



Nr. 3

Der Motorradunfall Beschreibung, Analyse, Prävention

**herausgegeben
von Hubert Koch**

**Institut für
Zweiradsicherheit e. V.
Bochum**

ISSN 2701-522X

**Forschungshefte
Zweiradsicherheit
herausgegeben
von Hubert Koch**

**Forschungshefte
Zweiradsicherheit,
herausgegeben
von Hubert Koch,
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.**

**1. Auflage
© Institut für
Zweiradsicherheit e. V.
Bochum 1986**

**Druck und Verlag:
Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue
Wissenschaft GmbH
Postfach 101110
2850 Bremerhaven
Tel. 04 71 / 4 60 93 - 95
ISBN: 3-88314-488-6
ISSN: 0175 - 2626**

**Der
Motorradunfall
Beschreibung,
Analyse,
Prävention**

**herausgegeben
von Hubert Koch**

**Institut für
Zweiradsicherheit e. V.
Bochum**

**Forschungshefte
Zweiradsicherheit
herausgegeben
von Hubert Koch**

v.

v

5
6

Abstract

Die Autoren des vorliegenden Bandes geben einen differenzierten Einblick in den Stand der Motorradunfallforschung heute. Sie beschreiben das Unfallgeschehen statistisch und analysieren es hinsichtlich zahlenmäßiger Zusammenhänge sowie der Verletzungsfolgen. Weitere Schwerpunkte bilden die Analyse des Fahrerverhaltens im Zusammenwirken mit dem Motorrad sowie eine Untersuchung der durch das Motorrad erzeugten Beanspruchung. Schließlich werden Verbesserungsmöglichkeiten aus technischer und verhaltenswissenschaftlicher Sicht diskutiert. Eine Sonderpublikation ist der Fahrdynamik von Motorrad-Seitenwagen-Gespannen gewidmet.

The authors represented in these proceedings give an overview of the present status of motorcycle accident research. They statistically describe the accident situation and analyse its numerous factors and long-term injuries. Further emphasis is put on rider's behaviour together with the dynamics of the motorcycles. The demands caused by the motorcycles are investigated. Finally, possibilities of improving safety are discussed, both from technical and behavioural point of view. A special publication describes the dynamics of motorcycles with side-cars.

Les auteurs de volume présenté donnent un aperçu différentié sur l'état actuel de la recherche d'accidents motocyclistes. Ils décrivent statistiquement les événements d'accidents et analysent cela à l'égard des corrélations statistiques et des conséquences des blessures. Une autre élément central est l'analyse du comportement des conducteurs en relation avec la moto et une recherche sur l'effort causé par la moto. Enfin ils discutent les possibilités d'une amélioration à vue technique et à vue du comportement de la science. Une publication spéciale est voué à la dynamique de conduite des motos à side-cars.

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Vorwort	III
Koch	
Motorradunfallforschung heute. Einführung des Herausgebers	V
Kroj, Stöcker	
Statistische Analyse der Unfall- und Bestandsentwicklung motorisierter Zweiräder	1
Appel, Otte, Wüstemann	
Epidemiologie von Unfällen motorisierter Zweiradfahrer in der Bundesrepublik Deutschland - Sicherheitsaspekte -	47
Engels	
Analyse des Unfallgeschehens mit motorisierten Zweirädern auf der Basis des von der Polizei erhobenen Unfalldatenmaterials	93
Hackenberg	
Ein Beitrag zum Fahrereinfluß auf die Fahrdynamik des Kraftrades	113
Huber, Lehmann, Keul	
Veränderungen der Herzfrequenz und der Stoffwechselfparameter beim Langzeit- motorradfahren und Motorradbergrennen	131

Otte, Suren

Verletzungen und deren Langzeitfolgen
bei verunfallten motorisierten
Zweiradbenutzern 175

Schüler, Schmidt

Unfallanalytische und biomechanische
Aspekte des Motorradunfalles unter
besonderer Berücksichtigung der
Funktion von Kraftfahrerschutzhelmen 197

Danner, Langwieder, Sporer

Unfälle motorisierter Zweiradfahrer
- Sicherheitserhöhung durch technische
Maßnahmen aus der Kenntnis des realen
Unfallgeschehens - 215

Bayer, Breuer

Experimentelle Untersuchungen an Motorrad-
fahrerschutzbekleidung unter besonderer
Berücksichtigung von Schutzhandschuhen 241

Flügel, Koch

Unfallprophylaxe durch Ausbildung 277

Sonderpublikation

Bayer

Überlegungen zur Stand- und Kippstabilität
von Kraftrad-Seitenwagen-Gespannen 295

Literaturverzeichnis

327

Verzeichnis der Forschungsstellen

345

Vorwort des Herausgebers

Am 07. und 08. Februar 1983 fand in Bochum der "Erste Bochumer Workshop zur Zweiradsicherheit" des Instituts für Zweiradsicherheit statt. Entgegen der ursprünglichen Planung ließ sich eine Publikation der Referate als Kongreßbericht zunächst nicht realisieren. Wegen der trotz des langen Zeitverzuges nicht abreißen Nachfrage nach vielen der dort gehaltenen Vorträge habe ich mich entschlossen, den jetzt vorliegenden Band in der Schriftenreihe "Forschungshefte Zweiradsicherheit" herauszugeben und damit eine Auswahl der Vorträge der wissenschaftlichen Öffentlichkeit in einer zitierfähigen Fassung zugänglich zu machen. Nicht berücksichtigt habe ich die Beiträge, die einen stark aktuellen Bezug hatten oder die in der Original- oder einer ähnlichen Version zwischenzeitlich anderweitig veröffentlicht wurden. Stattdessen habe ich auch 2 Beiträge aufgenommen, die im thematischen Umfeld wichtig sind, wenngleich sie nicht als Referate auf dem Workshop gehalten worden sind [Danner; Langwieder; Sporer: S. 215; Bayer: Seite 295]. Hauptaspekte der Thesen sowie Tenor und Ergebnisse der Diskussionen habe ich, soweit heute noch relevant, in der "Einführung des Herausgebers" verarbeitet.

Wenngleich also nicht Tagungsbericht im engeren Sinne, kann dieser Band doch die wesentlichen Gedanken des Workshops und der folgenden Diskussionen wiedergeben. Der zeitliche Stand ist etwas uneinheitlich. Während die Original-Workshop-Beiträge vom Februar 1983 datieren, entstand die thematische Einführung im Dezember 1985. Einige Autoren nahmen zwischenzeitig die Gelegenheit wahr, ihre Beiträge zur Veröffentlichung noch einmal zu aktualisieren, andere dagegen zogen es vor, sie auf dem Originalstand des Workshops zu belassen.

Der Band soll einen Querschnitt der derzeitigen bundesdeutschen Bemühungen um die wissenschaftliche Erforschung des Themenfeldes "Zweiradsicherheit" vermitteln. Um dem Leser auch einen praktischen Überblick zu geben, habe ich am Schluß des Bandes eine Übersicht über einige wichtige Forschungsstellen und deren Arbeitsschwerpunkte aufgenommen (S. 345). Somit kann jeder Interessierte auch direkt Kontakte aufnehmen, wenn er weitergehenden Gedankenaustausch wünscht.

Allen Autoren möchte ich für ihre Unterstützung bei der Zusammenstellung dieses Bandes und für ihre engagierte Hilfe bei der Überarbeitung und Korrektur der Beiträge danken.

Mein besonderer Dank gilt aber Reiner Brendicke und Ellen Merten für unermüdlichen, selbstlosen Einsatz bei der Erstellung des Bandes. Während Reiner Brendicke die Kommunikation mit den Autoren und die redaktionelle Betreuung mit hoher Gewissenhaftigkeit, Akribie und Sachverstand betrieb, gestaltete Ellen Merten mit viel Liebe, Mühe und Fleiß das Manuskript.

Bochum, im Dezember 1985

Hubert Koch

**Motorradunfallforschung heute.
Einführung des Herausgebers.**

Hubert Koch

Gliederung

Kapitel		Seite
1.	Motorradboom und Unfallforschung	VII
2.	Die Beiträge dieses Bandes	VIII
2.1	Beschreibung des Unfallgeschehens	VIII
2.2	Analyse des Fahrverhaltens und des Unfallgeschehens	X
2.3	Verbesserungsmöglichkeiten aus technischer und verhaltenswissenschaftlicher Sicht	XI
3.	Die Grenzen des aktuellen Forschungsstandes	XIII
3.1	Analyse des Unfallgeschehens	XIII
3.1.1	Datenbasis	XIV
3.1.2	Fahrerbezogene Variablen	XV
3.1.3	Kollisionstypen	XVI
3.1.4	Pre-Crash-Phase	XVI
3.1.5	Unfallfolgen	XVII
3.2	Schutzmöglichkeiten aus technischer Sicht	XVIII
3.2.1	Fahrzeug Motorrad	XVIII
3.2.2	Andere Fahrzeuge	XIX
3.2.3	Verkehrsumwelt	XX
3.2.4	Fahrerschutzkleidung	XXI
3.2.5	Helme	XXII
3.3	Schutzmöglichkeiten aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht	XXIII
4.	Die Komplexität des Forschungsgegenstandes und die Anforderungen der Zukunft	XXVII

1. Motorrad-Boom und Unfallforschung

10 bis 15 Jahre dauerte es, bis sich die wissenschaftliche Forschung in der Bundesrepublik Deutschland dem Problembereich zuwandte, der mit dem sogenannten Motorrad-Boom am Ende der 60er Jahre entstanden war. In dieser Zeit erhöhten sich die jährlichen Zulassungszahlen von 3.564 1965 über 8.254 1970 bis 122.135 1980, stiegen die Unfallzahlen von 30.921 1965 auf 52.371 1981, ohne daß eine breitere wissenschaftliche Reaktion erfolgte.

Zwei wissenschaftliche Veranstaltungen markieren eine erste vorsichtige Annäherung der Wissenschaft an das Problem, nämlich das gemeinschaftliche AFO/GUVU-Seminar für Sachverständige 1977 [Die Sicherung des Zweiradverkehrs - Köln, 1978] und das Symposium des TÜV Rheinland [Sicherheit bei motorisierten Zweirädern - Köln, 1981], beide in Köln. Ab Ende der 70er Jahre finden sich auch in den Forschungsprogrammen der Bundesanstalt für Straßenwesen die ersten speziellen Motorradprojekte, beispielsweise Jessl, P.; Rüter, G.: Analyse des Entwicklungsstandes des passiven Unfallschutzes für motorisierte Zweiradfahrer, 1978.

Auf breiterer Ebene ist die Reaktion der Wissenschaft auf die neuen Probleme ablesbar in der Anzahl einschlägiger Dissertationen und Diplomarbeiten, die gehäuft etwa ab 1980 herum geschrieben wurden. Der "Erste Bochumer Workshop zur Zweiradsicherheit" 1983 vom Institut für Zweiradsicherheit in Bochum veranstaltet, war die erste mehrtägige, interdisziplinäre fachwissenschaftliche Tagung, die sich ausschließlich den Fragen des Motorradunfalls, seinen Ursachen und Möglichkeiten der Prophylaxe widmete.

2. Die Beiträge dieses Bandes

Bei der noch in den Anfängen steckenden wissenschaftlichen Beschäftigung nimmt es nicht wunder, daß bis heute eine einheitliche Betrachtungsweise ebenso wenig vorliegt, wie eine einheitliche Terminologie. Mit der hier vorliegenden Sammlung von Einzelbeiträgen wird zwar nicht der "Stand der Forschung" an sich dokumentiert, es werden aber einige Aspekte des Problems beleuchtet. Dies kann zur Erhöhung des Problembewußtseins und zur genaueren Formulierung von Fragestellungen für die weitere Forschung dienen, die dringend nötig ist. Definitive Antworten auf die Forschungsfragen lassen sich bislang nur in Ausnahmefällen formulieren.

Einfacher ist es für den an eher praxisnahen Konsequenzen interessierten Leser, bei vielen Einzelfragen Ergebnisse und Handlungsanweisungen für den täglichen Umgang mit Motorrädern abzuleiten.

Die Beiträge gliedern sich in drei Gruppen und eine Sonderpublikation wie folgt:

1. Beschreibung des Unfallgeschehens
2. Analyse des Fahrverhaltens und des Unfallgeschehens
3. Verbesserungsmöglichkeiten aus technischer und verhaltenswissenschaftlicher Sicht
4. Sonderpublikation zur Fahrdynamik von Kraftrad-Seitenwagengespannen.

2.1 Beschreibung des Unfallgeschehens

Die Darstellungsfolge Problembeschreibung - Problemanalyse - Problemlösung wird eröffnet vom Beitrag **Kroj; Stöcker** (S. 1), die eine "**Statistische Analyse der Unfall- und Bestandsentwicklung motorisierter Zweiräder**" vorlegen. Die Autoren liefern auf der Basis des vorliegenden amtlichen und privaten Datenmaterials einen breiten, fundierten

Überblick über die zahlenmäßigen Hintergründe und Zusammenhänge, und zwar jeweils getrennt für alle Klassen motorisierter Zweiräder. Durch Vergleiche der dargestellten Daten mit unterschiedlichen Bezugsgrößen (Ausland, Pkw, Bestand, Fahrleistung usw.) wird der Aussagegehalt deutlich erhöht.

Ebenfalls mit einem zahlenmäßigen Gesamtüberblick über das Unfallgeschehen und vergleichenden Risikoabschätzungen beginnen **Appel; Otte; Wüstemann** (S. 47) ihren Beitrag "**Epidemiologie von Unfällen motorisierter Zweiradfahrer in der BRD - Sicherheitsaspekte**", um dann in einem ersten Überblick die Unfallursachen zu betrachten, wobei Unfallursachen, die sich aus der besonderen Fahrdynamik des Motorrades ableiten, ebenso diskutiert werden wie solche, die in der Persönlichkeit des Fahrers liegen. Neben Ausführungen zur Kinematik des Motorradunfalls geben die Autoren schließlich noch einen ersten Überblick über mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der aktiven und passiven Sicherheit beim motorisierten Zweirad.

Engels (S. 93) legt eine "**Analyse des Unfallgeschehens mit motorisierten Zweirädern auf der Basis des von der Polizei erhobenen Unfalldatenmaterials**" vor, womit er dem Leser eine genauere Beschreibung des Unfallgeschehens anhand vieler Einzelvariablen, aufbauend auf einer sehr großen Datenbasis, vermittelt. Weit mehr als die üblichen Darstellungen erlaubt diese eine äußerst differenzierte Betrachtung und Beantwortung von Einzelfragen, beispielsweise bezüglich der Unfallart, der Charakteristik der Unfallstelle, der Bedingungen am Unfallort wie Lichtverhältnisse, Straßenverhältnisse, Ortslage, Unfalltyp etc., aber auch der Unfallursachen und wichtiger fahrerbezogener Daten wie Alter, Geschlecht etc..

Zusammengenommen spiegeln die 3 Beiträge den gegenwärtigen Erkenntnisstand über den Motorradunfall auf deskriptiver Ebene recht gut wider. Sie ermöglichen dem Leser eine gesamtstatistische Orientierung für eigene Überlegungen, und sie liefern die Basis für die im folgenden beschriebenen Arbeiten.

2.2 Analyse des Fahrverhaltens und des Unfallgeschehens

Vier Beiträge beschäftigen sich intensiver mit Aspekten des Fahrerverhaltens beim Motorradunfall und einer genaueren Betrachtung des Unfallgeschehens und der Unfallfolgen. **Hackenberg** (S. 113) geht der wichtigen Frage des Einflusses des Fahrerverhaltens bei unterschiedlich qualifizierten Fahrern auf die Geradeausstabilität nach. In seiner Arbeit "**Ein Beitrag zum Fahrereinfluß auf die Fahrdynamik des Kraftrades**" versucht er, die individuellen Belastungen der Motorradfahrer im Bereich der subjektiven Höchstgeschwindigkeit zu erfassen. Seine Arbeit markiert den Einstieg in ein fast unbekanntes, trotzdem aber für die weitere Diskussion eminent wichtiges Forschungsgebiet, nämlich das Zusammenwirken von Fahrer und Fahrzeug im Mensch-Maschine-System Kraftrad, in dem erstmals fahrzeugbezogene und fahrerbezogene Parameter synchron erfaßt und im Zusammenhang ausgewertet und interpretiert werden.

Sehr viel genauer als **Hackenberg** beschreiben **Huber; Lehmann; Keul** (S. 131) die Wirkungen und Belastungen des Motorradfahrens auf den Fahrer, wenn sie die "**Veränderungen der Herzfrequenz- und der Stoffwechselfparameter beim Langzeitmotorradfahren und Bergrennen**" untersuchen. Wenngleich sich die Datenerhebung eher auf Extrembereiche des Motorradfahrens erstreckt, weisen die Ergebnisse doch grundlegende Zusammenhänge auf, die auch bei der Erklärung eher "normaler" Zusammenhänge hilfreich sind. Hier gilt, ebenso wie bei **Hackenberg**, daß die Arbeit völliges Neuland erschließt und den Blick für eine große Zahl noch unerforschter Fragen schärft.

Otte; Suren (S. 175) beleuchten den Motorradunfall in einer weitergehenden Analyse primär aus medizinischer Sicht, indem sie "**Verletzungen und deren Langzeitfolgen bei verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern**" beschreiben. Wenngleich die verschiedenen möglichen Verletzungsmuster nur knapp abgehandelt werden, gibt der Beitrag doch einen guten Überblick über verschiedene Dimensionen der Verletzungen (Langzeitfolgen, Komplikationsmöglichkeiten, Schwere, volkswirtschaftliche Aspekte etc.). Die Autoren bieten damit die Ba-

sis für die Arbeiten **Schüler; Schmidt/ Danner; Langwieder; Sporer** und **Bayer; Breuer**.

Schüler und Schmidt (S. 197) stellen mit ihrer Abhandlung "**Unfallanalytische und biomechanische Aspekte des Motorradunfalls unter besonderer Berücksichtigung der Funktion von Kraftfahrerschutzhelmen**" eine Verbindung zwischen der Unfallanalyse und Betrachtungen der Unfallfolgen einerseits und der Schutzmöglichkeiten andererseits her. Nach Vorschlägen zur späteren Vereinheitlichung und Normierung der Verletzungserfassung durch Definition eines "Unfallschwere-Index" und zur Quantifizierung von Schutzhelmbeschädigungen eines "Schutzhelmbeschädigungsindex" berichten die Autoren über biomechanische Versuche. Im zweiten Teil dann diskutieren sie Möglichkeiten der Optimierung von Schutzhelmen auf der Basis vorliegender Erkenntnisse der Unfallforschung.

2.3 **Verbesserungsmöglichkeiten aus technischer und verhaltenswissenschaftlicher Sicht**

Technischen Verbesserungsmöglichkeiten widmen sich auch die Autoren der nächsten beiden Beiträge, allerdings einmal bezogen auf das Motorrad, einmal bezogen auf Schutzkleidung.

Danner; Langwieder; Sporer (S. 215) stellen in ihrem Beitrag "**Unfälle motorisierter Zweiradfahrer - Sicherheitserhöhung durch technische Maßnahmen aus der Kenntnis des realen Unfallgeschehens -**" in einem Rückgriff aus ihrer Sicht noch einmal kurz die Unfallcharakteristik und die prototypischen Unfallabläufe bei den verschiedenen Gruppen motorisierter Zweiräder dar, bevor sie die Verletzungsmuster in Abhängigkeit verschiedener Konstruktions- und Bauparameter diskutieren. Ein zentraler Punkt ist dabei die Frage "Aufprall" oder "Überflug" bei Kollisionen.

Ergebnisse experimenteller Arbeiten der Autoren bilden dann die Basis für die abschließende Diskussion, die nicht nur die bekannten Prallpolster vor den Beinen des Fahrers, sondern ebenfalls Schutzmöglichkeiten durch Airbags umfaßt.

Neben Helm und Motorrad ist die Schutzkleidung ein weiteres wichtiges Element des passiven Unfallschutzes. Diesem widmen sich **Bayer; Breuer** (S. 221) in ihrem Beitrag "**Experimentelle Untersuchungen an Motorradfahrerschutzbekleidung unter besonderer Berücksichtigung von Schutzhandschuhen**". Wenngleich sich die Autoren paradigmatisch mit Handschuhen beschäftigen, können die Ergebnisse ihrer experimentellen Befunde bezüglich Schutzverhalten in der Rutschsimulation bezogen auf die untersuchten Kriterien weitgehend auf Schutzanzüge übertragen werden.

Auch dieser Beitrag leistet Pionierarbeit, da bislang weder Untersuchungen über die Rutschfestigkeit von Schutzkleidung in der Unfallrealität nachempfundenen Simulationen noch Definitionen zu Anforderungen oder gar Normierungsvorschläge vorliegen.

So, wie sich die Analyse des Unfallgeschehens und der Bedingungsfaktoren nicht auf das Fahrzeug und die Technik beschränken kann, so können Verbesserungen nicht rein technisch erfolgen. Der Beitrag von **Flügel; Koch** (S. 277) mit dem Titel "**Unfallprophylaxe durch Ausbildung**" rückt den Menschen als Fahrer des Motorrades in den Mittelpunkt der Betrachtung und skizziert ein umfassendes, systematisches Rahmenkonzept eines Curriculums für die Ausbildung von Motorradfahranfängern in Fahrschulen.

Die Arbeit von **Bayer**, die den Band beschließt, fällt aus dem thematischen Rahmen. Sie wurde aufgenommen, weil sie einen eigenständigen Beitrag zu einem Randthema liefert, zu dem seit Jahren keine wissenschaftliche Publikation mehr vorgelegt wurde.

3. Die Grenzen des aktuellen Forschungsstandes

Die Fülle der in diesem Band von den Autoren zusammengetragenen Fakten, Daten und empirischen Befunde darf nicht darüber hinwegtäuschen, daß der Forschungsstand zu allen behandelten Problembereichen noch dürftig ist. Die Forschung befindet "sich in einem Stadium des Beginnens und des Suchens, vergleichbar mit der Situation beim Personenkraftwagen in den 50er Jahren" [**Appel; Otte; Wüstemann**: S. 52].

Im folgenden möchte ich einige Fragestellungen umreißen, die, zugeordnet zu den 3 Hauptthemenbereichen dieses Bandes, offen sind und damit als Aufgabe für die Forschung der nächsten Jahre anstehen, nämlich zur Analyse des Unfallgeschehens und zu den Schutzmöglichkeiten aus technischer und verhaltenswissenschaftlicher Sicht.

3.1 Analyse des Unfallgeschehens

Trotz der umfassenden, differenzierten Darstellung in den Beiträgen von **Kroj; Stöcker** sowie **Appel; Otte; Wüstemann** ist das gesamte Wissen um die Zusammenhänge und Bedingungsfaktoren des Motorradunfalls noch dürftig. Erst recht liegt ein stimmiges Gesamterklärungsmodell nicht vor. Dieses Defizit an fundiertem Wissen ist besonders anlässlich der aktuellen Diskussion um die Einführung eines Stufenführerscheins für Motorradfahrer zu Tage getreten.

3.1.1 Datenbasis

Dabei beginnen die Schwierigkeiten schon - eher banal - bei den zur Verfügung stehenden Daten. Obwohl beispielsweise die Leichtkrafträder, früher Kleinkrafträder, sowohl von der Fahrzeugcharakteristik als auch vom Alter der Fahrer (16 bis 18 Jahre) als auch vom Führerschein her (Klasse 1b) völlig eigenständige Fahrzeuge sind, wurden die Unfälle dieser Fahrzeugkategorie bis in die jüngste Vergangenheit mit unter der Rubrik "Motorräder" subsumiert. Eine differenzierte Betrachtung war also nicht möglich.

Auch die Frage, wie sich die vorherige Fahrerfahrung von Motorradfahrern auf Fahrzeugen dieser Kategorie auf ihre Verkehrsbewährung auf Motorrädern der Klasse 1 auswirkt, ist nicht zu beantworten. Zwar wurde ein Stufenführerschein mit obligatorischer Fahrerfahrung auf kleinen Maschinen beschlossen, empirisch prognostizierbar ist aber die Erfolgsquote dieser Maßnahme nicht.

Analog muß konstatiert werden, daß Erkenntnisse über den Einfluß von Motorradfahrpraxis auf die Verkehrsbewährung als Autofahrer und umgekehrt von Autofahrpraxis auf die Bewährung als Motorradfahrer, nicht vorliegen.

Ein weiterer Mangel in der amtlichen Statistik - nicht amtliche zu dieser Frage liegen allerdings überhaupt nicht vor - ist ihre Halterbezogenheit. Verunglückt nämlich ein Motorradfahrer mit einem geliehenen Motorrad, so taucht in der amtlichen Statistik in der Regel der Halter mit seinen persönlichen Daten (Alter, Geschlecht etc.) auf. Für gezielte Ursachendiskussionen ist damit natürlich überhaupt keine Basis gegeben.

Wenngleich - dies mag als letztes Beispiel zu diesem Komplex genügen - generell der Einfluß des Lebensalters, der Leistung des gefahrenen Motorrades und der Dauer der Fahrpraxis auf die Unfallverwicklung bekannt ist, so ist doch bis heute völlig ungeklärt, in welchem Verhältnis diese Faktoren zueinander stehen, wie sie zusammenwirken und wie

sie zu gewichten sind, beziehungsweise welcher der Faktoren den größten Einfluß hat*.

Große Schwierigkeiten bei der vertieften Betrachtung ergeben sich schon daraus, daß nur jeweils Einzeltabellen beispielsweise für Unfallverwicklung nach Lebensalter, nach Leistung des Motorrades etc. vorliegen, Verknüpfungen etwa in der Form dreidimensionaler Kreuztabellen aber nicht greifbar sind. Auch die Lernwege der Motorradfahrer hin zu einer angemessenen, sicheren und unfallfreien Verkehrsteilnahme sind gänzlich unerforscht.

3.1.2 Fahrerbezogene Variablen

Wo schon diese fundamentalen, aus großstatistischen Erhebungen zu gewinnenden Erkenntnisse fehlen, kann es nicht überraschen, wie wenig über nicht quantifizierbare Parameter des Unfallgeschehens bekannt ist.

Über die Wirkung psycho-physischer Variablen auf das Fahrverhalten und die Unfallverwicklung liegen harte empirische Daten ebensowenig vor, wie über so eingängige Faktoren wie erhöhte Risikobereitschaft, Neigung zu Imponierverhalten besonders bei männlichen Jugendlichen, Einfluß des Fahrens in Gruppen, des Fahrzwecks oder Fahrziels. Die Bedeutung und Wirksamkeit dieser und ähnlicher Faktoren soll damit nicht bestritten werden, nur sind sie eben bislang nicht empirisch nachgewiesen.

Dies gilt auch für die Rolle und Bedeutung des Verhaltens anderer Verkehrsteilnehmer den Motorradfahrern gegenüber. Zwar konnte **Engels** (S. 108) eine deutlich größere Häufigkeit der Erstbescheidung von Pkw-Fahrern durch die Polizei nachwei-

* Das beim Institut für Zweiradsicherheit derzeit laufende Forschungsprojekt "Fahrerkarrieren" widmet sich diesen Fragestellungen. Ergebnisse werden im Laufe des Jahres 1986 vorliegen.

sen, eine sichere, belegte Ursache dafür ist jedoch nicht bekannt. Wissensdefizite, beispielsweise über die fahrdynamischen Bedingungen des Motorradfahrens, Wahrnehmungsdefizite, beispielsweise durch die kleine Silhouette des Motorrades oder tiefenpsychologische Komponenten, beispielsweise aus einem Unterlegenheits- oder Neidgefühl heraus sich ergebende aggressive Verhaltensweisen werden gelegentlich in der Literatur genannt, sind aber nicht bewiesen.

3.1.3 Kollisionstypen

Mögen diese Kenntnisdefizite wegen des hohen zur Aufklärung nötigen Forschungsaufwandes noch verständlich sein, so ist die fehlende einheitliche Definitionsbasis über die Erfassung von Zweiradunfällen eher erstaunlich, markiert aber besonders gut den Status Quo. Weder ist bislang beispielsweise der Alleinunfall eindeutig definiert, noch sind die verschiedenen Kollisionstypen bei den unterschiedlichen Forschungsstellen einheitlich beschrieben (vgl. **Otte; Suren** versus **Danner; Langwieder; Sporner**). Deshalb ist beispielsweise das Bemühen von **Schüler** um ein einheitliches Schema und einheitliche Kenngrößen so bedeutsam für die weitere Entwicklung der Forschung.

Weitere gravierende Unklarheit und Widersprüchlichkeit herrscht bezüglich der Unfallkinematik, besonders zwischen **Appel** und **Sporner** hinsichtlich der Frage "Überflug" oder "Aufprall".

Eine standardisierte Bestandsaufnahme der Bewegungsabläufe von Kollisionstypen fehlt also bei der Erforschung des Motorradunfalles noch gänzlich.

3.1.4 Pre-Crash-Phase

Trotzdem ist der Kollisionsablauf noch relativ gut erforscht, beispielsweise durch eine Vielzahl von an verschiedenen Forschungsstellen im In- und Ausland durchgeführten Crashversuchen, vergleicht

man die eigentliche Kollision mit der pre-crash-Phase. Diese muß, besonders bezüglich des Fahrers, noch weitgehend als blackbox gelten. Physiologisch-psychologische Faktoren (**Hackenberg**), Daten zur Beanspruchung (**Keul; Lehmann; Huber**) liegen zwar ansatzweise vor, sind aber unter idealtypischen Laborbedingungen in Normalsituationsexperimenten, nicht in unfallkritischen Phasen erhoben worden. Das bei **Hackenberg** eindrucksvoll dokumentierte Absinken der Pulsfrequenz in dem Moment, in dem der Fahrer den weiteren, freien Verlauf der Kurve erkennt [**Hackenberg**, S. 120], provoziert die Frage, was denn an physiologischer Reaktion und an realem Handeln zu erwarten ist, wenn eben die Kurve nicht als frei, sondern als von einem Hindernis blockiert erkannt wird.

Crashversuche, die naturgemäß nur mit Dummies durchgeführt werden können, verhelfen hier nicht zu weiterem Erkenntnisgewinn. Möglicherweise ließe sich ein geeignetes Untersuchungsdesign bei Verwendung von aktiven Fahrsimulatoren konstruieren. Beantwortet werden müßten dabei etwa die Fragen, wie der Fahrer die Situation wahrnimmt, was in ihm passiert, was er tut, was er tun kann und wie beispielsweise Variablen wie Fahrkönnen, Leistungsvermögen, Fahrerfahrung etc. hier eingehen.

Eine ähnliche Fülle von Fragen besteht bezüglich des Verhaltens des Fahrzeugs in der pre-crash-Phase, beispielsweise zum Schwingungsverhalten, Bremsverhalten, Lenkverhalten, Fahrstabilitätsverhalten, Bremsnicken und Aerodynamik etc.

3.1.5 Unfallfolgen

Große Unsicherheit herrscht aber nicht nur hinsichtlich des Entstehens und des Ablaufs von Unfällen, sondern auch bezüglich der Folgen. Eine genaue, einheitliche und übergreifend gültige Erfassung der Verletzungen und Definition der Verletzungsschwere fehlt (**Otte; Suren**).

Für die genaue Erfassung und Beurteilung der Langzeitfolgen, der Kausalbeziehungen und möglicher

Einflußgrößen ist eine detaillierte Kenntnis der post-crash-Phase unter Einschluß der Verletzungsbedingungen (Schutzkleidung), der Erstrettung sowie der spezifischen Ersttherapie von Bedeutung.

Es bedarf keiner besonderen Erwähnung, daß die fundierte, gesicherte Beantwortung der hier nur cursorisch, ohne Anspruch auf Vollständigkeit aufgeworfenen Fragen eine notwendige Voraussetzung für die gezielte, erfolgversprechende Entwicklung von Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit, sowohl auf den Fahrer als auch auf das Fahrzeug bezogen ist. Schließlich sind fundierte Kenntnisse der Ursachen, Abläufe und Bedingungen des Motorradunfalls auch unverzichtbare Grundlage für spätere Evaluationen der Effizienz ergriffener Maßnahmen.

3.2 Schutzmöglichkeiten aus technischer Sicht

Unter Schutzmöglichkeiten aus technischer Sicht werden hier primär Maßnahmen zur Erhöhung der passiven Sicherheit verstanden. Diese können sich beziehen auf:

- das Fahrzeug Motorrad
- andere Fahrzeuge
- die Verkehrsumwelt
- Fahrerschutzbekleidung
- Schutzhelme

3.2.1 Fahrzeug Motorrad

Der Stand wissenschaftlicher Erkenntnis zu diesem Anwendungsbereich ist relativ gut dokumentiert in den Arbeiten von **Appel; Otte; Wüstemann** und **Danner; Langwieder; Sporer**. Es liegen nicht nur eine Reihe von Arbeiten zur Komponentenentwicklung und Erprobung vor, sondern einige Details sind

schon teilweise in die Serienfertigung eingeflossen.

Allerdings sind hier noch deutliche Entwicklungsfortschritte denkbar und wünschenswert, die eine stärker akzentuierte Umsetzung der Forschungserkenntnisse in das Marktgeschehen bringen kann, um damit der Forschung die Grundlage zu liefern, eine breitere, empirische Überprüfung im Sinne einer Feldevaluation durchzuführen. Während Knieabstützung, angemessene Gestaltung der Tankform, funktionierendes Anti-Dive-System, Entschärfung der Außenkontur, seitlicher Anfahrerschutz für die unteren Extremitäten etc. als Stand der Forschung gelten können, ist der Erkenntnisstand bezüglich des Airbags noch gering, markiert er doch lediglich das Stadium der Komponentenerprobung (**Danner; Langwieder; Sporner**).

Was aber bezüglich der technischen Schutzmöglichkeiten am Fahrzeug vor allem fehlt, ist eine eindeutige, klare und auf einem breiten Konsens von Wissenschaft und Industrie beruhende Zieldefinition dessen, was erreicht werden soll und was erreicht werden kann. Während beim Pkw ein großer Fortschritt in der konkreten Forschungs- und Entwicklungsarbeit durch die Definition des 50 km/h-Frontal-Crashes gegen eine feste Wand erreicht werden konnte, fehlen beim Motorrad noch jegliche Bezugsgrößen.

Hinsichtlich der aktiven Sicherheit ist die in der Endphase befindliche Entwicklung und Erprobung von ABV-Systemen bemerkenswert, liefert sie doch Möglichkeiten, den Schwachpunkt Mensch im System Fahrer/Fahrzeug in seiner Bedeutung zu reduzieren, indem die Technik an die Leistungsfähigkeit des Menschen angepaßt wird.

3.2.2 Andere Fahrzeuge

Hier verläuft die Entwicklung eher schleppend, wengleich Ansätze vorhanden sind, beispielsweise beim Forschungsfahrzeug der vier Hochschulinsti-

tute Uni-Car*, in den neuesten Untersuchungen von Opel/DEKRA** sowie in den Forschungen am Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Hochschule Berlin***. All diese Bemühungen lassen sich zusammenfassen unter den Begriffen "Reduzierung der Formaggressivität der Fahrzeugaußenkontur", sowie Schaffen von Energieabsorptionsmöglichkeiten (beispielsweise Dachkante).

Für das weitere Vorantreiben dieser Forschungen ist es sicher vorteilhaft, daß Maßnahmen, die für Zweiradfahrer positiv wirken, auch einen verbesserten Schutz für Fußgänger bedingen.

