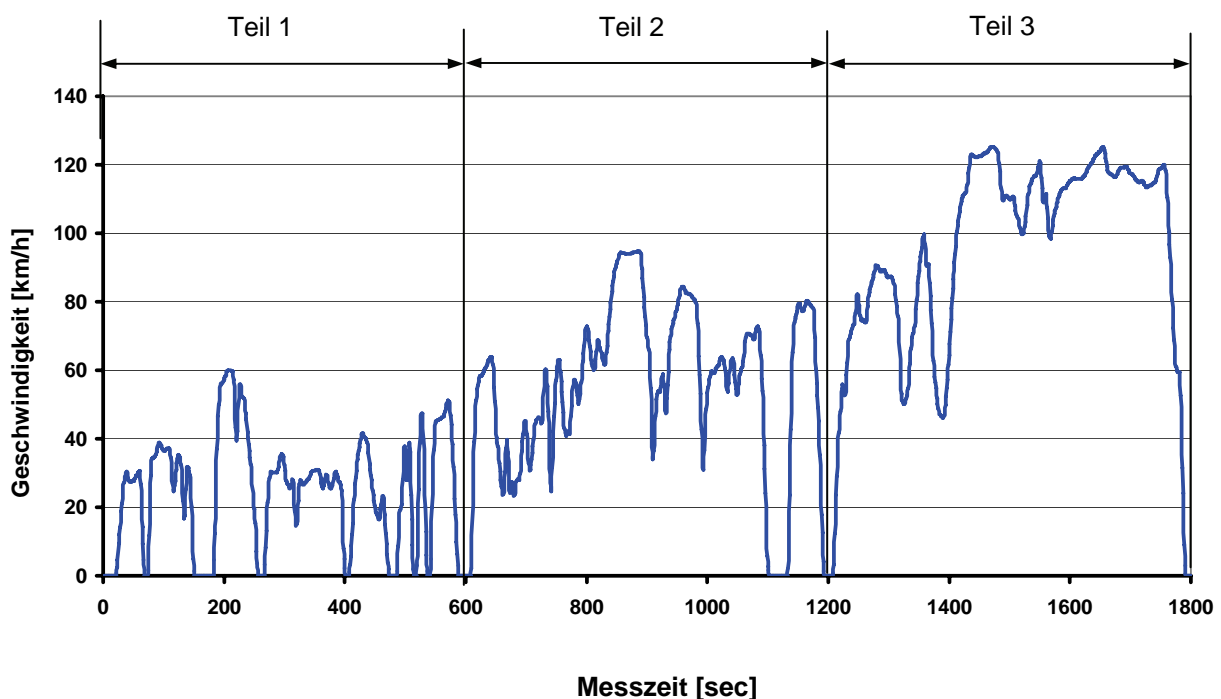


Bild 1: Vergleich Fahrzyklen Euro 2- / Euro 3 – Krafträder und Pkw (NEFZ)

Der sogenannte **WMTC** (**World-Wide Harmonised Motorcycle Emissions Test Procedure**, siehe **Bild 2**) wurde aus einer Vielzahl von Fahrversuchen ermittelt, um die Realität besser abbilden zu können und um das Typprüfverfahren anzupassen.

**Bild 1** zeigt die Entwicklung des Typprüfzyklus für Krafträder (Klasse L3e) von Euro 2 nach Euro 3 und im Vergleich zum Pkw.

Die Schaltpunkte werden beim WMTC dem Fahrzeug angepasst. Die Leistung, der nutzbare Drehzahlbereich und die Getriebeübersetzungen in den einzelnen Gängen werden herangezogen, um die Schaltpunkte zu errechnen und in die Fahrkurve zu übertragen.



*Bild 2: WMTC (World-Wide Harmonised Motorcycle Emissions Test Procedure)*

### 3 Verschärfung der Grenzwerte für Kategorie L3e

Die Entwicklung der Grenzwerte der limitierten Schadstoffe bei Krafträdern ist nicht vergleichbar mit der Entwicklung beim Pkw. Den Krafträdern wurde im Bereich Emissionen keine große Bedeutung zugesprochen. Aber die Verschärfung der Anforderungen beim Pkw hat bewirkt, dass auch die Krafträder trotz geringerer Anzahl und Kilometerleistung als Belastung beim Thema Luftreinhaltung betrachtet werden müssen. Aus diesem Grund kommt es zu einer Anpassung an die technische Entwicklung und das Schadstoff-Niveau von Pkw. **Tabelle 1** zeigt die derzeit gültigen Anforderungen an das Emissionsverhalten der zweirädrigen Krafträder und den Vorschlag der Kommission für zukünftige

Grenzwertstufen. Für die Hersteller bedeutet das ein neuer Anforderungskatalog. Motorräder haben nicht die gleichen Voraussetzungen, um technische Möglichkeiten umzusetzen. Einflüsse auf das Fahrverhalten, Optik und Kosten der weitaus geringeren Stückzahlen müssen umgesetzt werden.

Tabelle 1: Bestehende und geplante Grenzwerte limitierter Schadstoffe für die Kategorie L3e

Antriebsklasse	Euro-Norm	CO [mg/km]	THC [mg/km]	NOx [mg/km]	PM	Prüfzyklus
I (< 150 ccm)	Euro 2	5500	1200	300	-	NEFZ – Euro 2 **
II (≥ 150 ccm)		5500	1000	300	-	
I (< 150 ccm)	Euro 3 (seit 01.01.2006)	2000	800	150	-	NEFZ – Euro 3 **
II (≥ 150 ccm)		2000	300	150	-	
v <sub>max</sub> ≥ 130 km/h		2620	750	170	-	WMTC, Phase 2
v <sub>max</sub> ≤ 130 km/h		2620	330	220	-	
PI, v <sub>max</sub> ≥ 130 km/h	Euro 4 (01.01.2014)*	1970	560	130	-	
PI, v <sub>max</sub> ≤ 130 km/h		1970	250	170	-	
CI / Hybrid		1000	100	570	100	
PI, v <sub>max</sub> ≥ 130 km/h	Euro 5 (01.01.2017)*	1140	380	70	-	
PI, v <sub>max</sub> ≤ 130 km/h		1140	170	90	-	
CI / Hybrid		1000	100	300	80	

\*) verbindlich für neue Fahrzeugtypen

\*\*) siehe Bild 1

## 4 Neue Anforderungen für Krafträder in Europa

### 4.1 On-Board-Diagnosesystem (OBD)

Im Bereich der Pkw sind die Anforderungen an ein On-Board-Diagnosesystem seit Jahren auf einem sehr hohen Niveau. Bei Krafträdern wurde das in Europa noch nicht gefordert. OBD-Systeme erfordern eine Zahl von zusätzlichen Sensoren und ein Motorsteuergerät (ECU), das bei einigen Motorradtypen noch nicht erforderlich war.

**Tabelle 2** zeigt die geplanten Emissions-Grenzwerte für die OBD-Systeme. Im Bereich der Typprüfung verursachen OBD-Prüfungen einen hohen Zeitaufwand.

Tabelle 2: Emissions-Grenzwerte für OBD-Systeme Euro 4 (OBD I) und Euro 5 (OBD I und II)

Antriebsklasse	Euro-Norm	CO [mg/km]	THC [mg/km]	NOx [mg/km]	PM	Prüfzyklus
PI, v <sub>max</sub> ≥ 130 km/h	Euro 4	2170	1400	350	-	WMTC (überarbeitet)
PI, v <sub>max</sub> ≤ 130 km/h		2170	630	450	-	
CI / Hybrid		2170	630	900	-	
PI, v <sub>max</sub> ≤ 130 km/h	Euro 5	1900	250	300	50	
CI / Hybrid		1900	320	540	50	

## 4.2 Verdunstungsemissionen

Emissionen unverbrannter Kohlenwasserstoffe (HC) durch Tankverdunstung werden z.B. in den USA schon länger gefordert. Auch da haben Hersteller eine Möglichkeit gefunden, den nötigen Aktivkohlefilter und das Spülventil trotz des begrenzten Platzangebots unterzubringen. Bei der Kommission wird bei der Einführung zusätzlicher Bauteile eine Kosten-/Nutzen-Abschätzung angestrebt.

**Tabelle 3** zeigt den Grenzwert, der mit Euro 5 eingeführt werden soll und dem gültigen Wert im Typprüfverfahren für Pkw entspricht.

*Tabelle 3: Grenzwerte für Verdunstungs-Emissionen für Klasse L3e*

Antriebsklasse	Euro-Norm	THC [mg / Test]	Prüfzyklus
PI	Euro 5	2000	SHED

## 4.3 Dauerhaltbarkeit

Wenn ein Krafrad das Typprüfverfahren erfolgreich absolviert hat, gibt es keine Überprüfung der Dauerhaltbarkeit emissionsrelevanter Bauteile. Im Bereich Pkw müssen die Hersteller eine Dauerhaltbarkeit von 160.000 km (Euro 5) garantieren. Da es kaum Werte gibt, die bei der Gestaltung der Laufleistungen oder der Verschlechterungsfaktoren herangezogen werden können, kann man nur versuchen, einen Vergleich zum Pkw herzustellen oder auf Daten aus Studien oder von Herstellern zu vertrauen. Sobald genügend Daten nach Einführung der Richtlinie gesammelt wurden, können die Laufleistungen und die Verschlechterungsfaktoren angepasst werden.

**Tabelle 4** zeigt die vorgeschlagenen Laufleistungen zur Dauerhaltbarkeit und **Tabelle 5** die Verschlechterungsfaktoren, die mit den Testergebnissen der einzelnen limitierten Schadstoffe multipliziert werden. Der Hersteller kann auch eigene Faktoren ermitteln, was aber mit hohem Aufwand verbunden ist.

*Tabelle 4: Dauerhaltbarkeit nach Laufleistung bei Fahrzeugen der Klasse L3e*

Kategorie L3e	Euro 4	Euro 5	Euro 6
$v_{\max} \geq 130$ km/h	18.000 km	20.000 km	30.000 km
$v_{\max} \leq 130$ km/h	30.000 km	35.000 km	50.000 km

*Tabelle 5: Verschlechterungsfaktoren für die Klasse L3e*

Euro 4				Euro 5			
CO	HC	NOx	PM	CO	THC	NMHC	NOx
1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	1,1	1,1	1,1

**The ISO 26262 for motorcycles**  
**Experiences with the implementation for BMW Motorrad**

**Die ISO 26262 für Motorrad**  
**Erfahrungen bei der Umsetzung bei BMW Motorrad**

Klaus Werkmeister & Holger Englisch

BMW Motorrad

## Abstract

The ISO 26262 is currently valid for production vehicles up to 3,5t, and is applied primarily in the automotive sector. It was officially decided to expand the ISO 26262 to include motorcycles by the ISO Commission in June 2012.

All safety relevant vehicle functions, controlled by electric and electronic components, are to be evaluated by this standard. A development by ISO 26262 evaluates the functional safety hazards of all aforementioned safety relevant vehicle functions.

Based on the risk evaluations, the norm places requirements on the development process and the layout of the technical systems. BMW Motorrad has been developing motorcycles since 2010 in reference to the ISO 26262. BMW Motorrad presents its experiences in:

- BMW Motorrad's alignment to the topic of safety.
- Functions and components that can be affected by the ISO 26262.
- The requirements placed on the development process by the standard.
- The way in which the ISO 26262 was implemented at BMW Motorrad.
- The effects accrued by its use for the development of "electronic throttle control" and "lighting" systems are shown and discussed.

Based on these experiences BMW Motorrad proposes requirements, which must be considered in a future ISO 26262 to include motorcycles.



## Kurzfassung

Die ISO 26262 gilt aktuell für Serienfahrzeuge mit einem Gewicht von bis zu 3,5t und findet hauptsächlich im Automotive Bereich Anwendung. Eine Erweiterung der Norm für Motorräder wurde im Juni 2012 beschlossen.

Bei einer Entwicklung nach ISO 26262 werden alle funktionalen Sicherheitsrisiken, die von elektrischen und elektronischen Fahrzeugfunktionen ausgehen, bewertet.

Basierend auf diesen Risikobewertungen stellt die Norm spezifische Anforderungen an den Entwicklungsprozess und die technische Systemauslegung.

BMW Motorrad entwickelt seit 2010 in Anlehnung an die ISO 26262.

Aufgrund dieser Erfahrungen stellt BMW Motorrad der ifz Konferenz folgende Aspekte zum Thema Funktionssicherheit vor:

- Ausrichtung von BWM Motorrad zum Thema Sicherheit.
- Motorrad-Funktionen, die von der Norm betroffen sein können.
- Anforderungen der Norm an den Entwicklungsprozess.
- Umsetzung der Anforderungen der ISO 26262 durch BMW Motorrad.
- Darstellung und Diskussion der Umsetzung der Anforderungen beispielhaft an den Themen E-Gas und Licht.

Es werden daraus Anforderungen abgeleitet, die in einer zukünftigen motorradspezifischen ISO 26262 berücksichtigt werden sollten.

**Die ISO 26262 für Motorrad**  
**Erfahrungen bei der Umsetzung von BMW Motorrad**

## Einleitung

Die ISO 26262 ist eine Norm, die Anforderungen an den Entwicklungsprozess und die Auslegung von funktionssicherheitsrelevanten elektrischen und elektronischen Fahrzeugfunktionen stellt.

Sie bewertet die von der Funktion ausgehenden Sicherheitsrisiken mittels einer Gefahrenanalyse und Risikobewertung und ordnet diese Risikoklassen zu.

Diese vier Risikoklassen A bis D, werden ASIL (Automotive Safety Integrity Levels) genannt. In Abhängigkeit der ASIL Einstufung stellt die Norm Anforderungen an den sicherheitsgerichteten Entwicklungsprozess und die technische Auslegung.

Die BMW Group verfügt über langjährige Erfahrungen bei der Entwicklung von funktionssicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktionen im Pkw Bereich. Durch die zunehmende Integration elektronischer und elektromechanischer Fahrzeugfunktionen in Motorrädern begann BMW Motorrad bereits 2010 einige relevante Systeme nach ISO 26262 zu entwickeln. Dadurch hat BMW Motorrad heute ein klares Bild dazu, wie die aktuelle ISO 26262 für Motorrad angewendet werden kann, welche Vorteile und Probleme dies mit sich bringen kann, und welche motorradspezifischen Anforderungen in einer zukünftigen ISO 26262 berücksichtigt werden sollten.

## Bekanntnis zur Sicherheit bei BMW

Die Sicherheit beim Motorradfahren nimmt bei BMW Motorrad seit den 70er Jahren eine zentrale Rolle ein. Hierzu verfolgt BMW einen ganzheitlichen Ansatz (Sicherheit 360°), der aus folgenden Themenclustern für die Motorradsicherheit bedient wird.

Erster Themenbereich zur Motorradsicherheit ist die Fahrerausstattung. Hier begann BMW Motorrad bereits 1977 mit der Entwicklung und systematischen Verbesserung der Fahrerschutzausstattung. Was mit der Entwicklung und Erprobung von Helmen begann, wurde kontinuierlich bis heute fortgesetzt. Für Sicherheitsausstattungen, wie Neck Brace Systems zum Schutz der Halswirbelsäule, 3D geformter Rückenprotektoren und Schutzbekleidung, bietet BMW Motorrad eine große Vielfalt in seinem Ausstattungsangebot an.

Zweiter Themenbereich zur Motorradsicherheit ist die Fahrerausbildung. Hier begann BMW Motorrad 1994, additiv zu den durch den Motorradführerschein erworbenen Qualifikationen, Motorradtrainings anzubieten. Dieses Konzept wurde kontinuierlich, u.a. auch auf den im Konzern vorliegenden Erkenntnissen der Unfallforschung basierend, erweitert und ausgebaut. Es wurden fahrzeugspezifische Segmente wie das Enduro Training mit eingebunden.

Dritter Beitragsleister ist die Technologie von sicherheitsunterstützenden Motorradfunktionen. BMW hat als erster Motorradhersteller bereits 1988 ein ABS System für Motorräder entwickelt und am Markt eingeführt. Dieses System wurde kontinuierlich verbessert und wird heute in allen Produkten als Standard angeboten. BMW Motorrad ist, beginnend mit dem Modelljahr 2013, der erste Hersteller der drei Jahre vor Inkrafttreten der gesetzlichen Verpflichtung ABS serienmäßig in allen seinen Modellen verbaut.

Für viele Regelsysteme wie Traktionskontrollen, Fahrwerksregelsysteme oder die Fahrzeugsicherheit verbessernde Lichtsystem ist BMW Innovationsführer.

Dieses bei BMW Motorrad gelebte Prinzip „Sicherheit 360°“ ist Ausdruck der unternehmerischen Verantwortung gegenüber unseren Kunden. Für den Umfang „Technologie der sicherheitsrelevanten Fahrfunktionen“ stellt die ISO 26262 ein Regelwerk zu sicherheitsgerichteter Entwicklung dar. Mit der Erweiterung der ISO 26262 auf Motorrad besteht die Option, einen allgemein gültigen Standard für die Entwicklung und technische Auslegung von sicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktionen bei Motorrad zu schaffen.

Die ISO26262 leistet somit einen wichtigen Beitrag zur Produktsicherheit.

## Potenziell betroffene Fahrzeugkomponenten und Systeme

Die ISO 26262 ist zukünftig auf alle sicherheitsrelevanten elektronischen Fahrzeugkomponenten anzuwenden. Eine Übersicht über die potenziell betroffenen Systeme bei einem großen Reisetourer zeigt Bild 1.



Bild 1: Übersicht der von der ISO 26262 potenziell betroffenen Fahrzeugfunktionen am Beispiel eines großen Reisetourers.

## Forderungen der aktuellen Norm ISO 26262

Die ISO 26262 macht Vorgaben für die Entwicklung von sicherheitsrelevanten elektronischen Fahrzeugkomponenten. Sie fordert die Bewertung von Risiken, die von funktionssicherheitsrelevanten Fahrzeugfunktionen ausgehen. Die ISO 26262 leitet Anforderungen ab, die risikoabhängig an die Entwicklung und technische Auslegung dieser Fahrzeugfunktionen zu stellen sind.

### Risikobewertung

Zur grundlegenden Risikobewertung wird die von der Norm vorgegebene Gefahrenanalyse und Risikobewertung angewendet. Hierzu wird für den Fehlerfall der ASIL (Automotive Safety Integrity Level) als Einstufung für die funktionssicherheitsrelevante Fahrzeugfunktion ermittelt. Dies wird mittels drei Parametern durchgeführt.

#### S (Schadensausmaß):

Das Schadensausmaß klassifiziert die durch den Ausfall des Systems auftretenden Personenschäden.

Bewertungsschema:

- S0: keine Verletzungen
- S1: leichte Verletzungen
- S2: lebensgefährliche Verletzungen
- S3: tödliche Verletzungen

Die Bewertung des Schadensausmasses orientiert sich an den in der Unfallforschung üblichen AIS Klassifizierungen (Abbreviated Injury Scale). Erkenntnisse der BMW Unfallforschung fließen hier bei der Bewertung mit ein.

#### E (Exposition):

Die Exposition beschreibt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer sicherheitskritischen Situation für einen Fehlerfall. Hierbei wird die Auftretenswahrscheinlichkeit in Kombinatorik mit Parametern wie Geschwindigkeit, Straßenverhältniss, fahrdynamischer Zustand usw. bewertet.

Bewertungsschema:

- E1: sehr selten
- E2: <1% Betriebszeit
- E3: 1% -10% der Betriebszeit
- E4: >10% der Betriebszeit

Eine Bewertung von „E“ wird bei BMW durch die Datenauswertungen der Fahrzeugerprobung und der kundennahen Tests gestützt.

### C (Kontrollierbarkeit):

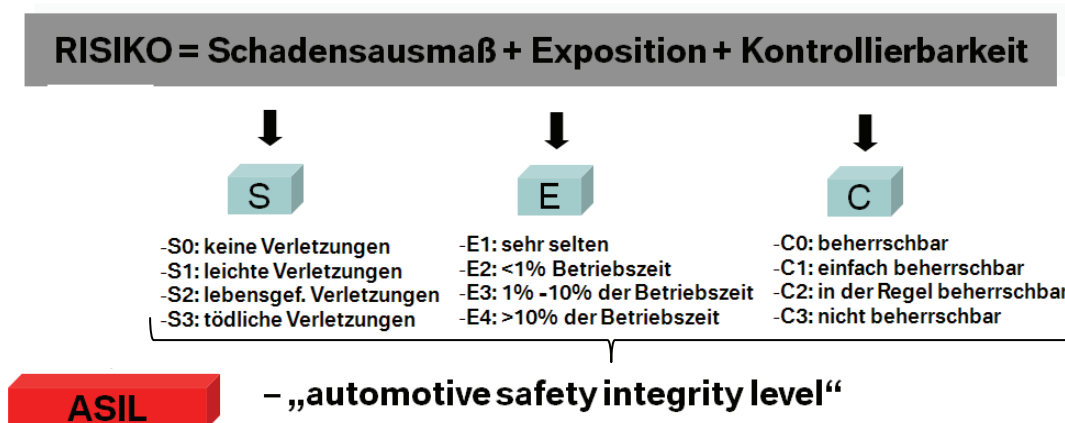
Die Bewertung der Kontrollierbarkeit beschreibt die Möglichkeit, im Fehlerfall ein Risiko durch geeignete Fahrerreaktionen zu beherrschen und abzuwenden.

Bewertungsschema:

- C0: beherrschbar
- C1: einfach beherrschbar
- C2: in der Regel beherrschbar
- C3: nicht beherrschbar

Eine Bewertung der Kontrollierbarkeit basiert bei BMW Motorrad auf den Erkenntnissen von Instruktoren der Fahrerqualifikation und des Sicherheitstrainings.

Aus der Aufsummierung der drei Risikoeinstufungen ergibt sich die ASIL-Risikoklasse.



→ ASIL- Klassen **A, B, C und D** (A = niedrigste Einstufung).

Bild 2: Schematische Darstellung einer Risikobewertung nach Norm.

Diese Risikobewertung bildet die Basis für alle weiteren Anforderungen der ISO 26262 an den Entwicklungsprozess und die technische Auslegung der funktions sicherheitsrelevanten Komponenten.

### Sicherheitsgerichtete Entwicklung

Auf Grundlage der Risikobewertung stellt die ISO 26262 Anforderungen an eine sicherheitsgerichtete Funktionsentwicklung und technische Auslegung.

## Funktionssicherheitsprozess:

Dies beinhaltet die Erstellung von ASIL abhängigen Arbeitsprodukten wie z.B.:

- Sicherheitsprogrammplänen (SPP)
- funktionalen und technischen Sicherheitskonzepten
- Fehlerbaumanalysen (FTA)
- Fehler- Möglichkeiten- und Einflussanalysen (FMEA), usw.

Darüber hinaus sind die Arbeitsergebnisse im Rahmen von Reviews und Assessments zu prüfen.

## Sicherheitsanforderungen an die technische Auslegung

Bezüglich der technischen Systemauslegung stellt die Norm, abhängig von der ASIL-Bewertung, Anforderungen an die Auslegung der funktionssicherheitsrelevanten Funktionen wie z.B.:

- Restfehlerrate
- Redundanzen bei HW/ SW Überwachung
- kritische Erstfehler
- schlafende Fehler, usw.

ASIL	Normative Anforderung an den methodischen Aufwand	Normative Anforderung an die technische Auslegung
A	FuSi Prozess nach Normanforderung	Keine
B	Wie ASIL A zusätzlich Reviews, Tests etc.	<b>Empfohlen Fehlererkennung:</b> -Restfehlerrate (FIT) $< 10^{-7}/h$ -Kritische Erstfehler $\geq 90\%$ -Schlafende Fehler $\geq 60\%$
C	Wie ASIL B zusätzlich Fehlerbaumanalysen, etc.	<b>Geforderte Fehlererkennung:</b> -Restfehlerrate (FIT) $< 10^{-7}/h$ -Kritische Erstfehler $\geq 97\%$ -Schlafende Fehler $\geq 80\%$
D	Wie ASIL C	<b>Gefordert Fehlererkennung:</b> -Restfehlerrate (FIT) $< 10^{-8}/h$ -Redundanzen bei HW/ SW Überwachung -Kritische Erstfehler $\geq 99\%$ -Schlafende Fehler $\geq 90\%$

\* Stark vereinfachte Zusammenfassung der ISO 26262 Anforderungen

*Bild 3: Stark Vereinfachte Darstellung der normativ geforderten Anforderungen abhängig vom ASIL.*

Die Umsetzung dieser normativen Anforderungen macht es notwendig den Funktionssicherheitsprozess im Fahrzeugentwicklungsprozess zu integrieren.





Beispielhaft für die Fahrsituation in der der Fehler auftreten kann, wird folgende Situation bewertet:  
Landstraße, mittlere Geschwindigkeit 50-100 km/h.

Für die Risikobewertung ergibt sich somit:

**S (Schadenausmaß):**

Die o.g. Fehlersituation Landstraße ist im Fahrbetrieb mit Geschwindigkeiten von 50 – 100 km/h verbunden. Aus den Unfallstatistiken zeigt sich, dass ein Sturz bei diesen Geschwindigkeiten häufig mit lebensbedrohlichen bis tödlichen Verletzungen verbunden ist. Dazu kommt bei Fahrsituationen auf der Landstraße das Risiko von Kollision mit Straßenbegrenzungen oder entgegenkommenden Fahrzeugen hinzu. Somit kommt es zu folgender Einstufung des Schadenausmaßes:

Schadenausmaß	S0	S1	S2	S3
Verletzungen	keine	leicht bis mäßige	lebensgefährlich, überleben wahrscheinlich	lebensbedrohlich bis tödlich

**S: S3 → lebensgefährliche Verletzungen, tödlich  
...Leitplanken, Gegenverkehr**

**E (Exposition):**

Die o.g. Fehlersituation Landstraße tritt im Fahrprofil häufig auf. Dementsprechend ist ein Anteil an der Betriebsdauer von > 10 % anzusetzen. Abgeleitet werden diese Zahlen von den bekannten Daten der Dauerläuferprobung und der Kundennutzungsprofile. Entsprechend den Vorgaben der Norm ist hier auch eine Expertenabschätzung möglich. Somit kommt es zu folgender Einstufung der Exposition:

Exposition	E1	E2	E3	E4
Aufenthaltswahrscheinlichkeit in der Ausgangssituation	sehr selten	selten, <1% der Betriebszeit	manchmal, 1%-10% der Betriebszeit	häufig, > 10% der Betriebszeit

E: E4 → häufig

**C (Kontrollierbarkeit):**

Kommt es im betrachteten Funktionsumfang zu einem Fehler, dann ist zu bewerten, inwieweit der Fahrer noch Maßnahmen zu Gefahrenabwehr umsetzen kann. Es besteht in diesem Fall die Möglichkeit, dass man, um dem Selbstbeschleuniger entgegen zu wirken, auskuppelt oder durch Betätigung

des Notaus-Schalters die Zündung unterbricht. Ob die Reaktionszeit hier ausreicht ist modellspezifisch zu bewerten, da diese von der Motorenleistung, der Auslegung des Antriebsstranges und dem Übungsgrad des Fahrers abhängig ist. Eine Expertenbewertung ist hier nach Norm zulässig.

In diesem Fall kommt es zu folgender Einstufung der Kontrollierbarkeit:

Kontrollierbarkeit	C0	C1	C2	C3
Gefahrenabwehr außerhalb des techn. Systems	immer beherrschbar	einfach beherrschbar	i.d.R. beherrschbar	schwer/ nicht beherrschbar

**C: C2 → i.d.R. beherrschbar...bremsen, auskuppeln, Notaus**

Durch Addition dieser Bewertungsparameter E 4, S 3 und C 2 ergibt sich nach ISO 26262 folgende ASIL Einstufung:

#### ASIL Bewertungsvorgaben

E+C+S	→ ASIL
≤6	QM*
7	A
8	B
9	C
10	D

\* QM-Prozeß ist anzuwenden!

Der E-Gas Fehler „die Drosselklappe ist weiter geöffnet als vom Fahrer gewünscht (Selbstbeschleunigung) in Verbindung mit der Beispielsituation „Landstraße, mittlere Geschwindigkeit, 50-100 km/h“ ist somit als ASIL C bewertet.

Hieraus ergeben sich die nach Norm umzusetzenden technischen Anforderungen.

#### Funktionssicherheitskonzept

Das nach ASIL C in der BMW S 1000 RR umgesetzte E-Gas Konzept wurde wie folgt aufgebaut:

Die Sensoren für den Fahrerwunsch und die Drosselklappenposition sind mit zwei Signalkanälen ausgeführt.

Die Signalkanäle werden in der Motorsteuerung geprüft und plausibilisiert.

Das Motorsteuergerät wird über ein 3-Ebenen-Modell überwacht:

Ebene 1 = Funktionsebene

Ebene 2 = Überwachungsfunktion

Ebene 3 = Hardwareüberwachung des  $\mu$ Controller

Damit ist sichergestellt, dass alle relevanten Systemfehler mit hoher Abdeckung erkannt und beherrscht werden. Notwendiger Bestandteil bei der Entwicklung des Funktionssicherheitskonzeptes sind die von der Norm geforderten Analysemethoden sowie die transparente Dokumentation mit begleitenden Reviews.

In der Kombination aus Maßnahmen auf Prozess-Ebene (systematische Fehler) und Maßnahmen auf Produktebene (zufällige Fehler) ist sichergestellt, dass alle sicherheitsrelevanten Fehler der Fahrzeugfunktion sicher beherrscht werden.

### Technisches Sicherheitskonzept

Das technische Sicherheitskonzept beschreibt den Aufbau und die Architektur des Sicherheitssystems.

Hier sind die normativen Anforderungen in den Komponenten umzusetzen und geeignete Tests zu definieren.



Bild 5: BMW S 1000 RR, schematische Darstellung des E-Gas Konzeptes.

## **Bestätigungsphase**

Die in der Konzeptphase entwickelten funktionalen und technischen Sicherheitskonzepte werden in der Bestätigungsphase durch Tests auf Komponenten-, System- und Fahrzeugebene überprüft und damit die Zielerreichung der nach ASIL C entwickelten Funktion bestätigt.

Wichtiger Bestandteil der Bestätigung ist hier die Ermittlung der Fehlerreaktionszeiten im Fahrversuch.

## **Bewertung E-Gas Prozess**

Rückblickend bewertet, zeigte sich bei der Entwicklung des E-Gas Systems der BMW S 1000 RR, dass die Vorgaben der aktuellen, vornehmlich auf PKW zugeschnittenen ISO 26262, zielführend umgesetzt werden konnte. Dazu mussten jedoch vorab die Prozesse und Dokumente auf die Anforderungen der Motorradentwicklung angepasst werden.

Aufwendig sind die nach ISO 26262 durchzuführende Gefahrenanalysen und Risikobewertungen. Für eine fundierte Bewertung sind hierzu viele motorradspezifische Daten und Informationen zu sammeln und auszuwerten.

Im Ergebnis ist die Risikobewertung mit ASIL C und die daraus abzuleitenden Sicherheitsanforderungen für ein Motorrad-E-Gas System notwendig und angemessen. Sie spiegeln den aktuellen Sicherheitsstandard nach Stand der Technik wieder und liegen mit dem von Pkw auf vergleichbarem Niveau.

## **Anwendung der aktuellen Norm ISO 26262 am Beispiel des Systems Licht beim Motorrad**

### **Konzeptphase**

Das Thema Fahrzeugbeleuchtung soll mittels Gefahrenanalyse und Risikobewertung hier beispielhaft bewertet werden. Basis für diesen Funktionssicherheitsprozess nach ISO 26262 ist wieder die Risikobewertung der möglichen Ausfälle bzw. Fehlfunktionen.

Ein möglicher Systemfehler ist hier der Ausfall des Fahrlichtes vorn. Das Sicherheitsziel bei Pkw ist, dass bei Nachtfahrt mit Fahrlicht vorn mindestens eine Frontleuchte mit geeigneter Lichtverteilung und Lichtstärke aktiv sein muss.

Für die Fahrsituation in welcher der Fehler auftritt wird hier folgende Situation bewertet: Fahrt bei Nacht, Landstraße, mittlere Geschwindigkeit 50-100 km/h. Bei einer Gefahrenanalyse und Risikobewertung nach Norm kann in diesem Fall bis zu einem ASIL B argumentiert werden. Als Diskussionsgrundlage betrachten wir hier eine Motorrad Systemarchitektur nach heutigem Stand der Technik mit Lampe inklusive Überwachung und einkanaligem Schalter.

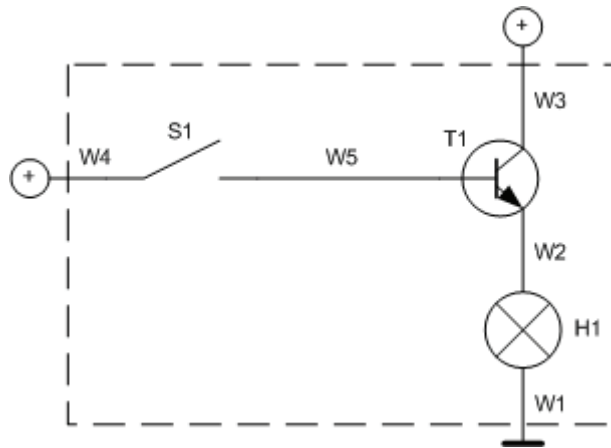


Bild 5: Lichtsystem nach heutigem Stand der Technik.

Berechnet man die Ausfallraten für o.g. Lichtsystem unter Annahme der heute gängigen Ausfallraten für Transistor, Schalter, Lampe und Kabelbaum so zeigt sich, dass die normativen Empfehlungen für einen ASIL B mit  $10^{-7}$  FIT (Ausfallrate) systemseitig nicht geleistet werden können.

Limitierender Faktor ist besonders die Lampe mit einer realen Lebensdauer von 1000 Betriebsstunden im Motorrad.

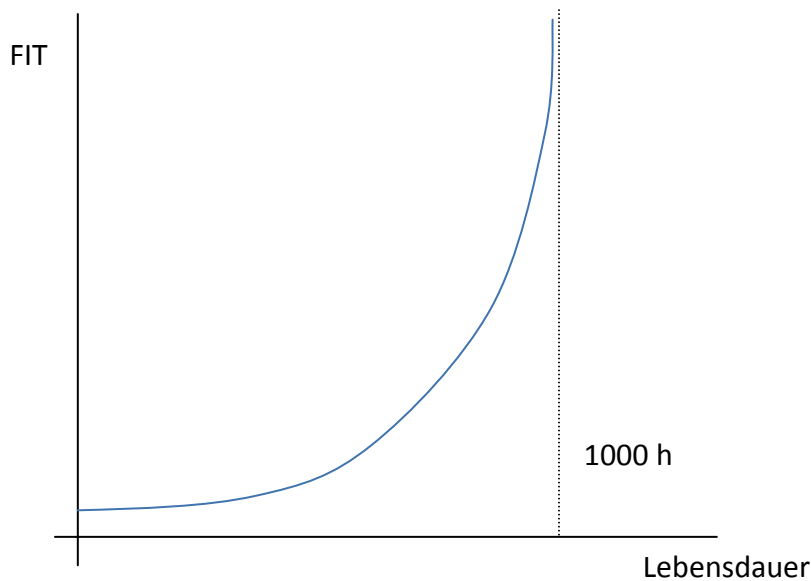


Bild 6: Lampe Motorrad, Lebensdauer zur FIT-Rate.

### Bewertung des Funktionssicherheitsthemas Licht beim Motorrad

Eine Anwendung der aktuellen ISO 26262 auf das Thema Licht erweist sich als problematisch. Die Risikobewertungen des Themas erscheint hier auf den ersten Blick zwar angemessen, die technische Umsetzung zeigt aber ein Spannungsfeld zwischen dem heutigen „Stand der Technik“ in der Motorradindustrie und den Anforderungen der Norm.

Darüber hinaus ist zu diskutieren, für welchen Anwendungsfall das Thema Fahrlicht vorn bei Motorrad einen Beitrag zur Sicherheit leistet.

Einerseits zeigen aktuelle Unfalldaten, dass nächtliche Unfälle beim Motorrad vergleichsweise wenig oft auftreten.

Andererseits betrachtet, wurde das verpflichtende Fahren mit Licht auch am Tag beim Motorrad – als passiver Betrag zu Sicherheit – gesetzlich geregelt. Dies lässt auf einen Handlungsbedarf in punkto Sicherheit bei der Erkennung des Motorrads im Hellen schließen.

Das Beispiel veranschaulicht, dass hier motorradspezifische Anforderungen grundlegend analysiert werden müssen, um daraus begründete Anforderungen an die Auslegung der technischen Funktionen stellen zu können.

Diese motorradspezifische Risikojustierung ist aus Sicht BMW Motorrad eine Kernanforderung welche in einer zukünftigen Normerweiterung für Motorrad berücksichtigt werden muss.

## Zusammenfassung

Das Thema Motorradsicherheit ist bei BMW Motorrad tief verwurzelt und wird über einen ganzheitlichen Ansatz seit mehreren Jahrzehnten gelebt.

Die massive Zunahme von sicherheitsrelevanten elektronischen Fahrzeugsystemen machte es notwendig diese Systeme nach einem gültigen Sicherheitsstandard zu entwickeln.

In einem ersten Schritt übernahm BMW Motorrad hierzu den ISO 26262 Prozess von BMW Pkw und passte diesen an die Erfordernisse der Motorradentwicklung an.

In der Anwendung zeigte sich, dass dieser Prozess insbesondere im Bereich der Gefahrenanalyse und Risikobewertung den Motorradbedingungen angepasst werden muss. Mittels dieser motorradspezifischen Bewertungsbasis ist es möglich, eine sinnvolle ASIL Einstufung zu finden.

Eine dem Risiko angemessene technische Komponentenauslegung ist damit möglich.

Sie lässt Spielraum für spezifische und wettbewerbsfähige Entwicklungslösungen. Es gibt aber auch Fälle, bei denen die Risikobewertung und die systemseitige Realisierung der normativen Anforderungen problematisch sind.

Es zeigen sich hier „Gaps“ zwischen den Anforderungen der Norm und dem Stand der Technik. Ferner sind für motorradspezifische Risikobewertungen die Bewertungsgrundlagen zu definieren. Aus

diesen Erfahrungen ergeben sich nach Ansicht von BMW Motorrad folgende Anforderungen, die in einer Erweiterung der ISO 26262 auf Motorrad zu berücksichtigen sind:

- Die Risikobewertung ist für Motorrad zu justieren.
- Die technischen Anforderungen müssen die Konzeptspezifika von Motorrädern berücksichtigen, ohne dabei das von allen Parteien gewünschte Sicherheitslevel zu konterkarieren.
- Branchenspezifika wie:
  - Kleinserienproduktion
  - Zulieferstrukturen mit mittelständischen/ kleinen Unternehmen
  - Übernahmetechnologien (z.B. aus Pkw)müssen berücksichtigt werden.
- Grundsätzlich ist auch eine „einfache“ und „eindeutige“ Anwendbarkeit/ Verständlichkeit der Norm wünschenswert.

Eine Erweiterung der bestehenden ISO 26262 auf Motorrad wurde beschlossen.

Diese Scope-Erweiterung wird im ISO/TC 022/SC 03, WG 16 "Functional Safety" und SC 22 "Motorcycles" in Form einer öffentlich verfügbaren Spezifikation (PAS) erarbeitet.

BMW Motorrad wird dort seine Erfahrungen einbringen und die Anforderungen an eine zukünftige Norm platzieren.

Wir sind überzeugt, dass eine sinnvolle Gestaltung der ISO 26262 für Motorrad einen wertvollen Beitrag zur Gesamtsicherheit leisten wird.

## Literatur

- [1] International Standard ISO 26262, 1-10, first edition, 2011-11-15.
- [2] Ch. Prüfer: Motorrad E-GAS S1000RR, internes Papier, BMW Motorrad, 31.03. 2010.
- [3] M. Tappeiner: ISO 26262 für Licht bei Motorrad, internes Papier, BMW Motorrad, 19.12.2011.

## **Powered Two-wheeler in the simTD Project**

### **Die Motorradflotte im Projekt simTD**

Dipl.-Ing. Maximilian Meißner

BMW Motorrad

Prof. Dr.-Ing. Prof. h.c. Torsten Bertram

TU Dortmund

Fakultät für Elektrotechnik und Informationstechnik  
Lehrstuhl für Regelungssystemtechnik



## Abstract

The German research project simTD (save and intelligent mobility - test field germany) started in 2008. The aim of the project is to test the C2X-technology with a bigger vehicle fleet and in real traffic for the first time. For a realistic representation of traffic scenarios a closed experimental area in greater Frankfurt and a test field in public traffic are available. Due to the particular vulnerability of motorcycles in traffic and the limited potential of passive safety, the BMW AG participates additional to the passenger car fleet with 5 motorcycles in the large-scale test. The goal of the experiment is to proof that the C2X-technology is technically feasible for motorcycles and that this technology can help to improve the active motorcycle safety.

In this paper, the current status of the project will be presented from the perspective of BMW Motorrad. Because of the different requirements for passenger cars and motorcycles, both the hardware integration as well as parts of the functions and system components were modified. In detail the positioning, the results of the local distance sensors and the antenna performance as well as a study of the normal driver behavior at intersections are presented.

## Kurzfassung

Im Jahr 2008 startete das deutsche Forschungsprojekt simTD (sichere, intelligente Mobilität-Testfeld Deutschland). Ziel des Projektes ist die erstmalige Erforschung und Erprobung der Car-2-X-Technologie (C2X) mit einer größeren Fahrzeugflotte sowie im realen Verkehr. Für die realitätsnahe Darstellung von Verkehrsszenarien steht neben einem abgeschlossenen Versuchsgebiet auch ein Testfeld im öffentlichen Verkehr im Großraum Frankfurt zur Verfügung. Aufgrund der besonderen Gefährdung der Motorräder im Verkehr ausgesetzt sind und dem begrenzten Potential der passiven Sicherheit, beteiligt sich die BMW AG zusätzlich zur PKW-Flotte mit 5 Motorrädern an dem Großversuch. Ziel ist es, einen Nachweis darüber zu erbringen, dass die C2X-Technologie auch für Motorräder technisch realisierbar ist und die aktive Motorradsicherheit durch diese Technologie verbessert werden kann.

In dieser Veröffentlichung wird der aktuelle Stand des Projekts aus Sicht von BMW Motorrad präsentiert. Aufgrund der unterschiedlichen Anforderungen an Pkw und Motorräder wurden sowohl die Hardwareintegration, aber auch Teile der Funktionen und Systemkomponenten für den Einsatz im Motorrad angepasst. Im Einzelnen werden die Positionsbestimmung, die Ergebnisse der lokalen Umfeldsensorik und der Antennencharakteristik, sowie eine Studie zum Normalverhalten von Motorradfahrern an Kreuzungen vorgestellt.

## Die Motorradflotte im Projekt simTD

## Einleitung

Motorradfahrer zählen aus verschiedenen Gründen zu den besonders gefährdeten Verkehrsteilnehmern. Neben einer kleinen Silhouette bei gleichzeitig hohem Beschleunigungspotential ist auch die im Vergleich zu Pkw schlechte passive Sicherheit verantwortlich für das besondere Gefährdungspotential. BMW Motorrad steht seit je her für Innovationen auf dem Gebiet der aktiven und passiven Sicherheit. Der erste Serieneinsatz eines ABS, die Einführung des Neck Brace Systems oder die dynamische Traktionskontrolle (DTC) sind hier nur einige Beispiele für die umfangreiche Sicherheitsstrategie von BMW Motorrad. Trotz dieser Entwicklungen stagnieren die Zahlen schwerer Unfälle von Motorrädern nahezu. Bedenkt man den Trend hin zu kleinen, agilen Fahrzeugen der urbanen Mobilität, so ist in den nächsten Jahren noch mit einem Anstieg der Unfallzahlen zu rechnen. Aus diesem Grund hat BMW die Strategie „Sicherheit 360°“ ins Leben gerufen. Neben der Fahrerausstattung und ausbildung gehört auch die Forschung auf dem Gebiet der aktiven Sicherheit und Fahrerassistenz zu dieser Strategie. Zusammen gefasst unter dem Namen Connected Ride wird unter anderem das Potential der C2X-Kommunikation für Motorräder untersucht.

Das Projekt simTD (Sichere, intelligente Mobilität, Testfeld Deutschland) ist Teil der C2x-Forschungsaktivitäten von BMW Motorrad. Das Projekt startete im Jahr 2008 mit einer geplanten Laufzeit von 4 Jahren, und wird von den Bundesministerien für Bildung und Forschung, Wirtschaft und Technologie sowie Verkehr, Bau und Stadtentwicklung gefördert. Neben allen deutschen Automobilherstellern sind auch Zulieferer und öffentliche Einrichtungen wie die Stadt Frankfurt und das Land Hessen als Partner beteiligt.

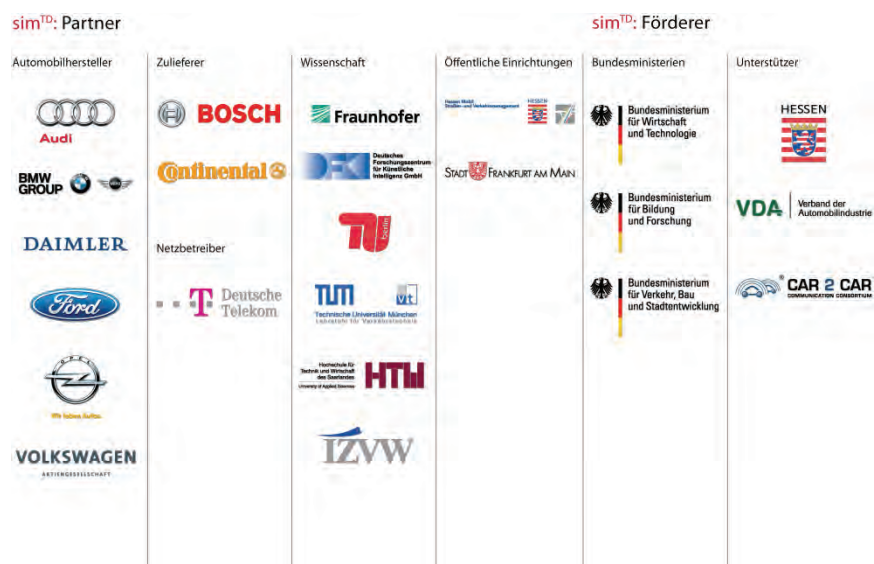


Abb. 1: Partner simTD

Ziel des Projektes ist es, neue Ansätze zur Steigerung von Fahr- und Verkehrssicherheit sowie Verkehrseffizienz zu entwickeln und zu erproben. Grundlage der neuen Systeme soll die Kommunikation zwischen Fahrzeugen, sowie zwischen Fahrzeugen und der Infrastruktur durch WLAN-basierte ad hoc Vernetzung (ITS5G) und 2G/3G Funktechnologien (GSM/UMTS) sein. Die Besonderheit des Projekts ist der Großversuch, in dem der Nutzen der entwickelten Funktionen validiert werden soll. Die Flotte, bestehend aus 120 Fahrzeugen, wird sowohl auf einem abgeschlossenen Testgelände im hessischen Friedberg, als auch im öffentlichen Verkehr Versuche durchführen, und die Systeme damit möglichst realistisch erproben.

## Versuchsträger

Aufgrund der bauartbedingten Unterschiede zwischen Pkw und Motorrad ergeben sich vielfältige Herausforderungen beim Aufbau der Versuchsträger. Neben Application Unit (AU) und Car Communication Unit (CCU) müssen die Antenne, ein Radarsensor sowie zusätzliche Inertialsensorik für die Bereitstellung der benötigten Fahrdynamikdaten integriert werden.



Abb. 2: Versuchsträger simTD

Wie in Abb. 2 erkennbar wurden AU und CCU in Topcase bzw. Seitenkoffer verbaut. Über Belüftungsschächte und Ventilatoren werden die Rechner mit Kaltluft versorgt. Die Antenne mit metallischer Grundplatte sitzt auf dem Topcase. Für eine bessere Sende- Empfangsperformance wurde zudem eine zweite ITS5G Antenne hinter dem Windschild platziert. Der Radarsensor ist in das Windschild integriert. Für die Mensch-Maschine-Schnittstelle ist ein 6-Zoll Display anstelle des Instrumentenkombis verbaut. Die Bedienung des Systems erfolgt statt eines Touch-Screens mittels eines Dreh-Drück-Schalters, der über eine serielle Schnittstelle mit der AU verbunden ist. Als Referenzmesssystem für die Positionierung und die Umfeldsensorik ist eine hochgenaue Inertial-Plattform integriert,

mit der neben einer cm-genauen Positionierung auch eine genaue Bestimmung der Lagewinkel und Fahrdynamikdaten möglich ist.

## Bereitstellung der Fahrzeugdaten

Um herstellerübergreifend ein einheitliches Datenformat nutzen zu können, wird im Projekt simTD die Vehicle API (Vehicle Programming Application Interface) genutzt. Die VAPI ermöglicht beliebigen Funktionen auf AU oder CCU den generischen Zugriff auf Bordnetzinformationen wie zum Beispiel Sensordaten. Hierfür werden die jeweiligen CAN-Signale in einem zusätzlichen Proxy in ein einheitliches simTD-Format überführt. Diese Daten werden über einen virtuellen Can an die VAPI gesendet, und können dort weiter verarbeitet werden. Für eine ausführliche Beschreibung der VAPI wird auf das simTD-Deliverable D 22.1 verwiesen. Aufgrund der fahrdynamischen Unterschiede zwischen Pkw und Motorrad sind nicht alle von den Funktionen und Systemkomponenten benötigten, und von der VAPI bereit gestellten Signale serienmäßig auf dem Motorrad-CAN verfügbar. Beispiele hierfür sind die horizontale Gierrate, die Querschleunigung sowie der Lenkwinkel. Um diese Größen trotzdem zur Verfügung zu stellen, erfolgt im Motorrad eine Vorverarbeitung der Signale auf der CCU.

Notwendige Voraussetzung für die Bereitstellung von Größen im globalen Koordinatensystem ist die Kenntnis über den aktuellen Rollwinkel des Motorrades. Der Rollwinkel kann auf verschiedene Arten bestimmt werden [1,2], wobei für ein solides Ergebnis mindestens die Drehraten um die körperfesten x- und z-Achsen als Messgrößen zur Verfügung stehen müssen. Im vorliegenden Fall wird der Rollwinkel in Anlehnung an [1] aus den 3 körperfesten Drehraten und Beschleunigungen berechnet. Die Bestimmung der horizontalen Gierrate aus dem Rollwinkel kann ebenfalls auf verschiedene Arten erfolgen. Bei Annahme eines stationären Gleichgewichts einer konstanten Erdbeschleunigung ( $g = 9,81 \frac{m}{s^2}$ ) und Messung der aktuellen Geschwindigkeit  $v$  können Gierrate  $\dot{\psi}_g$  und Kurvenradius  $k_r$  nach Gleichung 2 bestimmt werden (Methode 1).

$$\dot{\psi}_g = \frac{\tan \varphi \cdot g}{v} \quad \text{Gl. 1}$$

$$k_r = \frac{v}{\dot{\psi}_g} \quad \text{Gl. 2}$$

Eine andere Möglichkeit die Gierrate zu bestimmen ist die vektorielle Zerlegung der in körperfester z-Achse gemessenen Drehrate  $\dot{\psi}_k$  nach Gl. 3 (Methode 2).

$$\dot{\psi}_g = \frac{\dot{\psi}_k}{\cos \varphi} \quad \text{Gl. 3}$$

Ähnlich wie bei der Rollwinkelberechnung nach [2] haben beide Berechnungsmethoden Vor- und Nachteile. Gl. 2 liefert eine nahezu rauschfreie Gierrate, die jedoch aufgrund des stationären Ansatzes nur bei stationärer/quasistationärer Kurvenfahrt ein ausreichend genaues Ergebnis liefert. Im Vergleich dazu berücksichtigt Methode 2 auch nichtstationäre Dynamik, mit dem Nachteil eines stärker verrauschten Signals. Je nach Anwendungsfall kann sowohl Methode 1, als auch Methode 2 zu besseren Ergebnissen führen. So sind bei der Objektauswahl des Radarsensors vor allem stationäre/quasistationäre Fahrsituationen relevant. Ein starkes Rauschen auf der Gierrate würde sich zudem negativ auf die Qualität der Fahrschlauchprädiktion und Objektauswahl auswirken. Bei der Systemkomponente „Bessere Ortung“, die auf Basis der Koppelnavigation arbeitet, müssen auch hochdynamische Anteile berücksichtigt werden. Das Signalrauschen wirkt sich aufgrund der Fusion mit GPS-Daten weniger stark auf das Ergebnis aus. Tabelle 1 zeigt den mittleren quadratischen Fehler für eine Fahrt im niederdynamischen Bereich, verglichen mit einer hochdynamischen Fahrt auf dem Handlingkurs für beide Berechnungsmethoden.

Tabelle 1: Ergebnisse der Gierratenberechnung

	Mittelwertabweichung (rad/s)		Standartabweichung (rad/s)	
	Methode 1	Methode 2	Methode 1	Methode 2
Hochdynamisch	0.001596	0.02638	0.0001119	0.00193
Niederdynamisch	0.0058	0.0037	0.0061	0.0041

Je nach Anwendungsfall wird die Gierrate daher entweder über das stationäre Gleichgewicht nach Methode 1, oder über die Vektorzerlegung bestimmt. Aus der Gierrate kann wiederum nach Gl. 4 ein dem Pkw äquivalenter Radlenkwinkel berechnet werden.

$$\delta_{\text{ack}} = \tan^{-1} \left( \frac{1}{v} \dot{\psi} \right) \quad \text{Gl. 4}$$

Gierrate und Radlenkwinkel werden sowohl dem Radarsensor, als auch der Vapi und damit den Funktionen und Systemkomponenten zur Verfügung gestellt. Abb. 5 zeigt die komplette Signalverarbeitungskette von der Sensorik bis zur AU.

