



ifz

No. 8

INSTITUT FÜR ZWEIRADSICHERHEIT e.V.

**Safety
Environment
Future II**

Proceedings of the
1998 International
Motorcycle Conference

**edited by
Institute for Motorcycle Safety**

Institute for
Motorcycle Safety e.V.
IfZ -Essen, Germany

ISSN 2701-522X

IfZ-Research
Publication
series edited by
Reiner Brendicke

**Forschungshefte
Zweiradsicherheit,
herausgegeben
von Reiner Brendicke,
Institut für
Zweiradsicherheit e.V.**

**In der Reihe
„Forschungshefte
Zweiradsicherheit“
erscheinen
wissenschaftliche
Arbeiten zu Themen
aus verschiedenen
Bereichen der
Zweiradsicherheits-
forschung.
Die Reihe ist für alle
wissenschaftlichen
Disziplinen offen.
Manuskripte erbeten
an das Institut für
Zweiradsicherheit.**

**Die in dieser Reihe
erscheinenden
Arbeiten geben die
Meinung des Autors,
nicht in jedem Fall die
Meinung des Instituts
für Zweiradsicherheit
wieder.**

**Redaktion:
Elmar Forke
Manuskriptgestaltung:
Volker Eis**

**Druck:
B.o.s.s Druck und Medien, Kleve**

**1. Auflage
Institut für
Zweiradsicherheit e.V.
Essen 1998
Verlag: Institut
für Zweiradsicherheit
GmbH
Gladbecker Str. 425
45329 Essen
Tel.: 02 01/8 35 39-0
ISBN: 3-923994-13-3
ISSN: 0175-2626**

Inhalt/Contents

Vorwort des Herausgebers/Editors Preface 1

Unfallforschung I/Accident Research I

Dieter Anselm; Alexander Sporer
**Kollisionstypen bei Motorradunfällen – Unterschiede in
Entstehung und Folgen** 7

*Motorcycle Accident Collision Types – Differenceses in
Origin and Results*

F. Alexander Berg; Heiko Bürkle; Frank Schmidts
**Analyse der passiven Kraftradsicherheit
mit Unfallanalysen und Crashtests** 25

*Analysis of Secondary Safety of Motorcycles
with Regards to Accident Analysis and Crash Tests*

Narelle L. Haworth; Rob Smith
Motorradunfalluntersuchungen – Eine Einzelfallanalyse 65

Motorcycle Crash Investigations – A Case-Control Approach

Dietmar Otte; Hilke Willeke; Brian Chinn; David Doyle; Erich Schuller
**Anprallmechanismen von helmgeschützten Köpfen – Unfallstudie
COST 327** 83

*Impact Mechanisms of Helmet Protected Heads in Motorcycle
Accidents – Accidental Study of COST 327*

Unfallforschung II/Accident Research II

Federico Galliano; Nick Rogers
**Motorradunfalluntersuchung: Wie sollten Motorradunfälle
untersucht werden?** 113

*Motorcycle Accident Investigation: How should Motorcycle
Accidents be researched?*

Piet C. Noordzij; Aad A. Vis
Die Sicherheit des Motorradfahrens in den Niederlanden 123
Safety of Motorcycling in the Netherlands

Piet C. Noordzij
Die Sicherheit des Mopedfahrens in den Niederlanden 135
Safety of Mopedriding in the Netherlands

Dietmar Otte
Unfall- und Verletzungssituation bei Motorrollern 147
Accident and Injury Situation of Scooter Riders

Unfallforschung III/Accident Research III

André Schöneekäs; Sebastian Heine
Rechnerische Simulation von Motorrad-Fußgänger-Unfällen auf Basis des Mehrkörpersystems MADYMO unter Berücksichtigung von Kollisionsversuchen 177
Computer Simulation of Motorcycle-Pedestrian-Accidents based on MADYMO Analysis System

Narelle L. Haworth; Rob Smith
Abschätzung von Risikofaktoren für Motorradunfälle 205
Estimating Risk Factors for Motorcycle Crashes

Klaus Kompass; Heidi Osendorfer; Stefan Rauscher
Das Sicherheitskonzept des BMW C1 223
The Safety Concept of BMW C1

Fahrer, Fahrzeug, Fahrverhalten/ Rider, Vehicle, Traffic Behavior

Robert W. Tomlins
Motorradfahrertraining in Europa – Bewertung und Bedürfnisse der Fahrer 245
Rider Training in Europe – The Views and the Needs of the Rider

Ulrich Schulz
Fahrstil, Motorleistung und Unfallverwicklung von Motorradfahrern 263

Riding Style, Engine Power and Accident Involvement of Motorcyclists

Ulrich Schulz; Steffen Schabel; Fritz Ostendorf
Persönlichkeit, Selbstkonzept und Freizeitmotivation von Motorradfahrern 279

Personality, Self-Concept and Leisure-Time Motivations of Motorcyclists

Sicherheitstechnik/Safety Technology

Ludwig Iffelsberger
Fahrstabilität von Motorrädern – Ergebnisse einer Forschungskoooperation 299

Dynamic Stability of Motorcycles – Results of a Research Cooperation

Philip Köhn; Christoph Albus
Die Motorradverbundbremse: Konzeption – Simulation – Versuch 325
The Combined Brake System: Concepts – Simulation – Tests

Werner Hagstotz; Tetsuo Tsuchida; Michael Thiem; Thilo Warda
Weiterführende Forschung zu HONDA's kombinierten Bremsystemen: Marktakzeptanz und Kundenerfahrung mit dem CBS und CBS-ABS in Europa 347

Further Research on HONDA's Combined Brake Systems: Market Acceptance and Customer Experience with CBS and CBS-ABS in Europe

Uwe Ellmers
Motorradanprallversuche an passive Schutzeinrichtungen 375
Crash Tests on Guardrails

Marie Christine Brailly
Studie von Motorradunfällen mit Stahlleitplankenprall 387
Study on Motorcycle Accidents with Crash against Metallic Retaining Devices

Umweltverträglichkeit/Environmental Aspects

Rudolf Lindermair; Federico Vitale
Motorräder - Die Umweltaspekte 405

Motorcycles - The Environmental Aspects

Reiner Stenschke; Ulrich Schulz
Lärmverursachung durch Fahrverhalten und Konzepte zur Minderung der Geräuschemission von Motorrädern 419

Noise Causation by Driving Behavior and Concepts for a Reduction of Noise Emission from Motorcycles

Bert Breuer; Frank Schröder; Rudolf Schmidt
Betriebsweise und Kraftstoffverbrauch von Motorrädern im realen Verkehr 439

Motorcycle Riding and Fuel Consumption in Real Traffic Situations

Masahiko Abe; Satoru Horiike; Yasuo Iwata; Koji Kano
Das Abgasreinigungssystem für die VFR 800 FI 459

Exhaust Emission Reduction for the VFR 800 FI

Entwicklungstendenzen/Trends in development

Arnold Wagner
Motorrad-Aerodynamik Zusammenhänge - Meßwerte - Möglichkeiten 479

Motorcycle-Aerodynamics Facts - Figures - Possibilities

Claude Filou
Erste Einschätzung der franz. Reform vom Juli 1996 bezüglich der Anforderungen für das Motorradfahren 511

First Assessment of the Effects of the French Reform of July 1996 concerning Requirements for Riding Motorcycles

Reiner Brendicke; Elmar Forke
Mobilitäts und Sicherheitsaspekte der neuen europäischen 125ccm Leichtkraftradklasse 517

Mobility and Safety Aspects of the new European 125ccm Light Weight Motorcycle Class

Giovanni Moscato; Filip Sergeys
Eine Lösung für das städtische Transportproblem: Motorisierte Zweiräder - eine praktische Alternative

551

Solving the Urban Transport Dilemma: Powered Two-Wheelers - a practical alternative

Vorwort des Herausgebers

Das Forschungsheft Nr. 8 des Instituts für Zweiradsicherheit stellt die Beiträge zur 2. Internationalen Motorradkonferenz des Instituts für Zweiradsicherheit „Sicherheit – Umwelt – Zukunft“ zusammen. Zwei Jahre nach dem 15jährigen Bestehen des IfZ bietet die Konferenz erneut ein Forum für das Treffen von Zweiradforschern aus 15 Nationen. Auch die 2. Internationale Konferenz wird in Zusammenarbeit mit der Motorcycle Safety Foundation (MSF) USA durchgeführt.

Es ist kein Zufall, daß auch die 2. IfZ-Motorradkonferenz die Untertitelung „Sicherheit – Umwelt – Zukunft“ trägt. Sind es doch nach wie vor diese Aspekte, die wesentlich die Beschäftigung mit dem motorisierten Zweirad bestimmen.

Einen eindeutigen Schwerpunkt mit drei Sektionen stellt im Rahmen der Veranstaltung die Unfallforschung dar. Die weitere Verbesserung des Sicherheitsniveaus für Motorradfahrerinnen und Motorradfahrer und damit die Stabilisierung der langjährig positiven Trends wird unter den Aspekten der Unfallanalyse, der Unfallstatistik und konkreten Möglichkeiten der Hebung des Sicherheitsniveaus beleuchtet. Unverkennbar ist dabei der Trend einer immer stärkeren Internationalisierung der Forschungsbemühungen. Zahlreiche Beiträge der IfZ-Konferenz sind Kooperationen zwischen verschiedenen Staaten und liefern somit die einzigartige Möglichkeit, Entwicklungen zu vergleichen und zu harmonisieren, um zielführende Erkenntnisse gemeinsam zu nutzen.

Eine Konferenzsession widmet sich gezielt dem Fahrer, seinen Einstellungen und seinem Verhalten. Der Mensch als entscheidende Determinante für den sicheren Umgang mit dem motorisierten Zweirad bleibt wichtigster Ansprechpartner im Modell „Fahrer – Fahrzeug – Straße“.

Die Sektion „Sicherheitstechnik“ beleuchtet den Bereich der Fahrzeugsicherheit mit Fahrwerk und Bremsen ebenso wie die Verkehrsumwelt, die nach wie vor in einer sehr viel intensiveren und direkteren Interaktion mit dem Motorradfahren steht, als dies beispielsweise für Pkw-Nutzer der Fall ist. Motorradfahrerinnen und Motorradfahrer als äußere Verkehrsteilnehmer sind sehr viel direkter den Einflüssen der Verkehrsumwelt und der Fahrbahnraumgestaltung ausgesetzt. Hier bieten sich noch zahlreiche Möglichkeiten, auch im internationalen Vergleich das Sicherheitsniveau weiter zu verbessern.

Zum Ende des 20. Jahrhunderts werden Fragen der Umweltverträglichkeit des Straßenverkehrs immer stärker diskutiert. Auch motorisierte Zweiradkonzepte können in diesem Umfeld wesentliches zu einer umweltorientierten individuellen Mobilität beitragen. Mobilität ist auch das Stichwort, das die Sektionen „Umweltverträglichkeit“ und „Entwicklungstendenzen“ verbindet. Begleitet von kontinuier-

licher technischer Weiterentwicklung und einer entsprechenden Anpassung der Infrastruktur bietet das motorisierte Zweirad mit seinem geringen Platzbedarf in den überfüllten Innenstädten der Gegenwart, aber noch mehr denen der Zukunft Möglichkeiten, dieses Potential des motorisierten Zweirades zu nutzen.

Die Durchführung der 2. Internationalen IfZ-Motorradkonferenz wurde ermöglicht durch die Unterstützung zahlreicher Organisationen und Verbände. Herauszuheben sind hier der Industrie-Verband Motorrad Deutschland e.V. sowie die Messe München, die als gemeinsame Veranstalter der INTERMOT München der IfZ-Konferenz eine neue Heimat auch für die Zukunft gegeben haben.

Mein besonderer Dank an dieser Stelle gilt den Mitgliedern des wissenschaftlichen Konferenzbeirates mit seinem Vorsitzenden Dr. Hubert Koch. Der Beirat schuf vor dem Hintergrund seiner fachlichen Kompetenz die Basis für die Auswahl der Konferenzbeiträge und damit die Zusammenstellung eines international hochkarätigen Programmablaufes. Herzlich danken möchte ich an dieser Stelle nicht zuletzt den Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern des Instituts für Zweiradsicherheit, deren Engagement die Durchführung der Veranstaltung letztendlich ermöglichte. Besonderer Dank gebührt dabei Herrn Elmar Forke, Forschungsleiter im IfZ und verantwortlich für die Organisation garantierte er doch durch seine hundertprozentige Identifikation mit der Aufgabe eine reibungslose Vorbereitung der Konferenz.

Die IfZ-Konferenz soll auch in Zukunft alle zwei Jahre das Forum für den internationalen Austausch von Forschungsergebnissen und praxisorientierter Umsetzung darstellen. Deshalb schon jetzt auf Wiedersehen in zwei Jahren in München.

Reiner Brendicke
Leiter des Instituts für Zweiradsicherheit

Editor's Preface

The eighth research paper of the Institute for Motorcycle Safety (Forschungsheft Nr. 8) is a compilation of the international contributions to the second International Motorcycle Conference "Safety – Environment – Future" organized by the IfZ. Two years after its 15th anniversary the Institute is pleased to offer again an international forum for scientists coming from 15 countries. Like the 1991 conference this second conference will be held in cooperation with the Motorcycle Safety Foundation (MSF), USA.

It is not by coincidence that the second IfZ Motorcycle Conference again is subtitled "Safety – Environment – Future" as these still are the essential aspects which determine our work on behalf of the motorized two-wheelers.

A main focus of this conference will be accident research, three sections will deal with this topic. The further improvement of safety standards for motorcycle riders and thus a stabilization of positive trends that have lasted for years will be dealt with in sections about accident analysis, accident statistics and concrete ways of improving safety standards. In this context a trend of international approach and convergence concerning research has become evident. Many of the contributions to this conference are international cooperations and thus provide a unique possibility to compare and harmonize developments in order to reap the benefits from the results.

One of the conference sections will be dedicated to the motorcycle rider, his/her personal attitudes and traffic behaviour. Within the system "rider – vehicle – road" the human element still is the most important factor and partner in questions of safe vehicle handling.

The section "Safety Technology" deals with vehicle safety concerning riding stability and brakes as well as concerning traffic environment, the latter of which more directly influences the interaction with motorcycle riders than for example with car drivers. Motorcycle riders are more directly exposed to the influence of traffic environment and road design. In this field there are still numerous and varied possibilities, by national as well as by international comparisons, to continue the improvement of safety standards.

Towards the end of the 20th century there are more and more discussions on questions of environmental aspects in the field of road traffic. In this context the concepts of motorized two-wheelers are able to provide a considerably important contribution in order to preserve individual mobility under environmentally friendly aspects. Mobility is as well the keyword that relates the sections "Environmental Aspects" and "Trends in Development". Due to the small space it needs, a point

which is particularly important in today's crowded city centres and which still has more importance for the near future, the motorized two-wheelers offer sound possibilities for the future traffic in cities, as long as technological developments and adjustments of infrastructures go along with it.

Let me now say some words on those who made this conference happen. The second International IfZ-Motorcycle-Conference was supported and thus enabled by numerous organizations and associations, particularly by the German Motorcycle Industry Association (IVM) and the MESSE München, the trade fair organization of Munich. They both organized and arranged the INTERMOT Munich which will become a new home for the future IfZ-conferences.

Special thanks to the members of the scientific steering committee and its chairman Dr. Hubert Koch. Due to its competence in the matter of field the steering committee was the basis for the choice of conference contributions and thus helped to establish the conference's international top-class programme. As well I want to thank all those who worked for the Institute for Motorcycle Safety in the preliminary stages of the conference and who finally made it happen. Special thanks to Mr. Elmar Forke, IfZ's head of R&D, who did an excellent job in organizing the conference.

To you, the participants of the conference "Safety-Environment-Future", my best wishes for a successful participation. I am sure that you will benefit from the impulses and that you will take home sound and thorough information provided by international research work in the field of motorcycle research. In the future the IfZ-conference is supposed to be a forum for the international exchange of research results and their practical realization every two years. So there is nothing left to say but goodbye and: See you in the year 2000 in Munich!

Reiner Brendicke
Director of the Institute for Motorcycle Safety

Unfallforschung I

Accident Research I

**Kollisionstypen bei Motorradunfällen
Unterschiede in Entstehung und Folgen**

***Motorcycle Accident Collision Types
Differences in Origin and Results***

Dieter Anselm
Alexander Spörner

GDV – Institut für Fahrzeugsicherheit – München
Deutschland

Abstract

Even in the future it will not be possible to avoid accidents. By the help of the knowledge obtained by accident research, however, it is possible on one hand to minimize consequences of accidents and, on the other, to explain risk situations that lead to accidents.

The analysis of collisions and accidents is the appropriate tool for this. Standardized and feasible definitions enable both the exchange and the valid comparison of results of different research institutes and thus help to build up the necessary lucidity in matters of accident research.

This is supposed to be the future aim of the European and international research in this field.

Motorradunfälle sind und werden leider auch in Zukunft eine Einschränkung der Freude am Motorradfahren sein. Viele Verkehrsteilnehmer würden die Vorzüge des Einspurfahrzeuges gerne nutzen, wenn nicht die *Geschichten* vom Organspender und ähnliches immer wieder in der Presse auftauchen würden.

Gerade im Stadtverkehr ist das motorisierte Zweirad die Lösung. Dazu müßte die Industrie an den Stadtverkehr angepaßte Roller anbieten, die Stadtpolitik sich flexibler zeigen und die Sicherheit des Zweirades transparent dargestellt werden.

Das Institut für Fahrzeugsicherheit kann und will sich nur dem letzten Teil dieser Aufzählung widmen, nämlich Unfallrisiken aufzeigen und damit Ansatzpunkte für die Verbesserung der passiven und aktiven Sicherheit beim Motorrad schaffen.

Dazu stützen sich die Ergebnisse auf die Datenbanken des **Gesamtverbandes der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V. (GDV)**, in denen über 600 ausgewertete Verkehrsunfälle mit Motorrädern gespeichert sind.

Diese Unfälle repräsentieren eine Teilmenge des gesamten Unfallgeschehens. Es handelt sich hierbei um **Kollisionen zwischen PKW und Motorrädern** mit amtlicher Zulassung.

Bundesweit zeigt dieses Teilgebiet der Motorradunfälle folgende **Unfallzahlen** und beteiligte Personen.

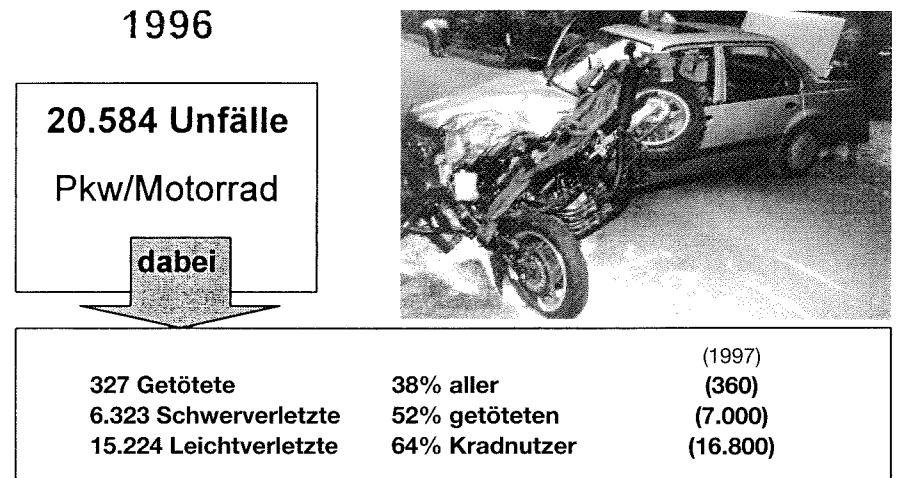


Bild 1: Unfallsituation in Deutschland 1996 (1997) – nur Pkw-Motorradkollisionen

Nach den neusten Daten des Statistischen Bundesamtes ist die absolute Zahl der von 1996 auf 1997 Getöteten, Schwer- und Leichtverletzten um ca. 12% angestiegen. Die daraus hochgerechnete Zahl der Opfer bei Motorradunfällen mit Pkw liegen in den in Klammern angegebenen Größenordnungen.

Dieser Zuwachs ist natürlich in Zusammenhang mit von 1996 auf 1997 um 10% steigenden Bestandszahlen zu sehen. Damit ist der Anstieg nicht mehr so gravierend, aber nach Jahren gegensätzlicher Trends immerhin ein Anstieg. Einen wesentlichen Einfluß hatten dabei Motorräder mit 125 ccm Hubraum (+43,6%).

Gleichzeitig hat sich die **Altersverteilung der beteiligten Zweiradfahrer** geändert, wie die folgende Darstellung zeigt.

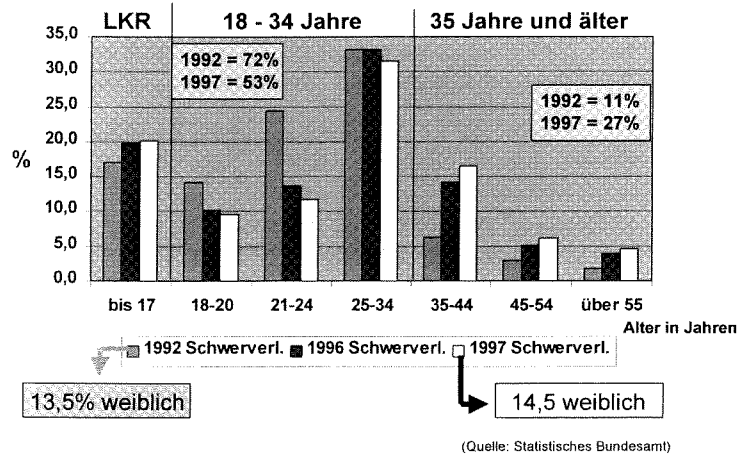


Bild 2: Altersverteilung der schwerverletzten Motorradbenutzer

In den letzten 6 Jahren ist der Anteil der 35 Jahre und älteren Motorradbenutzer von 11% auf 27% gestiegen. Gleichzeitig ist der Anteil jüngerer Fahrer und Mitfahrer zurückgegangen. Weibliche Motorradnutzer sind zwar im Vergleich zu 1992 auch im Unfallmaterial etwas häufiger anzutreffen. Die Steigerung liegt bei einem Prozent und deutet daher noch nicht auf einen signifikanten Anstieg hin.

Nachdem diese Entwicklung – einerseits die Beendigung des Rückganges der Unfallzahlen, andererseits die Verschiebung der Altersgruppen – die Problematik des Zweiradunfalles weiter im Interesse der Unfallforschung hält, sollen im folgenden durch die Darstellung der Beschreibungsmethoden des Kollisions- und Unfalltyps die Voraussetzungen geschaffen werden, daß die wenigen Sicherheitsreserven, die durch die Konstruktion des Motorrades und durch das Fahrerverhalten zur Verfügung stehen, wenigstens genutzt und weiterentwickelt werden.

Für die passive Sicherheit, also die Reduzierung der Unfallfolgen, steht nach wie vor die **Kenntnis des Kollisionsablaufes** im Vordergrund. Nur wer weiß wie die Bewegung des verunglückenden Zweiradfahrers, seine Kontaktpunkte und seine Belastungswerte aussehen, kann Gegenmaßnahmen erarbeiten.

Um eine möglichst internationale Vergleichbarkeit zu schaffen wurde 1996 der **ISO Standard 13232** erarbeitet, in dem alle Definitionen bzw. Parameter zur Durchführung von Unfallforschung, experimenteller sowie mathematischer Simulation aufgeführt sind.

Der **Kollisionstyp** wird dabei durch einen 3-stelligen Code verschlüsselt, der die Kontaktpunkte sowie den Winkel der Längsachsen zueinander wiedergibt.

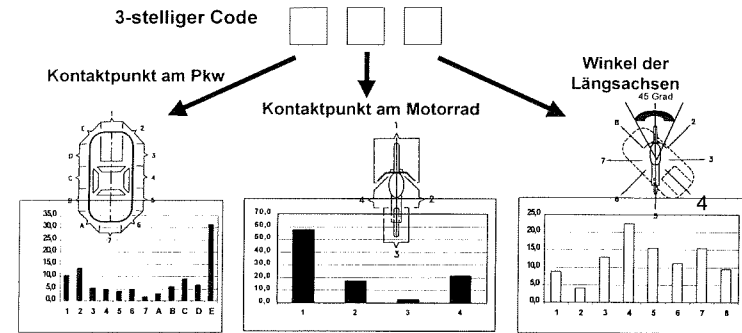


Bild 3: Kollisionstyp nach ISO 13232

Außerdem sind die Kollisionsgeschwindigkeiten sowie der Kollisionspartner von Bedeutung. Für die betrachteten Fälle beziehen sich alle Aussagen auf die Konstellation Motorrad/Pkw.

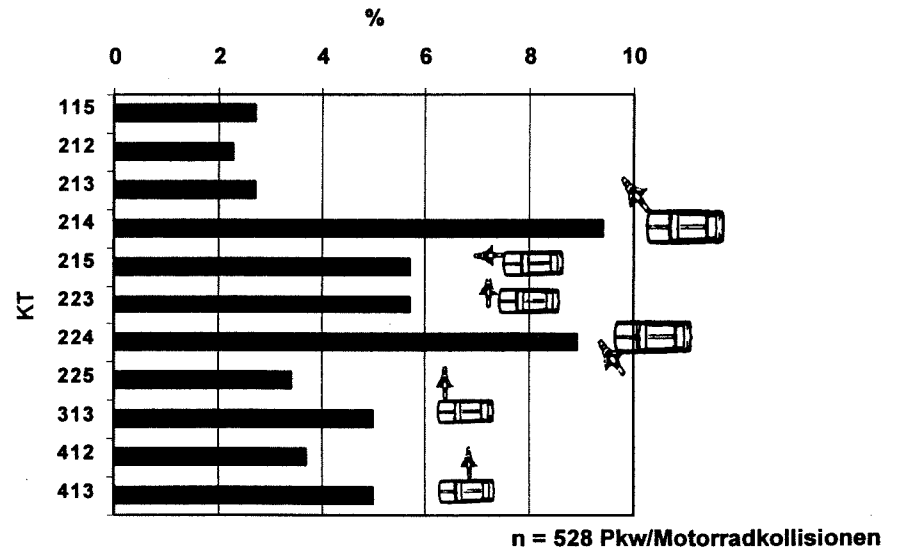


Bild 4: Verteilung der Kollisionstypen nach ISO

Die häufigste **Unfallkonstellation** in der Datenbank des GDV zeigt einen winkligen Anstoß gegen die Fahrzecke des Unfallgegners.

Eine Auswirkung dieser unterschiedlichen Kollisionsstellungen ist in der Verschiebung der **Verletzungsschwerpunkte** zu erkennen.

Während bei rechtwinkligen Kollisionen – nicht nur im Bereich der Fahrgastzelle – das Verletzungsrisiko des Kopfes im Vordergrund steht, liegen die Schwerpunkte bei winkligen Zusammenstößen im Bereich der unteren Extremitäten. Dies muß aber nicht bedeuten, daß Verletzungen, die sich auf die unteren Extremitäten konzentrieren, geringer zu bewerten sind.

Die **Anzahl der Krankenhaustage** der verletzten Motorradfahrer zeigt dies sehr deutlich.

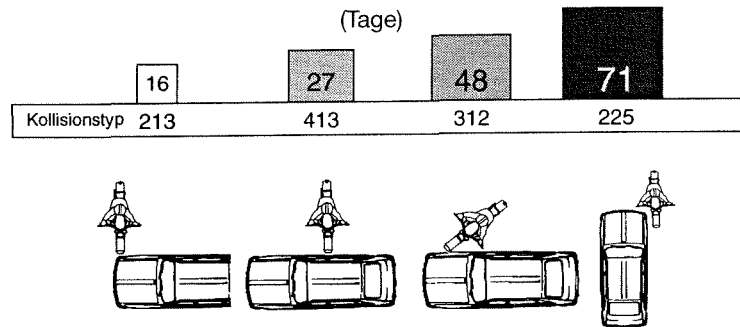


Bild 5: Tage Krankenhausaufenthalt in Abhängigkeit des Kollisionstyps

Nicht in dieser Darstellung berücksichtigt sind die weiteren volkswirtschaftlichen Belastungen durch monatelange Arbeitsunfähigkeit bei Beinverletzungen und bleibende Schäden.

Im **Vergleich mit anderen Datenbanken** stehen im Moment nur Daten zur Verfügung, die für die Erarbeitung des Standards verwendet wurden, und zwar Daten aus Los Angeles und Hannover aus früheren Jahren.

Hier zeigen sich deutliche Unterschiede. Der Kollisionstyp 114, der vergleichbar mit dem Typ 214 (siehe Bild 4) ist, mit dem Unterschied, daß der Kontakt beim Pkw in der Fahrzeugmitte lag, steht dort im Vordergrund.

Die Erklärung hierfür ist auf zwei Einflußgrößen zurückzuführen. Einmal handelt es sich um die Vermischung zweier **unterschiedlicher Unfallkollektive** aus den USA und Deutschland die nachträglich konvertiert wurden, d.h., die vorhandenen Daten wurden durch Datenbanktransformationen in den neuen Code umgewandelt. Zum

zweiten ist im Verlauf der Definition des Standards der Bereich der vorderen Ecke weiter gefaßt worden. Er erstreckt sich jetzt über jeweils ein Viertel der Gesamtbreite des Pkw.

Bei den hier präsentierten Daten wurde nicht nachträglich die Datenbank konvertiert, sondern der Kollisionstyp wurde neu ausgewertet, also jeder Unfall einzeln nach den Parametern hin untersucht.

Ausführliche Ergebnisse zu diesem Thema sind einer Ausarbeitung zum SAE Congress 1995 zu entnehmen [1].

Bei der Erfassung des Kollisionstyps fiel ein weiterer Punkt auf, der bei der nächsten Überarbeitung des ISO Standard diskutiert werden muß, und zwar der relativ große Bereich der **Winkel der Längsachsen** zueinander.

Standard ist ein Winkelbereich von 45°, der aus der Sicht der Unfallanalyse enger gefaßt werden sollte. In der Datenbank des GDV wurde daher auch mit 30°-Schritten ausgewertet und als Ergebnis läßt sich durchaus ein unterschiedlicher Bewegungsablauf erwarten.

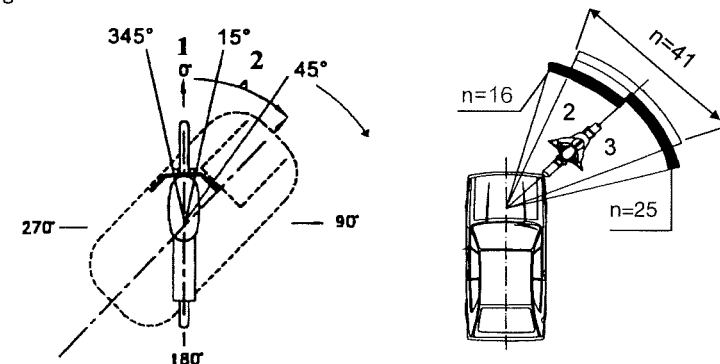
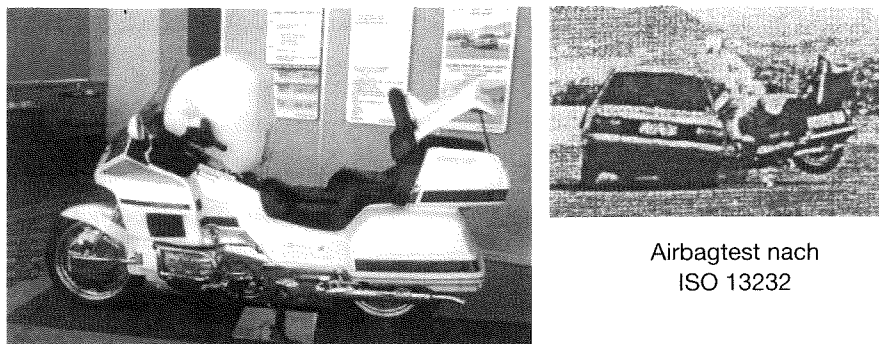


Bild 6: Variation der Winkelbereiche der Längsachsen zueinander

Der Unterschied des mehr frontal (16 Fälle) bzw. seitlichen (25 Fälle) Aufpralles hat Auswirkungen auf das Verletzungsbild. Bei der mehr frontalen Kollision könnte sich der Schwerpunkt auf die **unteren Extremitäten** verlagern, was Anlaß für rege Diskussionen in bezug auf Beinschutzelemente auslöste. Eine Lösung ist bis jetzt noch nicht gefunden worden. Man ist sich aber sicher, daß der Schutz der Beine eine wesentliche Sicherheitsmaßnahme für den Motorradfahrer darstellt.

Diese Sicherheitsmaßnahmen waren vor allem der Grund für die Erarbeitung des ISO-Standards. Sollten nämlich neu entwickelte Sicherheitselemente von der Industrie übernommen werden, so kann mit Hilfe der vorgeschriebenen experimentellen und mathematischen Simulationen vorab die Wirkung auf möglichst viele theoretische Kollisionsvarianten hin geprüft werden. Der Nachteil darin besteht im immensen Aufwand und den Kosten, die solche Crashtests und Rechnerläufe mit sich bringen.

Aus diesem Grund ist es um so erfreulicher, daß bereits die ersten Crashversuche mit **Airbags auf Motorrädern** [2] durchgeführt wurden.



Airbagtest nach ISO 13232

Bild 7: Aktuellste Airbagtests

Die ersten Ergebnisse sind erfolgversprechend und was 1982 mit den ersten Laborversuchen des damaligen HUK-Verbandes im Allianz Zentrum für Technik begann, scheint sich nun zu konkretisieren.

Der Kollisionstyp und in diesem Zusammenhang die ISO 13232 sind die Basis für Verbesserungen der **passiven Sicherheit** auf dem Motorrad.

Hier darf aber nicht stehengeblieben werden. Dieser Standard ist als Beginn anzusehen und Verbesserungen und Anregungen müssen nun folgen.

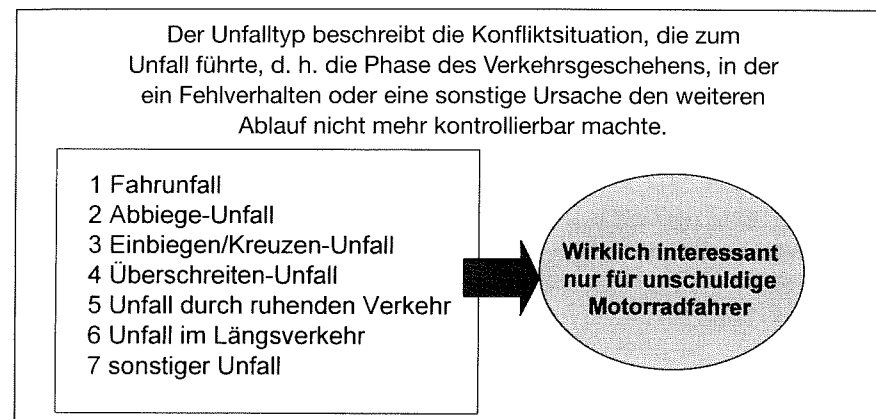
Für die Unfallforschung und für die Möglichkeit der Realisierung von Sicherheitskonzepten sollten daher folgende Überlegungen diskutiert werden:

- **Keine Datenkonvertierung** alter Datenbanken, sondern neue Auswertungen, um relevante Schwerpunkte zu erkennen.
- **Diskussion** kleinerer Winkelbereiche.
- Regler **Austausch** unterschiedlicher Unfallanalysen und Diskussion der gefundenen Ergebnisse.
- **Vereinfachung** der Test und Simulationsvorgaben, um den Kostenaufwand zu reduzieren.

So wichtig der Kollisionstyp für die Erarbeitung von neuen Sicherheitssystemen und für die passive Sicherheit ist, so wenig hilft er dem Motorradfahrer bei seiner alltäglichen Fahrt durch den Straßenverkehr.

Hier steht die **aktive Sicherheit**, also die Vermeidung des Unfalles im Vordergrund. Neben der Fahrzeugtechnik durch verbesserte Reifen, neue Bremssysteme und optimierten Fahrzeugrahmen ist ein wesentlicher Faktor der Mensch, der durch sein Fahrverhalten wesentlich dazu beiträgt, einen Unfall zu verursachen.

Dieses Fahrverhalten wird in die Definition des **Unfalltyps** versucht zu integrieren.



Bei den sieben festgelegten Unfalltypen sind bis auf den Überschreiten-Unfall, der sich auf Fußgängerunfälle bezieht, alle auch für den Motorradfahrer von Bedeutung.

Zu einer ganz speziellen Bedeutung aber können sie für den unschuldigen Motorradfahrer werden, wenn es gelingt, anhand dieser Situationen Ratschläge zur **Vermeidung von Unfällen** zu erarbeiten.

Dazu wurden vom GDV 500 Unfälle zwischen einem Pkw und einem Motorrad, bei denen die **Hauptschuld beim Pkw-Fahrer** lag, in einer eigenen Datenbank ausgewertet.

Auslöser für diese Untersuchung war die **Schuldverteilung** nach der amtlichen Statistik, die kontinuierlich jedes Jahr den Anteil der unschuldigen Motorradfahrer bei ca. 70% findet.

Ortslage	Motorrad Hauptverursacher		Motorrad Beteiligter	
	PKW	LKW/Bus	PKW	LKW/Bus
innerorts	3.819 25,4 %	334 32,3 %	11.200 74,6 %	701 67,7 %
außerorts	2.129 38,2 %	189 34,8 %	3.436 61,8 %	354 65,2 %
gesamt	5.948 28,9 %	523 33,1 %	14.636 71,1 %	1.055 66,9 %

Quelle: Statistisches Bundesamt 1996

Bild 8: Schuldverteilung bei Motorradkollisionen nach amtlicher Statistik

Wie man diese eigentlich für den Motorradfahrer positive Verteilung als Aufmacher für einen negativen Artikel verwenden kann, hat die Süddeutsche Zeitung am 28.06.1995 gezeigt.

Dort hieß es unter der Überschrift „scharfe Kontrollen am Anfang der Motorradsaison“: Jeder dritte Unfallverursacher ist ein Motorradfahrer. Richtig wäre: Das Risiko, mit einem Motorrad einen Unfall mit einem Pkw zu erleiden, hängt zu zwei Drittel davon ab, ob der gegnerische Pkw-Fahrer einen Fehler macht.

Diese zwei Drittel der Unfälle, in denen der Motorradfahrer auf eine Fehlreaktion des Pkw-Fahrers reagieren muß, standen daher im Mittelpunkt der angesprochenen Untersuchung und wurden nach der **Konstellation der Unfalltypen** hin ausgewertet.

Typ 3: Einbiegen/Kreuzen-Unfall

Bevorrechtigter von links	30	301	302	303	304	305	306	307	308	309	310
Anzahl/Prozent	40	7,9	101	20,0	8	1,6	0	0	0	0	0
bevorrechtigter Überholer von links	31	311	312	313	314	315	316	317	318	319	320
Anzahl/Prozent	0	0	7	1,4	0	0	0	0	0	0	0
	321	322	323	324	325	326	327	328	329	330	331

Bild 9: Definition des Unfalltyps

Rein theoretisch wird der Unfalltyp bereits in die Verkehrsunfallanzeige aufgenommen. Bei der Durchsicht dieser Informationen mußte aber festgestellt werden, daß er unvollständig bzw. falsch war. Im vorliegenden Material wurde daher jeder Unfall ausführlich einem Unfalltyp zugeordnet und dabei nicht nur nach Hauptgruppen unterschieden, sondern jeweils als dreistelliger Code dargestellt.

In insgesamt **31%** der Fälle kommt der Motorradfahrer **von links** und wird vom Pkw-Fahrer übersehen oder falsch eingeschätzt. In nur **11%** der Fälle kommt der Motorradfahrer von **rechts**.

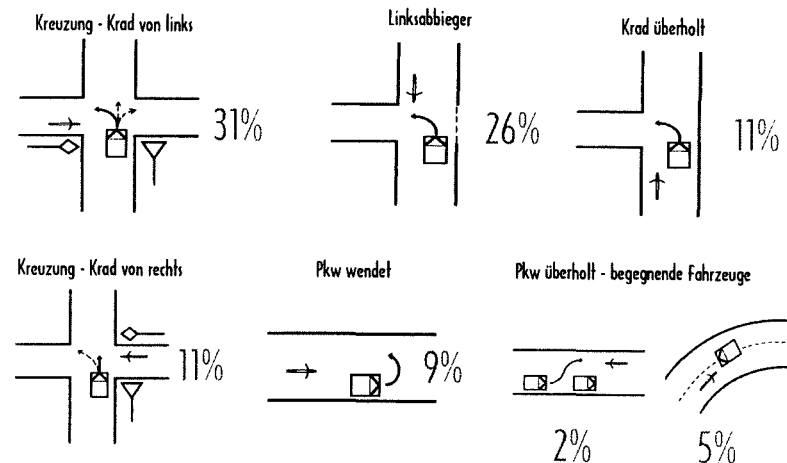


Bild 10: Verteilung der Hauptunfalltypen

Die oft gefürchtete Situation mit einem entgegenkommenden Linksabbieger lag im Material des GDV in **26%** der Fälle vor.

Fast 50 Pkw haben gewendet, ohne auf den Motorradfahrer zu achten. Über 50 Motorradfahrer sind beim Überholen unschuldig mit einem Pkw kollidiert und schließlich handelte es sich bei 7% Unfälle um einen Frontalunfall.

Der erste **Schwerpunkt, Kreuzung** und Motorrad von links sieht bei genauerem Hinsehen folgendermaßen aus.

Ein fast ausgeglichenes Verhältnis von innerorts und außerorts. 19% bei Dämmerung und Dunkelheit und – was für die weiteren Betrachtungen in Richtung Vermeidbarkeit wichtig sein könnte – ein hoher Anteil von Motorradfahrern die noch eine Reaktion, nämlich Bremsen gezeigt haben.

Ein Teil dieser Unfälle ereignete sich durch einen nach links in die Vorfahrtsstraße einbiegenden Pkw. Mit 69% liegt dieser Anteil deutlich über dem Anteil der Pkw-Fahrer, die eine Kreuzung nur überqueren.

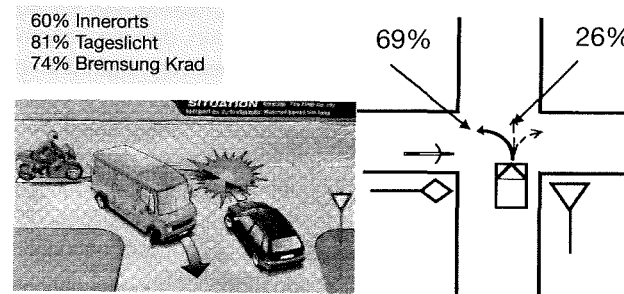


Bild 12: Kreuzungsunfall

Dies ist um so erstaunlicher, als man eigentlich erwartet, daß der Pkw-Fahrer gerade der Richtung, in die er einbiegen will, erhöhte Aufmerksamkeit schenkt. In einigen Fällen konnte als Erklärung ein abbiegender Pkw aus Richtung des Motorradfahrers erkannt werden, der zum Teil die Sicht beeinträchtigte und u.U. die Aufmerksamkeit des anderen Pkw-Fahrers auf sich lenkte. Diese Situation wird noch verschärft, wenn sich vor dem Motorradfahrer ein Kleinbus oder Lieferwagen befindet. Dieser versperrt die Sicht oft total.

Die Geschwindigkeiten, speziell die Kollisionsgeschwindigkeiten, lagen in folgenden Grenzen für Motorrad und Pkw.

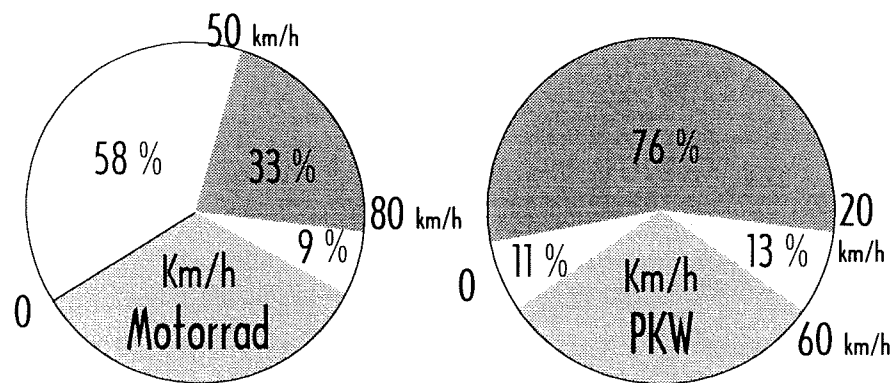


Bild 13: Kollisionsgeschwindigkeiten

Für die Rückrechnung der **Fahrgeschwindigkeiten** lagen keine Angaben vor, da die Verzögerung gerade beim Motorrad von der Konstruktion der Bremsanlage stark abhängig und bei der Unfallaufnahme schwierig zu ermitteln ist.

Generell kann für die betrachteten Unfälle gesagt werden, daß die Geschwindigkeit des Motorradfahrers zwar nie über der **zulässigen Geschwindigkeit** an der Unfallstelle lag, sie befand sich aber immer an der **oberen Grenze**.

Von der Rechtssprechung her kann die Schuld bei überhöhter Geschwindigkeit in Abhängigkeit vom Maß der Überschreitung als Teilschuld dem Motorradfahrer angelastet werden. Dies kann bis zur vollen Schuldübernahme führen, obwohl der andere die Vorfahrt mißachtet hat.

Für die restlichen Unfalltypen lassen sich die Häufigkeiten und Besonderheiten ähnlich darstellen [3, 4, 5].

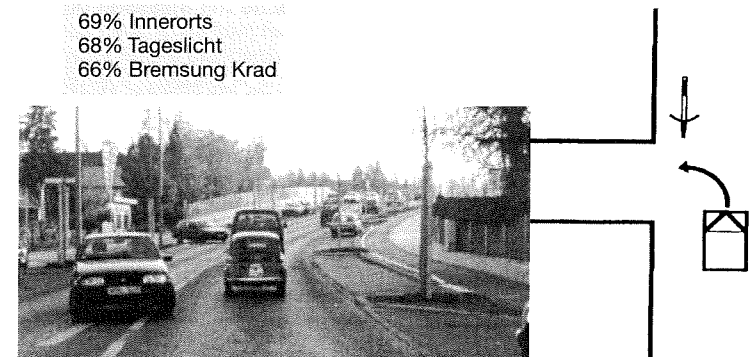


Bild 14: Linksabbieger

Neben den häufigsten Gefahrensituationen mit allen Randbedingungen verdeutlichte die Untersuchung eine bekannte Tatsache, nämlich das **Übersehen**, d.h. das gänzliche Verschwinden **des Motorrades** in Augen und Bewußtsein des Pkw-Fahrers.

Es zeigte sich, daß weniger das „falsch Einschätzen“ des annähernden Motorrades das Problem des Pkw-Fahrers ist. Es gab natürlich Fälle, in denen die Annäherungsgeschwindigkeit des Motorrades unterschätzt wurde, d.h. aber, das Motorrad wurde erkannt.

In mehr als der Hälfte der Fälle ergaben sich aber deutliche Hinweise darauf, daß der Motorradfahrer einfach nicht gesehen wurde.

Auch bunte Lederanzüge und eingeschaltetes Licht garantieren nicht immer, daß man vom Gegner erkannt wird.

Diesem Phänomen muß entgegengewirkt werden, wenn eine Reduzierung dieser Unfälle angestrebt wird.

Ratschläge für den Motorradfahrer

Unter Berücksichtigung aller Unfallberichte ergaben sich drei Grundregeln, deren Beachtung die Chancen steigen lassen, vom potentiellen Unfallgegner entweder doch erkannt zu werden bzw. vorbereitet zu sein, richtig auf das Fehlverhalten des anderen zu reagieren.

1. Wenn die Gefahr des Übersehens gegeben ist, nützt auch die Vorfahrt nichts mehr. Eine grundsätzliche **Skepsis der eigenen Vorfahrt gegenüber** ist für den Motorradfahrer lebensnotwendig. Die Mißachtung der Vorfahrt durch den gegnerischen Pkw kann in einigen Fällen erkannt werden:

- Annäherung eines Pkw ohne Reduzierung der Geschwindigkeit,
- Ablenkung im Inneren der Pkw durch Gespräche mit Insassen oder Führen von Telefongesprächen ... u.ä.

Die Realität zeigt leider, daß Motorradfahrer, obwohl sie diese oder ähnliche Warnsignale gesehen haben, nicht frühzeitig reagierten.

2. Als zweite Regel oder Ratschlag, muß der Motorradfahrer versuchen gegenzusteuern, d.h. er muß etwas unternehmen, um nicht übersehen zu werden – **deutlich oder erkennbar fahren.**

Auffällige Kleidung ist keine Garantie dafür, daß Motorradfahrer erkannt werden. Besser ist es, auf sich aufmerksam zu machen. Hier gibt es Möglichkeiten, von der Hupe bis zum Spurwechsel, die alle vom Motorradfahrer in der jeweils unsicheren Situation angewandt werden können. Sicherheitstrainings, aber auch selbst einfach ausprobieren welche Möglichkeiten es gibt, um nicht übersehen zu werden, geben hier wertvolle Hilfen.

In diesem Zusammenhang auch eine Forderung an die Industrie: Die Lage des Hupenknopfes ist bei einigen Motorrädern abenteuerlich versteckt, hat man ihn dann gefunden, ertönt kein Warnsignal, sondern teilweise ein Geräusch.

3. **Rechtzeitig reagieren**, um damit wertvollen Bremsweg zu gewinnen. Wie die Unfälle gezeigt haben, ergibt sich der Unfall aus einer unsicheren Situation, die vom Motorradfahrer zwar erkannt wird, aber im Vertrauen, das Verhalten des anderen wird sich noch zum Guten wenden, wird ohne vom Gas zu gehen weitergefahren. **Die Knautschzone des Motorrades ist der Abstand vom potentiellen Unfallgegner.**

Zusammenfassung

Unfälle werden sich auch in Zukunft nicht völlig vermeiden lassen. Mit den Erkenntnissen der Unfallforschung kann versucht werden, einerseits die Unfallfolgen zu minimieren und andererseits die Risikosituationen, die zu einem Unfall führen, zu verdeutlichen.

Kollisionsanalyse und Unfallanalyse sind die Werkzeuge dazu. Einheitliche und realisierbare Definitionen ermöglichen den Austausch und Vergleich der Ergebnisse verschiedener Forschungsinstitute. Damit kann die eingangs erwähnte Transparenz des Unfallgeschehens erreicht werden.

Dies sollte das Ziel der zukünftigen europäischen, aber auch internationalen Forschung sein.

Literatur

- [1] Collision Parameters from Real-Life Car/Motor Cycle Accidents – A Basis for Future Standards
A. Spörner, J. Polauke, H. v. Driessche
SAE Paper 950203
SAE Congress, Detroit, 1995
- [2] Exploratory Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle
Honda R&D co., Ltd
16th International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles
1.–4. June 1998
- [3] Pkw/Motorradkollisionen – Ansatzpunkte für die Bewertung der Risikoexponierung
VDS, Büro für Kfz-Technik (heute: GDV – Institut für Fahrzeugsicherheit), 1996
- [3a] Gefährliche Begegnungen
Broschüre zur Untersuchung, GDV, IFZ, 1997
- [3b] Gefährliche Begegnungen
Video zur Untersuchung*

* zu Beziehen über AVS-Film München, Gräfstr. 21, 81241 München, 1998

**Analyse der passiven Kraftradsicherheit
mit Unfallanalysen und Crashtests**

***Analysis of Secondary Safety of Motorcycles
with Regards to Accident Analysis and Crash Tests***

F. Alexander Berg
Heiko Bürkle
Frank Schmidts

DEKRA – Automobil AG – Unfallforschung/Crashzentrum – Stuttgart
Deutschland

Abstract

After a clear decrease in numbers of killed and seriously injured motorcycle riders and pillion passengers in Germany during the eighties, the nineties revealed nearly constant accident numbers. This is especially remarkable as between 1990 and 1996 the number of registered motorcycles had been continuously rising from 1.4 million to 2.2 million. Primary safety devices for motorcycles have already reached high standards. As well the protective clothing has been continuously improved and thus supports secondary safety standards, a fact which again draws the attention on the secondary safety devices for motorcycle riders. This has to be seen in the context of the European Union that aims at reducing the number of fatal road accidents from 45,000 in 1997 to 25,000 in the year 2010. In order to reach this goal, all possible potentials of further safety improvements not only have to be checked and proved in real traffic systems but also – in case of success – have to be thoroughly exhausted and adequately taken into account to improve the secondary safety of motorcycle riders.

The actual development of motorcycle accident data was analysed by evaluating official statistics. In addition to that over 300 case studies were examined on the basis of accident analytical reports whose results provide a survey of general accident circumstances, involved motorcycles, riders and pillion passengers and collision opponents.

The second part of this paper is going to deal with motorcycle crashtests according to ISO 13232. The listed collision constellations will be compared to own research results in the context of their importance in real accident situations. Furthermore there will be information about first experiences in motorcycle/car crash tests according to ISO 13232 as well as details on the respective research results.

At the end there will be a complete evaluation and summery of results, a possible future outlook towards the development of secondary safety for motorcycle riders as well as a description of the present demand for further research.

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einem deutlichen Rückgang der bei Straßenverkehrsunfällen in Deutschland getöteten und schwerverletzten Motorrad-Aufsassen in den 80er Jahren blieb deren Anzahl in den 90er Jahren bisher nahezu konstant. Bemerkenswert ist dabei, daß zwischen 1990 und 1996 die Zahl der amtlich registrierten Krafträder von 1,4 Millionen auf 2,2 Millionen weiterhin erheblich zugenommen hat. Die aktive Sicherheit des Kraftrades hat bereits einen hohen Entwicklungsstand erreicht. Ebenso ist die Schutzbekleidung der Aufsassen heute technisch ausgereift und trägt damit zur passiven Sicherheit wirksam bei. Damit rückt nun die passive Sicherheit des Kraftrades selbst wieder mehr in den Blickpunkt des Interesses. Das ist vor dem Hintergrund des Zieles zu sehen, daß in der Europäischen Union die Zahl der bei Verkehrsunfällen Getöteten von 45 000 im Jahr 1997 auf 25 000 im Jahr 2010 gesenkt werden soll. Um dieses Ziel zu erreichen, müssen sämtliche Potentiale einer weiteren Verbesserung der Sicherheit im Verkehrssystem geprüft und bei Aussicht auf Erfolg ausgeschöpft werden. Vor diesem Hintergrund ist die passive Sicherheit des Kraftrades in angemessener Weise zu berücksichtigen.

Um die aktuelle Entwicklung der Kraftrad-Unfallzahlen zu analysieren, ist die amtliche Statistik ausgewertet worden und es wurden ergänzend dazu auf der Basis von unfallanalytischen Gutachten über 300 Einzelfallstudien durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Unfalluntersuchungen geben einen Überblick zu den allgemeinen Umständen der Unfälle, zu den beteiligten Krafträdern, den Aufsassen und Kollisionsgegnern.

Der zweite Teil des Beitrages ist den in ISO 13232 genannten Kraftrad-Crashtests gewidmet. Die dort aufgelisteten Anstoß-Konstellationen werden hinsichtlich ihrer Bedeutung im realen Unfallgeschehen mit den Ergebnissen entsprechender eigener Untersuchungsergebnisse verglichen. Außerdem wird über erste Erfahrungen bei der Durchführung von Motorrad/Pkw-Crashtests in Anlehnung an ISO 13232 sowie zugehörige Versuchsergebnisse berichtet.

In einer Gesamtbewertung werden die Erkenntnisse zusammengefaßt und mögliche zukünftige Entwicklungen der passiven Sicherheit von Krafträdern sowie der bestehende Forschungsbedarf beschrieben.

1 EINLEITUNG

Die Einteilung der motorisierten Zweiräder wird in der Bundesrepublik Deutschland aktuell wie folgt definiert:

Kleinkraftrad: Mopeds und Mokicks mit einem Hubraum von nicht mehr als 50 cm³ und einer Höchstgeschwindigkeit bis 50 km/h mit Versicherungskenn-

zeichen sowie Kleinkrafträder und Fahrräder mit Hilfsmotor in Sinne der bisherigen Vorschriften der DDR bis 50 cm³ und bis 60 km/h.

Mofa 25: Fahrräder mit Hilfsmotor (incl. „Leichtmofas“) mit einem Hubraum von nicht mehr als 50 cm³ und einer Höchstgeschwindigkeit von nicht mehr als 25 km/h, mit Versicherungskennzeichen.

Leichtkraftrad: Krafträder/Kraftrroller über 50 bis 125 cm³ Hubraum und einer Nennleistung von nicht mehr als 11 kW (sowie Kleinkrafträder bis 50 cm³ und über 40 km/h wenn vor dem 31.12.83 zugelassen).

Kraftrad: Motorräder über 80 cm³ Hubraum.

Kraftrroller: Motorroller über 80 cm³ Hubraum.

Motorrad: Motorzweiräder mit amtlichen Kennzeichen (Krafträder und Kraftrroller).

Für die Motorräder zeigt der Langzeitüberblick in **Bild 1** die Entwicklung der absoluten Häufigkeiten der getöteten und schwerverletzten Aufsassen von 1956 bis 1996 bei Unfällen innerhalb und außerhalb von Ortschaften in den alten Ländern der Bundesrepublik Deutschland. In **Bild 2** sind die zugehörigen Bestandszahlen dargestellt. Ausgehend von einem sehr hohen Niveau in den 50er Jahren, als das Motorrad in Deutschland noch ein Massenverkehrsmittel war, nahmen die Zahlen der getöteten und schwerverletzten Motorradaufsassen bis Mitte der 60er Jahre ab, blieben bis Anfang der 70er Jahre etwa konstant und nahmen anschließend wieder deutlich zu. Neue Höchststände waren dann in den Jahren 1982/83 erreicht: 959 Getötete außerhalb von Ortschaften (1982), 14 420 Schwerverletzte innerhalb von Ortschaften (1983) und 8 875 Schwerverletzte außerhalb von Ortschaften (1983). Die Zahl der innerhalb von Ortschaften getöteten Motorradaufsassen folgte diesem Trend nicht: im Jahr 1975 wurden hier 543 Getötete registriert, 1983 waren es 512 Getötete.

Bis zum Ende der 80er Jahre ging die Zahl der getöteten und schwerverletzten Motorradaufsassen wieder deutlich zurück. Dabei waren die Entwicklungen der Getötetenzahlen innerorts wie außerorts etwa gleich. Bei den Schwerverletzten ist im Gegensatz dazu eine wesentlich größere Abnahme innerorts als außerorts festzustellen. In den 90er Jahren blieb die Zahl der getöteten und schwerverletzten Motorradaufsassen bisher nahezu konstant.

Im Vergleich zu den Bestandszahlen ist erkennbar, daß sich der Rückgang der Getöteten und Schwerverletzten von 1982/83 bis 1989/90 teilweise in der Veränderung des Bestandes der Leichtkrafträder widerspiegelt. Weil Leichtkrafträder vorwiegend von Fahranfängern und häufig innerorts benutzt werden, ist mit dem

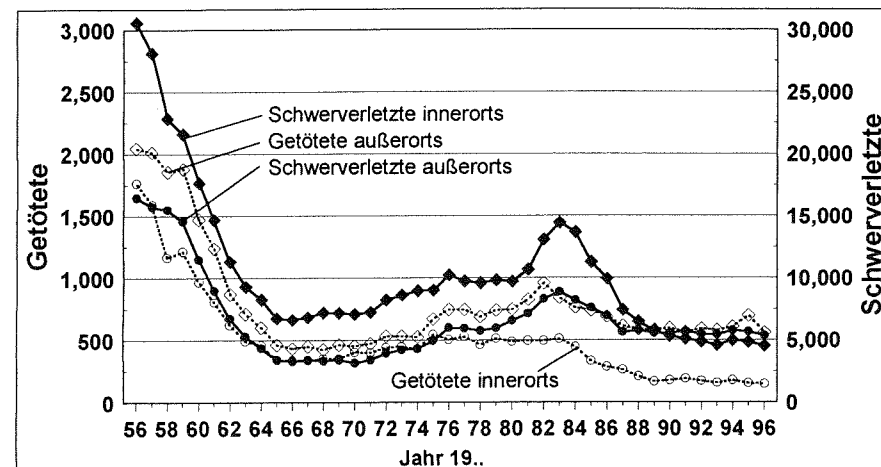


Bild 1. Absolute Häufigkeit der schwerverletzten und getöteten Motorrad-Aufsassen in den alten Bundesländern im Zeitraum von 1956 bis 1996 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

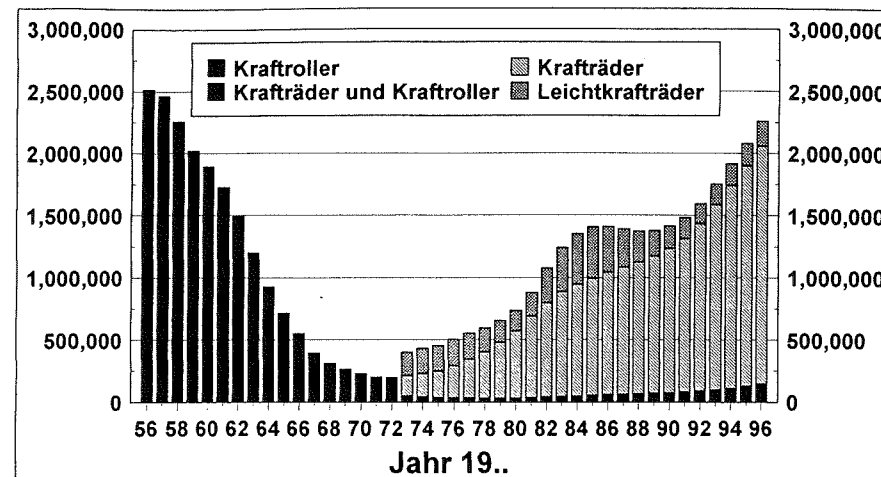


Bild 2. Absolute Häufigkeit der zugelassenen Motorräder (Krafträder und Kraftrroller) in den alten Bundesländern im Zeitraum von 1956 bis 1996 (Quelle: Statistisches Bundesamt)

Rückgang der Bestandszahlen dieser Fahrzeuge auch der deutliche Rückgang der Schwerverletzten innerorts in Einklang zu bringen. Bemerkenswert ist weiterhin,

daß die erhebliche Zunahme der Motorräder seit Mitte der 80er Jahre nicht mit einer parallelen Zunahme der verletzten und getöteten Aufsassen einherging.

Große Steigerungsraten verzeichneten auf dem deutschen Markt in den 90er Jahren die Zahlen der verkauften Kraftroller, Bild 3. Besonders populär sind dabei die Kraftroller mit 50 cm³ Hubraum und 50 km/h zulässiger Höchstgeschwindigkeit (als Kleinkrafträder in Bild 2 nicht enthalten). Von den 186 000 im Jahr 1995 in Deutschland verkauften Kraftrollern gehörten 166 000 in die Kategorie der 50-cm³-Kraftroller. Ebenfalls attraktiv sind die Motorroller mit 125 cm³ Hubraum (Leichtkraftrad), deren Motorleistung maximal 11 kW beträgt und deren Höchstgeschwindigkeit für 16 bis unter 18jährige 80 km/h nicht übersteigen darf, bei höherem Alter aber sonst unlimitiert sind. Diese Fahrzeuge dürfen auch mit einer Pkw-Fahrerlaubnis, die vor dem 1. April 1980 ausgestellt wurde, gefahren werden.

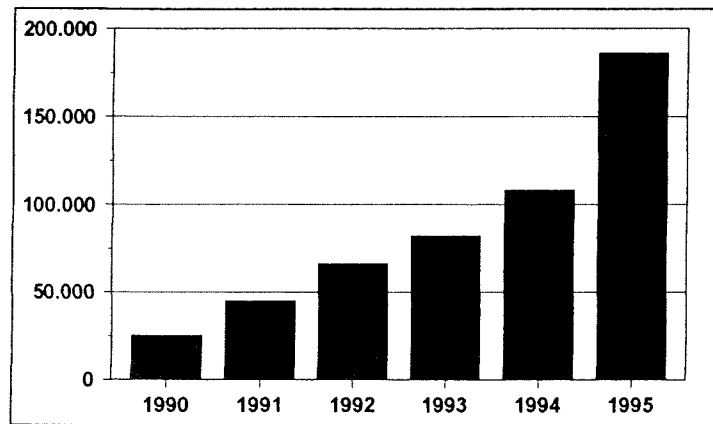


Bild 3. Verkaufte Kraftroller auf dem deutschen Markt in den 90er Jahren.
(Quelle: Verband der Fahrrad- und Motorrad-Industrie VFM)

Zu den bedeutsamen Änderungen von gesetzlichen Bestimmungen in Deutschland im Hinblick auf die Straßenverkehrssicherheit der motorisierten Zweiradfahrer gehören:

1. August 1980: Verwarnungsgeld für Benutzer motorisierter Zweiräder (ausgenommen „Mofas“), die ohne Helm fahren.

1. Oktober 1985: Allgemeine Helmpflicht und Verwarnungsgeld bei Mißachtung auch für Mofa-Fahrer.

1. April 1986: Einführung des Stufenführerscheins für Motorradfahrer.

1. Oktober 1988: Verpflichtung von Motorradfahrern, auch am Tag mit Abblendlicht zu fahren.

Hierbei wird der Helmtragepflicht und dem Stufenführerschein eine besondere Wirkung beigemessen, die dazu beigetragen hat, daß trotz steigender Zahl der zugelassenen Motorräder ihre Aufsassen nicht in gleichem Maße bei Unfällen schwerverletzt oder getötet wurden. In diesem Zusammenhang sind auch technische Verbesserungen der Schutzbekleidung (Helm und Anzug) zu berücksichtigen.

Bewertungen der technischen Entwicklung des Motorrades selbst ergeben, daß eine Verbesserung der aktiven Sicherheit durch Weiterentwicklungen der Fahrwerke und Reifen sowie des Anti-Blockier-Systems stattgefunden hat. Das Nutzenpotential dieser Maßnahmen liegt in der Vermeidung von Unfällen. Hingegen können technische Verbesserungen des Motorrades, die der passiven Sicherheit und damit der Verringerung von Unfallfolgen dienen (etwa dem Airbag im Pkw vergleichbar), bei den Serienmotorrädern kaum festgestellt werden [8], [6].

Ausgehend davon, daß die aktive Sicherheit des Motorrades heute bereits einen sehr hohen Entwicklungsstand aufweist – ebenso wie Schutzbekleidung der Aufsassen zur Minderung von deren Verletzungen – rückt nun die passive Sicherheit des Motorrades selbst verstärkt in den Mittelpunkt des Interesses. Dies ist vor dem Ziel zu sehen, daß in der Europäischen Union die Zahl der bei Verkehrsunfällen Getöteten von 45 000 im Jahr 1997 auf 25 000 im Jahr 2010 gesenkt werden soll [10]. Um dieses Ziel beim bereits heute gegebenen Stand der Fahrzeugsicherheit zu erreichen, müssen sämtliche Potentiale einer weiteren Verbesserung der Sicherheit im Verkehrssystem geprüft und bei Aussicht auf Erfolg ausgeschöpft werden. Hierbei ist die passive Sicherheit des Motorrades in angemessener Weise zu berücksichtigen.

2 ERGEBNISSE DER ANALYSE VON 302 UNFÄLLEN MIT BETEILIGUNG MOTORISIERTER ZWEIRÄDER IN DEUTSCHLAND

Mit Auswertungen von unfallanalytischen DEKRA-Gutachten wurden 302 Unfälle, an denen insgesamt 315 motorisierte Zweiräder mit insgesamt 358 Aufsassen beteiligt waren, die sich zwischen 1989 und 1996 in Deutschland ereigneten, analysiert [3], [9], [4], [2]. Derartige Gutachten werden von DEKRA-Sachverständigen zur Aufklärung einzelner Verkehrsunfälle erstellt. Sie stehen der Unfallforschung für weitergehende wissenschaftliche Studien zur Verfügung.

Die Verteilung der Ortslage der ausgewerteten 302 DEKRA-Fälle ist im Vergleich zur Verteilung der Ortslage aller 55 275 registrierten Unfälle mit motorisierten Zweirädern in Deutschland, wie sie die amtliche Verkehrsunfallstatistik für das Jahr 1995 ausweist, in **Bild 4** dargestellt. Während in der amtlichen Statistik mit 68,4% die

Unfälle innerhalb von Ortschaften dominieren, überwiegen im DEKRA-Untersuchungsgut mit 56.0% die Außerorts-Unfälle.

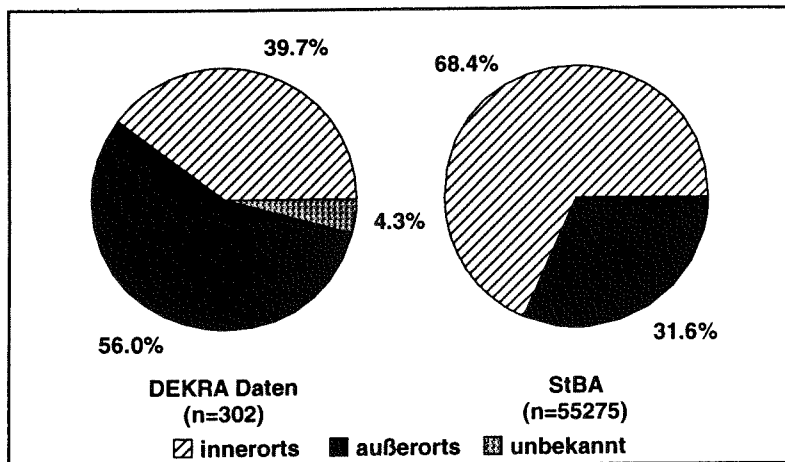


Bild 4. Ortslage der Unfälle mit Beteiligung motorisierter Zweiräder (Jahre 1989 bis 1996) in der DEKRA-Datenbank, verglichen mit allen Unfällen in Deutschland (Statistisches Bundesamt, Unfälle mit Personenschaden, Jahr 1995)

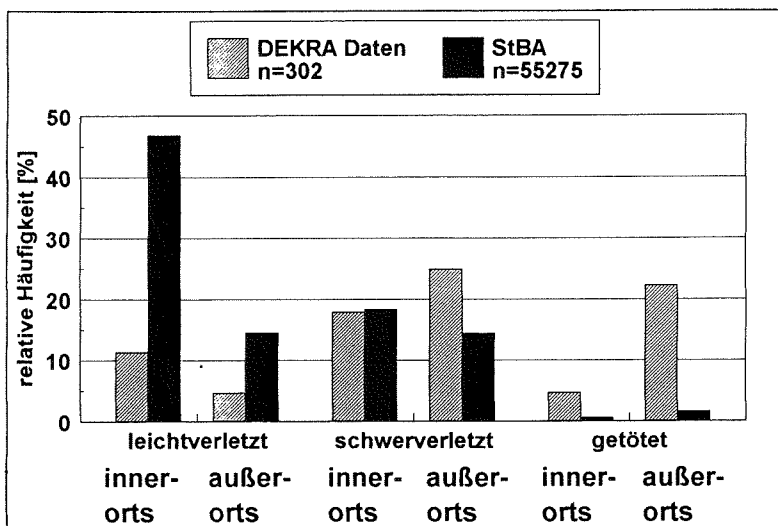


Bild 5. Ortslage und Schwere der Unfälle mit Beteiligung motorisierter Zweiräder in der DEKRA-Datenbank, verglichen mit allen Unfällen in Deutschland (Statistisches Bundesamt, Unfälle mit Personenschaden, Jahr 1995)

Einen Vergleich der Verletzungsschwere der Aufsassen bei den Unfällen im DEKRA-Untersuchungsgut und in der amtlichen Statistik gibt **Bild 5** wieder. Im DEKRA-Material sind innerorts wie außerorts die Unfälle mit getöteten Aufsassen häufiger als bei den Unfällen in der amtlichen Statistik. Entsprechend enthält die amtliche Statistik innerorts und außerorts häufiger Unfälle mit leichtverletzten Aufsassen. Damit tendieren die DEKRA-Fälle insgesamt mehr zu den schweren Unfällen.

Bezüglich der an den DEKRA-Fällen beteiligten Arten motorisierter Zweiräder enthält **Bild 6** weitere Informationen. Von allen 315 motorisierten Zweirädern war bei 297 Fahrzeugen die exakte Klassifikation bekannt. Unter den Krafrädern sind die Sport-Motorräder am häufigsten, gefolgt von den Tourern, Sport-Tourern, Enduros und Choppern. Bei den Rollern überwiegen die leichten Fahrzeuge mit weniger als 80 cm³ Hubraum. Mofas kommen selten vor.

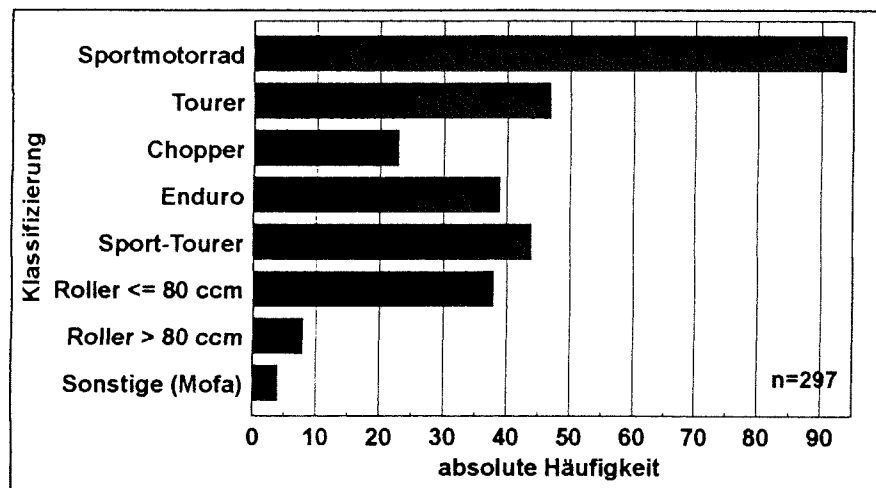


Bild 6. Arten der motorisierten Zweiräder in der DEKRA-Datenbank

Das Alter der Krafrad- und Kraftrollerfahrer war in 297 Fällen bekannt und wurde in sieben Gruppen gegliedert, **Bild 7**. Unter den Kraftroller-Fahrern ist die Gruppe der 16 bis 18 sowie die Gruppe der über 40 Jahre alten Personen häufig besetzt. Dabei besteht die junge Altersgruppe meist aus Fahranfängern und fährt mit der geringsten Motorisierung (50 cm³, bis 50 km/h schnell). Dagegen sind Krafradfahrer meist 22 bis 40 Jahre alt.

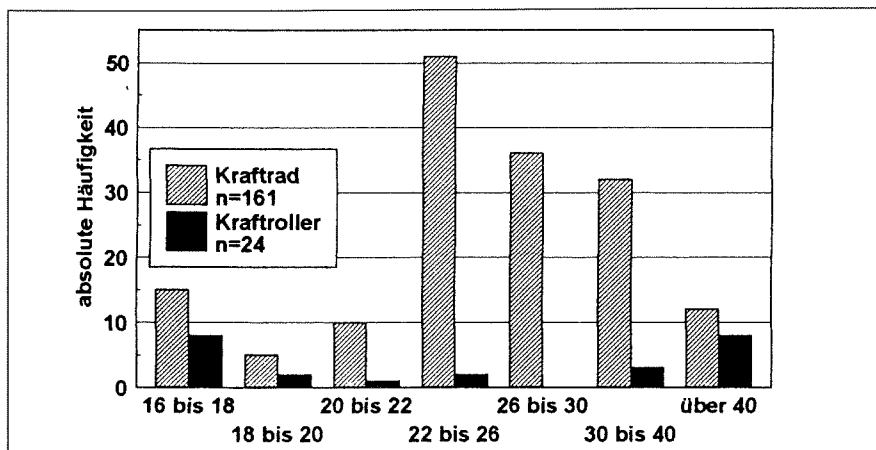


Bild 7. Alter der Kraftrad- und Kraftroller-Fahrer (DEKRA-Datenbank)

In 185 hierzu auswertbaren Fällen waren 8% der Zweiradfahrer weiblich und 92% männlich.

Die folgenden Auswertungen beziehen sich nur auf die Krafträder und Kraftroller (ohne Unterscheidung nach den Hubraumklassen). Für diese Fahrzeuge ist die jeweilige Verteilung der Typen der zugehörigen 293 Unfälle in **Bild 8** dargestellt. Demnach sind die Krafträder wie die Kraftroller am häufigsten in Einbiegen/Kreuzen-Unfälle verwickelt. Bei den Krafträdern wie auch bei den Kraftrollern folgen an zweiter Stelle die Unfälle im Längsverkehr und an dritter Stelle die Abbiegeunfälle.

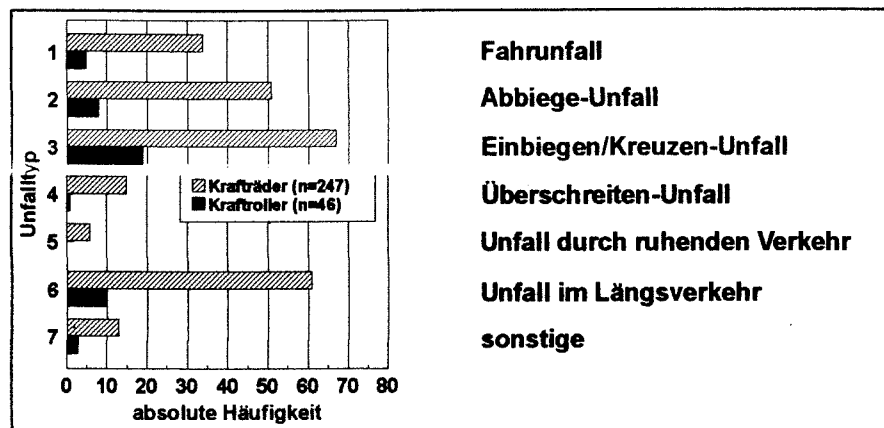


Bild 8. Unfalltypen der Krafträder und Kraftroller (DEKRA-Datenbank)

In **Bild 9** sind die relativen Häufigkeiten der Straßenklassen, auf denen sich die Krafträder und Kraftroller zum Zeitpunkt des Unfalles bewegten, dargestellt. Unfälle auf Autobahnen kamen sehr selten vor. Die Krafträder verunglückten meistens auf Landes- und Bundesstraßen, die Kraftroller am häufigsten auf Ortsstraßen.

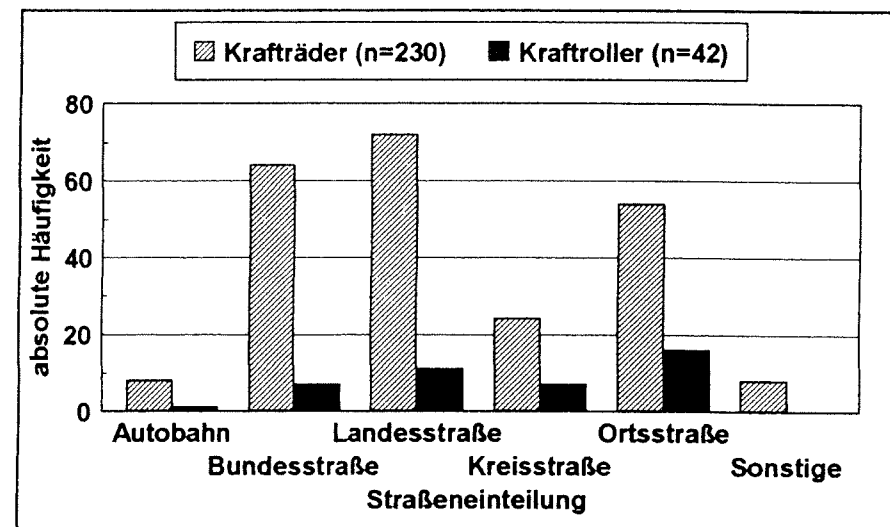


Bild 9. Straßenklassen der Kraftrad- und Kraftroller-Unfälle (DEKRA-Datenbank)

Häufigster Gegner des Kraftrades bei den DEKRA-Fällen war in 137 Fällen (63%) ein Personenkraftwagen und in 14 Fällen (6%) ein Lastkraftwagen. Auch bei den Kraftrollerunfällen war der Personenkraftwagen mit 31 Fällen häufigster Unfallgegner. Eine entsprechende Auswertung der Unfälle mit zwei Beteiligten, an denen motorisierte Zweiräder beteiligt waren und Personenschaden entstand, wie sie die amtliche Statistik ausweist, ergibt für das Jahr 1995 in ca. 79% einen Personenkraftwagen und in 6% ein Güterkraftfahrzeug als Unfallgegner des motorisierten Zweirades. Die Kollision mit einem Kraftrad oder Kraftroller hat für die Insassen des gegnerischen Fahrzeuges oftmals keine großen Auswirkungen, da sie von der umgebenden Karosserie geschützt sind. Daher gab es bei 147 Unfällen keine verletzten Insassen sondern nur Sachschäden an deren Fahrzeugen. Bei 47 Unfällen wurde der Gegner des motorisierten Zweirades leicht und bei 26 Fällen schwer verletzt. Fünf Pkw-Insassen wurden getötet, **Bild 10**.

Bei 81 bzw. 96 Unfällen lagen die Fahr- bzw. Kollisionsgeschwindigkeiten der Unfallgegner der motorisierten Zweiräder im Bereich von 1 bis 30 km/h, **Bild 11**. Meist handelte es sich dabei um einen Einbiegen/Kreuzen-Unfall. Im Bereich 30 bis 50 km/h passierten die Kollisionen im innerörtlichen Bereich. Außerorts waren Fahr-

geschwindigkeiten des Gegners zwischen 50 und 100 km/h in 36 Fällen zu verzeichnen, in 39 Fällen lag die Kollisionsgeschwindigkeit des Gegners in diesem Bereich.

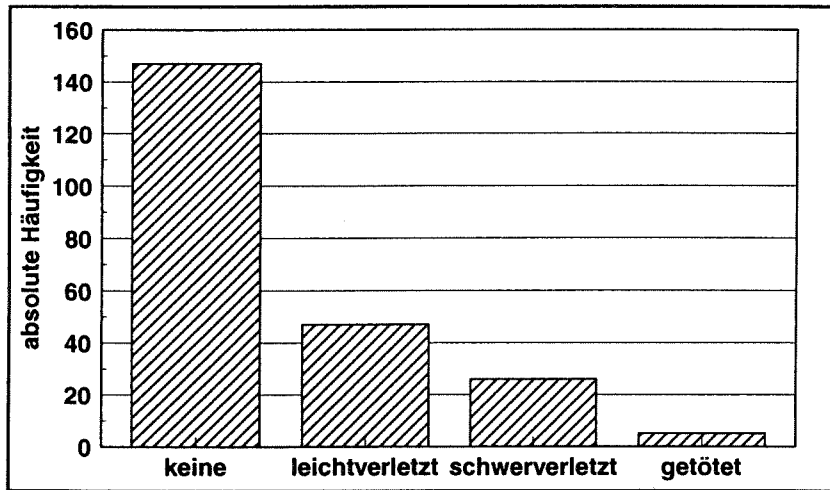


Bild 10. Verletzung des Kollisionsgegners (DEKRA-Datenbank)

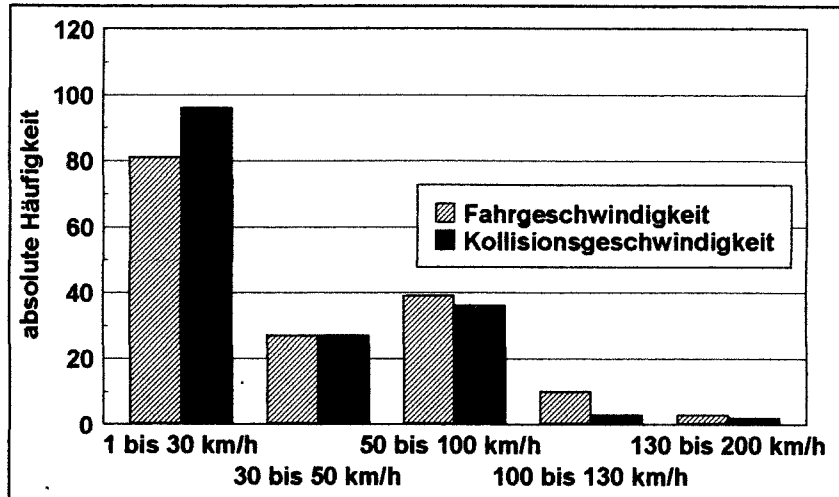


Bild 11. Fahr- und Kollisionsgeschwindigkeiten des Gegners (DEKRA-Datenbank)

Die Kollisionsgeschwindigkeiten der motorisierten Zweiräder und die Verletzungen ihrer Aufsassen werden später in anderem Zusammenhang detailliert beschrieben.

Im DEKRA-Untersuchungsgut waren die Motorräder überwiegend nur mit einem Aufsassen besetzt. Lediglich auf 13% der Krafträder und immerhin auf 15% der Kraftroller saß beim Unfall auch ein Sozium.

Die den motorisierten Zweirädern zuzuordnenden Hauptunfallursachen sind in **Bild 12** dargestellt. Bei 96 Krafträdern und 18 Kraftrollern lag keine Hauptunfallursache vor, d. h. hier lag die Hauptunfallursache beim Gegner. Bei den Motorrädern überwogen überhöhte Geschwindigkeit und nicht angepaßter Abstand zum vorausfahrenden Fahrzeug mit 91 Unfällen. Die Grafik zeigt deutlich, daß bei den Kraftrollern mehrere Unfallursachen gleichwertig waren. Das sind mit sechs Unfällen Fehler beim Wenden/Abbiegen, ebenso mit sechs Fällen nicht angepaßte Geschwindigkeit bzw. ungenügender Abstand. Bei drei Unfällen waren technische Mängel am motorisierten Zweirad die Hauptunfallursache und bei ebenfalls drei Fällen Fehler beim Überholen bzw. Vorbeifahren.

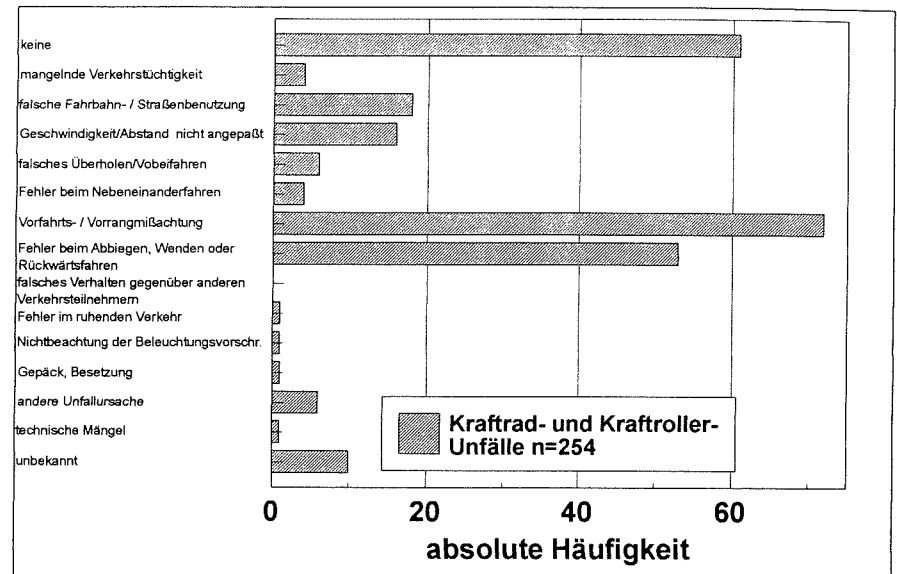


Bild 12. Hauptunfallursachen der motorisierten Zweiräder (DEKRA-Datenbank)

Vergleicht man hierzu die Hauptunfallursachen der Kollisionsgegner des motorisierten Zweirades, **Bild 13**, so zeigt sich, daß hier am häufigsten die Mißachtung der Vorfahrt (72 Unfälle) und Fehler beim Abbiegen bzw. Wenden (53 Unfälle) vorlagen. Häufig wird bei diesen Unfällen das herannahende Kraftrad bzw. der Kraftroller bezüglich Geschwindigkeit und/oder Entfernung falsch eingeschätzt. Bei 61 Unfällen konnte dem Gegner des motorisierten Zweirades keine Hauptursache zugeordnet werden.

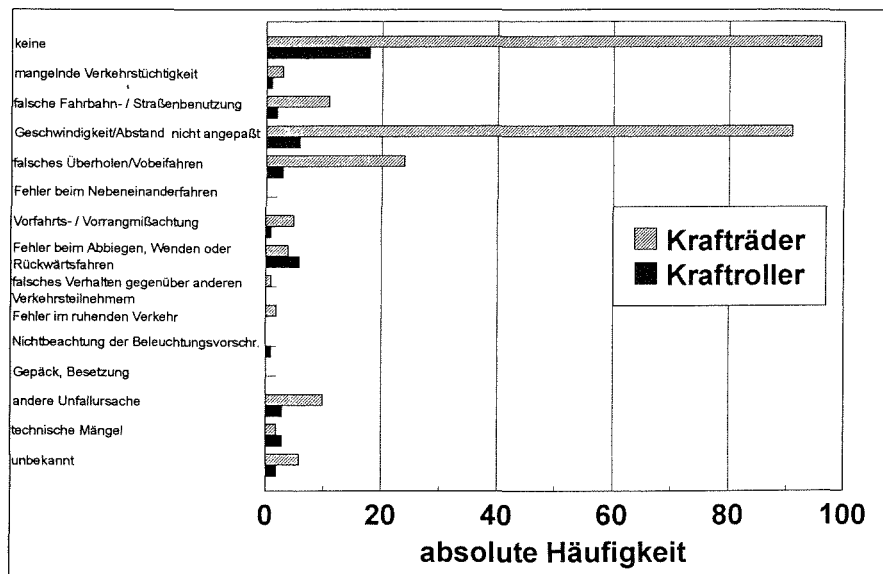


Bild 13. Hauptunfallursachen des Kollisionsgegners (DEKRA-Datenbank)

Aus Bild 14 geht hervor, daß in 101 Fällen der Kollisionsgegner des motorisierten Zweirades die Hauptschuld am Unfall trug. 58 Gegner waren gänzlich unschuldig am Geschehen. Bei 75 Unfällen lag die Hauptschuld beim Kraftradfahrer und bei 15 Unfällen beim Kraftrollerfahrer. Immerhin 75 Kraftradfahrer und 18 Kraftrollerfahrer hatten keine Schuld am Unfall.

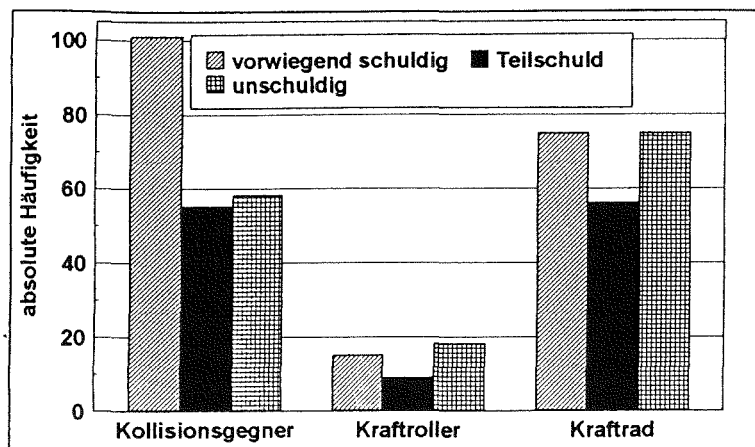


Bild 14. Unfallschuld der Beteiligten (DEKRA-Datenbank)

In diesem Zusammenhang stellt sich die Frage nach der Vermeidbarkeit der Unfälle und inwieweit die Beteiligten darauf hätten Einfluß nehmen können. Zur Beantwortung dieser Frage sind drei Kategorien definiert worden: Als „leicht vermeidbar“ wurde ein Unfall eingestuft, wenn eindeutig ein Verstoß gegen die Straßenverkehrsordnung (StVO) vorlag. Als „nicht vermeidbar“ wurden alle Unfälle eingestuft, bei denen eindeutig kein Verstoß gegen die StVO vorlag. Für alle anderen Fälle wurde die Zuordnung „schwer vermeidbar“ gewählt. Diese Einteilung erfolgte nach Würdigung der jeweils aus den Fallbeschreibungen bekannten Umstände des Unfallgeschehens ohne rechtliche Relevanz für die Beteiligten. Von den Gegnern des motorisierten Zweirades hätten 86 den Unfall „leicht vermeiden“ können, wenn sie die Regeln der StVO beachtet hätten, Bild 15. Entsprechend hätten 46 Unfälle vom Kraftradfahrer und 13 vom Kraftrollerfahrer „leicht vermieden“ werden können. Nicht vermeidbar waren rund 21 Unfälle für den Gegner, 30 für den Kraftrad- und 15 für den Kraftrollerfahrer.

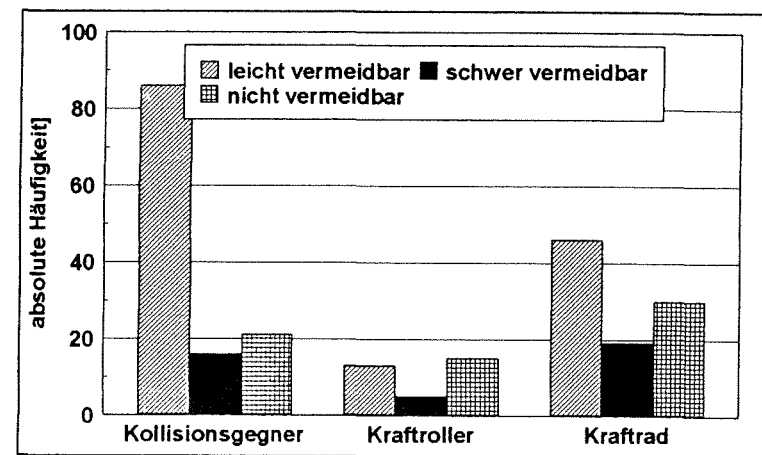


Bild 15. Vermeidbarkeit des Unfalls für die Beteiligten (DEKRA-Datenbank)

In Bild 16 ist der Bewegungszustand der Krafträder und Kraftroller unmittelbar vor Kollision dargestellt. Die meisten Fahrzeuge kollidierten in aufrechter Bewegung. Etwa 20% der Krafträder und 18% der Kraftroller kollidierten auf der Seite rutschend mit dem Unfallgegner. Circa 10% der Krafträder kollidierten in Schräglage.

Von 324 Aufsassen war die Verletzungsschwere bekannt. Die zugehörigen Verteilungen der Getöteten, Schwer-, Leicht- und Unverletzten ist in Bild 17 dargestellt. Auf den Kraftrollern $\leq 80 \text{ cm}^3$ waren gleich viele getötete wie schwerverletzte Aufsassen und fast ebenso viele leichtverletzte Aufsassen gegeben. Bei den übrigen Arten der motorisierten Zweiräder (mit Ausnahme der Mofas) waren jeweils die Schwerverletzten am häufigsten.

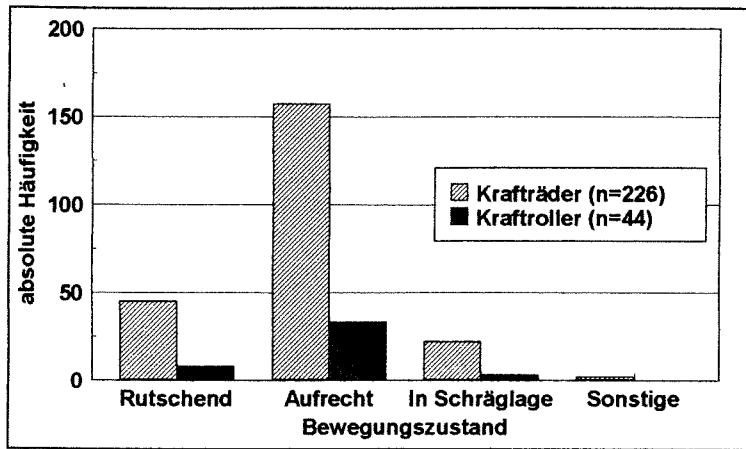


Bild 16. Bewegung der Krafträder und Kraffroller vor Kollision (DEKRA-Datenbank)

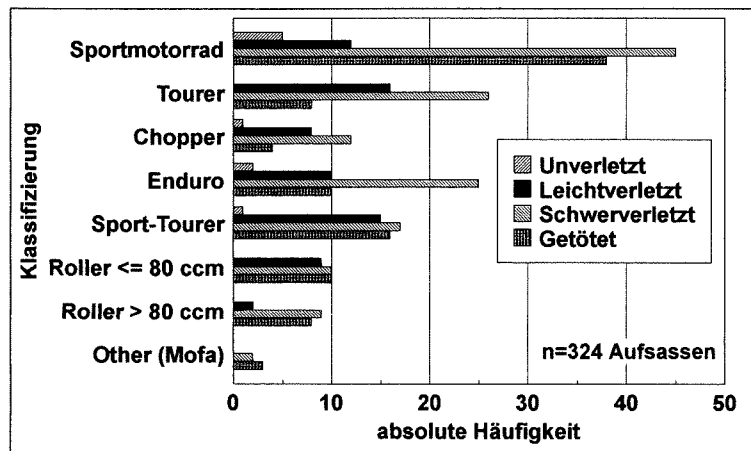


Bild 17. Verletzungsschwere der Aufsassen der verschiedenen Arten motorisierter Zweiräder (DEKRA-Datenbank)

Aus den in **Bild 17** dargestellten Häufigkeiten lassen sich für die einzelnen Arten der motorisierten Zweiräder die jeweiligen Anteile der unverletzten, getöteten, schwerverletzten bzw. leichtverletzten Aufsassen bestimmen, **Bild 18**. Diese Anteile geben entsprechende Risiken wieder. Mit den geringsten Anteilen der getöteten Aufsassen ist demnach die passive Sicherheit von Tourern, Choppern und Enduros als relativ günstig einzustufen. Hinweise auf wenig passive Sicherheit geben die großen Anteile der getöteten Aufsassen bei den Mofas, Kraftrollern > 80 cm³ und Sportmotorrädern.

In diesem Zusammenhang sei daran erinnert, daß die passive Sicherheit der Motorrad-Aufsassen auch von ihrer Schutzbekleidung abhängt, und daß die Schwere der Verletzungen bei gleicher mechanischer Belastung vom Alter und von der körperlichen Konstitution der Aufsassen beeinflusst wird. Insofern ergeben sich die in Bild 18 erkennbaren Verletzungs- und Tötungsrisiken nicht allein aus den Eigenschaften der motorisierten Zweiräder selbst, sondern sind auch von ihren Aufsassen beeinflusst.

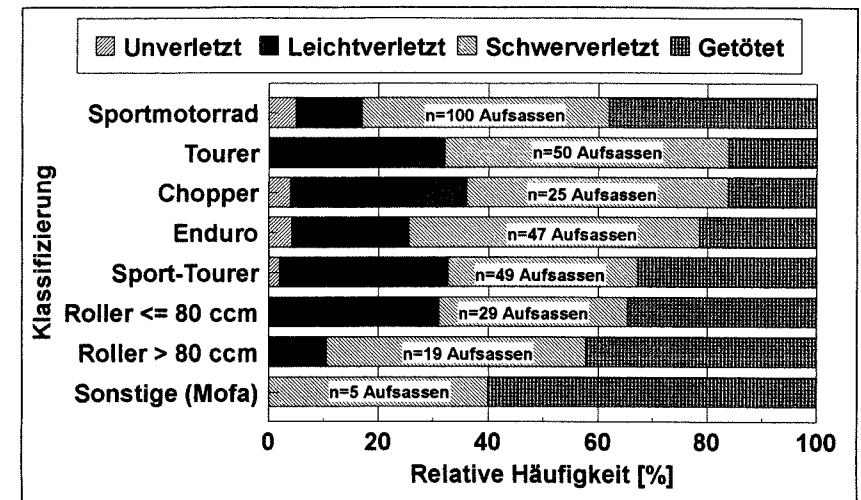


Bild 18. Anteile der getöteten, schwer- und leichtverletzten Aufsassen auf den verschiedenen Arten motorisierter Zweiräder (DEKRA-Datenbank)

Bei weitergehenden Bewertungen der Verletzungsschwere müssen auch die zugehörigen Kollisionsgeschwindigkeiten beachtet werden, **Bild 19**. Wie allgemein zu erwarten, liegt für jede Art der motorisierten Zweiräder die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit der Unfälle mit getöteten Aufsassen über der mittleren Kollisionsgeschwindigkeit der Unfälle mit schwerverletzten Aufsassen. Ebenso liegt bei allen Arten der motorisierten Zweiräder die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit der Unfälle mit leichtverletzten Aufsassen unter der mittleren Kollisionsgeschwindigkeit der Unfälle mit schwerverletzten Aufsassen.

Für die Unfälle mit getöteten Aufsassen sind die mittleren Kollisionsgeschwindigkeiten bei den Sportmotorrädern, Tourern und Choppern mit Werten um 80 km/h am größten. Bei den Sport-Tourern betrug die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit der getöteten Aufsassen 76 km/h und bei den Kraftrollern > 80 cm³ Hubraum 75 km/h. Die getöteten Enduro-Aufsassen hatten im Mittel eine Kollisionsgeschwindigkeit von 61 km/h.

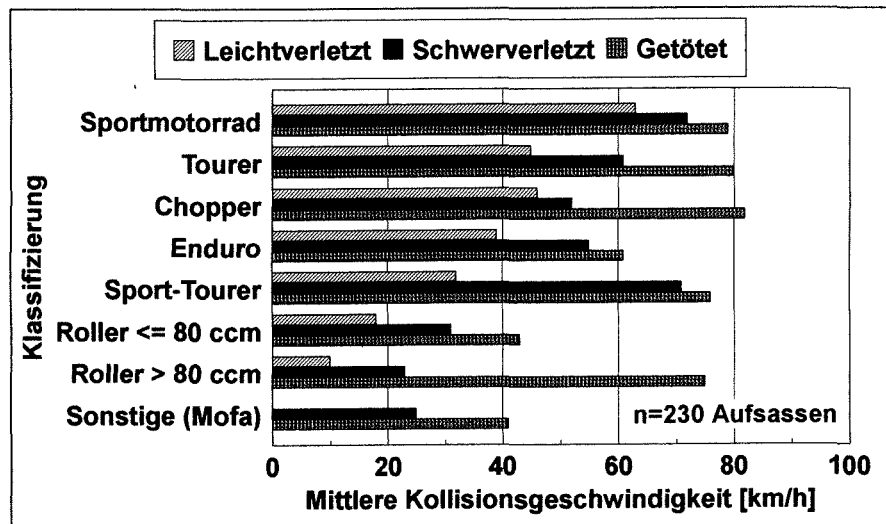


Bild 19. Mittlere Kollisionsgeschwindigkeiten der motorisierten Zweiräder in Abhängigkeit von der Verletzungsschwere ihrer Aufsassen (DEKRA-Datenbank)

Mit der mittleren Kollisionsgeschwindigkeit 43 km/h führen die getöteten Aufsassen der Kraftroller ≤ 80 cm³ Hubraum deutlich langsamer als die Aufsassen der Kraftroller und Kraftroller mit mehr als 80 cm³ Hubraum. Mit 41 km/h war die mittlere Kollisionsgeschwindigkeit der getöteten Mofa-Aufsassen am geringsten. Dies entspricht einerseits den geringen Motorleistungen dieser Zweiräder, weist aber andererseits auf unzulässige Manipulationen am Antrieb dieser Fahrzeuge hin.

Für die Verbesserung der passiven Sicherheit der verschiedenen Arten motorisierter Zweiräder werden auch unterschiedliche Parameter maßgebend sein. Im Hinblick auf Crashtests wird z. B. anhand der in Bild 19 dargestellten Geschwindigkeiten deutlich, daß für die Aufsassen der Motorroller mit weniger als 80 cm³ Hubraum deutlich niedrigere Kollisionsgeschwindigkeiten relevant sind als für die Aufsassen der Motorräder.

Für die Art und Schwere der Aufsassenverletzungen ist weiterhin relevant, wie sie sich nach dem Beginn der Kollision bewegen und wogegen sie im weiteren Unfallablauf prallen. Hierzu enthält Bild 20 weitere Ergebnisse der DEKRA-Unfalldatenauswertungen. In den meisten Fällen fand sowohl bei den Kraftroller- als auch bei den Kraftroller-Aufsassen ein Anprall am Kollisionsgegner statt. Am zweithäufigsten rutschten die Kraftroller-Aufsassen über die Fahrbahn und die Kraftroller-Aufsassen gelangten im freien Flug in ihre Endlage. Das Rutschen über die Fahrbahn kam bei den Kraftroller-Aufsassen am dritthäufigsten vor. Die Kraftroller-Aufsassen prallten

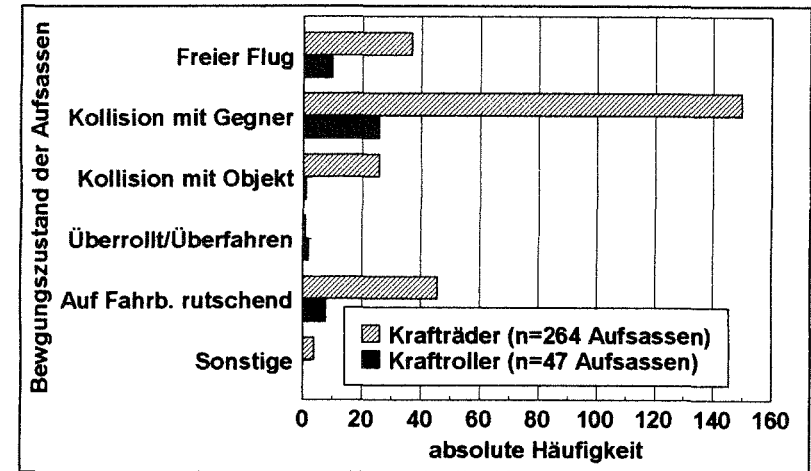


Bild 20. Bewegung der Aufsassen der motorisierten Zweiräder unmittelbar nach Kollision (DEKRA-Datenbank)

am vierthäufigsten gegen ein Hindernis (in der Regel am Fahrbahnrand), bei den Aufsassen der Kraftroller war dies selten. Selten war auch das Überrollen der Kraftroller- und Kraftroller-Aufsassen durch den Gegner.

Ursache der festgestellten Aufsassen-Verletzungen war am häufigsten der Anprall am Gegner, Bild 21. Am Tank oder an den Fußrasten des eigenen Fahrzeuges ver-

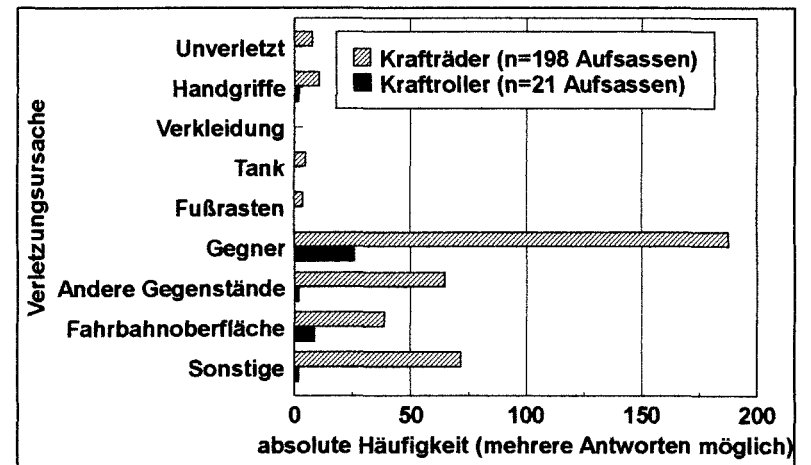


Bild 21. Verletzungsursache der Aufsassen der motorisierten Zweiräder (DEKRA-Datenbank)

letzten sich nur die Aufsassen der Krafträder. Auch die Lenker der Krafträder und Kraftrroller verursachten Verletzungen. Sowohl bei den Aufsassen der Krafträder als auch der Kraftrroller wurden häufig Verletzungen durch die Straßenoberfläche festgestellt.

Über die verletzten Körperteile der Aufsassen der motorisierten Zweiräder gibt die in **Bild 22** dargestellte Verteilung Aufschluß. Sowohl bei den Aufsassen der Krafträder als auch bei denen der Kraftrroller wurde überwiegend der Kopf verletzt. Er ist damit nach wie vor trotz Helm erheblich verletzungsgefährdet.

Bei den Kraftrroller-Aufsassen sind die Knie ebenfalls erheblich verletzungsgefährdet, gefolgt von den Unter- und Oberschenkeln. Weiterhin wurden die Kraftrroller-Aufsassen an Nacken, Fuß/Fußgelenk, Abdomen, Rücken, Unterkörper/Hüfte und Unterarm verletzt. Verletzungen von Gesicht, Schulter, Oberarm, Ellenbogen und Brust kamen bei den Kraftrroller-Aufsassen nicht vor.

Bedeutsam für die Aufsassen von Krafträdern sind Verletzungen an Knie, Hand/Handgelenk, Brust, Hals, Unterschenkel, Fuß und Fußgelenk, Unterkörper/Hüfte, Schulter und Oberschenkel. Immerhin sechs Motorradaufsassen überstanden den Unfall ohne Verletzungen.

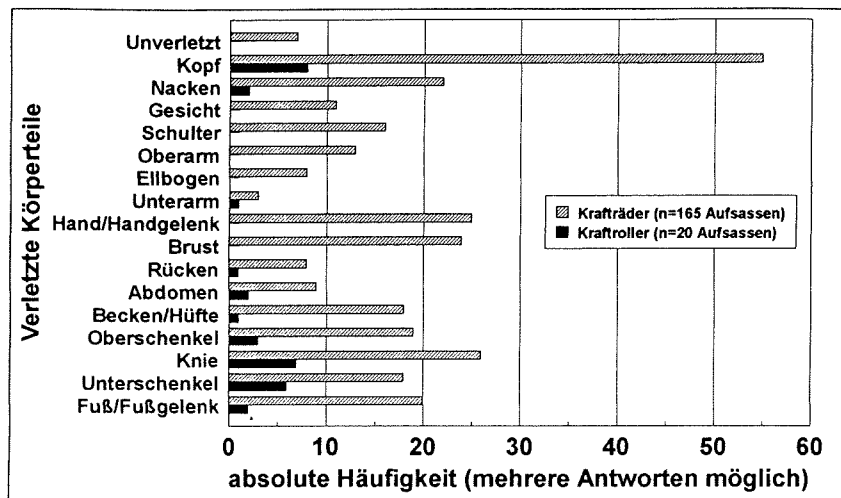


Bild 22. Verletzte Körperteile der Aufsassen motorisierter Zweiräder (DEKRA-Datenbank)

Weiterhin wichtig ist der Aufprallort am Kollisionsgegner, **Bild 23**. Der Hauptaufprallort für die Kraftradfahrer liegt mit 26 Fällen und für Kraftrrollerfahrer mit acht Fällen im Motorhaubenbereich des Kollisionsgegners. Bei ebenfalls 26 Unfällen hatten

die Kraftradfahrer Kontakt mit dem Kotflügel des Gegners, was nur bei zwei der Kraftrrollerfahrer festgestellt werden konnte. 17 Kraftradfahrer und fünf Kraftrrollerfahrer kollidierten mit dem seitlichen Glasbereich des Gegners. Dies rührt von der bauartbedingten Sitzhaltung her. Sowohl auf dem Kraftrad wie auf dem Kraftrroller befinden sich Oberkörper und Kopf der Aufsassen in Höhe des seitlichen Glasbereiches eines konventionellen Pkws. Elf Kraftradfahrer und zwei Kraftrrollerfahrer hatten Kontakt mit dem verletzungskritischen Bereich der Dachkante. Bei 84 Unfällen mit Krafträdern und 14 Unfällen mit Kraftrrollern hatten die Aufsassen keinen Kontakt mit dem Kollisionsgegner.

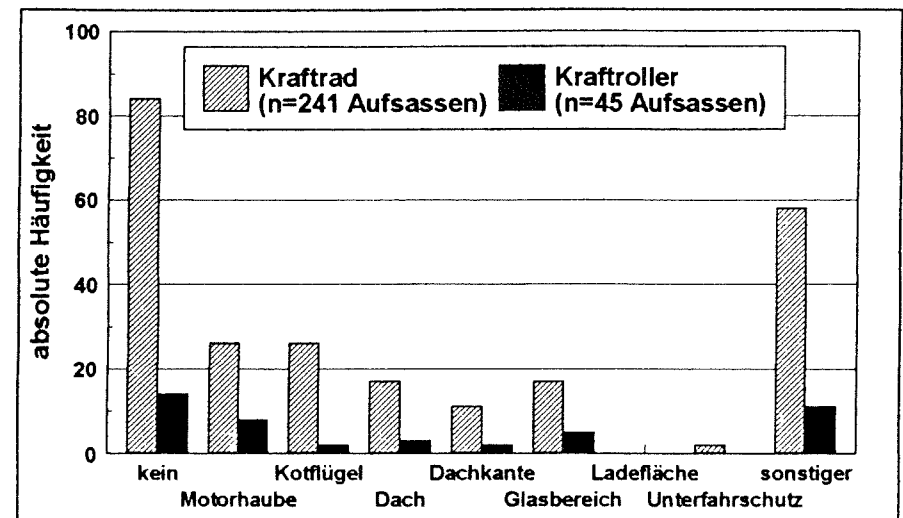


Bild 23. Aufprallort der Aufsassen motorisierter Zweiräder am Kollisionsgegner (DEKRA-Datenbank)

In **Bild 24** sind alle Unfälle in verschiedene Kopfaufprallzonen der Aufsassen eingeteilt worden. Diese sind der Stirn-, Visier-, Kinn-, Seiten- und Hinterkopfbereich. Bei der überwiegenden Zahl der Unfälle fand ein seitlicher Anprall statt (29 Kraftrad- und neun Kraftrrolleraufsassen). Dieser Kontakt entsteht häufig als Folge eines seitlichen Sturzes. Eine relativ hohe Anzahl von sechs Aufsassen der Kraftrrollerfahrer prallte mit der Stirn gegen den Personenkraftwagen oder andere Gegner. Zwei der Rollerfahrer trafen im Visierbereich, einer im Kinn- und einer im Hinterkopfbereich auf. Acht Rolleraufsassen hatten keinen Kopfanprall. Bei den Kraftradfahrern sieht die Verteilung ein wenig anders aus. Von diesen schlugen 22 mit der Stirn, elf im Visierbereich, acht mit dem Kinn und fünf mit dem Hinterkopf auf.

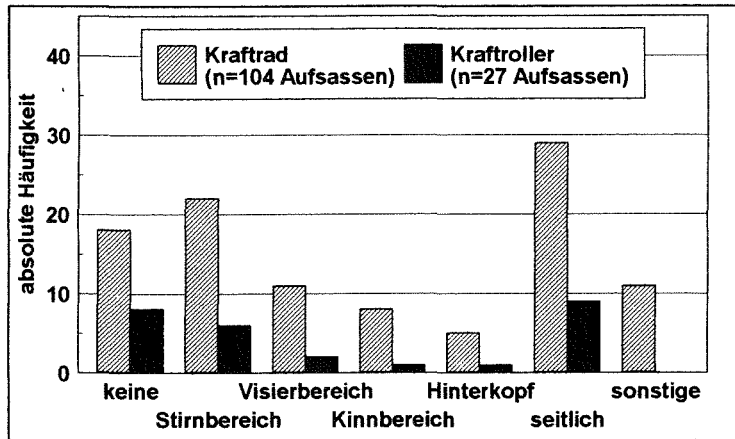


Bild 24. Kopfaufprallzonen der Zweirad-Aufsassen (DEKRA-Datenbank)

Bei den meisten Zweiradunfällen prallen die Aufsassen an den Pkw. Wie aus Bild 25 ersichtlich, kommen jedoch auch Anstöße an anderen Gegenständen vor, wenn die Aufsassen nach einem Sturz auf der Fahrbahn rutschen. Meist erfolgt im Auslauf kein solcher Anstoß. Von den Kraftradfahrern hatten 179 und von den Kraftrollerfahrern 40 keinen Anprall an einem Gegenstand. Trat dieser jedoch auf, so war das Objekt bei den Kraftradfahrern in 16 Fällen eine Schutzplanke, in sechs Fällen ein Schutzplankenpfosten und in acht Fällen eine Mauer. Die restlichen 30 Fälle verteilen sich auf andere Objekte wie Straßenschilder, Bürgersteige, Bäume und sonstige Hindernisse. Die Aufsassen der Kraftroller hatten in nur insgesamt fünf der 45 Fälle Kontakt mit Objekten.

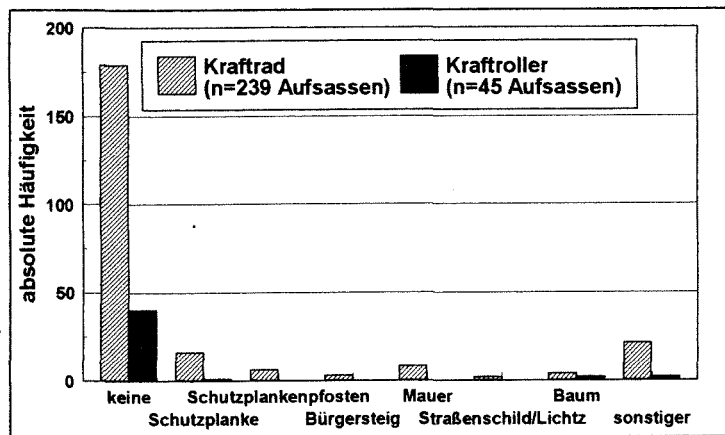


Bild 25. Aufprallorte der Aufsassen an anderen Gegenständen (DEKRA-Datenbank)

3 ANSTOSSKONSTELLATIONEN DER MOTORRADUNFÄLLE IN DER DEKRA-DATENBANK VERGlichen MIT ISO 13232

Weltweit schaffte die Norm ISO 13232 erstmals Rahmenbedingungen für einheitliche und vergleichbare Unfalluntersuchungen und Crashtests zur Analyse der passiven Sicherheit von Motorrädern [5]. Diese von der ISO/TC22/SC22/WG22 entwickelte Norm ist im Jahr 1996 erschienen und wird von Motorrad- und Rollerherstellern im Rahmen der Entwicklung neuer Fahrzeuge bereits berücksichtigt.

Zur Definition der Testmatrix wurden 501 Motorradunfälle aus USA (Los Angeles) und Deutschland (Hannover) analysiert. Hierbei sind 25 Anstoßkonstellationen Motorrad gegen Personenkraftwagen in Abhängigkeit vom Anstoßpunkt am Personenkraftwagen (Ziffer 1) und vom Anstoßpunkt am Motorrad (Ziffer 2) sowie vom Anstoßwinkel (Ziffer 3) definiert worden, Bild 26. Daraus wurden die sechs

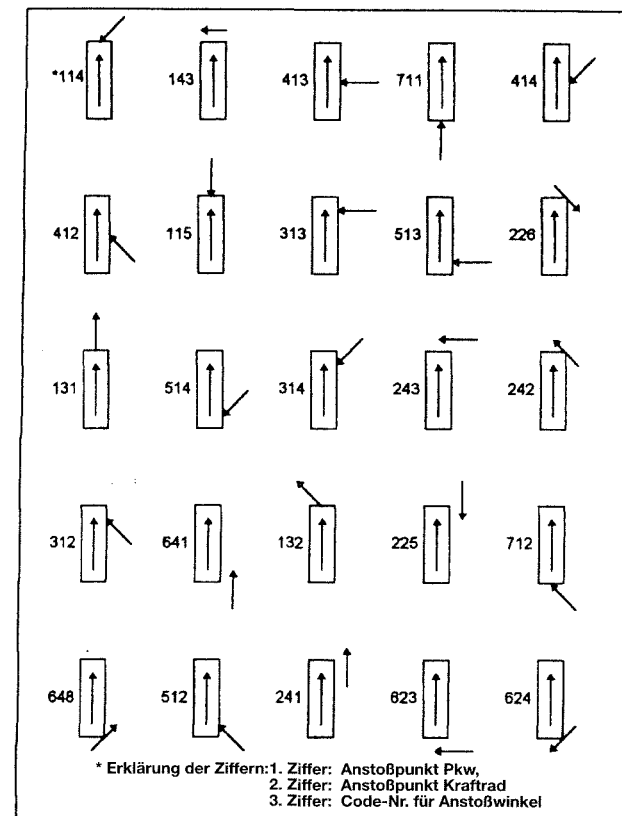


Bild 26. Definition der Anstoßkonstellationen Motorrad/Personenkraftwagen nach ISO 13232

Konstellationen 114, 143, 225, 412, 413 und 414 für durchzuführende Full-Scale Crashtests ausgewählt, **Bild 27**. Für die übrigen Anstoßkonstellationen schlägt die Norm numerische Crashtests vor.

Mit einer Teilmenge der Motorradunfälle in der DEKRA-Datenbank (nur Unfälle mit Kollision Motorrad gegen Personenkraftwagen) wurden die Unfalluntersuchungen nach ISO 13232 nachvollzogen. Die relativen Häufigkeiten der Anstoßkonstellationen bei diesen Unfällen im DEKRA-Untersuchungsgut sind in **Bild 28** den entsprechenden relativen Häufigkeiten nach ISO 13232 gegenübergestellt.

Sowohl nach ISO 13232 als auch im DEKRA-Datenbestand kommt die Anstoßkonstellation 114 (schräger frontaler Motorradanstoß gegen die Front des Personenkraftwagens) mit 12,3 bzw. 13,0% am häufigsten vor. Die Anstoßkonstellation 143 (rechtwinkliger Anstoß mit der Front des Personenkraftwagens an der Seite des Motorrads) ist nach ISO 13232 mit 10,5% am zweithäufigsten, im DEKRA-Untersuchungsgut jedoch nur in 3,3% der Fälle zu finden. Nach ISO 13232 kommt die Anstoßkonstellation 413 (rechtwinkliger frontaler Anstoß des Motorrades an der Seite des Personenkraftwagens) mit 10,0% am dritthäufigsten vor,

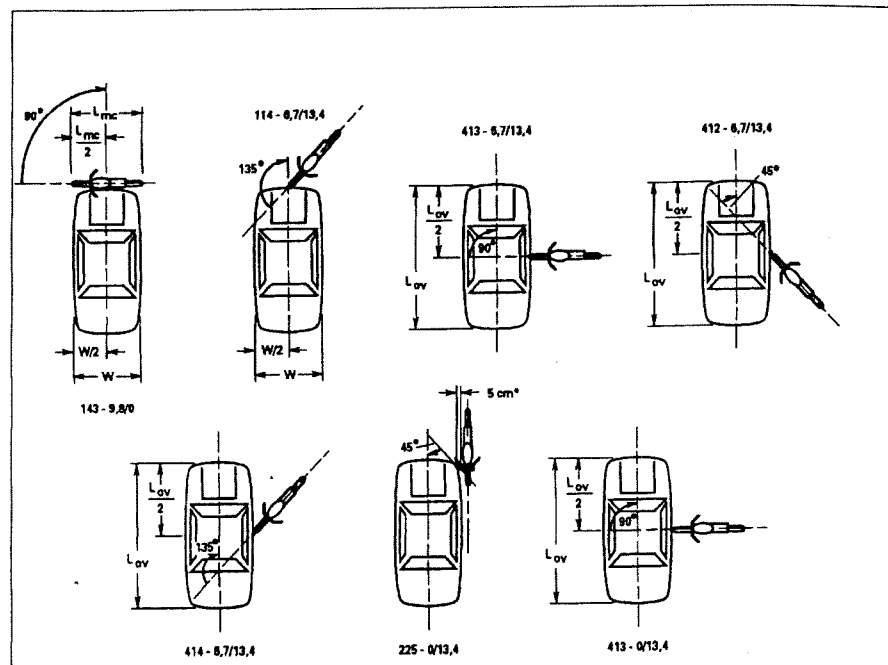


Bild 27. Anstoßkonfigurationen der motorisierten Zweiräder gegen Personenkraftwagen, die nach ISO 13232 für Full-Scale Crashtests definiert sind

ähnlich wie bei den DEKRA-Fällen, wo sie mit 10,8% am zweithäufigsten zu finden ist. Mit der gleichen Häufigkeit (10,8%) enthält die Fallsammlung von DEKRA die Konstellation 226 (schräger Anstoß mit der Front des Personenkraftwagens an der Seite des Motorrades), wohingegen diese Konstellation mit 4% bei den Fällen nach ISO 13232 nur von untergeordneter Bedeutung ist.

Angesichts der noch geringen Fallzahlen wurde auf eine Aufteilung der Anstoßkonstellationen nach Krafträdern und Kraftrollern verzichtet. Vor dem Hintergrund möglicherweise gegebener Unterschiede des Unfallgeschehens in Deutschland und den USA – insbesondere bei schweren Unfällen – sollten die anhand der in ISO 13232 publizierten Unfalldaten erkennbaren Prioritäten weiter diskutiert werden.

Die nach ISO 13232 für aufwendige Full-Scale Crashtests vorgeschlagenen Anstoßkonstellationen entsprechen nicht in allen Fällen der im zugehörigen Untersuchungsgut nach der Häufigkeit gegebenen Rangreihe (vergleiche hierzu die Rangreihen-Positionen der Anstoßkonstellationen 711 und 225 in Bild 28). Die Konstellation 711 (Anstoß mit der Front des Motorrades am Heck des Personenkraftwagens) kommt im ISO-13232-Datenmaterial am dritthäufigsten vor, wird jedoch für Full-Scale Crashtests nicht verwendet. Die für Full-Scale Crashtests verwendete Konstellation 225 (streifende Gegenverkehrskollision) kommt in der Rangreihe nach ISO 13232 erst auf Platz 19 vor.

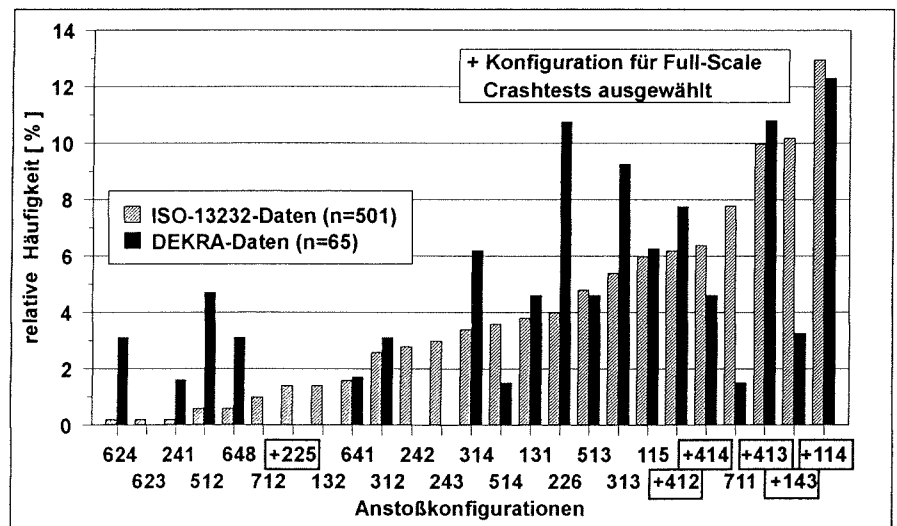


Bild 28. Relative Häufigkeiten der Anstoßkonfigurationen motorisierter Zweiräder gegen Personenkraftwagen in der ISO-13232-Datenbank und in der DEKRA-Datenbank

Zu diskutieren sind auch die in ISO 13232 benannten Kollisionsgeschwindigkeiten. Diese betragen für den Personenkraftwagen 0 m/s, 6,7 m/s (ca. 24 km/h) und 9,8 m/s (ca. 35 km/h) sowie für das Motorrad 0 m/s und 13,4 m/s (ca. 48 km/h). Stoßen bei den Full-Scale Crashtests zwei bewegte Fahrzeuge zusammen, ist das Motorrad stets doppelt so schnell wie der Personenkraftwagen. Dies kann mit den auf verfügbaren Crashanlagen darstellbaren Geschwindigkeiten zusammenhängen und somit aus den Anforderungen der Versuchspraxis begründet sein. Im Vergleich mit den bisher vorliegenden DEKRA-Daten erscheinen jedoch 48 km/h einerseits für schwere Motorrad-Unfälle als zu gering und andererseits für Unfälle mit Kraftrollern als zu groß.

4 FULL-SCALE CRASHTESTS NACH ISO 13232

Während der Qualifizierung des DEKRA-Crashzentrums zur Durchführung von instrumentierten Full-Scale Crashtests nach ISO 13232 im Auftrag von Fahrzeugherstellern hat die DEKRA-Unfallforschung fünf eigene Tests durchgeführt, deren Ergebnisse für Publikationen zur Verfügung stehen. Dargestellt worden sind dabei die Anstoßkonstellationen 414, 413 und 412. Bei zwei Versuchen kollidierte das Motorrad mit einem stehenden Personenkraftwagen, bei zwei weiteren Versuchen wurde ein bewegter Personenkraftwagen vom Motorrad angestoßen. Der fünfte Versuch erfolgte mit einem Kraftroller, der gegen einen bewegten Personenkraftwagen stieß.

Bild 29 gibt einen Überblick zu den fünf durchgeführten Full-Scale Crashtests. Enthalten sind die Kollisionsgeschwindigkeiten der Fahrzeuge und die Anstoßkonfigurationen mit den zugehörigen Code-Nummern nach ISO 13232 sowie Informationen zum Kopfanprall und zur Bewegungsbahn des Aufsassen.

Um den Anforderungen der Norm gerecht zu werden, war es notwendig, einen früher vorwiegend für Zwecke der Unfallrekonstruktion eingesetzten Motorrad-schlitten (siehe [12]) grundlegend zu überarbeiten. Die Aufnahme des Zweirades mit daraufsitzen dem Dummy im Schlitten ist flexibler gestaltet worden. Zur Erreichung einer stoßfreien Abbremsung wurden Stahldorne mit als sogenannte „Oliven“ ausgebildeten vorderen freien Enden angebaut. Zu Beginn des Crashtests wird das motorisierte Zweirad über den Schlitten geführt und mit geregelter Antriebskraft auf die vorgegebene Geschwindigkeit beschleunigt. Dabei wirken die Kreismomente der sich ständig drehenden Räder des Zweirades stabilisierend. Danach folgt eine Phase mit konstanter Geschwindigkeit, wonach der Schlitten abgebremst wird. Während dieser Abbremsung, bei der die Bewegung des Zweirades nicht mehr gestört werden darf, dringen die „Oliven“ in ortsfest montierte Kunststoffhülsen ein. Die lichte Weite dieser Hülsen nimmt dabei ständig ab, wodurch die den Schlitten bremsende Reibkraft kontinuierlich gesteigert wird, bis

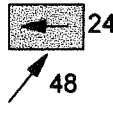
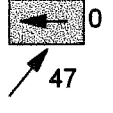
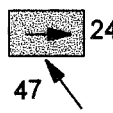
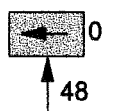
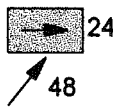
Versuchsnummern	Konfiguration	Kopfanprall / Bewegungsbahn
SH 95.32 MuZ Skorpion Tour	414 	kein Kopfanprall am Pkw Abgleiten über Heckklappe
SH 95.33 Honda CB 450 N	(414) 	Kopfanprall an Dachkante Abgleiten über Seitenwand
SH 96.20 MuZ Skorpion Tour	414 	Kopfanprall an Seitenwand Abgleiten über Seitenwand
SH 96.21 Suzuki GSX 400 E	413 	Kopfanprall an Seitenscheibe Eindringen in den Fahrgastraum
SH 97.33 Herchee Cat 50 Kraftroller	412 	Kopfanprall an Dachkante Abgleiten über Seitenwand

Bild 29. Überblick von fünf Full-Scale Crashtests Motorrad und Kraftroller gegen Pkw, durchgeführt im DEKRA-Crashzentrum in Anlehnung an ISO 13232

schließlich der gesamte Schlitten zum Stillstand gekommen ist. Zu Beginn des Abbremsvorganges werden über die Trägheit von Laufgewichten die seitlichen Führungen der Räder des motorisierten Zweirades mechanisch freigeschaltet. Bis zur Kollision bewegt sich nach dem Stillstand des Schlittens das motorisierte Zweirad samt Aufsassen frei weiter. Vor dem Zurücksetzen des Schlittens werden die Kunststoffhülsen demontiert. Sie sind nach einer Regenerationsphase wiederverwendbar. Eine Variation des Olivendurchmessers ermöglicht entsprechende Anpassungen der Verzögerungen an die jeweiligen Versuchsanforderungen. **Bild 30** zeigt den Schlitten mit Auslöseeinheit und energieabsorbierender Bremsvorrichtung.

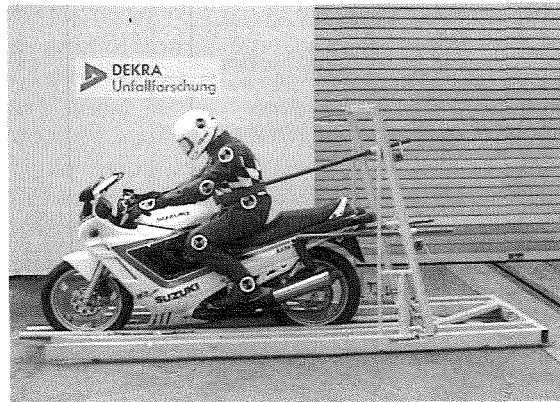


Bild 30. Motorradschlitten mit energieabsorbierender Bremse und Auslöseeinheit

Die Auswahl der Motorräder erfolgte nach der Sitzposition und der Größe des Kraftrades. Diese sollten bei allen Tests etwa gleich sein, um so die Versuchsergebnisse entsprechend interpretieren zu können. Es handelt sich bei allen vier Krafträdern um Tourer. Hierauf ist die Sitzposition des Fahrers relativ aufrecht. Angestoßene Personenkraftwagen waren VW Golf I und Golf II. Weil auf den nach ISO 13232 vorgeschriebenen Motorrad-Dummy aus Termin- und Kostengründen verzichtet werden mußte, kam als Motorradaufsasse ein Dummy Hybrid III (50% Mann, stehende Puppe) zum Einsatz.

Bild 31 zeigt als Beispiel eine Kollision zweier bewegter Fahrzeuge. Dabei stieß eine MuZ Skorpion Tour mit 48 km/h Geschwindigkeit gegen die B-Säule des 24 km/h schnellen VW Golf I. Die Aufsassenbewegungen wurden per Filmauswertung bestimmt, als Meßwerte liegen die Oberschenkelkräfte vor. **Bild 32** zeigt die Bewegungsabläufe und die Dummybelastungen in Kopf, Brust und Oberschenkeln beim Anstoß eines Motorrades Honda CB 450 N mit 47 km/h Geschwindigkeit gegen den stehenden Golf I. Die beiden in Bild 31 und 32 dargestellten Versuche entsprechen nach ISO 13232 der Konfiguration 414.

Beim Anstoß der MuZ Skorpion Tour am bewegten Golf I (Bild 31) stieß der Dummy zum Zeitpunkt $t = 124$ ms nach dem Anstoßbeginn des Motorrad-Vorderrades zuerst mit der linken Schulter am Dachrahmen des Golf an. Vom Kollisionsbeginn bis zu diesem Zeitpunkt hatte das Motorrad, bezogen auf seinen Schwerpunkt, einen Weg von ca. 70 cm zurückgelegt. Der Golf legte durch seine Eigengeschwin-

digkeit im gleichen Zeitintervall ca. 80 cm Weg zurück. Nach dem Schulteranprall glitt der Dummy über die Heckklappe des Golf hinweg. Ein Anprall des behelmten Dummykopfes an der Karosserie des Golf erfolgte nicht. Die in den Oberschenkeln gemessenen Kräfte sind mit $-4,6$ kN (Druck) bzw. $7,5$ kN (Zug) zwar erhöht, jedoch deutlich unterhalb des biomechanischen Grenzwertes 10 kN.