Auch hier allerdings fehlt eine konkrete, einheitliche Zielprojektion. Ohne von einem breiten Konsens getragene Anforderungsprofile und Entwicklungsziele ist die weitere Forschung und Entwicklung gehemmt. Dabei sind diese Vorgaben unverzichtbar, denn nur dann, wie es in der Lernziel-diskussion der vergangenen Jahre hieß, wenn man weiß, wo man hinwollte, kann man später feststellen, ob man auch angekommen ist.

3.2.3 Verkehrsumwelt

Dieser Bereich ist von allen sicherlich am wenigsten weit entwickelt und erforscht. Lediglich

-
- * Uni-Car: d. Forschungsprogramm d. Hochschularbeitsgemeinschaft; Schlußbericht; Berichtszeitraum 1.10.1979 - 31.12.1982 / IKA Aachen; IFT Berlin; FKFS Stuttgart; FZD Darmstadt. - Darmstadt, 1983
 - ** Grandel, J.; Schaper, D.: Aufprallmechanik, Kopfbelastung und Schutzhelmwirkung bei Motorrad/Personenwagen-Kollisionen In: AtZ: Automobiltechnische Zeitschrift, 1985
 - *** Appel, H; Otte, D.: Der Beitrag anderer Kraftfahrzeuge zur passiven Sicherheit von Krafträdern, Vortrag zur Tagung 100 Jahre Motorrad der VDI-Gesellschaft Fahrzeugtechnik - München, 1985

hinsichtlich eines Bauteils, der Schutzplanke und den Möglichkeiten der Entschärfung ist seit der Publikation des Berichtes zum Forschungsauftrag des Instituts für Zweiradsicherheit größere Bewegung in die Forschung gekommen [Schüler; Bayer; Mattern; Helbling: 1984 (116)].

Nach der Entwicklung einer Pfostenummantelung sind nicht nur weitere Wirksamkeitsanalysen (Schüler/Jessl) durchgeführt worden, sondern auch die weitere Umsetzung und weitergehende Erprobung der Wirksamkeit im Feld wird intensiv betrieben. Weitere fruchtbare Auseinandersetzungen und Weiterentwicklungen sind vom Zweiten Bochumer Workshop zur Zweiradsicherheit des Instituts für Zweiradsicherheit Februar '86 zu erwarten.

Was hier fehlt, ist allerdings noch eine breite Feldevaluation, die den Beweis der Wirksamkeit der entwickelten Maßnahme in einer zur statistischen Absicherung genügend großen Stichprobe überprüft.

3.2.4 Fahrerschutzbekleidung

Schwedische Arbeiten von Aldman u.a. haben zu forschungsmäßigen Innovationen und Fortschritten bei der Produktentwicklung geführt. Allerdings fehlen auch hier genaue Erkenntnisse über die Wirksamkeit aus Untersuchungen des realen Unfallgeschehens, wengleich in Deutschland wichtige Arbeiten geleistet wurden*.

* Schutzkleidung für motorisierte Zweiradfahrer / Max Danner u.a. / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Bergisch-Gladbach, 1984. (Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung; 107)

Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Bergisch-Gladbach, 1983-1985. - Bd. 1 - 3. (Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung)

Während die Wirkung einer vollständigen Schutzkleidung hinsichtlich der Reduzierung von Schürf- und Brandverletzungen, der Verringerung offener Frakturen, der Vermeidung von Komplikationen, der Reduzierung der Krankenhausverweildauer sowie der Minderung von Langzeitverletzungsfolgen eher als gegeben angenommen werden kann, ist die Möglichkeit einer Energieabsorption beim Aufprall noch weitgehend unerforscht. Es fehlen genaue Analysen der Verletzungsmuster ebenso wie aus biomechanischen Versuchen abgeleitete Belastungsgrenzwerte verschiedener Körperpartien und somit Wirkvorgaben für die Elemente der Schutzkleidung Fahranzug, Stiefel, Handschuhe etc. Somit ist es natürlich derzeit auch noch nicht möglich, Normen für eine aus Sicht der Unfallforschung gute Schutzkleidung zu definieren und gegebene Exponate objektiv, valide und reliabel zu begutachten.

Der Vergleich mit der Standardvorgabe des 50 km/h-Crash gegen eine feste Wand beim Pkw macht hier erneut den mäßigen Stand wissenschaftlicher Erkenntnis und Diskussion deutlich.

3.2.5 Helme

Beim Helm ist die wissenschaftliche Kenntnis sicher am weitesten vorangeschritten. Die positive Schutzwirkung des Integralhelms ist bewiesen, Wirkungsgrenzen sind erkannt und an einer Beseitigung noch bestehender Schwachpunkte (z.B. Kinnriemen, Visiere etc.) wird intensiv gearbeitet. Mit der Einführung der ECE 22/02 ist auch auf dem Gebiet der Normung ein wichtiger Schritt getan, wenngleich Details aus Forschungssicht sicher weiter optimierbar bleiben (z.B. Doppelschlag).

Aus wissenschaftlicher Sicht unbefriedigend ist der derzeitige Stand der gesetzmäßigen Umsetzung. Es ist dringend erforderlich, die Bestimmungen der ECE 22/02 nicht nur für die Helmprüfung vorzuschreiben, sondern in die Helmtragepflicht gemäß § 21a StVZO zu übernehmen.

Neben der weiteren Erforschung der Zusammenhänge und neben der weiteren Verbesserung der einzelnen Elemente des passiven Unfallschutzes wird es in

Zukunft besonders auf die Entwicklung eines integrierten Gesamtkonzeptes aller Einzelkomponenten ankommen. Ein sicher konstruiertes Motorrad und sicherheitsmäßig optimierte Pkw/Lkw sowie Bauteile des Verkehrsumfeldes (beispielsweise ummantelte Leitplankenpfosten) im Verbund mit wirkungsvoller Fahrerschutzbekleidung (Helm, Anzug, Stiefel, Handschuhe) kann einen wesentlichen Sicherheitsfortschritt zur Reduzierung der Verletzungsschwere und Minderung der Langzeitfolgen bei verunfallten Motorradfahrern bringen.

3.3 Schutzmöglichkeiten aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht

Hier sind besonders die pädagogischen Bereiche der Aus-, Fort- und Weiterbildung sowie der Nachschulung angesprochen. Sicher ist die angemessene, den besonderen Bedingungen der Fahrdynamik und der Verkehrsteilnahme entsprechende Qualifizierung der Motorradfahrer eine Schlüsselfrage für mehr Sicherheit. Entsprechend oft und häufig wird sie von vielen Autoren immer wieder gefordert (beispielsweise **Schüler; Schmidt/ Hackenberg/ Appel; Otte; Wüstemann/ Otte; Suren**).

Allerdings ist der von der Unfallforschung bisher bereitgestellte Input eher dürftig. Zwar kann allgemein postuliert werden, die Schwierigkeiten der Fahrdynamik des Zweirades sollten dem Fahrer in Ausbildung, Fortbildung und auch Aufklärung bewußt gemacht werden, dies bleibt aber solange für die Umsetzer, also Didaktiker und Fahrlehrer, abstrakt, wie keine konkreten, empirisch abgesicherten Erkenntnisse vorliegen. Ein Beispiel mag dies illustrieren. Der Anwender im praktischen pädagogischen Feld ist hilflos, wenn ihm von verschiedener ingenieurwissenschaftlicher Seite als Handlungsrezept gegen das Hochgeschwindigkeitsspendeln von Motorrädern widersprüchliche Maßnahmen empfohlen werden:

- deutlicher Geschwindigkeitsabbau durch Bremsen,
- Verlassen des kritischen Bereichs durch kräftiges Beschleunigen;

- Erhöhen des Schwerpunktes und Abkoppeln des Fahrers von der Maschine durch Aufstehen,
- Flachlegen des Oberkörpers auf den Tank.

Allerdings kann nicht übersehen werden, daß in den Fragen der Verbesserung der Fahrausbildung, der Schulungskonzepte und Medienentwicklung sowie der Fortbildung der Fahrlehrer in den letzten Jahren sehr viel Positives geleistet worden ist.

Trotz allem aber fehlt eine umfassende, aus einer pädagogischen Theorie abgeleitete Gesamtkonzeption der Ausbildung und Erziehung der Motorradfahrer bis heute ebenso wie eine stimmige didaktische und methodische Aufbereitung der vorliegenden Materialien und Medien.

Bei diesem Sachstand ist es nicht erstaunlich, daß auch eine summative Evaluation der vorliegenden Ansätze zu Ausbildungsmaßnahmen bislang fehlt.

Für den Bereich der Fahrschulausbildung im engeren Sinne ist allerdings ein Curriculum im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen an der Universität Essen (Böcher; Flügel) in Arbeit. Für die Nachbetreuung, also die Fortbildung von Zweiradfahrern, liegen Einzelprogramme vor, wie beispielsweise das "Zweiradtraining - Ein Fortbildungsprogramm vom Mofa bis zum Leichtkraftrad", angeboten von den Mitgliedern des Deutschen Verkehrssicherheitsrates (DVR) oder das ADAC-Motorrad-Sicherheitstraining. Das Institut für Zweiradsicherheit bietet ein spezielles pädagogisches Programm an, das gruppendynamische und freizeitpädagogische Elemente mit Verkehrssicherheitsmaßnahmen kombiniert und "Motorrad-Camp" heißt.

Was aber fehlt, ist eine Gesamtstrategie, nach der die Einzelansätze ausgerichtet und systematisch in die gesamtgesellschaftliche Erziehungs- und Bildungsarbeit integriert werden könnten. Diese Gesamtstrategie hat jedoch die eingangs genannten Bedingungen zur Voraussetzung, nämlich eine genaue Bestimmung von unfallbedingenden Variablen, die im Fahrer liegen und die einer Beeinflussung durch pädagogische Maßnahmen zugänglich sind. Ganz allgemein läßt sich dazu begründet die Notwendigkeit einer Umgewichtung bisheriger Schwerpunktsetzungen vermuten. Legten nämlich bisherige Ausbildungs-

konzepte häufig besonderen Wert auf die Vermittlung von Wissen und Können, beispielsweise bei der Beherrschung des Motorrades, Wahrnehmungsstrategien für die Verkehrsbewältigung (Blickschulung) und ergänzten dies um die Elemente einer Einstellungsbeeinflussung, so wird es wohl in der Zukunft verstärkt darauf ankommen, besonders die jungen Fahrer zu einem angemessenen Umgang mit sich selbst und zu einer Steuerung des Umgangs mit der Leistungskraft moderner Motorräder zu bringen. Selbstbeherrschung, Dämpfung der Risikobereitschaft und Kontrolle emotionaler Auslebenstendenzen sind Begriffe, die in die richtige Richtung weisen*.

Wenngleich, wie oben aufgeführt, viele Grunderkenntnisse noch fehlen, so kann die skizzierte Umgewichtung der Schwerpunkte von Ausbildungsmaßnahmen doch aus dem Scheitern der Einführung der Führerscheinklasse 1b im Jahre 1981 gefolgert werden. Kern dieser Bemühungen des Gesetzgebers war die neueingeführte praktische Ausbildung und Prüfung sowohl auf die Fahrzeugbeherrschung (Grundfahraufgaben) als auch auf die Verkehrsteilnahme bezogen. Wenngleich eine deutliche Verbesserung des durchschnittlichen Ausbildungsniveaus in Fahrschulen festzustellen ist, wenngleich die praktische Qualifikation der jungen Fahranfänger gestiegen ist, so hat dies doch die Unfallsituation nicht verändert. Heute haben die Fahrer von Leichtkrafträdern gleich viele oder eher noch etwas mehr Unfälle als die nicht praktisch ausgebildeten Fahrer von Kleinkrafträdern vor der Reform.

* Vergleiche dazu den eigenständigen, innovativen Beitrag von Ivo Schnyder in seinem Buch "Motorradfahren ein königliche Kunst" (Kaltbrunn CH, 1985).

Ivo Schnyder hält die intakte Balance zwischen Denken und Fühlen für die Grundvoraussetzung für unfallfreies Motorradfahren. Begünstigt durch eine einseitig verstandesmäßig angelegte Fahrausbildung neigen gerade Jugendliche dazu, sich "im Gefühl zu verlieren", was zu einer trügerischen Sicherheit führen kann. "Kontrolliertes Erleben" wird damit zur Maxime für den risikoreichen Genuß des Motorradfahrens.

Wenn aber die Erhöhungen von Wissen und Können nicht hilft, die Unfallgefährdung junger Motorradfahrer zu reduzieren, dann liegt zumindest nahe, Maßnahmenansätze mehr auf die Persönlichkeit der Fahrer auszurichten.

Die in Vorbereitung befindlichen Kurse zur Nachschulung junger, auffälliger Fahrer im Rahmen des geplanten Führerscheins auf Probe sind eine mögliche Problemlösung, wenngleich es unbefriedigend bleibt, daß diese Kurse nur für die jungen Fahrer angefangen vorgesehen sind, die zunächst "auffällig" geworden sind.

Der beschriebene umfassende Erziehungsauftrag kann aber naturgemäß nicht ausschließlich in der Fahrschule und durch Maßnahmen des driver improvement realisiert werden. Vielmehr ist es nötig, damit das gesamte Erziehungs- und Bildungswesen zu durchdringen, also eine abgestimmte, vernetzte Struktur zu schaffen, die Elternhaus und Schule, Stätten der Erwachsenenbildung (z.B. Volkshochschulen) und der Jugendarbeit (z.B. Häuser der offenen Tür) ebenso einschließt, wie die Kirchen.

Dazu bedarf es aber noch eines großen Forschungs- und Entwicklungsaufwandes sowie vielfältiger Bemühungen um die Evaluation, Modifikation und Optimierung der pädagogischen Angebote sowie um ihre angemessene Implementation.

4. Die Komplexität des Forschungsgegenstandes und die Anforderungen der Zukunft

Auf den letzten Seiten habe ich versucht, einige Grenzen aufzuzeigen, die beim heutigen Stand der Forschung den Kenntnisstand zu den einzelnen Fragenkomplexen limitieren und einige Perspektiven für weiteres Handeln zu skizzieren. Die aufgezeigte Begrenzung des Wissens repräsentiert aber nur eine Ebene der Gesamtbetrachtung, behandelt sie doch die Bereiche Fahrer, Fahrzeugtechnik und Bekleidungstechnik nur je speziell und läßt sie die dritte Komponente des Systemdreiecks Fahrer - Fahrzeug - Straße, die Verkehrsumwelt, völlig außer Betracht. Mit dieser pro Systemkomponente monokausalen Darstellung wird man aber der Komplexität des Problems weder im Bereich der Deskription und Analyse noch im Bereich der Prophylaxe gerecht.

Schließlich entstehen Unfälle stets aus einem äußerst komplexen Zusammenwirken verschiedener Faktoren*, und schließlich sind auch effiziente Problemlösungen nur möglich, wenn sie der Gesamtkomplexität entsprechen. Isolierte Einzelansätze sind nicht nur weniger effektiv, sie stehen darüber hinaus stets in der Gefahr, von anderen Faktoren konterkariert zu werden**.

-
- * Böcher, W.: Abhängigkeiten und Beeinflussungsmöglichkeiten des Verkehrsverhaltens, aus: Auf dem Weg zur Sicherheit. Referate des V. Verkehrswacht-Kongresses 1975. Programm für die Verkehrswachtarbeit 1975-1980. Schriftenreihe der Deutschen Verkehrswacht. - Bonn, 1975, Heft 57, S. 21.
- ** vgl. Wildes vieldiskutiertes Modell der Risikohomöostase:
 Hoyos, C.G.: Stellungnahme zu einer Diskussion über die Theorie der Risikokompensation / Z. Verkehrssicherheit, 1984, 2, 61-62
 Huguenin, R.D.: Zur Problematik von Risikokompensationstheorien in der Verkehrspsychologie / Z. Verkehrssicherheit, 1982, 4, 180-187
 Risikoakzeptanz: Mensch und Technik im Straßenverkehr / Gesellschaft für Sicherheitswissenschaft / Sicherheitswissenschaftliche Monographien, Band 6, 1984
 Wilde, G.J.S.: Theorie der Risikokompensation der Unfallverursachung und praktische Folgerungen für die Unfallverhütung / Hefte zur Unfallheilkunde, 1978, 130, 134-156
 Wilde, G.J.S.; Kunkel, E.: Die begriffliche und empirische Problematik der Risikokompensation / Zeitschrift für Verkehrssicherheit, 1984, 30 Jg., 52-61

Die Komplexität des Motorradunfalls soll an einem Beispiel, einmal bezogen auf die Analyse, einmal bezogen auf die Prophylaxe, kurz skizziert werden.

Die Unfallstatistik sagt uns, daß etwa 1/3 der Motorradunfälle in die Kategorie "Alleinunfall" gehört. Dieser "Alleinunfall" ist wie oben aufgezeigt, aber bis heute noch nicht einmal eindeutig definiert, noch viel weniger allerdings erforscht. Definitionsmängel bestehen beispielsweise bezüglich der Frage, ob das Auffahren eines Motorradfahrers auf ein neben der Fahrbahn geparktes Auto ein Alleinunfall oder ein Kollisionsunfall ist.

Begrenzt man aber einmal den Alleinunfall auf die häufige Unfallart "Abkommen von der Fahrbahn nach rechts", die nach Engels (S. 98) 11,9% aller Kradunfälle ausmacht und unterstellt, es handele sich um eine Linkskurve, so wird mit hoher Wahrscheinlichkeit im polizeilichen Unfallformular die Ursache "überhöhte Geschwindigkeit" angekreuzt sein. Eine Unfallursachenbetrachtung, die versucht, der Komplexität des Geschehens gerecht zu werden, kommt aber möglicherweise auf folgende denkbare Ursachen:

Der Alleinunfall durch Abkommen von der Fahrbahn nach rechts könnte entstanden sein durch:

- einen Ölfleck auf der Straße, vor dem der Fahrer seine Maschine aufrichten mußte und dann zu schnell war
- beschädigte Fahrbahndecke, die ein Durchfahren der Kurve an der Reifenhaftgrenze unmöglich machte
- eine Instabilität des Fahrzeugs, z.B. Lenkerflattern durch Verschleiß oder falsche Beladung, dessen Unterdrückung den Fahrer soviel Zeit kostete, daß er schließlich zu spät begann, die Kurvenfahrt einzuleiten
- das frühe Aufsetzen eines Bauteils, das die bei der gegebenen Geschwindigkeit nötige Schräglage nicht zuließ

- objektiv zu hohe Geschwindigkeit, die bei gegebener Maximalschräglage ein Durchfahren der Kurve nicht zuließ (wobei die Ursache für die zu hohe Geschwindigkeit ebenfalls sehr differenziert untersucht werden muß)
- subjektiv zu hohe Geschwindigkeit, die den Fahrer annehmen ließ, er könne die Kurve nicht durchfahren, wodurch es zu einer Fehlreaktion kam
- ein besonders riskantes Fahrmanöver des Fahrers, der versuchte, einen mit ihm in der Gruppe fahrenden Mitfahrer auszubremsen
- eine subjektive Fehlbeurteilung des Kurvenradius aufgrund geringer Fahrerfahrung
- eine Unterschätzung der Gefährlichkeit der Kurve durch eine starke Erhöhung des Fahrerlebnisses, beispielsweise angeregt durch einen Discothekenbesuch
- eine Fehlbeurteilung des weiteren Verlaufs der Straße durch die Randbebauung
- einen Pkw im Gegenverkehr, der über die Fahrstreifenbegrenzung hinaus kam und den Fahrer zum kurzfristigen Aufrichten der Maschine zwang
- etc.

Diese einzelnen möglichen Ursachen, die nur einen Bruchteil der hier denkbaren umfassen, können also vom Menschen (z.B. Überhöhung des Fahrgefühls), der Maschine (z.B. Flattern) oder der Fahrbahn (z.B. Ölfleck) herrühren. Wichtig aber ist, daß diese möglichen unfallursächlichen Faktoren in der Regel nicht alleine auftreten und den Unfall nicht alleine verursachen, sondern durch ein je spezifisches Zusammenwirken. So mag der Ölfleck alleine nicht ausreichen, den Fahrer zum Verlassen der Fahrbahn zu bringen, wenn nicht gleichzeitig ein Pkw-Fahrer im Gegenverkehr über seinen Fahrstreifen hinauskommt und der Motorradfahrer wegen des vorherigen Discothekenbesuchs besonders beschwingt gewesen wäre. Nun muß aber auch in einer solchen Situation nicht zwangsläufig jeder Motorradfahrer stürzen, sondern je nach dem Grad der individuellen Qualifikation kann bei sonst gleichen Bedin-

**Statistische Analyse der Unfall- und
Bestandsentwicklung motorisierter Zweiräder**

**Günter Kroj
Ulrich Stöcker**

Gliederung

Kapitel		Seite
1.	Statistisches Material für die Bundesrepublik Deutschland	3
1.1	Bestand an motorisierten Zweirädern	4
1.2	Betrachtung der Unfallentwicklung	7
1.3	Darstellung der Schadenshäufigkeit und Schadenssumme	26
1.4	Erteilung von Fahr- und Fahrlehrerlaubnissen der Klassen 1 und 1b	29
2.	Ausländische Statistiken	31
3.	Vergleich der Zahl an Verunglückten bei Unfällen mit Pkw und motorisierten Zweirädern für die Jahre 1981 und 1982	33
4.	Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse und weiterführende Fragestellungen	43

1. Statistisches Material für die Bundesrepublik Deutschland

Wesentliche Quellen für die Darstellung des vorhandenen statistischen Materials sind die Zahlen

- des Statistischen Bundesamtes
- des Kraftfahrt-Bundesamtes
- des Verbandes der Haftpflichtversicherer, Unfallversicherer, Autoversicherer und Rechtsschutzversicherer e.V. (HUK-Verband)
- des Verbandes der Fahrrad- und Motorradindustrie
- der Bundesanstalt für Straßenwesen
- des Instituts für Zweiradsicherheit.

Die vorhandenen Daten werden in Diagrammform dargestellt und lassen sich in die Kategorien

- Bestandszahlen
- Verunglücktenzahlen
- Schadenshäufigkeit
- Schadenssumme
- Fahrerlaubniserteilung

unterteilen. Eine Aufschlüsselung der Bestandszahlen erfolgt nach

- Leistungsklassen
- Hubraumklassen
- Gesamtzahlen über mehrere Jahre.

Bei den Verunglücktenzahlen werden Aufteilungen

- als Entwicklung über mehrere Jahre,
- als Entwicklung über einen Jahreszeitraum,
- in verschiedenen Altersklassen

aufgezeigt. Besonderes Gewicht wurde auf eine stärkere Differenzierung der als Einstieg in den Zweiradverkehr anzusehenden Altersklassen gelegt. Die Darstellung der Schadenshäufigkeit und Schadenssumme erfolgt in Leistungsklassen. Ein Aufzeigen der Entwicklung der Erteilung von Fahrerlaubnissen über mehrere Jahre schließt die besondere Berücksichtigung der Klasse 1b (eingeführt 4/1980) ein.

1.1 Bestand an motorisierten Zweirädern

Der Bestand an motorisierten Zweirädern belief sich am 1. Juli 1982 auf 2.887.000 Fahrzeuge. Damit wurde der Bestand aus dem Jahre 1981 um 128.000 Fahrzeuge übertroffen. Zugleich wurde ein Bestand erreicht, der - allerdings in anderer Zusammensetzung - vor 27 Jahren zum ersten Male überschritten und vor 19 Jahren wieder unterschritten worden war. In Einzeldarstellungen zeigen **Abbildung 1** den Bestand an zulassungspflichtigen Krafträdern und **Abbildung 2** den Bestand an Kraftfahrzeugen mit Versicherungskennzeichen.

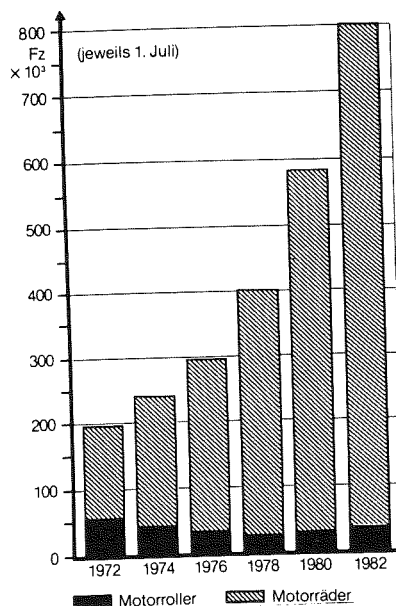


Abbildung 1: Bestand an zulassungspflichtigen Krafträdern

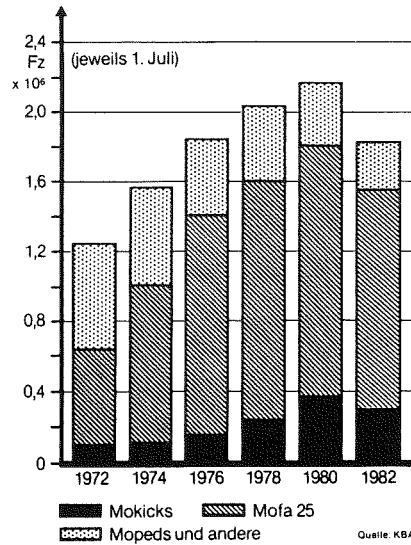


Abbildung 2: Bestand an Kraftfahrzeugen mit Versicherungskennzeichen

Bei den Krafträdern (Abbildung 1) ist ein stark progressives Anwachsen des Bestandes zu vermerken, der sich auf für das Jahr 1982 fortsetzt (Bestand 1982: 761.000 Fahrzeuge)

Der Zuwachs der motorisierten Zweiräder (Abbildung 2) mit Versicherungskennzeichen ging bis 1980 stetig zurück. Hier trugen in den letzten Jahren die Mokicks mit verstärktem Wachstum am Zustandekommen positiver Wachstumsraten bei. Dieser Entwicklung im Mokickbereich folgt für 1981 ein Einbruch der Bestandszahlen durch die Einführung des Leichtkraftrades (LKR "80"; 80 cm³; max. 80 km/h). Die folgende Entwicklung bis 1982 im Bestand motorisierter Zweiräder mit Versicherungskennzeichen wird hierdurch stark geprägt.

Das Leichtkraftrad (einschl. der LKR "50") zeigt eine stark progressive Entwicklung in den Bestandszahlen von 166.000 für 1980 über 190.000 für 1981 auf 281.000 für 1982.

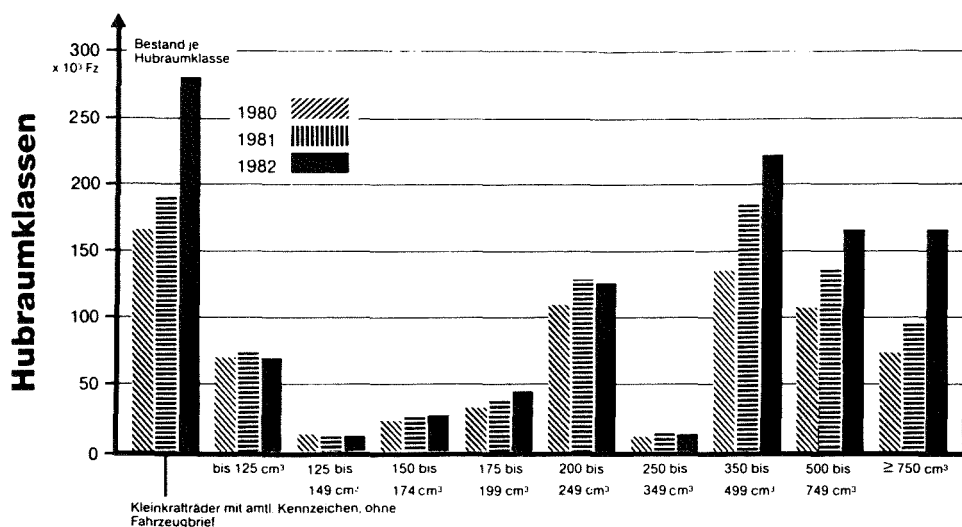


Abbildung 3: Entwicklung des Bestandes der Krafträder in Hubraumklassen 1980 bis 1982

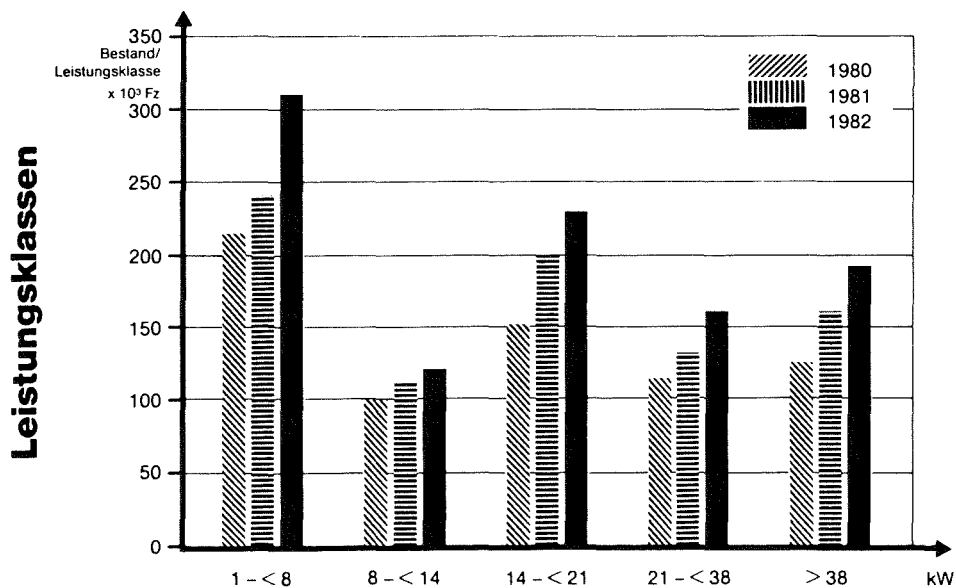


Abbildung 4: Entwicklung des Bestandes der Krafträder in Leistungsklassen 1980 bis 1982

Die Bestandsentwicklung der motorisierten Zweiräder nach Leistungsklassen und Hubraumklassen für die Jahre 1980 bis 1982 zeigen die **Abbildungen 3 und 4**. In allen Leistungsklassen zeigt sich ein stetiges Anwachsen der Bestände. Erst die Betrachtung der Hubraumklassen weist neben der Entwicklung in der kleinsten Hubraumklasse, die durch die Leichtkrafträder geprägt wird, eine verstärkte Bestandszunahme in Hubraumklassen $> 350 \text{ cm}^3$ aus. In der Leistungsklasse I 7 kW und die hohe Leistungsklasse IV 17 kW erfasst. Diese große Bandbreite in den höheren Leistungsklassen erschwert auch eine spezifiziertere Darstellung der Unfallentwicklung, Schadenshäufigkeit und Schadenssumme.

1.2 Betrachtung der Unfallentwicklung

Die Unfallentwicklung der Jahre 1980 bis 1982 ist als Überblick für die Fahrzeugkategorien Mofa, Moped/Mokick, Leichtkraftrad und Kraftrad/Kraftroller in den **Abbildungen 5 bis 7** dargestellt. Es zeigt sich eine heterogene Entwicklung in den einzelnen Kategorien über den beobachteten Zeitraum. Die Fahrzeugkategorien Mofa und Moped/Mokick weisen fallende Verunglücktenzahlen in diesem Zeitraum auf, während Leichtkraftrad und Kraftrad/Kraftroller steigende Verunglücktenzahlen zu verzeichnen haben. Diese unterschiedliche Unfallentwicklung ist in Zusammenhang zu sehen mit der Entwicklung der Bestandszahlen in den einzelnen Fahrzeugkategorien. So nimmt zum Beispiel der Bestand an Mofa ab und damit auch ihre Unfallbeteiligung. In diesem Zusammenhang ist zu berücksichtigen, daß für das erste Halbjahr 1983 wieder über steigende Inlandsanlieferungen von Mofa berichtet wird.