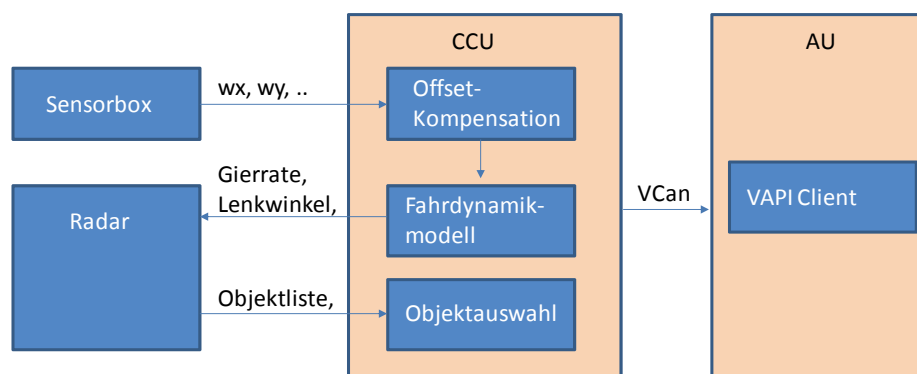


Abb. 3: Signalverarbeitungskette

Bei Stillstand des Motorrades werden zunächst die systematischen Fehler der Drehraten und Beschleunigungen geschätzt. Die Offset-korrigierten Signale werden genutzt, um den Rollwinkel des Motorrades zu bestimmen. Anschließend erfolgt eine Berechnung der horizontalen Gierrate sowie des äquivalenten Radlenkwinkels. Gierrate und Lenkwinkel werden über CAN an den Radarsensor gesendet, der wiederum eine Objektliste zurück liefert. Auf der CCU erfolgt dann die Auswahl des relevanten Radarobjekts. Über einen virtuellen CAN werden im Anschluss alle Daten an den VAPI-Client auf der AU übergeben, und damit den Funktionen zugänglich gemacht.

## Positionsbestimmung

Die Bereitstellung einer genauen Fahrzeugposition ist eine der Herausforderungen bei C2X-basierten Fahrerassistenzsystemen. Wird eine Funktion ausschließlich auf Basis der kommunizierten Positionen und Fahrdynamikdaten umgesetzt, ist eine allein auf GPS basierende Positionierung nicht ausreichend genau. Neben der eigentlichen Genauigkeit der Positionierung sind zudem die Updaterate und Verfügbarkeit des GPS-Signals von entscheidender Bedeutung. Um trotz einfacher GPS-Receiver und geringer Update-Raten eine gute Positionierung und Funktionsgüte zu erreichen, ist eine Fusion von GPS und Fahrdynamikdaten notwendig. Im Projekt simTD übernimmt die Systemkomponente „Bessere Ortung“ die Datenfusion. Diese basiert auf einem Kalmanfilter, der die Gleichungen der Koppelnavigation (Gl. 4 - 6) für den Prädiktionsschritt, und die GPS-Messung für die Korrektur der Prädiktion nutzt [4].

$$x_k = x_{k-1} + s_k \sin\left(\theta_{k-1} + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad \text{Gl. 4}$$

$$y_k = y_{k-1} + s_k \sin\left(\theta_{k-1} + \frac{\Delta\theta}{2}\right) \quad \text{Gl. 5}$$

$$\theta_k = \theta_{k-1} + \Delta\theta_k \quad \text{Gl. 6}$$

$s_k$  bezeichnet dabei die prädizierte Wegstrecke und wird nach Gl. 7 aus der Längsgeschwindigkeit und der Zeitschrittweite ermittelt. Die Änderung der Ausrichtung im betrachteten Zeitraum  $\Delta\theta_k$  wird mit der horizontalen Gierrate nach Gl. 8 berechnet.

$$s_k = v(t_k)T \quad \text{Gl. 7}$$

$$\Delta\theta_k = \psi(t_k)T \quad \text{Gl. 8}$$

Auf eine zusätzliche Betrachtung von Schwimmwinkel und Schwimmwinkelgeschwindigkeit wird verzichtet. Neben einer Optimierung der Position bietet das System vor allem auch bei einem Ausfall oder einer Unterbrechung der Positionsaktualisierung, wie z.B. in einem Tunnel, Vorteile. Abb. 6 zeigt einen Vergleich zwischen GPS-Rohdaten und gefilterter Position bei einer Fahrt durch einen Tunnel.



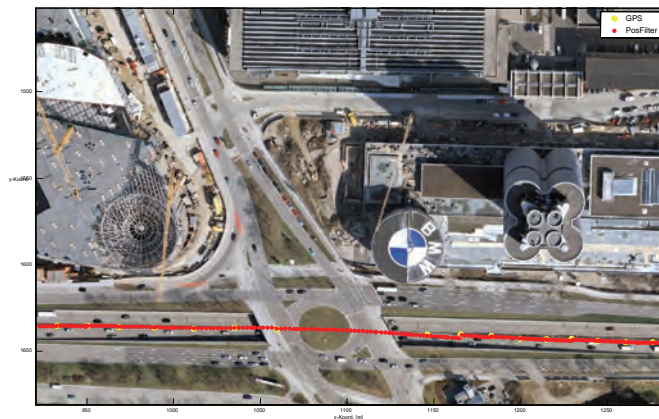


Abb. 4: Verlauf GPS- und gefilterte Position

Die gelben Punkte markieren die GPS-Messungen, die mit einer Rate von 1 Herz aktualisiert werden. Die roten Punkte sind die aus den Fahrdynamikdaten prädierten Positionen. Trotz ausbleiben der GPS-Messungen weicht die Position am Tunnelausgang nur um wenige Meter von der neuen GPS-Messung ab. Abb. 6 zeigt die Fahrzeugposition während eines Abbiegevorgangs.

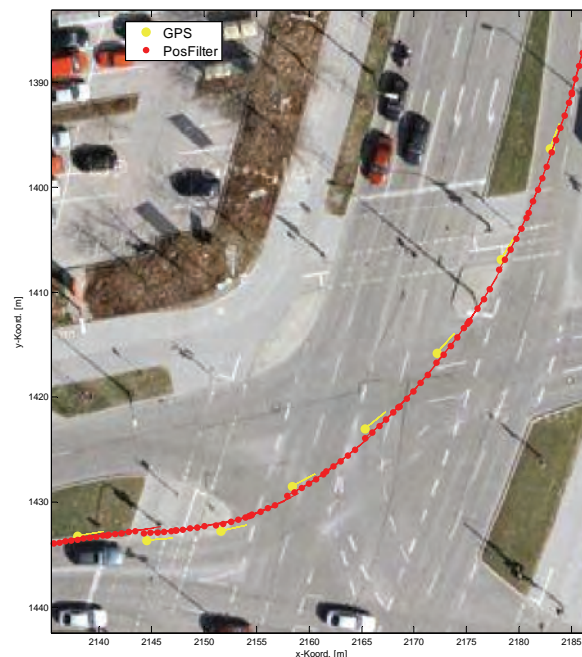


Abb. 5: Verlauf GPS- und gefilterte Position während Abbiegen

Es ist zu erkennen, dass die Prädiktion zwischen den GPS-Updates auch in Kurvenfahrt gut funktioniert.

## Radarsensorik

Um im Rahmen der Versuchsauswertung die jeweilige Verkehrssituation möglichst genau rekonstruieren zu können, wird ein Radarsensor zur Erfassung der Fahrzeuge im Ego-Fahrschlauch genutzt. So kann im Nachgang der Versuche eine mögliche Beeinflussung von anderen Fahrzeugen auf das Fahrerverhalten berücksichtigt werden. Während Radarsensoren im Pkw bereits seit längerem in Serie sind, ist der Einsatz bei Motorrädern noch nicht untersucht worden. Der wesentliche Unterschied zwischen Pkw und Motorrädern liegt im größeren Rollwinkel des Motorrades. Ist der Rollwinkel bekannt, kann der tatsächliche Querversatz des vom Radar erkannten Objekts nach Gl. 9 bestimmt werden.

$$y_k = \frac{y}{\cos \varphi} \quad \text{Gl. 9}$$

Zur Validierung der Qualität der vom Radar gelieferten Abstände und des Rollwinkeleinflusses wurden auf einem Testgelände verschiedene Verkehrssituationen nachgestellt. Als Zielfahrzeuge diente ein Pkw, der wie das Motorrad mit einer hochgenauen Inertial-Plattform ausgerüstet war. Durch den aufgezeichneten Zeitstempel in beiden Fahrzeugen, konnten die Messungen offline synchronisiert, und die realen Abstände zwischen Motorrad und Zielfahrzeug zentimetergenau ermittelt werden. Für den Vergleich zwischen den vom Radarsensor aufgenommenen Objekten und der Referenz, müssen die relativen Abstände zwischen den Fahrzeugen aus den geodätischen Positionsinformationen bestimmt werden. Nach einer Transformation in Gauss-Krüger-Koordinaten kann unter Berücksichtigung des eigenen Kurswinkels die zweite Transformation in das Egofahrzeug-feste Koordinatensystem durchgeführt werden. Abb. 6 zeigt die Abstände in x- und y-Richtung sowie den Verlauf der Positionsfehler für eine Fahrt auf dem Testgelände.

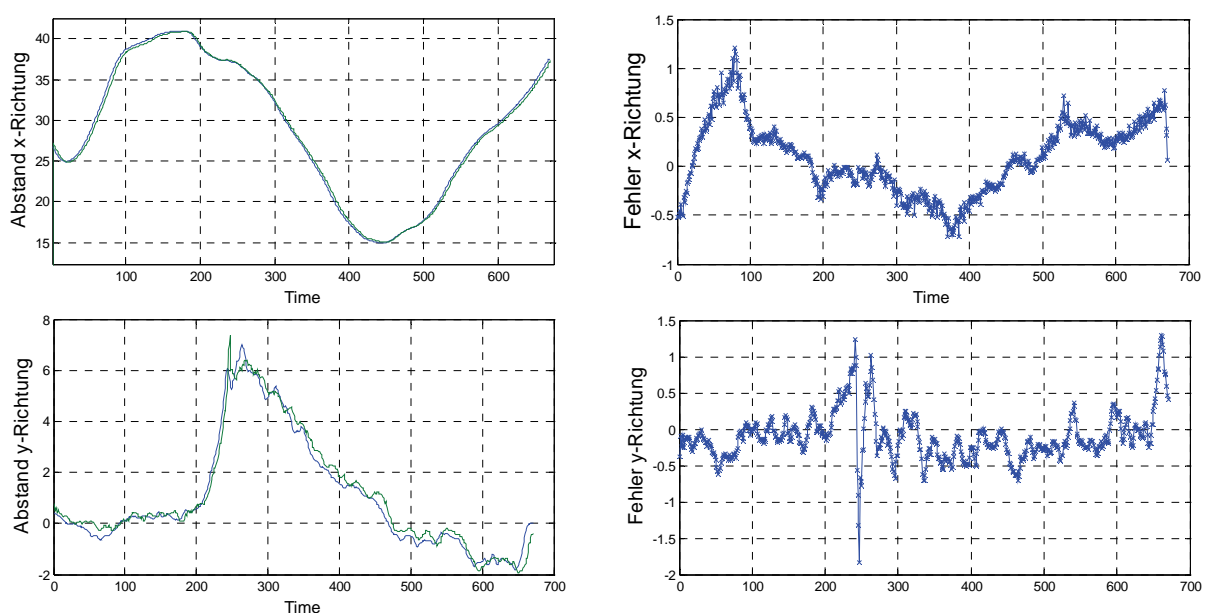


Abb. 6: Fahrt mit Pkw als Zielfahrzeug

Aus den Messdaten lassen sich die Mittelwert- und Standardabweichungen des Sensors ermitteln (Tabelle 2).

Tabelle 2

Mittelwertabweichung x-Position	Standardabweichung x-Position	Mittelwertabweichung y-Position	Standardabweichung x-Position
0.1918	0.4244	0.113	0.3369

Zur Relevanzbewertung der erkannten Objekte sind neben den Abständen auch Informationen über die Bewegung des eigenen Fahrzeugs notwendig. Neben der Längsgeschwindigkeit zählen dazu auch die Gierrate und Querschleunigung. Im Pkw kann über den Radlenkwinkel die Gierrate mittels Einspurmodell und Beobachter optimiert, und der Schwimmwinkel geschätzt werden. Mit den Ergebnissen ist es möglich, den Fahrschlauch des Egofahrzeugs sehr gut zu präzisieren, und die vom Radar erkannten Objekte der eigenen Bewegungsrichtung zuzuordnen. Für den Anwendungsfall im Motorrad wird dem Sensor die berechnete Gierrate als Eingangsgröße zur Verfügung gestellt. Um zu überprüfen, ob die vom Radarsensor zurück gelieferte Relevanz in y-Richtung für eine Objektauswahl hinreichend genau ist, und einen Grenzwert für die Objektauswahl zu ermitteln, wird wiederum auf die Referenzmessdaten der hochgenauen Inertialplattform zurück gegriffen. Mittels der nach den Testfahrten offline gefilterten, horizontalen Gierrate der Inertialplattform, sowie der Geschwindigkeit, wird zunächst der Krümmungsradius der aktuell gefahrenen Trajektorie nach Gl. 11 ermittelt.

$$r = \frac{v}{\dot{\psi}}$$

Gl. 11

Erweitert man die Trajektorie in Querrichtung um die Fahrzeugbreite, so ergibt sich der Fahrschlauch des Motorrades. Die Position der Objekte ist mit einer Unsicherheit belegt, die als Gaußverteilt angenommen wird. Bei Verwendung der Referenzlösung liegt diese Unsicherheit im einstelligen cm-Bereich, und ist damit vernachlässigbar. Die Schnittfläche der Dichtefunktion der Gaussverteilung und des präzisierten Fahrschlauchs gibt die Wahrscheinlichkeit an, mit der das Objekt ein Hindernis darstellt.

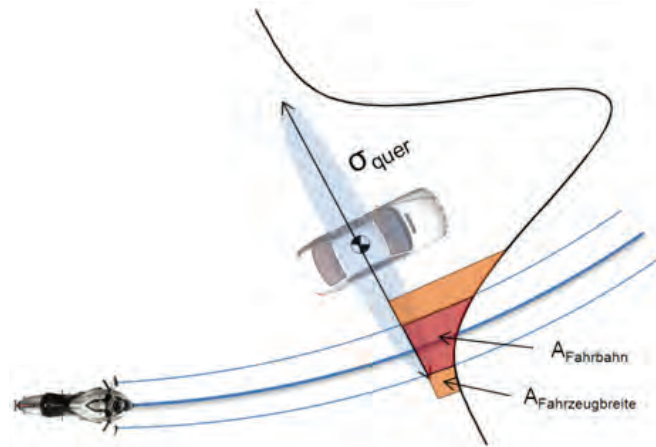


Abb. 7: Schnittfläche zwischen Fahrschlauch und Objekt

Mit den sehr genauen Informationen von Abstand und Versatz aus den Referenzmessungen, sowie der seitlichen Ausdehnung des Zielobjektes, kann der Referenzwert für die Relevanz bestimmt werden. Da der Sensor nicht nur die Fahrzeuge im eigenen Fahrschlauch erkennen muss, sondern gleichzeitig keine Fehldetektionen von Objekten liefern darf die sich neben dem eigenen Fahrschlauch befinden, müssen beide Fälle berücksichtigt werden. Es wird eine Fahrt betrachtet, bei der sich ein Pkw in der eigenen Fahrspur befindet, und ein zweiter Pkw in der Nachbarfahrspur. Die vom Sensor gelieferten Werte für die Relevanz in y-Richtung beider Zielfahrzeuge werden ausgewertet, und mit den Referenzwerten verglichen. Abb. 8 zeigt die aus den Referenzdaten berechnete Relevanz im Vergleich mit dem vom Radarsensor ausgegebenen Wert für das Zielfahrzeug in der eigenen Fahrspur.

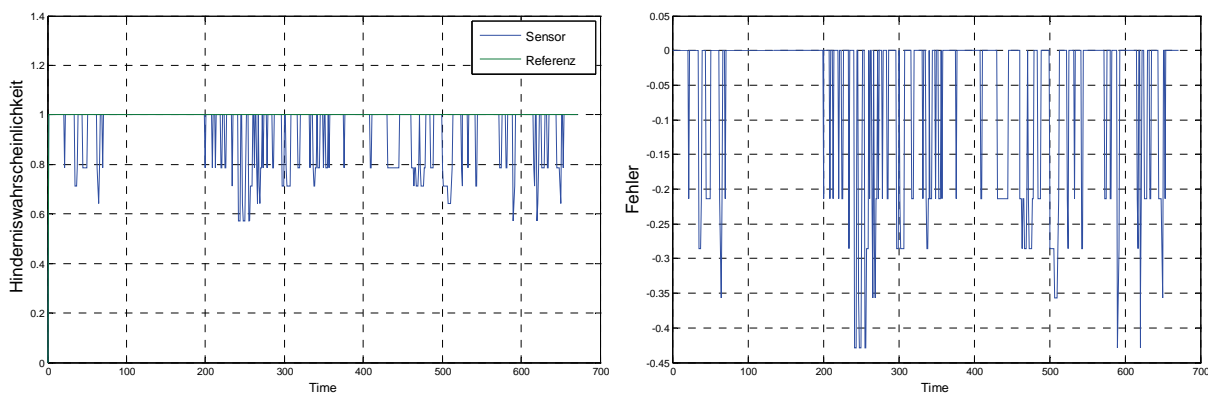


Abb. 8: Vergleich der vom Sensor berechneten Relevanz mit Referenz

Es ist zu sehen, dass die vom Radar berechnete Relevanz bis auf wenigen Ausnahmen über einem Wert von 0.6 verläuft. Die Abweichung zwischen Referenz und Sensorwert steigt bei  $t=25s$  und  $t=60s$  leicht an, was auf die in diesem Zeitraum durchfahrende Kurven zurückzuführen ist. Abb. 9 zeigt den Verlauf der Referenz für das zweite Zielfahrzeug auf der Nachbarspur.

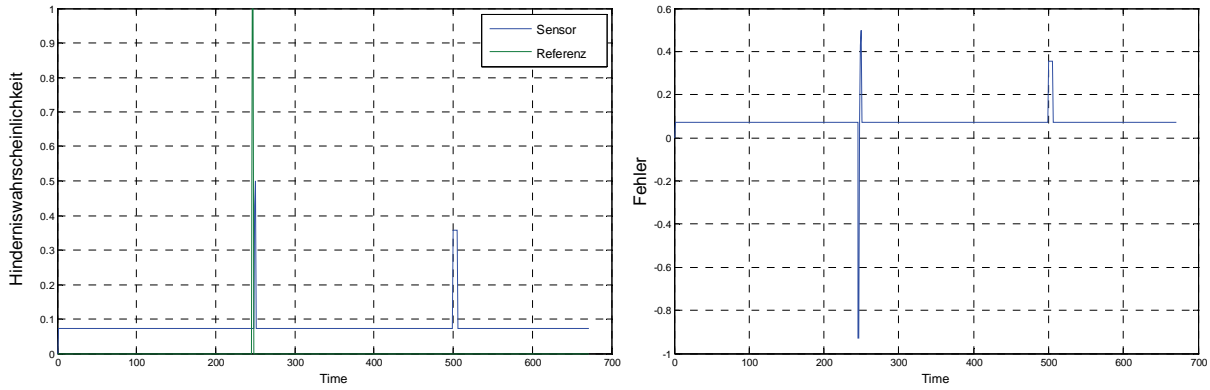


Abb. 9: False-positives

Bei  $t = 25\text{s}$  und  $t = 50\text{s}$  ist ein kurzer Sprung der Relevanz auf 0,35 zu erkennen, im restlichen Verlauf der Messung bleibt der Wert unter 0,1. Die Auswertung weiterer Messfahrten zeigt ähnliche Ergebnisse, so dass für die Objektauswahl ein Grenzwert der  $y$ -Relevanz von 0,5 festgelegt wird.

## Antennenperformance

Da der Verbau der Antennen auf andere Weise als im Pkw erfolgt, sind negative Einflüsse auf die Antennencharakteristik und damit eine herab gesetzte Funkreichweite nicht auszuschließen. So ist zum Beispiel eine Verdeckung der Antenne durch den höher sitzenden Fahrer, oder aber auch ein Einfluss der gefahrenen Schräglage auf die Abstrahlcharakteristik möglich. Der Messaufbau zur Untersuchung der Antennencharakteristik ist in Abb. 10 dargestellt. Das Motorrad wird auf einem Drehteller platziert, und die Antenne mit einem Signalgenerator verbunden. Der Receiver besteht aus dem Spektrumanalyser, sowie einem Dreibein mit Puckantenne, welches sich in 5m Abstand befindet. Mittels einer Software können Drehteller und Messgeräte automatisiert gesteuert, und präzise Winkel eingestellt werden.

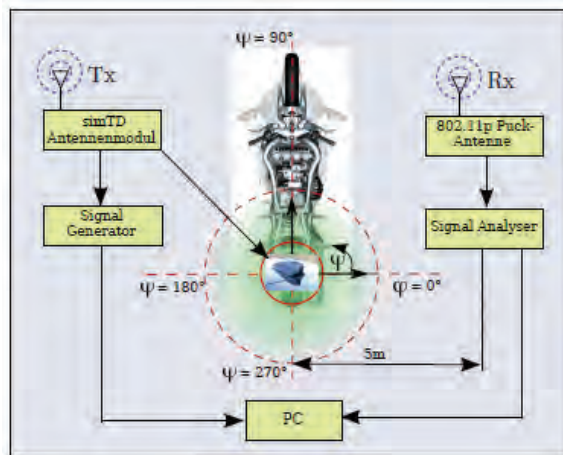


Abb. 10: Messaufbau

Untersucht wurden 3 verschiedene Antennen. Zwei 802.11p Antennen befinden sich in der simTD-Antenne, die auf dem Topcase montiert ist, zudem wurde eine Antenne im Bereich des vorderen Windschildes vermessen. Für die Berechnung der maximalen Distanz wird die Übertragungsbilanz nach Gl. 11 aufgestellt.

$$P_{rx} = P_{tx} G_{tx} G_{rx} \left( \frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \alpha_{kabel} \quad \text{Gl. 11}$$

Die Umrechnung von dB zu Leistung folgt nach Gl. 12.

$$P_{rx} = 10^{\left( \frac{P_{rx,dB}}{10} \right)} \quad \text{Gl. 12}$$

Die theoretisch erreichbare Distanz kann durch Umstellen von Gl.11 nach  $d_{max}$  berechnet werden.

$$d_{max} = \frac{c}{4\pi f} \sqrt{\frac{P_{tx} G_{tx} G_{rx} \alpha_{kabel}}{P_{rx}}} \quad \text{Gl. 13}$$

Aus dem gemessenen Signal, sowie der Ausrichtung des Motorrads lässt sich die Antennenperformance richtungsabhängig ermittelt. Abb. 11 zeigt ein Richtdiagramm mit den entsprechenden Werten der Dämpfung.

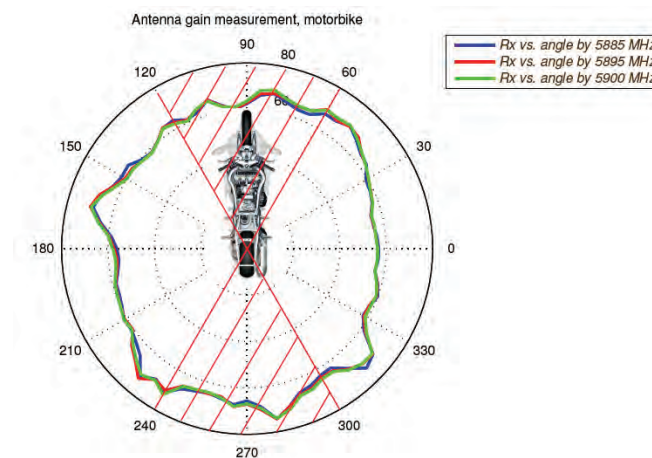


Abb. 11: Richtdiagramm

Da für die Funktionen in erster Linie die Funkreichweite in Fahrtrichtung des Motorrads bzw. entgegen der Fahrtrichtung von Bedeutung ist, sind vor allem die Bereiche 60°-120° vor dem Motorrad, sowie 240°-300° nach Hinten interessant. In Abb. 10 sind die Ergebnisse der Vermessung zusammengefasst.

Winkel /°	802.11p Puck-Antenne	simTD-Antenne ohne Fahrer		simTD-Antenne mit Fahrer		Schräglageneinfluss (0°, 20°, 30°)		
	Dämpfung Antenne / dB	Dämpfung Antenne V2V #1 / dB	Dämpfung Antenne V2V #2 / dB	Dämpfung Antenne V2V #1 / dB	Dämpfung Antenne V2V #2 / dB	802.11p Puck-Antenne	Dämpfung Antenne V2V #1 / dB	Dämpfung Antenne V2V #2 / dB
60-120	64,7	67,4	66,6	71,1	68,7	64,71/61,7/67,98	67,38/68,89/67,01	66,55/66,91/65,75
240-300	71,2	64,4	65,5	63,1	64,7	71,09/72,32/71,5	64,35/64,57/65,89	65,48/65,90/65,97

Abb. 12: Ergebnisse der Antennencharakterisierung

Die Ergebnisse zeigen, dass vor allem eine Verdeckung durch den Fahrer einen deutlichen Einfluss auf die Dämpfung in Fahrtrichtung hat (4 dB). Durch eine weitere Antenne im vorderen Teil des Motorrads können die Effekte der Fahrerdeckung kompensiert und theoretische Reichweiten von über 400 Meter erzielt werden, was für alle geplanten Funktionen als ausreichend angesehen werden kann.

## Fahrerverhaltensuntersuchung für die Funktion Kreuzungsassistentz

Ein Unfallschwerpunkt, sowohl für Motorräder als auch für Pkw, sind Kreuzungssituationen im innerstädtischen und ländlichen Umfeld. Neue Technologien wie die Fahrzeug-Fahrzeug-Kommunikation können in Zukunft helfen gefährliche Kreuzungssituationen durch eine geeignete, auf Motorradfahrer abgestimmte Fahrerassistenz, zu entschärfen. Aus diesem Grund liegt ein besonderer Fokus im Projekt simTD auf der Funktion Kreuzungs- Querverkehrsassistentz. Voraussetzung für eine sinnvolle Fahrerassistenz ist die Kenntnis des Normalfahrerhaltens an Kreuzungen.

Für Fahrer von Pkw wurde dieses Verhalten bei der Kreuzungsannäherung unter anderem in [6] und [7] untersucht. Da die Fahrt mit einem Motorrad im Normalfall einen anderen Zweck verfolgt als mit einem Pkw, kann nicht ausgeschlossen werden dass sich das Normalfahrerverhalten bei der Kreuzungsannäherung unterscheidet. Der folgende Abschnitt beschreibt eine Probandenstudie, durchgeführt im realen Verkehr, mit dem Ziel, das Normalverhalten von Motorradfahrern bei der Kreuzungsannäherung zu untersuchen. Die Probanden fahren selbständig eine vorgegebene Route mit einem mit Messtechnik ausgerüsteten Motorrad. Während der Fahrt wurden die Motorradposition, Fahrdynamikdaten und Fahrereingaben aufgezeichnet. Zur besseren Situationsinterpretation bei der Datenanalyse wurde die Fahrt außerdem mit zwei Kameras dokumentiert.

Ziel der Studie war es, ein möglichst alltägliches Verhalten der Probanden zu untersuchen. In einer früheren Untersuchung [2] wurde der Proband von einem Pkw begleitet, in dem sich der Versuchsleiter befand. Um eine eventuelle Beeinflussung durch ein Begleitfahrzeug auszuschließen, fuhren die Probanden in der hier beschriebenen Studie die vorgegebene Route mit Hilfe eines Navigationsgerätes. Die Fahreranweisungen erfolgten über eine Sprachausgabe im Helm des Probanden, sowie optisch auf einem Display.

Die Stichprobe bestand aus n=25 Personen mit einem Durchschnittsalter von 45,9 Jahren bei einer Altersspanne von 29 bis 58 Jahren. Die durchschnittliche Fahrleistung der Probanden betrug im letzten Jahr 6500 km, die geschätzte Gesamtfahrleistung 106000 km. Alle Probanden waren im Umgang mit leistungsstarken Motorrädern vertraut. Die von den Probanden zurück zu legende Route bestand aus einer kurzen Einfahrstrecke zur Gewöhnung an das Motorrad, und der eigentlichen Versuchsstrecke. Diese führte aus innerstädtischer Umgebung auf einen Landstraßenabschnitt im Großraum München. Insgesamt wurden 189 Kreuzungen verteilt auf 70 km Versuchsstrecke dokumentiert. Um eine nachträgliche Analyse der Kreuzungsannäherungen zu ermöglichen, wurden Fahrdynamikdaten, die gefilterte Position des Motorrades, sowie die Drosselklappenstellung und die Bremsenbetätigung während der gesamten Fahrt aufgezeichnet. Für möglichst gute Ergebnisse bei der Bestimmung des Abstandes zwischen Motorrad und Kreuzung erfolgte eine genaue Vermessung der Haltelinien mittels einer Inertialplattform.

Zur besseren Situationsinterpretation bei der nachträglichen Datenanalyse wurden die Fahrten zudem mit zwei, am Motorrad montierten, Kameras dokumentiert. So ist es möglich, Ausreißer oder besonders interessante Kreuzungen genauer zu untersuchen, sowie die Verkehrsdichte bei den verschiedenen Fahrten zu ermitteln. Die Datenauswertung erfolgte mittels einer umfangreichen Visualisierung von Positions- und Fahrdynamikdaten. Als Maß für die Fahrerreaktionen ist die verbleibende Zeit bis zum Erreichen der Haltelinie (time to intersection – tti) ein geeignetes Kriterium.

$$tti = \frac{d_{\text{Haltelinie}}}{v_{\text{Motorrad}}} \quad \text{Gl. 14}$$

Anhand der Videoaufzeichnungen wurde während der Auswertung geprüft, ob sich der Proband im gebundenen Verkehr, also hinter anderen Verkehrsteilnehmern, oder alleine an die Kreuzung annäherte.

Es wurden zunächst n=180 freie Kreuzungsannäherungen ohne Beeinflussung durch voraus fahrende Pkw ausgewertet. Bei vielen Anfahrten ohne Stopp an der Haltelinie ist ebenfalls eine Fahrerreaktion erkennbar, weshalb auch diese Fälle in der Auswertung berücksichtigt sind. Nachfolgend wird ein „vom Gas gehen“ als Reaktion1, und die „Betätigung einer der Bremsen“ als Reaktion2 bezeichnet. Abb.13 zeigt die Ergebnisse der Studie für die Fälle „Anfahrt mit Stopp“ (Fall1), und „Anfahrt ohne Stopp“ (Fall2).



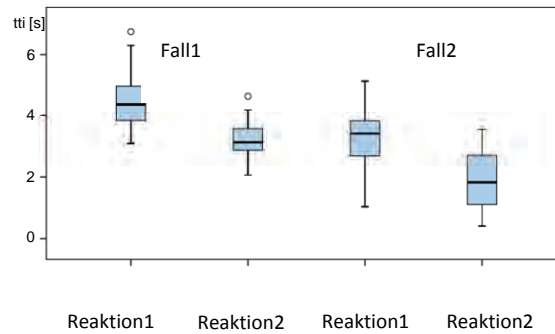


Abb. 13: Ergebnisse

Der Mittelwert für das Ereignis „Reaktion1“ liegt für Fall1 bei  $t_{ti} = 4,525$  s (Std=1,21s, min=2,27s, max=7,2s), für Fall2 bei  $t_{ti} = 3,27$  s (Std=1,1s, min=1,05s, max=5,12s). Die erste Bremsenbetätigung erfolgt bei einem Mittelwert von  $t_{ti} = 3,43$  s (Std=0,904s, min=2s, max=5,6s) für Fall1, und bei  $t_{ti} = 1,88$  s (Std=0,99s, min=0,4s, max=3,55s) im Fall2. Vergleicht man die Ergebnisse mit den aus der Literatur bekannten Pkw-Studien zeigt sich, dass sich die Werte ähneln, und kein signifikantes Abweichen des Fahrerverhaltens beobachtet werden kann. So wurde in [7] ein Wert von  $t_{ti}=4,62$ s für eine erste Reaktion auf die Kreuzung und  $t_{ti}=3,22$ s mit einem Minimum von  $t_{ti}=1,5$ s für die Bremsenbetätigung ermittelt.

## Zusammenfassung

In diesem Artikel wurden die technischen Besonderheiten der Motorräder beschrieben, die am Großversuch des Projekts simTD teilnehmen. Ausgehend von der Motivation für die Teilnahme am Projekt wurde der Aufbau der Versuchsträger vorgestellt. Anschließend folgte eine Betrachtung der Auswirkungen der besonderen Fahrdynamik eines Motorrads auf die Systemkomponente „Bessere Ortung“. Es wurde gezeigt, dass das Prinzip der Koppelnavigation bei Kenntnis des Rollwinkels im Motorrad eine Verbesserung der Positionsqualität liefern kann. Für die Erfassung anderer Fahrzeuge ohne Kommunikation, wird im Projekt ein Radarsensor eingesetzt. Es wurde der Einfluss von Schräglage auf die Funktion des Radarsensors untersucht. Neben den Abständen in x- und y-Richtung ist die Bewertung der Objekte ausschlaggebend für die Ergebnisse. Zur Bewertung der vom Radar berechneten Relevanz der Objekte wurde eine Referenzmethode entwickelt. Weiterhin wurde der Einfluss von Motorrad-spezifischen Faktoren auf die Performance der Antenne untersucht. Im letzten Kapitel wird eine Untersuchung zum Normalverhalten von Motorradfahrern bei der Kreuzungsannäherung vorgestellt. Die Ergebnisse der Probandenstudie werden für die Applikation der Funktion „Kreuzungs-Querverkehrsassistent“ genutzt.

## Literatur

- [1] Corbetta, S., Boniolo, I., Savaresi, S.; *Attitude estimation of a motorcycle via Unscented Kalman Filter*; 5th IFAC Symposium on Mechatronic Systems Marriott Boston Cambridge, Cambridge, MA, USA, Sept 13-15, 2010.
- [2] Fastenmeier, W.: *Analyse des Verhaltens von Pkw- und Motorradfahrern an Kreuzungen*. München: Institut für angewandte Psychologie 2009.
- [3] Seiniger, P., Winner, H., Schröter, K., Kolb, F.; *Entwicklung einer Rollwinkelsensorik für zukünftige Bremssysteme*; Internationale Motorradkonferenz 2006, Köln.
- [4] Seiniger, P., Winner, H., Schröter, K., Kolb, F.; *Entwicklung einer Rollwinkelsensorik für zukünftige Bremssysteme*; Internationale Motorradkonferenz 2006, Köln.
- [5] Niehues, D.; *Diplomarbeit Positionsfiler*, (nicht veröffentlicht).
- [6] Klanner, F.: *Entwicklung eines kommunikationsbasierten Querverkehrsassistenten im Fahrzeug*. Dissertation TU Darmstadt (2008).
- [7] Mages, M.: *Prevent-turn into/cross driving assistance*. In: fzd-Bericht Nr. 303-05, Nummer Work package C1 in *Milestone Report*. Technische Universität Darmstadt, Juli 2005.
- [8] Rohrmüller, F.: *Prädiktion des räumlichen und zeitlichen Verlaufs der Trajektorien bei der Kreuzungsannäherung*. Diplomarbeit, Lehrstuhl für Mensch-Maschine-Kommunikation (2007).

**Development and evaluation of a haptic  
navigation system for motorbike riders**

**Entwicklung und Evaluierung eines haptischen  
Navigationssystems für Motorradfahrer**

Dipl.-Psych. J. P. Frederik Diederichs

Dipl.-Ing. Martin Hegele

Dipl.-Ing. Melanie Ganzhorn

Research staff, University of Stuttgart IAT and  
Fraunhofer-Institute for Industrial Engineering IAO

Nobelstr. 12, 70569 Stuttgart, Germany  
Frederik.Diederichs@iat.uni-stuttgart.de

## Abstract

This paper describes a human machine interface for motorbike riders based on haptic stimuli. It has been applied for navigation cues that are given by vibration motors inside a patent pending smart helmet. The smart helmet is equipped with two lateral vibration motors inside the inner lining and an audio unit. The signals are transferred via Bluetooth from mobile phones or satellite navigation systems to the helmet.

In this release the smart helmet is introduced and the series of experiments carried out to determine haptic navigation cues is described. Further potential applications in ARAS (Advanced Rider Assistance Systems) are on the horizon, like Side Assists, Frontal Collision Warnings, Curve Warnings and Speed Warnings. In this study the aim was to complement or even substitute the traditional, visual and voice command based navigation cues by haptic cues in order to enhance the intuitiveness of turn indications and to reduce distraction while riding to a minimum. The idea is based on the fact that haptic stimuli are processed more directly by the human brain than voice or visual based information. Also the haptic perception channel seems to allow still further room for information while the visual channel is practically fully occupied, especially in complex intersection situations. Providing information by vibration thus incorporates great potential for an intuitive and non distracting human machine interface for ARAS.

For the development of the haptic cues, existing motorbike navigation systems from BMW and TomTom were analyzed theoretically and in practice. Based on this, the existing visual and voice cues were translated into haptic vibration patterns. The haptic cues were tested and improved iteratively in laboratory experiments and in open road tests with at least four participants in each iterative test cycle. The tests proved that the haptic cues are basically always interpreted correctly and can be used effectively and with high acceptance under real driving conditions in urban and rural environments. Limits of the haptic navigation concept were found for small roundabouts and intersections with unsymmetrical road exits as well as for “turn around” maneuvers.

It could be shown in the experiments that haptic navigation would perfectly work in the majority of all navigation events while it still needs complementary information for complex navigation instructions.

## Key words

Navigation, vibration, haptic, HMI, motorbike, PTW, ARAS, warning, helmet

## Kurzfassung

Diese Arbeit beschreibt eine haptische Mensch Maschine Schnittstelle für Motorradfahrer. In diesem Fall wurde sie für Navigationshinweise verwendet, die mit Hilfe eines zum Patent angemeldeten Smart-Helmet an den Fahrer ausgegeben werden. Der Smart-Helmet verfügt über zwei seitliche Vibrationsmotoren im Innenpolster sowie Lautsprecher um sowohl haptische als auch akustische Signale übermitteln zu können. Die Signale werden per Bluetooth von Handys oder Navigationssystemen an den Helm übermittelt.

Im Rahmen dieser Veröffentlichung wird der Smart-Helmet vorgestellt und die Versuchsreihe zur Festlegung der haptischen Navigationshinweise beschrieben. Weitere Anwendungen für die haptische Mensch Maschine Schnittstelle sind in Form von sogenannten Advanced Rider Assistance Systems (ARAS) bereits absehbar, wie Tote-Winkel Warner, Frontalkollisionswarnungen, Kurvenwarnungen und Geschwindigkeitswarnungen. In diesem Anwendungsfall sollen haptische Signale die traditionellen, visuellen und sprachbasierten Navigationshinweise ergänzen bzw. ersetzen indem ein intuitives Interface mit minimaler Ablenkungswirkung geschaffen wird. Die Idee beruht auf der Erkenntnis, dass haptische Reize im Gehirn direkter verarbeitet werden als sprachliche oder visuelle Informationen. Zudem scheint der haptische Informationsverarbeitungskanal noch Kapazität zu bieten, während der visuelle Informationskanal, vor allem in komplexen Kreuzungssituationen, weitestgehend gefüllt ist. Haptische Informationsvermittlung auf dem Motorrad stellt damit eine interessante Option für eine intuitive, nicht ablenkende Mensch Maschine Schnittstelle für ARAS dar.

Für die Entwicklung der haptischen Informationen wurden bestehende Navigationskonzepte von BMW und TomTom sowohl theoretisch als auch praktisch analysiert. Darauf aufbauend konnten die visuellen und sprachbasierten Hinweise in haptische Reize übersetzt werden. Die so entwickelten Hinweise wurden iterativ im Laborversuch und im Feldversuch mit jeweils mindestens vier Testpersonen pro Iterationsschritt getestet und schrittweise weiterverbessert. Am Ende des Prozesses konnten sie unter realen Bedingungen in städtischen und ländlichen Umgebungen erfolgreich eingesetzt werden. Minimale Fehlerraten und hohe Akzeptanz des Systems deuten auf ein hohes Anwendungspotenzial hin. Grenzen für das Konzept wurden an kleinen Kreisverkehren und Kreuzungen mit unsymmetrischen Ausfahrten festgestellt sowie für Wendemanöver.

Die Arbeit zeigt, dass haptische Navigation in den allermeisten Navigationssituationen nahezu fehlerfrei funktioniert, jedoch in komplexen Situationen auf zusätzliche Hinweise angewiesen bleibt.

**Development and evaluation of a haptic  
navigation system for motorbike riders**

# 1 Introducing human machine interfaces for motorbikes

Riders' fatalities account for 17,8% of the total number of road accident fatalities in Europe and, compared to a passenger car occupant, a motorcycle rider is 26 times more likely to die in a crash, as riders are among the vulnerable road users [1].

During the last decade, Advanced Driver Assistance Systems (ADAS) and In-Vehicle Information Systems (IVIS) development is one of the main research areas of the automotive industry, aiming to increase safety and comfort of four-wheel vehicles. Many new technologies have been already introduced successfully in the automotive market and their evolution is fast and efficient.

Nevertheless, the application of Advanced Rider Assistant Systems (ARAS) in motorcycles, in order to increase the safety and comfort of riders is currently lacking behind. The acronym "ARAS" was first introduced by the SAFERIDER [2] consortium in [3] and [4]. However current research is now trying to recover on this missing investigation field [2] [5].

The human machine interface for such ARAS must be designed in a way that they will not interfere with the principle conducting task. Motorcycles are very sensitive vehicles and any unexpected change in their motion caused by a startled rider or an active ARAS may lead to loss of control and in consequence most probably to an accident. A variety of innovative human machine interfaces has been developed in SAFERIDER [6] and a common concept was presented in 2010 by the authors [7].

The content of this paper is the presentation of research for haptic feedback on motorbikes with the example of enhancing traditional navigation human machine interfaces. The new navigation cues are delivered to the rider by a Smart Helmet. Today motorbike navigation systems present the information to the user on visual displays and by speech, just like the 4-wheeler versions. Both, the visual sense and the sense of hearing are very well developed on humans but mainly the visual sense is already highly occupied while conducting a vehicle. Especially motorbike riders have to focus their visual attention mainly to the road and could be distracted easily by the visual stimulus from a display. Also speech is not completely feasible regarding to the high noise level at certain speeds. Moreover visual and audible senses get often degraded by aging.

Perception theories say, that displaying too much information over the same "sensory channel" [8] [9] can quickly lead to an overload of the single channel. In a conduction situation this happens when an ARAS is presenting messages over the same sensory channel, typically visual, that is already fully occupied by the rider to sense the traffic situation. In this case the cognitive load is too high on one channel and some information is not perceived anymore, either from the traffic situation or from the ARAS information [10] [17].

According to this theory it is beneficial to develop a reliable information system for transmitting information via non-visual channels. The multiple resource model of human information processing by Wickens [8] and Wickens and Liu [9] suggests using a free sensory channel for important messages. In this context there are also some studies that deal with haptic devices for navigation e.g. for pilots and other navigators (e.g. [11], [12], [13]). These studies show a great potential and furthermore prove that the separation of sensory channels reduces the sensory overload.

## 2 State of the art in navigation indications

In different areas audible and visual navigation indications are already implemented and highly accepted by users. Still the distraction caused by visual displays and the change of scanning behavior which results in negative effects on traffic safety (e.g. [14] [15] [18] [19]) is a reason for taking the focus away from visual guidance. Audible navigations indications are a good solution for non-visual guidance. They can provide specific information in a clear and understandable way. However they have the disadvantage that they get difficult to perceive under high noise levels (on motorbikes), and also are not suitable for deaf or partly deaf people.

Through the fast progress in the high-tech industry over the past years today navigation systems for cars are cheap and easy to use. The range of units is very wide and varies from ex-factory build in, over external hand held, to mobile phone solutions. However for motorbike navigation the offer is very limited and most of the available products are converted car devices. Mainly the only changes which have been made to the systems are inserting them into water und shock resistant cases. The input interfaces are adapted only on the main menu level by using larger buttons but with respect to the output indications are basically the same. Direction-finding advices are offered to the user by speech and by visual displays.

In general all navigation indications can be classified into two main categories, complex and non-complex hints. Complex navigation indications are hints that consist of more than one information – like “take the second left”. Non Complex navigation indications are advices that consist of only one information – like “turn right”.

A translation of the non-complex visual and speech indications into haptic cues non-complex instructions is very likely to be accepted and understood by the common motorbike rider. For the complex information it will be more difficult to develop understandable translations but a good solution might be for some cases to convert complex information into non-complex information by separating it into two advices and taking care on the perfect moment for presentation.



At the present time there are no haptic navigation systems used for commercial navigation purposes. But haptic navigation and warning systems have already been used in military fighter aircrafts, for firemen [13] and in scientific studies [11] [12].

Since several years Van Erp and his team try to introduce vibrotactile systems for navigation. He effectively tested a vibrotactile waist belt on pedestrians, a boat pilot and a helicopter pilot [12]. He describes the vibrotactile information provision as the “tap-on-the-shoulder”-principle, meaning that tapping on someone’s shoulder from behind will intuitively make him turn to this side. All experiments were very successful and proved, that the “tap-on-the-shoulder” principle is a very intuitive solution for waypoint guidance. Van Erp also tested vibrotactile in-vehicle navigation systems and verified, that the tactile navigation display reduces the driver’s workload compared to the visual display, particularly in the high workload group [11].

As vibrotactile solutions have also already been tested under difficult and harsh conditions with a lot of interfering vibration like on boats and helicopters [12] they seem highly feasible for motorbike conditions. According to these previous studies it would be a great advantage to use haptic navigation cues on motorbikes, because of the reduction of the drivers’ workload and the increase of riding safety.

### 3 Smart Helmet with haptic human machine interface

The smart helmet is a modified stock helmet from the Spanish supplier “NZI Helmets” (see Figure 1). It got a build in Bluetooth communication system which consists of two speakers and a microphone, both embedded in the cheek pads, and two control buttons, located at the side of the helmet. The system operates between 2.402GHz and 2.483GHz on Bluetooth standard 1.2, Bluetooth Class II 2.5mW. It also includes playback of sound.



*Figure 1: Smart Helmet with integrated vibration motors.*

As a modification two vibration motors were built in the cheek pads, one motor for each side. The vibration is obtained through an electrical motor and a rotating eccentric mass controlled by a microcontroller. The parameters that can be set for controlling the motors are the pulsing frequency in a

range of 0- 50 Hz, the duty cycle and the duration. The motors are self-powered by a rechargeable lithium battery that allows several hours of use and are both controlled by Bluetooth and can be switched on and off either separately or together. The motors are operated at a constant frequency and power. A patent for the integration of vibration motors into motorbike helmets is pending.

## 4 Iterative development method

As the method for encountering the best results for haptic navigation cues the iterative design was used [16]. The choice for this method was based on experiences summarized by Nielsen:

"It has long been recognized [20], [21] that user interfaces should be designed iteratively in almost all cases because it is virtually impossible to design a user interface that has no usability problems from the start. Even the best usability experts cannot design perfect user interfaces in a single attempt, so a usability engineering lifecycle should be built around the concept of iteration" [22].

The iteration is a method consisting of a cycle of prototyping, testing, analyzing, and refining to a product. Users and experts are involved early in the user centered development process. Based on the results of each iteration changes, improvements and refinements are made. This process is repeated until the ultimate improvements have been reached. The product is constantly evolving throughout the development [23].

The procedure in iterative design can be described by considering the research by Nielsen [22] [24] in five steps.

1. Complete an initial interface design.
2. Present the design to four test users.
3. Note any problems experienced by the test users.
4. Refine interface to account for/fix the problems.
5. Repeat steps 2-4 until user interface problems are resolved.

The method was applied for the development of the haptic navigation cues by designing first a large set of vibration pattern according to a general concept of vibration pattern design. A series of laboratory tests was planned in order to reduce the variety of vibration pattern to one promising set of navigation cues. When this would be achieved field tests were to be carried out in order to evaluate the vibration pattern in a real environment.

## 5 Design concept for haptic navigation cues

The design of the navigation cues was orientated by the already existing advices from common speech navigation systems, e.g. BMW Navigator IV and TomTom Rider. For the non-complex advices corresponding haptic cues were defined. These commands can be divided in three mayor groups: direction, information and distance. The direction group can be separated into "left", "right" and "straight", the information into "Depart", "You have reached your destination" and "You have reached a waypoint" and the distance has to be put together to either a far or near navigation cue, depending on the riders speed.

For the complex navigation advices one common haptic cue was proposed that should tell the rider that for this information the haptic channel is not suitable and he/she may get further information on a visual display or by voice.

By our own experience it was decided to try to translate the following information. In a first step the speech output was reduced to one simple message:

- Take the nearest road on your left side → Left near
- Be prepared to take a road on your left side → Left far
- Take the nearest road on your right side → Right near
- Be prepared to take a road on your right side → Right far
- Drive further straight ahead → Straight
- An error or a complex advice → Error / Complex meaning: (get more information from the display)

The second step was to decide on a general concept for vibration pattern characteristics in order to start the iterative development process. Based on this general concept a large set of specific vibration pattern was designed for starting the iterative testing.

From our own experience we decided on the following conceptual rules:

Right turn should be indicated by vibration on the right hand side, left turns by vibration on the left side. Despite previous results from van Erp [25] which indicate that distance coding is not working with haptic cues or at least is not improving the performance it was however chosen to try to decode simple distance information (near/far) in a vibration pattern. The assumption was that it is possible to give reference about the distance by changing the urgency of the navigation reference. In this use case urgency can only be changed by altering the duration of the vibrations and of the breaks between them. Another approach would be to change the strength of the vibration, but this could not be realized

with the existing hardware. According to the "tap-on-the-shoulder" principal urgency is created by shortening the breaks between vibrations. The shorter the break the higher is the urgency of the cue. Furthermore the duration of the vibration can be changed to get a more urgent pattern. Here applies that if the vibration is longer the urgency is higher than the urgency of a shorter one.

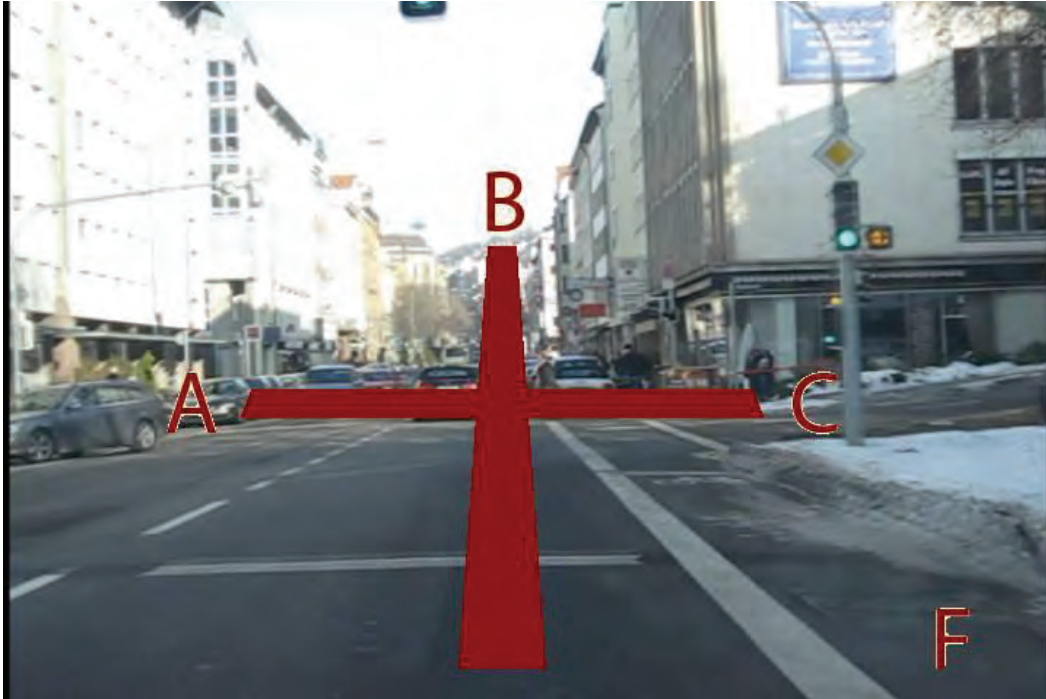
A straight command is induced either by silence or by a vibration on both sides using the "far" pattern.

An error or complex advice is coded by an indefinite series of right-left vibrations.

## 6 Laboratory experiments

An iterative test procedure was carried out in the same laboratory setting and with the same testing method, each of them with 4 participants. The aim was to reduce a number of 20 different versions of the above described concept for vibration pattern to one intuitive set of vibration cues that all participants would understand. After every iteration step the data were analyzed and according to the results the navigation cues were improved and reduced for the next iterative test.