Die Auswertung der Dummy-Bewegung unter gleichem Anstoßwinkel, jedoch mit stehendem Fahrzeug, Bild 32, zeigt, daß der Dummy-Kopf hier bei $t = 126$ ms nach dem Beginn der Kollision gegen die Dachkante des Golf prallt. Der an der Kollisionsstelle stehende Golf behindert die weitere Bewegung des Dummys massiv, so daß diesem kein zusätzlicher Auslaufweg zur Verfügung steht. So wird nur ein geringer Teil der Anstoßenergie des Dummys in Gleitbewegung umgewandelt. Trotzdem liegen die in Kopf und Brust gemessenen Beschleunigungsbelastungen unterhalb ihrer zugehörigen biomechanischen Grenzwerte ($HIC = 1000$, a_{3ms} -Kopf = 80 g, a_{3ms} -Brust = 60 g, $SI = 60$ g). Die Belastung des linken Oberschenkels $-10,3$ kN (Druck) liegt im Bereich des zugehörigen Grenzwertes 10 kN.

Bild 33 zeigt einen weiteren Versuch mit zwei bewegten Fahrzeugen, der unter einem Kollisionswinkel von 135° durchgeführt wurde. Eine 47 km/h schnelle MuZ Skorpion Tour stieß mit dem Vorderrad in Höhe der B-Säule gegen einen VW Golf II, der zu diesem Zeitpunkt mit der Geschwindigkeit 24 km/h fuhr. Der Anstoß erfolgte hier auf der rechten Seite des Personenkraftwagens. Wegen der Symmetrie entspricht auch dieser Versuch der Konstellation 414 nach ISO 13232 und ist somit den in Bildern 31 und 32 dargestellten Versuchen direkt vergleichbar.

Trotz der gleichen Anstoßkonstellation mit bewegtem Fahrzeug wie in Bild 33 findet jedoch bei dem in Bild 35 dargestellten Versuch ein Anprall des behelmten Dummy-Kopfes an der Karosserie unterhalb des hinteren Seitenfensters des Golf II statt. Dies hängt mit der starken Aufwärtsbewegung des Motorradhecks zusammen. Der Golf legt in der Zeit vom Kollisionsbeginn bis zum Kopfanprall bei $t = 158$ ms einen Weg von ca. 1 m zurück. Bezogen auf seinen Schwerpunkt legt in dieser Zeitspanne das Motorrad nur ca. 10 cm in Fahrtrichtung zurück. Somit ergibt sich keine Räumung der Kollisionsstelle durch den Golf. Beim Aufsteigen des Motorradhecks erfährt der Dummy eine entsprechende Kraft, die ihn um seine Querachse drehen läßt, so daß er kopfüber gegen den Golf prallt. In beiden Oberschenkeln des Dummys wurden mit $7,5$ und $10,0$ kN erhöhte Zugkräfte gemessen. Die gemessenen Kopfbelastungen liegen mit $HIC = 108$ und $a_{3ms} = 33$ g weit im unterkritischen Bereich. Im Gegensatz dazu liegen die Brustbelastungen mit $SI = 1042$ und $a_{3ms} = 90$ g über den zugehörigen biomechanischen Grenzwerten. Diese Belastung stammt vom Anprall der Dummybrust an die Gabelbrücke des Motorrades. Im weiteren Bewegungsablauf ab $t = 158$ ms gleitet der Dummy an der hinteren Seitenwand des Golf ab.

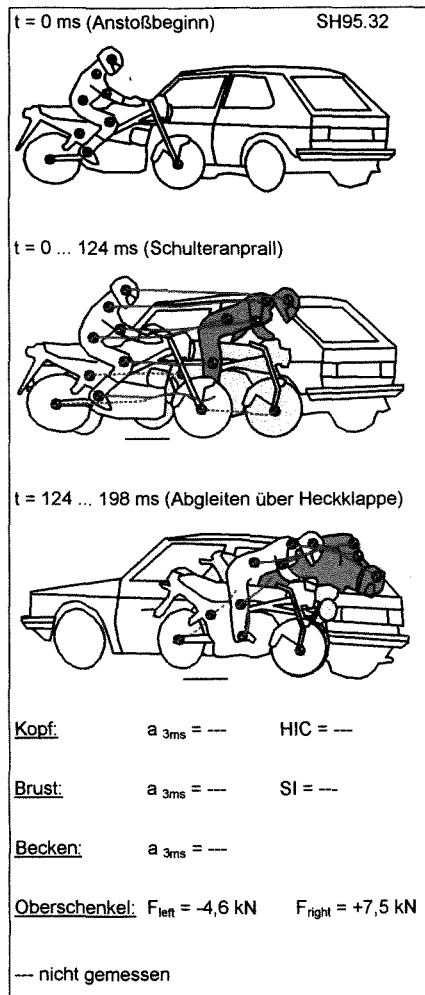


Bild 31. Ergebnisse eines Full-Scale Crash-tests mit bewegtem Motorrad gegen bewegten Pkw und gemessenen Oberschenkelbelastungen des Dummy (Konf. 414 in ISO 13232)

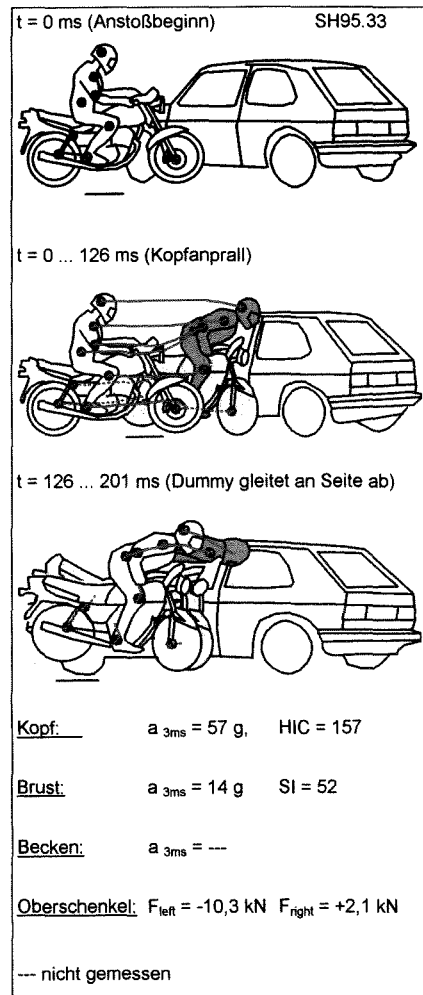


Bild 32. Ergebnisse eines Tests mit bewegtem Motorrad gegen stehenden Pkw und gemessenen Kopf-, Brust- und Oberschenkelbelastungen des Dummy (Konf. 414 in ISO 13232)

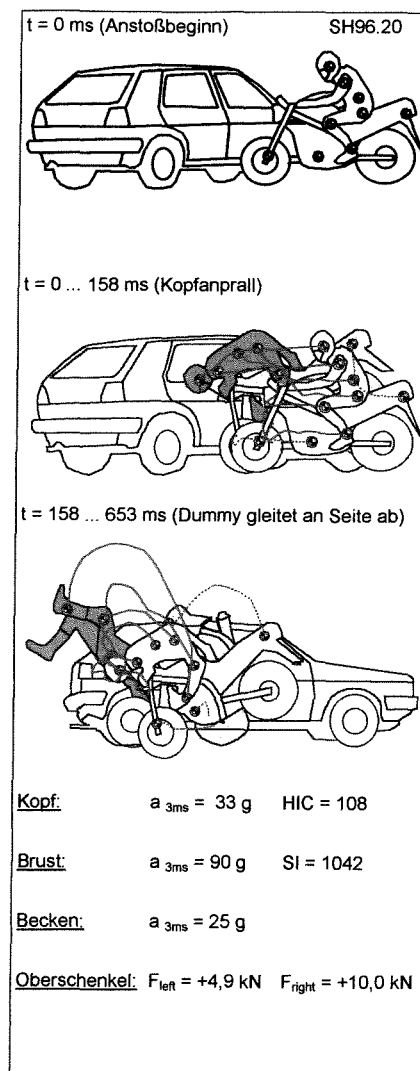


Bild 33. Ergebnisse eines Full-Scale Crash-tests mit bewegtem Motorrad gegen bewegten Pkw und gemessenen Belastungen des Dummy (Konfiguration 414 in ISO 13232)

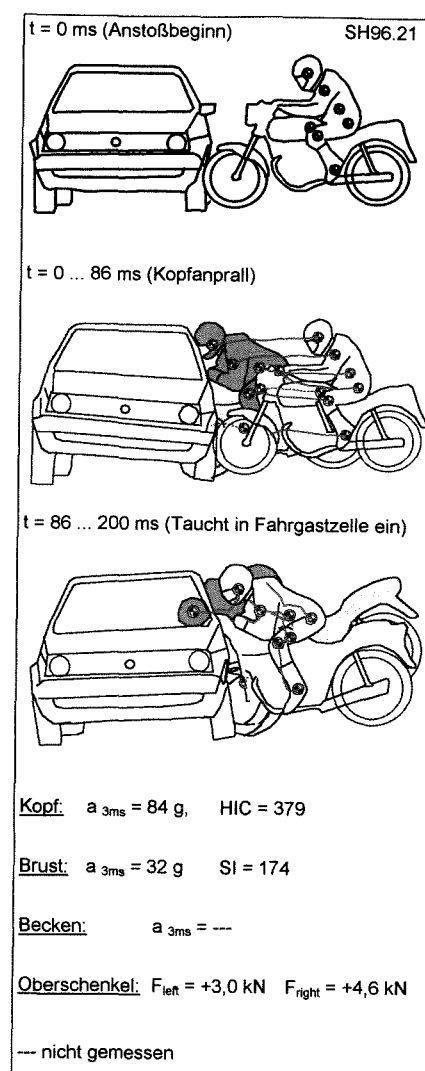


Bild 34. Ergebnisse eines Tests mit bewegtem Motorrad gegen stehenden Pkw und gemessenen Kopf-, Brust- und Oberschenkelbelastungen des Dummy (Konf. 413 in ISO 13232)

Der vierte Versuch, **Bild 34**, entspricht der Konfiguration 413 nach ISO 13232. Das Motorrad Suzuki GSX 400 E stößt mit 48 km/h Geschwindigkeit rechtwinklig an der B-Säule des stehenden Personenkraftwagens VW Golf II an. Im Vergleich zu den drei anderen Versuchen werden hier die Unterschiede zwischen 90° und 135° Kollisionswinkel deutlich. Bei dem rechtwinkligen Anstoß findet keinerlei Abgleiten statt und der Kopf des Dummies durchstößt bei $t = 126$ ms die Seitenscheibe des Golf II. Er dringt danach bis $t = 200$ ms etwa 30 cm tief in die Fahrgastzelle ein. Im weiteren Bewegungsablauf sackt der Dummy auf der angestoßenen Seite des Golf zu Boden. Der aus den Beschleunigungen im Dummykopf beim Anprall an der Scheibe ermittelte Wert HIC = 379 liegt zwar noch deutlich unter dem Grenzwert 1000. Der 3ms-Verzögerungswert liegt jedoch mit 84 g im Bereich des zugehörigen Grenzwertes 80 g. Die Brustbelastung liegt mit 32 g und einem SI-Wert von 174 weit unterhalb der zugehörigen Grenzwerte.

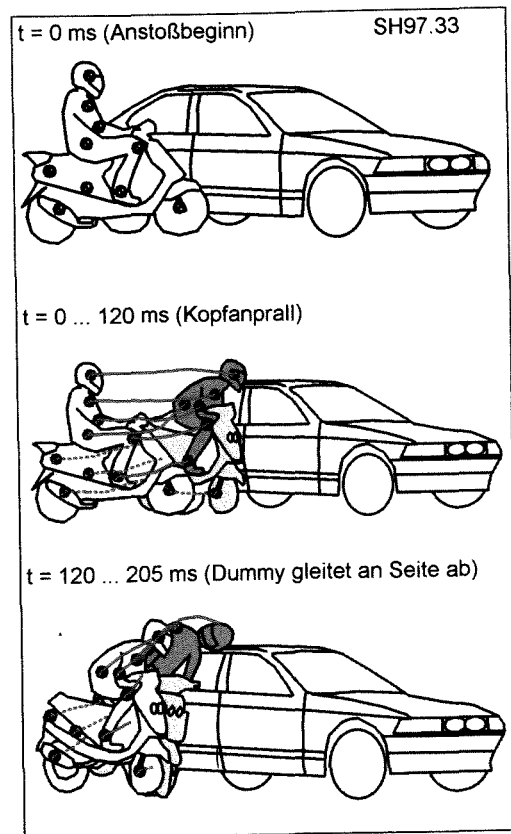


Bild 35. Ergebnisse eines Full-Scale Crashtests mit bewegtem Kraftroller gegen bewegten Pkw (Konf. 412 in ISO 13232)

Der mit dem Kraftroller durchgeführte Crashtest entspricht nach ISO 13232 der Konfiguration 412. Dabei fährt der Kraftroller Herchee Cat 50 mit 48 km/h unter einem Winkel von 135° in die Beifahrerseite eines mit 24 km/h fahrenden BMW 3er. Auf eine Instrumentierung des Dummies wurde bei diesem Versuch verzichtet. Für ein Studium der Bewegungsabläufe standen die Aufnahmen der High-Speed-Kameras zur Verfügung. Wie aus **Bild 35** ersichtlich, ähnelt die Bewegung des Dummies bis zum Kopfanprall bei $t = 120$ ms der des Dummies auf einem Tourer. Im Verlauf des Vorgeleitens auf der Sitzbank neigt sich der Oberkörper etwas nach vorne, so daß entsprechend der gegebenen Höhenverhältnisse ein Anprall des behelmten Dummy-Kopfes an der Dachkante des Pkws stattfindet. Im weiteren Verlauf gleitet der Dummy an der Seite des Pkws ab.

In Kenntnis der Bewegungsabläufe und gemessenen Dummybelastungen bei entsprechenden weiteren Tests, deren Ergebnisse bereits publiziert wurden ([1], [6], [8], [7], [13]), kann davon ausgegangen werden, daß bei allen fünf durchgeführten Full-Scale Crashtests ein im Bereich Tank/Lenkkopf installierter Motorrad-Airbag rechtzeitig zur Entfaltung hätte gebracht werden können. Damit wären die Aufsassenbewegungen günstig beeinflusst und direkte Anprallbelastungen von Kopf und Körper an der Karosserie des Personenkraftwagens abgefangen worden. Die vom Airbag unterstützte Vorwärts-Aufwärts-Bewegung des Dummies hätte den Dummy-Kopf über die Dachkante angehoben. Dadurch wäre ein insgesamt günstigerer Bewegungsablauf bis hin zur Einleitung einer im realen Unfallgeschehen in der Regel verletzungsärmeren Flug- bzw. Abgleitbewegung über das Dach des Personenkraftwagens hinweg entstanden.

Beinabweiser hätten zusätzlich bei den vier Tests mit Motorrädern zur Minderung von Oberschenkel- und Beinbelastungen beitragen können. Die Abhaltung der Beine vom Lenker des Motorrades hätte die positive Wirkung des Airbags unterstützen können. Somit wäre die Bewegung des Dummies nach dem Kollisionsbeginn insgesamt freier und damit weniger verletzungsbedrohend abgelaufen. Zur Beurteilung der möglichen Wirkungen entsprechender Elemente beim Versuch mit dem Motorroller liegen den Autoren bisher keine abgesicherten Erkenntnisse vor.

ZUSAMMENFASSUNG

1. Die Zahlen der in Deutschland bei Straßenverkehrsunfällen schwerverletzten und getöteten Motorradaufsassen sind bisher in den 90er Jahren nahezu konstant geblieben. Gleichzeitig hat im Motorradbestand die Zahl der zugelassenen Krafträder (Hubraum über 80 cm³) weiter deutlich zugenommen, während die Zahl der Leichtkrafträder (Hubraum 50 bis 125 cm³, Motorleistung nicht mehr als 11 kW) nahezu konstant geblieben ist. Ebenfalls zugenommen hat die Zahl der Kraftroller (insbesondere mit einem Hubraum ≤ 80 cm³).

2. Die Auswertung von 302 Unfällen motorisierter Zweiräder aus dem Bestand der DEKRA-Unfallforschung, die sich in den Jahren 1989 bis 1996 in Deutschland ereigneten, ergibt nach wie vor eine besondere Gefährdung des Kopfes der Fahrer von motorisierten Zweirädern sowie ihrer unteren Extremitäten (Fuß/Knöchel, Unterschenkel, Knie, Oberschenkel). Bei den Kraffrad-Aufsassen sind auch das Gesicht, die Schulter und die oberen Extremitäten (Hand/Handgelenk, Ellbogen, Oberarm) häufig verletzt, was bei den Aufsassen von Kraffrollern bisher nicht festgestellt werden konnte.

3. Mit der Norm ISO 13232 wurden erstmals weltweit einheitliche Rahmenbedingungen für vergleichbare Crashtests mit Motorrädern geschaffen, welche einige Motorrad- und Rollerhersteller bei der Entwicklung neuer Modelle bereits berücksichtigen. Die dort vorgeschlagenen Anstoßkonstellationen Motorrad/Personenkraftwagen sollten jedoch vor dem Hintergrund weiterer Analysen des realen Unfallgeschehens noch weiter diskutiert werden. So ist in ISO 13232 für Versuche mit bewegtem Motorrad als dessen Kollisionsgeschwindigkeit stets 13,4 m/s (ca. 48 km/h) genannt. Bisher durchgeführte Auswertungen aus dem Bestand der DEKRA-Unfallforschung weisen in Einklang mit den Fahrleistungen der motorisierten Zweiräder darauf hin, daß im Bereich der schweren Unfälle für Crashtests mit Kraffrädern eher größere Kollisionsgeschwindigkeiten und für Crashtests mit Kraffrollern eher niedrigere Kollisionsgeschwindigkeiten relevant sind.

4. Die Durchführung von Crashtests mit Motorrädern unter vollständiger Beachtung von ISO 13232 ist derzeit wegen der sehr großen Dummy-Kosten erschwert. Von der DEKRA-Unfallforschung wurden deshalb zur Qualifizierung ihres Crashzentrums im Hinblick auf Anstoßkonstellationen nach ISO 13232 Versuche mit einem Hybrid-III-Dummy (50% Mann, stehende Puppe) als Motorradaufsassen durchgeführt. Die Ergebnisse dieser Tests weisen darauf hin, daß Crash-Versuche mit frontalem Anstoß des Motorrades an der Seite von stehenden Personenkraftwagen zu tendenziell höheren Belastungen des Dummykopfes führen als entsprechende Kollisionen mit bewegten Personenkraftwagen. Die gemessenen Verzögerungsbelastungen im behelmten Dummy-Kopf lagen dabei noch unterhalb zugehöriger biomechanischer Grenzwerte.

Bei einem bisher durchgeführten Crashtest zeigte der Kraffrollerfahrer einen ähnlichen Bewegungsablauf wie er bereits von Tourer-Aufsassen bekannt ist.

Bei einem Versuch mit Anstoß des Motorrades am bewegten Personenkraftwagen lag die gemessene Verzögerungsbelastung der Dummy-Brust über dem Grenzwert $SI = 1000$ und $a_{3ms} = 60$ g. Die Auswertung des High-Speed-Filmes ergab, daß hierfür ein Anprall der Dummy-Brust an der Gabelbrücke des Motorrades ursächlich war.

In den durchgeführten Tests weisen die gemessenen Oberschenkelkräfte auf erhöhte Belastungen dieser Körperteile hin.

Ein Airbag, der seit Jahren im Rahmen von Sicherheitsmotorrad-Konzepten diskutiert und mit Prototypen-Tests auch in Versuchen erprobt wird, hätte den Kopf und Oberkörper des Dummys einerseits anprallmindernd abfangen können. Andererseits wäre damit eine Vorwärts/Aufwärts-Bewegung des Dummies eingeleitet worden. Das hätte den Kopf aus dem unmittelbaren Gefahrenbereich der Pkw-Dachkante angehoben und der Dummy hätte über das Fahrzeug hinweg geleitet werden können. In Verbindung mit Kniepolstern hätte sich bei den Crashversuchen mit Motorrädern eine insgesamt freiere und verletzungsärmere Bewegung des Dummys während der Kollision ergeben können.

Es ist zu erwarten, daß mit ISO 13232 neue Impulse gegeben werden, die auch der weiteren Entwicklung solcher passiver Sicherheitselemente an dafür geeigneten Motorrädern, wie zum Beispiel den Tourern und Enduros, bis hin zur Serieneinführung förderlich sind. Infolge ihrer zwischenzeitlich großen Beliebtheit in Deutschland sollten in entsprechende Studien auch die Motorroller mit einbezogen werden.

LITERATUR

- [1] Berg, F. Alexander: – Unfallsimulationen mit Motorrädern und Personenkraftwagen – ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 90, S. 269–270 – Deutschland/1988
- [2] Brehmer, Thomas: – Erhebung und Auswertung von Motorroller- und Motorrad-Unfalldaten. Diplomarbeit. Fachhochschule Hamburg und DEKRA-Unfallforschung – Deutschland/Hamburg/1998
- [3] Von Brühl, Marc: – Pilotstudie zur Erhebung und Auswertung von Motorrad-Unfalldaten. Diplomarbeit. Fachhochschule München, Fachbereich Maschinenbau und DEKRA-Unfallforschung – Deutschland/München/1994
- [4] Dobiasch, Thomas: – Erhebung und Auswertung von Motorradunfällen. Diplomarbeit. Fachhochschule Kaiserslautern, DEKRA-Unfallforschung – Deutschland/Kaiserslautern/1997
- [5] Van Driessche, Hans: – Development of an ISO Standard for Motorcycle Research Impact Test Procedures. Proceedings of the Fourteenth International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles – Deutschland/München/1994
- [6] Grandel, Jürgen / Berg, F. Alexander: – Passive Sicherheit von Motorrädern. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik 32, Juni 1994, S. 152–156; September 1994 S. 234–238 und Dezember 1994 S. 324–332 – Deutschland/Stuttgart/1994
- [7] Grose, Geoffrey / Patel, Bipin / Okello, John: – The Development of a Motorcycle Rider Airbag Restraint System. Proc. XXVI FISITA Congress, Tschechien/Prag/1996

- [8] Langwieder, Klaus / Sporer, Alexander / Polauke, Joachim: – Stand der passiven Sicherheit für Motorradfahrer und mögliche Entwicklungstendenzen. VDI-Berichte No. 657. S. 29–52 – Deutschland/1987
- [9] Mall, Christian: – Erhebung und Auswertung von Motorrad-Unfalldaten. Diplomarbeit Fachhochschule Ulm und DEKRA-Unfallforschung – Deutschland/Ulm/1995
- [10] SAFETY MONITOR, ETSC News, Nr. 13, März 1997 Edition
- [11] Statistisches Bundesamt: – Fachserie 8, Reihe 7, Verkehrsunfälle 1996. Verlag Metzler-Poeschel, Deutschland/Stuttgart/1997
- [12] Lindenmann, Max / Grandel, Jürgen / Berg, Alexander: – Collision Dynamics in Experimental Simulations of 90°-Motorcycle Collisions Against the Side of Moving Passenger Cars. Proceedings 1986 IRCOBI-Conference on the Biomechanics of Impacts, S. 289–302 – Schweiz/Zürich/1986
- [13] Satanoshi Ijijima / Soichiro Hosono / Atsuo Ota / Takenori Yamamoto: – Exploratory Study of an Airbag Concept for a Large Touring Motorcycle. Proc. Sixteenth International Technical Conference on the Enhanced Safety of Vehicles ESV, Paper No. 98-S10-O-14 – Kanada/ Windsor/1998

**Motorradunfalluntersuchungen
Eine Einzelfallanalyse**

***Motorcycle Crash Investigations
A Case-Control Approach***

Narelle L. Haworth
Rob Smith

Monash University – Accident Research Centre – Melbourne
Australien

Abstract

This study was undertaken to identify the risk factors for motorcycle crashes by comparing the characteristics of motorcyclists in crashes with those riding safely. Crashed riders and pillion passengers were interviewed, helmets and bikes inspected, sites inspected and ridden through and motorcyclists riding through the crash sites at the same time of day and week were interviewed.

The characteristics of the 222 crashes in the Melbourne metropolitan area are summarised. It was concluded that the road surface actively contributed to the occurrence or severity of 15% of crashes. Case-control comparisons of the ages of riders, engine capacity and trip reasons are presented.

Exposure estimates were derived from motorcycle and general traffic volumes observed while recruiting controls. Overall, motorcycles comprised about 0.005 of the total traffic flow, which was highest on weekend days.

INTRODUCTION

In the past, research into motorcycle crashes in Australia has generally taken one of two forms: in-depth studies and mass data studies. In-depth studies have often included only small numbers of crashes (typically fatal crashes) because of the intensity of resources needed for this type of study. Mass data studies have examined larger numbers of crashes but the data items are limited and the completeness and quality of the data are open to question [see 2]. The lack of a control group in these studies has made it difficult to test whether the factors identified truly increase crash risk or are merely common characteristics of the road users, vehicles and locations involved.

The result of this is that we know quite a lot about the circumstances of fatal motorcycle crashes, less about nonfatal crashes and very little about safe motorcycle riding. To address this problem, the study reported here was undertaken to identify the risk factors for motorcycle crashes by comparing the characteristics of motorcyclists in crashes with those riding safely. A case-control approach was taken in which three types of information were collected:

detailed descriptive information about the crash and the resultant injuries comparisons of features of cases and controls (rider and pillion, motorcycle, trip), and motorcycle exposure information (gathered as part of the control collection process).

The case-control study is an epidemiological tool that has most commonly been used in medical research (e.g. cancer). One of its most famous applications in road safety was in Borkenstein's Grand Rapids Study [1] where it revealed the relative risk of crashing as a function of blood alcohol concentration.

STUDY DESIGN

Selection of cases

The cases comprised motorcycle crashes occurring on public roads in the Melbourne metropolitan area in which the rider or pillion attended one of the participating hospitals or died. All motorcyclists admitted to hospital, irrespective of injury level, were eligible to participate. For non-admitted patients, only motorcyclists with injuries corresponding to an Injury Severity Score (ISS) of 5 or greater were included. An example of injuries comprising an ISS of 5 would be a simple fracture in one leg and abrasions or contusions to another body region.

Selection of controls

The controls were motorcyclist trips that passed the crash site at the same time of day and week as the crash occurred. A limited number of observational variables

were collected for those motorcyclists who did not stop and those who stopped but declined to participate in the study. For those who stopped, additional information was collected, focussing on the current trip (including photographs and BAC if riders agreed). A follow-up telephone interview assessed longer-term issues such as training and licensing.

Those cases for which no controls were collected (no motorcyclists were observed) had to be dropped from the case-control study. These cases were kept in the descriptive study, however.

METHOD

Crashed riders and pillioners were interviewed, helmets and bikes inspected, sites inspected and ridden through and motorcyclists riding through the crash sites at the same time of day and week were interviewed.

Identification and recruitment of cases

The Research Nurses (Research Assistants with a nursing background) contacted the participating hospitals three times per week to ask whether any motorcyclists had been admitted or had been treated in the Emergency Department.

If permission was obtained, the hospitalised motorcyclist was interviewed in the ward. In addition, the motorcyclist was asked for approval to access his/her medical records to determine his/her weight, height and injury details. Injury severity was coded using the Abbreviated Injury Scale.

If the motorcyclist had not been admitted or had been discharged before they could be interviewed, the Research Nurse rang the motorcyclist, explained the study and sought verbal consent. If consent was given, the Research Nurse went ahead with the interview and posted an information sheet and consent form to the motorcyclist who returned these by mail.

The location and timing of fatal motorcycle crashes was notified by the Victoria Police. Five fatal crashes in this study were investigated by the Victoria Police Accident Investigation Section (AIS) as part of a concurrent study of single-vehicle crashes. Details of other fatal crashes were provided by the investigating Police, witnesses, friends and relatives.

Site inspections

Site inspections were conducted to identify environmental factors likely to have contributed to the crash or level of injury and to confirm case details. They were conducted as soon as possible after the injured motorcyclist was interviewed

(or location information was supplied by the Police, for fatal motorcycle crashes). Most site inspections were conducted within a week of the case interview. This maximised the likelihood that debris or other identifying marks were available to indicate the point of impact. In some instances the point of impact was clear, e.g. bark missing from a tree but it was not always possible to pinpoint the crash location.

Ride through

For most cases an experienced rider rode through the crash location at the same time of day and week and in as similar conditions as possible to when the crash occurred to assess whether the road conditions or the surrounding environment contributed to the occurrence or severity of the crash. This provided an opportunity to assess whether the road conditions or the surrounding environment contributed to the occurrence or severity of the crash.

In all cases where a ride through was undertaken, some time was spent observing the behaviours of the other road users, and also the sequencing of any traffic signals. This allowed an informed judgement to be made concerning the likely scenarios that may have faced the rider, and the rider's likely actions. While it was not possible to replicate the rider's experience, estimates could be made of likely responses and strategies based on what was known of the rider's experience.

After completion of the ride through, a report was written which summarised the crash scenario and identified the characteristics of the road and surrounding environment that may have contributed to the occurrence or severity of the crash. These site characteristics have the potential to affect the safe control of the motorcycle, the decisions made by the rider, and the decisions made by any other party involved in the case.

Motorcycle inspections

Crashed motorcycles were inspected as soon as possible to identify any vehicle factors that may have contributed to the crash. Of the 222 motorcycles involved in crashes in the study, 167 were able to be inspected. Motorcycle inspections for non-fatal crashes were conducted by experienced motorcyclists. For two fatal crashes, the inspection form was completed by the AIS Mechanical Inspection Team. There were sometimes delays in being able to access the motorcycle because of insurance procedures. On average, motorcycle inspections occurred about twelve days after the interview of the injured motorcyclist.

Helmet inspections

Of the helmets worn by persons interviewed, 145 were inspected soon after the interview. The reasons why the other helmets were not inspected included: whereabouts unknown and helmet not requested because of severe head injuries

(fatal crashes). On average, helmet inspections occurred about two weeks after the interview of the injured motorcyclist.

Recruitment of controls

Where possible, initial interviewing of control motorcyclists was conducted at the crash site, one week after the crash, with follow up by telephone. In some instances, the control collection could not be attempted one week after the crash and was instead undertaken two (or occasionally more) weeks after the crash.

Where the crash occurred on a local road or a collector road, controls were recruited on the closest arterial if one existed within one kilometre of the crash site. If there was no arterial within one kilometre of the crash site, then controls were recruited from the nearest arterial or collector road.

For crashes that occurred on freeways, it was considered too dangerous to attempt to stop motorcyclists at the crash site if there was no emergency stopping lane. If this occurred, the controls were recruited on arterial roads that the crashed motorcyclists stated they were intending to travel along immediately after they left the freeway.

A two-person team stopped motorcyclists with signs and procedures in accordance with the VicRoads Worksite Traffic Management Code of Practice [5]. Control motorcyclists who stopped were asked their date of birth and licence status, and were breath-tested using a Lion SD2 device. In addition, they were asked their first name and telephone number for a follow-up interview. On average, the roadside interview lasted about two minutes.

An attempt was made to photograph all motorcyclists as they approached the site to record basic data for all passing motorcyclists, including those who did not stop. However, photographs taken at night were not always adequate.

Telephone interviewing

In the early months of the study, an attempt was made to conduct a follow-up telephone interview with all control motorcyclists who had supplied their telephone number. From March 1996, telephone follow-ups were continued only until a maximum of three was completed for each case. Three attempts were made to ring each motorcyclist.

RESULTS

The range of variables collected and analysed was very large and only a selection of the results are reported in this paper. The reader is referred to the project technical report [4] for a complete presentation of the results.

Site factors identified

The most common site factors judged as contributing to the occurrence or severity of the crash were: lack of visibility or obstructions (20% of crashes), unclean road or loose material (14%), poor road condition or road markings (12%), and horizontal curvature (12%). In 47% of cases, no site factors were judged to have contributed to the occurrence or severity of the crash. (Note: multiple factors could be coded so percentages do not sum to 100%).

In 31 cases (15% of inspected sites) the site inspection showed that the road surface contributed significantly to the occurrence of the crash.

Controls

There were 17 cases for which no controls were recruited and which, therefore, had to be dropped from the case-control comparisons. About 85% of all cases (92% of cases with controls) had at least one control which included a follow-up interview. In total, 47% of the motorcyclists observed were interviewed (either at the roadside or at the roadside and by telephone follow-up).

Comparisons of cases and controls

The case-control comparisons included data for 205 cases and 1225 controls. Comparisons of the ages of case and control riders, engine capacity and purpose of trip are presented here to demonstrate some of the advantages of the case-control approach. The odds ratios for particular risk factors are presented in more detail in the companion paper [3].

The ages of riders in crashes ranged from 14 to 68, with a mean of 30.2. The ages of control riders ranged from 17 to 75, with a mean of 31.8. The difference between the mean ages of the two groups was statistically significant ($t(762) = -2.3, p < .05$).

The distribution of ages is shown in Figure 1. A larger proportion of crashed riders than control riders were found in the under 21 (14% versus 6%) and 21 to 24 year old age groups (23% versus 16%). The largest group of case and control riders was aged 25 to 34. Very few riders in either group were aged 45 or over.

The data analysis showed that, after adjusting for alcohol, riders aged under 25 were at about 80% higher risk of being involved in a crash than riders aged 35 and over. The odds of crashing for riders aged from 25 to 34 were not different from those of riders aged 35 and over.

The engine capacity was available for most case and control motorcycles and is summarised in Table 1. In the absence of control information, one might speculate about the role of high powered motorcycles in crashes. However, the data show

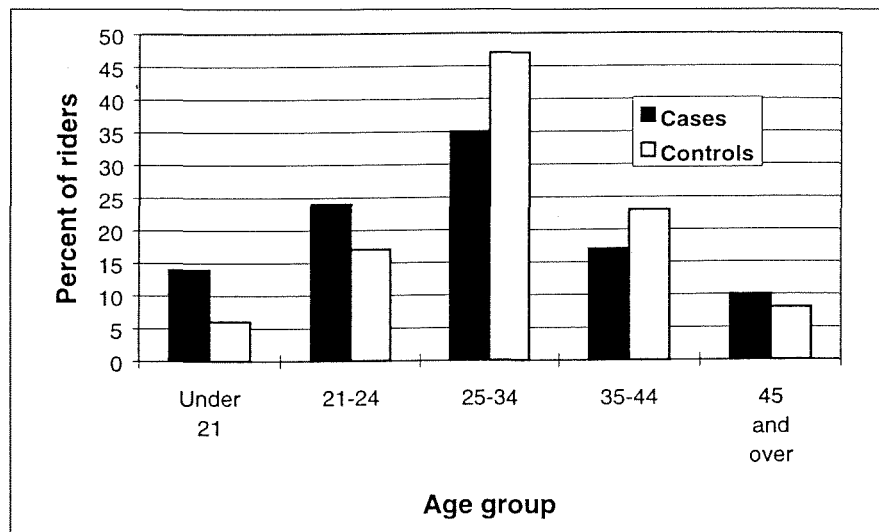


Figure 1. Percentages of case and control riders in each age group.

that the distributions of engine capacities for cases and controls are very similar. After adjusting for licence status, however, riding a motorcycle with engine capacity of 750 cc and above was found to be associated with a significantly greater risk compared to riding a motorcycle of 260 cc or below.

Engine capacity (cc)	Percent of cases	Percent of controls
Less than 260	35	31
260-749	20	19
750 and above	45	50

Table 1. Engine capacity of crash and control motorcycles.

Information about the purpose of the trip was collected for cases and those controls who completed the follow-up interview. The reasons were recorded within a number of categories and the proportions of work-related and other trips compared. Work-related trips include travel to and from work and other travel associated with work. Table 2 shows the percentages of cases and controls for which the travel was work-related. Crash trips were more likely to be nonwork-related than control trips (66% versus 44%).

	Percent of cases	Percent of controls
Overall	35	56
BAC = .000	34	57
BAC > .000*	8	27
Rider age		
under 25	29	51
25 to 34	41	57
35 and over	33	58
Engine capacity (cc)		
less than 260	27	61
260-749	42	63
750 and over	38	50

* percentages based on small numbers and so may be unreliable

Table 2. Percentages of cases and controls for which the trip was work-related. Percentages are of known.

From the Table, the lower risk of work-related trips seems to be related to the lower prevalence of alcohol in work-related trips. The percentage of control trips that were work-related increased with rider age but the pattern for crash trips differed. Crash trips of riders aged 25 to 34 were more likely to be work-related than crash trips of younger or older riders. For motorcycles of each engine capacity, crash trips were less likely to be work-related than control trips. The size of the difference decreased with increasing engine capacity, however.

All of the odds ratios show a significant increase in crash risk associated with the trip being nonwork-related (see Table 3).

Variable	Odds ratio	Confidence interval
Unadjusted	3.0	1.8-4.8
Adjusted for ...		
Rider age	2.9	1.8-4.8
Presence of alcohol	2.5	1.3-4.8
Licence status	2.6	1.6-4.2
Engine capacity	3.0	1.9-4.9
Age and alcohol	2.6	1.3-5.2
Licence status and alcohol	2.2	1.1-4.3

Table 3. Unadjusted and adjusted odds ratios and confidence intervals for the trip being nonwork-related. Highlighted odds ratios are statistically significant.

The interpretation of the increased risk associated with nonwork-related travel is confounded, however, by the relationship between the work-related travel and employment status. Riders in crashes were less likely to be in full-time work and more likely to be receiving a benefit or a student than control riders. Therefore the riding of crashed riders could be expected to involve less work-related travel. The issue which arises is whether increased risk is associated with nonwork-related travel per se or the increased risk is related to another factor (or factors) linked to employment status.

To address this issue, the analyses of trip reason were repeated for riders in full-time employment only. This analysis confirmed the findings of Table 3, showing that there is a significant association between nonwork-related travel and crash risk, even for riders in full-time work.

Exposure information

The lack of adequate motorcycle exposure data has hindered past efforts to understand motorcycle travel and to quantify the benefits and costs of countermeasures. For this reason, the total number of motorcycles passing control sites was recorded and analysed in this study.

During the recruitment of controls, fifteen-minute traffic counts were made in the direction in which motorcyclists were being stopped. These counts and the calculated hourly volumes of all traffic and motorcycles were compared. Data for three control sites at which traffic counts were not taken are excluded from the analyses.

The overall proportion of the traffic comprised by motorcycles was very low, about 0.005. Figure 2 shows that the mean number of motorcycles per hour was somewhat higher in February than in the other months but that there was no clear seasonal effect on motorcycle volumes. Motorcycle volumes on the weekend showed a more marked seasonal effect than those on weekdays (see Figure 3). In general, weekend volumes were higher than weekday volumes during January to March but lower during the cooler months. This suggests that recreational riding is much more seasonal than commuter riding.

Figure 4 summarises the average number of motorcycles per hour according to road type and time of week. The highest average number of motorcycles per hour was found on primary arterials (4.1), with the smallest number being found on collector roads (1.2). The proportion of the traffic comprised by motorcycles appears to be similar across road types.

The average number of motorcycles per hour was greatest during weekday and weekend days and the proportion of traffic that were motorcycles was highest on

weekend days. Both the average number of motorcycles per hour and the proportion of vehicles that were motorcycles were lower at night than during the day.

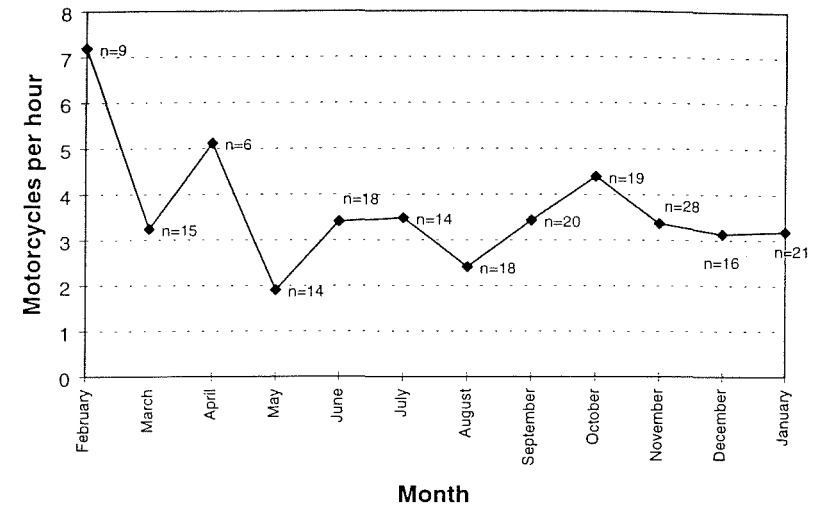


Figure 2. Mean number of motorcycles per hour for control sites in each month of the year.

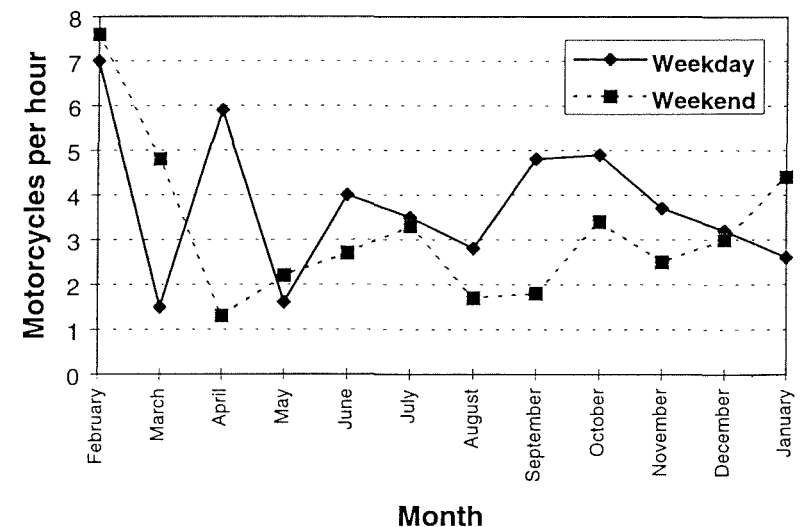


Figure 3. Mean number of motorcycles per hour on weekdays and weekends for control sites in each month of the year.

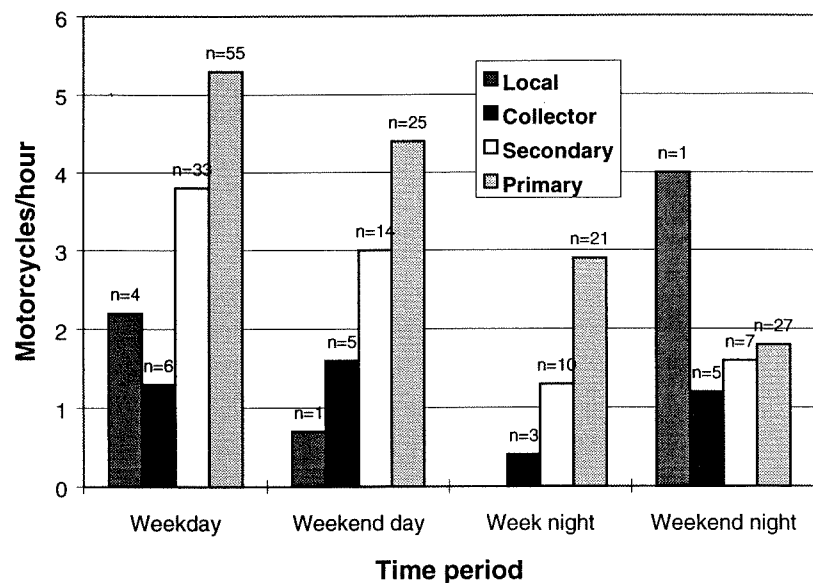


Figure 4. Number of motorcycles per hour as a function of road type and time period.

DISCUSSION

This study enabled the identification of risk factors for motorcycle crashes by comparing the characteristics of motorcyclists in crashes with those riding safely. While there were certainly strong advantages to the use of the case-control approach to estimate risk factors for motorcycle crashes, a number of issues arose during the study. These included the effect of cases without controls on the estimation of risk factors, difficulties in accessing information about riders in fatal crashes and the inability to assess site-based risk factors.

The problem of cases without controls

No controls were able to be recruited for almost 10% of the crashes. Unfortunately, the timing of these crashes was not representative of the entire sample of crashes and so excluding them from the case-control comparisons is likely to have biased the comparisons to some extent (which is difficult to measure). Given that motorcycles comprise such a small proportion of the traffic flow, this problem is likely to occur.

The responses appear to be: acknowledgment of the problem only, substitution with controls from similar crashes or unmatched analysis of the data. We have

chosen the first and will attempt to assess the likely effect of the exclusion of cases. The latter two approaches are somewhat more difficult to justify.

Motorcyclists in fatal crashes

A considerable amount of information was unable to be collected for motorcyclists in fatal crashes because names and contact details for families were unable to be accessed. This problem could be overcome by conducting a study in cooperation with the Police or by excluding fatal crashes from the study.

Missing BAC data

Given that alcohol has traditionally been the most important source of impairment leading to crashes, the unavailability of BAC data for a large number of crashes is disturbing. It also constrains the extent to which the study is able to estimate the magnitude of alcohol as a risk factor and investigate its associations with other factors (e.g. nonwork-related travel).

Assessing risks for site-based factors

Controls were collected at or near the crash site and so no comparison of crash and control sites was made and so site-based risk factors could not be estimated. The decision to match on crash location and time was made because the current lack of exposure information made it difficult to generate a random sample of sites. This study has identified characteristics of sites that appear to be contributing to the occurrence or severity of motorcycle crashes but these are not risk factors. Given the exposure data collected in this study, it may now be possible for random samples of sites to be generated for use in further studies.

Adequacy of the exposure data

The exposure data was collected at or near the sites of crashes at the same time of day and week as the crash occurred. The representativeness of this data for all motorcycling needs to be examined. It could be argued that choice of the site was conditioned upon there having been some exposure occurring there (at the time of the crash) and therefore the sites may have somewhat over-estimated motorcycle exposure. The same argument might be made about the time of sampling.

CONCLUSIONS

Using the case-control approach enabled information about riders not in crashes to be used to estimate the risks of factors present in crashes. It also enabled the collection of exposure data that had theretofore not been available for motorcycling in Melbourne. This will allow a better understanding of motorcycle travel and an improved ability to assess the likely benefits of the countermeasures proposed to address the identified risk factors.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Federal Office of Road Safety and VicRoads. We are grateful for the interest and input of Mr John Goldsworthy (FORS) and Ms Pat Rogerson (VicRoads).

We would like to express our appreciation to the nursing and administrative staff of the hospitals involved and particularly the Directors of the Emergency Departments. The cooperation of the Victoria Police was most appreciated, particularly Sergeant Greg Deimos who provided notification of the occurrence of fatal crashes.

We would like to express our thanks to our dedicated team of nurses and our on-road interviewers who cheerfully interviewed riders at all manners of times and places under varying weather conditions. Our thanks to our telephone interviewers and the staff who inspected motorcycles and helmets.

Thank you also to the riders and pillions who agreed to be interviewed for the study.

REFERENCES

- [1] Borkenstein, F. R., Crowther, R. F., Shumate, R. P., Zell, W. B. and Zylman, R. The role of the drinking driver in traffic accidents. *Blutalkohol*, 11, Suppl I. 1974
- [2] Diamantopoulou, K., Brumen, I., Dyte, D. and Cameron, M.: Analysis of trends in motorcycle crashes in Victoria (Report No. 84). Monash University Accident Research Centre. Australia Melbourne 1995
- [3] Haworth, N. and Smith, R.: Estimating risk factors for motorcycle crashes. Elsewhere in this volume. 1998
- [4] Haworth, N., Smith, R., Brumen, I. and Pronk, N. Case control study of motorcycle crashes (CR 174). Federal Office of Road Safety. Australia. Canberra 1997
- [5] VicRoads. Worksite Traffic Management (Roadworks Signing) VicRoads Supplement. 16 August 1995 Edition 04. VicRoads Australia Kew 1995

**Anprallmechanismen von helmgeschützten Köpfen
Unfallstudie COST 327**

***Impact Mechanisms of Helmet Protected Heads
in Motorcycle Accidents
Accidental Study of COST 327***

Dietmar Otte
Hilke Willeke

Medizinische Hochschule Hannover – Verkehrsunfallforschung
Deutschland

Brian Chinn

Transport Research Laboratory – Crowthorne, Berkshire
United Kingdom

David Doyle

Southern General Hospital – Neuropathology – Glasgow
United Kingdom

Erich Schuller

Universität München – Institut für Rechtsmedizin
Deutschland

Abstract

The COST 327 Project is performed by order of the EU-Commission DG VII starting in 1995 continuing up to 1999. Within this project different parts of research were performed. One approach was the development of a detailed data bank of accident information.

Some of the results stored in the COST 327 Data bank will be shown in this paper, describing special mechanisms in detail. On the basis of in-depth investigations carried out in Glasgow/UK, Munich/Germany and Hannover/Germany data were compiled together in the data bank. Special forms for collecting data were developed and used by each team. The teams were collecting the data at the point of accident, starting in July 1995. By the end of 1997 a total number of 85 cases of injured motorcyclists with impacted heads could be documented.

1 Introduction

Motorcyclists are among the most vulnerable road users. About one quarter of all injured motorcyclists suffer head injuries. Head injuries are responsible for the largest proportion of these fatalities.

This brought about the COST 327 research project "motorcyclists head injury mechanism and helmet performance" which was started in July 1995 and will continue until 1999. The participating countries are France, Greece, Hungary, Germany, Sweden, Switzerland and the United Kingdom.

The COST project investigates the cause and mechanisms of head injuries using accident data and mathematical modelling so that the design of motorcyclist helmets can be optimised with regard to the protection of head and neck.

Within the COST project the following main issues will be analysed and the research work is done by seven workgroups:

1. WG "Literature Review": An in-depth literature review was built considering existing literature of the most significant injuries and injury mechanisms in motorcycle accidents, bio-mechanical research and the development of mathematical models of the human head, brain and neck.
2. WG "Accident Data Collection and Database": To establish the distribution and severity of injuries an in-depth investigation is carried out. The results of this work will be presented in this paper.
3. WG "Headforms Investigation": This workgroup investigates and correlates the effect of using headforms on the damage occurring to helmets under similar impact conditions.
4. WG "Modelling": The development of a mathematical model of brain, skull, neck and helmet for the simulation of impact and injury mechanisms is done by the work group "Modelling".
5. WG "Reconstruction": Reconstructions of the impact to the helmet to replicate the helmet damage to a certain impact energy are carried out.
6. WG "Head Tolerance": The tolerance of the human head, brain and neck related to the injuries and injury mechanisms will be established.
7. WG "Test Procedures": A specification for testing motorcycle helmets will be proposed.

The way of collecting the data is based on in-depth investigations on the scene by a team with technical and medical students. They examine the injury pattern in detail focussing on the head of the motorcyclists. A reconstruction is carried out for most of the accidents to get information about the speed of the vehicles involved, identification of helmet impact location, direction and speed, helmet damage etc.

Three research groups are involved in the COST data collection:

- Glasgow / United Kingdom
- Hannover / Germany
- Munich / Germany

These groups collect accident cases with motorised two-wheeled vehicles involved, such as motorcycles, mopeds and motorised bicycles. Each case is discussed in detail in the expert group during workgroup meetings. The accident data – injury situation of the motorcyclists, information about vehicles, helmets and their damages, reconstruction results – are collected in the COST 327 Data bank in Hannover.

This paper describes the state of the art of the COST project in December 1997 and presents the injury situation of the motorcyclists and the structure of the COST 327 Data bank.

2 Accident Situation of Two-Wheeled Motorised Vehicles (TWMVs)

The accident situations of two-wheeled motorised vehicles in different countries, Germany and the United Kingdom, compared to the documented cases in the COST 327 Data bank is shown in Fig. 1.

In 1996 a total number of 998 motorcyclists were killed in Germany, 51,361 were injured, most of them in accidents with one or two participants. The most frequent opponent of the motorcycle is the car; 64% of all accidents happened with cars. 19.7% were accidents with a motorcycle only.

The risk for the motorcyclists to be fatally injured is extremely high when the opponent is a bus or a truck. In bus accidents 4.3% of the involved motorcyclists were killed, in truck accidents 5.4%. Also accidents with TWMV solo are dangerous, 2.8% of the motorcyclists were killed. In these cases the opponent is often a rigid object, such as a tree.

The accident situation in the United Kingdom is similar to this. The most frequent opponent was a car (64.9%), 18.6% had an accident alone. The most dangerous opponents are trucks and buses, in TWMV solo accidents, 2.7% of the motorcyclists were killed.

In the COST 327 Data bank a total number of 85 accidents with 90 motorcyclists are considered.

Based on the special criteria of COST cases and the methodology of investigation

by in- depth investigation teams, a lower frequency of slightly injured persons was recorded.

For the international situation, like Germany and the United Kingdom, the most frequent opponents are cars with 58.5% of all accidents. Accidents with a motorcycle only, are also frequent (27.4%). The COST 327 Data bank seems to be representative of the national statistics for the type of motorcycle accidents.

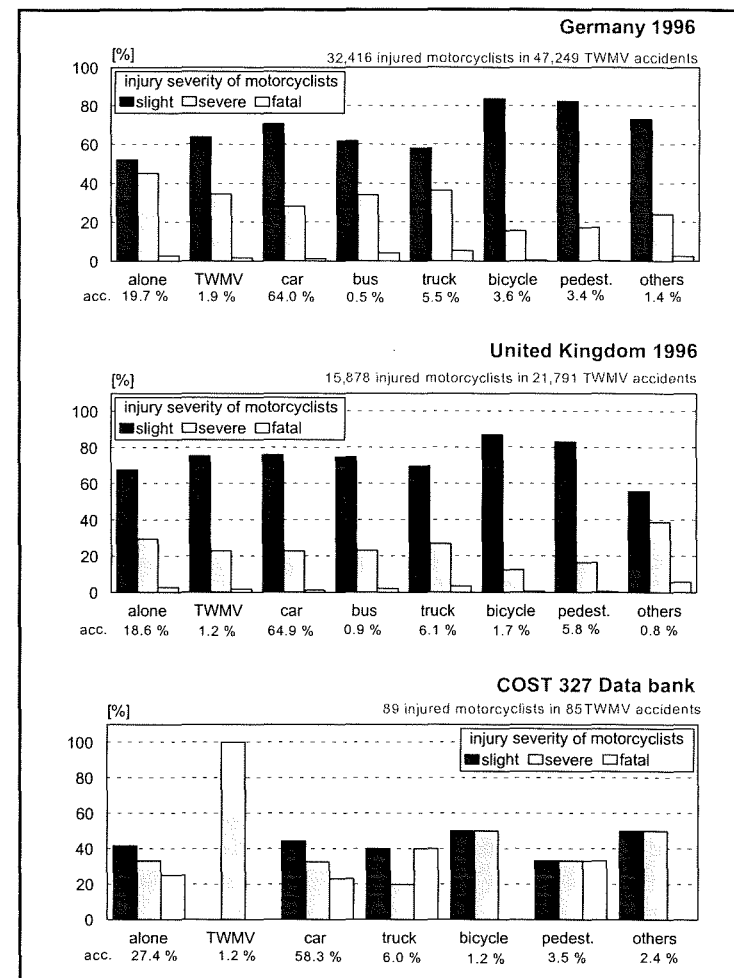


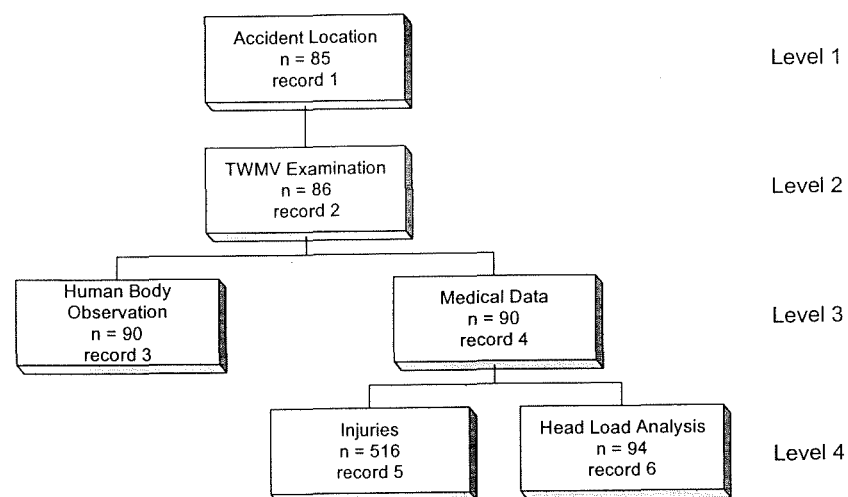
Fig. 1: Involved vehicles in relation to injury severity of motorcyclists
Sources: Statistisches Bundesamt (StBA) Wiesbaden, Germany [4], Road Accidents Great Britain (RAGB) 1996, United Kingdom, COST 327 Data bank

3 The COST 327 Data Bank

Accidents were selected for the COST 327 study according to the following criteria:

- Two-Wheeled Motorised Vehicles (TWMVs)
- Integral or jet helmet being worn
- Head / neck injuries or
- Head / helmet impact without head injuries

The COST Data bank used the data bank system management of SIR (Scientific Information Retrieval), which is a comprehensive data bank management and application development system. It helps to organise and store data, process and manage the data and produce statistical and other outputs. DBMS (Data Base Management System) is the main SIR module and is central to the system. It provides a relational data bank and application development system. Records can be grouped into cases – a set of related records. The COST 327 Data bank is made up of 6 record types, structured in 4 different hierarchy-levels:



Up to December 1997 a total number of 85 TWMV accidents with 86 TWMVs were registered in the COST 327 Data bank. 86 drivers and 4 rear riders were involved in these accidents. This report is based on the following case numbers of each investigation area:

Hannover	Germany	n = 63
Munich	Germany	n = 14
Glasgow	United Kingdom	n = 8
COST 327 Data bank (Dec. 1997)		n = 85

4 Accident Parameter and Injury Severity of Motorcyclists

The injury severity of motorcyclists is influenced by several parameters. The collision speed is the main parameter for the energy and correlates to the injury severity. The categories of the accidents can be described for TWMV as in the distribution in Fig. 1.

4.1 Age of Motorcyclists

58.9% of the motorcyclists in the COST Data bank were up to 30 years at the time of the accident, 31.1% were 31 to 40 years old. Only 4.4% were older than 50 years, Fig. 2.

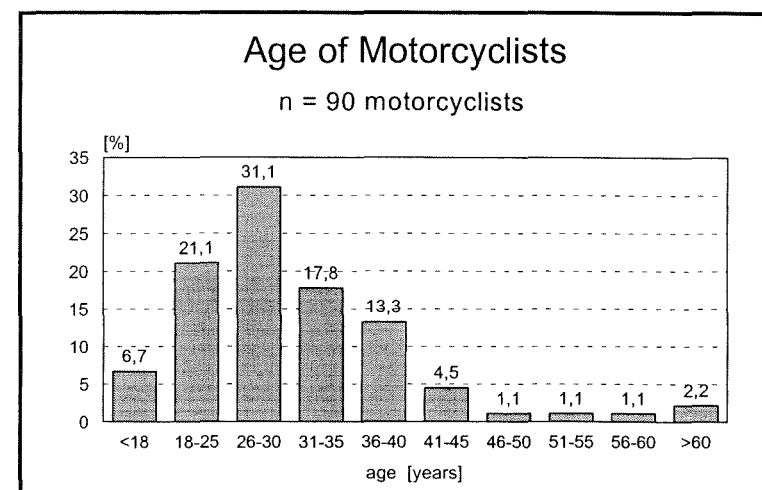


Fig. 2: Age of motorcyclists (100% = all motorcyclists)
Source: COST 327 Data bank

In the German national accident statistic for the year 1996 [StBA] approx. 60% of the TWMV drivers were up to 30 years, 22% were 31 to 40, 4% were older than 60. It can be assumed that the average age and the age distribution of motorcyclists in the COST Data bank are similar to the national accident situation for each country involved in the study.

4.2 Impact Speed

In Fig. 3 the impact speed distribution of 402 motorcycles documented in the region of Hannover by the Accident Research Unit (ARU) during the years 1990 to 1995 is compared to the impact speed of 78 motorcycles within the COST Data bank.

The 80%-value of the cumulative speed distribution is 62 km/h for the ARU cases, the COST value is 78 km/h. The higher speed level for COST cases has the following reason: in the COST project motorcyclists with head or neck injuries or at least a head impact are documented only.

The 80%-value of the speed at the second collision is 40 km/h. The impact speed of the second collision is naturally lower than in the first impact because the vehicle lost part of the kinetic energy during the first collision.

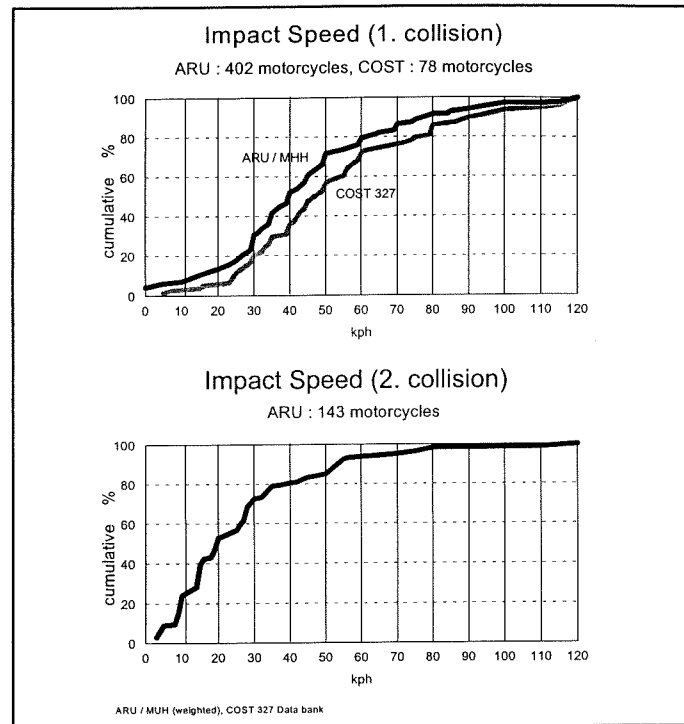


Fig. 3: Cumulative frequencies of speed at first and second impact of motorcycles;
Source 1 : ARU / MUH (100% = all motorcycles, weighted)
Source 2 : COST 327 Data bank (100% = 78 motorcycles, 8 unknown)

4.3 Injury Situation of Motorcyclists

In the-ARU cases nearly 70% were uninjured or suffered only slight injuries (Fig. 4), 21.8% sustained injuries MAIS 2 and 9.6% were severely injured (MAIS 3+).

In the COST Data bank only one person (1.1%) was uninjured, 46.7% were slightly injured with a severity of MAIS 1. Over 50% sustained MAIS 2 or greater and more than 30% were severely injured (MAIS 3+).

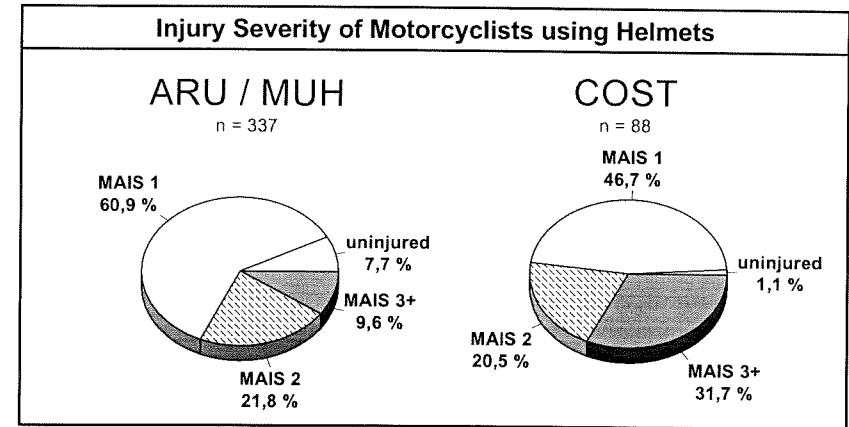


Fig. 4: Injury severity MAIS of motorcyclists using helmets
Source 1 : ARU / MUH (100% = 337 motorcyclists, weighted, 1 unknown)
Source 2 : COST 327 Data bank (100% = 88 motorcyclists, 2 unknown)

As already mentioned, in the COST Data bank only motorcyclists with head injury or head impact are included.









Tab. 1 shows the injury severity of the head (AIS Head) and of the whole body (MAIS) of motorcyclists, distinguished for different collision configurations. The different collision configurations were categorised into "collision types". This is based on a standardised classification, presented by Otte et al. [3]. More than one third of the motorcycles collided with a movable or rigid object, such as a pedestrian, cyclist, tree or wall (collision type 7). The second most frequent configurations are motorcycle impacts to the side of the car (type 3 and 4). The third most frequent situation is the head-on collision (type 2) of motorcycle into a car.

Severe head injuries with AIS Head 2+ are very frequent when the motorcycle collides with the side of the car (type 3 and 4), and in object collisions (type 7).

The frontal collision with a car (type 2) is also frequent and also of a high risk for the motorcyclists. 29% in ARU and 75% in COST sustained an injury of MAIS 2 or greater.

In type 7 accidents 28.4% (ARU) and 54.6% (COST) suffered injuries AIS 2 or greater. In these cases the impact with the object or with the road surface, and the body movement after the impact are decisive for the injuries.

In collision type 1 all motorcyclists within the ARU Data bank were injured, 76.2% MAIS 1 and 23.8% ≥ MAIS 2. 85.3% of all motorcyclists in this type did not sustain a head injury, only 2.6% suffered AIS 2 or greater. There is a high head injury severity risk for collision type 4 in which a motorcycle collided frontally and obliquely to the side of a car.

Frequency by Collision Type and Distribution of Head Injury Severity by AIS and MAIS									
Collision Types		ARU / MUH				COST 327			
		n=400	AIS Head			n=60	AIS Head		
			0	1	2+		0	1	2+
		n=402	MAIS Motorcyclist			n=61	MAIS Motorcyclist		
		0	1	2+		0	1	2+	
		-----100%-----				-----100%-----			
1		4.6%	85.3%	12.1%	2.6%	1.7%	100%	-	-
		4.5%	-	76.2%	23.8%	1.6%		100%	
2		16.0%	85.9%	8.2%	5.9%	6.7%	-	25.0%	75.0%
		16.2%	-	71.0%	29.0%	8.2%	-	25.0%	75.0%
3		5.2%	88.0%	4.8%	7.2%	16.7%	70.0%	10.0%	20.0%
		5.1%	-	84.1%	15.9%	16.4%	-	77.8%	22.2%
4		23.7%	74.1%	13.2%	12.7%	31.7%	57.8%	21.1%	21.1%
		23.9%	3.7%	62.4%	33.9%	31.1%	-	50.0%	50.0%
5		12.3%	80.1%	16.0%	3.9%	5.0%	33.3%	66.7%	-
		12.2%	6.0%	68.3%	25.7%	4.9%	-	100%	
6		-	-	-	-	-	-	-	-
		-	-	-	-	-	-	-	-
7		38.2%	83.6%	7.6%	8.8%	38.3%	26.1%	30.4%	43.5%
		38.1%	11.3%	60.3%	28.4%	37.8%	4.5%	40.9%	54.6%

Tab. 1: Configurations of collisions in TWMV accidents
Source 1: ARU / MUH 1990-1995 (100% = all TWMVs, weighted)
Source 2: COST 327 Data bank (100% = all TWMVs)

The same result occurred in the COST 327 Data bank. Nearly one third of all COST cases were recorded under this collision type and 21% suffered head injuries \geq AIS 2. However in the COST Data bank object collision, type 7, is also an impact type in which head injury occurred frequently.

4.4 Use and Loss of Helmets

72.4% of the 446 motorcyclists in the ARU Data bank wore a helmet, 8.7% drove without helmet and for 18.9% the use of a helmet was unknown. The most frequent helmet type within the COST Databank was the integral helmet (84.4%), 10 motorcyclists wore a jet helmet (11.1%, Tab. 2).

The loss of the helmet was decisive for the head injuries. Within the COST Project 13.2% lost their helmet, 1.2% lost the helmet before the first impact, 6% after the first impact and 2.4% after the second impact.

The most dangerous type of loss was before the impact because the unhelmeted head hit many objects. For most of these cases it is likely that the helmet was worn incorrectly, but the loss of helmet could also occur for other reasons: The chin strap or the fastener could be inadequate, the helmet may be the wrong size or the lower edge of the rear of the helmet was too high.

Kind of Helmet and Time of Loss		
Kind of Helmet:		
helmet (no further spec.):	n = 4	4.5%
full face helmet	n = 76	84.4%
open face helmet	n = 10	11.1%
Loss of Helmet (13.2%):		
no	n = 73	86.8%
yes (no further specified)	n = 3	3.6%
before first impact	n = 1	1.2%
after first impact	n = 5	6.0%
after second impact	n = 2	2.4%
loss of helmet unknown	n = 6	

Tab. 2: Kind of helmet and time of loss of motorcyclists (100% = all motorcyclists)
Source: COST 327 Data bank

4.5 Injuries to the Body

The collision type 1 was infrequent in the COST survey (1.6%), and generally only the arms and legs were injured (Tab. 3). It may be the case that if the car struck the side of the motorcycle, then the motorcyclist would be mainly injured at the extremities.

In frontal collisions (type 2) all motorcyclists suffered head injuries. For these accidents a head impact with parts of the car – bonnet, windscreen, roof – was likely; this can also be true for rear impacts (type 5). Two motorcyclists (66.7%) suffered head and neck injuries, in TWMV collisions with the front or the rear end of the car, where the motorcyclist was often thrown upon the car, this contrasts with side impacts, where motorcyclists sometimes fly over the car bonnet.

Collision Types	total n=60	Injured Body Regions of Motorcyclists							
		Head	Neck	Thorax	Arms	Abdo- men	Pelvis	Legs	
1	1.6%	-	-	-	100%	-	-	100%	
2	8.2%	100%	25.0%	50.0%	50.0%	25.0%	50.0%	50.0%	
3	16.4%	30.0%	20.0%	30.0%	60.0%	-	20.0%	90.0%	
4	31.1%	42.1%	31.7%	36.8%	68.4%	10.5%	26.3%	94.7%	
5	4.9%	66.7%	66.7%	33.3%	-	33.3%	-	33.3%	
6	-	-	-	-	-	-	-	-	
7	37.8%	73.9%	17.4%	43.5%	65.2%	13.0%	17.4%	82.6%	

The total number of all injured body regions is more than 100%, because motorcyclists often have more than one injury in more than one body region.

Tab. 3: Collision types in relation to injured body regions (100% = 60 motorcycles, 25 could not be assigned to these categories)
Source: COST 327 Data bank

The most frequent impacts (type 3 and 4) were those in which leg injuries were most likely to occur; more than 90% of the motorcyclists suffered leg injuries. In these accidents the leg was often caught between the motorcycle and the car, when the motorcycle turns during the impact, or between the motorcycle and the road surface.

Collisions with objects (type 7) are characterised by frequent head and leg injuries.

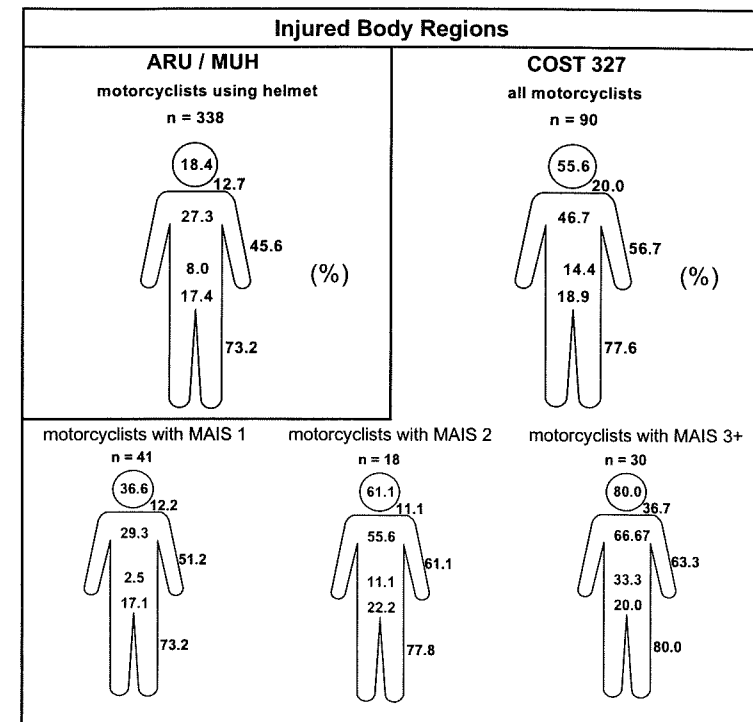


Fig. 5: Injured body regions of motorcyclists (100% = all motorcyclists)
Sources: ARU / MUH, COST 327 Data bank

In the ARU Data bank a head injury was sustained by 18.4% of all helmeted riders, 12.7% had a neck injury (Fig. 5). Within the COST Data bank 55.6% sustained a head injury and 20% had a neck injury.

Injuries of the legs were very frequent in both data banks. More than 73% were injured in the lower extremities. The frequency of leg injuries is a characteristic of motorcycle accidents.

In the lower part of Fig. 5 the injury severity is classified by MAIS. 36.6% of those slightly injured, MAIS 1, suffered a head injury, 12.2% a neck injury. More than half of motorcyclists with an injury severity MAIS 2 sustained head injuries, and 11.1% neck injuries. 80% of those with an injury (MAIS 3) sustained a head injury, and 26.7% a neck injury.

In Fig. 6 the injury distribution of 11 fatally injured motorcyclists is shown. 72.2% sustained head injuries, 36.4% neck injuries, and 63.6% of these cases sustained

a thorax injury. All of the motorcyclists wore a helmet. The cause of death was usually attributed to the head in cases of multiple injury in the COST Data bank, and thus the head injury has a significant effect on the outcome.

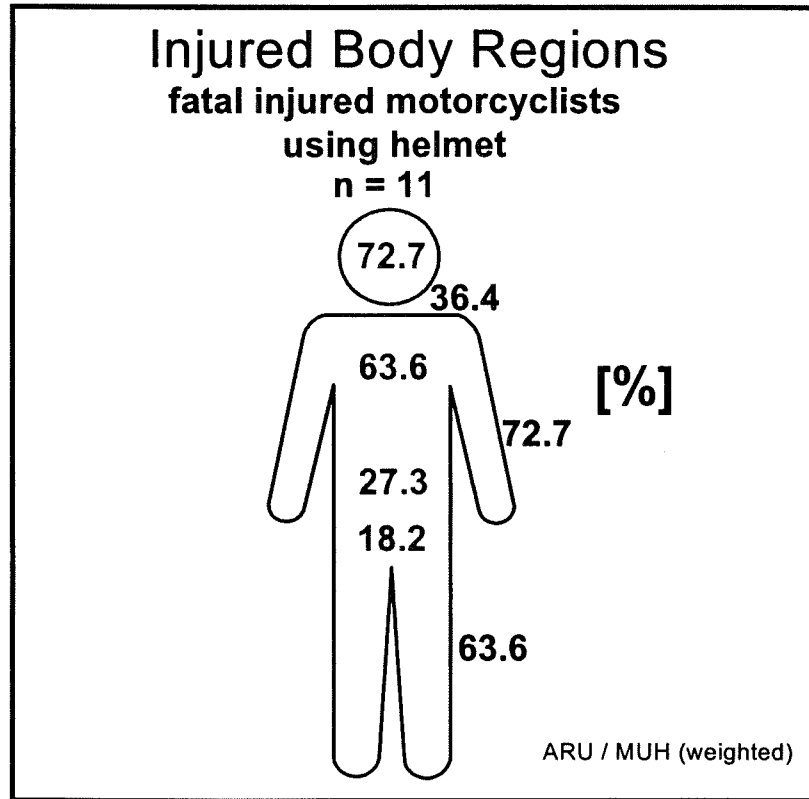


Fig. 6: Injured body regions for fatally injured motorcyclists (100% = 11 fatal injured with helmets, weighted). Source: ARU / MUH

4.6 Head Injuries – Severity and Types

More than a half of all motorcyclists in the ARU sample suffered minor head injuries AIS 1, 41.3% AIS 2 injuries, and only 3.3% sustained head injuries of AIS 5/6.

In the COST Data bank the head injury severity is higher than in the ARU sample, where 43.2% of the motorcyclists with head injuries received minor head injuries AIS 1, 23.5% were rated AIS 2, and 23.5% sustained head injuries AIS 5/6.

Head Injury Severity			
ARU / MUH			
AIS Head	n	%	n = 96 with head injury %
uninjured	238	80.4	
AIS 1	37	9.9	50.5
AIS 2	48	8.1	41.3
AIS 3	1	0.1	0.6
AIS 4	4	0.8	4.3
AIS 5	3	0.4	1.9
AIS 6	3	0.3	1.4
total	334	100.0	100.0

COST 327			
AIS Head	n	%	n=51 with head injury %
uninjured	38	42.7	
AIS 1	22	24.7	43.2
AIS 2	12	13.5	23.5
AIS 3	2	2.2	3.9
AIS 4	3	3.4	5.9
AIS 5	5	5.6	9.8
AIS 6	7	7.9	13.7
total	89	100.0	100.0

Tab. 4: Head injury severity

Source 1 : ARU / MUH (100% = 334 motorcyclists, weighted, 4 motorcyclists with AIS Head = unknown)

Source 2 : COST 327 Data bank (100% = 89 motorcyclists, 1 motorcyclist with AIS Head = unknown)

4.6.1 Injury causing Parts of Head Injuries

33.9% of all head injuries in the COST Data bank were caused by road surface impacts, 29.6% were impacts to the vehicle, for example roof edge, windscreen etc.,

Injury causing Parts of Head Injuries		
	n	%
own action	2	1.7
body movement	2	1.7
opposite vehicle	34	29.6
roll over	5	4.4
road surface	39	33.9
objects (road signs..)	22	19.1
own helmet	10	8.7
others	1	0.9
total	115	100.0

Tab. 5: Injury causing parts of the head (100% = all head injuries)

Source: COST 327 Data bank

19.1% were from impacts with objects, such as trees and road signs. 8.7% of the head injuries were caused by direct helmet contact.

4.6.2 Head Impact Speed

The speed of the head impact was decisive for the head injury severity, shown in Tab. 6 and depended on the speed of the involved vehicles. The higher the head impact speed, the higher is the head injury severity on average.

Head Injury Severity and Head Impact Speed								
AIS Head Head Impact Speed [km/h]	total		AIS 1		AIS 2		AIS 3+	
	n	%	n	%	n	%	n	%
< 10	3	2.9	1	33.3	-	-	2	66.7
11 - 20	11	10.6	10	90.9	1	9.1	-	-
21 - 30	10	9.6	8	80.0	2	20.0	-	-
31 - 40	9	8.7	7	77.8	1	11.1	1	11.1
41 - 50	18	17.3	8	44.4	3	16.7	7	38.9
51 - 60	16	15.4	7	43.7	2	12.6	7	43.7
61 - 70	1	1.0	1	100.0	-	-	-	-
71 - 80	20	19.2	6	30.0	1	5.0	13	65.0
81 - 90	5	4.8	-	-	2	40.0	3	60.0
91 - 100	7	6.7	-	-	-	-	7	100.0
> 100	4	3.8	3	75.0	-	-	1	25.0
total	104	100	51	49.1	12	11.5	41	39.4

Tab. 6: AIS Head in relation to head impact speed (100% = 104 head injuries, 2 AIS Head unknown, 9 head impact speed unknown)
Source: COST 327 Data bank

94% of all AIS 1-injuries occurred at an impact speed up to 80 km/h, AIS 2-injuries all occurred at an impact speed of up to 90 km/h. Almost 20% of (AIS 3 injuries occurred with a head impact speed of more than 90 km/h.

The higher the impact speed, the higher is the kinetic energy of the head that has to be transferred to the helmet and the head and to the opponent, such as road surface, part of a vehicle or an object. That means the impact load is dependent on the impact speed and the surface struck.

Fig. 7 presents the cumulative frequency of head impact speeds for 74 motorcyclists in the COST Data bank. 80% collided with less than 60 km/h. The highest recorded value is 110 km/h.

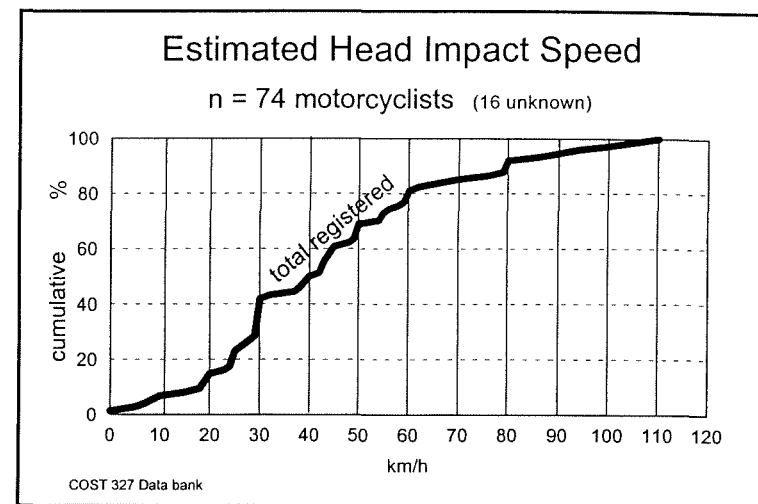


Fig. 7: Estimated speed of head impact (100% = 74 motorcyclists, 16 unknown)
Source: COST 327 Data bank

4.6.3 Type and Location of Head Injuries

The analysis of the head injuries, Tab. 7, shows that 43.5% of the injuries are soft tissue, such as abrasions, lacerations etc., 10.4% were concussions, that led to a loss of consciousness of up to two minutes in general. Fractures were registered in 13.1% of cases. Brain injuries occurred in 27.8% of cases.

Type of Head Injuries		
	n	%
soft tissue injury	50	43.5
skull fractures	7	6.1
facial fractures	8	7.0
concussion	12	10.4
brain injuries	32	27.8
other head injury	6	5.2
total	115	100.0

Tab. 7: Type of head injuries (100% = all head injuries)
Source: COST 327 Data bank

Soft tissue injuries and concussions are characterised by low impact speed. The 80%-value is 55 and 70 km/h respectively (Fig. 8). 80% of fractures and other head

and brain injuries occurred with an impact speed of up to 90 km/h, with over 60% occurring at above 40 km/h.

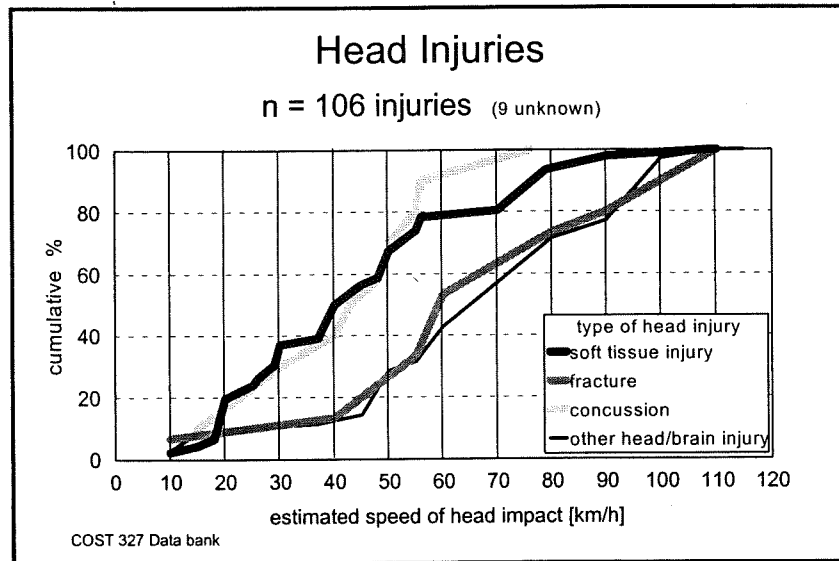


Fig. 8: Estimated speed of head impact for each type of head injury (100% = all head injuries of one type with known head impact speed) Source: COST 327 Data bank

Most of the injuries are located on the forehead (13%) and on the face (31.3%), 41.8% are located on the head, such as skull fractures, concussions etc.

Location of Head Injuries		
	n	%
forehead frontal	6	5.2
forehead lateral	9	7.8
face (middle part)	19	16.5
face (lower part)	17	14.8
head (lateral part)	21	18.3
head (upper part)	28	24.4
other	15	13.0
total	115	100.0

Tab. 8: Location of head injuries (100% = all head injuries) Source: COST 327 Data bank

The linkage between head injury location and head impact speed is shown in Fig. 9. The injuries of the forehead are characterised by a relative low impact speed, the 80%-value is about 55 km/h. Face injuries and injuries of the upper part of the head occur at a higher impact speed. The 80%-value is 74 km/h for facial injuries and 80 km/h for the upper part injuries. Injuries at the lateral part of the head occur mainly in cases of high head impact speed. The lowest value is 50 km/h, 80% are caused within the impact speed range 50 km/h to 93 km/h.

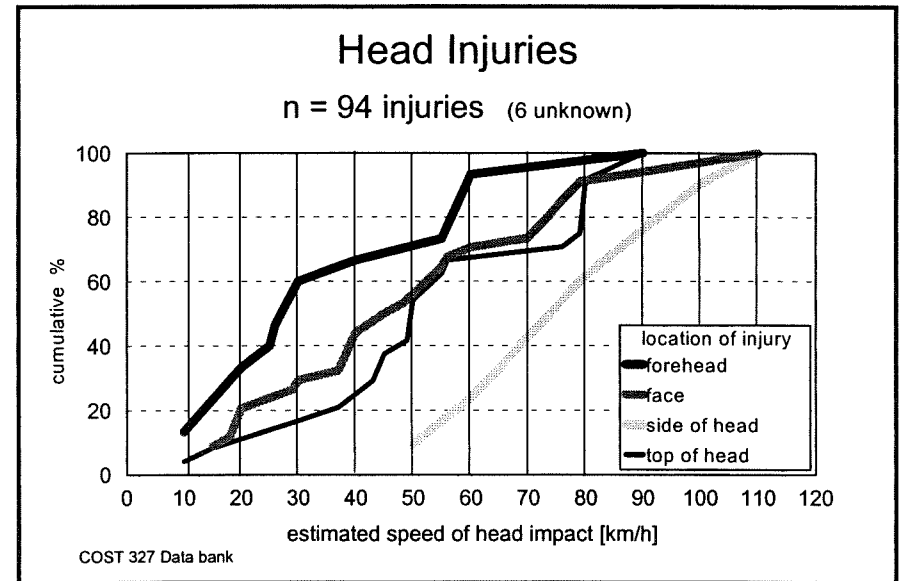


Fig. 9: Estimated speed of head impact for each head injury region (100% = all injuries of a head region with known head impact speed) Source: COST 327 Data bank

The shape of the collision object or the part of the vehicle struck is decisive for the type and severity of injuries (Tab. 9). Most of the impact shapes (66.1%) were round, 2.6% an edge and 13.9% flat. For 17.4% there is no information about the shape of the opponent.

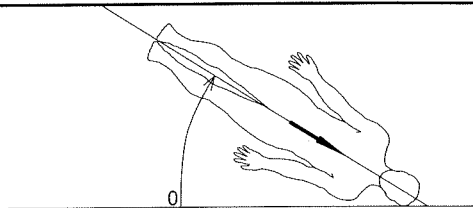
Most of the soft tissue injuries, such as abrasions, lacerations, contusions etc., were caused by round or flat shapes. 75% of the concussions were caused by round objects, 8.3% by flat ones. 78.1% of other brain injuries, such as haematomas, cerebral contusions or cerebral compressions were caused by round and flat opponents, only 3.1% were occurred by an edge impact.

Shape of Opponent and Type of Head Injury										
shape of impact	total		round		edge		flat		no information	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
soft tissue injury	50	43.5	34	68.0	2	4.0	3	6.0	11	22.0
skull fracture	7	6.1	4	57.1	-	-	3	42.9	-	-
facial fracture	8	7.0	6	75.0	-	-	2	25.0	-	-
concussion	12	10.4	9	75.0	-	-	1	8.3	2	16.7
brain injury	32	27.8	18	56.2	1	3.1	7	21.9	6	18.8
other head injury	6	5.2	5	83.3	-	-	-	-	1	16.7
total	115	100	76	66.1	3	2.6	16	13.9	20	17.4

Tab. 9: Shape of impact (opponent) in relation to type of head injuries (100% = all head injuries), Source: COST 327 Data bank

4.6.4 Body and Head Impact Angles

The body impact angle was determined for every head impact. 60% of the motorcyclists impacted with a small body angle, nearly parallel to the opponent, such as road surface, vehicle etc. Another 15.6% collided at angles of the body between 16 and 30 degrees. About one fifth impacted with a body impact angle above 30 degrees.

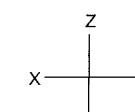
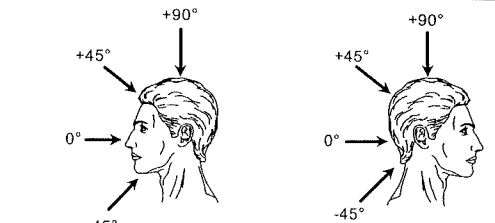
Body Impact Angle		
		
Body Impact Angle	n	%
< 15	69	60.0
16 - 30	19	16.5
31 - 45	10	8.7
46 - 60	5	4.3
> 60	9	7.8
unknown	3	2.6
total	115	100.0

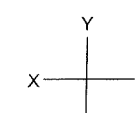
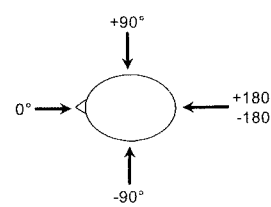
Tab. 10: Body impact angles for head injuries in degrees [°] (100% = 115 angles – all head injuries), Source: COST 327 Data bank

The head impact angles ZX and XY together describe the position of the head related to the direction of force to the head. These angles were estimated for every head impact and assigned to every head injury.

The angle ZX is defined by a horizontal axis through the head and the impact direction (Tab. 11). A horizontal impact is a 0 degree-impact, it can be frontal, rear or a side impact. A vertical impact to the top of the head is a 90 degree-impact. For impacts at an angle from the top the angle ZX can be 1 degree up to 89 degrees. Impacts with a head impact angle ZX of plus 46 degrees or more are so called impacts from the top, angles of minus 46 degrees or less are impacts from the bottom.

45.2% are horizontal impacts, 35.2% are impacts at an angle from the top, 13.9% are impacts at an angle from the bottom.

Head Impact Angle ZX							
							
Head Impact Angle ZX	0	1 - 45	46 - 89	90	(-45) - (-1)	unknown	total
n	52	40	1	0	16	6	115
%	45.2	34.3	0.9	0	13.9	5.2	100

Head Impact Angle XY												
												
Head Impact Angle XY	0	1 - 45	46 - 90	91 - 135	136 - 179	±180	(-179) - (-136)	(-135) - (-91)	(-90) - (-46)	(-45) - (-1)	un-known	total
n	33	20	13	-	1	7	1	1	8	25	6	115
%	28.7	17.4	11.3	-	0.9	6.0	0.9	0.9	7.0	21.7	5.2	100

Tab. 11: Head impact angles ZX and XY in degrees [°] (100% = all head injuries) Source: COST 327 Data bank

The wearing and loss of helmets is significant for the head injury severity. Within the COST project 13.1% of the motorcyclists lost their helmet during the accident. The most dangerous situation is the loss of helmet before the first impact. In some of these cases the strap was incorrectly fastened, but it has been proved that the loss of helmet was not always the result of misuse and helmets should be improved to avoid the loss of the helmet and to make the fastening simpler.

55.6% of all motorcyclists suffered head injuries, 20% neck injuries. The injury frequency and severity in the COST cases is higher than in the national statistics because only motorcyclists with head or neck injuries or with a head impact are selected for the COST Project. 80% of severely injured motorcyclists with MAIS 3 and above suffered head injuries.

The motorcycle impact to the car side is characterised by frequent leg injuries over 90%. In frontal collisions 100% of the motorcyclists suffered head injuries, in rear impacts it was 66.7%. In these collisions the motorcyclists were often thrown upon the car and the head impacted the bonnet, the roof, the windscreen or other parts of the vehicle.

Most of the head injuries were caused by an impact to the road surface (33.9%). 29.6% resulted from an impact with the opposite vehicle. 19.1% of the head injuries were suffered in collisions with objects, such as trees and road signs. During an impact the kinetic energy of the head is transferred to the opponent and to the helmet and the head. For this reason the helmet should be able to absorb as much energy as possible. In the construction of the helmet the biomechanical condition of the head and brain should be considered in combination with the most frequent impact loads to the helmet. The accident analysis process within the COST project is continuing up to December 1998, checking and correlating impact angles, load and injuries to the head.

The head impact direction was analysed in detail for every head injury and described in two head impact angles ZX and XY. 45.2% were horizontal impacts to the helmet (frontal, rear or lateral), 34.3% are impacts at an angle up to plus 45 degrees from the top, 13.9% at an angle up to minus 45 degrees from the bottom.

It was analysed that 67.0% of all head movements occurred in a dorsal flexion, 7.8% in a ventral flexion and 19.1% in a lateral movement.

43.5% of the head injuries were soft tissue injuries, such as cuts, contused-lacerated wounds and abrasions. Fractures were 10.1%, and 13.3% of the motorcyclists suffered a concussion. 27.8% were brain injuries, such as haematomas, cerebral contusions, cerebral compressions etc. 13% injuries were located at the forehead, 31.3% in the facial region, 42.6% were diagnosed as skull injuries.

In the first place the head or helmet impact load is influenced by the impact speed and the head weight. In the COST Data bank 80% collided with a head impact speed of up to 60 km/h and 76 head injuries occurred in these accidents, 22.4% were contused-lacerated wounds, 15.8% contusions, 11.8% concussions and 11.8% fractures; two thirds of the fractures were in the face region.

The results of this report supply the other workgroups with important information to find a better helmet safety standard.

6 Literature

- [1] Koch, H.
Der Motorradunfall
Beschreibung, Analyse, Prävention
Forschungshefte Zweiradsicherheit Nr. 3
Institut für Zweiradsicherheit e.V., Bochum 1986
- [2] Otte, D.
Improvements of optimal passive safety of motorcycles in traffic accidents with integrated leg protector
VDI Berichte Nr. 1159, p. 241–262, Düsseldorf 1994
- [3] Otte, D. / Kalbe, P. / Appel, H.
Difference of Injury Patterns and Accident Kinematic of Motorised an Non-motorised Two-Wheelers
Proc. 29th American Association for Automotive Medicine, p. 335–352, Washington D.C. 1985
- [4] StBA (Statistisches Bundesamt)
Verkehr
Fachserie 8
Reihe 7
Verkehrsunfälle 1996
Statistisches Bundesamt, Wiesbaden 1997

Unfallforschung II
Accident Research II

**Motorradunfalluntersuchung:
Wie sollten Motorradunfälle untersucht werden?**

***Motorcycle Accident Investigation:
How should Motorcycle Accidents be researched?***

Federico Galliano

ACEM European Motorcycle Manufacturers Association – Brüssel
Belgien

Nick Rogers

IMMA International Motorcycle Manufacturers Association – Schweiz

Abstract

It is well known that motorcycle accident statistics are either too narrow, incomplete too general because they are collected by for example police forces with a very limited number of variables. Individual in-depth studies are often limited in geographical and social context and are very often unrelateable to the general picture or to a broader region.

Therefore, there is a strong need for an accident investigation and analysis method, ideally harmonized at world-wide level, that is on-scene, in-depth, multi-disciplinary, multi-level, including both accident and injury causation factors, and of a large enough sample size to indicate statistically significant trends.

It is for the above reasons that in May 1997 an effort was started at OECD (Organization for Economic Co-operation and Development) level to establish a common international methodology for in-depth accident investigations, with input and contributions from world-wide experts in the field of motorcycle in-depth accident research.

This paper tries to summarize the work done and the future steps that the industry in Europe is willing to undertake. Some regions in the world, such as the USA and the European Union, may use the OECD elaborated method in multi-year research projects for regional accident studies.

Introduction

In its paper "Motorcycle Safety: A Decade of Progress", the motorcycle industry indicated that there was a need for "a radical review of the existing accident statistics, with the aim of achieving an internationally harmonized system of collection and analysis" [1].

The increasing in Europe of the role of Powered-Two-Wheelers (PTWs) in the transport system, especially in urban and metropolitan areas, requires solutions for further improvement of PTWs rider safety.

Although European countries reveal a positive accident trend of PTWs in the last decade (1980–1990), with a decline of 25% of fatalities and another 20% until 1995, motorcycle riders belong to the group of vulnerable road users.

Until 1996, we have to record a lack of initiative in this field. At the end of that year, ACEM, the European Association of Motorcycle Industry in Europe, brought to the attention of the European Commission a project aimed to establish a widely supported common method of collection and analysis of motorcycle accident.

At the same time, the motorcycle industry was invited by the OECD to participate in a working group having the mandate of creating "a basis for appropriate injury and accident reduction measures". Using a common methodology adopted at international level, a number of co-ordinated motorcycle accident investigations will be set up. When combined, this will provide a comprehensive set of motorcycle accident data, including exposure data (as far as feasible), that will be analyzed to provide guidance for future safety measures for motorcyclists. Each investigation should cover a significant number of accidents involving all severities of injury to riders of motorcycles in each of the participating countries.

The OECD experience

In the beginning of the activity the OECD RS 9 appointed a group of experts to develop concretely the methodology, chaired by Dr. D. Cesari, from INRETS, France. At its first meeting the group of experts identified the objectives of the Common International Methodology: to specify common, internationally applicable methods for conducting motorcycle accident investigations which are [2]:

1. On-scene, at the time of the accident, as much as possible;
2. In-depth;
3. Multi disciplinary;
4. Multi level;

5. Including accident causation and injury causation factors;
6. Including relevant human, vehicle and environmental factors and interactions;
7. Including identification of possible countermeasures;
8. Applicable to all powered two wheeler accidents, excluding non-injury cases;
9. For recommended sample sizes of at least 100 accidents per sample area, for basic investigation, in final complete data form, taken during any one year period;
10. To allow for other sample sizes depending on the purpose of the study, but including statistical significance estimates for all sample sizes;
11. Including "concurrent exposure" data for [x]% of the accident cases based on surveys done at the same location, day of the week, and time as each accident, and whenever possible, in similar weather conditions (in order to measure what is normal at each accident location);
12. Involving investigation team members who all have minimum specified levels and types of academic training and experience; motorcycle riding experience for specified team positions; and special team training for in-depth motorcycle accident investigation;
13. Able to provide an audit pat, between the raw data and the final results;
14. Reproducible, involving a means to ensure consistency of raw data coding among all teams, for example, a calibration procedure;
15. Unbiased, in terms of sampling, results and interpretations;
16. Useful for comparisons between different regions in different countries;
17. Based on a census of qualified motorcycles accidents meeting the sampling criteria in a given region, except for case overload situations;
18. For a sampling period covering accidents occurring during 24 hours per day, 365 days per year;
19. Involving standardized, minimum statistical analysis procedures, for single and multi variable analysis;
20. Resulting in final databases, which have a common structure and format.

The work then focused on the definition of the methodology itself, with the aim to define specific procedures for in-depth investigations of motorcycle accidents. Actually the methodology is divided in twelve chapters:

1. Definitions
2. Sampling requirements
3. Accident data collection: on-scene, follow-up, and concurrent exposure data activities.
4. Data analysis, accident reconstruction, data synthesis, and data assembly
5. Personnel selection and special training requirements
6. Quality control requirements
7. Liaison and cooperative agreement requirements
8. Equipment and facility requirements
9. Study implementation and schedule

10. Filing system and database requirements
11. Statistical data analysis
12. Reporting and publication

Notwithstanding the strong drive by OECD and all the members of RS9, the methodology is not yet complete after one year of activity. However, many participants in the work already stated their willingness to apply this methodology as soon as available.

MAIDS (Motorcycle Accidents Investigation Data System)

Since the beginning of the OECD project, ACEM, together with the Institute for the PTWs Safety (IfZ) in Germany, has been an active participant through experts devoted by its members and the expertise of IfZ. At the same time, ACEM decided to revise its project, MAIDS in order to align it, in terms of methodology and time-schedule, with the activity in OECD.

Basing its planning on the methodology being developed in OECD, ACEM contacted several potential partners in order to obtain the widest interest and encourage the application of in-depth investigation throughout all Europe. Having received a positive response from most of the potential partners contacted, in July 1997 a new proposal was submitted do the European Commission, Directorate-General VII. It presented a three year project to be run since the year 2000, with the aim of:

- Applying the OECD methodology in a European context, through two yearly investigation campaigns performed in at least four European countries (France, Germany, Italy and Spain), possibly enlarging the scope to other two (the Netherlands and United Kingdom);
- Developing a scientific information on motorcycle accidents causation factors capable to spin off serious initiative in improving motorcycle riders safety.

ACEM, having the aim of launching the first investigation campaign at the beginning of the next year, in agreement with OECD RS9, is now preparing a "methodology validation stage", in which the method defined in OECD will tested and validated in two European countries (Germany and Italy) with the help of IfZ and of the Medical University of Hannover.

The complexity of the methodology and the non negligible fact that it will be experimented for the first time in Europe, brought ACEM to enlarge and bettere structure this validation stage. The aim is two-fold:

- To assess the validity and proper functioning of the method;
- To assess the needs of specific training, identifying a suitable training pattern for the on-scene teams' members.

The schedule of this stage is foreseen from September 1998 to February 1999. After its conclusion, an evaluation of its results will be undertaken by the OECD expert group to fine tune the methodology for the kick-off of the investigation campaign.

- [1] N. M. Rogers: Motorcycle Safety: A decade of Progress – IMMA-ACEM/Geneva-Brussels/1994
- [2] OECD/RS)/TEG: Motorcycles: common international methodology for in-depth accident investigation

Die Sicherheit des Motorradfahrens in den Niederlanden

Safety of Motorcycling in the Netherlands

Piet C. Noordzij
Aad A. Vis

SWOV Institute for Road Safety Research – Leidschendam
Niederlande

1. Introduction

The total number of motorcyclists in the Netherlands is estimated as 350,000. The total number of killed and severely injured motorcyclists in recent years has been about 1000 per year. Twenty years ago there were many more motorcyclists under 25 years involved in serious accidents than older riders. Ten years ago the numbers were about equal and recently there are many more older motorcyclists involved in serious accidents. The last couple of years the increase in number of killed and severely injured motorcyclists between 25 and 35 years has stopped, but for motorcyclists 35 of years and over the numbers are still rising (Figure 1). This is more or less a result of similar changes in the numbers of young and older persons who own and use a motorcycle.

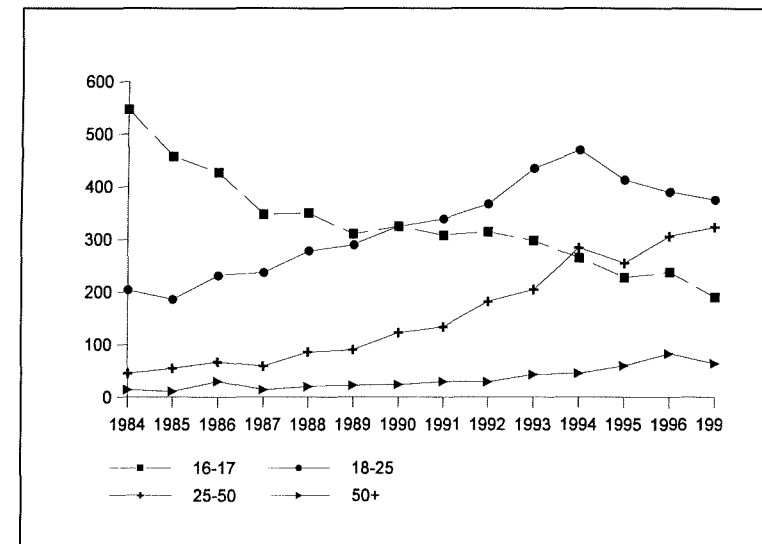


Figure 1. Number of severely injured and killed motorcyclists by age; the Netherlands.

2. Detailed accident study

A detailed study has been made of all serious accidents in which a motorcycle was involved from mid-1993 to mid-1994: more than 900. The original police records were used as well as other sources of information. In about 350 cases a questionnaire was completed by the rider. On the basis of location and single-multi vehicle, three large groups of accidents were distinguished and subsequently described in detail. Motorcyclists were divided into three groups according to age and experience. Two characteristics of the motorcycle were found to be most

informative: the type of motorcycle (as categorised by a panel of experts) and the specific capacity (or power to weight ratio).

Finally, the three groups of riders were combined with the two motorcycle characteristics. These combinations were compared (among others) on groups of accidents and speed violations. Risks (as number of serious accidents per 109 kilometres) were calculated through comparison of the number of accidents per combination and the distance travelled per group, per year. Distance travelled was established on the basis of a national survey of 3000 motorcyclists.

3. Groups of accidents

Three large groups of accidents were distinguished:

- single vehicle accidents (just over 200 of the 900);
- collisions with a motor vehicle at an intersection (just over 300);
- collisions with a motor vehicle on the road section (just over 200).

accident group	inside urban area	outside urban area
single vehicle	17 %	27 %
car-motorcycle, intersection	41 %	30 %
car-motorcycle, road section	24 %	27 %
rest	19 %	17 %
total	100 % (n=463)	100 % (n=463)

position of car	inside urban area	outside urban area
from sideroad	46 %	59 %
from opposite direction	20 %	17 %
rest	34 %	23 %
total	100 % (n=188)	100 % (n=137)

accident group	inside urban area	outside urban area
single vehicle	15 %	24 %
car-motorcycle, intersection	34 %	16 %
car-motorcycle, road section	45 %	16 %

The most significant findings for the three groups of accidents is given below (see also Table 1,2 and 3):

Single vehicle accidents

- Single vehicle accidents occurred more frequently outside the urban area (60%) than within it. In the case of collisions with a motor vehicle the proportion outside the urban area was smaller.
- In half of the single vehicle accidents the motorcyclist was riding alone, i.e. without another motorcycle or motor vehicle in the vicinity. In the case of collisions with a motor vehicle the proportion was 30%.
- In single vehicle accidents outside the urban area, one in five motorcyclists was riding together with other motorcycles. In the case of collisions with motor vehicles the proportion was 10%.
- Outside the urban area, the motorcyclist in approximately 25% of the accidents was exceeding the speed limit. In the case of collisions with motor vehicles the proportion was 15%.
- Within the urban area, 15% of motorcyclists were riding too fast before a single vehicle accident without crash opponent. In the case of collisions with cars, speeding was far more common (approximately 40%).

Collision with motor vehicle at an intersection

- Collisions with a motor vehicle at an intersection occurred more often within the urban area (almost 60%). Collisions with a motor vehicle on the road section occurred slightly more often outside the urban area.
- In around half the collisions at an intersection, the motor vehicle was approaching from a side-road. Within the urban area this was the case in slightly less than half of the accidents studied; outside the urban area it was slightly over half.
- In 20% of the collisions at an intersection did the motor vehicle approach from the opposite direction and turn left in front of the motorcycle.
- In collisions at an intersection, the driver of the motor vehicle often did not see the motorcycle, or saw it too late (80%). In collisions on the road section the figure was less (approximately 60%). In approximately 30% of cases there was

some sort of obstruction of vision whereby the driver had difficulty in seeing the motorcycle. In collisions on the road section this was less often the case.

- In collisions with a motor vehicle at an intersection within the urban area, the motorcyclist did not see the vehicle, or saw it too late, in almost 40% of cases. Outside the urban area this figure was just over 30%. Both within and outside the urban area, the vision of one in five motorcyclists was obstructed. This was less often the case than with collisions on the road section.
- More than half of the motorcycles which collided with a motor vehicle at an intersection were riding between or in the vicinity of other vehicles proceeding in the same direction. This was also the case for collisions on the road section, but in single vehicle accidents this was less often the case.
- In collisions with a motor vehicle at an intersection within the urban area, one in three motorcyclists was exceeding the speed limit. This was less often than in collisions with a motor vehicle on the road section within the urban area, but more often than in single vehicle accidents within the urban area.

Collision with motor vehicle on the road section

- Collisions with a motor vehicle on the road section occurred slightly more frequently outside the urban area than within it. In the case of single vehicle accidents the proportion outside the urban area was even larger, while collisions with a motor vehicle at an intersection occurred more frequently within the urban area than outside it.
- In collisions with a motor vehicle on the road section within the urban area, the motorcyclist was always riding on the own (correct) side of the road. In approximately 15% of cases, the motor vehicle was driving out from an exit or similar.
- In collisions with a motor vehicle on the road section outside the urban area, one in four motorcyclists was riding on the crash opponent's side of the road.
- In collisions on the road section, the driver of the motor vehicle did not see the motorcycle, or saw it too late, in 60% of cases. In collisions at an intersection this was even more often the case. Within the urban area, the driver's vision was obstructed in 15% of cases; outside the urban area this figure almost doubles but is nevertheless slightly less than in collisions with a motor vehicle at an intersection.
- In collisions with a motor vehicle on the road section, 40% of the motorcyclists did not see the vehicle, or saw it too late. One in four motorcyclists had an obstructed view of the crash opponent. This was more often than in collisions at an intersection.
- Of the motorcycles which collided with a motor vehicle on the road section, 60% were riding between or in the vicinity of other vehicles proceeding in the same direction. This was also the case in collisions with a motor vehicle at an intersection, but in single vehicle accidents the figure was smaller.
- Of the motorcyclists who collided with a motor vehicle on the road section within the urban area, 45% were exceeding the speed limit. This is a higher proportion

than in collision with a motor vehicle at an intersection within the urban area. In collisions with a motor vehicle on the road section outside the urban area, 15% were riding too fast. This proportion is the same as for collisions with a motor vehicle at an intersection outside the urban area.

4. Motorcyclists in accidents and in population

Motorcyclists were divided into:

- young (under 25) and inexperienced;
- older (25 and over) and inexperienced;
- older and experienced (more than five years of riding a motorcycle).

rider	motorcycle				
	touring	sport	custom	rest	total
young, inexperienced	6%	3%	3%	1%	13%
older, inexperienced	16%	7%	13%	2%	38%
older, experienced	25%	9%	9%	4%	48%
total	47%	19%	26%	8%	100%

rider	motorcycle		
	touring	sport	custom
young, inexperienced	1,2	2,2	1,8
older, inexperienced	0,8	1,3	1,1
older, experienced	0,5	1,2	0,5

A comparison of these three groups involved in serious accidents with the same groups in the population gave the following results (see also Table 4 and 5):

- A touring motor cycle is the most popular type, regardless of the age and experience of the rider. More than half of older, more experienced riders opt for this type and just over 40% of the other two groups.
- A third of the older riders with limited experience choose a custom motor cycle; in the other two groups the proportion is lower at approximately one fifth.
- Young riders are more likely to choose a sports motor cycle than older riders: one quarter against one fifth.
- The risk for young motorcyclists is one-and-a-half to two times greater than for older riders with equally limited experience (regardless of type or power to weight ratio of the motorcycle).
- For older motorcyclists, the risks are greater with less experience than with much experience (regardless of type or power to weight ratio of the motorcycle).
- The risk presented by a sports motorcycle is approximately double that of a touring motorcycle; the risk of a custom motor is also greater than that of a touring motorcycle (regardless of age or experience of the rider).
- For older motorcyclists, the risk is greater with a higher power to weight ratio of the motorcycle. Among older, very experienced riders, this is the case with extremely high ratios, with older inexperienced motorcyclists it can already be detected with lower ratios.
- The risk for older, inexperienced motorcyclists with a sports motorcycle is not very much greater than that of older experienced motorcyclists with a sports motorcycle and it is even the case that at very high power to weight ratios the risk for inexperienced older motorcyclists is less than that of the experienced older motorcyclists. The only explanation for this phenomenon currently being considered is that the experienced older motorcyclists with a sports motorcycle and/or a very high ratio are more inclined to look for roads outside the urban area on which they can ride at speed.

5. Groups of motorcyclists

The characteristics of the three groups of motorcyclists can be summarised as follows (see also Table 6):

rider	inside urban area			outside urban area		
	motorcycle			motorcycle		
	touring	sport	custom	touring	sport	custom
young, inexperienced	47%	53%	20%	-	29%	20%
older, inexperienced	33%	23%	10%	21%	38%	7%
older, experienced	25%	33%	25%	17%	32%	-

Young, inexperienced motorcyclists

- tend to opt for a sports motorcycle (more so than the other two groups of motorcyclists);
- are at great risk;
- have slightly more accidents within the urban area than outside it;
- commit more speed-limit violations within the urban area (prior to an accident) than the other two groups of motorcyclists;
- commit many speed-limit violations outside the urban area (prior to an accident) when riding motorcycles of a very high power to weight ratio.

Older, inexperienced motorcyclists

- tend to opt for a custom motorcycle (more so than the other two groups of motorcyclists);
- are at greater risk than older experienced motorcyclists (with the exception of those riding motorcycles of a very high power to weight ratio);
- are at slightly greater risk on a custom motor cycle than on a touring motorcycle;
- commit few speed-limit violations (prior to an accident) on custom motorcycles;
- are at increased risk of a collision with a motor vehicle at an intersection outside the urban area.

Older, experienced motorcyclists

- tend to opt for a touring motorcycle (more so than the other two groups of motorcyclists);
- are at greater risk on a motorcycle of very high power to weight ratio than on motorcycles of lower capacity;
- commit fewer speed-limit violations within the urban area on motorcycles with very high power to weight ratio than the other two groups;
- have more single vehicle accidents outside the urban area on sports motorcycles;
- have more collisions with a motor vehicle on the road section outside the urban area on touring motorcycles (than the other two groups)

Discussion

The accident study has provided descriptions of three large groups of motorcycle accidents as well as of the safety of groups of motorcycle riders in combination with their motorcycle. This knowledge can be used in the design of countermeasures to reduce the number of motorcycle accidents.

The characteristics of the three groups of accidents are useful for basic and advanced training programs and publicity to explain to motorcyclists which situations are dangerous, how to recognise them, what may happen in them, how to prepare

themselves for these situations. The same applies to car drivers who should be more aware of the presence and behaviour of motorcyclists, in particular car drivers entering an intersection or road section and when turning left.

Poor perception of motorcycles seems to be an important problem in the case of car-motorcycle collisions, both at intersections and road sections. Motorcyclists and car drivers could improve their behaviour to help solving the problem; the motorcyclist by using headlights, by taking position on the road to be better visible and by anticipating that the car driver did not see him/her.

The characteristics of different groups of riders enable the countermeasures to be adapted and directed to these groups. The different groups were found to have different levels of risk and partly different groups of accidents and behaviour. Some caution is called for when using the results of the risk calculations since they were based on rather small numbers of riders/accidents. The reason is that some of the necessary information (like experience) could only be obtained from the 350 completed questionnaires.

A particular problem with young and therefore inexperienced riders is the high proportion of speed violations inside urban areas, contributing to collisions with cars. For riders of sports motorcycles, speeding is a special problem as well, not only for young riders but for older riders too. Older riders of sports motorcycles have more speed violations outside urban areas, contributing to single vehicle accidents. Speeding is not so much a problem with older riders on custom bikes. Their problem may well be a lack of experience in combination with too little attention to other traffic when riding outside urban areas.

A major question with all these options for countermeasures is which parties will take responsibility for development and implementation. Apart from the central and local governments, there seems to be a role for private road safety organisations, training institutes, insurance companies, motorcycle industry and trade and motorcyclist organisations.

Die Sicherheit des Mopedfahrens in den Niederlanden

Safety of Mopedriding in the Netherlands

Piet C. Noordzij

SWOV Institute for Road Safety Research – Leidschendam
Niederlande

1. Introduction

There are about 540,000 mopeds in the Netherlands on a total population of 15.5 million inhabitants. This number is small compared to the number of cars and bicycles with respectively 5.9 million and 12.9 million. Moped riders are involved in about 2400 registered accidents each year in which road users are severely injured or killed. This is about 20% of all such accidents. The actual number of serious accidents is known to be higher, with about 3000 serious accidents with moped riders.

The minimum age for riding a moped is 16 years. There is a choice between riding a 'brom' moped with a maximum design speed of 45 km/h and compulsory wearing of a helmet, or a 'snor' moped with a maximum design speed of 25 km/h, without obligation to wear a helmet. In both cases the riders have to follow the traffic rules for cyclists, meaning that they use cycle paths or cycle lanes where available and give priority to motor vehicles from both right and left. The speed limit for 'brom' mopeds is 40 km/h outside built-up areas and 30 km/h inside.

2. Detailed study 1993

In 1993 a detailed study has been made into the use and safety of mopeds (Noordzij, 1993). Since mopeds must have third party insurance, a sample of 5000 moped riders was obtained with the help of insurance companies. 1700 of them returned the questionnaire with items on age, type of moped, tampering of the engine and kilometres per year. From all the 2300 registered, serious accidents with moped riders from mid 1992 to mid 1993, a sample of 1000 was selected in such a way that all age groups were about equally represented. For each of these accidents the original police report was obtained and the police officer who reported the accidents was interviewed by telephone to get additional information on the type of moped, condition of vehicle, wearing of helmet, estimated speed and details of the traffic situation.

2.1 Use of mopeds (Table 1)

More than half of the mopeds in use in 1993 were 'brom' mopeds with automatic transmission and more than half of the riders of these mopeds were younger than 25 years of age. About one-sixth of the mopeds were 'brom' mopeds with gear shift, with almost all riders younger than 25. One third of the 'brom' mopeds with gear shift, i.e. one in twenty of all mopeds, had tampered engines to go faster than the design speed. This leaves about one third of all mopeds as 'snor' mopeds, with almost all riders older than 25. Half of the 'snor' mopeds were of a special

type, known as Spartamet. These are normal pedal cycles with a 30cc engine connected to the rear wheel axle. More than half of the Spartamet riders were 50 years or older.

Type of moped	Age			
	16-17	18-24	25-49	50+
brom moped, gearshift, tampered	1,4%	3,1%	0,7%	-
brom moped, gearshift, standard	3,2%	3,9%	1,5%	1,1%
brom moped, automatic	11,0%	20,9%	17,0%	5,9%
snor moped	2,5%	2,7%	4,7%	5,6%
Spartamet	-	-	5,2%	8,1%

The average number of kilometres per year was about 3000; higher for 'brom' mopeds with gear shift than with automatic transmission and still lower for 'snor' mopeds. Younger riders also had a higher yearly average than older riders.

2.2 Risk (Table 2)

With the results of the rider sample and the accident sample, the risk of getting involved in a serious accident (as the number of serious accidents per 109 kilometres) was calculated for each combination of age group and type of moped.

Type of moped	Age			
	16-17	18-24	25-49	50+
brom moped, gearshift, tampered	9,4	1,8	3,6	-
brom moped, gearshift, standard	1,8	1,0	2,5	3,1
brom moped, automatic	2,1	0,8	0,7	1,4
snor moped	1,7	0,7	0,7	1,9
Spartamet	-	-	0,2	0,7

For all types of moped, the risk of riders of 16-17 years, as well as of riders 50 years and older, was two to three times higher than of riders of 18-50 years of age. There were, however, three exceptions:

- Riders of a 'brom' moped with gear shift, in the age of 25 years and older, had a higher risk than riders of the same age with other types of moped;
- Riders of a 'brom' moped with gear shift and tampered engine had a higher risk than other riders (of the same age);
- Riders of a Spartamet had a very low risk.

2.3 Accidents

The accidents in the sample have been divided on the basis of type of location (in- or outside built-up areas as well as intersection or road section) and single-multi vehicle (with a further division of other vehicles in car, other moped, bicycle and pedestrian) (see Table 3).

other vehicle	Location					
	inside built-up area			outside built-up area		
	intersection	road section	total	intersection	road section	total
none	19	102	121	4	57	61
pedestrian	4	26	30	-	5	5
bicycle	39	57	96	4	28	32
other moped	14	20	34	6	36	42
car	316	134	450	120	57	177
total	392	339	731	134	183	317

The number of serious accidents with mopeds inside built-up areas was more than twice the number outside built-up area. Inside, there were more accidents at intersections than on road section, but outside built-up areas this was reversed. By far the most accidents at intersections were collisions with a car. Almost all single-vehicle accidents had occurred on road sections. Collisions with other mopeds, bicycles and pedestrians were also found more often on road sections than at intersections.

NB: The accident sample, being based on age groups, was not truly representative of all moped accidents. However, only minor differences were found between age groups in the proportions of accidents inside or outside urban areas.

Four groups of accidents were studied in more detail.

2.3.1 Collisions with cars at intersections (Table 4)

More than half of the collisions with cars at intersections were at *intersections with priority signs*. Inside built-up areas almost two thirds of the mopeds were riding on the main road. In all these cases the car driver should have given priority to the moped, either coming from the side road, or coming from the same or opposite direction and turning into the path of the moped. Outside built-up areas, more than half of the moped riders who collided with a car entered the intersection from the side road. When the moped riders were coming from the side road (in- or outside built-up areas), they were mostly hit by a car on the main road coming from the left.

Table 4: Moped-car collisions at intersections, 1993						
Intersection with priority signs						
position of moped	inside built-up area				total	outside built-up area
	position of car					
	same road		other road			
	same dir	opposite dir	from left	from right		
main road	20	31	28	32	111	37
side road	1	2	39	16	58	45
total	21	33	67	48	169	82
Intersection without signs						
	inside built-up area				total	outside built-up area
	position of car					
	same road		other road			
	same dir	opposite dir	from left	from right		
	20	16	19	44	99	38
Intersection with traffic lights						
					41	14

It is remarkable that at *intersections without priority signs* (i.e. without main and side road), mopeds were mostly hit by cars coming from the right. This gives the impres-

sion that many moped riders involved in these accidents acted as if they had priority. Even at these intersections about one third of the car drivers should have given priority (coming from the same or opposite direction and turning). In the other two thirds of these accidents, car drivers coming from the right or left always had priority according to the Dutch traffic rules.

A small number of the collisions were at *intersections with traffic lights*. In the majority of these cases, the moped rider had violated the red light.

2.3.2 Collisions with cars on road sections (Table 5)

Inside as well as outside built-up areas, more than one quarter of the collisions with cars on road sections were the result of the car entering the road.

Table 5: moped-car collision on road section, 1993							
position of moped	inside built-up area					total	outside built-up area
	position of car						
	turning off road		no turning		entering		
	same dir	opposite dir	same dir	opposite dir			
cycle path	11	9	2	2	31	55	28
carriage-way	4	6	28	17	24	79	29
total	15	15	30	19	55	134	57

In more than one fifth of the cases the car driver was coming from the same or opposite direction and turning off the road into the path of the moped. In all these cases the car driver should have waited till the moped had passed in front. Many of the moped riders involved in these collisions were riding on a separate cycle path, either at the right or left hand side of the road.

2.3.3 Collisions with other mopeds or bicycle on road section

Most of the collisions with other mopeds or bicycles on road sections occurred on a separate cycle path. In most of the cases the vehicles came from opposite directions; more often so if both vehicles were mopeds.

2.3.4 Single vehicle accidents

Slightly less than half of the moped riders who had a single vehicle accident inside built-up areas, had hit a parked car, another obstacle on or at the side of the road

or a defective road surface. Outside built-up areas only one quarter of the single vehicle accidents consisted of such cases. These external conditions may have contributed to the accidents. For all the other single vehicle accidents there was no apparent explanation, except that the police officers reported in more than half the cases that the moped rider had been riding at more than 40 km/h.

3. Recent trends

The number of severely injured or killed 'brom' moped riders shows a sharp decline between 1990 and 1993, particularly for riders under 25 years of age (Figure 1).

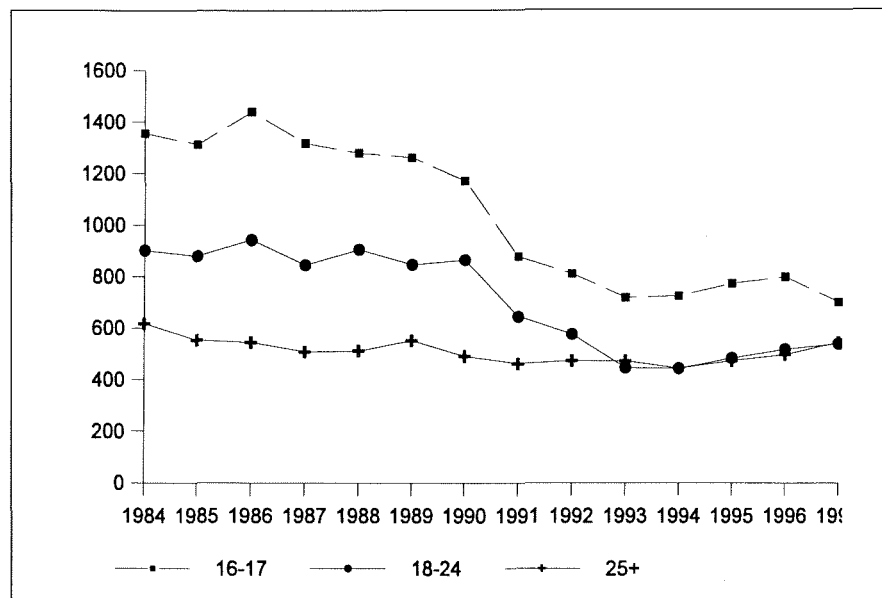


Figure 1. Number of severely injured and killed 'brom' moped riders by age; the Netherlands

The number of severely injured or killed 'snor' moped riders increased continuously during the last ten years. This is the result of a continuous increase for riders of 50 years and older in combination with an increase for young and middle-aged riders since 1990 (Figure 2).

The proportion of 'snor' moped victims under 25 years of age has increased from 10% ten years ago to about 50% at present. It seems that at least part of the decline in accidents of young 'brom' moped riders was replaced by an increase in 'snor' moped accidents.

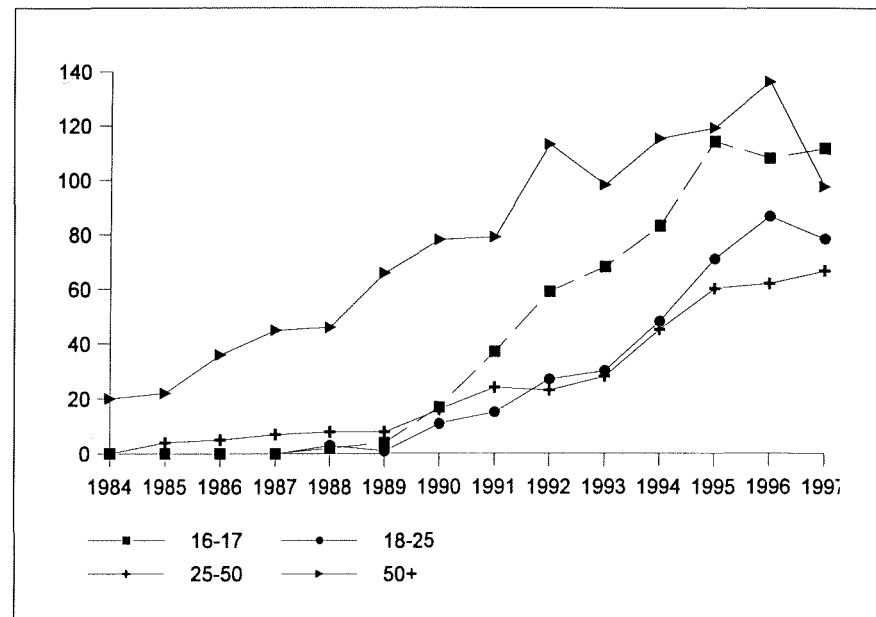


Figure 2. Number of severely injured and killed 'snor' moped riders by age; the Netherlands

Unfortunately, there is no detailed information on the use of 'brom' mopeds and 'snor' mopeds, apart from the 1993 study. But it seems very plausible that these trends are the result of changes in the use of 'brom' mopeds and 'snor' mopeds. Most of the mopeds that have been sold recently had a scooter model. The 'snor' moped with scooter model seems to be very popular among young riders. Scooters look attractive, there is no obligation to wear a helmet and they are easy to tamper to go much faster.

Some recent studies give indications that the proportion of mopeds with tampered engines is much higher than in 1993 (Schoon & Kok, 1997). In 1996 'brom' moped riders were interviewed at the roadside. Seventeen percent of the riders admitted to have tampered the engine and 33% gave a top speed over 50 km/h, with 10% over 70 km/h. In 1997 speeds of 'brom' mopeds and 'snor' mopeds were measured on cycle paths. The proportion of 'brom' mopeds exceeding 50 km/h was more than 5% inside built-up areas and more than 10% outside built-up areas. For 'snor' mopeds (with a design speed of 25 km/h) the proportion exceeding 30 km/h was more than 40% inside and more than 50% outside urban areas. The proportions were even higher for scooter models.

4. Safety measures

The increase in the number of accidents with 'snor' mopeds, together with the indications of increased tampering of both 'brom' mopeds and 'snor' mopeds have led and are still leading to a number of measures. In 1996 the minister of transport introduced a theory test for riders of 'brom' moped and 'snor' moped. Since that time, young moped riders have better knowledge of traffic rules and traffic situations (Twisk a.o., 1998). Also in 1996, the minister started negotiations with representatives of the moped industry and trade to prevent tampering. At the moment these parties have agreed on voluntary measures. In the near future, all new 'brom' mopeds and 'snor' mopeds will have to comply with European rules against tampering. Vehicle registration will also be introduced and all 'brom' mopeds and 'snor' mopeds already in use will have to be tested before registration.

Another measure in the future will be a change in the traffic rules: inside built-up areas 'brom' moped riders will have to mix with cars instead of using cycle paths. A small scale field trial with this measure resulted in a considerable decline of collisions between 'brom' mopeds and cars at intersections, as well as of collisions between 'brom' mopeds and bicycles on cycle paths (Hagenzieker, 1995).

NB: In the 1993 accident sample, about 15% of the moped riders were riding on a cycle path inside built up areas.

5. Summary

'Brom' mopeds (design speed 45 km/h and helmet) are mostly used by riders under 25 years of age, whereas 'snor' mopeds (design speed 25 km/h, no helmet) used to be ridden almost exclusively by older persons. The risk of getting involved in a serious accident is high for young and old moped riders and much higher for mopeds with tampered engines. However, riders of a Spartamet have a relatively low risk.

Common types of serious accidents are:

- collisions with cars at intersections with priority signs in which the car driver should give priority, coming from the side road;
- collisions with cars at intersections as well as on road sections in which the car driver comes from the same or opposite direction and turns into the path of the moped;
- collisions with cars at intersections in which the moped rider should give priority to the car, either at intersections with priority signs with the moped on the side road or at intersections without signs (where the moped rider should always give priority to cars on the other road);

- single vehicle accidents in which external conditions or high speed contribute to the accident.

Recently, the 'snor' moped with scooter model has become popular among young riders and there are indications that many of them have tampered their engines to go much faster. The tampering of 'brom' mopeds and 'snor' mopeds in general seems to have increased. Measures are under way to prevent tampering.

References

- [1] Hagenzieker, M.P. : Bromfietsers op de rijbaan: ongevallenstudie – Report R-95-33 – SWOV Institute for Road Safety Research – The Netherlands/Leidschendam/1995.
- [2] Noordzij, P.C.: Ongevallen van brom- en snorfietsers – Report R-93-59 – SWOV Institute for Road Safety Research – The Netherlands/Leidschendam/1993.
- [3] Schoon, C.C. & Kok, A.W.: Inventarisatie van mogelijkheden om het aantal slachtoffers onder brom- en snorfietsers te reduceren – Report R-97-52 – SWOV Institute for Road Safety Research – The Netherlands/Leidschendam/1997.
- [4] Twisk, D.A.M. a.o. Evaluatie bromfiets-theoriecertificaat – Report R-98-5 – SWOV Institute for Road Safety Research – The Netherlands/Leidschendam/1998.

Unfall- und Verletzungssituation bei Motorrollern

Accident and Injury Situation of Scooter Riders

Dietmar Otte

Medizinische Hochschule Hannover – Verkehrsunfallforschung
Deutschland

Abstract

A team of scientists of the Medical University Hannover (research project of the Bundesanstalt für Straßenwesen) investigated on-scene 89 motorscooter accidents and analysed and evaluated accident and collision types, injury frequency and injury patterns. Within the scope of this study the scooter accidents were compared to the situation of motorcycle riders by analysing further 1,029 accidents of motorcyclists comparing and describing characteristic parameters, collision mechanisms, kinetic aspects, and the severity of injuries to the head, the trunk and legs.

In brief these are the results of the comparison of the situation of scooter riders and motorcycle riders:

- Motorscooter riders related to motorcycle riders are less frequently injured and the injured riders less often suffered serious injuries.
- Riders of motorscooters bear a higher risk of head injuries: about 24% of them suffered injuries to the head.
- The severity of occurring head injuries is definitely smaller for scooter riders (3.7% AIS 2+) than for motorcycle riders (9.2%).
- The most influence factors for injury patterns are collision configuration and relative impact speed.

The study reveals that the fairing of the scooter does not offer the expected protection. Thus the study tries to describe demands for the future design of motorscooters.

Abstract

Aus Unfallerehebungen vor Ort, durchgeführt von einem wissenschaftlichen Team der Medizinischen Hochschule (Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwesen), wurden 89 Unfälle mit Motorrollern ausgewertet und hierzu Unfall- und Kollisionstypen, Verletzungshäufigkeit und Verletzungsmuster aufgezeigt. Eine vergleichende Darstellung der Situation von Motorrollerfahrern und Motorradfahrern erfolgt im Rahmen der Studie, zu der zusätzlich Unfälle von 1029 Motorradfahrern analysiert wurden. Charakteristika, Kollisionsmechanik, Kinematik und Verletzungsschweren von Kopf, Thorax und Beinen wurden vergleichend betrachtet und dargestellt.

Folgende Ergebnisse zeigen sich für Motorrollerfahrer vergleichend zur Situation der Motorradfahrer in Kurzform:

- Motorrollerfahrer sind seltener verletzt und die Verletzten erleiden seltener schwere Verletzungen
- Fahrer von Motorrollern haben ein höheres Kopfverletzungsrisiko, 24% hatten Kopfverletzungen gegenüber 20% Motorradfahrern.
- Der Schweregrad der auftretenden Kopfverletzungen ist bei Motorrollerfahrern deutlich geringer (3,7% AIS 2+ gegenüber 9,2% bei Motorradfahrern).

Die Studie zeigt, daß die am Roller vorhandene Verkleidung nicht die erwartete Schutzwirkung zeigt. Anforderungen an die Gestaltung von Motorrollern werden in der Studie formuliert.

1. Einleitung und Zielsetzung

Der Motorroller erfreut sich derzeit wachsender Beliebtheit. Der Bestand an Motorrollern hat insbesondere in den letzten 5 Jahren stark zugenommen. Zwar bilden Motorräder immer noch den überwiegenden Anteil an allen motorisierten Zweirädern, doch waren im Jahr 1995 in Deutschland neben 2,065 Mio. Motorrädern auch 125.633 Motorroller registriert (KBA – 1). Dies entspricht einem Anteil von 6,1%. Demgegenüber waren vor 10 Jahren noch lediglich 50.000 Motorroller zu verzeichnen. Wegen nicht einheitlicher Erfassung der Bestandszahlen von Motorrollern kann an dieser Stelle keine Übersicht für diese aufgezeigt werden.

Verbunden mit einer Zunahme an Fahrzeugen ist aber auch eine veränderte Unfallsituation anzutreffen. In den statistischen Aufzeichnungen des Statistischen Bundesamtes ist der Motorroller nicht speziell ausgewiesen, so daß deshalb für Deutschland keine exakte Angabe über die Gesamtzahl an verletzten Rollerfahrern bekannt ist (StBA – 2). Da Motorroller einerseits mit Hubraum bis 50 cm³ in die Mofaleistungsklasse fallen, bei 50 cm³ Hubraum als Mokick zählen und andererseits Motorroller mit mehr als 50 cm³ auch in der Leichtkraftrad- und Motorradleistungsklasse betrieben werden, können hier die Daten der amtlichen Unfallstatistik zur Darstellung der Verletzungssituation der Motorrollerfahrer nicht herangezogen werden. Da das Spektrum der heute auf dem Markt befindlichen Motorroller damit sehr verschieden ist und diese im Falle eines Unfalles als „Mofa“ oder „Motorrad“ in der Unfallstatistik geführt werden, erscheint es sinnvoll, die beiden Gruppen Motorrad- und Mofafahrer zunächst vergleichend zu analysieren.