Für das Jahr 1982 sind in den **Abbildungen 8 bis 10** im Vergleich zwischen den einzelnen Fahrzeugkategorien die Verunglückten differenziert nach Schweregrad der Verletzung in den einzelnen Jahrgängen der 14- bis 24jährigen dargestellt. Bei den getöteten Fahrzeugführern und Mitfahrern nehmen das Kraftrad gefolgt vom Leichtkraftrad in den ersten beiden Jahrgängen der Einstiegsaltersklasse herausragende Positionen ein. Bei den schwerverletzten und leichtverletzten Fahrzeugführern und Mitfahrern zeigen sich in den ersten beiden Jahren besondere Auffälligkeiten beim Leichtkraftrad. Es

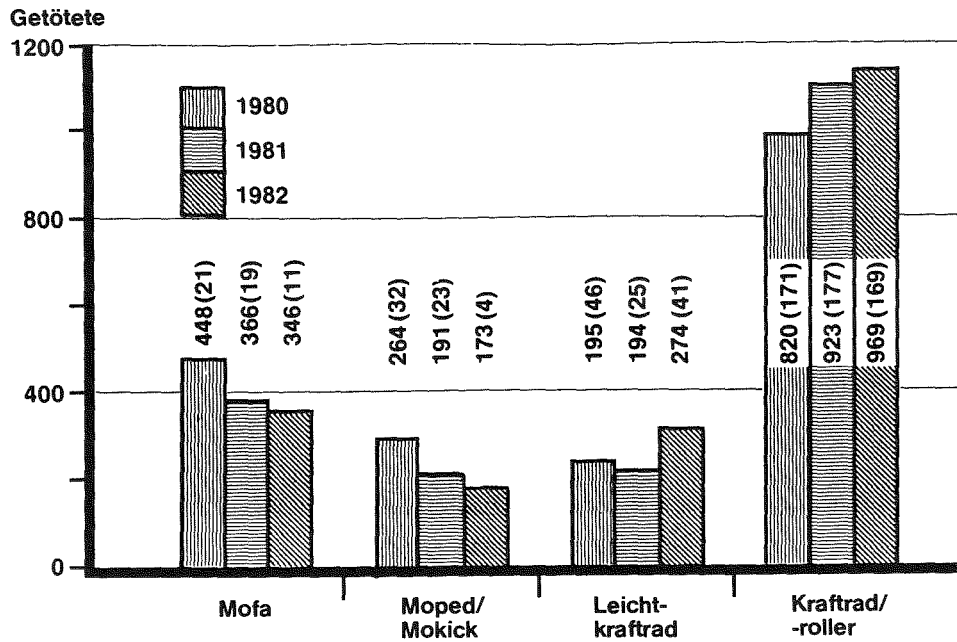


Abbildung 5: Getötete Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in den Jahren 1980 - 1982

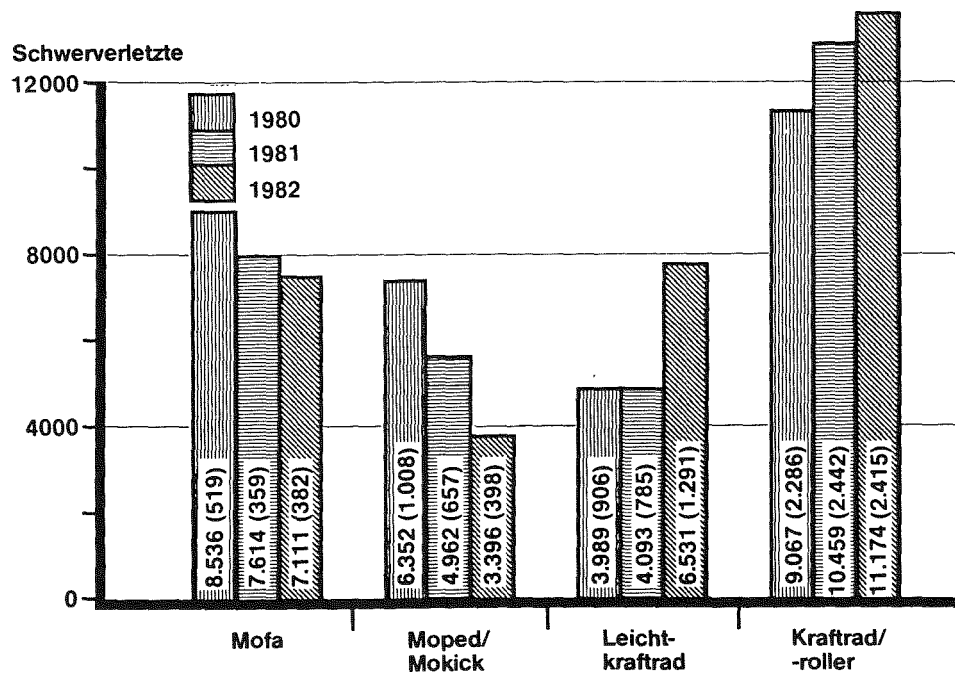


Abbildung 6: Schwerverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in den Jahren 1980 - 1982

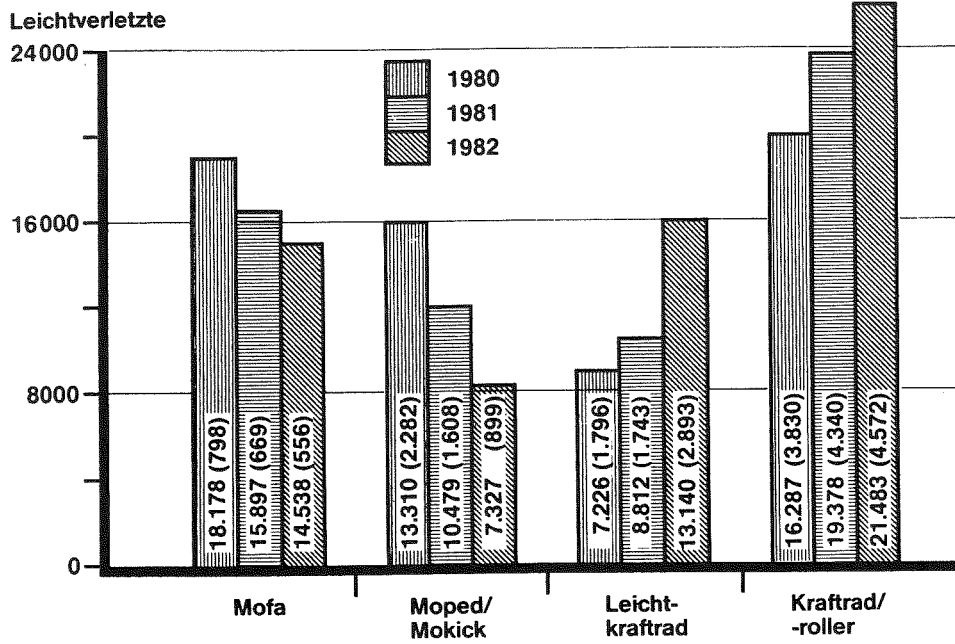


Abbildung 7: Leichtverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in den Jahren 1980 - 1982

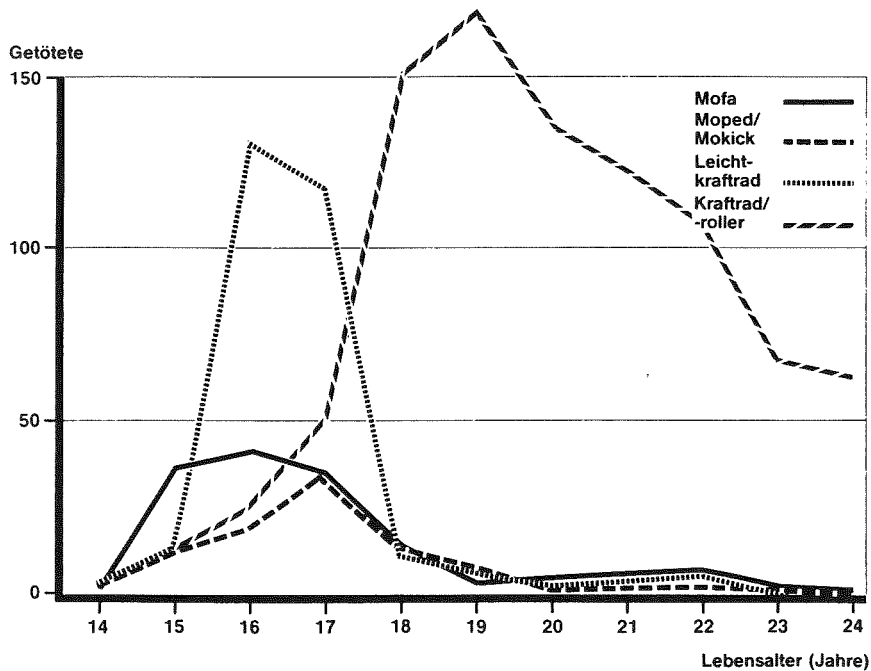


Abbildung 8: Getötete Fahrzeugführer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen im Jahre 1982

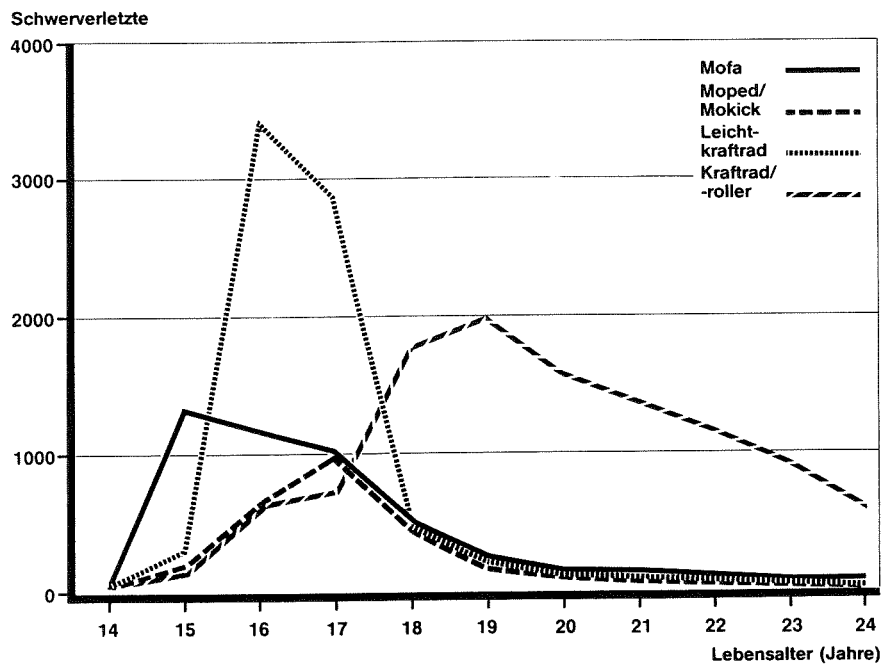


Abbildung 9: Schwerverletzte Fahrzeugführer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen im Jahre 1982

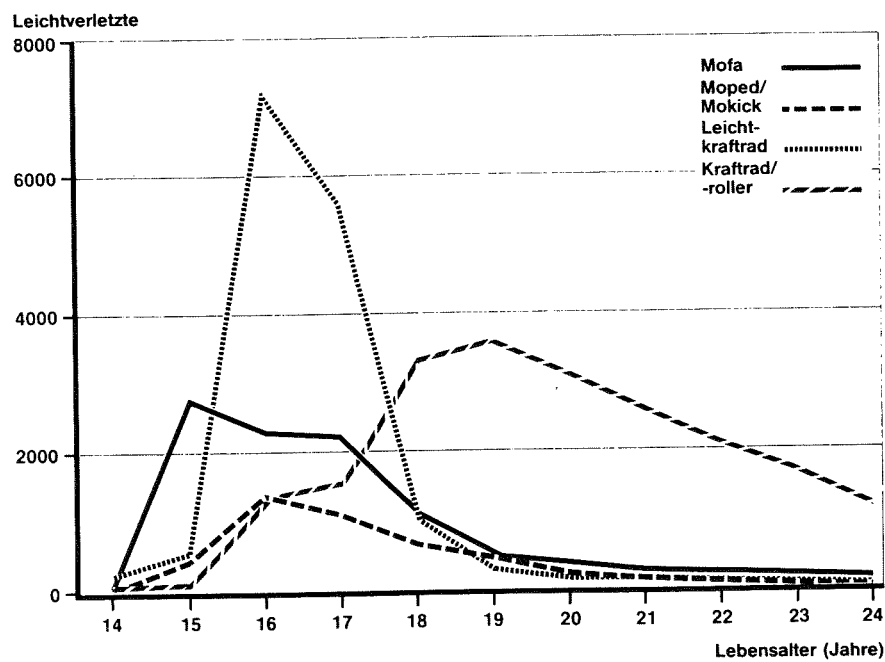


Abbildung 10: Leichtverletzte Fahrzeugführer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen im Jahre 1982

ist auffällig, daß sich die Unfallzahlen der verunglückten Leichtkraftradfahrer im wesentlichen in zwei Jahrgängen (16- und 17jährige) konzentrieren. Im Vergleich dazu sind die Verunglücktenzahlen der Kraftradbenutzer auch noch weit über die Jahrgangsstufe der 20jährigen hinaus aufgefächert.

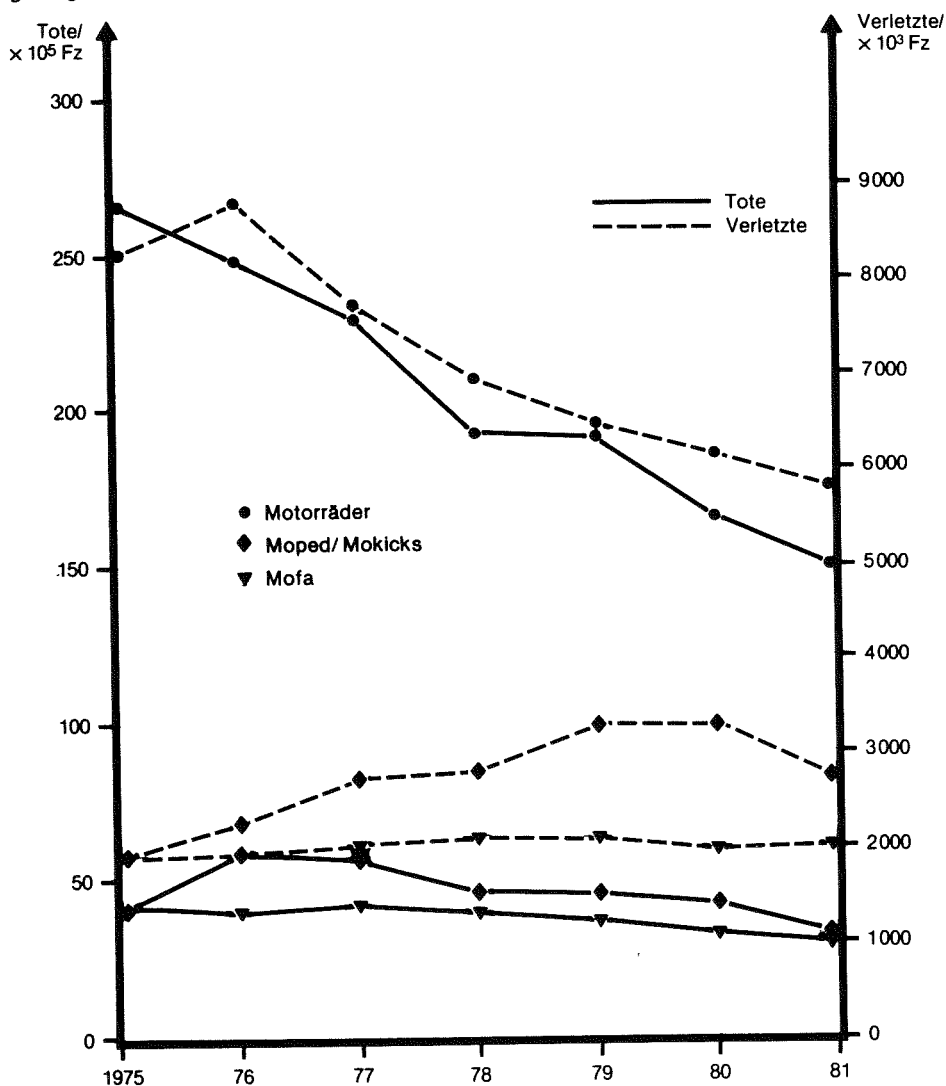


Abbildung 11: Bezogene Unfalldaten Motorräder einschl. Leichtkraft- und Kleinkrafträder

Eine auf 100.000 Fahrzeuge der jeweiligen Kategorie normierte Darstellung der Unfallzahlen zeigt **Abbildung 11**. Die Unfälle mit Todesfolge gehen über den betrachteten Zeitraum für die Gruppe der

Motorräder stark und für die Gruppen der Mofa und Moped/Mokick leicht zurück (abgesehen von einer Steigerung für die Moped/Mokick 1975/76). Bei den auf 100.000 Fahrzeugen Verletzten ergeben sich für die dargestellten Gruppen unterschiedliche Entwicklungen. Die Zahlen für verletzte Mofafahrer sind im Zeitraum zwischen 1975 und 1981 nahezu konstant geblieben. Die Zahl der Verletzten Moped/Mokickfahrer zeigt bis 1980 ansteigende Zahlen und 1981 einen deutlichen Abfall. In der Gruppe der verletzten Motorradfahrer stellt sich der Trend fallender Unfallzahlen, bis auf eine Spitze 1976, analog zur Zahl der Getöteten dar. Betrachtet man die bezogene Größe für die getöteten Leichtkraftfahrer separat, so ergibt sich für 1981 eine Zahl von 115 Getöteten pro 100.000 Fahrzeuge. Diese Bezugszahl liegt weit (3- bis 4fach) über den bezogenen Unfalldaten für Moped/Mokick.

Die Abbildungen 12 bis 23 zeigen die Verunglücktenzahlen für die einzelnen Fahrzeugkategorien Mofa, Moped/Mokick, Leichtkraftrad und Kraftrad/Roller in den Jahrgangsstufen der 14- bis 24jährigen. Eine weitere Differenzierung nach Getöteten, Schwerverletzten und Leichtverletzten wurde vorgenommen. Aus der Betrachtung der einzelnen Fahrzeugkategorien lassen sich folgende Aussagen machen:

Mofa

- Spitzenwerte über einen Dreijahreszeitraum nach dem frühestmöglichen Einstiegsalter in den Verunglücktenzahlen,
- tendentiell fallende Verunglücktenzahlen über den Dreijahreszeitraum 1980 bis 1982 (diese Entwicklung muß auch vor dem Hintergrund der Bestandsentwicklung bei den Mofa interpretiert werden).

Die besondere Stellung des Mofa wird in einer vergleichenden Betrachtung in Kapitel 3 nochmals gewichtet.

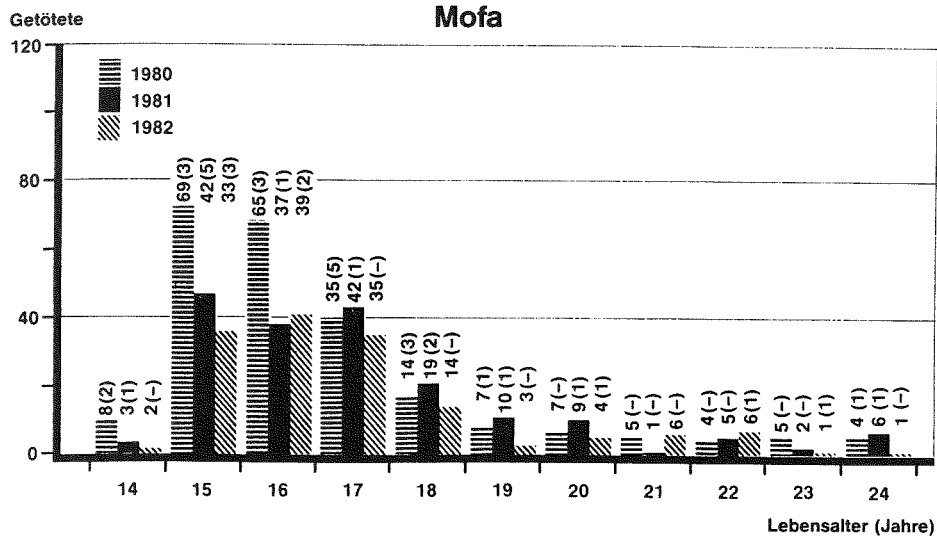


Abbildung 12: Getötete Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

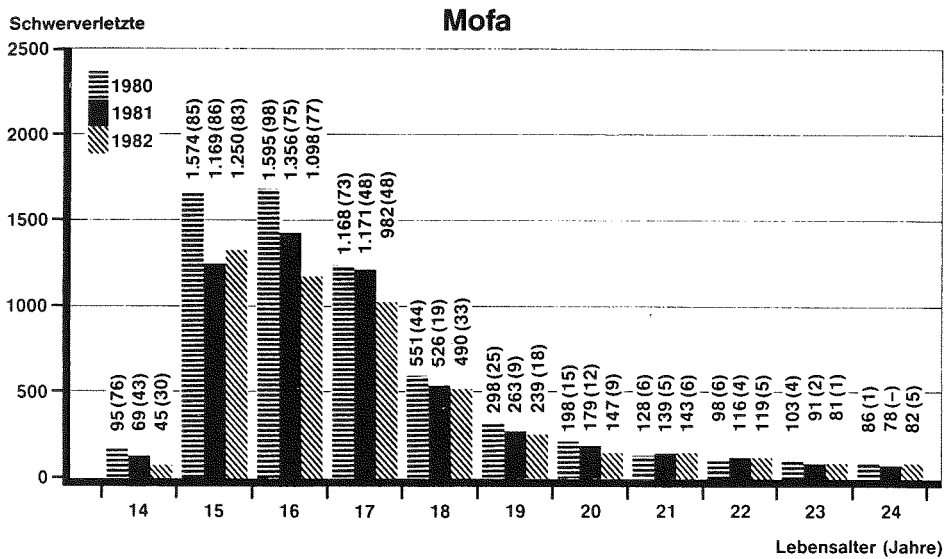


Abbildung 13: Schwerverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

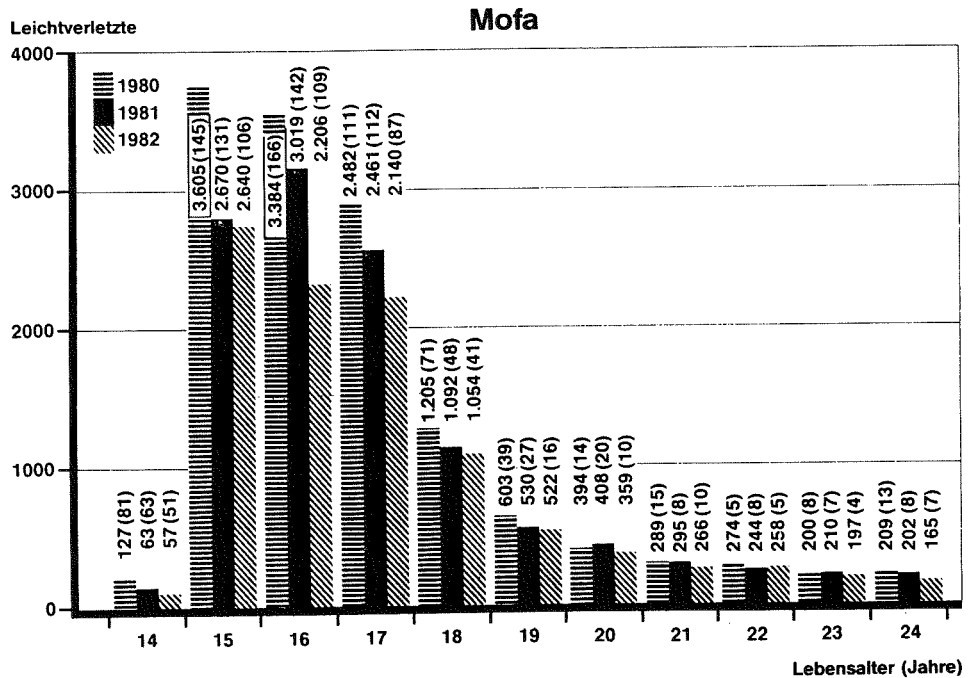


Abbildung 14: Leichtverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

Moped/Mokick

- Spitzenwerte der Verunglücktenzahlen werden in den ersten zwei Jahrgangsstufen nach dem frühestmöglichen Einstiegsjahrgang erreicht.
- Über den Dreijahreszeitraum 1980 bis 1982 zeigt sich bei den Spitzenwerten ein starker Rückgang der Verunglücktenzahlen (diese Entwicklung bei den Mofa/Mokick ist vor dem Hintergrund der Einführung des Leichtkraftrades LKR "80" zu werten).

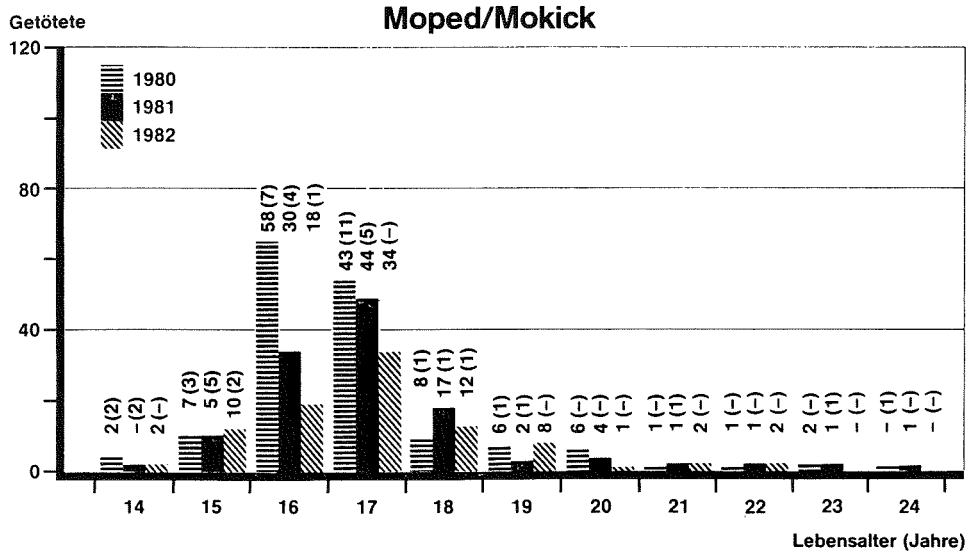


Abbildung 15: Getötete Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

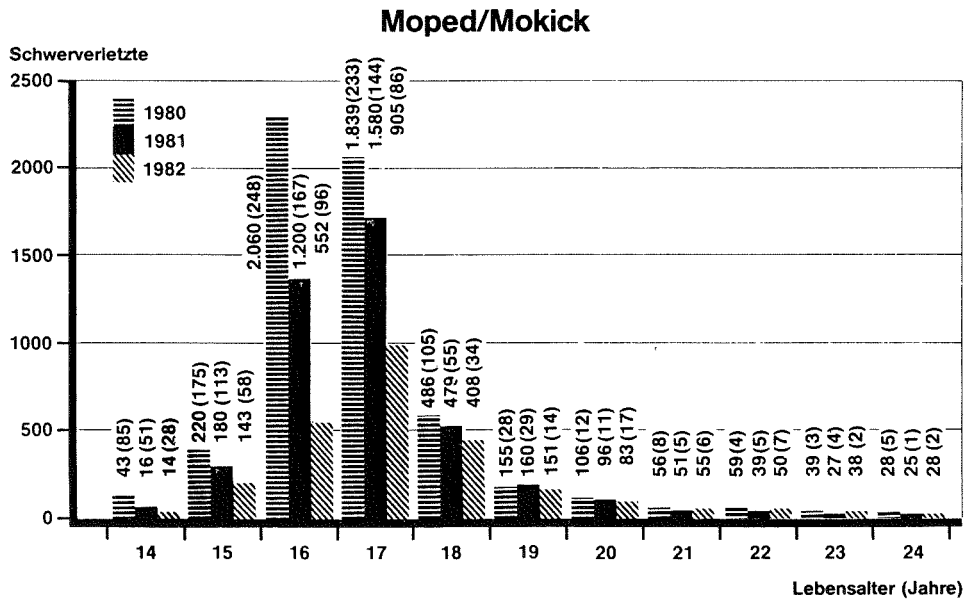


Abbildung 16: Schwerverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

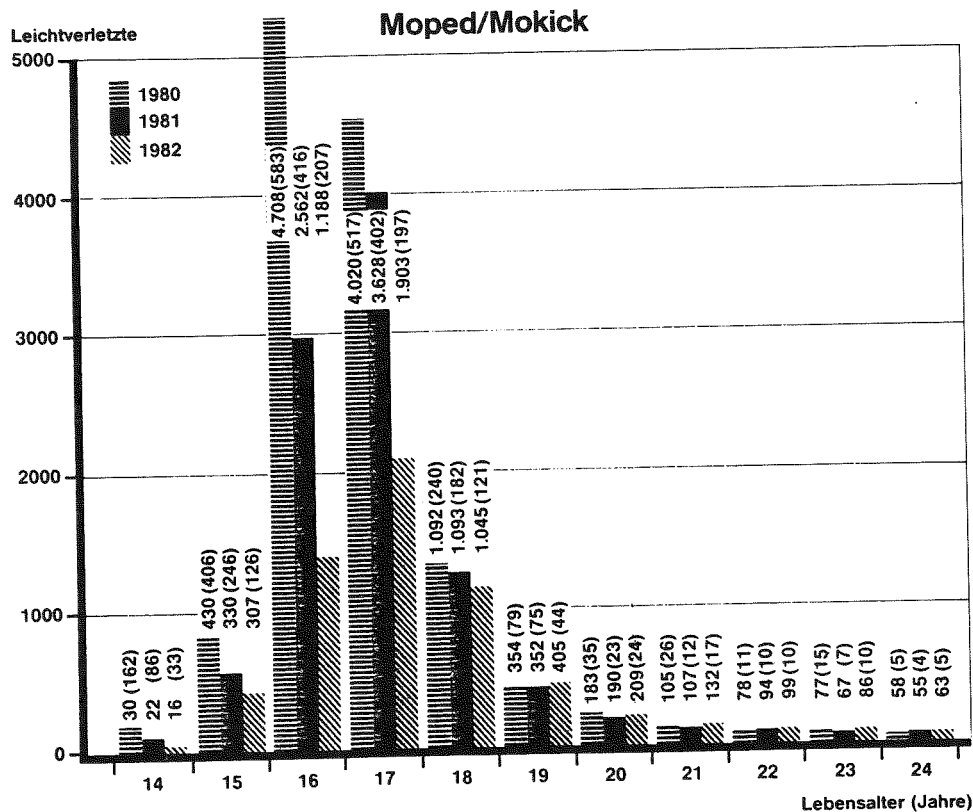


Abbildung 17: Leichtverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

Leichtkraftrad

- Überproportional hohe Verunglücktenzahlen im Zweijahreszeitraum nach dem frühestmöglichen Einstiegsjahrgang;
- stark progressives Anwachsen der Verunglücktenzahlen bei den 16jährigen im betrachteten Dreijahreszeitraum;
- Absinken der Verunglücktenzahlen bei den 18jährigen auf etwa 10% der Maximalwerte (bei den 16jährigen).

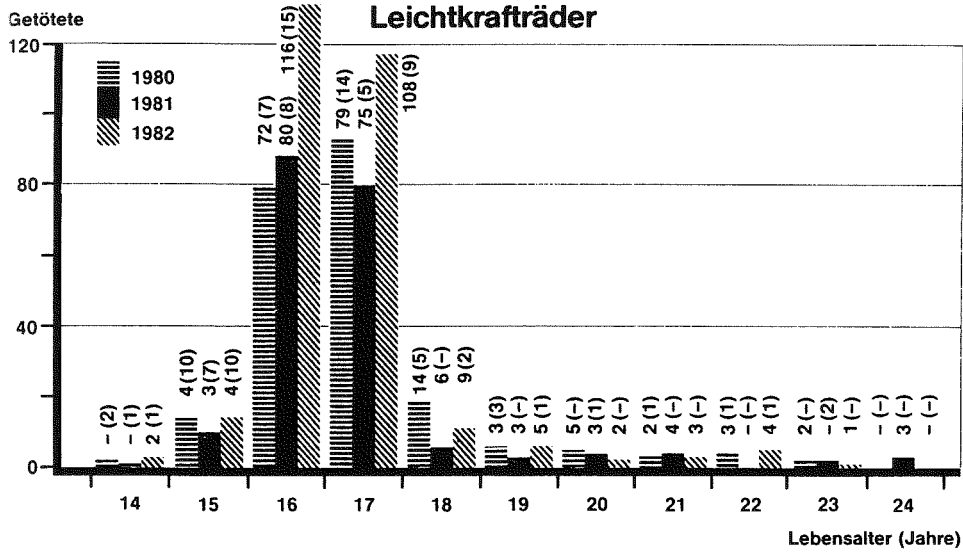


Abbildung 18: Getötete Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

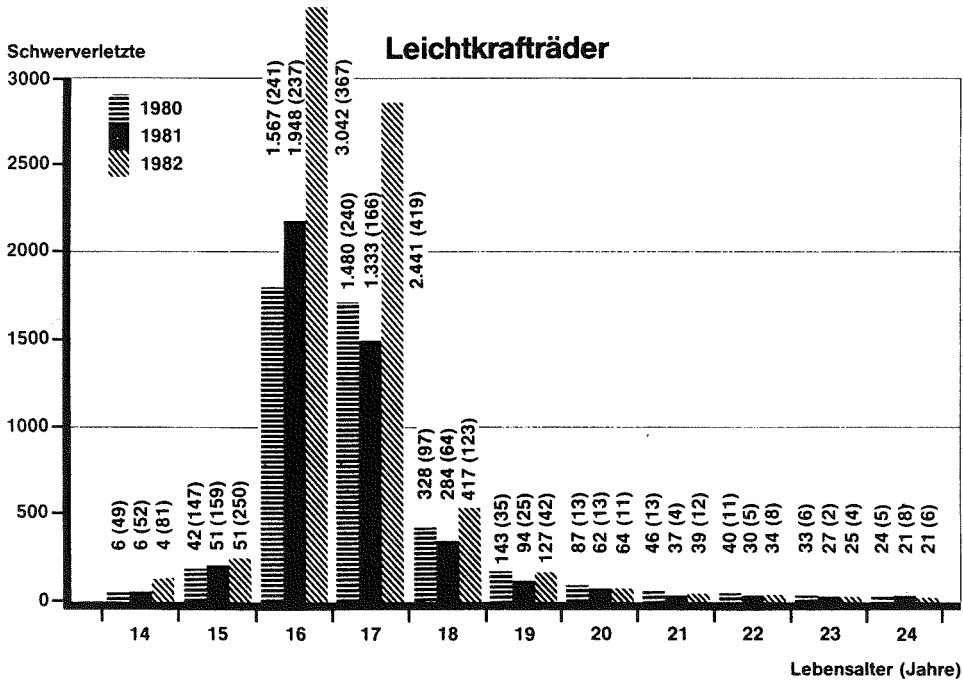


Abbildung 19: Schwerverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

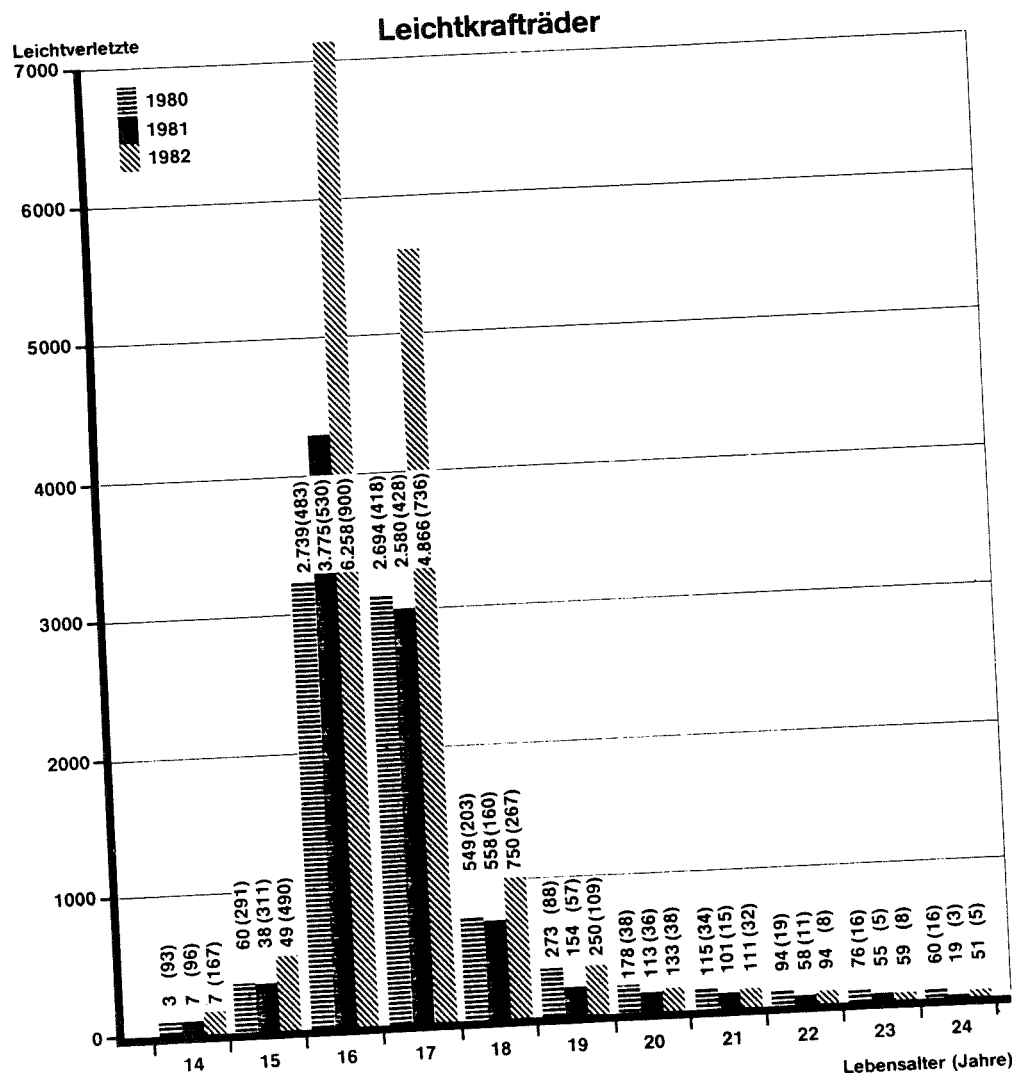


Abbildung 20:

Leichtverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

Kraftrad/Kraftroller

- Die Spitze der Verunglücktenzahlen liegt nicht im frühestmöglichen Einstiegsalter, sondern bei den 19jährigen.
- Es tritt eine wesentlich breitere Fächerung der Verunglücktenzahlen auf die folgenden Jahrgangsstufen (bis 24 Jahre) auf (dies zeigt auch schon die vergleichende Darstellung der Abbildungen 8 bis 10).
- In den Altersklassen 20 Jahre ist (mit Ausnahme der Getöteten der Altersklasse der 23jährigen) eine stetige Zunahme der Verunglücktenzahlen festzustellen.