In each test a video of a motorbike ride in a narrow street with an upcoming intersection was presented. The video was frozen before the intersection was reached and turn indications were introduced at the correct time to the participants via the smart-helmet which they were wearing. The vibration cues were played in a different order for each participant in order to evade order effects. The setup consisted of two computers. A laptop was used by the supervisor to send the commands in a Wizard-of-Oz approach via Bluetooth to the helmet, and a PC for playing the video. Participants were asked to sit on a posture chair to simulate a more motorbike like sitting position. In front of the monitor on a desk a questionnaire was placed for rating the vibration pattern. After freezing the video in front of the intersection an A, B, C cross was displayed over the frozen image of the intersection (see Figure 2) and the participants indicated in the questionnaire to which direction the haptic navigation cue had pointed in their opinion. They added a rating about their own confidence on the guess and a third rating about the convenience of the vibration. After the experiment the participants were interviewed, using an open interview protocol, regarding their experience during the test and were asked to make suggestions how to improve the advices.



*Figure 2: Frozen video of a narrow city street to test navigation cues.*

In the first iteration step 20 different vibration patterns were presented to four test participants. This number was reduced to 7 patterns for the second iteration step. The massive reduction of patterns was caused by the realization that, according to van Erp's [25] study, distance could really not be coded by vibration. Distance coding was hence replaced by a new simple "announcement" pattern, which should be played a certain time before the directional cue. The second iterative tests confirmed the success of the announcement cue and gave some more results for minor adaptations of the advice patterns. Iteration step 3 strengthened the results of step 2. The different directions could easily be recognized by the participants. All four of them certified a good potential for the navigation system.

The final results of the laboratory tests showed that patterns with a short vibration followed by a long vibration is in terms of understandability and convenience the best choice. The distance to a turn could not be coded but an additional announcement pattern, that was played a certain time before the actual direction pattern, suited very well the purpose of raising rider's attention to an upcoming turn.

The pattern set that was finally developed for the field tests was:

- For the turn announcement cue: 270ms vibrating pulse in both sides – 270ms silence – 270ms vibrating pulse in both sides
- For direction orders: 135ms vibration pulse – 270ms silence – 630ms vibration pulse (all either on the right side or the left side or both sides for a "straight" advice)
- For the error/complex situation cue: 4 times 270ms left-right alternating pulses with each 270ms silence inbetween

## 7 Field experiment

From the knowledge obtained in the laboratory experiments the best pattern set was selected for the field experiments. Pre-tests on the test track showed that the announcement pattern could be omitted when a turn followed directly on an earlier turn. Consequently this exception was included into the specific concept.

As test track a partly urban and partly motorway round course was chosen. The length of the track was 6.8 kilometers and had 13 changes of direction (see Figure 3). In detail there were 10 turns and 3 roundabouts. The distances between the direction changes varied from several hundred meters to several direction changes in a short distance in the city center. The time to complete the course was about 15 minutes.

The start and end point of the track is marked with an A. The track was completed in alphabetical order. In the test scenario the motorbike rider was followed by a chasing car which was occupied by a driver and a test supervisor. The car driver solely had the task to stick in a safe, but not too far distance to the rider, similar to a riding license convoy. The track was preselected and the supervisor was in charge to guide the biker in front on the correct route only by inducing navigation cues via 100m Bluetooth module.

For insurance reasons in this test the participants had to bring their own motorbike. This also had the advantage that the rider didn't have to get used to a new vehicle and could experience the haptic navigation in a familiar environment. Except the NZI Smart Helmet the equipment was private possession of the participants.

Five participants took part in the field experiments. Three riders knew the helmet from the laboratory tests; two riders were totally new with the system and did not get the chance to try the vibration before the experimental ride.

In a written briefing a description of the navigation advices was given and the information that the riders have to stick to the traffic regulations even if any navigation cue seems to give contrary indications. Also it was written, that if the riders had any problems or receive a command described as "information / complex" they should stop the vehicle at the next possibility. The track was not revealed to them beforehand. After the written briefing an oral briefing followed. The riders were told that they should immediately respond to any navigation cue they get by activating their turning signal to the direction they assume they have to go. If they get the cue for going straight they should turn in the turning signals left and right alternately or use the hazard flashers. It was agreed that if the connection interrupts or anything unforeseen happens the riders will be informed by the driver with the car's horn, meaning that the rider has to stop at the next possible place to fix the problems.

Objective data collected was the rate of false performed actions. During the test run the supervisor noted every wrong turn carried out by the riders and had the opportunity to comment on these on a paper sheet.

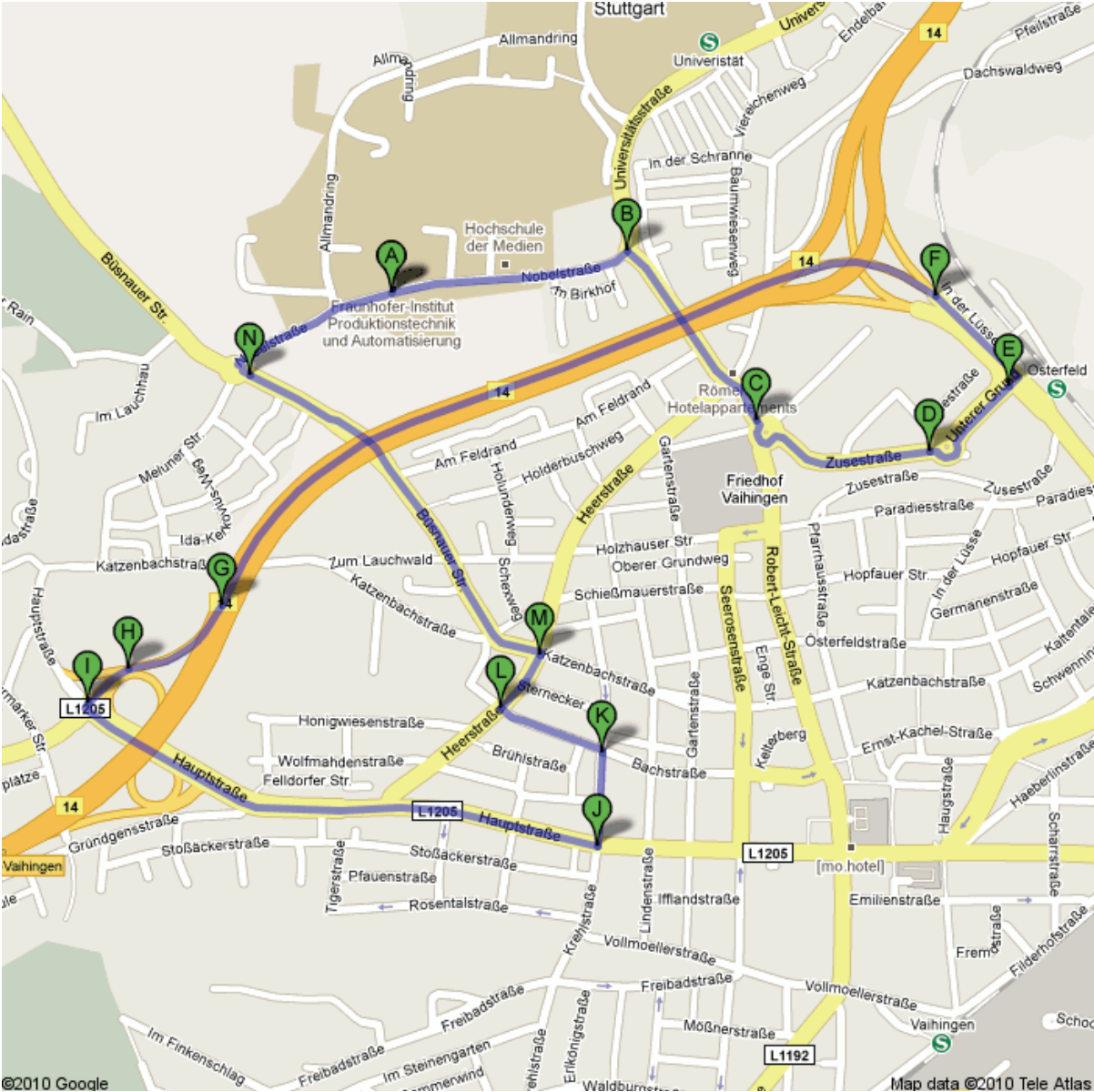


Figure 3: Test track for the field experiment.

Results for the objective data was that no false turning was performed on any intersection or motorway exit. This is a 100% success on giving non-complex navigation orders via haptic cues. Problems occurred in complex roundabouts. In simple four exit roundabouts the riders could follow commands like right, straight and left given before entering the roundabout, but in roundabouts with more than four exits the only command that could be correctly interpreted was the "turn right" command. The riders took the first exit out of the roundabout. All other commands send before entering the roundabout caused the participants to cycle the roundabout until they got new orders. Sending the vibration

in the right cheek shortly before the intended exit of the roundabout led to a 100% success rate. The "information / complex order" pattern was also understood in the right way. If this command was send all riders stopped their bikes at the next possibility and waited for new orders. No difference in the performance was discovered between the three riders who knew the system before and the two riders who were total novices with the haptic navigation.

After the field experiment the participants were asked to fill out a questionnaire consisting of four questions:

*Table 1: Questionnaire field experiment.*

<b>Question</b>	<b>Answer options</b>	<b>Results N = 5</b>
After this experiment, would you use the experienced navigation system?	Yes / No	100% Yes
How clear were the directions to you?	Scale from not "1" to very "4" with 4 subdivisions	3.8 Ø
How comfortable were the vibration?	Scale from not "1" to very "4" with 4 subdivisions	3 Ø
How perceptible were the vibrations?	Scale from not "1" to very "4" with 4 subdivisions	4 Ø

The results obtained from the questionnaire showed that every participant would use a haptic navigation system similar to the experienced one. In terms of clearness regarding the direction indication the result was 3.8 out of 4. Even the two riders who never before had contact with a haptic navigation system could easily interpret the directions. The comfort score was 3 out of 4. Perceptibility of the vibrations ranked 4 out of 4. All riders reported that the vibrations were fully noticeable at all circumstances, including the motorway with about 130 km/h.



## 8 Discussion

The carried out experiments demonstrate that haptic cues have a great potential for motorbike navigation. In an iterative development process a very successful set of vibration pattern was developed which worked with 100 percent accuracy in the final field test. Even distance coding could be achieved to some degree by introducing an announcement vibration before the actual advice.

The advantages of haptic cues against audible, visual signals and speech have been proven by other studies before, e.g. [11] [12] [26]. It remains an open question why no successful product has been introduced to the market yet. The motorbike helmet, which was developed together with a helmet manufacturer, promises to be a good candidate for a first successful application.

For the smart helmet the next development steps will be the integration with a real navigation device, since the human machine interface tests have been carried out in a Wizard-of-Oz approach, meaning that the navigation function was still simulated by the supervisor. The integration of the vibration motors in the helmet is already perfectly solved and a respective patent is pending.

The next step for research in the area of haptic motorbike navigation is to investigate the effects on riding behavior and traffic safety. Another issue is to answer the question if the use of non-complex navigation cues can fully replace other information displays and speech (in a cheap smartphone version) and how to design complementary speech, sound or display advices for complex navigation situations.

In the current version the haptic human machine interface is a very good support for traditional navigation systems and relieves the rider from looking at the display for most of the turn events. Due to the high acceptance and a zero error rate the authors expect a high market acceptance for navigation devices capable of using haptic navigation cues in motorbike helmets.

## 9 References

- [1] destatis.de, *Federal Statistic Office of Germany*, statistic 2005 – 2008.
- [2] SAFERIDER EU project *funded by the EU commission in the 7FP from 2008 to 2011*.  
<http://www.saferider-eu.org/> (31.07.2012).
- [3] Diederichs, J. P. F., Fischle, B. (2008). HMI concepts and strategies. SAFERIDER public Deliverable 5.1. *SAFERIDER project funded by the EU commission in the 7FP from 2008 to 2011*.  
[http://www.saferider-eu.org/assets/docs/deliverables/SAFERIDER\\_D5\\_1\\_HMI\\_Concepts\\_and\\_Strategies.pdf](http://www.saferider-eu.org/assets/docs/deliverables/SAFERIDER_D5_1_HMI_Concepts_and_Strategies.pdf)  
(31.07.2012).
- [4] Diederichs, J.P.F.; Fontana, M.; Bencini, G.; Nikolaou, S.; Montanari, R.; Spadoni, A.; Widloither, H.; Baldanzini, N. New HMI concept for motorcycles: The Saferider approach. *Engineering psychology and cognitive ergonomics. 8th international conference, EPCE 2009 : Held as part of HCI International 2009, San Diego, CA, USA, July 19-24, 2009; Proceedings Springer Verlag Berlin, 2009 (Lecture Notes in Artificial Intelligence 5639)*.
- [5] Kölen, C., Drostal, T., Diederichs, J. P. F. (2010). Erster radarbasierter Spurwechselassistent für motorisierte Zweiräder. *Workshop Fahrerassistenzsysteme in Walting 2010*.
- [6] Diederichs, J. P. F.; Widloither, H.; Fontana, M.; Bencini, G.; Baldanzini, N.; Granelli, S.; Nikolaou, S.; Montanari, R.; HMI Elemente und Konzept für Motorrad Assistenzsysteme. *Der Mensch im Mittelpunkt technischer Systeme. 8. Berliner Werkstatt Mensch-Maschine-Systeme 2009 : 7. bis 9. Oktober 2009, Berlin. VDI-Verlag Düsseldorf, 2009 (Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 22: Mensch-Maschine-Systeme 29)*.
- [7] Ganzhorn, M.; Diederichs, J. P. F.; Widloither, H.; Bekiaris, E.; Nikolaou, S.; Montanari, R.; Spadoni, A.; Fontana, M.; Bencini, G.; Baldanzini, N.; Granelli, S.; Entwicklung eines gerechten MMS Konzepts für Fahrerassistenzsysteme für motorisierte Krafträder. *Safety, environment, future, Proceedings of the 8th International Motorcycle Conference 2010, Köln. Ifz Essen, 2010 (Forschungshefte Zweiradsicherheit 14)*.
- [8] Wickens, C. D. (1984). Processing resources in attention. In R. Parasuraman & D. R. Davis (Eds.), *Varieties in attention* (pp. 63-102).
- [9] Wickens, C. D. & Liu, Y. (1988). Codes and modalities in multiple resources: A success and a qualification. *Human Factors*, 30(5), (pp. 599-616).
- [10] Carsten, O. & Nilsson, L. (2001). Safety assessment of driver assistance systems. *European Journal of Transport and Infrastructure Research*, 1, (pp. 225-244).
- [11] Van Erp, J.B.F. & Van Veen, H.A.H.C. (2004). Vibrotactile in-vehicle navigation system. *Transportation Research Part F7* (pp. 247-256).

- [12] Van Erp, J. B. F., Jansen, C., Dobbins, T., & Van Veen, H. A. H. C. (2004). Vibrotactile waypoint navigation at sea and in the air: two case studies. *Proceedings of Eurohaptics 2004*. University of München.
- [13] Asseman, F., Bronstein, A.M. & Gresty, M.A. (2008). Guidance of visual direction by topographical vibrotactile cues on the torso. *Exp Brain Res* 186, (pp. 283-292).
- [14] Sarter, N. B. (2006) Multimodal information presentation: Design guidance and research challenges. *International Journal of Industrial*. 36 (5), (pp. 439-445).
- [15] Fairclough, S., & Maternaghan, M. (1993). Changes in driver's visual behaviour due to the introduction of complex versus simple route navigation information. In D. Brogan, A. Gale, & K. Carr (Eds.), *Visualesearch 2*.
- [16] ISO 9241-210 (2010): Ergonomics of human-system interaction -- Part 210: Human-centred design for interactive systems. [http://www.iso.org/iso/catalogue\\_detail.htm?csnumber=52075](http://www.iso.org/iso/catalogue_detail.htm?csnumber=52075)
- [17] Wierwille, W. W., Hulse, M. C., Fischer, T. J., & Dingus, T. A. (1991). Visual adaptation of the driver to high demand driving situations while navigating with an in-car navigation system. A. G.
- [18] Janssen, W. H., Kaptein, N., & Claessens, M. (2000). Behavior and safety when driving with in-vehicle devices that provide real-time traffic information. *Proceedings of ITS 99*.
- [19] Liu, Y. C. (2001). Comparative study of the effects of auditory, visual and multimodality displays on drivers performance in advanced traveller information systems. *Ergonomics*, 44(4), (pp. 425–442).
- [20] Bury, K.F. (1984) The iterative development of usable computer interfaces. In *Proceedings of IFIP INTERACT'84 International Conference on Human-Computer Interaction* London, U.K (pp. 743-748)
- [21] Gould, J.D.& Lewis, C.H. (1985) Designing for usability: Key principles and what designers think. *Communications of the ACM* 28, 3 (March, (pp. 300-311)
- [22] Nielsen, J. (1993). "Iterative User Interface Design". *IEEE Computer* Vol. 26, No. 11 (pp. 32-41)
- [23] Laurel B. (2003) Design research: methods and perspectives. *Massachusetts Institute of Technology*. ISBN 0262122634, (pp. 176 - 180)
- [24] Nielsen, J. (2000). "Why You Only Need to Test with 5 Users". Jakob Nielsen's Alertbox, March 19, 200. <http://www.useit.com/alertbox/20000319.html>
- [25] Van Erp, J.B.F., Van Veen, H.A.H.C. & Jansen C. (2005). Waypoint navigation with a vibrotactile waist belt. *ACM Transactions on applied perceptions*, Vol.2, No. 2 (pp. 109-117)

- [26] Martens, M. H., & Van Wisum, W. (2001). Effects of speech versus tactile support messages on driving behavior and workload. *Proceedings of the 17th International Technical Conference on Enhanced Safety of Vehicles*, Amsterdam

**Premiere: "RiderEcall by SchubertH"**

SchubertH presents first automatic e-call  
system for motorcycle rider

**Weltneuheit: „RiderEcall by SchubertH“**

SchubertH präsentiert erstes automatisches Notruf- und  
Ortungssystem für Motorradfahrer

Franz-Josef Görges

SchubertH GmbH, Germany

## Das Problem

Die Gefährdungslage für Motorradfahrer in Europa ist seit über zehn Jahren unverändert hoch. Zwar konnte die Zahl der tödlich verletzten Verkehrsteilnehmer in Europa seit dem Jahr 2001 von rund 54.000 bis zum Jahr 2010 auf rund 27.000 reduziert werden, doch der Anteil der tödlich verunglückten Motorradfahrer blieb jedes Jahr mit rund 5.000 tödlichen Unfällen konstant hoch. So stieg inzwischen der prozentuale Anteil der tödlich verunglückten Motorradfahrer von 9 Prozent (2001) auf 15 Prozent (2010) an. Während in der Automobiltechnik die passive und aktive Sicherheit konsequent verbessert werden konnte, kann der vergleichsweise ungeschützte Motorradfahrer von diesen Innovationen nur im geringen Maß profitieren. Sollte dieser Trend anhalten, würde die Quote weiter auf über 30 Prozent ansteigen.

## Die Idee

Der deutsche Helmhersteller Schubertth beschäftigt sich bereits seit über 30 Jahren mit der Entwicklung und Optimierung der Sicherheitsfaktoren von Motorradhelmen. Dabei geht es nicht nur darum, den Sicherheitskriterien des Gesetzgebers zu entsprechen, sondern die Zielmarke für Sicherheit weit darüber zu setzen und mit immer neuen Innovationen der Takt- und Impulsgeber einer gesamten Branche zu sein.

Im Zuge der rasant wachsenden Möglichkeiten moderner Kommunikations- und Telematik-Technologien, die in der automobilen Mittel- und Oberklasse mit sogenannten E-Call-Notruf-Assistenten längst Einzug gehalten haben, war bei Schubertth bereits vor einigen Jahren eine neue Idee geboren: Die Entwicklung und Einführung des ersten voll automatischen, GPS-basierten Notruf- und Ortungssystem für Motorradfahrer.

Anlässlich der INTERMOT 2012 in Köln ist es nun endlich soweit, dass Schubertth als erster Helmhersteller weltweit ein solches marktreifes System unter dem Namen „RiderEcall by Schubertth“ der Öffentlichkeit vorstellen kann.

## Die Lösung

Das RiderEcall besteht aus einer Motorradeinheit und einer Helmeinheit, die über Funk mit einander gekoppelt sind. Die Motorradeinheit wird ähnlich wie ein Navigationssystem an den Lenker gebaut. Die Helmeinheit wird an der Rückseite des Helms befestigt. Insgesamt fünf Sensoren kontrollieren kontinuierlich die Parameter der Fahrbedingungen.

- Die Motorradeinheit verfügt über einen Neigungssensor, der einen Alarm auslöst, sobald ein bestimmter Neigungswinkel der Maschine unterschritten wird, der auf einen Sturz hindeutet.
- Ein zweiter Sensor, der Beschleunigungssensor, gibt Alarm, sobald untypische Beschleunigungen, insbesondere heftige Negativbeschleunigung, gemessen werden.
- Reißt die Verbindung zwischen Helm- und Motorradeinheit ab, so wie es geschieht, wenn der Fahrer bei einem Unfall von der Maschine getrennt wird, löst ein dritter Sensor aus.
- Ein vierter Sensor prüft kontinuierlich die Stromversorgung durch die Motorradbatterie. Ist diese unterbrochen, wird ebenfalls Alarm ausgelöst. Eine integrierte Batterie gewährleistet dabei die Stromversorgung.
- Der fünfte Sensor, wiederum ein Beschleunigungssensor, befindet sich in der Helmeinheit und löst aus, sobald der Helm aufschlägt bzw. Erschütterung ausgesetzt ist.
- Schließlich kann der Fahrer über eine SOS-Taste auch manuell einen Notruf absetzen.

Die Motorradeinheit verfügt darüber hinaus über einen integrierten GPS-Empfänger, eine integrierte Handy-Karte sowie ein eingebautes Mikrofon und einen Lautsprecher mit einer Reichweite von ca. drei Metern.

## Das Notruf-Szenario

Lösen einer oder gleichzeitig mehrere Sensoren einen Alarm aus, wird eine Notruf-SMS an das „Assist-Team“ gesendet. Diese SMS beinhaltet bereits die GPS-Koordinaten und persönliche, vorab gespeicherte Daten des Hilfesuchenden. Gleichzeitig baut das RiderEcall eine Telefonverbindung zum Disponenten des Assist-Teams auf. Über den Lautsprecher und das Mikrofon wird versucht in Verbindung mit dem Motorradfahrer zu treten. Meldet dieser Hilfebedarf oder kann ggf. gar nicht antworten, werden die GPS-Koordinaten sowie alle anderen verfügbaren Daten über die Person und den Unfallhergang sofort an die nächste Rettungsleitstelle weitergegeben. Ein Rettungswagen oder -helikopter macht sich sofort auf den Weg zur Unfallstelle.

Eine der Leistungsstärken des RiderEcall ist der enorme Zeitgewinn, mit dem künftig Unfälle gemeldet und geeignete Rettungsmaßnahmen eingeleitet werden können. Nur wenige Sekunden nach dem Unfall ist das Assist-Team informiert und kann Rettung zielgenau anfordern. Wertvolle Sekunden und Minuten, die Leben retten und Unfallfolgen minimieren können. Der unsichtbarer Begleiter, der auch dann Hilfe holt, wenn es kein anderer tun kann.

So einfach die Idee und Funktionsweise des RiderEcall klingt, so komplex sind die Strukturen und Prozesse, die sich dahinter verbergen. Es liegt auf der Hand, dass Schuberth als Helmhersteller allein ein automatisches Notruf- und Ortungssystem nicht hätte realisieren können. Eine der großen Herausforderungen bestand daher darin, die passenden leistungsstarken Partner für die Umsetzung zu finden und an einen Tisch zu bringen.

## Die Partner

Einer dieser wichtigen Partner ist die Björn-Steiger-Stiftung mit Sitz in Stuttgart. Seit nunmehr 40 Jahren beschäftigt sich die Stiftung mit der Organisation und Optimierung von Notruf- und Rettungsprozessen. So geht beispielsweise die bundesweit einheitliche Notrufnummer 112 auf die Initiative der Björn-Steiger-Stiftung zurück. Auch die bekannten orangen Notrufsäulen an deutschen Autobahnen sind der Stiftung zu verdanken. Das jüngste Projekt der Stiftung ist die Einführung sogenannter „Baby-Rettungswagen“, die speziell für die Rettung und den Transport von Säuglingen ausgerüstet sind.

Die Infrastruktur für das Assist-Team bietet das BOSCH Communication Center, das vergleichbare Angebote bereits für die Automobilindustrie eingeführt hat. Hier werden die Notruf-SMS empfangen und verifiziert sowie an die Rettungsleitstellen weitergegeben.

Die Deutsche Telekom liefert schließlich die GSM-Telefonkarten, die im Gerät integriert sind. Dabei garantiert die Deutsche Telekom eines der zuverlässigsten und am weitesten ausgebauten Mobilfunknetze Europas.

## Die Markteinführung

Dass Schuberth und seine Partner mit dem RiderEcall nicht nur auf dem richtigen Weg sind, sondern geradezu den Nerv der Motorradfahrer treffen, belegte auch die kürzlich erschienene Allensbach-Studie „Motorradfahren in Deutschland 2011“. 38 Prozent der befragten Motorradfahrer – und damit Platz 1 der gewünschten Innovationen – haben Interesse an einem automatischen Unfall-Notruf.

Das Schuberth RiderEcall wird noch in diesem Jahr in Deutschland angeboten. Ab dem 1. Januar 2013 soll das Notrufsystem europaweit eingeführt werden.

### **Schuberth GmbH: High-Tech „made in Germany“**

Die Helmmanufaktur Schuberth mit Sitz in Magdeburg entwickelt und produziert seit 90 Jahren Kopfschutz-Systeme im Highend-Bereich. Mit einer Vielzahl an innovativen Produkten zählt das Unternehmen weltweit zu den führenden Herstellern von Motorrad-, Formel-1- und Motorsport-Helmen sowie von innovativen Kopfschutzlösungen in den Bereichen Arbeitsschutz, Feuerwehr, Polizei und Militär. Insbesondere die Erfahrungen aus der Formel 1, der Königsklasse des Motorsports, liefern beständig neue Impulse für Produktentwicklungen, die die Referenzklasse für Kopfschutz-Systeme markieren.



**Effects of secondary tasks on workload in motorcycling.  
A simulator study.**

**Auswirkung von Nebenaufgaben auf die Beanspruchung beim  
Motorradfahren. Eine Simulatorstudie.**

Dr. Susanne Buld

Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW)

Raiffeisenstraße 17, 97209 Veitshöchheim/Würzburg

## Abstract

The use of navigation systems and infotainment is becoming increasingly popular on the bike. The impact of this development is the subject of a research project on behalf of BASt at WIVW.

So far, for motorcycling there are no results on workload due to the operation of a system while driving. Usually, data for processing of secondary tasks while driving are captured in driving simulation in order to avoid endangering the driver. Whereas driving simulation in general has been a common instrument for a long time, motorcycle simulation is a new method in research. A major problem with building up motorcycle simulation is the replication of motorcycle dynamics, especially the centrifugal force while handling and steering the bike in curves. Yet, WIVW has successfully built up a motorcycle simulation in this context. Currently the main topic of investigation is rider workload and effort management.

This paper deals with the effect of different secondary tasks on workload and riding performance while motorcycling. A total of 15 drivers drove different courses of varying difficulty under four different conditions of the secondary task: control drive without secondary task, acoustic task, visual task and operation of a menu system via touchscreen. The order of conditions was randomly assigned to each driver.

In addition to subjective data, and user input driving data, physiological measures were collected and analysed. The operation of the menu task had safety relevant effects in all measures. Surprisingly, the effect was most pronounced in the easy course.

According to their own disclosures the drivers felt safer on the easy course and worked on the menu task more often and longer. The effects were clearly visible. On average, drivers alternated up to 50cm on the track. In some cases there was even contact with the edge of the opposite lane. Based on these results, the use of infotainment on the bike has to be critically examined. Further studies on this subject are urgently needed to substantiate the impact of information and assistance during motorcycle riding more closely.

## Kurzfassung

Der Einsatz von Navigationssystemen und Infotainment wird auch auf dem Motorrad immer beliebter. Mit den Auswirkungen dieser Entwicklung beschäftigt sich ein von der BASt beauftragtes Forschungsprojekt am WIVW<sup>1</sup>. Für das Motorradfahren gibt es bislang kaum Ergebnisse zur Beanspruchung, die aus der Bedienung eines Systems während des Fahrens resultiert. Üblicherweise werden Daten zur Bearbeitung von Nebenaufgaben beim Fahren in einer Fahrsimulation gewonnen, um den Fahrer nicht zu gefährden. Während sich die Fahrsimulation beim Autofahren in den letzten 20 Jahren als gängiges Methodeninventar etabliert hat, kommen Motorradsimulationen erst seit kürzerer Zeit zum Einsatz. Gründe für den zögerlichen Einstieg sind die Schwierigkeiten der Nachbildbarkeit der physikalischen Gegebenheiten des Motorrads. Trotz dieser Schwierigkeiten hat auch das WIVW die Motorradsimulation in sein Methodeninventar mit aufgenommen, um die Frage nach der aus Nebenaufgaben resultierenden Beanspruchung zu beantworten.

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit der Auswirkung verschiedener Nebenaufgaben auf die Beanspruchung und die fahrerische Leistung beim Motorradfahren. 15 Fahrer fuhren Strecken verschiedenen Schwierigkeitsgrades unter vier verschiedenen Bedingungen der Nebenaufgabe: Kontrollfahrt ohne Nebenaufgabe, akustische Nebenaufgabe, visuelle Entdeckungsaufgabe und die Bedienung eines Menüs, ähnlich eines Bordcomputers über Touchscreen. Die Reihenfolge der Bedingungen pro Fahrer wurde zufällig zugeordnet. Neben subjektiven Daten wurden Bedieneingaben und Fahrdaten, sowie physiologische Maße erhoben und ausgewertet.

Die Bedienung der Menüaufgabe fiel in allen Datenebenen als sicherheitskritisch auf. Überraschend war dabei, dass der Effekt in der leichten Strecke am stärksten ausgeprägt war. Laut eigenen Angaben fühlten sich die Fahrer auf der leichten Strecke sicherer und bedienten die Menüaufgabe häufiger und länger. Die Auswirkungen waren deutlich sichtbar. Im Durchschnitt wurde bis zu 50cm auf der Spur geschwankt. In Einzelfällen gab es sogar Berührungen mit dem Rand der Gegenfahrbahn. Auf der Basis solcher Ergebnisse sollte das Angebot von Infotainment auf dem Motorrad kritisch hinterfragt werden. Weitere Studien zu dieser Thematik sind dringend nötig, um die Auswirkung von Assistenz und Information während des Motorradfahrens noch näher zu konkretisieren.

---

<sup>1</sup> FE-Nr. 82.0368/2009. Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Fahrerbeanspruchung beim Führen eines Motorrades“. Herzlichen Dank an PD Dr. Christhard Gelau für die hervorragende Projektbetreuung.

**Auswirkung von Nebenaufgaben auf die Beanspruchung beim  
Motorradfahren. Eine Simulatorstudie.**

# 1 Hintergrund und Problemstellung

Der Einsatz von Navigationssystemen und Infotainment wird auch auf dem Motorrad immer beliebter. Einige Motorradhersteller bieten für größere Motorräder, vor allem Tourenmaschinen bereits integrierte Bordcomputer an, die sprachlich oder über Touchscreen bedienbar sind. Darüber hinaus findet man auch im Internet viele Userforen, die sich mit dem Nutzen von Smartphones und entsprechenden Apps zu Navigation, Streckentracking oder anderen beschäftigen. Offenbar entsteht hier ein Markt, der sich auch unabhängig von den Kraftradherstellern weiter entwickelt.

Mit den Auswirkungen der Bedienung solcher Systeme beschäftigt sich ein von der BASt 2010 beauftragtes grundlagenorientiertes Forschungsprojekt am WIVW.

Für das Motorradfahren gibt es bislang kaum Ergebnisse zur Beanspruchung, die aus der Bedienung eines Systems während des Fahrens resultiert. Auch der Einsatz und die Auswirkung von Informations- und Assistenzsystemen auf dem Motorrad sind aktuell in der Literatur noch unterrepräsentiert. Erst in jüngerer Zeit wurden diese Themen in EU-Projekten wie z.B. SAFERIDER untersucht. Darüber hinaus gibt es aktuelle Projekte, die den Austausch von Daten zwischen Fahrzeugen untereinander oder mit der Verkehrsinfrastruktur für die Nutzung von Assistenz- und Informationssysteme zur Verfügung stellen. Diese neue Technologie wird Car2x-Kommunikation genannt. In Projekten wie AKTIV (<http://www.7-forum.com/news/Die-zukuenftige-Mobilitaet-Aktiv-erfahre-3398.html>) oder simTD (<http://www.simtd.de/>) werden sie erstmals geprüft und beziehen dabei nicht nur PKW sondern auch Motorräder mit ein (ConnectedRide).

Zum Umgang mit Informations- und Navigationssystemen auf dem Motorrad sind Veröffentlichungen nur schwer zu finden (Haumann & Krautscheid, 2004).

Dies hat sicherlich auch methodische Gründe. Üblicherweise werden Daten zur Bearbeitung von Nebenaufgaben beim Fahren in einer Fahrsimulation gewonnen, um den Fahrer nicht zu gefährden. Während sich die Fahrsimulation beim Autofahren in den letzten 20 Jahren als gängige Untersuchungsumgebung etabliert hat, kommen Motorradsimulationen erst seit kürzerer Zeit zum Einsatz. Gründe für den zögerlichen Einstieg sind die Schwierigkeiten der Nachbildbarkeit der physikalischen Gegebenheiten des Motorrads. Trotz dieser Schwierigkeiten hat auch das WIVW die Motorradsimulation in sein Methodeninventar mit aufgenommen, um die Frage nach der aus Nebenaufgaben resultierenden Beanspruchung zu beantworten.

## 2 Fragestellung

Da bereits einige Motorradhersteller die Bedienung eines Bordcomputers während des Motorradfahrens ermöglichen und auch Zubehörhersteller mobile Systeme zur Nutzung auf dem Motorrad anbieten, ergibt sich eine dringende Notwendigkeit sich mit den Auswirkungen der Nutzung solcher Systeme während des Fahrens zu beschäftigen. In einer Fahrstudie an der WIVW GmbH wurde diese Thematik auf der Basis folgender Fragestellung untersucht:

Welche Auswirkung hat das Fahren unter Bedingungen der gleichzeitigen Bearbeitung qualitativ verschiedener Nebenaufgaben auf die Beanspruchung der Fahrer und auf das Fahrerverhalten auf unterschiedlich schwierigen Fahrstrecken?

## 3 Methode

### 3.1 Motorradsimulation am WIVW

Wesentliches Einsatzgebiet der Motorradsimulation an der WIVW GmbH, ist die Untersuchung von Belastung/ Beanspruchung und des Beanspruchungsmanagement auf dem Motorrad.

Die Motorradsimulation besteht aus folgenden Komponenten:

- **Mockup:** Der Fahrer sitzt auf einem Motorrad des Typs BMW R100S. Das Motorrad ist um seine Längsachse drehbar aufgehängt. Durch Gewichtsverlagerung kann der Fahrer einen Rollwinkel erzeugen.
- **Simulation Längsdynamik und Querdynamik.**
- **Soundsimulation.**
- **Bildgenerierung:** Alle Bestandteile der virtuellen Welt (Straßennetzwerk, Beschilderung, umgebende Landschaft, andere Verkehrsteilnehmer usw.) werden aus der Sicht des Fahrers dargestellt.
- **Szenario-Kontrolle:** Diese Komponente simuliert das virtuelle Straßennetz sowie das Verhalten anderer Verkehrsteilnehmer.

Alle Komponenten sind Bestandteil der WIVW Fahrstudie Software SILAB oder in diese integriert. Darüber hinaus wird SILAB zur Entwicklung der Szenarien, der Ablaufsteuerung der Simulation sowie zur Datenaufzeichnung verwendet.



Abbildung 1: Darstellung des Wankwinkels über entsprechende Kameradrehung.

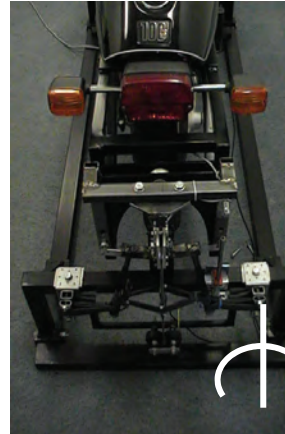


Abbildung 2: Messung des Rollwinkels am Mockup.

In Validierungsstudien (Buld, 2011) zeigte sich, dass die Probanden mit der Umsetzung der Motorrad-simulation auf Landstraßen sehr zufrieden sind. Auch das von der physikalischen Realität stark unterschiedliche Lenken wird schnell gelernt. Analog zu Erfahrungen in PKW-Simulationen brauchen die Testfahrer eine Trainingsphase von ca. 60-90 Minuten mit verschiedenen Übungen, um das Motorrad gut zu beherrschen.

Der Vergleich der erhobenen Fahrdaten hält einer ersten Validierung mit Daten aus Realkrafträdern stand, solange extrem fahrdynamische Fahrmanöver ausgespart werden. Eine Belastungsvariation durch unterschiedliche Aufgabenschwierigkeiten oder Instruktionen wird in verschiedenen Datenebenen valide abgebildet. Ergebnisse aus der dargestellten Studie zeigen, dass Motorradsimulation ein vielversprechendes Werkzeug bei der Untersuchung von Fragen der Mensch-Maschine-Interaktion beim Motorradfahren ist.

### 3.2 Untersuchungsplan

Zur Bearbeitung der Fragestellung wurde ein abhängiger Untersuchungsplan entworfen. Das heißt, alle Fahrer wurden mit allen Nebenaufgaben konfrontiert und mussten diese in zwei verschiedenen Streckenschwierigkeiten fahren. Es wurden drei verschiedene Nebenaufgaben umgesetzt und eine Vergleichsfahrt ohne Nebenaufgabe absolviert (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 3: Schematischer Untersuchungsplan zur Auswirkung verschiedener Nebenaufgaben auf Beanspruchung und Fahrverhalten beim Motorradfahren.

### 3.2.1 Visuelle Nebenaufgabe

Die visuelle Nebenaufgabe wurde in Anlehnung an die PDT (Peripheral Detection Task; van Winsum et al., 1999) gestaltet (vgl. auch Haumann & Krautscheid, 2004). Im peripheren Sichtfeld des Motorradfahrers wurde ein Leuchtdiodenfeld angebracht. Das Aufleuchten der LED musste mit einem Knopfdruck am linken Lenkradhebel bestätigt werden.

### 3.2.2 Manuelle Nebenaufgabe

Das Simulationsmotorrad ist mit einem Bordcomputer ausgestattet, der über Touchscreen bedienbar ist. Das Menüsystem ist ein rein experimentelles System, das jedoch an handelsübliche Bordcomputer angelehnt ist. Die Fahrer waren aufgefordert Menüaufgaben zu erledigen. Beispielsweise „Stellen Sie den Radiosender *Deutschlandfunk* ein.“ Durch Scrollen im Menü und Bestätigen über „touch“ konnte die Aufgabe erfolgreich bearbeitet werden. Es gab eine Sammlung von 62 Aufgaben, die während der Fahrt in zufälliger Reihenfolge dargeboten werden.

### 3.2.3 Auditive Nebenaufgabe

Mit der akustischen Nebenaufgabe sollte ein Gespräch, ähnlich einem Telefonat simuliert werden. Dem Probanden wurde ein Hörspiel (Sherlock Holmes) vorgespielt und seine Aufgabe war es, bestimmte Worte zu zählen, damit seine Konzentration tatsächlich auf das Zuhören gerichtet war.



### 3.3 Strecken

Aufbauend auf Vorversuchen wurden zwei Strecken unterschiedlicher Schwierigkeit entworfen. Sie unterscheiden sich im Wesentlichen in der Spurbreite, der Kurvigkeit, des Höhenprofils und im umgebenden Verkehr.

In der **leichten Fahraufgabe** war die Spurbreite 3,50m. Es gab leichte Kurven mit Radien  $>1000\text{m}$ . Im Höhenprofil wurden hin und wieder leichte Steigungen/Gefälle (bis zu 2%) in die Strecke eingebunden. Vereinzelt gab es Gegenverkehr.

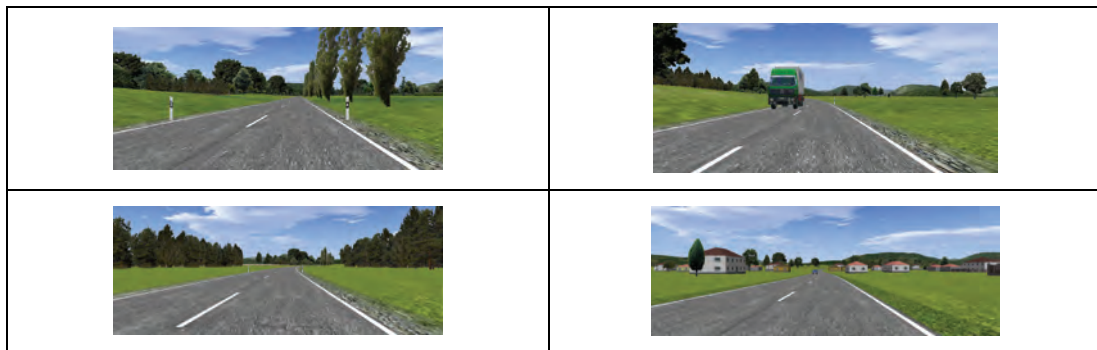


Abbildung 4: Screenshots aus der Motorradstrecke „leicht“.

In der **schweren Fahraufgabe** war die Spurbreite 2,75m ohne Mittelstreifen. Es gab enge Kurven mit Radien zwischen 150 und 800m, teilweise ohne Klothoiden. Im Höhenprofil wurden häufig wechselnde Steigungen/Gefälle (bis zu 6%) in die Strecke eingebunden. Darüber hinaus gab es dichten Gegenverkehr und vereinzelt Hindernisse auf der Fahrbahn, die umfahren werden mussten.

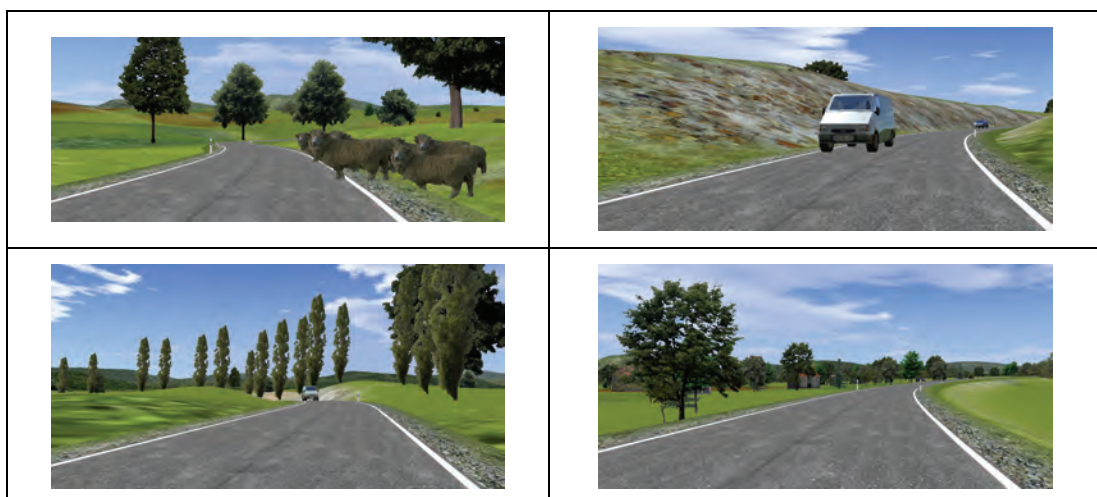


Abbildung 5: Screenshots aus der Motorradstrecke „schwer“.

### 3.4 Stichprobe

An der Studie nahmen 15, bereits an die Motorradsimulation gewöhnte Motorradfahrer teil. Es handelte sich bei den aktiven Motorradfahrern um 13 Männer und 2 Frauen. Im Durchschnitt waren die Probanden 39 Jahre alt. Der jüngste Fahrer war 23, der älteste Fahrer 62 Jahre alt.

### 3.5 Versuchsablauf und Instruktion

Nach einer kurzen Begrüßung und einem Überblick über den Versuchsablauf, wurden den Probanden die Elektroden zur Pulsmessung angelegt. Jeder Fahrer hatte in jeder der vier Bedingungen für die Nebenaufgabe je eine leichte und eine schwere Fahrt zu absolvieren. Insgesamt mussten also 8 ca. zehninütige Fahrten gefahren werden. Die Reihenfolge der Fahrten wurde den Fahrern randomisiert zugeordnet. Die Fahrer wurden in jeder Bedingung instruiert, sicher zu fahren. Der Fahraufgabe ist vor der Bedienung der Nebenaufgabe Vorrang zu leisten. Zusätzlich wurde die jeweilige Nebenaufgabe erklärt:

*Ohne Nebenaufgabe:*

*Bitte fahren Sie ganz sicher und machen Sie keine Fahrfehler – d.h. nicht von der Fahrbahn abkommen und nicht kollidieren. Beachten Sie auch die StVO. Die Höchstgeschwindigkeit ist 100km/h.*

*Visuelle Aufgabe:*

*Bitte fahren Sie ganz sicher und machen Sie keine Fahrfehler – d.h. nicht von der Fahrbahn abkommen und nicht kollidieren. Beachten Sie auch die StVO. Die Höchstgeschwindigkeit ist 100km/h. Während der Fahrt blendet sich immer wieder ein rotes Lichtsignal in ihr Blickfeld ein. Bitte drücken sie immer, wenn sie das Lichtsignal bemerken den Knopf am linken Lenkergriff [Knopf zeigen]. Die Fahraufgabe hat dabei aber immer Vorrang!*

*Akustische Aufgabe:*

*Bitte fahren Sie ganz sicher und machen Sie keine Fahrfehler – d.h. nicht von der Fahrbahn abkommen und nicht kollidieren. Beachten Sie auch die StVO. Die Höchstgeschwindigkeit ist 100km/h. Nach einer kurzen Anfahrt, werden Sie während der Fahrt ein Hörspiel hören. Ihre Aufgabe wird sein, das Wort „und“ zu zählen. Bitte zählen Sie jedes Mal laut mit, wenn sie das Wort „und“ (beim zweiten mal „ich“) hören. Die Fahraufgabe hat dabei aber immer Vorrang!*

*Menüaufgabe:*

*Bitte fahren Sie ganz sicher und machen Sie keine Fahrfehler – d.h. nicht von der Fahrbahn abkommen und nicht kollidieren. Beachten Sie auch die StVO. Die Höchstgeschwindigkeit ist 100km/h. Bitte*

*bedienen Sie während der Fahrt die Menüaufgabe. Die Fahraufgabe hat dabei aber immer Vorrang! Sie sollen zügig und sicher ans Ziel kommen. Bedienen Sie die Menüaufgabe nach Ihrem Ermessen. Wenn Sie der Meinung sind, dass eine sichere Fahrweise wegen des Bedienens nicht mehr gewährleistet ist, wenden Sie sich bitte der Fahraufgabe zu, bis sie wieder die Möglichkeit haben, Menüaufgaben zu lösen. Dann können Sie die Aufgabe einfach weiter bearbeiten. Bei der Nebenaufgabe geht es nicht darum, wie schnell sie bei den einzelnen Aufgaben zur richtigen Lösung kommen. Es ist völlig egal, wie viele Schritte Sie zur Bearbeitung einer Aufgabe benötigen. Sie können also die einzelnen Menüpunkte durchsuchen, bis Sie ans Ziel gelangen, wenn es die Fahraufgabe zulässt.*

### **3.6 Datenmaterial und Auswertung**

Neben den in der Fahrsimulation aufgezeichneten Daten zur Fahrdynamik und Bedienung des Motorrads, wurde als physiologisches Maß der Puls des Fahrers erhoben. Im Anschluss an die Fahrt gab es eine subjektive Beanspruchungsmessung über den NASA Task Load Index, ein mehrdimensionales Inventar, das auch in einem Summenscore zur Gesamtbeanspruchung dargestellt werden kann (Hart & Staveland, 1988).

## **4 Ergebnisse**

### **4.1 Fahrdaten**

#### **4.1.1 Längsdynamik**

In der leichten Strecke wird signifikant bis zu 20 km/h schneller gefahren als in der schweren Strecke. Auch die Nebenaufgabe hat einen signifikanten Effekt. In der visuellen und akustischen Nebenaufgabe wird schneller gefahren als in den anderen beiden Bedingungen. Während in der leichten Strecke unter der visuellen Nebenaufgabe am schnellsten gefahren wird, ist es bei der schweren Strecke die akustische Nebenaufgabe unter der die schnellsten Geschwindigkeiten erreicht werden.

Obwohl ohne Nebenaufgabe und in der Bedingung mit Menü vor allem in der schweren Strecke eine ähnlich niedrige Geschwindigkeit gewählt wird, fällt über die Standardabweichung der Geschwindigkeit ein unterschiedlicher Fahrstil auf:

Ohne Nebenaufgabe wird wie in der Menüaufgabe nur 80 km/h gefahren. Die Standardabweichung der Geschwindigkeit ist aber mit 17 km/h signifikant am höchsten, während sie in der Menüaufgabe am niedrigsten ist. Ohne Nebenaufgabe wird also in der schweren Strecke deutlich dynamischer gefahren. Hingegen ist die Varianz der Geschwindigkeit in der leichten Strecke in der Bedingung mit Menü am höchsten, obwohl im Durchschnitt am langsamsten gefahren wird.

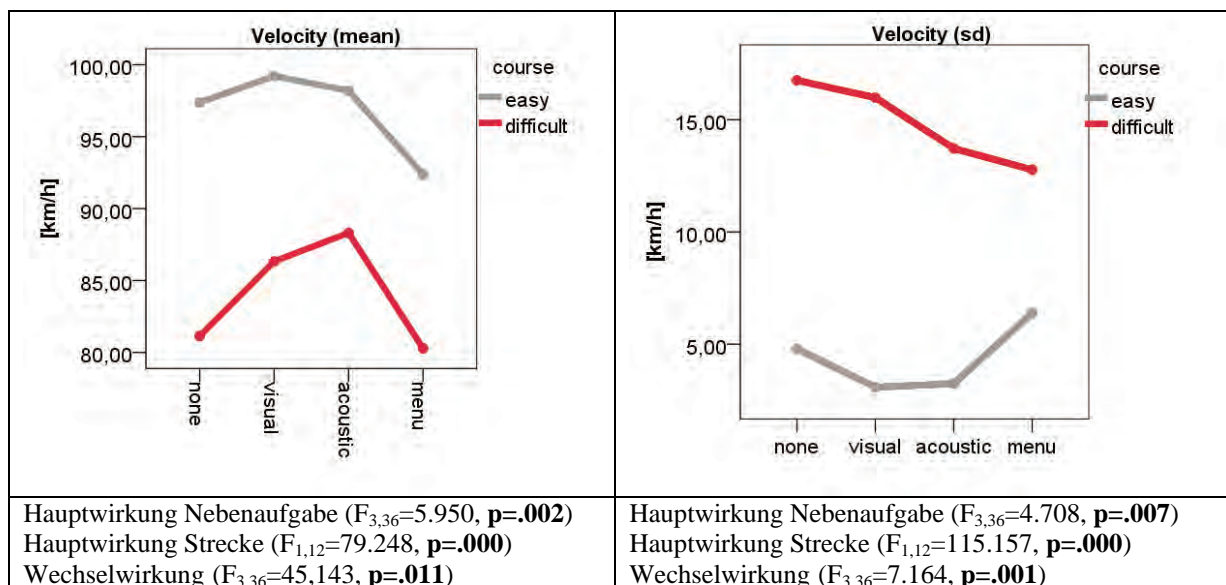


Abbildung 6: Durchschnitt und Standardabweichung der Geschwindigkeit bezogen auf Streckenschwierigkeit und Nebenaufgabe.

Für die maximale Verzögerung hat die Bedingung der Nebenaufgabe keinen signifikanten Effekt. Allein die Strecke wirkt sich aus. Wie zu erwarten liegen die Verzögerungen in der schweren Strecke, in der verschiedene Hindernisse passiert werden müssen signifikant am höchsten.

Für die Varianz der Verzögerung/Beschleunigung fällt wieder die Fahrt auf der schweren Strecke ohne Nebenaufgabe mit den signifikant höchsten Werten auf. Analog zu den Ergebnissen der Geschwindigkeit spricht dieser Befund für eine deutlich dynamischere Fahrweise als in den anderen Bedingungen. Die Unterschiede in der Varianz der Verzögerung/Beschleunigung zwischen den Bedingungen der Nebenaufgabe sind in der leichten Strecke nicht zu finden.