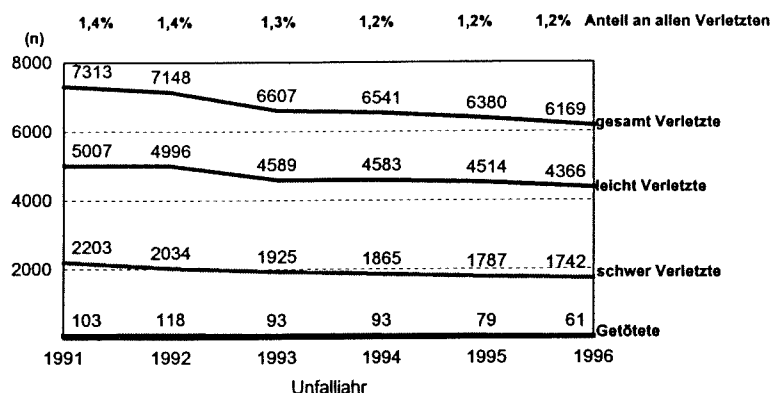
Für ganz Deutschland ist bei Motorrad- als auch bei Mofafahrern eine fortlaufend günstige Unfallsituation festzustellen. So sind seit 1991 die absoluten Häufigkeiten für verletzte Motorradfahrer wie auch bei Mofafahrern stetig gesunken (Abb. 1).

Wurden 1991 noch 7313 verletzte Mofafahrer registriert, so waren dies 1996 noch 6169 (Reduktion 16%), 70% wurden leicht, 28% schwer verletzt und 2% getötet. Im Jahr 1996 betrug der Anteil der verletzten Mofafahrer an allen Verletzten im Straßenverkehr 1,2%. Demgegenüber wurden 36.842 Motorradfahrer im Jahr 1996 verletzt, was einem Anteil von 7,3% an allen Verletzten entspricht, im Vergleich waren es 1991 noch 40.355. Somit kann für Motorradfahrer binnen des gleichen 5 Jahreszeitraumes eine Reduktion der Verletzten von lediglich 7% festgestellt werden.

Um die detaillierte Verletzungssituation der Motorrollerfahrer zu beschreiben, werden Unfalldokumentationen der Erhebungen am Unfallort ausgewertet, die seit über 25 Jahren an der Unfallchirurgischen Klinik der Medizinischen Hochschule im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen durchgeführt werden. Der Vorteil dieser Erhebungen liegt in der kontinuierlichen Dokumentation von Verkehrs-

Getötete und verletzte Mofafahrer

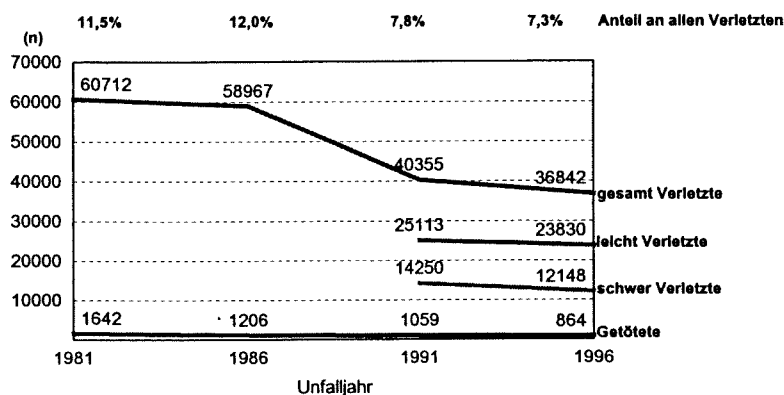
Deutschland



Quelle: Statistisches Bundesamt Wiesbaden

Getötete und verletzte Motorradfahrer

Deutschland



Quelle: Statistisches Bundesamt Wiesbaden

Abb. 1 Anzahl verletzter und getöteter Fahrer motorisierter Zweiräder in Deutschland

unfällen durch ein wissenschaftliches Erhebungsteam, wobei detaillierte technische und medizinische Informationen beginnend am Unfallort von Motorrad- und Motorrollerunfällen erfaßt werden. Seit 1985 werden diese Erhebungen nach einem statistischen Stichprobenplan durchgeführt, so daß die Ergebnisse als repräsentativ für das Erhebungsgebiet zählen und darüber hinaus zur Beschreibung von Unfallabläufen und Verletzungsmechanismen genutzt werden können (Otte, 3).

2. Datenbasis und Bewertungsmethodik

Im Rahmen der Studie sind Motorräder und Motorroller vergleichend gegenübergestellt und die Unfall- und Kollisionssituationen mit Bewertung des Verletzungsrisikos für verschiedene Körperregionen dargestellt.

In Erhebungen am Unfallort Hannover wurden in den Jahren 1985 bis 1995 insgesamt 1029 Motorräder (73%) und 89 Motorroller mit einem Hubraum von bis zu 80 cm³ und darüber (27%) für die Studie ausgewählt. Die Datendokumentation beinhaltet technische Details zu Fahrzeugdeformationen, Kollisions- und Fahrgeschwindigkeit des Zweirades und auch des Kollisionsgegners, zusätzlich eine detaillierte Erfassung von Verletzungen nach Art, Schwere AIS (American Association for Automotive Medicine, 4) und Lokalisation dieser Verletzungen am Körper. Mittels einer umfassenden Rekonstruktion des Unfallgeschehens sind Bewegungsabläufe von Zweirad und Aufsassen dokumentiert.

Abb. 2 zeigt, daß der Anteil an Rollerfahrern auch in den Erhebungen am Unfallort während der zurückliegenden Jahre zunehmend war. So betrug hier der Anteil an Motorrollern bei allen motorisierten Zweirädern in den 5 Unfalljahren 1985 – 1990 lediglich 5,6%, in den Jahren 1991 – 1995 immerhin 11,0%.

Auch zeigt sich insbesondere eine Zunahme bei den Rollern in der Leistungsklasse von bis zu 50 cm³, die bei Unfällen nach 1990 immerhin 57% aller verunfallten Motorroller stellten. Hier ist auffallend, daß Unfälle mit Mofa abgenommen haben (Reduktion von 15,3% auf 9,1%).

3. Unfall- und Verletzungssituation

3.1. Verletzungsschwere

Die Verletzungsschwere wird durch die AIS-Werte der Abbreviated Injury Scale ausgedrückt, wobei jeder einzelnen Verletzung ein Schweregrad von 0 (unverletzt) bis 6 (getötet) zugeordnet wird und für eine verletzte Person der maximale Einzelverletzungsschweregrad als MAIS gebildet, den Gesamtverletzungsschweregrad einer Person zum Ausdruck bringt. Auch wenn in vorstehender Studie ausschließ-

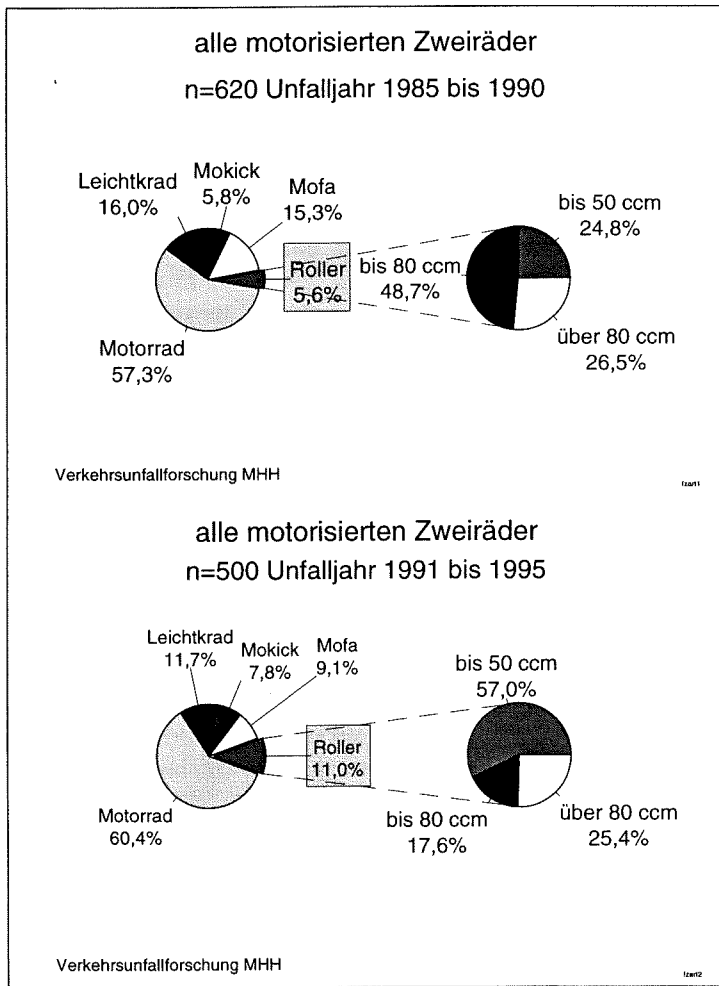


Abb. 2 Verteilung der Zweiradarten in den Erhebungen am Unfallort

lich Unfälle mit Personenschaden betrachtet wurden, kann es dennoch vorkommen, daß einige Motorradfahrer nach medizinischer Diagnose keine Verletzungen erlitten. Etwa 2/3 aller Motorrad- wie auch Motorrollerfahrer erleiden nur leichte Verletzungen des Schweregrades MAIS 1. Nachdem in der amtlichen Statistik verwendeten Schweregrad korrelieren MAIS 1 mit „Leichtverletzten“, die klinisch als ambulant zählen, und MAIS 2-4 als „Schwererletzte“, die stationär im Krankenhaus waren und MAIS 5/6 mit „Getöteten“, wenngleich der MAIS den Todesstatus hier nicht berücksichtigt (Otte, 5).

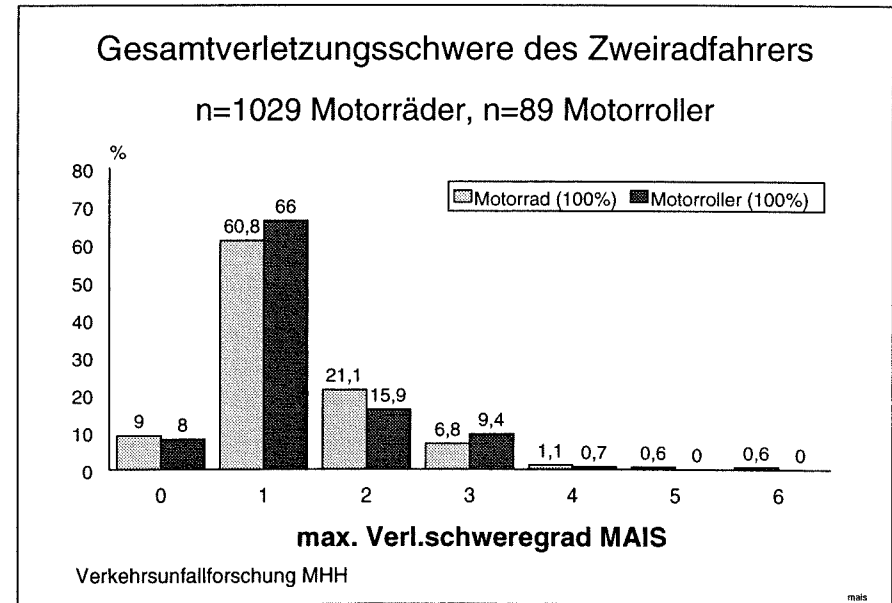


Abb. 3 Gesamtverletzungsschwere MAIS von Motorroller- und Motorradfahrern

Die Gesamtverletzungsschweregrade von motorisierten Zweiradfahrern zeigen keine großen Unterschiede zwischen Motorrädern und Motorrollern (Abb. 3).

2/3 aller Motorrad- wie Mofafahrer erfahren leichte Verletzungen MAIS 1. Schwerste Verletzungen MAIS 3 und höher (MAIS 3+) sind mit etwa 10% zu verzeichnen. Insgesamt zeigt sich für Motorradfahrer mit 20,0% eine geringe Kopfverletzungshäufigkeit (Abb. 4), die mit hoher Wahrscheinlichkeit auf einer hohen Schutzwirkung des Integralhelmes basiert, war doch in früheren Studien eine deutlich höhere Verletzungshäufigkeit registriert worden (Otte, 6). Aber auch bei lediglich 23,8% der Motorrollerfahrer ist eine Kopfverletzung zu registrieren. Als besondere Verletzungsschwerpunkte treten bei Rollerfahrern Arme (48,6%), Thorax (25,8%) und Beine (73,4%) in Erscheinung, die an der Gesamtverteilung damit ähnlich derjenigen bei Motorradfahrern ist und demzufolge wohl zweiradspezifisch die Verletzungssituation repräsentiert. Motorrollerfahrer erleiden vergleichend zu Motorradfahrern geringfügig mehr Verletzungen an Kopf, Thorax und Extremitäten, dagegen seltener Verletzungen an Hals, Abdomen und Becken.

Die Helmtragequote aller Fahrer motorisierter Zweiräder ist relativ hoch, für Fahrer von Motorrädern wie auch Motorrollern war dies in 95% der Fall. Der Kopfanprall ist bei beiden Zweiradfahrergruppen aufgrund der hohen Helmtragequote nicht

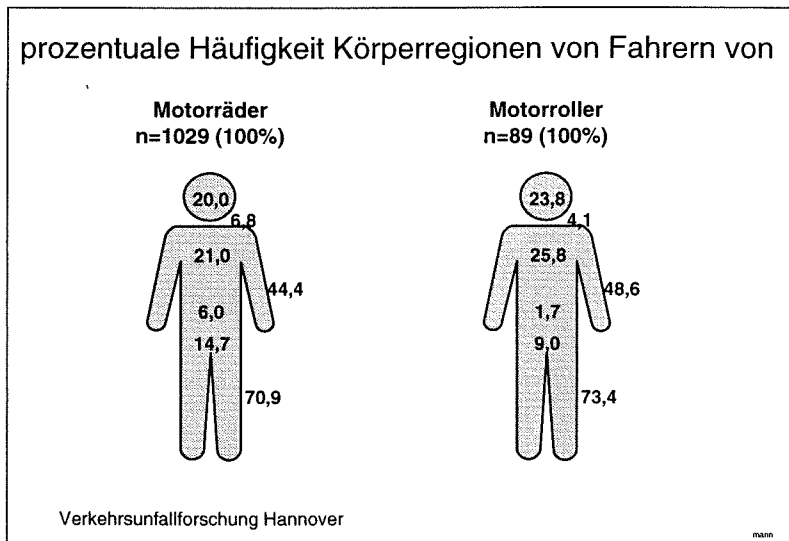


Abb. 4 prozentuale Häufigkeit verletzter Körperregionen bei Fahrern von Motorrädern und Motorrollern

sehr folgenschwer (Abb. 5). Lediglich 23,8% der Rollerfahrer und 20,0% der Motorradfahrer erfahren helmgeschützt eine Kopfverletzung. Dabei sind schwere Kopfverletzungen von AIS 3+ mit 2% bei Motorradfahrern und 0,5% bei Motorrollerfahrern sehr selten.

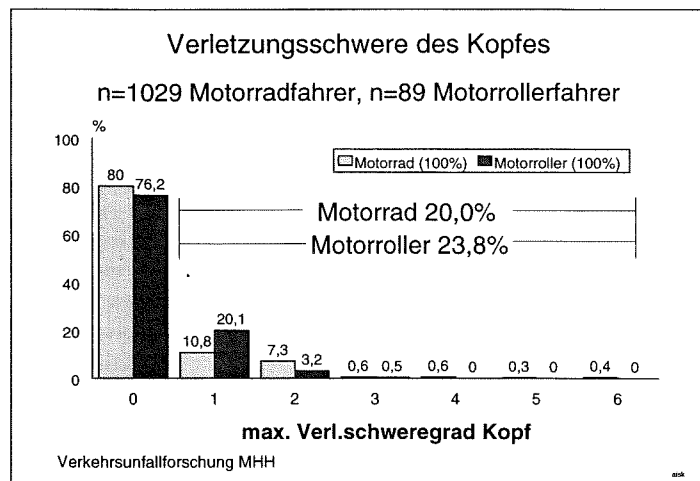


Abb. 5 Kopfverletzungsschwere von Motorroller- und Motorradfahrern

3.2. Unfallorte und Kollisionsobjekte

Motorroller verunfallen mit 89% überwiegend innerorts, nur 11% außerorts, damit im Vergleich zu Motorrädern häufiger innerhalb von Ortschaften (Motorräder 20,8% außerorts). Roller verunfallen deshalb auch mit 57% im Vergleich zu 51% bei Motorrädern häufiger an Kreuzungen und Einmündungen, sogenannten Knoten.

Demgegenüber verwundert allerdings die Tatsache, daß bei den Motorrollern sich mit 33% ein gegenüber den Motorrädern (21,6%) wesentlich höherer Anteil von Alleinunfällen findet (Abb. 6), sind Alleinunfälle doch für eine Situation außerhalb geschlossener Ortschaften charakteristisch. Alleinunfälle sind häufig mit Kollisionen gegen starre Objekte gekennzeichnet. Grundsätzlich stellen Alleinunfälle und Kollisionen mit Pkw die beiden dominierenden Unfallarten sowohl des Motorrades wie auch des Motorrollers dar.

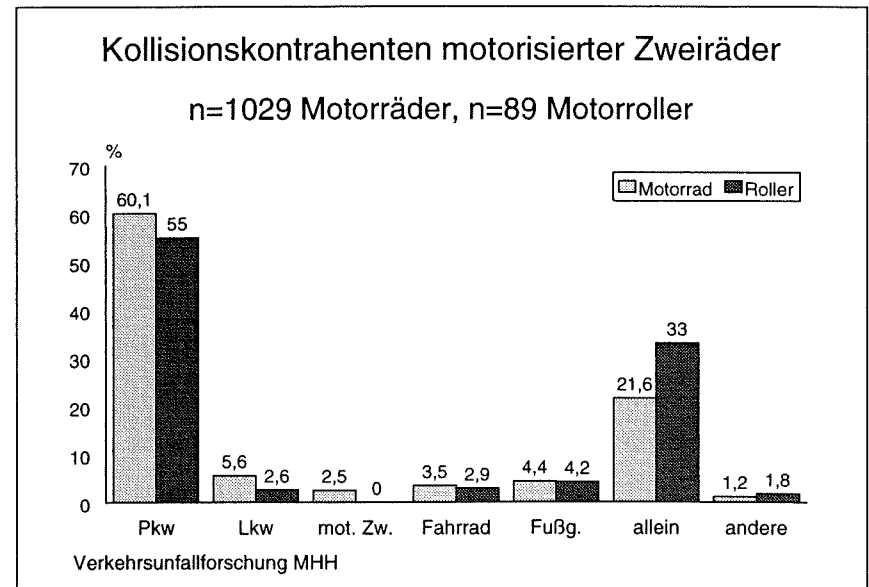


Abb. 6 Verteilung der Kollisionskontrahenten von Motorrollern und Motorrädern

Abb. 7 zeigt die Kollisionsobjekte bei Alleinunfällen, überwiegend sind Stürze auf die Fahrbahn festzustellen mit 71,2% bei Motorrollerfahrern und mit 75,4% bei Motorradfahrern. Somit sind für Fahrer motorisierter Zweiräder zwar viel Alleinunfälle zu verzeichnen, doch prallt der Fahrer dabei häufig auf der Straßenoberfläche auf und weniger an Objekten. Kollisionen mit Verkehrszeichen, Bäumen und Masten sind bei Motorrollern mit 5,2% selten zu verzeichnen, für Motorräder mit insgesamt 10,3% dagegen häufiger.

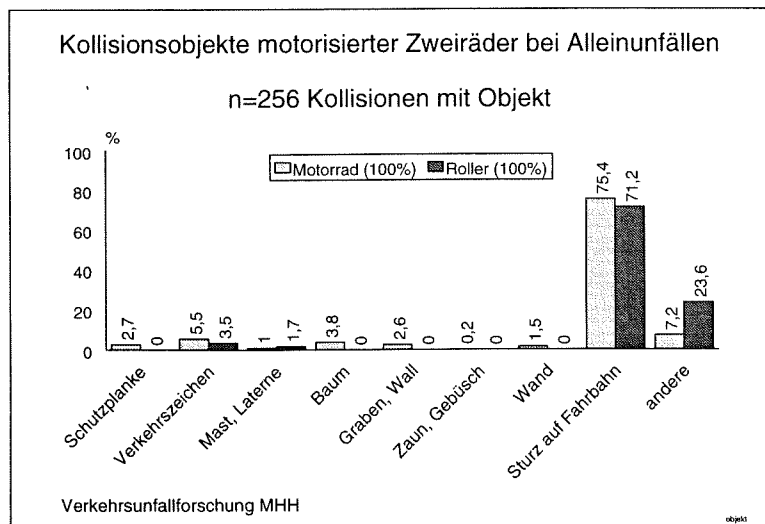


Abb. 7 Verteilung der Anprallobjekte allein verunfallender Motorroller und Motorräder

3.3. Kollisionstypen und Verletzungsschwere

Die Kollisionskonfigurationen zwischen Zweirad und Pkw oder Lkw werden nach der für motorisierte Zweiräder standardisierten Definition durch Kollisionstypen beschrieben (Otte, 7).

Bei **Motorrädern** sind die häufigsten Kollisionstypen (Abb. 8) mit 36,1% der Alleinunfall (Kollisionstyp 7) und mit 22,1% der Kollisionstyp 4, bei dem das Zweirad unter einem schrägen Winkel frontal gegen die Seite eines Fahrzeuges stößt.

Weiterhin erweist sich der Kollisionstyp 2 mit 13,3% häufig, der Kollisionen Front zu Front im Begegnungsverkehr beinhaltet. Der Kollisionstyp 1, bei dem ein Fahrzeug frontal in die Seite eines Zweirades stößt, ist mit 7,0% dagegen seltener.

Die Verletzungsschwere des Kopfes ist bei Kollisionstyp 3, dem rechtwinkligen Zweiradfrontalanprall gegen die Pkw-Seite und auch bei Alleinunfällen (Kollisionstyp 7) am höchsten.

Während der Kopf überwiegend nicht so häufig verletzt wird, stellen die Beine bei allen Kollisionskonfigurationen häufige Verletzungsschwerpunkte dar, besonders häufig bei Kollisionstypen 1 und 2, bei dem das Zweirad vermehrt seitlich getroffen wird. Dabei erweist sich speziell der Typ 2 hinsichtlich schwerer Beinverletzungen AIS 2+ mit 25,8% verletzungsgefährdend.

Bei Alleinunfällen besteht einerseits eine hohe Wahrscheinlichkeit, an einigen Körperregionen unverletzt zu bleiben, andererseits zeigen sich häufig schwere Verletzungen von Kopf und Beinen, so daß es hier meist zufallsbedingt ist, welche Körperregionen an dem Objekt anprallt.

Kollisionstypen Motorräder 100% n=922	Verletzungsschwere Motorradfahrer	←-----100%-----→		
		Unverletzt	AIS 1	AIS 2+
Typ 1 n=64 7,0%	Kopf Thorax Beine	76,8% 82,4% 13,9%	15,6% 10,2% 68,7%	7,6% 7,4% 17,4%
Typ 2 n=123 13,3%	Kopf Thorax Beine	83,6% 83,7% 8,9%	8,5% 8,1% 65,3%	7,9% 8,2% 25,8%
Typ 3 n=48 5,2%	Kopf Thorax Beine	80,2% 69,2% 24,0%	8,6% 27,6% 69,3%	11,2% 3,2% 6,7%
Typ 4 n=204 22,1%	Kopf Thorax Beine	82,1% 76,8% 25,4%	10,7% 18,3% 64,0%	7,2% 4,9% 10,6%
Typ 5 n=111 12,1%	Kopf Thorax Beine	78,7% 87,1% 20,5%	15,5% 9,3% 63,3%	5,8% 3,6% 16,2%
Typ 6 n=39 4,2%	Kopf Thorax Beine	86,4% 82,0% 23,4%	6,3% 17,2% 54,7%	7,3% 0,8% 21,9%
Typ 7 n=334 36,1%	Objekt Kopf Thorax Beine	78,5% 76,6% 43,9%	10,8% 13,5% 41,9%	10,7% 10,0% 14,2%
n=107	nicht zuzuordnen			

Abb. 8 Verteilung der Kollisionstypen von Motorrädern

Wie schon die Verteilung der Kollisionskontrahenten zeigte, finden sich bei **Motorrollern** viele Alleinunfälle und damit mit 45,4% auch ein hoher Anteil des Kollisionstyps 7 (Abb. 9). Weiterhin häufig sind auch bei Rollern die Kollisionstypen 2 mit

9,9% – Front zu Front Kollisionen im Begegnungsverkehr – und Typ 4 mit 19,0% – Zweirad stößt frontal in die Seite eines Fahrzeuges. Der Kollisionstyp 1, bei dem ein Fahrzeug frontal in die Seite eines Zweirades stößt, ist mit 5,6% wie auch bei den Motorrädern selten.

Motorrollerfahrer werden gegenüber Motorradfahrern zwar häufiger am Kopf verletzt. Dennoch zeichnete sich auch für verschiedene Kollisionstypen eine zum Motorrad geringere Kopfverletzungsgefährdung ab, besonders bei Frontalanprall des Zweirades gegen die Pkw-Front (Kollisionstyp 1) und dem Alleinunfall (Kollisionstyp 7). Thoraxverletzungen werden bei Rollerfahrern häufig bei Kollisionstyp 4,







Kollisionstypen Motorroller	100% n=82		Verletzungsschwere Motorrollerfahrer		
			unverletzt	AIS 1	AIS 2+
			←-----100%-----→		
Typ 1 n=5 5,6%		Kopf Thorax Beine	100,0% 62,8% -	- 37,2% 100,0%	- - -
Typ 2 n=8 9,9%		Kopf Thorax Beine	69,2% 69,2% -	30,8% 24,0% 65,1%	- 6,8% 34,9%
Typ 3 n=5 5,7%		Kopf Thorax Beine	48,5% 89,4% -	51,5% 10,6% 89,3%	- - 10,7%
Typ 4 n=16 19,0%		Kopf Thorax Beine	76,5% 55,9% 15,0%	20,9% 40,9% 66,0%	2,6% 3,2% 19,0%
Typ 5 n=4 4,7%		Kopf Thorax Beine	74,2% 89,1% -	14,8% - 89,1%	10,9% 10,9% 10,9%
Typ 6 n=8 9,6%		Kopf Thorax Beine	95,1% 75,7% 36,7%	- 4,9% 63,3%	4,9% 19,4% -
Typ 7 n=38 45,4%	Objekt	Kopf Thorax Beine	83,5% 77,2% 45,3%	12,5% 14,5% 39,2%	4,0% 8,3% 15,5%
n=7	nicht zuzuordnen				

Abb. 9 Verteilung der Kollisionstypen von Motorrollern

dem schrägen Frontalanprall des Zweirades gegen die Pkw-Seite und bei Kollisionen auf das Heck des Motorrollers (Typ 6) beobachtet. Beinverletzungen sind häufig und schwer bei Kollisionstyp 2, der schrägen Frontalkollision.

Motorräder	Häufigkeit n=334 100%	Gesamtverletzungsschwere Motorradfahrer			
		unverletzt	MAIS 1	MAIS 2-4	MAIS 5/6
		←-----100%-----→			
Baum	2,5%	-	52,0%	32,5%	15,6%
Pfahl	2,4%	-	-	95,5%	4,5%
Schutzplanke	1,8%	5,9%	55,7%	38,4%	-
sonst. fest	5,0%	9,3%	51,7%	39,0%	-
beweglich	32,8%	50,4%	39,7%	9,5%	0,4%
isolierter Sturz	55,4%	7,0%	54,7%	36,2%	2,1%

Abb. 10 Anprallobjekte allein verunfallender Motorradfahrer in Relation zur Gesamtverletzungsschwere MAIS

Der isolierte Sturz und Kollisionen mit anderen Zweirädern oder Fußgängern, den sogenannten bewegten Objekten, stehen im Vordergrund der Objektkollisionen des Kollisionstyps 7 (Abb. 10 und Abb. 11), sowohl bei Motorrad- wie auch Motorrollerfahrern. Besonders mit schweren Verletzungen verbunden sind Anprallsituationen mit Pfählen und Bäumen. Die Anprallintensität erscheint jedoch bei Motorrollern geringer, sind doch hier bei keinem der Objektenpralle Verletzungsschweren von mehr als MAIS 4 registriert worden. Dabei muß allerdings an dieser Stelle auf die geringe Fallzahl und die damit verbundene eingeschränkte Signifikanz hingewiesen werden.

Motorroller	Häufigkeit n=38 100%	Gesamtverletzungsschwere Motorrollerfahrer			
		unverletzt	MAIS 1	MAIS 2-4	MAIS 5/6
		←-----100%-----→			
Baum	-	-	-	-	-
Pfahl	1,3%	-	-	100,0%	-
Schutzplanke	-	-	-	-	-
sonst. fest	2,7%	-	-	100,0%	-
beweglich	17,0%	78,1%	7,1%	14,8%	-
isolierter Sturz	78,9%	-	68,1%	31,9%	-

Abb. 11 Anprallobjekte allein verunfallender Motorrollerfahrer in Relation zur Gesamtverletzungsschwere MAIS

Betrachtet man ausschließlich das Zweirad hinsichtlich der auftretenden Anstoßrichtung, so ist bei Motorrädern wie auch Motorrollern der Anstoß von vorn mit

etwa 50% am häufigsten (Abb. 12). Besonders bei Rollern ist der Sturz vor einem Anprall mit 17,4% und auch ein Anstoß von hinten auf das Heck des Zweirades mit 13,6% relativ häufig.

Anstoß am Zweirad ±45°	Verletzungsschwere Motorradfahrer				Verletzungsschwere Motorrollerfahrer			
	Anteil	unver- letzt	AIS 1	AIS 2+	Anteil	unver- letzt	AIS 1	AIS 2+
	100%	←-----100%-----→			100%	←-----100%-----→		
Kopf								
vorn	52,6	77,8	11,8	10,4	43,9	65,6	29,0	5,4
rechts	14,9	86,5	7,8	5,7	14,0	100,0	-	-
hinten	4,9	90,7	2,4	7,0	13,6	96,5	-	3,5
links	16,9	80,6	11,0	8,4	11,0	45,4	49,9	4,7
Sturz	10,6	74,6	15,1	10,3	17,4	85,7	10,4	3,9
Thorax								
vorn		79,4	13,3	7,3		70,2	25,4	4,4
rechts		78,9	12,6	8,5		71,5	28,5	-
hinten		82,1	16,2	1,7		82,7	3,5	13,8
links		81,9	13,2	4,9		89,7	-	10,3
Sturz		70,1	16,5	13,4		61,5	19,7	18,8
Beine								
vorn		27,1	57,8	15,1		22,6	66,7	10,6
rechts		18,9	60,7	20,4		18,8	70,1	11,2
hinten		36,6	51,0	12,4		50,9	44,9	4,1
links		29,1	52,4	18,5		21,6	56,3	22,0
Sturz		39,2	46,5	14,3		26,4	51,5	22,1

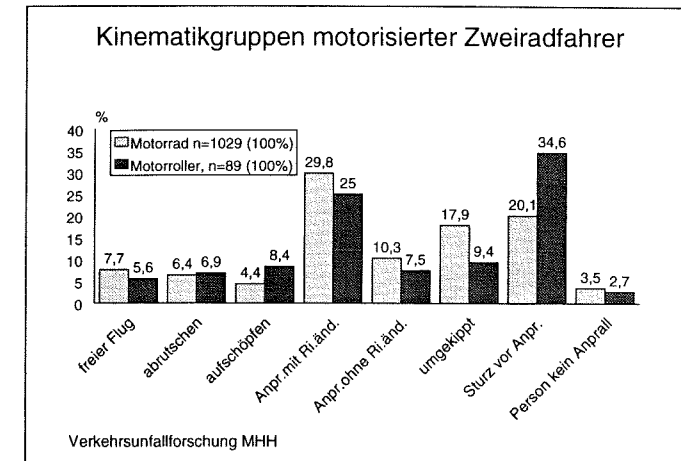
Abb. 12 Verletzungsschwere in Relation zur Anstoßrichtung an Motorroller und Motorrad

Schwere Kopfverletzungen des Schweregrades AIS 2+ sind bei Motorradfahrern mit etwa 10% insbesondere bei Anprall von vorn und von hinten zu beobachten. Motorrollerfahrer erleiden schwere Kopfverletzungen bei fast allen Anprallsituationen, vergleichend zu Motorradfahrern allerdings seltener. Generell sind bei Heckkollisionen häufig Unverletzte zu beobachten. Dennoch treten bei Anprallsituationen von hinten und auch bei Stürzen schwere Thoraxverletzungen Motorrollerfahrern auf. Im Falle eines Sturzes erfahren 22,1% der Motorrollerfahrer schwere Beinverletzungen, allerdings lediglich bei 16,3% der Motorradfahrer. Bei den Anstoßrichtungen machen sich bei Rollern die häufigen Unfälle an Kreuzungen und Einmündungen bemerkbar, die eine linksseitig stärkere Traumatisierung des Körpers beim Rollerfahrer zum Ausdruck bringt.

3.4. Kinematik und Verletzungsschwere

Die Bewegung des Zweiradfahrers im Rahmen der Kollision wird in Anlehnung an bisherige Studien durch die Definition der Kinematikgruppen dargestellt (Otte, 7).

Dabei ist bei Motorradfahrern mit 29,8% ein Anprall des Körpers am gegnerischen Fahrzeug mit anschließender Richtungsänderung (Abb. 13) am häufigsten. Auffällig häufig sind mit 34,6% bei Motorrollern Stürze, bevor es zu einem Anprall kam.



Verkehrsunfallforschung MHH

Kinematikgruppe	Kopf		Thorax		Beine	
	verletzt	AIS 2+	verletzt	AIS 2+	verletzt	AIS 2+
entfällt	4,7%	1,7%	10,7%	1,2%	39,5%	8,5%
freier Flug	24,9%	12,1%	18,8%	5,2%	65,5%	16,2%
abrutschen	27,3%	9,6%	24,0%	5,9%	64,2%	4,6%
aufschöpfen	33,4%	21,3%	24,0%	9,6%	95,9%	29,7%
Anprall mit Richtungsänderung	19,5%	7,9%	19,9%	6,3%	82,4%	19,9%
Anprall ohne Richtungsänderung	19,9%	8,3%	17,4%	5,3%	67,2%	12,6%
umgekippt	14,6%	7,0%	16,9%	3,7%	74,2%	16,7%
Sturz vor Anprall	21,8%	10,9%	29,1%	15,0%	64,0%	13,4%

Kinematikgruppe	Kopf		Thorax		Beine	
	verletzt	AIS 2+	verletzt	AIS 2+	verletzt	AIS 2+
entfällt	0,0%	-	0,0%	-	0,0%	-
freier Flug	0,0%	-	18,9%	-	100,0%	55,9%
abrutschen	35,5%	-	35,0%	7,4%	100,0%	-
aufschöpfen	13,8%	5,7%	38,4%	8,1%	100,0%	15,9%
Anprall mit Richtungsänderung	32,0%	2,0%	33,3%	1,7%	82,1%	16,3%
Anprall ohne Richtungsänderung	0,0%	-	8,1%	8,1%	31,6%	16,3%
umgekippt	26,9%	19,5%	34,9%	28,6%	80,5%	12,0%
Sturz vor Anprall	21,8%	2,0%	24,7%	9,4%	64,5%	14,4%

Abb. 13 Kinematikgruppen und Verletzungsschweren von Kopf, Thorax und Beinen von Motorroller- und Motorradfahrern

Besonders bei einem Anprall mit Richtungsänderung sowie bei Aufschöpfungsvorgängen ist der Kopf verletzungsgefährdet (Abb. 13). So waren auch bei Motorrollern bei dieser Kinematik die schwersten Kopfverletzungen aufgetreten.

Bei Motorrollern führen auch Umkippen und isolierter Sturz zu schweren Verletzungen des Kopfes.

4. Einflußparameter auf die Verletzungsschwere

Für die Verletzungsschwere relevant erscheint die Relativgeschwindigkeit zwischen Zweirad und gegnerischem Fahrzeug. Die Relativgeschwindigkeit berücksichtigt in der vektoriellen Zusammensetzung der absoluten Geschwindigkeiten von Zweirad und kollidierendem Fahrzeug die richtungsbezogenen Bewegungsanteile.

Motorroller sind in dem untersuchten Kollektiv schwächer motorisiert als Motorräder. Etwa die Hälfte der Motorroller sind heute Fahrzeuge bis 50 cm³ Hubraum. Demzufolge sind auch die Relativgeschwindigkeiten dieser Fahrzeuge deutlich geringer als diejenigen der Motorräder (Abb. 14). Über 80% der Relativgeschwindigkeiten lagen bei Motorrollern unter 40 km/h. Dagegen waren bei Motorrädern 50% über 40 km/h zu verzeichnen.

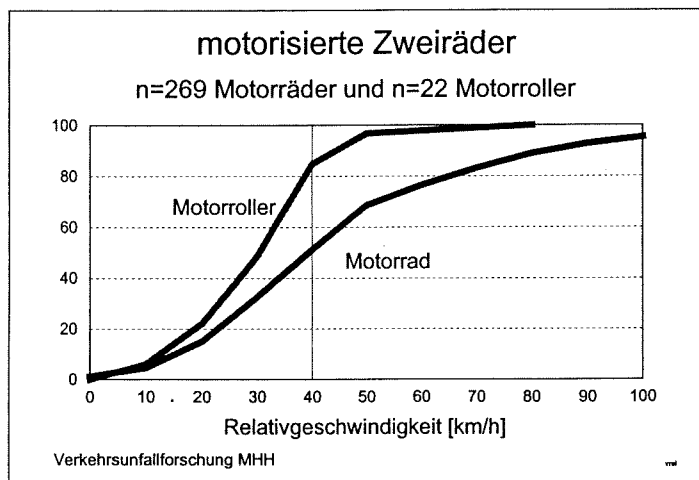


Abb. 14 Kumulierte Relativgeschwindigkeit zwischen Zweirad und Kollisionskontrahent von Motorrollern und Motorrädern

Wegen der kleinen n-Zahlen ist der Zusammenhang von Relativgeschwindigkeit und Verletzungsschwere für Fahrer von Motorrollern nicht mehr darstellbar. Des-

halb wird hier für das Gesamtkollektiv der Motorrad- und Motorrollerfahrer gemeinsam die Verletzungshäufigkeit für Kopf, Thorax und Beine bei unterschiedlichen Relativgeschwindigkeiten angegeben (Abb. 15). Es zeigt sich, daß mit zunehmender Relativgeschwindigkeit zwischen Zweirad und Kollisionspartner die Häufigkeit schwerer Verletzungen für alle Körperregionen zunimmt. Bei Relativgeschwindigkeiten von über 50 km/h kann bereits eine 20%-ige Wahrscheinlichkeit für schwere Kopf-, Thorax- und Beinverletzungen des Schweregrades AIS 2+ konstatiert werden.

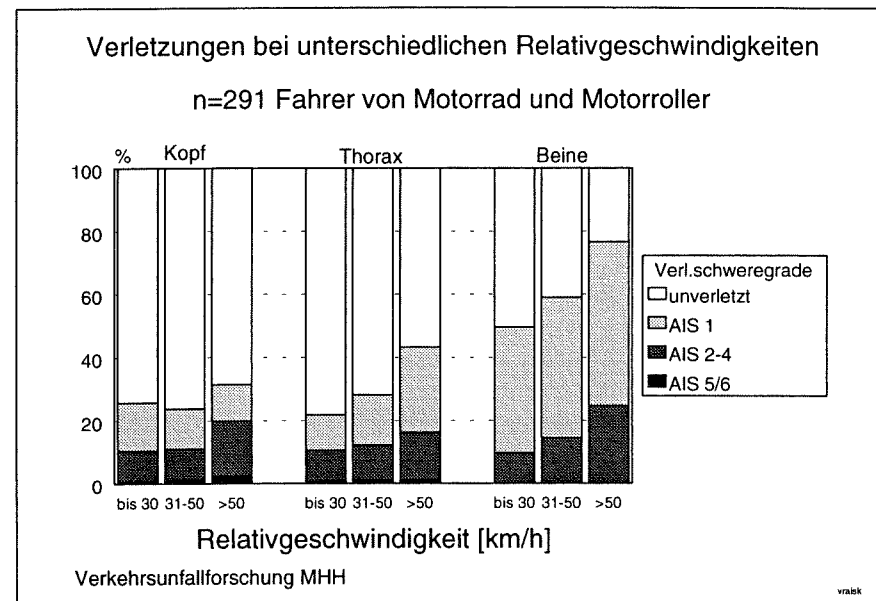


Abb. 15 Verletzungsschweregrade von Kopf, Thorax und Beinen für unterschiedliche Relativgeschwindigkeiten von Motorroller- und Motorradfahrern

Die meisten Kopfverletzungen entstehen sowohl bei Motorrad- wie auch Motorrollerfahrern durch den Sturz auf die Straße vor bzw. nach der Kollision. Ein Anprall am gegnerischen Fahrzeug ist dagegen bei 19,6% der Motorradfahrer und bei 19% der Rollerfahrer selten Ursache für Kopfverletzungen.

Eine Analyse der Kopfanprallstellen hinsichtlich der dabei auftretenden Verletzungsschweregrade des Kopfes zeigt, daß der Kopfanprall am Kollisionspartner für den Fahrer eines Motorrades und auch eines Motorrollers zu den folgenschwersten zählt (Abb. 17). Der häufig auftretende Anprall bzw. Sturz auf die Straße führt dagegen überwiegend zu leichten Verletzungen.

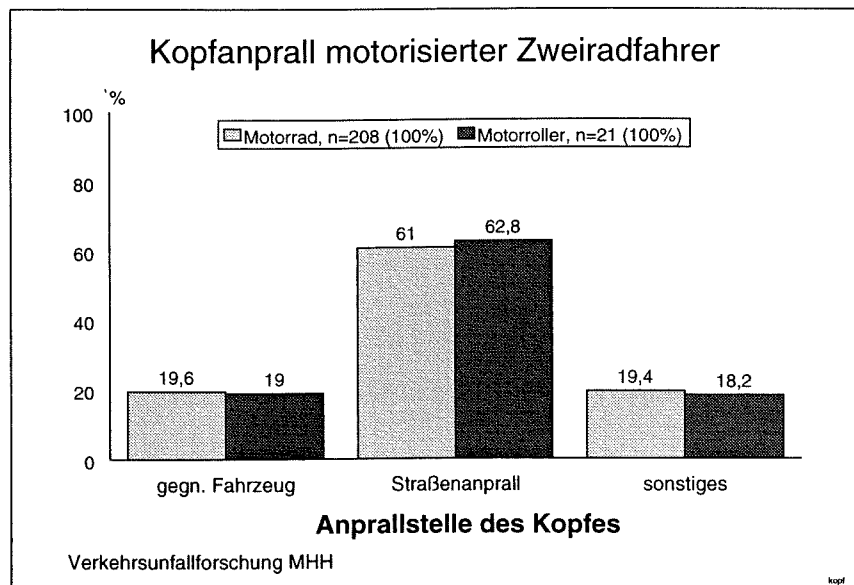


Abb. 16 Kopfanprallstellen von Motorroller- und Motorradfahrern

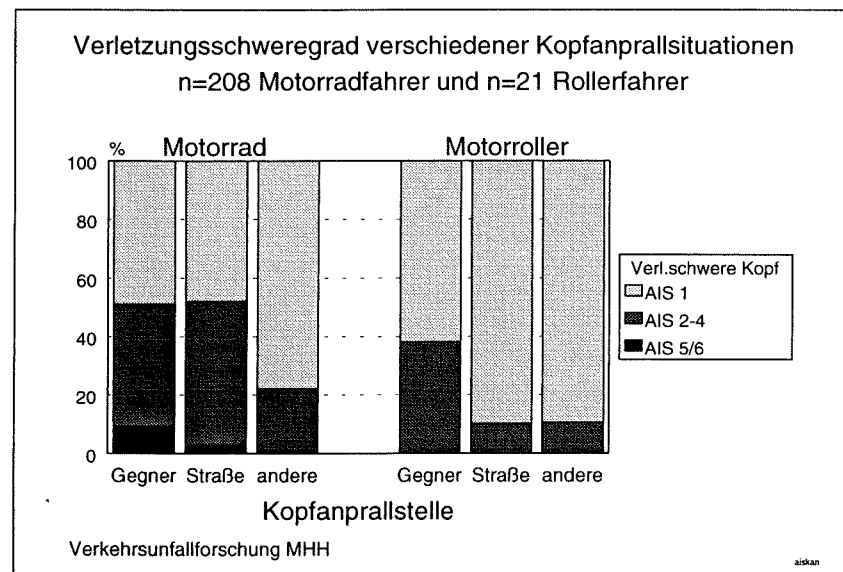


Abb. 17 Kopfverletzungsschwere in Relation zur Kopfanprallstelle von Motorroller- und Motorradfahrern

5. Schlußfolgerungen und Ergebnisdiskussion

Bereits von Bothwell (8) wurde am Ende der 60iger Jahre auf die Gefährlichkeit hingewiesen, bei einem Unfall vom Motorrad geschleudert zu werden. Er schlug die Fixation des Fahrers durch ein Sicherheitsgurtsystem vor, um die Lösung des motorisierten Zweiradbenutzers von seiner Maschine und damit den post-primären Körperanprall am Kollisionspartner zu verhindern. Zur Vermeidung von Verletzungen durch die umstürzende Maschine empfahl er Rückhaltegurte in Kombination mit Schutz- und Überrollbügeln.

Taneda (9) entwickelte 1976 einen speziellen Schutzbügel für motorisierte Zweiradfahrer. In Crashtests mit Dummies konnte hierfür beim Seitenanprall bis 45 km/h eine Schutzwirkung für die Extremitäten nachgewiesen werden, während ohne Schutzbügel schwerste Läsionen auftraten.

In vielen Unfallanalysen zeichnen sich immer wieder Kopf und Extremitäten als besonders verletzungsgefährdend ab, da das Zweirad bislang nicht von einer schützenden Insassenzelle umgeben ist, der Zweiradfahrer im Falle einer Kollision sich von dem Zweirad löst und sodann auf gegnerische Fahrzeuge mit voller energetischer Energie aufschlägt bzw. auf der Straßenoberfläche anprallt.

Auch in der vorstehenden Studie zeigte sich besonders für die exponierten Körperregionen Kopf, Thorax und Beine eine höhere Gefährdung, besonders durch Anprall an Teilen des gegnerischen Fahrzeuges. Gegenüber früheren Studien fällt allerdings eine nun festzustellende hohe Schutzwirkung durch den Schutzhelm auf. So haben sowohl Motorrad- wie auch Motorrollerfahrer mit etwa 20% selten Kopfverletzungen, Rollerfahrer geringfügig häufiger. Am häufigsten sind mit über 70% die Beine verletzt. Kopfverletzungen treten bei Motorrollerfahrern insbesondere bei Frontalkollisionen des Zweirades gegen die Seite eines Pkw auf, bei dem der Zweiradfahrer nach vorn über den Lenker hinaus mit dem Kopf an Dachrahmenstrukturen des Pkw aufschlägt. Auch bei schrägen und rechtwinkligen Kollisionen mit der Front eines Pkw wird der Körper aufgeschöpft und gleitet über die Fronthaube in Richtung der Windschutzscheibe hoch, wobei insbesondere schwere Beinverletzungen zu verzeichnen sind.

Die Erfahrungen aus der Unfallanalyse zeigen, daß es grundsätzlich zwei anzustrebende Konzepte einer Verletzungsreduktion gibt. Eines davon liegt in einer Veränderung der Abflugkinematik des Zweiradfahrers. Im Forschungsbericht FG 7806/2 der Bundesanstalt für Straßenwesen (Otte, 10) wurde dieses Konzept vorgestellt und beschrieben. Eine Flugbahn ohne Anprall am gegnerischen Fahrzeug ist meist mit geringen Verletzungsfolgen verbunden und die schwersten Verletzungen treten dann ein, wenn der Körper massiv gegen den Bereich der Fahrgastzelle des Pkw oder gegen eine starre Wand prallt, so daß eine Veränderung der Abflug-

kinematik erfolgen sollte, die es ermöglicht, über das Hindernis hinwegzukommen. Technische Entwicklungen an Motorrädern realisieren dies u.a. durch Formgebung des Sitzes, Tanks sowie Anbringung von Knieanprallpolstern.

Eine andere Möglichkeit, Kopfverletzungen zu verhindern, liegt in dem Einbringen von Schutzelementen am Zweirad, die den Anprall an harten Teilen des gegnerischen Fahrzeuges verhindern soll. Zu nennen ist hier der bereits in früheren Studien u.a. von Sporer (11) mittels Crashversuchen geprüften Airbag für Motorradfahrer. Auch dieser könnte helfen, die Bewegung des Rollerfahrers nach vorn aufzufangen bzw. sich zwischen Körper und gegnerischer Fahrzeugstruktur als Stoßdämpfungselement zu schieben. Aber auch ein optimaler Beinschutz am Zweirad darf nicht außer Acht gelassen werden. Die Studie zeigte, daß der am Roller vorhandene Beinschutz offensichtlich keinen ausreichenden Schutz darstellt. So sind Beinverletzungen mit etwa 75% in nahezu gleicher Häufigkeit bei Motorrollerfahrern wie auch Motorradfahrern zu verzeichnen. Ein Schutz der Frontverkleidung des Motorrollers zeichnet sich nicht ab und kann auch nicht für den Frontalanprall abgeleitet werden.

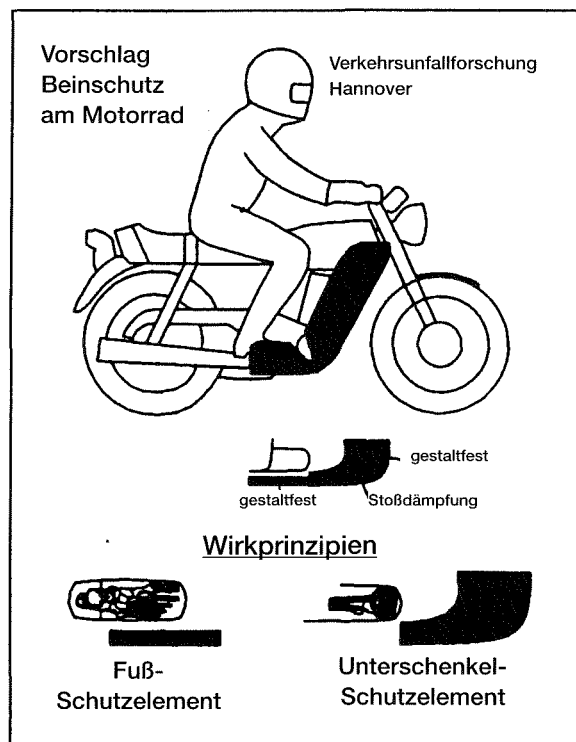


Abb. 18 Konstruktiver Vorschlag basierend auf Unfallanalyseergebnissen

Dennoch bietet diese bereits existierende Verkleidung die Möglichkeit, Schutzelemente für die unteren Extremitäten zu integrieren. Diese sollten die bereits in zurückliegenden Studien (Otte, 12) postulierten Anforderungen beinhalten und durch ein geeignetes Unterschenkelelement den Anprall bei der Vorverlagerung dämpfen und auch den Schutz gegen seitliche Anprallgegenstände ermöglichen. Der konstruktive Vorschlag ist in Abb. 18 nochmals dargestellt. Zusätzlich ist darauf zu achten, daß der Fuß in einer Art stabilen Bodenschale ebenfalls gegen seitlichen Direktanprall geschützt ist.

Entwicklungen mit einer schützenden Insassenzelle wurden bisher als nicht realitätsnah verworfen, dennoch in der Literatur immer wieder diskutiert (u.a. Bothwell, 8). Grundsätzlich kann dieses Konzept jedoch begrüßt werden, da es den Zweiradfahrer – ähnlich wie einen Pkw-Insassen – im Sitz zurückhält und vor einem verletzungsschweren Anprall am gegnerischen Fahrzeug bzw. Objekten im Straßenraum schützt.

Literatur

- 1 Kraftfahrt-Bundesamt
Statistische Mitteilungen, Reihe 2: Kraftfahrzeuge Jahresbestand 1995, Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart, 1996
- 2 StBA
Statistische Daten der Verkehrsunfälle in Deutschland 1995, Stat. Bundesamt Wiesbaden, Fachserie P, Reihe 7, Verlag Metzler-Poeschel, 1996
- 3 Otte, D.
Die Verkehrsunfallforschung an der Medizinischen Hochschule Hannover, Zeitschrift Brandschutz / Deutsche Feuerwehr Zeitung 6, Seite 370–377, 1994
- 4 American Association for Automotive Medicine
The Abbreviated Injury Scale – Revision 90, American Ass. f. Automotive Medicine, Morton Grove, Illinois (USA) 1990
- 5 Otte, D.: Injury Scaling: from lesion assessment to passive safety improvement, Vortrag Round Table, Institute of Legal Medicine, University of Verona, Juni 1995
- 6 Otte, D.; Suren, E.G.: Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Bericht FP 7806/6 Bd. 2, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach, 1985
- 7 Otte, D.; Kalbe, P.; Appel, H.: Difference of Injury Patterns and Accident Kinematic of Motorized and Non-motorized Two-Wheelers, Proc. 29th American Association for Automotive Medicine, 335–352, Washington, 1985
- 8 Bothwell, P.W.
Motorcycle accidents. Protection from crash injuries, Lancet 2, 807–810, 1960

- 9 Taneda, K.
Experimental investigation of motorcycle safety, Proc. IRCOBI 3, 270-282, 1976
- 10 Otte, D.; Suren, E.G.
Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Bericht FP 7806/6 Bd. 2, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach, 1985
- 11 Sporner, A.; Langwieder, K.
The Development of a Safety Concept for Motorcycles, US Department of Transport, 1987
- 12 Otte, D.
Läßt sich das Motorrad in der passiven Sicherheit noch verbessern durch integrierten Beinprotektor, VDI-Berichte Nr. 1159, Düsseldorf, 1994

Unfallforschung III

Accident Research III

**Rechnerische Simulation von Motorrad-Fußgänger-Unfällen
auf Basis des Mehrkörpersystems MADYMO
unter Berücksichtigung von Kollisionsversuchen**

***Computer Simulation of Motorcycle-Pedestrian-Accidents
based on MADYMO Analysis System***

André Schönekäs

Petri AG – Abt.: Rechnerische Simulation –
Ingenieurzentrum für Fahrzeugsicherheit – Berlin
Deutschland

Sebastian Heine

Daimler-Benz AG – Sindelfingen
Deutschland

Abstract

By the help of crash tests it was possible to develop a realistic model for the simulation of accidents involving motorcycles and pedestrians. The model helped on one hand to carry out an extensive parametre variation and, on the other, to develop protective devices for the motorcycles.

The obtained knowledge supports accident reconstruction research by providing a possibility for experts to reconstruct motorcycle/pedestrian accidents by the help of standardized procedures.

The main part of this paper consists of the development of protective devices for motorcycles that will considerably reduce injuries of involved pedestrians in case of a collicion with a motorcycle. For a pedes-trian, for example, who collides with a conventional motorcycle at an impact speed of 40 km/h, there is only a small chance of survival (less than 20%). If, however, the motorcycle is equipped with the protective devices mentioned above, the chance of survival of the pedestrian under the same circumstances clearly increases (> 85%).

Furthermore it was possible to show that even today motorcycles can be equipped with the necessary measures without high expenses or changes in design.

Finally, the only question that has to be answered is whether appr. 900 injured persons and more than 20 fatal accidents per year are enough for the motorcycle industry and the consumers to realize the importance of these special protective devices in their future motorcycles which will then clearly reduce the number of injured and killed person.

Einführung

Im Rahmen einer Gemeinschafts – Diplomarbeit [1] am ISS – Fahrzeugtechnik der TU Berlin wurde 1997 der Unfalltyp Motorrad-Fußgänger untersucht. Gegenstand der Untersuchung war zum einen die Analyse und Rekonstruktion dieses Unfalltyps, zum anderen die Abschätzung des Potentials von Schutzmaßnahmen am Motorrad. Die hohe Zahl der Einflußgrößen bei einer Kollision zwischen einem Motorrad und einem Fußgänger erfordert für eine allgemeingültige Untersuchung dieses Unfalltyps eine Vielzahl von Versuchen. Um den versuchstechnischen Aufwand gering zu halten, und gleichzeitig eine umfassende Parametervariation durchführen zu können, wurde das Mittel der rechnerischen Simulation benutzt. Anhand von neun Full-Scale-Crashtests konnte ein aussagekräftiges dreidimensionales Simulationsmodell entwickelt werden. Das Berechnungsmodell ist in der Lage, einen Motorrad-Fußgänger Unfall bis zum Stillstand aller Beteiligten zu simulieren. Mit Hilfe der berechneten Beschleunigungen und Kräfte können Aussagen zu den Verletzungen am Fußgänger und Motorradfahrer sowie zu den Motorradbeschädigungen getroffen werden.

Wesentliches Ziel der Diplomarbeit war die Entwicklung eines „Sicherheitsmotorrades“ für den Motorrad-Fußgänger-Unfall. Mit Hilfe des validierten Simulationsmodells wurden einfache Maßnahmen am Motorrad entwickelt, die zur deutlichen Herabsetzung der Verletzungsschwere des Fußgängers führen. Um die Ergebnisse der Computersimulation zusätzlich zu erhärten, wurden die entwickelten Schutzeinrichtungen an einem realen Motorrad umgesetzt. Ein abschließender Crashtest konnte schließlich das hohe Schutzpotential dieser Maßnahmen bestätigen.

Statistik

Um die statistische Bedeutung des Motorrad-Fußgänger-Unfalls zu untersuchen, wurde auf die Daten des Statistischen Bundesamtes [2] zurückgegriffen. Unfallgutachten des betreuenden Dozenten und Kraftfahrzeugsachverständigen Herrn Prof. Rau [3] dienten zur weiterführenden Auswertung der Kollisionsbedingungen.

Betrachtet man zunächst die Gesamtheit aller deutschen Straßenverkehrsunfälle innerhalb geschlossener Ortschaften, so zeigt die Statistik von 1994 nach [2], daß bei allen verunglückten Personen (verletzte + getötete) der Fußgängerunfall mit einem Anteil von 8,6% und der Motorradunfall mit einem Anteil von 7,2% einen mittleren Stellenwert besitzt. Die Bedeutung steigt jedoch bei Betrachtung der innerorts getöteten Personen. Hier steht der Fußgängerunfall mit 38,6% an erster Stelle. Der Anteil der Motorradunfälle steigt auf 11,8% (Abbildung 1). Der Anteil bei Unfällen außerhalb geschlossener Ortschaften ist eher von untergeordneter Bedeutung.

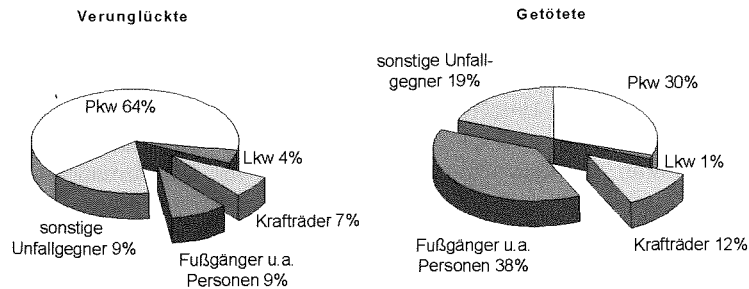


Abbildung 1: Straßenverkehrsunfälle innerhalb geschlossener Ortschaften

Um gezielte Aussagen über den Stellenwert des Motorrad-Fußgänger-Unfalls zu treffen, ist in Abbildung 2 das Unfallgeschehen zwischen Motorrädern und anderen Kollisionskontrahenten innerhalb geschlossener Ortschaften dargestellt. Man erkennt, daß sowohl bei den Verunglückten als auch bei den Getöteten der Unfalltyp Motorrad-Fußgänger an dritter Position steht, hinter den Motorrad-Pkw-Unfällen und den Alleinunfällen der Motorradfahrer.

Für die Bedeutung des Motorrad-Fußgänger-Unfalls läßt sich folgende Kernaussage formulieren: 4,3% aller Verunglückten bei Motorradunfällen (innerorts) verunfallten bei Motorrad-Fußgänger-Unfällen; 8,3% aller Getöteten bei Motorradunfällen (innerorts) starben bei Motorrad-Fußgänger-Unfällen.

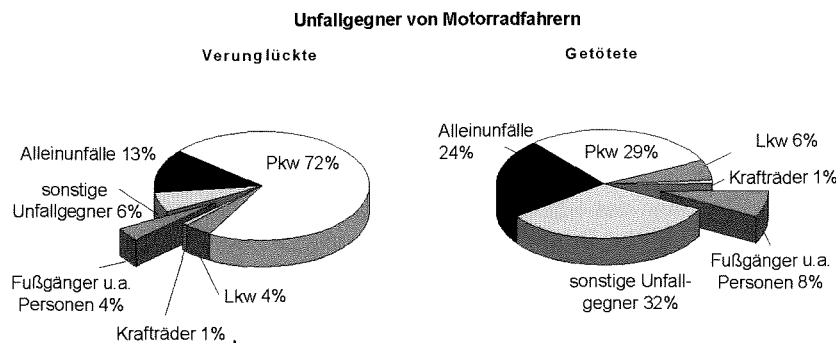


Abbildung 2: Motorradunfälle mit anderen Verkehrsteilnehmern innerhalb geschlossener Ortschaften

Die Bundesunfallstatistik gibt keinen Aufschluß über die genauen Kollisionsbedingungen bei Motorrad-Fußgänger-Unfällen. Es konnten allerdings ca. 20 Gutachten realer Unfälle dieses Unfalltyps ausgewertet werden, die das Büro für Unfallrekonstruktion Rau/Leser/Strzeletz [3] zur Verfügung stellte. Tabelle 1 zeigt das Ergebnis dieser Auswertung.

Kollisionsgeschwindigkeit	30 – 55 km/h
Motorradabbremmung	in circa 60% der Unfälle gebremste Kollision
Ausweichbewegung	in circa 25% der Unfälle Ausweichversuch
Motorradtyp	unverkleidete Straßenmaschinen verkleidete Straßenmaschinen Geländemaschinen (Enduros)
Motorradgewicht	110 – 240 kg
Fußgängerlaufgeschwindigkeit	1 – 4 m/s („gehen“ bis „rennen“)
Stellung des Fußgängers zum Motorrad	in circa 95% der Unfälle seitlich
Alter des Fußgängers	in circa 90% der Unfälle über 15 Jahre
Zahl der beteiligten Fußgänger	in circa 85% der Unfälle 1 Fußgänger in circa 10% der Unfälle 2 Fußgänger

Tabelle 1: Auswertung der Kollisionsbedingungen anhand 20 realer Unfälle

Die gewonnenen Erkenntnisse sind wichtige Ausgangsbedingungen für die geplanten Crashversuche und die Simulationsrechnungen.

Kollisionsversuche

Entsprechend den Kollisionsbedingungen in Tabelle 1 wurden neun Full-Scale-Crashtests geplant. Es wurden Kollisionsgeschwindigkeiten zwischen 25 km/h und 56 km/h realisiert, so daß ca. 75% der realen Unfälle erfaßt werden können. Aus versuchstechnischen Gründen kollidieren die Motorräder ungebremst und ohne vorherige Ausweichbewegung mit dem stehenden Fußgängerdummy. Diese Einschränkungen stellen jedoch keinen Widerspruch zu den ausgewerteten Realunfällen in Tabelle 1 dar. Als Versuchsmotorräder standen sechs Krafräder zur Verfügung, die wegen der geringen Beschädigungen bei niedrigen Kollisionsgeschwindigkeiten mehrfach verwendet werden konnten. Eine Übersicht über die verwendeten Motorräder und eine Zuordnung zu den Versuchen mit Angabe der Kollisionsgeschwindigkeit und des Anstoßortes des Fußgängers am Krad gibt Abbildung 3.

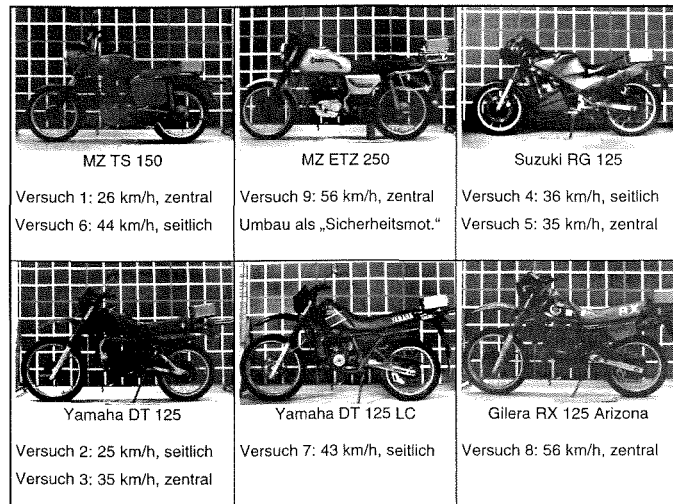


Abbildung 3: Zuordnung der Motorräder zu den Versuchen

Alle Motorräder wurden mit einem Unfalldatenschreiber (UDS) ausgerüstet, der in einer Metallbox fest mit dem Motorradrahmen hinter der Sitzbank verbunden ist. Der UDS zeichnet die Geschwindigkeit und die Verzögerung des Motorrades in Längs- und Querrichtung auf und ist für die spätere Anpassung des Simulationsmodells an den Versuch notwendig.

Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 4 dargestellt. Motorrad und Fahrerdummy (Typ: Hybrid II 50% male Dummy) werden von einem Gestell in ihrer Position gestützt. Der Fahrerdummy und das Versuchsmotorrad werden über ein Gestell vom Zugseil der Crashanlage beschleunigt. Um einen stabilen Geradeauslauf zu gewährleisten, rollt das Motorrad bis kurz vor der Abbremsung des Führungsgestells in einer Schiene. Der Führungsrahmen ist mit einer Bremse ausgestattet, die auf eine Bremsschiene auffährt und so das Gestell innerhalb eines Meters zum Stillstand bringt. Aufgrund seiner Trägheit rutscht das Motorrad mit dem Fahrerdummy aus den Führungseinrichtungen und rollt dann ca. 2m frei zum Fußgängerdummy (Typ: Alderson P1-50 AU). Der Fußgängerdummy wird bis kurz vor der Kollision von einem Seil in aufrechter Position gehalten (Abbildung 4) Überfährt das Krad einen Drucksensor, so wird der elektrische Haken ausgelöst und der Fußgänger freigegeben. Das frei rollende Motorrad kollidiert dann mit einem unbehindert stehenden Fußgängerdummy.

Der Bewegungsablauf der Kollisionskontrahenten wird von mehreren High Speed Kameras aufgenommen, sowohl seitlich als auch von oben (250 Bilder pro s bzw. 500 Bilder pro s).

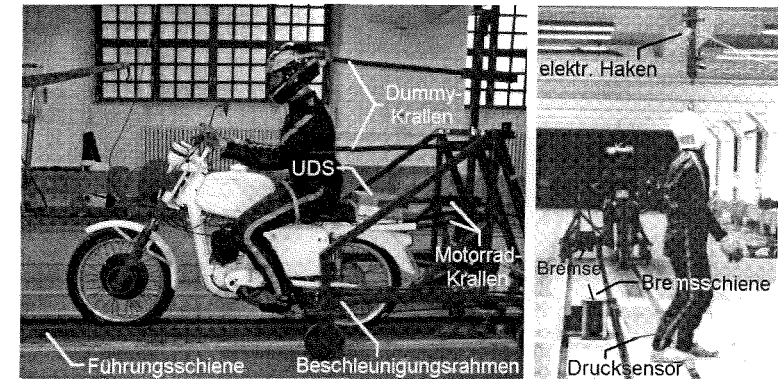


Abbildung 4: Versuchsaufbau

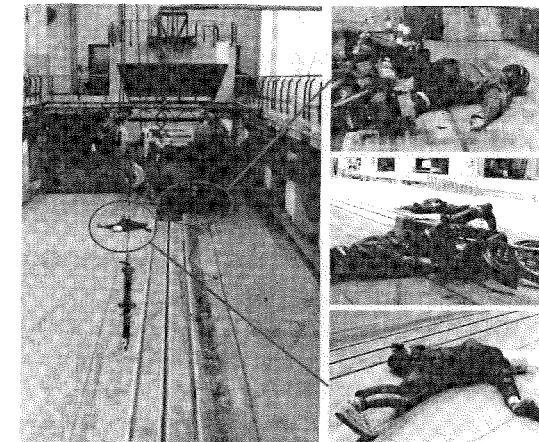


Abbildung 5: Endlagen für zentrale Kollision von Fußgänger und Enduro mit 56 km/h

Neben den Endlagen aller drei Versuchsbeteiligten wurden Beschädigungen am Krad und an den Kleidungsstücken sowie Splitterfelder aufgenommen und ausgewertet. Die geringe Zahl an Versuchen erlaubte nur eine begrenzte Zahl an Parametervariationen (Kollisionsgeschwindigkeit, Motorradtyp, Anstoßort). Die Aussagefähigkeit der Versuchsergebnisse hinsichtlich der Unfallspuren ist daher nur eingeschränkt. Die Ergebnisse reichen jedoch für die Anpassung des Computermodells aus (Abbildung 5).

Die Auswertung der UDS – Signale (Abbildung 6) erlaubt die Zuordnung zu den einzelnen Ereignissen: Erstkontakt mit dem Fußgänger, Straßenaufprall des Motorrades, etc. Sowohl die Zeitpunkte und Zeitdauer der Kontakte als auch die

Beschleunigungswerte aus den Längs- und Querverzögerungen/Zeitverläufe dienen als Validierungsgrundlage für das Simulationsmodell.

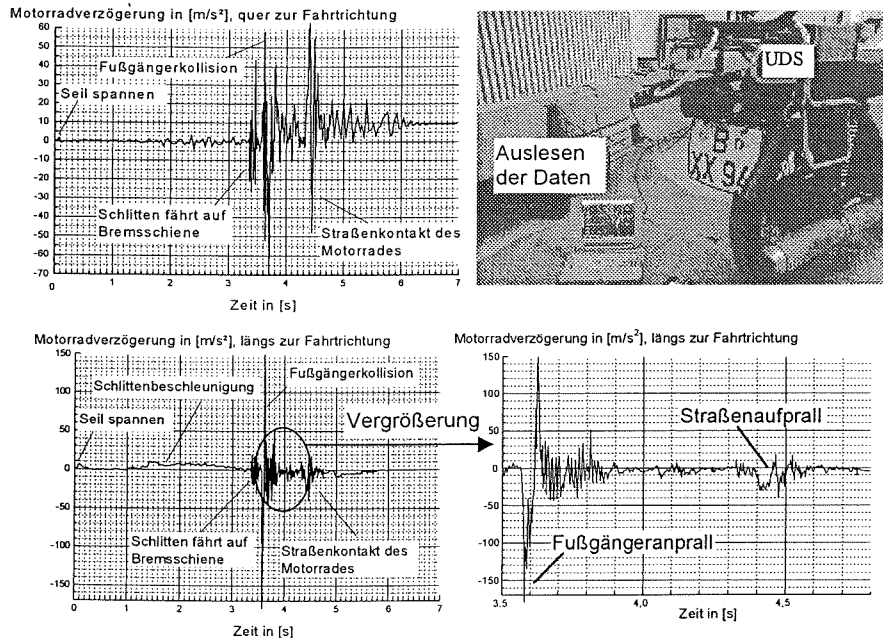


Abbildung 6: Auswertung der UDS – Signale

Simulationsmodell

Als Solver für die Simulationsberechnung diente das Mehrkörpersystemprogramm MADYMO 3D.

Das Gesamtmodell gliedert sich in einzelne Systeme (Abbildung 7). Diese Systeme stellen eine gelenkige Gliederkette starrer Superatome dar. Neben der Beschreibung der Geometrie dieser Körper (Ellipsoide, Flächen, facettierte Elemente u.a.) werden ihnen zusätzlich mechanische Eigenschaften zugeordnet wie Masse, Trägheitsmoment, Schwerpunktlage. Die Lage und die Art des Gelenks sowie seine Kennlinie werden vorgegeben. Zwischen den einzelnen Körpern der Systeme werden über Kennlinien Kontakte, Reibungen und Dämpfungen definiert. Kontakte zwischen Körpern werden nicht als Verformung sondern als Durchdringung dargestellt. Die zugehörigen Kräfte, Momente und Beschleunigungen können als zeitabhängige Kurvenverläufe ausgegeben werden. Zur Beurteilung des Bewegungsverhalten kann die Kinematik der Systeme dreidimensional dargestellt werden.

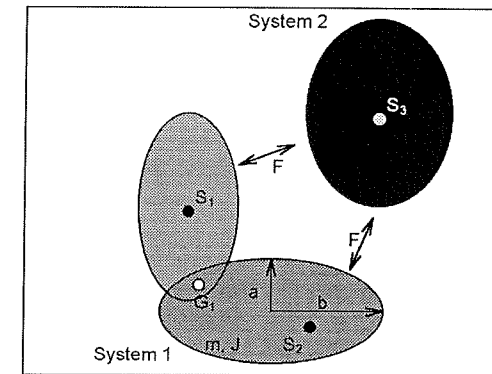


Abbildung 7: Grundprinzip der Berechnung mit dem Mehrkörpersystem

Das in der Diplomarbeit entwickelte Simulationsmodell besteht aus den vier Systemen Fußgänger, Fahrer, Motorrad und Straße, zwischen denen rund 1600 Kontakte definiert sind. Um den Einfluß unterschiedlicher Motorradbauformen zu erfassen wurden 6 Motorradmodelle erstellt, die aus jeweils ca. 30 Einzelkörpern bestehen. Fußgänger- und Fahrermodell sind identisch. Beide beruhen auf einem Modell des männlichen 50%-Hybrid-III-Dummies und besitzen 33 Einzelkörper. Im Gegensatz zu konventionellen Dummies, die das komplexe Bewegungsverhalten eines Fußgängers bzw. Motorradfahrers nur sehr eingeschränkt abbilden können, ist das hier verwendete Computermodell hinsichtlich seiner Gelenke und Gelenkkennungen überarbeitet worden, so daß es dem menschlichen Bewegungsverhalten entspricht. Hierbei wurde auf die gemeinsame Studienarbeit [4] zurückgegriffen, in der ein ähnliches Dummymodell anhand von Leichentests aus den 80er Jahren dem menschlichen Verhalten angepaßt wurde (Abbildung 8).

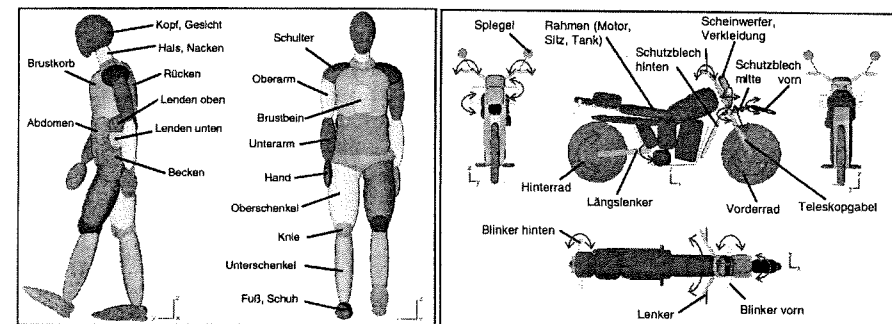


Abbildung 8: Aufbau des Simulationsmodells mit dem Mehrkörpersystem MADYMO

Zur Modellvalidierung wurde auf die durchgeführten Kollisionsversuche zurückgegriffen. Dabei fanden sowohl die Hochgeschwindigkeitsfilme und die Endlagen als auch die gemessenen Beschleunigungen des Unfalldatenschreibers Eingang in die Validierung des Berechnungsmodells. Es konnte eine gute Annäherung zwischen den Simulations- und den Versuchsergebnissen erzielt werden. Allerdings muß festgestellt werden, daß eine exakte Nachbildung der Versuche durch das Simulationsmodell nicht erfolgt. Zum einen ist diese genaue Anpassung nicht erwünscht, da aufgrund der Unterschiede zwischen den konventionellen Dummies (Versuch) und den menschenähnlichen Dummies (Simulation) Unterschiede zwangsläufig auftreten. Zum anderen zeigte sich bei der Durchführung der Crashversuche, daß die Aufprallsituationen der Beteiligten auf die Straße trotz gleicher Kollisionsbedingungen nicht reproduzierbar sind. Es ist daher nicht eine mikroskopische Übereinstimmung sondern eine makroskopische Übereinstimmung zwischen Versuch und Simulation anzustreben. Für die Endlagen der Beteiligten sollten die Abweichungen in einem engen Rahmen liegen.

Abbildung 9 zeigt exemplarisch das Ergebnis nach erfolgreicher Anpassung. Der Primärkontakt zwischen Fußgänger und Motorrad stimmt in Versuch und Simulation gut überein, ebenso die Endlagen. Der Straßenaufprall weicht in der Simulation von dem im Versuch ab. Abhängig von den Kollisionsbedingungen stellt die Simulation hier eine weitere mögliche Aufprallkonstellation der Beteiligten auf die Fahrbahn dar. Tabelle 2 vergleicht die Endlagen von Versuch und Simulation für die ausgewählte Unfallsituation. Hier wurden gute Übereinstimmungen erreicht.

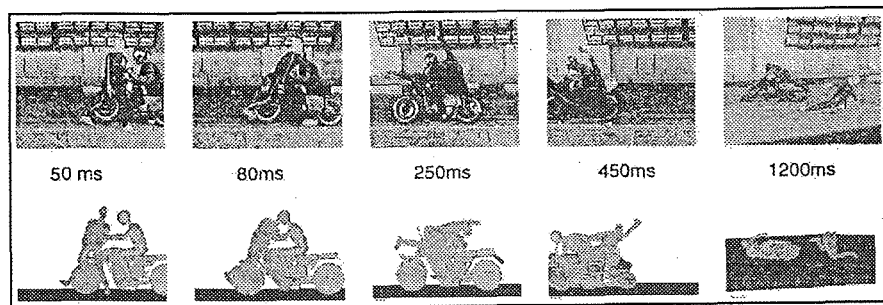


Abbildung 9: Modellvalidierung anhand der Crashversuche (Beispiel: seitlicher Anstoß des Fußgängers gegen die linke Lenkerseite mit 44 km/h)

Nach erfolgreicher Modellvalidierung ist das Simulationsmodell in der Lage, im Bereich der untersuchten Kollisionsbedingungen Motorrad-Fußgänger-Kollisionen hinreichend genau darzustellen. Neben dem Bewegungsablauf können für jeden einzelnen Körper die auf ihn wirkenden Belastungen bestimmt werden. Über Grenzbelastungstabellen, die bereits in der Studienarbeit ermittelt wurden, können biomechanischen Belastungen Verletzungen zugeordnet werden. In Tabelle 3

werden stellvertretend für die verwendeten Grenzbelastungen für den gesamten Körper die Belastungsgrenzen für das Bein angegeben.

Wurfweite	Fußgänger		Motorradfahrer		Motorrad	
	längs	quer	längs	quer	längs	quer
Versuch	6,6 m	- 1,3 m	11,8 m	1,7 m	11,0 m	1,1 m
Simulation	6,3 m	- 1,3 m	11,8 m	1,7 m	11,8 m	0,8 m

Tabelle 2: Gegenüberstellung der Endlagen nach Modellvalidierung (Beispiel: seitlicher Anstoß des Fußgängers gegen die linke Lenkerseite mit 44 km/h)

Beinverletzung, Belastungsort	Grenzbelastung	Art der Prüfung
Oberschenkelfraktur, seitlich	4000 N	dynamisch, mit spitzem Fallkörper
Knieverletzung	150 g 15° Biegewinkel	Leichenversuche, dynamisch
Schienbeinfraktur, seitlich	3000 N	Kollisionsversuche mit Leichen
Wadenbeinfraktur, seitlich	< 3000 N	Leichenversuche, dynamisch mit spitzem Fallkörper,

Tabelle 3: Beispiele für biomechanische Grenzwerte zur Verletzungszuordnung

Für eine realistische Simulation des Motorrad-Fußgänger-Unfalls war es erforderlich, ein vereinfachtes fahrdynamisches Regelmodell in die Berechnung zu integrieren. Dieses Modell berücksichtigt neben den passiven Elementen, wie Seitenführungskräften an den Reifen und Rückstellmomente am Lenker auch aktive Lenkbewegungen des Fahrers, die immer so aufgeprägt werden, daß eine Stabilisierung des Motorrades angestrebt wird. Das Berechnungsmodell ist somit in der Lage, fahrdynamische Grundaufgaben zu absolvieren, wie z.B. die Aufrechterhaltung der stabilen Fahrt des Motorrades durch aktive Lenkbewegungen auch bei Seitenwind oder bei einem Seitenstoß. Mit Hilfe des Simulationsmodells kann deshalb die Frage beantwortet werden, ob der Motorradfahrer nach der Kollision sein Zweirad durch aktiven Lenkeingriff stabilisieren kann oder nicht.

Gegenüber den Kollisionsversuchen ermöglicht das Simulationsmodell zusätzlich die Berücksichtigung der Laufgeschwindigkeit des Fußgängers und der Motorradabbremmung.

Mit Hilfe des validierten Simulationsmodells wurde eine Parametervariation durchgeführt, um Abhängigkeiten zwischen den Unfallschritten und den Kollisionsbedin-

gungen zu ermitteln. Desweiteren wurde das Berechnungsmodell genutzt um Schutzmaßnahmen am Motorrad zu entwickeln, die eine deutliche Verringerung der Fußgängerbelastungen während des Primärkontaktes mit dem Motorrad erreichen.

Ergebnisse für die Unfallrekonstruktion

Aufgrund der großen Anzahl von möglichen Kollisionsbedingungen und der verhältnismäßig geringen Zahl von realen Unfällen waren bisher nur wenige Informationen zum Motorrad-Fußgänger-Unfall bekannt. Insbesondere für die Unfallrekonstruktion konnte man sich daher nur auf Zeugenaussagen und auf „Erfahrungswerte“ des Sachverständigen stützen.

Mit Hilfe des validierten Simulationsmodells wurde deshalb eine Parametervariation durchgeführt. In Abhängigkeit von den Kollisionsbedingungen wurden die Endlagen der Beteiligten sowie die zu erwartenden Verletzungen des Fußgängers und des Fahrers ermittelt. Um ein breites Spektrum möglicher Kollisionsparameter abzudecken wurden ca. 60 Simulationsberechnungen durchgeführt. In Abbildung 10 sind die Variationsbereiche der verschiedenen Anstoßparameter dargestellt.

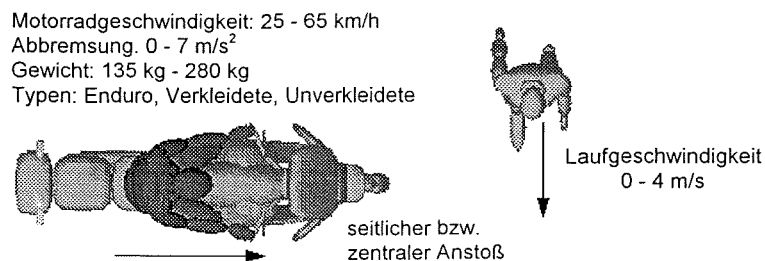


Abbildung 10: Anstoßposition mit Variationsbereich der Anstoßparameter

Mit Hilfe dieser Parametervariation konnten Zusammenhänge zwischen bestimmten, prägenden Anstoßbedingungen und einzelnen Unfallspuren ermittelt werden. Stellvertretend für die ermittelten Ergebnisse ist in Abbildung 11 die Längswurfweite des Motorrades (Abstand der Motorradendlage längs zur Anstoßstelle) in Abhängigkeit von der Anstoßgeschwindigkeit und der für diese Unfallspur zusätzlich prägenden Parameter der Fußgängerlaufgeschwindigkeit dargestellt.

Neben den Zusammenhängen zwischen den Endlagen und den Anstoßbedingungen wurden zusätzlich die Motorradbeschädigungen sowie die Verletzungen des Fußgängers abhängig von den Anstoßbedingungen bewertet. Es konnte gezeigt werden, daß spezielle Scheinwerfer- und Armaturendeformationen erst ab bestimmten Kollisionsgeschwindigkeiten auftreten. Ferner können aus Beschädi-

gungsbildern der Motorradfront Anhaltspunkte für die Anstoßposition und die Laufgeschwindigkeit der Fußgängers gewonnen werden. Eine Trennung der Motorradbeschädigungen, die durch den Fußgängeranprall entstanden sind von denen, die durch den Straßenaufprall hervorgerufen wurden, kann anhand von charakteristischen Merkmalen schnell durchgeführt werden.

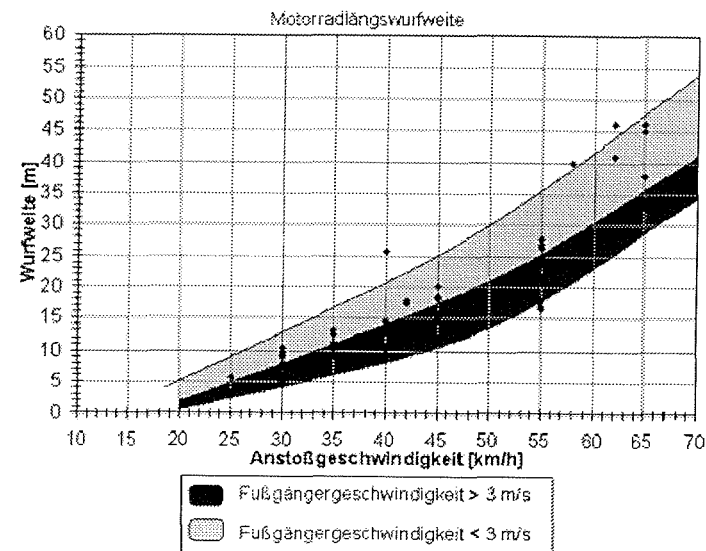


Abbildung 11: Motorradlängswurfweite in Abhängigkeit von den Anstoßbedingungen

Zusammenfassung der Ergebnisse speziell für die Unfallrekonstruktion:

- Endlage des Fußgängers abhängig von: Anstoßgeschwindigkeit, Anstoßposition, Fußgängerlaufgeschwindigkeit
- Endlage des Motorrades abhängig von: Anstoßgeschwindigkeit, Anstoßposition, Fußgängerlaufgeschwindigkeit, Motorradtyp
- Endlage des Motorradfahrers abhängig von: Anstoßgeschwindigkeit, Anstoßposition, Motorradtyp
- Lage des Scheinwerfersplitterfeldes abhängig von: Anstoßgeschwindigkeit, Motorradgewicht, Fußgängergeschwindigkeit
- Motorradbeschädigung durch den Fußgängeranprall: Scheinwerferdeformation um mehr als 3cm nach hinten erst ab ca. 45 km/h Aufprallgeschwindigkeit
- Fußgängererletzungen: Schwere Verletzungen innerer Organe bzw. Wirbelsäulenfrakturen ab ca. 40-45 km/h Anstoßgeschwindigkeit möglich

Diese zusätzlichen Informationen geben dem Sachverständigen die Möglichkeit, durch Auswertung realer Unfallspuren die Kollisionsgeschwindigkeit und den Anstoßort in engen Grenzen zu bestimmen. Die Vorgehensweise bei der Bestim-

mung dieser Parameter erfolgt analog zu dem für den Pkw-Fußgänger-Unfall bekannten „Schrankenverfahren“ [5 , 6], das im Rahmen dieser Diplomarbeit auf den Motorrad-Fußgänger-Unfall erweitert wurde.

Erhöhung der passiven Sicherheit am Motorrad

Der Themenschwerpunkt dieser Diplomarbeit betraf die Entwicklung von Schutzmaßnahmen am Motorrad zur Erhöhung der passiven Sicherheit beim Motorrad-Fußgänger-Unfall.

Im ersten Schritt wurde die Entstehung von Fahrer- und Fußgänger-Verletzungen während des Unfallablaufes untersucht. Eingang in diese Analyse fanden die Simulationsberechnungen, die Daten realer Unfälle und die durchgeführten Crashversuche. Im zweiten Abschnitt wurde ein Anforderungsprofil an mögliche Schutzmaßnahmen erstellt. Mit Hilfe der rechnerischen Simulation konnten schließlich erfolgreich Polsterungsmaßnahmen entwickelt werden, die in einem zusätzlichen Crashtest überprüft wurden. Abschließend konnten Hinweise zu einer seriennahen Umsetzung der Maßnahmen gegeben werden.

Entstehung von Fußgänger-Verletzungen:

In Abbildung 12 sind die Fußgänger-Verletzungen eingeteilt in einzelne Körperregionen abhängig von der Anstoßgeschwindigkeit dargestellt. Die weißen Balken markieren eine Verletzungswahrscheinlichkeit von unter 40%, die grauen Balken dokumentieren dagegen eine Verletzungswahrscheinlichkeit von über 85%.

Eine genaue Ermittlung der Verletzungsursache gelang mit Hilfe der rechnerischen Simulation, da hier die genauen Fußgängerbelastungen während des Kontaktes zum Motorrad und zur Straße berechnet werden konnten.

Lebensbedrohliche Verletzungen entstehen bereits ab Kollisionsgeschwindigkeiten von ca. 35 km/h durch den Kontakt des Fußgängers mit dem Motorrad. Insbesondere die konzentrierten Kontaktkräfte zwischen Lenker und Abdomen führen zu schweren Verletzungen der inneren Organe. Ab ca. 40 km/h Anprallgeschwindigkeit ist zusätzlich mit Beckenfrakturen und Verletzungen des Thorax durch den Anprall an Scheinwerfer und Armaturen zu rechnen. Rippenbrüche und Verletzungen von Herz und Lunge treten auf. Ab ca. 45 km/h sind Verletzungen der Wirbelsäule sehr wahrscheinlich. Genickbrüche entstehen i. a. bei einer starken, seitlichen Abknickbewegung des Kopfes während des Anpralls gegen die Motorradfront. Insbesondere verkleidete Straßenmaschinen mit hohen Frontscheiben erhöhen das Risiko von Genickbrüchen (siehe Abbildung 13, rechts). Verletzungen der Beine werden durch den Kontakt mit der Gabel und den Enden der Steckachse hervorgerufen. Verletzungen am Kopf entstehen überwiegend durch den Straßenaufprall.

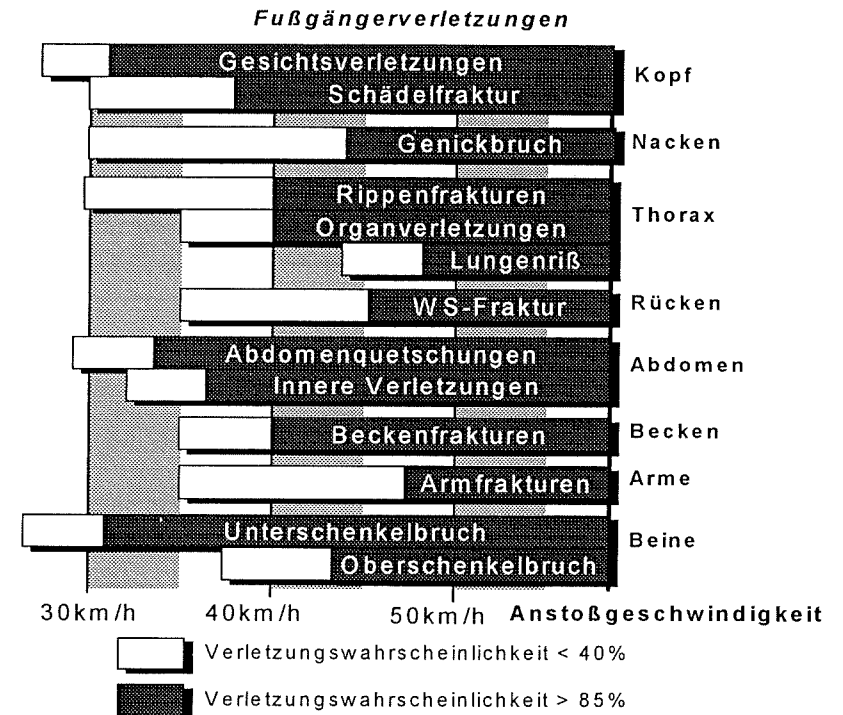


Abbildung 12: Fußgänger-Verletzungen in Abhängigkeit von der Anstoßgeschwindigkeit



Abbildung 13. Entstehung von Fußgänger-Verletzungen

Entstehung von Motorradfahrer-Verletzungen:

Analog zur Darstellung der Fußgänger-Verletzungen werden in Abbildung 14 die entstehenden Verletzungen des Motorradfahrers abhängig von der Anstoßgeschwindigkeit dargestellt.

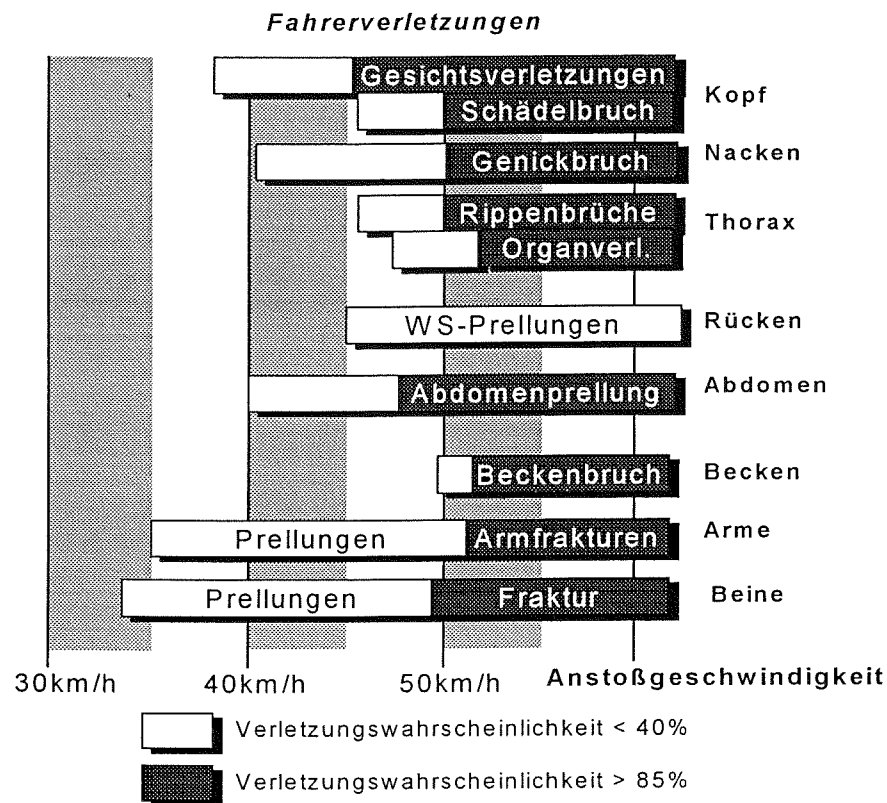


Abbildung 14: Fahrerverletzungen in Abhängigkeit von der Anstoßgeschwindigkeit

Da der Fahrer zum einen durch seine Schutzkleidung (Helm, Lederkombi) und zum anderen nur bei sehr hohen Anstoßgeschwindigkeiten direkten Kontakt mit dem Fußgänger hat, werden die Verletzungen überwiegend durch den Straßenaufprall hervorgerufen. Lebensbedrohende Verletzungen sind erst ab Kollisionsgeschwindigkeiten von ca. 50 km/h bis 55 km/h zu erwarten.

Die Simulationsberechnungen haben gezeigt, daß abhängig von den Anstoßbedingungen für den Fahrer ein Zeitraum von ca. 0,2 s bis 1,7 s nach der Kollision mit dem Fußgänger besteht, in dem er sein Fahrzeug u.U. wieder unter Kontrolle bringen kann, um den Straßenaufprall zu verhindern.

Anforderungen an die zu entwickelnden Schutzmaßnahmen:

In Abbildung 15 ist die Front eines konventionellen unverkleideten Motorrads dargestellt. Die verletzungsverursachenden Bereiche sind entsprechend markiert.

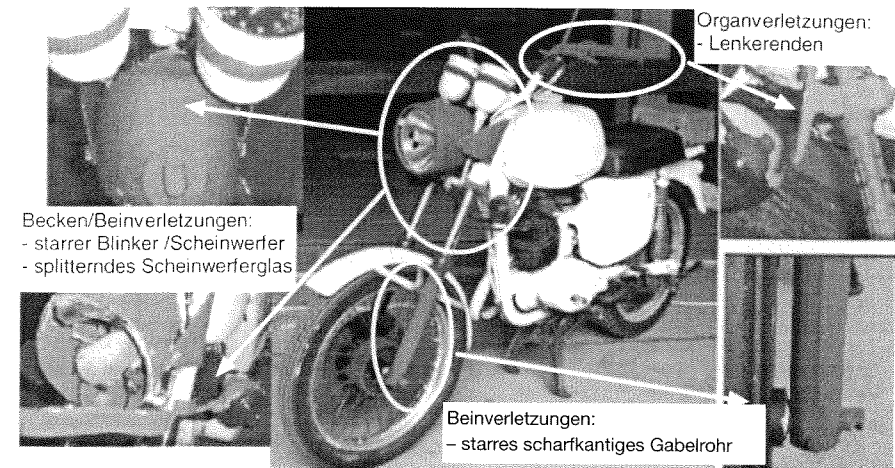


Abbildung 15: verletzungsverursachende Bereiche der Motorradfront

Nachfolgend werden die Anforderungen an die notwendigen Maßnahmen an der Motorradfront aufgelistet.

1. Modifikation der Lenkerenden zur Reduktion der konzentrierten Kontaktkräfte zwischen Lenker und Abdomen.
2. Modifikation des Scheinwerfers bzw. der Scheinwerferverkleidung zur Vermeidung hoher Kontaktkräfte zwischen Becken und Scheinwerfer und zur Verhinderung der Glas- und Verkleidungszerstörung.
3. Abdecken der scharfkantigen Armaturen mit zusätzlicher Verkleidung.
4. Modifikation der Blinkeranbindung und -position zur Optimierung der Fußgängerkinematik.

Zusätzlich müssen weitere Randbedingungen bei der Entwicklung der Schutzmaßnahmen beachtet werden:

- Die Modifikationen an der Motorradfront müssen unauffällig im Design sein.
- Die Maßnahmen sollten kostengünstig umzusetzen sein.
- Es sind möglichst bereits vorhandene Teile zu nutzen.

Beschreibung der entwickelten Schutzmaßnahmen:

Mit Hilfe des validierten Simulationsmodells wurden Schutzeinrichtungen an der Motorradfront entwickelt, die das Verletzungsrisiko des Fußgängers unter den verschiedensten Anprallbedingungen bis zu einer Kollisionsgeschwindigkeit von ca. 45 km/h auf ein unkritisches Maß verringern.

In Abbildung 16 werden die Schutzmaßnahmen im Simulationsmodell dargestellt.

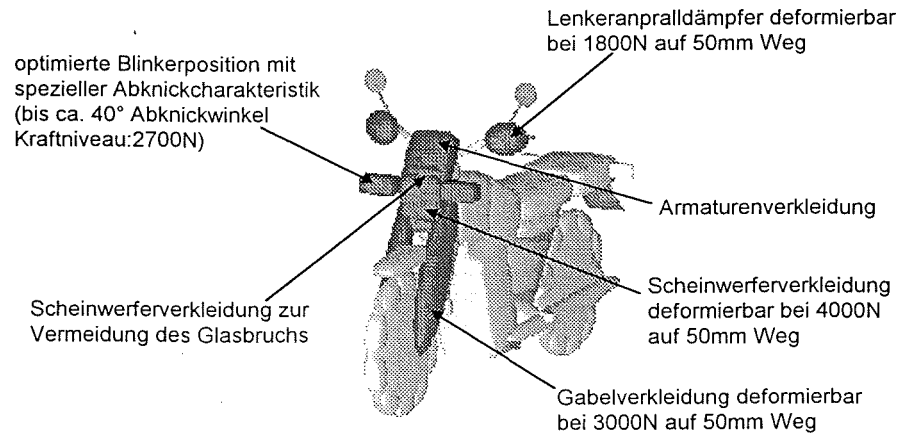


Abbildung 16: Schutzmaßnahmen im Simulationsmodell

Nachfolgend werden die Schutzmaßnahmen kurz beschrieben und ihre Wirkung auf die Fußgängerbelastungen aufgezeigt.

- verschiebbare Scheinwerfer- bzw. Armaturenverkleidung: Die energieabsorbierende, deformierbare Scheinwerferverkleidung begrenzt das maximale Kraftniveau zwischen Becken und Scheinwerfer auf einem unkritischen Niveau, so daß Beckenfrakturen bis ca. 45 km/h Anstoßgeschwindigkeit vermieden werden.
- gepolsterte Lenkerenden: Die Polster erreichen zum einen eine Begrenzung der Kontaktkraft zwischen Abdomen und Lenker, zum anderen wird die Kraft auf eine deutlich größere Kontaktfläche verteilt. Organverletzungen können somit bis über 40 km/h Anprallgeschwindigkeit vermieden werden.
- Armaturenverkleidung: Abdecken der u.U. kantigen und starren Armaturen. Der Fußgänger rollt über diese Verkleidung ab, ohne sich in den Armaturen zu verhaken oder zu verletzen.
- optimierte Blinkerposition mit speziellen Deformationseigenschaften: Die veränderte Blinkerposition gewährleistet einen Kontakt zum Fußgänger in Höhe des Beckens. Das spezielle Abknickverhalten des Blinkers (deutliche Verfestigung nach ca. 40° Abknickwinkel) bietet dem Fußgänger eine Führung seitlich von Motorrad weg. D.h. das besondere Deformationsverhalten des Blinkers unterstützt die seitliche Abgleitbewegung des Fußgängers am Motorrad.

- Verkleidung der Teleskopgabel und der Steckachsenenden: Neben der energieabsorbierenden Wirkung des Polsters ist die Verkleidung der scharfkantigen, starren Steckachsenenden besonders wichtig, um schwere Verletzungen der Unterschenkel zu verhindern. Die Form der Polster leitet zudem die seitliche Abgleitbewegung des Fußgängers am Motorrad ein. In Verbindung mit den optimierten Blinker kann somit ein schnelles seitliches Abgleiten des Fußgängers vom Motorrad gewährleistet werden. (Siehe Abbildung 17 ab 90ms)

Stellvertretend für die durchgeführten Simulationsberechnungen zur Optimierung der Polsterungsmaßnahmen ist in Abbildung 17 die Kinematik einer Kollision zwischen einem laufenden Fußgänger ($v=2\text{m/s}$) und einem 40 km/h fahrenden Motorrad zu erkennen.

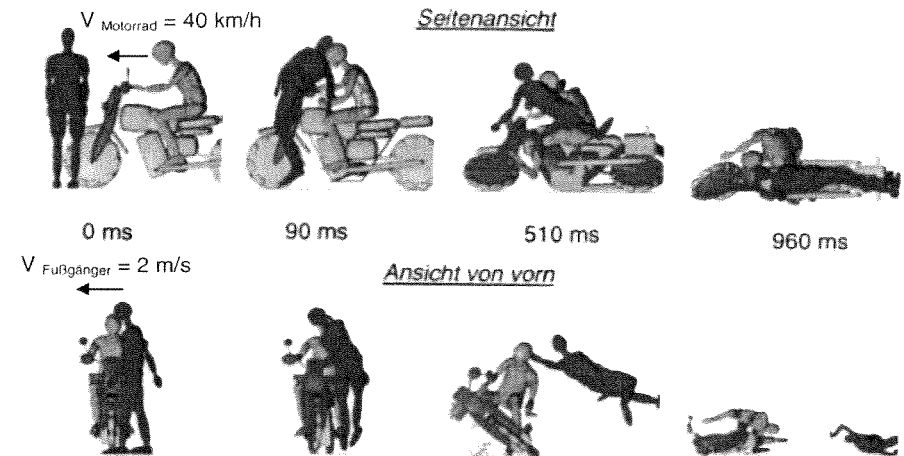


Abbildung 17: Kinematik, Simulationsmodell, Motorrad mit Schutzmaßnahmen

Wirkung der Schutzmaßnahmen: Anstoßgeschwindigkeit 40 km/h, Anstoß gegen den Lenker, Fußgängergeschwindigkeit 2 m/s

		Anstoß gegen konventionelles Motorrad		Anstoß gegen Motorrad mit Schutzeinrichtung	
		Belastung	Verletzung	Belastung	Verletzung
Kopf	a_{rms} [g]	72	keine	67 (-7%)	keine
	F [N]	4000 (Schläfe)	Schädelbruch möglich	4100 N (+2%) (Hinterkopf)	keine
Nacken	M [Nm]	200	Genickbruch	130 (-35%)	Genickbruch unwahrscheinlich
Rippen	F [N]	1200 (über Arm)	keine	900 (-25%) (über Arm)	keine
Organe	F [N]	8400	schwere Organverl.	1550 (-81%)	keine
Abdomen	F [N]	900	keine	1900 (+110%) (Anstieg auf unkritisches Niveau durch Kraftverteilung Lenkerpolster)	keine
Rücken	F [N]	8500	WS-Fraktur möglich	1700 (-80%)	keine
Becken	a_{rms} [g]	57	keine	47 (-18%)	keine
	F [N]	9200	Beckenfraktur	4000 (-56%)	Beckenfraktur unwahrscheinlich
Beine	F [N]	12000	Oberschenkel- fraktur	3400 (-72%)	Fraktur möglich
Arme	F [N]	2500	Fraktur möglich	1600 (-36%)	keine

Tabelle 4: Vergleich der Fußgängerbelastung, konventionelles und modifiziertes Motorrad

Reale Umsetzung der Maßnahmen:

Um die Simulationsergebnisse abschließend zu prüfen, wurde ein Motorrad mit den entwickelten Schutzmaßnahmen ausgerüstet und in einem Crashversuch getestet.

In Abbildung 18 ist das modifizierte Motorrad zu erkennen. Die notwendige Kraft – Weg Kennung der Polster wurde überwiegend mit dem Werkstoff Rohacell erreicht, der sich durch ein besonders konstantes Deformationskraftniveau über einen langen Weg auszeichnet.

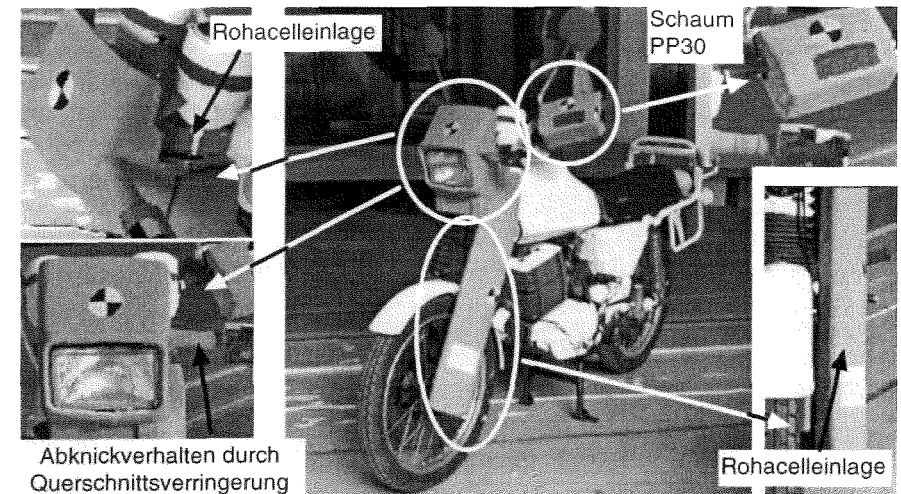


Abbildung 18: modifiziertes Motorrad mit Schutzmaßnahmen

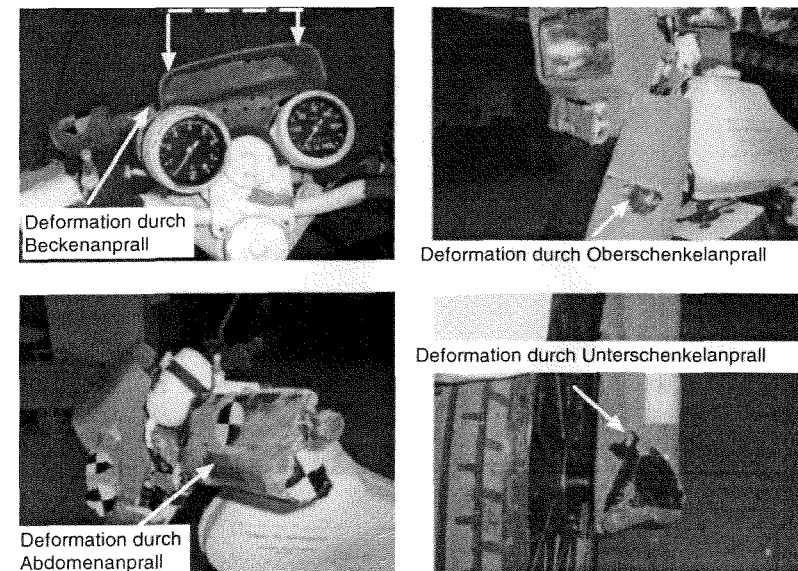


Abbildung 19: Schutzpolster nach dem Crashtest

Ansatzpunkte für eine seriennahe Umsetzung der Maßnahmen:

Sowohl in der Simulation, als auch im realen Crashtest haben die Schutzmaßnahmen ihre wichtige Wirkung gezeigt. Nur mit diesen Schutzmaßnahmen kann ein Fußgänger den Anprall gegen ein 40 km/h bis 45 km/h schnelles Motorrad ohne lebensgefährliche Verletzungen überstehen.

Es ist zu klären, wie diese Polsterungsmaßnahmen in heutige Motorradkonzepte integriert werden können. Insbesondere das Design des Motorrades sollte von den Schutzeinrichtungen nur geringfügig verändert werden. Der prinzipielle Einsatz der Schutzmaßnahmen wird nachfolgend beispielhaft für heutige Motorräder gezeigt.

Verwendung konventioneller Scheinwerferverkleidungen: In Abbildung 20 werden drei verschiedene Konzepte heutiger Scheinwerferverkleidungen dargestellt. Diese Verkleidungen sind derzeit starr mit dem Rahmen verbunden.

Es ist sowohl kostengünstig als auch ohne Designveränderungen möglich, hier eine entsprechende Kraft – Deformation Charakteristik in das bestehende Konzept zu integrieren.

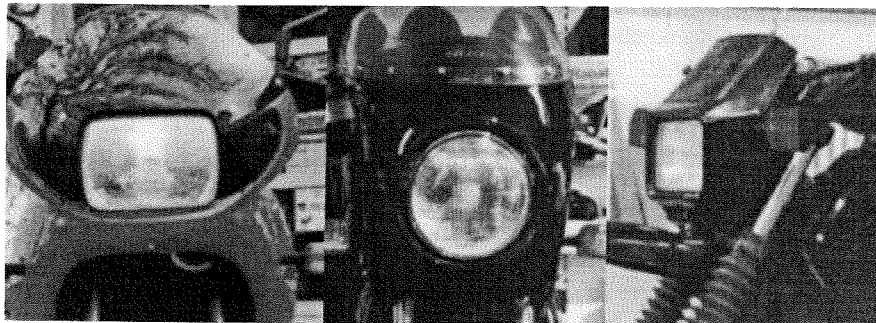


Abbildung 20: konventionelle Scheinwerferverkleidung

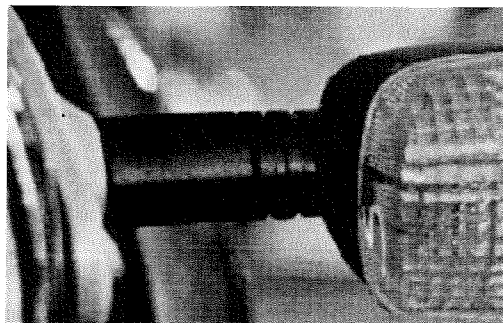


Abbildung 21: konventionelle Befestigung der Blinker am Motorrad

Verwendung konventioneller Blinkerbefestigung: Konventionelle Blinker sind zumeist über ein Deformationselement aus Kunststoff am Rahmen oder der Verkleidung befestigt. Allerdings entspricht weder das Kraftniveau der Deformation noch die Position den oben beschriebenen Anforderungen an ein Schutzelement für den Motorrad-Fußgänger-Unfall. Lediglich die Position und die Kraft-Weg-Kennnung muß den oben beschriebenen Forderungen angepaßt werden. Mit zusätzlichen Kosten ist bei dieser Maßnahme nicht zu rechnen.

Verwendung konventioneller Handschutz-Verkleidungen an den Lenkerenden: In Abbildung 22 ist stellvertretend für die heute verwendeten Schutzverkleidungen an den Lenkerenden eine Verkleidung einer Enduro dargestellt. Die meisten Verkleidungen dieser Art bestehen aus weichem Kunststoff und sind für den Fußgänger-schutz völlig ungeeignet. Ohne Veränderungen des Design muß diese Verkleidung verstärkt und speziell am Lenker befestigt werden, so daß die oben entwickelte Kraft – Weg Kennung nachgebildet wird. Auch diese Maßnahme, die insbesondere für den Schutz der Abdomen wichtig ist, kann kostengünstig umgesetzt werden.

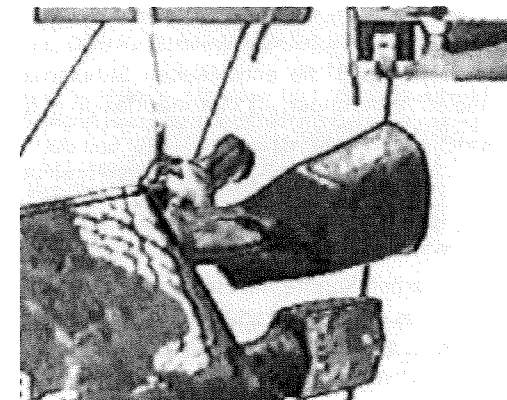


Abbildung 22: konventionelle Verkleidung zum Schutz der Hand einer Enduro

Verwendung konventioneller Gabel-Verkleidungen: Gerade moderne Motorräder sind häufig mit Verkleidungen der Teleskopgabel ausgestattet (siehe Abbildung 23). Diese sind i.a. aus Kunststoff und nur unzureichend an der Gabel befestigt. Im Falle eines Unfalls neigen diese Materialien zum Brechen, so daß zusätzliche Verletzungen am Unterschenkel des Fußgängers hervorgerufen werden.

Es ist leicht zu erkennen, daß auch hier ohne Designveränderungen die vorhandenen Teile genutzt werden können, um einen optimalen Schutz der Beine des Fußgängers zu gewährleisten. Lediglich die Befestigung ist zu verstärken, und energieabsorbierendes Material muß verwendet werden.

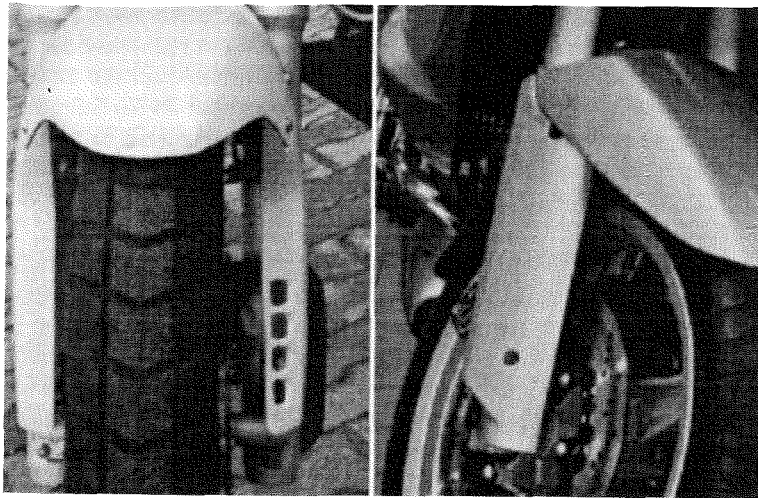


Abbildung 23: konventionelle Verkleidung des Teleskoprohrs

Es kann festgestellt werden, daß die entwickelten Schutzmaßnahmen kostengünstig und mit minimalen Änderungen im Motorraddesign in bestehende Motorradkonzepte integriert werden können.

Fazit

Im Rahmen dieser Diplomarbeit konnte mit Hilfe von Crashversuchen ein realistisches Simulationsmodell für den Motorrad-Fußgänger-Unfall entwickelt werden. Mit Hilfe dieses Modells wurde zum einen eine umfassende Parametervariation durchgeführt, und zum anderen konnten Schutzmaßnahmen am Motorrad entwickelt werden.

Es wurden Kenntnisse für die Unfallrekonstruktion gesammelt, die dem Sachverständigen in Zukunft die Möglichkeit geben, mit Hilfe eines standardisierten Verfahrens Motorrad-Fußgänger-Unfälle zu rekonstruieren.

Im Hauptteil dieser Arbeit wurden Schutzmaßnahmen für das Motorrad entwickelt, die die Verletzungen des Fußgängers bei einer Kollision mit einem Motorrad erheblich reduzieren. Es besteht nur eine geringe Überlebenschance (unter 20%) für den Fußgänger bei einem Anprall gegen ein 40 km/h schnelles *konventionelles* Motorrad. Ist das Motorrad dagegen mit den vorgestellten Schutzmaßnahmen ausgerüstet, so hat der Fußgänger eine hohe Überlebenschance (> 85%) unter den gleichen Kollisionsbedingungen.

Zusätzlich konnte gezeigt werden, daß die notwendigen Maßnahmen schon heute in bestehende Motorräder integriert werden können ohne hohe Kosten zu verursachen oder das Design des Motorrades zu verändern.

Abschließend bleibt nur die Frage zu beantworten, ob ca. 900 Verletzte und über 20 Tote im Jahr für die Motorradindustrie und den Käufer genug sind, um diese Schutzmaßnahmen in zukünftige Motorräder einzusetzen und somit eine deutliche Reduzierung von Verletzten und Toten zu erreichen.

Literatur

- [1] A. Schönekas, S. Heine: – Entwicklung eines Simulationsmodells auf der Basis von MADYMO für den Motorrad-Fußgänger-Unfall unter Berücksichtigung der Ergebnisse von Kollisionsversuchen – Institut für Straßen- und Schienenverkehr (Fahrzeugtechnik) – Deutschland/Berlin/1997
- [2] Fachserie 8, Verkehr. Reihe 7, Verkehrsunfälle 1994 – Deutschland/1995
- [3] Prof. Dr.- Ing. Rau., Büro für Unfallrekonstruktion, Uferstraße 14, 13357 Berlin
- [4] A. Schönekas und S. Heine – Literatur- und Versuchsauswertung zur rechnerischen Simulation von Fußgängerunfällen und Rechnerische Simulation von Fußgängerunfällen – Studienarbeit 1/95 und 2/95 – Institut für Straßen- und Schienenverkehr (Fahrzeugtechnik) – Deutschland/Berlin/1995
- [5] Dr. Ing. H. Rau – Begleitendes Manuskript zur Vorlesung „Analyse von Verkehrsunfällen“ – Institut für Straßen- und Schienenverkehr (Fahrzeugtechnik) – Deutschland/Berlin/1992
- [6] K. Hoffmann – Die Bestimmung der Kollisionsstelle beim Fußgängerunfall – Institut für Landverkehrsmittel, TU Berlin – Deutschland/Berlin/1976

Abschätzung von Risikofaktoren für Motorradunfälle

Estimating Risk Factors for Motorcycle Crashes

Narelle L. Haworth
Rob Smith

Monash University – Accident Research Centre – Melbourne
Australien

Abstract

This study was undertaken to identify the risk factors for motorcycle crashes by comparing the characteristics of motorcyclists in crashes with those riding safely.

Injured riders and pillion passengers from 222 crashes in the Melbourne metropolitan area were interviewed, helmets and motorcycles inspected, and the crash sites inspected and ridden through by an experienced motorcyclist. Motorcyclists riding through the crash sites at the same time of day and week as the crash were interviewed to provide the control sample of 1200 motorcyclists.

Rider inexperience was found to be common, present even among older riders. Riders aged under 25 and riders who rode less than three days per week were at greater risk of crashing. The BAC data were incomplete for cases but indicate that alcohol may play a smaller role in motorcycle crashes than in car crashes. Recreational riding was associated with higher crash risk than work-related riding. Unlicensed riders, unregistered motorcycles and borrowed motorcycles were also associated with higher risk.

INTRODUCTION

In 1996, 39 motorcyclists were killed and 631 were seriously injured in motorcycle crashes in Victoria, comprising 9.4% of road users killed and 10.4% of road users seriously injured. In Australia as a whole, 193 motorcyclists were killed in 1996 (9.8% of all road users killed).

When motorcyclists are injured in crashes, they are often injured more severely than other road users. Between 1984 and 1993, about 45% to 50% of motorcyclist casualties were fatalities or serious injuries, whereas only about 30% to 35% of all casualties were fatalities or serious injuries [1]. While the statistics for motorcyclists killed are likely to be quite reliable, significant under-reporting of injury crashes occurs [1].

The study reported here was undertaken to identify the risk factors for motorcycle crashes by comparing the characteristics of motorcyclists in crashes with those riding safely. A case-control approach was taken in which three types of information were collected:

detailed descriptive information about the crash and the resultant injuries
comparison of features of cases and controls (rider and pillion, motorcycle, trip),
and motorcycle exposure information (gathered as part of the control collection process).

This paper focuses on the estimation of risk factors from comparisons of cases and their controls. The reader who is interested in the characteristics of the crashes or the motorcycle exposure data will find these addressed in the project technical report [3].

STUDY DESIGN

Selection of cases

The cases comprised motorcycle crashes occurring on public roads in the Melbourne metropolitan area in which the rider or pillion attended one of the seven participating hospitals or died. All motorcyclists admitted to hospital, irrespective of injury level, were eligible to participate. For non-admitted patients, only motorcyclists with injuries corresponding to an Injury Severity Score (ISS) of 5 or greater were included. An example of injuries comprising an ISS of 5 would be a simple fracture in one leg and abrasions or contusions to another body region.

Selection of controls

The controls were motorcyclist trips that passed the crash site at the same time of day and week as the crash occurred. A limited number of observational variables were collected for those motorcyclists who did not stop and those who stopped but

declined to participate in the study. For those who stopped, additional information was collected, focussing on the current trip (including photographs and BAC if riders agreed). A follow-up telephone interview assessed longer-term issues such as training and licensing.

Those cases for which no controls were collected (no motorcyclists were observed) had to be dropped from the case-control study. These cases were kept in the descriptive study, however.

Matched analysis

This study utilised a matched design where an attempt was made to collect a set of controls for each case which were matched on time and location of riding. A matched analysis (conditional logistic regression) was used to calculate the odds ratios. The matched analysis had the advantage of overcoming difficulties associated with having differing numbers of controls per case but meant that cases for which controls were unable to be recruited had to be dropped from the study.

Adjusted odds ratios

An odds ratio which describes the relationship of one variable to crash risk is termed an unadjusted odds ratio. If the unadjusted odds ratio is significant, then there is a significant association between the variable and crash risk. Yet the association may occur when the variable has no direct relationship with crash risk but the variable is strongly correlated with another variable which has a direct relationship with crash risk (the confounding variable).

Preliminary analyses showed that the effects of age of the rider and BAC level on risk of crashing were very strong. These effects masked or accentuated the true effects of factors which were correlated with age or BAC level. Therefore conditional logistic regression was used to calculate the odds ratios adjusted for the effects of age and BAC level (or other variables judged to affect the relationship with crash risk).

The small numbers of control riders with $BAC > .05$ led to constraints in the estimation of odds ratios for $BAC > .05$, particularly after adjustment for other factors. For this reason, where BAC was analysed with another factor, the factor BACANY – which has categories $BAC = .000$ and $BAC > .000$ was used. Given the larger proportion of controls with $BAC > .000$ than $BAC > .050$, this variable appears to behave more satisfactorily.

METHOD

Crashed riders and pillioners were interviewed, helmets and bikes inspected, sites inspected and ridden through and motorcyclists riding through the crash sites at

the same time of day and week were interviewed. A more detailed description of the project methodology is provided in the companion paper to this paper [2].

Identification and recruitment of cases

The participating hospitals were contacted three times per week to ask whether any motorcyclists had been admitted or treated in the Emergency Department. If permission was obtained, the motorcyclist was interviewed and asked for approval to access his/her medical records to determine his/her weight, height and injury details. Injury severity was coded using the Abbreviated Injury Scale.

The Victoria Police notified the study team of the location and timing of fatal motorcycle crashes. Five fatal crashes in this study were investigated by the Victoria Police Accident Investigation Section (AIS) as part of a concurrent study of single-vehicle crashes. Details of other fatal crashes were provided by the investigating Police, witnesses, friends and relatives.

Recruitment of controls

Where possible, initial interviewing of control motorcyclists was conducted at the crash site, one week after the crash, with follow up by telephone. In some instances, the control collection could not be attempted one week after the crash and was instead undertaken two (or occasionally more) weeks after the crash.

A two-person team stopped motorcyclists with signs and procedures in accordance with the VicRoads Worksite Traffic Management Code of Practice [4]. Control motorcyclists who stopped were asked their date of birth and licence status, and were breath-tested using a Lion SD2 device. In addition, they were asked their first name and telephone number for a follow-up interview. On average, the roadside interview lasted about two minutes.

An attempt was made to photograph all motorcyclists as they approached the site to record basic data for all passing motorcyclists, including those who did not stop. However, photographs taken at night were not always adequate.

RESULTS

The case-control comparisons included data for 205 cases and 1225 controls. The range of variables collected and analysed was very large and only a selection of the results are reported in this paper. The reader is referred to the project technical report [3] for a complete presentation of the results.

Rider age

Riders aged under 25 were found to have significantly higher odds of being involved in a crash than riders aged 35 and over (see Table 1). The odds of crashing

for riders aged from 25 to 34 were not different from those of riders aged 35 and over.

Use of alcohol and other drugs does not appear to account for the increased risk for younger riders. The prevalence of riding with a Blood Alcohol Concentration (BAC) greater than zero was no greater for riders aged under 25 than for riders aged 35 and over. The younger riders were more likely to report taking illicit drugs in the previous 12 hours, but this difference is insufficient to account for the magnitude of the overall increase in crash risk.

While the percentage of crashes to which the rider was judged to have contributed was similar for the younger and older riders (28% and 24% of known, respectively), there appeared to be a greater contribution of risk taking in terms of excessive speed for the younger riders. Excessive speed was judged to have contributed to 25% of the crashes of riders aged under 25 but only 15% of the crashes of riders aged 35 and over. In addition, the rider's estimate of travel speed was more commonly above the posted speed limit for riders aged under 25 than for riders aged 35 and over.

Younger riders had more of their crashes in 60 km/h speed zones than older riders (82% versus 49%). This difference is not accounted for by differences in the riding patterns of the age groups (as indexed by the percentage of control riders recruited in each speed zone). Perhaps the road environment is less regulated and more unpredictable in 60 km/h speed zones and this poses more difficulties for younger, less experienced riders.

Licence status

About 6% of riders in crashes were unlicensed (never had a licence, licence lapsed or disqualified), compared to less than 1% of control riders. All of the unlicensed riders in crashes were aged under 35. Being an unlicensed rider was associated with a significantly increased odds of crashing compared with being a fully licensed rider (see Table 1).

The unlicensed riders appear to comprise two separate groups. The first group comprised young riders who were riding off-road bikes to or from an off-road site when they crashed. None of these riders had ever held a licence and none of them had a positive BAC. The second group were older and on road bikes. Many of this group had a positive BAC reading.

Table 1. Odds ratios and confidence intervals for rider age, licensing and experience variables, unadjusted and adjusted for age group and BAC. Highlighted odds ratios are statistically significant at the 95% level.

Variable	Unadjusted	Adjusted for		
		Age group	BAC	Age group and BAC
Aged under 25	1.8 1.1 - 2.9		1.8 1.0 - 3.4	
Aged 25 to 34	0.9 0.6 - 1.4		1.0 0.6 - 1.9	
Unlicensed	31.5 3.7-269.2	30.3 3.5-260.5	14.1 1.3-148.8	12.6 1.2-133.2
Learner	1.7 1.0-2.8	1.5 0.9-2.7	1.6 0.8-2.9	1.4 0.7-2.7
Probationary	1.8 1.0-3.2	1.5 * 0.8-3.0	1.5 0.6-3.5	1.3 0.5-3.3
Number of years ridden	0.98 0.96 - 1.00	1.00 0.97 - 1.03	0.97 0.93 - 1.00	0.99 0.95 - 1.03
Ridden less than 3 yrs	1.4 0.9-2.2	0.9 0.6-1.5	1.4 0.8-2.5	0.9 0.5-1.8
Ridden this bike <10,000 km	1.3 0.8-2.0	1.2 0.7-1.8	1.2 0.7-2.2	1.0 0.6-2.0
Ride <3 days/wk	1.9 1.2-3.0	1.7 1.1-2.8	2.1 1.1-3.9	1.9 1.0-3.5
Ride <300 km/wk	1.1 0.7-1.7	1.1 0.7-1.7	1.1 0.6-2.1	1.2 0.6-2.2
Inexperienced rider	1.4 1.0 - 2.1	1.1 0.7 - 1.6	1.4 0.9 - 2.4	1.1 0.6 - 2.0

* while age under 25 and probationary licence status were individually associated with increased crash risk, neither were significant when combined, probably because of the large overlap between these variables

The percentages of unlicensed riding may have been underestimates for both cases and controls because information about licence status was self- and some riders may not have stated that they were unlicensed. The odds ratio for unlicensed riding may be inflated, however, if unlicensed riders were less likely to stop at the control sites.

The odds ratios found in the study suggested about a 50% increase in risk associated with being a learner rider or probationary rider compared to being a fully licensed rider. However, this increase was not statistically significant, possibly because of the relatively small number of riders for which licence status was known (200 cases and 560 controls).

The analysis of rider experience showed that the difference in experience between learner and probationary riders and riders holding full licences may not be as great as occurs, for instance, with car drivers. A small number of learner riders and about one-quarter of probationary riders were classified as experienced riders while more than one-third of the fully-licensed riders were classified as inexperienced. In summary, licence status may not be as good a proxy for experience for riders as it is for drivers.

Riding experience

Information was collected about how many years the rider had been riding (experience) and how often and far the rider usually rode (exposure).

After adjusting for the greater tendency of more experienced riders in crashes to have positive BAC readings, there was a statistically significant reduction in risk as a function of years of on-road riding experience. The magnitude of the reduction was small, however, equating to a rider with 10 years experience having about a 25% lower risk than a rider with 1 year of on-road riding experience.

There was no significant increase in risk associated with having ridden for less than three years, compared with having ridden for three years or more.

Being an experienced off-road rider before gaining an on-road licence was associated with increased crash risk. There were no differences in current levels of exposure between the riders with experienced off-road riders and other riders which could explain this finding. One of the few differences between the two groups identified was the lesser propensity for the experienced off-road riders to complete on-road training courses.

In order to examine this issue of inexperienced riders who are not novices, we defined inexperienced riders as those who had ridden on the road for less than three years or ride less than three days per week or ride less than 100 km per week. Overall, 55% of crashed riders and 45% of control riders were inexperienced. As expected, most riders aged under 25 were inexperienced, but 50% of crashed riders (and 30% of control riders) aged 35 and over were also inexperienced. The analyses showed that 40% of fully licensed riders in crashes and 37% of fully licensed control riders were inexperienced. While inexperience was widespread, none of the odds ratios for this factor were statistically significant.

Rider exposure

Riders were also asked about the total distance they had ridden that bike. About half of the riders had ridden the bike for 10,000 km or more. A larger proportion of crashed than control riders had ridden the bike for less than 10,000 km, however (48% versus 40%).

Riders in crashes were more likely to ride less than three days per week than control riders (33% versus 22%). This pattern was found at each age group but was most prominent for riders aged 35 and over. Riding less than three days per week was associated with significantly increased crash risk.

Overall, case and control riders differed little in the distance that they usually rode per week. The difference between the findings for frequency and distance of riding suggests that case riders might be riding less often but for longer trips.

Alcohol

BAC data was missing for almost 40% of the riders in nonfatal crashes. This level of missing data remained despite a thorough examination of both hospital and police records. Table 2 shows that less than 1% of the controls for which BAC was known had a reading in excess of 0.050 (the legal limit for fully licensed riders). This meant that many of the statistical analyses had to rely on comparing riders with zero readings with riders with any alcohol at all.

Having a BAC greater than zero was associated with a five-fold increase in the odds of crashing compared to having a BAC of zero (see Table 3). The increase in risk associated with a BAC of greater than .05 was about forty-fold. However, if riders with positive BACs were less likely to stop at the control sites, then the odds ratios associated with alcohol would be somewhat inflated.

Table 2. Percentages of cases and controls according to BAC level. Percentages are of known. The possible range is given in brackets.

Variable	Present in % cases	Present in % controls
BAC>.000	19 (12 - 46)	3 (3 - 13)
BAC>.050	13 (9 - 43)	<1 (<1 - 10)
BAC level		
zero	82	97
<=.050	5	3
.051 to .149	8	<1
>=.150	5	0

Table 3. Odds ratios and confidence intervals for alcohol variables, unadjusted and adjusted for age group and licence status. Highlighted odds ratios are statistically significant at the 95% level.

Variable	Unadjusted	Adjusted for	
		Age group	Licence status
BAC>.000	5.6	5.2	4.9
	2.4 - 13.1	2.2 - 12.5	2.0 - 11.8
BAC>.050	44.3	38.3	39.4
	5.5 - 353.2	4.6 - 318.6	4.7 - 329.7
.000<BAC<.051	1.5	*	*
	0.5 - 4.7		

* insufficient data to compute adjusted odds ratios

Having a positive BAC was associated with a number of other risk factors including: unlicensed riding, riding a borrowed motorcycle, pillion carriage, illicit drug use, excessive speed and single vehicle crashes.

Vehicle characteristics

A number of the motorcycle factors probably reflect characteristics of the riders, rather than the performance or other characteristics of the motorcycles.

Overall, 5% of crashed motorcycles and 1% of control motorcycles were un-registered. Riding an unregistered motorcycle was associated with positive rider BAC and/or being unlicensed, however.

There was also an increased risk associated with the rider not being the owner of the motorcycle (see Table 4). While inexperience with the particular motorcycle probably contributes to this risk, there was also an association with alcohol use.

Table 4. Unadjusted and adjusted odds ratios and confidence intervals for not being the owner of the motorcycle. Highlighted odds ratios are statistically significant.

Variable	Odds ratio	Confidence interval
Unadjusted	1.6	0.9 - 2.9
Adjusted for..		
Rider age	1.5	0.8 - 2.8
Presence of alcohol	3.0	1.3 - 7.2
Licence status	1.4	0.8 - 2.8
Age and alcohol	2.9	1.2 - 7.3
Licence status and alcohol	3.0	1.2 - 7.7

In Victoria, riders with learner permits and riders with restricted licences (first year of licence unless full car licence held) are restricted to riding a motorcycle of capacity less than 260 cc. All of the learner riders interviewed stated that they were subject to the 260 cc restriction. About three-quarters of the probationary riders interviewed stated that they were subject to the restriction. Some of the learner and probationary riders who stated that they were subject to the restriction were riding a bike with a capacity greater than 260 cc (8% of cases, 8% of controls).

Overall, the distribution of engine capacities was similar for cases and controls (see Table 5). After adjusting for licence status, however, riding a motorcycle with engine capacity of 750 cc and above was found to be associated with a significantly greater risk compared to riding a motorcycle of 260 cc or below (see Table 6).

Table 5. Engine capacity of crash and control motorcycles.

Engine capacity (cc)	Percent of cases	Percent of controls
Less than 260	35	31
260-749	20	19
750 and above	45	50

Two-stroke race replica 250 cc motorcycles were over-represented in crashes compared with other 250 cc motorcycles. The increased risk associated with riding these bikes was not significant after adjusting for the effect of alcohol but the adjusted odds ratio was still relatively high (2.7) and on the margin of statistical significance (confidence interval 1.0 - 7.3). It is possible that this would have been significant, given a larger sample size.

Table 6. Odds ratios and confidence intervals for engine capacity, unadjusted and adjusted for age group and BAC. The reference level is less than 260 cc. Highlighted odds ratios are statistically significant at the 95% level.

Engine capacity (cc)	Unadjusted	Adjusted for				
		Age group	BAC	Age group and BAC	Licence status	Licence status and BAC
260 to 749	0.9	0.9	0.7	0.7	1.4	1.3
	0.6 - 1.5	0.5 - 1.4	0.4 - 1.3	0.4 - 1.4	0.8 - 2.6	0.6 - 3.0
750 and above	0.9	1.3	1.1	1.4	1.9	2.4
	0.6 - 1.3	0.8 - 2.0	0.7 - 1.8	0.8 - 2.5	1.1 - 3.2	1.2 - 4.9

The headlights were on for most of the crashed and control motorcycles (both pre- and post-1992). The odds ratios associated with pre-1992 motorcycles having headlights off were not statistically significant.