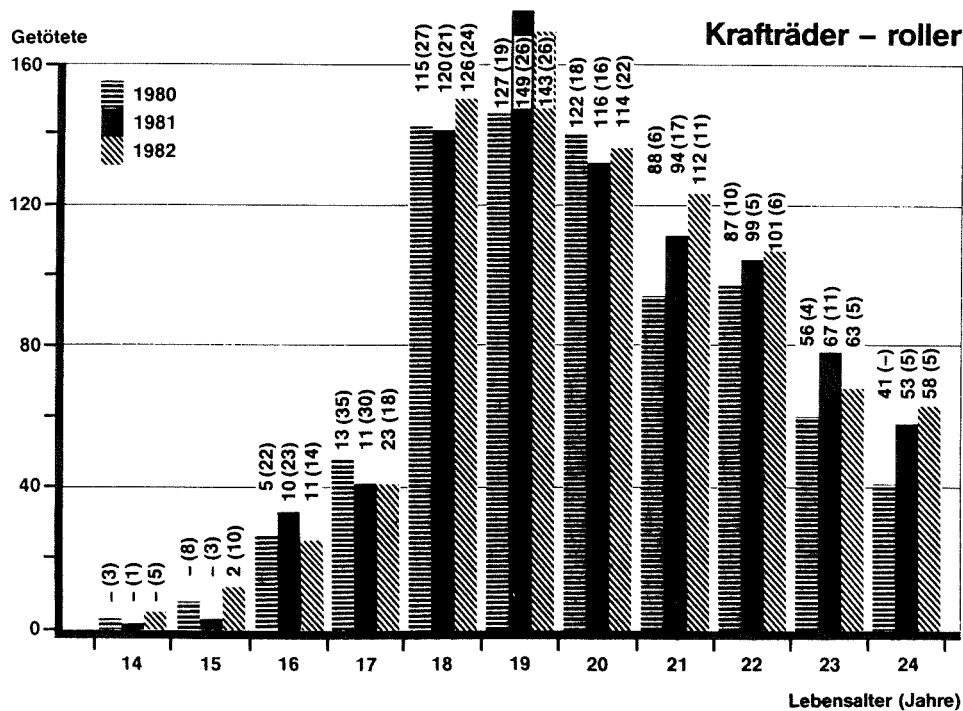


Abbildung 21: Getötete Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

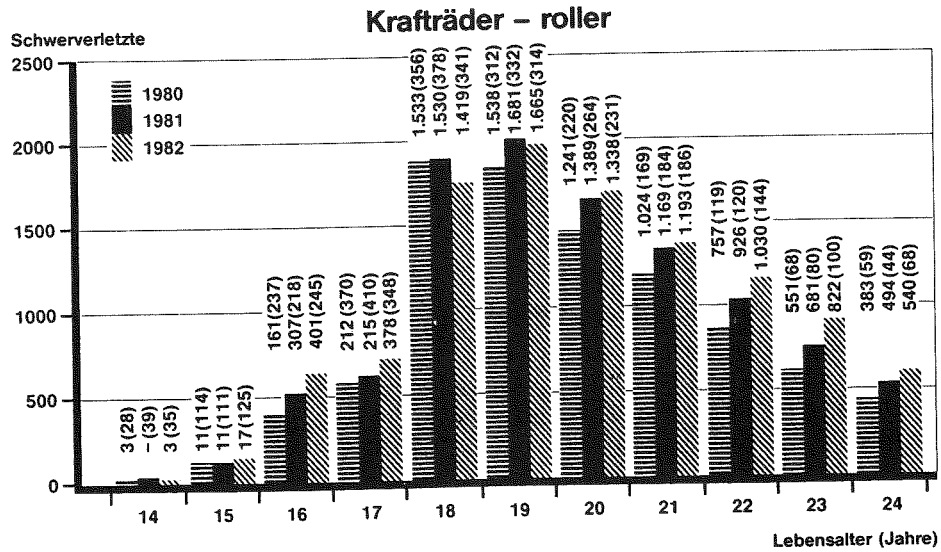


Abbildung 22: Schwerverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

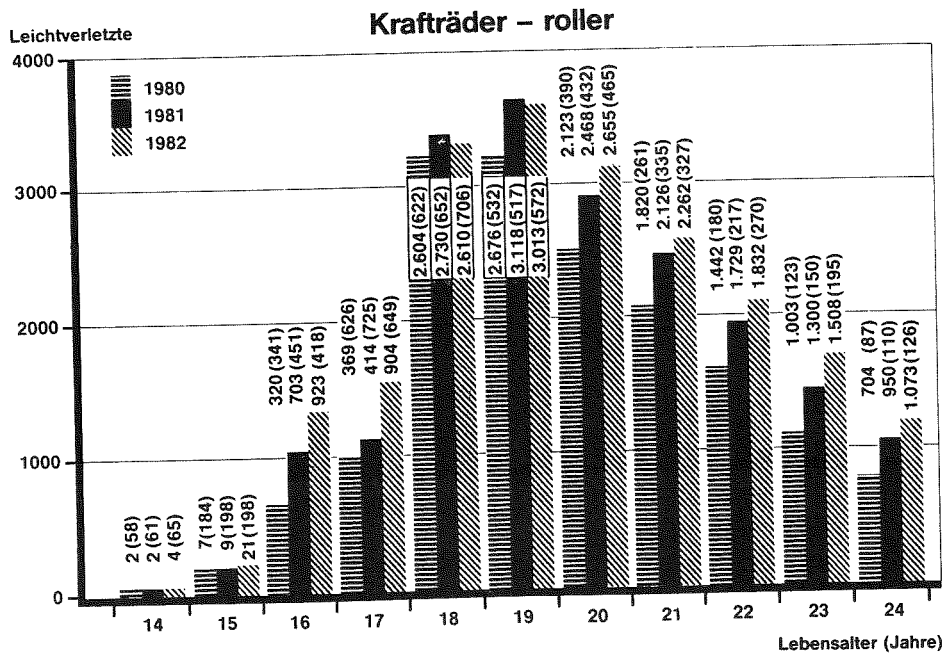


Abbildung 23: Leichtverletzte Fahrzeugführer (Mitfahrer) motorisierter Zweiräder in der Altersklasse der 14-24jährigen in den Jahren 1980-1982

Die Leichtkrafträder teilen sich auf in LKR "50" und LKR "80". Bei den Erhebungen für die amtliche Unfallstatistik bezüglich der Verunglückten ist die Trennung in die vorgenannten Untergruppen noch nicht konsequent durchgeführt. Die folgenden **Tabellen 1 bis 3** zeigen für die Jahre 1980 bis 1982 die Verunglücktenzahlen in Altersklassen. Die Tabellen lassen erkennen, daß eine genaue Analyse der verunglückten LKR "80"-Benutzer bezüglich Altersstruktur und Unfallhäufigkeit für 1981 und 1982 nicht möglich ist, da selbst für 1982 die als LKR "unb." (d.h. ohne nähere Angaben, ob "50" oder "80") erfaßten in der Statistik noch etwa 50% der Verunglücktenzahlen ausmachen.

Alter (Jahre)	Getötete			Schwerverletzte			Leichtverletzte		
	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."
0 - 13	-			3			2		
14	-			6			3		
15	4			42			60		
16	72			1.567			2.739		
17	79			1.480			2.694		
18	14			328			549		
19	3			143			273		
20	5			87			178		
21	2			46			115		
22	3			40			94		
23	2			33			76		
24	-			24			60		
25 - 34	3			78			183		
35 - 44	2			48			90		
45 - 54	2			27			48		
55 - 64	1			19			23		
65 und mehr	3			17			26		
unbekannt	-			1			13		
Insgesamt	195			3.989			7.226		

1) LKR "50": 50 ccm, bisherige Kleinkrafträder; 3) LKR "unb.": ohne nähere Angaben, ob "50" oder "80"
2) LKR "80": 80 ccm, max. 80 km/h, ab 1.1.1981;

TABELLE 1

Tabelle 1: Fahrzeugführer im Jahre 1980

Alter (Jahre)	Getötete			Schwerverletzte			Leichtverletzte		
	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."
0 - 13	-	-	-	-	-	1	-	-	1
14	-	-	-	1	-	5	1	2	4
15	1	-	2	8	11	32	9	11	18
16	13	22	45	351	535	1.062	546	1.136	2.093
17	30	3	42	404	154	775	692	360	1.528
18	2	-	4	82	22	180	144	67	347
19	1	-	2	17	12	65	33	19	102
20	-	1	2	13	3	46	19	15	79
21	-	1	3	4	7	26	17	12	72
22	-	-	-	3	3	24	5	7	46
23	-	-	-	2	4	21	5	10	40
24	1	2	-	1	4	16	3	5	11
25 - 34	1	-	6	9	14	55	20	36	112
35 - 44	-	1	1	4	10	35	9	19	57
45 - 54	1	-	3	10	3	28	6	7	39
55 - 64	-	-	-	2	-	13	3	4	16
65 und mehr	1	-	3	2	1	11	2	-	13
unbekannt	-	-	-	-	-	2	1	1	8
Insgesamt	51	30	113	913	783	2.397	1.515	1.711	4.586

1) LKR "50": 50 ccm, bisherige Kleinkrafträder; 3) LKR "unb.": ohne nähere Angaben, ob "50" oder "80"

2) LKR "80": 80 ccm, max. 80 km/h, ab 1.1.1981

TABELLE 2

Tabelle 2: Fahrzeugführer im Jahre 1981

Alter (Jahre)	Getötete			Schwerverletzte			Leichtverletzte		
	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."	1) LKR "50"	2) LKR "80"	3) LKR "unb."
0 - 13	-	-	1	-	1	1	1	3	1
14	1	-	1	-	-	4	1	2	4
15	1	2	1	4	22	25	4	16	29
16	15	38	63	307	1.281	1.454	552	2.753	2.953
17	15	54	39	350	899	1.192	563	1.976	2.327
18	4	4	3	63	121	233	146	244	360
19	1	2	2	25	29	73	51	64	135
20	-	-	2	12	16	36	21	36	76
21	1	1	1	3	14	22	16	23	72
22	1	1	2	5	10	19	15	32	47
23	-	-	1	3	9	13	6	15	38
24	-	-	-	4	5	12	6	13	32
25 - 34	1	2	2	9	32	62	19	71	119
35 - 44	1	2	3	16	31	19	16	46	92
45 - 54	-	1	1	10	10	30	10	16	48
55 - 64	-	-	2	6	1	17	5	6	20
65 und mehr	2	-	-	1	3	11	3	3	20
unbekannt	-	-	-	1	1	4	1	3	9
Insgesamt	43	107	124	819	2.485	3.227	1.436	5.322	6.382

1) LKR "50": 50 ccm, bisherige Kleinkrafträder; 3) LKR "unb.": ohne nähere Angaben, ob "50" oder "80"

2) LKR "80": 80 ccm, max. 80 km/h, ab 1.1.1981

Tabelle 3: Fahrzeugführer im Jahre 1982

Die Zahl der Verunglückten im Jahresverlauf wird beispielhaft für 1980 in den Abbildungen 24 bis 26 dargestellt.

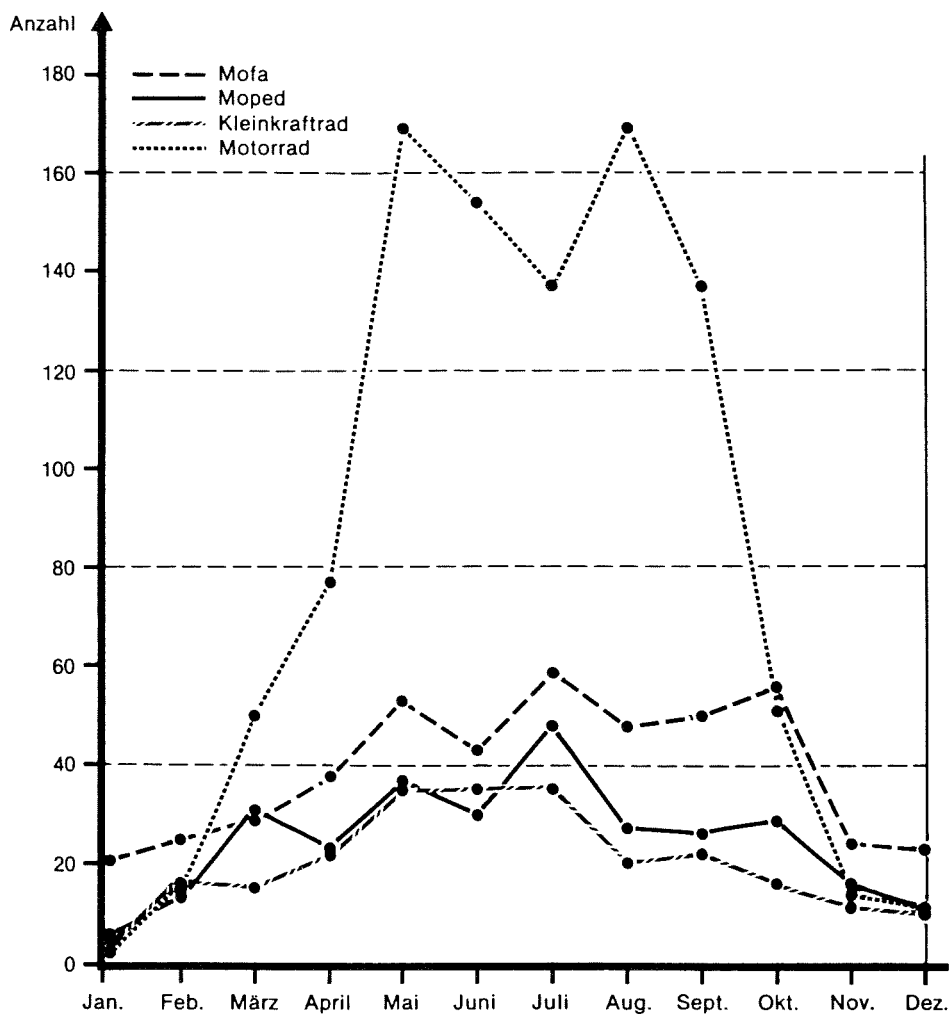


Abbildung 24: Getötete Fahrer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder 1980

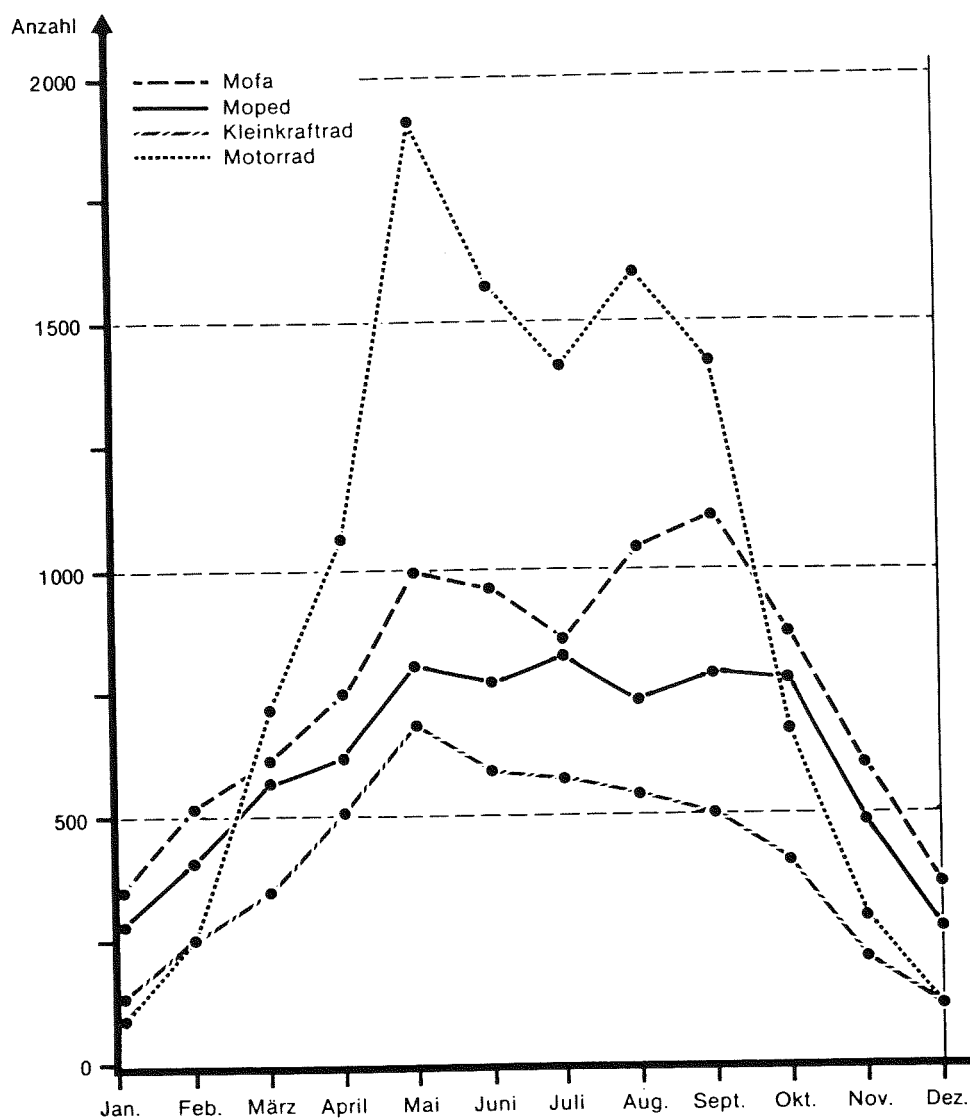


Abbildung 25: Schwerverletzte Fahrer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder 1980

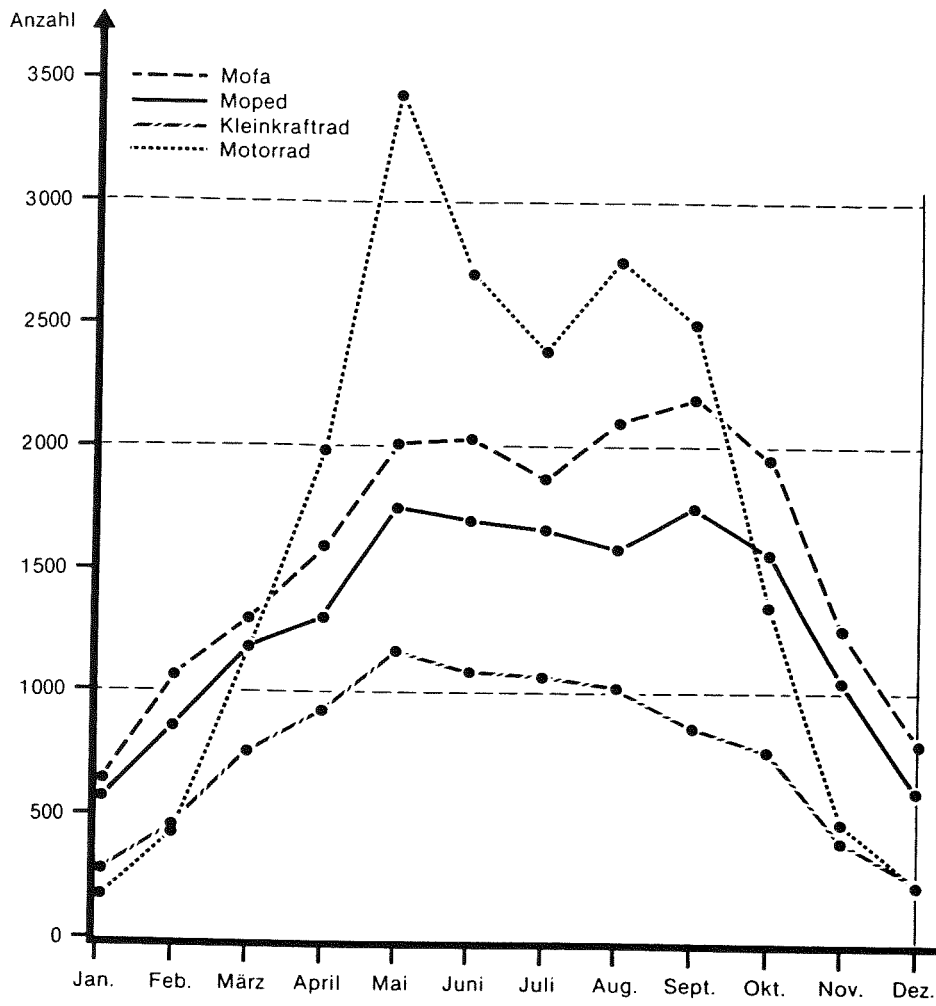


Abbildung 26: Leichtverletzte Fahrer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder 1980

Es zeigt sich, daß in den Monaten April bis Oktober mit den höchsten Verunglücktenzahlen zu rechnen ist. Eine vergleichende Betrachtung zwischen den einzelnen Fahrzeugkategorien soll sich deshalb auf diesen genannten Zeitraum beschränken. Bei der Zahl der verunglückten Fahrer und Mitfahrer ergeben sich als Mittelwerte für den Beobachtungszeitraum April bis Oktober die in **Tabelle 4** zusammengefaßten mittleren monatlichen Verunglücktenzahlen.

				% Anteile		
	T ¹⁾	SV ²⁾	V ³⁾	LV ¹⁾	SV ²⁾	LV ³⁾
Mofa	49	916	1967	1,67	31,24	67,09
Moped	31	768	1616	1,29	31,63	67,08
Kleinkraftrad	21	547	986	1,35	35,30	63,45
Kraftrad	128	1381	1443	3,24	34,94	61,82

1) Tote 2) Schwerverletzte 3) Leichtverletzte

Tabelle 4: Mittlere monatliche Unfallzahlen von April bis Oktober 1980

In der Betrachtung der prozentualen Anteile wird deutlich, daß in den Fahrzeugkategorien, ausgehend von Moped über Kleinkraftrad bis zum Motorrad, ein Anstieg der Getöteten auf das 2½fache zu verzeichnen ist.

1.3 Darstellung der Schadenshäufigkeit und Schadenssumme in Leistungsklassen

Die in **Abbildung 27** dargestellte Schadenshäufigkeit bei Krafträdern zeigt ansteigende Werte mit wachsender Leistungsklasse. Auf der Basis der Leistungsklasse 1 < 8 kW ergibt sich bis zur Klasse > 38 kW im Jahre 1980 eine Steigerung um das Fünffache. In der Entwicklung von 1981 relativieren sich die Zahlen durch einen überproportionalen Zuwachs der Schadenshäufigkeit in der Klasse 1 < 8 kW auf das Dreifache.

Im Vergleich zu den Schadenshäufigkeiten der Krafträder sind niveaumäßig die Schadenshäufigkeiten der Kleinkrafträder und Leichtkrafträder (eine Unterscheidung wurde erst für 1981 getroffen) ein-gezeichnet. Es zeigen sich folgende Besonderheiten:

- Die Schadenshäufigkeit der Kleinkrafträder liegt für 1980 weit über der Schadenshäufigkeit der größten Leistungsklasse der Krafträder.
- Bezogen auf die niedrigste Leistungsklasse, die technisch gesehen als Anschluß an das Kleinkraftrad zu sehen ist, weisen sie mehr als das Sechsfache an Schadenshäufigkeit auf (1980).
- Für 1981 relativieren sich auch hier die Zahlen aus den o.g. Gründen.
- Die Einführung der neuen Leichtkrafträder (80er) Klasse) hat 1981 keine Verbesserung in der Schadenshäufigkeit gebracht. Vielmehr bildet die neue Klasse hier einen neuen "Spitzenreiter".

In der in **Abbildung 28** dargestellten Schadenssummenverteilung pro Fahrzeug zeigt sich in den Leistungsklassen für 1980 zwischen niedrigster Klasse und höchster Klasse eine Verzwölffachung der aufgewendeten Summen pro Fahrzeug. Die Schadenssummenverteilung 1981 weist zwischen niedrigster Leistungsklasse und höchster Leistungsklasse nur noch eine Versechsfachung auf.

Das Niveau der Schadenssumme für die Kleinkrafträder 1980 erreicht die Größenordnung der zweithöchsten Leistungsklasse. Die Entwicklung für 1981 zeigt weiterhin ähnlich hohe Werte für die Leichtkrafträder, während die Kleinkrafträder einen deutlichen Rückgang in der Schadenssumme pro Fahrzeug verzeichnen.

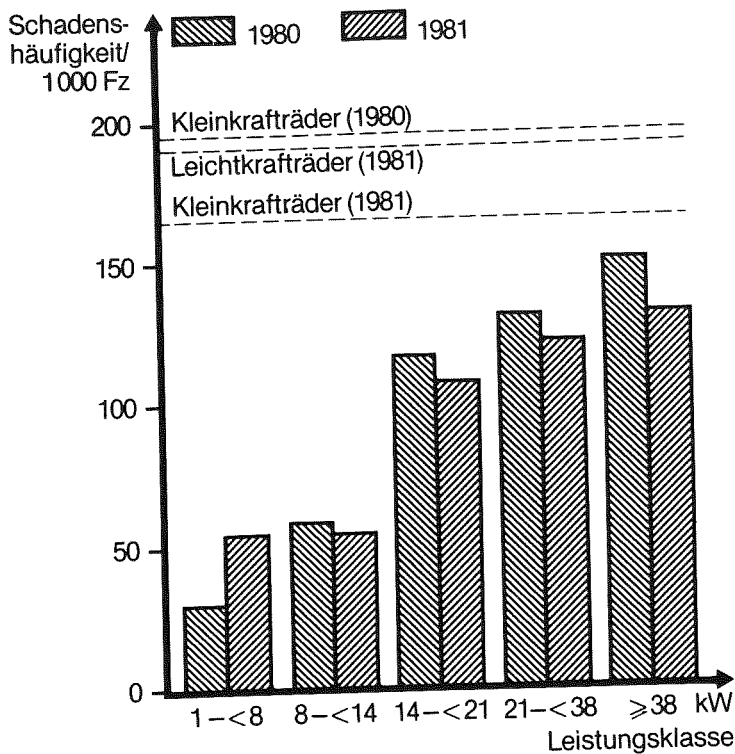


Abbildung 27: Schadenshäufigkeit

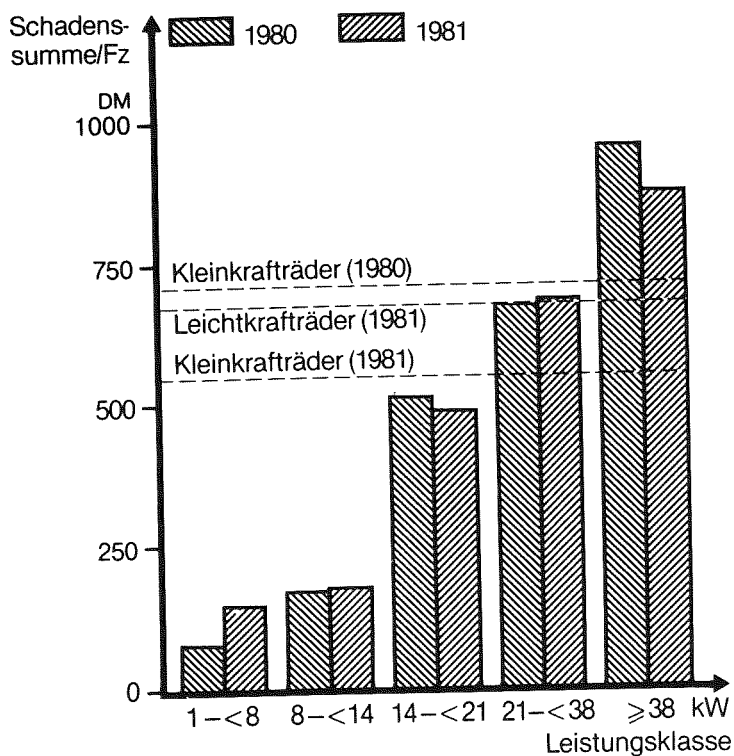


Abbildung 28: Durchschnittlicher Schadensbedarf pro versichertem Fahrzeug

1.4 Erteilung von Fahr- und Fahrlehrerlaubnissen der Klassen 1 und 1b

Abbildung 29 zeigt die Entwicklung der jährlichen Erteilungen von Fahr- und Fahrlehrerlaubnissen der Klasse 1 für die Jahre 1975 bis 1981. Über den genannten Zeitraum ist ein nahezu konstanter Anstieg von ca. 220.000 Erteilungen auf ca. 390.000 Erteilungen festzustellen. Das Jahr 1982 verzeichnet eine Zahl von 404.000 erteilten Fahr- und Fahrlehrerlaubnissen. Die im April 1980 neu eingerichtete Klasse 1b verzeichnet über 100.000 Erteilungen für das Jahr der Einrichtung der Klasse mit steigender Tendenz für das Jahr 1981. Im Jahr 1982 wurden 156.000 Erteilungen von 1b erreicht.

Diese Entwicklung der Klasse 1b zeigt sich auch bei den Verkaufszahlen. Ein Jahr nach der Einführung des LKR "80" stiegen, wie in **Abbildung 30** deutlich wird, sprunghaft die Verkaufszahlen an. Dieser Trend verzeichnet auch für 1982 mit 125.000 Verkäufen eine weitere Steigerung. Die Verkaufszahlen in den übrigen Klassen bestätigen auch den Trend zu höheren Hubraumklassen. Für 1982 wird dies in einem Absinken der Verkaufszahlen in der Hubraumklasse bis 250 cm³ auf 19.000 Fahrzeuge bestätigt.

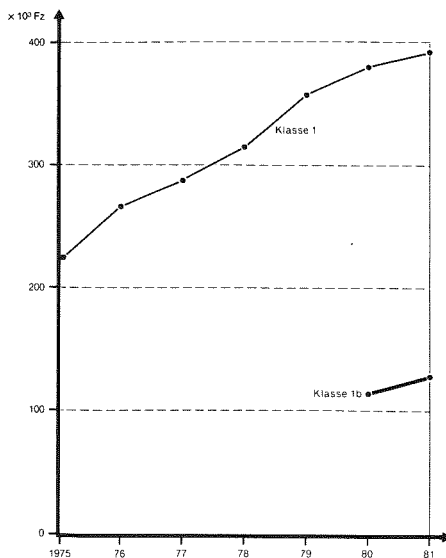


Abbildung 29: Erteilungen von Fahr- und Fahrlehrerlaubnissen der Klasse 1 und 1b

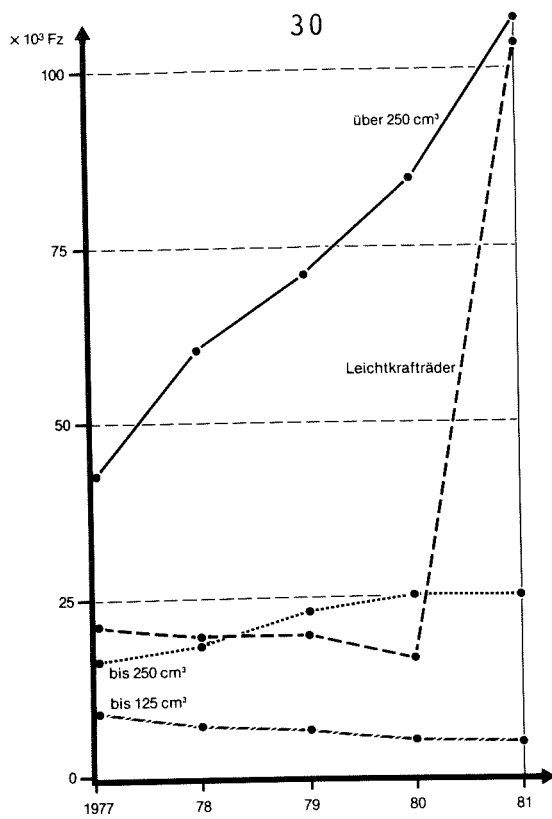


Abbildung 30: Verkäufe zulassungspflichtiger
Motorräder und Leichtkrafträder

2. Ausländische Statistiken

In diesem Rahmen soll als Beispiel nur die Unfallstatistik der Schweiz für motorisierte Zweiräder dargestellt werden. Hierbei ist zu beachten, daß die Definitionen

- Motorräder
- Kleinmotorräder
- Motorfahrräder

nicht nur sprachlich, sondern teilweise auch in der Definition der technischen Merkmale (z.B. max. Höchstgeschwindigkeit) von den Bestimmungen in der Bundesrepublik Deutschland abweichen.

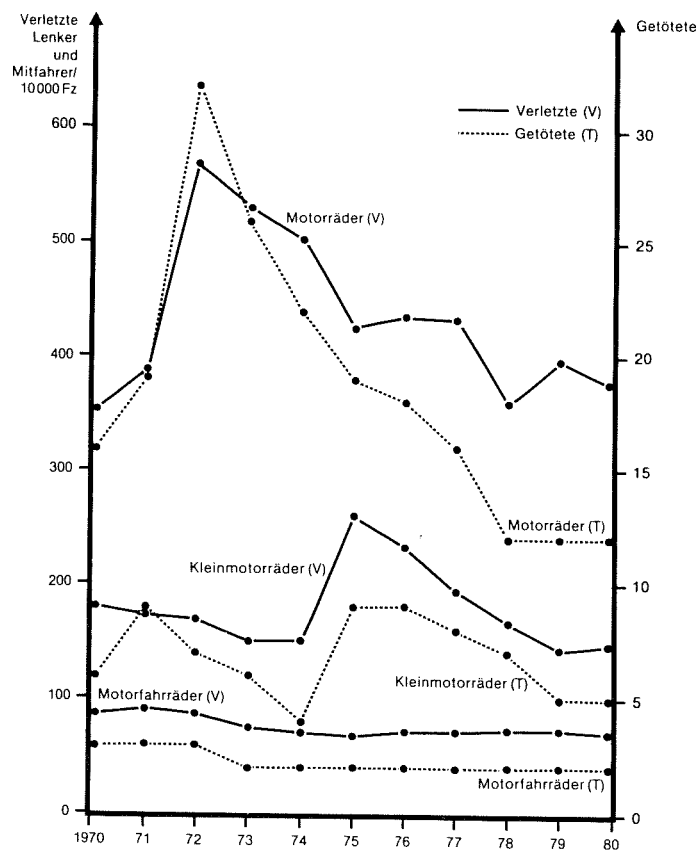


Abbildung 31: Internationale Statistik Schweiz (1980)

In **Abbildung 31** sind die getöteten und verletzten Fahrer und Mitfahrer in den o.g. Fahrzeugkategorien, bezogen auf 10.000 Fahrzeuge, über eine Dekade aufgetragen. Für die Motorräder zeigen sich ab 1973 fallende Unfallzahlen, für die Kleinmotorräder ab 1976 nach einem Anstieg 74/75; die Motorfahräder zeigen nahezu konstante Unfallzahlen. Ein Vergleich der Werte von 1980 - bezogen auf 100.000 Fahrzeuge - zwischen der Bundesrepublik Deutschland (Abbildung 11) und der Schweiz, unter Vorbehalt der unterschiedlichen Fahrzeugbeschreibungen, ergibt die folgende **Tabelle 5**.

Schweiz		Bundesrepublik Deutschland	
	T ¹⁾ V ²⁾		T ¹⁾ V ²⁾
Motorräder	120 3850	Krafträder	150 5800
Kleinmotorräder		Kleinkrafträder	45 3300
Motorfahräder		Mofa	30 2000

1) Tote 2) Verletzte

Tabelle 5: Vergleich der auf 100.000 Fahrzeuge bezogenen Unfallzahlen in der Schweiz und der Bundesrepublik Deutschland (1980)

Es wird deutlich, daß bei der Verletztetenzahl für die Bundesrepublik Deutschland der Vergleich ungünstiger ausfällt.