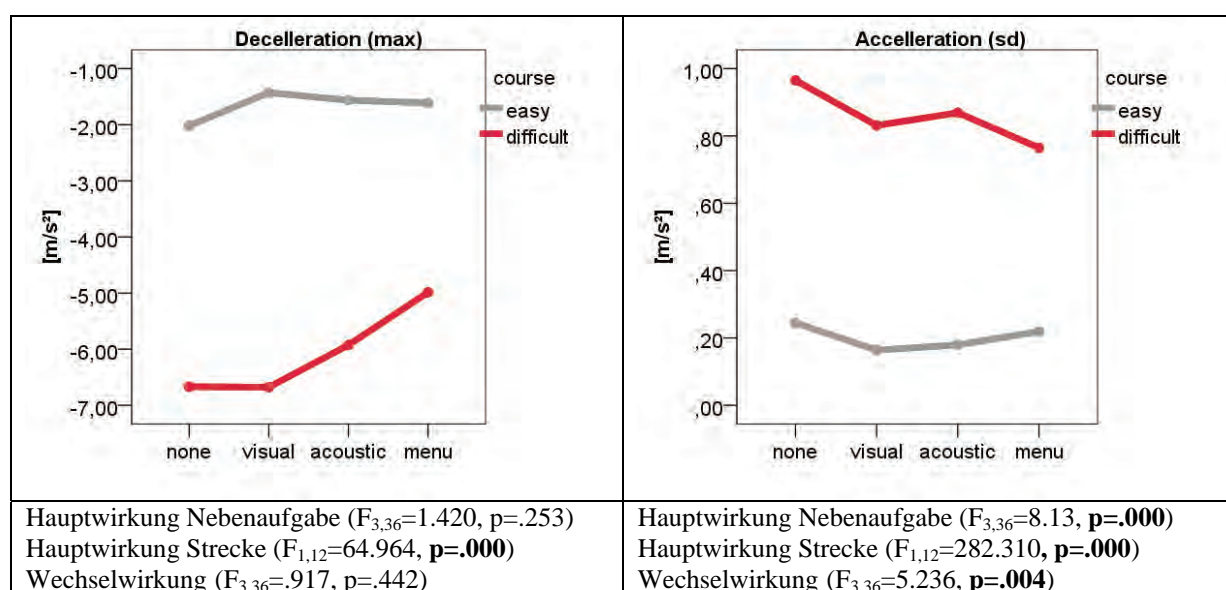


Abbildung 7: Maximum und Standardabweichung der Verzögerung/Beschleunigung bezogen auf Streckenschwierigkeit und Nebenaufgabe.

### 4.1.2 Querdynamik

Da in der Motorradsimulation die Fliehkräfte, die mit dem Kippen und wieder Aufstellen des Motorrads in Kurvenfahrten von zentraler Bedeutung sind nicht ausreichend simuliert werden können, sind auch die Parameter der Querdynamik wie Querschleunigung gar nicht oder nur eingeschränkt auswertbar.

Nachfolgend wird der Rollwinkel, den die Fahrer während des Fahrens eingenommen haben dargestellt. Bei der Betrachtung der Ergebnisse muss jedoch beachtet werden, dass der Rollwinkel nicht aus physikalischer Notwendigkeit heraus entstanden ist, sondern aktiv von den Fahrern in der Kurvenfahrt hergestellt wurde. Man hat sich „in die Kurve gelegt“ und das Motorrad eigenständig wieder aufgestellt. In die dargestellte Standardabweichung des Rollwinkels geht auch die Stärke der eingenommenen Rollwinkel mit ein. Die Rollwinkel-Reversals geben ausschließlich Auskunft über die Anzahl der Roll-Richtungswechsel, die die Fahrer während einer Simulationsfahrt eingenommen haben.

Beides also Maße, die zwar für die Fahrt in der Simulation Gültigkeit besitzen, aber nicht direkt in die Realität übertragbar sind.

Die Varianz des Rollwinkels macht sich nur in der Variation der Streckenschwierigkeit bemerkbar. Wie zu erwarten liegt sie in der schweren Strecke, in der mehr Hindernisse umfahren werden müssen am höchsten.

Für die Summe der Richtungswechsel ergibt sich auch bezogen auf die Nebenaufgabe ein signifikanter Effekt. Sowohl in der leichten als auch in der schweren Strecke werden unter der Bearbeitung der Menüaufgabe die meisten Richtungswechsel vorgenommen. Während in der schweren Strecke in der Fahrt ohne Nebenaufgabe ähnlich viele Richtungswechsel finden, zeigt sich der Effekt in der leichten Strecke nur in der Bedingung mit Menüaufgabe.

Man findet also auch in dieser Kenngröße Belege für ein dynamisches Ausfahren der schweren Strecke ohne Bearbeitung einer Nebenaufgabe. Hingegen fällt in der leichten Strecke auch hier die Bearbeitung der Menüaufgabe signifikant mit höherer Varianz auf.

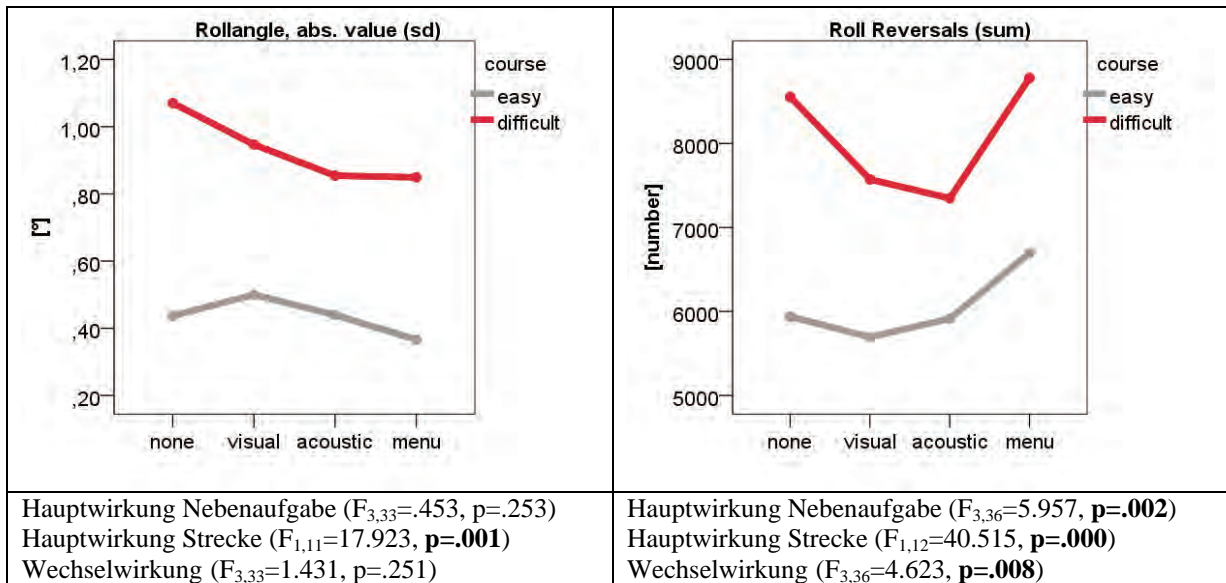


Abbildung 8: Standardabweichung des Rollwinkels und Summe der Richtungswechsel beim Rollen bezogen auf Streckenschwierigkeit und Nebenaufgabe.

### 4.1.3 Spurhaltung

Der Schwierigkeitsgrad der Strecken hat für die Maße der Spurhaltung keinen eigenständigen Einfluss. Die Bearbeitung der Nebenaufgabe schon. Ohne Bearbeitung einer Nebenaufgabe sowie bei der Menübedienung wird im Vergleich zu den anderen beiden Nebenaufgaben signifikant weiter links gefahren. In der schweren Strecke fällt vor allem die akustische Nebenaufgabe auf. Im Vergleich zu allen anderen Bedingungen wird signifikant weiter rechts (nahezu in der Mitte der Fahrspur) gefahren.

Für die Güte der Spurhaltung ist die Standardabweichung der Spur (SDLP) ein gängiges Maß. Hier fällt die Bearbeitung der Menüaufgabe in beiden Streckenarten gegenüber den anderen Bedingungen mit schlechteren Werten auf. Besonders deutlich ist der Effekt in der leichten Strecke. Der Wert ist ca. 8 cm höher als in der schweren Strecke.

In der akustischen Bedingung ist die Varianz der Spurhaltung in der leichten Strecke sogar geringer als in den anderen Fahrten.

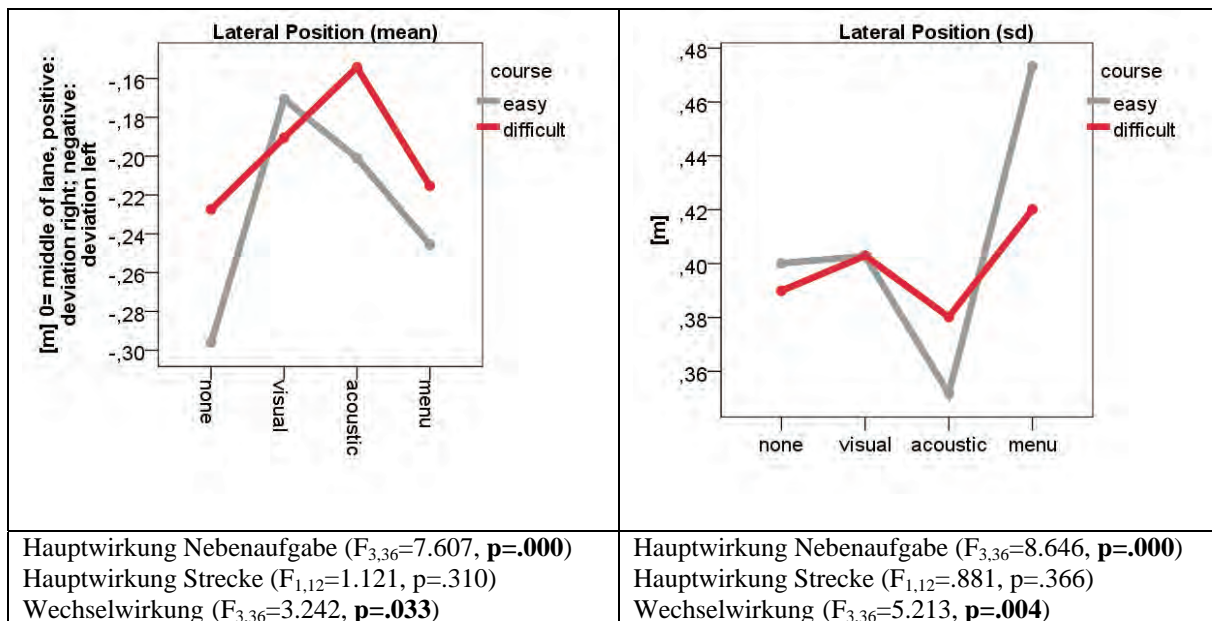


Abbildung 9: Durchschnitt und Standardabweichung der Spurhaltung bezogen auf Streckenschwierigkeit und Nebenaufgabe.

## 4.2 Puls

Der durchschnittliche Puls der Probanden wird von den Versuchsvariationen nicht signifikant beeinflusst. Die Varianz des Pulses liegt in der schweren Strecke signifikant höher als in der leichten. Dieser Effekt gilt jedoch nicht für die Fahrt mit Bedienung der Menüaufgabe. Hier liegt die Variabilität des Pulses in beiden Bedingungen gleich hoch. Auch in der leichten Strecke werden Werte, die in den anderen Bedingungen nur in der schweren Strecke auftreten eingenommen.

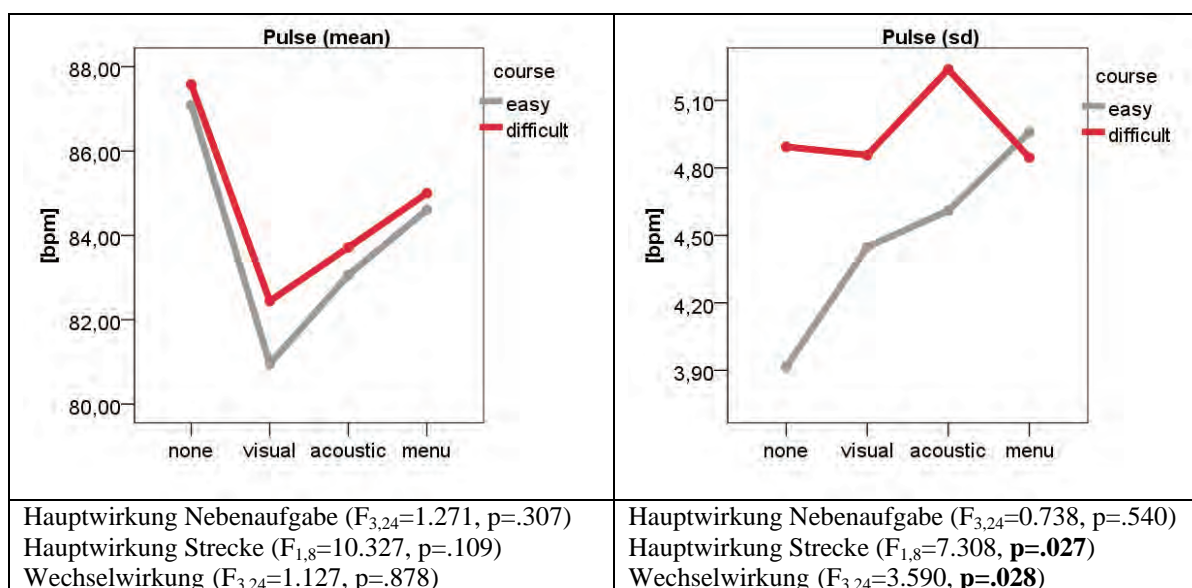


Abbildung 10: Durchschnitt und Standardabweichung der Pulsfrequenz bezogen auf Streckenschwierigkeit und Nebenaufgabe.

### 4.3 Befragung

Die schwierige Strecke wird von den Fahrern auch signifikant als anstrengender beurteilt. Auch zwischen den Bedingungen der Nebenaufgabe gibt es eine signifikante Reihenfolge. Die Fahrt ohne und die Fahrt mit visueller Nebenaufgabe werden am wenigsten anstrengend beurteilt. Gefolgt von der akustischen Nebenaufgabe. Am anstrengendsten bewerten die Fahrer die Fahrt unter der Bedingung der Menüaufgabe.

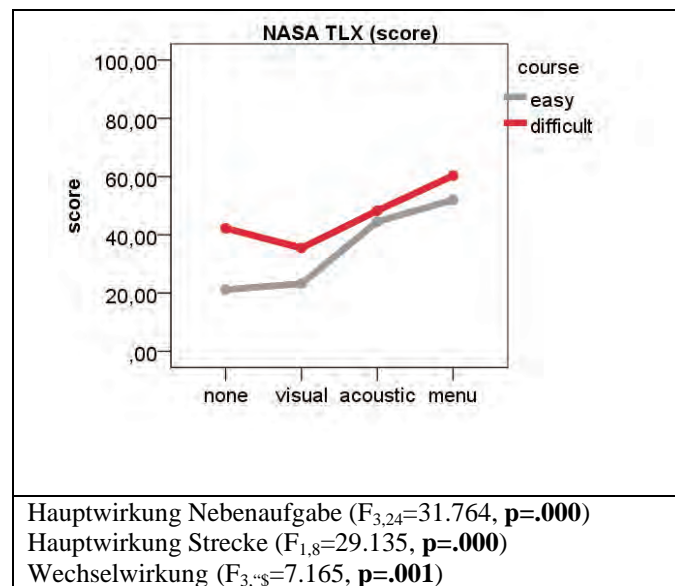


Abbildung 11: Durchschnitt des NASA TLX Score bezogen auf Streckenschwierigkeit und Nebenaufgabe.

## 5 Diskussion

Die dargestellten Ergebnisse zeigen zunächst, dass durch die unterschiedlichen Versuchsvariationen in Schwierigkeit der Strecke und Bedienung der Nebenaufgabe unterschiedliche Fahrstile entstehen. Insgesamt wird in der schweren Strecke ohne System deutlich dynamischer gefahren als in allen anderen Bedingungen. Dies zeigt sich in Wahl und Variation der Geschwindigkeit sowie der gewählten Verzögerung. Die visuelle und die akustische Nebenaufgabe veränderten diese Fahrweise nur unbedeutend in Richtung eines defensiveren Fahrens.

Auffällig war die Bedienung der Menüaufgabe, in der die Fahrer bewusst ihren Fahrstil änderten, um Leistungseinbußen zu kompensieren. So wurde langsamer mit hoher Variation der Geschwindigkeit in der leichten Strecke und langsamer mit niedriger Variation der Geschwindigkeit in der schweren Strecke gefahren.



Betrachtet man die Güte der Spurhaltung (Standardabweichung der Spurabweichung, SDLP) ähnlich wie beim PKW als Leistungsmaß beim Fahren gemeinsam mit dem subjektiven Workload Urteil, so zeigt sich ein interessanter Befund (vgl. Abbildung 12).

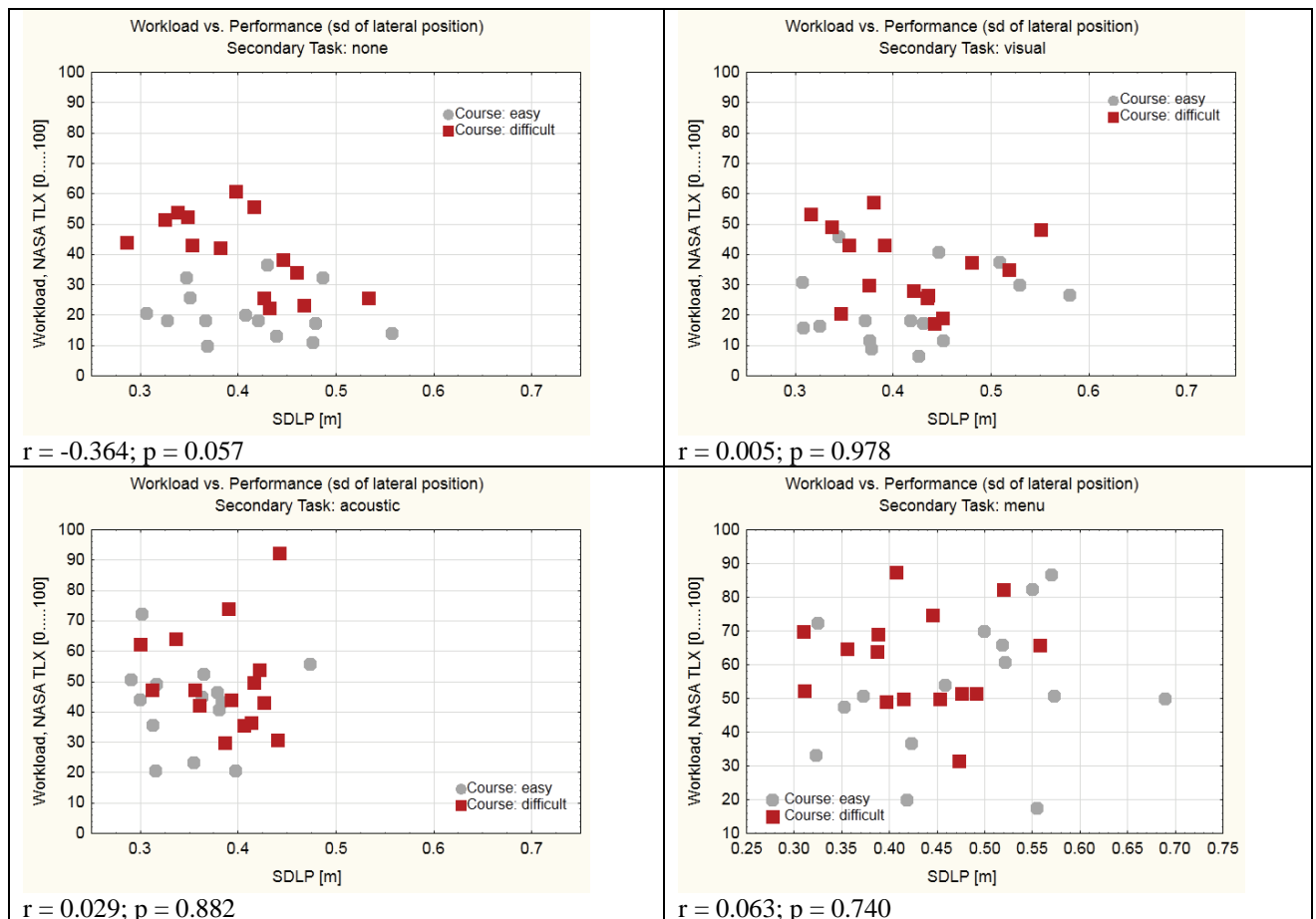


Abbildung 12: Vergleich der Güte der Spurhaltung mit der subjektiven Beurteilung des Workload.

Beim Fahren ohne Nebenaufgabe wird die schwere Strecke auch als signifikant schwieriger beurteilt wird als die Leichte. Für die Fahrt in der visuellen Bedingung bleibt der Effekt erhalten, schwächt sich aber ab. Die subjektive Beurteilung wird jedoch in beiden Fahrten nicht direkt in einer schlechteren Spurhaltung objektiv greifbar.

Für alle Fahrten unter der akustischen Bedingung und der Bedienung der Menüaufgabe gibt es die subjektive Unterscheidung der Streckenschwierigkeit im Beanspruchungsmaß nicht mehr. Hier macht das Fahren mit Nebenaufgabe die Fahrt generell so anstrengend, dass der Effekt der Streckenschwierigkeit überdeckt wird.

Auffällig ist weiterhin, dass das subjektive Urteil vor allem in den Bedingungen der Nebenaufgabe keinen Zusammenhang mit der fahrerischen Leistung hat. D.h. dass nicht zwingend die Fahrer, die die geringste Güte der Spurhaltung aufweisen auch die Fahrt am anstrengendsten beurteilen.

In der Fahrt mit visueller Nebenaufgabe wird die Spurhaltung nicht schlechter als in der Fahrt ohne Nebenaufgabe. Unter der akustischen Bedingung wird die Leistung in der Spurhaltung überraschenderweise sogar deutlich besser, obwohl das Fahren als anstrengender beurteilt wird. Im Gegensatz dazu fällt die Güte der Spurhaltung beim Fahren unter der Menübedingung am schlechtesten aus. Diese Fahrt wird auch am anstrengendsten beurteilt.

Interessant ist dabei, dass die Leistung in der leichten Fahrt am stärksten einbricht.

Aus den verbalen Kommentaren der Fahrer kann man entnehmen, dass man sich beim Fahren auf der leichten Strecke sicherer fühlte und der Anreiz die Menüaufgabe zu bedienen höher war. Dieser Befund zeigt sich auch in der Anzahl der bearbeiteten Aufgaben. Die Fahrer konnten im Gegensatz zu den anderen Nebenaufgaben, die vorgegeben waren, frei entscheiden, wann sie die Nebenaufgabe bedienen. Eine sichere Fahrweise war gemäß Instruktion oberste Priorität. Obwohl viele Fahrer verbal mitteilten, dass sie niemals während des Fahrens ein Menü bedienen würden, wurden auf der leichten Strecke im Durchschnitt 23 Aufgaben, auf der Schweren immerhin 13 Aufgaben

bearbeitet. Offenbar entstand der Irrglaube, in der leichten Strecke sei es unproblematischer sich neben dem Fahren mit dem Menü zu beschäftigen. Dies wurde mit deutlich ungenaueren Spurhaltung quittiert. In Einzelfällen wurde sogar zunächst aufgrund der Bedienung unbemerkt auf der linken Fahrspur der Fahrbahnrand überfahren. In der schweren Strecke waren die Fahrer von vorneherein davon überzeugt, dass die Bedienung der Menüaufgabe deutlich negative Folgen haben würde. Aber auch hier wurde die Leistung schlechter.

## 6 Ausblick

Der vorliegende Beitrag stellt eine grundlagenorientierte Simulatorstudie vor, die Aussagen zur Auswirkung der Bedienung von Nebenaufgaben auf die Beanspruchung beim Motorradfahren macht. Es zeigt sich, dass vor allem die manuelle Bedienung eines Systems auf dem Motorrad negative Folgen auf die Güte der Spurhaltung hat. Die Beanspruchung steigt in allen Nebenaufgaben soweit an, dass andere Belastungsfaktoren, wie die Streckenschwierigkeit überlagert werden. Am anstrengendsten wird die Bedienung der Menüaufgabe beurteilt. Die Motorradfahrer konnten bedauerlicherweise nicht gut abschätzen, wann die Bedienung des Systems gefahrlos möglich ist. Auf der Basis solcher Ergebnisse sollte das Angebot von Infotainment auf dem Motorrad kritisch hinterfragt werden. Weitere Studien zu dieser Thematik sind dringend nötig, um die Auswirkungen von Assistenz und Information während des Motorradfahrens noch konkreter beurteilen zu können.

## 7 Literatur

2 be safe – Two-wheeler behaviour and safety. 2010, from <http://www.2besafe.eu/>

MYMOSA – Towards integrated safety for powered 2-wheeler. 2010, from <http://www.mymosa.eu/index.php>

PISA – Powered Two Wheeler Integrated Safety. 2010, from <http://www.pisa-project.eu/>

SAFERIDER. 2010, from <http://www.saferider-eu.org/>

Buld, S. (2011). *Die Motorradsimulation als Werkzeug in Training und Forschung*. Beitrag auf der 3. Internationale TTD-Konferenz in Dresden, Würzburg, [http://www.dvr.de/ttd-conference/download/ttd2011\\_buld\\_ppt\\_en.pdf](http://www.dvr.de/ttd-conference/download/ttd2011_buld_ppt_en.pdf)

Haumann, M. & Krautscheid, R. (2004). *Untersuchung der Belastung und*

*Beanspruchung von Motorradfahrern bei Navigationsaufgaben*. Beitrag auf der 5. Internationalen Motorradkonferenz, Köln. Ifz Tagungsband Nr.11, Essen.

Van Winsum, W., Martens, M. & Herland, L. (1999). *The effects of speech versus tactile driversupport messages on workload, driver behaviour and user acceptance*. TNO-report, TM-00-C003. Soesterberg, The Netherlands.

Hart, S. G. & Staveland, L. E. (1988) *Development of NASA-TLX (Task Load Index): Results of empirical and theoretical research*. In P. A. Hancock and N. Meshkati (Eds.) *Human Mental Workload*. Amsterdam: North Holland Press.

**Application of viewing analyses  
to improve safety for motorcyclists**

**Einsatz von Blickanalysen zur Hebung  
der Verkehrssicherheit von Motorradfahrern**

Univ. Prof. DI Dr. Ernst Pflieger

EPIGUS-Institut  
für ganzheitliche Unfall- und Sicherheitsforschung

Schmerlingplatz 3/7, 1010 Wien  
e-mail: [e.pflieger@viewpointssystem.com](mailto:e.pflieger@viewpointssystem.com)  
tel: +43/664/2020234



**Application of viewing analyses  
to improve safety for motorcyclists**

## Abstract

The severity of motorcycle accidents in Austria is high in comparison with other road users, 13% of deaths are motorcyclists (cf. Österreichisches Verkehrssicherheitsprogramm 2011-2020)

Many accidents can be attributed to incorrect viewing behaviour, miscalculations, and too high complexity (uncoordinated gaze movement), especially at high velocities.

Viewing analyses of motorcyclists demonstrate the relevance of viewing strategies.

The choice of driving line is significantly influenced by the viewing behaviour. In curves, the head position can lead to distorted perspective perception and misjudgements, causing errors especially at high velocities.

Because of unfavourable viewing behaviour, less experienced drivers are less able to follow through avoidance strategies and may overreact (e.g. overbraking the front wheel, sharp braking in bends.) This can cause run-off-road accidents resulting in severe or fatal injuries.

Angular shift causes distorted perception of speeds and perception deficits. With appropriate routine, the correct turn-in point will appear self-evident, moderate speed allows an automatised navigation of turns, resulting in more harmonious viewing sequences.

Separating the driving direction from the viewing direction is required for successful navigation of a bend.

A correct seating position lets the driver feel the motorcycle's reactions while he navigates.

When entering a curve, the gaze should already cover the road course ahead. When leaning into the curve, the head should be held straight, because an oblique head position leads to a distorted perception of the road markings and the surroundings.



Viewing films will show seasoned as well as less experienced motorcyclists, using the Foveal Perception Circle representation, a visualisation of the current eye position and the sharpness of vision:

The smaller of two concentric circles corresponds to the central acute vision, the area of the fovea centralis (with an angular opening of  $2^\circ$ )

The parafoveal area, in which colors, shapes, and contrasts are especially well recognized, is represented by the larger circle (corresponding to an opening with  $10^\circ$  angle)

Past viewing positions are displayed as a “viewing trace” in the video, which fades over a time of one second. This fading represents the duration of visual short term memory and the gradual “forgetting” of its contents.

The TÜV-certified *viewpointssystem*® viewing analyses allow for the first time an objective evaluation of real viewing behaviour, danger recognition, reaction behaviour, and navigation of single-track vehicles by beginners and routiniers.



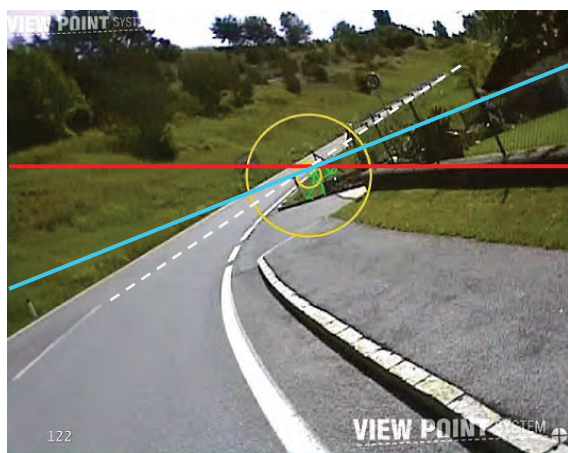
## Differences in viewing behaviour by practical driving experience

### *Beginner:*

Restless viewing behaviour, numerous saccades between elements, vibration/shocks and tense body posture can be seen especially in leaning positions.

In sharper turns, the head is often leaning along with the motorcycle, causing the viewing plane of the motorcyclist to be at an angle to the horizontal road surface. When fixating objects, vehicles, etc. distance estimations no longer occur on a flat plane, but in a complex, constantly changing, and distorted space. This greatly complicates estimations of angular changes and spatial relationships.

High driving velocities and the resulting rapidly changing perspectives make orderly navigation over larger areas difficult or impossible.

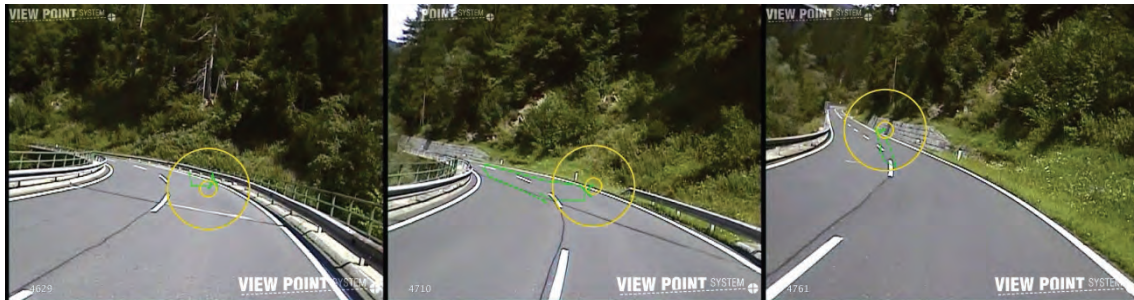


The potentially usable visual space is not used fully, often orientation over greater distances is lacking. The result of this all is an inhomogeneous navigation of curves; constant corrections are needed.



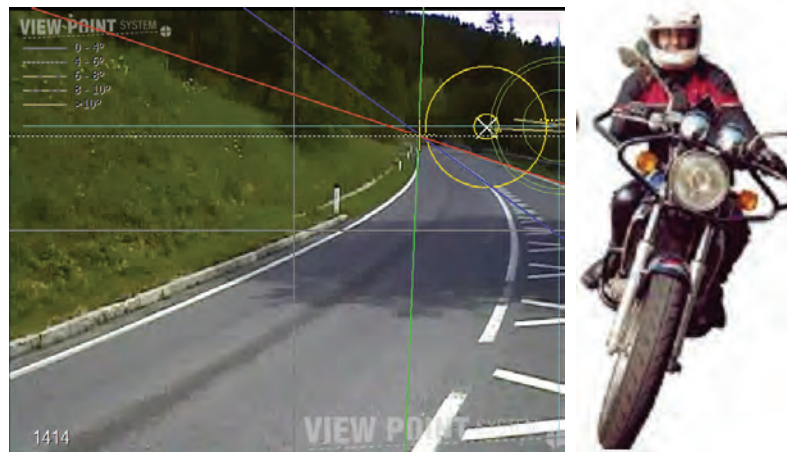
Compared to the seasoned driver, distractions and long fixations occur to light-shadow boundaries and various potentially dangerous elements (separation joints on bridges, manhole and drain covers, and sealing edges).

Navigation of curves exclusively at short distances pose a risk potential for the motorcyclist. The viewing technique expressed here limits driving by sight greatly.



*Routine Motorcyclist:*

Leaving the head oriented to the vertical leaves the viewing plane nearly parallel to the road. This allows distance estimations to objects, vehicles, road segments etc. and a more comprehensive perception of angular movements within the field of view.



Viewing behaviour is largely oriented at greater distances. At the entry point to a bend, orientation/navigation elements opposite the center are scanned, allowing for a good estimation of the curvature and recognition of the following road segments.

Pendular viewing structures in close and far ranges also allow an early recognition of oncoming traffic.



Viewing navigation also at close ranges ensures a good estimation of the own position, and allows avoidance of the danger area of the opposite lane.

Only singular viewing movements offside the road, into the embankment, are recognizable as potential unwanted distractions.

## Conclusions

The illustrated physiological deficits pose a challenge to road operators and maintainers:

The above-mentioned perception deficits and physiological interrelations need to be addressed by adequate safety measures.

**The goal should be to ensure an integral perceptibility and cognition of curves and changes of the curvature.**

In Austria as well as abroad, curves tend to only be marked by a bare minimum of guiding elements.

This is in stark contrast to the numerous scientific studies of the EPIGUS-Institute, where viewing analyses of motorists show that an optimal recognition of a homogenous turn requires a minimum of 6-8 navigation points.

For clothoids, the number of navigation elements has to be adequately increased.

Viewing analyses further show that the spacing of guidance elements must necessarily be adapted to the radius of curvature of each bend.

It is suggested that next to conventional guide elements, new methods of markings (such as vps-markers®) may be used for this task.



The accurate viewing analyses open up entirely new ways of both improving road equipment and the education of motorcyclists (as basis for practical driver training and road safety courses).

In this way, accident risks can be reduced and economic costs (hospitals, rehabilitation) can be reduced greatly, at comparatively small installation costs of additional roadside equipment.

As viewing analyses confirm the need for **continuous navigation elements**, which are a major factor for the perception and estimation of curvature radii. It would be a technical mistake to attempt to compensate optical deficits in guidance purely with passive safety elements.

In parallel, optimised viewing strategies should already be **further addressed in driver training**. This would contribute greatly to an overall increase in traffic safety.

## **Einsatz von Blickanalysen zur Hebung der Verkehrssicherheit von Motorradfahrern**

## Kurzfassung

In Österreich liegt die durchschnittliche Unfallschwere bei Motorradunfällen im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern sehr hoch, 13% aller Getöteten sind Motorradfahrer (vgl. Österreichisches Verkehrssicherheitsprogramm 2011-2020).

Viele Unfälle sind auf falsches Blickverhalten, Fehleinschätzungen und zu hohe Komplexität (unkoordinierte Blickbewegungen) vorrangig bei hohen Fahrgeschwindigkeiten zurückzuführen.

Die Blickanalysen bei Motorradlenkern zeigen die hohe Relevanz von Blickstrategien.

Die Fahrlinienwahl wird durch das Blickverhalten wesentlich beeinflusst. Besonders bei Kurvenfahrten kommt es aufgrund der Kopfstellung zu perspektivischen Verzerrungen und Fehleinschätzungen, wobei insbesondere bei hohen Fahrgeschwindigkeiten und radialen Verlagerungsgeschwindigkeiten die Fehlergrößen verstärkt werden.

Unroutinierte Fahrer können aufgrund ungünstiger Blickführung Vermeidungsstrategien nur schwer umsetzen und neigen zu Überreaktionen (z.B. Überbremsen des Vorderrades, Starkbremsung während Bogenfahrt etc.). Dies führt besonders in Freilandkurvenbereichen zu schweren oder tödlichen Verletzungen der Motorradlenker durch Abkommen.

Aufgrund von Winkeländerungen kommt es zu verfälschten Geschwindigkeitswahrnehmungen und Wahrnehmungsdefekten. Bei entsprechender Routine erscheint der richtige Einlenkpunkt logisch, die angemessene Fahrgeschwindigkeit lässt eine automatisierte Befahrung der Kurven zu, es treten in der Folge harmonische Bewegungsabläufe auf.

Die ideale Blick- und Wahrnehmungstechnik, das Trennen von Fahrt- und Blickrichtung, ist Grundvoraussetzung für das Gelingen einer Kurvenfahrt.

Mit Wahl der richtigen Sitzposition und Kurvenfahrtechnik spürt der Lenker die Reaktionen des Motorrads, während sein Blick laufend Kontrollblicke durchführt und einzelne Navigationspunkte betrachtet.

Bereits beim Einfahren in die Kurve sollte das Blickverhalten in den weiteren Kurvenverlauf (dorthin, wo man hinfahren will) geführt werden.

Während der Kurven-Schräglage sollte der Kopf in die Kurvenrichtung hineingedreht und senkrecht gehalten werden, da mit schräg gestelltem Kopf die Fahrbahn, die Fahrbahnbegrenzungen und die Umgebung nur verzerrt wahrgenommen wird.



Gezeigt werden Blickvideos von routinierten und nicht routinierten Motorradfahrern mit Darstellung des Foveal Perception Circle. Diese Darstellungsform erlaubt die Visualisierung der momentanen Augenposition (Blickpunkt), die mittels zweier konzentrischer Kreise dargestellt wird. Der innere kleinere Kreis (Kegelöffnungswinkel  $2^\circ$ ) entspricht etwa dem zentralen Scharfseh-Bereich (Bereich der fovea centralis).

Der parafoveale Sehbereich, in dem Farben, Formen und Kontraste besonders gut erkannt werden, ist als großer, äußerer Kreis (Öffnungswinkel  $10^\circ$ ) in den Filmen ausgewiesen.

Die letzten Blickpositionen werden im Film auch als sogenannte Blickspur dargestellt. Diese im Video grün ausgewiesene Spur verlischt nach und nach. Dieser als „Fading“ bezeichnete Prozess stellt den Vorgang des Vergessens bzw. die noch im Kurzzeitgedächtnis gespeicherten Inhalte der gesehenen Objekte dar. Die Länge/Dauer dieser dargestellten Blickspur wurde mit 1 s ausgewiesen.

Mit den TÜV-zertifizierten *viewpointssystem*®-Blickanalysen sind erstmalig die objektive Bewertung und Evaluierung des realen Blickverhaltens, der Gefahrenerkennung, des Reaktionsverhaltens und des Fahrverhaltens beim Lenken von einspurigen Kraftfahrzeugen durch Fahranfänger und Routiniers möglich.



## Unterschiede des Blickverhaltens bei den Motorradlenker nach Fahrpraxis

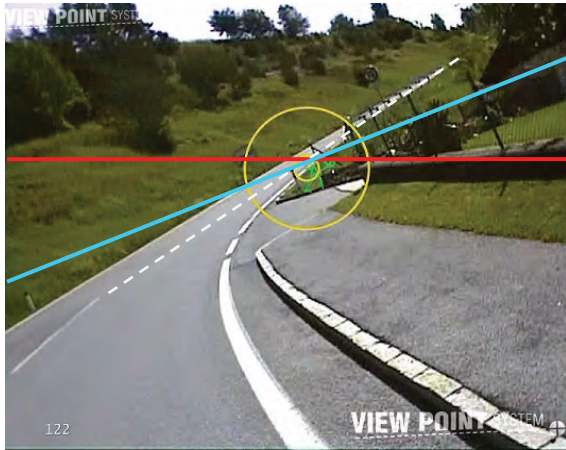
### *Anfänger:*

Unruhiges Blickverhalten: Zahlreiche Sakkaden zwischen einzelnen Elementen, Erschütterungen und die vielfach verkrampte Körperhaltung sind besonders bei großer Schräglage erkennbar.

Üblicherweise werden Fahrzeuge, Objekte und Breiten durch Winkeländerungen in der Zeiteinheit eingemessen. Die fehlerhaften Einschätzungen beruhen vor allem bei unroutinierten Motorradlenkern aufgrund folgender Zusammenhänge:

In engeren Kurvenbereichen befindet sich die Kopfhaltung vielfach in der Achse der Schräglage des Motorrads, was bedeutet, dass die Sichtebene des Fahrers eine extreme Schräge zur Fahrfläche darstellt. Fixiert dieser Motorradfahrer nun Fernpunkte bzw. führt er Einmessungen von Fahrzeugen, Objekten, Fahrbahnflächen, u.a. durch, ergeben sich nicht eine ebenflächige Einmessung, sondern sich ständig ändernde gewundene räumliche Einmessungsflächen, die die exakte Einmessung von Winkeländerungen nicht mehr möglich machen.

Aufgrund der hohen Fahrgeschwindigkeiten und damit verbunden sich rasch ändernden Perspektiven wird somit eine geordnete Navigation über größere Bereiche fehlerhaft bis unmöglich.



Der potentiell zur Verfügung stehende Sichtraum wird oft nicht ganz genutzt, vielfach ist auch eine mangelnde Fernorientierung gegeben. All dies bewirkt, dass es zu keiner homogenen Kurvenfahrt kommt bzw. kommen kann: Es müssen laufende Korrekturen der Schräglagen erfolgen. Im Gegensatz zum Routinier sind lange Blickbindungen und Ablenkungen durch Licht-Schattenübergänge und sonstige, als potentielle Gefahr identifizierte Elemente (Trennfugen bei Brückentragwerken, Kanaldeckel, Vergussfugen etc.) beim Fahranfänger gegeben.

Die Kurvenavigation im Nahbereich stellt für Motorradfahrer ein erhebliches Gefahrenpotential dar. Das Fahren auf Sicht ist mit dieser Blicktechnik in diesem Bereich nur sehr eingeschränkt gewährleistet.

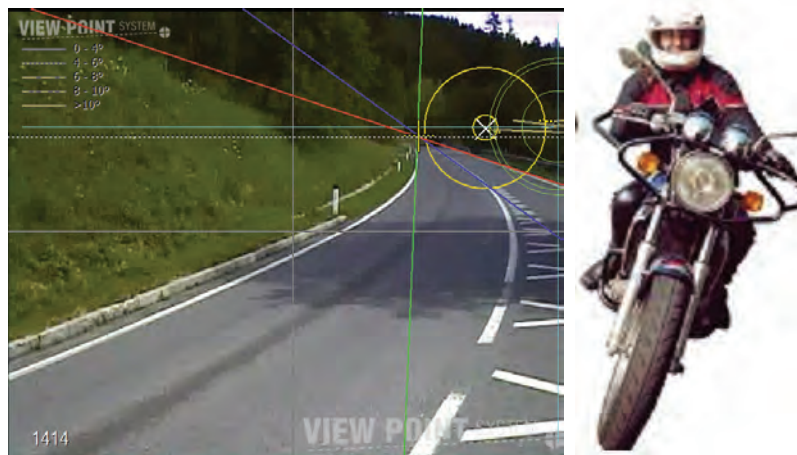


### *Routinier:*

Wird die Kopfachse im Zuge der Kurvenfahrt nicht entsprechend der Schräglage wie vorhin, sondern weitestgehend senkrecht gehalten, liegt die Seh-Ebene nahezu parallel zur Fahrfläche. Dies bedeutet, dass Einmessvorgänge auf Fahrzeugen, Objekten, Fahrbahnflächen weitestgehend in einer Ebene erfolgen können, sodass auch im Zuge der räumlichen und zeitlichen Exploration Winkeländerungen exakt eingemessen werden können.

Die unten stehenden Abbildungen zeigen dieses Blickverhalten bei einem Routinier auf.





Das Blickverhalten im Zuge der Kurvenannäherung ist weitestgehend fernorientiert. Bei Einfahrt in den Links- bzw. Rechtsbogen werden immer die Orientierungs- und Navigationselemente der Krümmung und einzelne Navigationspunkte an der weiterführenden Flucht der Straßenachse gesetzt. Die Einmessung und Abschätzung des tatsächlichen Kurvenradius und des weiteren Kurvenverlaufes können so bestens sichergestellt werden.

Durch die abwechselnden Blickstrukturen (Pendelblicke) im Fern- und Nahbereich der Kurvenbereiche kann auch ein etwaiger Gegenverkehr bereits frühzeitig erkannt werden.



Die Blicknavigation auch auf nahe gelegene Elemente gewährleistet die Einschätzung der eigenen Position hinsichtlich Vermeidung einer ungewollten Einfahrt in den Gefährdungsbereich der Richtungsfahrbahn des Gegenverkehrs.

Lediglich vereinzelte Blickverhaltensstrukturen in den Böschungsbereich stellen ein Ablenkungspotential dar.

## Schlussfolgerungen

Die dargestellten wahrnehmungsphysiologischen Defizite in Bezug auf Einschätzungsvorgänge stellen für den Straßenerhalter eine besondere Herausforderung an den Straßenbetreiber und -erhalter dar:

Es gilt daher in der Praxis durch geeignete verkehrstechnische Maßnahmen die vorgenannten sehphysiologischen Zusammenhänge und Blickdefizite durch Sicherheitsmaßnahmen zu kompensieren.

Ziel ist es, vor allem in Kurvenanlagen mit hoher Unfallgefahr die ganzheitliche Erkennbarkeit und Erfassung von Krümmungen und Krümmungsänderungen sicherzustellen.

In Österreich aber auch im Ausland finden für die Kennzeichnung von Kurven zumeist nur eine beschränkte Anzahl von Leitelementen Anwendung.

Dies steht im eklatanten Widerspruch zu umfangreichen wissenschaftlichen Arbeiten des EPIGUS-Instituts für ganzheitliche Unfall- und Sicherheitsforschung, wo Blickanalysen insbesondere für Motorradfahrer und Pkw-Lenker zeigen, dass zur optimalen Erfassung homogener Krümmungsradien mindestens 6-8 Navigationspunkte notwendig sind.

Bei der Wahrnehmung von Klothioden sind die Navigationspunkte entsprechend zu vermehren.

Die Blickanalysen zeigen weiters, dass die Wahl der Abstände der Navigationspunkte unbedingt auf die Größe der Krümmungsradien auszulegen ist.

Es wird in diesem Zusammenhang unbedingt ausgeführt, dass nicht immer Leittafeln zur Anwendung kommen müssen, sondern auch neue Kennzeichnungsformen (wie z.B. vps-marker® / markengesützt) zum Einsatz gelangen.



Die genauen Blickanalysen für Motorradfahrer eröffnen daher völlig neue Wege sowohl für verbesserte Gestaltung von Straßenanlagen als für die Aus- und Fortbildung von Motorradlenkern (Grundlagen für die praktische Fahrerausbildung bzw. im Zuge von Fahrsicherheitstrainings).

Es können somit Unfallgefahren vermieden und volkswirtschaftliche Unfallkosten (Krankenhauskosten, Rehabilitationskosten) maßgeblich reduziert werden.

Die Mehrkosten von verbesserten Ausstattungselementen stellen jedenfalls nur einen Bruchteil der vorgenannten Unfallkosten dar.

Die Blickanalysen bestätigen, dass die **durchgängige Ausstattung mit Navigationselementen**, die wesentlich zur richtigen Einschätzung der Krümmungen beitragen, vorrangig umzusetzen ist. Es wäre ein fachlicher Fehler, optische Defizite in der Linienführung ausschließlich durch passive Sicherungselemente kompensieren /verbessern zu wollen.

Ungeachtet dessen gilt es optimierte Blickstrategien **bereits in der Lenker Ausbildung** verstärkt zu schulen, wodurch ein wesentlicher Beitrag zur Erhöhung der Verkehrssicherheit geleistet wird.

**Identification of Driving style and derivation  
of the driving experience by detecting the driver's  
seating position and movement on a motorcycle**

**Fahrstilerkennung und Ableitung der Fahrerfahrung  
durch Detektion der Sitzposition und  
Fahrerbewegung auf dem Motorrad**

Dipl.-Ing. Tino Staffetius  
Fahrzeugsystemdaten GmbH

Prof. Dr.-Ing. Michael Beitelschmidt  
Technische Universität Dresden

## **Abstract**

### **(Starting point for investigation)**

The driving experience and the behavior of drivers are playing a central role in the progression of traffic situations. Unlike other types of vehicles for motorcycles not only the operation of the vehicle is of great importance, but in particular the position and movement of the rider and its center of gravity. Different riding styles have great influence on the stability and thus also on the criticality of driving situations.

### **(Method)**

For detecting the current rider's position and movement as well as the gravity of the rider on the motorcycle the pressure distribution on the rider's seat was measured in driving tests. For this, the rider's seat of an experimental motorcycle was equipped with a pressure sensing mat. On the one hand the determination of the driving situation was realized by analysing the vehicle dynamic parameters and on the other hand by using video recordings of different camera perspectives. This camera records were also used to validate the rider's position and movement on the seat.

### **(Results)**

In these research the positions and movements of the rider on the bike seat could have been detected. Based on the pressure distribution pattern also a distinction of driving situations is possible, especially the cornering could be distinguished from a straight line. When cornering, the riding styles "press", "insert" and "hanging off" were unambiguously assigned to the detected positions. Also the detailed motion of the rider on the motorcycle seat during a driving situation is recognizable through the changes in the pressure distribution pattern.

### **(Impacts / Effects / Consequences)**

With the knowledge about the types of driving situations, the rider's position and the changes of the rider's position during a driving situation, the experience of the rider is derived. So this is an approach to adapt driver-assistance-systems on the rider to maintain the stability of motorcycles.

## **Kurzfassung**

### **(Problemstellung / Untersuchungsansatz)**

Die Fahrerfahrung und das Verhalten von Fahrern spielen eine entscheidende Rolle für den Verlauf von Verkehrssituationen. Im Gegensatz zu anderen Fahrzeugarten sind bei Motorrädern nicht nur die Bedienung des Fahrzeuges, sondern insbesondere die Position und die Bewegung des Fahrers sowie dessen Schwerpunktlage von hoher Bedeutung. Unterschiedliche Fahrstile haben großen Einfluss auf die Fahrstabilität und somit die Kritikalität von Fahrsituationen.

### **(Methode)**

Zur Ermittlung der aktuellen Fahrerposition und -bewegung sowie der Schwerpunktlage des Fahrers auf dem Motorrad wurde in Fahrversuchen die Druckverteilung auf dem Fahrersitz gemessen. Dazu wurde der Fahrersitz eines Versuchsmotorrades mit einer Drucksensormatte ausgestattet. Die Bestimmung der Fahrsituation erfolgte zum einen durch Analyse von aufgezeichneten Fahrdynamikparametern und zum anderen mithilfe von Videoaufzeichnungen aus unterschiedlichen Kameraperspektiven. Diese Kameraaufzeichnungen wurden ebenfalls zur Validierung der Fahrerposition und -bewegung auf dem Sitz herangezogen.

### **(Ergebnisse)**

Bei den Untersuchungen konnten die Positionen und Bewegungen des Fahrers auf dem Motorradsitz detektiert werden. Anhand der Druckverteilungsmuster ist ebenfalls eine Unterscheidung von Fahrsituationen möglich, insbesondere konnte die Kurvenfahrt von der Geradeausfahrt abgegrenzt werden. Bei Kurvenfahrten konnten die erkannten Positionen den Fahrstilen „Drücken“, „Legen“ und „Hanging-Off“ eindeutig zugeordnet werden. Auch die detaillierte Bewegung des Fahrers auf dem Motorradsitz während einer Fahrsituation ist durch Veränderung der Druckverteilungsmuster erkennbar.

### **(Konsequenzen)**

Mit der Kenntnis über die Art der Fahrsituation, die Fahrerposition und die Veränderung dieser Fahrerposition im Verlauf einer Fahrsituation kann die Erfahrung des Fahrers abgeleitet werden. Damit wurde ein Ansatz geschaffen, Fahrerassistenzsysteme zur Beibehaltung der Fahrstabilität fahreradaptiv zu gestalten.

**Fahrstilerkennung und Ableitung der Fahrerfahrung  
durch Detektion der Sitzposition und  
Fahrerbewegung auf dem Motorrad**

# 1 Einleitung

Die Teilnahme am Straßenverkehr ist in Deutschland im Jahr 2011 für Auto-, Fahrrad- und Motorradfahrer sowie für Fußgänger erstmalig wieder gefährlicher geworden, nachdem die Unfallzahlen aufgrund hoher Sicherheitsmaßnahmen in den Jahren zuvor kontinuierlich gesunken waren. Die Anzahl der Schwer- und Leichtverletzten sowie getöteten Verkehrsteilnehmer ist 2011 um 5,8% zum Vorjahr gestiegen – insbesondere Motorradfahrer sind von dieser Erhöhung betroffen [1]. In der Abbildung 1-1 ist die Verteilung der in 2011 tödlich verunglückten Verkehrsteilnehmer bezogen auf die verschiedenen Fahrzeugklassen dargestellt.