Trip factors

Information about the purpose of the trip was collected for cases and those controls who completed the follow-up interview. There was a significant increase in risk was associated with nonwork-related trips compared with work-related trips, even after controlling for the higher involvement of alcohol in nonwork-related trips.

There was no significant increase in risk associated with the rider being unfamiliar with the road.

Similar percentages of case and control riders gave travel speed estimates that were below the posted speed limit. The percentage of riders who estimated that they were travelling at above the speed limit was less at higher speed limits. Riders with BAC>.000 were more than twice as likely to state that they were travelling at over the speed limit.

DISCUSSION

This study enabled the identification of risk factors for motorcycle crashes by comparing the characteristics of motorcyclists in crashes with those riding safely. While there were certainly strong advantages to the use of the case-control approach to estimate risk factors for motorcycle crashes, a number of issues arose during the study. These included the effect of cases without controls on the estimation of risk factors, difficulties in accessing information about riders in fatal crashes and the inability to assess site-based risk factors. These are discussed in the companion paper [2].

Interpretation of risk ratios for alcohol

Given that alcohol has traditionally been the most important source of impairment leading to crashes, the unavailability of BAC data for a large number of crashes is disturbing. It also constrains the extent to which the study is able to estimate the magnitude of alcohol as a risk factor and investigate its associations with other factors (e.g. nonwork-related travel).

There are several issues to be considered in interpreting the odds ratios related to BAC level. The first is the effect on the odds ratios of matching on time of day and day of week. Alcohol use, for car drivers at least, has a distinctive time of day and day of week pattern. A consequence of having matched cases and controls on these variables is that the controls recruited would have been more likely to be of the same alcohol status as the cases than would have occurred if the set of controls was a random sample of motorcycle riding. Therefore, the calculated odds ratios in this study are likely to underestimate the true odds ratios to some extent. The same underestimation of the odds ratios would be expected for any other factor that varies as a function of time of day or day of week.

The second issue relating to the interpretation of the odds ratios for BAC>.05 and BAC>.00 is that the range of BAC values in cases was greater than that in controls. This would have reduced the odds ratios, leading to the calculated odds ratios underestimating the true odds ratios.

More than 70% of the crashes in which alcohol was involved occurred between 6 pm and 6 am (compared with about 25% of the crashes not involving alcohol). The number of controls per night-time crash was about half that for daytime crashes. Therefore the relative lack of night-time riding may contribute to the low involvement of alcohol in motorcycle crashes.

CONCLUSIONS

The study aimed to identify and assess the contribution of modifiable risk factors for severe motorcycle crashes resulting in death or serious injury. These factors will then be targeted for countermeasure development for the purposes of reducing the motorcycle specific component of the road toll.

The risk factors identified for which the maximum reduction in crashes was greatest were:

- rider aged under 25
- BAC>.05
- BAC>.00
- unlicensed or unregistered or not ridden by the owner
- nonwork-related riding

In general, the case-control comparisons showed the inter-relatedness of the variables affecting motorcycle safety. The characteristics of the rider, where and when they ride, why they ride and what they ride are strongly related. Thus any simple analyses which do not take these relationships into consideration fail to give an adequate understanding of the complexity of factors affecting motorcycle safety.

Comparisons with car drivers are not straightforward but it appears that helmet wearing rates are higher than seat belt wearing rates (certainly in crashes) and that alcohol involvement in motorcycle crashes is probably less (or least no worse than) that of car drivers. One of the reasons for the lower involvement of alcohol may be the largely daytime pattern of motorcycle riding.

But, on the other hand, there remain the unriderers: underage, unlicensed, unregistered. This group comprises only 6% of the riding population but 17% of crashes. Not only are they at greater risk of crashing but they also more likely to be not wearing helmets and so more likely to be severely injured.

Using the case-control approach enabled information about riders not in crashes to be used to estimate the risks of factors present in crashes. It also enabled the collection of exposure data which had not been available for motorcycling in Melbourne. This will allow a better understanding of motorcycle travel and an improved ability to assess the likely benefits of the countermeasures proposed to address the identified risk factors. The need for improvements to collection of BAC data was again shown.

ACKNOWLEDGMENTS

This research was funded by the Federal Office of Road Safety and VicRoads. We are grateful for the interest and input of Mr John Goldsworthy (FORS) and Ms Pat Rogerson (VicRoads).

We would like to express our appreciation to the nursing and administrative staff of the hospitals involved and particularly the Directors of the Emergency Departments. The cooperation of the Victoria Police was most appreciated, particularly Sergeant Greg Deimos who provided notification of the occurrence of fatal crashes.

We would like to express our thanks to our dedicated team of nurses and our on-road interviewers who cheerfully interviewed riders at all manners of times and places under varying weather conditions. Our thanks to our telephone interviewers and the staff who inspected motorcycles and helmets.

Thank you also to the riders and pillioners who agreed to be interviewed for the study.

REFERENCES

- [1] Diamantopoulou, K., Brumen, I., Dyte, D. and Cameron, M.: Analysis of trends in motorcycle crashes in Victoria (Report No. 84). Monash University Accident Research Centre. Australia Melbourne 1995
- [2] Haworth, N. and Smith, R.: Motorcycle crash investigations – the case control approach. Elsewhere in this volume. 1998
- [3] Haworth, N., Smith, R., Brumen, I. and Pronk, N. Case control study of motorcycle crashes (CR 174). Federal Office of Road Safety. Australia. Canberra 1997
- [4] VicRoads. Worksite Traffic Management (Roadworks Signing) VicRoads Supplement. 16 August 1995 Edition 04. VicRoads Australia Kew 1995.

Das Sicherheitskonzept des BMW C1

The Safety Concept of BMW C1

Klaus Kompass
Heidi Osendorfer
Stefan Rauscher

BMW AG – München
Deutschland

Abstract

With its decision to develop the C1 BMW open up a new two-wheel segment. This decision means breaking new ground at BMW. The objective is to create a new element designed to increase mobility, especially in city traffic. At the same time, however, we are accepting the challenge to redefine the term vehicle safety on two wheels. Even the first target catalogue for the C1 contained the task to bring about a distinct improvement in accident protection. The gain in mobility should be concurrent with increased accident protection at the highest possible standards. This cannot be achieved through superficial optimization of existing concepts. BMW is not entering an existing segment of motor scooters, BMW is creating a new category of vehicles.

Introduction

The train of thought in what makes the C1 so unique in the world of two-wheeled vehicles is: its performance in the area of passive safety. With the C1, BMW has succeeded in its attempt to carry over the philosophy of passive safety from the car sector to two-wheeled vehicles. The positive collaboration between motorcycle and car development has been put to good use. This synergy effect is clearly noticeable: the strategy is consistent and in many cases, it was possible to carry over concepts, and in some cases even entire components, following some interface adjustment.

The result of this collaboration is evident in the consistent implementation of BMW's vehicle safety philosophy in the development of the C1.

Definition of vehicle safety

Over the past 20 years, traffic accident statistics have shown quite a positive trend. In spite of an increasing number of accumulated kilometres, the number of traffic fatalities has gone down from appr. 14000 in 1962 to about 8500 in 1997.

Looking at motorcycle accidents only, the situation is similar, although not quite as distinct. Nevertheless, it is noticeable that the number of motorcycle riders killed in accidents is on the decline despite the increasing number of kilometres accumulated (figure 1).

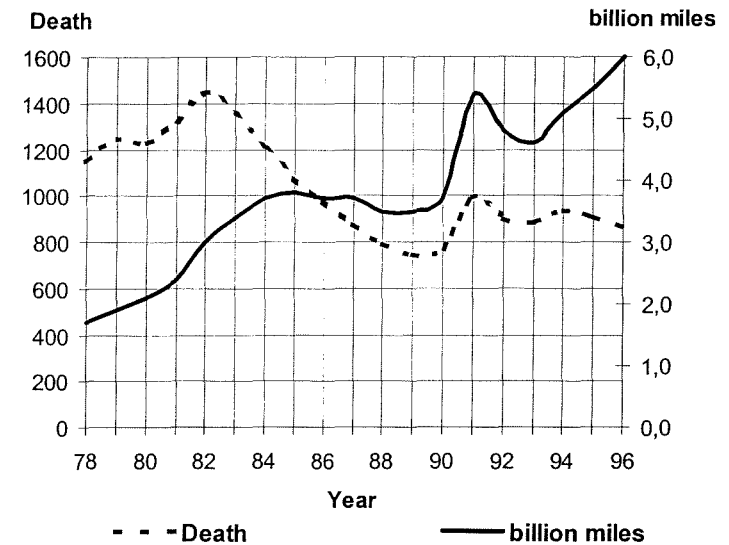


Figure 1: Traffic Fatalities in Germany, Motorcycles [1]

In both cases vehicle safety has been a main factor. The term vehicle safety is generally divided into three areas: active safety, passive safety and vehicle protection.

Active safety covers all factors designed to help avoid accidents.

Vehicle protection covers measures reducing the repair cost in minor accidents.

Passive safety refers exclusively to factors designed to help reduce the consequences of an accident. With a two-wheeled vehicle, the options in this respect are bound to be limited. The protection of the rider and passenger is mainly achieved through personal protective equipment; safety helmet, protective clothing with pads, gloves, boots – everything as impact-absorbing and resistant to abrasion as possible. Before starting out on a trip, motorcycle riders arm themselves like modern knights. The quick implementation of a decision “just to take a short ride into the city” ends either in a long-winded effort until the whole equipment is finally donned or in the acceptance of a distinctly higher risk when the rider just puts on the safety helmet and forgets about the rest of the protective clothing.

This is where the concept of the C1 comes in: BMW set itself the target to develop a city vehicle whose safety concept would be similar to that of a passenger car in that the components of secondary safety are not attached to the rider but to the vehicle.

Initially, it was important to define targets: What performance should the C1 have? What requirements in terms of crash safety can we meet in the first place? What are the test criteria we can use for guidance?

Statistics

As in the car sector, a large part of the requirements can be derived from real accidents. BMW has a separate department specializing in accident research. A staff of experts analyzes, reconstructs and examines traffic accidents mainly from Bavaria and where BMW vehicles were involved. Medical experts of the Ludwig-Maximilian University of Munich support the engineers in evaluating injuries. Thus, the entire chain of cause and effect of an accident can be analyzed in detail. The result consists of requirements established by accident researchers for future vehicles as well as the analysis of the efficiency of actions already implemented. Accident researchers are already able to benefit from a database of appr. 1,500 car and about 300 two-wheeler accidents (figure 2).

When looking at the two-wheeler accidents in terms of the types of collisions they were involved in, frontal-impact collisions accounting for about 42 percent are clearly in the foreground. It is also interesting to note that the cases involving a

two-wheeler hit in the side and rear-end collisions account for only 4 and 2 percent, respectively, and can therefore be considered as being less pressing.

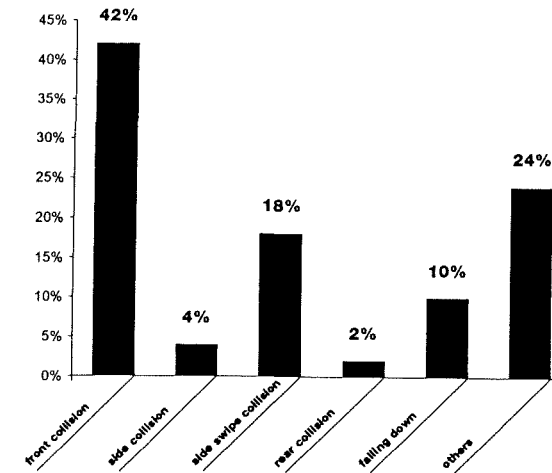


Figure 2: Collision Types [2]

The most frequent opponent in accidents involving two-wheelers is the passenger car in about 50 percent of all cases. In the case of the C1, this number will probably further increase due to the expected use of the vehicle mainly in inner cities (figure 3).

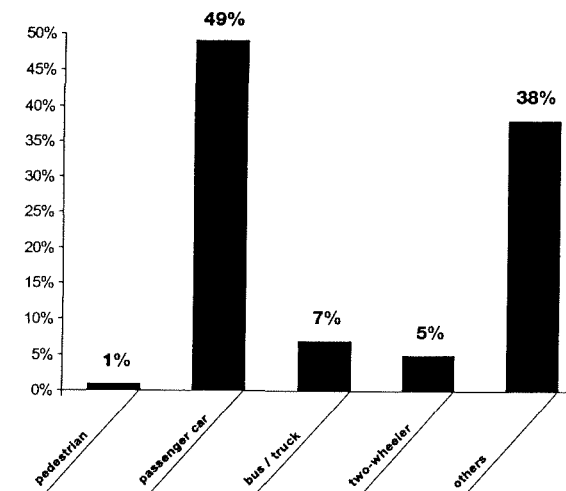


Figure 3: Accident Opponents [2]

Accordingly, the main object of contact in a primary impact will be the passenger car or its parts. The qualifying remark concerning the primary impact is important because the contact with the road surface plays the most important role when we look at the further course of an accident. In almost all cases, the two-wheeler by nature tips over sideways after the primary collision and impacts against the road surface (figure 4).

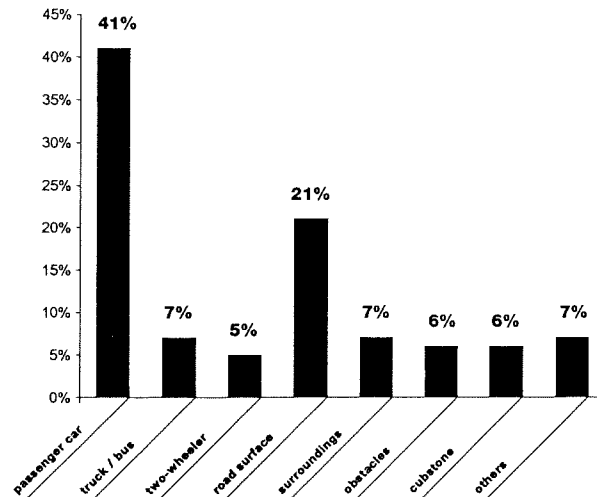


Figure 4: Primary Contact Objects [2]

International cooperation: ISO standard 13232: Motorcycle Crash Procedure

A further important module for guidance in defining the C1 requirements was the intensive collaboration with international bodies. BMW played a key role in the definition of an international standard entitled "ISO 13232: Motorcycle Crash Procedure".

This standard, ratified since 1997, describes the 200 most frequent accident constellations of two-wheelers against passenger cars based on intensive accident data of acknowledged research institutes and presents these data in detail. All 200 constellations were evaluated in a computer simulation. The seven most frequent and most dangerous constellations were evaluated in crash tests and used to validate the simulation results.

The C1 should be based on this acknowledged basis of accident data and the resulting test configurations. In the crash tests defined, it was to prove its full potential. Further crash tests, such as frontal impact against a wall and rear-end crash, rounded off the overall picture of the requirements.

C1 presentation, technical features

One thing was clear from the outset: If we are to succeed in protecting the occupant, he or she must be accommodated within a safety cell which largely protects him/her from direct contact with obstacles and prevents free, and therefore uncontrollable, flight. The kinetic energy of the vehicle must be moderately decreased and the rider must be coupled to his vehicle as optimally as possible so that he can be involved in the deceleration of his vehicle as early as possible.

The frame

Probably the most salient element of the C1 design is its roof frame. It is supported by the shoulder roll bars which provide a wider structure in the area of the upper torso and keep the rider within the safety cell even if the vehicle falls sideways. This aluminium space frame construction thus envelops the rider. Nevertheless, the typical feel of riding a motorcycle in the open air is not lost. That this frame not only serves as a carrier structure for protection against bad weather will be fully appreciated when one realises what kind of load it is able to withstand. The stability of



Figure 5: C1 Frame

the frame is based on passenger car values. The requirement was based on the U.S. safety standard FMVSS 216, whereby the structure is subjected to an almost static load. The allowable maximum deformation of 127 mm must occur under a load of more than 22 kN. In other words: At a load of 2.2 metric tons, the maximum frame deflection is a 127 mm. So, you could place a normal passenger car on the C1 frame without the structure sagging under the load to any noticeable degree (figure 5).

The safety belts

The occupant is coupled to this safety cell by means of two belts (and this brings us to the second unusual feature) since the rider or passenger, unlike the driver or passengers in a car, need to be protected against slipping out sideways to the right and left. BMW tested a large number of different belt designs, including harnesses. Ultimately, a system was selected which combined a lap-shoulder inertia-type belt with an additional shoulder belt from the other side. Both belts have their own inertia reels and their own belt buckles. This system permits single-handed buckling-up, while the other hand can hold handlebar and brake. The two shoulder belts cross in the chest area (figure 6).

Two belt load-limiters are used to reduce the belt force: If, in a frontal-impact collision, the driver is pushed forward, more belt length is provided above a defined level of belt pull. The resulting additional forward movement of the occupants reduces the load acting on the chest as well as the moments in the neck area. Again, the C1 incorporates innovative technology that will not yet even be found in all automobiles.



Figure 6: Safety Belts



Figure 7: Central Belt Opener

Even though these belts are very much reminiscent of their counter-parts used in cars, it took extensive adaptation and interfacing work to make them suitable for the C1. For instance, the sensors in the inertia reel had to be tuned for the new situation, because otherwise irregular road surfaces or inclined attitudes could have blocked the roller.

For more comfortable unlocking and to provide fast rescue, both belt buckles can be opened by operating a centrally located locking lever. This lever is located in an ergonomically favourable position and its colour marking makes it readily visible to people arriving first at the scene of the accident (figure 7).

The seat

The C1 rider sits on a comfortable bucket seat which (as in a passenger car) is pan-shaped to form a seating ramp. The front part of this pan consists of a foam element. The purpose of this design is to avoid the ill-famed submarining effect, where a buckled-up passenger slides forward and downward. This causes, the hip belt to be pushed upward and press against soft tissues in the abdominal area instead of restraining the occupant on the pelvic bones. The consequence may be extremely severe abdominal injuries. The pan-shaped design of the seat forces the pelvic area forward and upward along a defined line, the lap belt remains below the iliac crest, i.e. within a more resistant area of the human body (figure 8).

The headrest

In rear-end collisions and as the vehicle bounces back after a frontal-impact collision, the headrest gets into the act. Again, the principle of providing a large contact

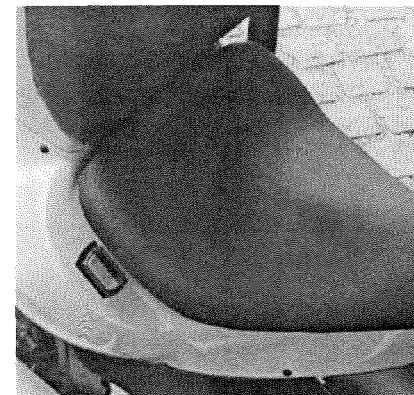


Figure 8: Seat

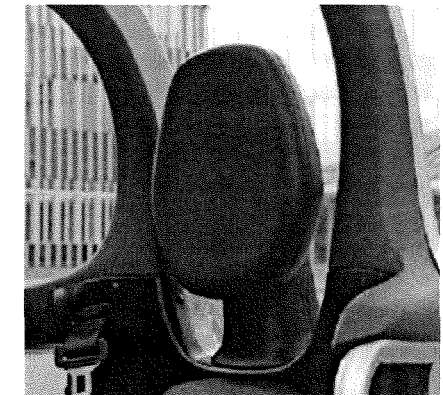


Figure 9: Headrest

area with soft deceleration by foam padding has been applied. Roof frame and handlebars, too, are padded in areas that might get into contact with the head (figure 9).

The deformation element

All these measures would be of no avail without controlled deformation. When a two-wheeler impacts against an obstacle head-on, it hits first with its front wheel. The front wheel can of course not be designed for an efficient transformation of energy through deformation. It will therefore be bent rearward and buckle. The center of gravity of the motorcycle is higher than the point at which the deformation force is introduced. This lever arm makes the motorcycle rise at the rear. Controlled deformation and consequently energy absorption thus becomes extremely difficult. In this respect, the design of the C1 takes a different approach. A foam body was located above the front wheel capable of absorbing a high level of energy during the deformation process. When the C1 hits an obstacle in a head-on collision, this element will deform by as much as 300 mm, giving an effect similar to the crumple zone of a passenger car. The location of the deformation element is such that the force is transmitted at the level of the vehicle centre of gravity. This prevents the vehicle from rising. The C1 deforms almost along a straight line (figure 10).

The telelever front fork

The transformation of kinetic energy is not exclusively left to this deformation element, though. With its telelever front fork, BMW already has a design with a high potential for energy-absorbing deformation. In the event of a crash, the longitudinal link acts as the force-carrying element between the telescopic fork and the

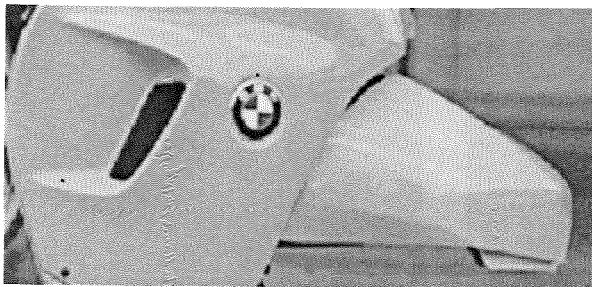


Figure 10: Deformationelement

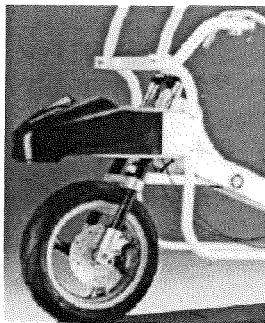


Figure 11: Frontfork

vehicle frame. Upon impact, the fork bends rearward and the longitudinal link is deformed. The combination of both elements decelerates the C1 in a collision so smoothly that the load acting on the belted rider remains at a low level. The target of transforming the entire kinetic energy in the front area of the C1 and to keep the passenger cell almost undeformed in a collision at 50 kph has been achieved (figure 11).

The windscreen

Most of the protection against bad weather is provided by the windscreen which shields the vehicle against both direct wind and, in conjunction with the windscreen wiper, against rain. Of course, this windscreen consists of safety glass which stands out for its high strength. On top of that, this windscreen also meets the requirements of EC directive 97/24 of the European Parliament and the European Council dated 17 June 1997, which specifies that shards and splinters produced by a broken windscreen must be such that the risk of injury is limited to a minimum.

The fuel tank system

In protecting the occupants in an accident, the fuel system also plays a very important role. Especially when the rider and passenger is restrained on or in his vehicle, special attention must be given to the location of the fuel tank and the fuel lines. The plastic fuel tank of the C1 has been placed in the most robust area of the vehicle: It is located at the centre between the two wheels below the seat.

Exemption from the obligation to wear a safety helmet: Why was that exemption granted in the first place?

As mentioned earlier, the primary intention of the C1 safety concept was to focus the measures taken to protect the rider on the vehicle-mounted components rather than personal protection equipment. In case of a crash, the belt system restrains the rider to his vehicle with the effect that he or she is decelerated along with the vehicle. As is the case in a passenger car, the head, as a freely moveable mass, can only be restrained by the articulated link of the neck. Vehicle deceleration and belt pull are controlled by the deformation behaviour of the vehicle as well as the adjustment of the belt pull limiter in such a manner as to keep the forces acting on the occupant as low as possible.

This task is however made more difficult if the mass of the head increases, for instance by wearing a commercially available safety helmet which weighs more than 1 kg. The kinetic energy of the head together with the helmet is distinctly

greater than without the helmet. The consequence is that the head undergoes a more intensive movement, resulting in greater forces and moments acting on the neck.

On the other hand, the rider of a C1 does not require the protection of a safety helmet designed for a conventional motorcycle. The head can be protected from the greatest risk of direct impact by measures taken on the vehicle side. It is for this reason that responsible experts were involved in intensive talks very early on in order to clarify whether an exemption from the obligation to wear safety helmets might be conceivable for a vehicle category such as the C1.

The German Ministry of Transport commissioned the Bundesanstalt für Straßenwesen (BAST) to conduct a study on this matter. In its expert opinion, the BAST came up with a gratifying result: It was possible to agree to an exception whereby the obligation to wear a safety helmet could be waived if certain conditions were met.

The institute emphasized again and again that it did not intend to grant an exemption exclusively for BMW C1. It defined a catalogue of requirements which, if met, placed a two-wheeler in a special category. Vehicles meeting these requirements may be driven without a safety helmet according to the recommendation of the independent experts.

What is required is an extensive crash test programme, the fulfilment of the requirements on the windscreen specified by EC directive 97/24, compliance with minimum radii and the use of an indicator light warning the rider if safety belts are not fastened. In defining the crash test programme, the BAST took the aforementioned ISO Motorcycle Crash Standard as a guideline. Five crash tests were highlighted as especially relevant and the appropriate verification tests were specified. Additionally, the belt system and roof frame were to be subjected to static tests. Yet another test was added to make sure that there would be no physical contact of the head with the ground in a static fall. The test descriptions and the results of these tests are described below in more detail.

Results in detail

Let me first outline the tests that must be passed to obtain the exemption from the obligation to wear safety helmets.

- *Roof crush test (figure 12)*

The C1 roof frame is subjected to a static roof crush test specially adapted to two-wheeled vehicles. It is based on a specification used for passenger cars to test roof stiffness.

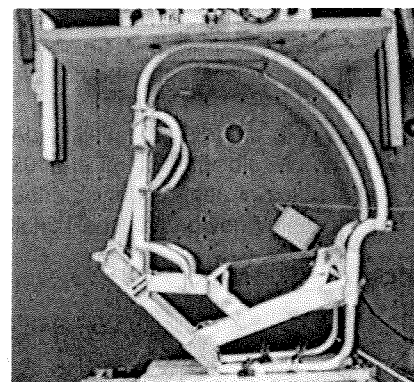


Figure 12: Roof crush test

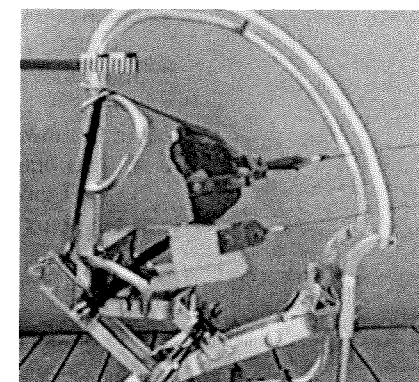


Figure 13: Belt pull test

With this test, the frame must withstand a maximum deformation of 127 mm under a load of 22 kN.

- *Belt pull test (figure 13).*

The purpose of this test is to check the belt anchorage points. In this tests, both the combined lap-shoulder belt as well as supplementary shoulder belt must withstand a load of 6.75 kN for a period of 200 ms.

- *Fall from standstill (figure 14)*

This procedure was created by the BAST to simulate the least favourable case of ground contact. When falling sideways from standstill, the lateral g loads are far

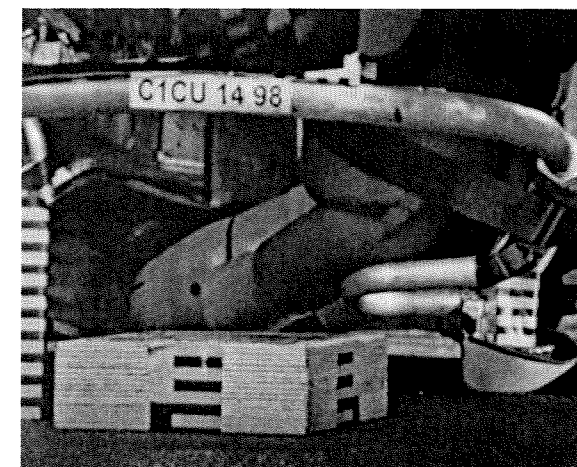


Figure 14: Fall from standstill

higher than with skidding accidents from an inclined position. The velocity of the head shortly before reaching the vehicle end position is 20 kph. To pass this test, there must be at least 75 mm clearance between head and ground. The implementation of the test requires a 75 mm thick spacer plate to be placed on the ground in the area of head contact. The dummy head must not touch this plate. To pass this test, the shoulder roll bar of the C1 was revised with the effect that additional deformation elements increased the width of the vehicle, thereby cushioning the impact on the ground.



Figure 15: Side impact

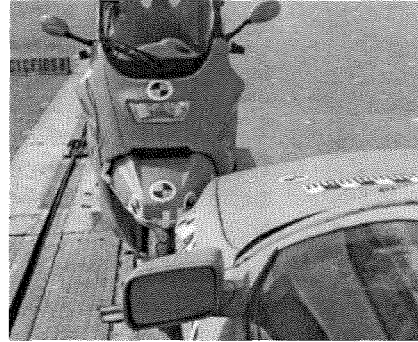


Figure 16: Sliding impact

- *Side impact (figure 15)*

The car laterally crashes into the stationary C1 from a speed of 35 kph. The C1 is scooped up on to the hood of the impacting vehicle. The belt system restrains the rider within his protective frame structure.

- *Sliding impact (figure 16)*

The C1 grazes a stationary car at 50 kph and 20 cm offset. The vehicle is deflected after the initial contact. During the entire test sequence, the limbs of the rider remain within the frame structure.

- *Frontal impact moving-moving (figure 17)*

In this test, the C1 moves at 50 kph and crashes at right angles into a car moving at 25 kph. After the initial contact, the C1 spins about its vertical axis, with the deformation element counter-acting the tendency of the C1 to rise up. The belt system restrains the rider in the robust frame structure and physical contact with parts of the passenger car (e.g. roof edge) is prevented.

- *Frontal impact 45° moving-moving (figure 18)*

The C1 moving at 50 kph crashes at an angle of 45 degrees into the side of a car moving at 25 kph.

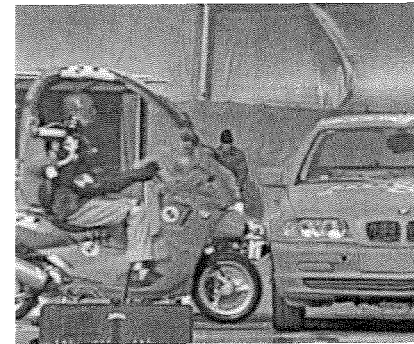


Figure 17: Frontal impact

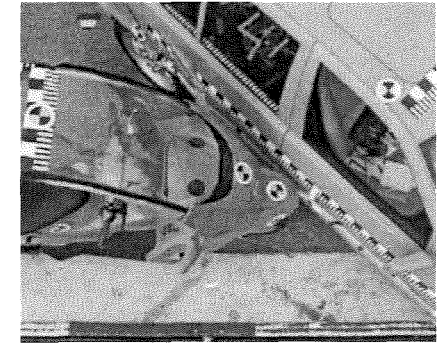


Figure 18: Frontal impact 45°

After the initial impact, the C1 is deflected by the car, moving away in a large arc. Again the belt restrains the rider within the protecting frame structure.

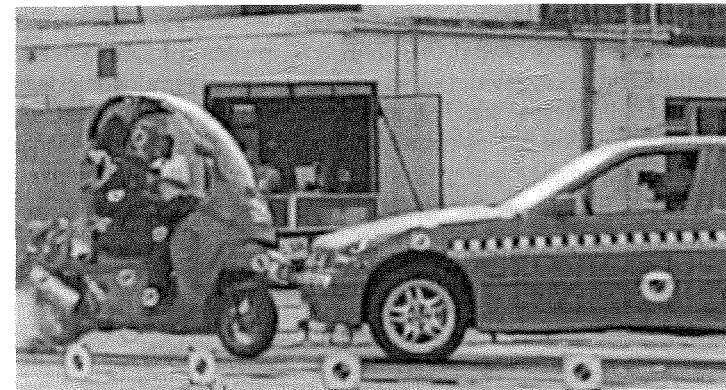


Figure 19: Frontal impact 135°

- *Frontal impact 135° moving-moving (figure 19)*

The C1 moving at 50 kph frontally crashes at 45 degrees into a car moving at 25 kph. This is the most severe test specified by the ISO standard. Even in this impact, the frame structure remains intact and protects the rider from a harsh collision with the car and the ground.

In all crash test conditions, occupants values remained below biomechanical limits. The requirements for the helmet waiver to achieve HIC values was fulfilled for each test.

Beyond these tests required to obtain an exemption from wearing safety helmets, BMW conducted further tests designed to properly tune the components.

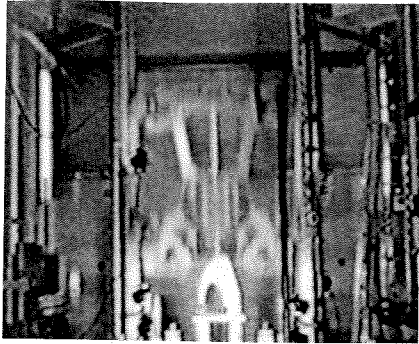


Figure 20: Drop Test

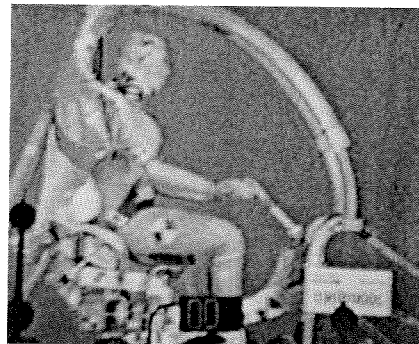


Figure 21: Catapult test

- *Drop test stand (figure 20)*

The drop test simulates the impact against a stationary passenger car. The objective of this test was to optimize the foam element in conjunction with the front-wheel suspension for maximum energy absorption.

- *Catapult tests (figure 21)*

Catapult tests simulate the motion sequence in a 50 kph frontal impact against a rigid barrier. The belt system was optimized for the C1 on the basis of this test.

- *Skid tests (figure 22)*

To simulate a single-vehicle accident, the C1 was horizontally suspended from a fixture, accelerated to 50 kph and then released. Again, the frame is designed to protect the belted rider. Possible excoriations can be prevented with the appropriate clothing.

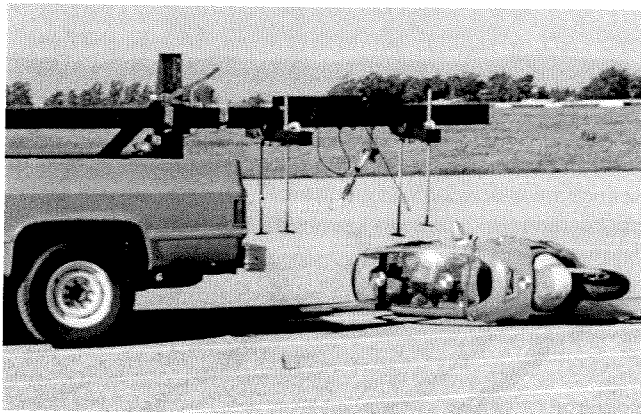


Figure 22: Skid test

Conclusion

For all these promising results, one must not lose sight of the limitations of this development: Not even the C1 can provide 100 percent protection against serious or even fatal injuries. For a two-wheeler, the design affords a measure of safety never known before. Nevertheless, the C1 remains a motorized two-wheeler and the very fact that it weighs less than a car puts it at a disadvantage. In rare cases of even more severe accidents, the C1 rider, too, is liable to be exposed to critical loads. There will be instances where the rider of a conventional two-wheeler is catapulted off his vehicle and gets away with only minor injuries because he happens not to hit a hard obstacle. Still, we are convinced of the benefit of this concept: The movements of the C1 rider are not left so much to chance.

The restraint system of the C1 is of course not able to restrain all limbs of the rider within the passenger cell. In accidents, excoriations may occur even with this vehicle concept. It is therefore advisable to wear abrasion resistant clothing.

With the C1, we have demonstrated that even riders of two-wheeled vehicles may be assured of a certain degree of protection given an innovative, well engineered vehicle concept. We have also shown, however, that this protection potential is applicable to conventional two-wheeler concepts only to a very limited degree. The C1 constitutes a vehicle category in its own right. Its characteristics in the area of secondary safety cannot be carried over to other two-wheeled vehicles. The C1 concept has a limited field of application. There are no plans, and it isn't even possible, to make a C1 out of every motorcycle.

With the C1, BMW is presenting a vehicle on two wheels – unique and unmatched.

References:

- [1] Statistisches Bundesamt 1996; Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung 1997
- [2] BMW Accident Research

Fahrer, Fahrzeug, Fahrverhalten

Rider, Vehicle, Traffic Behavior

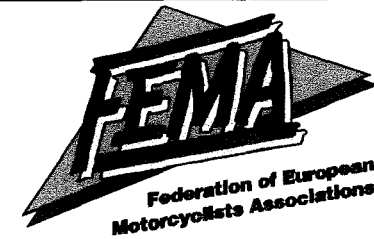
**Motorradfahrertraining in Europa
Bewertung und Bedürfnisse der Fahrer**

***Rider Training in Europe
The Views and the Needs of the Rider***

Robert W. Tomlins

FEMA – Federation of Motorcyclists Associations – Brüssel
Belgien

Firstly some introductions. (transparency 1)



The Federation of European Motorcyclists' Associations unites 23 national riders' rights organisations in Europe

	Norway				France
	Austria	AUSTRIA	Motorrad Aktionsgruppe - MAG		Denmark
	Belgium	BELGIUM	Motorcycle Action Group - MAG		Cyprus
	Cyprus	CYPRUS	Cyprus Motorcyclists' Federation - CMF		Denmark
	Denmark	DENMARK	Danske Motorcyklister Råd - DMC		Finland
	Finland	FINLAND	Moottoripyorakerho 69 - MP69		France
	France	FRANCE	Fédération Française Motards en Colère - FFMC		Germany
	Germany	GERMANY	Bikers' Cooperation		Greece
	Greece	GREECE	Biker Union		Hungary
	Hungary	HUNGARY	Bundesverband Der Motorradfahrer - BVDM		Ireland
	Ireland	IRELAND	Hellenic Motorcycle Federation - MOTOE		Italy
	Italy	ITALY	Motorrijders Aktie Groep - MAG		Luxembourg
	Luxembourg	LUXEMBOURG	Magyar Motorkerékpáros Szövetség - MMS		
		HOLLAND	Bifhjolasmatok Lydveldisins Singlar - BLS		
		HUNGARY	Motorcyclists' Action Group - MAG		
		ICELAND	Coordinamento Motociclisti - CM		
		IRELAND	Lëtzebuenger Moto-Initiativ - LMI		
		ITALY	Norsk Motorcykkel Union - NMCU		
		LUXEMBOURG	Federação Nacional Motociclismo - FNM		
		NETHERLANDS	Sveriges Motorcyklister Centralorganisation - SMC		
		PORTUGAL	British Motorcyclists' Federation - BMF		
		SPAIN	Motorcycle Action Group - MAG		
		UNITED KINGDOM			
		UNITED KINGDOM			
		UNITED KINGDOM			

The Federation of European Motorcyclists' Associations is the organisation that represents the interests of road riding motorcyclists within the European Union's institutions. We currently have 24 national riders' organisations from 18 European countries in membership with another five, primarily from Eastern European countries, seeking membership.

As FEMA's Assistant General Secretary I am responsible within the organisation for road safety matters, particularly rider safety and training. I also deal with a number of areas of political work, such as roadworthiness testing and vintage and classic matters, and am in charge of the finances.

To understand why we, the riders organisation, decided to undertake a major investigation into initial rider training in Europe it is necessary to consider the political background.

The Second European Driving Licence Directive we recognised, not only sought to harmonise the form of European driving licence and the categories for which it could be issued, it also set out the criteria that would need to be satisfied before a licence could be issued. (transparency 2)

This, we believed, identified rider training as a very likely subject for future European Legislation. As we had always been in the position reacting to formed proposals we thought we should for once, try to influence the agenda.

So two years ago, having secured grants from DGVII of the European Commission and ACEM, the European motorcycle manufacturers' association, we undertook to examine initial rider training in Europe from a riders' perspective. By initial training we mean the acquisition of skills and knowledge that a rider requires to be able to pass the national test of competency and gain a "full" licence.

Firstly we analysed how riders were being trained in Europe. We undertook three detailed survey through our national member organisations and drew upon a survey on the way in which the Second Directive was being implemented which was undertaken by ACEM. (transparency 3)

We learned that there were three distinct approaches. These we labelled:

With a little help from my friends;
Basic skills to build upon; and
Paying the professionals.

With a little help from my friends really meant that a novice rider received no structured or professional training at all.

This was the usual approach in countries such as Greece, Ireland and Italy.

Sure dad, or an uncle, or an elder brother or friend, often gave basic instruction on how to operate the clutch, gears and brakes, and sometimes gave advice on how he had managed to survive, twenty or so years ago, out on the public highway, but generally it was up to the new rider to find out for themselves.

Basic skills to build upon applies in Britain and as an option in Belgium and Finland. Here novice rider is required to take a course with a professional organisation which, when satisfactorily completed, allows them to go on and gain experience by riding unaccompanied on public roads, before taking the official test of competency for a full licence.

The Three Main Approaches to Initial Rider Training in the European Union

✱ **WITH A LITTLE HELP FROM
MY FRIENDS**

for example as in Ireland and Italy

✱ **BASIC SKILLS TO BUILD UPON**

*as in Great Britain and
as an option in Belgium and Finland*

✱ **PAYING THE PROFESSIONALS**

for example as in Germany and Holland

Paying the professionals is the approach that is adopted in the majority of European countries. Here a person wishing to acquire a motorcycle licence has to go to a professional organisation, most usually a profit-making company, and be under the tutelage of an instructor right up to and until they have passed the official test of competency.

So armed with this information we believed that it would be a relatively simple matter to evaluate what was the best approach to initial rider training.

After all we had on the one hand, in Italy for example, novice riders obtaining their full licence with virtually no formal training and, on the other hand as exemplified by Germany, we had the aspiring motorcyclist paying the professionals a lot of money to undertake an extensive course. A course which taught the machine control skills and required supervised experience on many different types of roads. A course that had to be satisfactorily completed before the rider could take the test.

Well it wasn't easy.

Firstly we made a fundamental mistake by looking at it from the generally held and widely-expressed viewpoint, that any training must be good because, as every one knows, trained riders are safer riders.

This, we thought, would be obvious when comparing the different rider accident rates in Italy and Germany, or in Ireland and Holland, or Greece and Finland.

Well it wasn't.

When we compared the statistics, a difficult task in itself because virtually every country collects and compiles their statistics in a different way, we found that it wasn't obvious. Indeed if anything the figures could be read as indicating that the virtually untrained Italian rider was less likely to have an accident than his extensively trained German colleague.

This we could not understand. Why should it be so?

Well in trying to answer that question we did two things.

Firstly we undertook an extensive review of the recent academic research on the subject of rider training and rider safety; and secondly, we conducted an in-depth survey of over 250 riders in five countries to ascertain their judgement on the quality and relevance of the training that they had received.

What did we learn?

Well we found that no fewer than eight recent academic research projects had reached the conclusion that current rider training programmes did not result in riders that were less likely to have an accident. (transparency 4)

To quote the Doctors Rutter and Quine, in a paper published by Pergammon in 1996, "It is well known that casualty rates among formally trained riders are higher than among those who are untrained".

The reasons for this, said the researchers, were that most rider training programmes overly concentrated on machine control skills and did not recognise and address the importance of the rider's attitude and behaviour.

Academic research indicates that concentrating on machine control skills does not make safer riders

* "It is well known that casualty rates among formally trained riders are higher than among those who are untrained"

* "Typical rider training programmes are skills based and pay little attention to factors such as . . ."

"Why particular behaviours are important"

"What are the consequences of unsafe riding"

"Why training matters"

*Dr. D. Rutter and Dr. L. Quine
Pergammon Press 1996*

To quote the Doctors Rutter and Quine once again. They noted that typical rider training programmes were "skills based" and paid little attention to factors such as:

"why particular behaviours are important;
what are the likely consequences of unsafe riding; and
why training matters".

In their conclusions (transparency 5) they identified what they saw as the focus of the problem: "Youth plays a much greater role than inexperience and accidents are associated with a particular pattern of behaviour, notably a willingness to break the law and violate the rules of safe riding".

I don't want to appear theatrical but I believe that understanding this is very important. It is most likely the main reason why so many young riders have ended-up in intensive care or even worse, in the cemetery.

I'm will return to what I believe is this very important aspect later.

Youth or Inexperience?

- * "Youth plays a much greater role than inexperience and accidents are associated with a particular pattern of behaviour, notably a willingness to break the law and violate the rules of safe riding"

*Dr. D. Rutter and Dr. L. Quine
Pergammon Press 1996*

So if that was what the researchers thought. What were the views of the riders?

When we asked them what they thought of their training, we learned that many riders believed that it did not address key aspects of riding, aspects which had become apparent from their subsequent riding experience.

For example when we asked what was missing from your training? (transparency 6) over 25% of riders who had taken formal training said it was riding on poor road surfaces. Amazingly over 18% said braking techniques; 17% said adverse weather conditions; and 10% said correct road positioning.

Related to this was the question "what were the least useful aspects of your training?" When asked over 60%, yes 60%, said that it was riding around and over obstacles!

In a number of countries that is virtually all that the national rider training programme consists of!

Weaknesses in Existing Rider Training Arrangements

- * EXPENSIVE
- * INACCESSIBLE
- * POOR INSTRUCTORS
- * MACHINE SKILLS ORIENTATED
- * INAPPROPRIATE EXERCISES
- * LOW HAZARD AWARENESS CONTENT
- * NO ATTENTION TO RIDER ATTITUDES
- * NO REDUCTION IN ACCIDENTS

When asked specifically "what had been learned with experience": (transparency 7) 28% said it was road positioning; 24% said braking techniques; 16% identified riding in adverse weather conditions; 14% said riding on poor surfaces; and 10% said defensive riding practices.

The riders' responses to this questions corresponded quite closely to the question "what were the most common hazards faced when riding": over 42% said it was the drivers of other vehicles, usually car drivers; over 30% said it was the poor road surfaces, and nearly 18% said it was adverse weather conditions.

Having completed the rider survey we were able to come to, what we believe are correct and defensible conclusions and recommendations on initial rider training programmes.

Firstly we identified the weaknesses of the existing national approaches. (transparency 8)

It should be understood, indeed I want to stress, that this list does not mean that all training programmes suffer from all of the shortcomings. It does appear to us, however, that virtually all training programmes suffer from some of them.

Anyway let us look at the list.

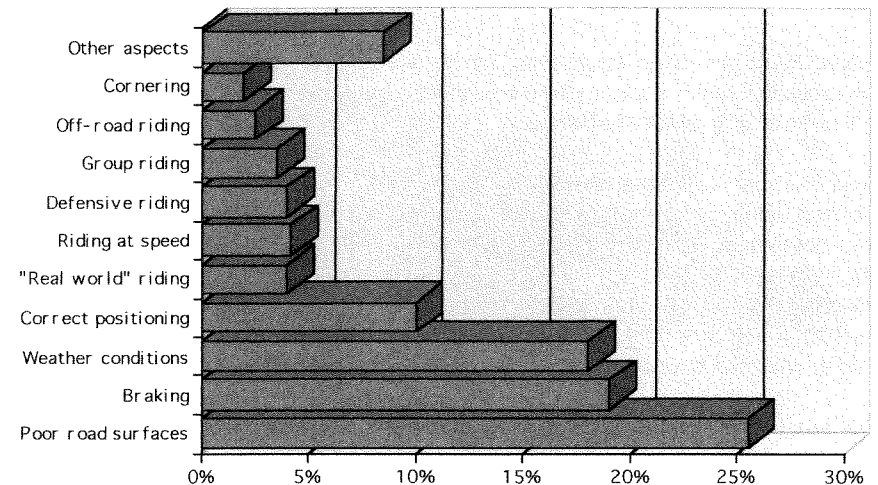
Accessibility. This is a problem in rural areas in a number of countries. Sometimes novice riders would take training but the prospect of making a 200+ kilometre round trip is very off-putting.

Affordability. In a number of countries professional training is prohibitively expensive. Germany and Italy are two very good, or I should say very bad, examples. In Germany, where training up to passing the official test of competency is compulsory, it will cost around 1,130 ECU (2,200 DEM, £760) to obtain your licence.

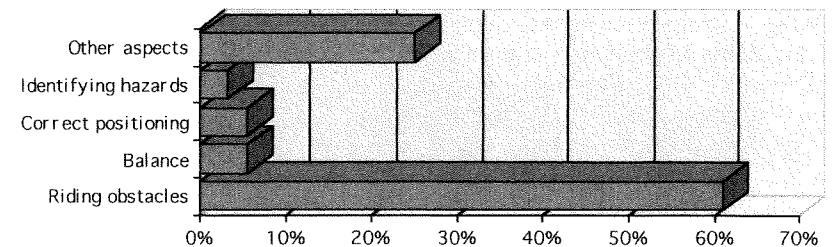
Italy, is a country where professional training is not compulsory and is rarely taken by the novice rider. This could have something to do with the hourly rate charged by the professionals of over 36 ECU (60,000 Lire, £24).

What we see is that in Germany many young people are unable to take up motorcycling because they simply cannot afford to. In Italy we see very few novice riders opting for professional training, again because few can afford it, Consequently the Italian rider can obtain his or her motorcycle licence for as little as 10 ECU (20,000 Lire, £8).

Missing from the training



The least useful aspects of training



Poor Instructors. Another reason that the young riders in Italy don't take professional training is that the quality of the instructors is so poor that at any price it would likely be a waste of money.

In at least five European countries it is possible, indeed even likely, that when a novice rider pays for professional tuition, he or she is likely to be taught by someone who had not been trained or is in no way qualified to instruct.

Indeed they will often be trained by someone who has never even ridden a motorcycle. Even in a country where training is compulsory, for example in Belgium, this unbelievable state of affairs can apply.

Even in certain countries where an instructor has to undertake a course and gain a required qualification before teaching someone to ride, there are often serious shortcomings in the training that a novice rider receives.

Often there is an over emphasis on *machine control skills*. Which are taught through a series of inappropriate exercises, which are not understood to have any relationship to what the rider needs to know to survive in today's' traffic.

Often there is little or no attempt to make the trainee rider *aware of the hazards* that he or she will face when riding on public roads and the defensive riding practices that will help a rider to deal with them or even to avoid them.

As has already been mentioned, there is rarely any recognition, in any national rider training programme, of the importance of the *attitude of the rider* and the need to adopt the right attitude and to modify his or her riding behaviour accordingly.

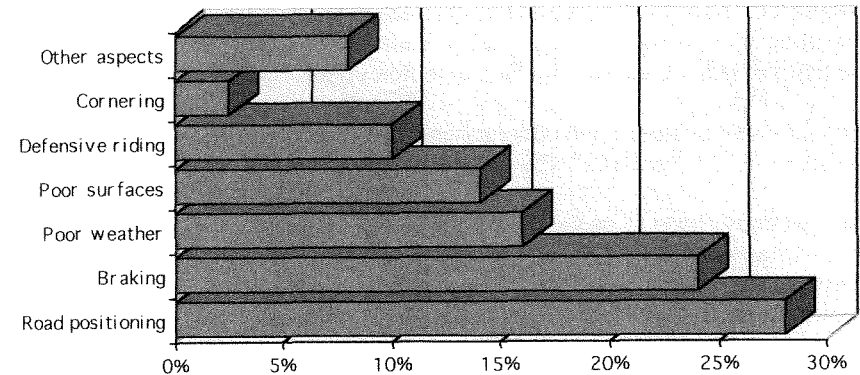
And the final and probably most telling weakness in existing rider training programmes is that there is no apparent statistical or even credible anecdotal evidence to support the view that trained riders are safer riders.

I know that in some countries, here in Germany for example, statistics will be quoted to show that the rider accident rate is reducing and some will infer from the trend that it is a result of their comprehensive training system.

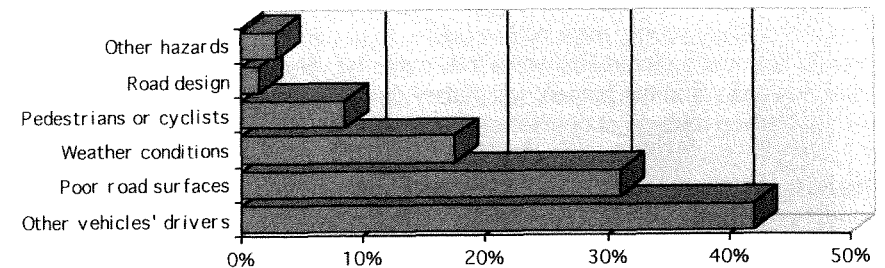
If, however, statistics showing the age profile of riders are considered, it will be seen that effectively young riders have largely been taken out of the picture. (transparency 9)

It is not that the young, newly-licensed rider is less likely to have an accident, rather it is that the young person is very less likely to be able to afford to ride a motorbike at all.

What is learned with experience



The most common hazards when riding



Please do not misunderstand what I am saying.

Obviously many novice motorcyclists that complete a training course have acquired skills, the absence of which will help them to survive in today's traffic.

Obviously many instructors are well trained. They are committed motorcyclists themselves and as part of responsibly training their charges, impart a comprehensive body of knowledge that will help to ensure that their trainees are able to enjoy the fun, excitement and camaraderie of motorcycling.

Without these positive contributions I am sure that the situation would be much worse.

So what do we need to do to make it better?

Our work identified eight guiding principles for initial rider training programmes. (transparency 10)

They should be *affordable* and *accessible*.

Instructors should be experienced motorcyclists, who should be *competent and qualified* to nationally agreed standards.

Novice riders should be trained within a nationally agreed *comprehensive initial rider training syllabus*, which will develop relevant machine control skills; which will teach *road traffic regulations in the context of the need* for their existence and concentrates on the *hazards* that a rider will face when out unaccompanied on the public highways and byways and give the knowledge that will enable those hazards to be safely dealt with.

Finally, and possibly most importantly in my opinion, is the need to get novice riders, particularly young, male novice riders, to understand that whilst they have learned to control a motorbike; whilst they might be very proficient in handling the clutch, the gears and the brakes; whilst they can balance and steer their machine over and around all sorts of obstacles; that is not enough!

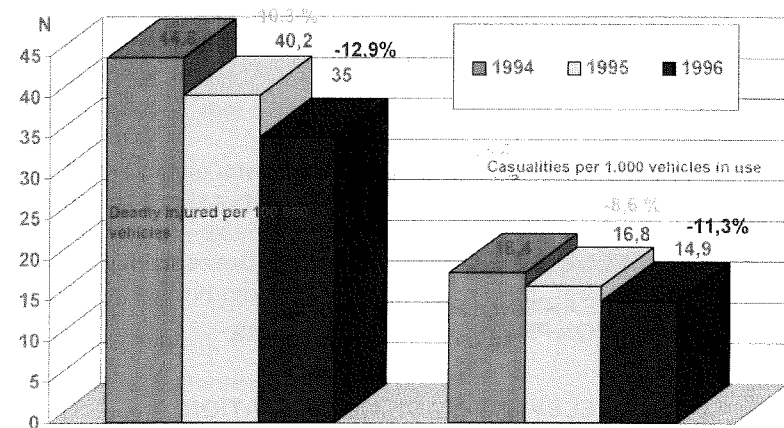
They have to realise is that it is what they have in-between their ears that will ensure their safety.

It is their *attitude, their understanding of the hazards that they will face and how they accordingly behave* that will be the major factor in keeping them safe and whole.

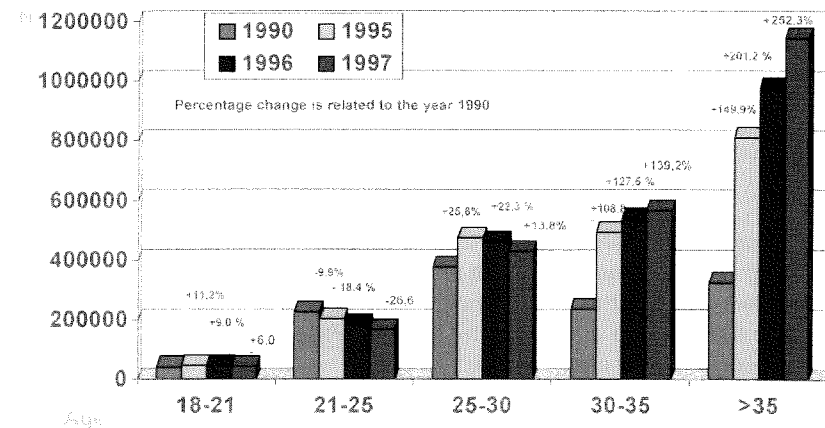
From the beginning to the end of the training programme, this consideration should be identified and developed. It should be recognised in the test of competency and



Motorcycle Accident rate in Germany 1994-1996



Registered PTW's in Germany by Age 1990/1995-1997 (without unknown and A1 MC's)



**FEMA's
Eight Guiding Principles for
Rider Training**

- * AFFORDABLE
- * ACCESSIBLE
- * COMPETENT AND QUALIFIED INSTRUCTORS
- * LEARNING WITHIN A COMPREHENSIVE SYLLABUS
- * RELEVANT MACHINE OPERATION SKILLS
- * UNDERSTANDING ROAD TRAFFIC REGULATIONS
- * HAZARD AWARENESS AND AVOIDANCE
- * RIDER ATTITUDE AND BEHAVIOUR

it should subsequently be reinforced, at every opportunity and by any and every means.

FEMA, Europe's representative organisation of road riding motorcyclists, believes that training schemes based on these principles can have a real benefit. They can result in riders with a better understanding of what they will face on today's roads. Better able to recognise and avoid the hazards. Riders who realise that they are primarily responsible for ensuring their safety.

Already we are beginning to see benefits from our work. In Greece and Ireland initial rider training programmes are now being developed. Our findings and recommen-

dations have made a significant contribution to the first national initial rider training programmes in those countries.

We hope that in countries with extensive training schemes, such as Germany, where the extensive initial rider training programme appears to many to be designed to restrict the access of young people to motorcycling through prohibitive costs, our conclusions and recommendations will result in a review.

We believe that our work has shown that it is the quality of the training that a motorcyclist receives, that will determine how safe a rider he or she will be.

Colleagues, even if the advocates of extensive training systems are being honest with us. If what they say is true and they are not seeking to restrict access to motorcycling through extensive and expensive regulations. Then they should be honest with themselves and recognise that many of their extensive and very expensive initial rider training programmes are not working. They are not resulting in a safer riders.

Thank you for your attention.

Please ride safely.

**Fahrstil, Motorleistung und Unfallverwicklung
von Motorradfahrern**

***Riding Style, Engine Power and Accident Involvement
of Motorcyclists***

Ulrich Schulz

Universität Bielefeld – Fakultät für Psychologie und Sport
Deutschland

Abstract

In this paper official accident data of motorcycle accidents in the federal state of North Rhine-Westphalia and in the Federal Republic of Germany are examined. These accident data show a markedly higher accident involvement for very powerful motorcycles. The second study was a survey of motorcycle riders. We used a questionnaire which included reports on the motorcycle, on riding behavior and on motorcycle accidents. Among riders with a sporting riding style the frequency of single-vehicle accidents increases as a function of engine power. This is not the case in riders with a non-sporting riding style and these relation also do not hold for collision accidents.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag werden offizielle Unfalldaten des Bundeslandes Nordrhein-Westfalen und der Bundesrepublik Deutschland analysiert. Diese Daten zeigen eine bemerkenswert erhöhte Unfallverwicklung sehr leistungsstarker Motorräder. Die zweite Studie war eine Befragung von Motorradfahrern. Es wurde ein Fragebogen verwendet, der Angaben zum Motorrad, zum Fahrverhalten und zu Motorradunfällen erfaßte. Bei Motorradfahrern mit einem sportlichen Fahrstil steigt die Häufigkeit der Unfallverwicklung mit der Leistung des Fahrzeugs. Dies ist bei Motorradfahrern mit einem nicht sportlichen Fahrstil nicht gegeben. Außerdem konnte diese Beziehung auch nicht bei Kollisionsunfällen festgestellt werden.

1. Introduction

Extremely powerful motorcycles with, for example, more than 74 kW are considered to be particularly dangerous in some European countries. In France, motorcycles over 74 kW have not been licensed for road use for more than 10 years, whereas in Germany and Austria, official motorcycle importers and motorcycle dealers have voluntarily agreed not to sell machines with more than 74 kW. However, accident statistics still fail to confirm whether particularly powerful motorcycles actually are involved more frequently in accidents than less powerful ones [1, 2, 3, 4]. There are two main reasons for this: (a) Engine power is only a recent addition to the aspects covered in official accident statistics. (b) There is controversy over whether accident statistics should be based on the number of vehicles registered or annual mileage. As a result, empirical findings reported in the literature sometimes support and sometimes falsify the hypothesized relation between accident involvement and engine power. This paper will present findings based on accident statistics in the German state of North Rhine-Westphalia (NRW) and Germany combined with survey findings that may help to clarify this issue.

From a psychological perspective, it can be maintained that the question is wrongly phrased: Motorcycles are always driven by their riders. Therefore, the abilities and characteristics of the rider, as well as characteristics of the interaction between rider, vehicle, and road environment are variables that impact on safety or accidents. This makes it necessary to search for rider-related moderator variables in order to gain a more thorough explanation of the relation between accident involvement and engine power. One suitable starting point for further research is provided by some findings from our own accident surveys [4] that show that when annual mileage is taken into account, the frequency of single-vehicle accidents with sports machines increases as a function of engine power, whereas it is independent of engine power in non-sports machines. The frequency of collision accidents was independent of engine power. However, our studies have shown that sports machines are mostly bought and ridden by persons who want to ride their motorcycles on the public roads as a sport (racing). Therefore, it can be suspected that such motivations combined with the availability of a suitable machine also result in a corresponding sporting style. The following study examines whether a sporting riding style can be used as a rider-related moderator variable to explain the relation between accident frequency and engine power.

2. Method

2.1 Analysis of Official Accident Data

Two sets of accident data were examined:

1. The Federal Traffic Institute [5] provided us with data on the frequency of accidents with injury to persons and/or serious material damage in which motorcycle riders were involved, in the federal state of North Rhine-Westphalia (NRW) between 1986 and 1990 coded according to engine power. These data had been collected in a special analysis by the Federal Traffic Institute. The Institute also provided us with registration data for motorcycles in North Rhine-Westphalia coded according to engine power for the same period.
2. For the years 1991 to 1995, we obtained data on accidents with injury to persons in which motorcycle riders had been involved, in Germany from the accident records of the Federal Statistical Bureau [6] that also included reports on the engine size of motorcycles. As in all German accident statistics, motorcycles with more than 74 kW are not entered explicitly because of the voluntary restrictions. The power of these vehicles was coded by 74kW in 1991–1994. Starting in 1995 missing information on engine power could be gained through a special postcoding performed by the Federal Vehicle Registration Office. Combined with the fact that non-German-registered vehicles are not assessed in terms of engine power, the proportion of incomplete data was about 20 to 50%. Reports on the number of motorcycles registered in Germany were taken from the corresponding statistics provided by the Federal Vehicle Registration Office [7].

2.2 Survey Data

Between autumn 1992 and spring 1995, surveys of 3,827 motorcycle riders were carried out at several large motorcycle fairs in North Rhine-Westphalia. The questionnaires included reports on the type of motorcycle ridden and on riding behavior, including the mileage driven during the previous year. A subjective characterization of riding style was assessed through reports on the frequency of various ways of riding motorcycles that were presented as descriptions of riding style. Further questions addressed falls and accidents. The number of falls with no serious consequences was assessed separately for on-road and off-road. For on-road accidents, more precise information was collected on the time of day, the location, the persons involved, the degree of damage and injury, as well as the causes of the accident.

2.3 Data Analysis

The relative frequencies of the accidents events in which we were interested were taken from the official accident statistics for specified motorcycle classes. These were compared with the corresponding percentages for the corresponding motorcycle classes registered in North Rhine-Westphalia or Germany.

The first stage of analysis in the survey data was to evaluate the frequency rating for the riding style characteristics using a k-means cluster analysis. A six-cluster solution proved to be appropriate. The results of the classification were tested with discriminant analysis. In five significant discriminant functions (5%), a level of agreement of 91% was attained between the classifications in the discriminant analysis and the cluster analysis. Thus, the driving styles groups proved to be thoroughly discriminable. They were labeled: defensive-calm, timid-unsporting, dashing-carefree, off-road-sporting, sporting, and racing. In terms of on-road motorcycle sports, the first four groups were summarized into one group of less sporting riders; and the last two groups, into sporting riders.

The various accident events in the survey data were characterized by computing the mean number of occurrences in one year. The impact of independent variables was tested for statistical significance with Poisson regressions. Categorized independent variables were entered as dummy variables; continuous variables, as covariates.

3. Results

3.1 Analysis of Accident Data

The results of the analysis of accident data provided by the Federal Traffic Office are presented in Figure 1.a to Fig. 1.e. These figures display on the ordinate the percentages of motorcycles registered in NRW for five power classes as dark bars. The percentage of accidents with injury to persons and/or serious material damage in NRW in which motorcyclists were involved, are displayed as light-gray bars and scaled on the lefthand ordinate. For each power class we computed the ratio of the percentage of accidents and the percentage of motorcycles registered. These values are displayed in the figures by solid lines. Classes with low power values are less represented in the accident data compared with the registration data. Power classes with 51–74 kW and more than 74 kW are over represented in the accident data. This tendency increases from 1986 to 1990. Therefore in these two classes solid lines representing ratios, show an increasing inclination from 1986 to 1990. This analysis did not take annual mileage into account. However, our own studies as well as reports in the literature indicate that mileages are approximately the same for higher-power motorcycles (e.g., over 60 kW). Therefore, differences in annual mileage could hardly explain the findings.

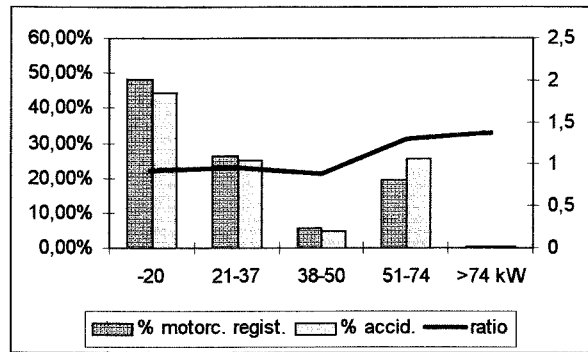


Fig. 1.a: Percentage of motorcycles registered in NRW and percentage of accidents with injured persons and/or serious material damage in NRW in 1986.

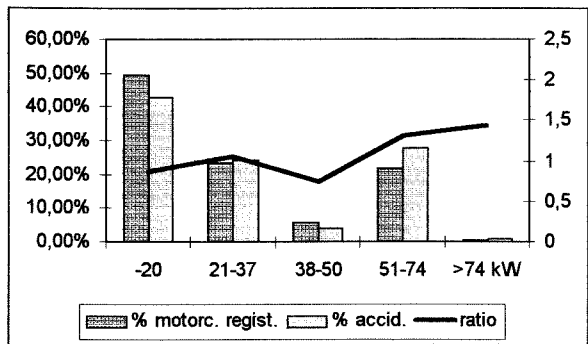


Fig. 1.b: Percentage of motorcycles registered in NRW and percentage of accidents with injured persons and/or serious material damage in NRW in 1987.

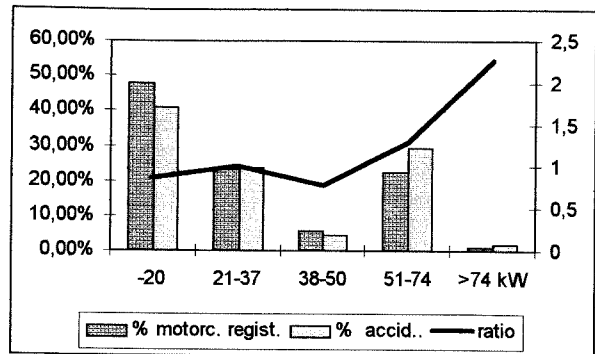


Fig. 1.c: Percentage of motorcycles registered in NRW and percentage of accidents with injured persons and/or serious material damage in NRW in 1988.

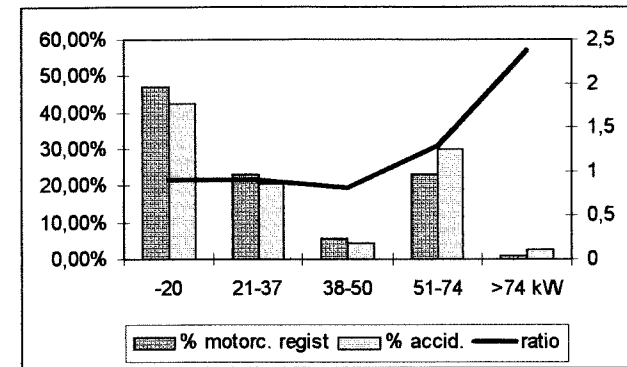


Fig. 1.d: Percentage of motorcycles registered in NRW and percentage of accidents with injured persons and/or serious material damage in NRW in 1989.

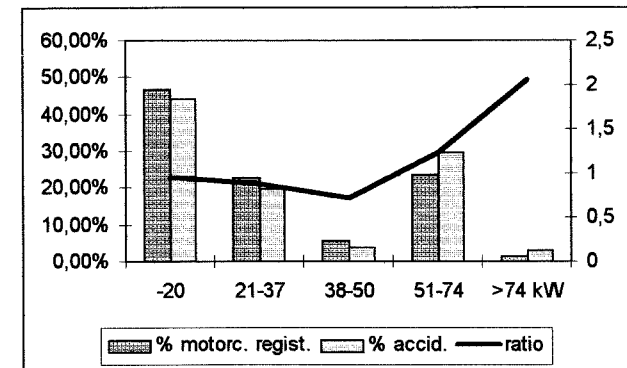


Fig. 1.e: Percentage of motorcycles registered in NRW and percentage of accidents with injured persons and/or serious material damage in NRW in 1990.

The analysis of motorcycle accident data in Germany for 1991–1995 is presented in Fig. 2.a through Fig. 2.e. Power classes were taken from the official statistical records. Motorcycles with less than 14 kW were neglected. In each figure, percentages of motorcycles registered are presented by dark bars, percentages of accidents are displayed by light-gray bars. A comparison of these percentages is only sensible under the assumption of no direct link between engine power and missing information. Therefore the ratio of the percentage of accidents and of the percentage of motorcycles is displayed by a dashed line. If we accept this assumption Fig. 2.a through Fig. 2.e once more show a very similar course in accident frequencies compared to the percentage of motorcycles registered. Very high powered motorcycles seem to be over represented in the accident data.

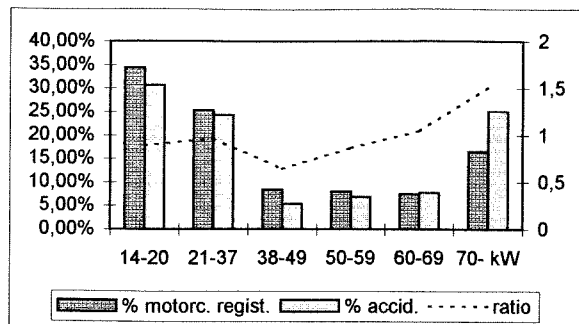


Fig. 2.a: Percentage of motorcycles registered in Germany and percentage of accidents with injured persons in Germany in 1991. Incomplete accident data 56%.

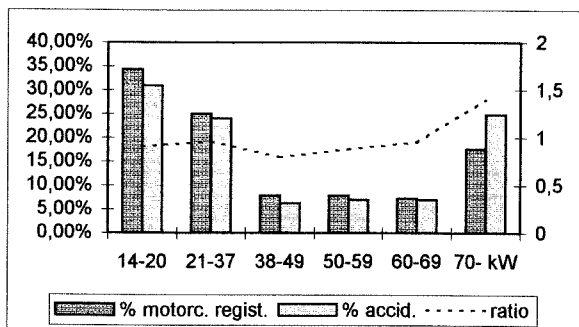


Fig. 2.b: Percentage of motorcycles registered in Germany and percentage of accidents with injured persons in Germany in 1992. Incomplete accident data 42%.

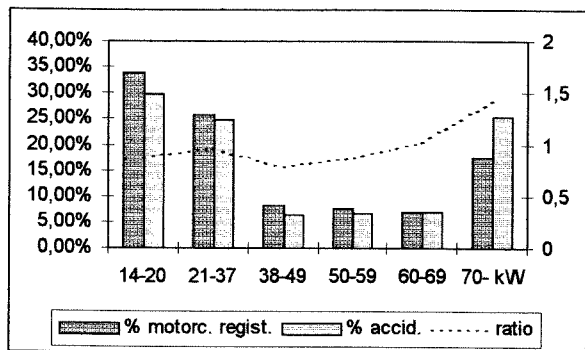


Fig. 2.c: Percentage of motorcycles registered in Germany and percentage of accidents with injured persons in Germany in 1993. Incomplete accident data 40%.

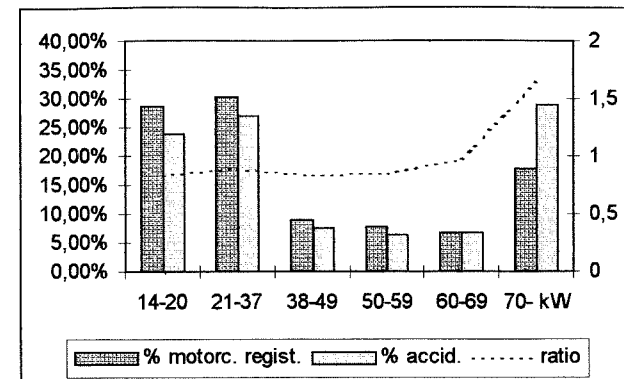


Fig. 2.d: Percentage of motorcycles registered in Germany and percentage of accidents with injured persons in Germany in 1994. Incomplete accident data 41%.

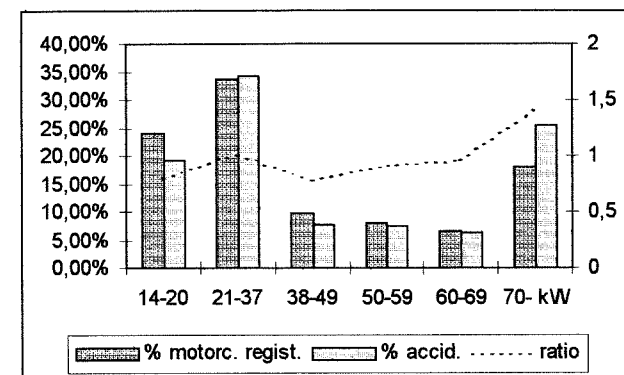


Fig. 2.e: Percentage of motorcycles registered in Germany and percentage of accidents with injured persons in Germany in 1995. Incomplete accident data 22%.

3.2 Analysis of Survey Data

Figure 3 displays the mean profile of the frequency of reports on individual riding styles for less sporting versus sporting motorcycle riders. Sporting riders exhibit much higher means on the characteristics aggressive, powerful, racing like, sport-ing-fast, and speedy. The same group has much lower means on the characteristics smooth, well tempered, and safe.

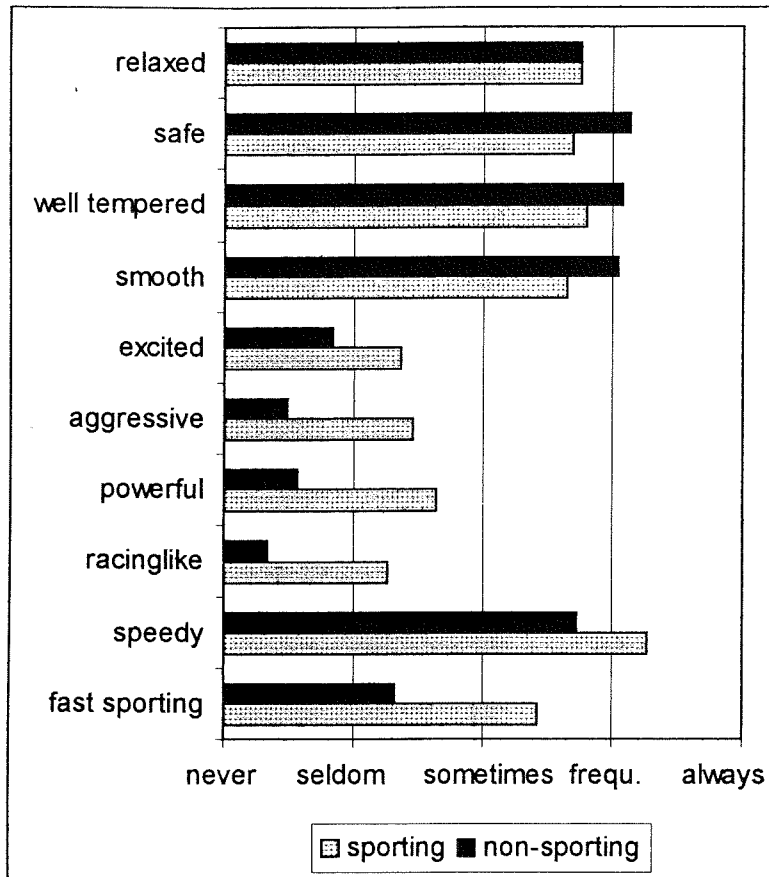


Fig. 3: Mean subjective frequencies of riding style characteristics for non-sporting and sporting motorcycle riders. Survey data University of Bielefeld.

Figure 4 displays the dependence of the mean number of single-vehicle accidents on engine power categorized into classes for non-sporting versus sporting riders. It shows that the means increase continuously as a function of higher engine power for sporting riders compared with a generally constant course with a slight increase in the highest engine-power class for less sporting riders. A Poisson regression analysis controlling for annual mileage and rider's age revealed at the 5%-level no significant effects of mileage, but significant effects of the riding style classification, engine power and age. The fact that alongside riding style, engine power also had a significant impact shows that having to handle a high-power motorcycle influences accident involvement.

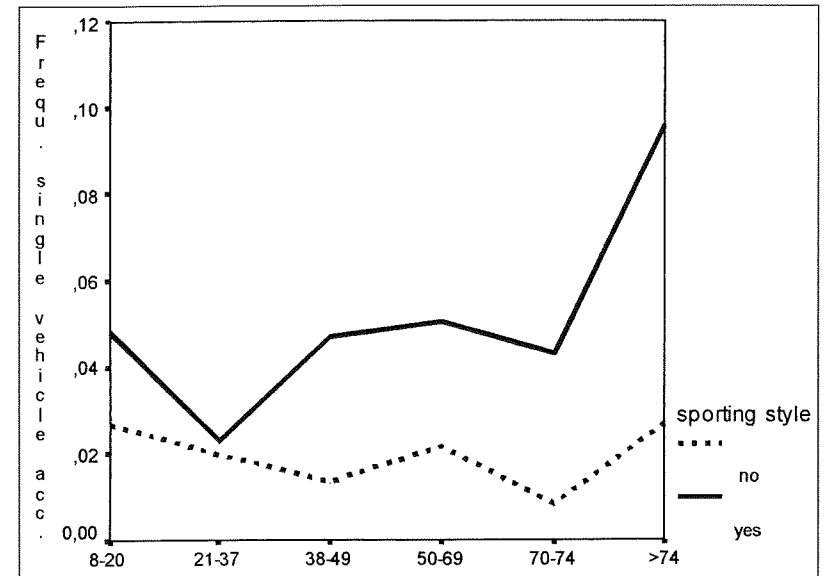


Fig. 4: Frequency of single vehicle accidents depending on engine power for sporting and non-sporting motorcycle riders. Survey data University of Bielefeld.

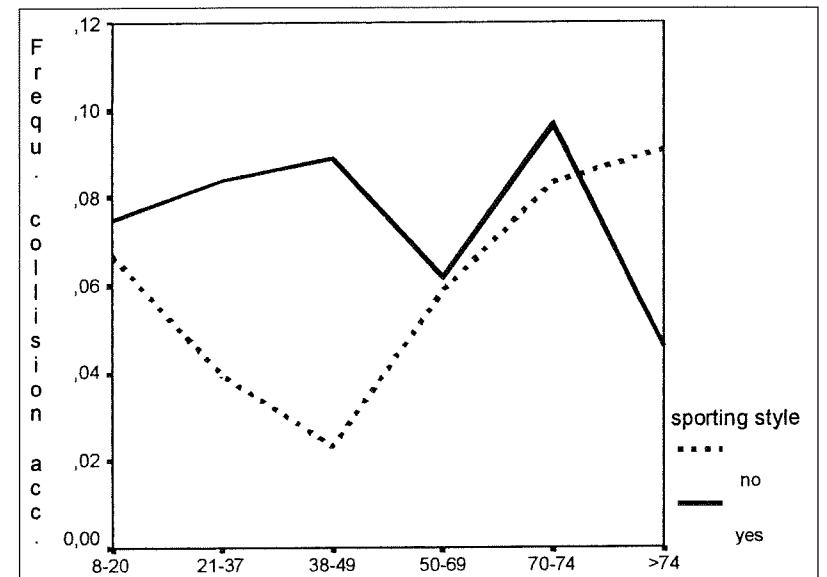


Fig. 5: Frequency of collision accidents depending on engine power for sporting and non-sporting motorcycle riders. Survey data University of Bielefeld.

Figure 5 depicts the mean numbers of collision accidents for non-sporting and sporting riders. This reveals markedly higher accident rates for sporting riders with intermediate engine power and for non-sporting riders in the second-highest engine-power class. A Poisson regression analysis with annual mileage and rider's age as covariates revealed a significant impact of these variables as well as a significant second-order interaction between the categorical variables riding style and engine power.

4. Discussion

The results of the analysis of the Federal Traffic Institute data show a markedly higher accident involvement for very powerful motorcycles. This finding is also supported through the analysis of more recent data of German motorcycle accidents. As the annual mileages of more powerful motorcycles are generally approximately the same, differences in mileage cannot be used to explain these findings.

The indication from our own studies that it is particularly the frequency of single-vehicle accidents with sports motorcycles that increases as a function of engine power is qualified through a more detailed analysis. Sporting versus less sporting riding style proves to be a rider-related moderator variable for the relation between engine power and accident involvement. Among sporting riders, the frequency of single-vehicle accidents increases as a function of higher engine power. This relation cannot be explained just through age, mileage, or riding style, but remains a demand on the rider's skills in handling a high-power motorcycle that contributes to a higher involvement in accidents. This is not the case in less sporting riders, and these relations also do not hold for collision accidents.

5. References

- [1] Mayhew, D. R. & Simpson, H. M.: Motorcycle engine size and traffic safety. Traffic Injury Research Foundation of Canada, Ottawa, Canada, 1989.
- [2] Taylor, M. C. & Maycock, G.: Factors affecting the accident liability of British motorcyclists. In: The human element. Proceedings of the 1990 International Motorcycle Safety Conference Orlando, p. 1/45-1/70. Motorcycle Safety Foundation, Irvine, 1990.
- [3] Schulz, U. & Koch, H.: Factors that influence the involvements of motorbikers in traffic accidents. In: Institut für Zweiradsicherheit (Ed.): Safety, environment, future. Proceedings of the 1991 Motorcycle Safety Conference, Bochum, 1991.
- [4] Schulz, U.: Gibt es einen Zusammenhang zwischen Motorradleistung und Unfallverwicklung? Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 33, 1995, 239-244.

- [5] Albus, C.: Krafträder der Leistungsklasse über 74 kW. Entwicklung der Fahrzeugbestände und Unfallbeteiligung der Fahrer. Manuskript, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1993.
- [6] Statistische Bundesamt: Verkehr, Fachserie 8, Reihe 7, Verkehrsunfälle 1991-1995.
- [7] Kraftfahrtbundesamt: Statistische Mitteilungen, Reihe 2: Kraftfahrzeuge. Jahresbände 1991-1995.

**Persönlichkeit, Selbstkonzept und Freizeitmotivation
von Motorradfahrern**

***Personality, Self-Concept and Leisure-Time Motivations
of Motorcyclists***

Ulrich Schulz
Steffen Schabel
Fritz Ostendorf

Universität Bielefeld – Fakultät für Psychologie und Sport
Deutschland

Abstract

In a survey of 180 motorcyclists we assessed personality factors, self-concept, and leisure-time motivations. Motorcyclists proved to be somewhat extravert, more agreeable and conscientious compared with a German reference population. Persons with a less positive self-concept exhibit lower control beliefs and less motivation for safe driving compared with subjects with a positive self-concept. Subjects with less positive self-concepts tend to be attracted by various sport motivations and tend to ride their motorcycle more frequently in a sportlike style. They also have more falls and accidents.

Zusammenfassung

In einer Befragung wurden bei 180 Motorradfahrern Persönlichkeitsfaktoren, Selbstkonzept und Freizeitmotivationen erhoben. Die Motorradfahrer sind etwas extravertierter, verträglicher und gewissenhafter im Vergleich zu einer deutschen Vergleichspopulation. Personen mit einem weniger positiven Selbstkonzept zeigen niedrigere Kontrollüberzeugungen und eine niedrigere Sicherheitsmotivation im Vergleich zu Personen mit positivem Selbstkonzept. Personen mit weniger positivem Selbstkonzept werden stärker durch sportliche Motive angezogen und fahren ihr Motorrad häufiger mit einem sportlichen Fahrstil. Sie haben mehr Stürze und Unfälle.

1. Motorcyclists From a Differential Perspective

Some publications within the fields of traffic psychology and personality have attributed specific personality traits to motorcyclists. For example, Jackson and Wilson (1993 [1]) used the Eysenck Personality Profile to study general personality factors in a small sample of male and female motorcyclists. They found that male motorcyclists were less ambitious, less responsible, less sentimental, and had lower self-esteem than the male population as a whole. In contrast, their scores were significantly above average on the traits arousal-seeking, aggression, dogmatism, foolhardiness, impulsiveness, and risk-taking. Although female motorcyclists exhibited the same tendencies to deviate from the average female in the population, only one factor attained statistical significance because of the small sample size.

More specific aspects of personality have been addressed with the concepts of arousal- and thrill-seeking. Persons with a heightened need for sensations and thrills can satisfy this by driving motorcycles, particularly through speed, acceleration, and cornering (Dellen & Bliersbach, 1978 [2]; Rheinberg, 1987 [3]).

A further aspect of personality is the motorcyclist's self. Psychoanalytically oriented researchers consider that owning a motorcycle, exercising control and mastery over it, and being able to demonstrate self-assertion and power to other road users helps stabilize the still uncertain self-awareness of young motorcyclists. Motorcycles become an emotional crutch for a damaged ego (Börner, Klemm, & Klemm, 1982 [4]; Dellen & Bliersbach, 1978 [2]; Nicoli, 1970 [5]; Pfaferott, 1978 [6]). For other motorcyclists as well, stabilizing self-esteem by driving motorcycles may well help compensate for a boring daily life, over which they perceive little personal control (Cremer, 1992 [7]; Förch, 1987 [8]; Zulauf, 1981 [9]).

More specific motorcycle-related aspects of persons have been examined by Haeberlin, Stange, and Henning (1990 [10]) in a differential study of the self-concept in motorcycling. They found extremely similar self-concept factors to the leisure-time motivations reported by Schulz and colleagues (Schulz, 1993 [11]; Schulz, Kerwien, & Gresch, 1991 [12]; Schulz, Kerwien, & Koch, 1989 [13]). Schulz et al. structured these motivations into three sets (assessed with 11 scales): (a) sport (dynamic aspects, performance, thrill, and rivalry); (b) driving pleasures and self (escapism, hedonism, flow, identification, and social aspects); and (c) security (control beliefs and safety motive).

The present study integrates the three above-mentioned areas: general personality aspects, general self-concept, and motorcycle-specific leisure-time motivations. Modern research instruments were applied to a large group of motorcyclists in

order to examine whether they really had specific personality traits that deviate from the general population and whether they exhibited marked compensatory tendencies to support self-esteem.

2. Methods

This issue was examined with a series of instruments: First, a questionnaire was constructed tapping demographic information on participants, what motorcycle they drove, and how they drove it. In addition, the German adaptation of the NEO Five-Factor Inventory (NEO-FFI; Borkenau & Ostendorf, 1993 [14]; Costa & McCrae, 1985 [15]) was selected as a standardized instrument providing a very economic assessment of the five main personality factors Neuroticism, Extraversion, Openness for experience, Agreeableness, and Conscientiousness. Self-concept was assessed with a revised and adapted adult version of the Inventar zu Selbstkonzept und Selbstvertrauen (ISS; Fend, 1984 [16]). Preliminary findings on this revised form are reported in Schabel (1997 [17]). The instrument provides scales assessing self-concepts on ability, appearance, and social integration, as well as self-knowledge, self-consciousness, self-acceptance, and self-confidence. The final instrument was the questionnaire on leisure-time motivations in motorcyclists (Schulz, 1993 [11]) containing the 11 scales mentioned above.

The survey was carried out at a motorcycle fair in the city of Dortmund during spring, 1996. Participants were 180 motorcyclists (150 males, 30 females) licensed to drive a motorcycle with a cubic capacity of more than 125 cc who also drove their motorcycles regularly. Their mean ages were 32.8 years for men and 29.0 years for women. The mean engine power of their motorcycles was 67 hp; mean cubic capacity, 725 cc.

As a reference population for the NEO-FFI, we were able to use the data from the Bielefeld standardized sample of 966 men (mean age 28.9 years) and 1,076 women (mean age 28.7 years) (Borkenau & Ostendorf, 1993 [14]).

3. Results

Scores on the five NEO factors were determined for each motorcyclist. Then, with the help of the two reference populations in the standardized sample these were transformed separately for men and women into standard scores with means of 100 and standard deviations of 10. The results of these computations are presented in Figures 1 and 2. In addition, analysis of variance were used to compare our data with the population data on each NEO scale and both genders using age as a covariate.

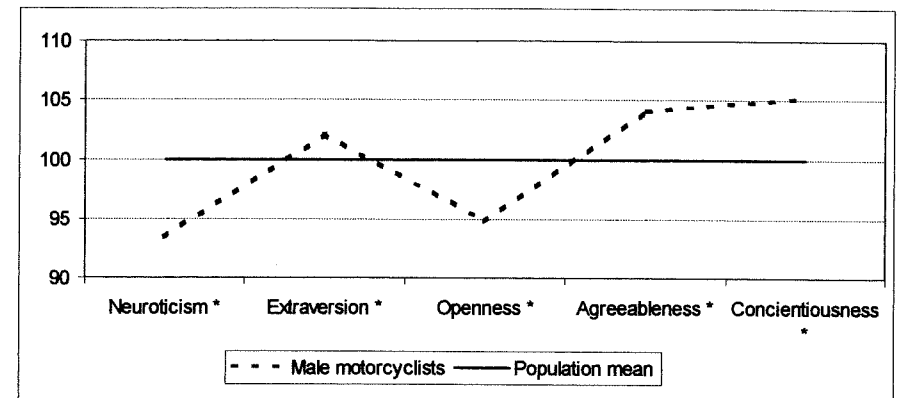


Fig. 1: NEO-FFI profile for male motorcyclists compared with the male reference population.

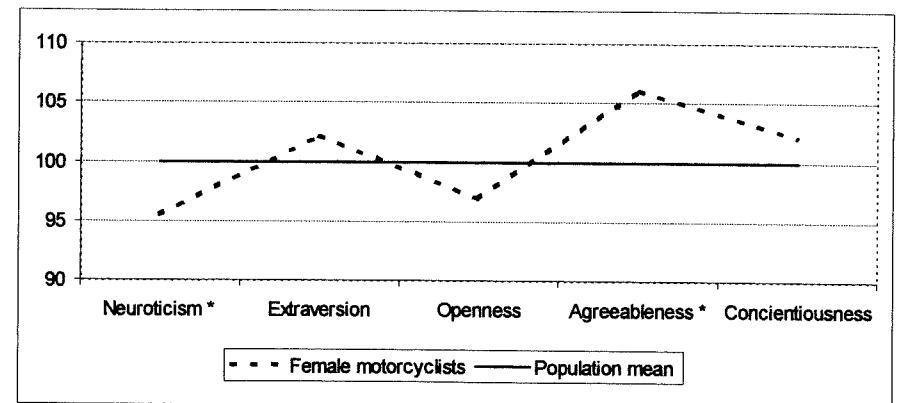


Fig. 2: NEO-FFI profile for female motorcyclists compared with the female reference population.

Results showed that male motorcyclists differed significantly from the reference population on all five personality factors. They were less neurotic and less open for experience, but more extraverted, agreeable, and conscientious than the male reference population. Female motorcyclists showed comparable deviations from group means, but these attained significance only for Neuroticism and Agreeableness.

The next step was to apply a k-means cluster analysis to the data from the seven self-concept scales in order to separate motorcyclists with a less positive self-concept profile from those with a markedly more positive one. Self-concept profiles are presented in Figure 3. Except for the variable self-consciousness, all self-concept

aspects contributed significantly to this separation. A discriminant analysis showed a reliability of 98.9%, indicating that the two groups can be discriminated very well. This procedure assigned 65.5% of the 148 men as well as 63.3% of the 30 women to groups with higher self-esteem.

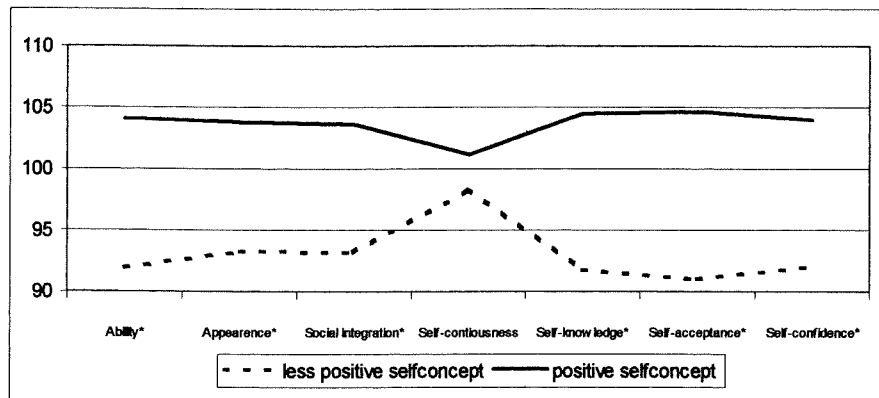


Fig. 3: Self-concept profiles in the positive and less positive groups.

The next stage was to examine how these groups, split for each gender, differed on the NEO scales. Each scale was standardized to a mean of 100 with a standard deviation of 10 across all respondents. The results of this analysis are presented in Figures 4 and 5. Then, for each scale, the two groups with less positive and more positive self-esteem were tested separately for each gender with a t test for independent groups.

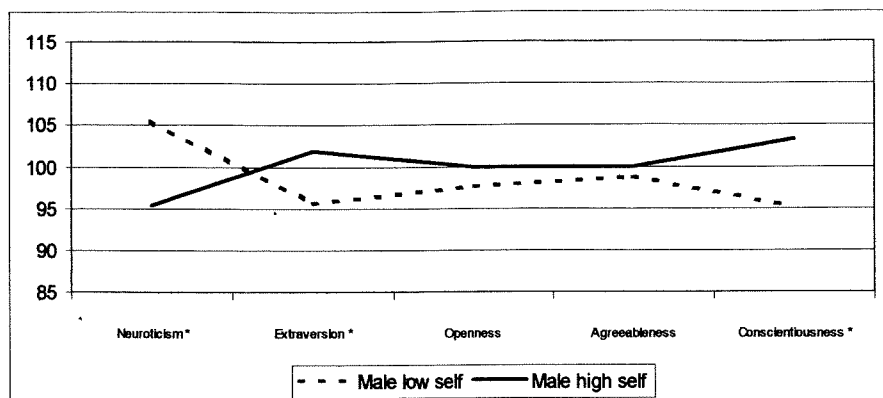


Fig. 4: NEO-FFI profile for male motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

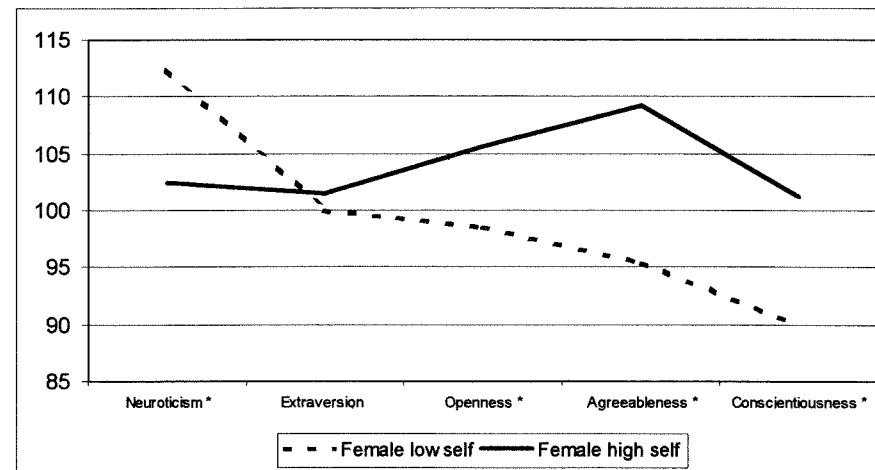


Fig. 5: NEO-FFI profile for female motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

Male respondents with a positive self-concept were less neurotic, more extraverted, and more conscientious. Differences between groups were even stronger in women: Women with a positive self-concept were much less neurotic, much more open for experience, more agreeable, and more conscientious than those with a less positive self-concept. Only the level of extraversion was average and the same in both groups.

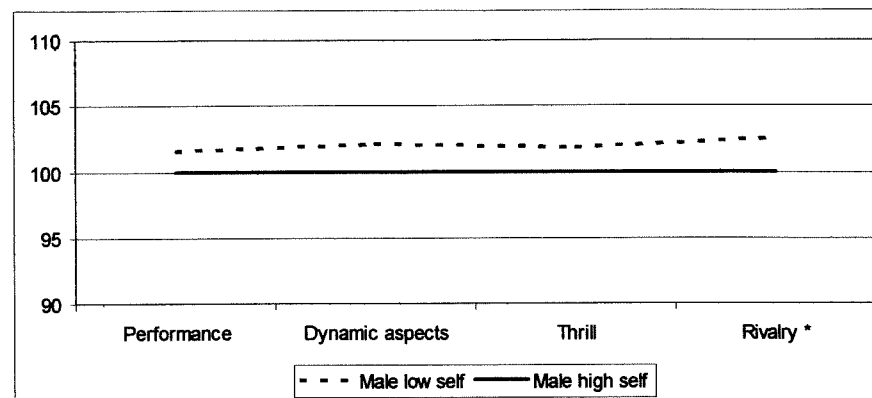


Fig. 6: Sport motivations in male motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

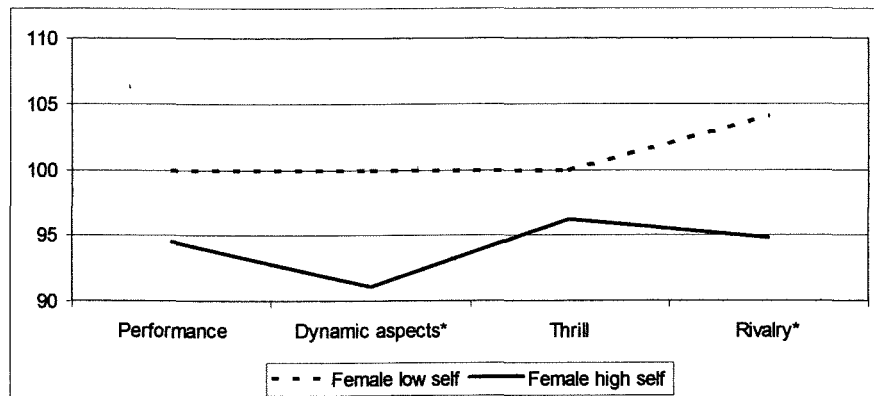


Fig. 7: Sport motivations in female motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

The two self-concept groups were then compared in terms of leisure-time motivations. The first set of motivations was sport: Men with a less positive self-concept tended to be above the mean of 100 on all four motivations and also have higher means than male respondents with more positive self-concepts. However, this difference attained significance only for rivalry. Women with a more positive self-concept were clearly below the general mean of 100, whereas those with a less positive self-concept were roughly on the same level as the general mean. Although differences between the two groups were clear for all aspects, they attained significance only for dynamic aspects and rivalry.

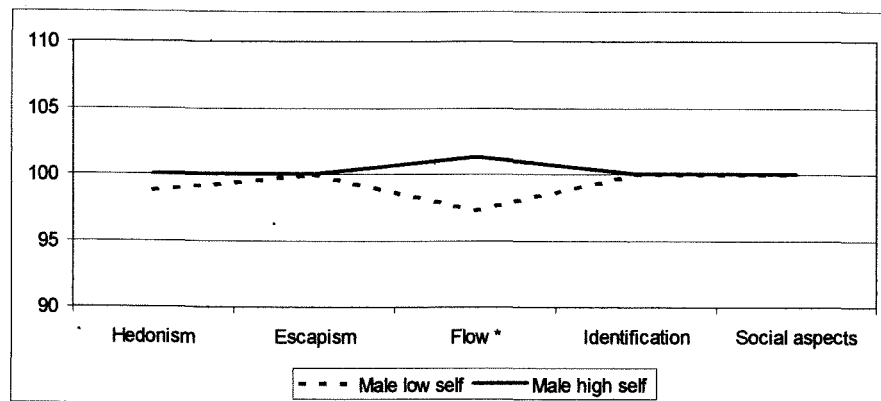


Fig. 8: Driving pleasures and self motivations in male motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

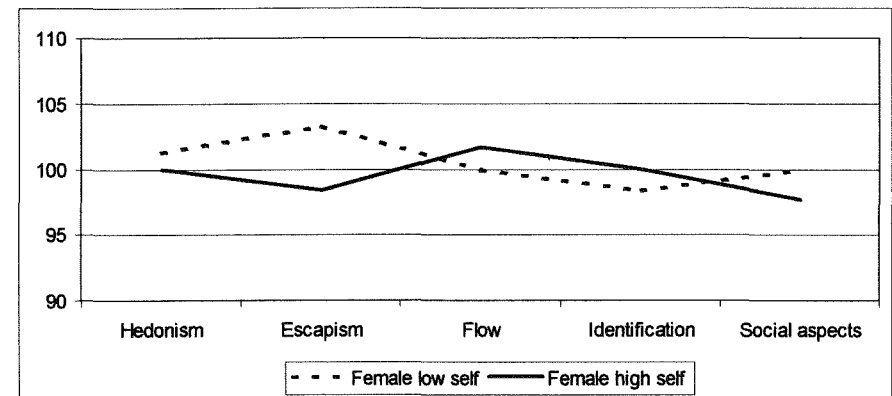


Fig. 9: Driving pleasures and self motivations in female motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

Findings on the second set of motivations are presented in Figures 8 and 9. Differences were lower in both genders. Men with a more positive self-concept showed significantly higher scores only for flow. Women with less positive self-esteem seemed to be more escapist.

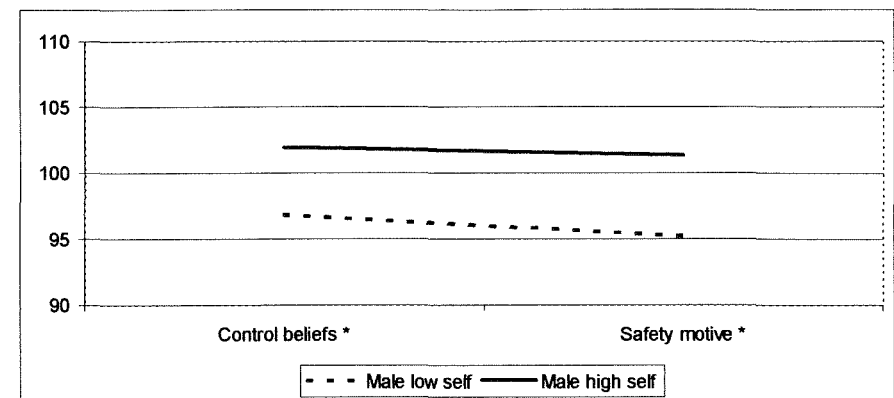


Fig. 10: Security motivations in male motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

The third set of motivations assessing security covers the two variables control beliefs and safety motivation. For both genders, persons with less positive self-concepts scored markedly lower than those with more positive self-concepts on both variables. All differences were significant at the 5% level.

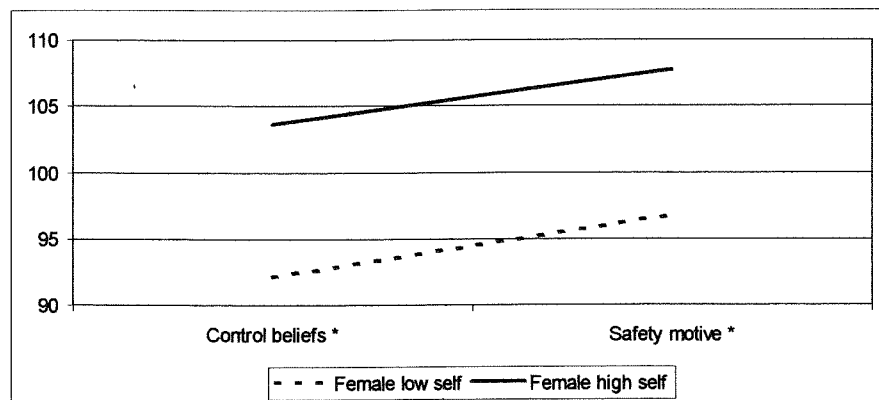


Fig. 11: Security motivations in female motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

Finally, we examined the driving styles reported in both genders and both self-concept groups. This was based on a scheme developed by Schulz (1994 [18]) for classifying driving style in terms of the frequencies of various characteristics. Cluster analysis resulted in six driving styles that were then tested with discriminant analysis. They are presented in Figures 12 and 13.



Fig. 12: Frequencies (%) of driving styles in male motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

Each figure presents the frequency distributions of driving styles in one gender split for persons with less and more positive self concepts. For both men and women, chi-square-tests revealed that these two distributions differed significantly on the 5% level. The general trend in both figures was that persons with a less positive self-concept more frequently reported a sportlike or dynamic-carefree driving style,

whereas persons with a more positive self-concept more frequently had a defensive-calm or timid-unsportlike driving style.



Fig. 13: Frequencies (%) of driving styles in female motorcyclists with positive versus less positive self-concepts.

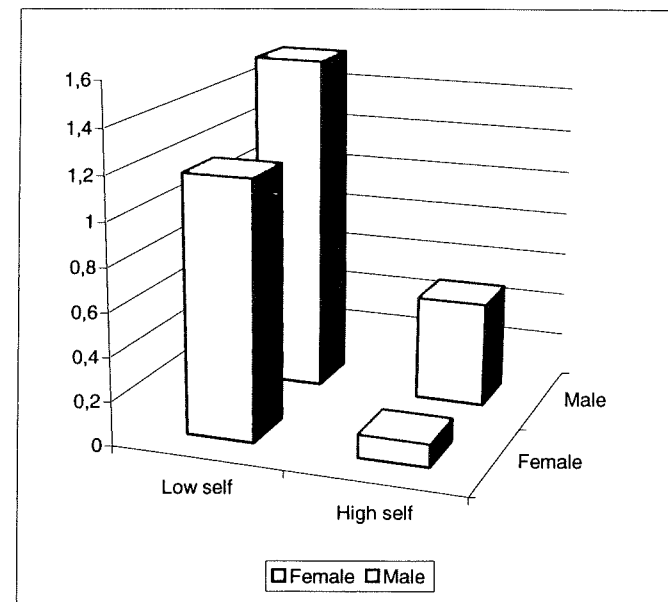


Fig. 14: Number of falls and accidents in 1995 for male and female motorcyclists with positive and less positive self-concepts.

As a further behavioral variable, we worked out how many falls and accidents the two gender groups and the self-concept groups had had during the previous 12 months and how far they had driven. Mileage did not differ significantly between the self-concept groups in either men or women. Men had travelled an average of 8,800 km; women, 5,200 km. A Poisson regression analysis on the number of accidents with age and annual mileage as covariates revealed significant differences for less positive versus more positive self-concept and men versus women. Persons with a less positive self-concept reported significantly more accidents than persons with a more positive self-concept. This criteria shows that the results cannot be interpreted as self-serving biases.

4. Discussion

During the 1960s and early 1970s, driving motorcycles was the hobby of a close community on the fringe of society. However, over the last 20 years, it has developed into a pure leisure-time activity for broad sectors of the population. The introduction of graded driver's licenses has reduced the number of young motorcyclists on the roads. This means that motorcycling nowadays tends to be a risky, comparatively expensive leisure-time activity for established, mostly male, younger to middle-aged citizens. Therefore, it is not surprising that the comparison of the NEO profile of motorcyclists with a German reference population shows that motorcyclists are somewhat extravert and much more agreeable and conscientious. These differences may be partly due to age differences. In addition, they prove to be less neurotic but also less flexible and open for experience. Among women, motorcycling is slowly but continuously becoming established as a leisure-time pursuit. However, the proportion of women among respondents is still correspondingly small at 17%. Although the NEO profile of female motorcyclists is very similar to that of males, not all deviations from the means in the reference population are statistically significant because of low sample size. Nonetheless, the present results clearly reject the findings of Jackson and Wilson (1993) that are closer to the stereotype of motorcyclists in the 1950s and 1960s. It would seem that their study must have been subject to serious deficits in sampling and assessment.

The adapted self-concept instrument provides a reliable method of assessing the various aspects of the self in our respondents. This multivariate instrument is able to separate respondents into one group with a more positive and one group with a less positive self-concept. Male respondents with a less positive self-concept are more neurotic, less extraverted, and less conscientious. Among women, differences are even clearer: Women with a less positive self-concept are more neurotic, less open for experience, less agreeable, and less conscientious.

The most striking findings on relations between self-concept and motivations for driving motorcycles are the very clear differences in control beliefs and safety moti-

ves. In both genders, persons with a less positive self-concept exhibit not only lower control beliefs but also less motivation to protect themselves in traffic by driving safely. Indeed, men with a less positive self-concept tend to be attracted more strongly by the various sport motivations, although this is only significant for rivalry. Such trends are even clearer in women with a less positive self-concept. Moreover, the analysis of reported driving styles then shows that persons with less positive self-concepts actually more frequently cultivate a sportlike driving style. These groups also have more falls and accidents. This all indicates the need to consider whether (sportlike) motorcycling has a compensatory character in some members of these two groups with a less positive self-concept. It is their much lower safety motivation that is the major cause of concern. It is also interesting to note that differences between the self-concept groups sometimes seem to be even more extreme in women. This may be because motorcycles are only slowly becoming attractive for larger circles of women, and, at present, it is only particularly strongly motivated women who drive them in their leisure time.

5. References

- [1] Jackson, C. & Wilson, G.: Mad, bad or sad? The personality of bikers. *Personality and Individual Differences*, 14, 1993, 241-242.
- [2] Dellen, R.G. & Bliersbach, G.: Motivanalytische Aspekte des gegenwärtigen Motorrad - Booms und Ergebnisse einer Auswertung von Motorradunfällen. *Die Sicherung des Zweiradverkehrs*, 31, 1978, 117-145. Köln: AFO.
- [3] Rheinberg, F.: The motivational analysis of high-risk sport. In F. Halisch & J. Kuhl (Eds.), *Motivation, intention, and volition*. Berlin: Springer-Verlag. 1978.
- [4] Börner, M., Klemm, K. & Winter-Klemm, B.: Der gefallene Ikarus oder der schwerverletzte jugendliche Motorradfahrer. *Unfallchirurgie*, 8, 1982, 1-7.
- [5] Nicoli, A. M.: The Motorcycle Syndrom. *American Journal of Psychiatry*, 126, 1970, 1588-1595.
- [6] Pfafferoth, I.: Zur Unfallverwicklung und Ausbildungssituation motorisierter Zweiradfahrer. *Die Sicherung des Zweiradverkehrs*, 31, 1978, 54ff. Köln: AFO.
- [7] Cremer, G.: *Die Subkultur der Rocker. Erscheinungsform und Selbstdarstellung*. Pfaffenweiler: Centaurus. 1992.
- [8] Förch, M.: Easy Rider - Die Zerstörung der Illusion. *Zeitschrift für Sozialpsychologie und Gruppendynamik*, 12, 1987, 47-69.
- [9] Zulauf, B.: Die Bedeutung des Motorrades im Lebenszusammenhang männlicher Arbeiterjugendlicher. In C. Adam (Hrsg.), *Lebenssituationen von Arbeiterjugendlichen*. Unveröff. Forschungsbericht. Frankfurt. 1981.

- [10] Haebelin, F., Stange, B. & Henning, U.: Selbstkonzepte von Motorradfahrern. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 36, 1990, 113–117.
- [11] Schulz, U.: Freizeitmotivationen von Motorradfahrern und ihre Auswirkung auf die Verkehrssicherheit. *Zeitschrift für Verkehrssicherheit*, 39, 1993, 68–81.
- [12] Schulz, U., Kerwien, H. & Gresch, H.: Motorbiking: Motives and emotions. In Institut für Zweiradsicherheit (Ed.), *Safety, Environment, Future. Proceedings of the 1991 International Motorcycle Conference* (465–483). Bochum: Institut für Zweiradsicherheit. 1991.
- [13] Schulz, U., Kerwien, H. & Koch, H. : Motive des Motorradfahrens, Einschätzung durch Motorradfahrer. In Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), *Tagungsbericht der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik. „Motorrad“*. 3. Fachtagung, Darmstadt, 5. u. 6. Oktober 1989 (S. 27–43). Düsseldorf: VDI-Ges. Fahrzeugtechnik. 1989.
- [14] Borkenau, P. & Ostendorf, F.: *NEO-Fünf-Faktoren Inventar* (NEO-FFI) nach Costa und McCrae. Göttingen: Hogrefe. 1993.
- [15] Costa, P. T. & McCrae, R. R.: *The NEO Personality Inventory. Manual Form S and Form R*. Odessa, Florida: Psychological Assessment Resources. 1985.
- [16] Fend, H. : *Inventar zu Selbstkonzept und Selbstvertrauen*. Konstanz: Selbstverl. 1984.
- [17] Schabel, S. (1997). Zum Zusammenhang von Selbstkonzept, Persönlichkeit und Freizeitmotivation bei Motorradfahrern. Unveröffent. Diplomarbeit. Universität Bielefeld.
- [18] Schulz, U.: Laut ist out? Einstellungen von Motorradfahrern zum Sound des Fahrzeugs. In: Verein Deutscher Ingenieure (Hrsg.), *Tagungsbericht der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik. „Motorrad“*. 6. Fachtagung in Köln. VDI Bericht 1159 (S. 89–113). Düsseldorf: VDI-Verlag. 1994.

Sicherheitstechnik

Safety Technology

**Fahrstabilität von Motorrädern
Ergebnisse einer Forschungs Kooperation**

***Dynamic Stability of Motorcycles
Results of a Research Cooperation***

Ludwig Iffelsberger

BMW AG – Sparte Motorrad – München
Deutschland

Abstract

The dynamic stability of a motorcycle is a decisive safety and quality criterion. A significant aid when investigating road behaviour is theoretical analysis using dynamic riding simulation [9, 14, 17]. A research project supported by the European Union has enabled the tyre parameters which are decisive for the quality of the simulation to be determined far more accurately and completely, and the results to be checked by a series of road tests. The main objectives were the development of new measurement methods in order to validate and extend the theoretical analyses.

The starting point of the co-operation was a simulation model, the theoretical basis and main modules of which are described below. Priority was given to the tyre models and implementation of the necessary measuring results.

The results from a new type of tyre test rig permit dynamic tyre characteristics dependent on certain operating parameters, such as wheel load moment and speed, to be determined. Thanks to an improved, motorcycle-specific tyre model, stationary tyre forces too can be reproduced much more effectively in the high lateral acceleration area.

The characteristic oscillating motions performed by motorcycles, namely wobbling and weaving, were examined in road tests and by simulation. Both the results obtained from road tests and also the computerised simulation reveal the same effects on the motorcycle's stability when the tyres are changed.

Based on theoretical analysis, the co-operating partners were able to develop a tyre with a new type of structure which possesses considerably higher stability reserves and thus makes a valuable contribution towards improved road safety.

Zusammenfassung

Die Fahrstabilität von Motorrädern ist ein entscheidendes Sicherheits- und Qualitätskriterium. Ein wesentliches Hilfsmittel zur Untersuchung des Fahrverhaltens ist die theoretische Analyse mit Hilfe der Fahrdynamiksimulation [9, 14, 17]. Ein von der Europäischen Union gefördertes Forschungsprojekt gab die Möglichkeit, die für die Qualität der Simulation entscheidenden Reifenparameter wesentlich umfassender und genauer zu bestimmen und die Ergebnisse in zahlreichen Fahrversuchen zu überprüfen. Die Hauptziele waren die Entwicklung von neuen Meßmethoden zur Ermittlung der Reifencharakteristika und der Einsatz neuer Simulationsroutinen zur Validierung und Erweiterung der theoretischen Analyse.

Ausgangspunkt der Kooperation war ein Simulationsmodell, dessen theoretische Grundlagen und Hauptbausteine im folgenden aufgezeigt werden. Einen Schwerpunkt stellen die Reifenmodelle und die Implementierung der dafür benötigten Meßergebnisse dar.

Die Ergebnisse eines neuartigen Reifenprüfstandes erlauben die Ermittlung von dynamischen Reifenkennwerten abhängig von bestimmten Betriebsparametern wie Radlast und Geschwindigkeit. Mit einem weiterentwickelten, motorspezifischen Reifenmodell können auch die stationären Reifenkräfte im Bereich hoher Querbeschleunigung wesentlich besser abgebildet werden.

In Fahrversuch und Simulation wurden unter anderem die beiden charakteristischen Eigenschwingungen Flattern und Pendeln untersucht. Die Ergebnisse aus Fahrversuchen und der Computersimulation zeigen bei einer Änderung der Bereifung die gleichen Auswirkungen auf die Stabilität des Fahrzeuges.

Auf Basis der theoretischen Analyse konnte von den Projektpartnern ein Reifen mit neuartigem Aufbau entwickelt werden, der über wesentlich bessere Stabilitätsreserven verfügt und damit einen wesentlichen Beitrag zur Erhöhung der Fahr-sicherheit leistet.

1 Zielsetzung

Die vorliegende Arbeit zeigt Ergebnisse eines internationalen Forschungsprojektes zwischen den Firmen Pirelli, Marzocchi, BMW und der TU Delft [2]. Das Hauptziel des Projektes war die Konzeption von neuen Methoden zur Verbesserung der Fahrstabilität und die Validierung dieser Prozeduren. Dies beinhaltete die Entwicklung von neuen Prüfständen zur Messung des dynamischen Verhaltens der Motorradkomponenten Reifen und Stoßdämpfer. Die Implementierung der gemessenen Kennungen in einem Motorrad-Fahrdynamik-Simulationsmodell [18, 19] ermöglichte die Durchführung entsprechender Stabilitätsanalysen.

Die gewonnenen Ergebnisse werden verglichen mit Daten aus Fahrversuchen, die durch den Einsatz spezieller Meßtechnik ermittelt wurden. Diese Publikation beschränkt sich dabei auf einige ausgewählte Ergebnisse, die das Gesamtfahrzeug oder die Komponente Reifen betreffen.

Die folgende Tabelle zeigt die Liste der Projektpartner und deren Schwerpunkte bei der Tätigkeit im Team.

Projektpartner	Schwerpunkte
Pirelli Reifenhersteller	Reifenmessung, Reifenprototypen, Fahrversuche
BMW AG Sparte Motorrad Motorradhersteller	Computersimulation, Versuchsfahrzeuge und Fahrversuche
Marzocchi Stoßdämpferhersteller	Stoßdämpfermessungen, -prototypen und Fahrversuche
TU Delft Hochschule	Reifenmessungen, Reifenmodelle

Die Qualität der Simulationsergebnisse ist in hohem Maße von der möglichst genauen Abbildung sämtlicher fahrwerksrelevanter Komponenten abhängig. Bei den Reifeneigenschaften fehlten bisher Meßdaten im Bereich hoher Querbeschleunigung und die entsprechenden, in diesem Betriebsbereich, einsetzbaren Reifenmodelle. Wurden bisherige, vorwiegend für die Fahrdynamiksimulation von Pkws entwickelte Reifenmodelle [1] für die Fahrsimulation von Motorrädern verwendet, so konnte trotz einer großen Zahl der Parameter die motorspezifischen Eigenschaften nur unzureichend abgebildet werden. Der Grund hierfür ist in den grundsätzlich unterschiedlichen Kennfeldern und möglichen Betriebszuständen von Pkw- und Motorradreifen zu suchen.

Zu den dynamischen Reifeneigenschaften waren bisher nur wenige Kenngrößen bekannt. Aufgrund des erheblichen Einflusses auf die Fahrdynamik [5, 10, 16] lag hier ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Verbesserung des Systemverständnisses vor. Größen für die zeitliche Verzögerung der Reifenreaktion sollten daher geschwindigkeits- und radlastabhängig gemessen und in die Computersimulation implementiert werden.

2 Fahrstabilität

Als Fahrstabilität eines Motorrades wird die Störungsunempfindlichkeit des Fahrzeugs im gesamten Geschwindigkeitsbereich bezeichnet. Das Kraftrad als Einspurfahrzeug befindet sich, im Gegensatz zum Zweispurfahrzeug, im niedrigen Geschwindigkeitsbereich in einem labilen Gleichgewicht und wird nur bei zunehmender Fahrgeschwindigkeit rein dynamisch stabilisiert.

Das fahrdynamische Verhalten wird durch die Eigenschaften seiner Bauteile und deren Zusammenspiel bestimmt. Zu den charakterisierenden Größen zählen Gewichte, Schwerpunktlagen, Trägheiten, Steifigkeiten, Dämpfungseigenschaften, konstruktive Freiheitsgrade, aerodynamische Kennwerte sowie geometrische Daten.

Als Stabilitätsprobleme sind neben unzureichender Selbststabilisierung im Kenterbereich bei niedrigen Geschwindigkeiten u. a. die Eigenschwungsformen Flattern und Pendeln bekannt.

Flattern ist bei Motorrädern im Geschwindigkeitsbereich von 40 bis 100 km/h von Bedeutung. Dabei handelt es sich um eine reine Schwingung des Lenksystems im Bereich von etwa 6 bis 11 Hz. Grundsätzlich ist jedes nachlaufgeführte Rad von diesem Schwingungsphänomen betroffen.

Beim Pendeln handelt es sich um eine kombinierte Roll- und Gierbewegung des gesamten Motorradrumpfs [3]. Das Lenksystem schwingt dabei gegenphasig um die Lenkachse. Auch wenn die Pendelschwingung grundsätzlich im gesamten Geschwindigkeitsbereich auftritt, ist in der Praxis nur der Bereich geringer Dämpfung und hoher Fahrgeschwindigkeit relevant. Je nach Motorrad beginnt der Bereich, in dem eine ausgeprägtere Neigung zum Pendeln auftreten kann, ab 140 km/h und geht bis zur Höchstgeschwindigkeit. Die übliche Pendelfrequenz liegt in diesem Geschwindigkeitsbereich bei etwa 2-4 Hz.

Bei Kurvenfahrt wird aus der rein querdynamischen Pendelschwingung eine überlagerte vertikal- und querdynamische Schwingung. Die Taumelbewegung des Pendelns ist dann zwangsläufig mit den Hubschwingungen der Räder gekoppelt [11]. Erst durch diese Kopplung haben auch die Stoßdämpfer Einfluß auf die Pendel-

schwingung. Die Dämpfung der Schwingung kann je nach Fahrzeugtyp im mittleren Schräglagenbereich (20 bis 35 Grad) geringer als bei Geradeausfahrt sein. Im Bereich hoher Schräglagen ist grundsätzlich wieder eine Zunahme der Dämpfung zu beobachten.

3 Reifen

3.1 Statische Reifeneigenschaften, Reifenmodelle

Als Kontaktelement zwischen Motorrad und Fahrbahn haben Reifen einen entscheidenden Einfluß auf das Fahrverhalten [4]. Reifenmodelle dienen zur Beschreibung der in der Kontaktfläche (Reifenlatsch) entstehenden Kräfte. Die nachfolgende Graphik stellt vereinfacht die Kräfte und Momente am Reifen dar.

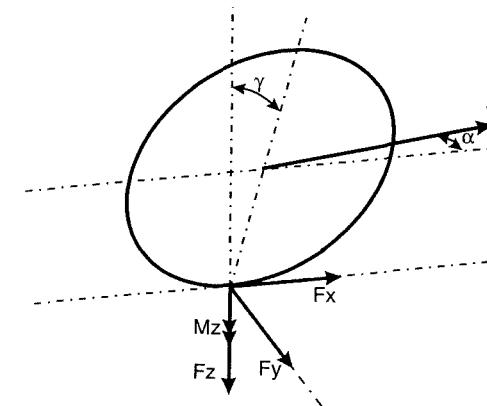


Abb. 1: Kräfte und Momente am Reifen

Die in Abb. 1 verwendeten Größen werden wie folgt bezeichnet:

F_x	Längskraft	v	Geschwindigkeit
F_y	Seitenkraft	α	Schräglaufwinkel
F_z	Radlast (auch Vertikalkraft)	γ	Sturzwinkel
M_z	Rückstellmoment		

Die Reifenkräfte können mit verschiedenen Methoden berechnet werden. Wesentlich für die Fahrstabilität ist in erster Linie die Charakteristik des Reifens bezüglich der Seitenkraft. Bei einem linearen Modell wird die Seitenkraft F_y aus dem Produkt der Schräglaufsteifigkeit und dem momentanen Schräglaufwinkel gebildet. Ein derartiges Modell ist nur anwendbar für niedrigen lateralen Schlupf, d. h. für niedrige Schräglaufwinkel und für kleine Sturzwinkel.

Ein komplexeres Reifenmodell basiert auf der von Bakker und Pacejka entwickelten mathematischen Formel namens Magic Formula [1]. Dieses empirische Reifenmodell erlaubt die Anwendung für Geradeaus- und Kurvenfahrt, also auch bei hohem lateralen Schlupf.

Magic Formula aus [1]:

$Y(X) = y(x) + S_v$ mit

$$y(x) = D \sin\left(C \arctan\left[Bx - E(Bx - \arctan[Bx])\right]\right)$$

$$x = X + S_h$$

(Die Beziehungen für S_v , S_h , C , D , E sind auf den folgenden Seiten dargestellt.)

Die von Bakker, Pacejka und Lidner entwickelte Magic Formula ist für die Wiedergabe von Seiten-, Längskraft- und Rückstellmomentenkennungen anwendbar. Für jede Kennung sind dabei unterschiedliche Koeffizienten B , C , D und E zu verwenden. Je nach Kennung ist auch das Argument in den oben genannten Gleichungen zu wählen. Soll als Ausgangsgröße Y die Seitenkraft F_y oder das Rückstellmoment bestimmt werden, ist für die Eingangsgröße X der Schräglaufwinkel α einzusetzen. Bei der Umfangskraft als Ausgang ist entsprechend der Längsschlupf die Eingangsgröße.

Die Koeffizienten haben eine physikalisch interpretierbare Bedeutung. Die Multiplikation von B , C und D entspricht der Schräglaufsteifigkeit, die daher häufig auch als BCD-Value bezeichnet wird. Die Größen S_h und S_v sind Offsets und definieren den geometrischen Mittelpunkt der Funktion (siehe nachfolgende Abbildung 2).

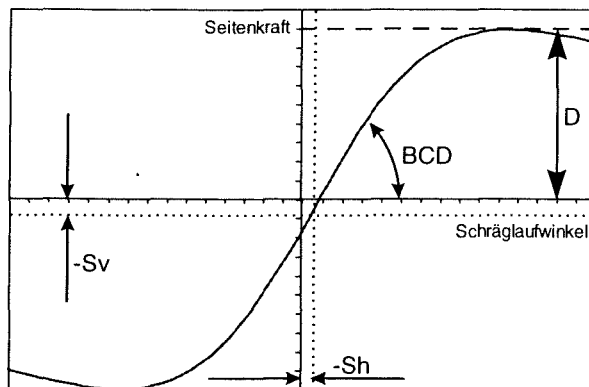


Abb. 2: Koeffizienten der Magic Formula

D stellt den maximalen Funktionswert dar und ist daher eine Funktion des Reibwertes. C und B beeinflussen die globale Kurvenform. Eine Erhöhung von B bewirkt eine Streckung in Abszissenrichtung. Je größer C ist, um so stärker ist der Abfall nach Überschreitung des Maximums. E bestimmt den Krümmungsverlauf im Maximum, ohne die Schräglaufsteifigkeit zu beeinflussen.

Um die Gültigkeit der Magic Formula auf den gesamten Bereich der Reifenkennungen zu erweitern, werden die Koeffizienten als Funktion der Radlast F_z und des Sturzwinkels γ angegeben. Dies erfolgt durch die Festlegung eines zweiten Parametersatzes von a_0 bis a_{13} . Für die Seitenkraft lauten die Beziehungen (aus [1]) z. B.:

$$D = \mu F_z$$

$$D = (a_1 F_z + a_2) F_z$$

$$BCD = a_3 \sin\left(2 \arctan\left(\frac{F_z}{a_4}\right)\right) (1 - a_5 |\gamma|)$$

$$C = a_0 = 1,3$$

$$E = a_6 F_z + a_7$$

$$B = BCD / CD$$

$$S_h = a_8 \gamma + a_9 F_z + a_{10}$$

$$S_v = a_{11} F_z \gamma + a_{12} F_z + a_{13}$$

Seit Vorstellung der Magic Formula (MF) in 1987 sind zahlreiche Veröffentlichungen erschienen, die unterschiedliche Formeln zur Bestimmung der Koeffizienten der MF beschreiben. Die Zahl der verwendeten Parameter a_x ist zum Teil immens hoch (bis zu 29).

Für die Verwendung in einem Motorradmodell ist die ursprüngliche Version der Magic Formula und die zugehörige Koeffizientenbestimmung nur bedingt geeignet. Bei hohen Sturzwinkeln treten zum einen stark asymmetrische Kennungen auf. Weiterhin ist die Berücksichtigung des Sturzwinkels (γ), ausschließlich in der Beschreibung der Offsets (S_h und S_v), nicht ausreichend.

Motorradspezifisches Reifenmodell:

Die neu entwickelte Version der Magic Formula [6] unterscheidet sich von der Ausgangsvariante [1] insbesondere durch die Aufteilung in einen schräglaufwinkelabhängigen und einen zusätzlichen, sturzwinkelabhängigen Teil. Dies ist bei

Pkw-Reifen nicht üblich. Die Magic Formula (MF) benötigt eine Parameteranpassung auf Basis der Reifenmessungen über den gesamten Sturzwinkelbereich. Diese Parameteranpassung wird als Fitting bezeichnet.

Zielkriterium für die Optimierung ist eine möglichst genaue Abbildung des gemessenen Reifenkennfeldes. Entscheidend für eine qualitativ hochwertige Optimierung ist dabei die Definition von zahlreichen Nebenkriterien, wie z. B. die Steigung der Seitenkraft im Nullpunkt bei der maximalen Radlast, die aus den Messungen entnommen wird. Die Optimierung der MF Parameter für einen speziellen Motorradreifen gestaltet sich mit der motorradspezifischen Version wesentlich einfacher als bei der Verwendung der Standard MF. Die Zahl der verwendeten MF Parameter konnte gegenüber der zunächst verwendeten Version [7] von 25 auf 19 reduziert werden.

Seitenkraft (für reinen Querschlupf):

$$F_y = D_y \sin\left(C_\alpha \arctan\left[(1-E_\alpha) B_\alpha a_y + E_\alpha \arctan(B_\alpha a_y)\right] + C_\gamma \arctan\left[(1-E_\gamma) B_\gamma \gamma + E_\gamma \arctan(B_\gamma \gamma)\right]\right) + S_{vy}$$

$$D_y = \mu F_z \quad \mu = a_1(1 + a_2 \gamma^2) e^{(a_3 F_z)}$$

$$BCD_\alpha = a_4 \sin\left[a_5 \arctan\left[\frac{F_z}{a_6 + a_7 \gamma^2}\right]\right] (1 + a_8 \gamma^2)$$

$$C_\alpha = a_{17} \quad B_\alpha = \frac{BCD_\alpha}{C_\alpha D_y}$$

$$BCD_\gamma = a_9 F_z$$

$$C_\gamma = a_{18} \quad a_{18} = 2 - a_{17} \quad B_\gamma = \frac{BCD_\gamma}{C_\gamma D_y}$$

$$\alpha_y = \alpha + S_{hy} \quad S_{hy} = a_{10}$$

$$E_\alpha = a_{11} + a_{12} \gamma + a_{13} \gamma \operatorname{sgn}(\alpha_y) \quad E_\alpha = \min(1, E_\alpha)$$

$$E_\gamma = a_{14} \quad E_\gamma = \min(1, E_\gamma)$$

$$S_{vy} = a_{15} F_z \gamma + a_{16} F_z \gamma^2$$

Die Größen B bis E entsprechen den herkömmlichen Magic Formula Systemkoeffizienten. Dabei steht D für den Maximalwert (peak value) und ist proportional zur Radlast und zum Reibungskoeffizienten. B, C und E beschreiben die Form der Kennung und werden nicht nur für den Schräglauf, sondern auch für den Sturzwinkel eingeführt. Entsprechend wurden die Indizes α und γ vergeben. Die Größen S_{hy} und S_{vy} stellen wie in der ursprünglichen Magic Formula [1] die horizontalen und vertikalen Asymmetrien der Kennung dar.

Im nachfolgenden Bild (Abb. 3) ist die Seitenkraftkennung eines Vorderreifens für sechs verschiedene Sturzwinkel dargestellt. Das Diagramm zeigt jeweils die Seitenkraft in Abhängigkeit vom Schräglaufwinkel.

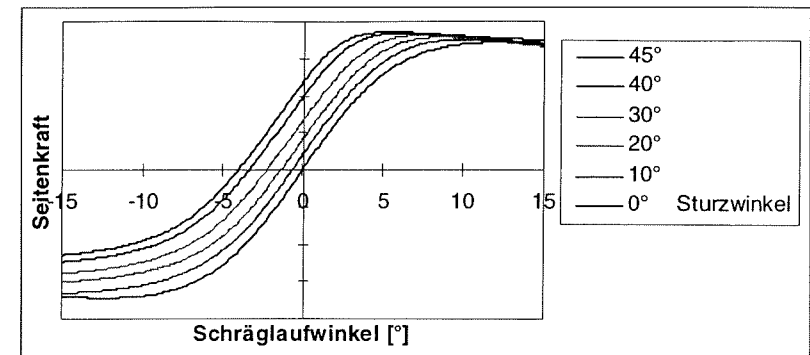


Abb. 3: Seitenkraftkennung des Magic Formula-Modells

3.2 Dynamische Reifeneigenschaften

Die dynamischen Eigenschaften von Reifen können vereinfacht mit Hilfe einer linearen Differentialgleichung beschrieben werden. Bei niederfrequenten Änderungen der Schlupfgrößen kann das Reifenverhalten mit folgender Differentialgleichung erster Ordnung beschrieben werden:

$$T \dot{F}_y + F_y = F_{y,stat}$$

- mit
- T: Zeitkonstante
 - F_y : Seitenkraft
 - \dot{F}_y : Ableitung von F nach der Zeit
 - $F_{y,stat}$: stationäre Seitenkraft aus der Magic Formula

Die Zeitkonstante T ist bestimmbar als Quotient der Relaxationslänge σ und der Fahrgeschwindigkeit v_x :

$$T = \frac{\sigma}{v_x}$$

Für den Seitenkraftaufbau bei einem kleinem Schräglaufwinkelsprung gilt:

$$F_y = c_{F\alpha} \alpha (1 - e^{-(v t / \sigma)})$$

mit:

F_y	Seitenkraft
$c_{F\alpha}$	Schräglaufsteifigkeit
α	Schräglaufwinkel
σ	Relaxationslänge
t	Zeit

Das folgende Diagramm (Abb. 4) zeigt die Relaxationslänge eines Reifens in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für fünf verschiedene Radlasten.

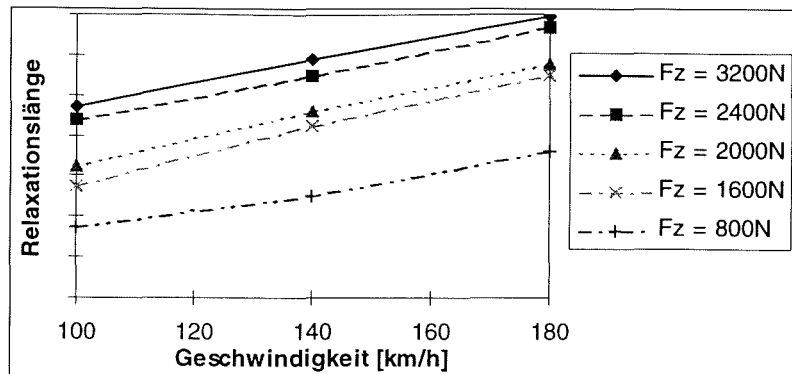


Abb. 4: Relaxationslänge

3.3 Messung von Reifenkennungen

Für eine gute Abbildung der Reifenkennung werden umfangreiche Reifenmessungen benötigt. Im Rahmen dieses Projektes wurden einige Messungen mit einem Meßanhänger auf realen Straßen durchgeführt [6, 7, 15]. Diese Meßmethode wird als Trailermessung bezeichnet. Die Meßergebnisse dienen als Referenz für die weiteren Reifenmessungen auf den verschiedenen Laborprüfständen.