3. Vergleich der Zahl an Verunglückten bei Unfällen mit PKW und motorisierten Zweirädern für die Jahre 1981 und 1982

BAST U3.2s	BESTAND (Mio FZ)	VERUNGLÜCKTE	JAHRESFAHRLEISTUNG/ FZ ₁) (KM)	JAHRESFAHRLEISTUNG GESAMT (MRD KM) ₅	GETÖTETE F + MF/ MRD KM	SCHWER- VERLETZTE F + MF/ MRD KM	LEICHT- VERLETZTE F + MF/ MRD KM
MOFA	1,224	24 924	1 800 ²⁾ (5 000) ⁶⁾	2,20 (6,12)	175 (63)	3 624 (1 302)	7 530 (2 707)
MOPED/ MOKICK	0,652	17 920	2 200 ¹⁾ (9 000)	1,43 ³⁾ (5,87)	150 (36)	3 929 (957)	8 452 (2 059)
KRAFTRAD/ ROLLER ⁴⁾	0,880	52 371	3 100 ¹⁾ (12 000)	2,73 (10,56)	483 (125)	6 512 (1 684)	12 188 (3 151)
PKW	23,731	265 047	13 300 ¹⁾	315,62	18	210	612

- 1) ohne vorübergehend abgemeldete Fahrzeuge
- 2) geschätzter Wert
- 3) Verkehr in Zahlen: Summe Mofa, Moped, Mokick 3.100 Mio km
- 4) einschließlich LKR
- 5) Eigenberechnung (Bestand multipliziert mit Jahresfahrleistung der Fahrzeuge)

Tabelle 6: Überblick über den Bestand, Verunglückte, Jahresfahrleistung und fahrleistungsbezogene Verunglücktenzahlen für motorisierte Zweiräder und Pkw im Jahre 1981

In Tabelle 6 sind für die einzelnen Fahrzeugkategorien in den ersten beiden Spalten die Bestandszahlen und die Verunglücktenzahlen dargestellt. Es folgen die Jahresfahrleistungen der einzelnen Fahrzeugkategorien, wobei für das Mofa nur Schätzwerte angegeben werden können. Der Schätzwert für das Mofa beruht auf der Annahme, daß die jährliche Fahrleistung unterhalb von Moped, Mokick (geschätzt: -15 bis 20%) anzusiedeln ist. Die multiplikative Verknüpfung der durchschnittlichen Jahresfahrleistung eines Fahrzeugs mit dem Bestand ergibt die in der vierten Spalte dargestellte Gesamtkilometerleistung pro Fahrzeugkategorie. Anschließend sind dargestellt die auf eine Milliarde Fahrkilometer der entsprechenden Fahrzeugart bezogenen Getöteten-, Schwerverletzten- und Leichtverletztenzahlen. Betrachtet man für diese Ver-

letzungsschweregrade Mofa und PKW im Vergleich, so ergibt sich für die Getöteten ein Verhältnis von 17 zu 1 und für die Leichtverletzten ein Verhältnis von 12 zu 1. Für die Krafträder/Roller fällt dieser Vergleich mit den PKW mit 27 zu 1, 31 zu 1 und 20 zu 1 besonders ungünstig aus.

Die **Tabellen 7 bis 9** weisen die Absolutzahlen auf für Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte, gegliedert nach "Fahrer" und "Mitfahrer". Als Hinweis auf die Einstiegsproblematik und die Entwicklungstendenzen im Unfallgeschehen sind die Jahrgänge über 15- bis unter 18jährigen, der 18- bis unter 21jährigen und der 21- bis unter 25jährigen zusätzlich in Einzeldarstellungen eingetragen. Eine vergleichende Betrachtung und Diskussion der Unfallzahlen zwischen den Fahrzeugkategorien wird nur für die bestandsbezogenen Verunglücktenzahlen durchgeführt.

BAST U3.2s	BESTAND IN MIO FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1,224	F	121	38	14	366
		MF	7	4	1	19
		Σ	128	42	15	385
MOPED/ MOKICK	0,652	F	79	23	4	191
		MF	14	2	2	23
		Σ	93	25	6	214
KRAFTRAD/ ROLLER	0,880	F	179	397	320	1 117
		MF	76	64	40	202
		Σ	255	461	360	1 319
PKW	23,731	F	25	745	641	3 826
		MF	297	369	216	1 952
		Σ	322	1 114	857	5 778

Tabelle 7: 1981 bei Straßenverkehrsunfällen getötete Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw verschiedener Altersklassen sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST U3,2s	BESTAND IN Mio FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1,224	F	3 696	968	424	7 614
		MF	209	40	11	359
		Σ	3 905	1 008	435	7 973
MOPED/ MOKICK	0,652	F	2 960	735	142	4 962
		MF	424	95	15	657
		Σ	3 384	830	157	5 619
KRAFTRAD/ ROLLER	0,880	F	3 865	5 040	3 385	14 552
		MF	1 301	1 076	447	3 227
		Σ	5 166	6 116	3 832	17 779
PKW	23,731	F	241	10 286	7 959	39 936
		MF	4 038	5 387	3 429	26 294
		Σ	4 279	15 673	11 388	66 230

Tabelle 8: 1981 bei Straßenverkehrsunfällen schwerverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw verschiedener Altersklassen sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST U3,2s	BESTAND IN Mio FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1,224	F	8 150	2 030	951	15 897
		MF	385	95	31	669
		Σ	8 535	2 125	982	16 566
MOPED/ MOKICK	0,652	F	6 520	1 635	323	10 479
		MF	1 064	280	33	1 608
		Σ	7 584	1 915	356	12 087
KRAFTRAD/ ROLLER	0,880	F	7 519	9 141	6 338	27 190
		MF	2 643	1 854	846	6 083
		Σ	10 162	10 995	7 184	33 273
PKW	23,731	F	379	21 114	19 938	116 084
		MF	7 982	12 183	8 988	76 955
		Σ	8 361	33 297	28 926	193 039

Tabelle 9: 1981 bei Straßenverkehrsunfällen leichtverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw verschiedener Altersklassen sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST U3.2s	BESTAND IN Mio FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1,224	F	99	31	11	299
		MF	6	3	1	16
		Σ	105	34	12	315
MOPED/ MOKICK	0,652	F	121	35	6	293
		MF	21	3	3	35
		Σ	142	38	9	328
KRAFTRAD/ ROLLER	0,880	F	203	451	364	1 269
		MF	86	73	45	230
		Σ	289	524	409	1 499
PKW	23,731	F	1	31	27	161
		MF	13	16	9	82
		Σ	14	47	36	243

Tabelle 10: 1981 getötete Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw bezogen auf 1 Mio Fahrzeuge dieser Kategorie sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST U3.2s	BESTAND IN Mio FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1,224	F	3 020	791	346	6 221
		MF	171	33	9	293
		Σ	3 191	824	355	6 514
MOPED/ MOKICK	0,652	F	4 540	1 127	218	7 610
		MF	650	146	23	1 008
		Σ	5 190	1 273	241	8 618
KRAFTRAD/ ROLLER	0,880	F	4 392	5 727	3 847	16 536
		MF	1 478	1 223	508	3 667
		Σ	5 870	6 950	4 355	20 203
PKW	23,731	F	10	433	335	1 683
		MF	170	227	144	1 108
		Σ	180	660	479	2 791

Tabelle 11: 1981 schwerverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw bezogen auf 1 Mio Fahrzeuge dieser Kategorie sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST Ü3,2s	BESTAND IN Mio FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1,224	F	6 658	1 658	777	12 988
		MF	315	78	25	547
		Σ	6 973	1 736	802	13 535
MOPED/ MOKICK	0,652	F	10 000	2 508	495	16 072
		MF	1 632	429	51	2 466
		Σ	11 632	2 937	546	18 538
KRAFTRAD/ ROLLER	0,880	F	8 544	10 388	7 202	30 898
		MF	3 003	2 107	961	6 913
		Σ	11 547	12 495	8 163	37 811
PKW	23,731	F	16	890	840	4 892
		MF	336	513	379	3 243
		Σ	352	1 403	1 219	8 134

Tabelle 12: 1981 leichtverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw bezogen auf 1 Mio Fahrzeuge dieser Kategorie sowie Bestände an Fahrzeugen

In den Tabellen 10 bis 12 werden die Verunglücktenzahlen für Getötete, Schwerverletzte und Leichtverletzte pro 1 Mio Fahrzeuge der jeweiligen Kategorie dargestellt. Ein Vergleich der bestandsbezogenen Daten zwischen Mofa und Pkw als Gesamtzahlen für Fahrer und Mitfahrer ergibt mit abnehmender Verletzungsschwere die Verhältnisse von 1,3 zu 1, 2,3 zu 1 und 1,7 zu 1. Aus dieser Sicht der bestandsbezogenen Daten kann eine Risikodifferenz zwischen Pkw- und Mofafahrern abgeleitet werden, die den Mofafahrer bezüglich eines tödlichen Unfalls um 30% und im Fall einer Verletzung um 100% schlechter stellt. Bei dieser Betrachtung soll deutlich gemacht werden, daß wegen des unterschiedlichen Besetzungsgrades ein direkter Vergleich Pkw/Mofa für Fahrer und Mitfahrer nicht unproblematisch erscheint. Eine Wertung der Zahlen muß mit einbeziehen, daß ein mittlerer Besetzungsgrad für die Pkw mit 1,6 Personen pro Fahrzeug anzusetzen ist, während das Mofa in der Regel mit einer Person besetzt ist. Darüber hinaus kann bei einer solch globalen Betrachtung die Einstiegsproblematik nicht deutlich gemacht werden. Es wer-

den deshalb für einen Vergleich noch einmal die Einstiegsjahrgänge herangezogen. Für die Mofafahrer ist dies die Altersgruppe der 15 - 18jährigen, für die Pkw-Fahrer die Altersgruppe der 18- bis unter 21jährigen. An Verhältniszahlen für den Vergleich Mofa/Pkw ergeben sich für die Getöteten 2,2 zu 1, für die Schwerverletzten 4,8 zu 1, und 5 zu 1 für die Leichtverletzten. Für die Kategorie Moped/Mokick lauten die entsprechenden Verhältniszahlen 3 zu 1, 7,9 zu 1 und 8,3 zu 1; für die Kategorie Kraftrad/Kraftroller 11 zu 1, 10,5 zu 1 und 8,9 zu 1. Wie das Beispiel der Mofafahrer zeigt, erhöht sich die Risikodifferenz von 30 auf 120% bei den Getöteten, von 130 auf 380% für die Schwerverletzten und von 70 auf 400% für die Leichtverletzten (15jährige Mofafahrer gegenüber den 18- bis 21jährigen Pkw-Fahrern).

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß sich bei einem Vergleich zwischen fahrleistungsbezogenen und bestandsbezogenen Verunglücktenzahlen erhebliche Unterschiede aufzeigen lassen. Dieses Spektrum wird noch verbreitert bei der Betrachtung ausgewählter Jahrgangsklassen oder bei der Wahl anderer Datenbasen (z.B. für die Fahrleistung unter Bezug auf die Quelle "Verkehr in Zahlen": Krafträder 3.100 km/a; Daten einer Felderhebung für 1982 der "Motor Presse Stuttgart 10.800 km/a). Wie ein Vergleich der Mofa/Pkw zeigt, ergeben sich Verhältniszahlen bei den Getöteten von 10 zu 1 bei Fahrleistungsbezug, von 1,3 zu 1 bei Bestandsbezug und 2,2 zu 1 bei Bestandsbezug in Einstiegsjahrgangsklassen. Daraus wird ersichtlich, daß sich ein Risikofaktor allgemeiner Gültigkeit nicht definieren läßt. An der generellen Aussage, daß motorisierte Zweiradfahrer wesentlich stärker gefährdet sind als Benutzer zweispuriger Fahrzeuge, ändert dies nichts.

In den Tabellen 13 bis 19 wird ein aktualisierter Vergleich für 1982 dargestellt. Die Bezugsdaten für die Fahrleistung wurden aus dem Vorjahr übernommen. Neben allgemein sinkenden bezogenen Verunglücktenzahlen bleiben die für 1981 dargestellten Verhältnisse nahezu konstant.

BAST Ü3,2s	BESTAND IN ¹⁾ MIO FZ	VERUNGLÜCKTE ¹⁾	JAHRESFAHRL- LEISTUNG/FZ (KM) ²⁾	JAHRESFAHR- LEISTUNG GE- SAMT (MRD KM) ³⁾	GETÖTETE F + MF/ MRD KM	SCHMERVERLETZ- TE F + MF/ MRD KM	LEICHTVERLETZ- TE F + MF/ MRD KM
MOFA	1.247	22.944	1.800	2.24	159	3.345	6.738
MOPED/ MOKICK	0.558	12.197	2.200	1.23	144	3.085	6.688
KRAD/ ROLLER	1.078	64.952	3.100	3,34	435	6.410	12.601
PKW	24.105	251.575	13.300	320,60	17	201	566

1) laut Fachserie 8 Reihe 3.3 Statistisches Bundesamt 1982

2) ohne vorübergehend abgemeldete Fahrzeuge; da keine aktuellen Daten vorlagen, wurden die Fahrleistungen des Vorjahres als Basis genommen

3) Eigenberechnung (Bestand multipliziert mit Jahresfahrleistung der Fahrzeuge)

Tabelle 13: Überblick über den Bestand, Verunglückte, Jahresfahrleistung und fahrleistungsbezogene Verunglücktenzahlen für motorisierte Zweiräder und Pkw im Jahre 1982

BAST Ü3,2s	BESTAND (MIO FZ)		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ÄLTERSKLASSEN
MOFA	1.247	F	107	21	14	346
		MF	5	1	2	11
		∑	112	22	16	357
MOPED/ MOKICK	0.558	F	62	21	4	173
		MF	3	1	--	4
		∑	65	22	4	177
KRAD/ ROLLER	1.078	F	264	401	342	1.243
		MF	76	75	28	210
		∑	340	476	370	1.453
PKW	24.105	F	14	735	637	3.660
		MF	257	342	269	1.949
		∑	271	1.077	906	5.609

Tabelle 14: 1982 bei Straßenverkehrsunfällen getötete Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw verschiedener Altersklassen sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST US, Zs	BESTAND IN MIO FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1.247	F	3.330	876	425	7.111
		MF	208	60	17	382
		Σ	3.538	936	442	7.493
MOPED/ MOKICK	0.558	F	1.570	642	171	3.396
		MF	240	65	17	398
		Σ	1.810	707	188	3.794
KRAD/ ROLLER	1.078	F	6.330	5.030	3.704	17.705
		MF	1.654	1.062	528	3.706
		Σ	7.984	6.092	4.232	21.411
PKW	24.105	F	222	10.191	7.887	39.257
		MF	3.875	5.149	3.506	25.149
		Σ	4.097	15.340	11.393	64.406

Tabelle 15: 1981 bei Straßenverkehrsunfällen schwerverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw verschiedener Altersklassen sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST US, Zs	BESTAND IN MIO FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1.247	F	6.986	1.935	886	14.538
		MF	302	67	26	556
		Σ	7.288	2.002	912	15.094
MOPED/ MOKICK	0.558	F	3.398	1.659	380	7.327
		MF	550	189	42	899
		Σ	3.928	1.848	422	8.226
KRAD/ ROLLER	1.078	F	13.021	9.411	6.990	34.623
		MF	3.391	2.157	971	7.465
		Σ	16.412	11.568	7.961	42.088
PKW	24.105	F	397	20.657	19.318	110.323
		MF	7.257	11.507	8.873	71.237
		Σ	7.654	32.164	28.191	181.560

Tabelle 16: 1981 bei Straßenverkehrsunfällen leichtverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw verschiedener Altersklassen sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST u3.2s	BESTAND IN MIO FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1.247	F	86	17	11	277
		MF	4	1	2	9
		Σ	90	18	13	286
MOPED/ MOKICK	0.558	F	111	38	7	310
		MF	5	2	--	7
		Σ	116	40	7	317
KRAD/ ROLLER	1.078	F	245	372	317	1.155
		MF	71	70	26	195
		Σ	316	442	343	1.348
PKW	24.105	F	1	30	26	152
		MF	11	14	11	81
		Σ	12	44	37	233

Tabelle 17: 1982 getötete Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw bezogen auf 1 Mio Fahrzeuge dieser Kategorie sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST / u3.2s	BESTAND IN MIO FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1.247	F	2.670	702	341	5.702
		MF	167	48	14	306
		Σ	2.837	750	355	6.008
MOPED/ MOKICK	0.558	F	2.814	1.151	306	6.086
		MF	430	116	30	713
		Σ	3.244	1.267	336	6.799
KRAD/ ROLLER	1.078	F	5.872	4.666	3.436	16.424
		MF	1.534	985	490	3.438
		Σ	7.406	5.651	3.926	19.862
PKW	24.105	F	9	423	327	1.629
		MF	161	214	145	1.043
		Σ	170	637	472	2.672

Tabelle 18: 1982 schwerverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw bezogen auf 1 Mio Fahrzeuge dieser Kategorie sowie Bestände an Fahrzeugen

BAST US. Zs	BESTAND IN MIO FZ		15 < 18	18 < 21	21 < 25	ALLE ALTERSKLASSEN
MOFA	1.247	F	5.602	1.552	711	11.658
		MF	242	54	21	446
		Σ	5.844	1.606	732	12.104
MOPED/ MOKICK	0.558	F	6.090	2.973	681	13.131
		MF	950	339	75	1.611
		Σ	7.040	3.312	756	14.742
KRAD/ ROLLER	1.078	F	12.079	8.730	6.484	32.118
		MF	3.146	2.001	901	6.925
		Σ	15.225	10.731	7.385	39.043
PKW	24.105	F	16	857	801	4.577
		MF	301	477	368	2.955
		Σ	317	1.334	1.169	7.532

Tabelle 19: 1982 leichtverletzte Fahrer und Mitfahrer von motorisierten Zweirädern und Pkw bezogen auf 1 Mio Fahrzeuge dieser Kategorie sowie Bestände an Fahrzeugen

4. Zusammenfassung der statistischen Ergebnisse und weiterführende Fragestellungen

Die Statistik weist insgesamt steigende Zahlen im Bestand motorisierter Zweiräder aus. Während die Zahl der im Verkehr befindlichen Moped rückläufig ist, verzeichnet die Klasse der zulassungspflichtigen Krafträder und Leichtkrafträder besonders hohe Steigerungsraten. Die Bestandsentwicklung bei den Krafträdern (als zulassungspflichtige Krafträder) ist gleichzeitig verknüpft mit einem Trend zu höheren Hubraumklassen. Die progressive Entwicklung in der niedrigsten Hubraumklasse wird durch die Neueinführung und die hohen Verkaufszahlen in der Leichtkraftradklasse "LKR 80" geprägt. Ob und wie weit die Verkaufszahlen in Zukunft ähnliche Zuwachsraten zeigen werden, muß auch angesichts der aktuellen Überlegungen zur Neufassung der Versicherungsprämie offen bleiben.

In den einzelnen Kategorien der motorisierten Zweiräder zeigen die Verunglücktenzahlen als Gesamtzahl und aufgeschlüsselt nach Altersklassen folgenden Trend:

Verunglücktenzahl als Gesamtzahl

- Mofa, Moped/Mokick fallende Absolutzahlen
- Leichtkrafträder ansteigende Absolutzahlen; für die Schwer- und Leichtverletzten sogar überproportional steigende Absolutzahlen,
- Krafträder/Kraftroller nahezu lineares Anwachsen der Verunglücktenzahlen.

Bei der Interpretation der derzeitigen absoluten Verunglücktenzahl ist auf den Zusammenhang mit der Bestandsentwicklung zurückzugreifen. Die Zunahme der Unfälle mit Personenschäden in der Gruppe der Krafträder/Kraftroller erklärt sich dann teilweise aus der progressiven Bestandsentwicklung. Bezieht man die Verunglücktenzahlen auf 100.000 Fahrzeuge in der jeweiligen Fahrzeugkategorie, ergeben sich für die Gruppe der Krafträder/Kraftroller sogar fallende Verunglücktenzahlen. Diese Darstellungsart sollte aber nicht darüber hinwegtäuschen, daß die auf 100.000 Fahrzeuge bezogene Zahl der ge-

töteten Motorradfahrer immer noch fünf mal so hoch ist wie die Zahl der getöteten Moped/Mokick- und Mofafahrer (1981). Die Verletztenzahlen erreichen nahezu zweifache bzw. dreifache Werte.

Der Vergleich zwischen motorisiertem Zweirad und PKW (Tabelle 13) für das Jahr 1982 liefert bei Fahrleistungsbezug (1 Milliarde km) unterschieden nach Verletzungsschweregraden die folgenden in der Übersicht zusammengestellten Verhältniszahlen.

1 9 8 2	Mofa	Moped/ Mokick	Kraftrad ¹⁾
	PKW	PKW	PKW
Getötete	9,4	8,5	25,6
Schwerverletzte	16,6	15,3	31,9
Leichtverletzte	11,9	11,8	22,3

1) einschl. Leichtkraftrad

Übersicht: Vergleich Zweirad/PKW der auf Fahrleistung (1 Mrd. km) bezogenen Verunfalltenzahlen

Bei Bestandsbezug (1 Mio Fz. der jeweiligen Kategorie) ergeben sich grundsätzlich andere Verhältnisse.

1 9 8 2	Mofa	Moped/ Mokick	Kraftrad ¹⁾
	PKW	PKW	PKW
Getötete	1,2	1,4	5,8
Schwerverletzte	2,2	2,5	7,4
Leichtverletzte	1,7	2,0	5,2

1) einschl. Leichtkraftrad

Übersicht: Vergleich Zweirad/PKW der auf Bestand (1 Mio Fz) bezogenen Verunglücktenzahlen.

Aus diesen beiden Übersichten wird ersichtlich, daß ein Risikofaktor allgemeiner Definition nicht formuliert werden kann.

Aufschlüsselung der Verunglücktenzahlen 1980 bis 1982 nach Altersklassen

■ Mofa

Fallende Verunglücktenzahlen, besonders in den frühestmöglichen Einstiegsjahrgängen.

■ Moped/Mokick

Stark fallende Verunglücktenzahlen in den frühestmöglichen Einstiegsjahrgängen (z.B. Rückgang bei den Leichtverletzten auf 1/4 in der Altersklasse der 16jährigen).

■ Leichtkraftrad

Exponentielles Anwachsen der Verunglücktenzahlen in der frühestmöglichen Altersklasse (16 Jahre).

■ Kraftrad/Kraftroller

Nahezu Konstanz der Verunglücktenzahlen in der frühestmöglichen Altersklasse (18 Jahre); in der Altersklasse der 20jährigen nahezu lineares Anwachsen der Verunglücktenzahl.

**Epidemiologie von Unfällen motorisierter
Zweiradfahrer in der Bundesrepublik Deutschland
– Sicherheitsaspekte –**

**Herrmann Appel
Dietmar Otte
Joachim Wüstemann**

Gliederung

Kapitel		Seite
1.	Einleitung	49
2.	Die Bedeutung des Zweiradunfalls im gesamten Unfallgeschehen	54
3.	Das Unfallrisiko des Zweirad- benutzers im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern	63
4.	Unfallursachen beim Zweiradunfall und ihr Bezug zu Besonderheiten des motorisierten Zweirads	67
5.	Kinematik beim Zweiradunfall in den Kollisionsphasen	76
6.	Maßnahmen zur Aktiven und Passiven Sicherheit am motorisierten Zweirad	82

1. Einleitung

In dem Jahrzehnt von 1970 bis 1980 ist der Bestand motorisierter Zweiräder um ca. 100% von 1,4 Mio. auf 2,8 Mio. angewachsen. Es wird erwartet, daß zum Ende der achtziger Jahre der Bestand weiter anwachsen wird, wobei Mofas und Motorroller einen besonders großen Anteil haben. Drei Gründe lassen sich für diesen außerordentlichen Zuwachs anführen:

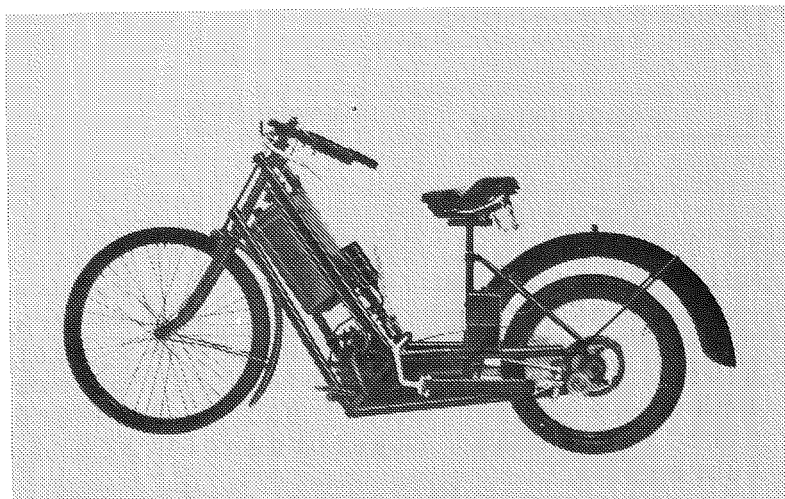
- das motorisierte Zweirad ist wirtschaftlicher als andere Kfz
- das motorisierte Zweirad ist "hoffähig" geworden, es ist "in"
- das Motorrad bietet einen hohen Freizeitwert; es macht Spaß, Motorrad zu fahren.

In entsprechendem Maße zum Bestandszuwachs ist leider auch die Unfallbeteiligung motorisierter Zweiradbenutzer gestiegen. Die Zahl der Verletzten und Getöteten betrug 1970 48.536 und 1980 98.367.

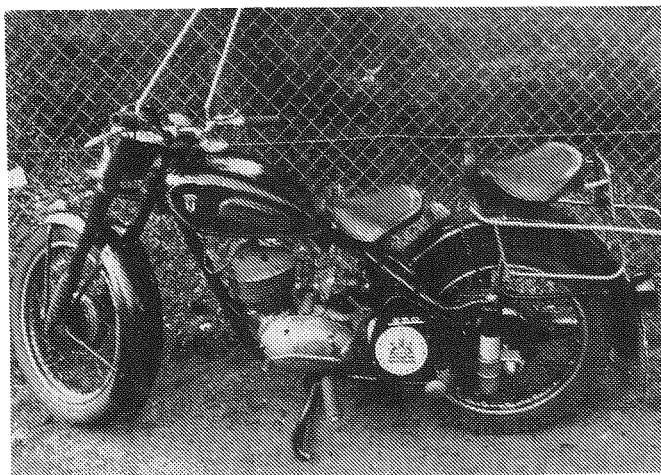
Das entspricht einem Anstieg von 103%. Bei Pkw-Insassen fiel in dem gleichen Zeitraum die Zahl der Verunglückten um 19% trotz einer Steigerung des Bestands um 67%. Das Unfallgeschehen von Zweirad und Pkw weist also eine völlig gegenläufige Entwicklung auf.

Die konstruktive Auslegung von Motorrädern hat sich in der Gesamtkonzeption seit Beginn des Jahrhunderts prinzipiell nicht geändert, wie die in **Abbildung 1** gezeigten Maschinen deutlich machen. Heute gehört zur Sicherheitsausstattung eines Motorrads:

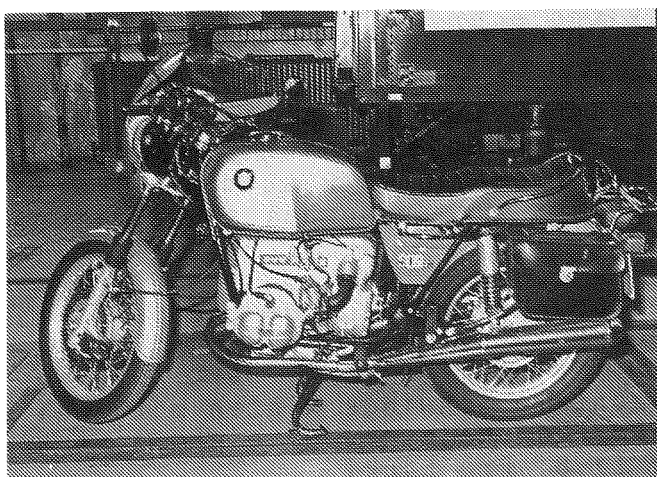
- Teleskopgabel vorn, gegebenenfalls mit Anti-Dive System
- horizontale Schwinge hinten mit zwei außenliegenden Federbeinen oder einem zentralen Federbein (z.B. Pro Link)
- steifer Zentralrohrrahmen, evtl. Motor mittragend, oder Gitterrohrrahmen



Erstes Serienmotorrad (Hildebrandt, Wolfmüller), München, 1894



DKW 250, Baujahr 1953



BMW 900, Baujahr 1980

Abbildung 1: Motorradentwicklung

- Einstellbare Feder- und Dämpferraten
- unabhängige Scheibenbremsen vorn und hinten
- Reifen mit hoher Haftreibung
- entschärfte Anordnung von Bedienungselementen
- Seitenschutzeinrichtungen
- Verkleidungen

Die heutige Einteilung der motorisierten Zweiräder in Mofas, Mopeds, Mokicks, Leichtkrafträder, Motorroller und Motorräder ist vielfältig und verwirrend. Eine Übersicht über die Unterscheidungsmerkmale ist in **Abbildung 2** gegeben.

Die Tendenzen von Bestands- und Unfallzahlen machen verständlich, daß in jüngster Zeit verstärkte Anstrengungen auf dem Gebiet der Zweiradsicherheit vorgenommen wurden. Vom Gesetzgeber wurde das Tragen von Schutzhelmen vorgeschrieben [Löffelholz, 1980 (87)], das Tragen von Schutzkleidung wird dringendst empfohlen, die Ausbildung wurde intensiviert, u.a. durch die Einführung der Fahrerlaubnisklasse 1b als Einstieg zur Klasse 1 [List, 1980 (86)].

Kriterium Art	maxim. Hubraum [cm ³]	maxim. Geschw. [km/h]	maxim. Drehzahl [U/min]	Fahrerl. Klasse	Mindest- alter [Jahre]	Amtl. Kenn- zeichen	KFZ- Steuer	Pflicht- untersuch.	Helm- pflicht
Mofa 25	50	25	4800	ohne	15	nein	nein	nein	nein
Moped	50	40	un- begrenzt	4	16	nein	nein	nein	ja
Mokick	50	40	un- begrenzt	4	16	nein	nein	nein	ja
Leichtkraftrad	80	80	6000	1b	16	ja	nein	ja	ja
Motorroller	un- begrenzt	un- begrenzt	6000, un- begrenzt	1b, 1	16	ja	nein, ja	ja	ja
Motorrad	un- begrenzt	un- begrenzt	un- begrenzt	1	18	ja	ja	ja	ja

Abbildung 2: Einteilung von Krafträdern
(ab 1.1.1981)

Von Behörden und Institutionen wurden einschlägige Forschungsprojekte initiiert [Otte, 1981 (100); Otte, 1980 (33); Jessl, 1978 (61)]. Spezielle Kolloquien und Seminare zur Sicherheit und zur Unfallrekonstruktion von motorisierten Zweirädern werden seit 1980 abgehalten [Sicherheit, 1981 (122); Appel, 1982 (109)] und ein spezielles "Institut für Zweiradsicherheit e.V." wurde im Jahre 1981 in Bochum gegründet. Spezifische Arbeiten, deren Ergebnisse in Monographien veröffentlicht wurden, beschäftigen sich seit den 60er Jahren mit Problemen der Sicherheit von motorisierten Zweirädern [Severy, 1970 (121); Danner, 1979 (23); Otte, 1980 (101); Bühler, 1976 (17); Spornier, 1982 (126); Barry, 1970 (5); Hurt, 1981 (56); NHTSA, 1980 (130)].

Vergleicht man den Stand des Wissens, die Anzahl und die Effektivität von eingeführten Maßnahmen hinsichtlich der Aktiven und Passiven Sicherheit von motorisierten Zweirädern mit der Situation bei Personenkraftwagen, so ist festzustellen, daß man sich in einem Stadium des Beginnes und des Suchens befindet, vergleichbar mit der Situation beim Personenkraftwagen in den 50er Jahren. Abgesehen davon, daß man am Anfang steht, stellt sich die Situation auch schwieriger dar: Die Zweiradfahrer zeigen eine höhere Risikobereitschaft, das Zweirad ist fahrdynamisch schwieriger zu beherrschen, bei der Kollision treten die verschiedensten Bewegungsabläufe auf, während der Kollision ist der Zweiradbenutzer stärker auf Vorkkehrungen beim Kollisionsgegner angewiesen, die passiven Schutzmöglichkeiten am Motorrad sind begrenzt, der Zweiradbenutzer ist dem Kontakt mit dem Kollisionsgegner direkt ausgesetzt.

All diese Gründe führen zu der Erkenntnis, daß die Passive Sicherheit beim motorisierten Zweirad, beim Zweiradbenutzer und beim potentiellen Kollisionsgegner zwar wichtig sind, daß sie aber im Stellenwert hinter der Aktiven Sicherheit des Gesamtsystems Fahrer, Fahrzeug, Umwelt zurückstehen werden.

Im vorliegenden Beitrag soll zunächst ein Überblick über die zeitliche Entwicklung und die Einordnung des Unfalls motorisierter Zweiräder hinsichtlich Häufigkeit, Risiko und Unfallursachen gegeben werden. Anhand von Ergebnissen örtlicher

Unfallerehebungen werden die Verletzungssituation sowie die Kinematik und die Dynamik des Zweiradunfalls kurz dargestellt. Auf der Bestandsaufnahme aufbauend werden einige Möglichkeiten und Sicherheitsaspekte im Hinblick auf die Senkung der Unfallbilanz diskutiert.

2. Die Bedeutung des Zweiradunfalls im gesamten Unfallgeschehen

Die Zahl der Verletzten im Straßenverkehr ist seit 1970 trotz erheblicher Schwankungen bei etwa 500.000 pro Jahr geblieben, während die Zahl der Getöteten von etwa 19.000 auf unter 12.000 abgenommen hat, siehe Abbildung 3. Schlüsselte man die Getöteten nach Verkehrsteilnehmern auf, so erkennt man eine stark abnehmende Tendenz bei Pkw-Insassen und Fußgängern, eine schwach abnehmende Tendenz bei Fahrradfahrern, eine leichte Zunahme bei Mofa/Moped/Mokick-Benutzern und eine starke Zunahme bei Motorrädern/Motorrollern, siehe Abbildung 4.

Betrachten wir nun die Gruppe der Pkw-Insassen (siehe Abbildung 5) und die der Zweiradbenutzer (siehe Abbildung 6) etwas genauer. Der Bestand der Pkw ist in dem Jahrzehnt 1970 - 1980 kontinuierlich um insgesamt 70% gestiegen, die Zahl der Verletzten etwa um 20% und die der Getöteten um mehr als 30% zurückgegangen, siehe Abbildung 5. Bei motorisierten Zweirädern war die Bestandszunahme mit etwa 90% höher als beim Pkw, siehe Abbildung 6. In dem Jahrzehnt von 1970 bis 1980 hat, anders als beim Pkw, die Zahl der Verletzten um etwa 100%, die Zahl der Getöteten um 30% zugenommen.

In dem Jahrzehnt steigender Verkehrsdichte und insgesamt zunehmender Verkehrssicherheit ergibt sich also für motorisierte Zweiradfahrer eine deutliche Erhöhung der Unfallbilanz. Die positive Gesamtentwicklung wird durch die motorisierten Zweiräder negativ beeinflusst.