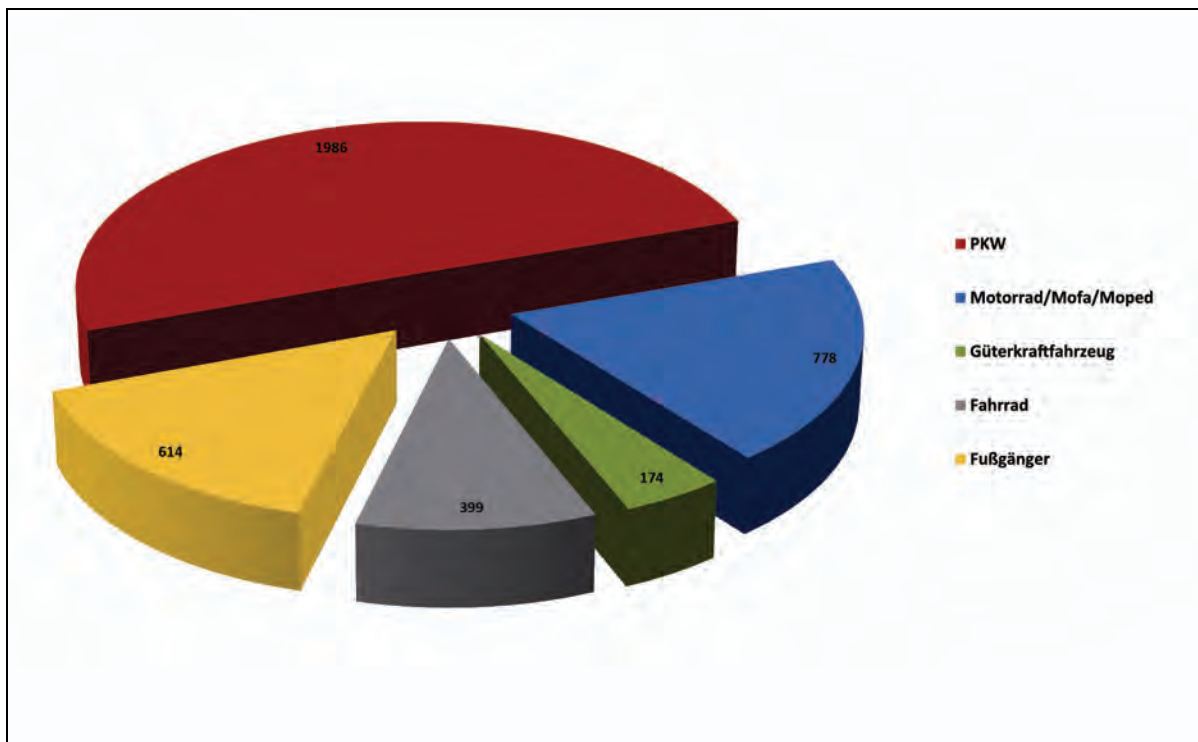


Abb. 1-1 Anzahl tödlich verunglückter Verkehrsteilnehmer 2011<sup>1</sup>

Die Fahrer motorisierter Zweiräder liegen dabei mit 778 Getöteten hinter den PKW-Fahrern (1986 Personen) auf Platz 2 [1]. Trotz der minderen Absolutzahlen ist das Risiko, im Verkehr getötet zu werden, für Motorradfahrer um ein vielfaches höher, da für eine Risikoabschätzung der jeweilige Fahrzeugbestand mit einbezogen werden muss. Dieser Zusammenhang wird in der Abbildung 1-2 veranschaulicht.

Die Abbildung macht deutlich, dass die relative Anzahl tödlich verunglückter Motorradfahrer deutlich höher ist als die von PKW-Fahrern. Allerdings ist das Risiko, im Straßenverkehr getötet zu werden, für Motorradfahrer um noch einiges höher als diese Grafik zeigt, da zur genaueren Berechnung weite-

<sup>1</sup> Eigene Darstellung, Daten entnommen aus [1]



re Faktoren berücksichtigt werden müssen. Zu diesen Einflüssen zählen beispielsweise die gefahrenen Jahreskilometer und der Zweck der Fahrt. Motorradfahrer nutzen im Vergleich zu PKW-Fahrern ihr Fahrzeug überwiegend in den Sommermonaten und als Hobby-Fahrzeug, was mit einer geringeren Jahreskilometerleistung verbunden ist. Hochgerechnet auf eine Ganzjahresnutzung würden die Raten getöteter Motorradfahrer somit höher ausfallen.

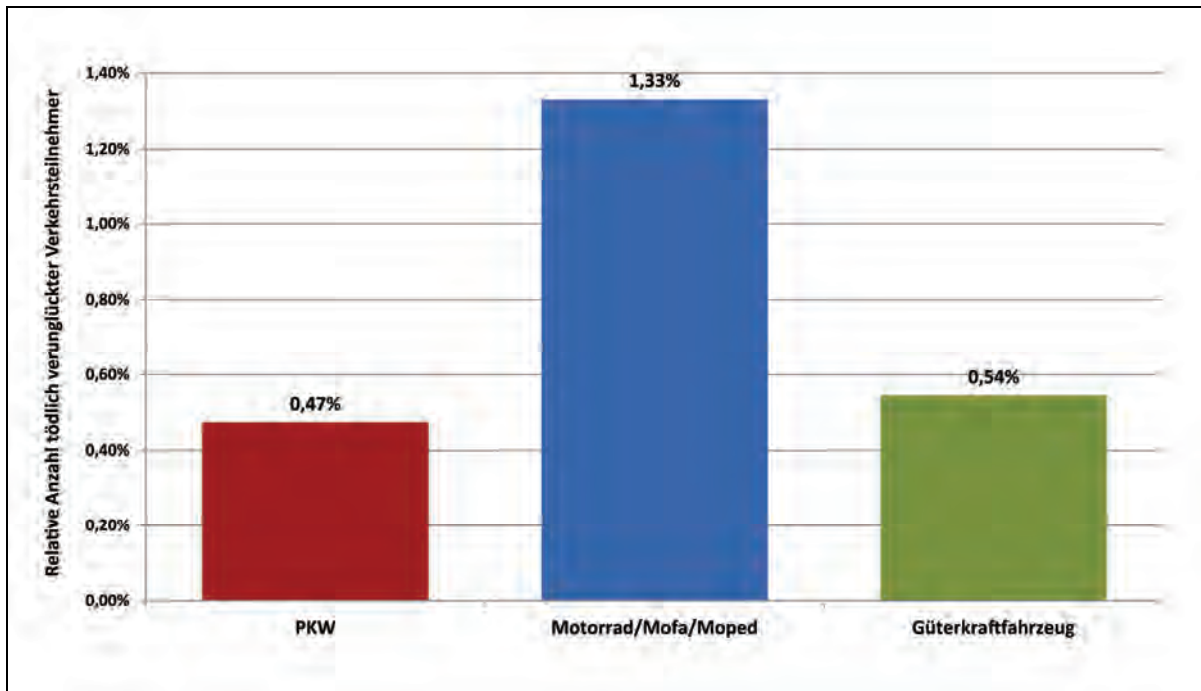


Abb. 1-2 Relative Anzahl tödlich verunglückter Verkehrsteilnehmer (bezogen auf den jeweiligen Fahrzeugbestand) 2011<sup>2</sup>

Diese Zahlen belegen somit, dass Motorradfahrer im Straßenverkehr einem besonders hohen Risiko ausgesetzt sind, was dadurch begründet ist, dass sie auf der einen Seite keine Insassen sind, wie PKW-Fahrer, sondern mehr oder weniger ungeschützt auf dem Motorrad sitzen. Auf der anderen Seite ist bei einem Einspurfahrzeug (Motorrad) die Gefahr eines Sturzes deutlich höher als bei einem Zweispurfahrzeug (PKW) die Gefahr, die Fahrbahn unbeabsichtigt – beispielsweise durch einen Schleudervorgang – zu verlassen. Die Fahrerfahrung und das Verhalten von Fahrern spielen dabei eine entscheidende Rolle für den Verlauf von Verkehrssituationen. Im Gegensatz zu anderen Fahrzeugarten sind bei Motorrädern seitens des Fahrzeugführers nicht nur die Bedienung des Fahrzeuges, sondern insbesondere die Position und die Bewegung des Fahrers sowie dessen Schwerpunktlage von hoher Bedeutung. Die damit einhergehenden, unterschiedlichen Fahrstile haben großen Einfluss auf die Fahrstabilität und somit die Kritikalität von Fahrsituationen.

<sup>2</sup> Eigene Darstellung, Daten entnommen aus [1]

In dieser Arbeit wird eine Methode aufgezeigt, die differierenden Fahrstile von Motorradfahrern zu ermitteln, um auf dieser Grundlage auf die Fahrerfahrung des Fahrers schließen zu können. Am Ende geben die Autoren in Form eines Fazits eine kurze Zusammenfassung und einen Ausblick.

## 2 Fahrstilerkennung

In der Medizinbranche werden heutzutage Drucksensormatten verwendet, um die Kraft- und Druckverteilung auf Sitz- und Liegeflächen zu ermitteln. Somit können im frühen Entwicklungsstadium von beispielsweise Rollstühlen oder Ruheliegen Bereiche der jeweiligen Auflageflächen ermittelt werden, in denen bei Patienten (etwa bei langen Liegezeiten) Druckstellen entstehen können [3]. Ebenso werden solche Sensormatten für Komfortbetrachtungen bei Fahrzeugsitzen genutzt [2]. In Abbildung 2-1 ist am Beispiel eines Rollstuhls die Verwendung einer Drucksensormatte dargestellt.



*Abb. 2-1 Beispielanwendung Rollstuhl [3]*

In dieser Arbeit wurde untersucht, inwiefern es möglich ist, mithilfe einer solchen Drucksensormatte die Druckverteilung auf einem Motorradsitz im Stillstand und während der Fahrt aufzuzeichnen, um somit auf die Fahrerposition und -bewegung sowie dessen Schwerpunktlage auf dem Motorrad zu schließen. Weiterhin wurde untersucht, ob aus diesen Erkenntnissen Druckverteilungsmuster typischer Fahrstile generiert werden können. Dazu wurde der Fahrersitz eines Versuchsmotorrades mit einer Drucksensormatte ausgestattet. Die Bestimmung der Fahrsituation erfolgte zum einen durch Analyse von aufgezeichneten Fahrdynamikparametern und zum anderen mithilfe von Videoaufzeichnungen

aus unterschiedlichen Kameraperspektiven. Diese Kameraaufzeichnungen wurden ebenfalls zur Validierung der Fahrerposition und -bewegung auf dem Sitz herangezogen.

## 2.1 Messtechnik

Zur Aufzeichnung der Druckverteilung auf dem Fahrersitz eines Motorrads wurde das BPMS™ (Body Pressure Measurement System) der Firma Tekscan verwendet. Es besteht aus einer Sensormatte, einer USB-Schnittstelle und einer entsprechenden Aufzeichnungs- und Auswertungssoftware. In der Abbildung 2-2 ist der Aufbau der verwendeten Messtechnik mit zwei Sensormatten dargestellt.

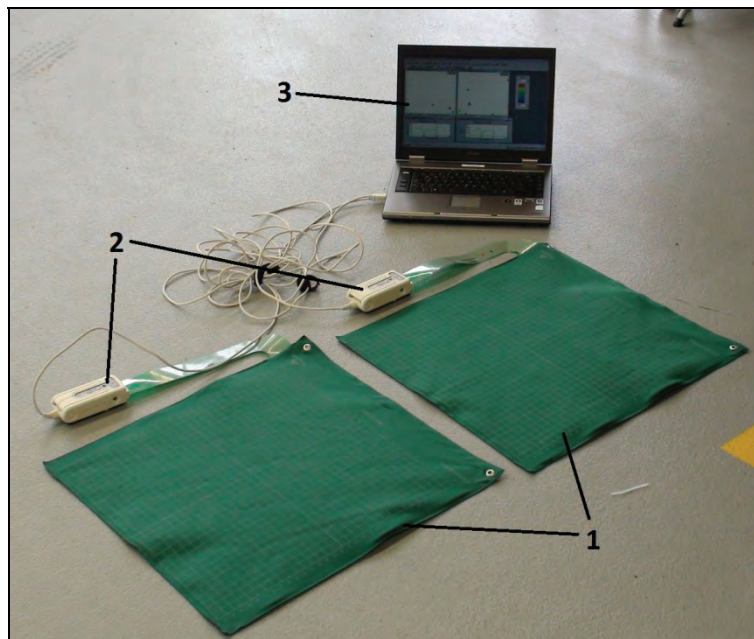


Abb. 2-2 Aufbau der Messtechnik

Legende:

- 1 Drucksensormatte (Sensor)
- 2 USB-Schnittstellen-Modul
- 3 Notebook mit Aufzeichnungs- und Auswertungssoftware

Kern des Messsystems ist der aus zwei sehr dünnen, flexiblen Polyesterfolien bestehende Sensor (siehe Abb. 2-3) mit vielen matrizenförmig angeordneten und mechanisch entkoppelten Zellen. Auf die Innenseiten dieser Folien werden auf der einen Seite Leiterbahnen in „Spalten-“ und auf der anderen Seite in „Reihenanzordnung“ gedruckt, sodass beim Übereinanderlegen dieser Folien eine Matrix entsteht. Vor diesem Schritt werden die Innenseiten der beiden Folien mit einer halbleitenden Tinte beschichtet. Durch Übereinanderlegen dieser Folien entsteht in jedem Kreuzungspunkt ein Kraftsensor (kraftsensitives Element). Bei den Untersuchungen wurde eine Sensormatte mit 1024 Messzellen (32 Spalten x 32 Zeilen) verwendet [2].

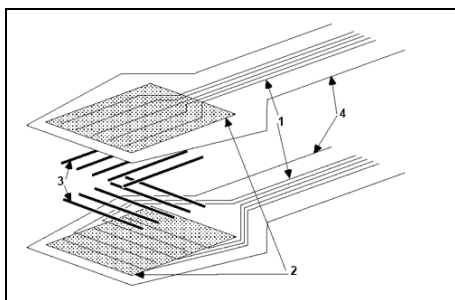


Abb. 2-3 Schnittdarstellung Foliensensor (Sensormatte) [2, bearbeitet]

Legende:

- 1 Leiterbahnen
- 2 Wirkfläche
- 3 Drucksensitives Material
- 4 Trägermaterial

Das Messprinzip:

Jeder Kreuzpunkt entspricht einem Widerstand. Dieser ist im unbelasteten Zustand am größten, d.h. wenn keine Kraft auf die Sensoroberfläche wirkt. Sobald die Kraft größer wird, sinkt der Widerstand. Jeder dieser Widerstände wird dabei über einen prozessorgesteuerten Multiplexer beschaltet und vermessen. Die Zellen beeinflussen sich aufgrund der Elektronik nicht. Die gemessenen Daten (Zell-Widerstände) werden mittels A/D-Wandler und der Software im entsprechenden Druckbild zugeordnet. Die Abtastung der Messwerte erfolgt mit 100 Hz [2].

Zur Referenzierung der Bewegung des Fahrers auf dem Motorradsitz wurde eine von vorn auf den Fahrer gerichtete Onboard-Kamera installiert. Hierbei wurde eine herkömmliche Webcam genutzt, da die Qualität der Videobilder für diese Untersuchungen eher von untergeordneter Bedeutung ist.

Weiterhin wurden fahrzeugspezifische Parameter, wie die Geschwindigkeit, Beschleunigungen und der Rollwinkel mit Hilfe entsprechender Sensorik und einem Datenrekorder aufgezeichnet. Die Fahrzeuggeschwindigkeit wird dabei von dem fahrzeugspezifischen CAN-Bus abgegriffen. Die Erfassung der Fahrzeugbeschleunigungen erfolgt über ein entsprechendes im Fahrzeug angebrachtes Beschleunigungs- und Drehratensensormodul. Der Rollwinkel wird über Lasersensoren, die seitlich am Fahrzeug befestigt sind und jeweils den Abstand zum Boden messen, ermittelt.

## 2.2 Fahrerpositions- und Bewegungserkennung

Zunächst wurden Voruntersuchungen im statischen Zustand durchgeführt, d.h. es wurde erprobt, inwiefern die Druckverteilung entsprechend der Fahrerposition auf dem Motorradsitz aufgezeichnet werden kann. Als Versuchsmotorrad stand eine BMW R1200GS (Baujahr 2008) zur Verfügung. Der für die Messung notwendige Rechner wurde auf dem Soziussitz und die Sensormatte(n) auf dem Fah-

ersitz angebracht. Aufgrund der dreidimensionalen Form des BMW-Fahrersitzes, ist ein faltenloses Anbringen der Matten nicht möglich. Daher sind zunächst die Auswirkungen der Anzahl der befestigten Sensormatten auf die Faltenbildung zu untersuchen, da möglicherweise mit zwei Matten die 3D-Form des Fahrersitzes faltenfreier nachgebildet werden kann. In den Abbildungen 2-4 und 2-5 sind diese Faltenbildung und beispielhaft eine zugehörige Druckverteilung für die Ausstattung des Fahrersitzes mit einer und zwei Sensormatten dargestellt.



Abb. 2-4 Fahrersitz mit einer Sensormatte

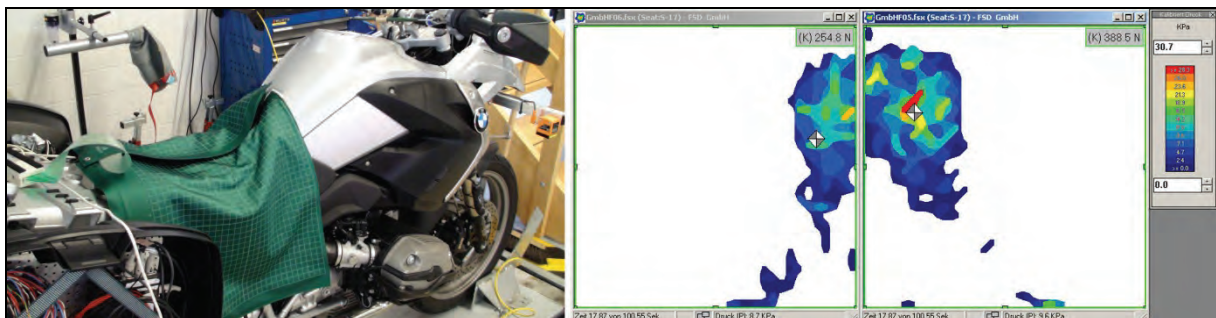


Abb. 2-5 Fahrersitz mit zwei Sensormatten

In beiden Fällen ist erkennbar, dass die jeweilige Sensormatte starke Falten wirft. Bei dem Test hat sich die Versuchsperson möglichst gleichmäßig und aufrecht auf den Fahrersitz gesetzt. Im jeweils rechten Teil der Abbildungen 2-4 und 2-5 ist erkennbar, dass trotz der stark ausgeprägten Falten die Druckverteilung weitestgehend gleichmäßig aufgezeichnet wurde. Die außermittige Darstellung in der Abbildung 2-5 ist darin begründet, dass die Matten nicht zu 100% symmetrisch auf dem Fahrersitz angebracht waren, sondern die Stoßkante der beiden Matten etwas nach links verschoben war. Die Untersuchungen ergaben, dass die Faltenbildung für qualitative Aussagen keine Rolle spielt und die Druckverteilungen vergleichbar sind. Für die Aufzeichnung von Absolut-Druck-Werten ist diese Faltenbildung nachteilig, wobei die Größenordnung der Drücke mit der Realität ansatzweise übereinstimmt. Somit ist es möglich, mit nur einer Sensormatte die Druckverteilung auf dem Fahrersitz aufzuzeichnen.

In weiteren Versuchen hat der Fahrer bewusst die Fahrstile „Drücken“, „Legen“ und „Hanging-Off“ durch Veränderung seiner Sitzposition auf dem Motorrad (im Stillstand) simuliert. Außerdem wurden u.a. das Verzögern und das Beschleunigen nachgebildet, indem sich die Testperson entsprechend nach vorn bzw. nach hinten gelehnt hat. In den folgenden Abbildungen 2-6 bis 2-8 sind die zugehörigen Druckverteilungen dargestellt.

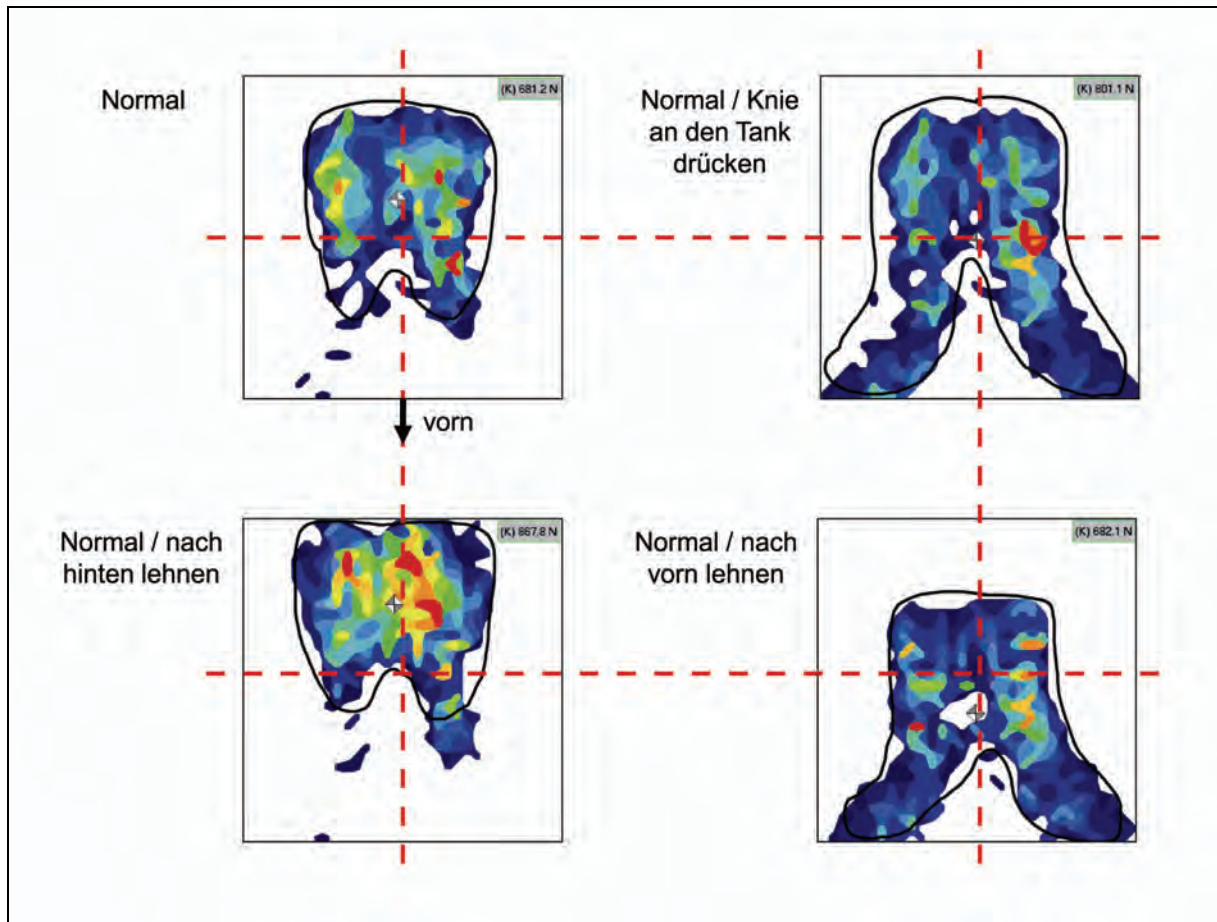


Abb. 2-6 Druckverteilung – Normale Sitzposition

In der Abbildung 2-6 sind die statischen Druckverteilungen für die normale Sitzposition dargestellt. Ausgehend von einer normalen (aufrechten) Sitzposition (vgl. Abb. 2-6 oben links) wurden zum einen die Knie an den Tank gedrückt (siehe Abb. 2-6 oben rechts) und zum anderen hat sich die Versuchsperson nach vorn (siehe Abb. 2-6 unten rechts) bzw. nach hinten gelehnt (siehe Abb. 2-6 unten links). Die blauen Flächenelemente stellen dabei die Bereiche geringen Drucks dar. Dahingegen herrschen in den roten Bereichen die höchsten Drücke. Es ist erkennbar, dass sich die unterschiedlichen Sitzpositionen hinsichtlich der Druckverteilung auf dem Fahrersitz deutlich unterscheiden. Selbst der Kniechluss am Tank (siehe Abb. 2-6 oben rechts) ist aufgrund der Anordnung der Sensormatte von den anderen Sitzpositionen abgrenzbar. Die Druckverteilungsform der normalen Sitzposition ist mit der Form des normalen Sitzens mit „Nach-Hinten-Lehnen“ vergleichbar. Lediglich das Druckmaximum

ist beim „Nach-Hinten-Lehnen“ entlang der Längsmittellinie etwas nach hinten verschoben. Die beiden Flächen im dritten und vierten Quadranten in der Abbildung 2-6 oben rechts entsprechen der Auflagefläche der Unterseiten der Oberschenkel auf dem Fahrersitz. Die Druckverteilung bei normaler Sitzposition und „Nach-Vorn-Lehnen“ entspricht einer Mischform aus einer normalen (aufrechten) Sitzposition und der normalen Sitzposition mit Knieschluss am Tank. Das Druckmaximum ist im Vergleich zur normalen (aufrechten) Sitzposition entlang der Längsmittellinie nach vorn verschoben. Die Form der Druckverteilung im dritten und vierten Quadranten deuten auf Knieschluss mit dem Tank. Allen Verteilungen ist gleich, dass sie, bezogen auf die Längsmittellinie, mehr oder weniger symmetrisch verlaufen.

In der folgenden Abbildung 2-7 sind die statischen Druckverteilungen der Fahrstile „Drücken“ und „Legen“ und in der Abbildung 2-8 der Fahrstil „Hanging-Off“ jeweils für eine Links- und Rechtskurve dargestellt. Unterschiede zwischen diesen Fahrstilen untereinander und im Vergleich zu den aus Abbildung 2-6 sind deutlich erkennbar. Insbesondere differieren die Druckverteilungen hinsichtlich ihrer Form, der Größe der Gesamtfläche und der Lage des Druckmaximums.

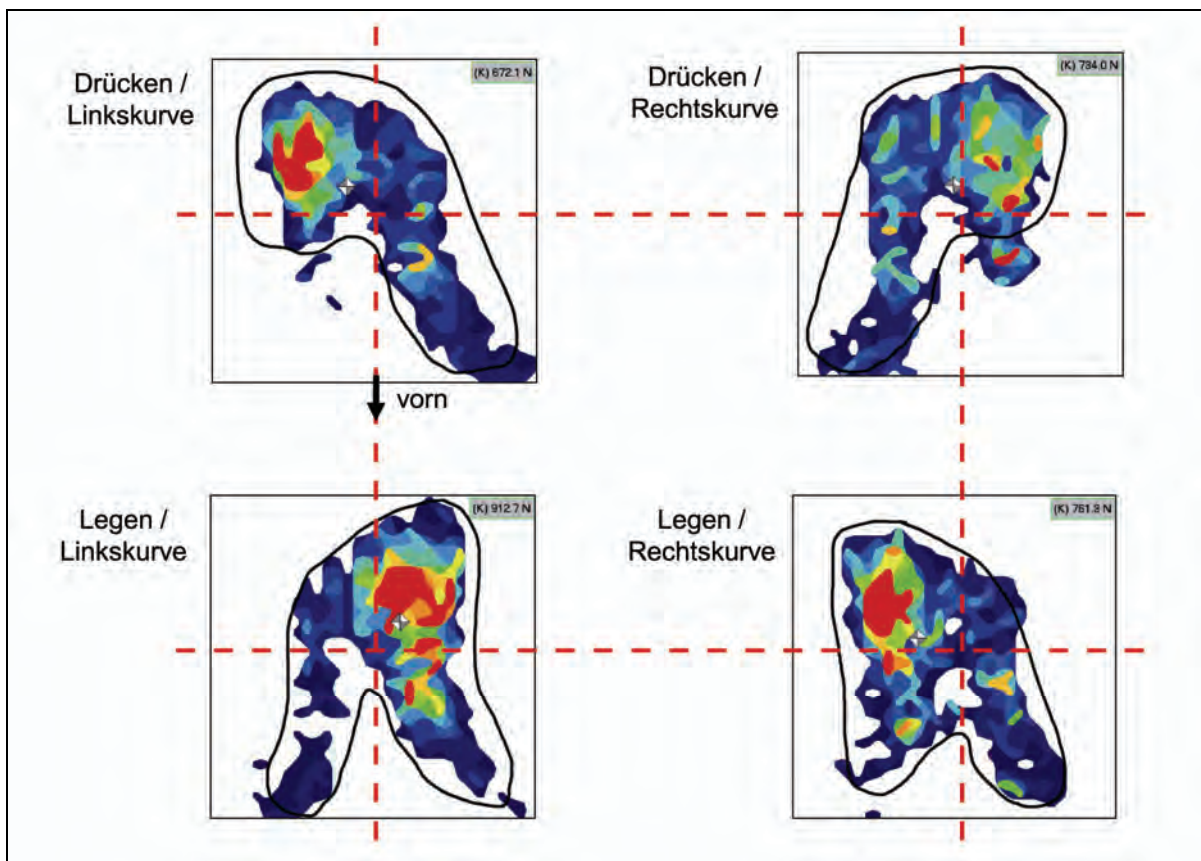


Abb. 2-7 Druckverteilung – Fahrstile „Drücken“ und „Legen“

Es ist erkennbar, dass beispielsweise die Druckverteilung beim „Drücken“ in einer Rechtskurve der an der Längsmittellinie gespiegelten Druckverteilung beim „Drücken“ in einer Linkskurve entspricht. Analog verhält sich der Zusammenhang bei den anderen beiden Fahrstilen.

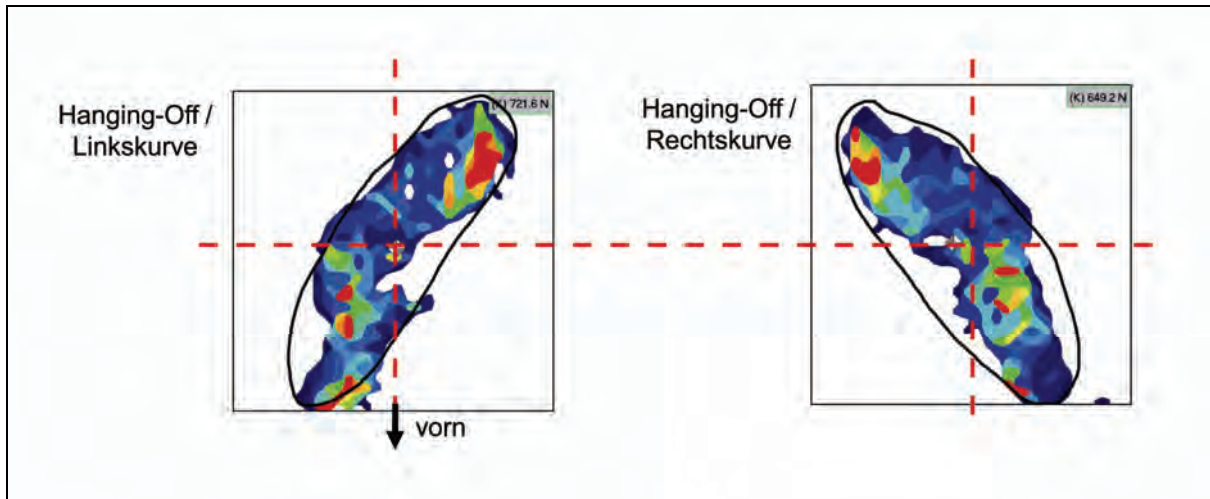


Abb. 2-8 Druckverteilung – Fahrstil „Hanging-Off“

Die Voruntersuchungen haben ergeben, dass mithilfe einer auf dem Fahrersitz befestigten Drucksensormatte die Druckverteilung ermittelt werden kann. Daraus können Rückschlüsse auf die aktuelle Fahrerposition und Bewegung gezogen und entsprechende Fahrstile abgeleitet werden. Anhand der Form und Größe der Gesamtfläche der Druckverteilungen sowie der Lage des Druckmaximums sind die jeweiligen Fahrstile eindeutig bestimmbar. Ebenso ist die Schwerpunktlage des Fahrers, insbesondere in Querrichtung, über die Lage des Druckmaximums abschätzbar.



### 3 Situationserkennung und Ableitung der Fahrerfahrung

In diesem Kapitel wird ein Konzept zur Ableitung der Fahrerfahrung aus den Kenntnissen zur Fahrerposition und zugehörigen Fahrsituation vorgestellt. In der folgenden Abbildung 3-1 ist dieses Konzept schematisch dargestellt. Grundsätzlich besteht das Konzept aus den drei Teilbereichen Fahrstilerkennung, Fahrsituationserkennung und Ableitung der Fahrerfahrung.

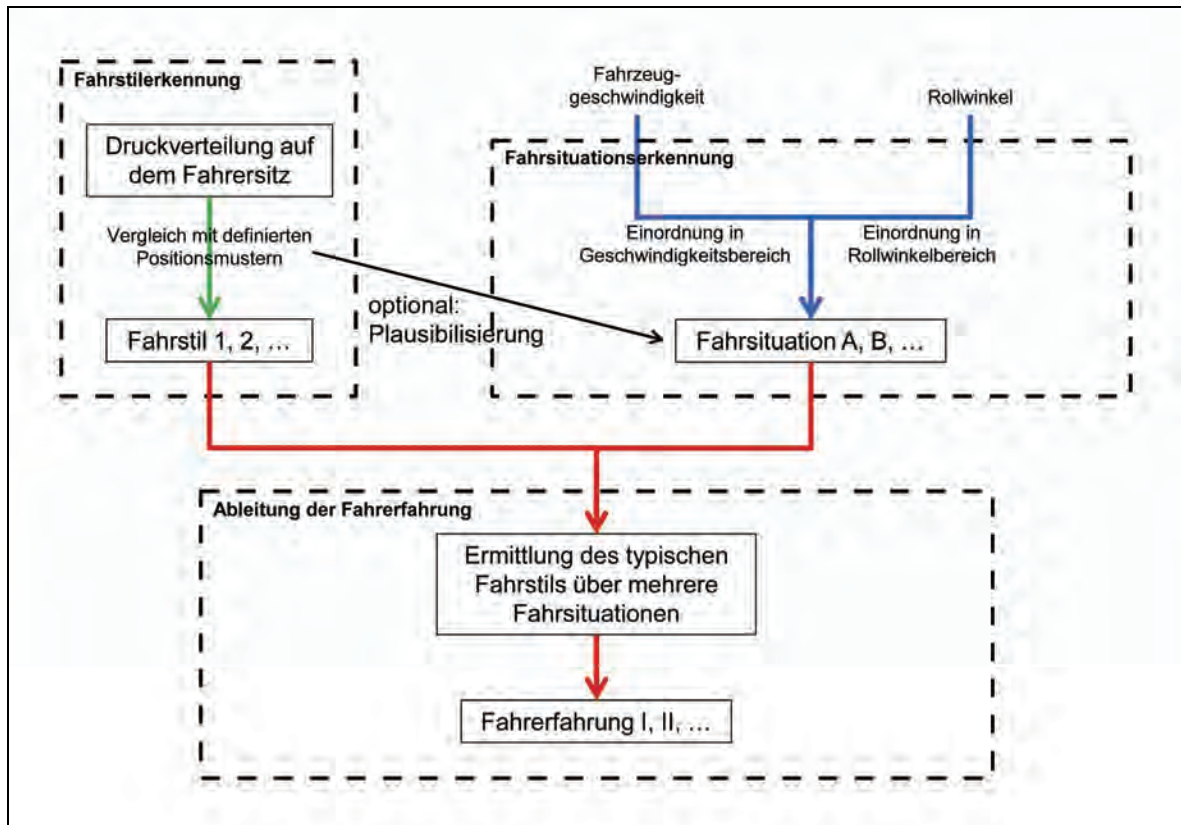


Abb. 3-1 Konzept zur Ableitung der Fahrerfahrung (Schematische Darstellung)

Im Bereich der Fahrstilerkennung wird mithilfe der in Kapitel 2 beschriebenen Drucksensormatte die aktuelle Fahrerposition und -bewegung aufgezeichnet und daraus der jeweilige Fahrstil ermittelt. Dafür wird die momentane Druckverteilung auf dem Fahrersitz mit den fahrerpositionsspezifischen Druckverteilungsmustern abgeglichen – dieser Abgleich sollte mindestens aller 10ms (Abtastrate 100Hz) erfolgen.

Die Druckverteilungsmuster sind dabei auf die typischen Merkmale der jeweiligen Fahrstile reduziert. Je nachdem in welchen Quadranten die Maxima der Druckverteilungen fallen und anhand eines Vergleichs der in den einzelnen Quadranten integrierten Gesamtdrücke können die erfassten Druckverteilungen den verschiedenen Fahrstilen zugeordnet werden. Die Druckverteilungsmuster der einzelnen Fahrstile sind in den Abbildungen 3-2 bis 3-4 für eine Rechtskurve schematisch dargestellt. Dabei sind die Bereiche niedrigen Drucks horizontal schraffiert, die Bereiche mittleren Drucks vertikal schraffiert

und die Bereiche hohen Drucks kreuzförmig schraffiert. Die in Abbildung 3-2 gezeigte schematische Darstellung des Druckverteilungsmusters für den Fahrstil „Legen“ ist dabei durch die im Vergleich zu den anderen Fahrstilen größte Gesamtauflagefläche, durch ein Druckmaximum im zweiten Quadranten sowie durch eine gleichmäßige Druckverteilung in allen vier Quadranten, d.h. jeder Quadrant ist annähernd zu gleich großen Flächenanteilen belegt, charakterisiert.

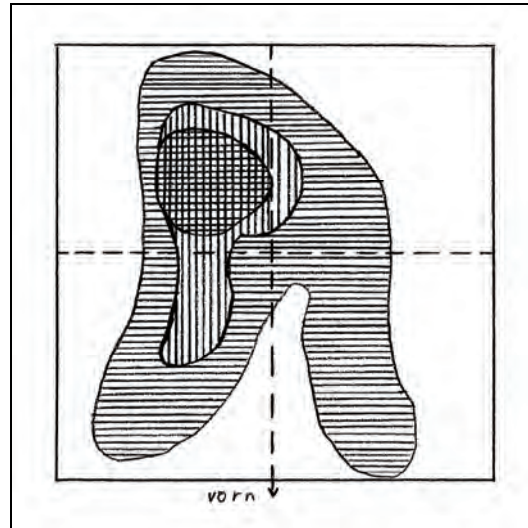


Abb. 3-2 Druckverteilungsmuster – „Legen“ in eine Rechtskurve (Draufsicht)

Das Druckverteilungsmusters für den Fahrstil „Drücken“ (siehe Abb. 3-3) ist durch ein Druckmaximum im ersten Quadranten sowie eine ungleichmäßige Druckverteilung mit einem Druckminimum im vierten Quadranten charakterisiert.

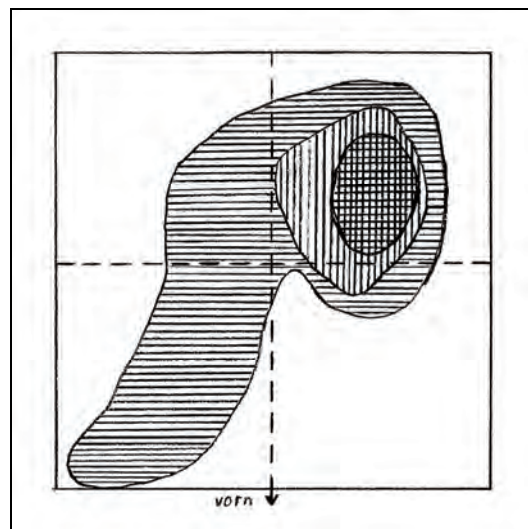


Abb. 3-3 Druckverteilungsmuster – „Drücken“ in eine Rechtskurve (Draufsicht)

Die schematische Darstellung des Druckverteilungsmusters für den Fahrstil „Hanging-Off“ in der Abbildung 3-4 ist durch die im Vergleich zu den anderen Fahrstilen kleinste Gesamtauflagefläche, durch ein Druckmaximum im zweiten Quadranten sowie durch eine ungleichmäßige, maßgeblich auf den zweiten und vierten Quadranten beschränkte Druckverteilung gekennzeichnet.

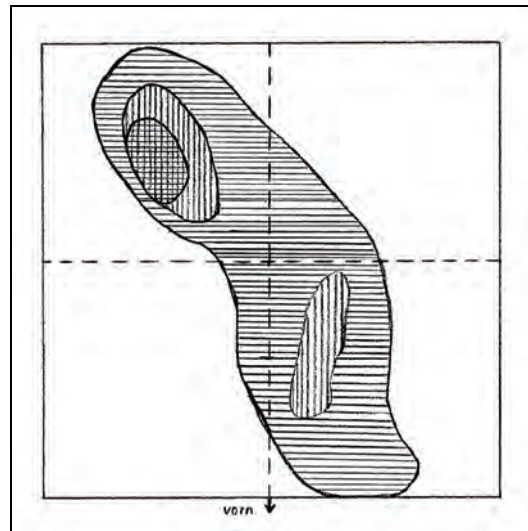


Abb. 3-4 Druckverteilungsmuster – „Hanging-Off“ in eine Rechtskurve (Draufsicht)

Für die qualitative Bewertung dieser dynamischen (fahrerspezifischen) Druckverteilungen sind statische Referenzgrößen notwendig. Um bspw. die Wirkung von Änderungen der Druckverteilung oder der Schwerpunktlage des Fahrers auf das Fahrverhalten des Motorrades abschätzen bzw. mit den gemessenen fahrzeugspezifischen Parametern auf sinnvolle Art und Weise in Beziehung setzen zu können, ist es wesentlich, die Druckverteilung oder Schwerpunktlage des Fahrers im Stillstand des Motorrades zu kennen. Diese statischen (fahrerspezifischen) Referenzgrößen werden daher regelmäßig aus Daten ermittelt, die zu einem Zeitpunkt erfasst wurden, an dem die fahrzeugspezifischen Daten einen Stillstand des Fahrzeuges indizierten.

Die Detektion der Fahrsituation erfolgt über die Parameter Fahrzeuggeschwindigkeit, Beschleunigung und Rollwinkel, da allein mit diesen die Charakterisierung eines Großteils von typischen Fahrsituationen eines Motorrades möglich ist. Die Parameter werden dazu jeweils in verschiedene Bereiche unterteilt, wobei die Kombination aus einem bestimmten Geschwindigkeits- und Rollwinkelbereich auf eine konkrete Fahrsituation hinweist. Beispielsweise deuten Rollwinkel im Bereich von  $-3$  bis  $+3^\circ$  auf ein sich aufrecht (geradlinig) bewegendes Motorrad und somit kann eine Geradeausfahrt geschlussfolgert werden. Abhängig vom zeitlichen Verlauf der Fahrzeuggeschwindigkeit kann dadurch auf eine beschleunigte, konstante oder verzögerte Geradeausfahrt geschlossen werden. Ähnliches gilt für beliebige andere Fahrsituationen.

Das Vorliegen einer bestimmten Druckverteilung des Fahrers auf der Sitzbank und somit die Zuordnung zu einem Druckverteilungsmuster ist in der Regel allein schon ausreichend, um sicher auf ein bestimmtes geplantes Fahrmanöver des Fahrers zu schließen, da es sich bei den Druckverteilungsmustern um auf wesentliche Merkmale reduzierte Druckverteilungen, die typischerweise bei bestimmten Fahrsituationen auftreten, handelt. So kann die ermittelte Fahrsituation zusätzlich über die Druckverteilung auf dem Fahrersitz plausibilisiert werden (siehe Abb. 3-1). Bspw. ist das Initiieren einer Rechtskurve mit einer charakteristischen Abfolge der Druckverteilung auf der Sitzbank verbunden. Auf ebenso charakteristische Weise ändern sich die Schwerpunktverteilung (Druckmaxima) sowie die Position des Fahrers.

Durch die Korrelation von Fahrsituation und Fahrstil ergeben sich somit der typische Fahrstil in einer bestimmten Fahrsituation und daraus die Möglichkeit einer Charakterisierung der Fahrerfahrung. Insbesondere kann ermittelt werden, welche Input-Signale in Form von Gewichts-, Schwerpunkts- oder Positionsverlagerungen des Fahrers regelmäßig welche Fahrsituationen herbeiführen oder mit welchen Input-Signalen der Fahrer regelmäßig auf bestimmte fremddeterminierte Fahrsituationen reagiert. Sobald der Fahrer von diesem Fahrstil abweicht, könnte dies ein Indiz für eine subjektiv kritische Fahrsituation sein und somit als Information in Form einer Eingangsgröße für ein mögliches Fahrerassistenzsystem genutzt werden.

Da eine Fahrsituation eine bestimmte Zeit andauert, kann es sich dabei um eine Vielzahl von sich ändernden Druckverteilungen handeln. Die in der jeweiligen Fahrsituation, bspw. „Kurvenfahrt“, erfassten Druckverteilungen werden nun mit verschiedenen für diese Fahrsituation typischen Druckverteilungsmustern verglichen. Daraus ergibt sich eine Verteilung wie oft der Fahrer während einer bestimmten Fahrsituation jeweils einen der für diese Situation typischen Fahrstile aufwies. Für die Kurvenfahrt könnte bspw. ermittelt werden, wie lange der Fahrer während der Kurvenfahrt den Fahrstil „Legen“, „Drücken“ oder „Hanging-Off“ innehatte. Anhand dieser Verteilung erfolgt anschließend eine Charakterisierung der Fahrerfahrung.

Bei der Charakterisierung der Fahrerfahrung anhand der Häufigkeitsverteilung bestimmter Fahrstile während einer Fahrsituation kann entweder bedingt aus der reinen Häufigkeit der einzelnen Stile oder aus deren Kombination bzw. Abfolge auf den Fahrerfahrung geschlossen werden. Bei einer Kurvenfahrt deutet der Fahrstil „Hanging-Off“ üblicherweise auf einen versierten Fahrer. Hingegen kann bei dem Fahrstil „Drücken“ und „Legen“ nicht zwingend von einem weniger versierten Fahrer ausgegangen werden, da auch geübte Fahrer oder Profis hin und wieder diesen Fahrstil anwenden. Anhand des Vorliegens dieser einzelnen Stile während der Kurvenfahrt kann somit nicht direkt auf die Fahrerfahrung geschlossen werden. Aus diesem Grund ist es notwendig nicht nur die Fahrstile selbst, sondern insbesondere den zeitlichen Verlauf der Druckverteilung innerhalb einer Fahrsituation zu betrachten, um so mögliche Korrekturmaßnahmen des Fahrers zu ermitteln. Beispielsweise ist es ein Unterschied,

ob ein Fahrer in einer Kurve konstant den Fahrstil „Hanging-Off“ anwendet oder er diesen permanent korrigiert. In dem ersten Fall kann von einem versierten Fahrer und im zweiten Fall von einem geübten Fahrer, der allerdings weniger Fahrerfahrung besitzt als der versierte Fahrer, da er den Fahrstil noch nicht zu 100% beherrscht, ausgegangen werden. Somit ist es sinnvoll, nicht nur eine feste Anzahl von Fahrerfahrungsmöglichkeiten zu unterteilen (beispielsweise in „erfahren“ und „unerfahren“), sondern zusätzlich Mischformen zuzulassen. Dies kann bspw. durch einen Scorewert erreicht werden, mit dem die Fahrerfahrung eines Fahrers auf einer Skala von 0 bis 10 charakterisiert wird. Dabei entspricht der Wert 0 einem Fahranfänger, der Wert 5 einem Normalfahrer und der höchste Wert 10 einem versierten Fahrer oder Profi. Dieser Scorewert kann bspw. anhand der Häufigkeitsverteilung der einzelnen Stile und der Korrekturnotwendigkeit während der Fahrsituation bestimmt werden.

**Beispiel:** Versuchsfahrten mit einer BMW R1200GS

Fahrzeug: BMW R1200GS, ausgestattet mit umfangreicher Messtechnik

Versuchstrecke: Autodrom Most

Drucksensormatte: BPMS™ der Firma TekScan

Bei Versuchsfahrten wurde der Fahrersitz des Versuchsfahrzeuges mit der Drucksensormatte ausgerüstet, die 32x32 matrixartig angeordnete Drucksensoren enthält. Die Sensormatte wurde vollflächig auf die Oberfläche des Fahrersitzes aufgebracht, um somit die Druckverteilung des Fahrers auf der Sitzbank während einer 20-minütigen Fahrt über der Teststrecke erfassen zu können. Diese Messdaten wurden mit einer Rate von 100Hz auf einem Messrechner gespeichert. Weiterhin war eine auf den Fahrer gerichtete Onboard-Kamera auf dem Motorrad befestigt, mit der die Position des Fahrers während der Fahrt erfasst und ebenfalls auf dem Messrechner gespeichert wurde. Ergänzend wurden die fahrzeugspezifischen Parameter, wie beispielsweise die Geschwindigkeit, Beschleunigungen und der Rollwinkel auf einem Datenrekorder mit einer Rate von 100Hz aufgezeichnet.

Die gesamten Messdaten wurden anschließend hinsichtlich drei verschiedener Fahrsituationen, nämlich „Kurvenfahrt“, „konstante Geradeausfahrt“ und „beschleunigte Geradeausfahrt“, ausgewertet, wobei im Folgenden nur auf die Auswertung der Fahrsituation „Kurvenfahrt“ eingegangen wird. Der Fahrsituation „Kurvenfahrt“ wurden all die Daten zugeordnet, die zu einem Zeitpunkt erfasst worden sind, bei dem ein Rollwinkel im Bereich  $-40^\circ$  bis  $+40^\circ$  sowie eine Geschwindigkeit von über 5 km/h vorlagen. Ausgenommen sind die Zeitpunkte, in denen sich der Rollwinkel im Bereich von  $-3^\circ$  bis  $+3^\circ$  befand, da diese Bereiche annähernd einer Geradeausfahrt entsprechen. Es ergab sich, dass während der ca. 20-minütigen Testfahrt insgesamt 160 Kurvenfahrten stattgefunden hatten.

Die während der so definierten Kurvenfahrten erfassten Daten der Drucksensormatte wurden hinsichtlich des Fahrstils untersucht. Dazu wurden die aufgezeichneten Druckverteilungen mit zu den drei

Fahrstilen „Legen“, „Drücken“ und „Hanging-Off“ gehörenden Druckverteilungsmustern (siehe Abbildungen 3-2 bis 3-4) verglichen.

Die Auswertung dieser Druckverteilungen, validiert mit den Aufzeichnungen der Onboard-Kamera, ergab, dass der Fahrer während 83% der Kurvenfahrten den Fahrstil „Hanging-Off“, während 13% der Kurvenfahrten den Fahrstil „Drücken“ und in 4% der Kurvenfahrten den Fahrstil „Legen“ verwendete. Anhand eines Schlüssels wurde aus dieser Verteilung ein Scorewert von 8,2 von möglichen 10 Punkten ermittelt, somit kann man davon ausgehen, dass es sich um einen versierten Fahrer handelt. Diese Information könnte im Folgenden einer Sicherheitsfunktion für Motorräder als Ausgangswert übertragen und dort zur Bestimmung, wann sich der Fahrer in einer für sich kritischen Situation befindet, genutzt werden.

## 4 Fazit

In dieser Arbeit wurde eine Methode aufgezeigt, die differierenden Fahrstile von Motorradfahrern zu ermitteln, um auf dieser Grundlage auf die Fahrerfahrung des Fahrers schließen zu können. Bei den Untersuchungen konnten die Positionen und Bewegungen des Fahrers auf dem Motorradsitz detektiert werden. Auch die Abschätzung der Schwerpunktlage ist möglich. Jeder Sitzposition kann eindeutig ein Druckverteilungsmuster zugeordnet werden. Anhand dieser Druckverteilungsmuster ist ebenfalls eine Unterscheidung von Fahrsituationen möglich, insbesondere kann die Kurvenfahrt von der Geradeausfahrt abgegrenzt werden. Speziell bei Kurvenfahrten können die erkannten Positionen den Fahrstilen „Drücken“, „Legen“ und „Hanging-Off“ eindeutig zugeordnet werden. Aber auch die üblichen Fahrerpositionen bei Geradeausfahrt konnten eindeutig ermittelt werden. Ebenso ist die detaillierte Bewegung des Fahrers auf dem Motorradsitz während einer Fahrsituation durch Veränderung der Druckverteilungsmuster erkennbar. Mit der Kenntnis über die Art der Fahrsituation, die Fahrerposition und die Veränderung dieser Fahrerposition im Verlauf einer Fahrsituation kann die Erfahrung des Fahrers abgeleitet werden. Damit wurde ein Ansatz geschaffen, Fahrerassistenzsysteme zur Beibehaltung der Fahrstabilität fahreradaptiv zu gestalten. Weiterhin ist es möglich, dieses Verfahren für Schulungszwecke zu nutzen, indem beispielsweise dem Fahrschüler seine für eine bestimmte Fahrsituation ungünstig durchgeführten Bewegungsabläufe aufgezeigt werden.

Zur Optimierung und Weiterentwicklung des in dieser Arbeit untersuchten Verfahrens sind zum einen weitere Untersuchungen zur Detektion von Fahrsituationen sinnvoll, um die Bandbreite erkennbarer Fahrsituationen zu erhöhen und sicherzustellen, dass diese auch zweifelsfrei detektiert werden. Dies kann beispielsweise durch die Aufzeichnung weiterer Parameter am Fahrzeug umgesetzt werden, die zusätzlich dazu genutzt werden können, die Handlungen des Fahrers zu spezifizieren, um somit dessen

Fahrerfahrung noch präziser abschätzen zu können. Zum anderen wird empfohlen, Untersuchungen mit Motorradfahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung durchzuführen, um weitere Fahrerprofile zu ermitteln und die Abgrenzung voneinander zu optimieren. Dies sollte zunächst auf Teststrecken und anschließend im Realverkehr geschehen. Für eine praxistaugliche Anwendung ist es notwendig, Motorradsitze mit integrierten Sensorfolien zu entwickeln. Aus Kostengründen ist abzuwägen, ob auch eine geringere Anzahl an Sensoren (Anzahl der Knotenpunkte) zur Erkennung der Sitzposition ausreichend ist. Diesbezüglich sind weitere Untersuchungen sinnvoll. Im Weiteren wird empfohlen, Untersuchungen zur fahreradaptiven Gestaltung von aktiven (eingreifende/warnende) und passiven Sicherheitsfunktionen durchzuführen. An dieser Stelle ist es beispielsweise denkbar, Airbag-Systeme in Abhängigkeit von der aktuellen Sitzposition des Fahrers und dessen typischen Fahrerverhaltensmustern zu gestalten bzw. auszulösen. Aber auch der Eingriff von Stabilisierungsfunktionen in Abhängigkeit von der Schwerpunktlage des Fahrers ist möglich.