Von besonderer Bedeutung im Hinblick auf die Projektergebnisse sind die sogenannten Pendulumprüfstände. Dieser Prüfstandstyp ermöglicht die Messung von statischen und dynamischen Reifeneigenschaften. Bei dem Versuchsaufbau wird die Meßfelge an einer Schwinge befestigt, die um eine vertikale Achse frei beweglich ist.

Zur Messung rollt das Rad auf einer Trommel und wird zu Beginn des Tests seitlich ausgelenkt. Zu beobachten ist eine Schwingung des Schwingenarms quer zur Laufrichtung der Trommel. Gemessen wird der Weg der seitlichen Auslenkung und die Seitenkraft an der Nabe der Meßfelge. Aus Amplituden- und Phasenverlauf kann man daraus die gewünschten Kenngrößen Schräglaufsteifigkeit und Relaxationslänge ableiten.

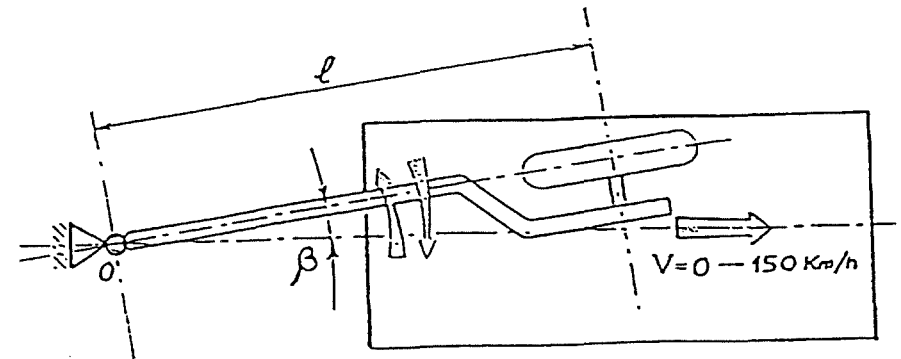


Abb. 5: Das Pendulum Prinzip

Ein typischer Meßschieb einer Schwingung des Pendelarms:

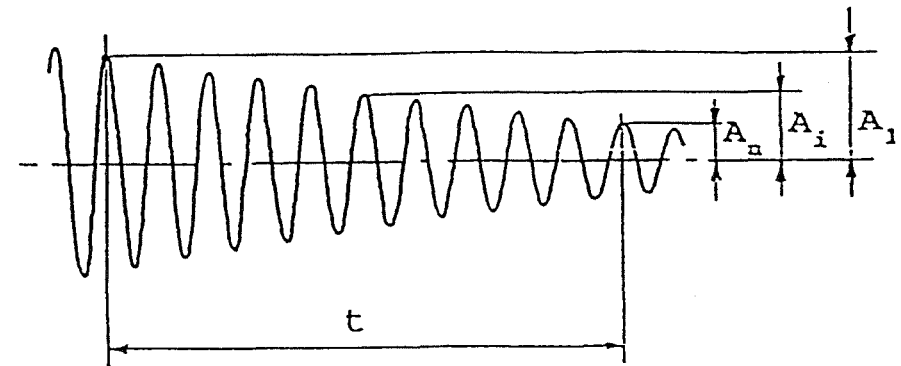


Abb. 6: Meßschieb Pendulumprüfstand

Die folgende Abbildung 7 zeigt den Prüfstands Aufbau mit dem drehbar gelagerten Pendelarm sowie dem daran montierten Rad. Die Lauffläche ist unterhalb des Rades als ein Segment der Trommel, die einen Durchmesser von ca. 2,5 m besitzt, sichtbar.

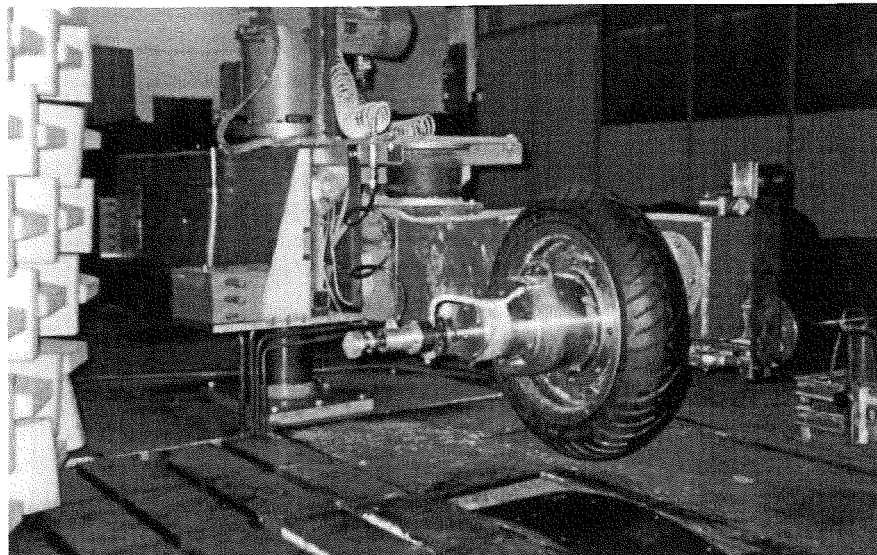


Abb. 7: Pendulumprüfstand Pirelli

Eine andere Variante dieses Prüfstandstyps bietet die Möglichkeit, den Schwingenarm mit Seitenkräften zu beaufschlagen. Damit kann die Messung nicht nur bei der Eigenfrequenz des Systems, sondern auch bei höheren Frequenzen ausgeführt werden. Zusätzlich ist die Messung auch unter Sturz möglich; d. h. die Seitenkräfte, welche mit Radsturz auftreten, werden mit Hilfe eines Hydraulikzylinders ausgeglichen.

3.4 Reifenbauarten

In Abbildung 8 sind die verschiedenen gängigen Reifenbauarten dargestellt, die sich neben den verwendeten Materialien und der Profilgestaltung am auffälligsten in der Karkasse und der Gürtelart unterscheiden.

Die Karkasse der Diagonalreifen besteht aus mehreren diagonal überlagerten Gewebelagen, die beidseitig um die Wulstdrähte und Kernfüller umgeschlagen sind. Diese Reifenbauart wird heute für größere Motorräder kaum noch verwendet.

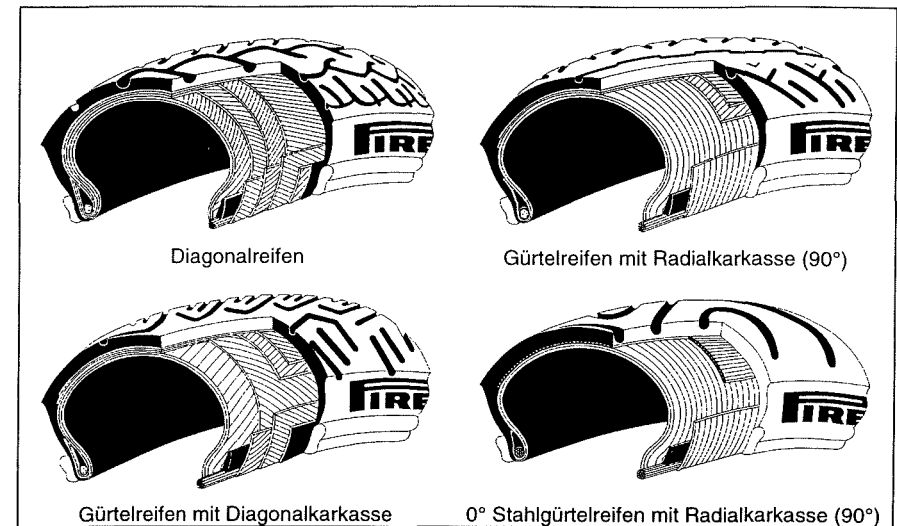


Abb. 8: Bauarten von Motorradreifen

Als Weiterentwicklung dieser Bauart wurden, um den Reifen beanspruchungsgerechter zu verstärken, unter die Lauffläche verschiedene Gürtellagen eingebracht. Die Gürtellagen bestehen hier, der Karkasse ähnlich, aus diagonal gerichteten Gewebelagen.

Die Verwendung der Gürtel im Reifenbau erlaubt bei dem Gürtelreifen mit Radialkarkasse eine noch leichtere Karkassenkonstruktion. Die Fäden der Radialkarkasse laufen mit einem Winkel von 90° zur Laufrichtung genau in Fliehkrachtrichtung von Wulst zu Wulst. Die Konstruktion wird der Beanspruchung damit noch besser gerecht.

Dem neuesten Stand der Technik entsprechen 0°-Gürtelreifen mit Radialkarkasse, die sich durch eine leichtere Gürtelkonstruktion bei noch geringerer Geschwindigkeitsabhängigkeit der Reifeneigenschaften durch Fliehkräfte auszeichnen [12]. Der 0°-Gürtel bietet in Umfangsrichtung eine größere Steifigkeit als ein Diagonalgewebe, da die Fäden selbst für eine Dehnung gelängt werden müssen, während das Diagonalgewebe allein durch die Ausrichtung der Fäden schon große Dehnungsmöglichkeiten in Umfangsrichtung bietet.

Diese Technologie kam zunächst bei Hinterrädern zum Einsatz, da dort hohe Belastungen infolge der Überlagerung von Flieh- und Antriebskräften auftreten. Im Rahmen des Projektes wurden auch für Vorderreifen die möglichen Auswirkungen dieser Reifenbauart auf die Fahrstabilität untersucht.

3.5 Reifendaten

Im Abschnitt 4 wird auf vier verschiedene Reifenspezifikationen Bezug genommen. Dabei handelt es sich um den Vergleich von Radialreifen mit gekreuztem Gürtel und Radialreifen mit 0°-Gürtel. Die Reifen unterscheiden sich insbesondere in den Eigenschaften Schräglauftiefte und Relaxationslänge. Für Vorder- und Hinterrad wurde jeweils eine Reifenspezifikation ausgewählt. Die Ergebnisse können nicht grundsätzlich in Bezug auf die Bauart der Reifen verallgemeinert werden.

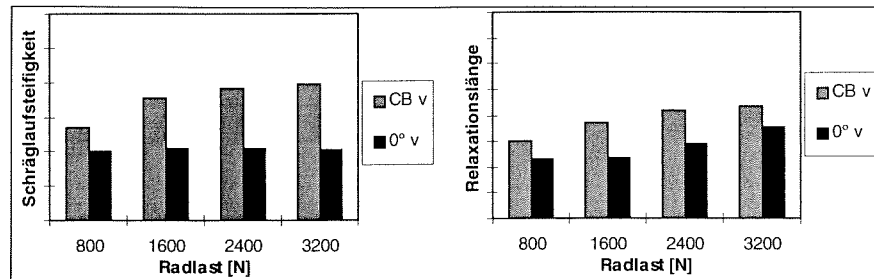


Abb. 9: Werte Vorderreifen

Die Bereifung mit der Bezeichnung CB v verfügt über einen gekreuzten Gürtel und hat eine deutlich höhere Schräglauftiefte. Charakteristisch für den Vorderreifen mit 0°-Gürtel (0° v) ist, daß die Schräglauftiefte bei steigender Radlast nicht mehr ansteigt. Die Relaxationslänge ist in der rechten Hälfte der Abbildung dargestellt. Die Relaxationslänge ist beim Reifen 0° v ca. 15–25% kürzer.

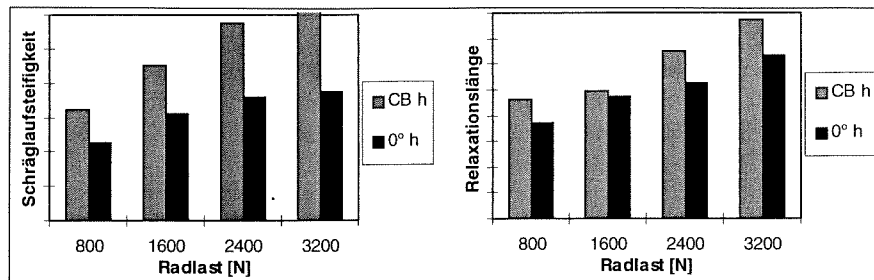


Abb. 10: Werte Hinterreifen

Hier ist bei der Bereifung mit gekreuztem Gürtel (CB h) die Schräglauftiefte und deren Anstieg bei steigender Radlast größer (linkes Teilbild). Die Relaxationslänge ist beim Hinterreifen mit 0°-Gürtel (0° h) etwas geringer (rechtes Teilbild).

4 Computersimulation

4.1 Simulationsmodell

Bei BMW wurde ein völlig neues Gesamtfahrzeug-Simulationsmodell entwickelt. Die Software DADS (Dynamic Analysis and Design System) erlaubt die Modellierung und Analyse von Mehrkörpersystemen. Das nichtlineare, dreidimensionale Simulationsmodell enthält alle Komponenten des realen Fahrer/Fahrzeugsystems:

- Fahrwerk
- Fahrer
- Antriebsstrang und Bremssystem
- Umwelt

Im Mehrkörpersystem (MKS) sind einzelne Bauteile als dreidimensionale Starrkörper mit Masse und Trägheitstensor, einem Referenzkoordinatensystem und einem Schwerpunktkoordinatensystem definiert. In verschiedenen Gelenktypen werden die kinematischen Beziehungen der einzelnen Körper zueinander definiert und die Steifigkeiten der Körper als Feder- und Dämpfungsfunktionen eingebunden.

Das verwendete Modell (Abb. 11) besteht aus 12 Körpern, die über 14 Gelenke mit insgesamt 20 Freiheitsgraden verknüpft sind [13]. Das Modell zeigt die kinematischen Freiheitsgrade. Nicht dargestellt sind die Raddrehungen und die sechs Freiheitsgrade des Hauptrahmens, der rollen, nicken, gieren und sich translatorisch im Raum bewegen kann.

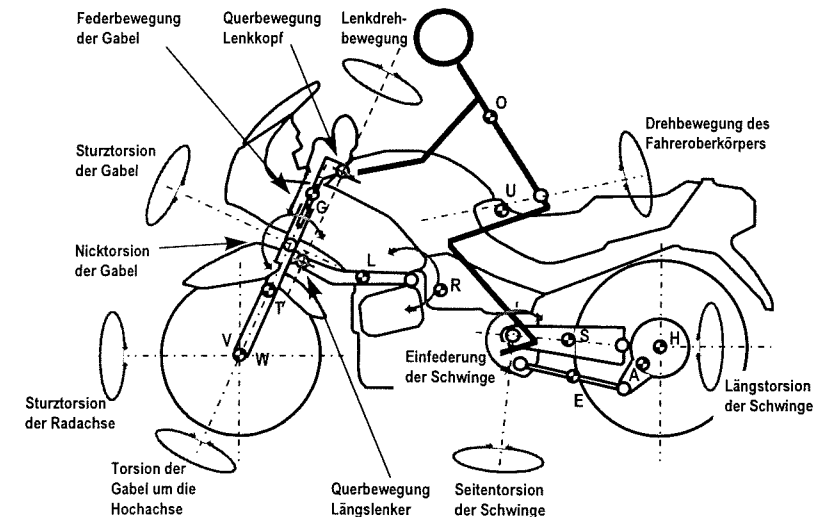


Abb. 11: Kinematische Struktur des Simulationsmodells

Die einzelnen Körper des Mehrkörpersystem (MKS) sind:

- R: Der Hauptrahmen inklusive Fahrzeugaufbau wie Motor, Rahmen, Karosserie
- G: Das Gabeloberteil: Umfaßt alle an den Lenkbewegungen teilnehmenden gefederten Massen
- F: Der Längslenker (Telelever)
- T: Die Tauchrohre: Die ungefederten Massen der Vorderradführung ohne Vorderrad und Längslenker
- S: Die Schwinge: Die Masse des oberen Schwingenrohres und Teile des Antriebsstrangs
- A: Das Hinterachsgehäuse
- E: Die Momentenstrebe
- W: Der Radträger vorne: Ein Hilfskörper, der notwendig ist, um die Kräfte des Reifens in das Modell einzuleiten.
- V: Das Vorderrad: Umfaßt die drehende Masse des Vorderrades
- H: Das Hinterrad: Umfaßt die drehende Masse des Hinterrades
- U: Der Unterkörper des Fahrers
- O: Der Oberkörper des Fahrers

Die nachfolgende Graphik zeigt die stark vereinfachte Mehrkörperstruktur des Simulationsmodells:

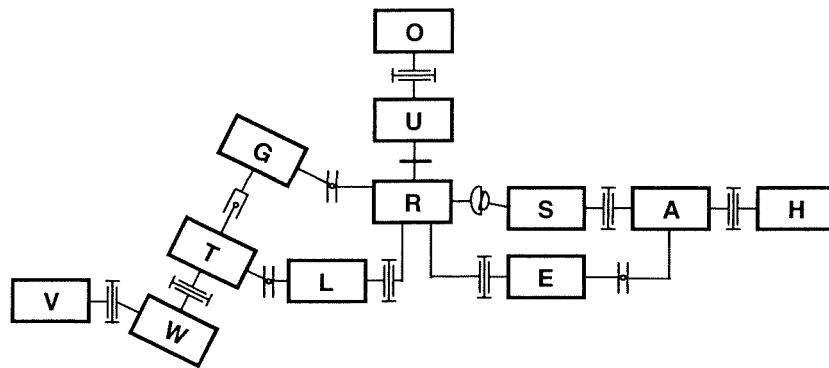


Abb. 12: Mehrkörpersystem

Einige der Freiheitsgrade sind durch Feder- und Dämpfungskräfte eingeschränkt, um die Federbeine oder Bauteilelastizitäten zu simulieren. Die Einfederung der Vorder- und Hinterradführung wird jeweils mit einem Federbein mit nichtlinearen Feder- und Dämpferkennlinien beschränkt [13].

Das Zusammenspiel der verschiedenen Modellkomponenten wird in Abbildung 13 gezeigt. Den Hauptbestandteil des Simulationsmodells stellen die Differentialgleichungen des Mehrkörpersystems dar. In diesem Modul wird die neue Position und Bewegungsrichtung für jeden Integrationsschritt berechnet. In den weiteren Modulen werden die eingprägten Kräfte des Mehrkörpersystems bestimmt. Diese Kräfte sind die horizontalen Kontaktkräfte der Reifen (Modul Reifen) sowie die Luftwiderstandskräfte (Modul Umwelt).

Der Austausch der Daten zwischen dem Mehrkörpersystem und dem Reifenmodell wurde im TYDEX Format programmiert. Dieses Format basiert auf Vereinbarungen aus einer Kooperation der Europäischen Automobilindustrie.

Zur Ausführung eines gewünschten Fahrmanövers erfolgt im Modul Fahrer die Regelung bzw. Steuerung des Lenkmoments. Die Raddrehzahlen sowie die Brems- und Antriebsmomente der Räder werden im Modul Antrieb bestimmt.

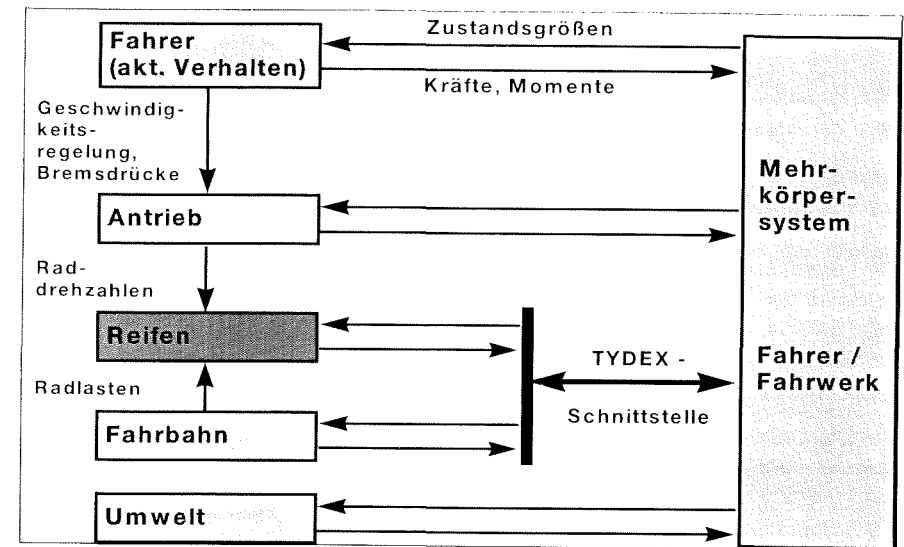


Abb. 13: Vernetzung der Modellkomponenten

Ein Graphikmodell (s. Abbildung 14) erlaubt die Darstellung der Motorradbewegung in Computeranimationen. Die Visualisierung ist eine wesentliche Unterstützung zur Verbesserung des Systemverständnisses.

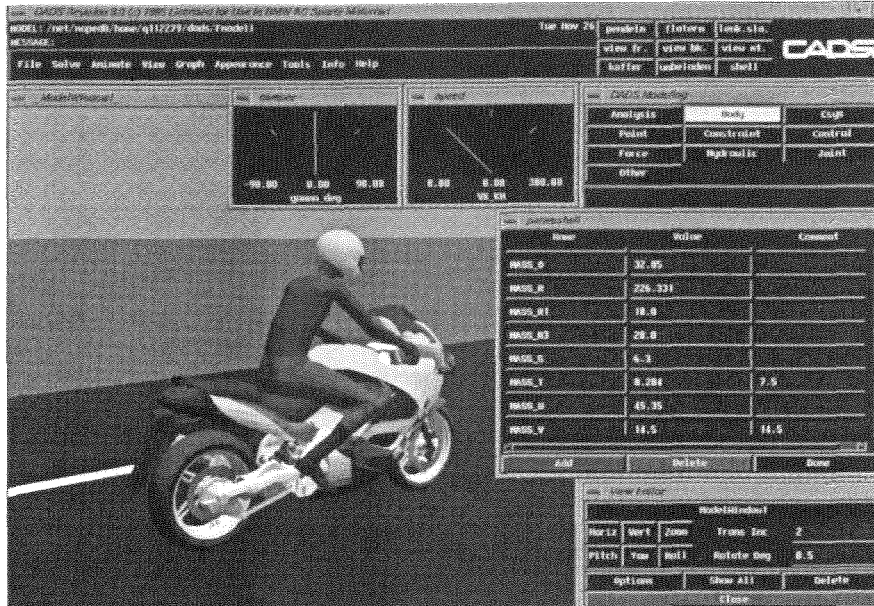


Abb. 14: Graphikmodell, DADS Software

4.2 Parametervariationen

Die Ergebnisse von Parametervariationen gaben, in einer frühen Projektphase, Hinweise für den Entwurf von weiteren Prototypen bezogen auf die Motorradbestandteile Stoßdämpfer und Reifen innerhalb des Forschungsprojektes. Exemplarisch werden hier einige Ergebnisse zur Geradeausfahrtstabilität für die Kriterien Flattern und Pendeln vorgestellt.

Die Ergebnisse sind je Parameter, in Form der Abklingkonstante, in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit, dargestellt. Die Abbildung 15 zeigt die Ergebnisse

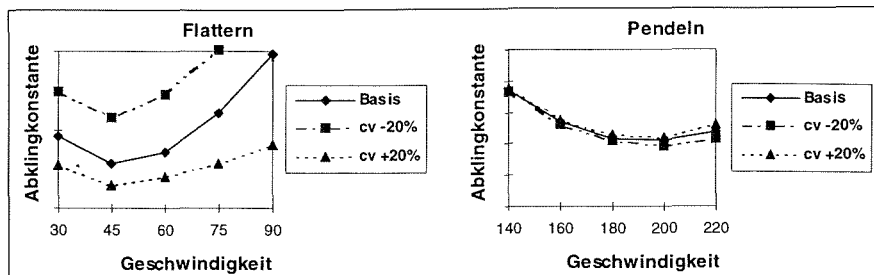


Abb. 15: Einfluß der Schräglaufsteifigkeit vorne

einer Variation der Schräglaufsteifigkeit des Vorderreifens (cv), um $\pm 20\%$, für beide Schwingungsformen.

Ergebnis

Flattern: Starke Verbesserung, d. h. Erhöhung der Dämpfung, mit geringerer Schräglaufsteifigkeit des Vorderreifens (cv -20%)

Pendeln: Geringe Verbesserung mit höherer Schräglaufsteifigkeit (cv +20%)

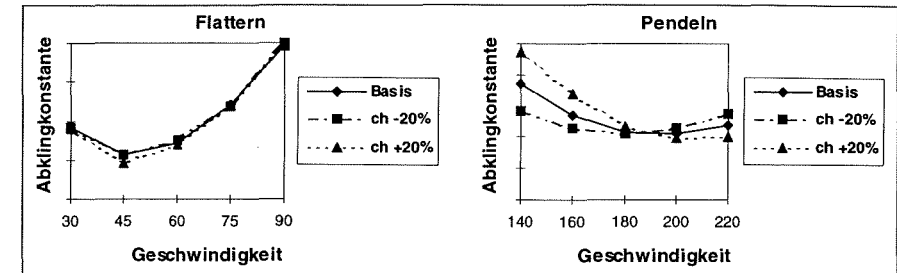


Abb. 16: Einfluß der Schräglaufsteifigkeit hinten

Ergebnis

Flattern: Geringe Verbesserung mit geringerer Schräglaufsteifigkeit am hinteren Reifen (ch -20%)

Pendeln: Merbliche Verbesserung mit geringerer Schräglaufsteifigkeit des Hinterrreifens im wichtigen Hochgeschwindigkeitsbereich

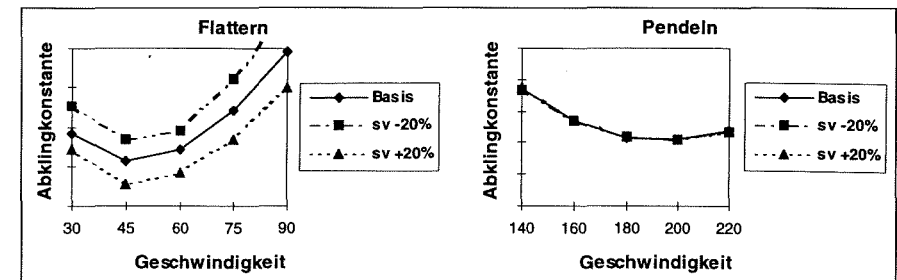


Abb. 17: Einfluß der Relaxationslänge vorne

Ergebnis

Flattern: Starke Verbesserung mit kürzerer Relaxationslänge des vorderen Reifens

Pendeln: Praktisch kein Einfluß der Relaxationslänge des vorderen Reifens

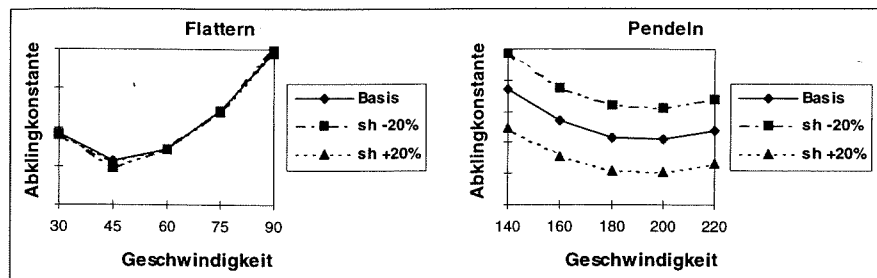


Abb. 18: Relaxationslänge hinten

Ergebnis

Flattern: Praktisch kein Einfluß der Relaxationslänge des Hinterreifens

Pendeln: Starke Verbesserung mit kürzerer Relaxationslänge des Hinterreifens

4.3 Ergebnisse mit unterschiedlicher Bereifung

4.3.1 Flattern mit verschiedenen Reifen

Von besonderer Bedeutung ist der Vergleich Messung zu Simulation mit verschiedenen Reifen. Zur Anwendung kommen die in Abschnitt 3.5 verwendeten Reifen und Reifendaten. Dargestellt wird jeweils die Abklingkonstante bzw. die Frequenz der Flatterschwingung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit. Die einzelnen Linien sind mit den Kürzeln der Bereifung für vorne/hinten gekennzeichnet.

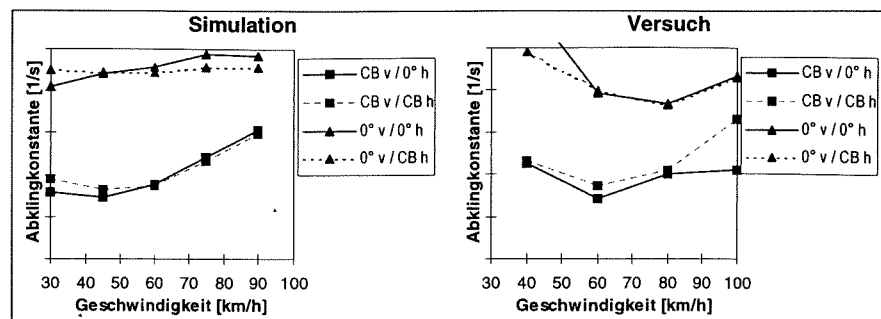


Abb. 19: Dämpfung Flattern

In der Dämpfung liegen die Werte aus Versuch und Simulation auf nahezu identischem Niveau. Das Minimum der Dämpfung ist in der Simulation eher zu niedri-

geren Geschwindigkeiten verschoben. Angesichts der hohen Dämpfungswerte, bei denen die Auswertung aufgrund der kurzen Abklingzeit stark erschwert ist, sind die verbleibenden Unterschiede zwischen Simulations- und Versuchsergebnissen als gering zu bezeichnen.

Die Varianten mit dem Vorderreifen 0° v zeigen ein wesentlich höheres Dämpfungsniveau. Dies ist auf die niedrigere Relaxationslänge und die niedrigere Schräglaufsteifigkeit zurückzuführen. Der Hinterreifen zeigt nur geringen Einfluß. Die aus den Ergebnissen der Parametervariation abgeleiteten Erwartungen werden somit voll bestätigt.

4.3.2 Pendeln mit verschiedenen Reifen

In Abbildung 20 wird jeweils die Abklingkonstante der Pendelschwingung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit dargestellt. Die einzelnen Linien sind mit den Kürzeln der Bereifung gekennzeichnet.

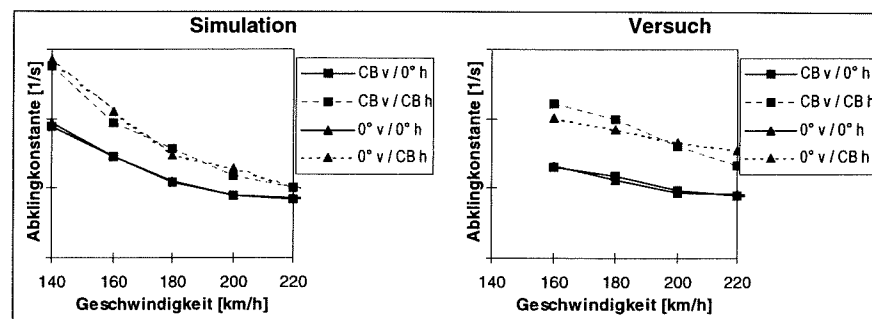


Abb. 20: Dämpfung Pendeln

In der Pendeldämpfung stimmen die Versuchsergebnisse bei Varianten mit dem Hinterreifen 0° h hervorragend mit den Simulationsergebnissen überein. Die Varianten mit dem Hinterreifen CB h zeigen ein deutlich höheres Dämpfungsniveau. Im höheren Geschwindigkeitsbereich nimmt die Dämpfung bei diesem Hinterreifen in der Simulation jedoch deutlicher ab.

5 Ausblick

Das Motorradsimulationsmodell auf Basis des Simulationsprogramms DADS hat einen hohen Reifegrad erreicht. Die Bereifung kann aufgrund der Projektergebnisse

wesentlich realistischer abgebildet werden. Die auf den Prüfständen bei Pirelli in Mailand und bei der TU Delft ermittelten dynamischen Reifenkennwerte ergeben in Kombination mit der neuen Magic Formula-Version ein in weiten Bereichen anwendbares, zuverlässiges Reifenmodell.

Die Anwendung der 0°-Technologie am Vorderreifen hat Möglichkeiten aufgezeigt, die eine deutlich positive Auswirkung auf das Flatterverhalten haben. Dies kann zu einer wesentlichen Entschärfung von Zielkonflikten in der Fahrwerksauslegung, z. B. Handlichkeit versus Fahrstabilität, beitragen. In Zusammenhang mit weiteren positiven Ergebnissen bei der Untersuchung des Einflusses von Stoßdämpfern, die ebenfalls praktisch umsetzbar erscheinen, ist somit ein wesentlicher Schritt zur Erhöhung der Fahrsicherheit möglich gemacht worden.

Literaturliste

- [1] Bakker, E.; Nyborg, L.; Pacejka, H. B.: Tyre Modelling for Use in Vehicle Dynamics Studies. SAE Paper No. 870421, Warrendale 1987
- [2] Bäuml, R.: Stabilität von Motorrädern: EU-Forschungsprojekt. Zeitschrift Motorrad Nr. 8/1995, S. 70, Stuttgart 1995
- [3] Bayer, B.: Untersuchungen zur Fahrdynamik von Kraffrädern unter besonderer Berücksichtigung konstruktiver Einflußparameter auf die Hochgeschwindigkeitsgeradeauslaufstabilität; Dissertation Darmstadt Schriftenreihe Forschungshefte Zweiradsicherheit, Verlage für neue Wissenschaft, Bremerhaven 1987
- [4] Bayer, B.; Kronthaler P.; Hagel, S.: Längs- und querdynamische Kennungen unterschiedlicher Kraffradreifen-Bauarten; VDI Berichte 779, VDI Verlag Düsseldorf 1989
- [5] de Molina, C.; Singh, D. V.: Influence of the dynamical tyre properties on the motorcycle driving behaviour; SAE Technical Paper No. 871227
- [6] de Vries, E. J. H.; Pacejka, H. B.: Motorcycle Tyre Measurements and Models. IAVSD 15th Symposium Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, Budapest, Hungary, August 25–29, 1997
- [7] Hogt, R. M. M., Rooney, J. H. M.: Tyre Measurements of Metzeler 120/70 ZR 17 and 180/55 ZR 17. Report 94.MR.VD.057.1/RMH, TNO Road-Vehicles Research Institute, Delft 1994
- [8] Iffelsberger, L., Wisselmann, D.: Einsatz der Fahrdynamiksimulation zur Analyse und Verbesserung des Motorradlenkverhaltens. VDI Berichte 875, VDI Verlag Düsseldorf 1989
- [9] Iffelsberger, L.: Application of the vehicle dynamic simulation in the motorcycle development. International Motorcycle Conference; Safety, Environment, Future, Herausgeber Institut für Zweiradsicherheit, Bochum 1991
- [10] Jansen, S. T. H., Determination of the tyre relaxation length with the pendulum test method and simulation suggestions for the advanced dynamic tyre model. No. 89.3.VT.2621
- [11] Koenen, C.; Pacejka, H. B.: Vibrational modes of single-track vehicles in curves. 6th IAVSD Symposium on the Dynamics of Vehicles on Roads and Tracks, Berlin 1979
- [12] Kronthaler, P., Vogt, T.: Steelbelted Radialtyres for Motorcycles. Mayor International Tyre Technology Conference, Munich 1994
- [13] Ruhé, A. J. M.: Entwicklung eines Motorrad Simulationsmodells für Fahrdynamikuntersuchungen. Diplomarbeit TU Delft, 1995
- [14] Sharp, R. S.; Jones C. J.: Straight running stability of single track vehicles; Dynamics of Vehicles on roads and on tracks, 5th IUTAM Symposium Vienna 1977
- [15] Weidele, A.; Schmieder, M.: Research on the power transfer of motorcycle tyres on real road surfaces; 18th FISITA Congress 7 1990, SAE 905213
- [16] Weir, D. H.; Zellner, J. W.: Experimental investigation of the transient behaviour of motorcycles; SAE Technical Paper No. 790266
- [17] Wisselmann, D.; Iffelsberger, L., Brandlhuber, B.: Einsatz eines Fahrdynamik-Simulationsmodells in der Motorradentwicklung bei BMW. ATZ Automobiltechnische Zeitung 95, S. 56, 1993
- [18] Wisselmann, D.; Iffelsberger, L.: Computergestützte Simulation der Bewegungsformen von Motorrädern im Frequenzbereich von 0–30 Hz. VDI Berichte 779, VDI Verlag Düsseldorf 1989
- [19] Wisselmann, D.: Motorrad-Fahrdynamik-Simulation Modellbildung, Validierung und Anwendung. VDI Fortschrittsberichte Reihe 12 Nr. 176, VDI Verlag Düsseldorf 1992

**Die Motorradverbundbremse:
Konzeption – Simulation – Versuch**

***The Combined Brake System:
Concepts – Simulation – Tests***

Philip Köhn

RWTH Aachen – Institut für Kraftfahrwesen
Deutschland

Christoph Albus

BAST Bundesanstalt für Straßenwesen – Bergisch-Gladbach
Deutschland

Abstract

Looking into physical aspects and reactions of single-track vehicles reveals that conventional brake systems – in view of limited rider performance – are not able to offer optimal deceleration at any time. Thus we proposed a simple combined brake system built of just a few components which will significantly improve the braking behaviour of powered two-wheelers. The system was developed and calculated for a test vehicle, type BMW K 100.

The simulation of dynamic braking manoeuvres shows that the use of the new combined brake system not only improves the stationary braking behaviour but also that especially the problem of dynamic over-braking of the front wheel, particularly with vehicles equipped with telescopic front forks, could be reduced. The braking physics in bends has not been examined systematically yet, calculations of simulation, however, are in preparation.

A chosen test motorcycle was converted according to the calculations and put into operation. Riding tests of over 1,500 kilometres revealed without exceptions positive results: both the absolute deceleration (in view of all random conditions) and the softer vehicle reactions were appreciated by the test riders. It was in particular the stronger lowering of the vehicle in case of braking with a simultaneously reduced pitch motion that was considered to be positive. Negative reactions concerned the rather soft handbrake lever feeling when braking resulting from the enlarged hydraulic system and from elasticities in the braking pressure limiter. These aspects still need improvements in order to bring the amount of force needed to brake in line with the standards of usual vehicles.

The tests which have been carried out up to now underline the subjective impression: The achievable deceleration increases when using a combined brake system and vehicles are faster slowed down which results in a considerably shorter braking distance.

To sum up one can say that combined brake systems are an effective way of improving the active safety of motorcycles which can be equipped with this system at rather low additional costs.

1. Einleitung

Das Kraffrad erlebte in den zurückliegenden Jahren einen enormen Boom als Freizeitfahrzeug mit zweistelligen Steigerungsraten der Zulassungszahlen; ein Ende der Entwicklung ist noch nicht abzusehen. Die installierte Technik wurde immer aufwendiger, die Fahrleistungen stiegen dank enormer Motorisierungen in Bereiche, die noch vor kurzem reinen Rennfahrzeugen vorbehalten waren. Die Fahrwerks-technik konnte diese Entwicklung durch vielfältige Verbesserungen an Rahmen, Radaufhängungen und Reifen auffangen, lediglich die Bremsentechnologie blieb deutlich zurück. Radbremsen moderner Sportmotorräder sind zwar thermisch und mechanisch hoch belastbar, die Betätigung der Bremsanlage orientiert sich jedoch immer noch an Konzepten aus der Anfangszeit der Motorisierung.

Die getrennte Betätigung der Radbremsen ist hier noch Stand der Technik, obgleich sie sich sonst in keinem modernen Kraftfahrzeug mehr findet. Die Ausstattungsgrade mit Antiblockiersystemen sind – von einzelnen Typen abgesehen – immer noch verschwindend klein und im Vergleich zum PKW vernachlässigbar. Damit ist die optimale Betätigung der Radbremsen immer noch weitgehend dem Können des Fahrers überlassen.

Im nachfolgenden Beitrag wird, der offensichtlichen und statistisch belegten Notwendigkeit der Verbesserung von Kraffrad-Bremsanlagen folgend [8], vom Institut für Kraftfahrwesen Aachen (ika) ein neues Bremskonzept vorgeschlagen.

Dieses neue Bremssystem wird für ein Versuchskraffrad berechnet und ausgelegt; die Vorteile des neuen Systems im Vergleich zur konventionellen Kraffrad-Bremsanlage werden dargelegt.

Schließlich wird die Umsetzung und Erprobung des neuen Bremssystems in einem vorhandenen Versuchskraffrad beschrieben.

2. Interaktion zwischen Fahrer und Fahrzeug beim Bremsen

Grundmotivation für Entwicklungen zur Verbesserung der aktiven und passiven Sicherheit von Kraffrädern sind letztlich die zwar allgemein rückläufigen, aber im Vergleich zu PKW immer noch recht hohen Unfallzahlen mit Verletzten und Getöteten.

Während in der Vergangenheit neben anderen Maßnahmen insbesondere Verbesserungen bei der aktiven und der passiven Sicherheit (verbesserte Fahrstabilität der Kraffräder, konsequente Umsetzung der Helmtragepflicht, zunehmende Verbreitung von Sicherheitskleidung, etc.) durchaus zu einer Reduzierung der Unfall-

raten führten (vgl. Abb. 1), ist in jüngerer Vergangenheit eine Stagnation der Verletzten- und Getötetenraten zu verzeichnen. Eine weitere Annäherung der Statistiken etwa an die Werte von PKW ist nur durch signifikante Verbesserungen an den Fahrzeugen zu erreichen.

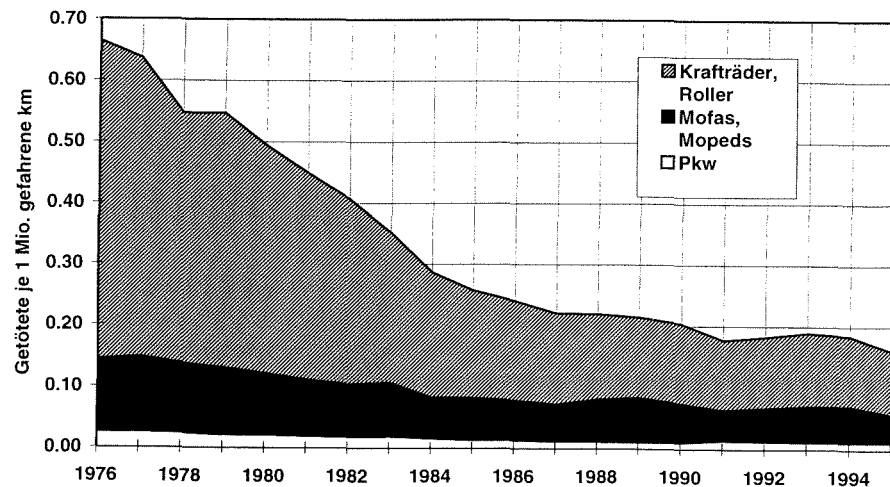


Abb. 1: Unfalltote bezogen auf die jährliche Fahrleistung (vor 1991 ohne/ab 1991 mit neuen Bundesländern)

Aufgrund der Besonderheit des Einspurfahrzeugs Kraftrad kommt der Abbremsung sowohl im normalen Fahrbetrieb als auch zur Bewältigung kritischer Situationen eine besondere Bedeutung zu.

Verschiedene Untersuchungen zeigen, daß auch geübte Kraftradfahrer in Schreck-situationen nicht in der Lage sind, eine konventionelle Kraftrad-Bremsanlage optimal zu bedienen. Zugunsten des Erhalts der Fahrstabilität wird in der Regel zu wenig oder falsch gebremst, so daß die erreichte Verzögerung deutlich unter der physikalisch vorgegebenen Grenze bleibt. Auf der anderen Seite führt eine ungewollte Radblockade zumindest am Vorderrad mit großer Wahrscheinlichkeit zum Sturz und damit zu einer ungünstigen pre-crash-Position für die möglicherweise nachfolgende Kollision.

Die offensichtliche Diskrepanz zwischen den Anforderungen, die an einen Kraft-radfahrer zur Bewältigung einer Notbremsung gestellt werden, und der möglichen Leistungsfähigkeit des Menschen – zumal in Extremsituationen – hat zu verschiedenen Untersuchungsansätzen und technischen Entwicklungen geführt, die hier kurz und ohne Anspruch auf Vollständigkeit erwähnt seien.

Auf der technischen Seite wurden verschiedene Versuche unternommen, die Be-tätigung der Radbremsen miteinander zu koppeln und somit den Bedienungsaufwand für den Fahrer zu reduzieren. Dabei hat sich bislang allerdings noch kein System von der Koexistenz von zwei Betätigungen (Hand und Fuß) und zwei gleichberechtigten Bremssystemen gelöst.

Im Bereich der Kraftradforschung gab es insbesondere am Fachgebiet Fahr-zeugtechnik der TH Darmstadt umfangreiche Untersuchungen etwa zur Fahrer-Fahrzeug-Interaktion [6, 8], die von der Bundesanstalt für Straßenwesen (bast) finanziell unterstützt wurden. In einem weiteren geplanten Projekt des aktuellen „Forschungsprogramms Straßenverkehrssicherheit“ der Bundesanstalt für Stra-ßenwesen sollen notwendige Anpassungen der nationalen und internationalen Zulassungsbestimmungen von Kraftradbremsystemen aufgezeigt werden. Hierzu sollen Bedingungen der Mensch-Maschine-Interaktion in kritischen Bremssituatio-nen für unterschiedliche Kraftradbremsysteme untersucht und sicherheitsrele-vante Anforderungen formuliert werden.

3. Konzeption des ika-Kombi-Bremssystems

Faßt man die Anforderungen an ein modernes Bremssystem für Krafträder unter Berücksichtigung der gegebenen Leistungsfähigkeit des Menschen zusammen, so kommt man etwa zu folgendem Lastenheft:

- Betätigung der gesamten Betriebsbremsanlage über ein Bedienelement; aufgrund der schnelleren Erreichbarkeit und feinfühligere Bedienung sollte dies entgegen der aktuellen StVZO-Vorschrift der Handbremshebel sein.
- Selbsttätige Anpassung der Bremskraftverteilung an die durch momentane Ver-zögerung sowie Beladungszustand vorgegebenen Randbedingungen.
- Sicherer Schutz vor dem Überbremsen insbesondere des Vorderrads, aber auch des Hinterrads durch einen automatischen Blockierverhinderer (ABV).
- Gewährleistung einer Restbremswirkung gemäß StVZO bei Ausfall der Betriebs-bremsen.
- Aufrechterhaltung der fahrdynamischen Zusatzfunktionen der bisherigen Hinter-radbremsanlage (Anfahren am Berg mit Hilfsbremsfunktion der Hinterradbremse; Durchfahren von engen Kehren mit betätigter Hinterradbremse zur Vermeidung von Lastwechselschlägen).
- Einfache und logische Bedienung des neuen Bremssystems auch für Fahrer, die an das konventionelle System gewöhnt sind.
- Möglichst geringer technischer und finanzieller Mehraufwand gegenüber bisheri-gen konventionellen Systemen.

Heutige Bremssysteme tragen den genannten Anforderungen nur bedingt Rechnung; aus dieser wenig befriedigenden Situation heraus wurde am Institut für Kraftfahrwesen Aachen (ika) ein recht einfaches Bremssystem entwickelt und in Zusammenarbeit mit Studenten des ika an einem Versuchsmotorrad realisiert.

Im Hinblick auf das vorgenannte Anforderungsprofil wurde ein hydraulisches Bremssystem nach Abb. 2 konzipiert. Da der Handbremshebel der Fußbetätigung in Bezug auf Betätigungsgeschwindigkeit und Feinfühligkeit deutlich überlegen ist, wird bei diesem System die Betriebsbremse allein mit dem Handbremshebel betätigt.

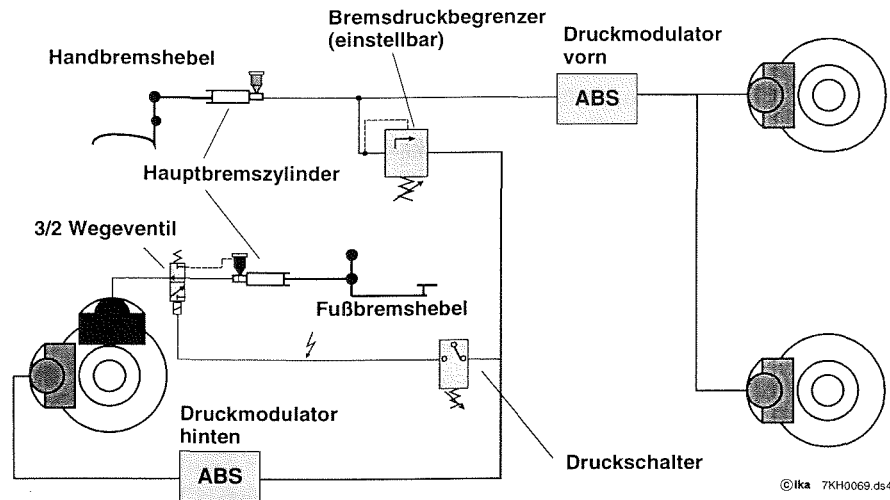


Abb. 2: Kombi-Bremssystem (ika-Vorschlag)

Bei einem Fahrzeug mit einer Kombi-Bremsanlage, die nahe der Idealverteilung abgestimmt ist, kommt dem ABV eine besondere Bedeutung zu, da durch die kombinierte Betätigung der Radbremsen eine gefahrlose Annäherung an die Schlupfgrenze nicht mehr möglich ist. Daher wird in dem vorgeschlagenen Konzept das bei BMW serienmäßig eingesetzte ABS MKII unverändert übernommen. Bei diesem System wirkt je ein Bremsdruckmodulator auf die vordere und hintere Radbremse; um nicht in die innere Abstimmung des ABS eingreifen zu müssen, wurden die Radbremsen ebenfalls unverändert übernommen.

Der für die Betriebsbremse zuständige Handbremshebel mit einem einkanaligen Hauptbremszylinder betätigt nun die vordere Radbremse direkt; nur der vordere Bremsdruckmodulator ist zwischengeschaltet.

Dagegen wird der Bremsdruck für den hinteren Bremskreis über einen einstellbaren Bremskraftbegrenzer geführt. Hieran schließen sich der hintere ABS-Bremsdruckmodulator und die hintere Bremszange an.

Mit dem Bremsdruckbegrenzer wird die reale Bremskraftverteilung an die Idealverteilung angepaßt; es ist zunächst noch offen, ob diese Funktion bei einem späteren Serieneinsatz fest eingestellt wird oder ob ein lastabhängiger Bremskraftbegrenzer (ALB) zum Einsatz kommen muß. Zur Realisierung der Hilfsbremse sowie der angesprochenen und im täglichen Fahrbetrieb sehr wichtigen Zusatzfunktionen der herkömmlichen Fußbremsanlage (Anfahren am Berg, Durchfahren enger Kehren mit betätigter Hinterradbremse zur Vermeidung von Lastwechselschlägen) ist an der Hinterachse ein weiterer Bremsattel angeordnet, der ebenfalls auf die Bremscheibe der Betriebsbremse wirkt. Um ein Überbremsen des Hinterrads bei gleichzeitiger Betätigung von Betriebs- und Hilfsbremsanlage zu vermeiden, ist zwischen dem Hauptbremszylinder der Fußbremse und der zugehörigen hinteren Bremszange ein elektrisch betätigtes 3/2-Wege-Ventil angeordnet. In der federzentrierten Nullstellung ist der Hauptbremszylinder direkt mit der Bremszange verbunden und der Tankanschluß verschlossen.

Wird das Ventil hingegen bestromt, so wird der Anschluß des Hauptbremszylinders abgesperrt und der Druckanschluß der Bremszange zum Tank hin entlastet. Die Ansteuerung des 3/2-Wege-Ventils erfolgt durch einen Druckschalter direkt hinter dem Hauptbremszylinder der Betriebsbremse und ein Leistungsrelais. Hierdurch ergeben sich zwei Funktionen: Zum einen wird bei Betätigung der Betriebsbremse der Hauptbremszylinder der Fußbremse gesperrt und damit eine Überbremsung des Hinterrads verhindert. Zum anderen ist es denkbar, daß zuerst die Hilfsbremse mit Bremsdruck über die Fußbetätigung beaufschlagt und erst dann die eigentliche Betriebsbremse betätigt wird. In diesem Fall sorgt die Ansteuerung des Magnetventils ebenfalls dafür, daß die Bremszange der Hilfsbremsanlage druckentlastet wird, so daß wiederum nur die Betriebsbremse Bremskräfte aufbringen kann.

Somit ist einerseits gewährleistet, daß stets die ausgelegte Bremskraftverteilung der Kombi-Bremse ohne Manipulationsmöglichkeit des Fahrers wirksam wird; andererseits werden mögliche Fehlerzustände des ABV vermieden, die sich sonst bei gleichzeitiger Abbremsung des Hinterrads durch die geregelte Betriebsbremse und die unregelmäßige Hilfsbremse ergeben könnten. Wird nämlich in einem solchen Fall das Hinterrad bis zum Blockieren überbremst, was das ABS aufgrund der nicht steuerbaren Zusatzbremskraft aus der Hilfsbremse nicht verhindern kann, dann wird dieser Zustand vom ABS-Steuergerät als abgehobenes Hinterrad interpretiert, was dann eine Reduzierung des Bremsdrucks an der Vorderachse zur Folge hat, um den vermeintlich drohenden Überschlag abzuwenden. Daher wird die Abkoppelung der Hilfsbremsanlage bei Betätigung der Betriebsbremse sowohl zur Gewähr-

leistung der vorgesehenen Bremskraftverteilung als auch zum Schutz vor ungewollter Fehlfunktion des ABV benötigt.

Im Falle eines Defekts an der vorderen Bremsanlage verharrt das Magnetventil federbelastet in der Nullstellung, so daß die Restbremswirkung der fußbetätigten Hilfsbremsanlage erhalten bleibt. Die sowohl nach § 41 STVZO als auch demnächst nach 92/61/EWG vorgeschriebene Restbremswirkung von $2,5 \text{ m/s}^2$ kann im vorliegenden Fall ohne weiteres eingehalten werden.

In der vorgeschlagenen Anordnung ist die fußbetätigte Hilfsbremsanlage nicht mit einem Bremskraftmodulator ausgestattet, so daß das ABS beim alleinigen Einsatz der Hilfsbremsanlage nicht wirksam werden kann. Da bei Betätigung beider Bremsanlagen (Fuß- und Handbremse) die Hilfsbremse mittels des vorgenannten Magnetventils deaktiviert wird, kann eine Blockade des Hinterrads nur bei alleiniger Betätigung der Fußbremse hervorgerufen werden. Das betrachtete Fahrzeug weist jedoch eine sehr hohe statische Hinterachslast und eine vergleichsweise schlechte innere Bremsübersetzung an der Hinterachse auf, so daß eine Hinterradbremse zwar möglich, jedoch unwahrscheinlich und zudem relativ unkritisch in Bezug auf die Fahrstabilität ist.

Hier bietet sich ein Vergleich zum modernen PKW an, bei dem auch nur die Betriebsbremse mit einem ABV ausgestattet ist, während die Hilfs- bzw. Feststellbremse ebenfalls direkt auf die (Hinter-)Räder wirkt. Somit kann bei gleichzeitiger Betätigung von Betriebs- und Feststellbremse die Achse, auf die die Hilfsbremse wirkt, sowohl überbremst als auch trotz ABV bis zum Stillstand gebracht werden, ohne daß dies als Sicherheitsrisiko gewertet wird. Im direkten Vergleich stellt sich damit die vorgeschlagene Kombi-Bremse aufgrund des implementierten Magnetventils als weniger empfindlich gegen Fehlbedienung dar als herkömmliche PKW-Bremsanlagen.

Auf der Basis der geometrischen und sonstigen Daten des Versuchsmotorrads wurde das Kombi-Bremssystem wie nachfolgend dargelegt berechnet.

Aufgrund der hohen Leermasse des Versuchsfahrzeugs ist die Lastabhängigkeit der Bremskraftverteilung vergleichsweise niedrig; daher wurde für dieses Versuchsfahrzeug zunächst auf eine lastabhängige Bremskraftverteilung verzichtet. Zur Nachbildung der idealen Bremskraftverteilungskurve ist das Bremssystem – wie bereits erwähnt – mit einem Bremskraftbegrenzer ausgerüstet, der ab einem manuell einstellbaren Einsteuern Druck den Ausgangsdruck für die Hinterachse konstant hält. Die mit diesem System erreichbare Verteilungskurve ist ebenfalls in Abb. 3 dargestellt.

Die Auslegungsstrategie für eine Kraffradbremse unterscheidet sich dabei wesentlich von der eines PKW. Während beim PKW die Kraftschlußgrenze zuerst an der

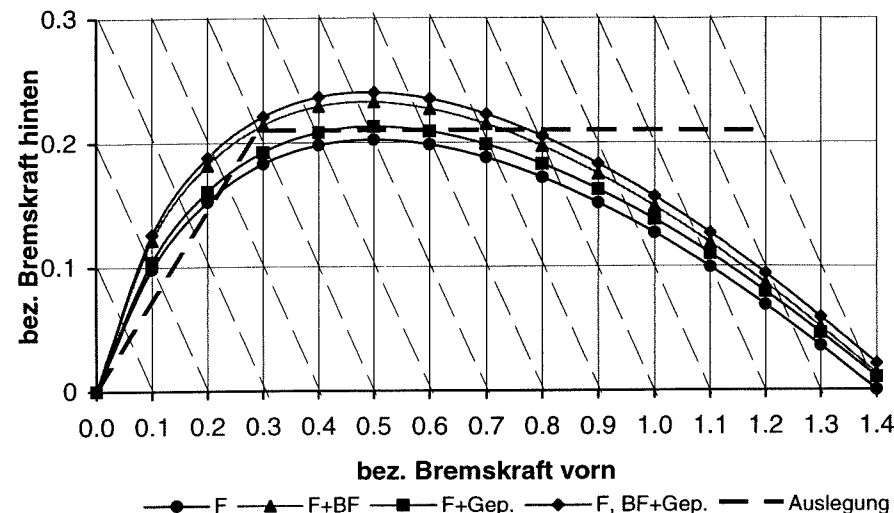


Abb. 3: Ideale Bremskraftverteilung für das Versuchskraffrad BMW K100 RS

Vorderachse erreicht werden soll, um eine ausreichende Kursstabilität zu erreichen, ist es beim Kraffrad sinnvoll, im Bereich der maximalen Kraftschlußausnutzung das Hinterrad leicht zu überbremsen, um dem Fahrer durch die dann am Hinterrad einsetzende ABS-Schlupfregelung mitzuteilen, daß er sich im Bereich maximaler Verzögerung befindet.

Während die Vorteile einer solchen Auslegung bei einer Geradeausbremsung nicht ersichtlich sind, ergeben sich bei einer zuerst am Hinterrad auftretenden ABS-Regeltätigkeit bei einer Bremsung in Schräglage deutliche Vorteile.

Da der Radaufstandspunkt der Reifen bei Schräglage seitlich auswandert, ergibt sich für die in Längsrichtung angreifende Bremskraft ein Hebelarm um die Lenkachse, der zu einem sogenannten Brems-Lenk-Moment führt, dem der Zweiradfahrer das Gleichgewicht halten muß. Wenn die das Lenkmoment verursachende Bremskraft nun noch hochfrequent variiert wird, pulsiert das resultierende Brems-Lenk-Moment gleichermaßen; aufgrund der hohen Regelfrequenz des ABS kann der Fahrer diesem pulsierenden Moment in der Regel nicht das Gleichgewicht halten, so daß diese Lenkmomentenstörung beinahe ungedämpft in das Fahrwerk eingeleitet wird. In Extremsituationen kann der Fahrer hierdurch stürzen; es darf dabei allerdings nicht vergessen werden, daß er ohne ABS auch gestürzt wäre, da das Vorderrad ohne ABS-Eingriff blockiert hätte, was dann ebenfalls mit an Sicherheit grenzender Wahrscheinlichkeit zum Sturz geführt hätte.

Mit der gewählten Bremskraftverteilung nach Abb. 3 ergibt sich die gewünschte Überbremsung des Hinterrads je nach Beladung ab einer Verzögerung von 0,8 bis 0,95 g. Da der Reibbeiwert von Motorradreifen auf trockener Fahrbahn deutlich über 1 liegt, kann das Auslegungsziel somit als erreicht gelten. Lediglich auf nasser Fahrbahn ist bei einer heftigen Bremsung mit einem leichten Überbremsen des Vorderrads zu rechnen; da Motorradfahrer auf nasser Fahrbahn jedoch selten Schräglagen über 20° erreichen, ist die dann zuerst am Vorderrad eintretende ABS-Regelung vergleichsweise unkritisch, da der sich bei dieser geringen Schräglage einstellende kleine Lenkrollradius am Vorderrad nur zu einem kleinen und damit beherrschbaren Brems-Lenkmoment führt.

4. Numerische Berechnung des dynamischen Fahrzeugverhaltens

Neben der stationären Bremskraftverteilung ist das dynamische Verhalten des Krafrads bei einer Panikbremsung mit sehr schnell aufgebrachter Bremskraft von besonderer Bedeutung. Zur Untersuchung des Fahrzeugverhaltens wurden mit dem Programmpaket MatLab/Simulink die Längs- und Vertikaldynamik des ausgesuchten Versuchs-Krafrads simuliert. Hierzu wurden die Bewegungsdifferentialgleichungen der Räder (nur rotatorisch) und des Aufbaus (translatorisch in Längs- und Vertikalrichtung und rotatorisch um die Y-Achse) aufgestellt und die einzelnen Anteile der Differentialgleichungen entsprechend der physikalischen Zusammenhänge miteinander verknüpft.

Zur Simulation einer Panikbremsung wurde ein von Fahrer eingesteuerter Bremsdruckverlauf angenommen, der durch die Sprungantwort eines Verzögerungsglieds erster Ordnung ($T = 0.05$ s) angenähert wurde (vgl. Abb. 4).

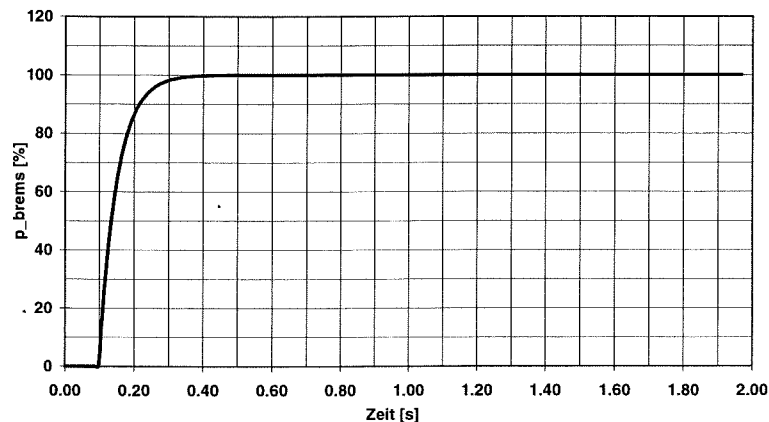


Abb. 4: Vom Fahrer eingesteuerter Bremsdruckverlauf als PT_1 -Glied

Die Bremskraft wurde dabei mit $F_{\text{brems}} = 2160$ N zunächst so gewählt, daß sich bei alleiniger Betätigung der Vorderradbremse eine stationäre Verzögerung von ca. 7 m/s^2 ergibt. Da die Telegabel-Vorderradaufhängung prinzipbedingt einen negativen Bremsnickausgleich aufweist, ergibt sich nach der Einleitung der Bremsung ein stationärer Nickwinkel von ca. $7,5^\circ$, der nach einem leichten Überschwinger erreicht wird, siehe Abb. 5. Parallel dazu wird der Fahrzeug-Aufbau abgesenkt (siehe Abb. 6). Mit dieser kombinierten translatorischen und rotatorischen Bewegung geht eine nur langsam ansteigende dynamische Belastung des Vorderrads einher, die viel langsamer als die Bremskraft an der Vorderachse ansteigt.

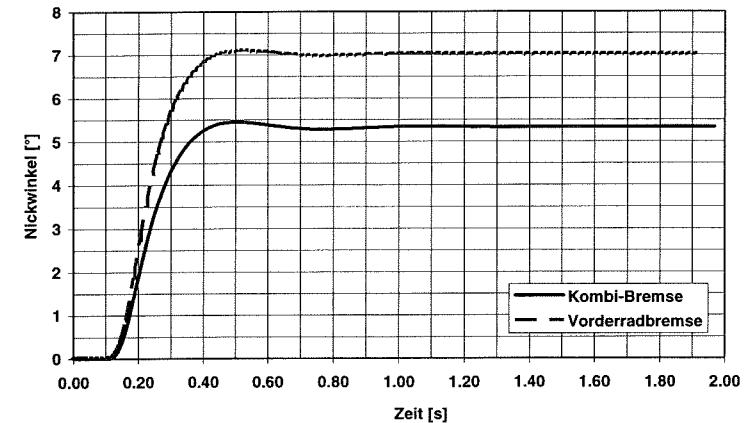


Abb. 5: Nickwinkel beim Bremsvorgang (Vergleich Vorderrad-/Kombibremse)

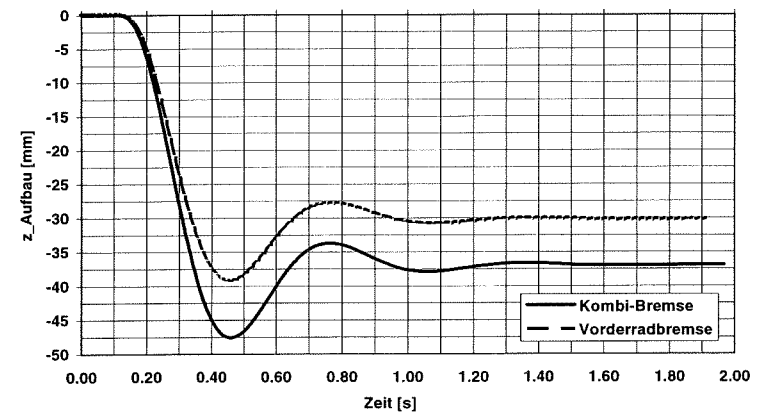


Abb. 6: Schwerpunktabsenkung beim Bremsvorgang (Vergleich Vorderrad-/Kombibremse)

Da die Bremskraft am Vorderrad jedoch fast unmittelbar anliegt, ergibt sich für den ersten Moment der Abbremsung eine dynamische Überbremsung des Vorderrads, die aus Abb. 7 gut zu erkennen ist (erster Peak der Kraftschlußbeanspruchung).

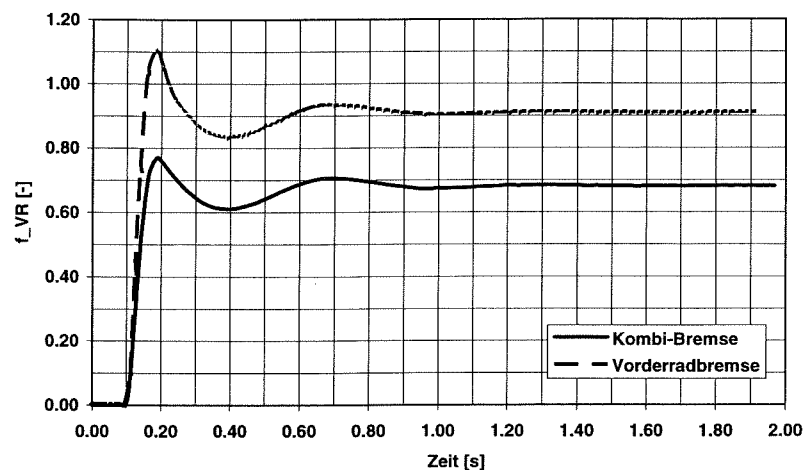


Abb. 7: Kraftschlußbeanspruchung (Vergleich Vorderrad-/Kombibremse)

Der Einschwingvorgang in die quasistationäre Lage ist nach ca. 0,6 s abgeschlossen; erst dann wird die stationäre Kraftschlußbeanspruchung erreicht, die bei beiden Bremssystemen unter dem dynamischen Spitzenwert liegt.

Bei Fahrzeugen mit ABS führt dies dazu, daß der Bremsdruck, bedingt durch die anfängliche dynamische Überbremsung des Vorderrads, zunächst zurückgenommen und dann langsam wieder aufgebaut wird, obwohl aufgrund der stationär vorliegenden Kraftschlußverhältnisse noch gar kein ABS-Eingriff notwendig gewesen wäre. Diese Fehlreaktion verlängert somit den mit ABS erzielbaren Bremsweg unnötig.

Wird die Bremskraft von 2160 N nun entsprechend der vorgeschlagenen Bremskraftverteilung (siehe Abb. 3) auf beide Räder verteilt, so ist das Hinterrad aufgrund der Bremsdruckbegrenzung mit einer Bremskraft von 580 N beaufschlagt, während auf das Vorderrad nur noch eine Umfangskraft von 1580 N entfällt. Hierdurch werden die Fahrzeugreaktionen deutlich entschärft, wie man aus dem wesentlich flacheren Nickwinkelverlauf (Abb. 5) erkennen kann; demgegenüber ist die bei der Kombibremse geringfügig größere Schwerpunktabsenkung absolut unkritisch zu beurteilen. Die übermäßige Kraftschlußbeanspruchung, die bei alleiniger Betätigung der Vorderradbremse (Abb. 7) auftritt, wird nicht nur, wie zu erwarten war, im

Endwert, sondern auch im ersten Überschwinger reduziert, was in vielen Situationen den hier zumeist unnötigen ABS-Eingriff vermeiden hilft und somit den Bremsweg verkürzt.

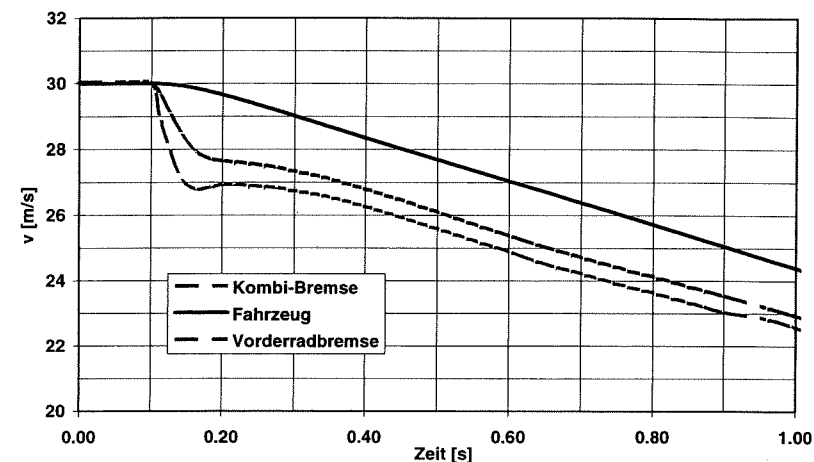


Abb. 8: Errechnete Raddrehzahlverläufe (Vergleich Vorderrad-/Kombibremse)

Die aus diesen Rechnungen resultierenden Raddrehzahlverläufe sind in Abb. 8 im Vergleich zur Fahrzeuggeschwindigkeit dargestellt; man erkennt deutlich, daß die übermäßige Kraftschlußbeanspruchung bei ausschließlicher Vorderradbremse am Anfang des Bremsvorgangs einen starken Drehzahleinbruch des Vorderrads hervorruft. Diese Berechnungsergebnisse können aufgrund des genutzten einfachen Ansatzes für den Umfangsschlupf (lineare Kraft-Schlupf-Kennlinie mit einem Maximalwert bei 10%) allerdings nur eine qualitative Aussage liefern.

Eine versuchsweise durchgeführte Rechnung zeigte, daß sogar bei gleicher Vorderradbremskraft die zusätzliche Bremskraft am Hinterrad noch eine geringfügige Reduzierung des dynamischen ersten Überschwingers trotz dann wesentlich höherer Verzögerung mit sich bringt.

Die kinematisch bedingte dynamische Vorderrad-Überbremsung kann also durch die Kombi-Bremse wesentlich entschärft werden, so daß sich neben den genannten Vorteilen noch ein weiterer ergibt.

5. Realisierung des Verbundbremssystems im Versuchsfahrzeug

Das vorgestellte Kombi-Bremssystem wurde in ein am Institut für Kraftfahrwesen Aachen (ika) vorhandenes Versuchsmotorrad vom Typ BMW K100 RS eingebaut. Um den baulichen Aufwand möglichst gering zu halten, wurden die serienmäßigen Radbremsen sowie der Fuß-Hauptbremszylinder beibehalten. Das serienmäßige, aber am Versuchsfahrzeug nicht werksseitig montierte FAG-ABS MKII wurde nachträglich eingebaut; hierfür mußten einige Komponenten verlegt werden (z. B. die vorher im Rahmendreieck positionierte Batterie in das Fahrzeugheck).

Durch die Verschaltung der vorderen und hinteren Hydraulik-Kreisläufe ist das bei einer Bremsung zu verschiebende Flüssigkeitsvolumen angestiegen. Da der Weg des Hand-Hauptbremszylinders aufgrund der begrenzten Handreichweite kaum noch zu steigern war, wurde ein neuer Hauptbremszylinder mit größerem Kolbendurchmesser montiert. Die damit einhergehende Erhöhung der Handkraft wird durch die vom Hinterrad aufgebrachte Zusatzbremskraft weitgehend kompensiert.

Der sich an den Hauptbremszylinder anschließende Bremsdruckbegrenzer stammt aus dem Motorsport und kann durch Verändern der Vorspannung der Schalfeder mittels einer Rändelschraube stufenlos eingestellt werden.

Hinter dem Druckbegrenzer ist ein Absperrhahn angeordnet, mit dem die beiden Bremskreise voneinander getrennt werden können, um im Versuchsbetrieb verschiedene Bremssystem-Konfigurationen darstellen zu können.

Der hintere Bremskreis für die Hilfsbremsanlage wurde unverändert übernommen; es wurde lediglich ein zugekauftes 3/2-Wege-Einbauventil zwischen Hauptbremszylinder und Bremssattel gesetzt, um die genannten Umschaltfunktionen zu gewährleisten.

Die Umbaumaßnahmen werden ergänzt durch zwei im Cockpit angeordnete digitale Bremsdruckanzeigen für die beiden Bremskreise sowie durch die komplette Umrüstung des gesamten Bremssystems auf stahlummantelte Bremschläuche, um die durch die nun größeren Volumina erhöhte Kompressibilität des Bremssystems zumindest teilweise auszugleichen. Dennoch ist das Handkraftgefühl wesentlich weicher als heute bei modernen Krafrädern üblich; einen großen Anteil hieran hat der aus dem PKW stammende Bremsdruckbegrenzer, dessen Volumenaufnahme bei Druckanstieg für diesen Verwendungszweck zu hoch ist. Mit einer angepaßten Konstruktion wird dieses Problem aber beherrschbar sein.

Abb. 9 gibt einen Eindruck des aufgebauten Versuchsfahrzeugs.

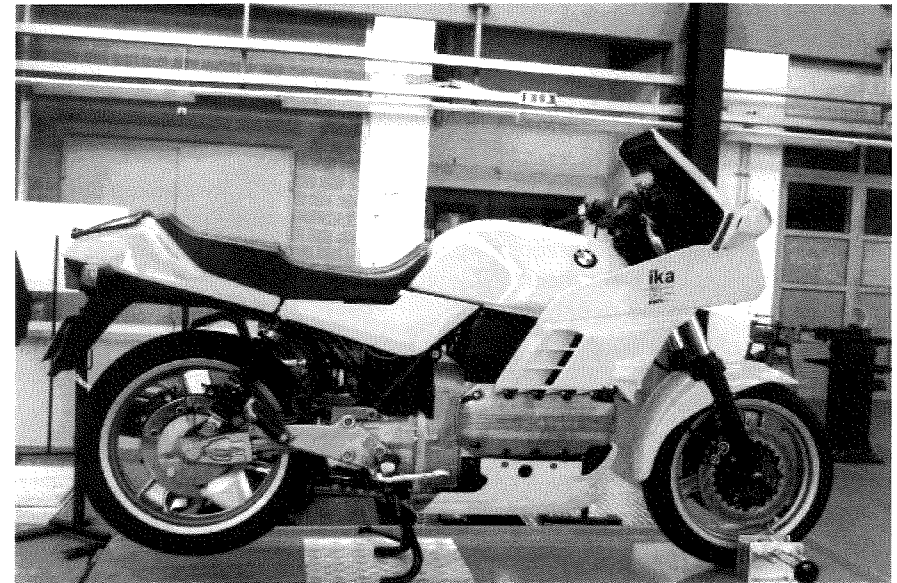


Abb. 9: Versuchsmotorrad nach der Umrüstung (I)

6. Meßergebnisse aus dem Fahrversuch

Das realisierte Bremssystem wurde auf der ika-Teststrecke unter verschiedenen Betriebszuständen erprobt. Naturgemäß treten die Unterschiede im Leistungsvermögen der Bremssysteme vor allem bei reduziertem Fahrbahnreibungwert auf; daher werden im folgenden nur die Ergebnisse von Versuchen auf bewässerter Fahrbahn dargestellt. Zur Erfassung der wichtigsten Meßgrößen wurde das Versuchsfahrzeug mit verschiedenen Sensoren ausgestattet

Folgende Größen wurden mit dem mitgeführten Datenlogger gemessen:

- Längsgeschwindigkeit und -beschleunigung
- Bremsdrücke vorn und hinten
- Federwege vorn und hinten; hieraus lassen sich einfach die Schwerpunktbe-
wegung und der Nickwinkel des Fahrzeugs bestimmen.

Zur Demonstration der Leistungsfähigkeit des Systems wurden aus verschiedenen Ausgangsgeschwindigkeiten heraus Bremsungen mit alleiniger Vorderradbremstätigkeit und mit kombinierter Bremsung durchgeführt. In jedem Fall wurde mit ABS

gebremst. Der grundsätzliche Vorteil der Kombi-Bremse zeigt sich qualitativ schon in Abb. 10. Die kombinierte Bremsenbetätigung erreicht nicht nur, wie erwartet, ein höheres Verzögerungsniveau, die Verzögerung steigt auch schneller an. Dagegen ist bei alleiniger Vorderradabbremsung eine stärkere ABS-Regelaktivität zu erkennen; die maximale Verzögerung wird erst einige Regelzyklen später erreicht.

Die Zeitverläufe korrelieren sehr gut mit den gemessenen Nickwinkeln beim gleichen Versuch (siehe Abb. 11); die gleichfrequenten Schwingungen sowohl beim Nickwinkel als auch bei der Verzögerung bestätigen die Annahmen aus der Simulation. Im vorliegenden Fall scheint sich durch die ABS-Regeltätigkeit eine ausgeprägte Eigenschwingung zu entwickeln.

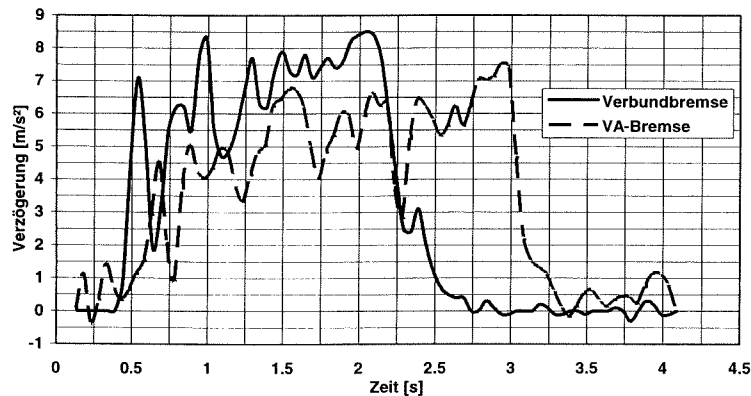


Abb. 10: Zeitverläufe der Verzögerung bei verschiedenen Bremsstrategien auf nasser Fahrbahn (jeweils mit ABS, $v_0 = 50$ km/h)

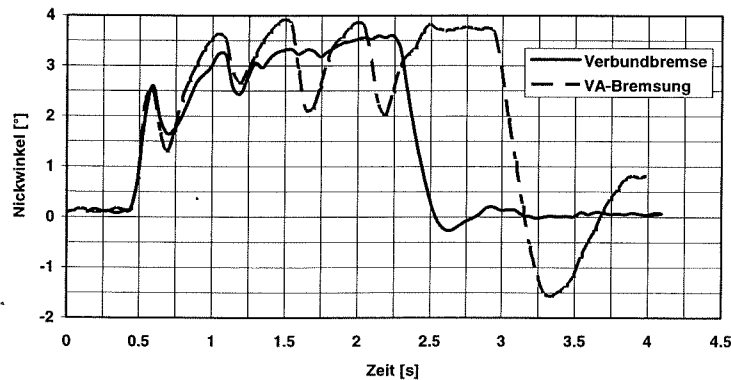


Abb. 11: Zeitverläufe des Nickwinkels bei verschiedenen Bremsstrategien auf nasser Fahrbahn (jeweils mit ABS, $v_0 = 50$ km/h)

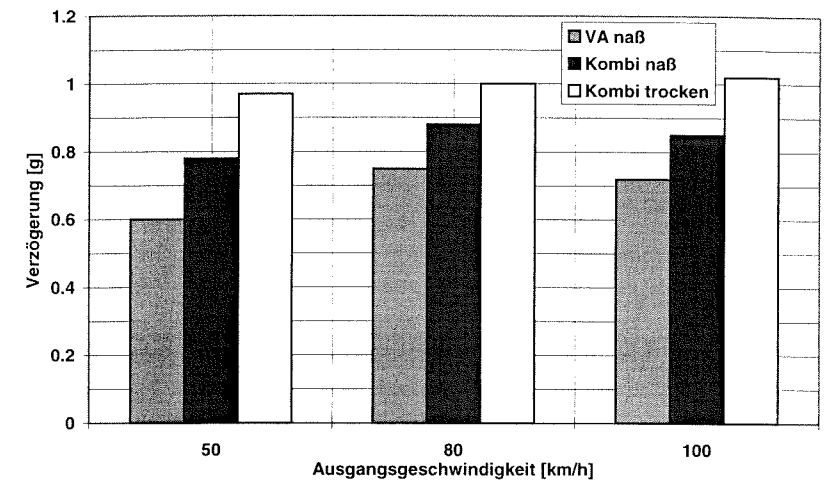


Abb. 12: Erzielte Maximalverzögerungen bei verschiedenen Bremsstrategien auf nasser Fahrbahn (jeweils mit ABS)

In Abb. 12 und Abb. 13 sind die erreichten Bremswege und Maximalverzögerungen aus verschiedenen Versuchen für beide Bremsstrategien einander gegenübergestellt.

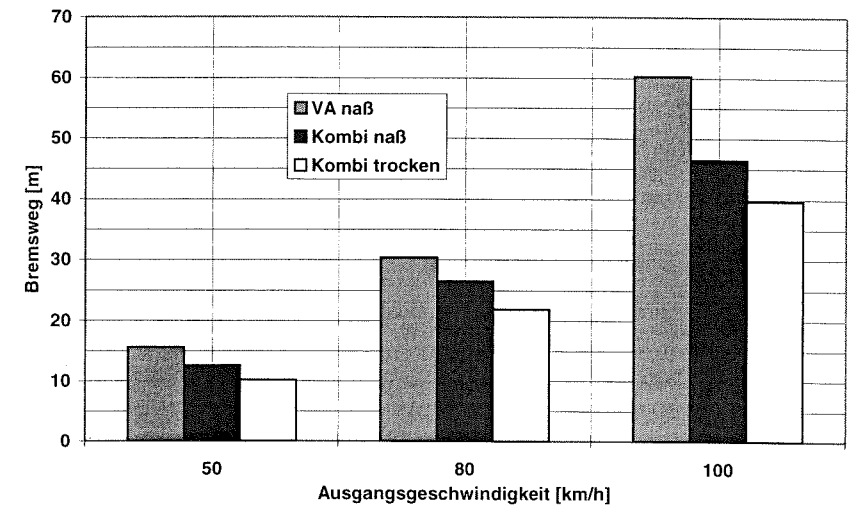


Abb. 13: Erzielte Bremswege bei verschiedenen Bremsstrategien auf nasser Fahrbahn (jeweils mit ABS, verschiedene Ausgangsgeschwindigkeiten)

Bedingt durch den langsameren Beschleunigungsanstieg bei alleiniger Vorderradbremmung fallen die Bremswegverkürzungen bei der Kombibremse noch deutlicher aus, als es die in Abb. 12 dargestellten Maximalverzögerungen erwarten lassen.

Die aus den ersten Rechnungen heraus erwarteten Vorteile sind also tatsächlich erreicht worden, wobei der Vorteil für die Kombibremse aufgrund des ABS-Regelverhaltens noch größer ausfällt.

7. Zusammenfassung und Ausblick

Die Betrachtung der Fahrphysik des Einspurfahrzeugs und des Fahrerhaltens liefert bekanntermaßen Hinweise darauf, daß konventionelle Kraftrad-Bremssysteme nicht in der Lage sind, unter Berücksichtigung der Leistungsgrenze des Fahrers eine jederzeit optimale Verzögerung zu gewährleisten.

Es wurde daher ein einfaches Kombi-Bremssystem vorgeschlagen, welches mit wenigen Bauteilen auskommt und geeignet ist, das Bremsverhalten von Krafträdern nachhaltig zu verbessern. Das System wurde ausgelegt und für ein Versuchskraftrad vom Typ BMW K100 berechnet.

Die Simulation dynamischer Bremsmanöver zeigt, daß bei Einsatz des neuen Kombi-Bremssystems nicht nur das stationäre Bremsverhalten verbessert wird, sondern daß insbesondere auch die bei Fahrzeugen mit Telegabel bekannte Problematik des dynamischen Überbremsens des Vorderrads deutlich entschärft werden kann. Das Bremsverhalten in Kurven wurde noch nicht systematisch untersucht; Simulationsrechnungen hierzu sind jedoch in Vorbereitung.

Ein ausgesuchtes Versuchskraftrad wurde entsprechend der Vorgaben umgerüstet und in Betrieb genommen. Die Fahrerprobung über bislang ca. 1500 km brachte ausnahmslos positive Ergebnisse; sowohl die absolut erzielbaren Verzögerungen unter allen Randbedingungen als auch die weicheren Fahrzeugreaktionen wurden von den Versuchsfahrern begrüßt. Insbesondere das verstärkte Absenken des Fahrzeugs beim Bremsen bei gleichzeitig reduzierter Nickbewegung wurde positiv beurteilt. Negativ fiel dagegen das deutlich weichere Bremsgefühl auf, das zum einen aus dem vergrößerten hydraulischen System und zum anderen aus prinzipbedingten Elastizitäten im Bremsdruckbegrenzer resultiert. Hier besteht noch Optimierungsbedarf, um das Handkraftgefühl an das bei Krafträdern übliche Niveau anzupassen.

Bisher durchgeführte Messungen bestätigen den subjektiven Eindruck: Die erreichbaren Verzögerungen steigen mit der Kombi-Bremse an und sie werden schneller erreicht, was in einem insgesamt deutlich kürzeren Bremsweg resultiert.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das vorgeschlagene Kombi-Bremssystem einen wirkungsvollen Ansatz zur Verbesserung der aktiven Sicherheit bei vergleichsweise vernachlässigbar geringen zusätzlichen Systemkosten bietet.

Literatur

- [1] Backé, W.: Grundlagen der Ölhydraulik, Umdruck zur Vorlesung „Grundlagen der Ölhydraulik“, IHP der RWTH Aachen, Aachen 1992.
- [2] Helling, J.: Krafträder, Umdruck zur Vorlesung „Krafträder“, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen, Aachen 1985.
- [3] Wallentowitz, H.: Längsdynamik von Kraftfahrzeugen, Umdruck zur Vorlesung „Kraftfahrzeuge I“, Forschungsgesellschaft Kraftfahrwesen Aachen, Aachen 1989.
- [4] N. N.: ABS Mark II for Motorcycles, Fahrzeugtechnik Ebern GmbH, Ebern 1995.
- [5] N. N.: Honda-Pressemitteilung, Offenbach, 1996.
- [6] Präckel, J.: Fahren von Motorrädern mit und ohne ABS, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Fahrzeugtechnik, Heft F 18, Bergisch Gladbach, 1996.
- [7] Stoffregen, J.: Motorradtechnik, Vieweg-Verlag, Braunschweig, Wiesbaden 1996.
- [8] Weidele, A.: Untersuchungen zum Bremsverhalten von Motorrädern unter besonderer Berücksichtigung der ABS-geregelten Kurvenbremsung, VDI-Verlag, Düsseldorf 1994.

**Weiterführende Forschung zu HONDA's kombinierten
Bremssystemen:
Marktakzeptanz und Kundenerfahrung mit dem CBS
und CBS-ABS in Europa**

***Further Research on HONDA's Combined Brake Systems:
Market Acceptance and Customer Experience with CBS and
CBS-ABS in Europe***

Werner Hagstotz

Hochschule für Wirtschaft – Pforzheim
Deutschland

Tetsuo Tsuchida

HONDA R&D Co.Ltd. – Asaka Centre
Japan

Michael Thiem
Thilo Warda

HONDA R&D Europe – Offenbach
Deutschland

Abstract

This paper presents the results of a large survey in 10 European countries questioning in total 1.219 motorcycle owners of four different HONDA models equipped with enhanced brake systems. The special feature of our analysis is to investigate and compare different Combined Brake Systems (Single-CBS, Dual-CBS) and the CBS-ABS (CBS combined with an Antilock system) from the customer's point of view.

The results show that all systems get a good evaluation based on the riding experience of our respondents. A direct comparison between CBS and CBS-ABS leads to the conclusion that CBS-ABS is even better evaluated than CBS. Even riders having experience with "normal" ABS-systems (with separate brakes for both wheels) prefer HONDA's CBS-ABS, which is considered to be the best brake system currently available on the market.

1. The importance of motorcycle safety: the last twenty years of research

1.1 General findings

To start with a short review of motorcycle safety history, there were many investigations to enhance motorcycle safety. In general the following four basic areas can be outlined (see especially references 19 and 25):

- the rider himself
- the rider's equipment
- the motorcycle and its technical features
- the road and traffic environment

We shall now give a short overview of the most important findings concerning these four points.

Concerning the rider, efforts were made towards better training of the riding skills. This refers to the improvement of driving school education as well as voluntary training to enhance the skills even of experienced riders. Besides riding skills, psychological concepts to reduce risk-taking especially of younger riders were part of much training (see references 17 and 18). Also the riders' willingness to accept safety devices has to be continuously developed.

The rider's equipment is another important point to enhance safety. It starts with a better visual perception by wearing maybe a coloured riding suit with reflectors to be seen even under bad weather conditions instead of the old traditional black leather suit of the sixties. The development of protectors for rider's equipment and the improvement of helmets, gloves and boots were other steps towards better equipment. One problem is that opposite to riders from countries like Germany where protective clothes are common sense, elsewhere this type of equipment is by far not that well accepted.

A lot of progress was achieved with the improvement of the motorcycle and its technical features: more riding stability by better frames, more safety by better tyres and brakes (we shall come back to this point later on) and easier operation by optimised switches and levers were only some of these factors. The improved reliability of the whole system went in the same direction to increase motorcycle safety. Actual research towards an "Experimental Safety Motorcycle" using intelligent electronic systems is another contribution to motorcycle safety (see 14).

The road and traffic environment can only be improved by a wide co-operation of motorcycle research, manufacturers, public authorities, press and other institutions. In Germany the work of the "Institut für Zweiradsicherheit" (IfZ) for motor-

cycle safety has given an excellent example of successful actions towards road-side environment (see 25). The research focused upon the necessity for improvement of road surfaces, often being dangerous for two-wheelers, as well as effective rider-protective measures on crash barriers. The education of other traffic participants concerning the performance and limitations of two-wheelers is another important factor.

Altogether these four elements to improve motorcycle safety have been very successful in the last years. Additional positive effects came from socio-economic changes in the structure of the motorcyclists: a relatively higher share of older riders with more experience in traffic conditions and less risk-taking attitudes entered the motorcycle market. To give the example of Western Europe, these effects together led to a decrease of 14% in the number of motorcycle fatalities from 1980 to 1990, in spite of a growing number of registrations of motorcycles. In Germany this decrease of motorcycle fatalities was still better and reached 38% from 1980 to 1990 (see 25). This decrease has continued in the last years but seems now to have come to a standstill in Germany, still on a much lower level than in the past decades.

1.2 Motorcycle safety and brake systems

We have already pointed out that the brake systems of motorcycles have also evolved a lot in the last twenty years. Drum-brakes were gradually replaced by disc brakes on some types of motorcycles. First with one disc at the front wheel, then with double-disc front brakes, and finally with disc brakes even on the rear wheel. Together with improved motorcycle tyres, the performance of today's brake systems allows the riders to achieve a high deceleration, depending on their skills. But they are often not able to exploit the brakes' full potential.

This leads to a situation that can be described by a picture of an opening gap between the modern brake system and the rider's abilities to use it (see 5).

The results are typical rider-reactions as reported in research publications (see especially 5, 7, 13, 16, 20, 21 and 24):

- Beginners and less experienced riders normally use just 30% to 50% of the deceleration possible to achieve with a modern brake system.
- Some riders (especially custom bike riders) are mainly braking with the rear wheel and thus giving up about 70% of the maximum available deceleration.
- If the rear wheel locks in a panic situation most riders release both brakes, foot pedal and hand lever.

The rider has to apply the correct brake force on both hand lever and foot pedal, and control the brake force distribution under changing conditions, such as weather, road surface and loading conditions (Fig. 1). The result is that many riders are nearly afraid of braking hard because they are concerned about a locking wheel or an instability of the bike. The maximum decelerations that can be achieved with modern standard brakes are not used (see 13).

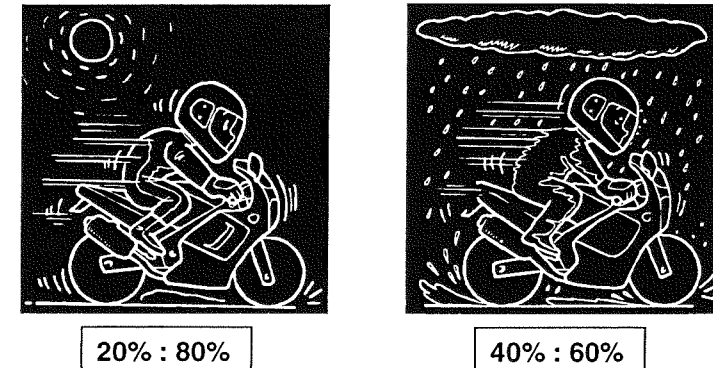


Figure 1: The optimum brake force distribution is different according to the conditions

Research on the reality of braking under real traffic conditions also pointed out that incorrect braking is one of the most important factors influencing motorcycle accidents (see especially 13, 15, 20 and 23). The main reasons for these findings are the following:

- In panic situations the rider tends to apply the brakes too suddenly, which may lead to a dynamic overbraking of the front wheel.
- The task of controlling the optimum brake force distribution has already been mentioned. In a panic situation, such constraints might even be problematic for an experienced rider.
- Optimum braking in a corner brings in even more complications.

In the last years many efforts were made to make this task of optimum braking more effective and easier to operate for the rider by adapting brake systems such as on modern cars to the motorcycle. The antilock-brakes (later on abbreviated by ABS for the German word Antilockier-System) and the idea to make braking easier by using only one lever or pedal led to the development of combined brake systems (CBS). The following main issues marked important steps in motorcycle braking technology:

- The development of the first mechanical types of antilock-brakes. These mechanical ABS were successful in field trial undertaken in the UK in 1985 (see 23), but never came to the market.
- The first electronic ABS showed its superiority compared to mechanical ABS (see references 9 and 11). Development and marketing of ABS is closely connected with the efforts of BMW: sales of their electronically controlled ABS started in 1988.
- The idea to combine both brakes of a motorcycle at the foot pedal to make braking easier and more effective is not new (see 8 and 10). Moto Guzzi has produced such so-called integral brake systems for many years. In 1993 HONDA came to the market with the Dual-Combined Brake System (Dual-CBS) of the CBR 1000 F (where always both brakes are applied independently if hand lever or foot pedal are used).
- The combination of both the Dual-CBS and the ABS was developed and went into production on HONDA's ST 1100 CBS-ABS for the first time in 1996 (see 3).

During the years of research the advantages of the new braking technologies were mainly pointed out from the scientific point of view. Researchers and test riders, in nearly every case very experienced motorcycle riders, demonstrated the objective superiority of electronic ABS against mechanical ABS or of CBS against conventional brakes. The question was seldom raised how an average rider or maybe a beginner would manage to use the new braking technology (see 5, 10 and 13 for an exception). To close this gap in safety research, this paper deals with market acceptance and customer's actual experience with HONDA's CBS and CBS-ABS.

2. HONDA's approach to enhanced braking

2.1 HONDA's basic brake technology concept

Figure 2 shows how basic considerations about motorcycle braking and its difficulties lead to different technical solutions: CBS, ABS and CBS-ABS.

We have already shown in chapter 2 that optimum braking requires appropriate brake force distribution between front and rear brakes. The correct distribution varies depending for example on road conditions and traffic situation, and it can be said that this correct distribution of brake force is a demanding and sometimes stressful task. With the support of CBS braking gets easier and is done with better performance because the combined system releases the rider from independently controlling front and rear brakes and always provides a brake force

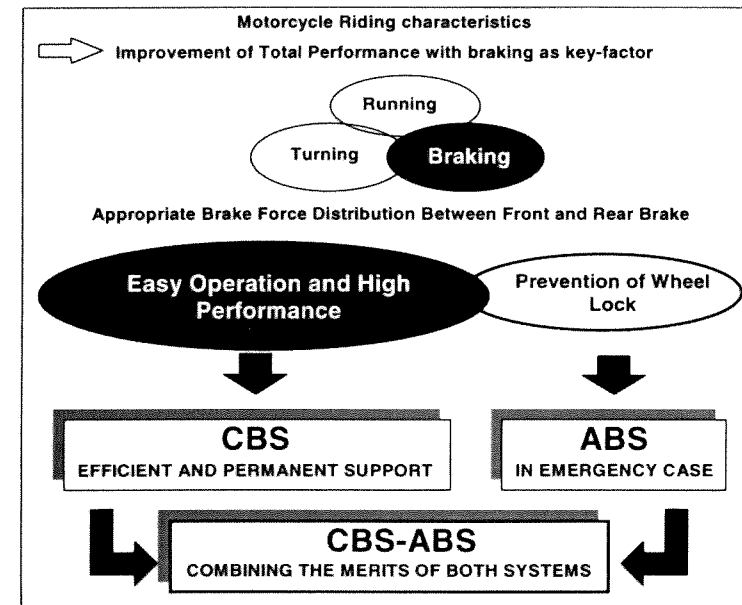


Figure 2: HONDA Brake Technology Concept

distribution close to the optimum characteristic (see figure 3). With Dual-CBS the brake force distribution characteristics are close to the ideal distribution curves.

ABS puts the focus on another critical point of braking behaviour: the concern of wheel lock when the rider exceeds the limits of braking. From this point of view ABS is a prevention tool in an emergency case whereas the CBS is a permanent braking-support.

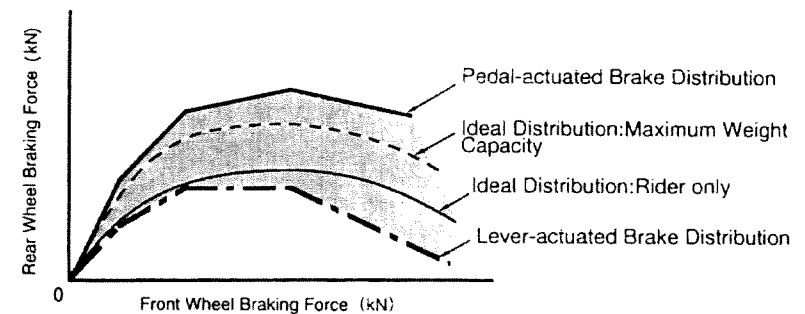


Figure 3: Dual CBS-Braking force distribution characteristics

3.2 Overview of the investigated brake systems and models


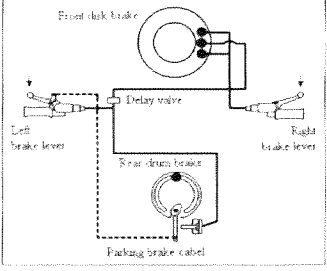

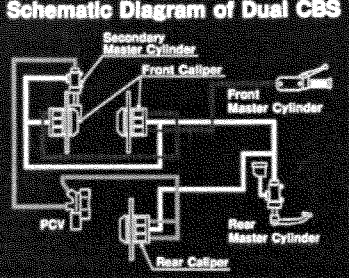

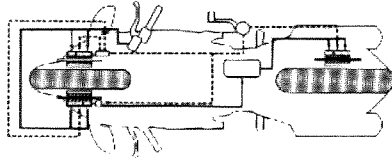

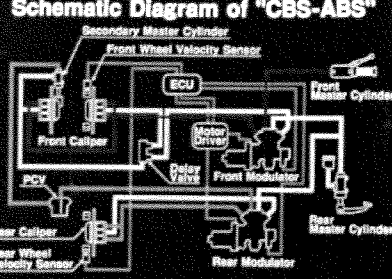
Model and Brake System	Brake System	
	Description	Outline of system
 <p>FES 250 Single CBS from 1997 as standard equipment</p>	<p>Simultaneous front and rear brake application with the left hand brake lever; the right hand lever independently operates the front brake</p>	<p>Diagram Combined Brake System</p> 
 <p>CBR 1000 F Dual CBS From 1993 as standard equipment</p>	<p>Simultaneous front and rear brake application with both brake levers always providing brake force distribution within the optimum range by a second master-cylinder and a pressure control valve (PCV)</p>	<p>Schematic Diagram of Dual CBS</p> 
 <p>CBR 1100 XX Dual CBS Evolution 2 From 1996 as standard equipment</p>	<p>Enhanced Dual-CBS with an additional delay valve reducing the standing up tendency when applying the footbrake in a turn</p>	
 <p>ST 1100 CBS-ABS From 1996 as optional equipment</p>	<p>The Dual-CBS function with its simultaneous front and rear brake application is combined with a compact motor controlled ABS</p>	<p>Schematic Diagram of "CBS-ABS"</p> 

Figure 4: Short description of the investigated brake systems

2.3 Application of CBS and ABS to models in Europe

The expansion of HONDA's motorcycle and scooter line-up equipped with CBS and ABS is shown in figure 5 below:

MODEL	TYPE	1983	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999
GL 1100	Tourer	First CBS								
ST 1100 Pan-European*	Tourer		ABS	⇒	⇒	⇒	CBS-ABS	⇒	⇒	⇒
CBR 1000 F	Sport T			Dual-CBS	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒	⇒
CBR 1100 XX	Sport						Dual-CBS	⇒	⇒	⇒
FES 250 Foresight	Scooter							Single-CBS	⇒	⇒
VFR 800 F	Sport								Dual-CBS	⇒
FES 125 Pantheon	Scooter								Single-CBS	⇒

(* ABS and CBS-ABS are optional)

Figure 5: Expansion of CBS and ABS line-up among HONDA-models

In the case of CBS the story began for HONDA with the conventional foot brake CBS on the "Gold Wing" GL 1100 in the year 1983. The CBR 1000 F with the first Dual-CBS with foot and hand operation was launched in 1993. In 1996 the further enhanced Dual-CBS (Evolution 2) of the CBR 1100 XX came to the market, and in 1997 the CBS-technology was adapted to the scooter segment with the Single CBS of the FES 250 "Foresight". In 1998, the relaunch of HONDA's VFR equipped with Dual-CBS Evolution 2 may further increase sales volume in this segment.

The evolution of ABS was in the first years mainly influenced by the successful efforts of BMW. HONDA started in 1992 with an electronic ABS on the "Pan European" ST 1100. The year 1996 from our point of view sets a milestone with the idea of combining the above discussed advantages of CBS and ABS in one integrated system: the ST 1100 CBS-ABS was launched to the market.

The actual market acceptance by the customers is the keypoint in expanding and promoting such systems. Fig. 6 shows the increasing sales volume of HONDA models equipped with CBS and CBS-ABS in Europe. In accordance with the continuous expansion of HONDA's model range with CBS this volume will expand further in the next years. In 1998 Suzuki also launched a new scooter (AN 250 Burgman) with a CBS system.

As we can see there is a positive acceptance for the new brake systems from the customer. The following sections with results from our survey data including ten European countries will bring more detailed information about market acceptance and customer experience with the new brake systems.

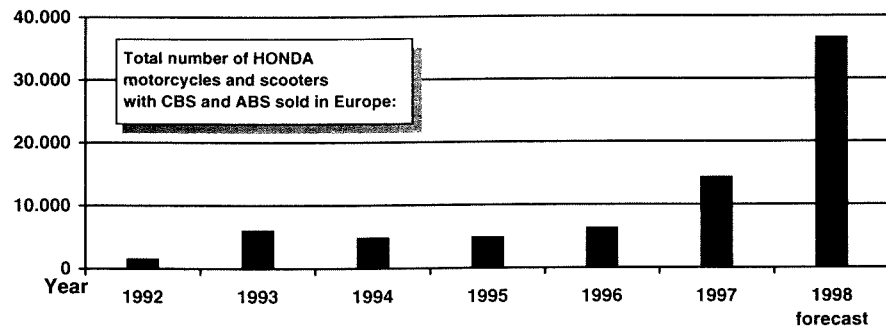


Figure 6: Sales quantity of HONDA models with CBS and ABS in Europe

3. Our data basis: survey method

HONDA's previous investigations with riders of the CBR 1000 F and the ST 1100 indicated a high appreciation and positive evaluation of the brake systems in general. To generate a larger database allowing comparisons between different European countries and different HONDA models a mail survey was sent out in February 1998 with a total base of 3.093 questionnaires. Owners of the following four models were part of the survey:

- CBR 1000 F with Dual-CBS
- CBR 1100 XX with Dual-CBS (Evolution 2)
- ST 1100 with CBS-ABS
- Scooter FES 250 "Foresight" with Single-CBS.

Until the end of March 1998 there were in total 1.219 respondents who had sent back the completed questionnaire (which corresponds to a response rate of 39%). This response rate may not be a statistically exact representative sample of all HONDA CBS-owners, but we believe that we are very close to typical CBS owners and their evaluation.

4. The motorcycle riders: profile of our respondents

4.1 HONDA-models and countries in our survey

Figure 7 shows the distribution of HONDA-models and countries in our survey:

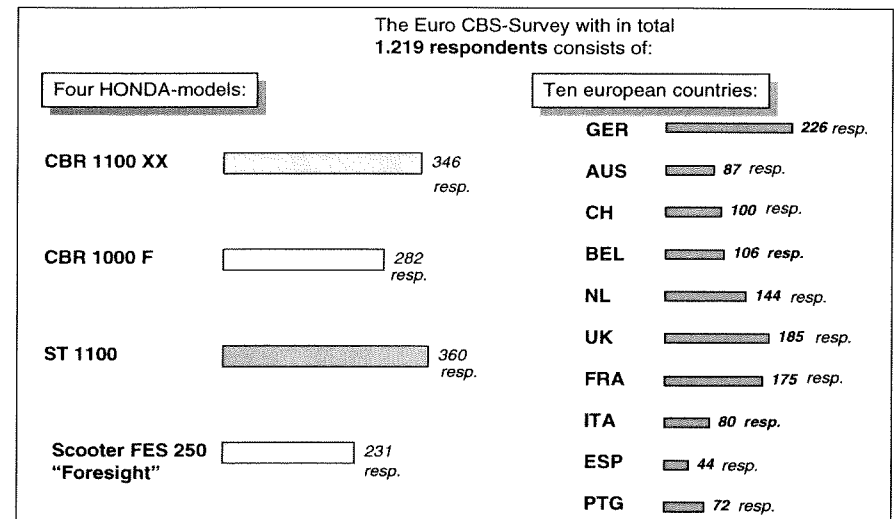


Figure 7: HONDA-models and countries in our survey

It can be seen that the number of interviews representing the four different HONDA-models is quite similar: the range begins with 231 scooter-owners and ends with 360 ST 1100-owners. That means we can analyse possible differences between the models on a sufficient database. Concerning the ten countries there are bigger differences: Spain (ESP) is represented by only 44 respondents (2 models investigated), while the German data consist of 226 interviews (4 models). These differences are also reflecting the sales situation of the models in the different countries. Analysing national differences therefore has a wider element of uncertainty than comparing the four models.

4.2 Experience on two wheels

Figure 8 shows that our respondents are very experienced bikers or scooter owners: they have a riding experience between 12 and 23 years, and they are riding more kilometres per year than the average rider is (e.g. 7.100 km, see reference 26). That means they are a qualified jury for the evaluation of bikes and brake systems, which is the main issue of this paper.

The respondent's profile is not only determined by the purchased model and the country of origin, but also by factors like experience on two-wheelers:

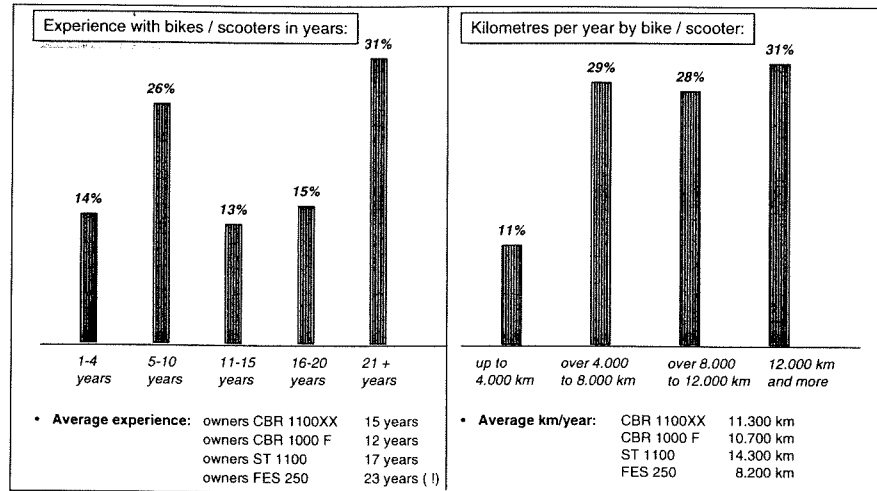


Figure 8: Our respondents: experience on two wheelers

4.3 Motorcycle / scooter usage

The using habits concerning motorcycle or scooter will be the next step in order to work out our respondent's profile:

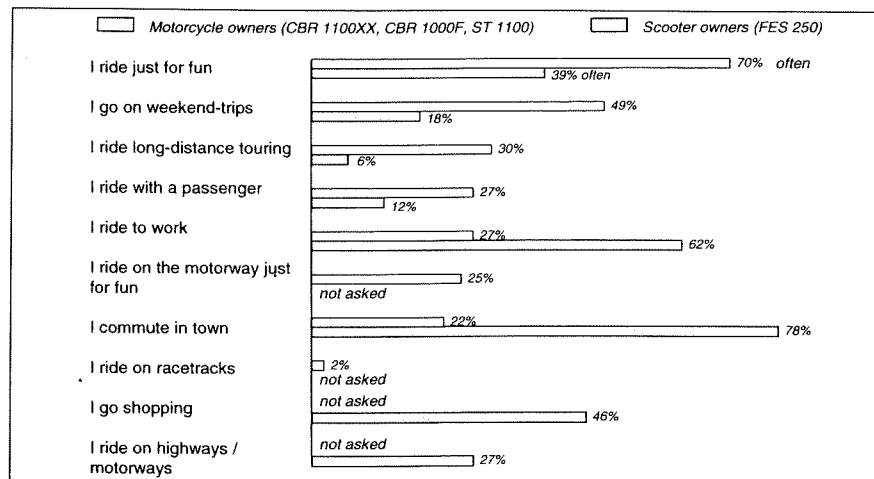


Figure 9: Using habits of motorcycle / scooter

There are two different using patterns which can clearly be seen in our data: the scooter is mainly used for commuting in town, riding to work and shopping, whereas the bike typically is used just for fun, for weekend-trips and even for longer touring with a passenger. To say it simply: using a scooter is primarily need-oriented, whereas using a bike is fun-oriented.

4.4 Technical buying reasons

To complete our respondents' profiles we should have a look at the importance of different technical items when buying the current motorcycle or scooter:

	CBR 1100 XX	CBR 1000 F	ST 1100	FES 250
Maximum power:	69%	Riders comfort: 61%	Brakes: 65%	Handling / stability: 55%
Handling / stability:	64%	Brakes: 46%	Riders comfort: 60%	Brakes: 47%
Torque / roll-on acc.:	50%	Passengers comfort: 42%	Weather protection: 49%	Weather protection: 46%
Brakes: 35%	Handling / stability: 40%	Passengers comfort: 33%	Handling / stability: 40%	Riders comfort: 45%
Riders comfort: 33%	Maximum power: 37%	Passengers comfort: 33%	Passengers comfort: 33%	Fuel consumption: 36%
Top speed: 30%	Torque / roll-on acc.: 33%	Range: 33%	Range: 33%	Maximum power: 29%
Passengers comfort: 17%	Seat position: 32%	Seat position: 24%	Seat position: 24%	Seat position: 19%
Seat position: 13%	Weather protection: 18%	Torque / roll-on acc.: 21%	Torque / roll-on acc.: 21%	Range: 17%
Weight: 9%	Range: 11%	Maximum power: 12%	Maximum power: 12%	Torque / roll-on acc.: 15%
Weather protection: 5%	Top speed: 10%	Fuel consumption: 11%	Fuel consumption: 11%	Passengers comfort: 11%
Fuel consumption: 3%	Fuel consumption: 9%	Top speed: 5%	Top speed: 5%	Top speed: 10%
Range: 3%	Weight: 4%	Weight: 1%	Weight: 1%	Weight: 7%

Figure 10: Most important technical items when buying current motorcycle / scooter

Among the technical items the brakes are one of the key factors in buying decision. Other key factors are riders' comfort and weather protection. There is one exception: riders of the CBR 1100 XX put much more importance to the power- and handling/stability-factors; they are the most sport-oriented riders of the four models.

Concerning the ST1100 an important remark has to be made: it is the only bike in our survey where the buyer could choose between standard brakes and CBS-ABS (for a price-up of about DM 3.500.- including Traction Control System TCS). We have only "Pan-European"-owners in our survey who decided to buy CBS-ABS; therefore the special focus of these riders on the brake system can be partially explained by that buying decision.

There is another important point to be mentioned: we have only a few differences between scooter owners and bike owners when comparing the key factors of

buying decision. The only exception is fuel consumption being of high importance for scooter riders, but not for bikers.

To summarise our first findings, the respondent's profile can be described as follows:

- Very experienced bikers or scooter riders.
- Fun-oriented using pattern for the motorcycle riders, but more need-oriented pattern concerning the scooter riders.
- High importance of the brakes in the buying decision.

5. Overall evaluation of the brake systems

5.1 General evaluation of the brake systems

The respondents overall evaluation of the brake system was measured on a five-point-scale ranging from "very good" to "needs improvement". Figure 11 shows the results concentrating on very good and good evaluations for the four HONDA-models:

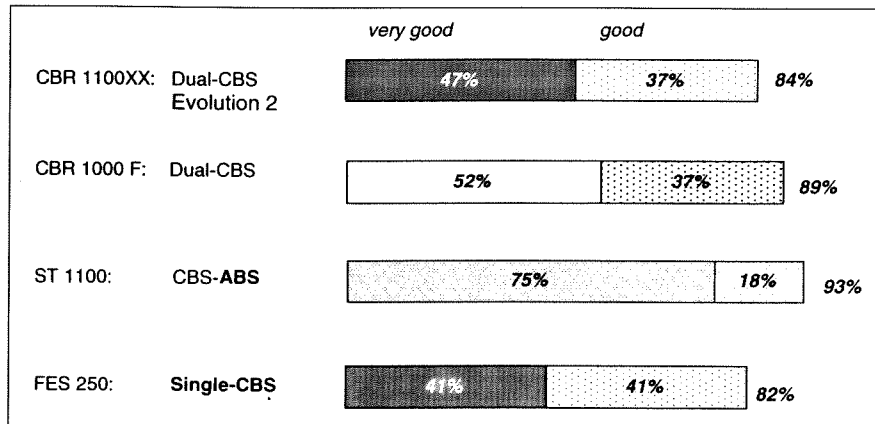


Figure 11: Evaluation of brake system in general

When comparing the overall evaluation of the brake system we find again a good judgement for the three CBS-models, but an excellent one for the CBS-ABS of the ST 1100: 75% of the "Pan European"-owners are evaluating their brakes with the best possible grade.

The "older" Dual-CBS of the CBR 1000 F gets a little bit better judgement than the "Evolution 2" system of the XX. We presume that this can be explained by the different rider groups of both bikes (the XX-riders being more sport oriented, whereas 1000 F-riders are more touring oriented). Besides this the technical difference between the first and the "Evolution" Dual-CBS can be reduced to one major point: a delay valve at the CBS of the XX makes braking in a corner easier (less stand-up tendency when applying the foot pedal).

5.2 Advantages of CBS and CBS-ABS

The advantages of CBS and CBS-ABS from the riders' point of view are shown in figure 12:

CBR 1100XX	CBR 1000 F	ST 1100	FES 250
Easier braking: 59%	Easier braking: 66%	Easier braking: 70%	Easier braking: 63%
Higher performance: 50%	Higher performance: 47%	Higher performance: 53%	Higher performance: 49%
No advantages: 8%	No advantages: 3%	No advantages: 1%	No advantages: 6%
• Additional open question: other advantages?	• Additional open question: other advantages?	• Additional open question: other advantages?	• Additional open question: other advantages?
Better stability: 30%	More safe: 32%	More safe: 57%(!)	Automatic brake force distribution: 38%
More safe: 30%	Better stability: 24%	Better stability: 20%	More safe: 27%
Automatic brake force distribution: 28%	Automatic brake force distribution: 24%	Better efficiency: 12%	Better stability: 25%

Figure 12: The advantages of CBS/CBS-ABS

A closed question about the advantages of CBS / CBS-ABS clearly outlines that there are indeed big advantages (only 1% to 8% saying "no advantages"). It is interesting to see that "easier braking" is even more important than "higher performance". We shall come back to this point when discussing national differences in chapter 8.

In total 19% of our respondents see additional other advantages of their brake system. An open question brings up these other advantages of CBS / CBS-ABS: "more safe", "better stability" and "automatic brake force distribution" are the most frequent answers. Especially the CBS-ABS on the ST 1100 is very much appreciated. All in all, the ST 1100-owners gave more positive answers in closed and open question than the owners of the other three models.

6. Respondents' experience with the brake systems: specific aspects

6.1 Inconveniences about CBS / CBS-ABS

We will now focus on two specific aspects of CBS and CBS-ABS: first of all the "everyday life-experience", that means the question if the rider sees any inconvenience about the brake system or not. Our second aspect will be the evaluation of the system in panic situations.

The first aspect can be seen in figure 13:

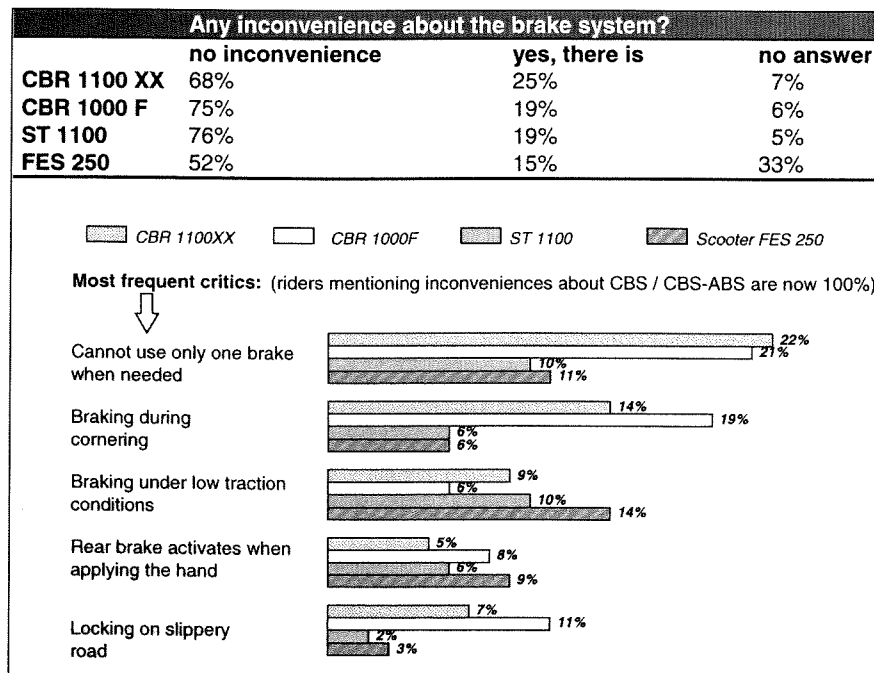


Figure 13: Respondents experience: inconveniences about CBS / CBS-ABS

The most important result: the large majority of riders see no inconvenience about CBS and CBS-ABS. This majority reaches 76% (ST 1100-owners) down to 52% (FES 250-owners, due to 33% not answering this question). In other words: only a small minority of 15% to 25% of the riders mentions any inconvenience about the brake system. The big majority agrees to CBS / CBS-ABS without any criticism.

Among the few critical riders we can find out the following points from their point of view:

- No chance to use only one brake when needed (e.g. to test the road conditions by a short locking of the rear wheel). This is more important for sporty riders of a CBR 1100 XX than for touring oriented riders owning a ST 1100 or for scooter riders.
- Braking during cornering (e.g. CBS causes diving of the front wheel when applying the foot pedal).
- Low traction road conditions (e.g. it is impossible to brake only the rear wheel, and it can be a problem not to realise the already locking rear wheel when braking hard with the foot pedal).

6.2 The brake system in a panic situation

The second aspect we mentioned is the evaluation of the brake system in a panic situation. Let us first see how many of the owners of the four models had such an experience with their current bike or scooter (see figure 14 below):

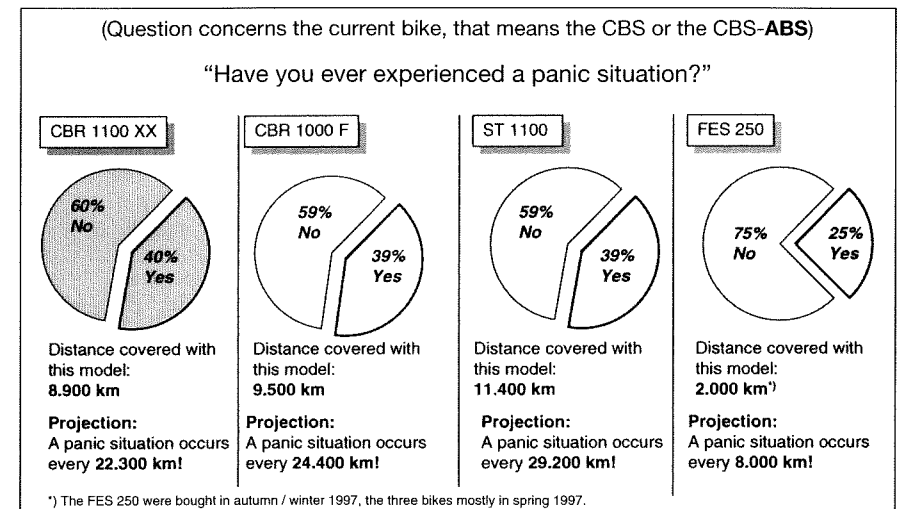


Figure 14: Respondents experience: the brake system in a panic situation (I)

About 25% to 40% of our respondents have already experienced a panic situation with the current bike or scooter. A good chance to evaluate performance and operation of the brake system which will be shown in our next figure.

In relation to the distance covered with the current two-wheeler a projection was made concerning the occurrence of a panic situation. The results are striking: whereas the typical motorbike owner has this experience on an average every 25.000 kilometres, the scooter rider only covers a distance of 8.000 kilometres until a panic situation may happen.

This big difference between bikes and scooter can be explained by the different usages. As shown in the beginning of this paper the FES 250 is mostly used for commuting and city touring with much more traffic and riding in all weather conditions (see reference 22 for a further discussion).

Figure 15 shows how riders and brake system managed this panic situation (the data relate to the 36% who already had a panic situation with the current bike or scooter):

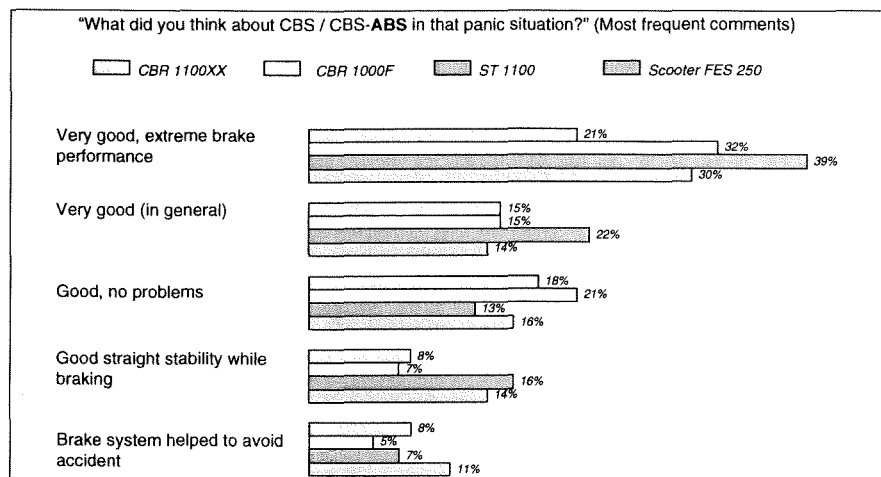


Figure 15: Respondents experience: the brake system in a panic situation (II)

The open question about the respondent's experience with the brake system in a panic situation brings up a lot of rider's comments. The most important thing is that nearly all of these comments are positive judgements.

Once again the CBS-ABS of the ST 1100 gets an even better judgement compared with the other CBS-systems. We assume that due to the additional ABS, ST-riders dare to brake harder, achieving a higher deceleration. This leads to a very good evaluation not only in extreme brake performance, but also concerning good straight stability while braking. The superiority of this CBS-ABS-system in a panic situation is clearly visible.

6.3 Respondents who are critical about CBS: a special analysis

We will now have a look at one group of riders we should pay special attention to: the minority of respondents who don't judge CBS or CBS-ABS positively. Out of the total of 1.219 respondents two rider groups were considered for this special analysis. First of all the riders judging the brake system as only "satisfactory" or worse (127 respondents = 10,4%, see figure 16), and the people not considering to buy CBS, ABS or CBS-ABS for their next motorcycle (83 respondents = 7%).

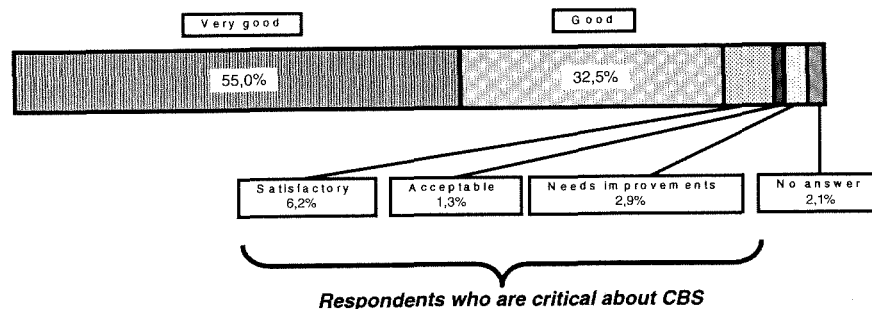


Figure 16: General judgement of the CBS systems (all 4 models)

Figure 17 shows the characteristics of both groups compared with our "average" respondent:

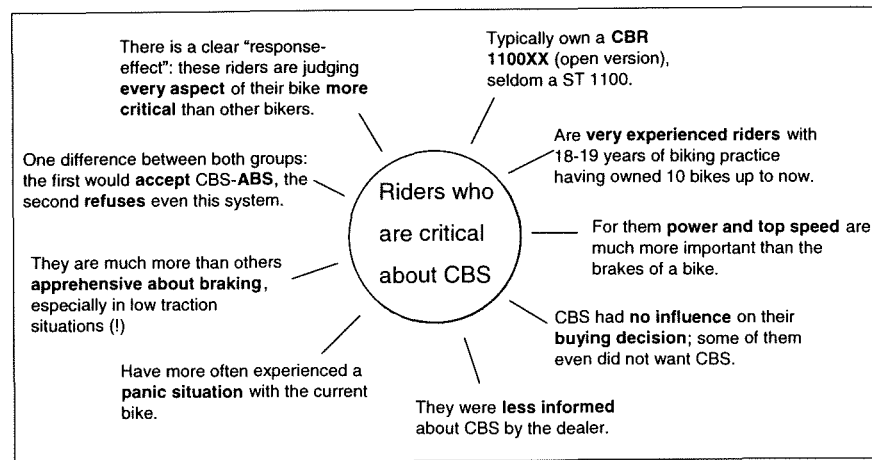


Figure 17: Respondents who are critical about CBS: a special analysis

The characteristics of these riders pointed out in this special analysis are remarkable: riders who are critical about CBS are on average very experienced and sporty riders. They see especially one disadvantage of CBS: braking in low traction situations.

These results need some further explanation. First of all, the finding is not new that riders which are very critical against CBS or CBS-ABS can mostly be found among experienced sporty riders and less among beginners or average riders. Already some years ago previous research of the authors about the acceptance of CBS by rider groups of varying levels of skill showed the same results (see references 5, 7 and 10). The problem was that the very small number of respondents in these earlier studies did not allow a quantification of the findings.

We presume that the negative opinions of some sport-oriented riders are resulting from a variety of factors that are individually different and often related to a particular brake use:

- A combined brake system or even an ABS may be seen as a “system for not so skilled riders” who have not learned to brake at the optimum like these experts.
- Indeed some experienced riders are used to test an unknown road surface by a short and hard step on the foot brake to “learn” the friction coefficient of the road below their wheels. This does not work with CBS because the front wheel is also braking and they cannot use their experience to judge the friction.
- In low traction situations this consideration is intensified because an already locking rear wheel might not always be noticed before the front wheel locking occurs when braking hard by foot pedal.

All in all further research will be needed to make sure about these assumptions. However the problem should not be underestimated: experienced riders are very often opinion leaders in the motorbike scene (see reference 6) influencing the buying decisions of many other riders.

7. National differences

Up to this point the ten European countries and their national differences played a minor role. To complete our data analysis this chapter will now bring in the most important national effects.

An important point concerning the methods used has to be made first. Because of different relations in the distribution of models per country, we cannot simply

compare the ten countries. Therefore we carried out detailed analysis comparing the countries separated by each model. Thus we can be sure to find real national differences which are not mixed with the differing acceptance of the models.

The results are presented for each of the ten countries in figure 18. The “arrow” symbols always refer to the average value for all the ten countries taken together: an arrow aiming up means above average, and an arrow aiming downwards means below average.

In the column titled “Evaluation” the abbreviation D-CBS stands for Dual-CBS and S-CBS for the Single-CBS of the FES 250-scooter.

Country	Evaluation	Advantages	Buying intention	others
Germany	CBS ↘ CBS-ABS ↗	1) better perf. 2) easier braking	CBS-ABS ↗	
Austria	CBS ↗	1) better perf. 2) easier braking		Interested in CBS technology
Switzerland	D-CBS ↘ S-CBS ↗	1) better perf. 2) easier braking		Interested in CBS technology
Belgium	CBS ↘ CBS-ABS ↗		CBS ↗	
The Netherlands	CBS ↘ CBS-ABS ↗		CBS-ABS ↘	
UK	CBS ↘ CBS-ABS ↗	1) easier braking 2) better perf.	CBS-ABS (by non-owners) ↘	Not much interested in CBS technology
France	CBS ↘ CBS-ABS ↗	1) easier braking 2) better perf.		Highest change of braking behaviour, but no problem
Italy	S-CBS ↘		CBS-ABS (by scooter cust.) ↗	High interest in S/C ABS, the big problem is to get used to CBS
Spain	↔	1) easier braking 2) better perf.	CBS ↘	higher percentage of respondents see inconveniences with CBS
Portugal	↔	1) easier braking 2) better perf.	CBS-ABS ↘	Interested in motorcycle ABS

empty cells = no difference from European average

Figure 18: Evaluation of CBS and CBS-ABS in ten European Countries

All in all there seems to be some differences in Europe between the northern to southern countries:

- The evaluation of CBS and CBS-ABS is better in the northern countries.
- Riders in northern countries see the main advantages in better performance, whereas riders in southern countries emphasise easier braking.

There is one exception: riders in the UK. They are first of all interested in engine power and less in brake technology. To create an acceptance for CBS and CBS-ABS brake systems is particularly difficult in England where the motorcycle market is dominated by sportsbikes. On the other hand, it is interesting to notice a positive evaluation of CBS-ABS by ST 1100 owners.

8. Brake system of next motorcycle / scooter

We have seen so far that the overall evaluation of CBS and CBS-ABS as well as the judgement under specific situations is very positive for the big majority of riders. An outlook on the buying preferences of our respondents concerning the brake system of the next motorcycle or scooter will complete these findings (this question was answered by all respondents, not only by those with concrete buying plans):

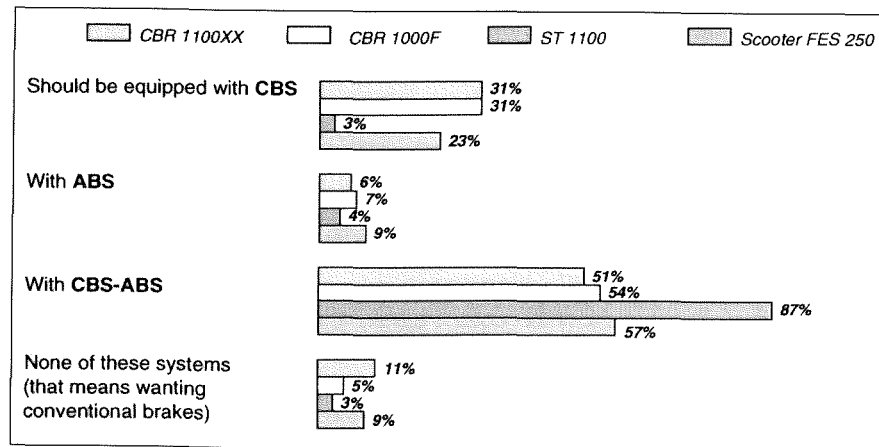


Figure 19: Brake system of next motorcycle / scooter

The satisfaction with CBS and CBS-ABS is overwhelming: 80–90% of the respondents want to have a CBS system (CBS or CBS-ABS) again on their next bike. But the majority of them would like to have CBS in combination with ABS, especially ST riders.

We think it is very important here to make the clear distinction between the two functions: as shown CBS is a permanent support for the rider providing easier operation and higher performance in comparison with the standard brake system with two independent brakes. ABS is so-to-say a function that prevents wheel

locking in an emergency case. The buying preferences in our ten-country-survey show clearly that CBS-ABS is the winner mainly because it is a CBS! That is the clear conclusion of the fact that only a small minority between 4% to 9% of the respondents want an ABS without added CBS. In simple words: CBS-ABS seems to be the brake system of the future.

9. Conclusions

To conclude the most important findings, we can summarise the following points:

1. The evaluation of new technologies from the users' viewpoint is a very useful tool to investigate their merits, which may lead to further improvement of such systems. In this way our investigation of HONDA's combined brake systems adds a new dimension to the previous research focusing on technology and vehicle dynamics.
2. From the same point of view the benefits of CBS and CBS-ABS in comparison with conventional motorcycle brakes are obvious. With combined brake systems optimum braking is easier and more effective which confirms the results of previous research.
3. The CBS-ABS gets an even better judgement than the CBS. This means that CBS-ABS can be positioned on top of all existing motorcycle brake systems.
4. When purchasing their motorcycle, CBS usually was an important, but not dominating sales feature for the customers (the one exception: owners of the ST 1100, see figure 10). After gaining own riding experience their evaluation of CBS became very positive, and a large share now wants to have their next bike equipped with CBS-ABS or CBS.
5. The minority of riders not in favour of CBS-ABS or CBS represents a very small group of customers with particular characteristics. In our ten-country-survey it was only about 10%, which means that nearly 90% of the customers are already convinced of CBS-ABS or CBS. This is a clear vote of the market.