Verfolgt man die zeitliche Entwicklung bei den verschiedenen Arten von motorisierten Zweirädern genauer (siehe Abbildung 7 bis 10), so kann man folgende Feststellung treffen:

- Kleinkrafträder sowie Mopeds/Mokicks blieben im Bestand zwischen 1970 und 1980 etwa konstant. Motorräder und vor allem Mofas zeigten Anstiege um 100% bzw. 700%, siehe Abbildung 7. Im Jahre 1982 hat sich übrigens gegenüber dem Vorjahr bei den hubraumstarken Leichtkrafträdern (50 - 80

ccm) ein Zuwachs von etwa 40% und bei den Motorrollern zwischen 50 und 80 ccm sogar ein Zuwachs von mehr als 220% ergeben.

- Die Zahl der Verletzten und der Getöteten hat sich im vergangenen Jahrzehnt im Verhältnis zum Bestandszuwachs bei Mofas und Motorrädern erheblich erhöht, siehe Abbildungen 8 und 9.
- Betrachtet man die getöteten Zweiradbenutzer in Relation zur Gesamtzahl der im Straßenverkehr Getöteten, siehe Abb. 10, so fällt insbesondere der Anstieg bei Motorrädern von 4% auf nunmehr über 10% auf.

Im internationalen Vergleich [Grosse-Berndt, 1981 (40)] mit den Niederlanden, Großbritannien und Japan zeigen sich für die Bundesrepublik Deutschland hohe Zuwachsraten im Bestand von motorisierten Zweirädern und bei den Getöteten, siehe Abbildung 11.

Nimmt man das Jahr 1981 als Stichjahr und vergleicht die im Straßenverkehr Verletzten nach der Art der Verkehrsteilnahme, so erscheinen bei den Verletzten nach den Pkw-Insassen die Benutzer motorisierter Zweiräder mit 19,3% bereits an zweiter Stelle, bei den Getöteten nach Pkw-Insassen und Fußgängern mit 15,3% an dritter Stelle, siehe Abbildungen 12 und 13.

Insgesamt ergibt sich aus diesen Gegenüberstellungen, die auf dem Zahlenmaterial des Statistischen Bundesamtes beruhen, daß der Verkehrsunfall des motorisierten Zweiradfahrers heute nach dem Pkw-Unfall und vor dem Fußgängerunfall den zweithöchsten Stellenwert hat und daß die Tendenz des Unfallgeschehens im Gegensatz zu allen anderen Verkehrsteilnehmern steigend ist. Kurzzeitverbesserungen wie beim Vergleich 1980/81 sollten zu keinen voreiligen Einschätzungen über den Globaltrend Anlaß geben.

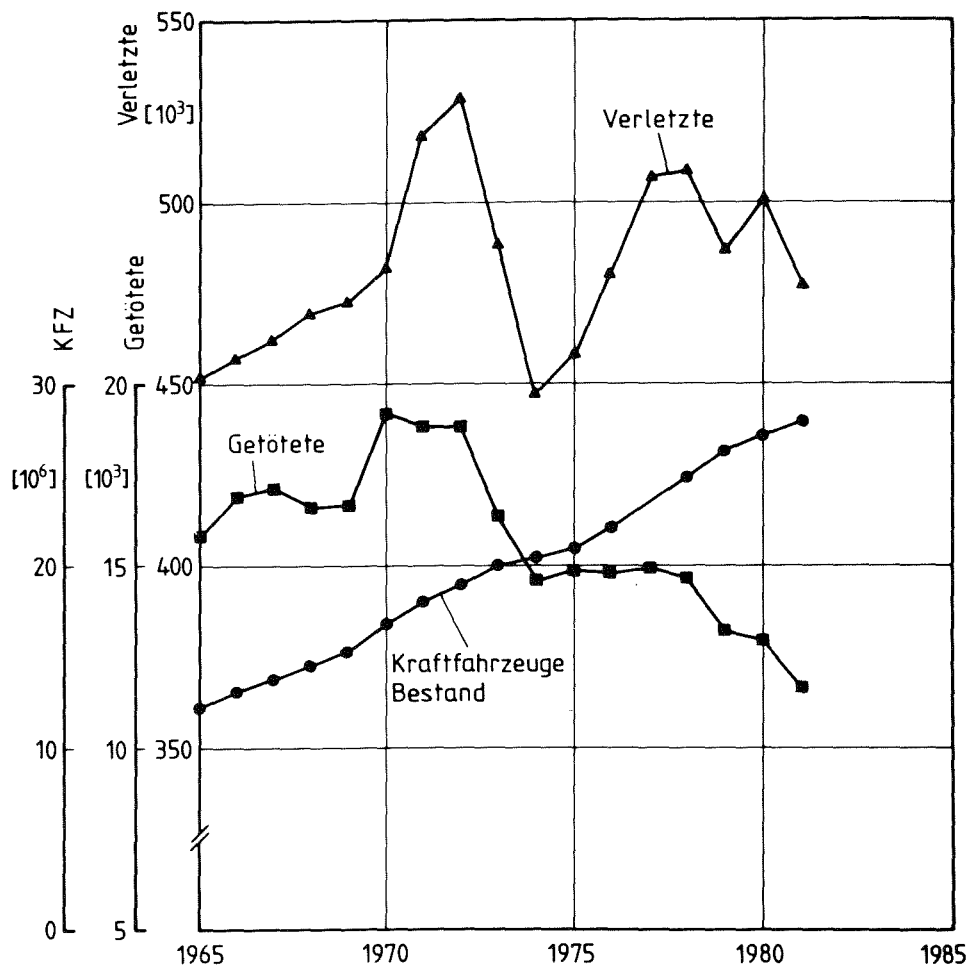


Abbildung 3: Zahl der Unfallopfer im Straßenverkehr (BRD) zeitliche Entwicklung
Quelle: Statistisches Bundesamt

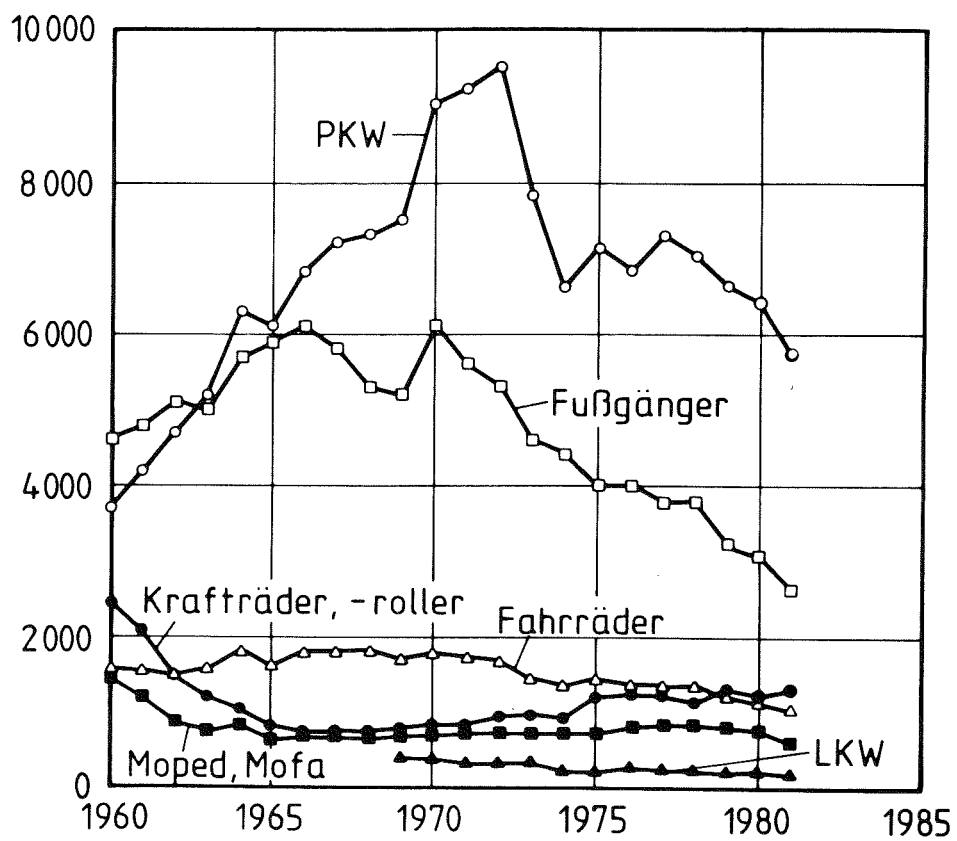


Abbildung 4: Tödlich Verletzte im Straßenverkehr nach Art der Verkehrsteilnahme
Quelle: Statistisches Bundesamt

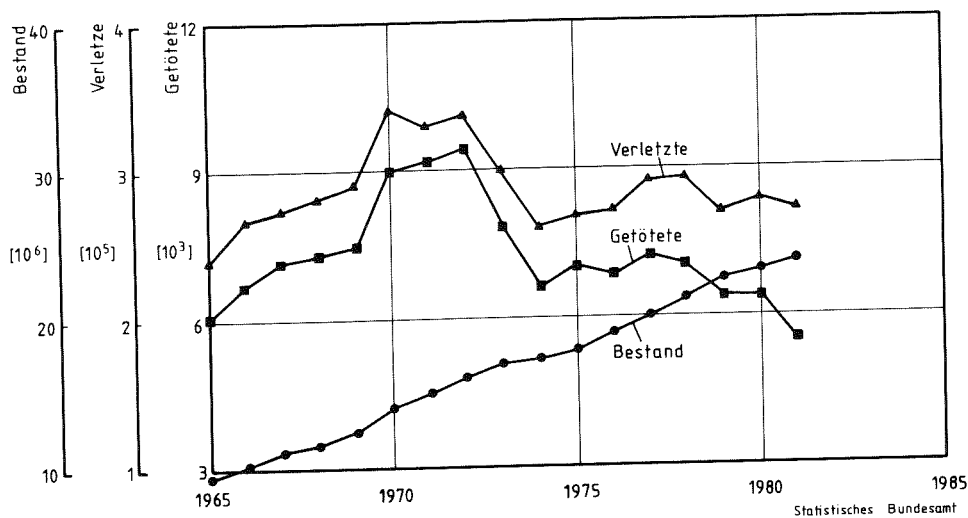


Abbildung 5: Personenkraftwagen
Bestand, Verletzte, Getötete
zeitliche Entwicklung

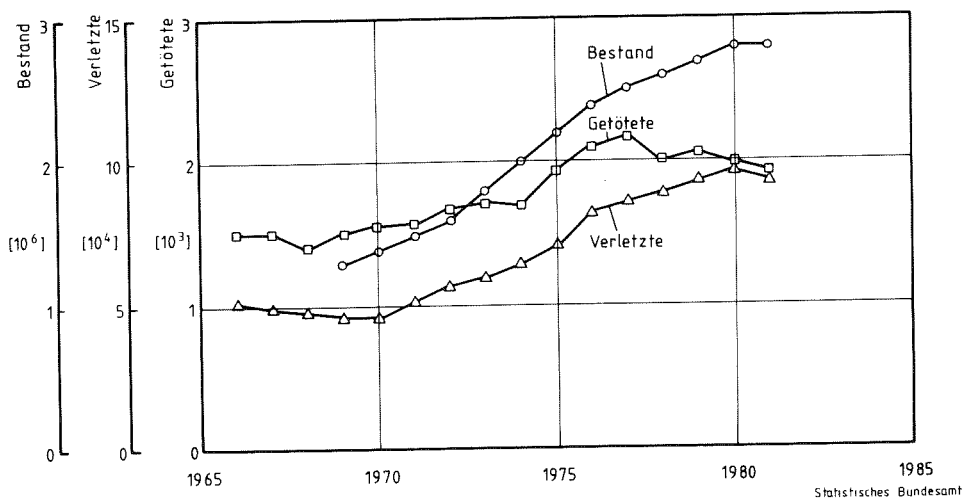
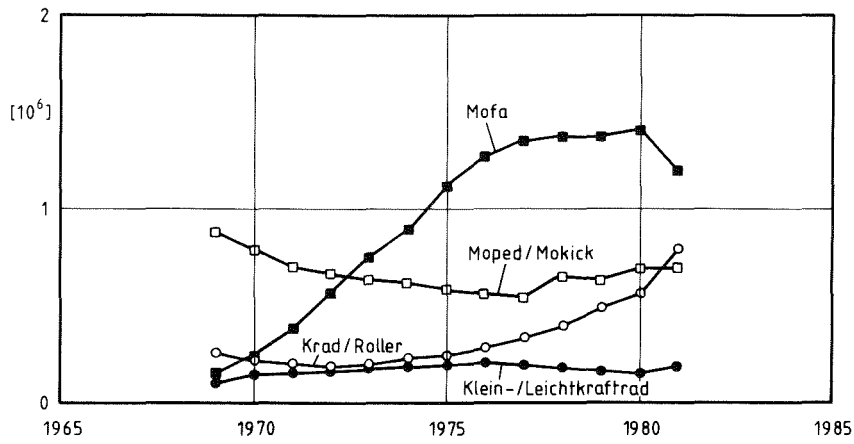
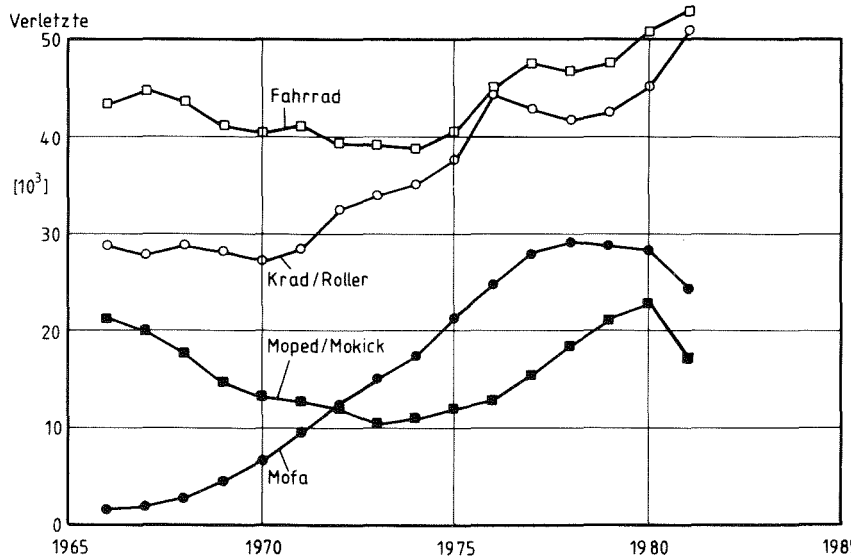


Abbildung 6: Motorisierte Zweiräder
Bestand, Verletzte, Getötete
zeitliche Entwicklung



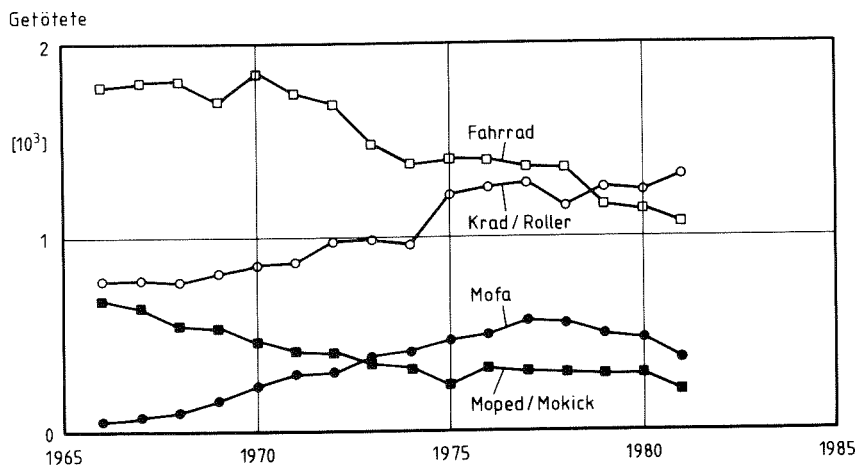
Statistisches Bundesamt

Abbildung 7: Bestand motorisierter Zweiräder
zeitliche Entwicklung



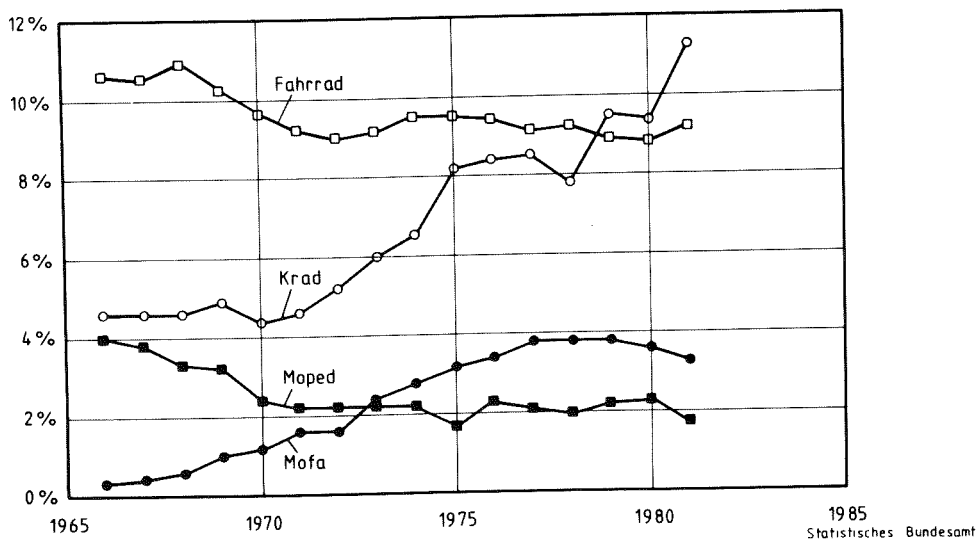
Statistisches Bundesamt

Abbildung 8: Verletzte Zweiradbenutzer
zeitliche Entwicklung



Statistisches Bundesamt

Abbildung 9: Getötete Zweiradbenutzer zeitliche Entwicklung



Statistisches Bundesamt

Abbildung 10: Anteil der getöteten Zweiradbenutzer zeitliche Entwicklung

Land Bestand Verunglückte	BR	Nieder-	Groß-	Japan
	Deutschland	lande	britanien	
Bestand 1979 [10³]				
Krafträder ≤ 50 cm ³	2 190	(1 050)	466	10 098
Änderung 1970/79	+ 82 %	(- 45 %)	+ 5 %	+ 24 %
Krafträder > 50 cm ³	479	(92)	826	880
Änderung 1970/79	+ 109 %	(+ 33 %)	+ 36 %	+ 19 %
Verunglückte 1979				
Verletzte und Tote	94 479	17 459	67 155	
Änderung 1970/79				
Getötete	2 050	298	1 160	2 140
Änderung 1970/79	+ 32 %	- 52 %	+ 52 %	- 43 %

Statistisches Bundesamt

Abbildung 11: Vier-Länder-Vergleich
Motorisierte Zweiräder
Bestand, Verunglückte

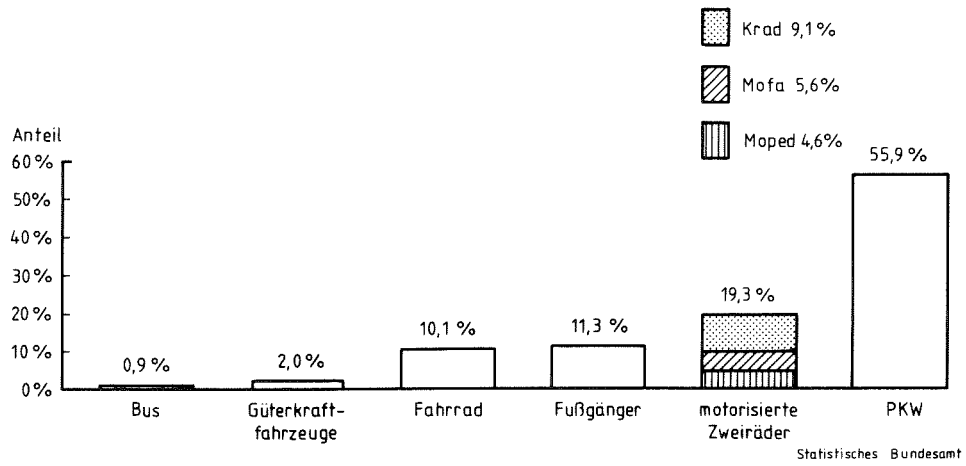


Abbildung 12: Verletzte Verkehrsteilnehmer
Anteil nach Verkehrsteilnahme
(1980)

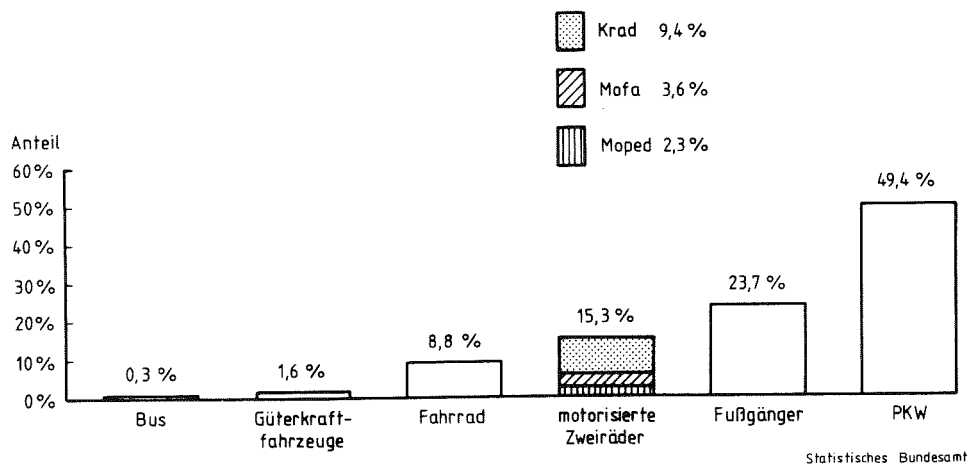


Abbildung 13: Getötete Verkehrsteilnehmer
Anteil nach Verkehrsteilnahme
(1980)

3. Das Unfallrisiko des Zweiradbenutzers im Vergleich zu anderen Verkehrsteilnehmern

Der Begriff "Unfallrisiko" wird hier im Sinne der in der Unfallforschung üblichen Definition als relative Häufigkeit und nicht im Sinne der Versicherungstechnik als Produkt von Häufigkeit und Schadenshöhe verwendet [Brühning, 1982 (16)].

Es ist bekannt und evident, daß "äußere" Verkehrsteilnehmer gegenüber Pkw-Insassen schwerere Verletzungen davontragen, nachdem sie in einen Unfall verwickelt worden sind. In **Abbildung 14** ist das Risiko verschiedener Verkehrsteilnehmer für schwere und tödliche Verletzungen nach Verwicklung in einen Unfall mit Personenschaden dargestellt. Von 100 verletzten Zweiradfahrern ziehen sich 35 schwere oder tödliche Verletzungen zu, von 100 verletzten Busfahrern beispielsweise nur 13. Zielt man allein auf das Risiko für tödliche Verletzungen nach einem Unfall mit Personenschaden ab, so werden die Unterschiede noch deutlicher. Gegenüber anderen Verkehrsteilnehmern (ausgenommen Fußgängern) hat also der mototisierte Zweiradbenutzer bei Unfällen eine geringere Chance, mit leichten Verletzungen davonzukommen.

Zwei andere Arten von Risikogrößen sind in **Abbildung 15** und **Abbildung 16** dargestellt. Die bestandsbezogene Getötetenrate, definiert als getötete pro 1000 Fahrzeuge, zeigt seit 1970 einen Abwärtstrend, für das Motorrad/-roller erst ab 1975 und zwar mit einem starken Abfall. Heute liegt diese Rate für Pkw, Mofa und Moped/Mokick unter 0,4, für das Motorrad dagegen bei 1,7. Das heißt, die Wahrscheinlichkeit, auf einem Motorrad tödlich verletzt zu werden, ist etwa 6mal so hoch wie die Wahrscheinlichkeit, in einem Pkw tödliche Verletzungen zu erleiden.

Bei der fahrleistungsbezogenen Getötetenrate, definiert als Getötete pro 10 Mio. Fzg. km, treten die Risiken des Zweiradfahrers noch deutlicher hervor. In Relation zum Pkw ist bei gleicher Fahrstrecke das Risiko für tödliche Verletzungen bei Moped/Mokick um den Faktor 5, beim Motorrad um den Faktor 44 größer. Dabei ist der geringe Besetzungsgrad eines Zweirads noch nicht einmal eingerechnet.

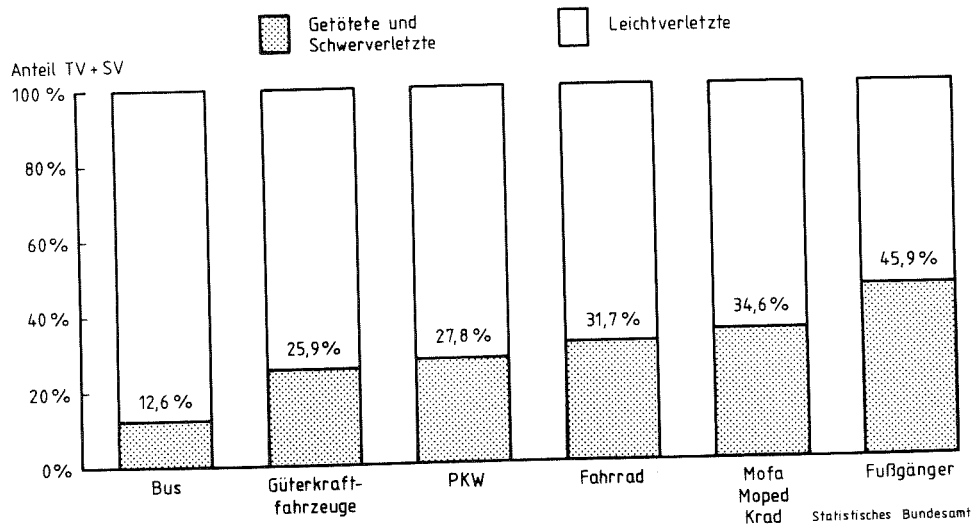


Abbildung 14: Tödliche und schwere Verletzungen bei verunglückten Verkehrsteilnehmern (1980)

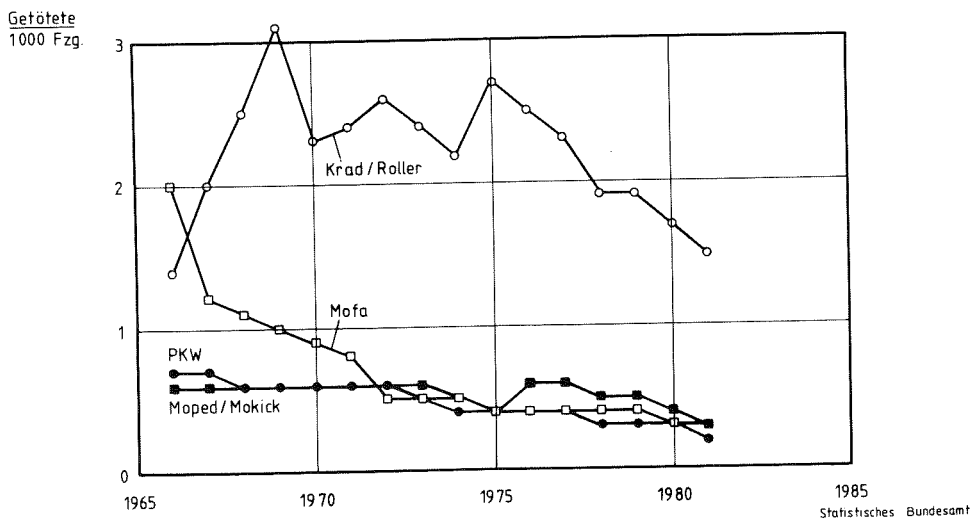


Abbildung 15: Entwicklung der bestandbezogenen Getötetenrate

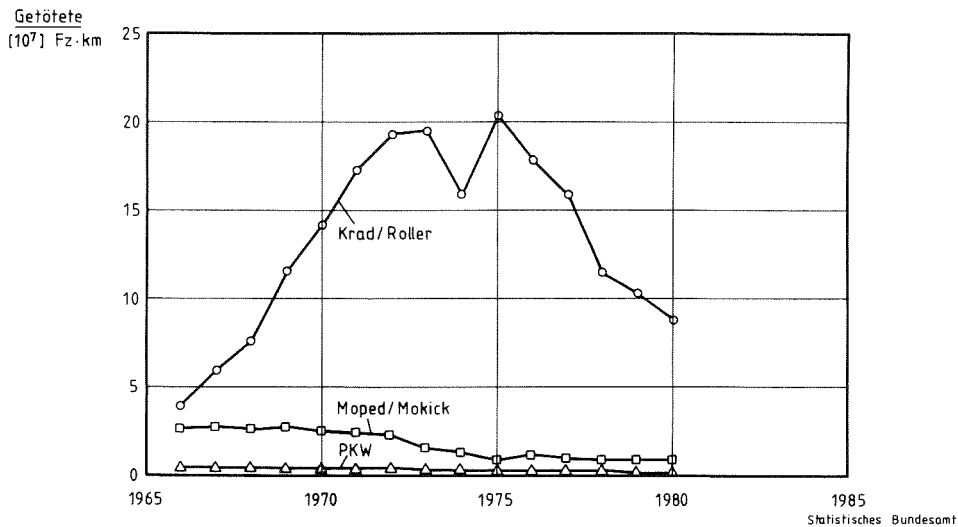


Abbildung 16: Entwicklung der fahrleistungsbezogenen Getötetenrate

Die Risikoüberhöhung für leichte und schwere Verletzungen ließe sich in entsprechender Weise ermitteln. Die Tendenz bleibt jeweils die gleiche.

Eine anschauliche Darstellung des Risikos erhält man, wenn man die genannten Risiken in Fahrstrecken, Fahrzeiten und Lebensjahren bis zum Auftreten von Unfallverletzungen angibt (Bezugsjahr 1980).

	Pkw-Fahrer	Mokick-, Moped-fahrer	Roller-, Krad-fahrer
Fahrstrecke (Mio km) bis tödl. Unf.	70,6	12,9	1,4
Fahrstrecke (Mio km) bis Unfallverl.	1,8	0,2	0,04
Fahrzeit (Jahre) bis tödl. Unf.	134,3	49,0	2,6
Fahrzeit (Jahre) bis Unfallverl.	3,4	0,7	0,1
Zeit (Lebensjahre) bis tödl. Unfall	5.473	8.600	560
Zeit (Lebensjahre) bis Unfallverl.	140	133	16

Bei der Ermittlung der reinen Fahrzeiten sind als Durchschnittsgeschwindigkeiten beim Pkw und beim Motorrad 60 km/h, beim Moped/Mikick 30 km/h eingesetzt worden. Die Zahlen basieren auf jährlichen Fahrleistungen von

Pkw:	12.900 km/a
Moped/Mokick:	1.500 km/a
Motorrad:	2.500 km/a

Die Risikofaktoren des Motorrads gegenüber dem Pkw für tödliche Verletzungen liegen je nach Bezug unterschiedlich:

Bezug Fz-Bestand :	Risikofaktor 6
Bezug Lebenszeit :	Risikofaktor 10
Bezug Fahrstrecke:	Risikofaktor 50
Bezug Fahrzeit :	Risikofaktor 52

Man erkennt aus diesen Zahlen, daß man bei Angaben, um "wieviel" das Motorradfahren gegenüber dem Pkw-Fahren gefährlicher ist, jeweils auf die Zielgröße (Verletzte, Getötete, tödlicher Unfall) und auf den Bezug (Fahrstrecke, Fahrzeit, Lebenszeit, Fahrleistung, Anzahl der Fahrzeuge) achten muß. Bei Bezug auf die Fahrleistung ergeben sich für das Motorrad gegenüber dem Pkw Risikoüberhöhungen von etwa 50, bei Bezug auf den Bestand resultieren Risikoüberhöhungen von etwa 6.

4. Unfallursachen beim Zweiradunfall und ihr Bezug zu Besonderheiten des motorisierten Zweirads

Legt man die Unfallerehebungen der Polizei zugrunde, wie sie in den Daten des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden dokumentiert sind, so ergeben sich die in **Abbildung 17** mit ihrem prozentualen Anteil dargestellten vier Hauptunfallursachen. Verglichen wird das Motorrad bei Unfällen mit Getöteten und mit Personenschäden insgesamt mit dem Personenkraftwagen, dem Nutzfahrzeug und dem Fahrrad.

Unfallursache	Anteil der Ursachen der Verkehrsteilnehmer bei Unfällen mit							
	Getöteten				Personenschäden			
	Pkw	Nzfs	Krad	Rad	Pkw	Nzfs	Krad	Rad
Alkoholeinfluß	15,7		12,2	8,5	10,1		10,5	
Benutzung der falschen Fahrbahn								12,3
Verstoß gegen Rechtsfahrgebot	7,4		9,0					
nicht angepaßte Geschwindigkeit	37,6	24,9	37,9		25,0	20,1	23,9	
ungenügender Sicherheitsabstand							12,6	
Fehler beim Überholen							7,8	
Nichtbeachten der Vorfahrt		7,2	9,2	28,0	15,6	12,7	10,0	18,2
Fehler beim Abbiegen		7,7		12,7	8,1	7,9		11,7
Fehler b. Einfahren in fließ. Verkehr				7,8				7,5
falsches Verhalten gegen Fußgänger	7,4	11,2						
sonstige Ursachen	31,9	49,0	31,7	43,0	41,2	46,7	47,8	50,3
Summe	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Abbildung 17: Die vier Hauptunfallursachen der verschiedenen Verkehrsteilnehmer (1981)

Nicht angepaßte Geschwindigkeit steht für das Motorrad in gleicher Weise wie für den Pkw und das Nutzfahrzeug an erster Stelle. Danach folgt wie beim Pkw der Alkoholeinfluß. Im dritten Rang steht für das Motorrad das Nichtbeachten der Vorfahrt.

Nach den differenzierten In-Depth Untersuchungen der Unfallforschung MHH/TUB [Otte, 1981 (100); Appel, 1980 (3)] stellt sich die Situation und das Fehlverhalten des motorisierten Zweiradbenutzers zusammengefaßt wie folgt dar:

- Der Anteil der Beifahrer, bezogen auf die Zahl der Fahrzeuge, beträgt für

Motorrad/-roller	26%
Moped/Mokick	25%
Mofa	6%

(nur für eine Person zugelassen)

- Bei Motorradunfällen liegt die Unfallschuld weniger oft beim Motorradfahrer als beim Kollisionsgegner (42% gegenüber 47%).
- In der Gruppe der Mopeds/Mokicks liegt die Schuld am Unfall häufiger beim Zweiradfahrer und weniger beim Kollisionsgegner (50% gegenüber 42%), in der Gruppe der Mofas ebenfalls (61% gegenüber 33%).

Die Einteilung der Zweiradunfälle in Unfalltypen, die die Bewegung von Zweirad und Unfallgegner in der Pre-Crash-Phase kennzeichnet, verdeutlicht, daß deren Häufigkeit je nach Zweiradart erheblich differiert, siehe **Abbildung 18** [Otte, 1981 (100); Appel, 1980 (3)].