## 5 Quellen

[1] Statistisches Bundesamt: Verkehr – Verkehrsunfälle 2011, Wiesbaden, 2012

[2] CMV Hoven GmbH: CONFORMat, <http://www.cmv.de/conformat1.php>, 15.07.2012, 13:04

[3] BTS Bioengineering: CONFORMat, [http://www.btsbioengineering.com/BTSBioengineering/pressureanalysis/Conformat/BTS\\_CONFORMat.html](http://www.btsbioengineering.com/BTSBioengineering/pressureanalysis/Conformat/BTS_CONFORMat.html), 15.07.2012, 13:40

## **Voluntary and Mandatory Motorcycle Helmet Standards**

### **Freiwillige und gesetzlich vorgeschriebene Prüfungsstandards von Motorradhelmen**

Edward B. Becker

Snell Memorial Foundation



## Abstract

Helmet technology has improved considerably since 1968 but many motorcycle helmets have not. The current United States Federal Motor Vehicle Safety Standard 218 also known as the DOT motorcycle helmet standard makes virtually the same demands for helmet performance as the 1968 American Standards Institute's Motor Vehicle Helmet Standard. Yet even the DOT standard demands more protection from severe impact than the current UNECE R 22-05 requirement. This paper will explore the inadequacies of DOT and ECE 22-05 and compare their demands for protective capability to voluntary standards for motorcycle helmets as well as current standards for auto racing helmets and bicycle helmets. It will be seen that much more protective capability can be demanded of motorcycle helmets with no appreciable differences in cost, comfort and utility. Test results for various helmets tested to the several standards show that inadequacies in the standard to which a helmet is built become inadequacies in the helmet itself. It is possible for a voluntary standards organization to advance helmetry in the absence of any mandatory standard but where government standards exist, they must be maintained and improved, if not to advance the development of better helmets, then at least not to retard it unduly.

## **Voluntary and Mandatory Motorcycle Helmet Standards**

## Introduction

Mandatory motorcycle helmet standards lay out a set of specifications and performance requirements which all helmets must meet. Voluntary standards might then identify motorcycle helmets which, in one way or another, exceed the mandatory demands and confer an additional protective benefit to their users. Motorcyclists could then choose between helmets satisfying the mandatory minimums or helmets which meet and demonstrably exceed these minimums. If the voluntary standard can justify their claim to the helmet industry and to the public that complying helmets are somehow better, some portion of the motorcycling public will be attracted and helmet manufacturers will seek to cater to that portion. Otherwise, the voluntary standard, whatever its other virtues, is economically irrelevant; without some perception of added value, it can have no immediate bearing on helmets commercially available to the riding public.

Mandatory standards are relevant by fiat and voluntary standards are constrained by current mandatory requirements. They must remain compatible with the mandatory requirements even when compatibility conflicts with the standard developers' conceptions of superior capability. Furthermore, with the imprimatur of a government, helmets meeting mandatory standards will have an almost automatic acceptance as a sufficient precaution against injury. The appeal of better protection than what is taken to be sufficient will be much more strongly offset by other factors such as cost, styling, sleekness etc. In a sense, voluntary standards are prisoners of existing mandatory standards; unless the mandatory requirements are subjected to regular review and revision, voluntary standards and advances in helmets and helmet standards may be unnecessarily limited.

The critical issue in all of this is protection. In motorcycle helmets, protection is largely invisible; riders may easily evaluate helmets for fit, comfort, looks etc. but for an assessment of protective capability, they must almost certainly rely on the helmet's homologations. The value of these homologations rests in turn on the helmet testing and, especially, on the validity of the standards to which the testing was performed.

Ideally, an assessment of a motorcycle helmet standard's protective benefit would be based on the outcomes of motorcycle crashes. Helmet authorities have been promulgating helmet standards for at least 60 years and urging, if not requiring, the use of headgear meeting these standards. We ought, by now, to know what is happening to the people who wear them. However, although there are many studies documenting the injury reduction among riders who crash wearing helmets versus those who crash without them, there are few, if any, comparing the relative advantage of different helmets qualified to different standards. Any such study is likely to be frustrated since few motorcycle crash surveys contain any information about the type of helmet worn or the standards to which the helmet was qualified. Even so, some studies may provide a few hints.

## Compliant vs. Non-compliant Helmets

One such study (U.S. Department of Transportation NHTSA 2005) drew on observations of helmet use and motorcycle crash outcomes in Florida just before and just after the repeal of a state law requiring the use of motorcycle helmets complying with Federal Motor Vehicles Safety Standard (FMVSS) 218 (U.S. Department of Transportation NHTSA 1988) also known as DOT. The data presented included roadside counts of motorcyclists riding bareheaded or wearing either “compliant” or “non-compliant” headgear and fatality statistics broken out in terms of whether the victim had been wearing a helmet. The data presented were sufficient to estimate the relative benefits of these two broad categories of helmet.

The distinction between compliant and non-compliant was based on whether the helmet wall was at least an inch thick. Compliance with DOT generally requires that the helmet wall be at least an inch thick but many riders in localities where helmet use is required will wear a particular helmet configuration amounting to a rigid skull cap with a minimal chin strap. These helmets do not comply with DOT and are often referred to as “novelty” or “bogus” helmets. Even though this configuration is easily identified and is known not to comply with legal requirements, its use conveys at least a ritual observance of the law; traffic authorities often will not interfere with riders who wear these non-compliant helmets.

After the repeal of the Florida helmet use law, the use of legitimate helmets dropped by about a third but the use of these “novelty” helmets practically disappeared. Analysis of helmet usage and motorcycle crash fatality data collected pre and post repeal was sufficient to estimate the relative protective benefit of compliant helmets, non-compliant helmets and riding bareheaded. An analysis yields risks of 6.6, 11.1 and 11.6 fatalities per ten thousand registrations for compliant helmets, non-compliant helmets and riding bareheaded respectively. Since the data almost certainly includes fatalities due to injuries to body parts other than the head, the reductions in fatal head injury these numbers imply is reasonably much greater than the reductions in overall fatality. It is evident that compliant helmets are much more effective than non-compliant helmets which, at least for serious injuries, seem to be of little or no benefit.

## Earlier Helmets vs. More Recent

Studies of motorcycle crash fatalities relying on data from the US government Fatal Accident Reporting System (FARS) indicate that the protective benefit of motorcycle helmets has improved over time. Anderson and Krause (Anderson and Kraus 1996) reported an apparent improvement in the reduction of fatality from 14% in 1976 to 49% in 1989. Deutermann (Deutermann 2004) reported that helmet effectiveness in reducing fatality improved from 29% in 1982 through 1987 to 37% over the years

1993 through 2002. Both these studies were based on accidents which involved a driver and a passenger and in which one or the other was fatally injured. The records included whether helmets were used but did not provide any specific information about the helmets themselves.

## Lighter Helmets vs. Heavier

The COST 327 (Chinn, et al. 2001) Motorcycle Safety Helmet study included observations of head injury outcomes in motorcycle crashes along with the masses of the helmets worn by the injured riders. These were recorded in a table in the report but little was made of them. In fact, the report states that “[m]ass did not affect the injury outcome...” but when the table is converted to a chart there is a very strong suggestion that the heavier helmets were much more effective in preventing brain injury. It is possible that this suggestion evaporates when other observations are taken into consideration but the report, as it is now, invites the inference that heavier European motorcycle helmets are much more effective than lighter European helmets.

## Energy Management

Each of these studies demonstrates that some helmets are more effective than others. The Florida data shows that thick walled, compliant helmets are better than thin walled non-compliant helmets. The FARS data shows that in the United States, the more recent helmets in use are more effective than those previous. The COST 327 data indicates that in Europe the heavier helmets are more effective than the lighter ones. Taken together, they suggest that energy management, or energy absorption, is a critically important component of helmet protective capability.

The non-compliant helmets so popular in the US and which seem to provide no real reduction in crash fatality have virtually no impact energy management capability. In the FARS studies, Deutermann credits technological improvements for the increased effectiveness but Anderson and Krause also credit increased energy absorption. Both studies contend that the improvements noted in helmet effectiveness were due to less capable headgear being replaced over time.

If the performance of the heavier helmets in table 3.2 of the COST 327 report is due to the additional weight being a matter of thicker liners and more rigid shells, then the additional protective benefit implied in the chart is also a matter of increased energy management. Although the report states directly that mass did not affect the injury outcome, as strongly suggested in the table, the authors of that report did emphasize the importance of energy absorption and estimated the reductions that might be expected for increases in helmet energy absorptions of 24% and 30%.

## Helmet Standards

The differences in the capabilities of the helmets in these studies may well be a matter of the differences in helmet standards. The dichotomy between the non-compliant and compliant helmets in Florida is largely a matter of the compliant helmets seeming to meet DOT requirements, the mandatory US minimum demands for street motorcycle headgear, while the non-compliant helmets were obviously incapable of satisfying any accepted motorcycle helmet standard.

Anderson and Krause credited the improvement they had noted in helmet effectiveness over the period of 1976 to 1989 to the gradual replacement of older headgear with helmets meeting appropriate standards. The improvement is striking, the older headgear must have been very poor or the newer headgear very much better to have had such an effect.

In fact, though, many of the helmets in use in 1976 may have already met DOT requirements. There are no records describing the helmets in the FARS data but a survey of motorcycle crashes in Los Angeles in 1976-77 may provide some insights. In 1981, Hurt, Ouellet and Thom (Hurt, Oullet and Thom 1981) published a survey of some 900 motorcycle incidents in the Los Angeles area during 1976 and '77 including assessments of involved helmets and other protective gear. Almost 50% of the helmets recovered from crash victims were made after 1974. 20% had DOT labels; DOT had taken effect in March of 1974 but only applied to helmets fitting the medium head form. Almost 42% were labeled to ANSI Z90.1-1971 (American National Standards Institute 1971) and 11% to the older ASA 1966 (American Standards Association 1966) requirement. 53% were labeled to SHCA, a certification program based first on ASA and ANSI and, later, DOT. Almost 23% were Snell labeled and 16% of these to Snell 1970. Since ASA, ANSI and Snell-68 called out the same test severities as DOT, by the mid 1970's most of the helmets in use in southern California already satisfied current US mandatory test severities.

Since the DOT severities remain unchanged to this day, it seems unlikely that the DOT requirements could have been the source of the increase in helmet effectiveness noted by Anderson and Krause and later by Deutermann. But even though DOT requirements were essentially static throughout these periods, Snell test severities advanced continually as well as the volume of Snell helmets being produced for sale in the US. Ouellet (Ouellet and Kasantikul 2006) noted that the impact liner thickness of helmets in the Los Angeles area in 1976-77 was about 20 to 25 mm but estimates that by 2005 these thicknesses were 25 to 35 mm. Snell certification almost certainly demands 35 mm or more.

The strong, negative correlation of head injury statistics with helmet weight evident in the table in the COST 327 report may also have had some relationship to helmet standards. The current ECE 22-05 requirement is frequently associated with lighter, thinner walled helmets but some of the national requirements preceding it could not be satisfied without thicker impact liners and much more rigid

shells. BSI 6658-85 Type A for instance calls out requirements only slightly less demanding than Snell standards of the same period. Many of these helmets would still have been in use at the time of the COST 327 survey of motorcycle crashes.

## Helmet Standards and Energy Management

Helmet standards demand impact energy management by specifying impact tests. The essence of these is that a sample helmet containing a head form is dropped onto a rigid surface at a given velocity. Technicians measure the shock transmitted through the helmet wall and into the head form. If the helmet attenuates that shock sufficiently, it is deemed to have passed the test. There may be several different impact surfaces involved as well as different impact sites on the helmet shell and some standards call for more than one impact at a given site. When a helmet model is considered for certification, several samples must be tested in order to satisfy reasonable concerns that the model performs well in every test permitted in the standard.

There are two types of impact surface: flat which applies a distributed load across a broad area of the helmets surface, but most standards also call out at least one other convex surface which applies a concentrated load to a small area of the helmet. In ECE 22-05 (Economic Commission for Europe 2002) this convex surface resembles curbing and is called the kerbstone. Snell M2010 (Snell Memorial Foundation 2009), DOT and several other helmet standards call out an eight centimeter diameter hemisphere for their convex impact surface. There are also two types of failure seen in impact testing: one in which the helmet liner is too hard to attenuate the shock sufficiently and the other in which the liner is too thin and collapses completely before the impact event is over. Imagine jumping onto a thick, very hard mattress versus a soft, very thin mattress. In either case, the result is likely to be painful but the implications for the mattress engineers are very different. It's certainly no good making the hard mattress thicker or the thin mattress softer. The flat anvil amounts to a test for liner softness. If the liner is too hard, the distributed load applied in flat surface testing will pass too much shock through the helmet and into the head form. Of course, the helmet liner might also be too thin but, in that case, the concentrated loading in a test against a hemisphere or kerbstone would punch through the helmet wall well before a flat impact test would suggest any problem. However, if the liner is sufficiently thick, testing against the hemisphere and the kerbstone will never transmit as much shock as an impact against a flat surface. Effectively to meet impact test requirements, a helmet must be soft enough for testing on flat surfaces and thick enough for testing against the standard's convex surface.

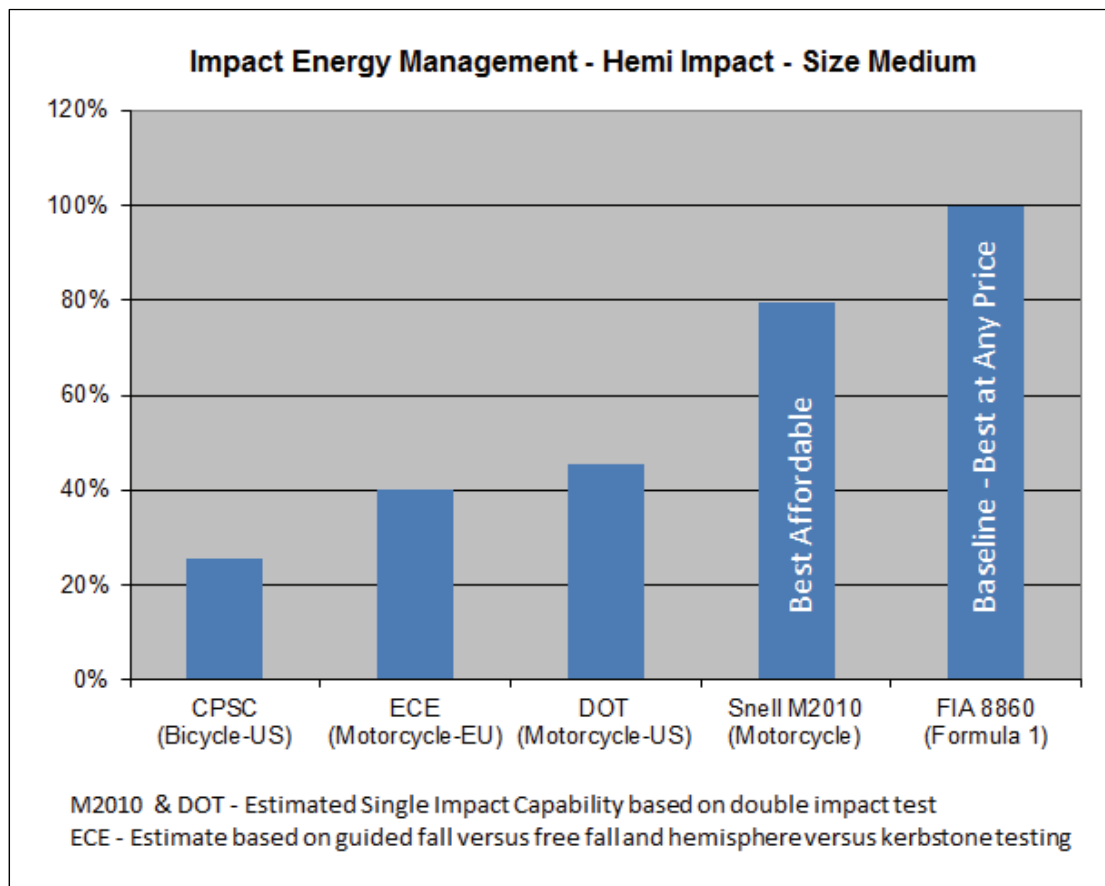
There is one more consideration worth mentioning: a good, rigid helmet shell may also help a helmet to pass impacts against the hemisphere and kerbstone. A concentrated loading is less likely to punch through a good, rigid shell. Instead, the shell spreads that concentrated loading across a broader sec-

tion of helmet liner in much the same way as impact against a flat surface. In Snell type testing, a perfectly rigid shell would yield the same impact result for either the flat or the hemisphere. However, no such shell exists; currently, even the best shells will flex somewhat so that the levels of transmitted shock will, at first, be lower but the helmet wall compression will be greater than for a comparable flat impact.

Since there's no such thing as a perfectly rigid shell, it still holds that for helmets, flat impact requirements determine liner density and either the hemisphere or the kerbstone set liner thickness. And it's also true that once the liner density is set, impact energy management depends on just how thick that liner has to be to survive the hemisphere or the kerbstone. A direct comparison can be had by looking at the kinetic energy of the test head form in these tests. The chart compares the size medium impact energy management requirement for five different helmet standards ranging from the United States CPSC bicycle helmet standard through to the FIA 8860-2010 advanced helmet specification (Federation Internationale de l'Automobile 2010) set for helmets used in Formula 1 auto racing. CPSC requirements represent the minimal demands thought consistent with bicycle safety but FIA 8860 demands all the crash impact protection considered feasible with current technology.

The chart shown below invokes several estimates. Since both Snell and DOT require two successive impacts, the single impact demand is estimated as the larger of either the first impact, or the sum of half the first impact plus all the second impact. An examination of test results from many Snell tests suggested that only half the energy management required for the first impact is lost due to helmet damage, the rest is recovered almost immediately after the test and is available to help manage the second impact. The ECE 22-05 estimate is based on the differences observed between ECE 22-05 type testing and the guided fall procedures used by FIA, Snell, DOT and CPSC. Guided fall aligns the head form center of gravity with the center of the impact surface assuring that almost all the impact energy must be managed by the helmet but in the ECE 22-05 procedure as much as 20% of the impact energy may be lost to rotation due to the misalignment of the head form center of gravity. The estimate also includes a consideration for the relative severity of the kerbstone versus the hemisphere. Guided fall tests of identical helmets showed that the kerbstone produces only 80% of the helmet wall crush seen in testing against the hemisphere. This difference seems plausible because the kerbstone concentrates the loading along a line while the hemisphere concentrates the loading about a point.





The chart indicates that ECE 22-05 demands more energy than the United States currently requires for bicycle headgear but slightly less than is required by DOT, a standard representing demands considered reasonable lower limits back in 1966. Snell M2010 demands almost twice as much and FIA 8860 demands as much as 150% more energy management than the ECE 22-05 requirement. However, FIA 8860 helmet technology is well beyond most riders' budgets. That extra margin of performance beyond Snell M2010 requires some very expensive shell technology.

## M2010 Tests of ECE 22-05 Type Helmets

Previously, we had reported results for guided fall testing on helmets certified to Snell M2005 and comparable helmets made by the same manufacturer to ECE 22-05. At that time we had been investigating standards compatibility: whether it was feasible to make a single model which would meet both Snell and ECE 22-05 requirements. So we looked for the best possible helmets ECE 22-05 helmets we could find. For this study, we looked for something a little different: the minimum level of performance which could reasonably be expected of an ECE 22-05 homologated headgear. We purchased eight helmet units in medium sizes with established brand and model names and subjected them to Snell M2010 type testing.

All the helmets were full face and included face shields. The average weight of the helmets came in at 1368 grams, about 230 grams lighter than the average for comparable M2010 helmets. However, there is a considerable overlap in the weight ranges; the lightest of the Snell helmets is 1323 grams and two of the ECE 22-05 samples tested weigh more than 1500 grams.

None of the eight samples met M2010 impact requirements. Although they all easily passed requirements for flat impact, each failed one or more hemisphere impact tests. Still, the performance in many of these tests exceeded expectations. The Snell impact tests call for two impacts at each site tested, the first at 7.75 m/sec and the second at a velocity based on the size of the test head form. Three of the eight samples had no difficulty passing all the first impacts in tests against the hemisphere and there were a number of instances in which the samples also met requirements for the second of the two impacts. However, there were six instances in which samples failed the first of the two hemisphere impacts and one of these managed only about 77% of the energy estimated as a minimum for a compliant ECE 22-05 helmet.

All the samples were disassembled and inspected; there were no apparent defects in materials or workmanship. The test results were all self-consistent with no apparent anomalies. Still, it is quite possible that all the samples were ECE 22-05 compliant, in spite of the test results and particularly that result indicating only 77% of the impact energy management implied in ECE 22-05. Snell as well as DOT, FIA 8860 and a host of other helmet standards specifies broad areas of the helmet surface to which impacts may be directed. ECE 22-05 confines impact sites to specific points. The impact producing that 77% result was directed about 8 centimeters above and to the rear of the ECE 22-05 side impact site. Effectively, ECE 22-05 left a "hole" in the helmet's coverage which might reasonably expose a wearer to a devastating injury.

Summary of Test Results – Part 1				
Sample		Snell Energy	ECE 22-05 Energy	Crush mm
2044	J head form			
	Flat Impact Left side 240° 240mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Front 0° 260mm - 2nd Impact Failure	80%	168%	
	Hemi Impact Right 120° 140mm - 2nd Impact Failure	83%	175%	
	Hemi Impact Rear 180° 135mm - Pass	100%	211%	
2045	J head form			
	Flat Impact Left side 245° 220mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Front 0° 260mm - 1st Impact Failure	72%	152%	40.2
	Hemi Impact Right 115° 135mm - 1st Impact Failure	69%	145%	38.1
	Hemi Impact Rear 180° 120mm - Pass	100%	211%	
2046	J head form			
	Flat Impact Left side 240° 210mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Front 0° 255mm - 2nd Impact Failure	80%	168%	
	Hemi Impact Right 120° 135mm - Pass	100%	211%	
	Hemi Impact Rear 180° 120mm - Pass	100%	211%	
2047	J head form			
	Flat Impact Left side 237° 175mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Front 315° 230mm - 1st Impact Failure	63%	133%	32.5
	Hemi Impact Right 125° 135mm - 2nd Impact Failure	79%	166%	
	Hemi Impact Rear 180° 100mm - 2nd Impact Failure	94%	198%	

The tables present a summary of the test results. Impact sites on the helmets are described in terms of the quadrant: Front, Right, Left and Rear; and also in terms of an angle and distance measurement. The helmet sample is placed on its lower edge on a table top and then impact site is located in terms of an angle measured clockwise from the front center line of the helmet and the vertical distance from the table top along the contour of the helmet to the impact site. The test outcome is given in terms of the percentage of energy management observed versus that expected. All the samples did well in flat impact and the samples met Snell requirements in nine of twenty four hemi impact test series. All the results except one exceeded the management implied in the ECE 22-05 requirements. That one was at a test site not exercised in ECE 22-05 requirements so the sample may still have been ECE 22-05 compliant. There were seven instances in which the samples did not meet requirements even for the first of the two Snell impacts. The helmet wall deformations calculated for these generally exceeded 30 mm and two appeared to be greater than 40 mm.

Summary of Test Results - Part 2				
Sample		Snell Energy	ECE 22-05 Energy	Crush mm
2048	J head form			
	Flat Impact Front 0° 263mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Right 120° 130mm - Pass	100%	211%	
	Hemi Impact Left 240° 221mm - 2nd Impact Failure	97%	206%	
	Hemi Impact Rear 180° 150mm - Pass	100%	211%	
2049	J head form			
	Flat Impact Front 330° 225mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Right 125° 125mm - 1st Impact Failure	74%	156%	42.7
	Hemi Impact Left 245° 205mm - 2nd Impact Failure	79%	167%	
	Hemi Impact Rear 180° 150mm - Pass	100%	211%	
2050	J head form			
	Flat Impact Left 220° 195mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Front 305° 240mm - 1st Impact Failure	75%	158%	35.7
	Hemi Impact Right 118° 165mm - 1st Impact Failure	74%	156%	30.8
	Hemi Impact Rear 180° 140mm - Pass	100%	211%	
2051	M head form			
	Flat Impact Front 30° 250mm - Pass	100%		
	Hemi Impact Right 110° 145mm - 2nd Impact Failure	95%		
	Hemi Impact Left 220° 175mm - 1st Impact Failure	43%	76%	34.8
	Hemi Impact Rear 180° 150mm - Pass	100%	175%	

## Discussion

Helmets provide impact protection by placing a deformable wall between the wearer's head and an impact surface. During an impact, this wall is crushed between the wearer's head and the surface. As it is crushed, the wall applies a controlled braking force to the head slowing it from its initial impact velocity. The wall must be sufficiently thick to avoid collapsing completely before the head slows to a stop and the wall must be sufficiently soft so that the braking forces do not exceed the head's injury tolerance.

Motorcycle helmet impact test procedures assess both these matters simultaneously. A sample helmet containing an instrumented head form falls onto an impact surface at a specified velocity. Any failure, whether the wall is too thin or the controlled braking forces too high, will cause the head form instrument readings to exceed the standard criteria.

Motorcycle helmets must also contend with a range of potential impact surfaces ranging from flat road surfaces which apply loads across a broad area of the helmet exterior to load concentrating surfaces such as curbing, barrier elements and sign posts which may punch through and collapse a small section of the helmet wall to reach the head inside. Helmet standards generally specify at least two impact

surfaces, one flat and the other convex. Helmets which meet requirements for both these extremes are considered proof for any intermediate surface.

Helmets which fail because the braking forces are too high have trouble with flat impacts. Helmets which fail because the helmet wall has collapsed completely have trouble with convex impact surfaces. Effectively, flat impact tests may be seen as a limit on helmet braking force while convex surfaces demand a combination of at least a minimum wall thickness coupled with a rigid, load spreading shell.

DOT and ECE 22-05 apply different test criteria but, for flat impact, the effects are remarkably similar; the DOT time duration requirement and the ECE 22-05 HIC requirement both limit flat impact peak acceleration to about 250 G. Although Snell standards allow higher levels, Snell helmets sold for street motorcycling in the US must meet DOT and, in Europe, must meet ECE 22-05. However, Snell testing demands substantially more impact energy management than either ECE 22-05 or DOT. To meet Snell impact requirements, helmet shells must be more rigid or helmet walls thicker or some combination of the two. The effect is that Snell certified helmets will manage higher levels of head impact velocity than either ECE 22-05 or DOT.

At this time, there is no statistical proof that helmets meeting any particular standard reduce crash injury and fatality any more effectively than helmets meeting some other standard. However, there is evidence that DOT compliant helmets are more effective than non-compliant helmets, that DOT compliant helmets in use in the US from the late 1980's and going forward are much more effective than those worn in the mid 1970's and that the heavier helmets in the crash incidents considered in the COST 327 study of motorcycle injury were more effective than the lighter helmets. It is only a short step from there to ascribe these differences in protective capability to impact energy management. If that is truly the case, then helmets meeting Snell plus ECE 22-05 must certainly be more protective than helmets meeting ECE 22-05 only and similarly for Snell plus DOT.

## Conclusion

Snell standards originated in 1959 and were intended, at first, for auto racing helmets. Motorcyclists began wearing them, almost from the beginning but the US mandatory DOT requirements did not take effect until 1974. Remarkably, motorcyclists continued to wear Snell certified helmets although, from 1974 on, these same helmets were required to meet DOT. Effectively Snell became a "value added" standard indicating crash impact performance exceeding DOT's mandatory minimums.

Snell exists because DOT demands much less than industry can provide and because more than a few DOT labeled helmets will not meet DOT requirements. ECE 22-05 also demands much less than industry can provide and, with no disparagement to European test technicians and standards authorities,

the standard may be gamed leaving holes in the protection which might be expected of nominally compliant helmets.

Snell motorcycle helmet programs were able to continue because DOT demanded and assured much less than the industry could provide and American riders could afford. Throughout the 1980's and to this day, even while many American motorcyclists protest laws requiring them to wear helmets and choose instead to ride bareheaded, many other American riders choose to seek out, buy and wear Snell certified helmets rather than rely on the assurances of DOT.

I and my colleagues at Snell wish to offer this same choice to Europe; firstly to European riders who already have access to at least two helmet models meeting both Snell M2010 and ECE 22-05. But also to the European community in case they might consider revamping their standards and test procedures to demand levels of performance consistent with the best helmets riders can reasonably be expected to wear.

## Works Cited

- American National Standards Institute. *Specification for Protective Headgear for Vehicular Users*. New York: American National Standards Institute, 1971.
- American Standards Association. *Protective Headgear for Vehicular Users*. New York: American Standards Association, 1966.
- Anderson, Craig L, and Jess F Kraus. "The Changing Effect of Motorcycle Helmet Use on Mortality: Comparisons if Drivers and Passengers on the Same Motorcycle." Vancouver, British Columbia: Association for the Advancement of Automotive Medicine, 1996.
- Chinn, Bryan, et al. *Motorcycle Safety Helmets*. Belgium: European Commission Directorate General for Energy and Transport, 2001.
- Deutermann, William. *Motorcycle Helmet Effectiveness Revisited*. Washington DC: US Department of Transportation NHTSA, 2004.
- Economic Commission for Europe. *Uniform provisions concerning the approval of protective helmets and of their visors for drivers and passengers of motorcycles and mopeds. Regulation No. 22, Revision 4*. Geneva: United Nations, 2002.
- Federation Internationale de l'Automobile. *FIA Standard 8860-2010 Advanced Helmet*. Geneva: Federation Internationale de l'Automobile, 2010.
- Hurt, HH Jr., JV Oullet, and DR Thom. *Motorcycle Accident Cause Factors and Identification of Countermeasures*. Washington DC: US Department of Transportation NHTSA, 1981.

Ouellet, James V, and Vira Kasantikul. "Motorcycle Helmet Effect on a Per-Crash Basis in Thailand and the United States." (Taylor and Francis Ltd.) *Traffic Injury Prevention* Volume 7, no. Issue Number 1 (2006).

Snell Memorial Foundation. *Standard for Protective Headgear for Use with Motorcycles and Other Motorized Vehicles*. North Highlands: Snell Memorial Foundation, 2009.

U.S. Department of Transportation NHTSA. *Federal Motor Vehicle Safety Standard 218*. Washington DC: US Department of Transportation NHTSA, 1988.

U.S. Dept. of Transportation NHTSA. *Traffic Tech #299 Florida's Motorcycle Helmet Law Repeal*. Washington D.C.: Office of Research and Technology, NHTSA, 2005.

**Almanac of Assessed Measures for Improvement  
of Powered Two-Wheeler Safety**

**Almanach bewerteter Maßnahmen zur Verbesserung  
der Sicherheit bei motorisierten Zweirädern**

Martin Winkelbauer  
Kuratorium für Verkehrssicherheit, KFV

Stéphane Espié  
IFSTAR (INRETS/LCPC)



## **Abstract**

### **Starting point for investigation**

The number of fatalities among users of powered two-Wheelers (PTW) in Europe recently declined, but remains high compared to other groups of road users. The study aims at contributing to the question: What works in terms of PTW safety?

### **Methods**

As a first step, a comprehensive list of measures affecting PTW safety was collected. The collection included numerous Road Safety Programs, technical guidelines but also single measures and scientific reports. The expert group doing this work consisted of member so the consortium of the European-Commission-funded project "Powered Two-Wheeler Behaviour and Safety" (2BESAFE). A total of 151 measures was collected and distributed to 17 categories. Each measure was comprehensively described, addressing practical examples, safety and other impacts, scientific background, implementation, sustainability and consideration of costs and benefits. Each description was complemented by a statement from the riders' perspective.

Sound scientific evidence is rare. For providing a consistent assessment of all of the measures, a comprehensive expert judgment procedure was executed. The experts' statements were processed and are displayed as a star rating within eight specific categories (e.g. safety impact, sustainability, costs) and an overall rating. Research results from 2 BE SAFE received particular attention, they allow some conclusions about the experts' rating results.

### **Results**

Several of the best-rated measures are addressing improvement of infrastructure; there are also measures on improvement of vehicles, campaigns and scientific research methods. Among the worst-rated measures there are e.g. single restrictive measures and some rider assistance systems.

### **Consequences**

The paper shall provide a wide variety of information to decision makers and all other interested parties in order to assist identification of suitable countermeasures for existing safety problems.

## **Kurzfassung**

### **Problemstellung, Untersuchungsansatz**

Die Zahl der getöteten Benutzer motorisierter Zweiräder in Europa ist zwar in jüngster Zeit leicht rückläufig, jedoch im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmergruppen anhaltend hoch. Daher stellt sich die Frage, welche Maßnahmen zur Verbesserung der Sicherheit gemessen an objektiven Kriterien wirksam sind.

### **Methode**

Zur Vorbereitung einer möglichst vollständigen Liste von Maßnahmen wurden Verkehrssicherheitsprogramme, technische Richtlinien, Einzelmaßnahmen und wissenschaftliche Arbeiten von einer Expertengruppe gesammelt. Diese setzte sich aus den Konsortialmitgliedern des von der Europäischen Kommission geförderten Projekts "Powered Two-Wheeler Behaviour and Safety" (2BESAFE) zusammen. Es wurden 151 verschiedene Maßnahmen gesammelt und in 17 Kategorien eingeteilt. Jede der Maßnahmen wurde umfassend beschrieben, es wurden Anwendungsbeispiele angeführt, Sicherheits- und andere Wirkungen, relevante wissenschaftliche Erkenntnisse, Aspekte der Umsetzbarkeit und Kosten-Nutzen-Überlegungen. Ferner wurde zu jeder Maßnahme eine Stellungnahme der Motorradfahrer eingeholt.

Vielfach liegen keine tragfähigen Aussagen zu Wirkungen von Maßnahmen vor. Da jedoch eine Bewertung aller Maßnahmen geboten werden sollte, wurde eine breit angelegte, systematische Expertenbefragung durchgeführt. Aus den Antworten wurde ein Star-Rating entwickelt, das die Meinung der Experten in acht Kategorien (z.B. Sicherheitsauswirkungen, Nachhaltigkeit, Kosten) und eine Gesamtbewertung darstellt. Insbesondere wurden Erkenntnisse aus den anderen Arbeitspaketen von 2BESAFE berücksichtigt, die Rückschlüsse auf die Bewertungen erlauben.

### **Ergebnisse**

Unter den bestwerteten Maßnahmen finden sich besonders viele Infrastrukturmaßnahmen, aber auch Fahrzeugverbesserungen, Kampagnen und wissenschaftliche Methoden. Zu den am schlechtesten bewerteten zählen einige restriktive Maßnahmen und auch Assistenzsysteme.

### **Konsequenzen**

Das vorgelegte Papier soll Entscheidungsträgern und allen anderen Interessierten ein breites Spektrum an Informationen bieten und es erleichtern, passende Lösungen zu bestehenden Sicherheitsproblemen zu finden.

**Almanac of Assessed Measures for Improvement  
of Powered Two-Wheeler Safety**

## Introduction

PTW riders face a higher risk of fatal or serious injury than most other road users, as well as a higher accident risk. The fatality rate per million kilometres travelled is, on an average, 18 times greater than for passenger cars. In 2006, L-category vehicles accounted for 2% of the distance travelled but 16% of road deaths in the EU-25. While other vehicle types have seen significant decreases in fatalities and serious injuries over time, respective figures for L-category vehicles only slightly decreased (Yannis et al, 2011).

Further, the recent MAIDS (Motorcycle Accident In-Depth Study, ACEM, 2010) study of PTW crashes in Europe found that behavioural and ergonomic issues were major contributing factors to PTW crashes. The majority of PTW crashes involved a collision with a car. The primary accident cause for PTW crashes was the failure of car drivers to perceive two-wheelers. The behavioural and ergonomic factors contributing to accidents involving four wheeled vehicles have been studied for a long time through laboratory and simulator research, observational studies and more recently by naturalistic driving studies, leading to countermeasures to reduce fatalities. But there is no comparable research targeting powered two wheelers; and there is a lack of research tools to study motorcycle rider behaviour.

In order to propose relevant countermeasures to mitigate PTW rider fatalities and injuries, a broad-ranging research program was designed and implemented in the course of 2BESAFE. This innovative program of research targeting the behavioural and ergonomic factors contributing to motorcycle crashes focuses on the various scientific issues. It is only natural to use such an initiative for development of recommendations for practical countermeasures for enhancing PTW rider safety. For sure, one single research project cannot address the whole bandwidth of countermeasures; however, it was a goal to address as many as possible. 2BESAFE carried out a wide range of research on behavioural aspects of PTW riding and riders:

- Accident statistics
- Weather
- Conspicuity
- Conflict observation
- Cognitive Work Analysis
- Surveys on attitudes
- Naturalistic Riding
- Improvement of simulators

The initial idea behind a "List of Measures" was directing the research work of 2BESAFE in a way to get the best available answer to the key question:

*What works in terms of motorcycle safety?*

The researchers should keep this list in their minds during the whole project and – wherever suitable and feasible – adopt their work, include additional aspects or do whatever is necessary to contribute to answering this question. In detail, the aim of this work package is the preparation of a comprehensive list of currently applied and potential PTW safety measures including advantages, shortcomings, potential implementation barriers and key success factors of PTW safety measures.

## Methodology

### Collection of measures

The aim of the initiative (i.e. work package 6 within 2BESAFE) was providing a comprehensive tool to support decisions about road safety measures addressing the issue of PTW safety. As being a part of 2BESAFE, the research done within the project should serve as a sound basis for preparing recommendations. In order to achieve this goal, WP6 was active at the very beginning of the project and at the end.

As one of the first activities within the whole project, the “List of Measures” was prepared. All consortium members were asked to provide input to this list. A template was created in order to get well-structured information about measures. The term “measures” was considered in the widest possible way. All consortium members were asked to deliver information from their home countries and other measures they knew about:

1. guidelines
2. (technical) standards
3. single measures
4. training
5. education
6. campaigns
7. research activities
8. road safety programs
9. road safety visions

They were also asked to provide a short description of the measure including information about what is done in principle, an example and some information about beneficiaries of the measure.

All single measures, which were included in road safety programs, were systematically added to the collection of measures. Single measures carrying out equal or similar activities at different places were summarised under one common headline, displaying the different measures within the sub-chapter on examples. In total, this process created a collection of 152 measures. These were structures into 13 categories.

- Road Infrastructure
- Vehicles and Safety Devices
- Conspicuity & Lights
- Environmental Issues
- Protective Equipment
- Driver Education, Licensing and Testing
- Traffic Law and Enforcement
- Road Safety Education and Campaigns
- Rehabilitation and Diagnostics
- Post-Accident Care
- Road Safety Data and Data Collection
- Measures involving other Vehicles
- Other Measures

Road safety programs, road safety visions, guidelines, funding measures and standards were described in a separate chapter. The full collection of information was made available to all partners of 2BESAFE in order to be considered, e.g. when designing research activities in detail or for formulating research questions. Doing that should make sure to get the best possible contribution to the various measures in terms of effectiveness and efficiency.

Over the following 24 months of the project, the list of measures was updated as soon as new measures or measures, which were not considered so far, appeared on the horizon. Some measures were deleted due to low level of relevance; other measures were combined. The final list contained 144 measures.

Shortly before the end of the project, the leaders of the work packages carrying out research within 2BESAFE provided “dedicated reports”. These reports aimed at transferring knowledge, which was acquired during the project, into recommendations. Based on these reports, the description of all measures was extended by additional chapters:

- Clear definition of the problem
- Size of the problem

- Scientific Background
- Expected impact
- Implementation
- Acceptance
- Sustainability
- Transferability
- Costs and benefits

FEMA, the association of European motorcycle associations, provided a “Riders’ perspective”, i.e. they described the position of riders within one paragraph. They were also asked to rate measures, from five stars (for measures which would be warmly welcome by riders) to zero stars (for measures which would be strongly objected by riders and/or their associations). This was done to inform decision makers about what kind of support or resistance they may expect from this group of stake holders.

As a final paragraph, the rating and all other available information was melted into a statement on “Priorities”, which also tries to explain differences between the description and the star rating, if there were such differences (to be explained in the next chapter).

## Setting up a star rating for measures

Efficiency may be considered the most fundamental criteria for setting priorities in terms of road safety, in other words, getting the most out of the money spent on improvement of road safety. However, calculating a benefit-cost-ratio for all measures turned out to be impossible. Neither information on effects (i.e. at least sufficiently sound scientific evaluation studies) nor information on costs for implementation and maintenance was available at least in a reasonable share of the measures on the list. In some cases, studies were found; a lot of information about costs and benefits as well as other impacts (particularly safety) could be taken from Elvik’s Handbook of Road Safety Measures. But in summary, this information was by far not sufficient to set up a priority list for 144 different measures.

An expert judgement was considered second best to a rating based on objective data on costs and benefits. As a first step towards a star rating based on expert judgement, a questionnaire was designed including questions on:

- Size of the problem (according to accident statistics)
- Impact on safety
- Impact on accessibility of PTW as a means of transport
- Impact on travel times
- Impact on users of other vehicles

- Relation between the expenditure and the macro-economic benefits
- Transferability (i.e. potential implementation, in other European countries and beyond Europe)
- Difficulty of implementation from the technical point of view
- Difficulty of implementation in terms of time needed for successful implementation
- Critical issues (technical/legal/economic/societal/ecological/political, multiple answers possible)
- Acceptance by PTW riders
- Acceptance by other road users
- Groups to potentially oppose to the measure (Riders / Other road users / Scientists / Industry / Education (schools, driving schools, etc) / Infrastructure providers / None, multiple answers possible)
- Sustainability (i.e. a potential fading of the impact by time or compensatory behavior by road users)

Further, all interviewees had to answer the question, what level of priority should be given to the implementation of this measure in the EU Member States. Finally, they were asked to which extent the respective measure would fit their idea of Best Practice.

The initial question to all interviewees for each measure was, to which extent they would consider themselves experts in the respective field of knowledge. If this was rated zero, the software immediately moved on to the next measure. If not, the answers were weighted according to the level of self-reported expertise.

“Lime Survey” was used to place the questionnaire on the internet. Practically, it was six lime surveys, since the software did not accommodate a questionnaire consisting of a total of about 1620 questions concerning 152 measures. Filling the whole set of questions took about one day. All members of the 2BESAFE consortium were asked to either fill the questionnaire themselves or ask colleagues from their company to do so. Finally, 40 persons answered the questions of at least one of the six parts of the questionnaire; no part was answered by less than 30 interviewees. In general, the interviewees – as members of the 2BESAFE consortium – were considered experts on the field of road safety coming from various disciplines (engineers, human factors experts, etc.); not necessarily they were PTW riders or holding a motorcycle driving license. They were asked to answer the questions using their expertise on the field of road safety, even if they were not experts to the respective topic, i.e. using their common sense as road safety experts. They were also asked to particularly consider findings from out of the 2BESAFE research portfolio.



After closing the survey, the answers were computed into a star rating for the following categories:

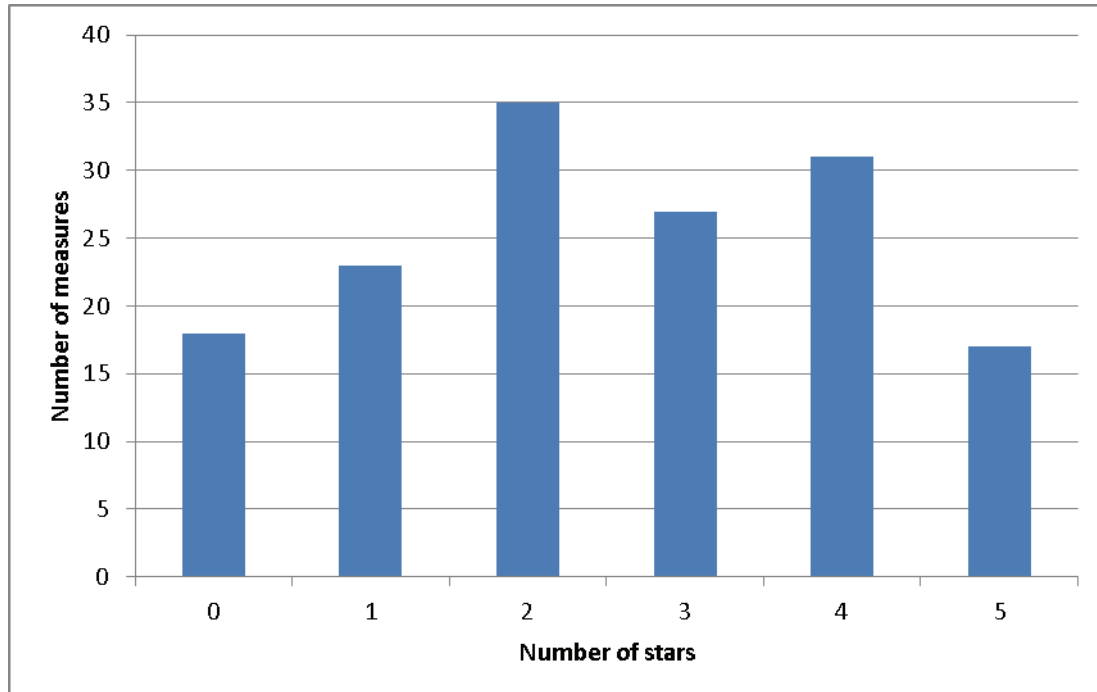
- Size of the problem
- Total Impact
- Safety Impact
- Efficiency
- Transferability
- Implementation
- Acceptance
- Sustainability

For the rating, respective questions of the survey were used, in each case it was at least two questions considered for one rating. The stars were awarded by ranking the measures from best to worst and allocating them to six categories (from five to zero stars) for each of the eight categories. The ranking was set up by adding up the “points” which were given by the interviewees. Number of points was valued differently for different question, but generally speaking, the best answer (e.g. “I fully agree”) was awarded 5 points, the worst answer (e.g. “I fully disagree”) no points.

The overall star rating was composed from the total values of points as it was done for the eight categories; interviewees’ statements on Best Practice and Priorities were added. The stars were awarded by segmenting the point scale from zero to maximum into 6 parts of equal size. Stars were awarded according to the numbers of points reached by a measure.

## Results

In total, there were slightly less measures at the top and bottom end of the scale than for the 1 to 4 star categories.



*Figure 1: Number of measures by category of stars*

Providing all rating in this paper would create a very long list; displaying best and worst rated measures seems a good compromise:

### Five Star measures:

- Mandatory Use of Headlights
- Integrated Road Safety Education Programme
- Guidelines for Improvement of Rider Conspicuity during Night-time Riding
- Road Safety Inspection (RSI)
- Obligatory Helmet Use for PTW Riders and Passengers
- Improvement of Data Collection
- Identification of Accident Blackspots
- Road Safety Audit (RSA)
- In-Depth Analysis of Motorcycle Accidents
- Other Road Users' Responsibilities to Riders
- ABS and other Advanced Braking Systems

- Workshops for Young Moped Riders
- Elimination of Dangerous Obstacles in Bends
- Automatic Headlamps On (AHO)
- Promotion of Protective Equipment
- Future Braking Systems
- Motorcycle Issues in Emergency and First Aid Trainings

It is important to note that measures typically applied to the whole traffic system are not rated as such general measures. E.g. Integrated Road Safety Education Programmes, RSA and RSI are ranked for including PTW-related issues in these general instruments.

### Zero Star measures:

- Speed Limits only for PTWs
- Moving mopeds from the Cycle Lane on the Carriage Way
- Shared Space
- Definition of a Moped
- Maximum Speed of PTWs
- Measuring Power and Speed
- Obtaining a Full Motorcycle License once in Possession of a Moped License
- Anti-Tampering Measures and Enforcement
- Age Limitations for Pillion Passengers
- Specific Marking for Different Vehicle Groups
- Riding Without Pillion Passengers
- Riding Bans for Novice Motorcyclists
- Rear Registration Plate
- Measurement of Road Energy Performance of Thermal Electric Hybrid Vehicles
- Safety Belts
- Intelligent Speed Adaption (ISA)
- Ignition Interlock Devices for PTWs
- Adaptive Cruise Control (ACC)

Again, it is important to consider that measures like speed limits, ISA and ACC are rated for PTW-related aspects, the rating does not address e.g. ISA and ACC applied in cars, busses or trucks.

As indicated earlier, the statement on “Priorities” tried to explain potential differences between structured description of the measures and the star rating. However, in most of the cases, the structured

description was closely in line with the star rating. The Almanac does not try to comment on the rating itself: It was intended to stay strictly informative and the star rating is provided as an additional piece of information for decision makers when they have to decide which measure to take. The Almanac also recommends not to use the List of measures as a shopping list. This would mean doing “anything” instead of “something”. In other words, the Almanac recommends to start with a precise description of the problem and then use the Almanac as a source of inspiration, as a set of proposals which suitable measures are available and which of those would potentially be the best solution.

### Designing a new measure from scratch

For the Almanac, a set of recommendation for decision makers was assembled, in particular addressing the planning phase. First activity for all road safety measures should be a clear definition of the problem. This includes sound research on accidents and road user groups involved. Further, investigation should focus on accident locations, vehicle categories involved and the kind of preventive impact that would be required to address the problems that have been identified by the previous activities mentioned here. All this should be done in order to determine the size of the problem to be solved.

As a second step, the specific problem should be compared to the potential solutions, i.e. the kind of impact expected by measures has to be compared to the kind of problem; it should be clear, which share of the problem could be solved by each measure proposed. Necessary benefits to different kinds of road users should be investigated and potential collateral benefits should be considered.

One of the most important steps is the ranking of measures. Efficiency Assessment (Cost-Benefit Analysis or Cost-Effectiveness Analysis) are most powerful tools supporting the process of prioritisation. Elvik estimated that 60% of road traffic-related fatalities can be avoided cost-effectively.

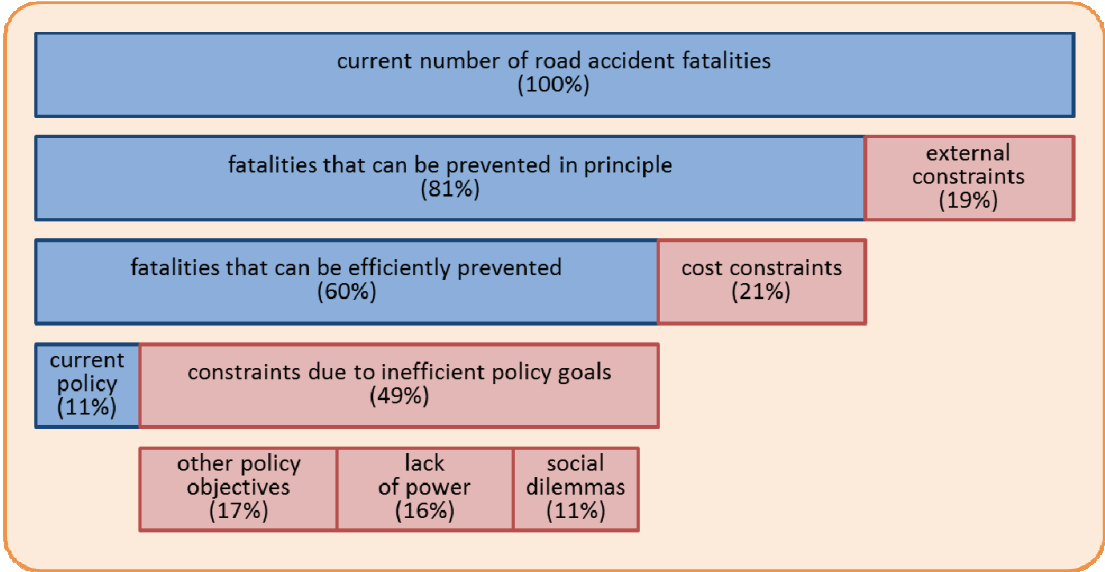


Figure 2: Barriers to road safety measures (adopted from Elvik, 2005)

Acceptance is another very important issue. Lack of acceptance by the target group may easily lead to ignorance of the measure and, hence, to a low level of effectiveness. Acceptance by the target group needs to be considered for decisions and planning of campaigns accompanying the implementation and/or enforcement measures. Acceptance by other road users is an important criterion, as Elvik found 11% of measures impossible to implement due to social dilemmas.

Sustainability should be considered, since new measures tend to be effective in the beginning and having fading effects after a certain period. This is another issue to be considered for campaigning and/or enforcement. Transferability is an important input parameter for decisions of all measures, successful measures may be less successful if applied under different circumstances. In particular, transfer of measures across different social systems and cultures is difficult and these issues should be carefully considered by investigating potential differences between the place where a measure has been successfully implemented and the place it is planned to be implemented.

The relevance of institutional context is twofold, both as an output or input. Many countries and regions have developed road safety programs. In general, road safety programs, visions and targets should consider issues of PTW safety. Alternatively, separated road safety programs, visions and/or targets specifically addressing the issue of PTW safety can be implemented. Hence, the recommendations of the Almanac may serve as an input to design of structured road safety activities – visions, programs, targets. On the other hand, the Almanac may be considered for implementation of measures included in such programs, e.g. for looking for examples from other countries or regions, or for selection of specific measures, if visions, programs or target leave space for such decisions.

Post-implementation activities are most important. Above all, no road safety measure should be implemented without executing a sound evaluation study. In many cases, this requires early planning in order to achieve measurements in the before-phase. No measure should be implemented without a process for quality assurance, campaigning and enforcement, whichever is relevant.