References

- [1] Aoki, K./Miyamaru, Y.: Development of a Simulator for Safety Riding for Motorcycles, Small Engine Technology Conference, Japan, October 1997.
- [2] HONDA-Presentation: Environment – Safety – Mobility, Cologne, IFMA 1996.
- [3] Kato, M. and others: Combination of Antilock Brake System (ABS) and Combined Brake System (CBS) for Motorcycles, AVEC-Conference Aachen, June 1996.
- [4] Matsuto, T./Ota, A./Suzuki, O.: Research of Compact Motor Driven ABS, ISATA-Conference, Stuttgart, September 1995.
- [5] Hagstotz, W./Ludsteck, W.: Motorcycle Braking – A Gap Between Technology and Rider? Investigations on Different Brake Systems and their Usefulness for the Rider, in IATSS Research Vol. 19 No. 1, 1995, p. 18–26.
- [6] Schmidt, Raphael: Test report about HONDA CBR 1000F, Kawasaki GPZ 1100 and Suzuki RF 900, in: PS (motorcycle magazine), Vol. 1/1995, p. 19–24.
- [7] Hagstotz, W.: Zur Psychologie des Bremsens, presented at the "Motorradforum '94" of IfZ and the University of Bielefeld, February 21th, 1994.
- [8] Tsuchida, T. and others: Further Research on Combined Brake System for Motorcycles, Small Engine Technology Conference, Pisa, October 1993.
- [9] Hikichi, T./Tomari, T./Kato, M./Thiem, M.: Research on Motorcycle Antilock Brake System (Part 3), IMSC-Conference, Bochum, October 1991.
- [10] Nishimoto, Y./Iwashita, K./Tsuchida, T./Thiem, M.: Research on Combined Brake System for Motorcycle, IMSC-Conference, Bochum, October 1991.
- [11] Hikichi, T./Tomari, T./Kato, M./Thiem, M.: Research on Motorcycle Antilock Brake System (Part 2), ISATA-Conference, Vienna, December 1990.
- [12] Hikichi, T./Tsuchida, T./Thiem, M.: Influence of Antilock Brakes on Motorcycle braking in a turn (Part 1), VDI Seminar, Darmstadt, October 1989.
- [13] Präckel, J./Schmieder, M./Weidele, A./Breuer, B.: Zusammenwirken von Fahrer, Bremsanlage, Reifen und Fahrbahn hinsichtlich der Bremssicherheit von Krafträdern, in: ATZ Automobiltechnische Zeitschrift 98 (1996) 1.
- [14] Breuer, B./Bachmann, V./Präckel, J./Schmieder, M./Tomita, T.: Approaches to enhance motorcycle safety, in: IATSS Vol. 19, Nr. 1/1995, p. 7–17.
- [15] Weidele, A.: Untersuchungen zum Bremsverhalten von Motorrädern unter besonderer Berücksichtigung der ABS-geregelten Kurvenbremsung, Dissertation TH Darmstadt 1993, VDI-Fortschritt-Berichte Reihe 12 Nr. 210.
- [16] Präckel, J.: Das Bremsverhalten von Motorradfahrern – ein Beitrag zur Mensch/Maschine-Schnittstelle, in: 6. VDI-Fachtagung Motorrad, VDI-Berichte 1159, Düsseldorf 1994, p. 67–102.
- [17] Koch, H./Hagstotz, W.: Einflußfaktoren auf die Unfälle von Motorradfahrern. Empirische Überprüfung der Annahmen und Voraussetzungen eines Stufenführerscheinmodells, in: Forschungsheft Nr. 6 des Instituts für Zweiradsicherheit, Bochum 1990, p. 139–164.
- [18] Koch, H./Schulz, U.: Was beeinflusst das Unfallgeschehen von Motorradfahrern? Diskussion der Ergebnisse empirischer Studien und verkehrspädagogische Konsequenzen, in: Forschungsheft Nr. 6 des Instituts für Zweiradsicherheit, Bochum 1990, p. 217–227.
- [19] Koch, H./Brendicke, R.: Zum Stand der Motorrad-Unfallforschung und Sicherheitsentwicklung, in: VDI-Berichte 779, Düsseldorf 1989, p. 57–79.
- [20] Müller, E./Jonner, W. D./Böning, B.: Antiblockiersystem für Motorräder, in: VDI-Berichte 779, Düsseldorf 1989, p. 281–302.
- [21] Weidele, A.: Untersuchungen zur Kurvenbremsung von Motorrädern – Gedanken zur Bremssicherheit, in: VDI-Berichte 779, Düsseldorf 1989, p. 303–330.
- [22] Nuti, M.: Elektronische Bremskontrolle für ein kombiniertes Bremssystem eines Motorrollers: Ein Beitrag zur aktiven Sicherheit, in: VDI-Berichte 875, Düsseldorf 1991, p. 289–304.
- [23] Cart, J./Pickenhahn, J.: ABS und das Motorrad, in: VDI-Berichte 875, Düsseldorf 1991, p. 305–321.
- [24] Eberspächer, H.: Psychological consideration on brake use patterns of motorcyclists. Proceedings of the International Motorcycle Conference Bochum, 1991.
- [25] Brendicke, R./Forke, E.: Institut für Zweiradsicherheit e.V.: Elements of its Motorcycle Safety Work, in: IATSS Research Vol. 19 Nr. 1/1995, p. 43–50.
- [26] Motorpresse Stuttgart (Editor): Motorradfahren in Deutschland, Stuttgart 1994.

Motorradanprallversuche an passive Schutzeinrichtungen

Crash Tests on Guardrails

Uwe Ellmers

BAST – Bundesanstalt für Straßenwesen – Bergisch-Gladbach
Deutschland

Einleitung und Problemstellung

Passive Schutzeinrichtungen haben die Aufgabe von der Fahrbahn abkommende Fahrzeuge aufzuhalten und umzulenken sowie die Folgen von Unfällen so gering wie möglich zu halten. Die nach den „Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen“ (RPS) [1] in Deutschland verwendeten Rückhaltesysteme sind vornehmlich für Pkw und Lkw Anprallsituationen entwickelt worden. Für diese Einsatzgebiete haben sie ihre Wirksamkeit vielfach bewiesen.

Wirksame Schutzeinrichtungen an Straßen für Motorräder gibt es bislang jedoch nicht. Im Gegenteil, die eingesetzten Systeme bilden für Motorradfahrer eher ein Hindernis und in Einzelfällen sogar eine Gefahr. Aus Unfallberichten und -untersuchungen [2] sind Fälle bekannt, in denen Motorradfahrer beim Kontakt mit einer Stahlschutzplanke neben den unfallbedingten weiteren Verletzungen erlitten haben. Mit Zunahme der Verkehrsdichte und steigenden Zulassungszahlen bei den motorisierten Zweirädern Ende der 70er und Anfang der 80er Jahre kristallisierte sich ein – allerdings vergleichsweise seltener – Unfallablauf heraus, der oft schwerste Verletzungen nach sich zog, die z. T. einem Element am Straßenrand eindeutig zugeordnet werden konnte, dem Schutzplankenpfosten. Unabhängig von der Unfallursache resultierten die z. T. lebensbedrohenden Verletzungen meist nicht vom Sturz selbst, sondern aus dem späteren Anprall des rutschenden Motorradfahrers gegen einen Schutzplankenpfosten [3].

Neben diesem Unfallablauf ist der direkte Anprall und damit der Kontakt des Motorrades mit Aufsassen an eine Schutzeinrichtung ein kritischer Fall, dem Beachtung geschenkt werden muß, da speziell Unfälle mit Beteiligung von Motorrädern für die unmittelbar Betroffenen leidvolle Erfahrungen und oft auch erhebliche Einbußen in der Lebensqualität bedeuten.

Die Problematik des Anpralls von Motorrädern und deren Aufsassen an Schutzeinrichtungen ist seit längerem bekannt. Für die in Deutschland verwendeten Systeme gibt es bislang jedoch keine gezielte Untersuchung zu diesem Thema. Über die Abläufe bei Anprallvorgängen von Motorrädern und deren Aufsassen an Schutzeinrichtungen liegen nur geringe Kenntnisse vor. Auch ist die Frage nach wie vor offen, ob unter den existierenden Schutzeinrichtungen geschlossene Systeme, wie z. B. Betonschutzwände, oder offene Einrichtungen, wie z. B. Stahlschutzplanken, eine geringere Gefahr für Motorradfahrer darstellen. Untersuchungen dazu wurden bisher nicht durchgeführt.

In einem Gespräch zwischen dem Bundesverkehrsminister und Vorstandsmitgliedern des BVDM wurde im März 1997 beschlossen, die Problematik in Form eines Forschungsprojektes, das vom Bundesministerium für Verkehr (BMV) finanziert wird, näher zu untersuchen.

Situation heute

Grundsätzlich stehen auf dem heutigen Stand der Technik drei Lösungen zur Verbesserung der Problematik bereit. Sie werden situationsbezogen für verschiedenartige Anwendungsfälle eingesetzt.

Als wesentlicher Schritt zur Verbesserung des Systems der Stahlschutzplanken ist die Veränderung des Pfostenprofils vom IPE 100 zum Sigma-Pfosten anzusehen. Dies wurde bereits vor etwa 10 Jahren in den Regelwerken [1] festgeschrieben. Der Sigma-Pfosten besitzt abgerundete Kanten und stellt damit beim Anprall eine geringere Gefahr dar. Ein Kontakt kann aber immer noch zu erheblichen Verletzungen führen.

Eine weitere Lösung ist in den aktuellen RPS [1] aufgeführt. Sie wird in der Praxis aber bislang eher selten Verwendung eingesetzt. Bei der einfachen Distanzschutzplanke (EDSP) [4] wird ein zweiter Holm unter dem eigentlichen unverschraubt aufgehängt. Dieser Holm ist am Abstandhalter verschiebbar aufgehängt und weicht beim Anprall nach hinten zurück. Er soll den direkten Kontakt der gestürzten Motorradaufsassen mit den Schutzplankenpfosten verhindern. Das Zurückweichen verringert zum einen die Anprallschwere für anprallende Motorradaufsassen. Zum anderen verhindert dieses Verhalten eine Rampenbildung und die damit verbundene Gefahr des Überfahrens bei einem Anprall eines Pkw an das System. Daraus ergibt sich zwangsläufig ein Nachteil dieser Lösung, die nur an EDSP realisierbar ist und nicht an den ebenfalls häufig eingesetzten einfachen Schutzplanken (ESP) [4], da bei diesem System kein Abstandhalter vorhanden ist. Untersuchungen durch Anprallversuche fehlen ganz.

Aufgrund der Vielzahl von bereits existierenden Stahlschutzeinrichtungen wird gegenwärtig ein anderer Lösungsweg, der besonders die vorhandenen Systeme berücksichtigt, forciert. Dabei wird den Pfosten mit IPE-Profil die meiste Aufmerksamkeit geschenkt, um sie weniger gefährlich für anprallende Motorradaufsassen zu gestalten. An solchen für Motorradfahrer besonders gefährlichen Stellen werden Ummantelungen, den sogenannten Schutzplankenpfostenummantelungen (SPU), an den Stahlschutzplankenpfosten angebracht, um schwere Verletzungen, die infolge des Anpralls des Motorradaufsassen an die Schutzeinrichtungen zusätzlich entstehen können, abzuwenden.

Für diese Produkte wurden 1993 Anforderungen in den „Technischen Lieferbedingungen für Schutzplankenpfostenummantelungen“ (TL-SPU 93) [5] festgelegt. Die dort verankerten Prüfungen, im wesentlichen die Stoßabsorptionsversuche, werden von der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) durchgeführt. Es stellte sich schnell heraus, daß die Anforderungen höher waren als der Stand der Technik hergab. Deswegen entschied sich das BMV für einen Übergangszeitraum von

5 Jahren zwei Anforderungen zu senken. Seit dem 1. 1. 1998 gelten die vollen Anforderungen der TL-SPU. Die im folgenden aufgeführten Produkte haben die Prüfungen bestanden:

- „Crash Absorber“ der Firma SPIG GmbH, Schmelz-Limbach,
- „Anpralldämpfer 35 g/l“ der Firma ADV mbH, Hanau,
- „Anpralldämpfer 30 g/l“ der Firma ADV mbH, Hanau,
- „Protektor“ der Firma F. S. Fehrer GmbH & Co. KG, Kitzingen.

Da desöfteren Fragen hinsichtlich der Gültigkeit von Prüfzeugnissen aufgeworfen werden, soll an dieser Stelle nochmals deutlich gemacht werden, daß die bereits ausgestellten Zeugnisse auch nach dem o. g. Stichtag ihre Gültigkeit behalten. Lediglich neu zur Prüfung vorgestellte Produkte werden nach den höheren, jetzt gültigen Anforderungen geprüft.

Jede dieser drei beschriebenen Maßnahmen ist eine auf die Situation vor Ort angepaßte Lösung, die jede für sich helfen kann, die Problematik des Anpralls von Motorradfahrern an Schutzeinrichtungen zu verbessern. Eine grundlegende Lösung stellt jedoch keine dieser Maßnahmen dar.

Zukünftige Maßnahmen

Mit der Problematik des Anpralls von Motorradaufsassen an Schutzeinrichtungen befassen sich zwei Maßnahmen, die in diesem Jahr begonnen worden sind.

Um grundlegendere Aussagen darüber zu erhalten und langfristig Verbesserungen zu ermöglichen, hat die Medizinische Hochschule Hannover im Rahmen des Dauerprojektes „Erhebungen am Unfallort“ den Auftrag erhalten, eine Sonderauswertung zum Thema „Motorradunfälle an Schutzeinrichtungen“ zu erstellen. Bei dieser speziellen Unfallerhebung werden Daten auf der Grundlage realer Unfälle erhoben und ausgewertet. Zusätzlich ist in diesem Jahr das o. g. Forschungsprojekt mit dem Titel: „Untersuchung von Anprallvorgängen von Motorrädern an passive Schutzeinrichtungen“ initiiert worden.

Die Ergebnisse beider Untersuchungen sollen zusammengeführt werden und langfristig zu einer grundlegenden Lösung des Problems führen.

Im weiteren wird das Forschungsprojekt näher beschrieben. Es soll erste vergleichbare Ergebnisse liefern, um fundierte Erkenntnisse über die diskutierten Fragen zu erlangen.

Aus dem großen Spektrum an möglichen Anprallkonstellationen sind zwei typische Situationen eines Motorradanpralls an eine Schutzeinrichtung ausgewählt worden.

Es handelt sich dabei um den direkten Anprall eines Motorrades an eine Schutzeinrichtung und um den Anprall nur des Motorradaufsassen, der sich aufgrund eines vorher stattgefundenen Unfallereignisses (z. B. Sturzes) bereits vom Motorrad getrennt hat. Diese beiden grundlegend verschiedenen Konstellationen werden gekoppelt mit 3 unterschiedlichen Typen von Schutzeinrichtungen. Insgesamt ergeben sich daraus 6 Versuche, die als Basis für das weitere Vorgehen dienen sollen.

Das Projekt ist ausgelegt auf einen Zeitraum von 12 Monaten. Diese gliedern sich in 6 Monate für die Planung, Erstellung und Durchführung der Anprallversuche, 3 Monate für die Auswertung und Erarbeitung der Ergebnisse und 3 Monate für die Berichterstellung und abschließende Präsentation.

Der ursprünglich geplante Beginn des Projektes war für März 1998 vorgesehen. Dieser Termin konnte aufgrund des aufwendigen Ausschreibungs- und Vergabeverfahrens nicht eingehalten werden. Aus diesem Grund können an dieser Stelle nicht die vorgesehenen ersten Ergebnisse präsentiert werden, sondern lediglich eine Beschreibung des anstehenden Projektes dargestellt werden. Die Vergabe ist für den September 1998 vorgesehen, so daß die Arbeiten für die ersten Vorversuche demnächst starten werden.

Das grundlegende Ziel dieses Forschungsprojektes ist es, Erkenntnisse über die Abläufe und Verletzungsrisiken beim Anprall von Motorrädern bzw. deren Aufsassen an die verschiedenen in Deutschland verwendeten passiven Schutzeinrichtungen zu erhalten, insbesondere im Vergleich zwischen offenen und geschlossenen Systemen.

Es soll versucht werden, möglichst aussagekräftige Erkenntnisse über die beim Anprall wirkenden Kräfte zu erhalten. Zusammen mit den beobachteten biomechanischen Abläufen sollen die resultierenden Verletzungsrisiken abgeschätzt werden. Daraus sollen Maßnahmen zur konstruktiven Verbesserung von Schutzeinrichtungen abgeleitet werden, die den Ablauf eines an die Schutzeinrichtung anprallenden Motorradaufsassen positiv beeinflussen. In letzter Konsequenz sollen die aus den Ergebnissen ableitbaren Einsatzkriterien und konstruktiven Verbesserungsmöglichkeiten von Schutzeinrichtungen dazu beitragen, schwere und tödliche Verletzungen beim Kontakt von unglücklichen Motorradfahrern mit Schutzeinrichtungen vermeiden zu helfen.

Im folgenden sind die frei Versuchskonstellationen näher definiert:

Konstellation A

Die Konstellation A soll die Anprallsituation eines Motorrades in einer Kurve auf einer untergeordneten Straße an eine Schutzeinrichtung darstellen. Dazu sollen

2 Versuche durchgeführt werden. Bei beiden Versuchen erfolgt ein direkter Anprall des Motorrades mit aufsitzendem Dummy (Hybrid II oder III) an die Schutzeinrichtung. Die Schutzeinrichtung wird in einem Radius von ca. 250 m aufgestellt.

Im 1. Versuch wird als Schutzeinrichtung eine EDSP mit einem Pfostenabstand von 2 m und einer Länge von 30 m verwendet. Die vorgesehenen Anprallparameter sind:

Motorrad: Mittelklasse, 500 bis 750 ccm, Gewicht 180 bis 220 kg, Normalausführung, unverkleidet, kein Versuchsmotorrad mit Boxermotor;

Geschwindigkeit: 60 km/h;

Das Motorrad soll frei, d. h. ohne äußere Zwangsführung aufrecht gegen die Schutzeinrichtung fahren. Der weitere Verlauf wird von außen nicht mehr beeinflusst. Als Meßgrößen am Dummy sind die Kopfverzögerungen sowie die Brust- und Beckenkräfte vorgesehen.

Beim zweiten Versuch wird eine Betonschutzwand als Schutzeinrichtung verwendet. Er erfolgt unter sonst gleichen Versuchsparametern wie oben beschrieben. Die Betonschutzwand entspricht im Profil dem sogenannten „New Jersey“-Profil [1]. Dabei handelt es sich um ein geschlossenes Wandprofil mit einem 8 cm hohen Sockel im Fußbereich. Die Höhe der Wand beträgt 81 cm, die obere Breite 15 cm. Sie wird in der gleichen Länge wie die EDSP aufgebaut. Auch bei diesem Versuch erfolgt ein direkter Anprall des Motorrades mit aufsitzendem Dummy wie beim oben beschriebenen 1. Versuch.

Konstellation B

Mit der Konstellation B soll der weiter vorne geschilderte, typische Unfallablauf eines in einer Kurve (Radius 150 m) auf der Fahrbahn zu Fall kommenden Motorradfahrers, der im weiteren Verlauf gegen eine Schutzeinrichtung prallt, nachgestellt werden. Dazu wird das Motorrad mit aufsitzendem Dummy auf der Fahrbahn vor dem Anprall an die Schutzeinrichtung zum Stürzen gebracht. Dies wird erreicht, indem das Motorrad mit Dummy in der Beschleunigungsphase in festgestellter schräger Position auf einem Schlitten oder Lafette befestigt wird und wenige Meter vor der Schutzeinrichtung aus der Halterung gelöst wird. Der weitere Verlauf soll dann von außen nicht mehr beeinflusst werden.

Um eine möglichst den Vorgaben entsprechenden, reproduzierbaren Ablauf zu gewährleisten, sind zunächst einige Vorversuche geplant. Als Meßgrößen am Dummy sind die Kopfverzögerungen sowie die Brust- und Beckenkräfte vorgesehen.

Für den 1. Versuch wird die gleiche Schutzeinrichtung wie beim 1. Versuch der Konstellation A verwendet. Aus Gründen der besseren Vergleichbarkeit wird das gleiche Motorrad wie bei den vorherigen Versuchen verwendet, auch wenn dieser Parameter hier voraussichtlich eine eher untergeordnete Rolle spielen wird. Es läßt sich abschätzen, daß das Motorrad dem Dummy vorausseilt und damit zunächst kein gleichzeitiger Kontakt zwischen Schutzeinrichtung, Dummy und Motorrad stattfinden wird.

Die vorgesehenen Anprallparameter sind:

- Motorrad: Mittelklasse, 500 bis 750 ccm, Gewicht 180 bis 220 kg, Normalausführung, unverkleidet, kein Versuchsmotorrad mit Boxermotor;
- Geschwindigkeit: die Anprallgeschwindigkeit an die Schutzeinrichtung soll ca. 35 km/h betragen; die Fahrgeschwindigkeit zum Zeitpunkt des Sturzes muß aus den Versuchsgegebenheiten (Reibung zwischen Fahrbahnbelag und Dummy) in der letzten Phase der Versuchsplanung berechnet werden;

Beim zweiten Versuch wird eine Betonschutzwand als Schutzeinrichtung verwendet. Er erfolgt unter den gleichen, oben beschriebenen Versuchsparametern.

Konstellation C

Aufbauend auf der Grundlage der vier Versuche der Konstellationen A und B werden zwei weitere Versuche durchgeführt. Diese werden an Schutzeinrichtungen durchgeführt, die eine für anprallende Motorradaufsassen verbesserte Konstruktion aufweisen sollen. Die Ausführung der Versuche kann abhängig von den Ergebnissen der vorangegangenen Versuche entweder entsprechend der Konstellation A oder B durchgeführt werden, je nach dem welche von beiden sich als kritischer für Motorradfahrer gezeigt hat.

Als Schutzeinrichtungen sind eine EDSP mit untergehängtem zweiten Holm und ein System, bei dem ein Unterzug (U-Profil) am Pfosten horizontal angebracht ist (ist noch festzulegen; als Beispiel sei hier das System „Super Rail“ der Firma SPIG genannt), vorgesehen. Dieser soll in erster Linie den starken Kontakt zwischen Pkw und Pfosten verhindern und könnte auch für Motorradfahrer beim Anprall an die Schutzeinrichtung hilfreich sein, so daß die Aussicht besteht, daß beide Schutzeinrichtungen für Motorradfahrer weniger aggressive Systeme darstellen.

Die hier untersuchten konstruktiven Maßnahmen zum Schutz von Motorradaufsassen beim Anprall an eine Schutzplanke sollen im Vergleich zu den vorangegangenen Versuchen beurteilt und bewertet werden.

Um die jeweiligen Versuchspaare der drei Konstellationen A, B und C verwertbar vergleichen zu können, müssen die Versuchsparameter und -abläufe bei der Versuchsdurchführung nahezu identisch sein. Während die Gleichheit der verwendeten Motorräder durch den notwendigen Aufwand bei der Beschaffung gewährleistet werden kann, stellt die Einhaltung der anderen Anforderungen hohe technische Fähigkeiten an die durchführende Organisation.

Bei allen Versuchskonstellationen sollen vergleichende Untersuchungen aus der Filmdokumentation angestellt werden. Dabei stehen die qualitative Beobachtung der Bewegung des Motorrades und vor allem des Dummies im Vordergrund. Als Bewertungskriterium dienen die Schwere des Anpralls von Dummy und Motorrad an die Schutzeinrichtung, die am Dummy gemessenen Kräfte sowie die feststellbaren Schäden am Motorrad, an der Schutzeinrichtung und am Dummy.

Insbesondere bei der Konstellation B soll beobachtet werden, wie sich der Dummy verhält und in welcher Form der Kontakt mit der Schutzeinrichtung abläuft, nachdem er sich bereits vom Motorrad gelöst hat und isoliert an die Schutzeinrichtung prallt. Es soll aber auch die Bewegung des Motorrades beobachtet werden, um zu beurteilen, ob die Schutzeinrichtung einen für den Fahrer negativen bzw. positiven Einfluß auf dessen Weg nimmt.

Insgesamt sollen Mechanismen und Abläufe erkannt werden, die systemimmanent sind und bei den untersuchten Anprallfällen zu spezifischen Verletzungen wie z. B. Quetschungen, Brüche und Amputationen führen.

Erwähnt sei an dieser Stelle, daß sich die Maßnahmen und Verbesserungsvorschläge dieser Untersuchung nur positiv auswirken können, wenn die Anprallgeschwindigkeiten in Bereichen von ca. 50 km/h liegen, da ansonsten die wirkenden Kräfte, unabhängig von scharfen Kanten oder anderen Hindernissen, die Überlebenschancen sehr gering werden lassen.

Das beschriebene Projekt wird als Forschungsauftrag an einen Forschungsnehmer in Deutschland vergeben, der eine fahrzeugtechnische Versuchsanlage besitzt, auf der die Durchführung der Versuche realisiert werden kann. Außerdem muß er bereits Erfahrungen auf dem Gebiet der Beschleunigung und Führung von Motorrädern vorweisen können, da die Versuche besondere technische Anforderungen stellen, besonders, da sie die ersten ihrer Art sind. Das Projekt wird intensiv von der BAST. betreut. In enger Zusammenarbeit wird vor nach jedem Versuch eine Zwischenauswertung vorgenommen, die als Erfahrungshintergrund für die weiteren Versuche dienen soll. Die Auswertung der Versuche erfolgt gemeinsam. Sie mündet in einem Zwischenbericht, der nach Beendigung der Versuchsserie erstellt wird. Dieser stellt eine erste Ergebnisdokumentation dar, die als Grundlage für den

Eintritt in die Erörterung mit Experten aus dem Bereich Unfallforschung und Biomechanik dienen soll.

Im weiteren sollen die dann vorliegenden Ergebnisse einer größeren Gruppe aus Experten und Betroffenen präsentiert und zur Diskussion gestellt werden. Als Ziel der Diskussion sollen abgestimmte Maßnahmen für das weitere Vorgehen erarbeitet werden und dem Bundesministerium für Verkehr zur weiteren Veranlassung unterbreitet werden.

Der Abschluß des Projektes wird dann voraussichtlich am Ende des nächsten Jahres vollzogen sein, mit dann hoffentlich verwertbaren Ergebnissen, die Anlaß und Anstoß geben, die Entwicklung von Schutzeinrichtungen voranzutreiben, die auch Motorradfahrern ein gewisses Maß an Schutz bieten, bzw. die Gefahr für diese Gruppe von Verkehrsteilnehmern zumindest reduzieren helfen.

Literaturverzeichnis:

- [1] „Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen“ (RPS); Bundesministerium für Verkehr, 1989
- [2] „Biomechanische Versuche hinsichtlich des passiven Unfallschutzes von Aufsassen motorisierter Zweiradfahrzeuge beim Anprall gegen Schutzplankenpfosten“, Forschungsauftrag der SPIG GmbH & Co. KG, Heidelberg 1985
- [3] „Verbesserung der Sicherheit für Motorradfahrer durch Ummantelung der Schutzplankenpfosten“, Uwe Ellmers; Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, der VDI/IVM/IfZ-Motorrad-Konferenz; IFMA in Köln 4./5. Oktober 1994
- [4] „Technische Lieferbedingungen für Stahlschutzplanken“ (TL-SP); Bundesministerium für Verkehr
- [5] „Technische Lieferbedingungen für Schutzplankenpfostenummantelungen“ (TL-SPU); Bundesministerium für Verkehr, 1993

Studie von Motorradunfällen mit Stahlleitplankenprall

***Study on Motorcycle Accidents with Crash against
Metallic Retaining Devices***

Marie Christine Brailly

SETRA Ministry of Transports – Roads and Motorways Engineering Department
Frankreich

Ausgangspunkt

Einige schwere Unfälle haben 1996 das Problem der Form- und Materialaggressivität von Stahlleitplanken gegenüber den Motorradfahrern erneut aufgeworfen.

Trotz der getroffenen Bestimmungen, insbesondere der Mitteilung Nr. 32 der SETRA und des Rundschreibens der DSCR vom 6. März 1998, ist dieses Problem seitens der Motorradfahrer weiterhin gefühlsmäßig stark belastet.

Die Zentrale Abteilung für Sicherheit im Straßenverkehr (DSCR) hat 1996 eine multidisziplinäre Arbeitsgruppe (Straßenverkehrsteilnehmer, zentrale technische Dienststellen des Ministeriums, Straßenbauunternehmen) ins Leben gerufen, die Vorschläge zu einer konzertierten Aktion unterbreiten sollte.

SETRA hat für diese Arbeitsgruppe in den Jahren 1997 und 1998 eine Studie durchgeführt, die in zwei Phasen gegliedert war:

1. Die erste, globale Phase der Studie umfaßt die Auswertung der Daten der nationalen Unfalldatei, anhand derer die großen Herausforderungen an die Verkehrssicherheit aufgezeigt und die Beziehungen mit den Verkehrseinrichtungen untersucht werden sollen.
2. Die zweite, detailliertere Phase der Studie, die sich auf die überarbeiteten lokalen Unfalldateien stützt, analysiert die Unfallberichte und untersucht die Unfallstellen von 313 Unfällen in 32 Départements.

Ziel der Studie ist die Beantwortung folgender Fragen:

- Stellen die Motorradunfälle mit Stahlleitplankenanprall, in bezug auf die Anzahl und die Schwere des Unfalls, eine bedeutende Herausforderung an die Sicherheit dar?
- Auf welcher Straßenkategorie ereignen sich diese Unfälle?
- Sind Kurven unfallgefährdete Stellen und bei welchem Radius?
- Handelt es sich auf den Autobahnen um ein Problem des Seitenraums oder des Mittelstreifens, der normalen Streckenabschnitte oder der Autobahnkreuze?
- Reduziert ein Schutzschild den Schweregrad eines Motorradunfalls?
- Ist eine Bestimmung von Verkehrseinrichtungen mit hohem Unfallrisiko möglich?

Methoden

Nach einer einleitenden allgemeinen Übersicht, für die die nationale Unfalldatei herangezogen wird, wendet sich die Studie der Untersuchung eines Teils der zwischen 1993 und 1996 registrierten Leitplankenunfälle mit Personenschaden zu.

Dieser zweite Teil der Studie wurde den verschiedenen regionalen Technischen Planungszentren des Verkehrsministeriums anvertraut. Die Arbeit bestand in der Untersuchung der Unfallberichte und der Erfassung von Geländedaten.

Es ist eine gemeinsame Bewertungstabelle für die Unfälle aufgestellt worden, um eine synthetische Zusammenfassung der Ergebnisse anstellen zu können. Die aus sortierten Fälle sind statistisch getestet und nur die bedeutenden Ergebnisse festgehalten worden.

Ergebnisse

*Die wichtigsten Ergebnisse der ersten Phase:
Untersuchung auf der Grundlage der nationalen Unfalldatei*

Die Ergebnisse der SETRA-Studie, für die die nationale Unfalldatei herangezogen wurde, sind in dem Bericht „Die Bedeutung der Stahlleitplanken bei Motorradunfällen – Juni 1997“ veröffentlicht worden. Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse aufgeführt:

1. Globale Herausforderungen an die Verkehrssicherheit

Die Motorradunfälle mit Leitplankenanprall führten in den Jahren 1993, 1994 und 1995 zu:

188 Todesopfern, dies entspricht einem jährlichen Durchschnitt von 63 Toten	342 Schwerverletzten, dies entspricht einem jährlichen Durchschnitt von 114 Schwerverletzten	385 Leichtverletzten, dies entspricht einem jährlichen Durchschnitt von 118 Leichtverletzten
---	--	--

In dieser Zeitspanne von drei Jahren führten alle Motorradunfälle insgesamt zu:

2420 Todesopfern	13 960 Schwerverletzten	4422 Leichtverletzten
------------------	-------------------------	-----------------------

Aus diesen Zahlen geht vor, daß die Motorradunfälle mit Leitplankenanprall eine bedeutende Rolle in bezug auf die Verkehrsunsicherheit der Motorradfahrer spielen (8% der Todesopfer), insbesondere außerhalb des Stadtbereichs (13% der Todesopfer).

Sie spielen hingegen eine mäßige Rolle mit Bezug auf die Gesamtzahl der Verkehrsunfälle (weniger als 2% der Verkehrstoten insgesamt).

Diese Unfälle sind außergewöhnlich gefährlich (auf 100 verunglückte Personen kommen 22 Todesopfer, dies entspricht im Vergleich zur durchschnittlichen Schwere von Motorradunfällen einer fünfmal höheren Unfallfolgeschwere).

Der oftmals spektakuläre und tragische Charakter dieses Unfalltyps erhöht die Bedeutung des Problems der Verkehrsunsicherheit seitens der Straßenverkehrsteilnehmer.

Auf Außerortsstrecken stellen die Motorradunfälle mit Leitplankenanprall über 30% der durch Hindernis tödlich verunglückten Motorradfahrer.

Die Studie zeigt, daß die Bürgersteigränder und die Verkehrsinseln im Stadtbereich zu einer weitaus besorgniserregenderen Situation führen bei einem vergleichbaren Anteil an den Motorradunfällen.

2. Raumanalyse

Die Stahlleitplanken sollen die Sicherheit aller Verkehrsteilnehmer verbessern. Die Tatsache, daß sie unter bestimmten Umständen für eine Kategorie der Verkehrsteilnehmer negative Auswirkungen haben, erschwert ihre soziale Akzeptanz. Diese Feststellung läßt sich auch durch die Tatsache erklären, daß Leitplanken oftmals an Stellen mit hohem Unfallrisiko angebracht werden.

Die Studie hat einen Einfluß auf das Auftreten und die Unfallfolgeschwere von Motorradunfällen mit Leitplankenanprall in Kurven bestätigt, d. h. bei ungefähr 60% der Unfälle. Mit der Auswertung der Datei können jedoch weder Aussagen zu der Unfallstelle, d. h. ob diese Unfälle in der Kurvenaußen- oder -innenspur auftreten, noch zu dem Kurvenradius gemacht werden.

Es scheint nur die Tatsache zuzutreffen, daß die einspurigen National- und Départementstraßen auf Außerortsstrecken weitaus mehr betroffen sind.

Auf diesen Straßen sind die Leitplanken eher in gefährlichen Kurven, d. h. im allgemeinen in engen Kurven angebracht. Davon betroffen wären also Kurven mit einem Radius von unter 400 m (im allgemeinen von unter 250 m).

Anhand der Untersuchung läßt sich zu diesem Zeitpunkt die Hypothese nicht bestätigen, daß die Autobahnzubringer, die einen solchen Kurvenradius aufweisen und systematisch mit Leitplanken ausgestattet sind, eine besondere Gefahr darstellen.

Die Untersuchung hat eine bedeutende Herausforderung an die Sicherheit in Kurven und auf geraden Strecken auf zweispurigen Außerortsstrecken und Stadtschnellstraßen aufgedeckt.

Diese erste Untersuchung, die sich auf die Daten der nationalen Unfalldatei stützt, ist nicht ausreichend, um die räumliche Klassifikation der Unfälle und die damit verbundenen Infrastrukturkriterien genau zu präzisieren. Eine detailliertere Untersuchung mit Hilfe von überarbeiteten Dateien und Unfallberichten, die Geländedaten enthalten, ist unbedingt erforderlich, um diese Ergebnisse – Voraussetzung für die Abfassung eventueller technischer Empfehlungen – zu validieren und zu vertiefen.

Die wichtigsten Ergebnisse der zweiten Phase:
Untersuchung auf der Grundlage der Unfallberichte

1. Basisdaten:

Die Studie basiert auf der Untersuchung eines Teils der in 32 Départements aufgetretenen Leitplankenunfälle mit Personenschaden, an denen mindestens ein Motorradfahrer beteiligt war und die sich auf Außerortsstrecken in den Jahren 1993, 1994, 1995 und (falls bekannt) 1996 ereignet haben. Untersucht wurden insgesamt 313 Unfälle mit Personenschaden.

Die Arbeit umfaßte die Untersuchung der Unfallberichte, die Erfassung von Geländedaten, die Untersuchung des Unfallablaufs, die Klassifikation der Unfälle und die Ausarbeitung von gerechtfertigten Vorschlägen, die die Sicherheit der Motorradfahrer im Hinblick auf die abweisenden Schutzeinrichtungen verbessert. Mit der Arbeit beauftragt wurden die Technischen Planungszentren des Verkehrsministeriums (CETE).

Der Repräsentationsgrad der untersuchten Daten ist wichtig. In der Tat beläuft sich die Anzahl der untersuchten Unfälle auf mehr als die Hälfte der gesamten Unfälle dieses Typs (Leitplankenunfälle mit Körperanprall des Motorradfahrers) in der gleichen Zeitspanne.

Eine erste Feststellung hat sich regelrecht aufgedrängt. Bei 24% der in der Datei erfaßten Unfälle handelt es sich um Unfälle mit schlecht kodifizierten Unfallberichten oder um Unfälle, bei denen die Leitplanke weder vom Motorrad noch vom Motorradfahrer berührt wurde.

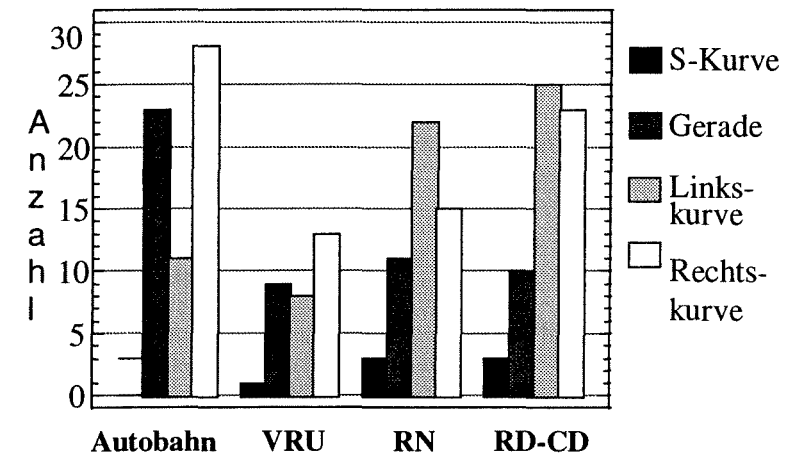
Nur 240 Unfälle konnten gemäß der nachstehenden geographischen Aufteilung ausgewertet werden:

CETE <small>(Technische Planungszentren des Verkehrsministeriums)</small>	Daten der BAAC-Datei	Daten, die auf der Untersuchung der Unfallberichte beruhen und ausgewertet wurden			
	Unfälle	Unfälle	Todesopfer	Schwer-verletzte	Leicht-verletzte
Nord-Picardie	27	22	8	8	10
Ost-Frankreich	30	30	9	17	14
Lyon	38	35	11	21	15
Mittelmeerraum	67	44	15	22	13
SW-Frankreich	64	45	17	24	17
West-Frankreich	42	23	15	7	10
Zentralfrankreich	26	22	7	15	9
Normandie	19	19	nr	nr	nr
Insgesamt	313	240	82*	114*	88*

* Unvollständige Gesamtzahl, da die Normandie nicht berücksichtigt wurde.

Die oben aufgeführten Ergebnisse wurden statistischen Tests unterzogen und haben somit Gültigkeit.

2. Straßenkategorie und Linienführung im Grundriß



VRU = Stadtschnellstraßen
RN = Nationalstraßen, entsprechen in D den Bundesstraßen
RD-CD = Département-Straßen und -Wege, entsprechen in D den Kreisstraßen

Abb. 1: Motorradunfälle mit Leitplankenanprall nach Straßenkategorie und Linienführung im Grundriß

Die Untersuchung zeigt, daß Motorradunfälle mit Leitplankenprall auf allen Straßenkategorien auftreten. Ohne die Verkehrsmenge und die Leitplankenlänge zu kennen, ist es unmöglich, Aussagen dazu zu machen, ob eine bestimmte Straßenkategorie einem besonderen Unfallrisiko ausgesetzt ist.

Die statistische Auswertung zeigt hingegen, daß die Aufteilung der Unfälle auf die verschiedenen Arten der Linienführung im Grundriß (Rechtskurve, Linkskurve, Gerade und „S“-Kurve) von der untersuchten Straßenkategorie abhängig ist.

Die Untersuchung unterscheidet folgende Straßenkategorien: Autobahnen, Stadtschnellstraßen (V.R.U.), Nationalstraßen (R.N.) und Départementstraßen und -wege (R.D., C.D.).

Auf Autobahnen und Stadtschnellstraßen (V.R.U.) treten Motorradunfälle mit Leitplankenprall hauptsächlich in Rechtskurven und in Geraden auf.

Auf Nationalstraßen (R.N.) treten diese hingegen in erster Linie in Linkskurven auf.

Auf Départementstraßen und -wegen (R.D.-C.D.) treten sie hauptsächlich in Kurven auf, ohne eine Entscheidung zwischen Links- und Rechtskurve zu treffen.

3. Situation in der Kurve

Es scheint von Bedeutung zu sein, daß die Motorradunfälle mit Leitplankenprall, die sich in Kurven ereignen, hauptsächlich in der Kurvenaußenspur auftreten und dies unabhängig von der untersuchten Kurvenrichtung (Rechtskurve oder Linkskurve) und Straßenkategorie (Autobahn, VRU, RN, RD-CD).

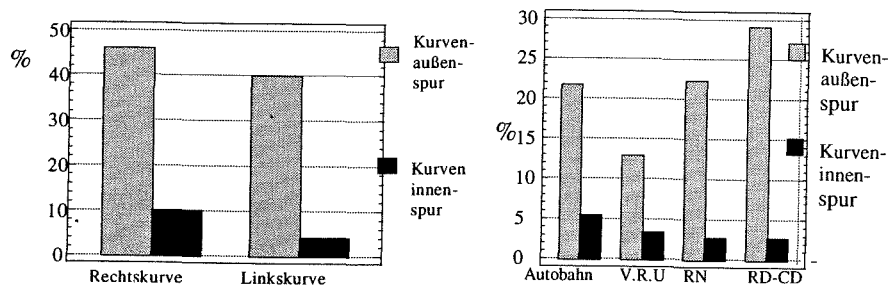


Abb. 2: Unfälle in Kurven nach der Kurvenspur und ...

Abb. 2a: ... der Kurvenrichtung

Abb. 2b: ... der Straßenkategorie

Ohne über genauere Informationen zu verfügen, konnte man für alle Straßenkategorien feststellen, daß sich die untersuchten Unfälle – unabhängig von der Kurvenrichtung (Links- und Rechtskurven) hauptsächlich in engen Kurven (mit einem Radius von unter 250 m) und in geringerem Maße in sehr weiten Kurven (mit einem Radius von über 400 m) ereignet haben.

4. Rechts- und Linkskurve auf Autobahnen und Stadtschnellstraßen (V.R.U.)

Aus der statistischen Untersuchung geht hervor, daß Motorradunfälle mit Leitplankenprall in Rechtskurven wesentlich häufiger als in Linkskurven auftreten und dies unabhängig von dem jeweils untersuchten Typ der Schnellstraße (Stadtschnellstraße oder Autobahn) und dem Streckentyp (normale Autobahnstrecke oder Zubringer bzw. Autobahnkreuz).

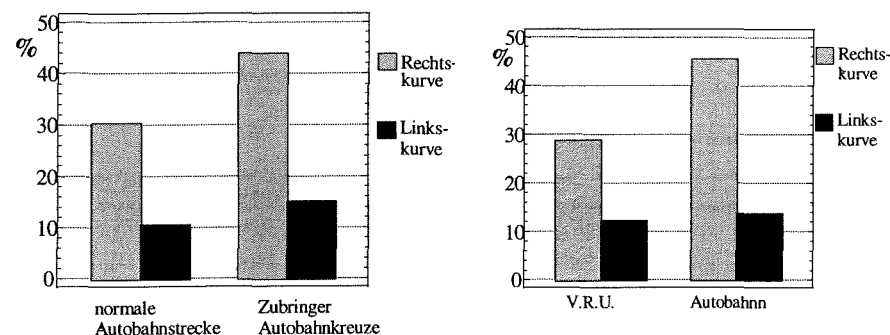


Abb. 3: Unfälle in Kurven nach Kurvenrichtung und ...

Abb. 3a: ... dem Streckentyp

Abb. 3b: ... der Straßenkategorie

5. Autobahnkreuz und normaler Streckenabschnitt auf Autobahnen und Stadtschnellstraßen (V.R.U.)

Was die Unfälle auf Autobahnen und Stadtschnellstraßen (V.R.U.) anbelangt, führen die mangelnden Daten in bezug auf den Aufbau und die genaue Auslastung des Netzes zwangsläufig zu einigen hypothetischen Aussagen auf der Ebene der statistischen Auswertung.

So ging man davon aus, daß die insgesamt von den Motorradfahrern auf den normalen Streckenabschnitten der Schnellstraßen (Autobahnen oder Stadtschnellstraßen) zurückgelegte Kilometerzahl höher ist als die insgesamt von den gleichen Motorradfahrern auf den Zubringern und Autobahnkreuzen zurückgelegte Kilometerzahl.

Wenn diese Hypothese bestätigt wird (was gewiß ist), und nur dann, kann nach der statistischen Auswertung daraus die Schlußfolgerung gezogen werden, daß das Unfallrisiko für Motorradfahrer mit Leitplankenprall auf einem Zubringer oder einem Autobahnkreuz mit einer bestimmten Länge höher ist als auf einem normalen Streckenabschnitt gleicher Länge.

Wenn wir über die erforderlichen Informationen verfügten, haben wir die Verteilung zwischen den Unfällen an den Ausfahrten und Einfahrten untersucht. Der prozentuale Anteil ist mit 60% an den Ausfahrten im Vergleich zu 40% an den Einfahrten höher. Die Anschlußstellen und Abzweigungen werden ebenfalls häufig erwähnt.

6. Potentielle Wirkung einer Motorrad-Leitplanke

Anhand der Untersuchung der Unfallberichte konnten unterschiedliche Sturzsituationen aufgedeckt werden. Bei zahlreichen Berichten ist jedoch eine Rekonstruktion des Unfalls nicht möglich (82 von insgesamt 239). Es können folgende Unfallsituationen unterschieden werden:

Unfallsituation 1: 21 Fälle

Nur das Motorrad prallt an die Leitplanke, der Motorradfahrer wird unabhängig von der Leitplanke verletzt oder getötet.

Unfallsituation 2: 43 Fälle

Das Motorrad prallt an die Leitplanke, der Motorradfahrer wird in die Luft, in der Regel über die Leitplanke hinweg geschleudert, ohne mit dieser zusammenzupralen. In einem der Fälle stürzt der Motorradfahrer danach auf die Leitplanke.

Unfallsituation 3: 21 Fälle

Das Motorrad kollidiert mit der Leitplanke, der Motorradfahrer stürzt und prallt an den Holm der Leitplanke.

Unfallsituation 4: 29 Fälle

Nach dem Schlittern bzw. nach der Kollision des Motorrads mit der Leitplanke prallt der Motorradfahrer an einen Leitplankenpfosten.

Unfallsituation 5: 43 Fälle

Der Motorradfahrer stürzt vom Motorrad, schlittert und gerät unter die Leitplanke oder kommt zwischen der Leitplanke, dem Motorrad und einem Pfosten zum Stillstand.

Aus diesen Unfallsituationen geht hervor, daß laut Aussagen der Person, die mit der Auswertung des Unfallberichts beauftragt war, die Körperverletzungen nahezu bei

der Hälfte der untersuchten Unfälle durch ein Schutzschild an der Leitplanke vielleicht hätten gemildert werden können (Unfallsituation 3, 4 und 5), aber daß in mehr als einem Drittel der Fälle ein solches Schutzschild wahrscheinlich nichts geändert hätte.

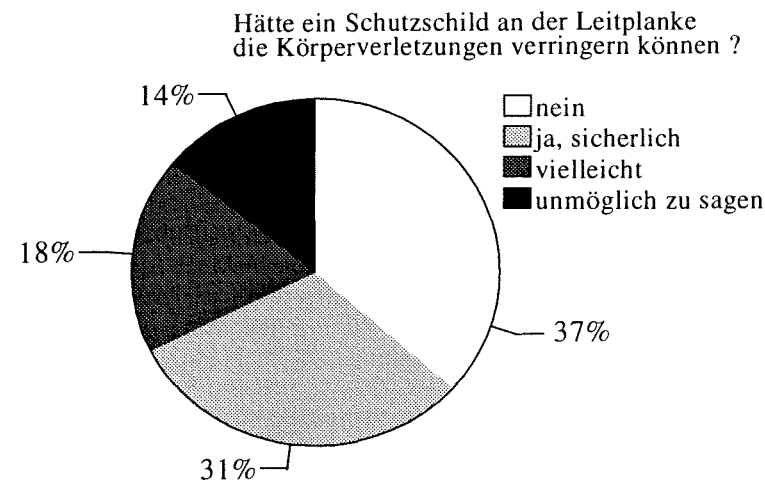


Abb. 4: Rolle der Stahlleitplanke bei den untersuchten Unfällen

7. Andere Ergebnisse

Anhand der Daten, die im Rahmen der anteilmäßigen Aufteilung der Motorradunfälle mit Leitplankenprall zur Verfügung stehen, können keine statistischen Schlußfolgerungen gezogen werden was die Beziehungen zwischen den folgenden Faktoren anbelangt:

- dem Radius und der Kurvenrichtung, was die Unfälle in Kurven anbelangt;
- der untersuchten Straßenkategorie (Autobahn, RN oder RD-CD) und der Anordnung (rechts oder links von der Fahrbahn) der abweisenden Schutzeinrichtung, was die Unfälle in Geraden anbelangt;
- dem Blutalkoholgehalt der Fahrer und der untersuchten Kategorie der Unfälle (Unfälle, an denen nur ein Motorrad beteiligt ist oder Unfälle, an denen mehrere Fahrzeuge beteiligt sind).

Am Rande der statistischen Erhebung war man in der Lage, ohne jedoch diese Aussagen aufgrund unzureichender Daten endgültig bestätigen zu können, folgende Feststellungen zu machen:

- Die in die untersuchten Unfälle verwickelten Motorräder hatten eine in Steuer-PS ausgedrückte Nutzleistung von durchschnittlich 6 bis 9 PS, waren verhältnismäßig neu (oftmals weniger als drei Jahre) und standen den Fahrern erst seit verhältnismäßig kurzer Zeit zur Verfügung (oftmals seit weniger als einem Jahr, ja desweilen sogar seit weniger als drei Monaten);
- Die in die untersuchten Unfälle verwickelten Motorradfahrer waren eher jung (unter 30), sie hatten ihren Motorradführerschein seit verhältnismäßig kurzer Zeit (ein Viertel der Betroffenen seit weniger als einem Jahr) und die meisten unter ihnen wiesen zum Zeitpunkt des Unfalls einen negativen Blutalkoholgehalt auf;
- Die in die untersuchten Unfälle verwickelten Fahrer und Mitfahrer trugen zum Zeitpunkt des Unfalls ihren Schutzhelm.

8. Synthese

Mit den vorliegenden Ergebnissen können die eingangs gestellten Fragen beantwortet werden.

- *Stellen die Motorradunfälle mit Leitplankenanprall, in bezug auf die Anzahl und die Schwere des Unfalls, eine bedeutende Herausforderung an die Sicherheit dar?*

Sie sind von mäßiger Bedeutung im Vergleich zu der Gesamtzahl der Motorradunfälle, aber weisen eine fünfmal höhere Unfallfolgeschwere auf.

- *Auf welcher Straßenkategorie ereignen sich diese Unfälle?*

Ohne genaue Kenntnisse zu der Verkehrsmenge der Motorradfahrer läßt sich feststellen, daß sich die Unfälle auf allen Straßenkategorien ereignen.

- *Sind Kurven unfallgefährdete Stellen und bei welchem Radius?*

Kurven stellen eine ausgesprochen hohe Unfallgefahr dar, unabhängig von der Straßenkategorie. Die Unfälle ereignen sich hauptsächlich in der Kurvenaußenspur und in engen Kurven (Radius unter 250 m) sowie auf Autobahnkreuzen und in geringfügigerem Maße in sehr weiten Kurven (Radius über 400 m).

- *Handelt es sich auf den Autobahnen um ein Problem des Seitenraums oder des Mittelstreifens, der normalen Streckenabschnitte oder der Autobahnkreuze?*

Die zur Verfügung stehenden Daten zeigen auf Autobahnen und Stadtschnellstraßen eine gleichmäßige Verteilung der Unfälle auf den Seitenraum und den Mittelstreifen. Die Motorradunfälle sind jedoch auf den Zubringern und den Autobahnkreuzen häufiger als auf den normalen Streckenabschnitten.

- *Reduziert ein Schutzschild den Schweregrad eines Motorradunfalls?*

In fünfzig Prozent der Unfälle besteht die Gewißheit, daß ein Schutzschild die Unfallfolgen günstig beeinflusst hätte.

- *Ist eine Bestimmung von Verkehrseinrichtungen mit hohem Unfallrisiko möglich?*

Ohne von einer bestimmten Verkehrseinrichtung zu sprechen, kann die Hypothese aufgestellt werden, daß je nach Straßenkategorie bestimmte Einrichtungen ein höheres Unfallrisiko aufweisen.

Insbesondere:

- die engen Kurven auf zweispurigen Straßen,
- die Zubringer an den Autobahnknotenpunkten.

Es können aber auch erwähnt werden:

- die Rechtskurven und die geradlinigen Streckenabschnitte auf Autobahnen und Stadtschnellstraßen,
- die Linkskurven auf den Nationalstraßen (RN) (Anm. d. Üb.: die RN entsprechen in Deutschland den Bundesstraßen),
- die Links- und Rechtskurven auf den Départementstraßen (RD) und – wegen (CD) (Anm. d. Üb.: RD und CD entsprechen in Deutschland den Kreisstraßen).

Folgen

Die aus der vorliegenden Studie gezogenen Schlußfolgerungen werden eine Verbesserung der nationalen Bestimmungen in Hinsicht auf die Gestaltung der Stahlleitplanken mit Schutzschild für den Leitplankenanprall von Motorradfahren mit sich ziehen.

In die Praxis umsetzbare Schlußfolgerungsvorschläge

Die Ergebnisse in bezug auf die Faktoren „Fahrzeug und Fahrer“ bestätigen die bereits erworbenen Kenntnisse, daß das Unfallrisiko mit dem Alter und der Erfahrung des Fahrers sowie mit der Besitzdauer des Fahrzeuges abnimmt.

In Anbetracht der wichtigsten Schlußfolgerungen kann die sicherheitstechnische Ausgestaltung der abweisenden Schutzeinrichtungen für Motorradfahrer vorrangig folgende Straßenkategorien und Einrichtungen betreffen:

- auf den Autobahnen und Stadtschnellstraßen:
 - die Zubringer und die Autobahnkreuze
 - die Rechtskurven, die Mittelstreifen

- auf den Nationalstraßen und den wichtigsten Départementstraßen: die Kurven mit einem Radius von unter 250 m, in erster Linie die Linkskurven und die Kurvenaußenspur
- auf den zweitrangigen Départementstraßen: die Kurven mit einem Radius von unter 250 m, in der Kurvenaußenspur
- auf allen Straßenkategorien kann den Kurven mit einem Radius von über 400 m eine besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden.

Der Wirksamkeitsfaktor dieser Ausgestaltung läge jedoch unter 50%.

Deshalb ist es sinnvoll, den Vorteil einer qualitätsreichen Auffangzone zu überprüfen. Diese ist für die Sicherheit der Straßenverkehrsteilnehmer von Bedeutung. Sie ist für die Sicherheit der Motorradfahrer ebenso entscheidend und leistungsstark wie eine sicherheitstechnische Ausgestaltung der abweisenden Schutzeinrichtungen.

In der Tat erklärt eine solche Zone den Unterschied in der Häufigkeit der Unfälle in Rechts- und Linkskurven unter Berücksichtigung der Straßenkategorie. Die entscheidende Einrichtung ist die Notspur auf der Autobahn, also links, und die entgegengesetzte Fahrbahn auf einer zweispurigen Straße, also rechts. Eine solche Zone bietet in jedem Verkehrsnetz Auffangmöglichkeiten, beim Abkommen des Fahrzeuges von der Fahrbahn oder bei Fahrtrichtungsverlust in der Kurvenaußenspur, und führt somit zu weniger Unfällen.

Der fehlende Unterschied zwischen rechts und links auf dem Netz der Département-Straßen und -wege erklärt sich durch den wesentlich weniger markanten Charakter des Netzes, das Hauptverkehrsstraßen und Nebenstraßen umfaßt, die manchmal sehr eng sein können.

Wenn die Errichtung einer Auffangzone auf den bereits existierenden Straßen ein Hauptanliegen der Straßenplanungspolitik ist, so wäre es im Rahmen einer sicherheitstechnischen Aktion für Motorradfahrer von vorrangiger Bedeutung, diese Auffangzone, unabhängig von der jeweiligen Straßenkategorie, in der Kurvenaußenspur anzulegen (was in bestimmten Fällen zur Entfernung der Leitplancken führen kann).

Was die neuen Bauvorhaben anbelangt, wäre eine entsprechende Dimensionierung der Auffangzone ebenfalls von vorrangiger Bedeutung an diesen Stellen.

Und insbesondere

- auf Autobahnen könnte ein breiterer abgeschälter Linksstreifen in den Rechtskurven, vor der abweisenden Schutzeinrichtung in der Mitte, die Anordnung einer speziellen Einrichtung für den Motorradfahrer ersetzen

- auf der Nationalstraße wäre eine Auffangzone im Bereich des Seitenraums in den Linkskurven mit einem Radius von weniger als 250 m eine Alternative zu einer abweisenden Schutzeinrichtung
- auf allen Straßennetzen entfielen durch eine ausreichend breite Auffangzone (die Breite ist von der Straßenkategorie abhängig) die Verpflichtung, vor eventuellen Hindernissen zu schützen, da diese hierdurch weit genug von der Fahrbahn entfernt wären, um das Risiko eines Anpralls zu verringern.

Umweltverträglichkeit

Environmental Aspects

Motorräder - Die Umweltaspekte

Motorcycles - The Environmental Aspects

Rudolf Lindermair

Federico Vitale

ACEM - European Motorcycle Manufacturers Association - Brüssel
Belgien

1. Introduction

The role of motorcycles in Europe shows various facets. They are used as both, leisure vehicles as well as means of transport, in many cases as a combination of both.

There is no doubt, motorcycles are an attractive mode of transport, more affordable than passenger cars with respect to cost of purchase and ownership.

Moreover, they can play an important role in congested urban areas, saving time and energy by filtering through slow moving or standstill traffic.

To fully evaluate the role of motorcycles – or powered two wheelers in general – in today's transport system, their environmental behaviour must be considered in all its aspects. Compared to modern cars – usually equipped with catalytic converters – motorcycle exhaust and noise emissions are higher in absolute terms under certain circumstances. However, their relative contribution is smaller due to less fuel consumption and a higher "flow rate" in urban traffic. Last but not least, one must bear in mind that the average motorcycle exhaust emissions contribution account for approximately 3,7% of the total road transport section.

The following chapters will give an overview of technological and administrative aspects, indicating the difficulties of the motorcycle industry to achieve emission and noise levels similar to those of four-wheel vehicles.

2. Technology, standards and test procedures

Motorcycle engines are different from car engines with respect to their load/engine-speed range, i.e. they develop power at higher engine speeds due to their limited engine displacement.

Basically, motorcycles are equipped with either Two- or Four-stroke spark ignition engines.

2.1 Exhaust emissions

Test procedures and corresponding limit values

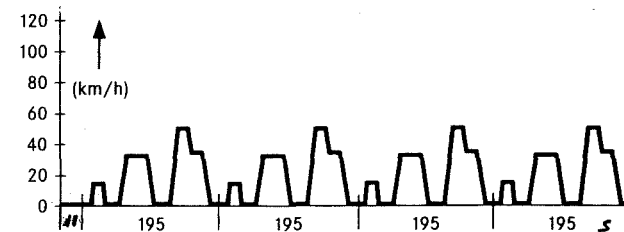


Fig. 1: ECE R40 Driving Cycle

This procedure is applied all over Europe (incl. EU) and in many extra-European countries.

Limit values:	ECE-R 40.01		97/24/EC (from 06/99)	
	2∞	4∞	2∞	4∞
CO	max. 32	35 g/km	8	13 g/km
HC	max. 12	6 g/km	4	3 g/km
NOx	no limit		0,1	0,3 g/km

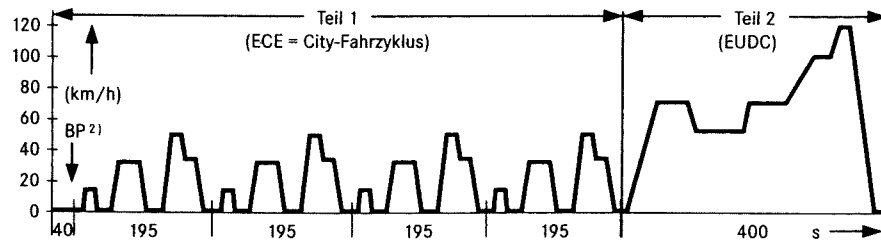


Fig. 2: EG/ECE Driving Cycle for Cars and LDVs

This procedure is applied to cars. It contains an Extra Urban Driving Cycle (EUDC), which requires vehicle speeds up to 120 km/h.

Limit values: CO	2,2 g/km
HC + NOx	0,5 g/km

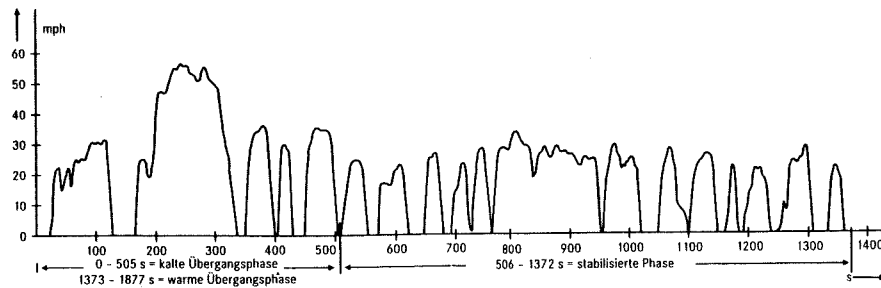


Fig. 3: U.S. FTP 75 Driving Cycle

This procedure reflects actual road traffic in the U.S. with vehicle speeds up to 96,4 km/h.

Limit values > 280 cc:	CO	12 g/km
	HC	5 (California 1,4) g/km

Technology

The major pollutants generated by combustion engines are CO, HC and NOx.

CO (Carbon Monoxide) is generated through incomplete combustion of hydrocarbon fuel under an oxygen shortage. Consequently, CO can be minimised by making the A/F (air/fuel) mixture lean.

HC (Hydro Carbons) – like CO – often results from incomplete combustion caused by oxygen shortage. In order to reduce HC emissions, the A/F mixture must be made as lean as possible.

NOx is the name for all types of nitrogen oxide. Over 95% of NOx emissions from the engine is NO. Generally it is known that NOx increases in lean A/F mixture, while CO and HC decrease. NOx emission is dependant on the temperature of burnt gas, it increases with high temperature and high engine load.

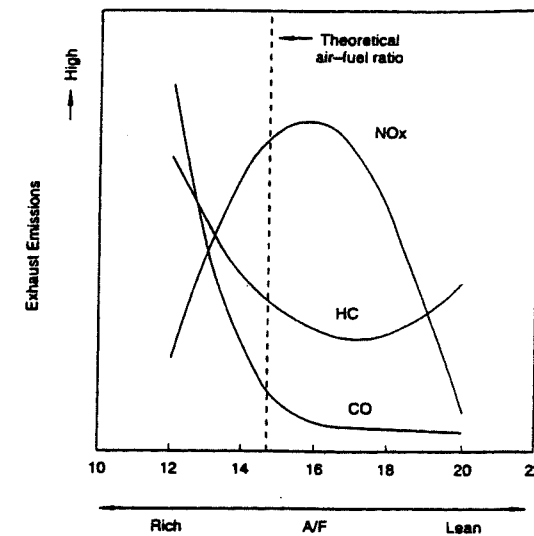


Fig. 4: Exhaust Emissions and Air/Fuel Ratios

Emission reduction technologies

Emission reduction technologies can be grouped into those designed to control the generation of combustion gas in the engine and those related to the after-treatment of exhaust gases.

Engine modifications

The most commonly used engine modifications are Valve Timing and Ignition Timing. By means of reducing the valve overlap (or port in case of two-stroke) period, HC emissions can be lowered at constant speed riding and deceleration. However, riding performance deteriorates due to decreasing power output. By retarding the ignition timing, a raise of the exhaust gas temperature promotes the oxidation of HC. This also reduces power output and increases fuel consumption. Therefore, a proper balance must be found.

Secondary air injection

External, fresh air is drawn in to the exhaust port(s) through reed valves using the pulsating negative pressure inside the exhaust pipe. This results in an afterburning of CO and HC.

Air injection systems are sometimes used in combination with catalyst technology.

Achievable emission reduction rates:	CO	25-60%
	HC	10-40%
	NOx	no effect

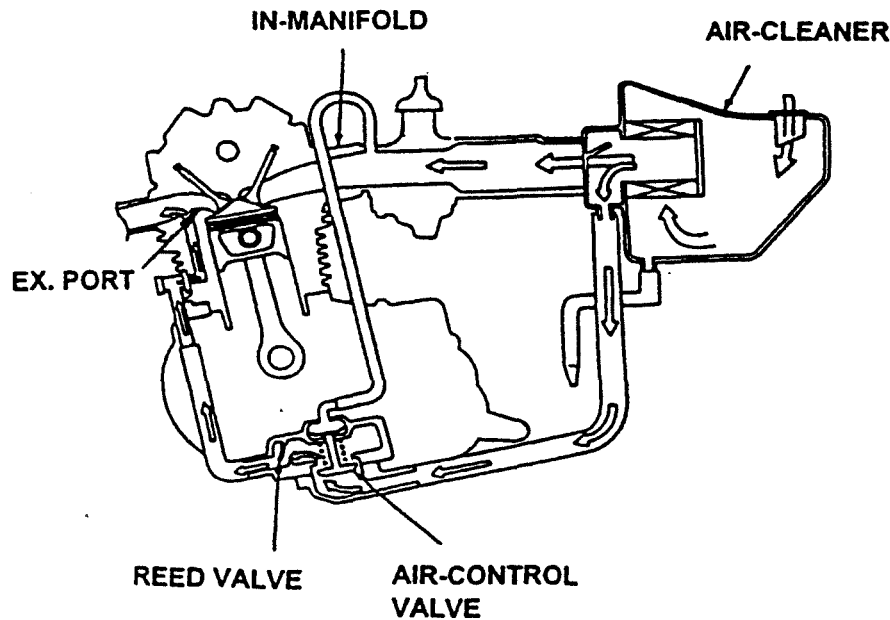


Fig.5: Air Injection System

Exhaust gas recirculation

EGR is widely used in four-wheel vehicles for NOx reduction. With this technique, a part of the exhaust gas is recirculated into the inlet route so as to add inactive gases to the A/F mixture, thus reducing NOx generation due to a slower combustion speed and a lower combustion temperature. Many two-stroke engines naturally adopt internal EGR due to their scavenging mechanism.

Oxidation catalysts

Oxidation catalysts are utilised to reduce CO and HC by promoting their oxidation mainly in cases when the exhaust gas temperature is not high enough for secondary combustion. Catalysts are commonly made of ceramic or metal sheet and coated with Platinum or Palladium.

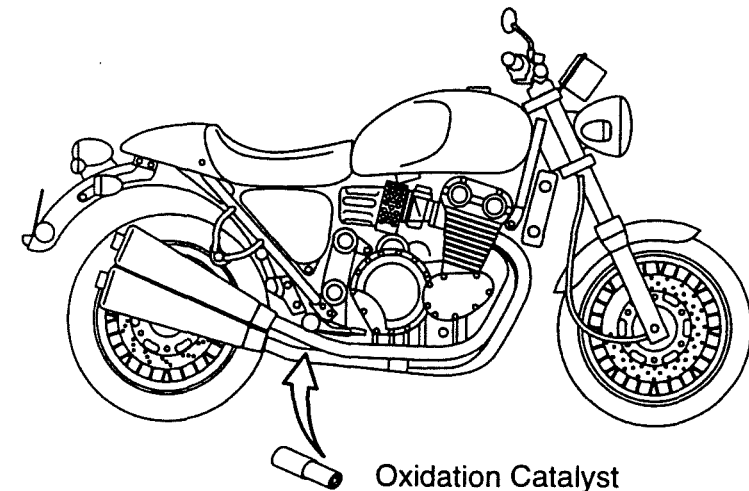


Fig. 6: Four-Stroke Motorcycle with Oxidation Catalyst

Three-way catalysts

Three-way catalysts are designed to promote the oxidation of CO and HC and the chemical reduction of NOx, all in the same single tier. The substrate is the same as with oxidation catalysts, the coating consists of Platinum/Rhodium or Palladium/Rhodium. In order to simultaneously clean all three types of gases, the concentrations of reductive gases (CO,HC,NOx) and oxidising gas (O2) must be balanced within a certain range. The width or "window" of A/F ratio satisfying this condition

is found to be a very narrow range near the stoichiometric ratio (14,5:1 air to fuel ratio by weight), as shown in figure 7.

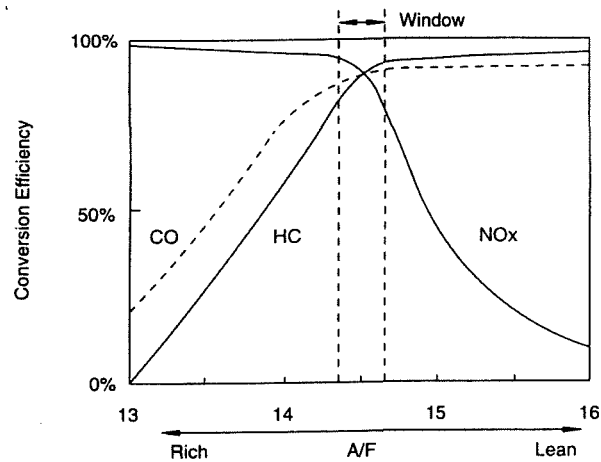


Fig. 7: Conversion Efficiency of Three-way Catalyst

Consequently, this A/F ratio must be controlled to remain in the "window". To ensure this, an oxygen sensor is needed, along with high sophisticated engine management systems such as electronic fuel injection and ignition, often a combination of both.

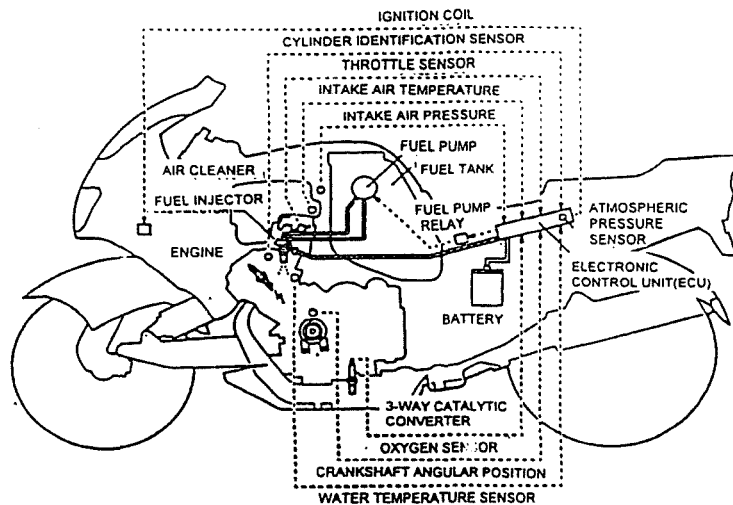


Fig. 8: Three-way Catalyst (Closed-loop) and Electronic Fuel Injection System

New technologies

New technologies, which are considered to be applied to motorcycles are the following:

- Lean Burn Systems (4 ∞)
- Variable Valve Timing (4 ∞)
- Direct Injection (mainly 2 ∞)

The a.m. technologies have already been developed for car applications. Due to their extremely complex and expensive mechanism, an adoption to motorcycles is not possible at an early time. Direct injection is the most promising development in case of two stroke engines.

Fuels and engine oils

Environmental studies, carried out all over the world, have indicated that gasoline formulation has considerable influence on automotive emission characteristics and have led to environmental improvement through fuel reformulation. The recognised improvements include control of lead pollution, reduction of sulphur, fuel evaporation characteristics etc. The same applies to engine oils, where the lowering of friction through the reduction of oil viscosity has led to lower fuel consumption.

2.2 Noise

Test procedures and corresponding limit values

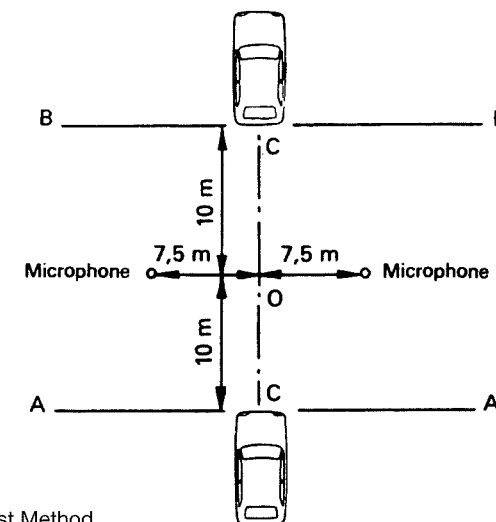


Fig. 9: ISO 362 Test Method

This procedure is basis for most of the noise regulations worldwide, e.g. EU, ECE, Japan.

Approach speed 50 km/h, full acceleration, 7,5m microphone distance

Limit values (EU): 80–175 cc 77 dB(A)
 > 175 cc 80 dB(A)

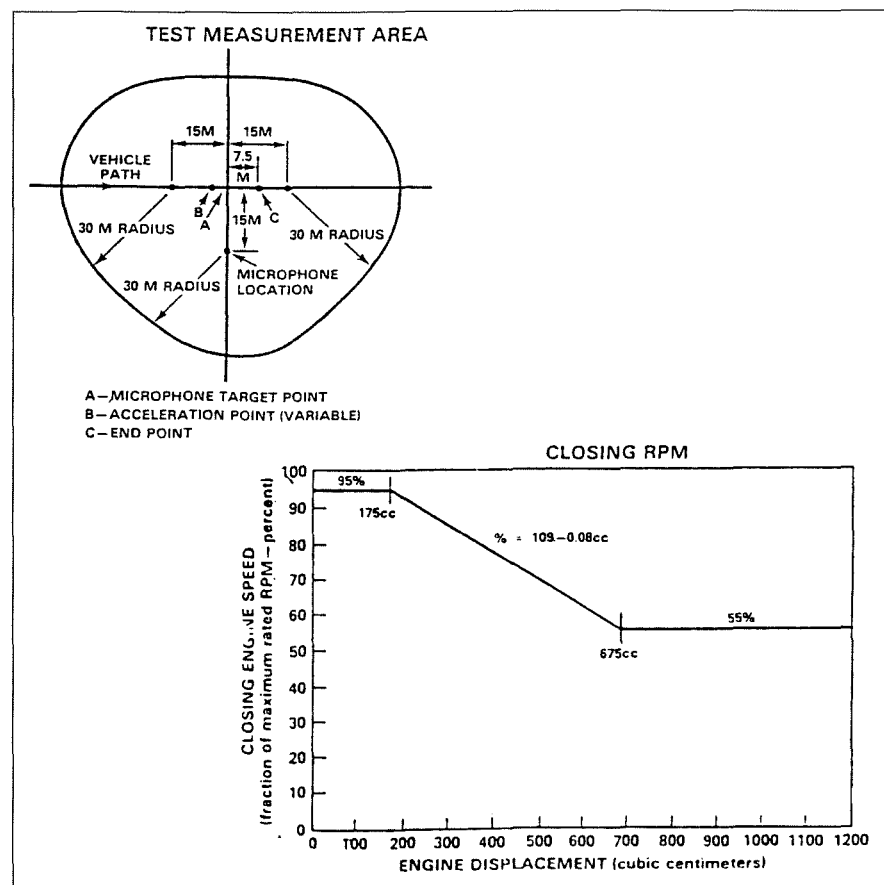


Fig. 10: U.S. EPA Test Method

This procedure uses a determined exit speed at the end of the acceleration zone.

Full acceleration, but variable length, microphone distance 15m

Limit value: 80 dB(A)

Technology

History of motorcycle noise

Over the past 30 years, the noise of motorcycles has been significantly reduced, as shown in Figure 11. This graph also shows the contribution of the major noise sources and their reduction over the years.

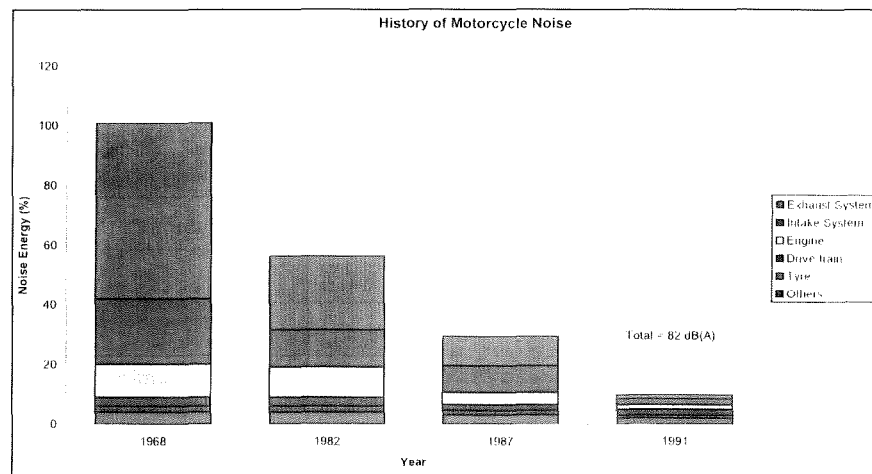


Fig. 11: History of Motorcycle Noise

Technical options for making new motorcycles quieter are limited, as known noise reduction technologies are already applied to meet existing limits. Therefore, there is no single solution since the contribution of each noise source differs depending on the type of motorcycles (see Figure 12).

Other measures

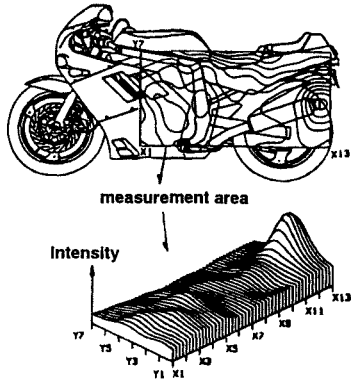
A survey undertaken by IMMA in 1994 has shown that about 35% of the motorcycles and 65% of mopeds in Europe were fitted with either illegal or modified exhaust systems. The presence of so many illegal systems raises the average noise output 7times!

Figure 13 indicates noise reduction scenarios which could be achieved by cutting the number of illegal exhausts in the present motorcycle parc.

From this, it is clear that limit value reductions for new motorcycles will have minimal effect compared to cutting the number of illegal exhausts currently in use.

Identification of Noise Sources

Acoustic intensity method
(Detection of Noise Source)



Typical Example of Energy
Contribution of Noise Source

MC (cc)	Contribution (%)					
	Exhaust	Intake	Engine	Drive	Tire	Other
1200	35	15	35	5	5	5
750	25	13	42	8	2	10
250	15	28	32	8	4	13
600	31	21	11	8	10	19
850	15	10	28	10	10	27
250	30	31	19	8	8	4
400	29	27	18	8	12	6
750	32	25	23	8	10	2
Average	26	21	26	8	8	11

Measured Intensity Patterns of Noise Source of 4 Motorcycles

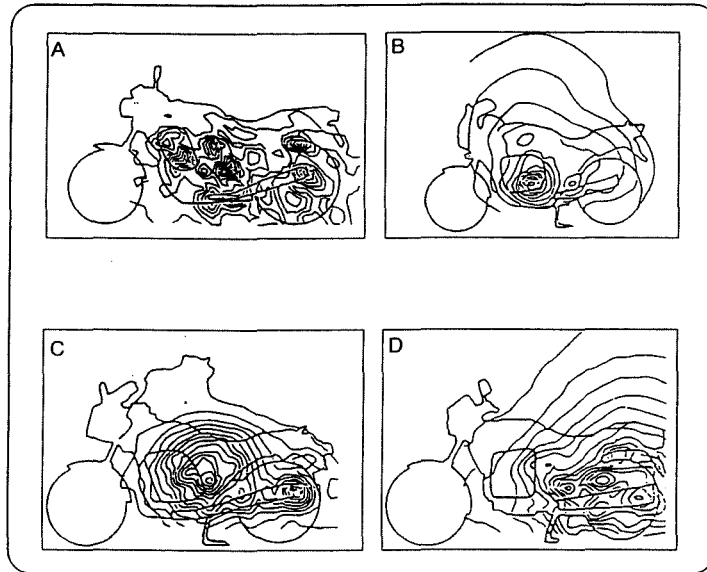


Fig. 12: Identification of Noise Sources

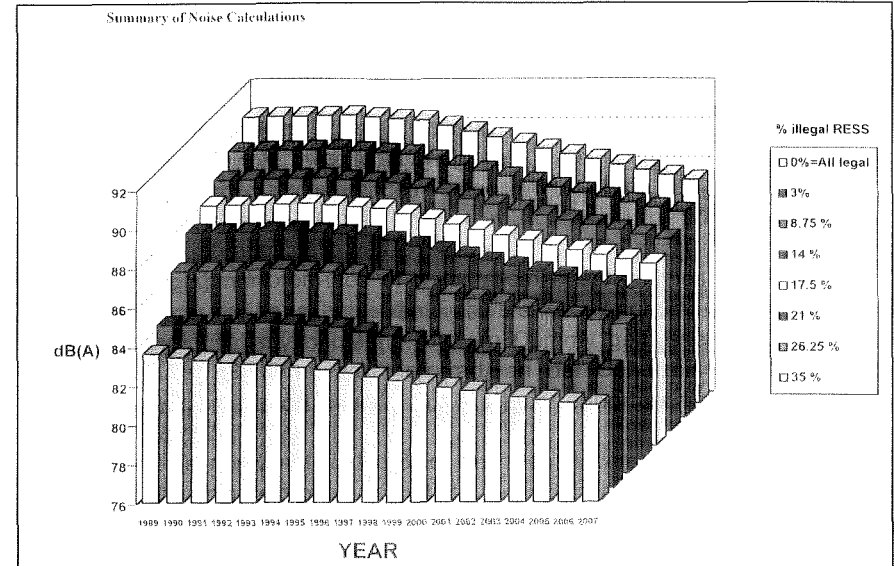


Fig. 13: Summary of Noise calculations

3. Summary and conclusions

To further reduce exhaust emissions of motorcycles, a variety of technical solutions are available. Not all of them can be applied to all engine configurations, however, both from a technological and economical point of view.

As far as noise is concerned, the greatest and swiftest improvement could be achieved by reducing the percentage of illegal silencing systems in use. Reducing the limit values for new motorcycles would bring only marginal results over a very long period.

List of References

1. ACEM: ACEM Pollution Research Programme on Motorcycles – Brussels/B/1998
2. IMMA: Motorcycle Noise: The Curious Silence – Geneva/CH/1996

**Lärmverursachung durch Fahrverhalten und Konzepte
zur Minderung der Geräuschemission von Motorrädern**

***Noise Causation by Driving Behavior and Concepts
for a Reduction of Noise Emission from Motorcycles***

Reiner Stenschke

Umweltbundesamt – Berlin
Deutschland

Ulrich Schulz

Universität Bielefeld – Fakultät für Psychologie und Sport
Deutschland

Abstract

Motorcycles cause noise problems mainly because they are often used as recreational vehicles at noisesensitive times in otherwise quiet areas. The noise nuisance is further aggravated by a high-speed driving style and the use of non-approved exhaust systems.

Many motorcycle riders view "the sound" to be an integral component of their vehicles image. They tend to consider the loudness of their motorcycles as normal and are reluctant to do without this to them important feature.

To protect the people affected by it, this paper proposes strategies designed to alleviate the problem of motorcycle noise on "problem routes" in particular.

Zusammenfassung

Motorräder verursachen Lärmprobleme vor allem deshalb, weil sie häufig als Freizeitgeräte besonders zu lärmsensiblen Zeiten in ansonsten ruhigen Gebieten gefahren werden. Eine hoctourige Fahrweise sowie die Verwendung nicht zugelassener Ersatzschalldämpfer erhöhen die Lärmbelastung zusätzlich.

Für viele Motorradfahrer wird der „Sound“ als integraler Bestandteil des Erscheinungsbildes des Fahrzeugs angesehen. Sie schätzen die Lautstärke der eigenen Maschine eher als normal ein und zeigen kaum eine Bereitschaft, auf diese für sie wichtigen Eigenschaften des Fahrzeugs zu verzichten.

Zum Schutz der Betroffenen vor Motorradlärm werden Handlungsstrategien vorgeschlagen, die vor allem die Lärmproblematik an sog. „Problemstrecken“ mildern sollen.

1. Einleitung

Motorräder gehören nach wie vor zu den lautesten Fahrzeugen im Straßenverkehr, subjektiv werden sie als besonders belästigend empfunden.

Sie stören vor allem dort, wo sie als Einzelereignis wahrgenommen werden. Ihre häufige Nutzung als Instrument der Freizeitgestaltung macht dabei die Lärmproblematik besonders vielschichtig. Neben der hohen Geräuscentwicklung (im Mittel vergleichbar laut wie Lkw) wird die subjektive Belästigung wegen des Hobbycharakters des Motorrades aus folgenden Gründen zusätzlich verstärkt:

- Benutzung ansonsten gering belasteter Straßen
- Benutzung von Straßen an Wochenenden und Feiertagen in attraktiven Gebieten, die auch von nicht Motorrad fahrenden Erholungsuchenden aufgesucht werden.
- Unnötig starkes Beschleunigen unter Ausnutzung des vorhandenen Drehzahl-niveaus („Hochziehen der Gänge“).

Ein weiteres besonders gravierendes Lärmproblem bei Motorrädern ist neben der mißbräuchlichen, unnötig hochtourigen Fahrweise die Verwendung nicht genehmigter, geräuscherhöhender Ersatzschalldämpfer, die oft nicht nur durch höhere dB(A)-Werte sondern durch ihren besonderen „Sound“ auffallen, der vom Benutzer als angenehm, vom Betroffenen jedoch oftmals als besonders lästig empfunden werden kann.

Das Lärminderungspotential in den beiden genannten Problemfeldern (mißbräuchliche Betriebsweise, unzulässige Ersatzschalldämpfer) ist deutlich höher als das noch vorhandene Potential in Hinblick auf verbesserte Lärminderungstechnik an Serienfahrzeugen unter Typprüfbedingungen [1, 2].

Daher sind neben einer weiteren Fortschreibung der Geräuschvorschriften – auch über die ab 17. Juni 1999 inkrafttretenden EU-einheitlichen Geräuschgrenzwerte gemäß der Richtlinie 97/24/EG hinaus – speziell bei Motorrädern flankierende Maßnahmen zur Minderung der Geräuschbelastung notwendig, die zu einem verbesserten Fahrverhalten und zu einer Verhinderung nicht zugelassener Ersatzschalldämpfer führen.

Ein Konzept hierfür wurde im Auftrag des Umweltbundesamtes im Zeitraum 1995 bis 1998 interdisziplinär von folgenden Beteiligten erarbeitet [3].

- FiGE GmbH Forschungsinstitut Geräusche und Erschütterungen (FiGE)
- ifz e.V. Institut für Zweiradsicherheit (ifz)
- Lärmkontor GmbH (LK)

- Universität Bielefeld Fakultät für Psychologie und Sportwissenschaft (Uni Bielefeld)
- Universität Hamburg Fachbereich Rechtswissenschaft II (Uni Hamburg)

In mehreren Arbeitsschritten wurden u.a. Fahrzeugbestand einschließlich geräuschrelevanter Zubehörteile (Ansaugfilter und Auspuffanlagen) analysiert, die vorhandenen Rechtsvorschriften zum Lärmschutz beim einzelnen Kraftfahrzeug sowohl für die Typzulassung als auch für Kontrollen im Verkehr bewertet und Mitarbeiter von Polizeidienststellen zur Überprüfung von Motorrädern im Straßenverkehr nach ihren Erfahrungen „vor Ort“ befragt.

Schwerpunktmäßig wurden vor allem die Einstellungen der Motorradfahrer zum Fahrgeräusch und zu Maßnahmen gegen den Motorradlärm untersucht sowie Handlungsstrategien entwickelt, die eine verbesserte Effizienz bei der Überwachung und ein verbessertes Fahrverhalten sicherstellen sollen.

Die wichtigsten Ergebnisse zu den beiden zuletzt genannten Untersuchungsabschnitten werden im folgenden dargestellt.

2. Einstellungen von Motorradfahrern zum Fahrgeräusch und zu Maßnahmen gegen Motorradlärm

Untersuchungen von Battmann haben gezeigt, daß ca. 50% der Motorradfahrer eine deutliche Präferenz für das Geräusch des Motorrades haben [4]. Detailliertere Analysen von Schulz ergaben dann, daß ca. ein Drittel der Motorradfahrer besondere Vorlieben für das Geräusch des Fahrzeuges, welches sie auch als „Sound“ bezeichnen, aufweisen [5]. Diese Studie zeigte, daß der „Sound“ als integraler Bestandteil des Erscheinungsbildes des Motorrades empfunden wird und damit zum Styling und Design gehört. Insbesondere Fahrer, die einen rennsportlichen Fahrstil praktizieren oder solche, denen die Exklusivität der Maschine wichtig ist, messen dem „Sound“ eine große Bedeutung bei. Entsprechend wichtig wird das Motorgeräusch in den Gruppen der Fahrer von Racern und Choppern eingeschätzt. Weiterreichende Studien der Universität Bielefeld haben auch gezeigt, daß Motorradfahrer, die ihr Fahrzeug mit einer Zubehör-Abgasanlage an Stelle der originalen Anlage ausstatten oder die Abgasanlage eigenhändig verändern, dem Fahrzeuggeräusch einen höheren Wert zumessen.

In dem nun darzustellenden Forschungsprojekt im Auftrag des Umweltbundesamtes wurden u.a. die Einstellungen zum Fahrzeuggeräusch und die Bewertung von Maßnahmen zur Lärmbekämpfung in acht Gruppen von Motorradfahrern detailliert untersucht:

Es wurden die vier Motorradtypen

- Normale Straßenmaschinen und Tourer,
- Sportliche Motorräder einschließlich Supersportler,

- Chopper und
- Enduros unterschieden. Innerhalb jedes Motorradtyps wurde danach differenziert, ob das Motorrad eine originale Abgasanlage hatte oder nicht. Um die interessierenden Einstellungen in allen acht Gruppen annähernd gleich genau zu untersuchen, wurde bei der Datenerhebung darauf geachtet, daß alle Gruppen ungefähr gleich stark besetzt waren. Die Erhebung der Einstellungen und Wertungen wurde mit Hilfe eines Fragebogens durchgeführt, der auf der Grundlage von 100 Tiefeninterviews in einer Vorstudie mit Motorradfahrern zum Thema Fahrzeuggeräusch entwickelt worden war. Die Befragungen wurden bei einem Motorradfahrertreffpunkt im Kreis Lippe durchgeführt. An der Untersuchung nahmen 113 Personen teil. 90% waren Männer. Das Durchschnittsalter lag bei 32,6 Jahren.

Über die vier Motorradtypen hinweg hatten 51% der Befragten ein Fahrzeug mit einer originalen Abgasanlage. Bei den Motorrädern mit nicht originalen Abgasanlagen waren 24% abgeänderte Originalanlagen, 58% Zubehöranlagen und 18% geänderte Zubehöranlagen. Ähnliche prozentuale Aufteilungen der nicht originalen Abgasanlagen wurden auch innerhalb jeder der vier Motorradkategorien gefunden. Von den nicht originalen Abgasanlagen hatten 46% weder eine ABE noch eine TÜV-Zulassung. Hierbei handelte es sich hauptsächlich um abgeänderte Abgasanlagen. Am häufigsten wurden als Gründe für die Verwendung einer nicht originalen Abgasanlage genannt: die Herstellung eines angenehmeren Sounds (60%), die Verbesserung der Optik (36%) bzw. die Erhöhung der Lautstärke (36%).

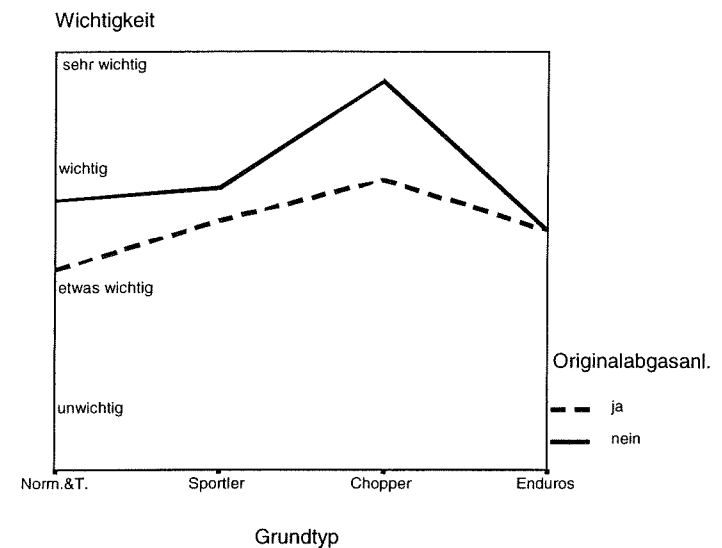


Bild 1: Wichtigkeit des Geräuschs des Fahrzeugs

Als Hauptaspekt der Einstellungen zum Fahrzeuggeräusch wurde zunächst dessen Wichtigkeit analysiert. Bild 1 zeigt die mittleren Wichtigkeitseinschätzungen des Sound auf einer vierstufigen Skala. Für die Befragten mit originaler bzw. nicht originaler Abgasanlage wurden die mittleren Wichtigkeitseinstufungen über die vier Motorradtypen hinweg im Sinne eines Profils verbunden. Fahrer nicht originaler Abgasanlagen schätzen die Wichtigkeit des Sounds über die Motorradtypen hinweg signifikant höher ein als solche mit originalen Anlagen. Zwischen den Motorradtypen zeigen sich auch bedeutsame Unterschiede der Wichtigkeitseinschätzung: Chopperfahrer finden den Sound wichtiger als Fahrer der anderen Gruppen.

Sound Eigenschaft	Vorhanden bei Prozentsatz der Fahrzeuge	Besonders wichtig für Motorradtyp	Besonders wichtig für Abgasanlage
Dumpf	68	Chopper	Nicht original
bolliger	61	Chopper	Nicht original
Kraftvoll, satt	79	Sportler, Chopper	Nicht original
mächtig	64	Chopper	Nicht original
Rund, glatt	74		
ruhig	71		original
Knallend, knatternd	61		

Tabelle 1: Das Klangbild des Fahrzeuggeräuschs und seine Wichtigkeit

Als weitere Differenzierung wurde erhoben, welches Klangbild die Fahrer ihrem Fahrzeug zuschreiben und wie wichtig dieses, falls vorhanden, für die Fahrer ist. In Tabelle 1 werden die einzelnen Klangbilder in der ersten Spalte bezeichnet und in der zweiten Spalte die Prozentsätze der Motorräder angegeben, deren Klangbild der Beschreibung entsprach. Die nächsten beiden Spalten kennzeichnen kurz, bei welchen Motorradtypen und bei welchen Abgasanlagen dieses Klangbild eine besonders hohe Wichtigkeitseinstufung erfuhr. Am häufigsten wird ein kraftvoll, satter Klang berichtet. Dieser ist besonders für Fahrer von Sportmaschinen und Choppern wichtig. Fahrer mit nicht originalen Abgasanlagen heben ebenfalls die Wichtigkeit eines kraftvollen Sound hervor.

In Bild 2 werden die Einschätzungen der Lautstärke der eigenen Maschine dargestellt. Fahrer von Motorrädern mit originalen Abgasanlagen der verschiedenen Motorradtypen schätzen die Lautstärke gleichmäßig als normal ein. Die Fahrer von Motorrädern mit nicht originalen Abgasanlagen geben auch eine relativ gleichmäßige Einstufung ab, die aber signifikant höher im Bereich angenehm laut liegt.

Lautstärke

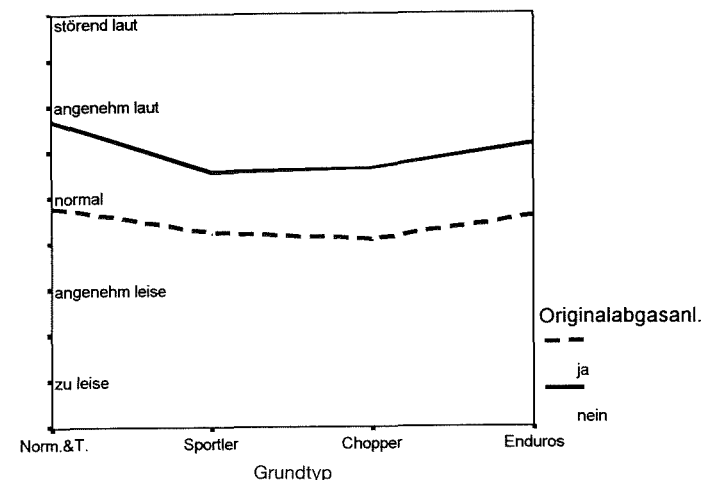


Bild 2: Einschätzung des Geräuschs des eigenen Motorrades

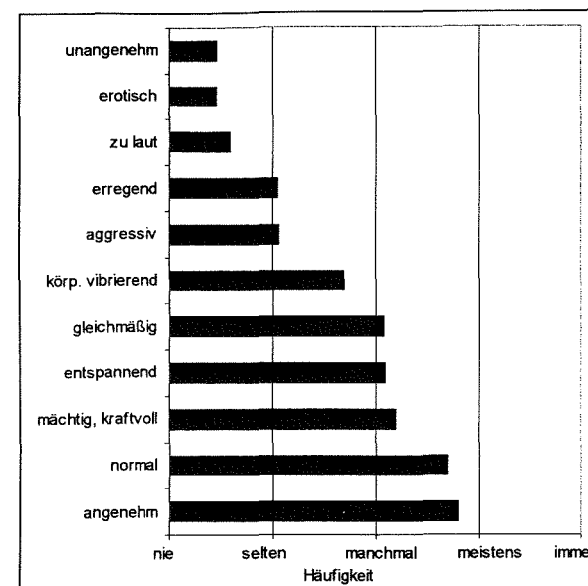


Bild 3: Häufigkeit der Wirkung des Fahrzeuggeräuschs auf den Fahrer

Im nächsten Schritt wurde die Wirkung des Fahrzeuggeräuschs auf den Fahrer untersucht. Diese Ergebnisse werden in Bild 3 aus Platzgründen nur summarisch

berichtet. Im Durchschnitt fanden die Befragten das Fahrzeuggeräusch am häufigsten angenehm und normal, manchmal mächtig kraftvoll, entspannend oder gleichmäßig, selten erregend, aggressiv oder vibrierend und fast nie zu laut, erotisch oder unangenehm. Insbesondere zwischen den Motorradtypen ergaben sich für einige Wirkungen signifikante Unterschiede.

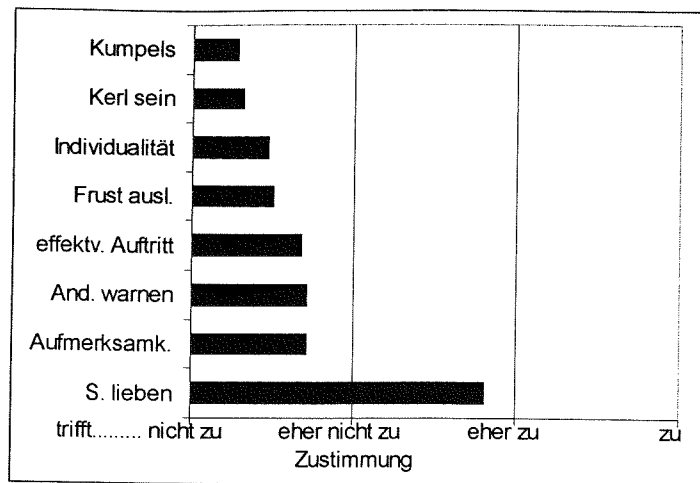


Bild 4: Gründe, warum man selbst ein lautes Motorrad fahren sollte

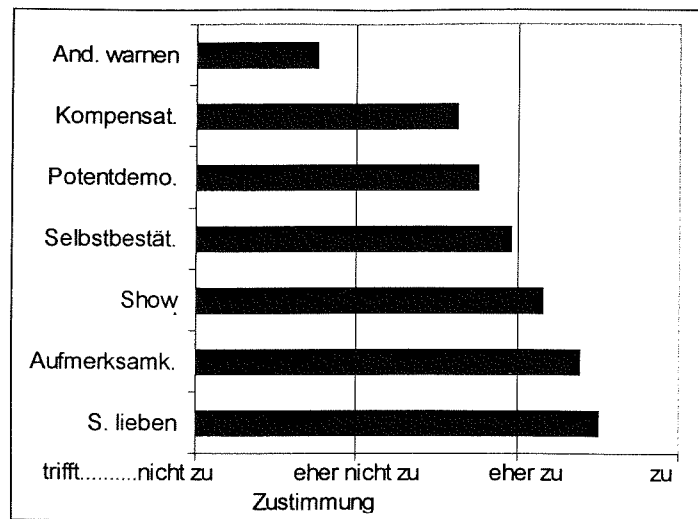


Bild 5: Gründe, warum andere Motorradfahrer laute Motorräder fahren

In Bild 4 sind die durchschnittlichen Zustimmungswerte für verschiedene Gründe, warum die Befragten bewußt ein lautes Motorrad fahren würden aufgeführt. Moderate Zustimmung erfährt nur der Grund, daß man den Sound liebt. Auslebenstendenzen durch Lärm oder soziales Imponiergehabe werden als Gründe weitgehend verneint. Bei der tieferen Analyse der Daten zeigen sich nur in zwei Fällen signifikante Einflüsse des Faktors Originalität der Abgasanlage.

In Bild 5 werden die Gründe dafür, daß andere Motorradfahrer ein lautes Motorrad fahren abgehandelt. Deutliche Zustimmung erfährt die Liebe zum Sound und das Erregen von Aufmerksamkeit, moderate Zustimmung erfahren Showgebaren und Selbstbestätigung, im Schnitt neutral werden Potenzdemonstration und Kompensationstendenzen bewertet. Eher unglaublich erscheint die Warnfunktion des Fahrzeuggeräuschs. Motorradfahrer unterstellen also anderen Auslebenstendenzen und soziales Imponiergehabe im Zusammenhang mit dem lauten Fahrzeuggeräusch, Gründe, die sie für ihre eigene Person nicht gelten lassen. Bei diesen Fremdeinschätzungen ergeben sich vermehrt deutlich Unterschiede zwischen Motorradtypen und ein Einfluß der Originalitätsvariable. Tendenziell stellen Fahrer von Motorrädern mit nicht originalen Abgasanlagen sowie Sportfahrer oder Chopperfahrer Auslebenstendenzen und soziales Imponiergehabe als Gründe für lautes Motorradfahren eher in Frage.

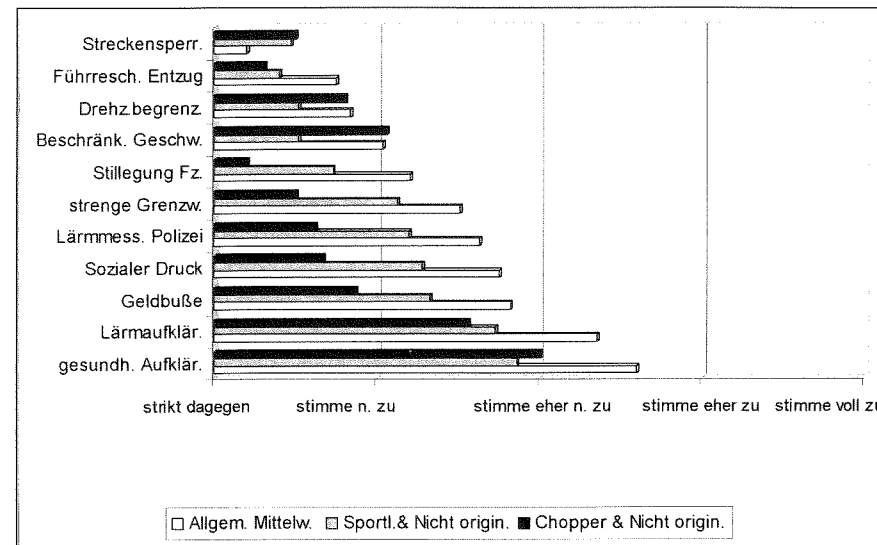


Bild 6: Bewertung unterschiedlicher Maßnahmen gegen Motorradlärm

In Bild 6 sind die Ergebnisse der Befragung hinsichtlich der Bewertung verschiedener Maßnahmen gegen Motorradlärm dargestellt. Den Motorradfahrern wurden

11 Maßnahmen, die in der Abbildung mit Kürzeln benannt sind, vorgegeben. Die Zustimmung wurde auf einer fünfstufigen Skala erfaßt. Zunächst wird pro Maßnahme in der Abbildung der allgemeine Mittelwert dargestellt. Die statistische Analyse zeigte, daß bei vielen Maßnahmen deutliche, signifikante Unterschiede zwischen den einzelnen Motorradtypen mit originaler bzw. nicht originaler Abgasanlage bestanden. Diese waren in weiten Teilen auf die Fahrer sportlicher Maschinen mit nicht originaler Abgasanlage und auf Fahrer von Choppern mit nicht originaler Abgasanlage zurückzuführen. Deshalb werden für diese beiden Gruppen für jede Maßnahme die Zustimmungsmittelwerte separat in der Grafik dargestellt. Wie die Abbildung zeigt, erfahren Aufklärungsmaßnahmen über gesundheitliche Risiken des Lärms und über den Lärm generell in der Gesamtgruppe aller Befragten noch gerade positive Zustimmungswerte. Fahrer von Sportmaschinen oder Choppern ohne originale Abgasanlage liegen mit ihrem Mittelwert bei diesen beiden Maßnahmen schon tendenziell im ablehnenden Bereich. Maßnahmen wie Geldbußen, sozialer Druck anderer Motorradfahrer, Lärmmessungen der Polizei, strengere Grenzwerte, Stilllegung des Fahrzeugs werden in der Gesamtgruppe in dieser Reihenfolge zunehmend negativer bewertet. Fahrer sportlicher Maschinen mit nicht originaler Abgasanlage werten diese einzelnen Maßnahmen deutlich negativer. Sie werden in der Ablehnung dieser Maßnahmen allerdings noch einmal von den Fahrern von Choppern mit nicht originaler Abgasanlage übertroffen. Völlige Anlehnung in der Gesamtgruppe und auch in den beiden Extremgruppen von Motorradfahrern erfahren Maßnahmen zur Geschwindigkeitsbeschränkung oder Drehzahlbegrenzung der Motorräder, Führerscheinentzug und Streckensperrungen. Bei den letzten vier Maßnahmen zeigen sich mindere Unterschiede zwischen den einzelnen Gruppen, die zum Teil in den speziellen Fahrphilosophien von Chopperfahrern und Sportfahrern begründet sind.

Nachdem die obigen Darlegungen gezeigt haben, daß die positiveren Einstellungen zum Fahrzeuggeräusch bei einer größeren Zahl von Motorradfahrern ziemlich stark ausgeprägt sind und bis auf Informationsgabe alle anderen Maßnahmen zur Beeinflussung abgelehnt werden, sollen im nachfolgenden Kapitel unterschiedliche Strategien zur Einstellungs- und Verhaltensbeeinflussung der Motorradfahrer hinsichtlich des Fahrzeuggeräuschs erörtert werden.

3. Handlungsstrategien zur Minderung der Lärmbelästigung durch Motorräder

Ausgangspunkt für die Entwicklung von Handlungsempfehlungen sind nachstehende auf den rechtlichen, technischen und psychologischen Berichtsteilen [3] basierenden Schlußfolgerungen:

- Wegen der Konzentration der Lärmbeschwerdefälle auf wenige Straßenabschnitte sind keine flächendeckenden, sondern auf die Besonderheiten von Problemstrecken zugeschnittene Lösungsansätze zu entwickeln.

- Diese Lösungsansätze sind durch Informationstransfer-Konzepte für die Zielgruppe „Polizei – Motorradfahrer – Fahrschulen“ zu unterstützen.

Hierfür bieten sich vier „Härtegrade“ an:

- *Papier-Kampagne* – mit zielgruppenorientierter Aufklärung und Information zunächst für Insider (z.B. Checklisten für Polizeibeamte, Fahrschulunterlagen)
- *Symbol-Kampagne* – mit sanktionsunterstützter Motivation zu lärmarmen Verhalten
- *Straßenverkehrsrechtliche Kampagne* – mit dem Teilziel „Verringerung der Streckenattraktivität“
- *Dosis-Kampagne* – mit der Möglichkeit (temporäre) Streckensperrung vornehmen zu können

Darüber hinaus sollte – als Klammer für diese Ansätze – eine Kampagne zur Verbesserung des (bundesweiten) Informationstransfers (*Informationsbereitstellung*) konkretisiert werden.

3.1 Papier – Kampagne

Kurzbezeichnung der Maßnahme

Die *Papier-Kampagne* soll mit zielgruppenorientierter Aufklärung und Information vor allem Insider zu lärmarmen Fahren motivieren und zum Verzicht auf unzulässig „laute“ und abgasreiche Motorräder bewegen.

Problem

- Fahrschulunterlagen und -ausbildung befinden sich noch in der umweltpolitischen Steinzeit. In Anbetracht des aktuellen Erscheinungsbildes des Umweltschutzgedankens in Fahrschulen ist es ein schwieriges Unterfangen, den von Motorradfahren potentiell ausgehenden Lärmkonflikt in die Ausbildung zu implementieren.
- Polizeibeamte stehen bei Kontrollen auffällig „lauter“ Motorräder oft fachlich allein.

Maßnahmen

- Informationsfaltblätter, z.B. mit Problembeschreibung, Betroffenenreaktionen, möglichen Konsequenzen, drohenden Sanktionen, Lösungsansätzen zur Vermeidung von einschneidenden Sanktionen sowie zu den Ansätzen der im weiteren skizzierten Kampagnen
- Checklisten für die Vor-Ort bei Kontrollen tätigen Polizeibeamten
- Entwicklung von Vorschlägen zur Verbesserung der Fahrschulbildungsunterlagen und des Fahrschulunterrichts

Wirksamwerden

kurz- bis mittelfristig

Handlungsträger

Fahrschulen, Straßenverkehrsbehörden, (Motorrad-)Verbände, (Fach-)Presse

3.2 Symbol – Kampagne

Kurzbezeichnung der Maßnahme

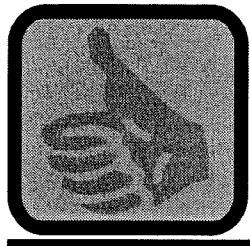
Die *Symbol-Kampagne* setzt auf die durch „Geheimzeichen“ unterstützte Einsicht der Motorradfahrer – denen mit dieser Kampagne ein Vertrauensvorschub eingeräumt werden sollte –, eine lärmarme Fahrweise zu praktizieren.

Problem

Der Motorradlärm ist kein flächendeckendes sondern ein meist punktuelles Problem im Umfeld „attraktiver“ Routen, den sogenannten „Problemstrecken“.

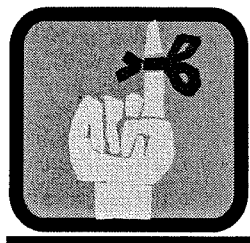
Maßnahme

Die *Symbol-Kampagne* soll nur an (potentiellen) Problemstrecken Anwendung finden. Sie soll darauf hinweisen, daß durch unvernünftige (zu laute) Motorradfahrer Menschen belästigt werden, die in Erwägung ziehen, für eine Sperrung der Strecke einzutreten. Diese Kampagne sieht vor, daß an den Ortseingängen betroffener Gemeinden bzw. zu Beginn der Streckenabschnitte, die Gemeinden beeinträchtigen, Schilder installiert werden, die nur „Eingeweihten“ – in diesem Falle Motorradfahrern – verständlich sind. Die „Geheimzeichen“ sollten durch farbige Abstufungen die Bereitschaft der Belästigten signalisieren, eine Streckensperrung zu initialisieren und in letzter Konsequenz auch durchzusetzen.



Der nach oben gestreckte Daumen einer grünen Hand signalisiert: „Es hat hier zwar schon Lärmbeschwerden gegeben. Die Probleme sind jedoch vorerst beseitigt. Dennoch besteht immer noch die Gefahr einer Streckensperrung, wenn hier wieder unvernünftig und laut gefahren wird.“

Begleitende Maßnahmen: Es ist damit zu rechnen, daß die Polizei dennoch stichprobenartig Geschwindigkeitskontrollen durchführt.



Der nach oben gestreckte Zeigefinger einer gelben Hand ist rot verbunden. Das bedeutet: „Es gibt ernstzunehmende Beschwerden über Motorradlärm. Es besteht aber immer noch eine gewisse Bereitschaft der Belästigten, den Motorradfahrern die Möglichkeit einzuräumen, zukünftig lärmarm zu fahren.“

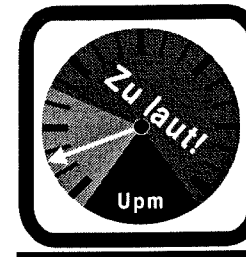
Begleitende Maßnahmen: stichprobenweise Geschwindigkeits- und Fahrzeugkontrollen



Der nach unten weisende Daumen einer roten Hand entspricht der rot-gelben Karte im Fußball: „Die Lärmbeschwerden haben die Straßenverkehrsbehörde erreicht. Dort wird geprüft, welche Maßnahmen gegen die Belästigungen ergriffen werden. Wird nicht umgehend vernünftig gefahren, werden in kürzester Zeit *harte* Maßnahmen ergriffen.“

Begleitende Maßnahmen: massive Geschwindigkeits- und Fahrzeugkontrollen

Abb. 7: Beschilderung des Problemstreckenansfangs



Insgesamt soll das Symbol anzeigen, daß die befahrene Strecke in der Vergangenheit Lärmprobleme für die Anwohner erzeugt hat. Der Drehzahlmesser symbolisiert, daß eine Fahrweise im niedrigen Drehzahlbereich (grüner Sektor) nicht zu laut ist (roter Sektor) und damit von den Anwohnern einer Problemstrecke leichter akzeptiert werden kann.

Begleitende Maßnahmen: Geschwindigkeits- und Fahrzeugkontrollen

Abb. 8: Alternative Beschilderung des Problemstreckenansfangs



Am Ortsausgang bzw. am Ende des Problemabschnittes muß eine positive Rückmeldung z.B. darüber erscheinen, wie viele Einwohner sich für die Rücksichtnahme bedanken.

Dieses Symbol gibt wieder, daß sich 2.493 Bad Bollerheimer Bürger für rücksichtsvolles (Motorrad-)Fahren bedanken. Außerdem wird das Bemühen um ein sich gegenseitig akzeptierendes Miteinander durch den „Händedruck“ symbolisiert.



Auch mit diesem Symbolvorschlag bedanken sich 2.493 Bürger des Ortes Bad Bollerheim für rücksichtsvolles (Motorrad-)Fahren. Darüber hinaus symbolisiert es den Schutz der Ruhe.

Abb. 9: Beschilderung des Problemstreckenendes

Wirksamwerden

kurz- bis mittelfristig

Handlungsträger

Kommunen, (Motorrad-)Verbände, (Fach-)Presse

3.3 Straßenverkehrsrechtliche Kampagne

Kurzbezeichnung der Maßnahme

Die *Straßenverkehrsrechtliche Kampagne* soll durch relativ einfache straßenverkehrsrechtliche Maßnahmen zu schnelles und damit zu lautes Fahren verhindern helfen.

Problem

Der Motorradlärm auf den sogenannten „Problemstrecken“ ist häufig eine Frage zu hoher Geschwindigkeiten und Drehzahlen.

Maßnahme

Die *straßenverkehrsrechtliche Kampagne* zielt auf die Anordnung von Überholverboten in Verbindung mit deutlichen Geschwindigkeitsbegrenzungen ab. Eine solche Maßnahmenkonstellation ist im Bereich der Problemstrecke „Sudelfeld“ bei Bayrischzell erfolgreich eingesetzt worden.

Grundsätzlich ist zunächst festzustellen, auf welchem Straßenabschnitt tatsächlich Probleme für angrenzende bzw. benachbarte Wohnstandorte erzeugt werden. Für diesen Abschnitt wird ein ganzjähriges Überholverbot angeordnet. Es wird durch eine entsprechende Beschilderung jeweils zu Beginn der Problemstrecke und durch eine durchgezogene Doppellinie in Straßenmitte angezeigt.

Während der „Motorradsaison“ wird an Problemtagen und während problematischer Tageszeiten zusätzlich zum Überholverbot eine Geschwindigkeitsbegrenzung angeordnet. Die entsprechenden Verkehrsschilder sollten klappbar sein, so daß sie nicht laufend transportiert werden müssen.

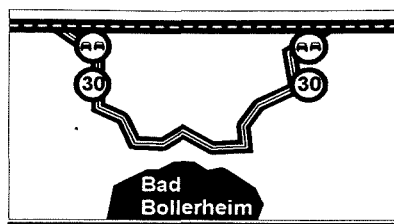


Abb. 10: Innerhalb der Motorradsaison (Mai – September)

Während der Motorradsaison (Mai – September) ...

... wird für die Problemstrecken z.B. an schönen Wochenenden und Feiertagen eine **Geschwindigkeitsbegrenzung** angeordnet. Das **Überholverbot** gilt ganzjährig.

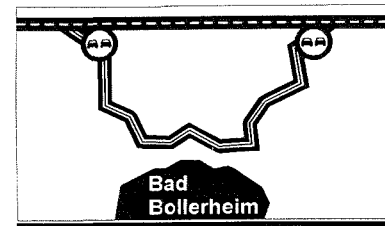


Abb. 11: Außerhalb der Motorradsaison (Oktober – April)

Außerhalb der Motorradsaison (Oktober – April) ...

... und von Montag bis Freitag nachmittag sowie an Tagen mit schlechtem Wetter wird die **Geschwindigkeitsbegrenzung aufgehoben**.

Wirksamwerden

kurz- bis mittelfristig

Handlungsträger

Kommunen, Straßenverkehrsbehörden

3.4 Dosis – Kampagne

Kurzbezeichnung der Maßnahme

Die Dosis-Kampagne geht davon aus, daß Anwohnern einer Problemstrecke nur eine begrenzte „Lärmdosis“ zugemutet werden kann. Ist diese Dosis erreicht, wird der betroffene Ort für Lärmverursacher gesperrt.

Problem

Der Motorradlärm auf den sogenannten „Problemstrecken“ ist vor allem innerorts häufig eine Frage zu hoher Geschwindigkeiten und unangepaßten Fahrens.

Maßnahme

Die Dosis-Kampagne installiert an einem repräsentativen Immissionsort eine automatische Schallpegelmeßanlage, die eine als Vorwegweisung dienende Lichtsignalanlage lärmdosis-abhängig steuert.

Anmerkung: Die Technik hierfür steht zur Verfügung. Sie wurde u.a. für die sogenannten „Alles-Rot-Ampeln“ eingesetzt. Mit diesem Ampeltyp wird eine immer auf ROT stehende Lichtsignalanlage dann auf GRÜN geschaltet, wenn ein Fahrzeug maximal mit der zulässigen Höchstgeschwindigkeit naht.

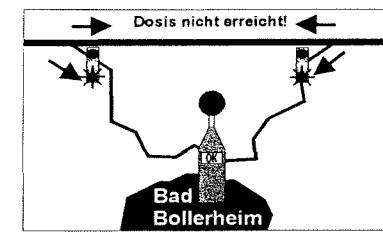
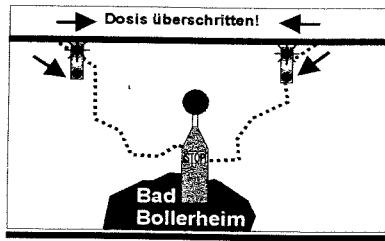


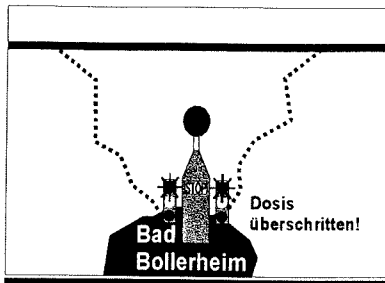
Abb. 12: Lärmdosis noch nicht erreicht

Solange die definierte Lärmdosis noch nicht erreicht ist, ist der Weg an Bad Bollerheim (grüne Strecke) vorbei für alle Fahrzeuge frei.



Wenn die definierte Lärmdosis überschritten ist, ist der Weg an Bad Bollerheim (grüne Strecke) vorbei nur für Anlieger frei.

Abb. 13: Lärmdosis erreicht bzw. überschritten



Eine Variante der in der vorstehenden Abbildung dargestellten Möglichkeit besteht darin, bei Überschreitung der Lärmdosis innerhalb einer Ortschaft eine Ampel für z.B. 5 Minuten für alle Verkehrsteilnehmer auf ROT zu schalten. Dieser „Pranger“ stoppt alle zu lauten Verkehrsteilnehmer.

Abb. 14: Variante: Lärmdosis erreicht bzw. überschritten

Wirksamwerden
mittelfristig

Handlungsträger

Kommunen, Straßenverkehrsbehörden

4. Resümee

Die detaillierten Untersuchungen zu Einstellungen der Motorradfahrer zum Fahrzeuggeräusch haben gezeigt, daß ca. ein Drittel der Motorradfahrer spezielle Vorlieben für das Fahrzeuggeräusch haben. Besonders deutlich treten solche Präferenzen bei Chopperfahrern und bei Fahrern sportlicher Maschinen zutage. In der Regel wird ein kraftvoll satter, angenehm lauter Sound bevorzugt. Bei Fahrern solcher Maschinen gehört das Fahrzeuggeräusch zum Erscheinungsbild des Motorrads. Deshalb zeigen diese Motorradfahrer kaum eine Bereitschaft auf für sie wichtige Eigenschaften des Fahrzeugs zu verzichten. Konkrete, effektive Maßnahmen zur Reduzierung des Fahrzeuggeräuschs werden vom Motorradfahrer daher weitgehend abgelehnt.

Die diskutierten Handlungsstrategien sind unter der Perspektive ihres Veränderungspotentials für die sehr festgefügteten Einstellungen und Verhaltensweisen zu

bewerten. Unter dieser Perspektive stellen die Papier und die Symbol-Kampagne zunächst positive Beeinflussungsstrategien dar, die aber als weniger wirksam eingestuft werden sollten. Die straßenverkehrsrechtliche Kampagne und die Dosis-Kampagne wirken sich dagegen unmittelbar auf das Verhalten der Motorradfahrer aus und sanktionieren somit direkt die Lärmbelastigung. Diese Maßnahmen werden zwar von den Motorradfahrern als unangenehm abgelehnt, dürften aber was die Vermeidung von unnötig hohem Lärm angeht als effektiver eingeschätzt werden.

Literatur

- [1] Steven, H.: Noise Generated by Motorcycles, FIGE GmbH Deutschland, Herzogenrath, 1991. In: Proceedings of the 1991 International Motorcycle Conference, Forschungsheft Nr. 7, Institut für Zweiradsicherheit
- [2] Stenschke, R.: Possibilities for Reducing Noise Emissions from Motorcycles, Umweltbundesamt, Deutschland, Berlin, 1991. In: Proceedings of the 1991 International Motorcycle Conference, Forschungsheft Nr. 7, Institut für Zweiradsicherheit
- [3] Brendicke, R., ifz; Forke, E., ifz; Jankowski, K., Uni Hamburg; Kerwin, H., Uni Bielefeld; Koch, H.-J., Uni Hamburg; Popp, C., Lärmkontor; Schulz, U., Uni Bielefeld, Steven, H., FIGE GmbH: Minderung der Lärmemission von motorisierten Zweirädern – Vorschläge zur weiteren Emissionsminderung. Umweltbundesamt Berlin, 1998. (FE-Bericht 105 06 075)
- [4] Schulz, U.: Laut ist out? – Einstellung von Motorradfahrern zum „Sound“ des Fahrzeugs. In: Tagungsbericht der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik. „Motorrad“. 6. Fachtagung in Köln. VDI Bericht 1159. Düsseldorf: VDI-Verlag (1994)
- [5] Battmann, W.: Der jugendliche Motorradfahrer zwischen Hedonismus und Ökologiebewußtsein: Wenn das Gute nicht nützlich ist. In: Stiksrud, A. (Hrsg.): Jugend und Werte. Belz, Weinheim (1984)

**Betriebsweise und Kraftstoffverbrauch von Motorrädern
im realen Verkehr**

***Motorcycle Riding and Fuel Consumption
in Real Traffic Situations***

Bert Breuer
Frank Schröder

TU Darmstadt – Fachgebiet Fahrzeugtechnik
Deutschland

Rudolf Schmidt

BMW AG Sparte Motorrad – München
Deutschland

Abstract

In order to describe the real in-traffic operation of motorcycles a survey was carried out among motorcycle riders asking for their typical riding behaviour and the average fuel consumption of their bikes. The results of this survey were used to formulate definitions of test conditions by the help of which the riding behaviour of motorcycle riders could be recorded in experiments. First results are available already and will be presented in the following paper.

One problematic factor concerning fuel consumption is the bad engine performance in case of partial load moments of otto engines (internal combustion engines) of motorcycles. This leads to the fact that especially in case of low engine load moments the specific fuel consumption of the motor rises considerably. Converted into data about fuel consumption this means an underproportional decrease in fuel consumption in case of riding in low engine loads compared to riding by using the full engine performance.

Actual further research is supported to ensure that the described results arising from the comparison between motorcycles and cars can be transferred to further cases. In this context there are riding tests going on in the department of Automotive Engineering of Darmstadt University of Technology with varying test riders, vehicles and test tracks.

The results representatively illustrate the real traffic operation and take into account the specific characteristics of motorcycles. Thus they are supposed to provide important information for both the vehicle development and the definition of rules for e. g. concerning the exhaust fumes emissions and fuel consumption.

Einleitung

Um langfristig die Akzeptanz motorisierter Zweiräder sichern zu können, ist parallel zur fortschreitenden Entwicklung anderer Fahrzeugkategorien deren Umweltverträglichkeit ständig weiterzuentwickeln. Hierbei ist auf eine praxisrelevante Auslegung der wesentlichen Fahrzeugparameter zu achten. Abweichungen zwischen den vorgeschriebenen Meß- und Prüfmethode und dem Einsatz der Fahrzeuge im realen Straßenverkehr führt zu einer an der Praxis vorbeigehenden Optimierung der Motor- und Getriebeauslegung. Besonders die vorgeschriebenen Fahrzyklen, z. B. für Abgasmessungen, beeinflussen die Fahrzeugabstimmung massiv und müssen daher unbedingt die tatsächlichen Verhältnisse repräsentieren. Aufgrund der stark abweichenden technischen Gestaltungen und der deutlich unterschiedlichen Betriebsweisen von Motorrädern und Pkw können Vorschriften, die für Pkw entwickelt wurden, nicht realitätsnah den Betrieb von Motorrädern abbilden.

Ziel der hier beschriebenen Arbeiten, die in einem gemeinsamen Projekt zwischen dem Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt (*fzd*) und der BMW AG, Sparte Motorrad, durchgeführt wurden, war es daher, die realen Einsatzbedingungen und Betriebsweisen des Motorrades empirisch zu erfassen. Aus den Ergebnissen können Hinweise sowohl für Fahrzeugentwickler als auch für zukünftige Meß- und Prüfverfahren abgeleitet werden.

1. Einsatz des Motorrads als Verkehrsmittel

Von *fzd* wurde im Jahr 1997 eine Umfrage unter Motorradfahrern durchgeführt, mit der statistische Angaben zur Fahrweise und zum Einsatzzweck von Motorrädern ermittelt wurden. Die Fragebogen wurden über markenneutrale Motorradzubehörehändler sowie an Motorrad-Treffpunkten im Raum Darmstadt/Rhein-Main-Gebiet verteilt und waren außerdem über Internet abrufbar. Insgesamt nahmen an der Umfrage 273 Motorradfahrer teil. Bild 1 zeigt die regionale Verteilung der Antworten.

Die Altersstruktur der Teilnehmer sowie die von den Umfrageteilnehmern gefahrenen Fahrzeuge im Vergleich zu aktuellen Bestandszahlen des Kraftfahrt-Bundesamtes [1] sind in Bild 2 dargestellt.

Wesentliche Umfrageergebnisse bezüglich der Benutzung von Motorrädern enthält Bild 3. Die mittlere Fahrstreckenlänge, die pro Motorradnutzung angegeben wurde, liegt mit 113 km (Standardabweichung 95 km) deutlich oberhalb derjenigen für Pkw, die in [5] mit durchschnittlich 14 km (Standardabweichung 31,9 km) angegeben wird. Hieraus läßt sich ableiten, daß der Zeitanteil von Kaltstarts und Fahrten mit nicht betriebswarmem Motor für Motorräder vergleichsweise gering ist.

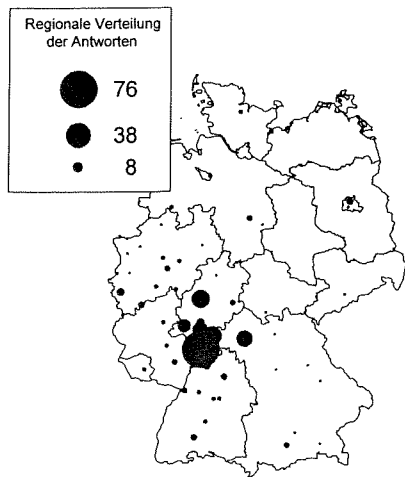


Bild 1: Regionale Verteilung der Umfrage-Beteiligung

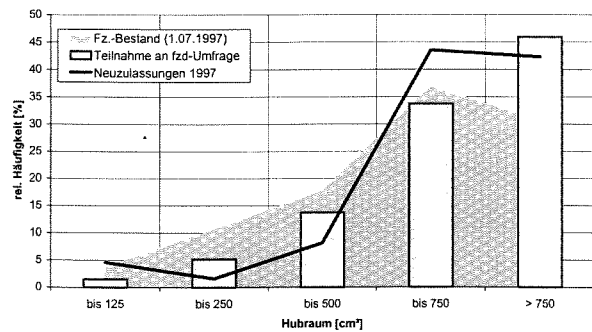
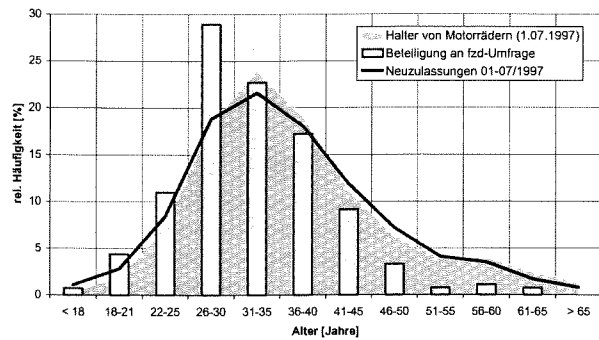
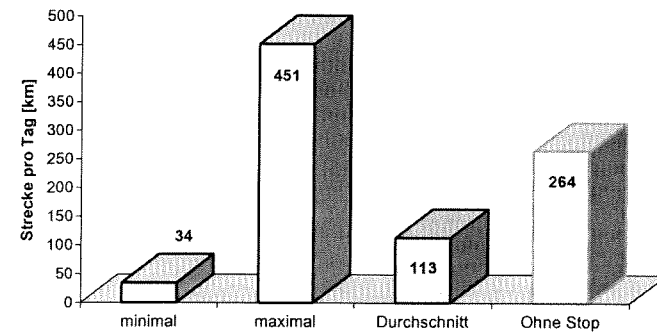
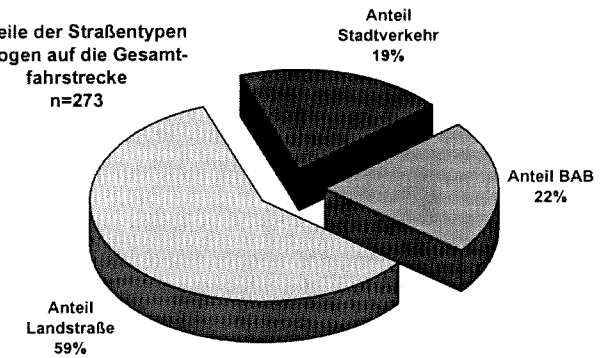


Bild 2: Beteiligung an der fzd-Motorradumfrage im Vergleich zu Bestandsdaten (nach [1], eigene Darstellung)

Durchschnittliche Fahrstreckenlänge je Motorradbenutzung in km, n=273



Anteile der Straßentypen bezogen auf die Gesamtfahrstrecke n=273



Angaben zu Fahrgeschwindigkeiten und Kraftstoffverbrauch, n=273

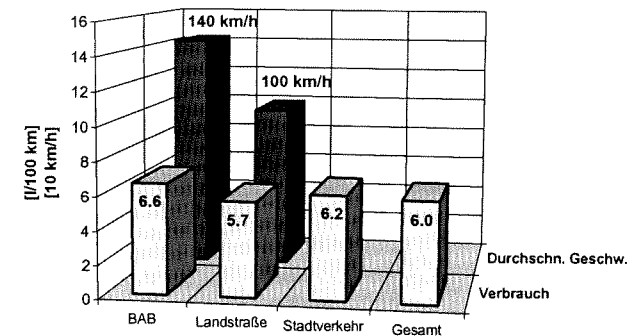


Bild 3: Fahrstrecken und Praxisverbräuche (Umfrageergebnisse)

Die in [5] ebenfalls angegebene Länge einer durchschnittlichen Fahrt mit einem motorisierten Zweirad von 9,7 km (Standardabweichung 23,6 km) steht zu diesem Ergebnis nicht im Widerspruch, da in der zitierten Erhebung die (statistisch häufigen) Fahrten mit Mofas und Mopeds enthalten sind, während sich die *fzd*-Umfrage ausschließlich auf Angaben zu Motorrädern ($\geq 125 \text{ cm}^3$) bezieht.

In Bild 3 ebenfalls dargestellt ist der Durchschnitt der Antworten auf die Frage, wie lang üblicherweise die minimale und die maximale Fahrstrecke pro Motorradnutzung ist. Auch die Angabe für die minimale Fahrstrecke von 34 km (Standardabweichung 45 km) zeigt, daß Motorräder nur selten für Kurzstreckenfahrten eingesetzt werden. Ursächlich hierfür könnte der vergleichsweise hohe Zeitaufwand sein, der für das Anlegen adäquater Schutzkleidung vor der Fahrt benötigt wird.

Nach durchschnittlich 264 km (Standardabweichung 156 km) legen die an der Umfrage beteiligten Motorradfahrer bei Langstreckenfahrten eine Pause von mehr als einer Stunde Dauer ein (Bild 3, „ohne Stop“).

Der überwiegende Streckenanteil der Motorradfahrten wird auf Landstraßen zurückgelegt, Bild 3, wobei die Fahrtroute hauptsächlich nach dem Aspekt „fahrisch reizvoll“ (63%) und „landschaftlich reizvoll“ (59%, Mehrfachnennungen möglich) ausgewählt werden.

Befragungen hinsichtlich des Streckenkraftstoffverbrauchs ergaben die Mittelwerte nach Bild 3. Der durchschnittliche Streckenkraftstoffverbrauch eines Motorrads beträgt danach ca. 6 l/100 km (Standardabweichung 1,1 l/100 km). Bei der Wahl der Geschwindigkeit auf Streckenabschnitten ohne besondere Streckenverbote wird die geltende Höchstgeschwindigkeit auf Landstraßen von 100 km/h von den Umfrageteilnehmern weitestgehend ausgenutzt (Mittelwert 99 km/h, Standardabweichung 17 km/h). Auf Autobahnen hingegen wird mit Motorrädern im Mittel eine Geschwindigkeit von ca. 140 km/h gefahren (Mittelwert 143 km/h). Mit einer Standardabweichung von 27 km/h sind auf Autobahnen wie erwartet große Streuungen der Geschwindigkeitsangabe zu verzeichnen.