Motorrad- und Kleinkrafttradfahrer kollidieren überwiegend im abbiegenden (57,6%) und im kreuzenden Verkehr (23,2%). Die übrigen Zweiradarten zeigen bei einer Kollision im abbiegenden Verkehr eine geringere Beteiligung, dagegen für den kreuzenden Verkehr eine Zunahme. So kollidierten 39,6% der Mopeds/Mokicks und 51% der Mofas im Kreuzungsverkehr. Bei der Betrachtung der Gesamtgruppe "Motorisiertes Zweirad" wird deutlich, daß neben den Unfällen im Kreuzungsverkehr, an denen hauptsächlich Mofas beteiligt sind, die Zweiräder beim Abbiegemanöver eines Pkw besonders stark unfallgefährdet sind. Die schon von Weber [1981 (135)] aufgezeigte Fehleinschätzung der Pkw/Lkw-Fahrer bezüglich der Fahrdynamik eines motorisierten Zweirads tritt hier besonders deutlich in Erscheinung.

Die folgenden Zitate aus Befragungen belegen die Unkenntnis über die spezifischen Fahreigenschaften motorisierter Zweiradfahrer bei Pkw/Lkw-Fahrern, von denen nur 12,4% im Besitz der Fahrerlaubnis zum Führen von Kraftfahrzeugen der Klasse 1 waren, während 42% aller Führerscheininhaber der Bundesrepublik Deutschland im Besitz der Fahrerlaubnis

für die Klassen 1 und 3 bzw. 1 und 2 sind:

"Der Kradfahrer hätte doch vor mir vorbeifahren können, da war doch genug Platz da."

"Ich versteh gar nicht, warum der nicht ausgewichen ist, der ist geradezu auf mich zugefahren."


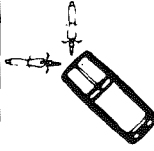

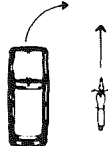

"Da wär ich mit dem Pkw dreimal rumgekommen, aber das Motorrad hat nur einen kleinen Schlinger gemacht."

Ein Pkw-Fahrer formulierte seine Unsicherheit bezüglich des zu erwartenden oder möglichen Verhaltens von Motorradfahrern folgendermaßen:

"... auf Autos, da habe ich mich gewissermaßen eingestellt, aber die Motorräder, da weiß man nicht so recht..."

Neben der Unkenntnis auf Seiten der Pkw/Lkw-Fahrer über die Möglichkeiten und Grenzen der Fahrweise von motorisierten Zweirädern bestehen auf Seiten der Kradfahrer als Hauptunfallursachen unzureichende praktische Ausbildung, geringe Fahrerfahrung und erhöhte Risikobereitschaft.

Auch das besonders hohe Beschleunigungsvermögen der PS(KW)-starken Motorräder trägt mit zur Risikobereitschaft bei. Zum Ausdruck kommt dies in dem Unfalltyp "Zweirad überholt abbiegenden Pkw", bei dem 12,8% der Motorräder/Kleinkrafträder verunfallten. Die Einzelfallanalyse zeigt, daß hier eine Tätigkeitsüberlagerung in einer sehr kurzen Zeitspanne vorliegen kann, wobei es dem Pkw-Fahrer nicht gelingt, den Überholvorgang des Motorrads zu registrieren und seinen schon eingeleiteten Abbiegevorgang abubrechen. Hierfür kann das mögliche Beschleunigungsvermögen (z.B. Maximalwerte von 0 auf 100 in ca. 4 Sekunden) und die Fähigkeit des flexiblen Fahrstreifenwechsels des Motorradfahrers bei kleineren Geschwindigkeiten gegenüber dem zu erwartenden Reaktionsvermögen eines Pkw-Fahrers von durchschnittlich 0,6 bis 1,3 Sekunden ursächlich sein.

Unfalltypen					
	Pkw auffahrend	Pkw abbiegend	Pkw wendend	Pkw abbiegend und überholend	Begegnungsverkehr
Motorrad/ Kleinkraft (n=125)	0,8	22,4	3,2	22,4	3,2
Moped/ Mokick (n=48)	4,2	18,8	2,1	18,8	4,2
Mofa (n=51)	2,0	19,6	2,0	13,7	2,0
Gesamtgruppe (n=224)	1,8	21,0	2,7	21,0	3,1





Unfalltypen					sonstige
	Kreuzungsverkehr	Zweirad abbiegend	Zweirad überholt abb. Pkw	Zweirad wendend	
Motorrad/ Kleinkraft rad	23,2	3,2	12,8	-	8,8
Moped/ Mokick	39,6	8,3	2,1	-	1,9
Mofa	51,0	2,0	2,0	4,0	1,7
Gesamtgruppe	33,0	4,0	8,0	0,9	4,5

Abbildung 18: Unfalltypenverteilung der motorisierten Zweiräder

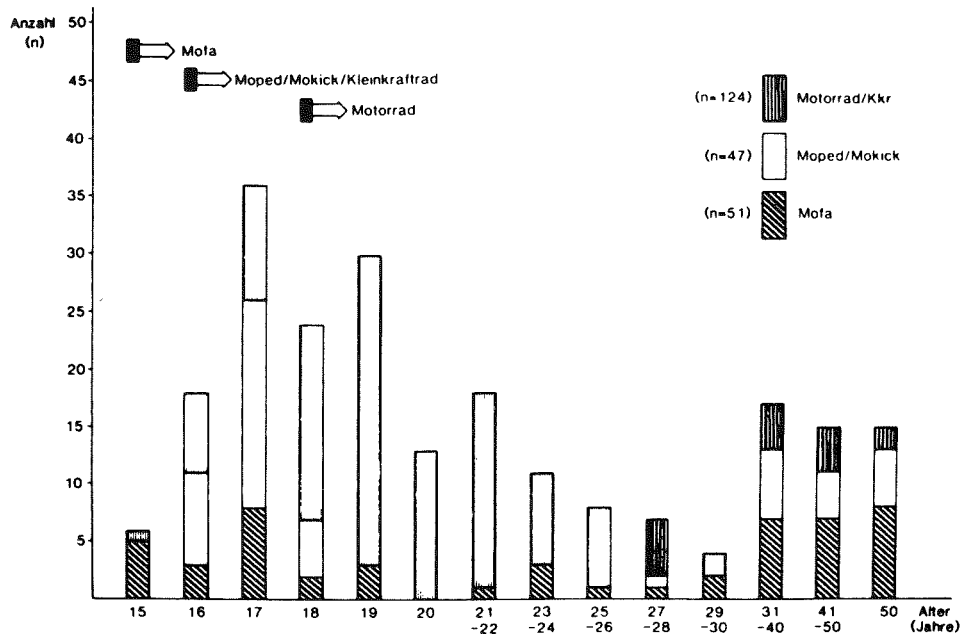


Abbildung 19: Altersverteilung der Benutzer motorisierter Zweiräder

Die Altersstruktur der Zweiradbenutzer (siehe **Abbildung 19**) zeigt für Mofa- und Moped/Mokick-Benutzer zwei Schwerpunkte, nämlich für das Alter zwischen 15 und 18 Jahren sowie oberhalb von 30 Jahren. Bei Motorrädern einschließlich Kleinradträdern bzw. Leichtkrafträdern dominiert der jugendliche Fahrer und Beifahrer zwischen 16 und 30 Jahren.

Diese Gruppe zeigt erwiesenermaßen seine höhere Risikobereitschaft, was sich in den Unfallziffern der von ihnen gefahrenen Zweiräder widerspiegelt. Verschärfend kommt hinzu, daß das sichere und defensive Motorradfahren eine längere Fahrpraxis erfordert, die bei den jugendlichen Einsteigern naturgemäß nicht vorhanden sein kann. Nach Untersuchungen in den USA [Segel, 1980 (120)] haben 50% (75%) aller in Unfälle verwickelten motorisierten Zweiradfahrer eine Fahrpraxis von weniger als 1,5 (3,5) Jahren. Daraus folgt, daß Fahranfänger in besonderer Weise gefährdet sind.

Das im Vergleich zu Personenkraftwagen größere Unfallrisiko bei motorisierten Zweirädern ist neben

den genannten Ursachen wie

- risikobereite Persönlichkeitsstruktur der Fahrer
- Einstieg in den Kraftfahrzeugverkehr über das motorisierte Zweirad, d.h. kurze Fahrpraxis
- Fehleinschätzung des Zweirads durch Pkw-Fahrer
- hohe Beschleunigungsfähigkeit der Motorräder durch geringe Leistungsmasse (z.B. hat der Pkw VW Golf bei einer Leistung von 51 KW eine Leistungsmasse von 16 kg/KW und ein Beschleunigungsvermögen von 12 s für 0 - 100 km/h, die leistungsgleiche BMW R 100 RS hat dagegen nur eine Leistungsmasse von 5 kg/kw und ein Beschleunigungsvermögen von 5 s für 0 - 100 km/h)

auf Besonderheiten des Systems Mensch-Maschine zurückzuführen, die bis zu einem gewissen Grade mitbestimmend für das Unfallgeschehen sein dürften [Bönsch, 1981 (14); Koch, 1980 (81); Wiegner, 1982 (136)]:

- der Fahrer ist nicht nur entkoppeltes Transportgut, sondern mit einem Gewichtsanteil von 25 - 60%, seinen lenkenden und gewichtsverlagernden Relativbewegungen und seiner Luftangriffsfläche integrierter Bestandteil des Systems Mensch - Maschine
- der Schwerpunkt liegt im Verhältnis zum Radstand etwa doppelt so hoch wie beim Pkw, wodurch sich die Radlasten, die Einfederungen und der Nachlauf vorn beim Bremsen und Beschleunigen viel stärker verändern
- das Einspurfahrzeug ist bei kleinen Fahrgeschwindigkeiten sehr viel wendiger im Kurvenverhalten, bei hohen Geschwindigkeiten dagegen träger
- das äußere Erscheinungsbild des Zweirads ist flächenmäßig klein und daher in der Geschwindigkeit schwerer abschätzbar
- das äußere Erscheinungsbild unterschiedlicher Zweiräder vom Leichtkrafttrad oder gar vom Mokick bis zum Motorrad ist von vorn gesehen sehr ähnlich, d.h. nur schwer unterscheidbar für den Verkehrspartner

- der Fahrer ist äußeren Störungen und Reizen un-mittelbar ausgesetzt
- Sturzhelm und Luftkräfte beeinträchtigen die Sichtmöglichkeiten, das Hörvermögen und die Klimabedingungen
- die unabhängigen Bremsen vorn und hinten erfor-dern zur Erzielung höchster Abbremsungen beson-dere Erfahrungen und eine besondere Berücksich-tigung der Fahrbahnbedingungen. Der mangelnden Erfahrung wird im Durchschnitt ein Abbremsungs-verlust von 35% zugesprochen [Wiegner, 1982 (136)]
- wechselnde Fahrbahnbedingungen können sich drastisch auf die Fahrsicherheit im negativen Sinne auswirken
- die Erzielung hoher Kurvengrenzbeschleunigungen setzt einen hohen Schräglagenwinkel (ca. 80 Grad/sec) und einen großen maximalen Schrägla-genwinkel (ca. 38 Grad) voraus. Ungeübte Fahrer erzielen nur die Hälfte dieser Werte, die Aus-weichwege werden um ca. 20% länger und die Ge-fahr, aus Kurven getragen zu werden, steigt be-trächtlich.
- bei Geradeausfahrt treten bei der heute ge-bräuchlichen Lenkgeometrie bei einer Geschwin-digkeit zwischen 40 und 80 km/h Flatterschwin-gungen des Vorderrades um die Lenkachse mit ei-ner Frequenz zwischen 6 und 9 Hz auf. Es han-delt sich hierbei um selbsterregte Schwingungen mit ausgeprägten Resonanzlagen des Lenksystems, wobei Erreger- und Rückstellkräfte in der Rad-aufstandsfläche des Vorderrades angreifen [Kom-mission für Verkehrssicherheit, 1982 (82)], sie-he **Abbildung 20**
- im Hochgeschwindigkeitsbereich wirkt sich das sogenannte Pendeln gefährlich störend aus, siehe Abbildung 20. Es handelt sich hierbei um kombi-nierte Roll- und Gierschwingungen: Eine Kippbe-wegung induziert einen Lenkeinschlag in die gleiche Richtung. Dieser Einschlag induziert wiederum ein Kippmoment in die entgegengesetzte Richtung (Fliehkraft). Dort kehrt sich der Vor-gang um. Die Frequenz ist geschwindigkeitsabhän-gig und steigt im Hochgeschwindigkeitsbereich auf ca. 2 bis 3 Hz an. Bei entsprechend geringer

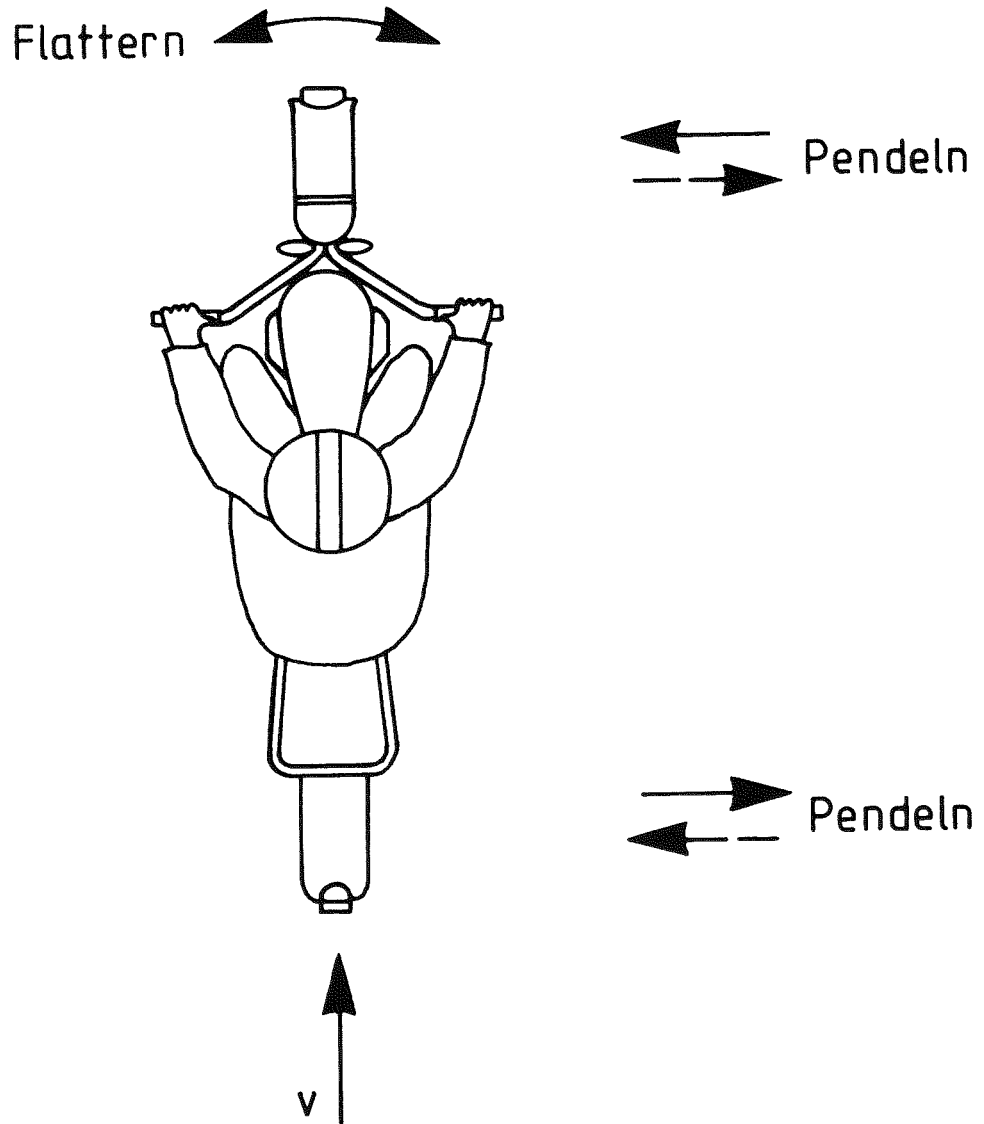


Abbildung 20: Eigenschwingungen des Motorrades bei schneller Geradeausfahrt

Dämpfung werden die Schwingungen für den Fahrer spürbar, das Motorrad schlingert. Aufgrund der niedrigen Frequenz ist eine aktive Dämpfung seitens des Fahrers nicht möglich, da diese Größenordnung im Eigenfrequenzbereich des Körpers liegt [Pachernegg, 1982 (104)]. Es scheint erwiesen, daß viele Alleinunfälle mit Abkommen von der Fahrbahn auf unerwartete und nicht mehr beherrschbare Pendelschwingungen im Bereich hoher Geschwindigkeiten zurückzuführen sind. Bei Auftreten von Pendelschwingungen hat der Fahrer nur die Chance, durch Gaswegnehmen und vorsichtiges Bremsen die Fahrgeschwindigkeit in einen stabilen Bereich abzusenken.

Zusammenfassend läßt sich feststellen, daß bei der Analyse von Unfallursachen unbedingt das Gesamtsystem Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Kollisionsgegner gesehen werden muß. Daraus abgeleitet lassen sich Verbesserungen in der Unfallbilanz ableiten, z.B.:

- Änderung der Einstiegsbedingungen in die Fahrerlaubnisklassen (Stufen-Fahrerlaubnis),
- verstärktes Verständnis von Motorradfahrer und Pkw/Lkw-Fahrer für die jeweiligen Probleme des anderen,
- defensive Auslegung der Motorräder durch den Hersteller (was nur über eine Gleichbehandlung aller Hersteller durch den Gesetzgeber möglich sein wird);
- Gefahrentraining am Simulator in der Ausbildung (Bremsen, Vorderradblockieren, Pendelschwingungen).

5. Kinematik beim Zweiradunfall in den Kollisionsphasen

Gegenüber allen anderen Unfallarten ist der Zweiradunfall besonders vielfältig, variantenreich, daher nur differenziert zu klassifizieren und schwierig zu rekonstruieren. Die Vielfalt der Bewegungsablaufmöglichkeiten hat im wesentlichen folgende Gründe:

- Der Anprall am Zweirad wie auch am Kollisionsgegner ist "ringsherum" möglich, führt jedoch jeweils zu anderen Bewegungsabläufen.
- Die Masse des motorisierten Zweirads überdeckt weite Bereiche.
- Die Eigengeschwindigkeit des motorisierten Zweirads schwankt in weiten Bereichen.
- Das System Zweirad/Benutzer besteht aus mindestens zwei Massen, die sich während der Kollision i. a. voneinander lösen.
- Die Stellung des Vorderrades bei der Kollision steuert in weiten Grenzen die Kraftübertragung und damit die Dynamik und Kinematik der Kollision.

In der kritischen Situation vor der Kollision, in der sogenannten Pre-Crash-Phase, hat der Fahrer nach Ablauf der Reaktionszeit von ca. einer Sekunde mehrere Möglichkeiten, eine Kollision zu vermeiden oder Unfallschwere zu mildern:

- Absteigen während der Fahrt
- Bremsen
- Ausweichen
- Bremsen und Ausweichen.

Zum Absteigen muß der Fahrer das Hinterrad zum Blockieren und das Zweirad durch Lenkbewegungen so zum Kippen bringen, daß das Krad unabhängig und vor dem Fahrer und Beifahrer seitlich wegrutscht. Da der Mensch beim Rutschen auf der Fahrbahn in der Regel eine höhere Verzögerung als das Zweirad erreicht, bleibt er hinter dem Zweirad zurück [Lüpertz, 1971 (91)], siehe **Abbildung 21**. Dabei "überholt" das Krad in der Regel den Fahrer, wobei besondere Verletzungsgefahren bestehen.

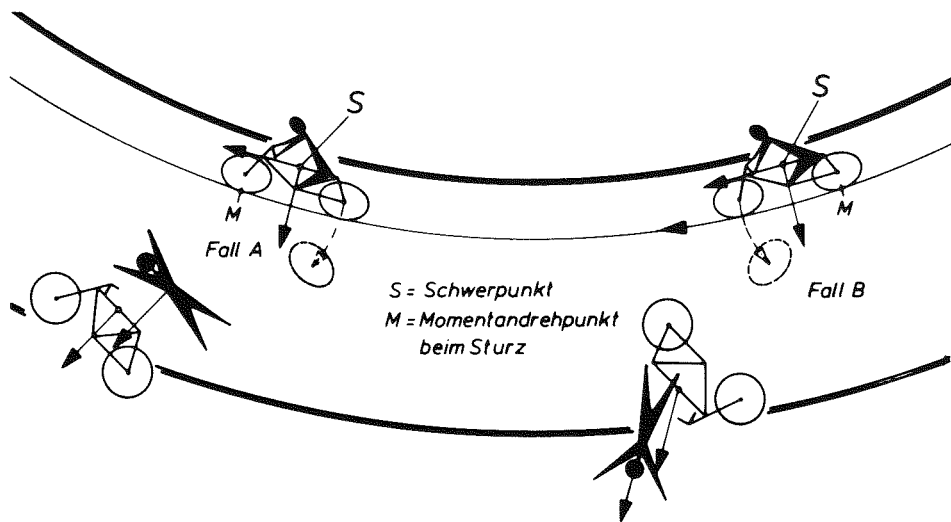


Abbildung 21: Typische Sturzabläufe bei Kurvenfahrt durch Blockieren des Hinterrades (Fall A) bzw. des Vorderrades (Fall B)

Eine stabile Vollbremsung wird bei Motorradunfällen nach Spörner [Spörner, 1982 (126)] nur in 23% der Unfälle vollzogen. Nach Otte [Otte, 1981 (100)] werden sogar nur in rund 9% der Fälle Vorder- und Hinterradbremse jeweils dosiert betätigt.

Ein reines Ausweichmanöver erfolgt etwa bei 10% der Motorradunfälle.

Die Kombination von Bremsen und Ausweichen ist nur dem sehr geübten Fahrer möglich. Ein Wegrutschen des Hinterrads während der Kurvenfahrt muß der Fahrer durch erneutes Gegenlenken und Aufrichten seines Körpers auffangen, Antiblockiersysteme versprechen hier einen großen Nutzen.

Rund zwei Drittel aller verunglückten Fahrer unternehmen also keine oder nur ungeeignete Versuche, die Kollision zu verhindern. Daraus folgt, daß die größte Einflußmöglichkeit auf das Unfallgeschehen in der Pre-Crash-Phase zu finden ist, indem die Aktive Sicherheit der Zweiräder verbessert wird. Der Ablauf der Crash-Phase läßt sich dagegen wegen der Vielfalt der möglichen Abläufe schwer beeinflussen.

Während der Kollisionsphase hängt es von der Form, den Struktureigenschaften, Anstoßbedingungen und Kollisionsgeschwindigkeiten der Kollisionsgegner ab, ob es zu

- einem Direktanprall (hoher Energieumsatz),
- einem Aufschöpfen und Abrollen (mittlerer Energieumsatz) oder
- einem Überfliegen (geringer Energieumsatz)

für den/die Zweiradbenutzer kommt, siehe Abbildung 22. Pkw und Nutzfahrzeug stellen die häufigsten Kollisionsgegner. Bei Motorrädern ist der Anteil von Alleinunfällen recht hoch, siehe Abbildung 23.

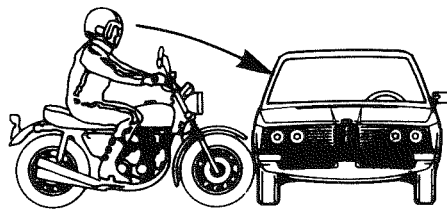
In der Auslaufphase dominiert mit etwa 70% das Rutschen/Rollen vor dem Anprall gegen Sekundärhindernisse mit etwa 13% [Otte, 1981 (100)].

Vergleicht man ohne jede Differenzierung (Helm, Schutzkleidung, Art des motorisierten Zweirads u.a.) die Verletzungen von motorisierten Zweiradfahrern mit denen anderer Verkehrsteilnehmer, so stellt man bezüglich Häufigkeit und Art fest (siehe Abbildung 24):

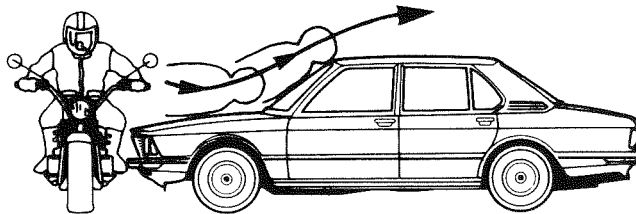
- Kopfverletzungen treten mit einem Anteil von ca. 60% auf. Das ist weniger als beim Fußgänger und Radfahrer (ca. 75 bzw. 85%),
- Verletzungen der oberen Extremitäten treten mit 60% genauso häufig wie bei Fußgängern und Radfahrern auf,
- Verletzungen der unteren Extremitäten liegen mit einem Anteil von 85% noch höher als bei Fußgängern und Radfahrern (ca. 80%).

Der einzelne Verunglückte erlitt im Durchschnitt 4,2 Einzelverletzungen. Insgesamt sind 73% der Verletzungen Weichteilläsionen, 20% Frakturen und 7% Organverletzungen [Otte, 1981 (100)]. Von den Weichteilverletzungen sind nahezu 50% Prellungen, Quetschungen und Hämatome und 50% offene Weichteilverletzungen. An den Frakturen sind Motorradfahrer besonders häufig beteiligt.

Direktanprall
(Energieeinsatz hoch)



**Aufschöpfen
Abrollen**
(Energieeinsatz mittel)



Überfliegen
(Energieeinsatz gering)

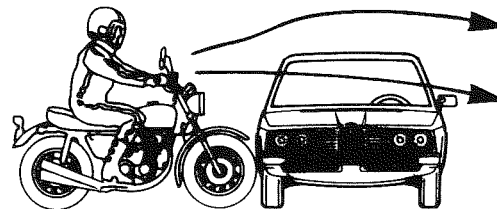
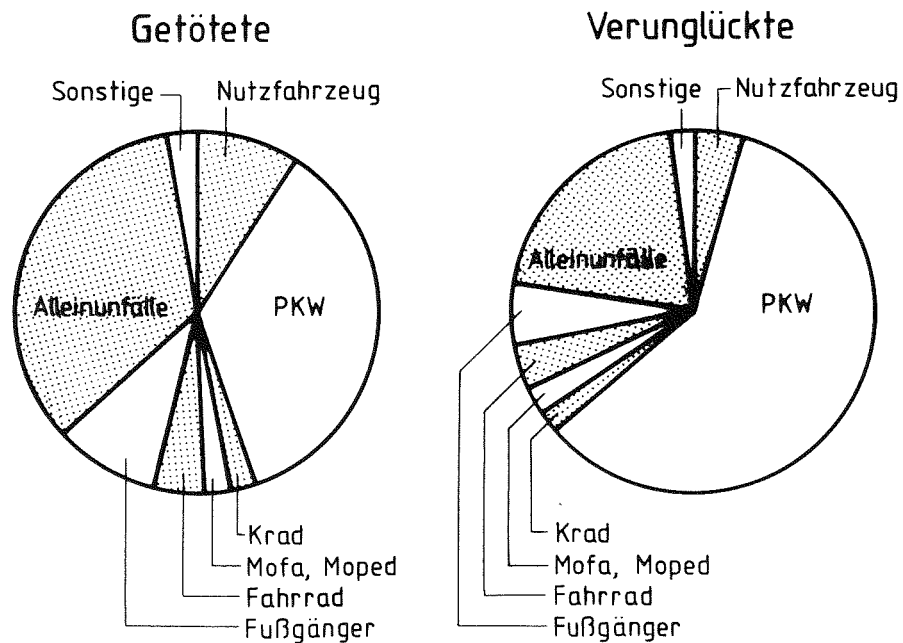


Abbildung 22: Kollisionstypen beim
Zweiradunfall

Kollisionspartner	Anteile d. Kollisionspartner v. Zweirädern b. Unf. mit					
	Getöteten			Personenschäden		
	Fahrrad	Mofa, Moped	Kraftrad /-roller	Fahrrad	Mofa, Moped	Kraftrad /-roller
Mofa, Moped	0.9	0.8	3.2	4.3	2.2	2.9
Kraftrad, -roller	5.8	5.5	3.0	3.8	2.9	2.0
Pkw	65.2	67.0	55.1	73.7	74.8	75.2
Nutzfahrzeug	21.7	16.4	13.7	6.4	5.5	5.0
Fahrrad	0.8	1.6	6.3	4.2	5.8	5.2
Fußgänger	2.0	3.1	14.5	5.9	6.9	6.8
Sonstige	3.6	5.6	4.2	1.7	1.9	2.9
Summe	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
Alleinunfälle (% zu Summe)	14.5	15.6	51.8	11.5	16.5	25.8

Graphik Kraftrad/Roller



Statistisches Bundesamt

Abbildung 23: Kollisionsgegner des motorisierten Zweirades

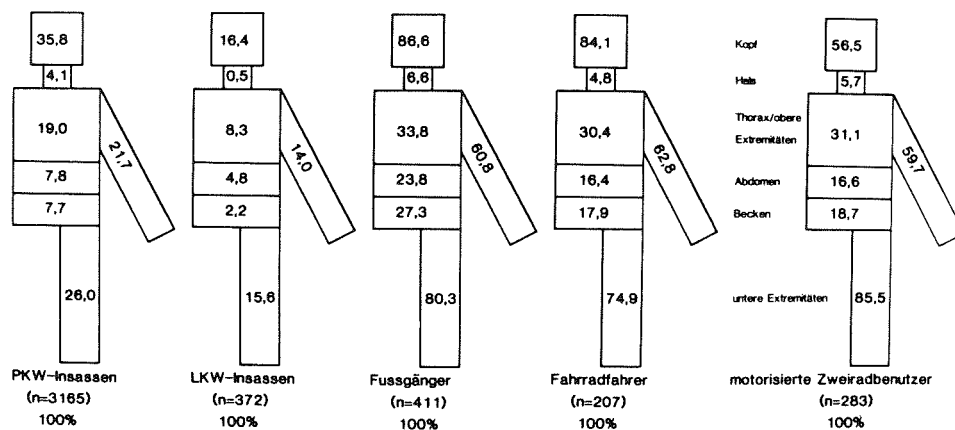


Abbildung 24: Verteilung der Verletzungen der Verkehrsteilnehmer über die Körperregionen

Detailliertere Angaben zur Verletzungssituation können den Untersuchungen der Unfallforschung MHH/TUB [Otte, 1981 (100); Sicherheit, 1981 (122); Appel, 1980 (3)] und des HUK-Verbandes [Danner, 1979 (23); Sicherheit, 1981 (122)] entnommen werden.

Besonders schwerwiegend wegen der Häufigkeit und vor allem wegen der Langzeitfolgen sind bei Motorradfahrern die Verletzungen der unteren Extremitäten [Otte, 1981 (100)].

6. Maßnahmen zur Aktiven und Passiven Sicherheit am motorisierten Zweirad

Aus eigenen Erfahrungen, aus dem Studium und der kritischen Wertung der Literatur sowie aus den Ergebnissen der Unfallforschung MHH/TUB und den an der TU Berlin durchgeführten Crashversuchen lassen sich folgende Maßnahmen am motorisierten Zweirad zur Erhöhung der Aktiven Sicherheit ableiten:

Bedienbarkeit:

- Einfache Dosierbarkeit der Bremsen
- Vereinfachungen der beiden unabhängigen Bremsbetätigungen in Zusammenhang mit einem geänderten Bremssystem
- Automatische oder halbautomatische Getriebe
- Herabsetzung des Kraftaufwands zur Betätigung der Kupplung

Wahrnehmung:

- Erhöhung der Sichtbarkeit des Zweirads für die Verkehrspartner z.B. durch reflektierende Helme und Kleidung, Speichenreflektoren. Auf die Notwendigkeit dieser Maßnahmen wird besonders in [Hurt, 1981 (56)] und [Lövsund, 1982 (90)] hingewiesen.
- Bessere Unterscheidungsmöglichkeiten verschiedener Zweiradarten für den Verkehrspartner
- Weiterentwicklung der Integralhelme mit leichten, kratzfesten, nicht beschlagenden Visieren und besseren Hörmöglichkeiten
- Entwicklung kratzfester Visiere mit hoher Energieabsorption
- Generelles Einschalten des Abblendlichtes bei allen motorisierten Zweirädern

Komfort:

- Verbesserung des Klimas und der Sauerstoffzufuhr unter Helmen
- Schutz des Fahrers vor Wind, Nässe und Verschmutzung durch Verkleidung unter Beachtung der Faktoren Seitenwindempfindlichkeit und Auftrieb
- Vermeidung von motorbedingten Vibrationen und/oder Abschirmung der Hände und Füße des Fahrers

Antrieb:

- Begrenzung der Antriebsleistung (insgesamt und/oder für Fahranfänger)
- Nachweis ausreichender Fahrpraxis in der nächsttieferen Leistungsklasse bei Einstieg in eine höhere Leistungsklasse (Konditionale Stufen-Fahrlaubnis, [Kommission, 1982 (82); ADAC, 1982 (58)])

Fahrverhalten:

- Einführung von wirksamen Anti-Dive-Systemen ohne Blockierung der Federung
- Vermeidung der Pendelschwingungen durch Vorsorge bei der Konstruktion (Erhöhung der Steifigkeit von Rahmen und Radführungssystemen), beim Benutzer (Beladung) und beim Gesetzgeber (Bauartgenehmigung für Zubehörteile)
- Vermeidung von Flatterschwingungen durch Vorsorge bei der Konstruktion und/oder durch Lenkungs-dämpfer
- Einführung von Antiblockiersystemen allein vorn und hinten, eventuell in Verbindung mit einer Integralbremse
- Vermeidung des Aufsetzens von Fahrzeugteilen bei Kurvenfahrt.

In **Abbildung 25** sind einige der Vorschläge in einem Bild zusammengefaßt dargestellt.

Zur Erhöhung der Passiven Sicherheit sind verschiedene Studien und Vorschläge gemacht worden, die im folgenden dargestellt und diskutiert werden sollen:

- Der Seitenschutz ist an Motorrädern heute eine konventionelle Maßnahme und wird verifiziert durch Schutzbügel oder durch entsprechende Zylinderanordnung, siehe **Abbildung 26**. Angesichts der hohen Verletzungsfolgenwirkungen [Kolbe, 1981 (62)] ist diesem Schutzsystem besondere Aufmerksamkeit zu widmen. Sicherlich ist es unrealistisch, hierbei so weit vorzugehen wie in den Vorschlägen aus den USA [Lövsund, 1982 (90)] und Japan [Lövsund, 1982 (90)], siehe **Abbildung 27**.
- Eine wirkungsvolle Abpolsterung der Aufschlaggebiete von Füßen, Knien, Hüfte, Thorax und Kopf könnte schrittweise erprobt und eingeführt wer-

den. Es bleibt abzuwarten, bis zu welchem Ausbildungsgrad eine derartige, als Passives Rückhaltesystem wirkende Polsterung ausgelegt werden sollte, siehe **Abbildung 28**. Sie verspricht durchaus Sicherheitsgewinn.