## Conclusions

The “Almanac of Road Safety Measures” was created as one of the activities of the 2BESAFE (Powered 2-Wheeler Behaviour and Safety) as its Deliverable 28 with the official title “Powered Two Wheelers - Safety Measures - Guidelines, Recommendations and Research Priorities”. It offers general recommendations for selecting and implementing road safety measures targeting powered two-wheeler (PTW) safety. As a part of this volume, a “List of Measures” was created, which includes important information in a very condensed way. The Almanac is intended to be an offer to decision makers, who want to pick up information about a wide variety of measures in a short period.

Setting up the List of measures faces a lot of difficulties, first of all the fact that it is very difficult to find a common structure of description due to the extreme diversity of measures. Many measures are applied to cars and other road user groups in similar way, but in a majority of these cases, if there are evaluation studies at all, they do not consider PTWs. In general, information on impacts of many of the measures is missing, which hampers setting up a rating based on effectiveness or efficiency. A rating created by expert judgement was selected as the second-best solution; however, there are some advantages in an expert rating. This method allows for a much wider scope upon the measures, where evaluation studies and efficiency assessment would have a strong focus on safety impact.

The Almanac provides information on 144 measures in total, among which 17 are top-ranked (5-Star-Measures). The Almanac also contains a set of recommendation for the process of implementation.

The Almanac and all other public deliverables of 2BESAFE are available at [www.2besafe.eu](http://www.2besafe.eu).

## References

Yannis, G., Golias, J., Vlahogianni, E., Phan, V., Saleh, P., Winkelbauer, M.: Power-Two Wheelers Critical Risk Factors. Final Report of WP 1 of 2BESAFE. Athens, 2010.

ACEM, 2004. MAIDS: In-depth Investigation of Accidents involving Powered Two Wheelers, Report of the Association of European Motorcycle Manufacturers, Brussels. Retrieved May 02, 2010, <http://www.maids-study.eu>.

Winkelbauer, M. et al: Powered Two Wheelers - Safety Measures: Guidelines, Recommendations and Research Priorities. Deliverable 28 of 2BESAFE. Vienna, 2012.

Elvik, R., Høy, A., Vaa, T., Sørensen, M.: The Handbook Of Road Safety Measures. 2nd edition. Emerald Group Publishing Limited. Bingley, UK, 2009.

Elvik, R.: Efficiency assessment can help bring better results in road safety policy. 3<sup>rd</sup> ROSEBUD Conference, Vienna, 2005.

**Numeric and experimental evaluation of an  
airbag jacket for motorcyclists**

**Numerische und experimentelle Evaluierung einer  
Airbag-Jacke für Motorradfahrer**

Stefano Sergio Pellari

Universita' degli Studi di Firenze  
Dipartimento di Meccanica e Tecnologie Industriali, Italy



## Abstract

The need of passive safety devices, able to reduce the severity of injuries suffered by motorcyclists, distinctly arises from data on accident statistics. A contribution in this direction was recently provided by airbag devices fitted in riding garments, but still a standard procedure about their performance evaluation does not exist.

In this paper, the effectiveness of an airbag jacket is investigated through numeric simulations and experimental tests. Two simple numeric test scenarios were conceived in order to evaluate the performance of the device; in such scenarios, an Hybrid III dummy model wearing the airbag was subjected to both front and back impacts. These scenarios were simulated at various impact speeds. In addition, two full-scale crash tests were carried out on an actual Hybrid III dummy wearing the same airbag device whose model was used in simulations. Both the full scale tests and all the simulations were repeated without the airbag, to determine the modifications caused by the device on the impact dynamics and on its severity.

The two test scenarios proved themselves capable of providing useful information on the device behaviour and performance, while the airbag demonstrated itself able to significantly reduce the harm suffered by a motorcyclist from some types of impact. Though if very reduced in number, the crash tests confirmed the airbag behaviour forecasted by the simulations, supporting the numeric results and the conceived evaluation procedure.

**Numeric and experimental evaluation of an  
airbag jacket for motorcyclists**

## Introduction

To grant protection to a motorcyclist that falls down from its vehicle and impacts on the ground or on any other harmful roadside object, his garments are often provided with the capability of absorbing impact energy and defend him against possible injuries. Traditionally, rigid protectors are often embodied in riding garments but, since early 2000s, also some wearable airbag devices are available on the market.

The performance of an airbag is influenced by many factors, amongst them the most effective are the impact energy, the area of impact, the airbag inflation pressure, the chamber volume and its shape. The impact energy depends uniquely on accident dynamics, while the impact area also depends on airbag shape; in real-life accidents these parameters are really unknown and during the design and optimization process of an airbag their values have to be conjectured considering various accident scenarios. The volume and the pressure of the chamber depend on airbag typology, inflator type and design goals. Usually, the best match between performance and feasibility (weight, integration with clothes, look, and so on) is researched; for airbags intended to be worn by the rider, wearing comfort is really important and must be considered, to avoid highly effective device that are uncomfortable and hamper a safe riding.

This paper reports about a research activity, both numeric and experimental, on a wearable airbag device. Such device is currently on sale on the market and is known as Life Jacket. It is branded by Brembo Spa which widely collaborated to the research project. The device is mechanically activated and the inflation is achieved through a CO<sub>2</sub> tank. The airbag chamber is designed such to protect mainly the lumbar spine and the neck of the wearer.

In the numeric part of this activity, a computer model of the airbag device was assembled. Appropriate test conditions were conceived and simulated with MADYMO software to gather information about the damage reduction capabilities of the device. During the experimental phase instead, three exemplars of Life Jacket were tested, experimentally evaluating its performance both in back and side impacts.

## The airbag

### The device

The device consists in a tubular air chamber (Figure 1) fitted in an “ordinary” jacket (Figure 2). Such chamber features a variable section diameter in order to convey a greater gas volume to protect the most vulnerable body parts, namely the neck and the lumbar spine. A strap (Figure 3) connects an inertia reel, firmly joined to the motorcycle chassis, with the percussion pin of a cylinder, filled with compressed CO<sub>2</sub>. When the strap is pulled over a certain activation force, it disengages from the percussion pin, allowing the gas to expand into the chamber and inflating the airbag.

The device is characterized by shorter inflation times than other similar devices, and after 70 milliseconds from the firing it already reaches about half its nominal pressure, that’s enough to have a significant effect during an accident. Experimental inflation tests were carried out by the chamber producer; results are plotted in Figure 6.



Figure 1. Airbag chamber.



Figure 2. Airbag jacket.



Figure 3. Activation strap.

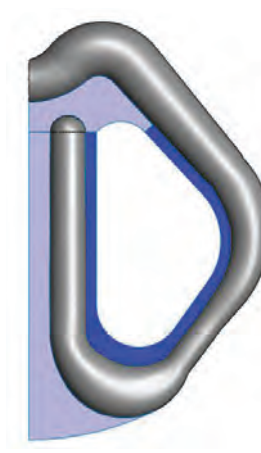


Figure 4. CAD model (one half).

## Model building

The geometry of the airbag chamber has been rebuilt in CAD environment through direct measurement on one airbag specimen and the paper patterns used to cut the tissue used to envelop the air chamber itself. From such geometry, a mesh was created, obtaining a finite element model of the airbag. Some operations were performed on the FE model of the airbag, in order to obtain a good dressing on the airbag itself over the dummy's body. The airbag model has been deflated, folded and introduced in MADYMO environment. Two subsequent simulations were performed to achieve a very realistic positioning around the chest of the dummy.



*Figure 5. TNO MADYMO. Hybrid III dummy model wearing the airbag jacket in riding attitude after the dressing simulations.*

The Carbon Dioxide (CO<sub>2</sub>) is stored at liquid state, so at ambient temperature and very high pressure. When the inflation is triggered and the striker breaks the cylinder, the CO<sub>2</sub> suddenly evaporates and expands into the airbag chamber with a sensible temperature decrease. To correctly simulate the behaviour of the device, it is necessary that the pressure rise reproduces that of the graph in Figure 6. Namely, pressure targets of 0.2bar and 0.4bar had to be reached respectively 70ms and 300ms after the activation.

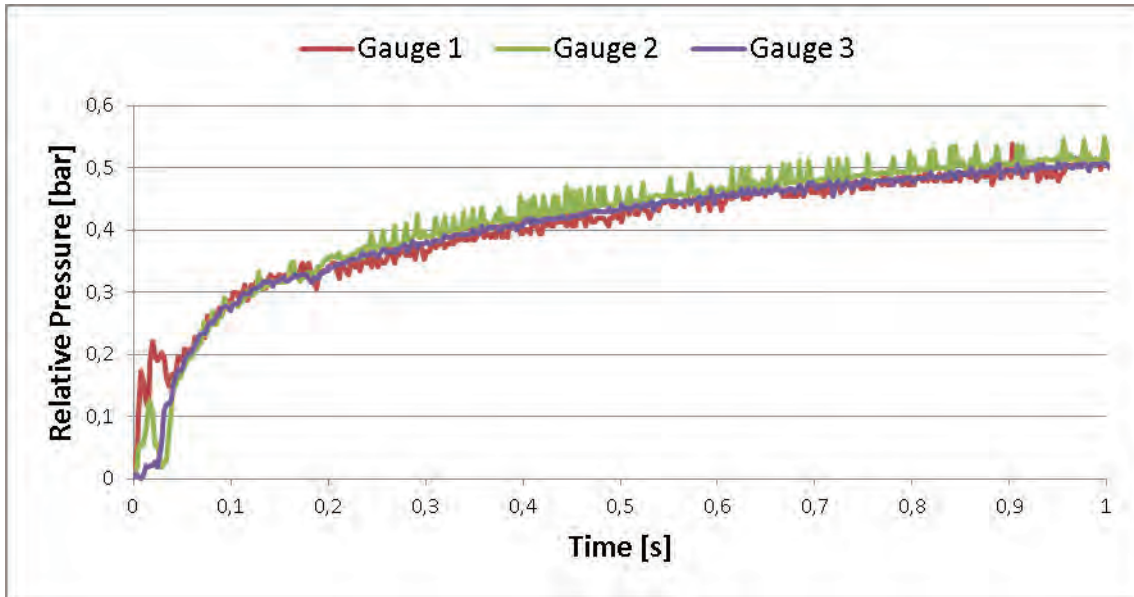


Figure 6. Experimental airbag inflation test.

MADYMO software reproduces the inflation of an airbag chamber via a gas mass generation into the chamber itself. The software user is expected to provide the mass generation function and the gas temperature. These two parameters had to be adjusted to obtain the desired pressure behaviour. The gas temperature has been assumed as constant, while the gas mass is generated according to a “triangular” function, that is simple but consistent with the real gas flow. In fact, when the inflation is triggered the Carbon Dioxide initially begins to move from the cylinder to the chamber at an increasing rate, when instead the most part of the gas has already flown from the cylinder the flow rate reduces. Simulations proved this modelling technique to be able to well reproduce experimental data (Figure 7).

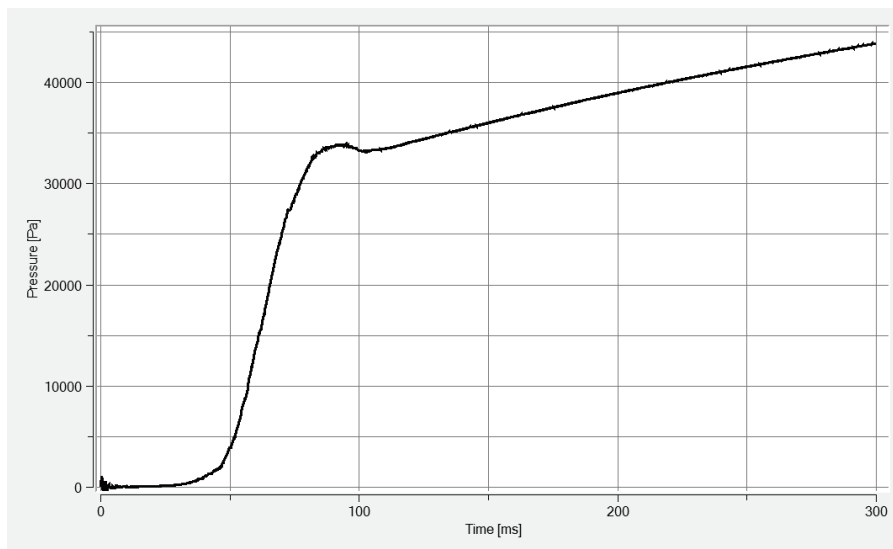


Figure 7. Airbag chamber pressure behaviour in inflation simulation.

## Simulations

Two simulation scenarios were chosen and simulated in MADYMO environment to evaluate the behaviour and the performance of the airbag and its real effectiveness in reducing accident consequences for bikers. In each scenario, several impact speeds were simulated to detect any eventual change induced by the impact severity on the behaviour of the airbag. Every simulation has also been performed with the dummy wearing no airbag, to get a touchstone to evaluate the device effectiveness. Both of these scenarios are intentionally very simple, to keep the number of influent parameters as low as possible and enlighten at best the characteristics of the device.

In the first scenario (Figure 8), the dummy model impacts the ground with its back. Since a significant part of the airbag volume is dedicated to protect the backbone, this scenario represents a design condition for the investigated device. This kind of impact could represent a stand-alone fall, with the rider that is launched away from his vehicle and hits on the soil or on a wall standing on the roadside. Acting on the initial speed of the dummy is has been possible to reproduce various falling heights.

In second impact scenario (Figure 9) instead, the dummy is sitting while a cylindrical impactor hits the upper part of its chest. Despite a small chamber volume is located in that zone, this impact represent an off-design condition for the airbag device. Such a condition is representative of an impact against a pole, a tree or the edge of any obstacle. In addition, besides to speed variations, also three possible diameters of the impactor have been studied.

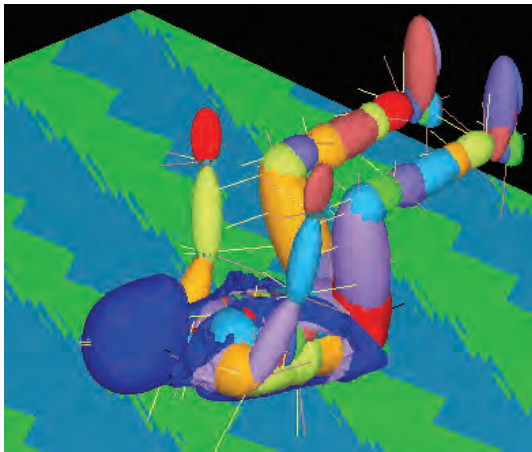


Figure 8. TNO MADYMO. Back impact.

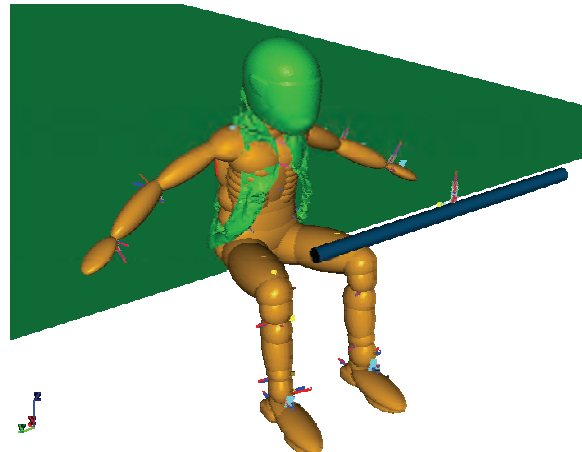


Figure 9. TNO MADYMO. Front impacts

## Back impacts

In this scenario, the dummy model, wearing a riding helmet and the airbag device, is positioned one meter above a rigid surface that represents the ground and rotated in such a way to face it with its back. At the beginning of the simulation, the airbag inflation is triggered and the dummy, subjected to the gravity acceleration, is left free to fall on the ground. Through the assignment of different initial speeds to the dummy, this scenario can reproduce back falls from different heights.

*Table 1. Back impacts – Initial speeds and correspondent falling heights.*

Initial speed [m/s]	Final speed [m/s]	Equivalent falling height [m]
2.50	5.09	1.30
3.00	5.35	1.50
3.50	5.65	1.60
4.00	5.97	1.80
4.50	6.31	2.00

Pictures from Figure 10 to Figure 15 present a comparison of the kinematic behaviour of the dummy in a back fall from 2 meters with and without the airbag. Without the airbag, the first impact of the dummy with the ground occurs in the lumbar zone. After this first contact the dummy rotates the back downwards, forcing the head to hit the ground and, at the same time, projecting the pelvis upwards. The highest accelerations of thorax and pelvis are those caused by the first contact with ground, while the severest loads for head and neck come from the second part of the accident.

The presence of the airbag chamber protruding from the back of the dummy anticipates the moment of the first contact with the ground and, moreover, moves the point of said first contact to a slightly upper part of the back. This induces modifications in accident dynamics, thus the pelvis leans downwards after the first contact and is not projected upwards when the back rotates and hits the ground. Both the thorax and the pelvis acceleration are reduced, but on the pelvis the reduction is greatly higher, 60% (Figure 17) against 20% (Figure 16), because of the translation of first contact point.



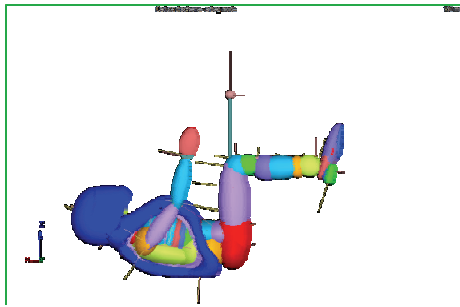


Figure 10. TNO MADYMO.  
Airbag – Back impact –  
Falling height 2m – 150ms.

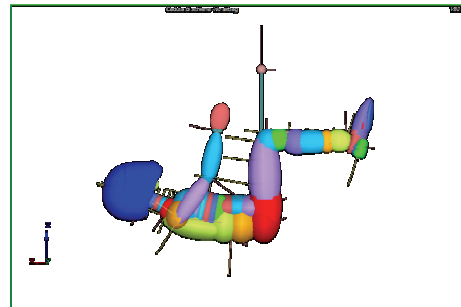


Figure 11. TNO MADYMO.  
No airbag – Back impact –  
Falling height 2m – 150ms.

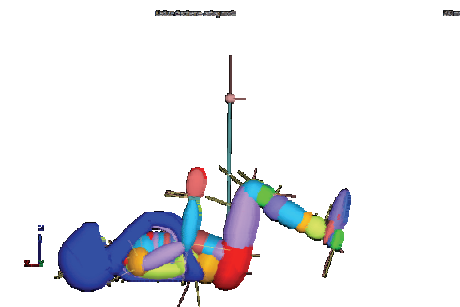


Figure 12. TNO MADYMO.  
Airbag – Back impact –  
Falling height 2m – 200ms.

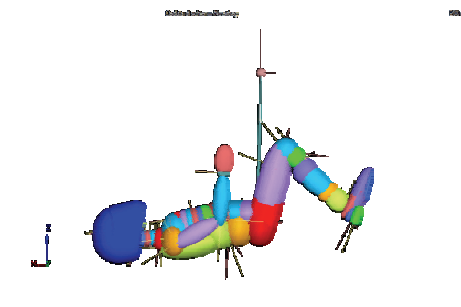


Figure 13. TNO MADYMO.  
No airbag – Back impact –  
Falling height 2m – 200ms.

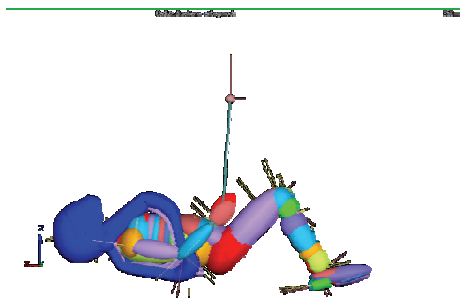


Figure 14. TNO MADYMO.  
Airbag – Back impact –  
Falling height 2m – 250ms.

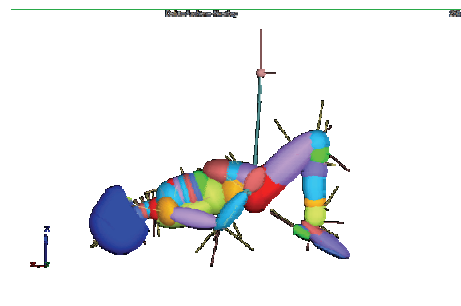


Figure 15. TNO MADYMO.  
No airbag – Back impact –  
Falling height 2m – 250ms.

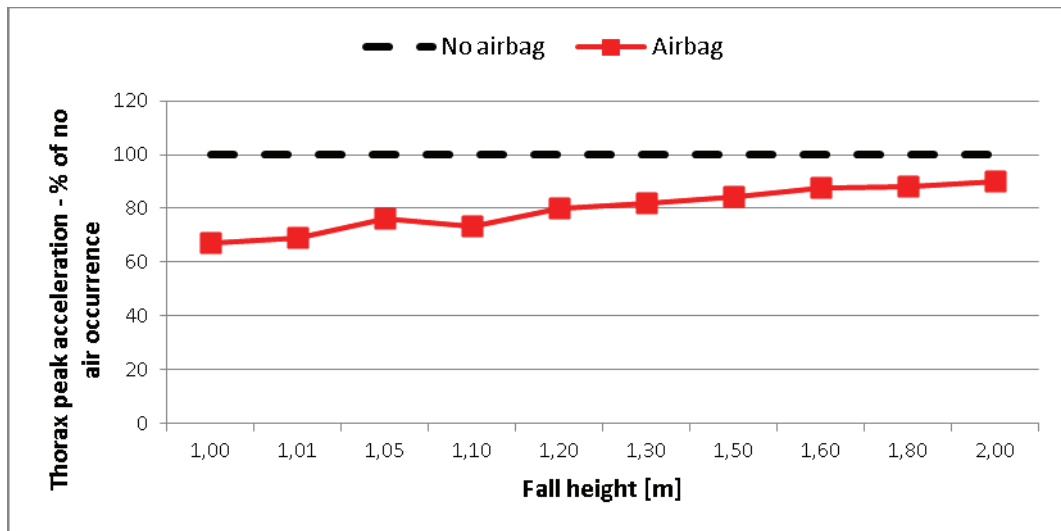


Figure 16. Back impact – Thorax acceleration.

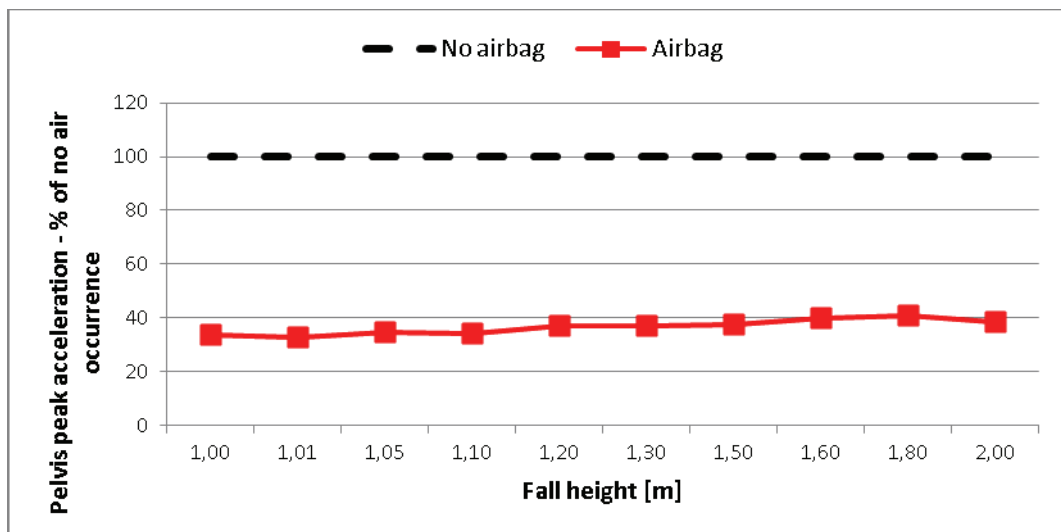


Figure 17. Back impact – Pelvis acceleration.

In addition to kinematics confrontation, the influence of the airbag on some injury indexes has been evaluated. Namely, the monitored loads were the head acceleration, evaluated through the  $HIC_{36}$  index, the neck shear force along the sagittal axis and the neck bending moment in the sagittal plane.

Since the device dumps some of the impact energy, the back rotation after the first contact with the ground is slower, leading to a reduced head acceleration, and thus lower  $HIC_{36}$  values, with a mean reduction of about 50% (Figure 18). In addition, the presence of a gas volume behind the nape, together with the slowing down of back rotation causes a great reduction (50%, Figure 19) of shear force acting on the neck. Finally, as far as neck bending moment is concerned, the airbag does not prove itself to be very effective in the reduction of the extension moment. A certain reduction of the flexion moment arises instead from Figure 21.

Beyond percentage reduction, the effect of airbag on HIC, neck shear force and neck flexion torque is really important also from an absolute point of view, even if the dummy model is not validated for the investigated kind of impacts and so these numeric models are not reliable for quantitative predictions. The simulation results have been compared with the threshold values proposed by UNE135900:2008 Standard [1]. In case of back impacts from heights over 1.50 meters without the protective device, the loads estimated by numerical simulations exceed threshold values proposed by the Standard, this means that back falls from more than 1.50 meters high are likely to cause serious or even fatal injuries. In the simulations which featured the airbag device instead, all loads remain below these aforementioned thresholds, meaning that the presence of the device is potentially capable of enhancing survival possibilities for a biker that faces this kind of impact.

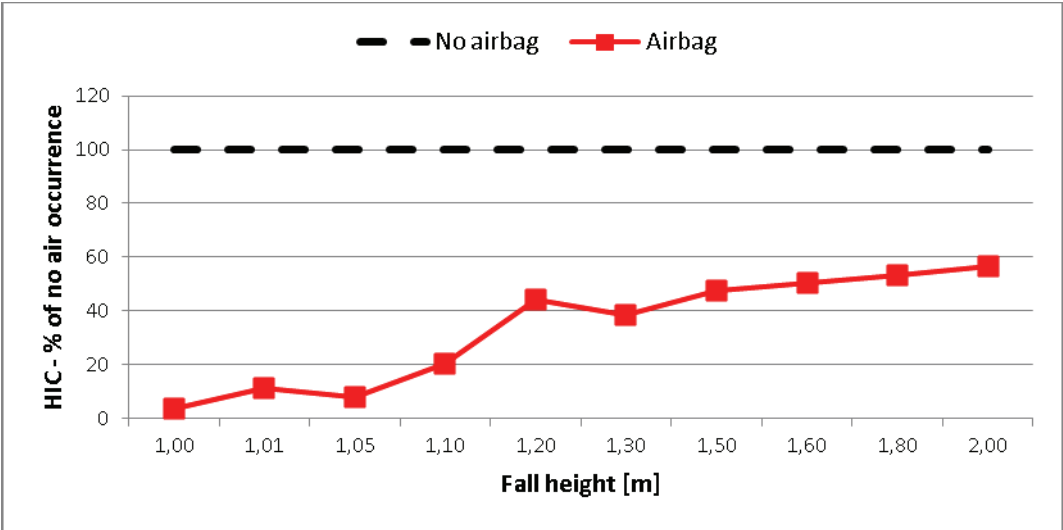


Figure 18. Back impact - HIC<sub>36</sub>.

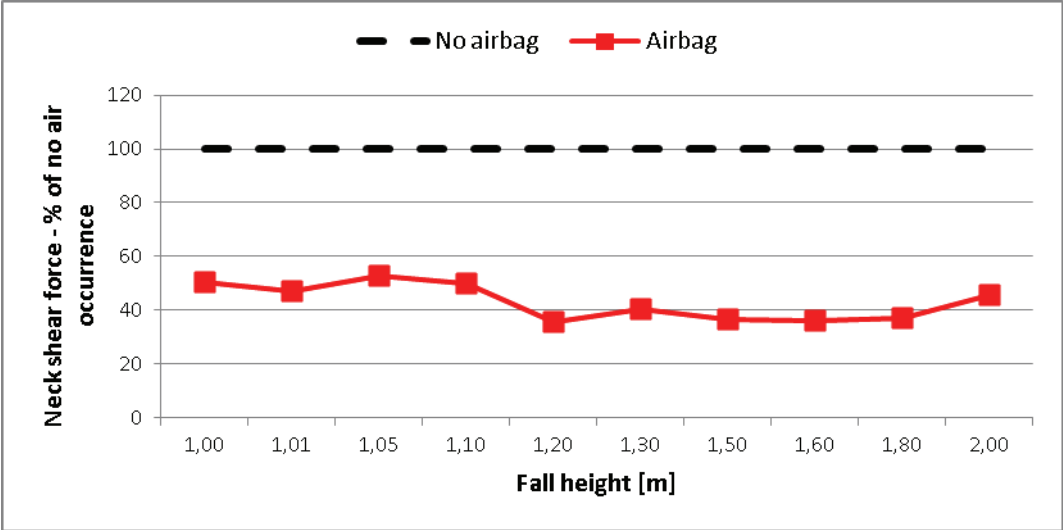


Figure 19. Back impact - Shear force on the neck.

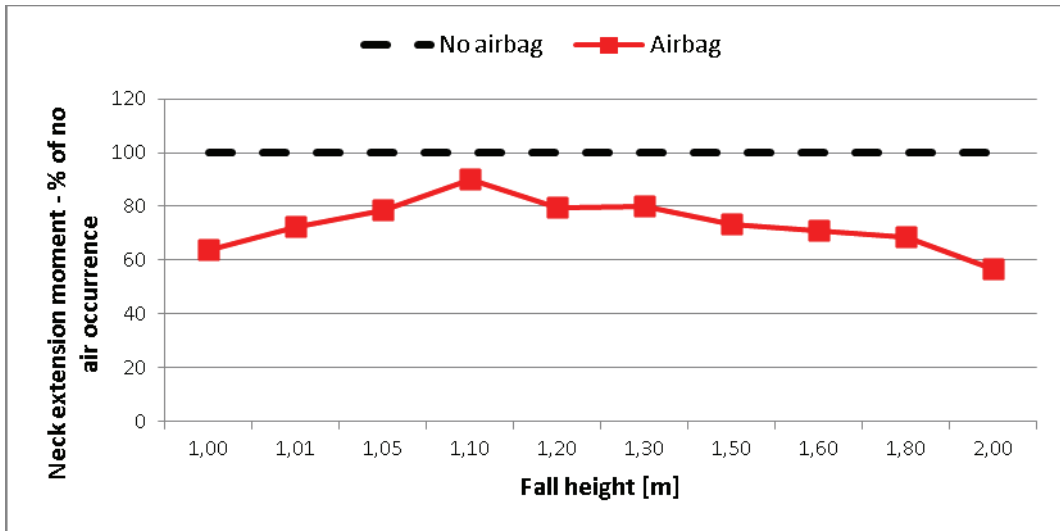


Figure 20. Back impact – Extension moment on the neck

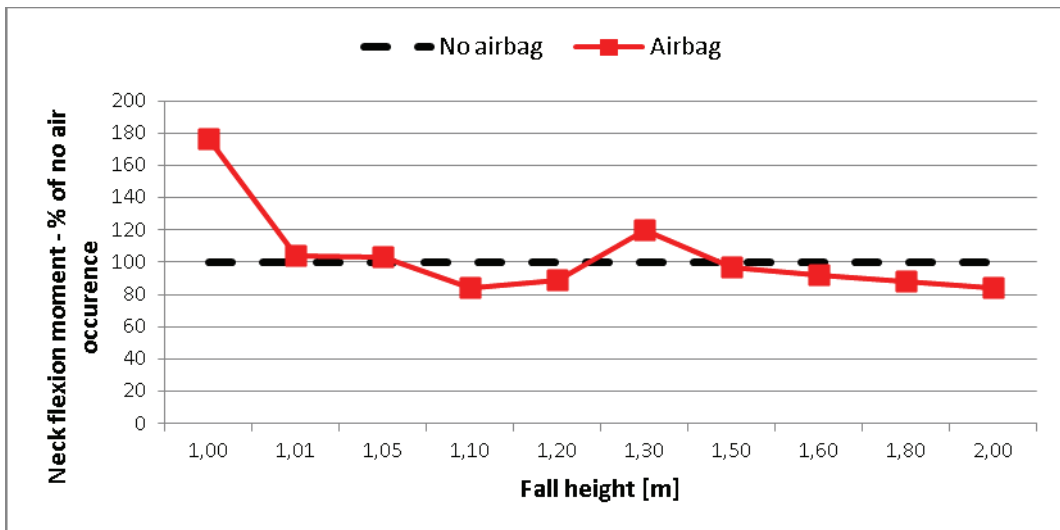


Figure 21. Back impact – Flexion moment on the neck.

## Front impacts

In the front impact simulations, the dummy is set sitting on the ground, wearing an helmet and the airbag device. The arms of the dummy are rotated wide apart from their normal riding position, in order to avoid any contact with the percussor, that has a mass of 12kg, chosen accordingly to previous studies on airbag devices [2]. The percussor has a 1m long cylindrical shape and its axis is horizontal and parallel to the coronal plane of the dummy. The percussor is constrained to move along an axis that was parallel to the sagittal axis of the dummy. The vertical position was instead chosen in order to impact the chest in a zone that is protected by the airbag chamber. Three different diameters of the percussor have been simulated: 40, 80 and 120 millimetres. The impact speed ranged from 10 to 30 km/h, by steps of 5 km/h each. The initial position of the percussor is adjusted according to its initial speed in such a way to leave enough time to the airbag to get inflated. The initial speeds and distances of the percussor are summarized in Table 2. The monitored loads for the front impact are the Combined Thoracic Index (CTI), the shear force along sagittal axis on the neck and the bending moment, both in flexion and in extension, of the neck in the sagittal plane.

*Table 2. Front impact – Initial speeds and distances of the percussor.*

Initial speed [km/h]	Initial speed [m/s]	Initial distance [m]
10	2.78	0.50
15	4.17	0.75
20	5.56	1.00
25	6.94	1.25
30	8.33	1.50

The pictures ranging from Figure 22 to Figure 27 describe the behaviour of the dummy subjected to the impact from an 80 millimetres percussor with an initial speed of 30 km/h with the airbag device. Differently from the back impact, the presence of the airbag does not introduce qualitative modifications in kinematics, but just affects the magnitude of oscillations and the speed and acceleration values. During the impact, the percussor hits the upper part of the chest, which is pushed backwards. Just after the impact, the neck bends frontward pulled by the head inertia, bringing the chin near to the thorax, while subsequently it extends backwards, following the backwards movement of the chest of the dummy. From Figure 23 can be appreciated the considerable squeezing of the front part of airbag chamber subjected to the percussor impact.

The introduction of the airbag into this scenario, leads to a general reduction of injury indexes. Even if the load reduction achieved is not as great as in back impacts, it is still present and appreciable. This is

very interesting because the device was designed to protect neck and lumbar spine in rear impacts, so this simulation represents an off-design condition.

CTI (Figure 28) draws a constant benefit from the presence of the airbag, with a reduction of about 20%, but for higher speeds combined with greater percussor diameters (Figure 29 and Figure 30). In these latter cases, the percussor covers almost all the part of the chest protected by the airbag and has enough energy to fully flatter the device that is not able of damping or re-distributing the impact force.

Regarding shear forces on the neck (Figure 31), they tend to pull the head away from the thorax in frontward direction, and the airbag is not very close to the neck in that direction. Nevertheless, a mean reduction by 20% of shear forces is however achieved, mainly thanks to the smoother body movement. During neck rotations instead, the helmet engages the airbag, establishing a rigid ensemble that grants a 50% mean reduction on the extension moment (Figure 32). In forward flexion, the helmet-airbag interface has a smaller surface and so is less effective; nevertheless a flexion moment reduction of about 35% is still achieved.

From a magnitude point of view, simulations proved that the most severe loads in this scenario occur on the neck, both on shear force, which reaches values up to 4 kN in the no airbag simulations, and on bending moments with a peak value of almost 200 Nm in forward flexion. This gives even more value to the benefits granted by the reduction to the load values provided by the airbag.

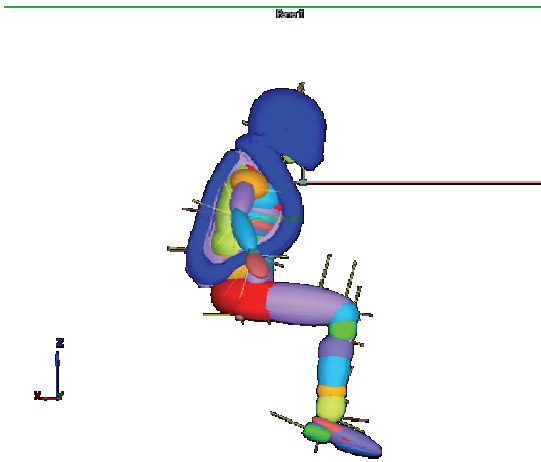


Figure 22. TNO MADYMO. Front impact with airbag device – Initial percussor speed 30 km/h – Percussor diameter 80 mm – 150ms.

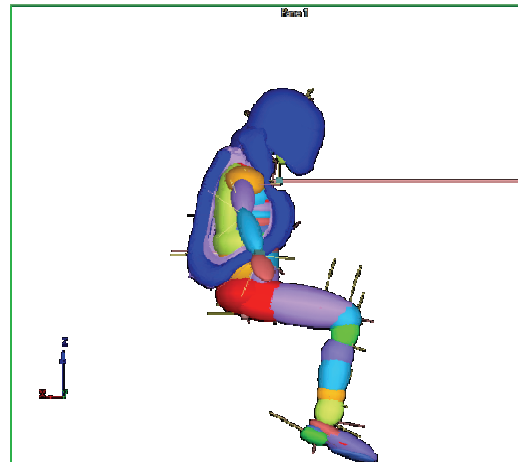


Figure 23. TNO MADYMO. Front impact with airbag device – Initial percussor speed 30 km/h – Percussor diameter 80 mm – 175ms.

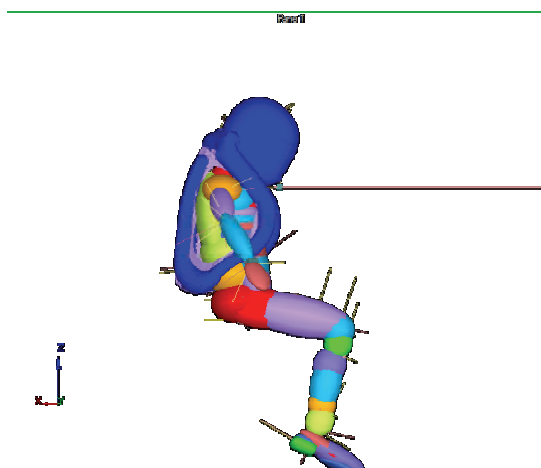


Figure 24. TNO MADYMO. Front impact with airbag device – Initial percussor speed 30 km/h – Percussor diameter 80 mm - 200ms.

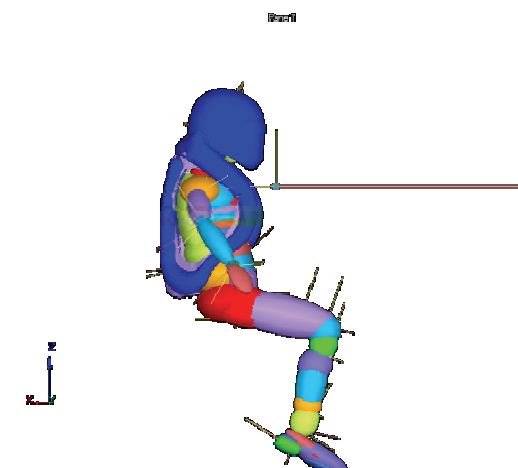


Figure 25. TNO MADYMO. Front impact with airbag device – Initial percussor speed 30 km/h – Percussor diameter 80 mm - 225ms.

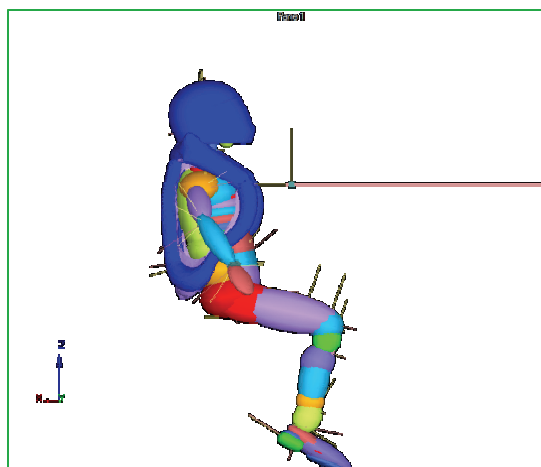


Figure 26. TNO MADYMO. Front impact with airbag device – Initial percussor speed 30 km/h – Percussor diameter 80 mm - 250ms.

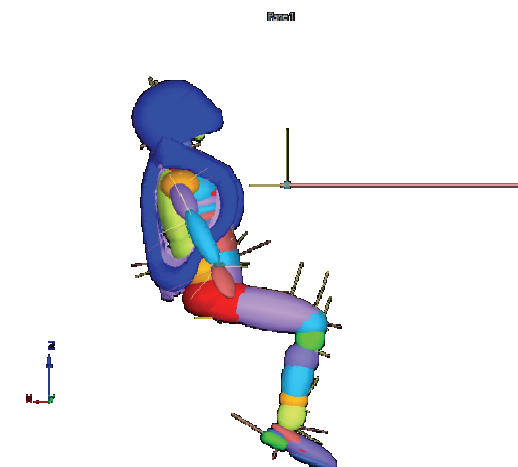


Figure 27. TNO MADYMO. Front impact with airbag device – Initial percussor speed 30 km/h – Percussor diameter 80 mm - 275ms

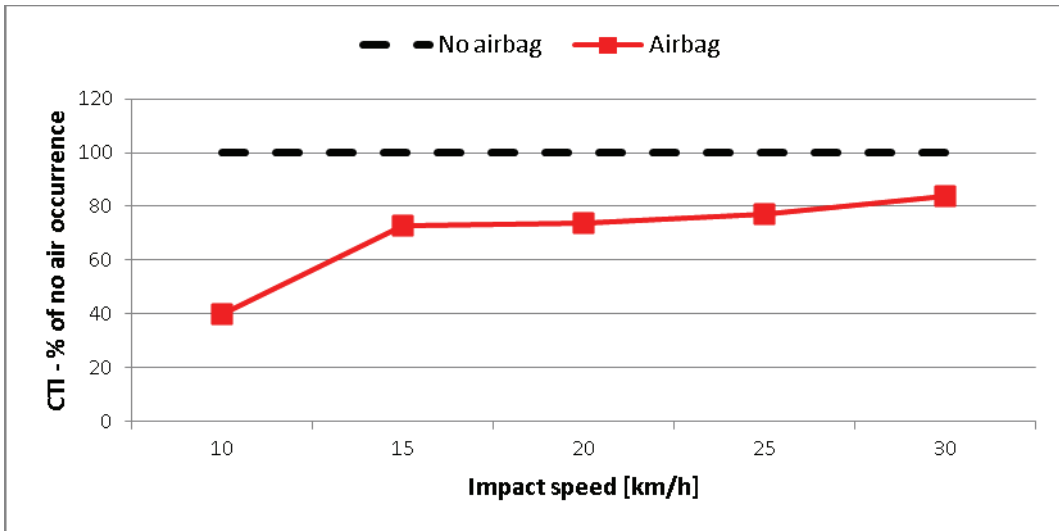


Figure 28. Front impact (40 millimetres) – CTI

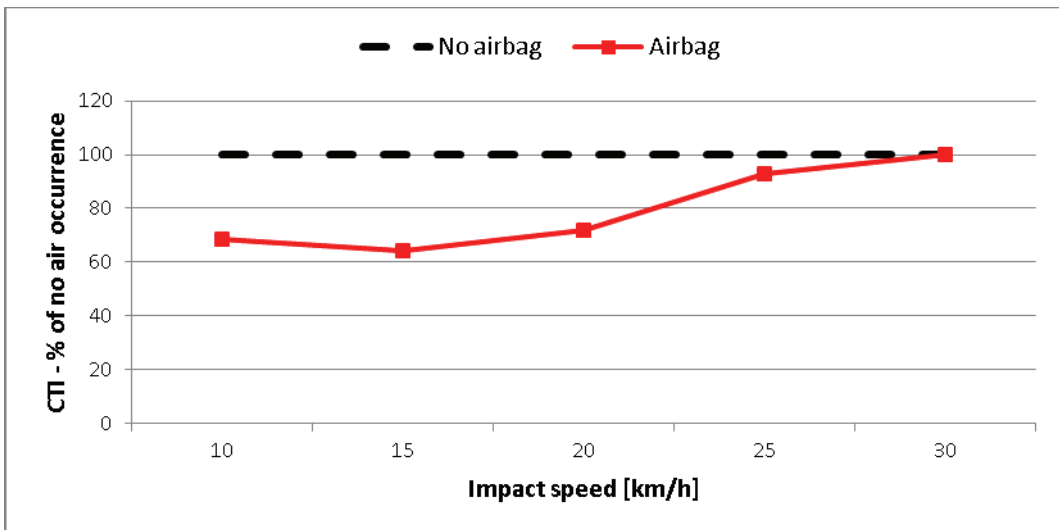


Figure 29. Front impact (80 millimetres) – CTI.

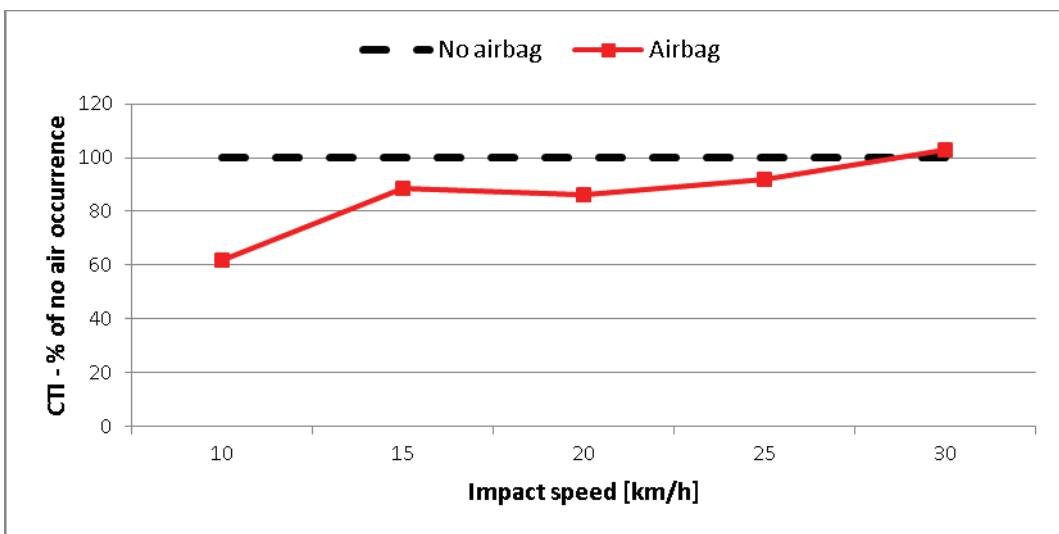


Figure 30. Front impact (120 millimetres) – CTI.



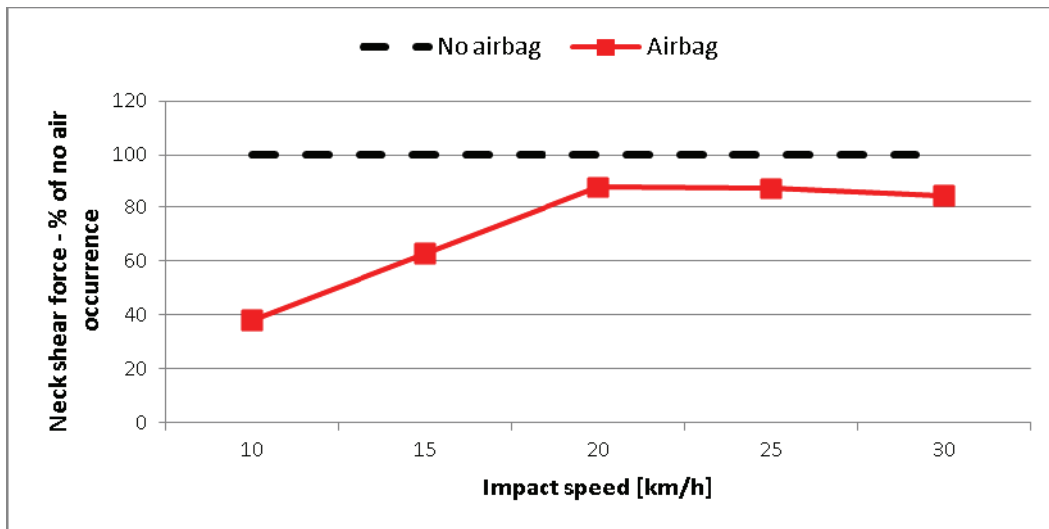


Figure 31. Front impact (40 millimetres) – Shear force on the neck.

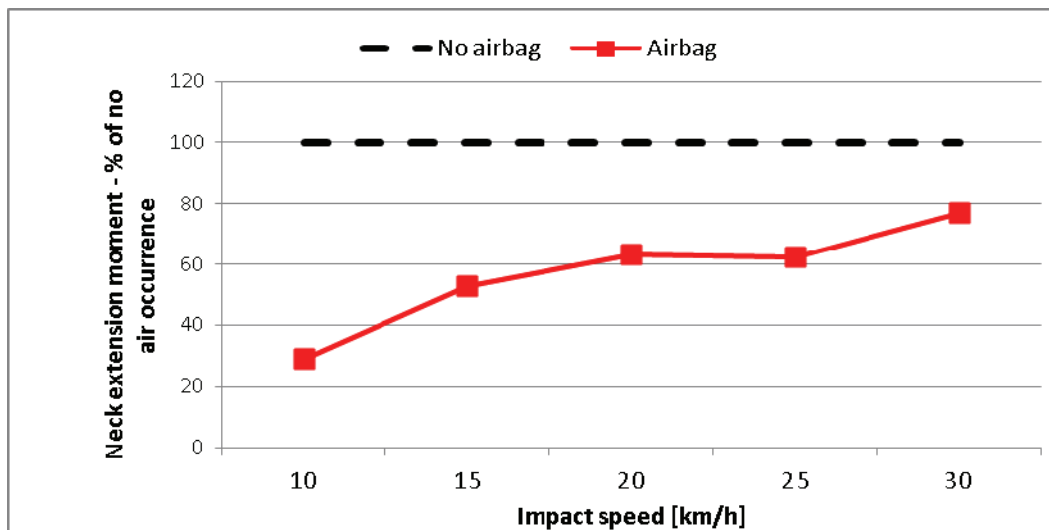


Figure 32. Front impact (40 millimetres) – Extension moment on the neck.

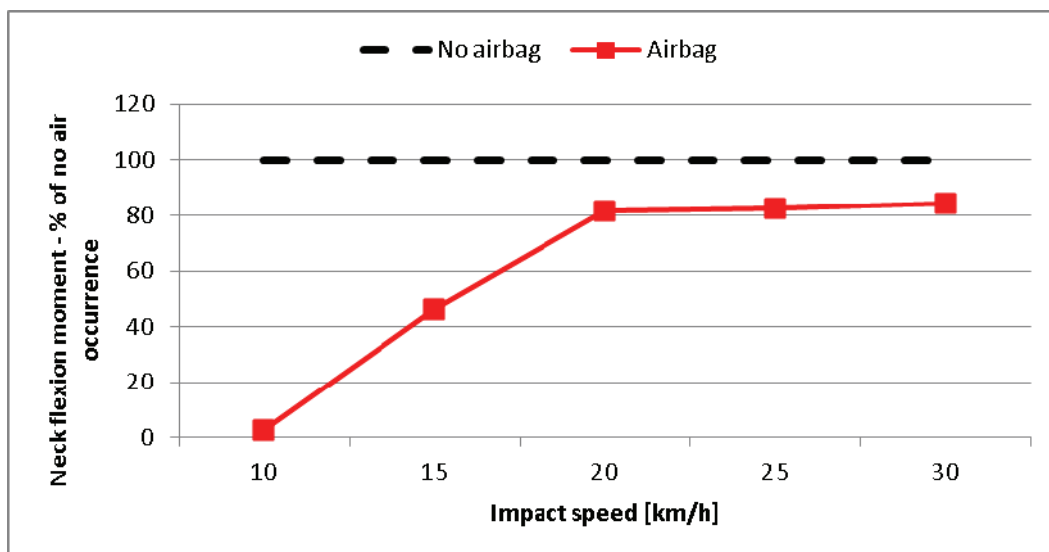


Figure 33. Front impact (40 millimetres) – Flexion moment on the neck.

## Experimental activity

The effectiveness of the airbag device has been investigated also through two full-scale crash tests: a shoulder impact and a back impact. Such tests were part of an experimental campaign for the evaluation of the behaviour of crash test dummies and their numeric models in off-design impact conditions [3]. In such tests, an Hybrid III 50<sup>th</sup> percentile male dummy was bound with ropes in an horizontal position and launched against a concrete barrier that was standing vertical and with its surface parallel to the sagittal plane of the dummy; the impact speed was 12.5km/h. During the tests, the dummy was wearing the airbag jacket device, together with an helmet and the lower part of a two-pieces riding suit. The airbag was manually activated just before the launch.



Figure 34. Hybrid III dummy after the shoulder impact with airbag device (test n. 9).



Figure 35. Hybrid III dummy after the shoulder impact with airbag device (test n. 18).

## Shoulder impact

In shoulder impacts, an appreciable and significant reduction of head loads arises, especially when the HIC<sub>36</sub> index value is considered (Table 3).

Table 3. Airbag effect on shoulder impact - Head.