Die durchschnittliche jährliche Fahrstrecke der Teilnehmer an der Umfrage mit Pkw wurde mit 16.900 km angegeben. Mit Motorrädern werden von den Umfrageteilnehmern durchschnittlich 9.700 km pro Jahr zurückgelegt. Nach Angaben des Bundesverkehrsministeriums liegt die durchschnittliche Fahrleistung von Kraftträdern bei lediglich ca. 4.300 km pro Jahr (1996, [3]). Hieraus kann abgeleitet werden, daß sich von der durchgeführten Umfrage hauptsächlich die besonders aktiven Motorradfahrer angesprochen fühlten, die ihrerseits allerdings den überwiegenden Anteil an der Gesamtfahrleistung von Motorrädern erzielen.

Aus den Ergebnissen der durchgeführten Umfrage konnten die in Tabelle 1 dargestellten Korrelationen gefunden werden. Da die Umfrageergebnisse nicht immer hinreichend gut einer Normalverteilung entsprachen, wurde jeweils der Korrelationskoeffizient nach Pearson sowie die Rangkorrelation nach Spearman berechnet. Beide Verfahren führten zu gleichen Korrelationsrichtungen. Außer in dem mit (*) gekennzeichneten Fall ergaben beide Verfahren auch die gleichen Signifikanzniveaus.

	Motorrad		Fahrer	
	Hubraum	Baujahr	Alter	Geschlecht weiblich
Hubraum		+ (< 1%)	+ (< 1%)	- (< 1%)
Baujahr	+ (< 1%)		+ (< 5%)	Unkorreliert
Alter	+ (< 1%)	+ (< 5%)		Unkorreliert
Leistung	+ (< 1%)	+ (< 1%)	+ (< 5%)	- (< 5%)
Jährliche Fahrstrecke mit Kraftträdern	+ (< 1%)	Unkorreliert	Unkorreliert	Unkorreliert
Anteil von Fahrten, die andere Verkehrsmittel ersetzen	(-) (*)(< 5%)	Unkorreliert	Unkorreliert	Unkorreliert
Gesamt-Fahrerfahrung auf Kraftträdern	+ (< 1%)	+ (< 5%)	+ (< 1%)	- (< 1%)
Durchschnittlicher Kraftstoffverbrauch	+ (< 1%)	Unkorreliert	Unkorreliert	- (< 1%)

Tabelle 1: Korrelationsrichtungen und Signifikanzniveaus wesentlicher Umfrageergebnisse

Die wichtigsten Aussagen aus Tabelle 1 lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Neuere Motorräder haben tendenziell größere Hubräume und mehr Leistung. Der Praxisverbrauch von Motorrädern ist trotz dieser motorischen Veränderungen unabhängig vom Alter der Maschine, d. h. der Verbrauchsvorteil neuerer Motorkonzepte wird im allgemeinen durch die höhere Motorleistung kompensiert.

Neuere Motorräder werden häufig von älteren Fahrern gefahren. Diese älteren Fahrer bevorzugen Fahrzeuge mit größerem Hubraum. Die größeren jährlichen Fahrstrecken werden mit hubraumstarken Motorrädern zurückgelegt.

Eine Abhängigkeit der jährlichen Fahrleistung von Alter und Geschlecht des Fahrers sowie vom Alter des Motorrads wurde nicht nachgewiesen. Größere Motorräder werden häufiger für Freizeitfahrten eingesetzt; ihr Anteil an Fahrten, die alternativ zum Motorrad mit anderen Verkehrsmitteln durchgeführt würden, ist tendenziell geringer, wenn auch auf vergleichsweise geringem Signifikanzniveau.

Frauen fahren im Vergleich zu Männern bevorzugt kleinere Motorräder und erzielen dadurch geringere Kraftstoffverbräuche. Sie verfügen im allgemeinen über geringere Gesamtfahrerfahrungen. Ein Zusammenhang zwischen dem Geschlecht des Fahrers und den Einsatzbedingungen des Motorrads wurde nicht gefunden.

Auf der Grundlage dieser Umfrageergebnisse wurden Versuchsbedingungen definiert, um das Fahrerverhalten unterschiedlicher Fahrer im realen Straßenverkehr

meßtechnisch zu erfassen. Die Ziele dieser Untersuchungen bestehen sowohl in einem Vergleich der Einsatzbedingungen von Motorrad und Pkw als auch in der Durchführung von Vergleichen unterschiedlicher Motorradtypen. Die Ergebnisse sollen eine Grundlage bilden, um zukünftig Fahrzeugauslegungen und gesetzliche Rahmenbedingungen (z. B. im Bereich von Meß- und Prüfvorschriften, Grenzwerten, Fahrzyklen) stärker als bisher an den tatsächlichen Einsatzbedingungen orientieren zu können. Im folgenden wird das Versuchskonzept vorgestellt, und erste Ergebnisse werden gezeigt.

2. Versuchskonzept zur Erfassung des Fahrerverhaltens

Es wurde eine Versuchsstrecke im öffentlichen Straßenverkehr definiert, deren Zusammensetzung hinsichtlich verschiedener Straßentypen dem Umfrageergebnis entspricht, Bild 4. Im Bild ist neben der Fahrtroute im Raum Odenwald/Bergstraße

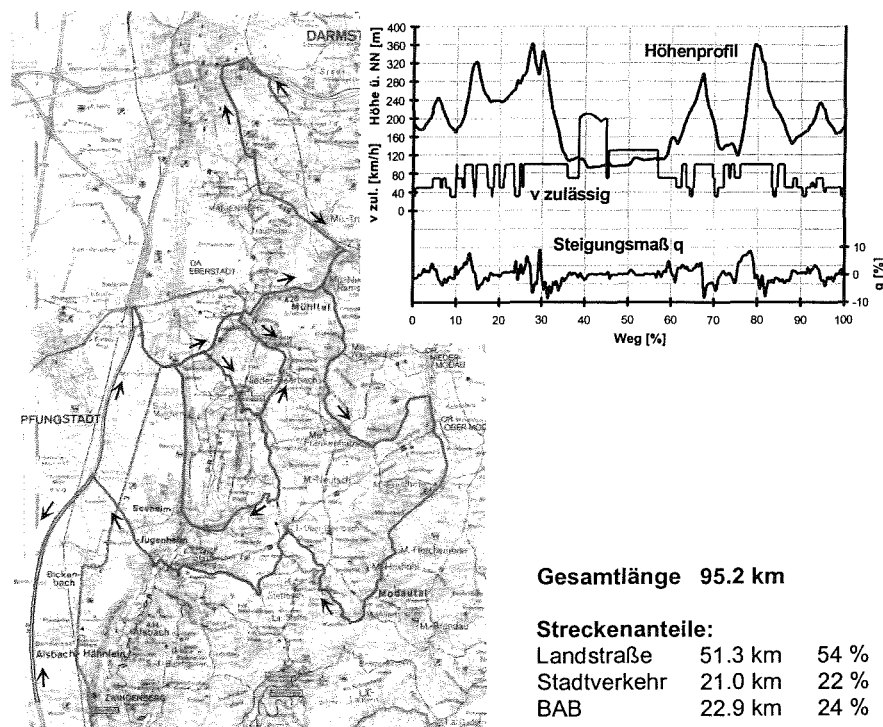


Bild 4: Versuchsstrecke für Fahrversuche mit Fahrerkollektiv

das Höhenprofil der Versuchsstrecke, das jeweilige Steigungsmaß und die zulässige Höchstgeschwindigkeit dargestellt.

Auf dieser Versuchsstrecke wurden Fahrversuche mit verschiedenen Fahrerkollektiven durchgeführt. Die im folgenden gezeigten Ergebnisse basieren auf den Fahrten des „kleinen“ Kollektivs aus 5 Fahrern, dessen Zusammenstellung Tabelle 2 entnommen werden kann. Laufende Forschungen bei *fzd* beschäftigen sich mit der Übertragbarkeit dieser Ergebnisse auf größere Fahrerkollektive und andere Fahrstrecken.

Fahrer	Geschl.	Alter	Fahrerfahrung (Tkm)	Fahrstrecke pro Jahr (Tkm)	Fahrstil
A	m	27	50	7	Sporttourer
B	m	29	25	10	Sporttourer
C	w	33	120	14	Reise-Enduro-Fahrerin
D	m	23	40	5	Sportfahrer
E	m	24	30	3	Enduro-Fahrer

Tabelle 2: Zusammensetzung des „kleinen“ Fahrerkollektivs

Die gezeigten Versuchsfahrten wurden mit einem Reise-Enduro-Motorrad der oberen Leistungsklasse (1100 cm³, 57 kW, Benzineinspritzung, geregelter Katalysator, Leermasse incl. Meßtechnik 249 kg) absolviert. Darüber hinausgehende Versuche zum Einfluß der Motorrad-Gestaltung sind Gegenstand aktueller Untersuchungen und werden in Kürze vorliegen.

Um das motorradspezifische Fahrerverhalten zu identifizieren, wurden vergleichende Versuche mit einem Pkw der unteren Mittelklasse (1600 cm³, 55 kW, Benzineinspritzung, geregelter Katalysator, Leermasse incl. Meßtechnik 1110 kg) vorgenommen.

Während der Versuche wurden kontinuierlich Fahrgeschwindigkeit, Motordrehzahl, Drosselklappenstellung und Motortemperatur des Fahrzeugs aufgezeichnet. Der Kraftstoffverbrauch wurde als integraler Wert für jeweils eine Meßrunde ermittelt. Der Fahrauftrag für das Fahrerkollektiv wurde variiert, so daß unterschiedliche Fahrweisen und Durchschnittsgeschwindigkeiten, die das übliche Fahrerverhalten abdecken sollten, realisiert wurden.

3. Vergleich der Betriebsweise von Motorrad und Pkw

Bild 5 zeigt Meßdaten für einen Ausschnitt aus der Versuchsstrecke, die in diesem Bereich eine fahrerisch und fahrdynamisch anspruchsvolle Streckenführung aufweist (kurvenreiche Strecke, Steigungen in der Größenordnung bis $\pm 10\%$, schmale Fahrbahn). Dargestellt sind Fahrgeschwindigkeit und Motordrehzahl der Versuchsfahrten eines Fahrers im Vergleich zwischen Motorrad und Pkw.

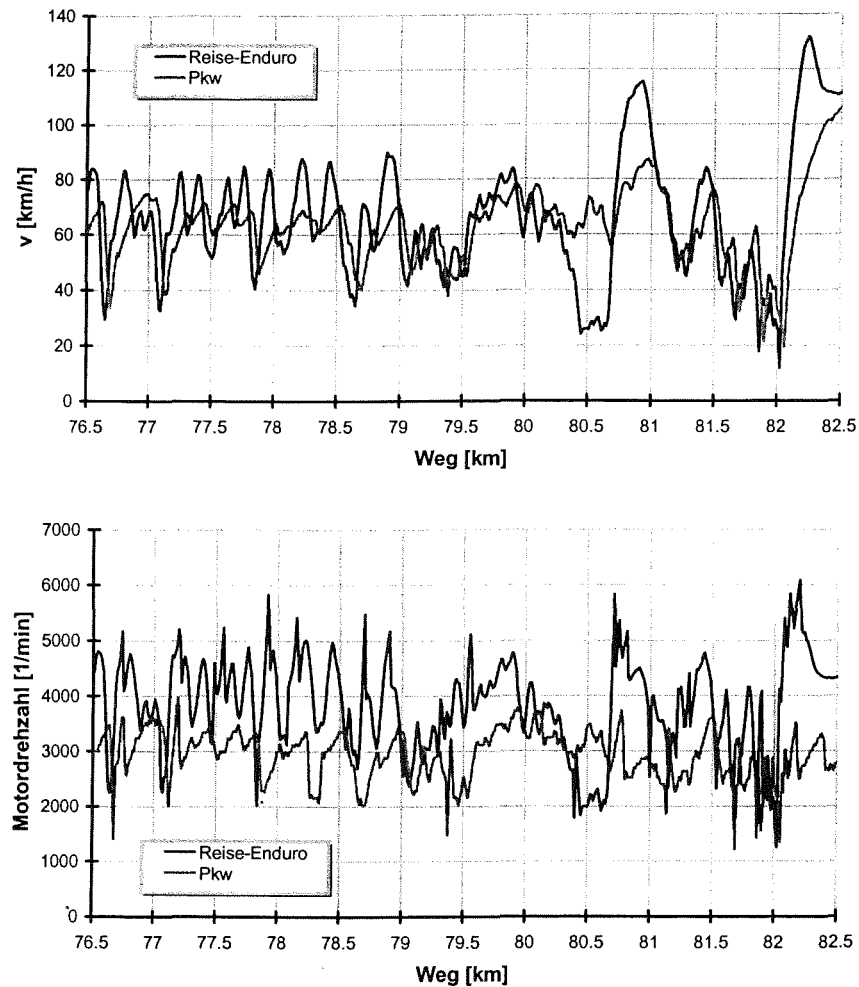


Bild 5: Fahrgeschwindigkeit und Motordrehzahl auf einem ausgewählten Streckenabschnitt, Fahrer E, Vergleich zwischen Motorrad und Pkw

Deutlich erkennbar sind die größeren Geschwindigkeitsdifferenzen beim Führen des Motorrads. Kurven werden mit dem Motorrad im allgemeinen etwas langsamer durchfahren als mit dem Pkw, auf geraden Streckenabschnitten hingegen wird bis auf deutlich höhere Geschwindigkeiten beschleunigt. Auslegungsbedingt liegt das Drehzahlniveau beim Motorrad deutlich höher als beim Pkw. Die Fahrzeit für den hier gezeigten Streckenabschnitt beträgt für beide Fahrzeuge ca. 350 s, d. h. die durchschnittlich erzielten Fahrgeschwindigkeiten unterscheiden sich kaum.

Bis km 79,5 weist die Versuchsstrecke im dargestellten Abschnitt positive Steigungsmaße zwischen 7 und 10% auf. Für den Pkw stellt hier der Steigungswiderstand in Verbindung mit dem hohen Leistungsgewicht des Fahrzeugs die begrenzte Größe für die erzielbare Beschleunigung dar. Besonders in diesem Bereich erlaubt das Motorrad die zügigere Fahrweise. Auf der anschließenden Gefällstrecke hingegen gleichen sich die Fahrgeschwindigkeiten für beide Fahrzeuge nahezu vollständig an.

Mittelwerte der durchschnittlich gefahrenen Geschwindigkeiten und Beschleunigungen über der gesamten Versuchsstrecke und unter Berücksichtigung aller Fahrer des Kollektivs können Bild 6 entnommen werden. Die größten Unterschiede in der Fahrweise treten auf Fahrstreckenabschnitten auf, in denen die Geschwindigkeit nur durch das allgemeine Tempolimit von 100 km/h beschränkt wird, d. h. außerhalb geschlossener Ortschaften. Hier lassen sich mit dem Motorrad im Mittel über alle Fahrten Steigerungen der Durchschnittsgeschwindigkeit um 13% verzeichnen, während auf den übrigen Streckenabschnitten nur marginale Unterschiede zwischen beiden Fahrzeugkategorien bestehen. Insbesondere auf dem Streckenabschnitt Autobahn ohne Tempolimit wurde, vermutlich bedingt durch die enduro-typische, aufrechte Sitzhaltung auf dem verwendeten Versuchsmotorrad, mit dem Pkw durchschnittlich schneller gefahren als mit dem Motorrad.

Aus den über eine Meßfahrt bekannten Geschwindigkeitsverläufen konnten unter Berücksichtigung der in Vorversuchen ermittelten Fahrwiderstandsgrößen der Fahrzeuge und dem oben (vgl. Bild 4) dargestellten Steigungsprofil der Strecke die Fahrwiderstandsleistungen für Roll-, Luft-, Steigungs- und Beschleunigungswiderstand berechnet werden. Die jeweiligen Anteile dieser Größen am Gesamtwiderstand als Mittelwert über alle Fahrten zeigt Bild 7. Der mittlere Gesamtwiderstand des Motorrads liegt danach auf der untersuchten Strecke unter Berücksichtigung der jeweiligen Fahrweise um ca. 45% niedriger als derjenige des Pkw. Auffällig ist insbesondere die deutliche Verschiebung des dominierenden Anteils am Gesamtwiderstand vom Beschleunigungs- (Pkw) zum Luftwiderstand (Motorrad).

Aus den Widerstandsgrößen wurde für die untersuchten Fahrzeuge die während einer Versuchsfahrt an den Antriebsrädern abgegebene mechanische Arbeit ermit-

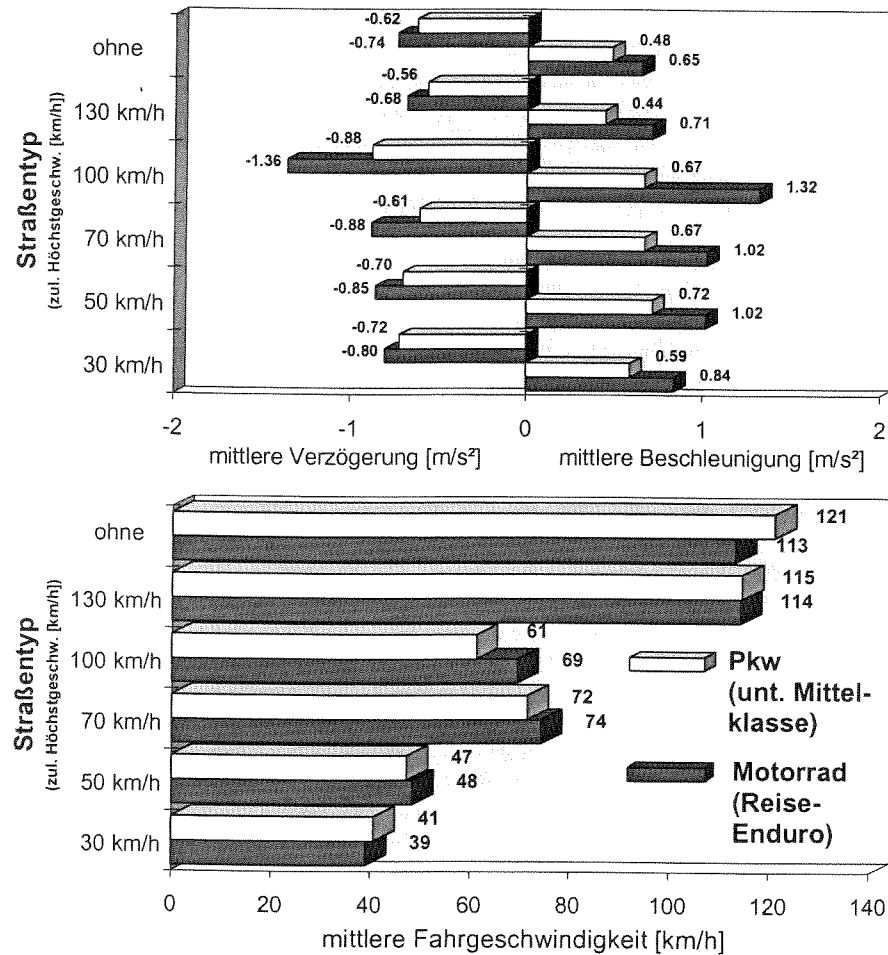


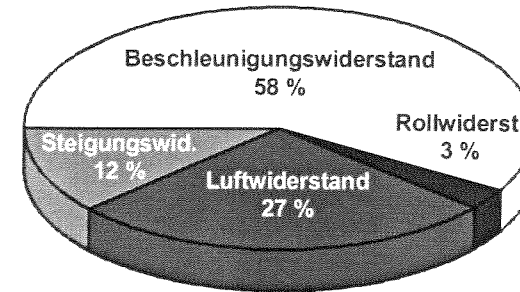
Bild 6: Mittlere Längsbeschleunigungen und Fahrgeschwindigkeiten auf der Versuchsstrecke, Mittelwerte von 5 Fahrern

telt. Unter der Annahme konstanter, d. h. von Fahrgeschwindigkeit und Motordrehzahl unabhängiger Wirkungsgrade für die Kraftübertragung der Fahrzeuge ließ sich aus dem Gesamtfahrwiderstand die zu jedem Zeitpunkt vom Motor abgegebene Leistung sowie die vom Motor geleistete mechanische Arbeit über der gesamten Meßrunde abschätzen.

Die Kraftstoffverbräuche der Fahrzeuge sind im Vergleich zur durchschnittlichen Fahrgeschwindigkeit (ohne Standzeiten) in Bild 8 dargestellt. Hier zeigt sich auch

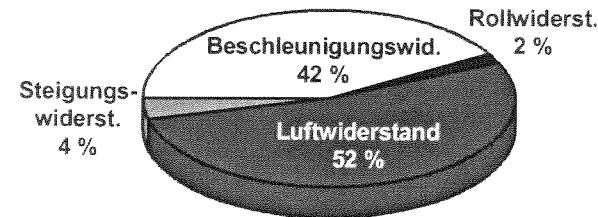
Fahrwiderstand von Motorrad und Pkw

Mittelwerte aus Fahrten von 5 Fahrern je Fahrzeug, 2 Fahrten je Fahrer und Fahrzeug, Streckenlänge 95 km



Pkw untere Mittelklasse
1110 kg, 55 kW

Gesamtwiderstand
13.1 kWh/100 km



Motorrad
Reise-Enduro
249 kg, 57 kW

Gesamtwiderstand
7.0 kWh/100 km

Bild 7: Vergleich der Fahrwiderstände von Pkw und Motorrad

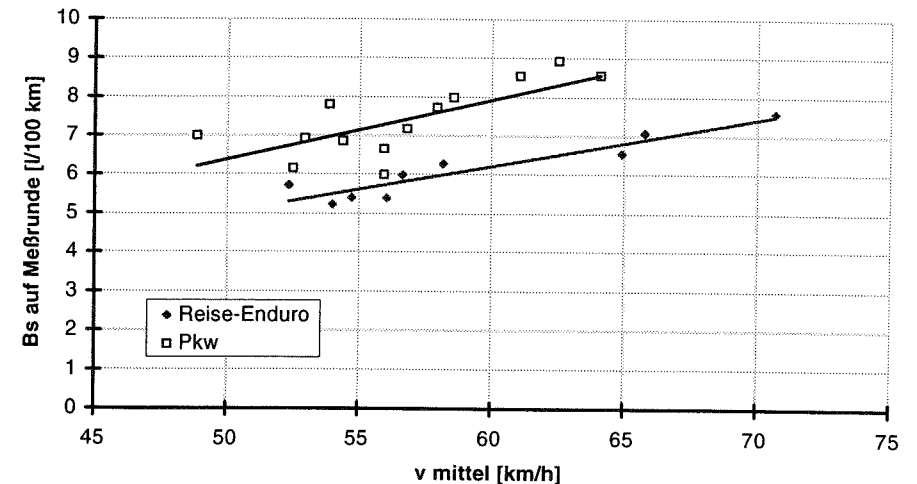


Bild 8: Mittlere Fahrgeschwindigkeiten und Streckenkraftstoffverbräuche für Motorrad und Pkw, 5 Fahrer, 10 Fahrten

die im Mittel höhere erzielbare Durchschnittsgeschwindigkeit des Motorrads. Für die verwendeten Fahrzeuge ergab sich mit Hilfe einer multiplen linearen Regressionsrechnung, daß absolut betrachtet mit dem Motorrad im Mittel Minderverbräuche bei gleicher mittlerer Fahrgeschwindigkeit von ca. 22% auftreten.

Die für eine Meßrunde (95 km) benötigte Kraftstoffmasse wurde für jede Versuchsfahrt bestimmt. Der Quotient aus Kraftstoffmasse und Summe der Fahrwiderstände ergibt für jede Meßfahrt einen mittleren spezifischen Verbrauch in g Kraftstoff je kWh mechanischer Antriebsarbeit.

Der Vergleich der abgegebenen mechanischen Arbeit des Motors mit dem im Fahrbetrieb gemessenen Kraftstoffverbrauch, Bild 9, zeigt die besondere Problematik beim Motorrad-Motor. Bei ähnlicher mechanischer Belastung der beiden auf vergleichbare Maximalleistung ausgelegten Otto-Motoren (für beide Fahrzeuge möglicher Bereich in Bild 9: 8–10 kWh/100 km) unterscheiden sich die mittleren spezifischen Verbräuche um lediglich ca. 7% zugunsten des Pkw. Diese Betriebsweise entspricht einer sehr zügigen Fahrweise mit dem Motorrad im Vergleich zu einer sehr schonenden Fortbewegung des Pkw.

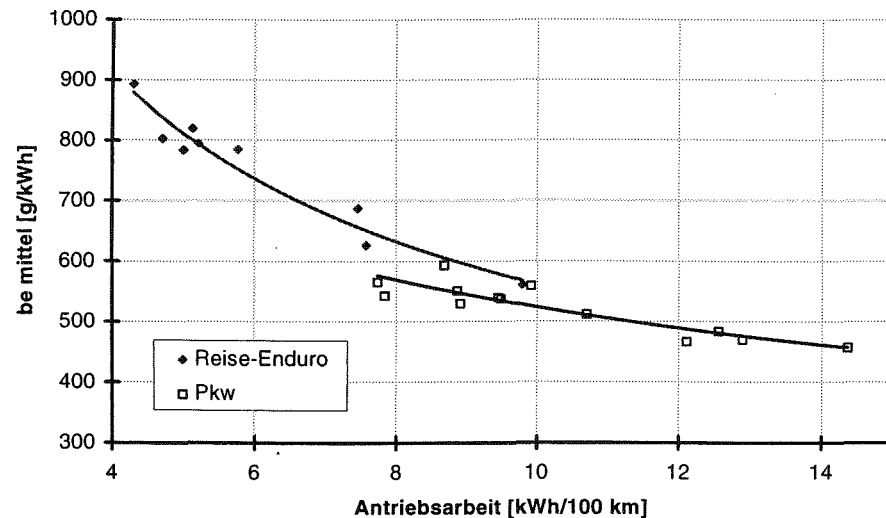


Bild 9: Vom Motor je Meßrunde abgegebene Antriebsarbeiten und mittlere spezifische Kraftstoffverbräuche für Motorrad und Pkw, 5 Fahrer, 10 Fahrten

Mit abnehmender mittlerer Motorlast ist für beide Fahrzeuge ein deutlicher Anstieg der mittleren spezifischen Verbräuche zu beobachten. Aufgrund der geringen

Fahrwiderstände des Motorrads speziell bei sehr langsamer Fahrweise steigt hier (trotz absolut gesehen geringeren Streckenkraftstoffverbrauchs) der mittlere spezifische Verbrauch sehr viel stärker an als beim Pkw. Für zukünftige Verbrauchsverbesserungen von Motorrädern ist es daher insbesondere notwendig, den sehr ungünstigen Teillast-Wirkungsgrad des Otto-Motors anzuheben sowie die Betriebspunkte in Kennfeldbereiche mit günstigerem spezifischem Kraftstoffverbrauch zu verlagern.

5. Zusammenfassung und Ausblick

Zur Beschreibung der realen Betriebsweisen von Motorrädern im öffentlichen Straßenverkehr wurde vom Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt eine Umfrage unter Motorradfahrern durchgeführt, in der das typische Fahrverhalten und die durchschnittlichen Kraftstoffverbräuche von Motorrädern erfragt wurden.

Aus den Ergebnissen dieser Umfrage wurden Versuchsbedingungen definiert, mit denen das Fahrverhalten von Motorradfahrern experimentell erfaßt werden konnte. Erste Ergebnisse liegen vor und werden im vorliegenden Beitrag dargestellt.

Als besonders problematisch im Hinblick auf den Kraftstoffverbrauch erweist sich der ungünstige Teillastbetrieb des Otto-Motors beim Motorrad. Dieser führt dazu, daß insbesondere bei geringen Motorlasten der spezifische Kraftstoffverbrauch des Motorradmotors stark ansteigt. Umgesetzt in Streckenkraftstoffverbrauch ergeben sich daher Verbräuche, die bei schonender Fahrweise bezogen auf die geringen Fahrwiderstandswerte gegenüber einer zügigeren Fahrweise nur unterproportional abnehmen.

Aktuell laufende Untersuchungen sollen die Übertragbarkeit der hier beschriebenen Ergebnisse, die aus dem Vergleich eines Motorrads mit einem Pkw resultieren, sicherstellen. Dazu werden aktuell am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der TU Darmstadt Fahrversuche unter Variation des Versuchsfahrerkollektivs, der verwendeten Fahrzeuge und der Versuchsstrecke durchgeführt.

Die Ergebnisse sollen einen Beitrag liefern, der es gestattet, zukünftig sowohl in der Fahrzeugentwicklung als auch bei der Definition von Vorschriften, z. B. für Emissions- und Verbrauchsmessungen, das reale Geschehen im Verkehr möglichst repräsentativ abzubilden und dabei die besonderen Eigenschaften des Motorrads zu berücksichtigen.

Literatur

- [1] nn: Statistische Mitteilungen des Kraftfahrt-Bundesamtes, Reihe 1, Heft 9/97 und Heft 11/97, Flensburg 1997.
- [2] Betzler, J.: Untersuchung zur Beschreibung des Verkehrs-, Fahrzeug- und Fahrereinflusses auf den Streckenkraftstoffverbrauch von Pkw im Stadtverkehr, in: VDI-Berichte 553 „Fahrzeugtechnik Teilgebiete und Methoden“, Düsseldorf 1985.
- [3] Bundesverkehrsministerium: Verkehr in Zahlen 1997, 26. Jahrgang, Bonn 1997.
- [4] Gaßmann, S.: Untersuchungen zum Einfluß von Fahrzeug, Fahrer und Verkehr auf Betriebsweise und Kraftstoffverbrauch eines Pkw im realen Stadtverkehr, VDI-Fortschrittsberichte Reihe 12, Nr. 155, Düsseldorf 1991.
- [5] Hautzinger, H. et al.: Mobilität der westdeutschen Bevölkerung – Verkehrsmobilität in Deutschland zu Beginn der 90er Jahre, Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Heft M 55, Bergisch-Gladbach 1996.

Das Abgasreinigungssystem für die VFR 800 FI

Exhaust Emission Reduction for the VFR 800 FI

Masahiko Abe
Satoru Horiike
Yasuo Iwata
Koji Kano

HONDA R&D Co.Ltd. – Asaka Centre
Japan

Abstract

Following the current national emission regulations in some European countries, a common European regulation for exhaust emissions of motorcycles (97/24/EC Chapter 5, which we call EURO1) will come into force from June '99. In autumn 1997, Honda presented a newly developed 3-way catalyst system aiming to reduce emission levels to 1/10 of the limit values of this new regulation. These efforts are part of HONDA's environment strategy that attaches great importance to environmental conservation.

Honda aimed to achieve this objective for the exhaust emission values (CO: 1.3 g/km, HC: 0.3 g/km, NOx: 0.03 g/km) in the ECE40-01 mode, while meeting the development objectives in terms of engine performance and throttle response for the 1998 model of the VFR 800 FI. This could be achieved by introducing the exhaust emission reduction system and assuring precise control of the amount of injected fuel particularly during acceleration, leaning the air-fuel mixture ratio and maintaining good driveability at the same time. The most appropriate position of the catalyst system was chosen and the secondary air injection system was coupled with the exhaust ports. With this system particularly low exhaust emission values were achieved while maintaining the above mentioned overall performance aimed for this model.

1. Introduction

In recent years, environmental conservation has become a subject of growing importance and interest in the world. Exhaust emission regulations for motorcycles were introduced in many countries and the requirements for low exhaust emissions are getting more severe. The exhaust emission regulations for motorcycles in the world are shown in Fig.1.

In Europe, the first stage of exhaust emission regulation for motorcycles (97/24/EC-Chapter 5 ~ EURO 1) will come into force from 1999, and a more strict second stage of this regulation is scheduled in the near future. In addition to this general European regulation, there are several local driving restrictions like the so-called Summer Smog Law in Germany in 1995.

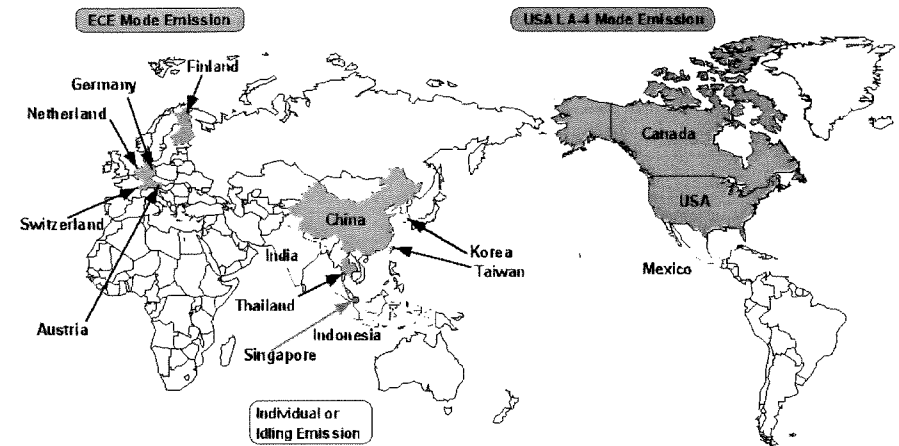


Fig. 1 Exhaust emission regulations in the world

HONDA has developed a simple catalyst system with heat tube called HECS (HONDA Evolutional Catalysing System) for large size motorcycles, which achieves emission values far below EURO 1 (CO: -70%; HC: -50%). In Germany for instance this device is standard equipment on the CBR 1100 XX and the VTR 1000 since 1997.

The development of the '98 year model VFR 800 FI already considers the draft regulation for the second stage of exhaust emission (CO:3.0g/km, HC:1.0g/km, NOx:0.1g/km) and a target value of exhaust emission was decided at 1/10 of the requirement in the first stage regulation (EURO1). This paper describes the technical development of this system featuring a 3-way catalyst with fuel injection and additional air injection (HECS 3).

2. Development Objectives

Basically a 3-way catalyst as on a passenger car is used to reduce exhaust emissions. For motorcycles the space for installing an auxiliary device is less than on a passenger car, therefore the installation positions for a catalyst system are limited.

Furthermore good driveability (meaning throttle response and throttle linearity) is also strongly required for a high revolution motorcycle engine with a high power output.

During the development of the VFR 800 FI, the aim was to make a system that achieves the target values for exhaust emissions, while maintaining good driveability.

The current limits for exhaust emissions (ECE40-01) in Germany, the new European limits (97/24/EC), that will come into force from 1999, and the target values for the VFR 800 FI are shown in Fig.2.

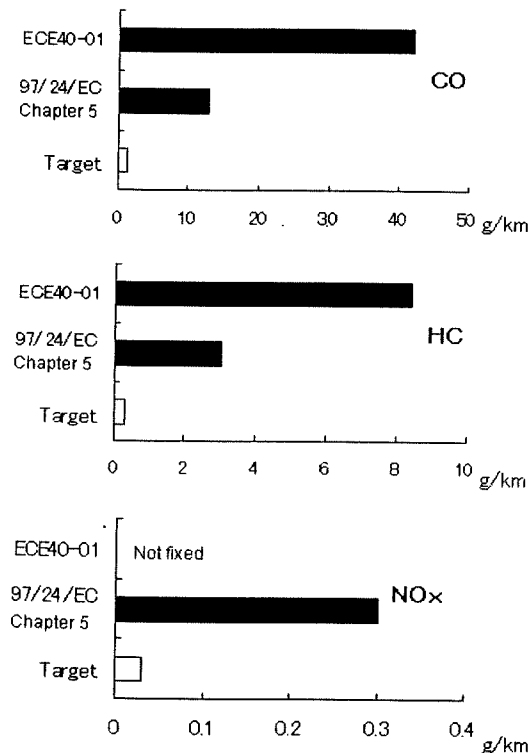


Fig. 2 Target exhaust emission

The following two points are essential when aiming to achieve these target values:

- 1) To select the most appropriate position of the catalyst system to get activation temperature, without influencing the output power, in the limited space of the motorcycle.
- 2) Appropriate air-fuel mixture ratio reduces exhaust emissions; to obtain good driveability a device to control the amount of injected fuel had to be developed. It assures an optimum air-fuel mixture especially during acceleration.

To deal with these requirements, a secondary air injection system coupled to the exhaust port and the most appropriate position of the catalyst system were considered.

Concerning the fuel injection control, the fuel injection and ignition control systems were analyzed to get appropriate lean air-fuel mixture ratio using an O₂ feed back system, maintaining good throttle linearity.

3. Outline of VFR 800 FI

The external appearance of VFR 800 FI is shown in Fig. 3. The development concept and the major specifications for this model are described below.



Fig. 3 VFR 800 FI

Since the first model was marketed in 1986, the VFR has obtained many users' reliance as a motorcycle with high quality, excellent performance and comfortable feeling, supported by latest advanced technology. For many years the VFR kept its position as the best selling 750cc bike in Europe (over 80.000 units since its launch in 1986) and also the new VFR 800 FI is continuing that success. The 1998 model has a new frame, a revised engine and features the dual combined brake system (D-CBS) as new technology.

The components are explained below.

The engine is based on the RVF/RC45 (Base machine for 750 cm³ race) with the latest specification V-type 4-cylinder DOHC engine. Some specifications of the engine were revised for VFR 800 FI such as bore/stroke ratio, ignition timing, valve timing, and so on. The major specifications of the engine are shown in Table 1. Fig.4 shows a sectional view of the engine. By adopting a 180° crank and 90° cylinder angle, a reduction of acceleration vibration and enhancement of traction during accelerating were achieved.

Cylinder Layout		V-4
V-Angle	(degree)	90
Bore x Stroke	(mm)	Ø72 x 48
Displacement	(cm ³)	781
Compression Ratio		11.6:1
Valve Layout		DOHC 4 Valve
Max. Power/Ne	(kW/rpm)	72/10500(95/1/EC)
Max. Torque/Ne	(Nm/rpm)	75/8500

Table 1 Major engine specifications of VFR 800 FI

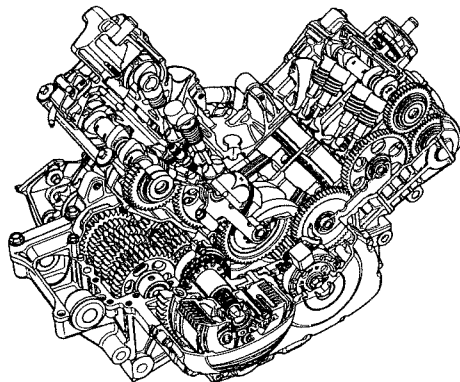


Fig.4 Section view of VFR 800 FI engine

Fig. 5 explains the firing interval and the firing order of the cylinders. The firing interval is an irregular interval dictated by crank angles of 180°, 270°, 180°, and 90°.

The firing order is made consecutively to cylinders 1, 3, 2, and 4 in irregular order. Due to this firing order, a tractive feeling different from an in-line 4-cylinder is provided to the rider.

In spite of the catalyst system is equipped, the engine of the VFR 800 FI produces more power than the previous model VFR 750 F, as shown in Fig. 6.

For effective cooling performance, the radiator was divided with two radiators installed on the sides of the engine. This also increased the space for the engine in the frame body that now has an ideal layout for a V4 engine: closer to the front wheel.

Other major features are described below. A light frame without a pivot for the swing-arm was newly developed with optimal balance of strength and rigidity. Furthermore the continued use of a mono arm rear fork enhances the handling and stability during high-speed running.

The Dual-CBS brake system that has been adopted from other models was further refined so that the system generates stable braking forces and is easy to control.

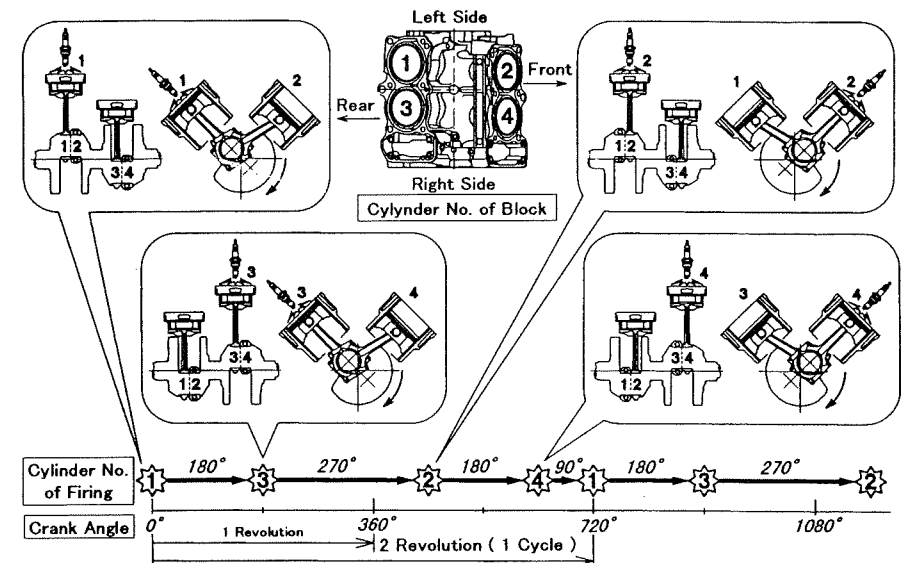


Fig. 5 Cycle sequence

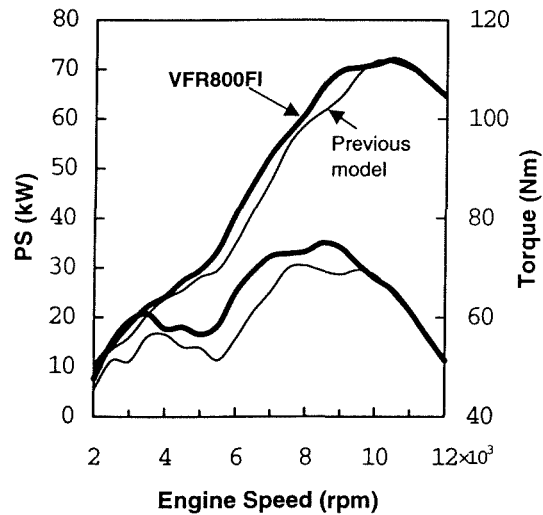


Fig. 6 Engine performance

4. Exhaust Emission Reduction System

4.1 Catalyst System Layout and Activation

The exhaust system is a "4-2-1 junction" type as shown in Fig. 7.

The part from the exhaust port to the first assembly part is called L1, the first assembly part to the second assembly part is L2, and the second assembly part to the muffler is called L3, as shown in Fig. 8.

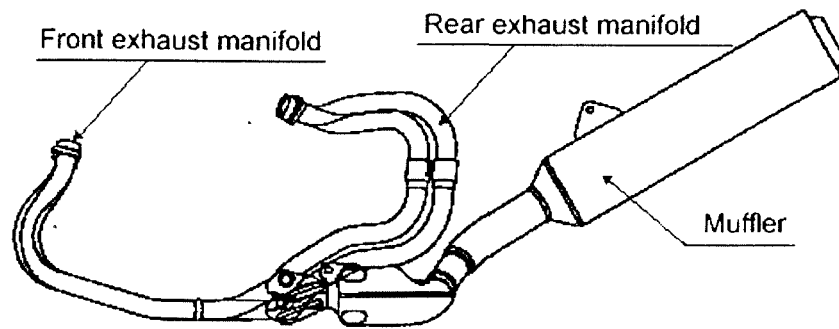


Fig. 7 Exhaust system assembly

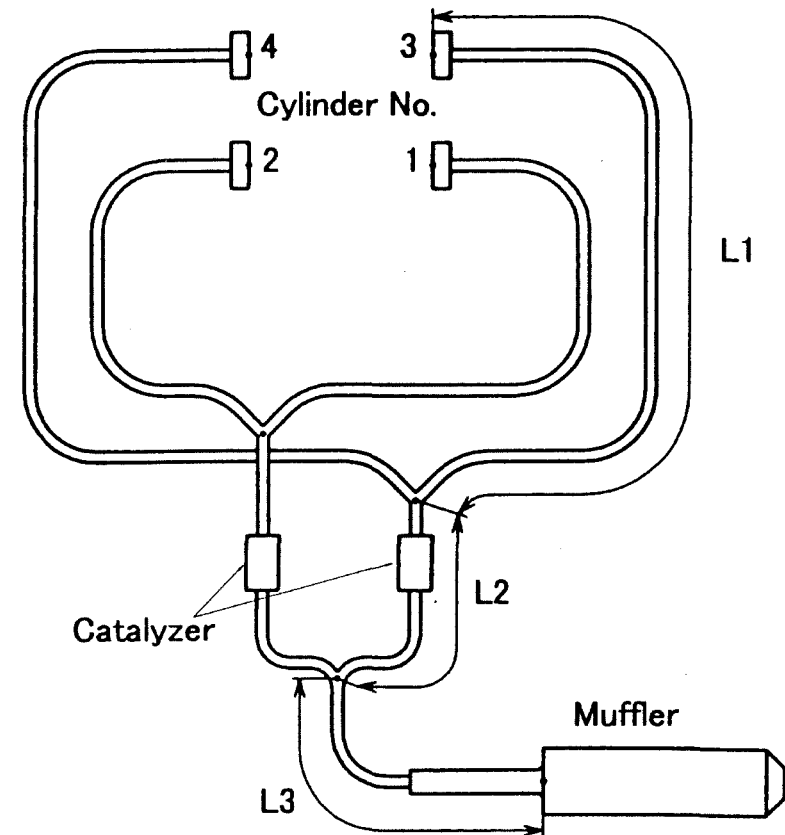


Fig. 8 Diagram of exhaust system

In general, to fix the catalyzer system on part L3 would be simple. However, in this position the catalyzer is located far from the exhaust port, and the radiation area of the exhaust pipe is too large, so the exhaust gas temperature will be lost. The shorter L1 and L2 assemblies give priority to catalyzer activation temperature but will sacrifice some output power, and engine response. To improve these inconveniences, the diameter of the exhaust pipe in part L1 was reduced from $\varnothing 35.0$ of VFR 750 F to $\varnothing 31.8$ without effect to the output power, and a 3-way catalyzer system was mounted in L2 coupling the secondary air injection system to the exhaust port. By these measures, an ideal activation temperature of 320° could be obtained. In the exhaust emission measuring mode, the temperature in front of the catalyzer system increases by 140° . The catalyzer temperatures in the ECE 40 mode are shown in Fig. 9.

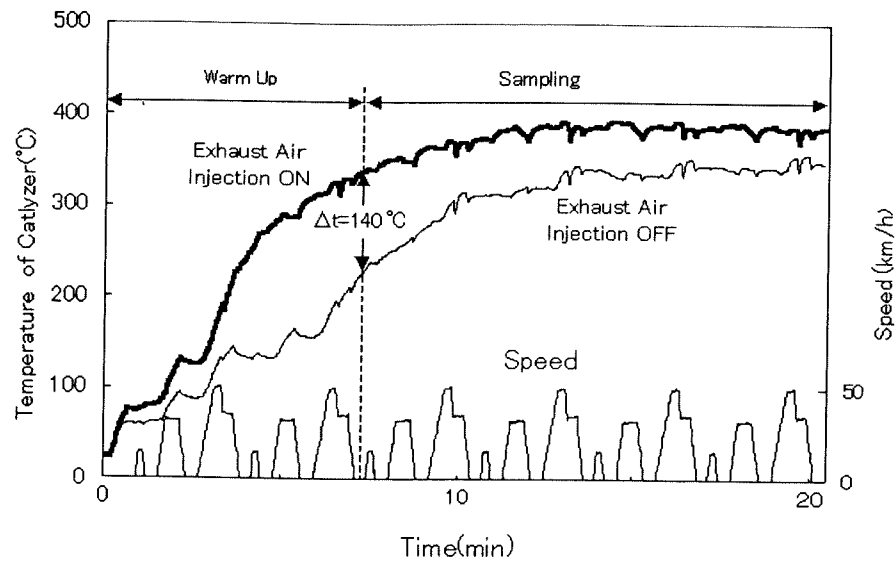


Fig. 9 Temperature of catalyzer (ECE40 Mode)

The catalyst system located below the engine and the swing arm, features two oval-shaped catalyzers fixed vertically to assure enough banking angle. Fig. 10 shows the layout of catalyzer system. If the catalyzer system had been fixed in L2, the pipe length of L2 would have been changed and the output power affected. Therefore, the catalyzer system was divided into two inner bodies and the outer pipe of the catalyzer system was used as a continuation of L2, as shown in Fig. 11.

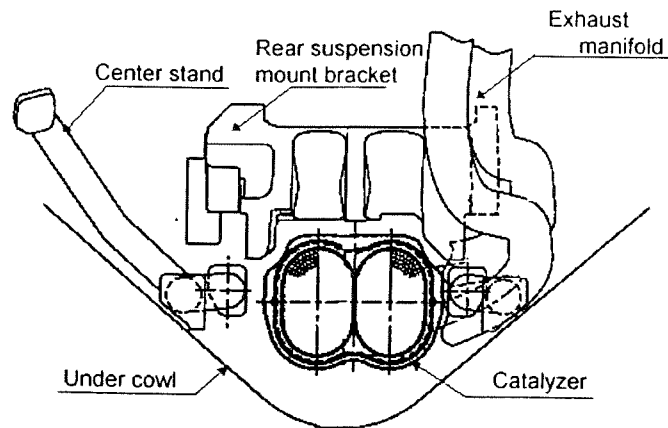


Fig. 10 Layout of catalyzer

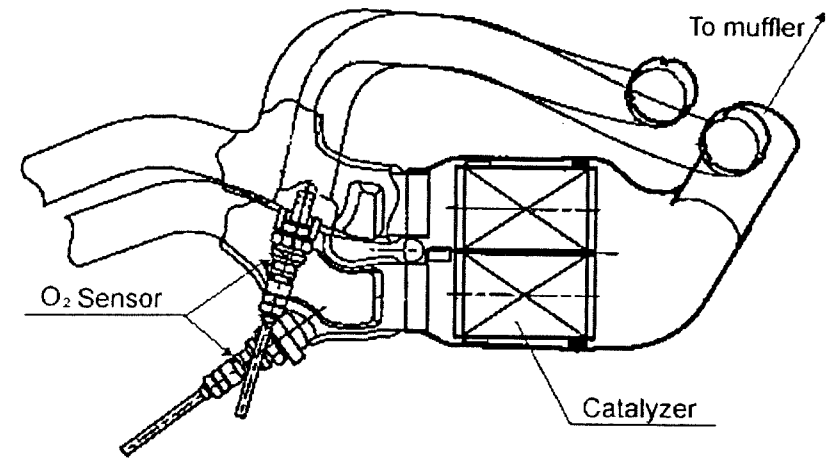


Fig. 11 Layout of catalyzer and O₂ sensor

A photograph of the catalyst system and the dimensions are shown in Fig. 12 and in Fig. 13, respectively. This catalyst system does not affect the power output, has a honeycomb structure consisting mainly of platinum and rhodium, and effectively purifies the exhaust gas from CO, HC and NOx.

Because the catalyst system was fixed in L2, the two O₂ sensors were mounted in L2. The amount of fuel injected in cylinders 1 & 2 (Left side) and cylinders 3 & 4 (Right side) is controlled independently according to the feedback of the O₂ sensors.

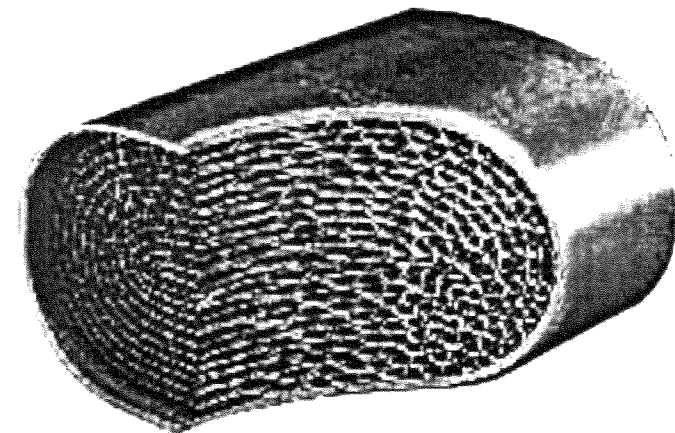


Fig. 12 Cut model of catalyzer

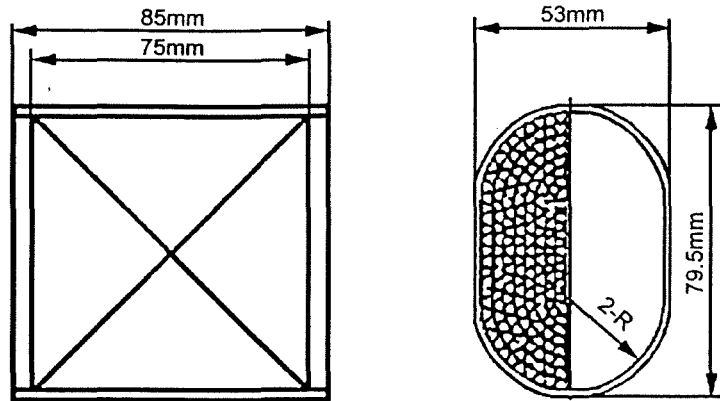


Fig. 13 Dimension of catalyzer

4.2 Exhaust Emission Reduction and Driveability

The diagram of the fuel injection system adopted for VFR 800 FI is shown in Fig. 14. A 16 bit CPU is installed into the ECU. The fuel injection and the ignition timing are controlled by only one ECU, and a sequential calculation is processed at all engine speeds.

Furthermore double-faced mounting of the chips could achieve a small size and lightweight of the ECU for motorcycle use.

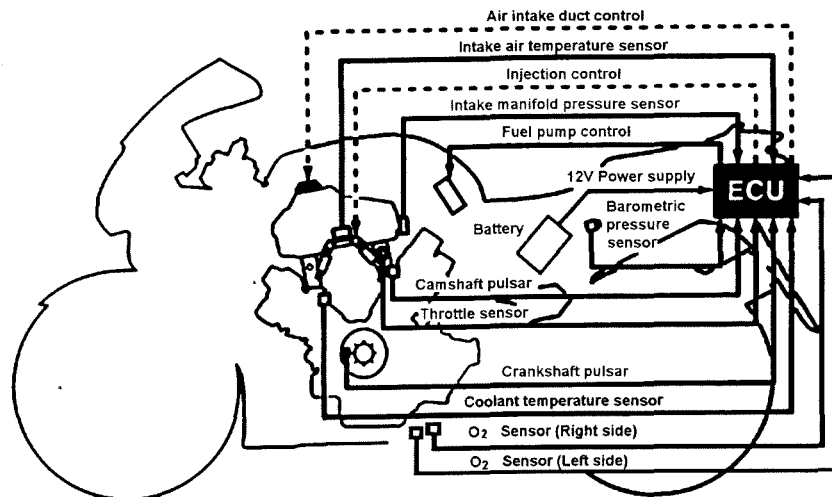


Fig. 14 Fuel injection system diagram

4.2.1 Fuel Injection Amount and Ignition Map

The followings are an explanation of the map determining the amount of injected fuel.

- 1) The basic amount of fuel injected during light load operation of the engine is calculated from the negative pressure in intake manifold and the engine speed. This is called "Map for fuel injection amount depending on negative pressure in intake manifold".
- 2) The basic amount of fuel injected during heavy load operation of the engine is calculated from the throttle opening and the engine speed. This is called "Map for fuel injection amount depending on throttle position".

The accuracy of the amount of fuel injected is maintained from light load to heavy load zones by using both fuel injection maps simultaneously.

In order to achieve an excellent performance of the engine with the irregular interval and firing order, one injection map was assigned to each cylinder. Thus in total there are eight maps working to assure a precise amount of fuel injected. Each of the four cylinders also has an ignition map (four maps in all) to control their own necessary timing. The fuel injection amount and ignition spark timing maps are shown in Fig. 15.

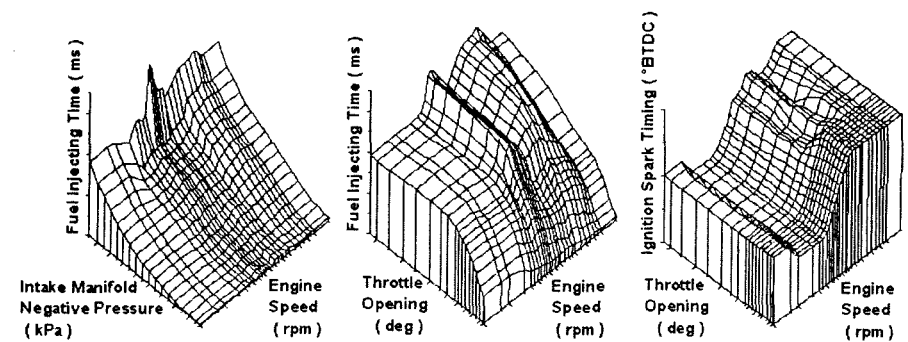


Fig. 15 Fuel injection and ignition spark timing 3D map

4.2.2 Correction of the Amount of injected Fuel

Normally, the air-fuel mixture ratio of high revolving motorcycle engines with high power outputs is fixed at 12 or 13 to give priority for driveability. However, in this case, it is fixed at 14.7 to use the 3-way catalyst at the maximum purification rate.

The driveability of the high revolution engine with high power output was ensured by optimally controlling the amount of fuel injected during acceleration with the following system:

- 1) To rapidly recognize the rider's intention to accelerate, the throttle opening is detected 12 times per engine revolution, so changes are detected instantly.
- 2) The supplied amount of fuel is corrected to the optimum value according to the engine condition before the acceleration registered by the ECU.
- 3) Additional fuel for acceleration is injected into the cylinder via an inlet-valve is opening.

With these functions, it is possible to adjust the delay of fuel supply and the necessary air-fuel mixture ratio to obtain good driveability in transient conditions.

4.2.3 Secondary Air Injection System coupled to the Exhaust Port

The layout of the secondary air injection system coupled to the exhaust port is shown in Fig. 16. This system injects additional air into the exhaust port to activate the catalyst right away, and restrains emissions of CO and HC during warming up of the engine from a cold start.

Furthermore, it introduces additional air to achieve a state of oxygen excess in the exhaust gas during idling where there is not much NO_x and it promotes the oxidation of CO and HC by the catalyst.

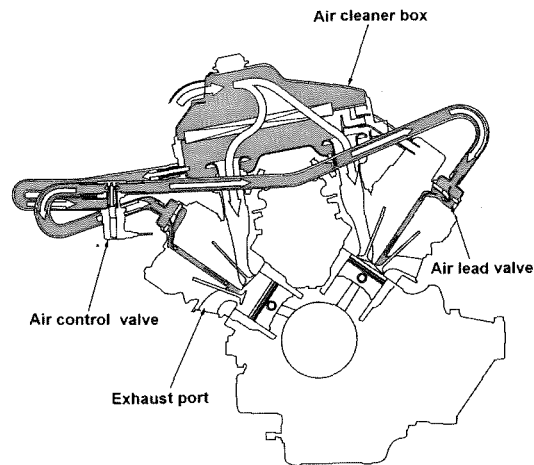


Fig. 16 Secondary air injection system

The achieved emission values of VFR 800 FI are shown in Table 2. This was achieved by combining an appropriate layout to obtain the necessary activation temperature for the catalyst, an ignition-timing map and a control system for the amount of injected fuel.

CO	0.4 g/km
HC	0.3 g/km
NO _x	0.03 g/km

Table 2 Exhaust emission value of VFR 800 FI

5. Conclusion

Using a 3-way catalyst, low exhaust emissions were achieved without reducing the power output of the motorcycle engine.

The details are as follows:

- 1) Due to the appropriate layout of the 3-way catalyst system and the secondary air injection coupled to the exhaust port, low exhaust emissions were achieved, compared to the target value of 1.3g/km, especially low CO emissions could be obtained of just 0.4 g/km
- 2) Despite the VFR 800 FI being equipped with a 3-way catalyst in the exhaust system its engine performance maintained the same level as the previous model, and it provides a maximum power output of 72kW/10500 rpm corresponding to 92 kW/liter. Furthermore due to the engine characteristics, the bike is easy to operate from low to high engine speeds.
- 3) The amount of injected fuel and the ignition timing are controlled by only one ECU, which performs a sequential calculation from low to high engine speeds. Good throttle response and good throttle linearity were achieved by optimizing the control device correcting the amount of fuel injected during acceleration.

REFERENCE

- [1] K. OKADA et al. "Driveability Evaluation of Two-stroke Engine at Part Throttle Operation Using Torque Map", Honda R&D technical Review Vol. 7. 1995

Entwicklungstendenzen

Trends in development

**Motorrad-Aerodynamik
Zusammenhänge – Meßwerte – Möglichkeiten**

***Motorcycle-Aerodynamics
Facts – Figures – Possibilities***

Arnold Wagner

Peraves Ecomobilfabrik
Schweiz

Abstract

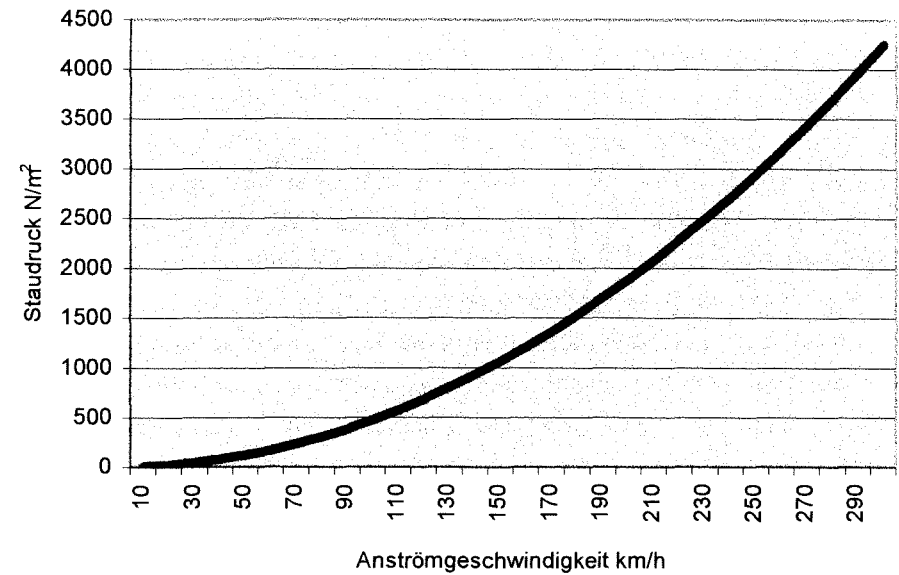
Aerodynamics of conventional motorcycles – in comparison to other vehicle categories – have the greatest potential for improvement. Efficiency, handling, road holding and safety could be clearly improved by fairings, preferably of mono-coque-composite structure, enclosing at least the front part of the vehicle, and by an in-line-arrangement of rider(s) versus engine in order to reduce the cross-section-area allowing for better streamlining.

The author has no intention to prescribe detailed solutions but wishes to point out new possibilities as well as those already existing, e.g. „dustbin-fairings“, cabin-motorcycles and „feet-forward-ideas“ by a pictorial presentation, reflecting approximately his own view of desirable motorcycle developments.

Motorrad-Aerodynamik befaßt sich mit Luftwirkungen, die bei der Um- und Durchströmung des Fahrzeugs auftreten sowie mit zugehöriger Arbeit, Energie und Leistung. Potentielle Energie ist hier LUFTDRUCK, kinetische Energie STAUDRUCK. Größenordnungen zeigt das folgende Diagramm 1:

Luftdruck und Staudruck

Luftdruck NN 101'320 N/m²



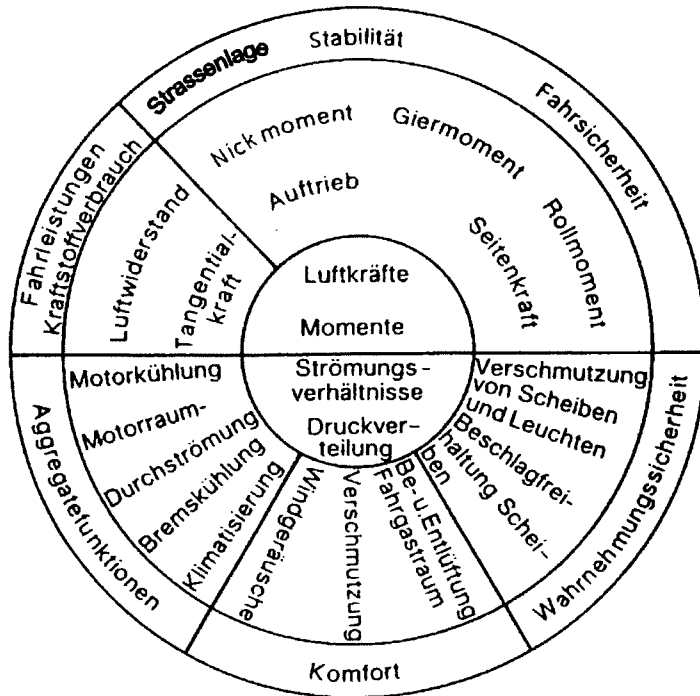
Quelle PVS-Cptr

Merken wir uns das große Potential des Luftdrucks mit ~100.000 N/m² zum absoluten Vakuum und daß der Staudruck im Quadrat zur Strömungsgeschwindigkeit ansteigt. Dessen Werte bei 100/200/300 km/h sind z. B. ~475/1900/4300 N/m², bei 460 km/h werden erst 10% des NN-Luftdrucks erreicht ...

Motorräder bewegen sich, wie andere Fahrzeuge, normalerweise auf der Erde und innerhalb der Luft über derselben, also in ZWEI Elementen. Motorrad-Aerodynamik kann daher nicht separat, sondern nur zusammen mit der Fahrdynamik und den Wechselwirkungen beider aufeinander behandelt werden. Ein umfangreicher Stoff, aus Zeitgründen nur in den wichtigsten Näherungen, wird aus der Perspek-

tive des für die gesamte Fahrzeugkonstruktion verantwortlichen Ingenieurs zwar vereinfacht, aber sachlich (hopefully) korrekt dargestellt, damit brauchbare Erkenntnisse ableitbar sind.

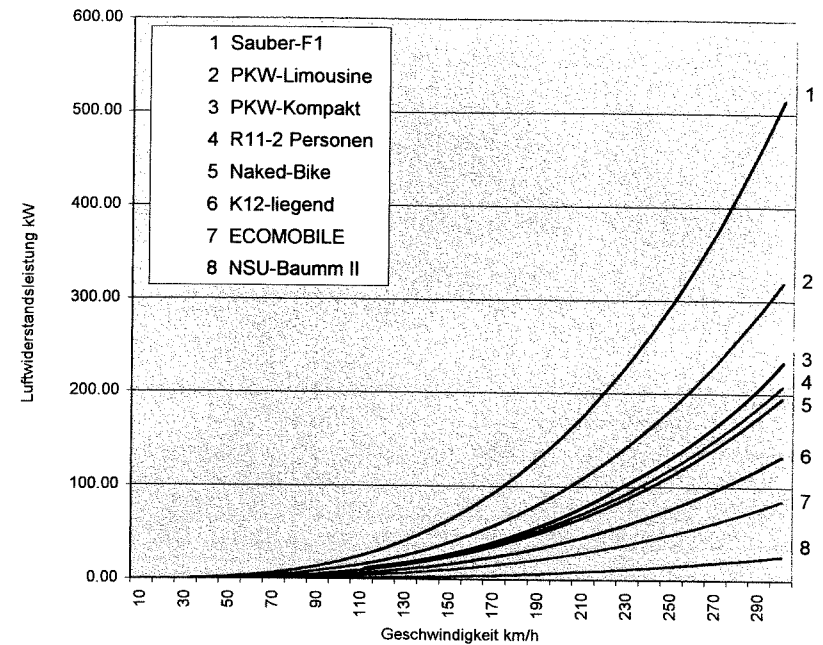
Der Einfluß der Aerodynamik auf die Fahrzeugfunktionen kann gesamthaft in etwa wie im Diagramm 2 dargestellt werden:



Quelle: Kraftfahrttechnisches Taschenbuch/Bosch, 22. Auflage/Änderungen PVS

Luftwiderstand

Die größte Luftwirkung an Fahrzeugen ist Widerstand, den die Luft dem bewegten Fahrzeug entgegensetzt mit leider (fast) nur bremsendem Ergebnis. Die Effizienz jedes schnellen Fahrzeugs wird überwiegend davon bestimmt, in Abhängigkeit von Querschnitt und aerodynamischer Durchbildung. Strömungsgesetze schreiben schlanke, glatte Formen ohne sprunghafte Querschnittsänderungen vor zur Senkung der Luftwiderstandsleistung, der zur Überwindung des Luftwiderstands nötigen Anzahl kW. Beispiele dazu in Diagramm 3:



Fahrzeug	CwxA	Quellen
1 SAUBER F-1	~ 1.45	RED BULL SAUBER AG
2 PKW Limousine OPEL OMEGA 93	~ 0.95	Messung PVS 018/96
3 PKW Kompakt VW Golf 2 GTI 95	~ 0.65	Messung PVS 019/96
4 MRD BMW R1100RT 96 mit 2 Personen	~ 0.585	Messung PVS 024/97
5 MRD SUZUKI Bandit 1200 Fhr. sitzt	~ 0.549	MRD 10/97
6 MRD BMW K1200RS Fhr. langliegend	~ 0.375	MRD 10/97
7 PERAVES W-18K11T TURBO-ECO	~ 0.240	Messung PVS 026/97
8 NSU-Baum-II-Rekordfzg.	~ 0.080	NSU-Pressedienst 1955

Die Luftwiderstandsleistung errechnet sich aus dem Widerstandskennwert ($C_w \times A$), der mit Staudruck und Anströmgeschwindigkeit multipliziert wird. Sie steigt also in der 3. Potenz mit der Geschwindigkeit und wird, je nach Fahrzeugkategorie, zwischen etwa 100 und 150 km/h größer als die Summe der Leistungen für Nulllast, Triebstrang-, Roll- und Walkwiderstand, welche, wenn überhaupt, mit der Geschwindigkeit nach flacheren Funktionen zunehmen. Aerodynamische Änderungen wirken sich also über ~150 km/h immer dominanter auf Fahrleistung bzw. Verbrauch aus.

Als Vergleich ins Diagramm 3 aufgenommen, braucht der SAUBER-Formel-1-Bolide von allen dargestellten Fahrzeugen weitaus am meisten Leistung zur Überwindung des Luftwiderstands, etwa 155 kW bei 200 km/h. Dies scheint nicht sehr effizient, aber es muß berücksichtigt werden, daß Luftwiderstand verschiedene Ursachen hat und man z. B. in der Luftfahrt zwischen „schädlichem“ und „nützlichem“ solchen unterscheidet. Schädlicher Form- und Reibungswiderstand bremst nur, nützlicher „induzierter“ Widerstand ist eine Folge des AUFTRIEBS. Beim F-1 entsteht durch den zur Kraftübertragung bzw. Kurvengeschwindigkeitserhöhung mittels der beiden Flügel und dem Unterboden erzeugten ABTRIEB, der bei 200 km/h 6–8000 N ausmacht, ein induzierter Widerstand von etwa 1400 N. Über 50% der 155 kW werden dafür aufgewendet und der Effekt ist jeweils dann ersichtlich, wenn sich so ein Bolide einmal aufstellt. Durch Anströmung von unten wird Abtrieb zu Auftrieb und das Gerät segelt glatt in die Luft. Man hätte genügend Leistung, Traktion und Abtrieb, um ab etwa 180 km/h ohne weiteres eine senkrechte Wand hoch und dann weiter kopfüber an einer Decke zu fahren, ohne herunterzufallen! Die immer noch beachtlichen knapp 50% Form- und Reibungswiderstand haben unverkleidete Räder und das offene Cockpit zum Hauptgrund. „Offen“ und „unverkleidet“ bedeuten strömungstechnisch „leistungsfressend“.

Ein PKW nimmt, je nach Größe und Form, bei 200 km/h ebenfalls beachtliche 60–100 kW für den Kampf gegen den Fahrtwind auf. Immerhin können dabei 4–5 Personen plus Gepäck mitgeführt werden. Das Automobil wäre also, bei voller Besetzung, mit einer Luftwiderstandsleistung von 15–20 kW pro Person bei 200 km/h recht effizient. Allerdings fahren selten mehr als 1 bis 2 Leute mit und die Form ist nicht so toll, wie uns die Farbprospekte der meisten Hersteller glauben lassen möchten, seit der Cw-Wert als Werbefaktor entdeckt worden ist. Prüft man die Fahrleistungen nach, ist der oft beschworene „beste Cw-Wert seiner Klasse“ geschönt, denn es werden üblicherweise Ziffern ohne Rückspiegel, ohne interne Strömungsverluste und ohne oder durch Fahrzeugabsenkung zu tiefen Interferenzverlusten zwischen Straße und Fahrzeugunterseite kolportiert. Im weiteren bringt die PKW-Reklame meist nur den Cw-Wert und verschweigt die große Querschnittsfläche, während die Motorradwerbung auf dem Widerstandskennwert CwxA herumreitet und den hohen Cw-Wert schamhaft unterschlägt ...

Daß ein Tourenmotorrad mit 2 Aufsassen über 60 kW bei 200 km/h gegen den Winddruck aufbieten muß, zeigt eine motorradspezifische Merkwürdigkeit, nämlich, daß, im Gegensatz zum Auto, die Luftwiderstandsleistung von der Fahrzeugbeladung stark beeinflusst wird. Mit über 30 kW pro Person, zweifachem PKW-Wert, glänzt man in der Effizienz nicht gerade besonders.

Das „naked bike“ mit knapp unter 60 kW bei 200 km/h, nur mit dem Fahrer besetzt, sieht, im Jargon unserer Jugend, gar noch älter aus. Für Sporttourer mit Halbschale, langliegend gefahren, sind unter gleichen Bedingungen noch 40 kW nötig



Quelle: BMW-Werbung Motorräder 1998

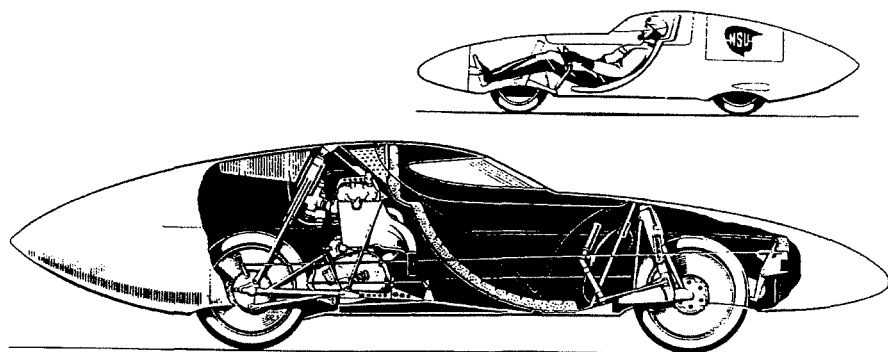
Bild 1: Motorrad BMW R1100RT, 2-Personen



Quelle: MRD 10/97

Bild 2: Unverkleidetes Motorrad im Windkanal

und es zeigt sich eine weitere Merkwürdigkeit. Nicht nur Größe, sondern auch Bekleidung und Körperhaltung des/der Aufsassen beeinflussen den Luftwiderstand sehr. Zudem muß man sich gegen den Winddruck mit dem Körper abstützen und an der Lenkstange festhalten, ein Grund, warum z. B. Testresultate bezüglich Fahrleistungen bei Motorrädern viel mehr streuen als bei Autos. Der/die NormfahrerIn ist nur vage mit dem Körpergewicht definiert. Man findet besonders in kleinen Hubraumklassen bei Motorradrennen kaum Bierbrauerposturen auf dem Siegerpodest und fragt sich, warum die Frauen (noch?) keine Siege hamstern. Sie hätten ja gegenüber uns Männern erhebliche Vorteile in aerodynamischer Durchbildung und geringerer Wasserverdrängung, was auf dem konventionellen Motorrad weniger Luftwiderstand bedeutet ...



Quelle: NSU-Pressedienst

Bild 3: NSU-Baumm-II-Rekordfahrzeug

Vollverkleidete Kabinen- und Rekordzweiräder kommen leichter gegen den Fahrtwind voran. Das zweiplätziges ECOMOBILE braucht gerade einmal 25 kW, bei voller Besetzung also 12,5 kW pro Person. Bei der ECO-Konstruktion stand der Komfort im Vordergrund, und man kann ein zweiplätziges Kabinenmotorrad durchaus auf etwa $\frac{2}{3}$ der Querschnittsfläche reduzieren, was einen Wert von ~ 8 kW pro Person ergäbe. Das NSU-Baumm-II-Rekordfahrzeug gibt sich gar mit >8 kW bei unseren 200 km/h zufrieden. Eine heutige Baumm-Zigarre könnte, insbesondere wegen der Fortschritte im Composite-Monocoque-Sektor, bezüglich Luftwiderstand um 25–35% besser sein, sodaß 5 kW pro Person bei 200 km/h durchaus möglich sind, im Vergleich zu den 60 kW des „naked bike“ gerade 8,33%!

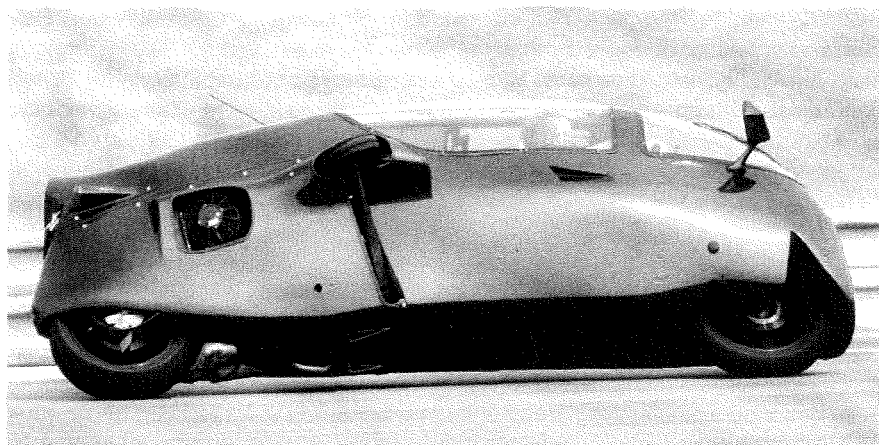
Mit verbesserter bzw. weniger schlechter Durchbildung der Fahrzeuge hat man in den letzten Jahren wesentliche Abminderungen der Luftwiderstandsleistung erreicht. Beim PKW haben abgerundete Pontonform, „aufgeräumte“ Unterböden, fugenlose Scheibenmontagen und bessere Motorraumdurchströmungsverhältnisse

seit 1970 rund 30% Verringerung gebracht. Motorräder hingegen wurden nicht im gleichen Maße verbessert. Sie sehen zwar heute mit Sportverkleidung, NASA-Inlets und Ram-Air-Scoops „aerodynamisch“ aus wenn niemand darauf sitzt. Die Integration der Aufsassen hat wenig Fortschritte gemacht. Die BMW-R100RS, erstes Serienmotorrad mit rahmenfester Frontverkleidung (1976) steht mit einem $C_w \times A$ von 0.498 mit sitzendem Fahrer nur gerade 15% schlechter da als die K1200RS mit 0.424 (1996). Solange der oder die Aufsassen atavistisch im Bereich des größten Querschnitts wie auf einem Pferd reiten, hat diese Fahrzeugkategorie in höheren Geschwindigkeitsbereichen den heute zunehmend stigmatisierenden Ruf eines wenig effizienten Leistungsfressers und damit auch Spritsäufers auf sich zu nehmen. Erhebliche Verbesserungen sind möglich, wenn die Frontpartie voll verkleidet und die Querschnittsfläche durch Staffelung von Aufsassen und Motor verringert werden. Baumm hat weiter mit scheibenartigen Radabdeckungen und Spezialreifen gezeigt, daß weitere unbenutzte Abminderungsmöglichkeiten bestehen, während die heutige Rad- und Reifenentwicklung vorwiegend Gewichts- und Reibungsoptimierung, überlagert von ästhetischen Aspekten, verfolgt. Die leider noch nicht erfolgte Konstruktion eines widerstandsarmen Rades mit integrierter Scheibenbremsbelüftung wäre hier eine schöne Ingenieuraufgabe und würde sicher bald ein Markttrenner. Schon mit heutigen Motorradfelgen und -reifen läßt sich die Belüftung auch bei Vollverschaltungen derart lösen, daß keine wesentlich höheren Temperaturen als bei freilaufenden Rädern auftreten. Auf die dazu notwendigen Details gehen wir hier aus Zeitgründen nicht ein.

Notwendige und unnötige Durchströmungen des Fahrzeugs verschlechtern (meist) den C_w -Wert und bieten immer noch erhebliches Verbesserungspotential durch bessere Integration der Ein- und Auslaßöffnungen in die Querschnittsfläche und sorgfältige Ausgestaltung derselben sowie Bildung von Druckzonen. Interessant ist dazu besonders ein Vergleich des Kühlergrills bei Autos von 1970 und heute, aber noch immer haben fast alle PKW als Ablüftung einfach einen nach unten offenen Motorraum. Vom Autorennensport her hat ein Modegag, RAM-AIR genannt, beim Sportmotorrad in Werbung und Journalistik Einzug gehalten. Kaum ein Modell wird ohne Hinweis auf Staudruck, „Aufladung“ der Ansaugbox angepriesen. Daß bei 100 km/h nicht einmal 0,5% und bei 200 km/h erst knapp 2% Gesamtdruckerrhöhung mit 100% Staudruckausnutzung möglich sind und durch zu große RAM-AIR-SCOOPS mehr Luftwiderstandsleistung verursacht werden kann als der Motor zufolge Einlaßdruckerhöhung Leistungsplus abgibt, darf dazu bemerkt werden. Betrachtet man den Motor als Strömungsmaschine, sollen nicht nur für Einlaß hohe Luftdichte, sondern auch für Auspuff günstige Abströmung vorhanden sein. In der Luftfahrt hat man durch besondere Form der Auspuffstutzen und Ejektorrohre erhebliche Schubleistungen erreicht. Diese Lösungen scheitern aber im Fahrzeugbau an der Abgasführung, der Lärmentwicklung und am Propulsionswirkungsgrad. Immerhin ist es sinnvoll, das Auspuffende nach hinten zu richten, denn ein Motor mit 100 kW Leistung produziert mit üblichen Auspuffanlagen rund 20–40 N Schub,

was bei 200 km/h immerhin 1–2 kW Leistung bedeutet. Mit der Abwärme wird bei Kühlern der durchströmenden Luft Energie zugeführt, die theoretisch, bei geeigneten Querschnitt- und Geschwindigkeitsverhältnissen, in Schub umgesetzt werden könnte. Dazu wäre aber ein unverhältnismäßiger Aufwand in der Durchbildung der Einlässe, Diffusoren, Kühlkörper und Auslaßöffnungen nötig, sodaß in der Praxis Kühler immer widerstandserhöhend sind.

Wichtig erscheint eine INTEGRATION der Fahrzeug-Durchströmungsvorgänge, wie sie bei Flugzeugen schon lange üblich ist und im Automobilbau heute auch angestrebt wird. Beim ECOMOBILE wurde dieses im Flugzeugbau übliche Prinzip mit folgenden Merkmalen angewendet:



Quelle: PVS-Archiv

Bild 4: PERAVES W-18K12 SUPER-ECOMOBILE

Im Gebiet freier Anströmung wird Staudruck abgenommen mit Einlaßhutzen, die nicht querschnittserweiternd und flächenmäßig den Auslaßbedürfnissen angepaßt sind, nämlich vor den Stützrollenverkleidungen und auf der Unterseite mit NASA-Inlets; und damit der gesamte verkleidete Motorraum als Druckzone aufgeblasen. Darin herrscht nun, geschwindigkeitsabhängig, ein Überdruck von 55–75% Staudruck, der sich z. B. schon mit aufklappenden und abreisenden Verkleidungsteilen manifestiert hat, wenn beim Schließen der D-Zus-Schnellverschlüsse geschlampt wurde. Der Motoreinlaß liegt an einer geschützten Stelle. Sämtliche

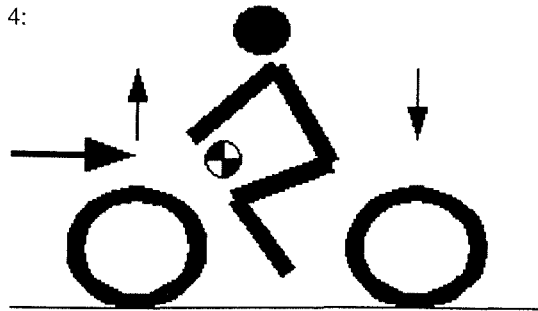
Kühler sind im Abluftstrom nach hinten/außen, gegen die Verkleidungskontur abgedichtet, plaziert. Bei zuwenig Durchströmung für die Wärmeabfuhr sorgen temperaturgesteuerte Elektrolüfter für Ausgleich. Die Kühlerabwärme beaufschlagt weder Motor noch Fahrzeugstruktur. Zudem ist kein Wassersyphon für den Motoreinlaß nötig und es sammeln sich Schmutz und Insekten nicht in den Kühlern an. Diese brauchen wegen der großen möglichen Ablaßflächen nicht hintereinandergeschaltet zu werden wie z. B. Klimakondensator und Motorkühler beim PKW. Anfänglich wurde die Belüftung des Fahrgastraumes auch im Motorraum abgenommen. Ein Geruchproblem im Stop-and-go-Verkehr wurde dann mit der seitlichen NASA-Hutze gelöst. Kabinenabluft wird ins Fahrzeugheck entlassen, wohin auch Klimakondensator bzw. Turbo-Intercooler abgelüftet werden.

Bei heutigen Sportmotorrädern ist man teilweise, z. B. bei der Kühlerplatzierung der BMW K1200RS, ebenfalls den Weg zum Abluftstrom gegangen. Allerdings weisen Sportverkleidungen mit freiem Vorderrad oft eine zu große Einlauföffnung auf, die zusätzlich durch das Totwasser- und Turbulenzgebiet hinter dem Vorderrad gestört wird. Unverkleidete Aufhängungsteile und das freilaufende Rad sind, wie beim F-1-Boliden, Ursache wesentlich höheren Umströmungswiderstandes und machen auch die Integration der Durchströmung schwieriger, bei welcher der Druckraum fehlt. Blauwal/Dustbin-Verkleidungen unter Einbezug des Vorderrades samt Aufhängung wären dafür besser geeignet, werden aber seit 1957 kaum mehr verwendet.

Straßenlage

Luftwirkungen beeinflussen die durch Fahrwerk, Beladung, Reifen, Straßenzustand und Fahrmanöver vorgegebene Straßenlage von Fahrzeugen erheblich. Durch Luftkräfte können sich Radlasten ändern, was die durch Reibung übertragenen Traktions-, Brems- und Querkräfte beeinflusst. Ohne Flügel, Spoiler oder ähnliches erleidet das konventionelle Motorrad an der Vorderachse bei schneller Fahrt eine Entlastung, die in der Fachpresse unrichtig als „Auftrieb“ bezeichnet wird und z. B. beim „naked bike“ den Wert von 250 N bei 200 km/h, d. h. 15% der statischen Radlast, überschreitet. Rechnerisch würde hier das Vorderrad bei einer Geschwindigkeit von knapp über 400 km/h in die Luft gehen, praktisch ist ein Motorrad schon bei 30–40% Entlastung kaum mehr fahrbar. Mit Formgebungen des Oberteils von Halbschalenverkleidungen wird versucht, eine „Spoilwirkung“, d. h. Reduktion des „Auftriebs“ zu erreichen, womit aber dessen Ursache verkannt wird. Tatsächlich entsteht dieser „Auftrieb“ durch die relativ weit oben angreifende Luftkraftresultierende, die über einen kurzen Radstand abgestützt werden muß und eine etwa gleich große Erhöhung der Hinterachslast zur Folge hat, d. h. das Motorrad wird dabei nicht leichter, aber die Radlast verschiebt sich nach hinten.

Dazu Diagramm 4:

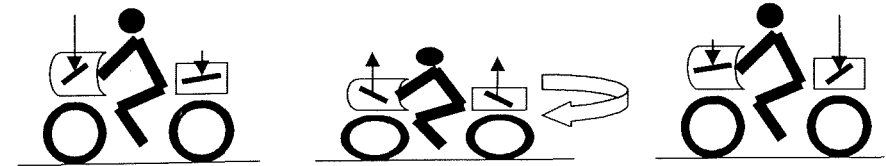


Quelle: PVS-Cptr.

Beim Automobil ist im Rennsektor schon lange aerodynamische Erzeugung von ABTRIEB gebräuchlich. Damit wird die Radlast erhöht und ermöglicht eine Übertragung größerer Reibungskräfte. Allerdings müssen Bodenfreiheit und Federwege derart beschränkt werden, daß für Gebrauchsfahrzeuge kaum nutzbare Vorteile entstanden sind. Reine Abtriebserzeugung wäre beim Motorrad unsinnig, weil es in der Kurve geneigt wird und dann entweder Flügel und/oder Spoiler entgegen der Schräglage gekippt werden müßten, oder, durch höhere spezifische Reifenbelastung, eine geringere Kurvengeschwindigkeit resultieren würde. Zudem ist, wegen des größeren Bodenabstandes und der kleinen Grundfläche, eine Ausnutzung der Interferenz zwischen Straße und Fahrzeug für Abtrieb unmöglich. An Motorradverkleidungen oder -heckteilen angebrachte Spoiler sind daher so wirksam wie jene an Limousinen auf dem Kofferraum im Totwassergebiet der Heckscheibe montierten Flügel, welche nur als Schiebehandgriffe bei Pannen praktischen Wert haben. Wäre es möglich, und wenn ja, wie, Straßenlage und damit Traktion, Kurvengeschwindigkeit und Bremsung beim Motorrad mit aerodynamischen Mitteln zu verbessern?

Zur Traktionsübertragung müßte das Motorrad vorne heruntergedrückt werden, denn voller Leistungseinsatz führt bei starken Maschinen zum „Wheelie“, dem Abheben des Vorderrades, was bei jedem 500er-GP oft die Beschleunigungslimite ist. Zum Bremsen wäre das Hinterrad zu drücken, und in der Kurve ist Auftrieb in der Fahrzeugsymmetrieebene über beiden Achsen erwünscht. Mit starren Flügeln und/oder Spoilern sind diese Forderungen nicht unter einen Hut zu bringen. Es ist jedoch vorstellbar, mit einem oder zwei VERSTELLBAREN Flügeln ähnliche Werte der Reibungsübertragung wie beim F-1 zu erreichen. Der Verfasser möchte die Ausgestaltung eines solchen Flügelmotorrades den Lesern überlassen und begnügt sich mit einer Skizze, die obige Ansätze figürlich festhält. Die Steuerung der Verstellflächen zu den aktuellen Betriebszuständen sei ebenfalls der Leserphantasie anheimgestellt und dazu verraten, daß die für die Verstellung relevanten Fahrparameter einfach abrufbar wären.

Dazu Diagramm 5:



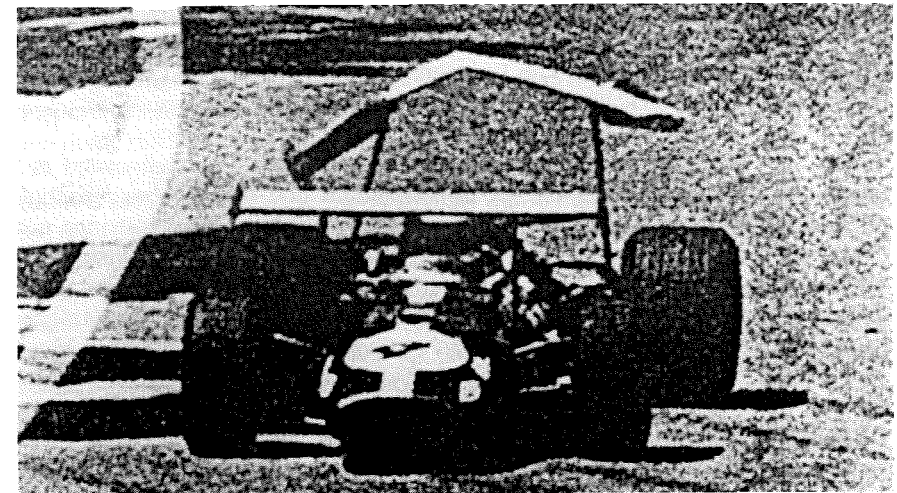
Flügelmotorrad beschleunigt

kurvt

bremst

Quelle: PVS-Cptr.

Traktion und Bremsung leiden beim herkömmlichen Motorrad unter dem kurzen Radstand, der hohen Schwerpunktlage und der starken Motorisierung, was dynamische Radlastverlagerung bis über 100% ergeben kann, indem beim Beschleunigen das Vorderrad und beim Bremsen das Hinterrad abhebt. Ein einfaches Mittel zur Abhilfe wäre Absenkung des Schwerpunktes und Vergrößerung des Radstands. Dazu ist wiederum eine Staffelung von Aufsasse(n) und Triebwerk in der Art eines „recumbent bike“ gegeben. Entgegen in der Fachpresse kolportierten Meinungen, langer Radstand bedeute Einschränkungen in der Beweglichkeit können wir heute praktisch das Gegenteil beweisen mit Handlingvergleichen von Kabinenmotorrädern und Sportbikes auf der Rennstrecke. Weil mit dem Schwerpunkt auch der Angriffspunkt der Luftkraftresultierenden sinkt, fällt der diskutierte „Auftrieb“ am



Quelle: AMS 11/69

Bild 5: Formel-1- Flügelbruch

Vorderrad entsprechend geringer aus. Flügel im obenerwähnten Sinn werden also nicht von Rekordfahrzeugen à la NSU-Baumm oder Kabinenmotorrädern, sondern vom konventionellen Motorrad am dringendsten benötigt.

Bewegliche Flügel sind in der Fahrzeug-Aerodynamik kaum gebräuchlich, weil sie durch merkwürdige Fälle von aerodynamisch bedingten Störungen der Straßenlage mit Stabilitätsverlust und Unfällen in Verruf geraten sind. Die Schlüsselstory dazu hat sich am Formel-1-GP 1969 in Barcelona ereignet. Jochen RINDT und Graham HILL flogen in der 19. Runde in der gleichen Kurve aus der Bahn, weil beide LOTUS einen Bruch der hinteren, verstellbaren Fläche hatten, August Wöhler läßt grüßen! Im Rennen erlitt zudem noch der Flügel des Brabham von Jacky ICKX (Bild 5) dasselbe Schicksal und die damalige CSI verbot kurzerhand alle beweglichen Flügel im Rennsport. Heute ist klar, daß Schlamperei bei der Befestigung (direkt auf der Aufhängung) und insbesondere Ahnungslosigkeit bei der Lastberechnung (wenn überhaupt durchgeführt) das Debakel verursacht haben. Große Vorteile und Möglichkeiten beweglicher Flügel sind im Fahrzeugbau erst in den letzten Jahren mit Entwicklungen des Verfassers wieder aufgezeigt und benützt worden. In der Luftfahrt ist Angst vor beweglichen Flächen unbekannt, weil jedes Flugzeug mehrere solche Einrichtungen hat und Funktionsstörungen bei Beachtung der Bauvorschriften außerordentlich selten vorkommen.

Fahreigenschaften und Stabilität

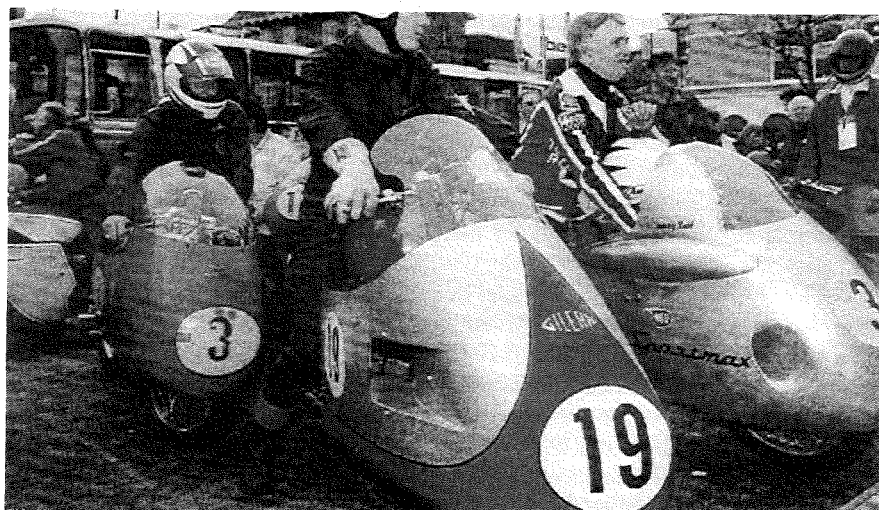
Fahreigenschaften und Stabilität werden ebenfalls durch Luftwirkung beeinflusst, und zwar leider wiederum meist in negativem Sinn. Besonders Zweiräder reagieren empfindlich auf orographische Turbulenz und/oder Seitenwind und sind unter deren Einfluß erheblich schwieriger zielgenau zu steuern als Automobile.

Früher hat man Stabilitätsstörungen durch Turbulenz und/oder Seitenwind fast nur mit Modifikationen der Fahrzeugform bekämpft und damit Fahreigenschaften zu verbessern versucht. Dem Verfasser sind insbesondere Publikationen von Prof. Kamm über Zusammenhänge zwischen Windangriff, Schwerpunktlage und projizierter Seitenfläche geläufig. Darin formulierte Bedingungen ergäben einen aerodynamisch kursstabilen Fahrzeugaufbau ohne Berücksichtigung zusätzlicher Fahrwerkstabilisierung. Im Zeitalter elastischer, ungenauer Radaufhängungen waren diese Forderungen berechtigt, weil eine nicht kursstabile Formgebung zu Schwingungen, besonders um die Gierachse und zu anderen Stabilitätsproblemen führen konnte. Die Stromlinienform mit dem zufolge anliegender Frontumströmung weit vorne liegenden Seitenwindangriff und Druckpunktwanderung bei Änderung der Anströmrichtung kam seinerzeit deswegen ins Gerede. Auch die Blauwal/Dustbin-Verkleidung wurde mit Seitenwindproblemen in Verbindung gebracht. Ein Fahrzeug ist aber kein reiner Flugkörper und kann durchaus vom Fahrwerk her stabili-

siert werden. Die Hinterachse ist, bei einer exakten Radführung, eine viel bessere „Wind-“ oder vielmehr „Richtungsfahne“ als jede vertikale Dämpfungsflosse am Fahrzeugheck, welche zudem den Nachteil hat, bei Einspurern das Rollmoment aus dem Wind zu vergrößern und somit die KOMPENSATION (s.u.) zu verringern. Allerdings sollte das Fahrzeug k(l)eine Radüberhänge haben, damit die Stabilisierung optimal wird. Hier hat z. B. Baumm mit seiner konsequenten C_w -Abminderung ziemlich gesündigt. Die stromlinienförmige Fahrzeugnase wird, wegen der laminaren Anlaufstrecke und der bei Schräganströmung auftretenden, lateralen Druckdifferenz aber immer etwas unruhig, quasi ein „Turbulenz-Sensor“ sein. Selbst lokale Turbulenzen sind in oder auf solchen Fahrzeugen wie in einem Flugzeug, wo man sich daran gewöhnt hat, spürbar, etwa auf Autobahnen bei Windstille und hohem Verkehrsaufkommen. Die Hälfte der summierten Fahrzeugmotorleistungen mutiert ja dort in Luftwirbel, wobei besonders Lastzüge regelmäßige Kármán-Wirbelstraßen produzieren, die beim Hinterherfahren ein auch im PKW fühlbares Querschütteln mit 2–3 Hertz auslösen. Solche Lokalturbulenz bewirkt aber, wie im Flugzeug, keine wesentliche Abweichung von der Fortbewegungsrichtung. Bei Fahrzeugen mit großen Abreißflächen und/oder Strömungsablösungen an vorstehenden, kantigen Teilen entstehen am Aufbau und/oder an den Aufsassen Verwirbelungen mit hochfrequentem Rütteln und lauten Windgeräuschen, sodaß darin/darauf, wegen dieser eigener Turbulenz, kaum zwischen ruhiger und turbulenter Anströmung differenziert werden kann. Im Gegensatz zum Stromlinienfahrzeug fährt man hier IMMER im eigenen Gerüttel und spürt deshalb wenig oder nichts von zusätzlichen externen Luftwirbeln.

Der Einfluß der Aerodynamik auf Straßenlage, Fahreigenschaften und Stabilität wird auch heute noch unter TABUS und mit vorgefaßten Meinungen betrachtet. Vom Ausschütten des Kindes mit dem Bad, dem CSI-Flügelbann, wurde schon gesprochen. Ein weiteres Beispiel ist das Verbot der Blauwal/Dustbin-Verkleidungen durch die FIM 1957.

Die FIM hat in dieser Sache dem Verfasser auf Anfrage freundlicherweise Kopien der Konferenzprotokolle von 1956/57 zur Verfügung gestellt. Gespräche mit Fahrern der Dustbin-Maschinen wurden ebenfalls geführt. Aktenkundiger Hauptgrund, warum Comte LURANI am Kongreß vom 10.–13. 4. 1957 in Venedig ein Verbot dieser Verkleidungen vorschlug, war der Wunsch der Fahrer, die Geschwindigkeiten zu verringern (... le carénage peut l'augmenter d'environ 20% ...). Dies koinzidiert etwa mit den möglichen Verbesserungen des C_{wx} . Die von Geoff DUKE vorgeschlagene Formel, es müsse von der Seite das ganze Vorderrad und der ganze Fahrer sichtbar sein, wurde von der FIM abgesegnet und hat seither die Entwicklung der Front-Vollverkleidung blockiert. Ausdrücklich wurde festgehalten, daß diese Verkleidungen in einigen Fällen „lebensrettend“ waren (... il est sûr que dans certains cas il a sauvé des vies ...), daß keine durch diese Verkleidungen verursachten Unfälle bekannt seien (... il n'y a aucun cas d'accident pour lequel on



Quelle: MRD 12/98

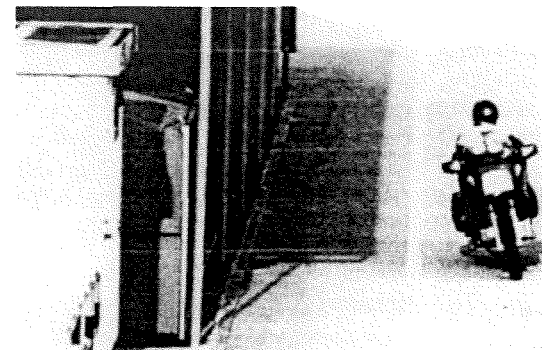
Bild 6: Blauwal/Dustbin-Verkleidungen

puisse invoquer la faute du carénage ...) und daß die ebenfalls verbotenen Heckteilverkleidungen Probleme beim Bremsen im Seitenwind verursachten (... lorsqu'il y a un fort vent de côté et qu'on freine, la partie arrière du carénage peut provoquer une grave instabilité ...) deren Überhang man dann auf 5 cm bzw. 2 Zoll hinter dem Hinterrad beschränkte. Auf Bremsen bei Seitenwind kommen wir noch zurück. Grund der Fahrerabneigung war auch, daß einige Konstrukteure dieser Verkleidungen im Querschnitt „geschunden“ haben mit dem Resultat, daß „les mouvements d'un conducteur de dimensions normales sont tellement restreints qu'il ne peut pas manoeuvrer la machine quand il est en selle“. Am FIM-Kongreß von Paris wurde am 22. 10. 1957 das Verbot in Kraft gesetzt. Merkwürdigerweise ist seither diese DUKE-Formel im Motorradbau quasi sakrosankt geworden, denn (fast) niemand hat sich getraut, Fahrzeuge mit vollverkleideten Vorderrädern zu bauen. Die Knieschleifer-Rennakrobatik dürfte eine weitere direkte Folge dieses FIM-Beschlusses sein, und selbst bei Rollern getrauen sich die großen Hersteller bis heute nicht, das freie Vorderrad ins Verkleidungskonzept zu integrieren ...

Daß die Forderung nach aerodynamisch absolut kursstabiler Ausbildung der Fahrzeugform bei den heutigen Stabilisierungsmöglichkeiten durch das Fahrwerk, sowohl bei Autos als auch bei Motorrädern überholt ist und daß die Stabilisierung von der Hinterachse aus Vorteile bringt, hat sich besonders aus Fahrversuchen bei SEITENWIND ergeben. Man testet das Seitenwindverhalten in Anlagen, bei denen

Seitenwind-Anlage auf dem BMW-Meßgelände

Für die Beurteilung der Seitenwind-Empfindlichkeit fährt die Maschine mit einer Geschwindigkeit von $V_f = 100 \text{ km/h}$ an einer 5zelligen Windanlage mit einer Windgeschwindigkeit $V_w = 80 \text{ km/h}$ vorbei. Gemessen wird die Kursabweichung auf einer Strecke $s = 30 \text{ m}$.



Quelle: Bönsch/MRD-Technik

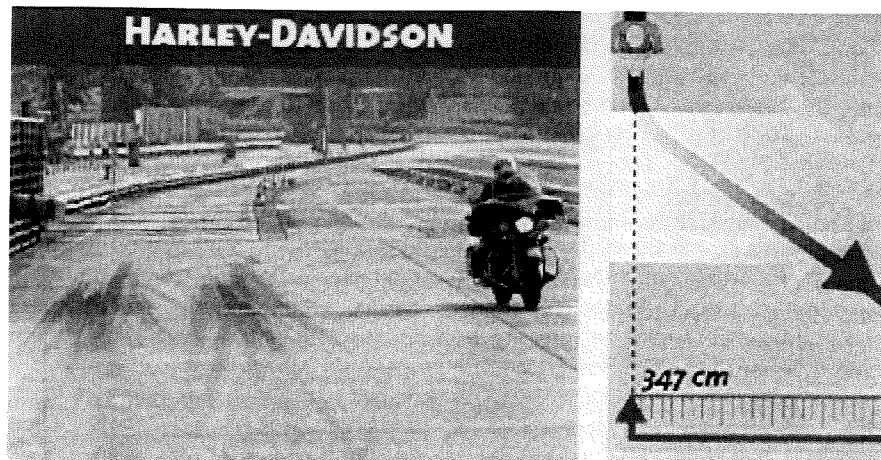
Bild 7: Seitenwindanlage auf dem BMW-Versuchsgelände

eine Reihe von Ventilatoren eine ca. 30 m lange Versuchsstrecke mit etwa Windstärke 10, d. h. mit 80–90 km/h quer anblasen. Nach Beaufort heißt das „voller Sturm“ wobei „Bäume entwurzelt“ werden. Auf einer solchen Anlage war es z. B. dem Verfasser auf Ledersohlen nicht mehr möglich, im Wind auf der Streckenmittellinie stehenzubleiben, er rutschte weg. Praktisch ist Windstärke 10 in Europa selten, allenfalls an der See oder bei Föhnsturm in Alpentälern vorkommend. In den USA hat 1996 eine ECOMOBILE-Gruppe zwei Stürme in Wyoming und Idaho mit 60 MPH Windstärke fahrend fast schadenfrei (= minus 2 Sonnendächer) überstanden.

Aus Zeitgründen unterlassen wir hier Querverweise zum Auto und gehen ausschließlich auf motorradspezifisches Seitenwindverhalten ein. Wiederum ist erste Aufgabe das Ausräumen von Gruselgeschichten. Noch 1989 hat der Vorsitzende des Fachausschusses Kraftfahrzeugtechnik, Sonderausschuß Zweiräder, gegenüber dem Verfasser die Meinung vertreten, vollverkleidete Motorräder könnten niemals zum Verkehr zugelassen werden. Bereits ein unverkleidetes Motorrad werde bei einem Seitenwindangriff von links durch diesen nach rechts umgeblasen und der Fahrer müsse sofort eine Rechtskurve einleiten, damit er das Krad mittels Zentrifugalkraft wieder nach links gegen den Wind neigen könne. Dabei käme es zu einem derartigen Spurversatz nach rechts, daß Motorräder vielfach „von der Straße geweht“ würden. Zur Untermauerung dieser Theorie wurden das FIM-Verkleidungsverbot und die Unfälle von Ray AMM und G. A. BAUMM exhumiert. Der Verfasser hat verifiziert, daß bei diesen der Zusammenhang zu Seitenwind fehlt. Sogenannte Fachleute und viele Motorradfahrer haben leider, wie dieser FKT-Vorsitzende, vom Seitenwindverhalten des Motorrades eine praxisferne Horrorvorstellung, wohl weil sie nie bei Sturm Motorrad fahren und bisher wenig Publikationen für Aufklärung gesorgt haben.

Die Prüfung des Seitenwindverhaltens in der Seitenwindanlage auf dargestellte Art ist wegen einer weiteren motorradspezifischen Merkwürdigkeit ungenau und wenig aussagekräftig. Die Reaktion des Einspurers auf Seitenwind hängt nämlich weitgehend davon ab, wie der Fahrer die bzw. sich an der Lenkstange hält. Manifest wird dies beim Anlagenversuch dadurch, inwieweit sich das Motorrad gegen den Wind neigt. Tut es das wenig oder gar nicht, wie in Bild 8, kommt es zu großer Abweichung, die aber nicht unbedingt dem Motorrad angelastet werden kann.

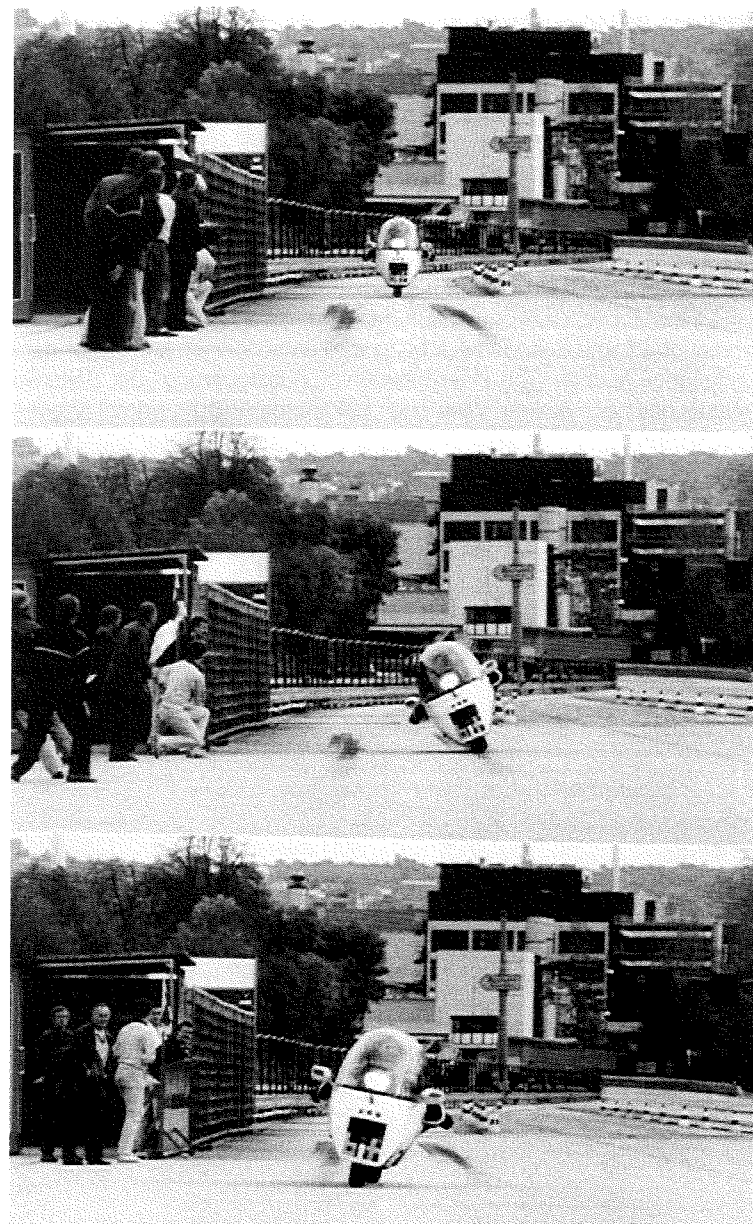
Dazu Bild 8:



Quelle: AUTO-BILD 45/97

Bild 8: Motorrad im Seitenwindversuch

Einspurfahrzeuge bauen bekanntlich mit zunehmender Geschwindigkeit laufend mehr dynamische Stabilität auf. Darunter versteht man in der Mechanik einen Zustand, der auf eine Störung mit entgegengerichteter Reaktion antwortet. Das einer plötzlichen Seitenwindkraft ausgesetzte Motorrad legt sich selbsttätig gegen den Wind, weil dieser am Vorderrad über den Nachlauf ein entsprechendes Lenkmoment auslöst. Bei konventionellen Motorrädern muß sich der Fahrer gegen den Winddruck an der Lenkstange festhalten und blockiert damit mehr oder weniger diese Gegenreaktion. Die dynamische Stabilität der Zweiräder ist von reibungsarmer Beweglichkeit der Lenkung direkt abhängig, und die unglückliche Doppelfunktion der Lenkstange als sensitives Steuerorgan und gleichzeitig Haltevorrichtung für den Aufsassen macht eine Bestimmung der fahrzeugbezogenen Seitenabweichung wegen des unterschiedlichen Zupackens der Fahrer fast unmöglich. Erst Versuche im vollständig geschlossenen Kabinenmotorrad und die darin mög-



Quelle: PVS-Archiv

Bild 9: ECOMOBILE mit Überkompensation

liche, praktisch freihändige Vorbeifahrt an der Seitenwindanlage haben Erfassung reproduzierbarer Werte und Erkenntnisse zur Fahrzeugreaktion gebracht, die stark gekürzt wie folgt zusammengefaßt werden können:

- Das über Nachlauf/Lenkmoment ausgelöste Gegen-Rollmoment in die Windseite war bei allen unseren Messungen zwischen 60–150 km/h stets viel größer als das „umwerfende“ Mit-Rollmoment des direkten Windangriffs auf das Fahrzeug. Motorräder werden somit allenfalls nur bei geringster Fahrt oder im Stand vom Sturm „umgeblasen“. Die Tatsache, daß man auch mit einem Mofa mit 30 km/h durch die Seitenwindanlage fahren kann, beweist die Unsinnigkeit der Angst vor dem „Umgeblasen werden“.
- Die fahrzeugbedingte Seitenabweichung wird umso kleiner, je weniger der Fahrer die Lenkstange festhält (von einer bewußten „Aussteuerung“ der Seitenwindanlage mittels des nach einigen Versuchen bekannten Ablaufs einmal abgesehen).
- Vollverkleidete Motorräder neigen sich bei freier Lenkung stark gegen den Wind, sodaß die Spur nach einer kurzen Abweichung auf die Leeseite parallel zur ursprünglichen Fahrtrichtung oder sogar auf die Luvseite verläuft, was wir als VOLL- bzw. ÜBERKOMPENSATION bezeichnen.
- Konventionelle Motorräder neigen sich weniger stark gegen den Wind, sodaß die Spur mehr oder weniger auf die Leeseite abweicht, sie sind nach unserer Terminologie also UNTERKOMPENSIERT.



Quelle: PVS-Archiv

Bild 10 Motorrad mit Unterkompensation

Seitenwind-Querkräfte lassen sich mittels gesteuerter und photographisch dokumentierter Durchfahrten parallel zur Anlagerichtung anhand der Schwerpunkthöhe, der Querneigung und der Annahme, daß der Windangriff im Zentrum der projizierten Frontfläche erfolgt, schnell und ziemlich genau ermitteln. Praktische Werte dazu bei 100 km/h Durchfahrgeschwindigkeit in der Seitenwindanlage sind beim ECO 1400–1600 N und beim Vergleichsmotorrad K100 mit Tourenscheibe 1300–1500 N, entsprechend Seitenneigungen von 20–16 Grad. Eine DYNAMISCHE Quertriebs-Polare erhält man aus so ermittelten Werten über die Variation der Fahrgeschwindigkeit (z. B. mit 60/90/120/150 km/h). Gegen STATISCHE Schrāganström-Messungen im Windkanal hat unsere Methode den Vorteil, daß die zugehörige Neigung des Zweirades berücksichtigt und somit wirklichkeitstreu gemessen wird.



Quelle: PVS-Archiv

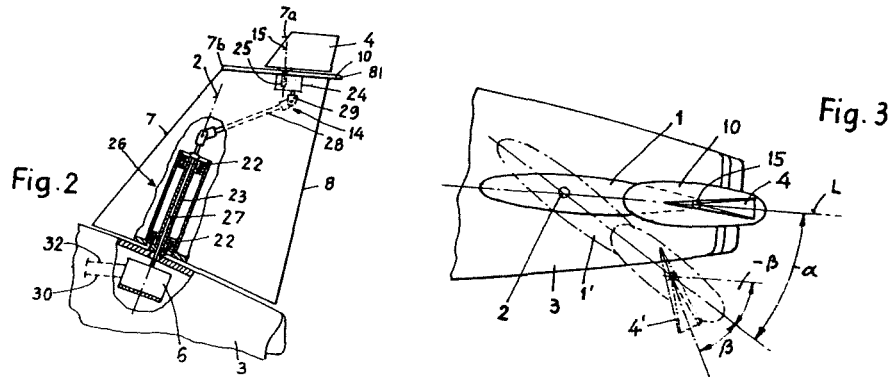
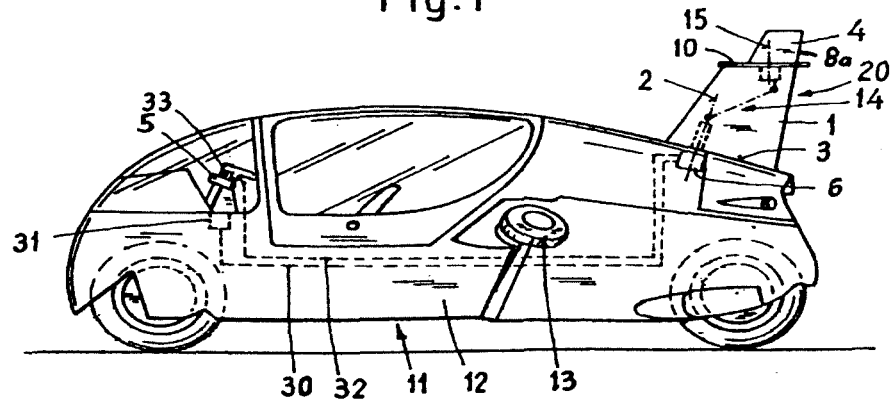
Bild 11: Kabinenmotorrad mit Dachträger und Skis

Eine Fülle von Varianten mit Beladung, Dachgepäck, Bremsbetätigung usw. und technische Veränderungen, z. B. des Nachlaufs, sind bereits getestet und leider aus Zeitmangel noch nicht detailliert ausgewertet. Wir hoffen hier christlich auf Semester- und Diplomarbeiten an Technischen Hochschulen und Universitäten, das Material wäre kostenfrei verfügbar ...

Praktische Nagelproben, z. B. bei unseren Fahrten zum Nürburgring, stimmen im Kernpunkt. Kabinenmotorräder sind tatsächlich seitenwindmäßig VOLL- oder ÜBERKOMPENSIERT, d. h. man muß sie oft bei der Fahrt auf der linksrheinischen

BAB Richtung Nord bei Weststurm auf die rechte Spur zurückdirigieren mit Linksdrehmoment am Lenker, während das UNTERKOMPENSIERTE, konventionelle Motorrad unter diesen gleichen Bedingungen laufend per Zug am rechten Lenkerende auf Distanz zum Pannestreifen gehalten werden will.

Fig. 1

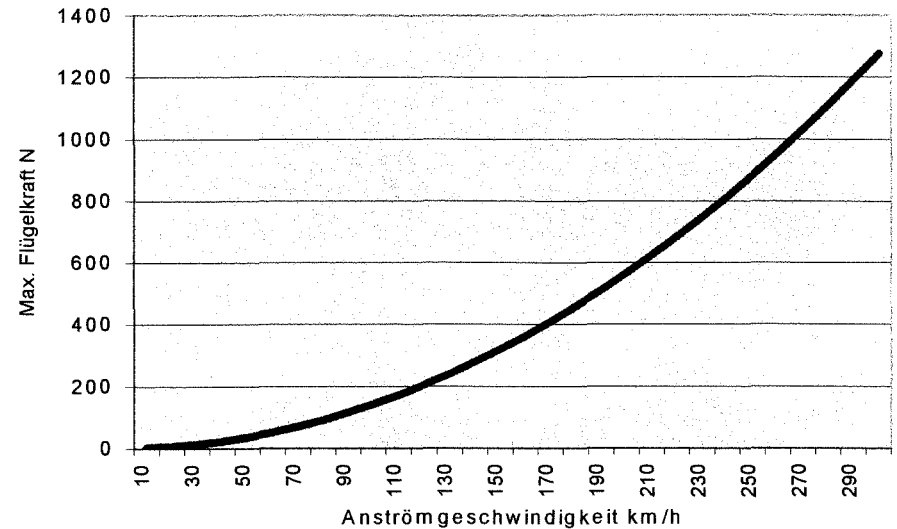


Quelle: PVS-Patentschriften

Diagramm 6: PVS-Steuer- und Stabilisierungsfügel

Solche häufige Steuerimpulse können heute, durch einen zum Patent angemeldeten, praxiserprobten und im Straßenverkehr zugelassenen Flügel, für Stabilisierung und Steuerung abgemindert oder sogar ganz eliminiert werden. Bei der Entwicklung des Kabinenmotorrades wurde stets der Grundsatz verfolgt, die Fahrzeugbedienung dürfe keine übermäßigen Anforderungen stellen, wobei als Richtwert der

Vergleich zum PKW dient. Mit unserer weltweit ersten Vollverbund-Zweiradbremse wurde ein solches Teilziel erreicht. Die Flügelentwicklung hatte ursprünglich den Zweck, das auch beim überkompensierten Kabinenmotorrad immer noch, gegenüber dem Auto, erheblich problematischere Seitenwind- und Turbulenzverhalten zu verbessern. Dies ist mittlerweile gelungen, und eine Reihe von zusätzlichen Anwendungen haben sich in der Folge geradezu angeboten. Ausgangsidee ist ein Trick, nämlich einen völlig frei drehbaren Flügel zu verwenden, der sich wie eine Windfahne in die Anströmrichtung stellt und damit weder Momente noch Kräfte liefert. Dieser Flügel wird über eine darauf sitzende Hilfsflosse angesteuert. Je nach Verdrehung der Hilfsflosse stellt sich der Flügel auf die Gegenseite an und kann erhebliche Wirkungen entwickeln. Beispielsweise läßt sich die Fahrzeugschräglage damit bei Seitenwind auf rund die Hälfte verringern. Es ist dazu anzumerken, daß wegen des nahezu dreifachen Hebelarms des Flügels, bezogen auf den Reifenauflandspunkt, dieser Rollmomente dreifacher Größe derjenigen von Gewichtsquerkraften durch Fahrzeugneigung liefern kann. Von den zitierten 1400-1600 N des ECOs im Seitenwindversuch bei 100/80 km/h gleicht er bis zu 600-700 N bei einer effektiven Flügelkraft von 220 N aus. Dazu Diagramm 7.



Quelle: PVS-Engineering

Diagramm 7: Maximale Flügelkräfte in Funktion der Anströmgeschwindigkeit

Der volle Ausgleich des Seitenwindes erfolgt dadurch, daß bei Überkompensation die Hilfsflosse über eine angepaßte Anlenkung gleichsinnig, bei Unterkompensation gegensinnig zur Flügelauslenkung verdreht wird. Damit läßt sich, nach ge-

nauer Abstimmung, eine nahezu freihändige, autoähnliche Steuercharakteristik erzielen, dh. man kann tatsächlich auch bei erheblicher orographischer Turbulenz die Lenkung loslassen, ohne in Schwierigkeiten zu geraten. Zusätzlich ist eine automatische Böendämpfung möglich, wenn der Flügel massenmäßig überausgeglichen, d. h. sein Schwerpunkt vor die Drehachse gelegt wird. Dieser Massen-Überausgleich bewirkt zusätzlich eine Rolldämpfung, die auch gegen Hochgeschwindigkeitspendeln eingesetzt werden kann. Eine weitere Anwendung ist die Abnahme des Lenkmoments mittels Sensor an der Lenkstange. Über einen Mikroprozessor wird ein „Follow-up-System“ aktiviert, dh. bei einer bestimmten Größe des Lenkmoments verstellt die Elektronik über einen Servo die Hilfsflosse derart, daß das Lenkmoment aufgehoben wird. Dies hat sich besonders bei schnellen Autobahnfahrten als Superhit erwiesen. Über etwa 220 km/h werden nämlich auch die ECOs, trotz ihres gegenüber Motorrädern auf 60% reduzierten Nachlaufs, SUPERSTABIL. Dies heißt, daß in langgezogenen Autobahnkurven große Lenkmomente aufzubringen sind, welche der Follow-up innert Sekunden auf Null zurückführt. Zusätzlich kann bei einer einseitigen Fahrzeugbeladung und/oder einer Unsymmetrie mit einer konstanten Auslenkung der Hilfsflosse der Geradeauslauf ausgetrimmt werden. Alle diese und weitere Funktionen werden gleichzeitig überlagernd betrieben und das weitere Entwicklungspotential ist noch weitestgehend unbenutzt. Aus Zeitgründen diskutieren wir die ebenfalls mannigfaltigen Anwendungsmöglichkeiten beim Auto hier nicht.



Quelle: PVS-Archiv

Bild 12: Flügel und Hilfsflosse im Fahrbetrieb

Die Zulassung des ersten Flügels hat ergeben, daß heute das Wohlergehen der Fußgänger weit vor demjenigen der motorisierten Verkehrsteilnehmer rangiert. Detaillierte Prüfungen über Abrundungen, elastische Kanten und Abscherkräfte beim in großer Schräglage eventuell möglichen Aufprall auf Radfahrer und Fußgänger usw. waren zu bestehen, während keine Fragen über die Folgen eines Flügel- oder Steuerungsversagens bei hohen Geschwindigkeiten gestellt wurden, Jochen RINDT und Graham HILL lassen grüßen! Mit eigener Konstruktionspraxis im Flugzeugbau hat sich der Verfasser hier selber helfen und auch die notwendigen Absicherungen in Steuerung und Elektronik treffen können. Interessant sind auch die Publikumsreaktionen, die diesen Flügel als reinen Gag betrachten, weil das Funktionsprinzip nicht sofort ersichtlich ist bzw. nicht verstanden wird und man von Seiten des „aerodynamischen“ Auto- bzw. Motorrad-Designs mehr an Gimmicks als an wirksame Strömungselemente zu glauben gewohnt ist ...

Sicherheit

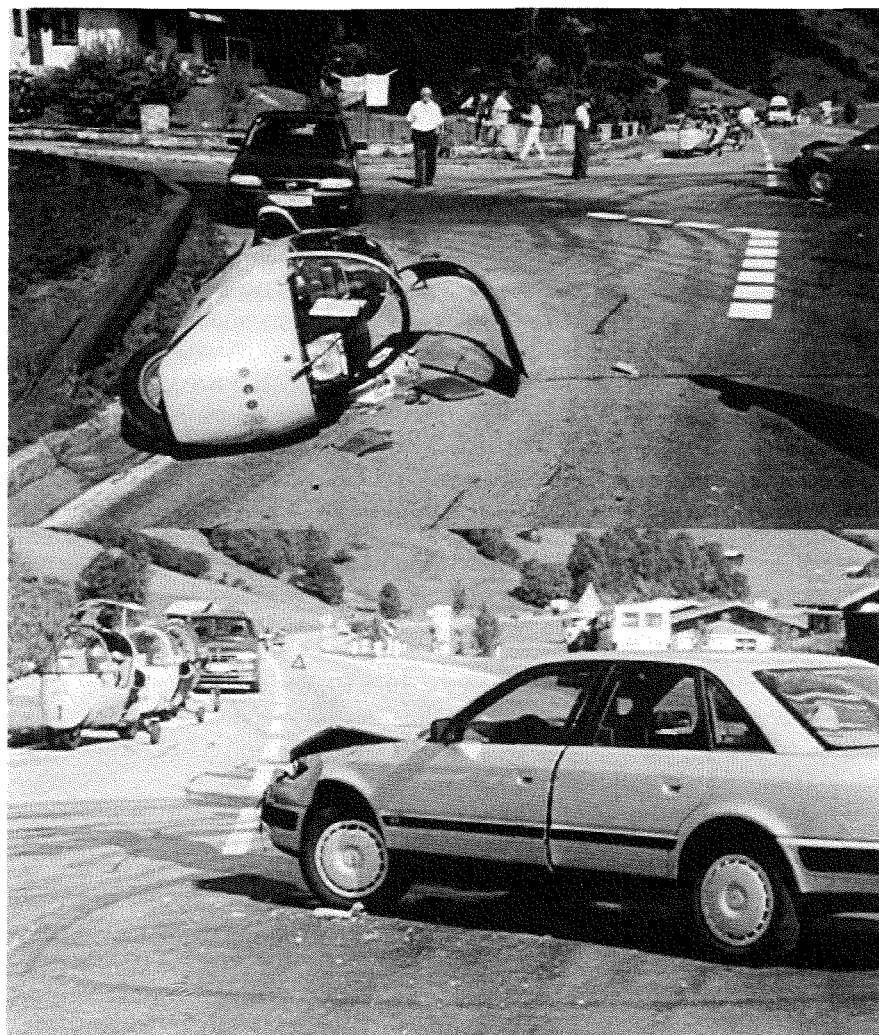
Die aerodynamische Durchbildung von Fahrzeugen beeinflusst nicht nur die (aktive) Fahrsicherheit, wie unter STABILITÄT und FAHREIGENSCHAFTEN behandelt, sondern über die Außenkonturen auch die (passive) Sicherheit bei Unfällen in erheblichem Maß.

Schon von der R100RS-Verkleidungen von 1976 ist, wie von den Dustbin-Verkleidungen bekannt, daß sie verletzungsmindernd wirken können, z. B. beim Entlang-



Quelle: PVS-Archiv

Bild 13: ECO-Unfall



scheuern an einem Hindernis, einer Mauer oder einer Felswand usw. Die als selbsttragende Monocoque-Struktur ausgebildete ECOMOBILE-Karosserie hat in dieser Beziehung bahnbrechende Möglichkeiten für den Unfallschutz aufgezeigt. Der Verfasser hat es immer als unnatürlich empfunden, daß man bei Flugzeugen, Schiffen und Autos schon lange auf selbsttragende Strukturen/Bootskörper/Karosserien übergegangen ist, während beim Motorrad, mit Ausnahme gewisser Schalenansätze bei Rollern, mit großem Aufwand Rahmen gebaut und darum herum reine

Formverschalungen teuer befestigt werden. Eine MONOCOQUE-Struktur mit Kraftübertragung auf der Außenkontur ist nicht nur die widerstandsrärmste und leichteste, sondern auch die sicherste Form des Flug- und Fahrzeugbaus. Wie eine Nuschale den Kern schützt ein solches Konzept den/die Insassen bestmöglichst und wirkt auch für einen „Unfallgegner“, sei es Lebewesen, Fahrzeug oder anderes Material, durch die glatte Außenfläche schadenmindernd. PERAVES hat hier zweckdienlich für das ECO Composite-Strukturen mit großer Arbeitsaufnahme ohne glasartiges Zerplatzen und hoher Abrasionsfestigkeit gegen Rutsch-Schäden entwickelt.

Bis heute sind im ECO etwas mehr als 6 Mio km gefahren worden, und es sind dabei auch etwa 2 Dutzend erwähnenswerte Unfälle passiert. Wie bei konventionellen Motorrädern sind etwa 75% davon durch Automobilisten verschuldet worden. Noch ist KEINE erhebliche Körperverletzung im Zusammenhang mit diesem Fahrzeugbetrieb zu verzeichnen, aber es gab dabei bereits 5 PKW-Totalverluste, 4 davon durch Fahrfehler der Automobilisten. Alle dabei beteiligten ECOs konnten wieder instandgesetzt werden. Hauptgrund dafür ist die tragende Schalenkonstruktion mit integrierten Unfallschutzelementen. Ein typischer Unfall hat sich auf unserer Club-Alpenfahrt im September 1997 im Pinzgau ereignet. Eine betagte Dame bog mit ihrem AUDI 100 trotz ECO-Gegenverkehr plötzlich nach links ab. Der Zusammenstoß der ECO-Front auf die 4 AUDI-Ringe erfolgte bei 80 km/h mit dem Resultat (psychisch) blankgelegter Nerven der Unfallbeteiligten, einem AUDI-100- und 1 Handy-Totalschaden sowie einer etwa 50%igen Reduktion des ECO-Fahrzeugwerts mit entsprechenden Instandsetzungskosten. Die stabile Frontschale des ECOs hat hier zu einem relativ harmlosen, seitlichen Abpraller geführt, wo mit einem PKW ein Frontalzusammenstoß resultiert hätte und mit einem konventionellen Motorrad magenumdrehende Bilder entstanden wären. Wir haben heute genügend Unfallerfahrung für die Feststellung, daß die Monocoque-Vollverschalung des Motorrad-Vorderteils, unter Einbezug des Rades mit dem Reifen als Puffer- und Deformationselement, eine sehr effektive Maßnahme zur Reduktion von inneren und äußeren Unfallfolgen ist. Sie verhindert auch oft das Anhängen an Hindernissen während und nach einem Sturz und das Verklemmen von Objekten mit Vorderradblockierung. Es sind auch bereits mehrere Leitplankenunfälle passiert, bei denen die Insassen geschützt und die Fahrzeuge nur wenig beschädigt wurden, d. h. das Monocoque ist auch hier weit wirksamer als die Sisyphusarbeit einer Polsterung aller Leitplankenpfosten. Die dabei gleichzeitig erreichbaren aerodynamischen Vorteile sollen dieser Feststellung klar nachgeordnet werden.

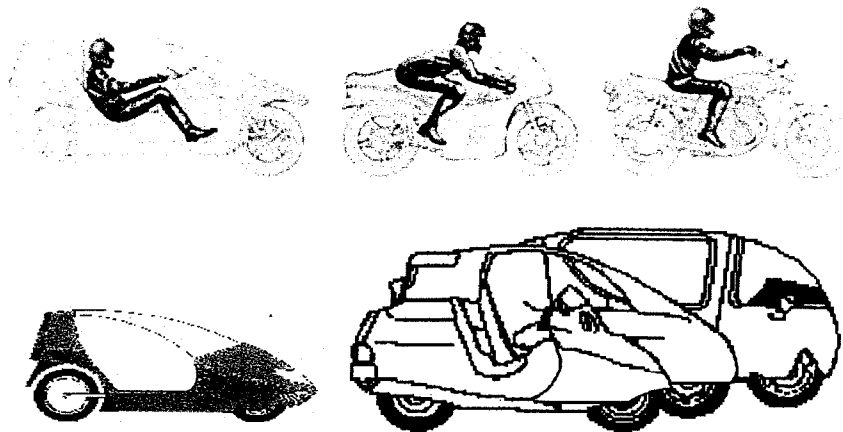
Unsere Pionierarbeit des Motorrades mit Karosserieschutz, Sicherheitsgurten und Helmpflichtbefreiung wird im Jahr 2000 erstmals durch ein großes Motorradwerk, 13 Jahre nach der Zulassung des ersten ECOMOBILE-Kabinenmotorrades, fortgesetzt werden. Dabei sind Crashversuche und Unfallszenarien publiziert und mit Behörden diesbezüglich Gespräche geführt worden. Zu diesen können wir aus

unserer Praxis sagen, daß hierbei der Frontalcrash stark überbewertet, dagegen aber die weit häufigeren, seitlichen Rutsch-Unfälle ungenügend berücksichtigt sind. Gerne bieten wir unsere Zusammenarbeit an, aber bisher sind die weltweit einzigen praktischen Erfahrungen mit solchen Fahrzeugen weder in der vorgesehenen Legiferierung noch im C1-Modell berücksichtigt worden. Wir sind gerne bereit, beim technischen und rechtlichen Nachvollzug des vom ECO vorgegebenen Sicherheitsstandards mitzuhelfen.

Zusammenfassung

Das konventionelle Motorrad hat bezüglich Aerodynamik von allen Fahrzeugarten wohl das größte Verbesserungspotential. Mit Front-Vollschalenverkleidung, vorzugsweise in Monocoque-Composite, einer Staffelung von Aufsassen und Triebwerk sowie mit diversen Maßnahmen betreffend Um- und Durchströmung könnten Nutzeffekt, Straßenlage, Fahrverhalten und Sicherheit stark verbessert werden.

Der Verfasser möchte nicht doktrinär Details vorschreiben, sondern Anregungen anschließen mit einem Resümee von Sketches der insbesondere in England verbreiteten „Feet-forward-motorcycle“-Bewegung, welche angenähert unsere Auffassungen über eine wünschbare Evolution des motorisierten Zweirades wiedergeben.