Condition	HIC <sub>36</sub>	Head acceleration 3ms peak
No airbag	195	69 g
Airbag	110	53 g
Variation	- 44%	- 23%

The presence of airbag device in shoulder impacts seems to enhance both axial and shear forces acting on the neck (Table 4). Nevertheless should be noted that these values, maybe excepted the compression force, are one order of magnitude smaller than those generally appointed as dangerous. In addi-

tion, with the airbag device higher load values are reached but there is no more the sudden sign inversion of the shear force that is instead characteristic of the no airbag curve (Figure 36). The absence of such an inversion is likely to make this load less threatening for the rider’s health. The same remark can be done about the neck axial load (Figure 37), even if the peak stress increase in this case is greater than in neck shear force. As far as the neck bending moment is concerned instead, the airbag effects are evident and positive. The bending load on the neck is in fact more than halved. This reduction proves that the airbag has a good interaction with the lower surface of the helmet and forms an ensemble, with the shoulders and the helmet, capable of damping the movements of the neck and reduce the loads.

Table 4. Airbag effect on shoulder impact - Neck.

Condition	Shear force	Compression force	Traction Force	Bending moment
No airbag	281 N	- 209 N	600 N	47 Nm
Airbag	368 N	- 294 N	1622 N	19 Nm
Variation	+ 31%	+ 41%	+ 170%	- 58%

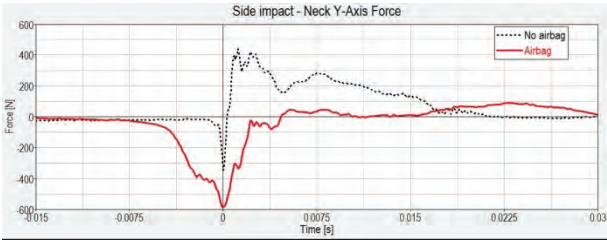


Figure 36. Shoulder impact – Comparison of neck shear force with and without Life Jacket device.

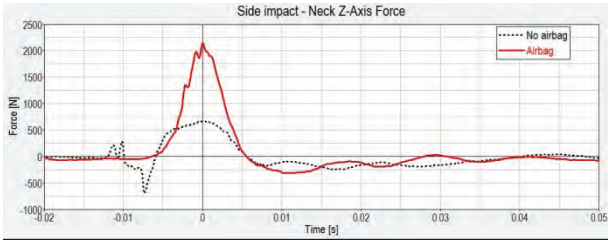


Figure 37. Shoulder impact – Comparison of neck axial force with and without Life Jacket device.

The effect of the airbag on shoulder impacts is less evident if thorax load is considered (Table 5). The variation registered on the shear force is in fact very low. On the axial force instead, a great variation is registered but the absolute load values are really small and so, not very significant.

Table 5. Airbag effect on shoulder impact - Thorax.

Condition	Shear force	Compression force	Traction force
No airbag	1429 N	- 119 N	1628 N
Airbag	1610 N	- 194 N	1552 N
Variation	+ 13%	+ 63%	- 5%

## Back impact

As in shoulder impacts, also in back impacts a great reduction of head load occurs when the airbag is employed. Again, as in shoulder impacts, the reduction is much more appreciable if the HIC<sub>36</sub> score is considered instead of the peak value of the head acceleration.

*Table 6. Airbag effect on back impact - Head.*

Condition	HIC36	Head acceleration 3ms peak
<b>No airbag</b>	206	68 g
<b>Airbag</b>	103	50 g
<b>Variation</b>	- 50%	- 27%

The presence of the airbag device in back impacts induces a marked reduction of the bending moment acting on the neck of the dummy as well as of the compression load. As far as the shear load is concerned, a shift of a reduction occurs. Confronting the two curves in Figure 38 in fact, the neck shear stress with the airbag is shifted towards the positive values respect to the reference no-airbag curve.

*Table 7. Airbag effect on back impact – Neck (first part).*

Condition	Shear force – positive	Shear force – negative	Compression force
<b>No airbag</b>	96 N	398	- 518 N
<b>Airbag</b>	137 N	270	- 239 N
<b>Variation</b>	+ 42%	32%	- 52%

*Table 8. Airbag effect on back impact – Neck (second part).*

Condition	Traction force	Bending moment – positive	Bending moment – negative
<b>No airbag</b>	594 N	20 Nm	- 14 Nm
<b>Airbag</b>	627 N	16 Nm	- 10 Nm
<b>Variation</b>	+ 6%	- 22%	- 25%

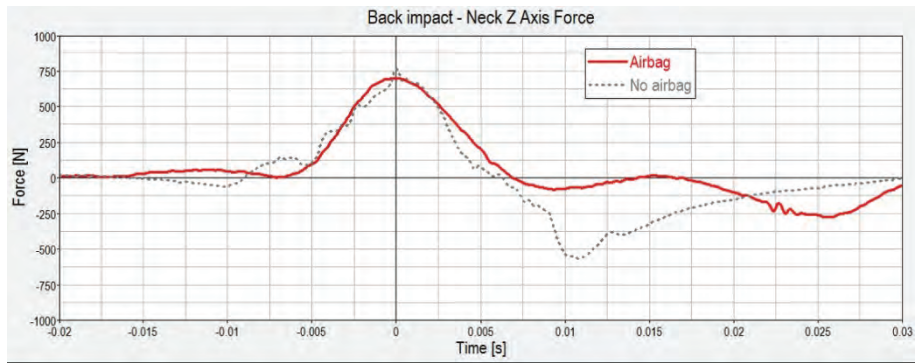


Figure 38. Back impact – Comparison of neck axial force with and without Life Jacket device.

Examining the results from the thorax load cell, the substantial effect of the Life Jacket clearly arises: both in shear and axial force in fact negative stresses disappear. As far as shear force is concerned, also the maximum positive stress is significantly reduced, while the traction load reduction is very low and in the same order of magnitude of the standard deviation of experimental data.

Table 9. Airbag effect on back impact – Thorax.

Condition	Shear force – positive	Shear force – negative	Compression force	Traction force
No airbag	1382 N	-728 N	- 1013 N	1067 N
Life Jacket	768 N	0	0	884 N
Variation	- 44%	-	-	- 17%

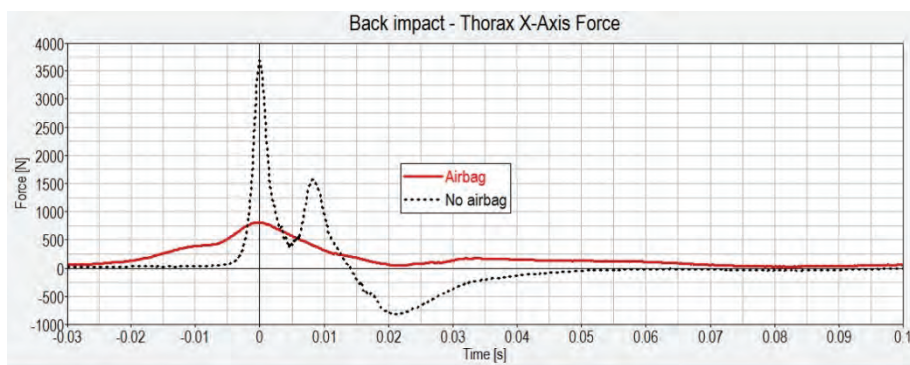


Figure 39. Back impact – Comparison of thorax shear force with and without Life Jacket device.

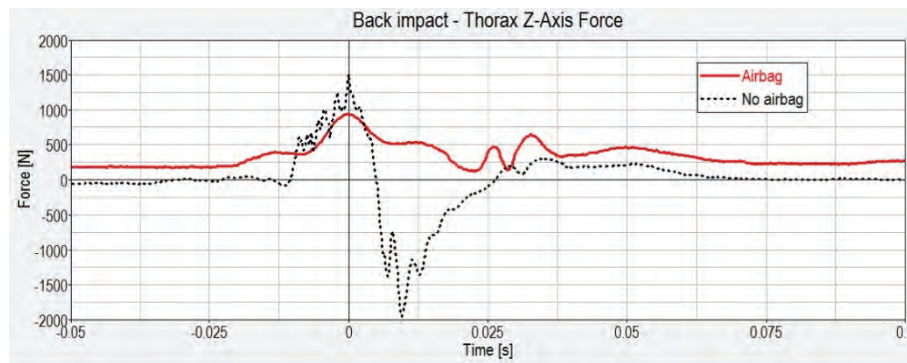


Figure 40. Back impact – Comparison of thorax axial force with and without Life Jacket device.

## Conclusions

The two conceived test scenarios proved themselves as capable of providing skills and knowledge on effectiveness evaluation of small airbags device to be worn by a motorcyclist. Such scenarios are somehow complementary one to each other, representing one a typical design situation and the other an off-design condition for the investigated device. These scenarios can therefore be used to numerically evaluate the performance and the behaviour of any airbag device that, as many of those currently available on the market, are designed to protect the same parts of the human body, namely the spine and the neck.

Regarding the performance of the investigated device, it showed a good capability of reducing harm for the motorcyclist that wears it, increasing impact surface and so re-distributing the force exchange on a wider body portion, provided that the impact occurs in a zone protected by the device. As expected, the best results are achieved in the back impact, that is a design situation, but also in front impacts the presence of the airbag has positive effects on the load levels suffered by the motorcyclist. The device also demonstrated able to realize a good interaction with both the shoulders and the helmet that damps the head movement and reduces the load levels on the neck.

Finally, experimental test confirmed the results of the numeric activity. The airbag device proved itself to be very effective, especially in back impact and in head protection. This particular effectiveness on head is due to the indirect loading process to which the head itself is subjected. Head loads for the investigated impacts in fact do not come from a direct impact, but forces and accelerations are transmitted by the dummy body via the neck. The airbag damps impact and, moreover, rigid ensemble formed by the airbag together with the shoulders and the lower surface of the helmet reduces the movement of the neck due to the head inertia.

## Acknowledgments

The authors wish to acknowledge AISICO for providing test facilities, instrumentation and moreover for the technical know-how and assistance provided throughout the whole experimental activity.

The authors also wish to acknowledge Brembo Spa for providing the Life Jacket drawings and data as well as the exemplars used in experimentation, therefore allowing to conduct the research activity on a real device.

## References

- [1] AENOR – Asociacion Espanola de Normailzacion y Certificacion, UNE 135900: 2008 – Evaluacion del comportamiento de los sistemas para proteccion de motociclistas en las barreras de seguridad y pretiles Part 1 and 2, Madrid: AENOR, 2008.
- [2] Y. Godio, L. Thollon, C. Brunet and S. Bidal, “Analysis of the thorax rider protection using a new safety system: numerical approach,” in *Proceedings of the 7th International Motorcycle Conference*, Institute for Motorcycle Safety, Koln (D), 6th - 7th October 2008.
- [3] R. Capitani and S. S. Pellari, “Comparison between Hybrid III ATD and its numeric model in off-design conditions,” in *Proceedings of International Crashworthiness Conference*, Milan, 17th - 20th July 2012.
- [4] S. S. Pellari, *Passive Safety for Motorcyclists with Particular Regard to Roadside Impacts*, Firenze: PhD Thesis in Progetto e Costruzione di Macchine, 2012.
- [5] R. Capitani, S. S. Pellari and R. Lavezzi, “Design and numerical evaluation of an airbag-jacket for motorcyclists,” in *Reports on the ESAR "Expert Symposium on Accident Research" Conference*, Hannover Medical School, Hannover (D), 16th-18th September 2010.
- [6] Humanetics Innovative Solutions, “Crash test dummies,” 2010. [Online]. Available: <http://www.humaneticsatd.com/crash-test-dummies>. [Accessed 9 November 2011].
- [7] ISO – International Organization for Standardization, ISO 13232:2005 Motorcycles – Test and analysis procedures for research evaluation of rider crash protective devices fitted to motorcycles, Genève: ISO, 2005.
- [8] A. Bellati and A. Ambrogi, “Testing of two different motorcycle garments with integrated airbag in real conditions,” in *Proceedings from 7th International Motorcycle Conference*, Institute for Motorcycle Safety, Koln (D), 6th - 7th October 2008.

- [9] AISICO S.R.L., "AISICO," [Online]. Available: <http://aisico.it/eng/index.php>. [Accessed 31 March 2012].
- [10] F. A. Berg, P. Rücker, J. König and G. Schwalbe, "Drop Tests to Study the Loads Acting on a Dummy During Ground Impacts," in *Proceedings of ICRASH2006*, Athens (GR), 4th-7th July 2006.



**D-Air Project: A New Process for Defining Innovative Motorcyclist  
Safety and Demonstrating Their Performance**

**D-Air-Projekt: Ein neuer Ansatz für die Entwicklung innovativer  
Fahrerausstattung und Demonstration ihrer Leistungsfähigkeit.**

Vittorio Cafaggi

DAINESE S.p.A., Italy

Please find the videos of this presentation in the folder 'PPT/23\_Cafaggi'.

Over the years, the problem of road safety has become more pressing even though ten years have passed since both the authorities and the public asked for new means of making our roads safer. Given the mixture of technology in use at that time, there was not much room for improvement as it had already nearly reached its evolutionary limit.

Air-bag technology seemed the most promising response right from the start but the development of what we now know as D-air Racing and D-air Street technology took 10 years to implement and a complete redesign of the drawing board to actual sales process.

## **An in-depth analysis**

The D-air project began following a detailed examination of motorcycle accidents on both the track and the road.

Detailed knowledge was already available regarding the dynamics of accidents that took place on the track. The rider support service and collaboration with great champions and the Mobile Clinic provided a mass of very useful data about accidents on the track.

Information about accidents on the road came from very important studies carried out regarding such events such as the MAIDS (Motorcycle Accident In-Depth Study) or Aprosys (Advanced Protection Systems) studies aimed at identifying the most significant types of accidents.

From these analyses, it became abundantly clear that:

1. In the world of racing, fitting a device to the machine was unacceptable.
2. For road use, in the event of collision with an obstacle (usually a car), the time available to offer a rider protection was 80 milliseconds.
3. Falls that take place under racing conditions have very different dynamics than those that occur on the road and this involves a different priority as regards the parts of the body to be protected.

As a result:

1. The system must have a much faster deployment time than existing cable operated systems. Only an electronically operated deployment system could provide the performance needed.
2. The pneumatic components too must guarantee extremely rapid inflation and the use of technology from the automotive industry offered the best choice.

3. The electronic system must be able to differentiate clearly between the dynamics of normal riding and those of an accident and be able to send an unmistakable deployment signal.
4. To satisfy two different needs, two versions of D-air were created; one for racing and one for use on the road.

## **New skills**

The combination of these prerequisites meant that new skills had to be acquired and a new dedicated work group was formed. Dainese chose different groups and companies through a process of individual selection that, due to the very specific nature of the project, was by no means easy.

The groups and companies selected are all typified by their very specific skill sets and their love of innovation. They are as follows:

- 2D Algorithm and data collection
- DYNAMOTION (Padova University - Prof. Cossalter) Simulation and Algorithm D-air Racing
- CEFRIEL (Milan polytechnic) Hardware/software D-air Street
- iSi Gas generators
- Heathcoat – innovative textiles for air-bags
- TUEV SUED Product certification
- The Israeli company Merhav AAP also deserves mention for its collaboration with Dainese during the first three years of the project.
- The entire project was managed by D-TEC, Dainese Technology Centre.

Below are details of the project from the planning and development stages that best illustrate the huge changes in methodology and mentality needed to make the D-air project the success it became.

## **Data collection, simulations and preliminary tests**

To fully understand how an electronic system can efficiently differentiate between normal conditions and an accident, an in-depth study had to be carried out on riding dynamics on the track and on the road. This involved the use of inertial platforms and specific data loggers for each version. In measure-

ments for the racing data, input from both the riders and the machines were fundamental in the study of the combined man/machine dynamics.

Over 15,000 hours worth of data were collected that allowed sensor systems and deployment algorithms to be fine-tuned

## **Simulations**

The first tests on the shape of air-bags and their energy absorption capacity were performed with Madymo (TNO) whereas prototype algorithms were subjected to lengthy tests with artificial neuronal networks (CapGemini) and on computers to verify the correct response under simulated normal riding and accident situations.

## **Misuse and crash tests**

Following computer simulations, the next step was to test system performance under real conditions. A great deal of time was dedicated to misuse tests, i.e. testing that the system did not deploy under non-predetermined conditions. This was a very delicate stage due to the sheer number of situations that the deployment algorithm might interpret as an accident when they were in fact not so. A good illustration of such situations include simple things like a bike falling over when not in motion or a set of corrective slides not followed by an accident.

In one of the most intense test sessions, 975 tests were carried out on 18 different types of obstacles with 13 different types of motorbike (MIRA).

At the same time, correct deployment of the system was tested using professional stuntmen who could accurately simulate falls on the track and real crash tests were performed at special facilities (TNO and Dekra).

## **Certification: Prototypes proven**

The D-air certification process brought about a completely new approach to matters dealing with protection. On the one hand, no reference standards existed (and still don't) and on the other, the degree of technical content of the device called for a much more complex analysis than that required by other devices at that time. Dainese decided to entrust certification to TÜV SÜD, a highly competent “notified body” associated with the automotive industry. The whole certification process had to be created from scratch taking the most appropriate procedures from various sectors as reference points. To ob-

tain TÜV SÜD certification, each version of D-air had to pass 800 individual tests that allowed the best procedures and tools available to thoroughly test all aspects of how the system performed.

The tests included features of motorcyclist protection systems never handled before such as deployment algorithms, tests on electronic systems regarding compatibility, resistance to extreme temperatures, to vibration, severe ageing tests and resistance to salty environments. Also included were user safety tests that test that even if the system deploys and the air-bag inflates when there has not been a fall, the rider still remains in control of the bike. Further tests were carried out with the rider's head extremely tilted and with riders wearing backpacks or with a top box fitted to the bike to check whether this type of situation could involve any risk for a rider or passenger.

Both the D-air Racing and D-air Street systems obtained TÜV SÜD certification. This is a hard and fast guarantee for users who can thus have complete faith in having a product whose performance specifications are not mere conjecture or a manufacturer's claims but are facts that have been thoroughly tested and can be demonstrated.

## Field testing

This is the final stage for every Dainese product but it is well worth noting that the D-air Racing system was tested and approved by champion riders like Valentino Rossi, Max Biaggi, Nicky Hayden, Stefan Bradl and many others and that the D-air Street system was put to the test by the Italian Highway Patrol Service while escorting the Giro d'Italia road race. The results from field testing were very positive as can be seen from the comments made by users many of whom now see the system as an absolute necessity.

What higher compliment could there be for a product that 10 years ago many air-bag experts declared "impossible"?

**The influence of footpegs forces in lane change maneuver**

**Der Einfluss vom Druck auf die Fußraste beim Fahrspurwechsel**

Vittore Cossalter, Stefano Rota & Marco Ferrari

Department of Industrial Engineering,  
University of Padova,  
Padova (Italy)

## Abstract

This paper illustrates a novel approach for the study of the lane change maneuver. The purpose is to study the contribute given by the rider through the movement of the body as forces applied on footpegs.

A specific instrumentation on motorcycle is required to collect the necessary data during the test session. Over the classical sensors usually applied on Powered Two Wheelers (PTW), customized load cells have been developed to substitute the original footpegs.

The tests have been done by professional riders in a track appositely built with the aim to compare the obtained results with the ones given from similar motorcycles.

In this way it has been possible to calculate the Koch index and the Lane Change roll index as described in literature. These indexes consider the action of the rider (as the torque transmitted by the handlebar) and the reaction of the motorcycle (as the roll rate of the motorcycle) normalized by the speed.

The main novelty introduced in this work is to study the behavior of the motorcycle (as roll rate) due to the torque applied on handlebar and to the forces applied on footpegs. Tests results show that these forces should be considered for a better identification of the rider's actions involved in lane change maneuvers.

According to the development work done, similar considerations could be extended to the effects produced by the rider through the seat. In this way all the forces and torques applied by the rider on motorcycles will be correctly considered.

## The influence of footpegs forces in lane change maneuver



# 1 Nomenclature

$CoG$	Centre of gravity.
$\tau$	Steering torque.
$F_z$	Force exerted by rider's foot on vertical directions.
$F_x$	Force exerted by rider's foot on horizontal directions.
$F$	Module of the force exerted by rider's foot
$A_x, A_y, A_z$	Components of acceleration vector of the CoG.
$G_x, G_y, G_z$	Components of angular velocity vector of vehicle reference frame.
$\dot{\phi}$	Roll rate.
$V$	Vehicle forward speed.
$T_{fp}$	Footpegs torque.

# 2 Introduction

The first studies for the quantification of the rider/cycle response are dated 1978 with a work signed Zellner and Weir [1]. They have established the single lane change (LC) test as a means to quantify directional response of the motorcycle. In this work is presented a further confirmation of the ideas of Zellner and, precisely, quantify with a value the vehicle maneuverability with a relationship between input and output. In 1995 Kuroiwa [2] with his work defined the relation between the steering torque as input with the speed, and in particular as much as the speed increase also the steering torque's request for the maneuver increase. In addition to this, his work focused also the effect *counter steering* applied by the rider during the LC entry.

In these last years other studies involved the LC maneuver and with the work presented in 2006 by Vittore Cossalter and James Sadauckas [3] they have fixed the references for the quantification of the maneuverability during a lane change maneuver with their Lane Change Roll Index, combined with the already existing one, the Koch index.

This work focused on the rider input during the lane change maneuver, and in particular the quantification of the body's movement over the steering torque applied. The aim is define the contribution of the rider through the footpegs during a lane change maneuver. The tests done involved several riders in the same maneuver at two different speeds.

Section 3 presents in particular the motorcycle and sensors characteristics while in section 4 are collected the information about the tests performed. New indexes that consider the movement's body are carried out.

### 3 Experimental equipment

#### 3.1 Motorcycle

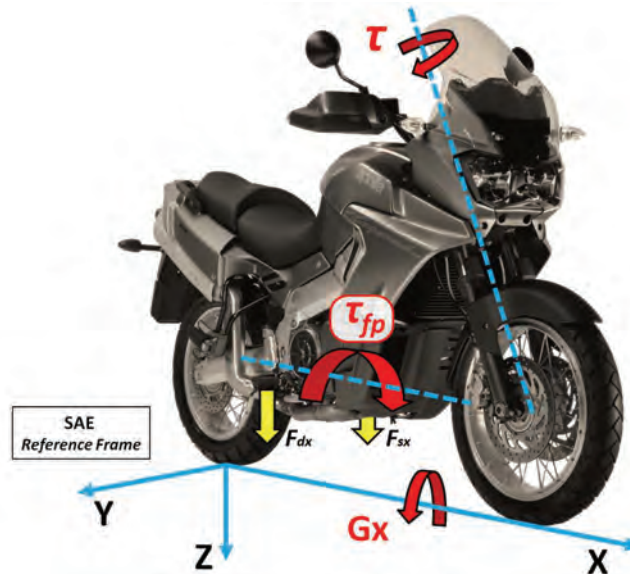


Fig.1. Aprilia ETV 1000 Caponord

The motorcycle under test is a traditional Aprilia ETV 1000 Caponord (Fig. 1) equipped with several sensors and a control unit to manage and acquire data during tests. The principal technical characteristics of Aprilia Caponord are resumed on Table 1.

Table 1. Aprilia Caponord technical characteristics.

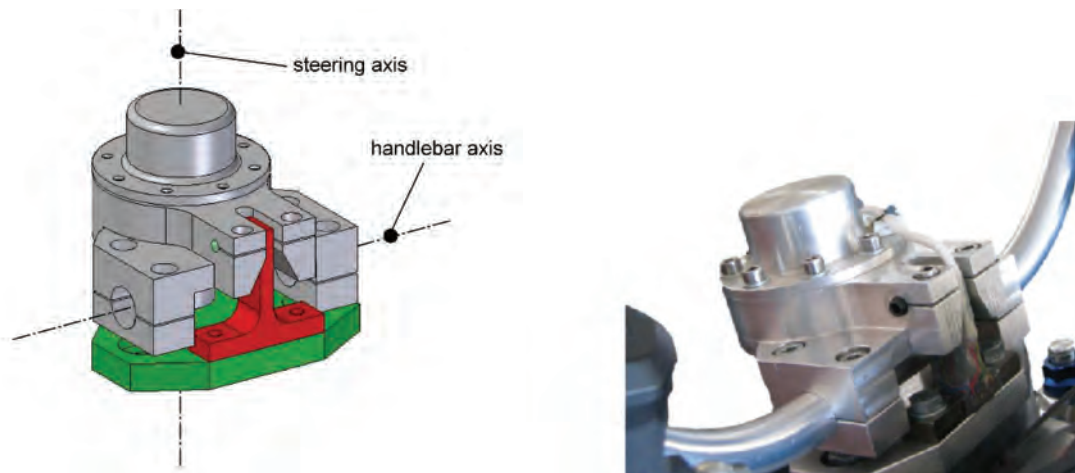
Characteristic	Value
Dimensions	2.290 x 876 x 1.436 mm
Saddle height	820 mm
Wheelbase	1.544 mm
Weight (no fuel)	238.8 kg
Displacement	998 cm <sup>3</sup>
Max power	98 cv (72 kW) at 8.500 rpm
Max torque	90 Nm at 6250 rpm
Tires	front 110/80 R19, rear 150/70 R17

### 3.2 Steering torque sensor

A custom steering torque sensor (Fig. 2) has been specifically designed and manufactured at the Department of Industrial Engineering of Padova. This device has been used to measure the steering torque ( $\tau$ ) exerted by the rider on the handlebar. Figure 2 shows the geometry of the sensor, in particular the lower component (green piece) is connected to the front frame, while the upper (gray piece) is connected to the handlebar; an internal roller bearing allows relative rotation. A strain-gauge transducer (red piece) transmits and measures the steering torque between the front frame and the handlebar. The steering torque sensor has been realized with four strain gauges transducers: the full bridge connection is suited to measure the flexure of the bar (red piece in Fig. 2) in order to evaluate the steering torque (any other input force or moment is compensated). The torque applied to the handle-bar is carried out multiplying the value given by the strain gauges for the calibration coefficient  $K$  expressed in Nm/V.

$$K = 43.40$$

The sensor has been designed in order to appreciate steering torques from few Nm (typically for steady turning maneuver) up to 100 Nm (typically for lane-change maneuver).



*Fig. 2. Steering torque sensor*

### 3.3 Pedal force sensors

A particular custom sensor has been designed (Fig. 3) in order to measure the force ( $F$ ) exerted by the rider on pedals. The sensor has been manufactured at the Department of Industrial Engineering of Padova and reproduces the original pedal design and features. The force exerted on the pedal (gray piece, Fig. 3) by the rider's foot is transmitted (to the vehicle frame) and measured by means of strain gauges applied on the red piece shown in Fig. 3.

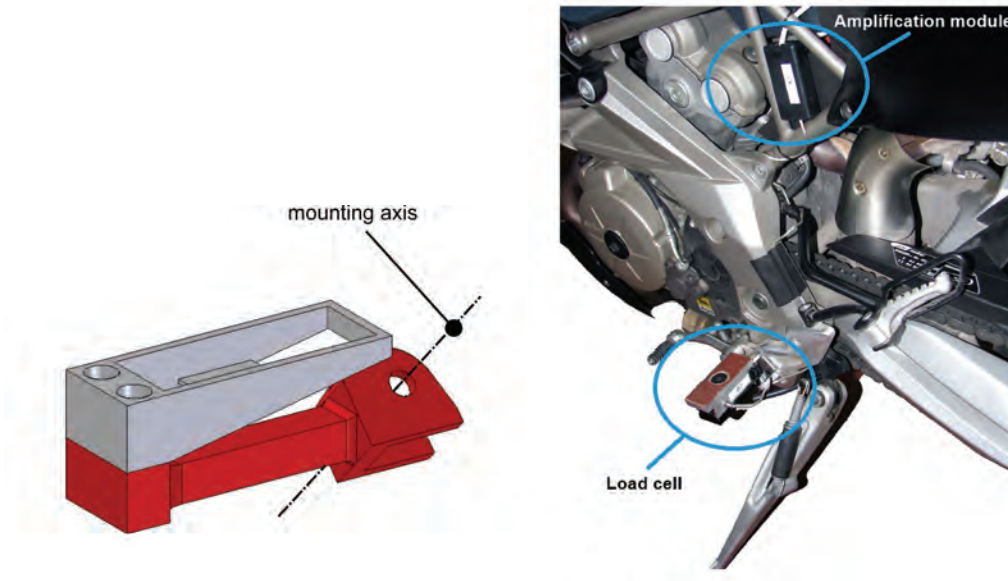


Fig. 3. Pedal force sensor

Each footpeg is equipped with eight strain gauges transducers in order to measure the force exerted by the rider's foots on vertical ( $F_z$ ) and horizontal ( $F_x$ ) directions.

The components of the force ( $F_z$  and  $F_x$ ) given by the strain gauges have been multiplied by the two calibration matrices  $[L]$  for the left footpeg and  $[R]$  for the right footpeg (expressed in Nm/V) in order to obtain the correct forces.

$$L = \begin{bmatrix} 1066.37 & -27.57 \\ -2.22 & -947.31 \end{bmatrix}$$

$$R = \begin{bmatrix} 1068 & 15.46 \\ 22.4 & -1000 \end{bmatrix}$$

### 3.4 Inertial platform and GPS

An electronic system that continuously monitors the position, speed, and acceleration of the vehicle was mounted on-board. The inertial platform *Dyna 3* is composed by three accelerometers (to measure the components of the acceleration vector  $A_x, A_y, A_z$  [ $m/s^2$ ]) and three gyrometers (to measure the components of angular velocity vector  $G_x, G_y, G_z$  [ $deg/s$ ]) referred to the SAE reference frame. The gyrometers and accelerometers were aligned parallel to the vehicle reference frame in nominal static trim condition.

A GPS unit was installed on the motorcycle in order to record trajectory and speed during the tests.

### 3.5 2D data recording system

The vehicle was equipped with a *2D data recording system* to manage and acquire the signals given by the steering torque sensor, footpegs, inertial platform and GPS unit.

## 4 Experimental tests

The SAE vehicle coordinate system is used as the reference in this analysis, as such positive roll angle (about the x-axis) is to the right, positive pitch angle (about the y-axis) is rearward, and positive yaw (about the z-axis) is to the right. The convention for steering angle and torque follows the righthand rule applied about the steering axis with the z-direction pointing downward.

### 4.1 Description of the single lane change maneuver

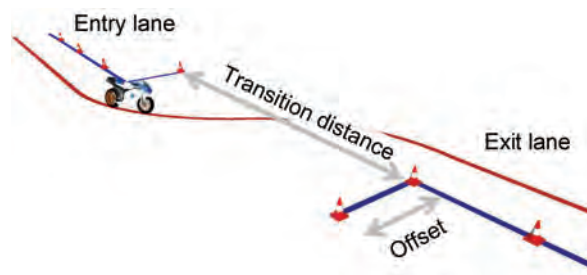


Fig. 4. LC geometry

The Lane Change (LC) maneuver represents a typical transient maneuver and depends on driver skill and riding style. Various driving strategies among riders differ from each other depending on the initial counter-steer carried out and on the movement of the rider's body with respect to the motorcycle [4].

This maneuver is used to detect the handling of a motorcycle calculating an index that consider the action of the rider and the reaction of the motorcycle. Literature provides the Koch Index (4) and the Lane Change Roll Index (3) and both consider the action of the rider by the steering torque applied through the handlebar and the roll rate of the motorcycle as the reaction. Is sure that this approach provides an index able to classify the handling of a motorcycle but, in this specific case, also the effort developed with the footpegs has been considered in the system rider-motorcycle. The analytical expressions for the Koch and LC indexes are:

$$Koch = \frac{\tau_{peak}}{\dot{\phi}_{peak} \cdot V} \quad (1)$$

$$LC \text{ roll index} = \frac{\tau_{p-p}}{\dot{\phi}_{p-p} \cdot V_{avg}} \quad (2)$$

where the subscript  $p-p$  indicates the peak-to-peak values.

The maneuver is simple and initiates with the vehicle travels in straight running at constant speed. This portion of the LC is referred to as the *entry lane*. After some distance, a transient lateral displacement is accomplished to move the vehicle in the lateral direction by some predetermined amount, dictated by the *offset*. Typically, this path deviation is initiated by a counter-steering input. In this study is shown that sometimes the rider start the maneuver even before with the footpegs. Finally the vehicle is returned to straight running in the *exit lane*, which is parallel to the entry lane and offset by some lateral distance [3]. The overall *transition distance* refers to the distance from initiation of the maneuver to the return to straight running.

## 4.2 Tests modality

All tests have been performed on a track appositely built with the following main geometries as explained above:

- transition distance of 40 meters;
- offset of 4 meters;

Tests are carried out by five riders that repeat the same test at two different speeds. All riders were instructed to impart directional control action not only through the steering torque but also with the body lean and to maintain a constant speed during the execution of the test.

## 4.3 Experimental results

In Fig. 5 are shown several plots for a better analysis of the maneuver. Fig. 5(a) collects data about the trajectory followed by the rider and expresses the offset (in meters) during the maneuver acquired by the GPS unit.

Fig. 5(b) shows the forward speed of the vehicle. It should be constant as much as possible and this is not always respected by the riders, especially the less experts.

Fig. 5(c) collects the data of the roll rate in degrees per seconds ( $G_x$ ) of the motorcycle and represents the term of reaction of the motorcycle. In this particular case the second peak (the positive one) is referred to the transition from the negative roll angle after the *entry lane* to the positive roll angle before the *exit lane*.

Fig. 5(d) represents the inputs of the rider. The dotted line shows the steering torque applied on the handlebar from the rider's hands and the continuous one the movement of the rider's body measured as forces applied on the footpegs. The blue line represents the difference between the left footpeg force and

the right one multiplied by the distance from the CoG and one footpeg . Both the steering and footpegs torques generate an action in the same direction. The sum of these torques represents the rider input during the maneuver. Fig. 5(d) shows also that the peak torque applied through the footpegs comes before the steering torque along the time axis.

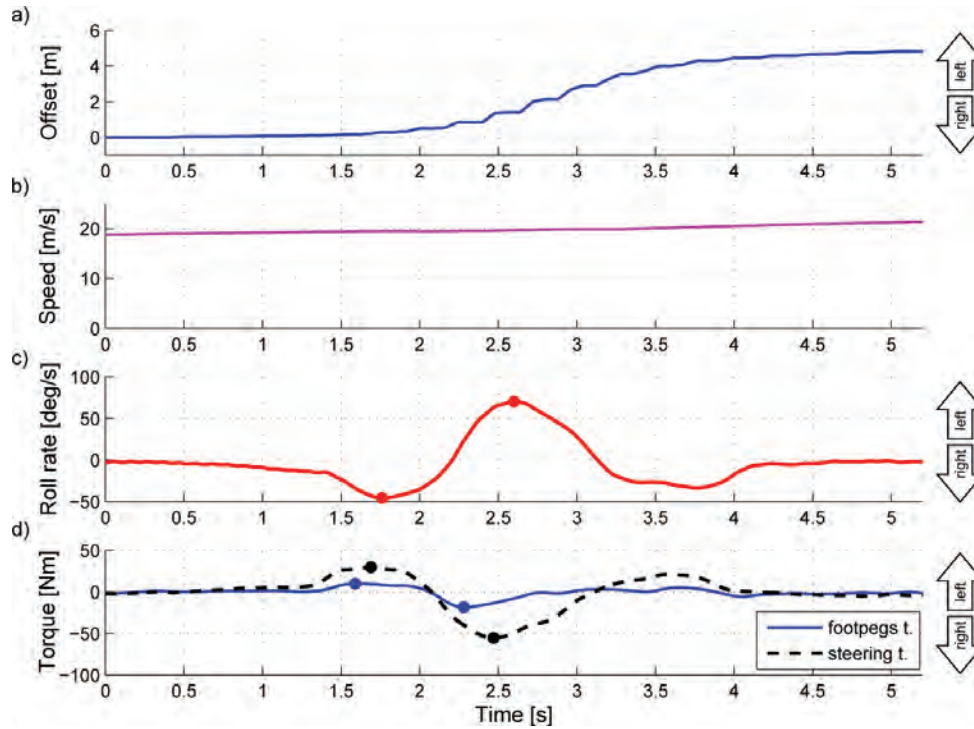


Fig. 5. Telemetry example.

#### 4.4 New approach index

As mentioned above the literature provides two indexes to detect the handling of motorcycle considering the steering torque as the input given by the rider. This study is focused in the input given by the rider with his body through the footpegs. The force applied on the footpegs is converted in torque that acts directly on the motorcycle. In this way it is possible to calculate the new index, only substituting the steering torque with the footpegs torque ( $T_{fp}$ ) as shown below:

$$LC \text{ roll index, } fp = \frac{\tau_{fp,p-p}}{\dot{\phi}_{p-p} \cdot V_{avg}} \quad (3)$$

where the subscript  $p-p$  indicates the peak-to-peak values (the maximum value minus the minimum value).

The same considerations can be extended for the Koch index:

$$Koch, fp = \frac{\tau_{fp,peak}}{\dot{\phi}_{peak} \cdot V} \quad (4)$$

The footpegs torque is smaller than the steering torque (as shown in Fig. 5(d)) so the LC Roll Index, fp is lower than the traditional one.

In Tab. 2 are collected the data and the indexes (traditional and new). The results show that the contribute of the *LC Roll Index, fp* is about the 30 % of the original LC Roll Index for all the tests performed. A similar value is obtained from the comparison of the *Koch, fp* with the original Koch index. Fig. 7 shows a graphical representation for the Koch and the LC Roll Index both calculated with the steering and footpegs torque. Fig. 7 also highlights the differences in terms of amplitude between the indexes calculated with the steering and the footpegs torques. There are two point clouds in each chart because the tests were performed at two different speeds, but in each case the results are consistent.

The last three columns of Tab. 2 collect three times gap that allow to determine the time delay between input torques and roll rate as shown in Fig. 6.  $\Delta T_{Gx}$  is the elapsed time between the roll rate peaks,  $\Delta T_{fp}$  and  $\Delta T_{st}$  are the times calculated from the maximum of the respectively torque (footpegs and steering) and the maximum of the roll rate.

In this way it is possible to study which input is given first. When the footpegs input does not anticipate the steering in put they start almost at the same time.

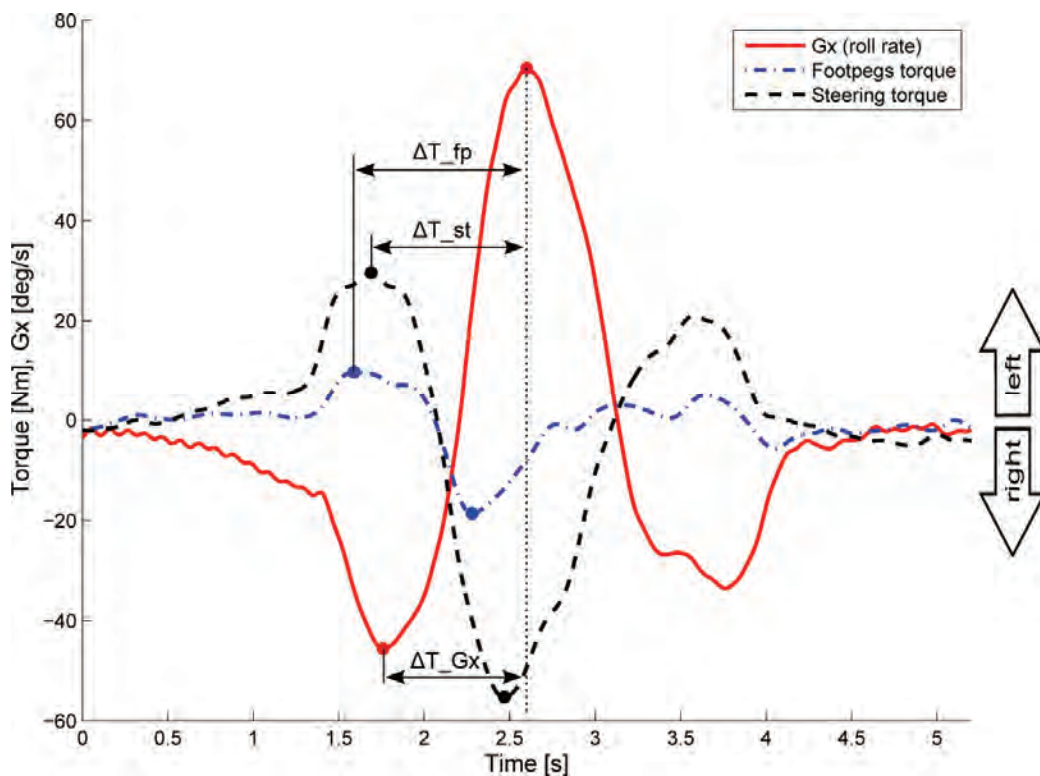


Fig. 6. Telemetry study.



Table 2. Experimental results.

Rider	Test	$koch_{st}$	$koch_{fp}$	$koch_{\%}$	$LCri_{st}$	$LCri_{fp}$	$LCri_{\%}$	$\Delta T_{gx}$	$\Delta T_{fp}$	$\Delta T_{st}$
Rider 1	1	2.28	0.79	65.14	2.13	0.74	65.34	0.84	1.00	0.92
	2	2.27	0.78	65.80	2.15	0.70	67.23	0.75	0.91	0.86
Rider 2	1	2.21	0.71	67.67	2.06	0.61	70.61	0.73	0.87	0.88
	2	2.24	0.72	67.73	2.07	0.72	65.43	0.64	0.78	0.78
Rider 3	1	2.24	0.72	67.81	2.08	0.73	64.84	0.86	1.01	1.03
	2	2.41	0.69	71.58	2.14	0.69	67.84	0.82	0.97	0.91
Rider 4	1	2.14	0.78	63.25	1.96	0.74	62.51	0.78	0.82	0.90
	2	2.10	0.74	64.81	1.95	0.64	67.17	0.66	0.77	0.78
Rider 5	1	2.18	0.77	64.70	2.03	0.64	68.61	0.72	0.92	0.90
	2	2.19	0.52	76.38	2.06	0.57	72.51	0.73	0.90	0.85
Averages	1	2.21	0.76	65.71	2.05	0.69	66.38	0.79	0.92	0.93
	2	2.24	0.69	69.26	2.07	0.66	68.03	0.72	0.87	0.84

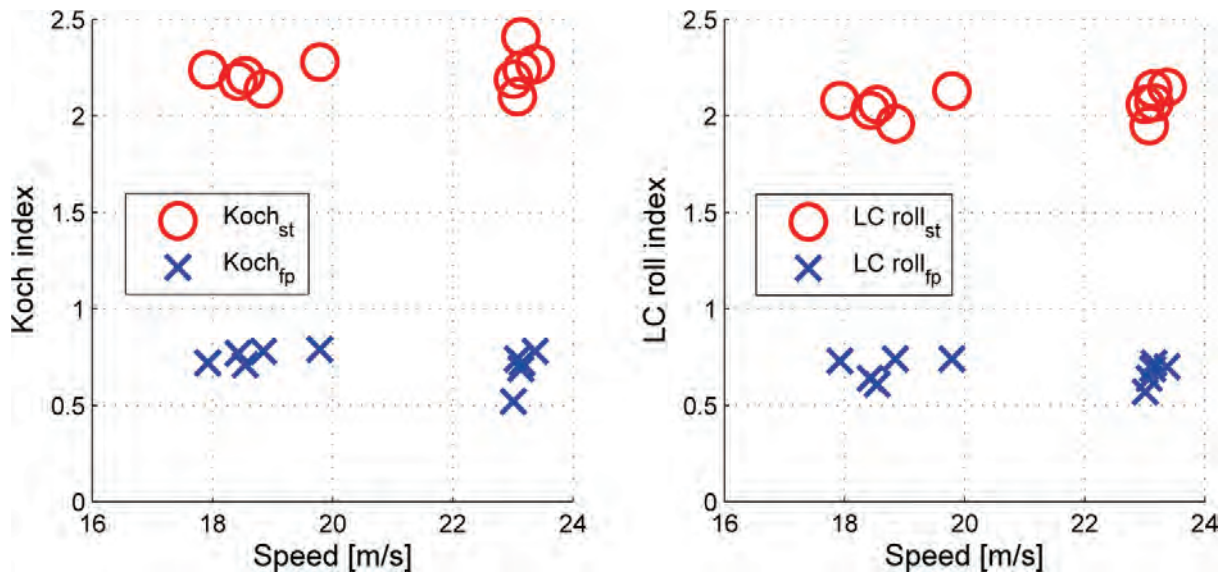


Fig. 7. Koch and LC roll indexes.

## 5 Conclusions

The LC maneuver is suited to establish the handling of the motorcycles. The steering torque is not the only input to consider but also the torque applied on the footpegs is important because of the body lean.

During the LC maneuver the rider apply a significative torque around the steering axis (it can reach 100 Nm), a torque on the perpendicular direction of the steering axis (not measured) and a torque on the pedals.

The experimental tests show that the torques applied on the pedals are about 30-40% of the ones applied around the steering axis. Referring to the Fig. 5(d), the peaks of the blue line come always before than

the ones of the steering torque curve and are in the same direction (i.e. if the torque applied on the pedals is positive the steering torque is positive too).

The proposed indexes are almost independent of the speed and show the capacity of the motorcycle to change direction. In particular, as the traditional indexes, the *LC roll index*, *fp* and the *Koch, fp index* indicate the motorcycle's handling and a low value of them represents a better behavior of the vehicle.

## 6 References

- [1] J. Zellner and D. Weir, *Development of handling test procedures for motorcycles*. SAE 780313, Warrendale, PA, 1978.
- [2] O. Kuroiwa, M. Baba, and N. Nakata, *Study of motorcycle handling characteristics and rider feeling during lane change*. SAE 950200, Warrendale, PA, 1995.
- [3] V. Cossalter and J. Sadauckas, “*Elaboration and quantitative assessment of manoeuvrability for motorcycle lane change*” in *Vehicle System Dynamics*, vol. 44, no. 12, December 2006, pp. 903–920.
- [4] V. Cossalter, *Motorcycle Dynamics*. ISBN-0972051406: Greendale, WI, September 2002.

**The Effects of Safety Renewal on Crash Avoidance Skills, Rider  
Judgment and Knowledge: Results from “The Discovery Project”**

**Der Effekt des Safety-Renewal-Konzeptes auf Unfall-  
vermeidungsstrategien, Fahrerverhalten und Wissen:  
Ergebnisse aus dem Discovery Projekt**

Sheryl L. Williams, Ph.D.  
Director, Quality Assurance & Research

Motorcycle Safety Foundation

Scott E. Masten, Ph.D.  
Research Manager

State of California Department of Motor Vehicles

## **Abstract**

### **Study Background**

From 1997 to 2009, motorcyclist deaths in the U.S. increased at an average annual rate of over 10%, reaching a new peak of 5,312 in 2008 before declining to 4,462 in 2009. Motorcycle fatalities as a percentage of overall traffic fatalities increased from 5% in 1997 to 13% in 2009. Several trends that occurred during this time period – more registrations, more powerful motorcycles, older riders, repeal of all-age helmet laws, and decreased helmet use – suggest that additional interventions are needed if the growing tide of motorcyclist deaths is to be reversed.

### **The Motorcycle Rider Education and Training System (RETS)**

In response to increased motorcycle crashes and Building on recommendations from researchers that warned of pitfalls of evaluating the effectiveness of motorcycle rider training (Simpson & Mayhew, 1990) due to the difficulty of showing long-term effects from a single training program and the lack of comprehensive outcome measures as well as recommendations made in the National Agenda for Motorcycle Safety, the Motorcycle Safety Foundation (MSF) developed a training intervention for novice motorcyclists called the Rider Education and Training System (RETS). RETS was designed to operationalize the principle of “safety renewal,” which states that an individual should be exposed to multiple safety-oriented learning experiences spaced over time, which will effect a change in attitude or intention and, subsequently, behavior. RETS exposes motorcyclists to a series of meaningful learning experiences spaced over a prolonged time period with the goal being that they better master the various attitudinal, cognitive and motor skills necessary for safe riding and would ultimately, encourage proponents of motorcycle safety programs to modify their approach to training. It primarily differs from existing rider training systems in that it involves multiple-exposures of riders to safe motorcycling content and skills learning over an extended period of time rather than a single, one-time course. The RETS training evaluated in this study consisted of exposing riders who sought basic motorcycle training to the follow four MSF training modules (in order) over the course of a 12-month period: (a) the Basic RiderCourseSM (BRC); (b) the Basic RiderCourse 2SM (BRC2); (c) the Rider Perception Module (RPM); and (d) the Advanced RiderCourseSM (ARC).

### **Study Objectives**

As part of a cooperative agreement with NHTSA (National Highway Traffic Safety Administration), MSF recently completed a longitudinal field study that tested the effects of safety renewal training on crash avoidance skills, rider judgment, and knowledge. The goal of this study was to determine whether the principle of safety renewal, as operationalized in the Rider Education and Training System (RETS), was associated with improvements in intermediate and final outcome measures and, thus,

associated with safer motorcycle riding. This was done through a five-year comprehensive study that compared the motorcycle crash and traffic conviction records of randomly assigned groups of participants who either only completed the Basic RiderCourse<sup>SM</sup> (BRC-Only) or who were assigned to receive the full series of RETS modules spread out over a 12-month period. Because past attempts to examine the effectiveness of rider training programs have almost exclusively focused on summative outcomes such as crash and violation rates – with little consideration of knowledge and skill gain, attitude change, and application of safety knowledge in real-world situations – the present evaluation also included comparisons of intermediate measures of motorcycle safety knowledge, skills, and attitudes.

## **Method**

### **Procedure**

Participants were enrolled beginning in January 2008 and ending in September 2010. Individuals who enrolled in a Basic *RiderCourse*<sup>SM</sup> at the Discovery Rider Training Center (DRTC) in Long Beach, California were recruited to participate in the study at the end of their first session of classroom instruction. Those who expressed interest in participating and completed informed consent forms were randomly assigned to the RETS or BRC-Only conditions in a manner that was blind to study participants.

RETS and BRC-Only participants who passed their BRC were asked to return to the DRTC for follow-up visits occurring approximately 3, 6, 12, and 18 months after completion of their initial BRC. The first follow-up visit occurred in May 2008 and the last one was in September 2011. At each follow-up visit all participants were asked to complete a Motorcycle Study Questionnaire (MSQ), Motorcycle Knowledge Test (MKT), and Motorcycle Skills Test (MST), which are described below. The follow-up visits were nearly identical for RETS and BRC-Only participants except that RETS participants were given additional training at the 3, 6, and 12 month follow-up visits after completing the MSQ, MKT, and MST. Specifically, RETS participants were enrolled in the BRC2 at the 3-month follow-up, the RPM at the 6-month follow-up, and the ARC at the 12-month follow-up. Hence, RETS participants who completed the first three follow-up visits finished the entire series of RETS training modules. No additional training was given to RETS participants at the 18-month follow-up, and BRC-Only participants did not receive additional training at any of the follow-up visits.

### **Outcome Measures**

The 30-item Motorcycle Knowledge Test (MKT) was a multiple-choice test administered by MSF staff at each follow up visit (3 months, 6 months, 12 months, and 18 months). It was created for the study to measure knowledge about general safe motorcycling practices and principles. Topics included

motorcycle maintenance, safety equipment use, risk awareness and management, use of motorcycle controls, rider visibility, strategies for common riding situations and avoiding hazards, braking and swerving, road surfaces and lane position, alcohol/drug use, and carrying cargo and passengers. Numbers of MKT items answered correctly served as the safe motorcycling knowledge outcome measure.

The 37-item Motorcycle Study Questionnaire (MSQ) was self-administered at study enrollment (the initial BRC course) and at each follow-up visit. The MSQ was used to obtain information about motorcycle use and riding experience, motorcycle crashes, near misses, and traffic tickets, rider demographics, and various measures of motorcycling attitudes and riding behaviors. The MSQ provided measures of several intermediate outcomes (i.e., perceived causal agent of motorcycle crashes, use of safety equipment and riding gear, self-assessed riding skill, dangerous and risky riding behavior, motivation to ride, and safe riding attributes) and also covariates (e.g., recent riding exposure and prior formal motorcycle training experience).

The Motorcycle Skills Test (MST) was an on-bike range-based skills test that was administered at each follow-up visit by independent examiners who were trained, employed, and supervised by the University of North Carolina. The MST was used to evaluate participant performance on four maneuvers: riding through an offset weave, executing a swerve, executing a rapid corner, and performing a quick stop. The sum of the scored errors across all four maneuvers (total errors), along with the summed errors for each individual maneuver, served as skill outcome measures. Riders were also given a global rating of riding performance by examiners reflecting an overall assessment of how well they rode during the MST.

Participants' licensing records and motorcycle crash/traffic conviction histories were obtained from the California DMV database. The database includes all police-, insurance-, and self-reported crashes that occur in the state. Motorcycle-specific crashes and traffic convictions for the participants were counted starting as of the date of completion of their initial BRCs and up to 2 years subsequent.

### **Data Analysis**

The RETS and BRC-Only participants were compared on the various intermediate knowledge, skill, and attitude/behavior outcome measures using linear or Poisson regression models. The statistical models included interaction terms for study group x follow-up visit number, which resulted in planned comparisons contrasting RETS and BRC-Only participants at each follow-up visit. The analyses included, where possible, covariates to account for differences in riding exposure, demographics, licensing history, motorcycle ownership, and prior training and riding experience. The motorcycle crash and traffic conviction outcomes were also compared using covariate-adjusted Poisson models that contrasted RETS and BRC-Only participants who completed the same numbers of follow-up visits.

## Results

This paper will report on the results of the study including establishing a RETS training site, study procedures and validating instrumentation. Tentative results from the study's preliminary data analysis will be shared. Results will include the following areas: study enrollment rates, follow-up visit return rates, comparisons of safe motorcycling knowledge, comparisons of motorcyclist attitudes and riding behaviors, comparisons of riding skill, comparisons of riding experiences, and comparisons of violations and crash rates.