Quellen: Feet-Forward/Julian Bond, Royce Creasey/A. McBurnie

**Erste Einschätzung der französischen Reform vom Juli 1996
bezüglich der Anforderungen für das Motorradfahren**

***First Assessment of the Effects of the French Reform
of July 1996 concerning Requirements for Riding Motorcycles***

Claude Filou

INRETS – National Institute of Research in Transport and Safety
France

Starting point for investigation and methods

New regulations were introduced in France in July 1996 concerning 3 new categories of motorcycles (Table 1) and requirements (age, number of years licensed and type of licence) for riding them (Table 2).

Categories	CC	Power (kW)	Ratio power/weight (kW/kg)
Light (MTL)	50 - 125	< 11	
Mid - rang (MTT1)	> 125	11 - 24.9	=< 0.16
Powerful (MTT2)	> 125	25 - 73.6	

Table 1: The new categories of motorcycles

Type of licence	AL	B (for cars)	A	A
Age	16	20	18 -21	> 21
Number of years licensed		> 2	and < 2	or > 2
Categories				
LIGHT	YES	YES	YES	YES
MID-RANG	NO	NO	YES	YES
POWERFUL	NO	NO	NO	YES

Table 2: The new requirements for driving motorcycles

Before this reform, the light motorcycles were separated in 3 categories (2 for 80 cc and 1 for 125 cc) and there was only one type for the others. You could drive a 125 cc with licence AL after 17 or if the licence B (for cars) was obtained before March 1980 and mid-range & powerful motorcycles with license A after 18.

The presentation aims to present data which can measure the impact of this reform after its first in force.

A comparison of motorcyclists killed was carried out in two periods, one before the reform (July 1995 – June 1996) and the other after (July 1996 – June 1997) for the three new categories of motorcycle.

Motorcycles cannot be classified by these new categories in the original data base. Our method exploited five items of data which were indispensable for the study (government approval code, commercial make, cc, real power in kW and weight in kg). For unknown or incomplete information, estimations were made on a pro rata basis using data from known cases in the closest groups.

Results

The results in the year following the reform (654 drivers killed) show a general fall of 5.6% compared to the period before it (693 drivers killed). The fall is not uniform between the 3 categories selected (Figure 3) :

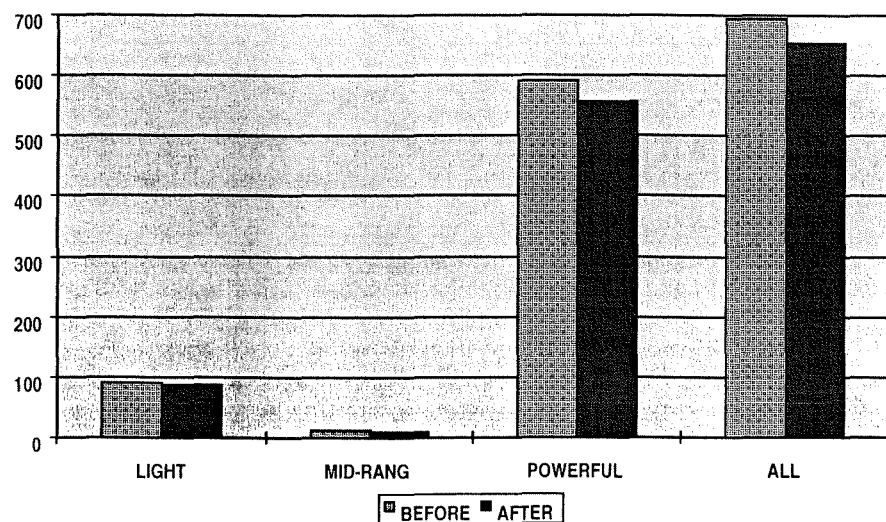


Figure 3: Evolution of drivers killed one year before and after the reform

1- the drivers killed decreased of 3.3% (estimation of 87 after: 13% of the total) for light motorcycles This result is encouraging as 16 year olds with the AL licence (for light motorcycles) are now authorised to ride them and holders of license B (for cars) can do so as the age of twenty;

2- the biggest drop concerns powerful motorcycles. That is to say an estimation of 592 deaths a year before the reform and 558 a year afterwards (85% of the total). This positive result would seem to stem from stricter requirements for those wishing to get licence A (for powerful motorcycles) : minimum age of 21 or 2 years' experience on mid-rang MTT1 motorcycles;

3- a very slight drop is to be noted for mid-rang motorcycles (9 killed after the reform : less than 2 % of the total).

The ratio between the drivers killed and the number of motorcycles in the traffic (at the first January) is only possible between light and other (Figure 4).

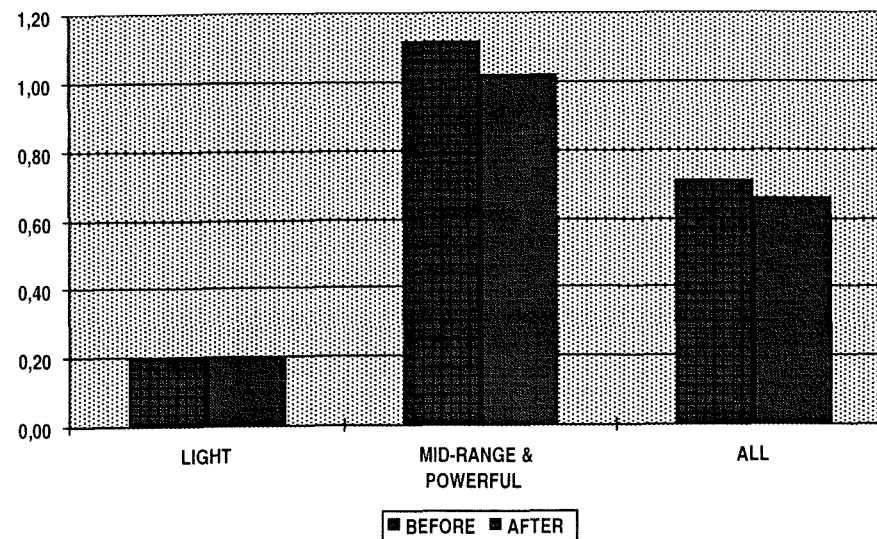


Figure 4: Evolution of the drivers killed for 1000 motorcycles in the circulation

The decrease concerns only mid-rage and powerful motorcycles because since the reform, the number of new motorcycles of this class has grown more.

Unfortunately, its was not possible to include in the ratio the distance covered in a year for each group.

Conclusion

This first positive assessment is based on the results of a 24 months period (July 1995 – June 1997) and ends just a year after the reform. However, the situation needs to be observed very carefully as the numbers of drivers of motorcycles killed has largely increased between July and December 1997 (more than 86, that is to say 25% in 6 months compared to 1996) and specially for the light motorcycles (42%). So, the French government decides to examine specially the problem of the driving access to these drivers with licence B (for cars).

**Mobilitäts und Sicherheitsaspekte
der neuen europäischen 125 ccm Leichtkraftradklasse**

***Mobility and Safety Aspects
of the new European 125 ccm Light Weight Motorcycle Class***

Reiner Brendicke
Elmar Forke

Institut für Zweiradsicherheit e.V. (IfZ) – Essen
Deutschland

Abstract

The ifz study of 125 ccm motorcycle users (N=478) gives additional information and underlines the positive facts of the official statistics related to the light weight motorcycle class. In Germany 125 ccm motorcycles can be ridden by an owner of a class 3 car-license issued before April, 1st 1980. The massive increase of vehicles in use in 1997 was not followed by higher accident rates. The accident figures declined in relation to the number of vehicles in use and this has to be stated in general for the age group greater than 35 years, while at the same time this age group had the greatest increase of registered vehicles. This is why the present study is concentrated on new information about the age group older than 35 years.

125 ccm riders older than 35 years use their vehicle in dual purpose for working and leisure time and mostly in urban areas. Unexpectedly, only 28% of all the riders asked had no preparation to ride this motorcycle class while the main group had experience in riding different low capacity one track vehicles or prepared themselves by having lessons or supervisors. The age group older than 35 years has a high amount of traffic experience related to kilometres travelled with cars and this can be one reason for the positive accident development of this age group.

The analysis of the accident situation with a relatively small number of cases in the study show on the one hand a higher share of single vehicle accidents in relation to multi-vehicle accidents, which can be interpreted with single vehicle accidents without injuries at the beginning phase of riding experience. On the other hand the violation of the rider's priority by a car driver (76,5%) is dominating, which supports facts of the official statistic in Germany.

In relation to the harmonisation of the European licensing system in the year 2000 the results can clearly support that the 125 ccm A1 motorcycle is not only an alternative in questions of mobility related to space and economy of use, but that the use of this motorcycles by a group with only car licenses is not contrary to safety aspects.

Zusammenfassung

Die Befragungsstudie des Instituts für Zweiradsicherheit der 125 ccm Zweiradbesitzer (N=478) lieferte ergänzend zu den positiven bundesweiten Statistiken über Leichtkrafträder (Lkr) erstmals Hinweise zu den Nutzungsgewohnheiten der Lkr gerade durch die Hauptgruppe der über 35-jährigen (N=296), die diese Fahrzeuge mit dem Klasse 3 Führerschein fahren dürfen, wenn er vor dem 1. April 1980 ausgestellt wurde. Massiven Bestandszuwächsen stehen bestandsbezogen sinkende Verunglücktenzahlen gegenüber.

Dies gilt in besonderem Maße für die Gruppe der über 35-jährigen Pkw-Führerscheininhaber. Lkr werden offensichtlich als Zweck- und Freizeitgeräte intensiv gerade im innerstädtischen Bereich genutzt, wo sie ihre Vorteile des geringen Platzbedarfes ausspielen können. Entgegen den Erwartungen verfügen lediglich etwa 28% der vom IfZ befragten Personen über 35 Jahre nicht über eine entsprechende Vorbereitung bzw. eigene Zweiraderfahrung, wenn sie auf das Lkr steigen. Dabei besitzen diese Probanden ausgeprägte Verkehrs- und Fahrerfahrung mit dem Pkw, was bestimmend für die positive Unfallentwicklung gerade der über 35-jährigen sein kann.

Die Angaben zu der Unfallsituation zeigen, daß die vom IfZ befragten über 35-jährigen häufiger stürzen als in einen Kollisionsunfall verwickelt zu werden. Aufgrund der relativ geringen Zahl der verunfallten Personen ist hier eine Interpretation schwierig, es könnte jedoch ein Zusammenhang zu der Tatsache bestehen, daß in der Gewöhnungsphase an das Fahrzeug einzelne Fehleinschätzungen auftreten, die zu im Regelfall harmlosen Stürzen bzw. Alleinunfällen führen können, was die Angaben zur Verletzungssituation bestätigen. Bei den Unfallursachen dominiert bei den Lkr wie bei größeren Motorrädern die Mißachtung der Vorfahrt durch andere Verkehrsteilnehmer und laut Angaben der Probanden ist der Pkw mit 76,5%, gefolgt von Lkw/Bus mit 11,8% häufigster Kollisionsgegner. Diese Daten stimmen mit der offiziellen Unfallstatistik überein.

Perspektivisch hat sich durch die vorliegende Studie gezeigt, daß die in verschiedenen europäischen Staaten eingeführte Regelung zum Einschluß des Führerscheins der Klasse 3 zum Teil mit einer Altersbegrenzung (Frankreich) bzw. einer zusätzlichen Ausbildung (Österreich) durchaus auch eine Möglichkeit darstellt, das Zweirad als Mobilitätsalternative zu nutzen, ohne unberechenbare Risiken einzugehen. Die gegenwärtig praktizierte Einschlußregelung in Deutschland bestätigt dies ebenfalls, so daß bei der Novellierung der europäischen Führerscheingesetzgebung im Jahr 2000 der Nutzung von 125er Leichtkrafträdern durch Pkw Führerscheinbesitzer nichts entgegensteht.

Mobilitäts- und Sicherheitsaspekte der neuen europäischen 125 ccm Leichtkraftradklasse

Seit Jahren steigen die Zulassungs- und Bestandszahlen motorisierter Zweiräder in praktisch allen Nationen Europas. Neben der Nutzung als Freizeitfahrzeug tritt immer stärker der Einsatz des motorisierten Zweirades als Transportmittel und individuelle Alternative zum Pkw in den Vordergrund. Gerade der in den Großstädten drohende „Verkehrsinfarkt“ mit überfüllten Straßen und unzureichendem Parkraum läßt das motorisierte Zweirad immer mehr an Bedeutung gewinnen.

Das europäische Führerscheinrecht hat mit der Schaffung der 125 ccm-Leichtkraftradklasse dazu beigetragen, daß die Fahrzeugkategorie in zahlreichen europäischen Staaten weiter an Attraktivität zugenommen hat. Die auf 125 ccm und eine Leistung von 11 kW begrenzten Fahrzeuge bieten offensichtlich nicht nur in der Roller-kategorie vielfältige Möglichkeiten der individuellen Mobilität auch für Pkw-Fahrerinnen und -Fahrer.

Motorisierte Zweiräder benötigen während der Fahrt weniger als die Hälfte des Verkehrsraums eines Pkw und beim Parken lediglich ein Fünftel der Fläche. Auch Anschaffungs- und Unterhaltskosten sind wesentlich geringer als bei einem Pkw. Nachteilig können sich hingegen der geringere Witterungsschutz und das im Vergleich zum Pkw höhere Verletzungsrisiko für die tägliche Nutzung auswirken [4, 5, 7, 8, 9, 10, 12].

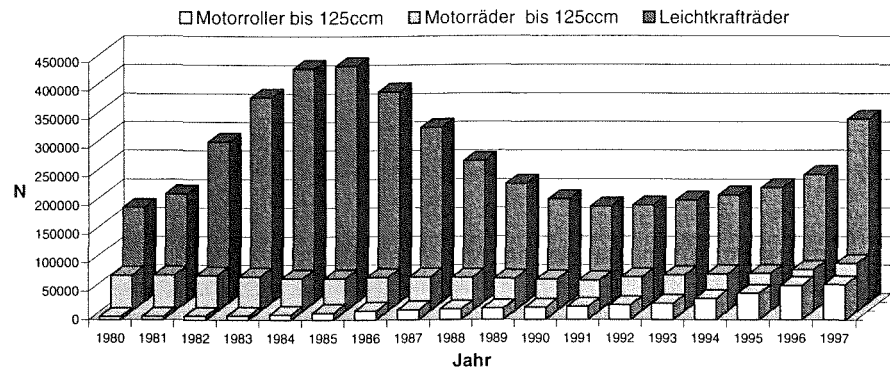
Im Jahr 1995 erbrachten motorisierte Zweiräder in Westeuropa drei Prozent der Fahrleistung und damit zum Beispiel die Hälfte der entsprechenden Strecken im gesamten Eisenbahnnetz [4].

Der vorliegende Beitrag beschäftigt sich mit den Auswirkungen der am 23. Februar 1996 in Deutschland eingeführten europäischen Leichtkraftradklasse. Das IfZ hat auf Basis bundesweiter Statistiken zur Bestands- und Unfallentwicklung sowie im Rahmen einer Befragungsstudie detaillierte Informationen zur Nutzung und zur Unfallbilanz von 125 ccm-Leichtkrafträdern in der Bundesrepublik erhoben. Die Studie bietet erstmals die Möglichkeit, einen differenzierten Blick auf die Fahrzeugklasse zu werfen, die in Deutschland seit der Einführung die mit Abstand größten Zuwachsraten im Bereich der motorisierten Zweiräder verzeichnet.

1 Entwicklung des Bestandes der Leichtkrafträder (Lkr) in Deutschland

Die Entwicklung des Leichtkraftradbestandes in Deutschland ist geprägt von einer deutlichen Parallelität zu Veränderungen im gesetzlichen Regelwerk sowie den

Rahmenbedingungen der Versicherungskosten für diese Fahrzeugklasse. Erster wesentlicher Stichtag ist der 1.10.1980, an dem die 50 ccm-Kleinkrafträder (Kkr) durch 80 ccm-Leichtkrafträder abgelöst wurden. In der Folge wuchs der Fahrzeugbestand in der Klasse von 166.250 Fahrzeugen 1980 auf 413.761 Lkr 1985, was einem Plus von 148,9% entspricht.



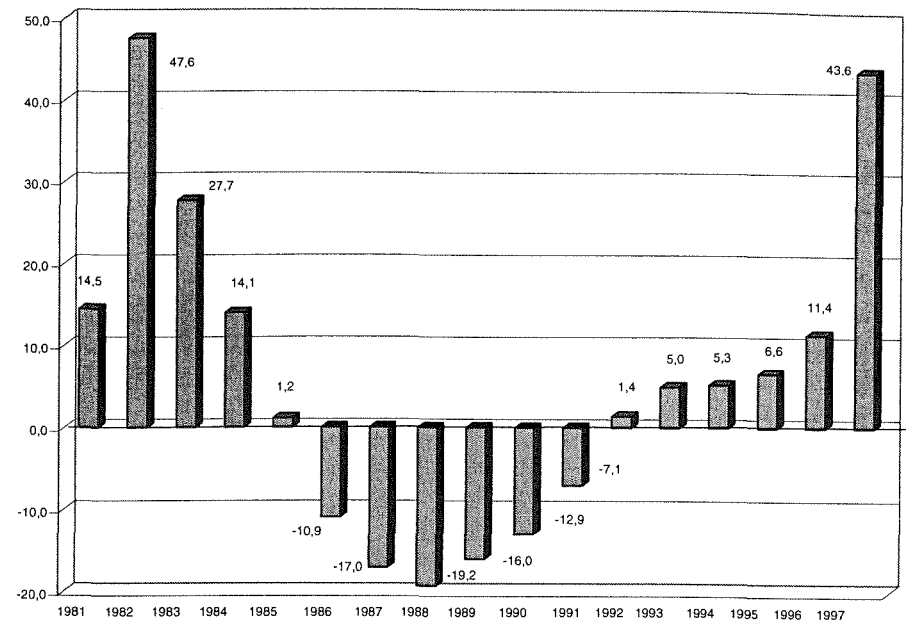
Grafik 1: Bestandsentwicklung von Zweirädern bis 125 ccm in Deutschland 1980–1997 [6]

Zu Beginn des Jahres 1984 führte eine Erhöhung der Versicherungsprämien zu einer Verringerung der Zahl der Lkr. Von 1985 bis 1990 sank der Lkr-Bestand um 56,4%. Der geringste Fahrzeugbestand wurde im Jahr 1991 mit 167.807 Fahrzeugen registriert.

Die 1991/92 wieder sinkenden Versicherungsprämien bewirkten ein erneutes Ansteigen des Bestandes von 1990 (180.574) auf 1995 (200.572), was einem Zuwachs um 11,1% entspricht.

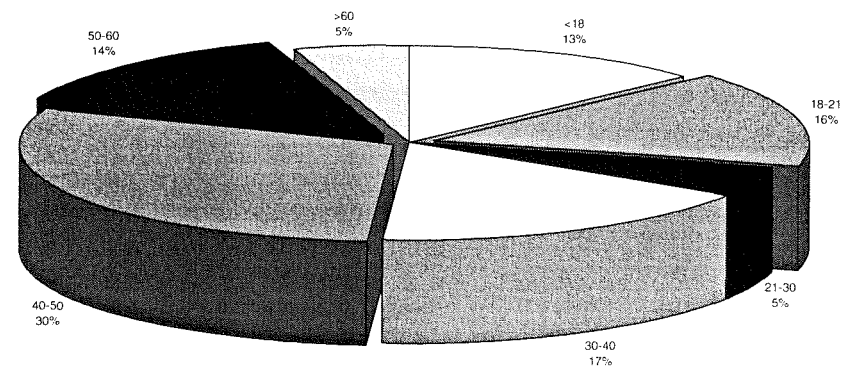
Am 23.2.1996 wurde die europäische Führerscheinregelung für die Lkr-Klasse in der Bundesrepublik umgesetzt. In der Folge wurde ein Zuwachsplus für 1996 von 11,4% registriert, während 1997 eine Steigerung um 43,6% verzeichnet wurde. Im Vergleich der Jahre 1995 und 1997 bedeutet dies eine Steigerung um 59,9% von 200.572 (1995) auf 320.745 (1997) Fahrzeuge.

Die folgende Grafik 2 dokumentiert die Veränderungen bezogen auf den Lkr-Bestand in Deutschland.



Grafik 2: Prozentuale Veränderung des Bestandes an Lkr in Deutschland 1981–1990 [6]

Übergreifend betrachtet stehen die Bestandssteigerungen der vorausgegangenen zwei Jahre in einem deutlichen Zusammenhang mit der Einführung der EU-125 ccm-Führerscheinklasse 1996. Bei der Analyse der Altersstruktur wird deutlich, daß offensichtlich die in der Bundesrepublik geltende Regelung der Besitzstandswahrung für Führerscheininhaber der Klassen 3 (Pkw), 2 (Lkw) sowie der Klasse 4 (Kkr) mit Ausstellungsdatum vor dem 1.4.1980 einen der größten Interessentenkreise für die Fahrzeuge erschließt.

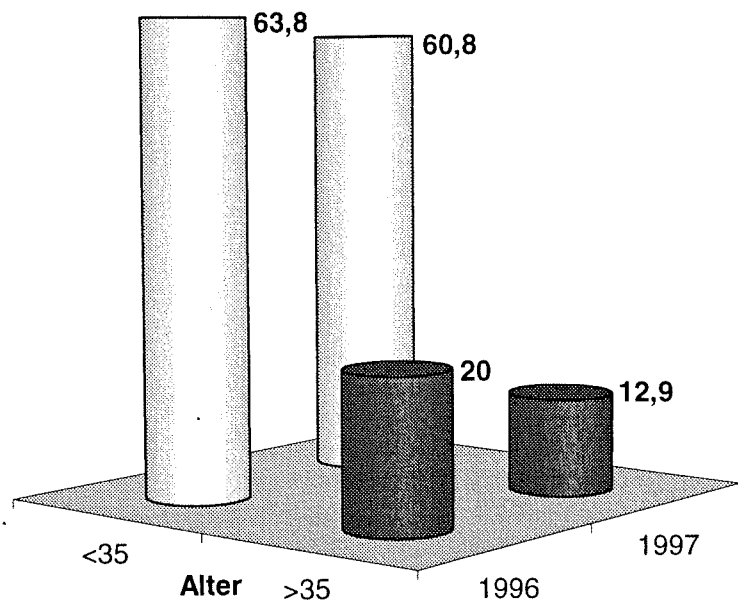


Grafik 3: Lkr Bestand in Deutschland 1997 differenziert nach Altersklassen [6]

Gerade die 40- bis 60-jährigen Halter in dieser Fahrzeugklasse weisen Anteile von 44% im Jahre 1997 auf. Addiert man die 30- bis 40-jährigen Personen, so sind 61% des Gesamtbestandes der Lkr auf diese beiden höheren Altersgruppen zugelassen. Offensichtlich dominieren hier eindeutig die über 35-jährigen Pkw-Fahrerinnen und -Fahrer.

2 Analyse der bundesweiten Unfallstatistik für Lkr

Vor dem Hintergrund der geschilderten Altersstruktur wird im folgenden ein Vergleich der verunglückten Fahrer und Mitfahrer von Lkr nach Altersgruppen zwischen den Jahren 1996 und 1997 durchgeführt. Die folgende Tabelle dokumentiert alle wesentlichen Fakten für die Altersgruppen von 16 bis 35 Jahren sowie den 35- bis 70-jährigen. Es werden somit bei den über 35-jährigen im wesentlichen all jene Nutzer erfaßt, die mit dem Pkw-Führerschein Lkr fahren. Die Wahrscheinlichkeit, daß über 35 Jahre alte Personen gezielt den Führerschein 1b/A1 erwerben, um 125 ccm-Lkr zu fahren, ist äußerst gering, da die Kosten denen des Erwerbs eines Motorradführerscheins de facto fast entsprechen. Es kann also davon ausgegangen werden, daß in der Gruppe der über 35-jährigen beinahe ausschließlich Klasse 3-Fahrer enthalten sind.



Grafik 4: Getötetenrate pro 100.000 Lkr differenziert nach den Altersgruppen <35 Jahre und >35 Jahre 1996/1997

Verunglückte Fahrer und Mitfahrer von Leichtkrafträdern (50 ccm bis 125 ccm) nach Altersgruppen in Deutschland 1996/1997

Alter	Bestand ^{1,3}	%	Getötete ² pro 100.000 Bestand	Schwerverletzte ²	pro 1.000 Bestand	Leichtverletzte ²	pro 1.000 Bestand
1996							
<15-35	103423		66	2149	20,8	5007	48,4
35->70	109844		22	327	3,0	772	7,0
1997							
<15-35	123308	+19,2	75	2348	19,0	5735	46,5
35->70	186328	+69,6	24	426	2,3	1050	5,6

Quelle: Statistisches Bundesamt Wiesbaden - Unfälle 1997 / KBA - Flensburg Bestand
¹ KBA - Zahlen beziehen sich auf den 1. Juli des Jahres/² Zahlen beziehen sich auf das Gesamtjahr/³ ohne jur. Pers. oder unbekannt

Tabelle 1: Verunglückte Fahrer- und Mitfahrer von Lkr differenziert nach Alter (<35 Jahre und >35 Jahre) in Deutschland

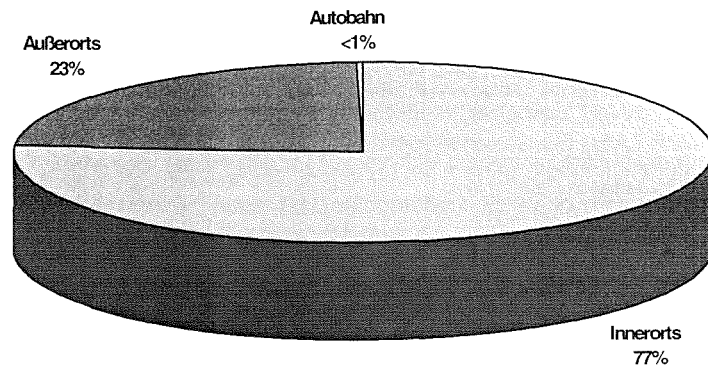
Auffällig ist im Vergleich zwischen 1996 und 1997 zunächst die Differenz im Bestandszuwachs bei den Lkr. So konnten für die Altersgruppe von 16 bis 35 19,2% Zuwachs registriert werden, denen fast 70% bei den über 35-jährigen gegenüberstehen. Vor diesem Hintergrund sind auch die Zahlen der Getöteten, Schwerverletzten und Leichtverletzten im Vergleich der beiden Jahre zu interpretieren. Die absolut steigenden Zahlen der Verletzten und Getöteten in beiden Altersgruppen sind deutlich geringer angewachsen als die Steigerungsrate bei den Fahrzeugen, so daß sich die relative Sicherheit bezogen auf den Fahrzeugbestand weiter verbessert hat.

Auffällig ist die Tatsache, daß diese Verbesserung der Quoten bei Verletzten und Getöteten bei den über 35-jährigen gravierender ausfällt als bei den Jugendlichen. Offensichtlich ist hier das Sicherheitsniveau im Vergleich zum Fahrzeugbestand deutlicher stärker verbessert worden als bei den Jugendlichen.

Zusammenfassend kann konstatiert werden, daß trotz des gravierenden Anstiegs der Bestände an Lkr die Zahl der Verletzten und Getöteten nicht im gleichen Maße angewachsen ist. Es ist folglich im Vergleich der Jahre 1996 und 1997 die bestandsbezogene Quote der Verletzten- und Getötetenzenzahlen zurückgegangen. Offensichtlich hat sich hier gerade bei den Älteren die vorhandene Pkw-Fahr- und -Verkehrserfahrung ebenso risikomindernd ausgewirkt wie die in dieser Altersgruppe geringer ausgeprägte Bereitschaft, aktiv kritische Situationen aufzusuchen [1, 2, 3].

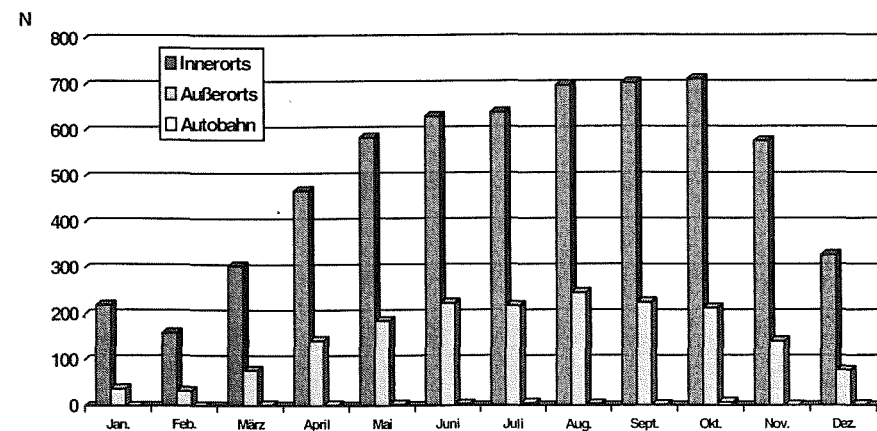
3 Analyse der Lkr-Unfälle in Deutschland nach Ortslage und Monaten

Werden die Unfälle der Lkr-Fahrer in der Bundesrepublik nach Ortslage analysiert, so dominiert eindeutig der Innerortsbereich mit 76,5% als Unfallort. Außerorts wurden 23,1% der Unfälle registriert, auf Autobahnen lediglich 0,4%. Diese Zahlen stehen offensichtlich in direktem Zusammenhang mit der Nutzung der Fahrzeuge, die sich nicht zuletzt durch die Fahrzeugspezifika (relativ geringe und z.T. limitierte Höchstgeschwindigkeit) eher im Innerortsbereich ansiedeln läßt. Hier wird sicherlich auch das Großsegment der Roller in die Daten eingehen, da gerade diese Fahrzeugkategorie für den alltäglichen Verkehr intensiv genutzt wird.



Grafik 5: Lkr-Unfälle 1996 nach Ortslage in Deutschland

Bei der Verteilung der Unfallhäufigkeit nach Monaten zeigt sich im Vergleich zu einer entsprechenden Kurve bei Motorrädern über 125 ccm, daß die Lkr nicht



Grafik 6: Lkr-Unfälle 1996 differenziert nach Ortslage und Monaten

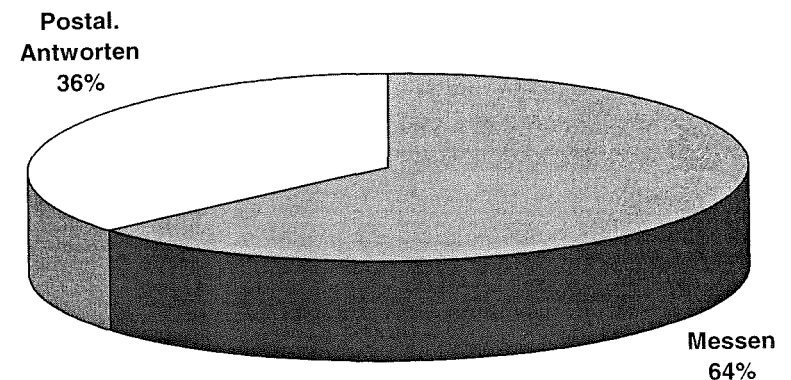
dominierend für Freizeitwecke eingesetzt werden. Die Fahrzeuge weisen zwar ebenfalls in den Sommermonaten deutlich höhere Unfall- und damit im Rückschluß auch Nutzungsfrequenzen auf, aber auch in den Wintermonaten werden die Fahrzeuge offensichtlich für den täglichen Weg zur Arbeitsstelle intensiv genutzt.

4 Ergebnisse der IfZ-Befragungsaktion „Mobil auf zwei Rädern“ zur 125er-Klasse

Im Jahr 1997 führte das IfZ unter dem Titel „Mobil auf zwei Rädern“ eine bundesweite Befragungsaktion zur 125 ccm-Leichtkrafttradklasse durch. Die Fragebögen wurden einerseits mit den Fahrzeugpapieren an die Käufer neuer 125er-Lkr weitergegeben und andererseits auf Messen eingesetzt, deren Zielgruppe konkret Leichtkrafttrad- und -rollerfahrer waren. Im folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Befragungsaktion zusammengestellt und analysiert.

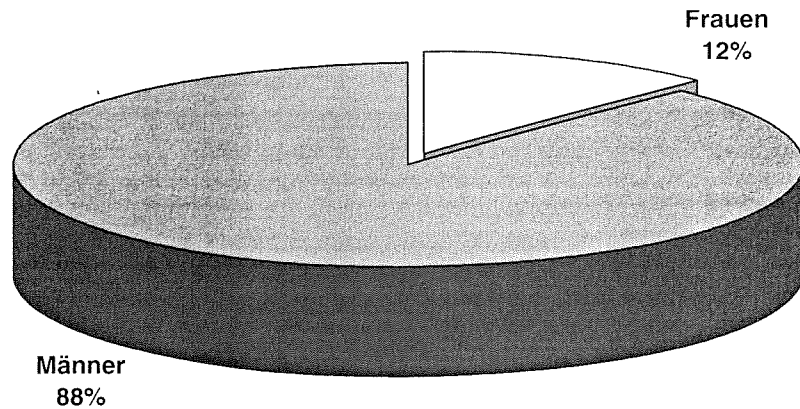
4.1 Beschreibung des Gesamtbefragungskollektivs

Im Rahmen der Studie wurden 478 Fragebögen zur 125er-Klasse ausgefüllt. 307 der Bögen stammten von Messebefragungen, 171 waren postalische Antworten.



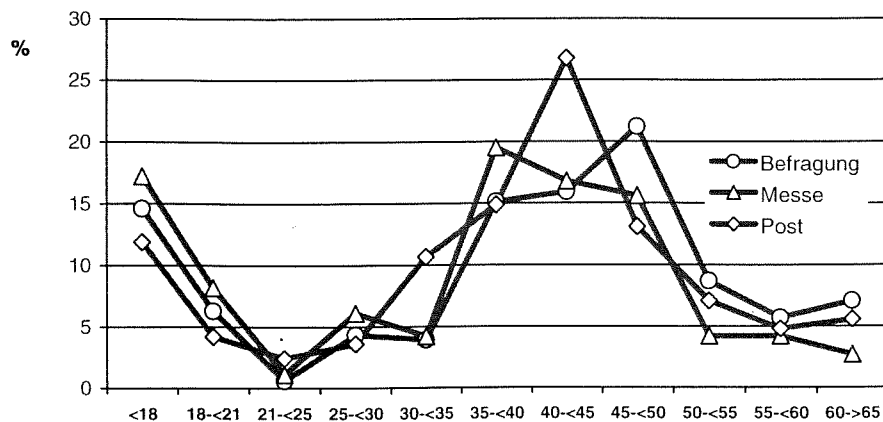
Grafik 7: Struktur des Datenkollektivs differenziert nach der Quelle

Die **Geschlechtsverteilung** gemäß den Angaben der Versuchspersonen liegt bei einem Anteil von 88% männlichen und 12% weiblichen Lkr-Nutzern. Diese Verteilung ist vergleichbar mit Anteilen bei der Zulassung der Fahrzeuge und war auch in den beiden Teilstichproben annähernd gleichmäßig.



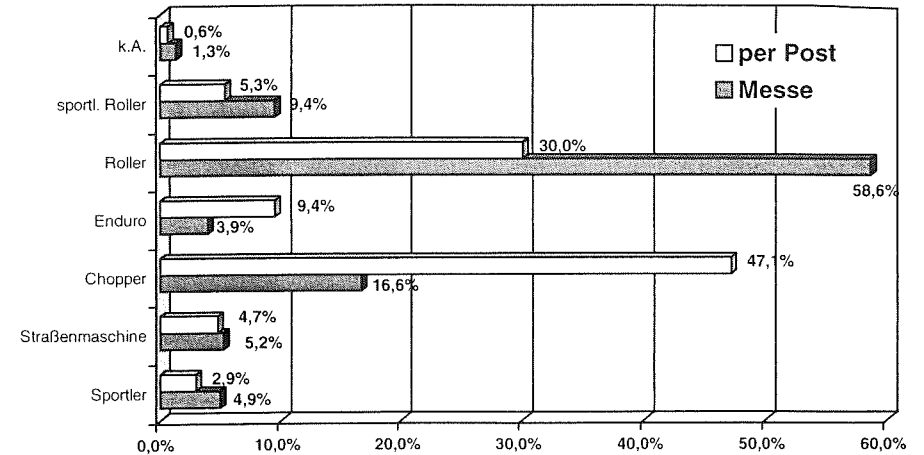
Grafik 8: Geschlechtsverteilung der ifz Befragung

Die **Altersstruktur** differierte zwischen der Messestichprobe und der postalischen Befragung. Zwar dominierten in beiden Gruppen insgesamt betrachtet die über 35-jährigen, in der Messestichprobe jedoch waren die jüngeren Altersgruppen stärker vertreten (16- bis 18-jährige Personen 17,2% gegenüber 11,9% bei der postalischen Befragung). Noch gravierender fällt die Differenz bei der Altersgruppe bis 35 Jahren aus, wenn in der Messestichprobe 37% unter 35 Jahren sind, gegenüber 22% bei der postalischen Befragung.



Grafik 9: Altersstruktur der Befragung differenziert nach Befragungskollektiven

Bei der **Verteilung der Fahrzeugkategorien** in der Gesamtstichprobe dominiert mit 48,4% der Roller vor dem 125er-Chopper mit 27,5%. Alle übrigen Fahrzeugtypen liegen in ihren Werten unter 10%.



Grafik 10: Fahrzeugkategorien und Befragungskollektive

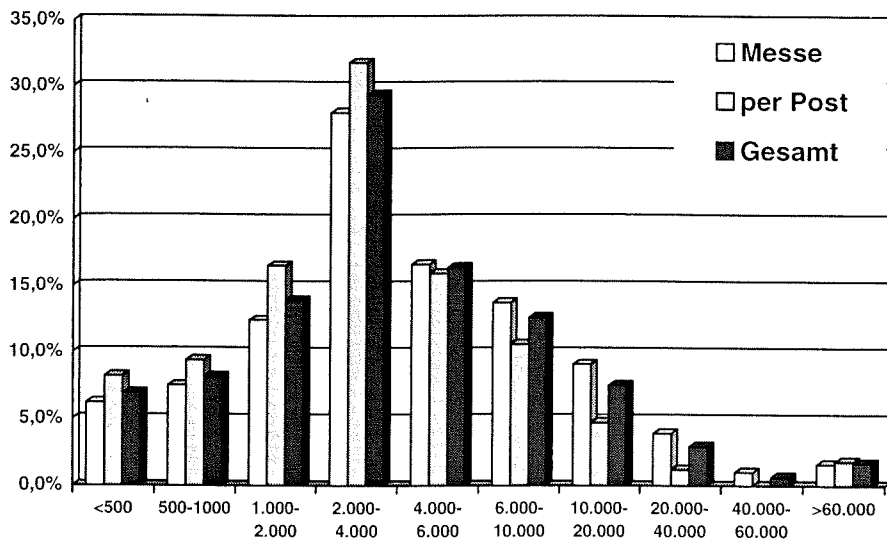
Auffällig ist der hohe Anteil der Rollerfahrer in der Messebefragung mit 68%, der bei der postalischen Befragung lediglich 35,3% Anteil ausmacht. Hier wirkt sich offensichtlich aus, daß die Messen sich gezielt auch an ein Rollerpublikum wandten.

In beiden Stichproben sind Chopper der Motorradtyp, der eindeutig dominiert, wobei bei der postalischen Befragung mit 47,1% der Chopper sogar gegenüber dem Rolleranteil deutlich häufiger vorzufinden ist.

Das **Kaufdatum** der 125er-Lkr dokumentiert, daß erwartungsgemäß praktisch alle Fahrzeuge in den Jahren 1996 und noch stärker im Jahr 1997 nach Einführung der 125er-Lkr-Klasse erworben wurden. Bei den Messestichproben liegt der Anteil aus diesen beiden Zulassungsjahren bei 86%, in der postalischen Stichprobe sogar bei 95,8%.

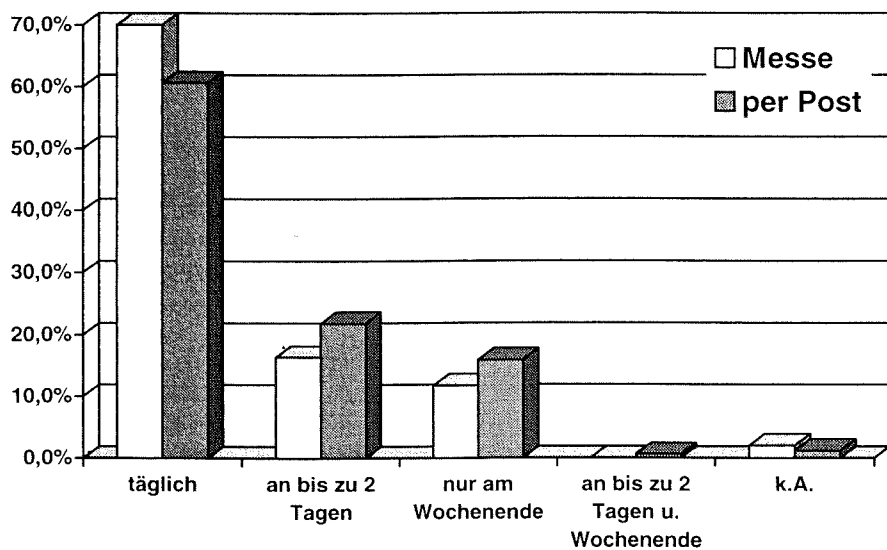
Bezüglich der **Kilometerleistung** im Gesamtkollektiv besteht ein deutlicher Zusammenhang zu der Tatsache, daß die Fahrzeuge im Regelfall maximal ein bis zwei Jahre alt sind. Bei beiden Befragungsarten dominiert die Kilometerleistungskategorie von 2.000 bis 4.000 Kilometern.

Bezüglich der **Nutzungsgewohnheiten und -zeiten** des Fahrzeugs ergaben sich grundsätzlich in der Messebefragung und in der postalischen Befragung ähnliche Antworthäufigkeiten. 70% Angaben zu einer täglichen Nutzung des Fahrzeugs bei der Messestichprobe stehen 60,6% bei der postalischen Stichprobe gegenüber. Offensichtlich werden die Fahrzeuge gerade bei der rollerdominierten Messestichprobe noch häufiger für tägliche Fahrten eingesetzt. Diese Interpretation wird



Grafik 11: Kilometerleistung und Befragungskollektive

gestützt durch die Tatsache, daß in der Messestichprobe lediglich 11,7% ihr Fahrzeug nur am Wochenende nutzen, bei der postalischen Vergleichsgruppe 15,9%.



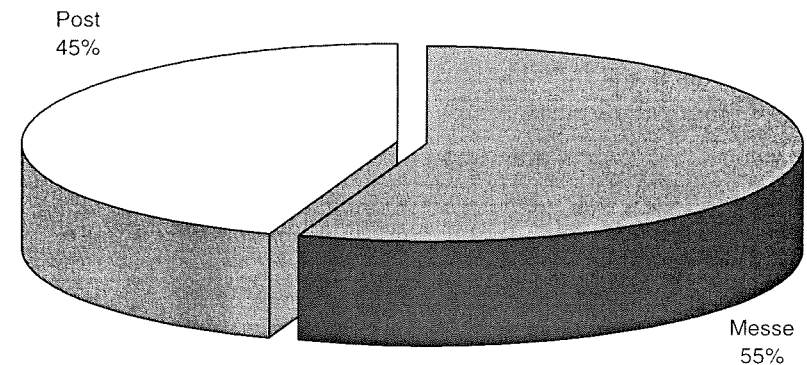
Grafik 12: Nutzung der 125 ccm Fahrzeuge und Befragungskollektive

In mehr als 87% der Fälle werden die Fahrzeuge ausschließlich von einer Person eingesetzt.

Bei zusammenfassender Betrachtung der Strukturen der Befragten zur 125 ccm-Klasse wird offensichtlich, daß nicht nur im Rahmen der Zulassung in der Bundesrepublik, sondern auch in der vom IfZ durchgeführten Befragung die Altersgruppen der über 35-jährigen Personen die Nutzergruppe der neuen Lkr eindeutig dominieren. Die intensiven Diskussionen um die Rahmenbedingungen des Führerscheins, die Einschlußregelung in die Führerscheine der Klassen 2, 3 und 4 vor dem 1. April 1980 sowie die Perspektive der Weiterentwicklung der europäischen Führerscheingesetzgebung ergeben zusammen ein Konglomerat von Gründen, bei der weiteren Betrachtung auf diese Altersgruppe zu focussieren. Im folgenden werden daher alle detaillierteren Analysen ausschließlich die über 35-jährigen Fahrerinnen und Fahrer der 125 ccm-Lkr in der Studie betrachten.

4.2 Beschreibung des Kollektivs der über 35-jährigen

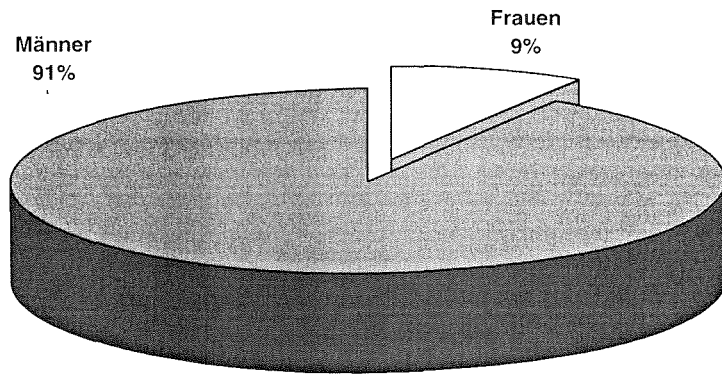
Das Befragungskollektiv dieser Altersgruppe setzt sich aus insgesamt 296 Personen zusammen, von denen 165 (55%) auf Messen und 131 (45%) postalisch befragt wurden.



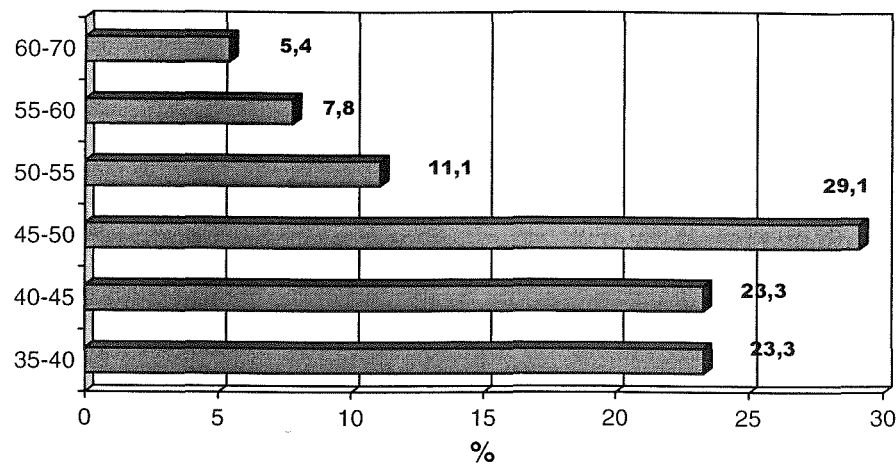
Grafik 13: Befragungskollektive der Altersgruppe >35 Jahre (N=296)

4.2.1 Geschlechts- und Altersstruktur

In der Befragtengruppe der über 35-jährigen liegt der Männeranteil mit 91,2% höher als in der Gesamtbefragtengruppe. Lediglich 8,8% oder 26 von 296 Personen sind weiblichen Geschlechts.



Grafik 14: Geschlechtsverteilung der Altersgruppe >35 Jahre (N=296)



Grafik 15: Altersverteilung der Altersgruppe >35 Jahre (N=296)

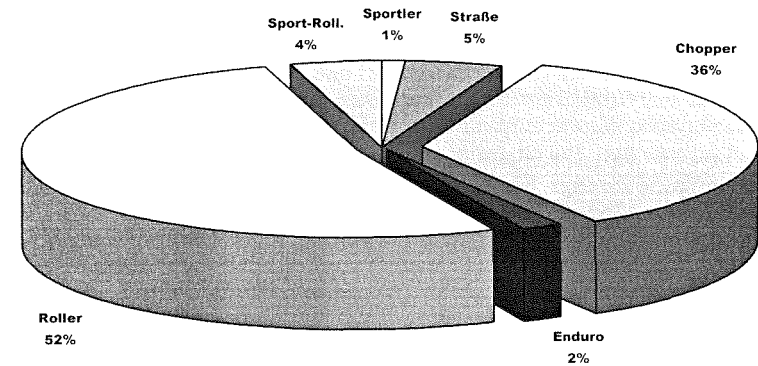
Bei der Altersstruktur fällt die Dominanz der 46- bis 50-jährigen mit fast 30% auf. Dieser Wert liegt noch vor den Altersgruppen der 35- bis 40- und 41- bis 45-jährigen mit jeweils 23,3%. Offensichtlich ist das „Einstiegsalter“ zum 125er-Lkr eher relativ hoch anzusiedeln. Wird die Altersstruktur differenziert nach dem Geschlecht betrachtet, so fällt auf, daß das Durchschnittsalter der Frauen deutlich unter dem der Männer liegt. Hier ist offensichtlich der Zugang zum Lkr für jüngere Frauen häufiger gegeben.

4.2.2 Fahrzeugkategorien

Bei Betrachtung der Verteilung der Fahrzeugkategorien in der Altersgruppe der über 35-jährigen Befragten wird am häufigsten der Roller genannt. Dieses Faktum ist nicht zuletzt dadurch begründet, daß der relativ hohe Anteil der Messebefragten eine Rollerdominanz bewirkt. Offensichtlich ist jedoch auch die Tatsache, daß insgesamt und vor allem im Bereich der postalisch Befragten der Chopper einen gravierenden Anteil bei den Fahrzeugtypen einnimmt. Alle übrigen Lkr-Kategorien sind deutlich seltener vertreten.

Werden das Alter der Befragten sowie die gewählte Fahrzeugkategorie in Beziehung gesetzt, so ergibt sich für die eher jüngeren im Bereich der über 35-jährigen eine häufigere Bevorzugung des Rollers, während ab 50 Jahren eindeutig der Anteil der Lkr-Chopper bestimmend ist.

Auch zwischen Männern und Frauen differiert die Präferenz für die Fahrzeugtypen. Frauen greifen häufiger zum Roller und im Vergleich zu ihren männlichen Kollegen seltener zu den anderen Fahrzeugtypen. Auch bei den Frauen jedoch folgt auf die Lkr-Roller als zweithäufigste Fahrzeugentscheidung die Kategorie „Chopper“.

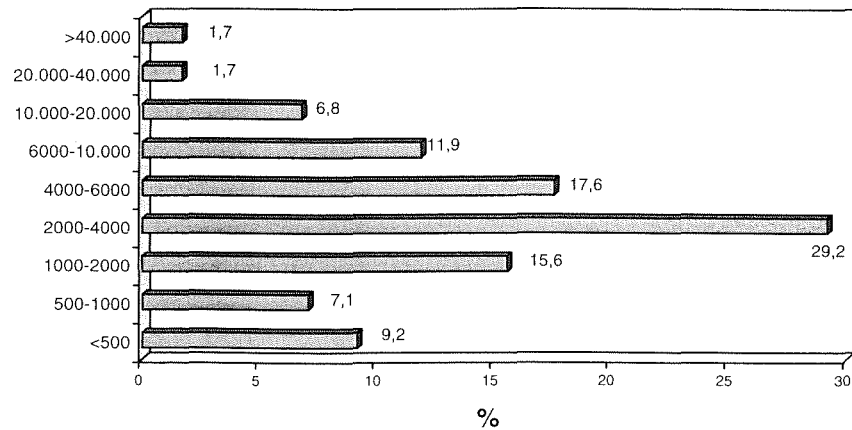


Grafik 16: Fahrzeugkategorien der Altersgruppe >35 Jahre (N=296)

4.2.3 Kilometerleistungen

Die am häufigsten vertretene Kilometerleistungskategorie liegt zwischen 2.000 und 4.000 Kilometern. Beim Vergleich von Männern und Frauen ergibt sich, daß für die Frauen insgesamt eine etwas geringere Kilometerleistung registriert wird. Bei altersdifferenzieller Betrachtung innerhalb der Gruppe der über 35-jährigen ergibt sich ein eher heterogenes Bild, wobei keineswegs die höheren Altersgruppen besonders niedrige Fahrleistungen aufweisen.

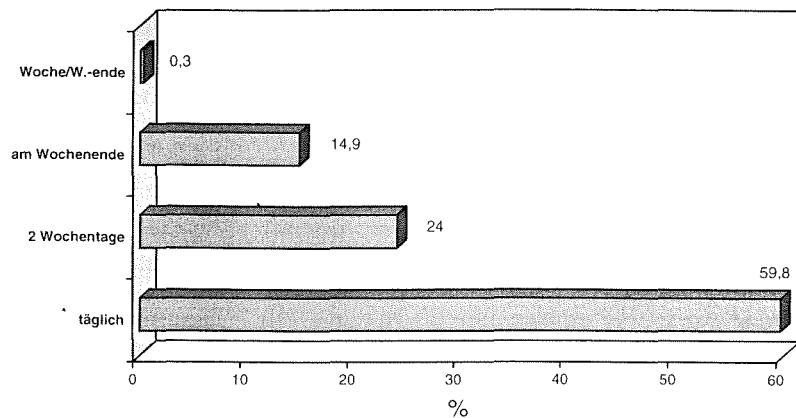
Auffällig ist die Tatsache, daß die 46- bis 50-jährigen Fahrer eine höhere Kilometerleistung erbringen als der Durchschnitt der übrigen Personen (häufigste Vertreter in der Klasse bis 20.000 Kilometer).



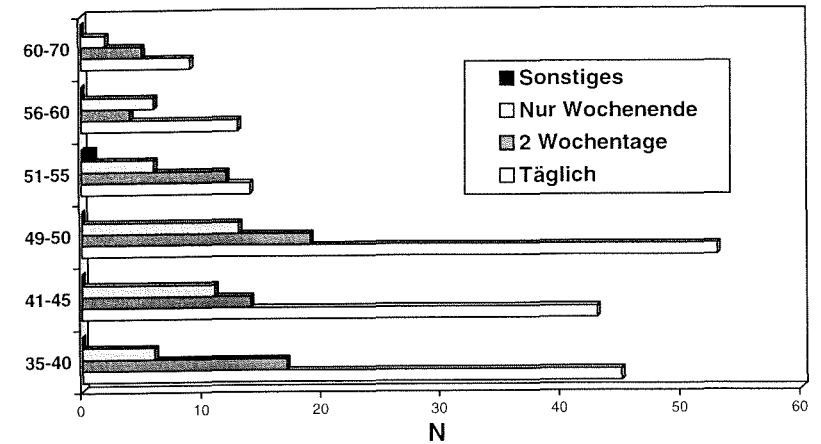
Grafik 17: Kilometerleistungen der Altersgruppe >35 Jahre (N=296)

4.2.4 Nutzungsgewohnheiten

Fast 60% der Befragten geben an, ihr Lkr täglich zu nutzen. Im Gegensatz dazu ist die ausschließliche Wochenend- und damit Freizeitnutzung lediglich bei 14,9% der Befragten vorzufinden. Bei altersdifferenzieller Betrachtung ergibt sich eine besonders hohe Angabe zur täglichen Nutzung bei den 45- bis 50-jährigen, aber auch bei den 35- bis 45-jährigen wird das Leichtkraftrad häufig täglich eingesetzt.



Grafik 18: Nutzung der 125 ccm der Altersgruppe >35 Jahre (N=296)

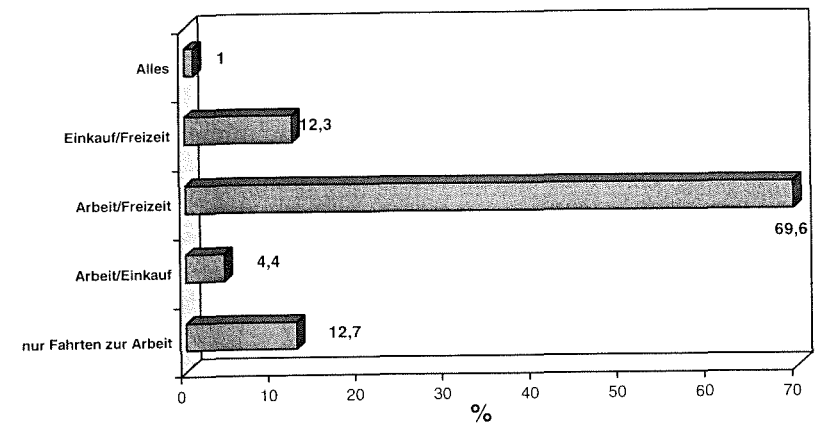


Grafik 19: Nutzung der 125 ccm differenziert nach Altersgruppe >35 Jahre (N=296)

4.2.5 Einsatzzweck der Fahrzeuge

Der mit fast 70% häufigste Einsatzzweck ergibt sich für den gemischten Einsatz des Fahrzeugs für Freizeit- und Zweckfahrten. Das Lkr ist offensichtlich ebenso Transportmittel wie Freizeitgerät. Relativ hoch ist der Einsatz der reinen Zwecknutzung mit 17,1%. Männer nutzen das Lkr häufiger als Transportmittel für den Weg zur Arbeitsstätte, während bei Frauen der Anteil der Einkaufs- und Freizeitfahrten erhöht ist.

Die altersdifferenzierte Betrachtung ergibt, daß die 35- bis 40-jährigen die Altersgruppe darstellen, die am häufigsten das Lkr für berufliche Fahrten einsetzen.

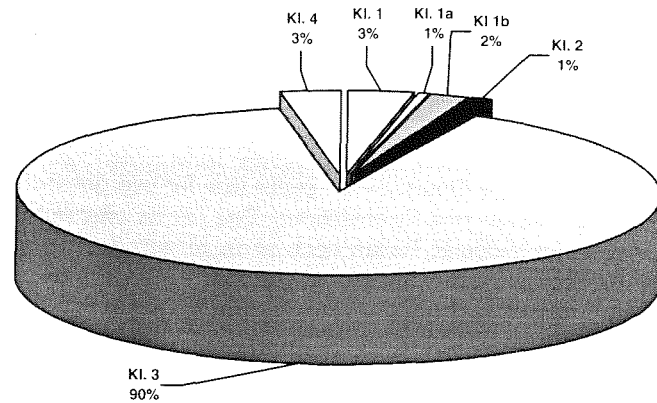


Grafik 20: Zweck-/Freizeitnutzung der 125 ccm Altersgruppe >35 Jahre (N=296)

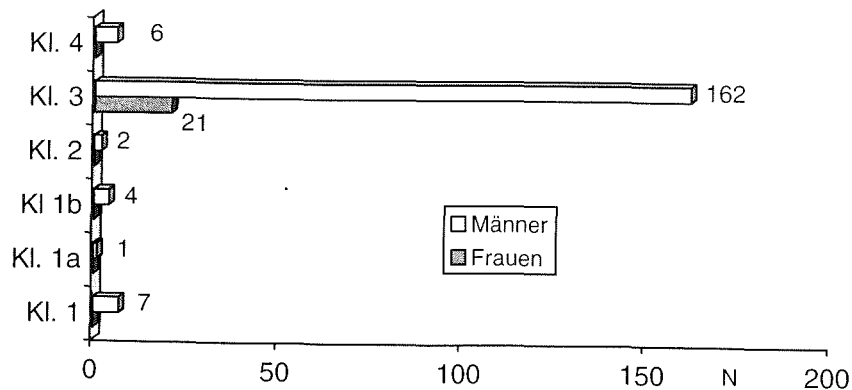
4.2.6 Führerscheinbesitz

Erwartungsgemäß verteilt sich der Führerscheinbesitz in der Altersgruppe der über 35-jährigen. Ca. 90% besitzen den Führerschein Klasse 3, 5,8% einen Führerschein der Klassen 1, 1a, 1b und 2,9% der Klasse 4, die ebenfalls vor dem Stichtag des 1. April 1980 zur Nutzung des Lkr berechtigt. Offensichtlich wird diese Klasse eindeutig dominiert von den Pkw-Fahrerinnen und Fahrern, deren Führerschein im Rahmen der Einschlußregelung die Lkr-Nutzung gestattet.

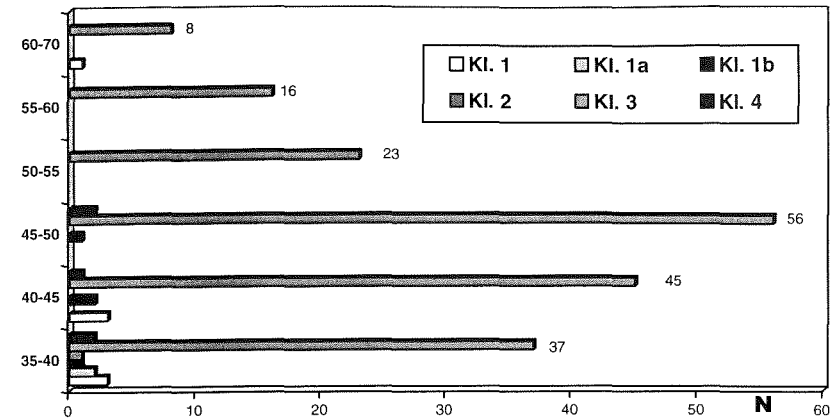
Alle weiblichen Befragten besitzen den Führerschein der Klasse 3 und keine weitere Zweiradführerscheinkategorie. Der Führerscheinbesitz von anderen Zweiradklassen ist bei den männlichen Befragten in den Altersgruppen von 35 bis 45 Jahren mit einem Prozentsatz von 5,8 zu registrieren.



Grafik 21: Führerscheinklassen Altersgruppe >35 Jahre (N=296)



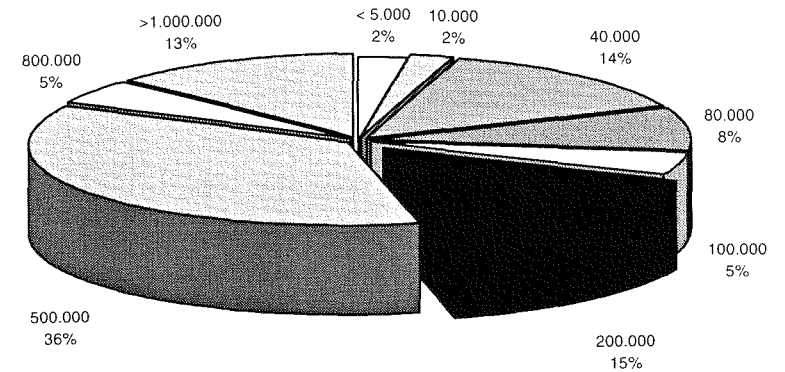
Grafik 22: Führerscheinklassen Altersgruppe >35 Jahre und Geschlecht (N=296)



Grafik 23: Führerscheinklassen Alter >35 Jahre und Altersklassen (N=296)

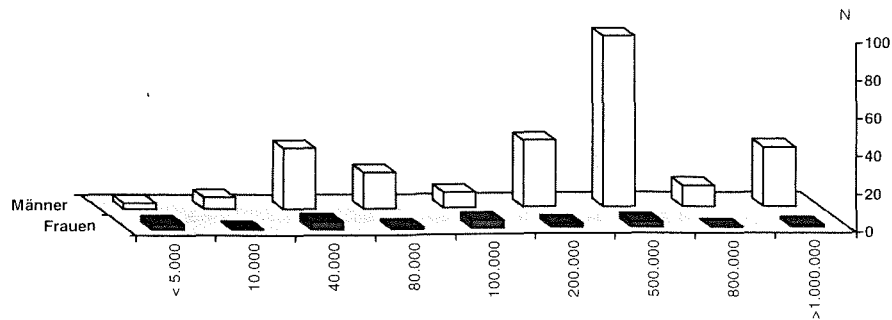
4.2.7 Verkehrserfahrung

Über 90% der Befragten besitzen neben dem Lkr einen Pkw. Lediglich 5,7% verfügen ausschließlich über das Lkr.



Grafik 24: Pkw-Gesamtkilometer Alter >35 Jahre (N=296)

Auf die Frage nach der Gesamtverkehrserfahrung mit dem Pkw dominierte die Kategorie mit über 500.000 Kilometern Fahrerfahrung. Bei geschlechtsspezifischer Betrachtung zeigt sich, daß bei den Frauen die Kategorie bis 100.000 Kilometern deutlich häufiger genannt wird, während bei den Männern die Gruppe mit über 500.000 Kilometern am stärksten besetzt ist. Die Männer zwischen 35 und 50 Jahren verfügen über die größte Fahrerfahrung.



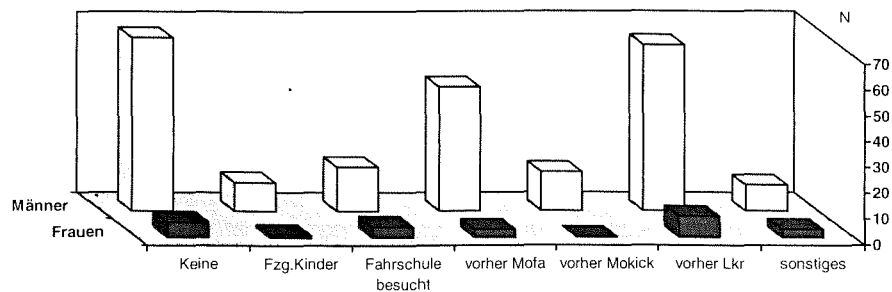
Grafik 25: Pkw-Gesamtkilometer Alter >35 Jahre und Geschlecht (N=296)

4.2.8 Vorbereitung auf das Lkr-Fahren

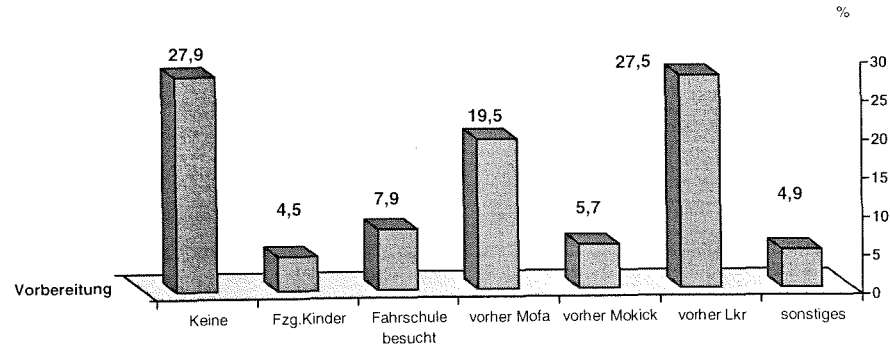
72,1% der Lkr-Nutzer haben sich auf das Zweiradfahren vorbereitet bzw. verfügen über entsprechende Zweiraderfahrung. 27,9% nutzen das Lkr ohne entsprechende Vorkenntnisse. 7,9% besuchten freiwillig eine Fahrschule.

Frauen verfügen über eine geringere Vorerfahrung auf motorisierten Zweirädern, während bei den Männern über 50% entsprechende Praxis mit Mofa, Mokick oder 50/80 ccm-Fahrzeug besitzen. Da zahlreiche Personen der über 35 Jahre alten Befragten bereits über Zweiraderfahrung verfügen, schätzt der Hauptanteil der Gruppe (45,9%) die Vorbereitung als gut bis sehr gut ein. 9,5% halten die Vorbereitung für ausreichend oder schlechter, 38,5% halten ihre Vorbereitung für befriedigend.

Frauen schätzen dabei ihre persönliche Vorbereitung eher als besser ein als ihre männlichen Zweiradkollegen.



Grafik 26: Vorbereitung Lkr Alter >35 Jahre und Geschlecht (N=296)



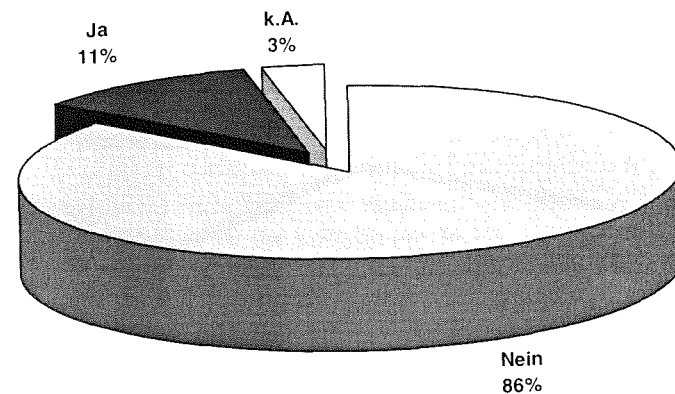
Grafik 27: Vorbereitung Lkr Alter >35 Jahre (N=296)

4.2.9 Einschätzung der Fahrdynamik des Lkr

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß die Probanden der Gruppe der über 35-jährigen offensichtlich aufgrund ihrer Verkehrserfahrung die Fahrdynamik ihrer Fahrzeuge nicht als problematisch im Umgang einschätzen. Sicher spielt hier auch eine Rolle, daß die Fahrleistungen der Lkr im Vergleich zu modernen Pkw nicht höher ausfallen.

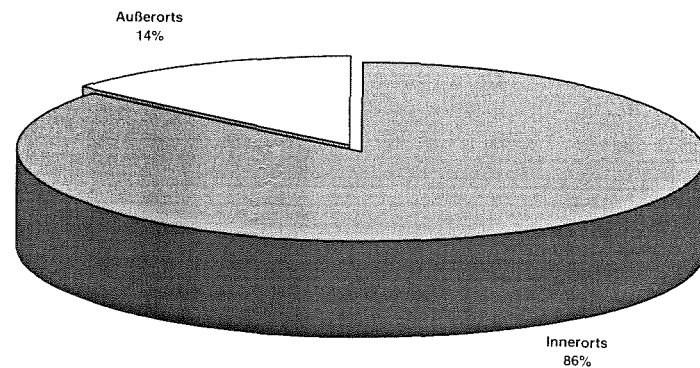
4.2.10 Unfälle der Lkr-Fahrerinnen und -Fahrer

Insgesamt 32 der 296 befragten Personen über 35 Jahren waren in mindestens einen Unfall verwickelt (10,8%). Durchschnittlich waren dies 1,1 Unfälle pro Person. Die folgenden Analysen sind wegen der geringen Fallzahlen mit entsprechender Vorsicht zu interpretieren.



Grafik 28: Unfälle mit dem 125 ccm Fahrzeug Alter >35 Jahre (N=32 von 296)

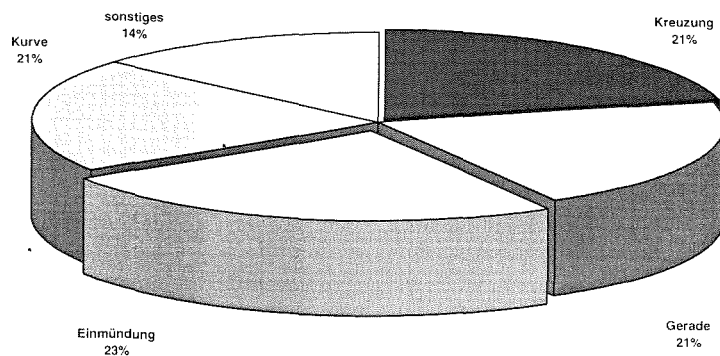
Häufigster Unfallort war mit 86% der innerstädtische Bereich. Lediglich 14% der Unfälle ereigneten sich im Außerortsbereich. Hier besteht offensichtlich ein Zusammenhang zur Nutzung der Fahrzeuge.



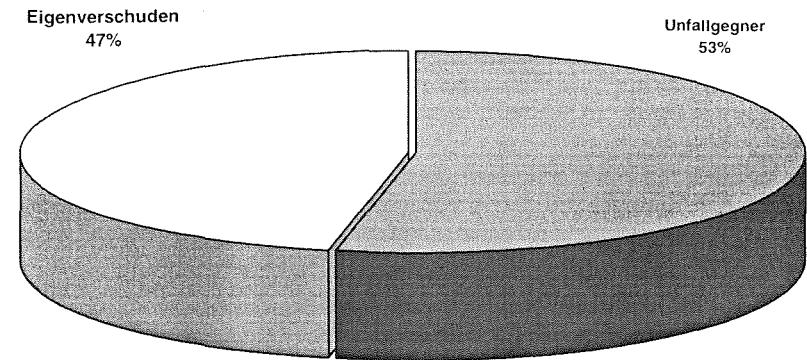
Grafik 29: Ortslage Unfall mit dem 125 ccm Fahrzeug Alter >35 Jahre (N=27 von 296)

Für diese Einschätzung sprechen auch die Unfallzeiten, die vermehrt im morgendlichen Berufsverkehr um etwa 7.15 Uhr und zwischen 15.00 und 17.00 Uhr registriert werden.

Auch die Angaben zur Unfallstelle untermauern die Verbindung zu der typischen Nutzung der Fahrzeuge. Einmündung und Kreuzung machen zusammen 44% der Unfallorte aus und deuten auf typische Zweiradunfälle im Zusammenhang mit der Mißachtung der Vorfahrt durch Dritte hin. Kurve und Gerade hingegen können häufiger als Orte von Stürzen und damit Alleinunfällen eingeschätzt werden. Die Frage nach der Unfallschuld wurde von 15 Unfallbeteiligten in der Altersgruppe über 35 zu 47% mit Eigenverschulden und zu 53% mit Verschulden durch den Unfallgegner beantwortet.

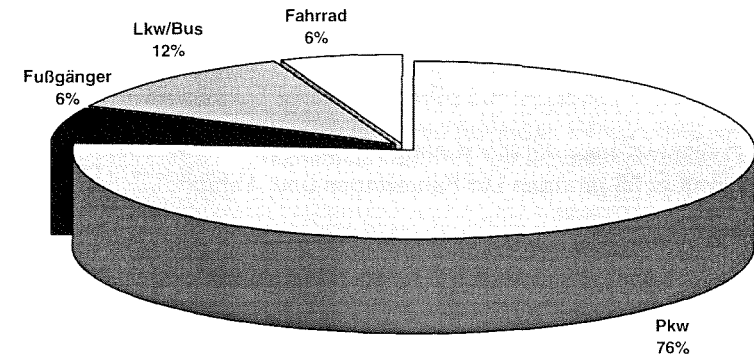


Grafik 30: Unfallstelle mit dem 125 ccm Fahrzeug Alter >35 Jahre (N=29 von 296)



Grafik 31: Unfallschuld mit dem 125 ccm Fahrzeug Alter >35 Jahre (N=15 von 296)

Bei den Unfallursachen dominiert die Mißachtung der Vorfahrt durch andere Verkehrsteilnehmer mit 25%. Häufigster Unfallgegner bei den Lkr-Unfällen ist der Pkw mit 76,5%, gefolgt von Lkw/Bus mit 11,8%. Diese Daten korrespondieren mit der bundesweiten Unfallstatistik.

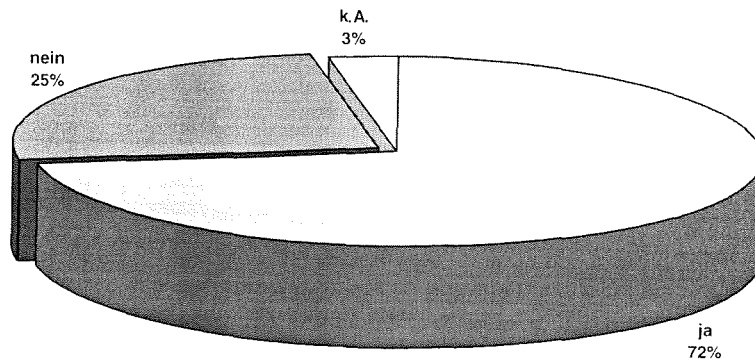


Grafik 32: Unfallgegner des 125 ccm Fahrzeugs, Alter >35 Jahre (N=17 von 32)

Bei der Differenzierung nach Sturz oder Kollision ergibt sich eine Dominanz des Sturzes mit 62,5% gegenüber der Kollision mit 34,4%. Bei 3% kam es zu einem Sturz und einer anschließenden Kollision mit einem anderen Fahrzeug. Werden jedoch die Werte zum Unfallverschulden sowie die übrigen Unfallangaben berücksichtigt, so wird deutlich, daß offensichtlich zahlreiche Stürze in der Folge von Interaktion mit anderen Verkehrsteilnehmern zu verzeichnen waren und damit letztendlich auch bei der Vermeidung von Kollisionen aufgetreten sein können. Es handelt sich folglich nicht ausschließlich um Alleinunfälle.

Werden die Angaben zum Unfallverschulden und der Unfallart korreliert, so zeigt sich, daß 15% der Stürze auch ein Fremdverschulden beinhalten müssen. Die Kollisionen wurden zu 81,8% durch den Unfallgegner ausgelöst. Frauen verunfallten im Vergleich zu Männern seltener.

Von den 32 verunfallten Personen wurden 23 verletzt. Die weiteren Hinweise sprechen jedoch dafür, daß die Verletzungen nicht gravierend waren, da differenzierte Angaben zu Verletzungsregionen lediglich von 5 Personen (21,7%) aufgeführt wurden.



Grafik 33: Unfallverletzung Alter >35 Jahre (N= 32)

4.2.11 Zusammenfassung der Befragungsanalyse der über 35-jährigen Lkr-Fahrerinnen und -Fahrer

Die Gruppe der über 35-jährigen Lkr-Fahrerinnen und -Fahrer wird dominiert von Besitzern der Klasse 3, die über entsprechende Verkehrserfahrung mit dem Pkw verfügen. Mit bevorzugt Rollern und Lkr-Choppern werden durchschnittlich Fahrleistungen von 2.000 bis 4.000 Kilometern pro Jahr erbracht. Die Fahrzeuge werden in überwiegendem Maße sowohl für die Freizeit als auch für Zweckfahrten intensiv eingesetzt. Die Nutzung erfolgt im Regelfall an allen Tagen der Woche. Die Fahrzeuge sind also offensichtlich nicht ausschließlich für die Freizeit angeschafft, sondern sie dienen als Alternative zum Pkw, den praktisch alle Befragten zusätzlich zum Lkr besitzen. Hier ergibt sich ein Zusammenhang zur Problematik des Verkehrsinfarktes in den großen Städten, da die Lkr mit ihrem geringeren Platzbedarf im fließenden und vor allem auch im ruhenden Verkehr offenbar für viele eine echte Alternative für die individuelle Mobilität darstellen.

Häufig diskutiert wurde die Frage der Vorbereitung bzw. Vorerfahrung der Pkw-Führerscheininhaber bei dem Umstieg auf das Zweirad. Interessantes Ergebnis der

IfZ-Studie ist dabei, daß lediglich knapp 28% ohne entsprechende Vorkenntnisse auf das Zweirad steigen. Mehr als 72% geben an, sich entweder gezielt vorbereitet zu haben oder in vielen Fällen über entsprechende Zweiraderfahrung auch auf Mofas oder Mopeds zu verfügen.

Die subjektive Einschätzung der Fahrdynamik der Lkr fällt bei den Befragten eher moderat aus, was vor dem Hintergrund der Leistungsdaten der europäischen Führerscheinklasse im Vergleich zu modernen Pkw nicht verwundert.

Die Analyse der Angaben zu den Unfällen der Probanden zeigt, daß Unfälle nach wie vor seltene Ereignisse bleiben. 10,8% der befragten Personen über 35 Jahre haben Unfälle erlitten. Das Unfallgeschehen in der Lkr-Klasse unterscheidet sich dabei offensichtlich in einigen Aspekten von dem der Motorräder in der Bundesrepublik. Gerade in der Gruppe der über 35-jährigen kommt es offensichtlich häufiger als in anderen Kollektiven zu selbstverschuldeten Stürzen, die jedoch oft nur mit geringen Blessuren enden, wie die Auswertung der Verletzungssituation zeigt. Einige dieser Stürze ergeben sich jedoch auch im Zusammenhang mit dem Vermeiden von Kollisionen, die in 34% der Fälle vorliegen. Fast 82% der Kollisionen wurden durch die Unfallgegner ausgelöst.

Das Unfallgeschehen der Lkr steht offensichtlich in direktem Zusammenhang mit den Nutzungsgewohnheiten der Besitzer. Sowohl die Unfallzeiten (Rush-Hour morgens und nachmittags) sowie die Unfallorte im Innerortsbereich (87,5%) machen deutlich, daß die Lkr eher für den Weg zur Arbeit oder Zweckfahrten eingesetzt werden, die sich im Regelfall im innerstädtischen Bereich abspielen.

5 Fazit

Die Einführung der europäischen Führerscheinklasse für 125 ccm-Lkr in der Bundesrepublik zu Beginn des Jahres 1996 löste in Deutschland einen Boom dieser Zweiradkategorie aus. Motoren dieses Booms waren primär die über 35 Jahre alten Besitzer von Führerscheinen der Klassen 2, 3 und 4, die vor dem 1. April 1980 ausgestellt wurden. Allein von 1996 auf 1997 stieg der Bestand für die über 35-jährigen Lkr-Besitzer um 70% oder 76.484 Fahrzeuge auf insgesamt 186.328 Lkr.

Die Unfallstatistik der Bundesrepublik für das Jahr 1996 macht im Vergleich deutlich, daß das Sicherheitsniveau sich trotz des rasanten Wachstums der Zweiradklasse nicht negativ entwickelt hat. Bezogen auf die gewachsenen Bestände hat sich im Gegenteil die Situation sogar verbessert.

Wurden 1996 noch 20 Personen auf 100.000 Fahrzeuge in der Altersgruppe über 35 getötet, so waren es 1997 nur noch 12,9. Auch bei den Schwer- und Leichtver-

letzten sanken die Werte bezogen auf 1.000 Fahrzeuge (Schwerverletzte 1997: 2,3 / 1996: 3,0; Leichtverletzte 1997: 5,6 / 1996: 7,0).

Die Befragungsstudie des Instituts für Zweiradsicherheit lieferte ergänzend zu diesen bundesweiten Statistiken erstmals Hinweise zu den Nutzungsgewohnheiten der Lkr gerade durch die Hauptgruppe der über 35-jährigen.

Lkr werden offensichtlich als Zweck- und Freizeitgeräte intensiv gerade im innerstädtischen Bereich genutzt, wo sie ihre Vorteile des geringen Platzbedarfes ausspielen können.

Entgegen den Erwartungen verfügen lediglich etwa 28% der vom IfZ befragten Personen nicht über eine entsprechende Vorbereitung bzw. eigene Zweiradfahrung, wenn sie auf das Lkr steigen. Auch dieser Aspekt ist offensichtlich neben der bei allen Probanden ausgeprägten Pkw-Erfahrung mitbestimmend für die positive Unfallentwicklung gerade der über 35-jährigen.

Die Angaben zu der Unfallsituation zeigen, daß die vom IfZ befragten über 35-jährigen häufiger stürzen als in einen Kollisionsunfall verwickelt zu werden. Aufgrund der relativ geringen Zahl der verunfallten Personen ist hier eine Interpretation schwierig, es könnte jedoch ein Zusammenhang zu der Tatsache bestehen, daß in der Gewöhnungsphase an das Fahrzeug einzelne Fehleinschätzungen auftreten, die zu im Regelfall harmlosen Stürzen bzw. Alleinunfällen führen können. Die Verletzungen bei diesen Ereignissen sind offensichtlich weniger gravierend als bei Kollisionen. Die weiblichen Probanden der befragten Gruppe über 35 Jahre erbringen geringere Fahrleistungen und verunfallen seltener als ihre männlichen Kollegen.

Bei den Unfallursachen dominiert auch bei den Lkr die Mißachtung der Vorfahrt durch andere Verkehrsteilnehmer und laut Angaben der Probanden ist der Pkw mit 76,5%, gefolgt von Lkw/Bus mit 11,8% häufigster Kollisionsgegner. Dies sind Daten, die mit der offiziellen Unfallstatistik übereinstimmen.

Zusammenfassend betrachtet hat die Einführung der Lkr-Klasse in der Bundesrepublik sich gravierend auf die Kategorie der motorisierten Zweiradfahrer ausgewirkt. Massiven Bestandszuwächsen stehen bestandsbezogen sinkende Verunglücktenzahlen gegenüber. Dies gilt in besonderem Maße für die Gruppe der über 35-jährigen Pkw-Führerscheininhaber. Offensichtlich wirken sich hier langjährige Fahrerfahrung mit dem Pkw sowie die geringere Risikobereitschaft im Vergleich zu jüngeren Fahrern positiv aus.

Perspektivisch hat sich durch die vorliegende Studie am Beispiel Deutschland gezeigt, daß die in verschiedenen europäischen Staaten eingeführte Regelung zum Einschluß des Führerscheins der Klasse 3 zum Teil mit einer Altersbegrenzung

(Frankreich) bzw. einer zusätzlichen Ausbildung (Österreich) durchaus auch eine Möglichkeit darstellt, das Zweirad als Mobilitätsalternative zu nutzen, ohne unberechenbare Risiken einzugehen. Die in der Bundesrepublik gegenwärtig praktizierte Einschlußregelung führt jedoch perspektivisch dazu, daß die Gruppe derjenigen, die das Privileg des Einschusses in den Pkw-Führerschein besitzen, kontinuierlich älter wird. Hier sollte eine in Europa einheitliche Regelung angestrebt werden, die auf den Erfahrungen in den verschiedenen Staaten basiert. Die Novellierung der europäischen Führerscheingesetzgebung im Jahr 2000 bietet sich für eine entsprechende europäische Gesamtregelung für die Klasse der 125 ccm-Lkr an.

Literaturliste

- [1] Brendicke, R.: Attitudes of Motorcycle Riders Towards Risk Exposure – A Study of Various Age Groups; In: Forschungsheft Zweiradsicherheit Nr. 7; Institut für Zweiradsicherheit, Essen, 1991
- [2] Brendicke, R.: Rencontres Dangereuses pour les Motocyclistes; In: Motorcycling & Training: Contribution to Sustainable Mobility, Seminar on Training of Motorcycles, Motorcycle Council, Brüssel, Januar 1998
- [3] Brendicke, R.: Unfallsituation junger Zweiradfahrer; In: Junge Fahrzeugführer, Tagungsbericht zur Fachtagung am 17.10. 1997, Leipzig; Staatsministerium für Wirtschaft und Arbeit des Freistaates Sachsen, Dresden, 1997
- [4] Diekmann, Achim: Solving the Urban Transport Dilemma: Powered Two-Wheelers – a practical alternative; Brüssel, ACEM, 1997
- [5] Industrie-Verband Motorrad Deutschland e.V. (Hrsg.): Stadtverkehr der Zukunft – Forschungsprojekt »Neues Motorisiertes Zweirad«; Industrie-Verband Motorrad Deutschland e.V., Essen
- [6] Kraftfahrt-Bundesamt: Statistische Mitteilungen, Reihe 1: Kraftfahrzeuge Bestand, Metzler-Poeschel Verlag, Stuttgart
- [7] Nurtsch, B.; Helm, D.: C1, Verkehrsmittel der Zukunft, Strukturauslegung eines Zweiradsicherheitsrahmens; In: 5. Fachtagung „Motorrad“, VDI Berichte 1025, Düsseldorf, 1993
- [8] Sammer, G.: Motorisierter Individualverkehr – Grenzen und Möglichkeiten seiner Beeinflussung; ÖIAZ, 133. Jg., Heft 1/1988
- [9] Sammer, G.; Fallast, K.; Wernsperger, F.: Potentialabschätzung für die Akzeptanz eines neuen motorisierten Zweirades im Stadtverkehr; In: 6. Fachtagung „Motorrad“, VDI Berichte 1159, Düsseldorf, 1994

- [10] Sporer, A; Langwieder, K.: Motorisierte 2- und 3-Radfahrzeuge als Individualverkehrsmittel der Zukunft aus der Sicht der Unfallforschung; In: 5. Fachtagung „Motorrad“, VDI Berichte 1025, Düsseldorf, 1993
- [11] Statistisches Bundesamt: Statistische Daten der Verkehrsunfälle in Deutschland, Stat. Bundesamt Wiesbaden, Fachserie 8, Reihe 7, Verlag Metzler-Poeschel, Stuttgart
- [12] Weidele, A.: Das Gebrauchsmotorrad der Zukunft – ein Denkansatz; In: 4. Fachtagung „Motorrad“, VDI Berichte 875, Düsseldorf, 1991

**Eine Lösung für das städtische Transportproblem:
Motorisierte Zweiräder – eine praktische Alternative**

***Solving the Urban Transport Dilemma:
Powered Two-Wheelers – a practical alternative***

Giovanni Moscato
Filip Sergeys

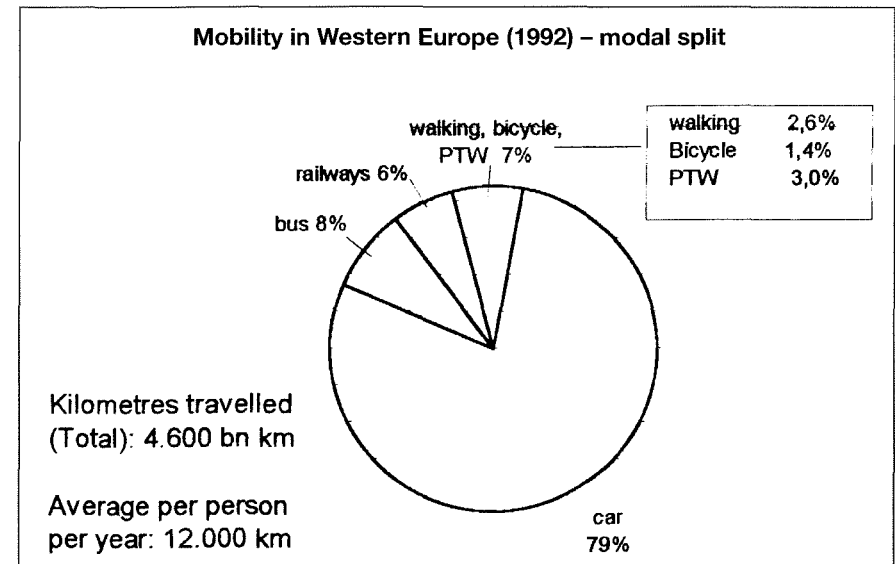
ACEM – European Motorcycle Manufacturers Association – Brüssel
Belgien

1 PTWs' share in the transport market

The share of PTWs in surface transport in Western Europe is about 3 per cent (133 bn passenger km a year). This share may look small, but it equals half the transport volume of Europe's railways. There might well be a case for transport policy to pay more attention to the potential of PTWs as a mode of transport which is economical and makes it easier to match traffic demand with the limited road space in our towns and cities.

In 1995, about 24 million PTWs were in use in Western Europe compared with a car population of 160 million and 200 million bicycles. But Europe's PTW park is unevenly distributed between countries. More than half of it is to be found in the Mediterranean countries. This reflects income levels as much as climatic conditions as a favourable legislative framework. PTW ownership is more than three times as high in Italy compared to Germany. Topography is another reason for PTWs being more popular in some countries than in others.

Chart A



Source: ECMT, OECD, national statistics, estimates

PTWs have long been a preferred mode of transport in rural areas where public transport of necessity is scarce. With congestion making traffic more difficult in many towns and cities, they seem to become a realistic alternative to the car in urban areas as well.

Regional distribution of PTW use in western Europe in 1995					
Region	Population (million)	PTW-park (million)	km travelled travelled (billion)	PTW/1000 population	Km per head per year
Mediterranean 1)	116,8	12,7	90,3	109	773
Central Europe 2)	181,0	9,6	39,1	53	216
Northern Europe 3)	85,6	1,5	8,5	17	99

Table A

- 1) Italy, Greece, Portugal, Spain
- 2) Austria, Belgium, France, Germany, Luxembourg, the Netherlands, Switzerland
- 3) Denmark, Finland, Norway, Sweden, UK, Ireland

On average, the distance covered by PTWs in France is 1,4 times that covered by bicycles. In Paris, PTWs account for 5 times the traffic volume of bicycles.

The intensity of PTW use varies in Europe between different countries. Mainly for topographic reasons, PTW mileage in Austria and Switzerland exceeds bicycle mileage by about fifty per cent. While in Italy non-car traffic is clearly dominated by PTWs. They beat the bicycle with a ratio of about 24 to 1. In southern Europe where per-capita income is lower, PTWs besides being preferred to the bicycle often taken the role of the second car in the family.

North of the Alps PTWs used to be split into two segments: the leisure segment – essentially the domain of the larger type of motorcycle – and the segment of simpler, less powerful PTW versions, such as mopeds and mofas, the latter being predominantly used by young people not yet having access to cars. However, more recent trends seem to reveal a growing acceptance of the scooter type as a means of transport for everyday travel. There is also growing reliance on ‘big bikes’ for rescue and dispatch services as well as by the police, which partly is an answer to the worsening of traffic conditions. Generally speaking, after years of stagnation and even decline PTW use is growing again.

Given the momentum the market has developed more recently, travel by PTWs is likely to almost double in countries such as Germany over the next 15 years. It will grow less in Italy, Spain, France, Switzerland and Austria where PTW use is high already. The main impetus for the upturn of the market will come from urban traffic. The strategy of PTW manufacturers to launch a new range of user-friendly vehicles specially designed to be used in towns and cities seems to be paying off.

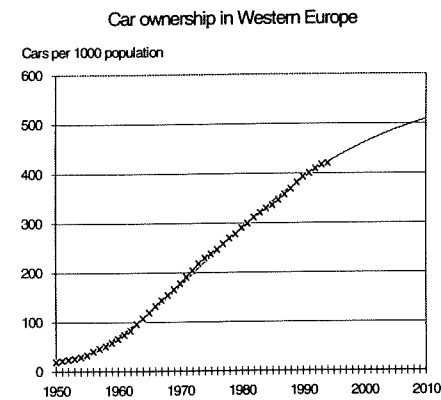
2 PTWs in the upswing

For many years, traffic growth was driven by the increase in car ownership. By 1970 car ownership in Western Europe had reached 10 times its 1950 level. It doubled again from 1970 to 1990.

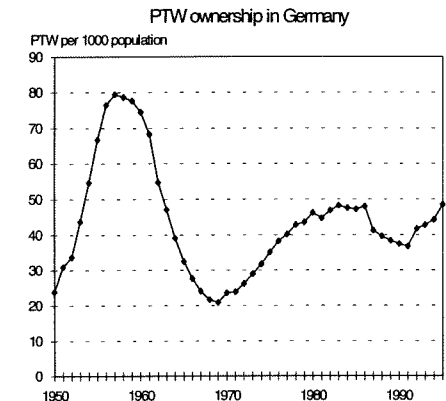
While motorised two-wheelers shared and even enhanced the growth of motorization during the first two decades after the war, they started to lag behind in most European countries at the end of the sixties when Europe's society became more affluent. The number of PTWs in use even decreased when the pace of growth of car ownership quickened.

In some countries, policy measures discriminating against this mode of transport have led to a loss in popularity of PTWs. Great Britain is an outstanding example in that respect having embarked on a policy that virtually crippled the use of PTWs. When in the late seventies travel by motorcycles had risen in response to an increase in fuel prices and a downturn in domestic economic conditions a number of measures brought down PTW use to less than half its former level within a period of ten years. Earlier it used to equal that of Germany, it is now one-third the German level. Regulatory policy has an overproportionate influence on the use of PTWs. Great Britain is not the only example. In particular, changes in product category restrictions, rider license requirements, personal driver equipment regulations. Similarly, restraints curbing the use of PTWs in towns and cities may lead to large demand swings and create uncertainty among potential PTW users. There is still unnecessary and uncoordinated legislation as well as disproportionate taxation.

Chart B



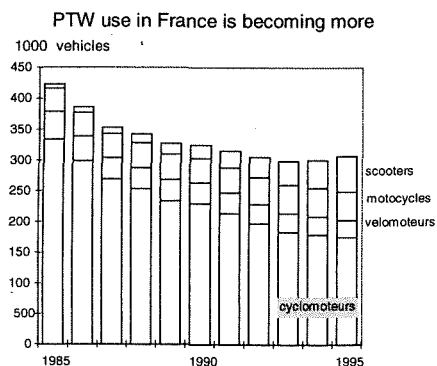
Source: VDA, Tatsachen und Zahlen



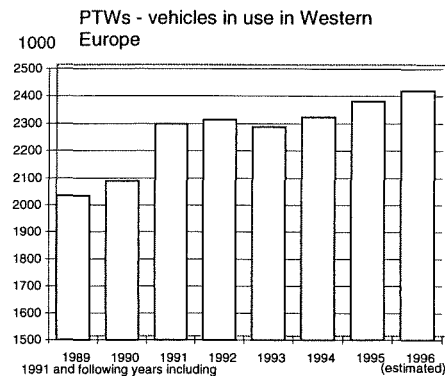
Source: BVM, Verkehr in Zahlen

Trends in PTW use have varied between countries over the past 15 years. However, a common feature has been the shift towards safer, more comfortable and more powerful models accompanied by a steady decline in the lowest market segment.

Chart C



Source: FIEV



Source: ACEM, national statistics

Looking at the PTW park in France where PTWs have traditionally been popular as a short-distance mode of traffic can best show the change in the proportions of the different types of powered two-wheelers. The number of 'cyclomoteurs' has almost been halved over the past ten years, while the number of scooters has increased to ten times its former level. There has also been an increase in the number of

Table B

Powered two-wheelers (PTW) – vehicles per 1000 population

Country	1990	1991	1992	1993	1994	1995
Austria	71	68	67	66	66	68
Belgium	48	47	48	47	49	49
Denmark	34	35	36	35	35	35
Finland	34	33	33	32	31	30
France	57	55	53	52	52	53
Germany	41	52	48	44	46	49
Greece	38	43	49	56	56	58
Ireland	23	24	24	24	24	24
Italy	119	125	130	131	133	136
Luxembourg	31	35	42	51	49	49
Netherlands	44	43	44	44	50	52
Norway	48	47	47	46	45	44
Portugal	84	86	91	92	92	93
Spain	77	82	86	86	86	86
Sweden	28	28	28	28	28	28
Switzerland	112	109	105	103	101	101
UK	14	13	10	12	11	11
EUR 17	58	61	59	60	61	62

Source: ECMT, IRF, IRTAD, OICA, national statistics, and estimates.

*) 1991 and following years including East Germany

motorcycles with more than 125 cc by almost a quarter. In total, the number of PTWs in use in France is on the rise again and PTW usage is becoming more diversified, revealing a clear trend towards a strengthening of the position PTWs hold in urban traffic.

Experience in other European countries has been similar. Taking a look at Western Europe as a whole, it can be said that the downward trend, which marked the development of PTW ownership in a number of countries during the eighties, has been stopped. PTW usage in Europe is on the upswing again.

There are a number of reasons for this.

- Product innovation has led to a wider range of attractive new models better adapted to the needs of the customer. A new generation of scooters has been boosting sales whilst there has been growth in other segments as well.
- With demand for cars moving closer to saturation ownership, the choice of vehicles people use to travel has become more varied. Powered two-wheelers form part of the alternatives people consider when it comes to choosing the instrument of mobility that fits their needs best. This diversification in choice is a well-known characteristic of mature markets.
- Growing public awareness of the advantages PTWs offer may also be a response to traffic conditions. Beyond the growth in popularity of the bicycle, PTWs seem to benefit from their intrinsic characteristics, such as manoeuvrability, reduced space and energy requirements combined with greater comfort, speed and convenience than non-motorised two-wheelers can offer.
- Budgetary constraints may be another reason for motorised households to look for a cheap and reliable alternative to the car when travelling alone and over short distances. For some types of journey, the private car continues to be the most practical option. But for others scooter, mopeds or motorcycles are a realistic alternative. They require less fuel, cost less and still provide to their users the freedom of choice when and where to go.

3 Major 'segments' of PTW use

Taking a systematic approach, five main areas (segments) of PTW use can be identified. These segments cover short travels in urban areas and the outskirts of conurbations as well as inter-city and long-distance journeys. A distinction can be made between those uses where PTWs are run 'solo', with no other mode of transport being involved, and others, where PTWs form part of a combination of different modes.

3.1 'Solo'

Intra-urban – PTWs are particularly suitable for use in downtown areas of densely populated, congested towns and cities. They are extremely flexible, occupy little space when driven or parked, afford short travel times and are much cheaper to operate and to maintain than cars.

Suburban (radial) – Commuting to downtown areas by PTW provides for door-to-door operation and independence from timetables. Particularly where distances to stations and bus stops are great or where there is only limited availability of trains and buses PTWs are a highly competitive means of transport when going to school, work place, or main shopping areas.

Suburban (peripheral) – Communication between suburban areas can be difficult. Public transport facilities in peripheral traffic are notoriously inadequate. Public transport operators cannot easily cope with the dispersed nature of the highly individualised traffic taking place between these areas. In this case, PTWs are a practical alternative to the private car, particularly when their users travel alone.

3.2 Combined transport (intermodal and multi-modal transport)

Multi-modal urban – Changing modes on a well-organised transport chain as a concept of mobility is still in its infancy. One of the major obstacles to switching from road to rail and back is the lack of parking lots that are easily accessible. A more widespread use of PTWs in the transport chain would need much less space for parking than required by cars. However, some adjustments would have to be made in layout and facilities allowing for helmets to be locked as well. Another way of enhancing multi-modal transport chains would be to keep PTWs at downtown stations to be rented by public transport users.

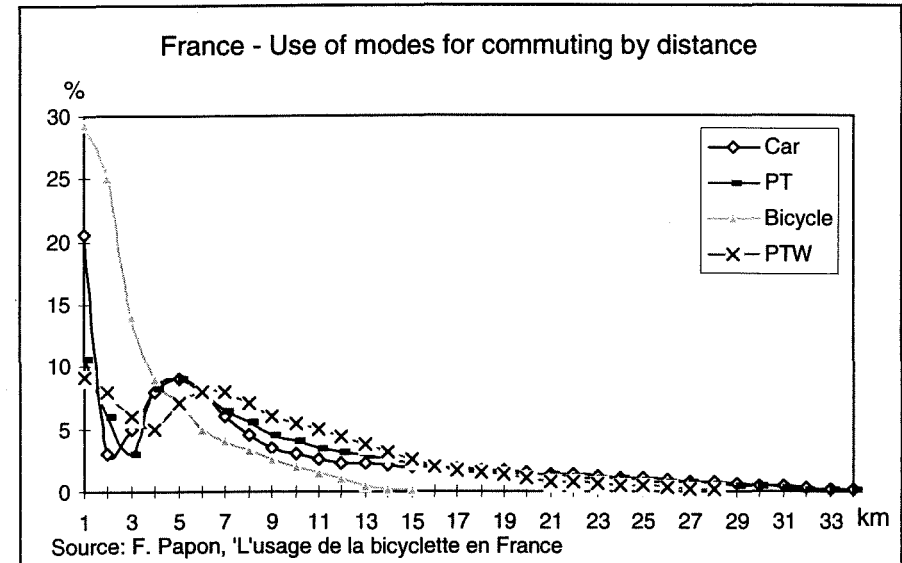
Intermodal (integrated) long distance – Their reduced dimensions and weight make PTWs particularly suitable for integrated transport on trains and ferries. This can be an attractive option when travelling longer distances and looking for a cheap, individualised means of transport at the point of destination.

The multi-modal aspect of mobility will, no doubt, become more important when people realise the advantages multi-modal choices can offer in terms of savings in time and money.

Chart D shows how the use of PTWs for commuting compares with that of other modes in terms of the distribution of distances travelled. The role of PTWs is largely complementary to that of the bicycle. Given the distances they cover, PTWs offer

an alternative to both the car and public transport. They do however also serve as a link to public transport, which at least partly accounts for the relatively high share of short distances in their overall travel profile.

Chart D



PTW use varies of course between urban and rural areas. Whereas the average distance of PTW travel is 4.6 km in Paris and 5.2 km in the Paris Basin, the average distance per travel is 17 km 'en rase campagne'.

4 Strengths and weaknesses

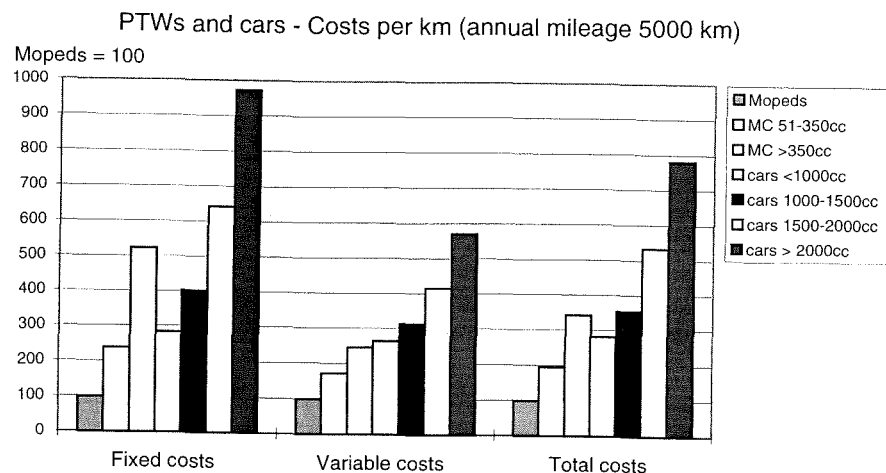
4.1 Strengths

Combining the compact design and convenience of a bicycle with the range and the speed of a passenger car, PTWs offer a number of substantial advantages when used in urban traffic:

PTWs are simple and highly effective instruments of mobility – A medium-type scooter weighs less than 100 kg, uses less than half the space of a car when driven and 1/5 when parked. The burden it places on public budgets in terms of infrastructure requirements is small. Road damage caused by PTWs is virtually non-existent.

Operating and maintenance costs are low – The cost of running a PTW are marginal when compared to those of a car and in most cases even lower than the true costs incurred by public transport. PTWs do not require any subsidies. Using them therefore may lessen the burden on the taxpayer. A simple moped costs 1/8 of the price of the cheapest car. It extends the transport choices to those who do not (or not yet) have access to a private car at a reasonable price. Chart E, which compares the operating costs of cars and PTWs in Italy, shows the cost advantage PTW riders enjoy.

Chart E



Little need for recycling. End-of-life waste prevention is not a major concern for powered-two-wheelers. This is where PTWs differ from cars:

- PTWs consist of up to 80% of metals, 10 to 15% of plastics, with negligible contents of filling materials used widely in automobiles;
- most parts are easily accessible for dismantling and re-use;
- PTWs are easy to store (in garages, boxes, etc.) for years, even when no longer operative.

PTWs allow to improve the environmental balance. A considerably lower amount of energy and raw materials is needed for their production and manufacturing.

PTWs are an energy-efficient mode of transport – For the same trip at the same speed in urban traffic under the same running conditions PTWs use 1/5 to 1/2 of the energy a medium-sized car would consume. They weigh less, have a smaller engine capacity and loose less time in idling.

This has been demonstrated by surveying the same journeys by car and by PTW in different European cities. The Motor Vehicles Emissions Group (MVEG) under whose auspices these tests were carried out concludes that besides being faster, PTWs consume between 55 and 81 per cent less fuel than passenger cars would consume for the same journey.

Table C

In urban traffic PTWs are faster and consume less than cars

City	Type of vehicle	Duration of journey (min)	Fuel Consumption (l/100km)	Average speed (km/h)	Idling time as per cent of journey time
Paris	Passenger car 1,1 litres	189	9,0	21,7	37
	Scooter SV125	133	3,71	30,0	23
Rome	Passenger car 1,4 litres	118	16,0	14,6	not recorded
	Moped SI	66	3,04	26,2	18
Munich	Motorcycle 125 NSR	54	5,21	27	24
	Passenger car 2,5 litres	250	12,0	28,3	not recorded
	Motorcycle K75 RT	209	5,45	33,6	15,4

Source: EU Motor Vehicle Emission Group

PTWs save time – The MVEG study quoted above has shown that in all cases, door-to-door journeys took less time by PTW than by car. On-road PTW speed was higher than the equivalent car speed. Actually the amount of time saved by using a powered two-wheeler is even higher when taking into account that when using a car a significant part of total journey time has to be spent in search for a parking place. PTWs can be parked more easily. They generally use up less space.

PTWs save money – Time lost in traffic jams can be an important cost factor. A recent OECD study has put this cost at 120 bn ECU a year for Europe. This would equal 2 per cent of the value of all the goods and services produced in the European Union over a year. Relying more widely on PTWs as a means of urban transport would actually help to improve traffic flow and could reduce this cost burden substantially.

PTWs are reliable and offer a great amount of flexibility – Public transport can offer a service, which is very satisfactory in many cases, but it cannot satisfy all transport needs nor offer the flexibility and ease of personalised transport:

By contrast, PTWs are available whenever needed. They take their users to almost any destination without forcing them to put up with the company of other people. But they also leave them the choice to link up with other modes whenever opportunity. PTWs also provide flexibility when moving in heavy traffic because they are compact and easy to manoeuvre. This is why the police, paramedic, rescue services and dispatch riders rely on motorcycles for quick transfers.

4.2 Weaknesses

PTWs offer advantages in many respects, but they can also cause problems and inconveniences.

Weather – Pedestrians, cyclists and riders of PTWs have in common that they are exposed to rain, snow and cold. However, rising sales in countries lacking the sun of the Mediterranean show that, though exposure to unfavourable weather conditions may be a handicap, growing awareness of the advantages motorcycles, mopeds and scooters offer in urban traffic may outweigh weather concern. Besides, there is still scope for changes in design. Scooters already provide some weather protection. It should also be recognised that public transport users seldom live or work close enough to a bus stop or a railway station to entirely escape the adverse effects of bad weather.

The French survey quoted earlier shows actually that in contrast to cycling, riding a PTW does not seem to be very sensitive to changes in weather conditions with the exception of snow. Interestingly enough, when it gets warmer, more people tend to rely on PTWs so that their modal share rises to about three times its normal level.

Safety – The risk of being involved in an accident in use of the roads by all modes is a major concern. Although the number of deaths per kilometre travelled is higher for pedestrians than for PTW riders, the lack of protection PTWs offer is a major weakness. Unlike cars PTWs do not have crumple zones. Going by train may be safer than walking and cycling, possibly even safer than staying at home (taking into account all possible sources of accidental deaths).

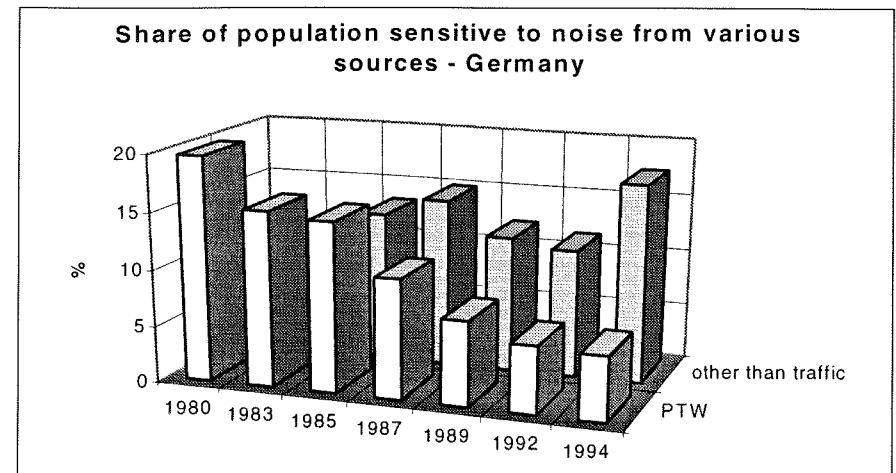
It should also be noted that there have been substantial advances in road safety in Europe over the past 15 years. The number of PTW riders killed on the roads of Western Europe declined by a 28 per cent from 1980 to 1990 and, on the basis of preliminary figures for 1995, fell from 1990 to 1995 by another 20 per cent. In absolute terms the reduction was from 14 579 deaths in 1980 to 9 446 in 1995.

Accident risks for PTW riders can be reduced further by a number of measures. Some of these measures involve adjustments in road infrastructure and better

driver education. Improving vehicle design can also play an important role in cutting risks further.

Noise – Noise caused by PTWs is a problem, which is only partly under the control of PTW manufacturers. Motorcycles, scooters and mopeds are among the quietest vehicles on the road when they leave the assembly line. The problem is that their noise level changes in the hands of their owners. Equipping a motorcycle or a moped by an illegal exhaust can raise the average noise level up to seven times. Making motorised two-wheelers quieter therefore is essentially a matter of more effective roadside enforcement of existing legislation.

Chart F



Source: Infratest

Emission – Pollution from PTWs is not a major problem. Their share in total pollution caused by power stations, industry, households and traffic is less than 1/2 per cent. Measured in CO-equivalents, pollution by PTWs has fallen from 291 to 194 million tonnes between 1985 and 1995.

4.3 On balance

4.3.1 Shared responsibilities

Setting strengths against weaknesses, it should be pointed out that many of the weaknesses of PTW use could be overcome. In accomplishing this task, industry and governments share responsibilities in:

- further advancing the technologies needed to make riding a PTW safer, quieter, less polluting and even more fuel efficient. This is an area which calls for continued initiatives from industry and more research funding;
- improving road infrastructure and the rules for its use. This is a matter which lies within the responsibility of governments and local authorities;
- making PTW riding more sustainable by addressing the rider as well and securing his co-operation. Better training and education is the key to success in that area.

All modes have their strengths and weaknesses:

- The car is unbeatable when several people move together. It offers them protection and room to carry their possessions with them. But cars can become cumbersome when there is a lack of space to drive or to park them.
- Public transport is a very safe mode of transport causing little pollution. It is meant to cope with heavy traffic flows. Its weakness lies in the rigidity of timetables and the limitation to the points of destination it can reach, particularly when moving on rails. Moreover, public transport networks require huge investments, operating costs are high and there is the problem of crime, particularly at night.
- PTWs are flexible, require little space and can be operated at low costs. Their major weakness lies in the lack of protection they offer when involved in an accident. This is a weakness they share with the bicycle.

On the other hand, the use of PTWs provides a number of substantial benefits:

- It saves the community expenditure on road space,
- helps to contain subsidies to public transport,
- reduces fuel consumption and CO₂ emission in use, and
- enhances the sustainability of the transport system over the entire life cycle of the product.

It also gives those parts of the population access to mobility, which for lack of purchasing power, for reasons of age or for lack of availability of public transport would otherwise be excluded from the opportunities it offers.

5 Enhancing the vitality of towns and cities

5.1 A wider approach is needed

There is reason to believe that a more widespread use of PTWs would help to improve urban traffic flows and the accessibility of city centres. But in order to

capitalise on the potential of improvement PTWs offer, action is required on a number of fronts: better and safer provision for non-car road traffic; secure parking facilities at stations, town centres, schools and work places and adjustment in road infrastructure to reduce accident risks. Much can be done, particularly at the local level, to improve conditions for the use of motorised two-wheelers. Encouraging the use of PTWs must become part of a wider strategy.

5.2 PTWs may be the better choice

There is widespread recognition that local strategies need to balance traffic restraint, better management of roads, and promotion of alternatives to the car without putting the basic functions of towns and cities at risk. Strategies aiming at improving the efficiency of urban transport systems would have to exploit the strengths of the different modes of transport while trying to reduce their weaknesses.

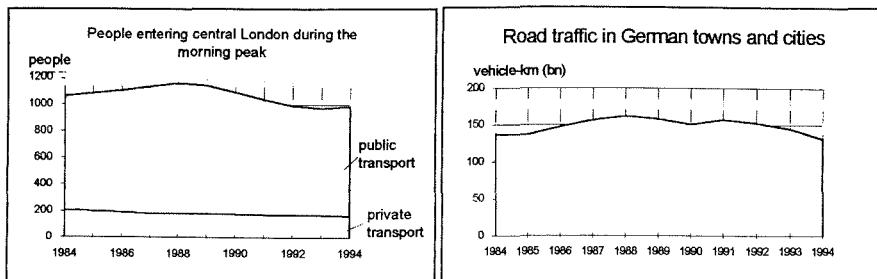
Few urban public transport systems cover all their operating costs, let alone their investment requirements. Giving public transport priority can have significant disadvantages. Other measures to reduce dependence on cars for urban travel, such as enhancing the use of motor- or pedal cycles, can be more cost-effective.

As a number of surveys shows, promoting better public transport services and restraining car use (pedestrianisation, traffic calming measures, restricted parking provision) taken as isolated measures do not necessarily lead to a revitalisation of towns and city centres. Without being part of a wider approach they may even be harmful. When deprived of the possibility to travel individually, people may prefer not to travel at all or choose other destinations. Trains and buses are simply not suitable for all trips. Besides, their use has become increasingly expensive. Even narrowly-meshed public transport networks do not automatically guarantee higher patronage.

Apart from the benefits PTW traffic affords to society as a mode of transport in its own right, it has to be recognised that the situation in each town or city needs to be considered separately. Transport requirements of medium-sized towns are different from those of Europe's big agglomerations. Public transport networks are more difficult to operate in towns of less than 100 000 inhabitants, whereas there is ample scope for enhancing the use of pedal and motorcycles. For smaller towns, and even local centres within conurbations adjusting road layout to the needs of two-wheelers therefore may often be the better option.

Offering transport users a wider range of options means to achieve better accessibility for residents, businesses, shoppers and other visitors who for a number of reasons might not be inclined to put up with public transport but would still like to live, work and shop in downtown areas. The alternative might be a loss in vitality and attractiveness of city centres which has become a problem already in spite of huge sums having been invested in public transport networks. As recent trends show, the number of people travelling to city centres is on the decline. Sooner or later this will affect the level of urban activities.

Chart G



Another reason for assigning bicycles and motorised two-wheelers a bigger role in urban traffic is of course combined transport. Transport users may like to combine the flexibility two-wheelers afford when travelling over short distances with the advantages public transport offers in terms of fast and efficient radial access to city centres over greater distances. Park and ride systems can therefore make a valuable contribution when carefully thought through and implemented as part of a wider strategy. In most cases however, there is still a lack of secure parking facilities for powered two-wheelers at stations.

5.3 Best practice examples

There are examples of positive measures and innovative approaches by local governments, which illustrate the scope of promoting PTW use as a means of alleviating local congestion problems and improving access to downtown areas.

5.3.1 Traffic separation

- PTWs have been allowed (or tolerated) to use bus lanes on roads leading to downtown areas and on a number of streets in the city centre of several towns in Norway, Sweden, Italy and Spain.

- In Bristol, motorcycles are allowed to use bus lanes. This was first introduced as an experiment monitored by local authorities and the Department of Transport. It has now become a permanent solution.
- Belgium, Germany and the Netherlands have long been admitting mopeds with reduced speed performance on bicycle paths. This is mandatory for all mopeds in the Netherlands.
- Two stop lines at large intersections with the front line reserved for two-wheelers have been introduced in some Belgian, Dutch, Japanese and Swiss towns.
- The city of Rome has banned cars from a number of areas. Only cars owned by residents are allowed to move and park in these areas. PTWs and bicycles however are granted free access though they have to move on dedicated lanes.

Unfortunately, these are isolated, local measures, they are not part of a wider strategic approach.

5.3.2 Parking facilities

- Special parking facilities for PTWs have been created in several cities (Paris, Milan, Rome), some of which are also providing combined locking systems for both the motorcycle and the helmet.
- Schiphol airport in Amsterdam has more recently installed lockers for two-wheelers.
- 4000 PTW-dedicated parking places were created in Barcelona with additional space to be provided shortly. As a consequence, the number of fines for unauthorised parking of motorcycles has decreased by 25 per cent.
- Facilities for parking up to 3 000 PTWs are available in the centre of Rome; the comparable figure for downtown Florence is 2 500. Both cities plan to expand these facilities. In Rome and Milan, all activities pertaining to widen the scope for PTW use are co-ordinated by a special 'chargé d'affaire' in the mayor's office.
- Though existing on a limited basis only, park-and-ride facilities for PTWs are gradually expanding. In Rome facilities for about 8 000 PTWs have been created near major railway and subway stations.

5.3.3 Intermodal and multi-modal interfaces

An innovative multi-modal terminal is under construction in Paris (La Defense). It will give access to urban, suburban and regional buses, subway and RER trains, private cars and PTWs as well as taxis, tourist coaches and TGV trains.

Intermodal park and ride facilities have lately been created in Florence and Livorno with a special emphasis on zero-emission PTWs and electrical bicycles.

Intermodality as an instrument of rational transport use has progressively become the ultimate solution, though at a relatively slow pace. There is still a lack of coordination between modes, parking facilities are inadequate and public awareness of the potential of intermodality in terms of savings of time and money is still inadequate.

6 Key strategic aims

6.1 PTW urban transport strategy

With transport demand becoming more diversified, the efficiency of the urban transport system in terms of both costs and environmental sustainability greatly depends on each mode being given the scope to fully exploit its particular strengths, regardless of traditional bias or ideological perception.

It is against this background present and future PTW use has to be seen. PTWs meet the need for diversification and greater flexibility in exercising modal choice. They clearly have a role to play in the various transport segments. Their use reflects rational decisions taken by their owners to keep the cost of mobility on a reasonable level. It also fulfils the sustainability conditions of limited infrastructure requirement and, in a more general way, responds to user and traffic constraints.

Transport policy should enhance their use by maximising the 'pull' elements of the following four key levers:

- Infrastructure adaptation
- Traffic code adaptation
- Rider access conditions
- Rider responsibilities

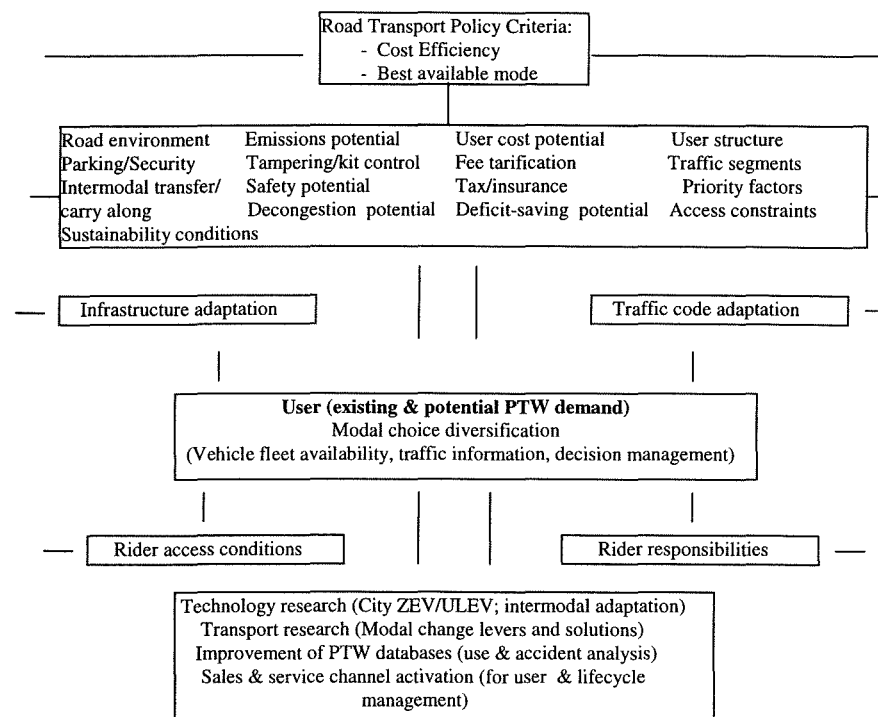
Examples of priority measures for each key lever are given in section 6.2.

Supporting programmes with input of material and immaterial resources from public authorities, industry and other sources could add to the role PTWs are likely to play in raising the ceiling of sustainability in urban transport.

Technology research for advanced city vehicle configurations as well as intermodal adaptation and transport research looking at the potential of improving the cost efficiency of the urban transport system would be fundamental. Databases on PTW

Chart H

Flow Chart of PTW Urban Transport Strategy



use and safety factors would have to be improved. Programmes on sales and service channel activation for users and vehicle life cycle management could also prove helpful.

6.2 Specific action

More specifically, transport policies on the European, national and local level could capitalise on the benefits PTWs provide by taking actions on several fronts.

6.2.1 Infrastructure

The performance of road vehicles in terms of safety and emission depends to a large extent on the quality of the infrastructure available to them. Two-wheeled vehicles do not actually wear off road surfaces nor do they require roads constructed to resist heavy axle loads. However, some adjustment of the existing road

infrastructure would be needed to make riding powered two-wheelers safer and more attractive.

Today's road network is basically conceived for cars, buses and commercial vehicles. Shaping it according to the needs of PTW users would not require huge investments. It should be realised, however, that cast metal sewage covers, potholes, road bumps as well as rain grooves and tram rails can be dangerous for PTW riders. Also when it comes to the choice of asphalt types, paints rail guards as well as building and design standards more thought should be given to the needs of two-wheelers and to the risks that might be created by choosing wrong designs.

As has been pointed out already, part of the adjustments which might encourage the use of PTWs in urban traffic would be the creation of safe parking spaces with lockers for the storage of helmets at railway stations, shops, offices at schools. While such facilities are available in some cities, there is not yet adequate recognition of their importance for the role PTWs could play in the urban transport system.

Being themselves instruments serving to optimise the use of urban road capacity, PTWs should also be included in traffic management schemes by telematics. At present, traffic guidance by telematics is still in its infancy, but as it develops and is becoming standardised in order to improve traffic flow, thereby saving time, reducing accident risks and cutting emissions, the information provided should also be made available to riders of PTWs.

Taking better account of the infrastructural needs of PTWs would not actually lead to a substantial increase in public expenditure. It could however make a sizeable contribution to make urban traffic more sustainable.

6.2.2 Traffic codes

Adjusting traffic codes to the needs of PTW users would actually work in the same direction. As part of a new strategic approach to the problem of urban mobility the use of PTWs could be encouraged by

- giving PTWs access to bus lanes, high occupancy lanes and other reserved lanes;
- allowing PTWs to filter through slow or standstill traffic;
- giving low and zero emission PTWs free and unrestricted access to city centres closed to individual motorised traffic;
- providing for double stop lines with the advanced line assigned to PTWs.

Again, some cities have set examples to that effect. What would be needed, however, is a EU-wide harmonised approach.

6.2.3 Rider access conditions

At present, licensing systems for motorcycles differ between countries in Europe. In order to enhance the correct and safe use of PTWs, it would be necessary to

- further harmonise the existing licensing systems within the EU,
- implement the licensing options offered by the EU Directive 91/439 with minimum variance within Europe,
- generally recognise and maintain the equivalence of the A1 licence and the car licence.

This would help to arrive at one single specification for each class of motorcycles throughout the EU. It would give potential users early age access to PTWs and provide for a 'step-up' as advocated in the Driving Licence Directive. While increasing riders' consciousness, this would work particularly to the benefit of the city-users segment (students, young people, etc.):

- The A1 type of PTW (125 cc – 11kW) is likely to be the most suitable kind of vehicle for urban and inter-urban riding and commuting.
- Users of this category of easy-to-ride and user-friendly vehicles should be granted a simplified licence.
- Intermodal solutions (car – PTW) could develop more easily. Drivers of cars would be given a wider range of mobility options and encouraged to use PTWs in combination with the car or as an alternative where opportune.

A package of different measures might be required to fully exploit the benefits PTWs are likely to provide in urban traffic by relieving congestion and enhancing individual mobility cities and towns depend upon at the same time.

Today, there are still special, above-average VAT rates on PTWs in some countries. These rates are hardly justified. On the contrary, there might be a case for granting fiscal incentives to PTW users to the extent that by encouraging their use the demand for road space can be reduced. Such incentives could take the shape of preferential rates of registration fees and/or annual road taxes for zero/low emission vehicles.

At present PTWs are often discriminated against when using toll roads, e.g. road tolls are collected according to the number of axles. Energy efficiency and space occupancy would be more adequate criteria.

The demand is not for subsidising PTW use in any form, but rather to reposition it as a means of transport, which offers a number of clear advantages to society.

6.2.4 Rider responsibility

PTW riding being the most personalised form of motor vehicle traffic, PTW transport demand shows extreme sensitivity to user-oriented regulatory intervention, but also provides high potential benefits of building rider responsibility.

All action with the preceding policy levers, and particularly all local measures inducing PTW-relevant modal shift, should be based on rider perception models and dialogue for maximum effectiveness.

Traffic management systems and local access restrictions should include specific PTW user orientation.

Rider motorization at entry age should be used as a building stone for local traffic discipline and traffic stakeholder trust.

Other areas of community action for rider responsibility:

- discouragement of PTW tampering or kit installation,
- road-side controls,
- PTW road safety campaigns with joint public and private funding,
- interdisciplinary in-depth PTW accident analysis with public funding and causation factor action with rider organisations and other stakeholders,
- commitment to advanced rider training.

In conclusion, motorcycles are multi-purpose vehicles, but it is the role of PTWs in urban traffic, which seems to be attracting attention more easily. PTWs are an economical, realistic means of transport, especially for short local trips, which make up many of our everyday journeys. Making motorcycling easier, safer and more convenient would contribute to reduce congestion and improve the environment, while taxpayers would not have to bear any additional effort. There is reason to believe that more widespread use of PTWs would help to improve urban traffic flows and the accessibility of city centers. But, in order to capitalise on the potential of improvement PTWs offer, action is required on a number of fronts: better and safer provision for non-car road traffic, secure parking facilities at stations, town centers, schools and work places and adjustment in road infrastructure to reduce accident risks. Much can be done, particularly at the local level, to improve conditions for the use motorised two-wheelers. The key element for the success of such a policy is the rider, which is the mobility user. He is the one making the final choices and making use of the means that best suit his needs.

“It is rarely possible to convince somebody already very successful through his actions that it would be a good idea to change his style. And this is why fortunes change in life; for while times constantly change, people remain the same”.

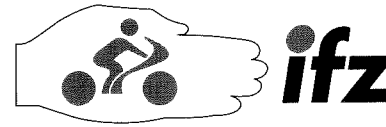
N. Machiavelli

References

- [1] ACEM: External Costs and Benefits of Powered-Two-Wheelers / Brussels / 1996.
- [2] ACEM/IMMA: Motorcycle Safety: A Decade of Progress
- [3] F. Amani: 'Gli autotrasporti italiani nel 1992', in: Rivista 'Ingegneria Ferroviaria', No. 8 / Agosto 1993.
- [4] Automobil Club d'Italia (ACI): 'Costi analitici di esercizio' - Roma / ottobre 1996.
- [5] H. Baum: 'Der volkswirtschaftliche Nutzen der Nutzfahrzeuge' - Paper presented at the International Press Workshop organised by the VDA, May 22/23 1996.
- [6] K. Button: Overview of Internalising the Social Costs of Transport - ECMT/OECD / Paris / 1994.
- [7] Bundesverkehrsministerium, 'Verkehr in Zahlen', Bonn, several editions.
- [8] J.-R. Carré: La bicyclette: une mode de déplacement méconnue dans ses risques comme dans ces usages, in: Recherche Transport Sécurité - No. 49 / Decembre 1995
- [9] Centre de Recherches et d'Etudes sur Paris et l'Ile-de-France: 'Villes: La solution 2 roues' - Paris / 1996.
- [10] H. Enderlein und U. Kunert: Berechnung der Kosten und der Ausgaben für die Wege des Eisenbahn-, Straßen-, Binnenschiffs- und Luftverkehrs in der Bundesrepublik Deutschland für das Jahr 1987 - Berlin / 1990.
- [11] EU-Commission: 'Future of Transport RTD - Urban Transport Research', Report on the hearings with experts and interested parties - 19-20 June 1996.
- [12] EU-Commission Green Paper, 'The Citizens' Network' - Brussels / 1996.
- [13] EU-Commission: 'Towards fair and efficient Pricing in transport - policy options for internalizing the external costs of transport in the European Union, Green Paper - Brussels / 1996.

- [14] Infratest, 'Verkehrsprobleme im öffentlichen Bewußtsein', Results from different surveys carried out for the Verband der Automobilindustrie e.V.
- [15] IRTAD, OECD – International Road Traffic and Accident Database.
- [16] IVM, Industrie-Verband Motorrad Deutschland e.V., Jahresbericht 1995.
- [17] IMMA: 'Motorcycle Noise: The Curious Silence', A report by the motorcycle Industry / June 1996.
- [18] MVEG: 'Pollution Research Programme on Powered Two- and Three-wheeled Motor Vehicle Emissions', Report of the Motor Vehicle Emissions Group / 25 March 1992.
- [19] Österreichisches Statistisches Zentralamt, Sonderheft der Kraftfahrzeuge in Österreich 1995.
- [20] F. Papon: L'usage de la bicyclette en France d'après l'enquête transport 1993-1994, manuscript published in 1996.
- [21] Planco Consulting GmbH: Externe Kosten des Verkehrs: Schiene, Straße, Binnenschifffahrt, Gutachten im Auftrag der Deutschen Bundesbahn – Essen / 1991.
- [22] E. Quinet: 'The Social Cost of Transport: Evaluation and Links with Internalization Policies', in ECMT/OECD, 'Internalizing the social cost of transport', ECMT – Paris / 1994.
- [23] INFRAS/IWW (1995): 'External effects of transport' – Zürich/Karlsruhe / 1994.
- [24] Royal Commission on Environmental Pollution: 'Eighteenth Report, Transport and the Environment', HMSO – London / 1994.
- [25] Statistisches Bundesamt, Fachserie 8, Verkehr, Reihe 7, Verkehrsunfälle, several editions.
- [26] The Department of Transport: 'Cycling in Great Britain', Transport Statistics Report, HMSO – London / August 1996.
- [27] The Department of Transport: 'Transport Statistics Great Britain – 1995 Edition, HMSO – London / September 1995.
- [28] Transport – The Way Forward, The Government's Response to the Transport Debate, HMSO – London / 1996.
- [29] Verband der Automobilindustrie e.V. (VDA), International Auto Statistics, several editions.

- i 'Pollution Research Programme on Powered Two- and Three-wheeled Motor Vehicle Emissions', Report of the Motor Vehicle Emissions Group, March 25 1992.
- ii In a test recently carried out, the French paper 'Liberation' had two reporters travel from the Place de la Nation to the Place de l'Etoile during the rush hour. The one travelling on 'motocyclette' took 22 minutes, the one using a car two hours.
- iii E. Quinet, 'The Social Cost of Transport: Evaluation and Links with Internalization Policies', in ECMT/OECD, 'Internalizing the social cost of transport', ECMT, Paris, 1994
- iv F. Papon, L'usage de la bicyclette en France d'après l'enquête transport 1993-1994, manuscript published in 1996
- v IMMA, 'Motorcycle Noise: The Curious Silence', A Report by the Motorcycle Industry
- vi The directive itself creates unnecessary technical product differentiations as it allows member states to choose between different options of technical criteria in transposing the directive. This creates the need to develop different product variants, leads to duplicate type approval and segments markets. Full harmonisation at the time of the review of the directive in 2001 is not yet ensured.



INSTITUT FÜR ZWEIRADSICHERHEIT e.V.

Forschungshefte Zweiradsicherheit

Bisher erschienen:

Band 1

**Koch, Hubert:
Stufenführerschein
für motorisierte
Zweiradfahrer**

Synopse der vorliegenden Modelle und Untersuchung der empirischen Grundlagen. Unter Mitarbeit von Dorothee Böhmer. Bochum, 1983 (vergriffen).

Band 2

**Schüler, Florian u. a.:
Der Körperanprall
gegen Schutz-
planken beim
Verkehrsunfall
motorisierter
Zweiradbenutzer**

Bremerhaven, 1984. (vergriffen).

Band 3

**Koch, Hubert (Hrsg.):
Der Motorradunfall**

Beschreibung, Analyse, Prävention. Bremerhaven, 1986. 29,- DM

Band 4

**Bayer, Bernward:
Das Pendeln und Flattern
von Krafrädern**

Untersuchungen zur Fahrdynamik von Krafrädern unter besonderer Berücksichtigung konstruktiver Einflußparameter auf die Hochgeschwindigkeitsgeradeausstabilität. Bremerhaven, 1986. (vergriffen).

Band 5

**Koch, Hubert (Hrsg.):
Passive Sicherheit für
Zweiradfahrer**

Referate des 2. Bochumer Workshops für Zweiradsicherheit. Bochum, 1987. 29,- DM

Band 6

**Koch, Hubert (Hrsg.):
Motorradfahren.
Faszination und Restriktion**

Bochum, 1990. 49,- DM

Band 7

Safety - Environment - Future

Proceedings of the 1991 International Motorcycle Conference. Bochum, 1991. 98,- DM

Band 8

**Sicherheit -
Umwelt -
Zukunft II**

Tagungsband der 2. internationalen Motorradkonferenz 1998.

**Safety -
Environment -
Future II**

Proceedings of the 1998 International Motorcycle Conference. Essen, 1998. 48,- DM