- Oft diskutiert wird der ausschließlich beim Frontalaufprall wirkende Air-Bag, siehe **Abbildung 29** [Jesl, 1978 (61); Lövsund, 1982 (90)]. Im Gegensatz zum Pkw, in dem mit Gurten ein mindestens funktionell gleichwertiges, aber billigeres und unempfindlicheres Rückhaltesystem zur Verfügung steht, ist der Air-Bag für das Motorrad konkurrenzlos, da er Schutz bietet, ohne dem Motorradfahren seinen eigentlichen Sinn, das "freie Fahren", zu nehmen oder einzuschränken. Die Effektivität des Air-Bags beim Frontalaufprall wurde als gut eingeschätzt.
- Die Knieabstützung in Verbindung mit großem Radstand zur "Hochhebelung" des Fahrers zwecks Überfliegen von Pkw als Hindernissen [Danner, 1979 (23)] dürfte das gesteckte Ziel nicht erreichen, da Versuche zeigen, daß ein Klappmessereffekt um den Hüftpunkt einsetzt und eher ein Abtauchen als ein Anheben des Körpers erfolgt [Spörner, 1982 (126)]. In **Abbildung 30** ist ursprüngliches Ziel und Wirklichkeit dargestellt.
- Die Möglichkeiten und Effekte eines gezielt energieabsorbierend ausgelegten Vorderrads (siehe **Abbildung 31**) samt Radaufhängung sind bisher systematisch nicht untersucht worden. Aufprallversuche an der TU Berlin lassen eine gewisse Beeinflussungsmöglichkeit des Bewegungsablaufes durch ein energieabsorbierendes Vorderrad vermuten.
- Integrierte Sicherheitsmotorräder zeigen eine entschärfte Außengestaltung, z.B. der Entwurf der Porsche Design GmbH, 1980 (**Abbildung 32**), des ESMI (Experimental Safety Motorcycle) von TRRL [Lövsund, 1982 (90)] (**Abbildung 32**) oder der Entwurf von Häggkvist [Lövsund, 1982 (90)] (**Abbildung 32**). Die in **Abbildung 33** dargestellten Motorräder [Otte, 1981 (100); Lövsund, 1982 (90)] weisen schon Merkmale des Pkw auf und dürften keinen Beitrag für die Zukunft des Motorrads darstellen. Ebenso ist wegen der Verhinderung des "Absteigens" ein Gurtsystem, welcher Art auch immer, nicht vorstellbar, siehe

Abbildung 33.

- Die passive Sicherheit des Zweiradfahrens sollte sich nicht allein auf Maßnahmen am Zweirad beschränken, sondern sollte auch am Kollisionsgegner vollzogen werden, indem man typische Aufprallzonen energieabsorbierend gestaltet. Davon würden nicht allein motorisierte Zweiradbenutzer profitieren, sondern auch Fahrradfahrer und Fußgänger.

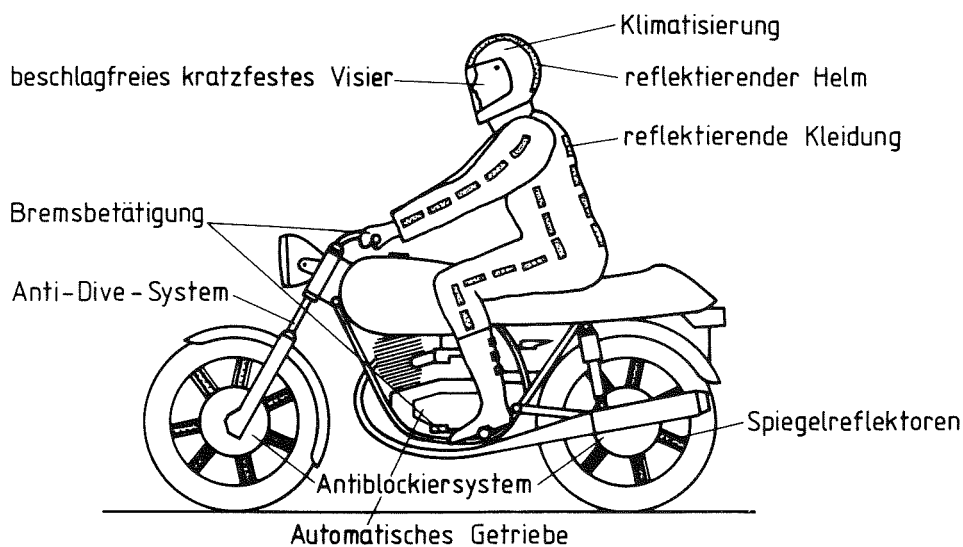
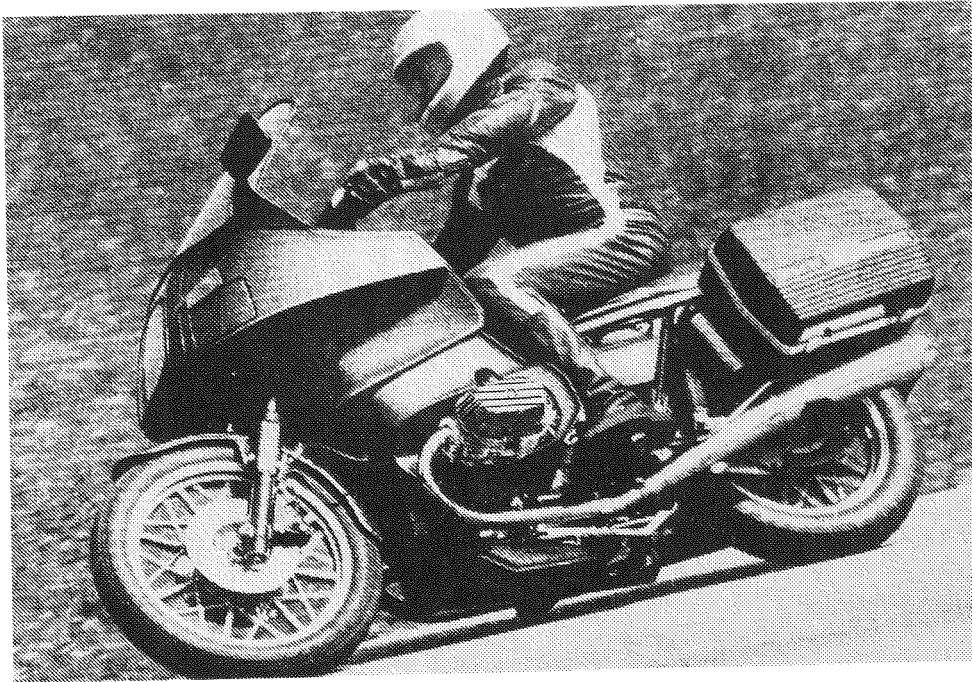
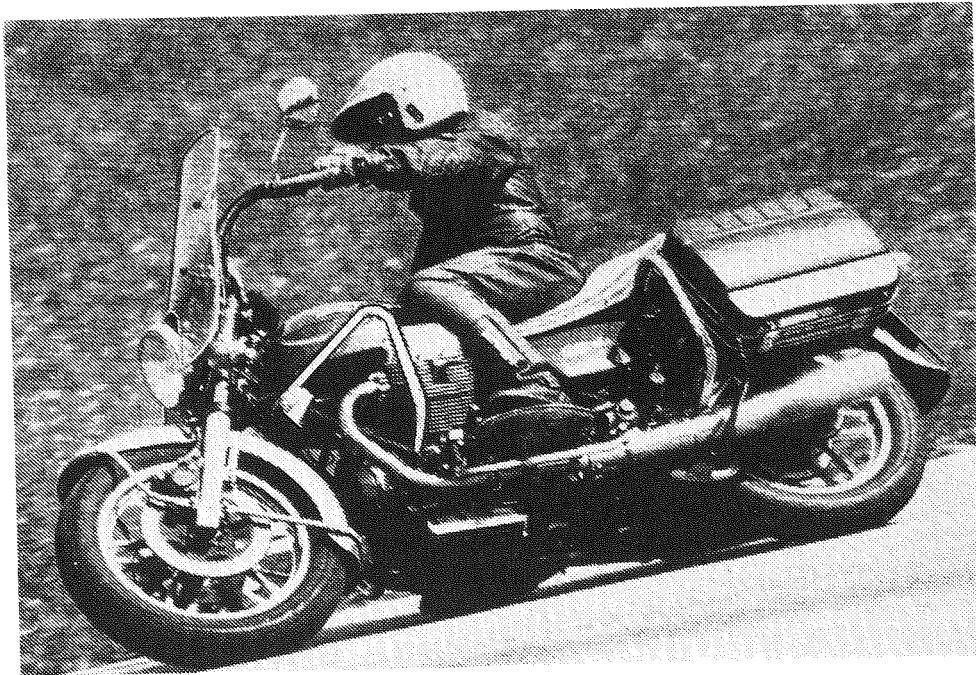


Abbildung 25: Mögliche Maßnahmen zur Erhöhung der Aktiven Sicherheiten am motorisierten Zweirad

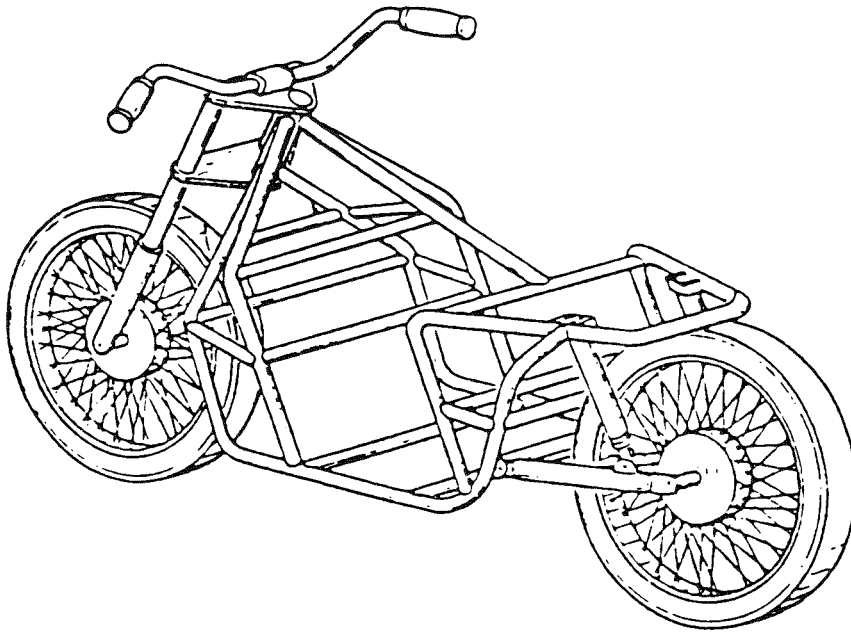


A

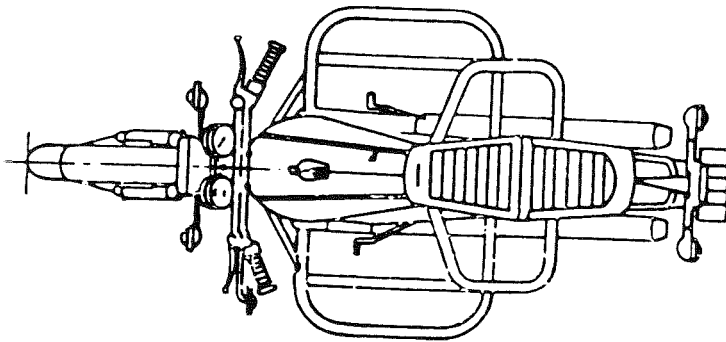


B

Abbildung 26: Seitenschutz durch Zylinderanordnung (A) oder durch Seitenbügel



ESM aus den USA



ESM aus Japan

Abbildung 27: Vorschläge zum Seitenschutz
beim motorisierten Zweirad
(ESM: Experimental Safety Motor-
cycle)

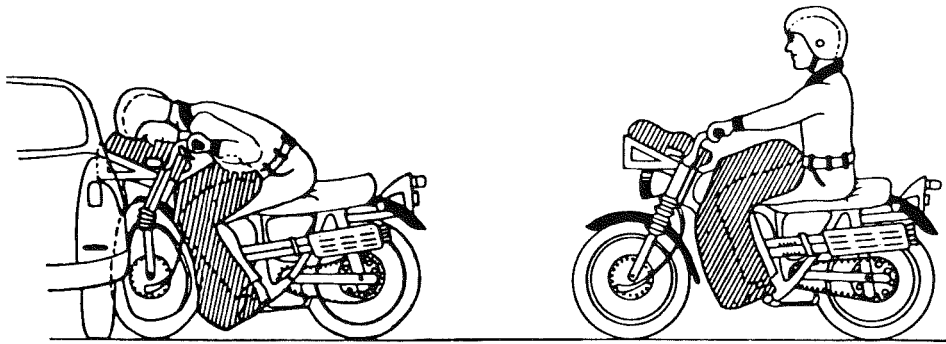


Abbildung 28: Polsterung als Passives Rückhaltesystem für motorisierte Zweiradfahrer

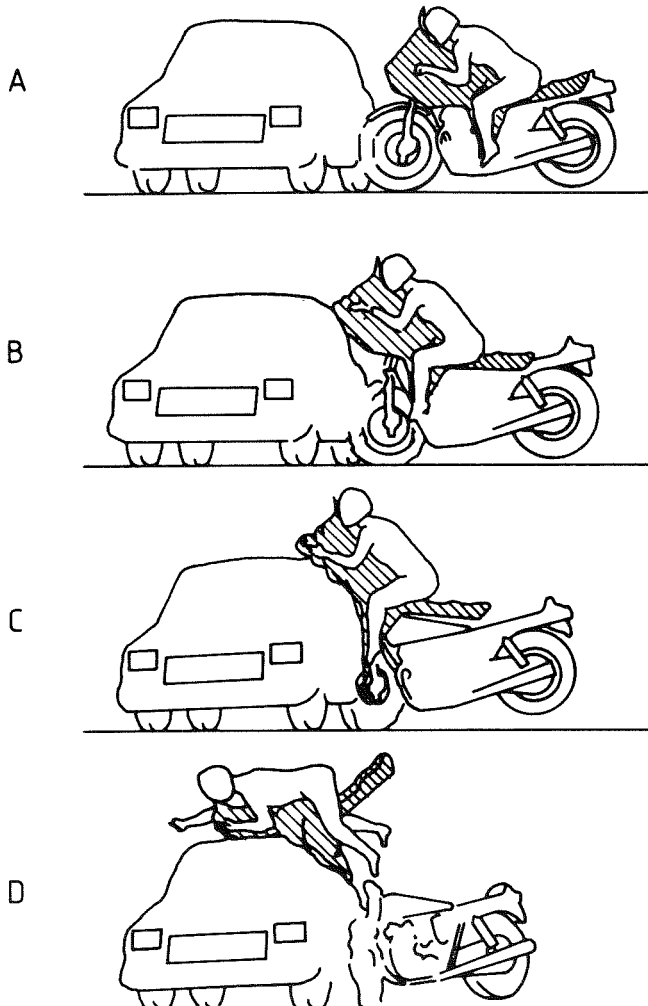


Abbildung 29: Wirkungsweise des Airbags beim motorisierten Zweirad

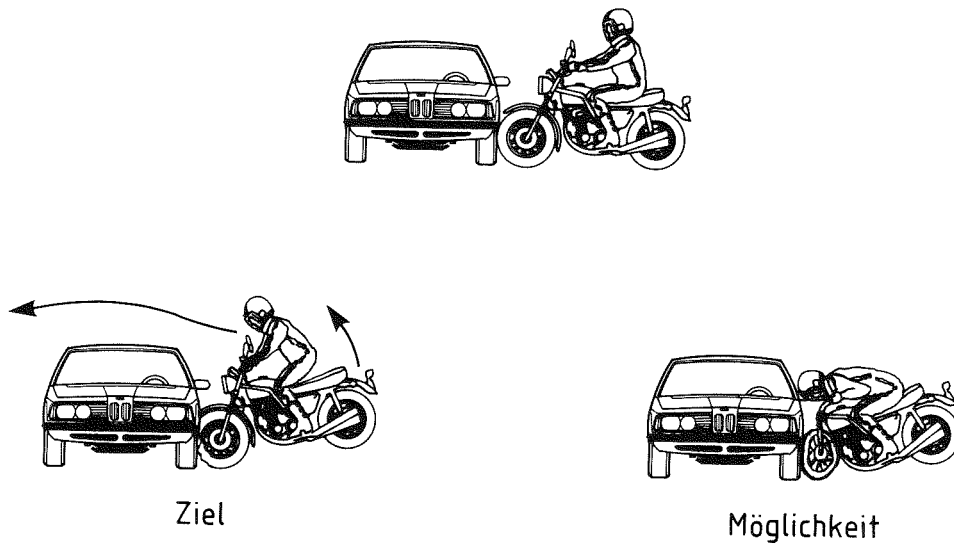


Abbildung 30: Knieabstützung
eine Sicherheitsmaßnahme?

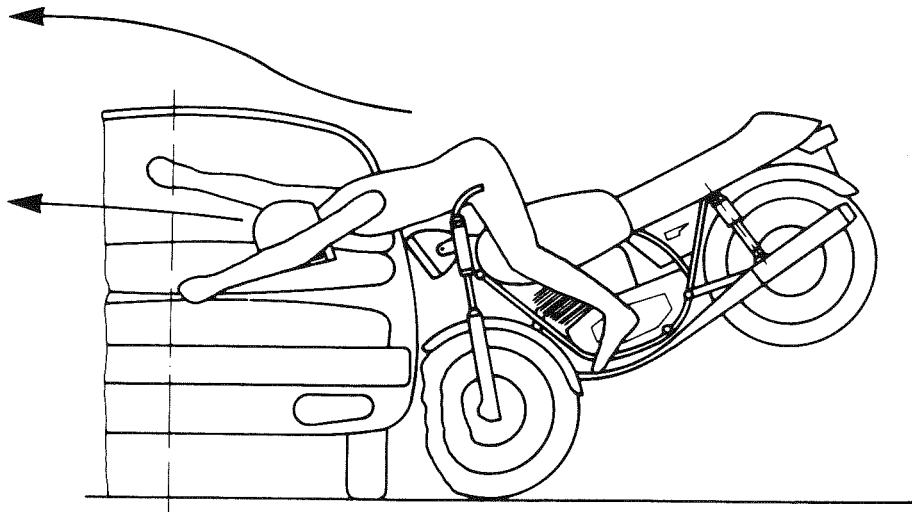
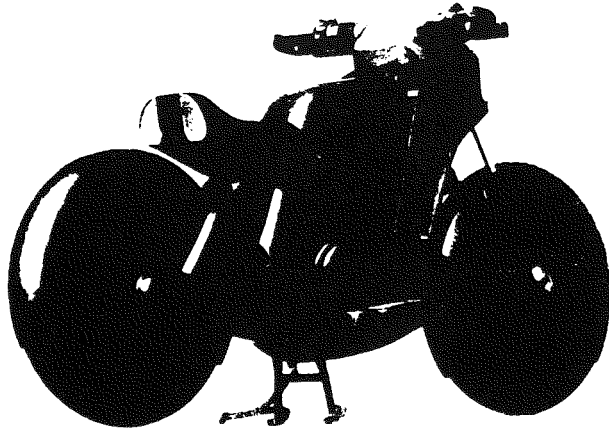
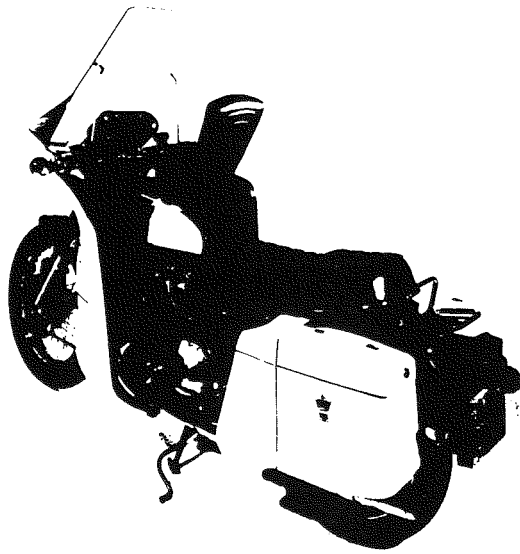


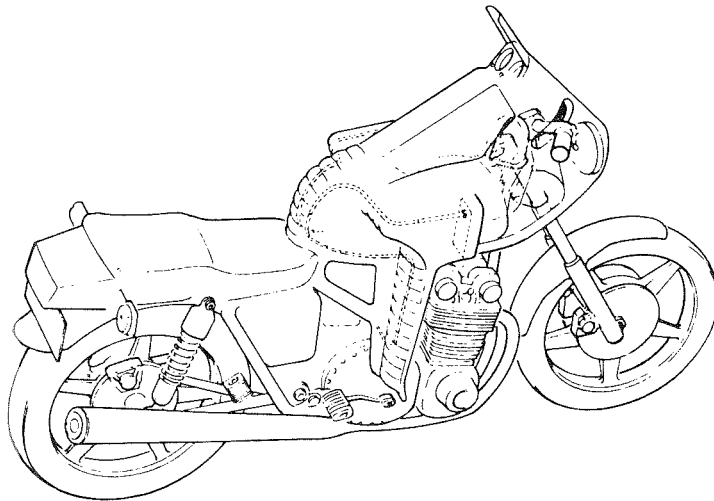
Abbildung 31: Energieabsorbierendes Vorder-
derradsystem



Sicherheitsmotorrad
der Firma
Porsche-Design GmbH

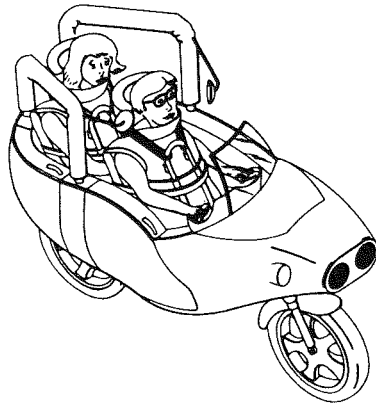


ESM 1 von TRRL

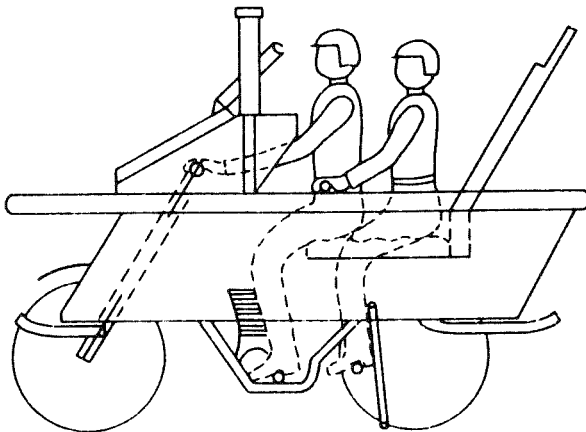


Hägkvist, 1981

Abbildung 32: Integrierte Sicherheits-
motorräder



Entwurf eines ESM
von Winiecki (23)



Entwurf eines ESM
von Bartol (2)

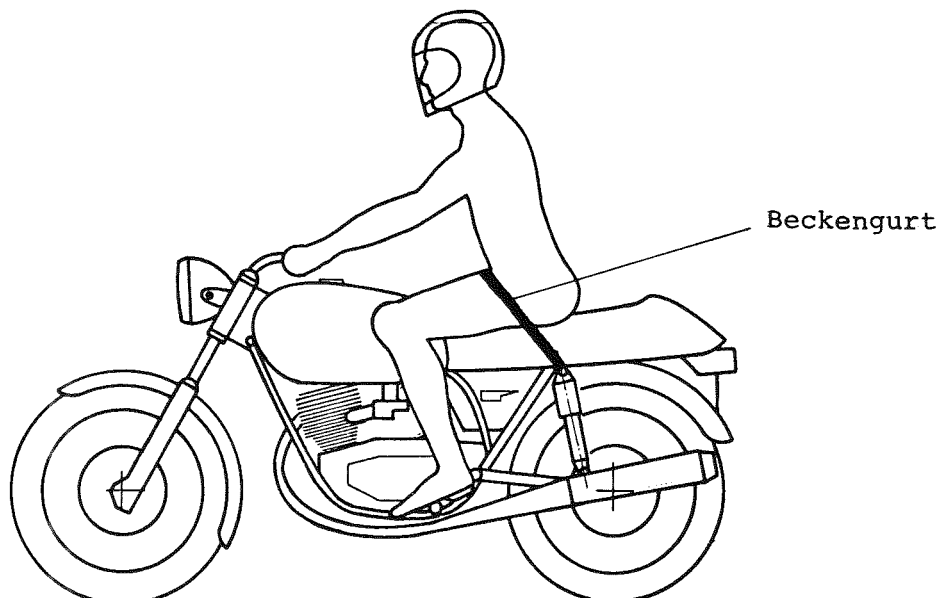


Abbildung 33: Unrealistische Schutzmaßnahmen am Motorrad

7. Zusammenfassung, Schlußfolgerungen

Die Unfallzahlen zeigen, daß der Verkehrsunfall des motorisierten Zweiradfahrers heute nach dem Pkw-Unfall und noch vor dem Fußgängerunfall den zweithöchsten Stellenwert besitzt und im Gegensatz zu allen anderen Verkehrsteilnehmern eine steigende Tendenz aufweist. Der motorisierte Zweiradfahrer ist bei allen Bezugsgrößen gegenüber dem Pkw-Insassen erheblichen Risikoüberhöhungen ausgesetzt.

Die Analyse realer Unfälle zeigt, daß die notwendigen Verbesserungen der Sicherheit des Zweirads und dessen Benutzer vor allem im Bereich der Aktiven Sicherheit des Gesamtsystems Fahrer-Fahrzeug-Umwelt-Kollisionsgegner zu suchen sind. Dazu gehören Änderungen der Einstiegsbedingungen in die entsprechenden Fahrerlaubnisklassen, verbesserte Ausbildung (Gefahrentraining am Simulator), defensive Auslegung der Motorräder durch die Hersteller, Verbesserung der Bedienbarkeit, des Fahrverhaltens, der Sicht und des Komforts.

Das Problem, die Passive Sicherheit zu verbessern, liegt in der Vielfalt und den vielen Einflußfaktoren des Ablaufs eines motorisierten Zweiradunfalls. Doch sind auch hier Ansatzpunkte für eine Verletzungsminderung vorhanden. Es bedarf allerdings noch der Entwicklung wirksamer Sicherheitskonzepte, der Einführung von Maßnahmen und eingehender Erprobung.

**Analyse des Unfallgeschehens mit motorisierten
Zweirädern auf der Basis des von der Polizei
erhobenen Unfalldatenmaterials**

Klaus Engels

Gliederung

Seite

Analyse des Unfallgeschehens mit
motorisierten Zweirädern auf der
Basis des von der Polizei erhobenen
Unfalldatenmaterials

95

Analyse des Unfallgeschehens mit motorisierten Zweirädern auf der Basis des von der Polizei er- hobenen Unfalldatenmaterials

Das in den polizeilich erhobenen Unfalldaten enthaltene Erkenntnispotential wird durch die amtliche Unfallstatistik [Straßenverkehrsunfälle, 1981 (128)] nur in sehr unvollkommener Weise genutzt. Sie enthält lediglich Auszählungen, wobei diejenigen nach den Unfallfolgen und der Art der Verkehrsbeteiligung bei weitem überwiegen. Solche Auszählungsergebnisse sind aber ohne jede Aussagekraft, wenn nicht der Bezug zu einer Exposure-Größe [Brühning, 1982 (16)] hergestellt werden kann. So waren laut amtlicher Unfallstatistik im Jahre 1953 134.703 Krafträder und Kraftroller (im Vergleich hierzu: 104.839 Pkw) an Straßenverkehrsunfällen mit Personenschäden in der Bundesrepublik Deutschland beteiligt. Auf 1.000 verunglückte Pkw entfielen also 1.285 verunglückte Krafträder. Im Jahre 1980 lauten die entsprechenden Zahlen: 42.238 bzw. 461.101. D.h., daß in diesem Jahr auf 1.000 verunglückte Pkw nur noch 92 verunglückte Krafträder entfielen. Es wäre völlig verfehlt, aus diesem außerordentlich starken Wandel dieser Bezugsgrößen, auf eine Erhöhung der Verkehrssicherheit bei den Krafträdern zu schließen.

Es ist allgemein bekannt, daß sich der Bestand an Kraftfahrzeugen dieser beiden Arten in dem Untersuchungszeitraum sehr unterschiedlich entwickelt hat. So betrug der Bestand an Krafträdern im Jahre 1953 2.024.796 und der an Pkw im selben Jahr 1.126.105. Im Jahre 1980 waren dagegen 571.930 Krafträder bzw. 23.191.616 Pkw zugelassen. Bezogen auf je 1.000 Fahrzeuge des Bestandes verunglückten im Jahre 1953 66,6 Krafträder bzw. 93,1 Pkw, im Jahre 1980 dagegen 73,8 Krafträder bzw. 19,9 Pkw.

Selbst diese mit Hilfe amtlicher Statistiken gewonnenen Bezugsgrößen, die in dem Beobachtungszeitraum eine sehr erhebliche Änderung zu Lasten der Krafträder und -roller erkennen lassen, sind nicht geeignet, einen Vergleich zwischen den Verkehrsunfallrisiken dieser beiden Arten der Verkehrsbeteiligung anzustellen. In dem hier betrachteten Zeitraum von 27 Jahren hat nämlich ein tiefgreifender Wandel in den Nutzungsgewohnheiten bei den beiden Kraftfahrzeugarten stattgefunden. So

wurde das Kraftrad vom preiswerten Fortbewegungsmittel zum Freizeitgerät, wodurch sich die Gefahrenexposition der Kradfahrer sowohl quantitativ als auch qualitativ grundlegend änderte. Die Fahrleistung je Kraftrad nahm sehr stark ab, die Nutzung verlagerte sich vom täglichen Gebrauch zum "Schön-Wetter-Freizeitgerät", das nur noch in verschwindend geringem Maße eigentliche Fortbewegungsfunktionen erfüllt. Die amtlichen Statistiken können aber keine Aussage darüber machen, wie groß das Verkehrsunfallrisiko z.B. bei Krädern und Pkw tatsächlich ist, wenn diese so unterschiedliche Gefahrenexposition berücksichtigt wird.

Ein anderes Beispiel soll weitere Mängel der amtlichen Unfallstatistik verdeutlichen: Die entsprechende Veröffentlichung des Statistischen Bundesamtes [Straßenverkehrsunfälle, 1981 (128)] nennt z.B. in den Tabellen 2.17 und 2.18 die Anzahl der an jedem Tag des Jahres 1980 und während der einzelnen Tagesstunden zustande gekommenen Unfälle, aufgegliedert nach der Ortslage und nach den Unfallfolgen. Es handelt sich dabei um diejenige mit dem größten Umfang aller überhaupt wiedergegebenen Tabellen. Die amtliche Statistik enthält aber keine Antwort auf die naheliegende Frage, ob nicht bereits das Unfallgeschehen selbst Hinweise auf die oben erwähnten und bisher nur vermuteten, grundsätzlich unterschiedlichen Nutzungsgewohnheiten bei Krädern und Pkw gibt.

Seit 1975 werden die von der Polizei erhobenen Originalunfalldaten von den Statistischen Landesämtern aufbereitet und auf Magnetbändern gespeichert. Damit stehen sie für eine weitergehende Auswertung (im Vergleich zur amtlichen Unfallstatistik) zur Verfügung. Wenn die in den Daten enthaltenen Identifizierungsmöglichkeiten (Kfz-Kennzeichen und Geburtstag, -monat und -jahr) gelöscht werden, so bestehen auch aus Gründen des Datenschutzes keine Bedenken gegen eine Weitergabe dieser Daten an solche Institutionen, die in der Lage sind, mit Hilfe von EDV-Anlagen derart große Datenmengen auszuwerten.

Deshalb hatte sich das Institut schon frühzeitig an alle Statistischen Landesämter mit der Bitte um Überlassung dieser Daten gewandt. Sechs von elf Landesämtern haben dieser Bitte entsprochen und die Datenbänder für das Jahr 1979 zur Verfügung gestellt. Das Landesamt für Statistik und Daten-

verarbeitung des Landes Nordrhein-Westfalen hat darüber hinaus auch noch die Bänder der Jahre 1977 und 1980 für Auswertungen im Institut bereitgestellt. Nachfolgend soll am Beispiel der von der Polizei erhobenen Originalunfalldaten des Landes Nordrhein-Westfalen aus dem Jahre 1980 aufgezeigt werden, welches zusätzliche Erkenntnispotential in diesen Daten enthalten ist. Die referierten Auswertungsergebnisse erheben keinen Anspruch auf Vollständigkeit, da die Zahl der möglichen Auswertungen praktisch unbegrenzt ist. Außerdem ist es im Rahmen der vorliegenden Abhandlung nicht möglich, das Auswertungsergebnis auch nur annähernd erschöpfend wiederzugeben bzw. zu kommentieren. Die Auswertung basiert auf 186.603 Unfällen mit Personenschaden sowie mit nur Sachschaden von 1.000,00 DM und mehr bei einem der Beteiligten, die sich im Jahre 1980 in Nordrhein-Westfalen ereigneten. (Laut amtlicher Unfallstatistik [Straßenverkehrsunfälle, 1981 (128)] waren es dagegen 186.651 Unfälle dieser Art. Der sich hier ergebende, vernachlässigbar kleine Unterschied von 48 Unfällen konnte nicht aufgeklärt werden.) - Da die Ausdrücke der EDV jederzeit eingesehen werden können, sollen nachfolgend nur die beiden Fahrzeugarten "Kraftrad" und Pkw" miteinander verglichen werden. Aus demselben Grunde werden im allgemeinen auch nur bezogene Größen genannt, die Absolutwerte gehen aus den Ausdrücken hervor:

Kradfahrer werden in 2,1%, Pkw-Fahrer in 69,6% aller Fälle als "Hauptverursacher" bezeichnet. - Kradfahrer verursachen im Januar 1,1% und im Mai 16,0% aller Unfälle, bei Pkw lauten die Vergleichswerte: 7,9% bzw. 8,4%. Hier wird die oben geäußerte Vermutung über die sehr unterschiedlichen Nutzungsgewohnheiten eindrucksvoll bestätigt. Dasselbe gilt für die nachgenannten Zahlen: 19,2% aller Kradunfälle geschehen sonntags, dienstags dagegen nur 14,6%. Beim Pkw sind es dagegen 11,3 bzw. 14,6%. - Das tageszeitliche Maximum der Kradunfälle entfällt mit 9,6% auf die Zeit von 16 bis 17 Uhr; bei Pkw-Unfällen liegt dieses Maximum zeitgleich, es macht aber nur 8,6% aller Unfälle aus. - Ein gravierender Unterschied in der Unfallstruktur dieser beiden Fahrzeugarten ergibt sich bei der Zahl der Unfallbeteiligten: 36,6% aller Kradunfälle sind Alleinunfälle, während es bei den Pkw-Unfällen nur 16,1% sind. - Ähnlich auffällige Unterschiede sind bei den Unfallfolgen festzustellen: 4,3% aller Kradunfälle, aber nur

1,0% aller Pkw-Unfälle haben einen oder mehr Tote zur Folge. Bei den Schwerverletzten lauten die Vergleichszahlen: Krad 43,4%, Pkw 14,1%. Bei den Leichtverletzten ergibt sich, daß 54,1% aller Kradunfälle, aber nur 35,4% der Pkw-Unfälle zu einem oder mehreren Leichtverletzten führten.

Der außerordentlich große Unterschied in der Unfallstruktur dieser beiden Kfz-Arten geht aus der nachfolgenden **Tabelle 1** hervor:

Unfallart	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
Zusammenstoß mit anderem Fahrzeug, das		
anfährt, anhält oder im ruhenden Verkehr steht	6,7	12,6
vorausfährt oder wartet	13,1	13,6
seitlich in gleicher Richtung fährt	4,0	3,7
entgegenkommt	10,9	9,6
einbiegt oder kreuzt	18,2	34,4
Zusammenstoß zwischen Fahrzeug und Fußgänger	3,8	3,8
Aufprall auf Hindernis auf der Fahrbahn	0,9	0,4
Abkommen von der Fahrbahn nach rechts	18,3	9,9
Abkommen von der Fahrbahn nach links	11,9	7,6
Unfall anderer Art	12,2	4,5
Summe	100,0	100,0

Tabelle 1: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle an den einzelnen Unfallarten

Hier sei vor allem auf die großen Unterschiede bei den Kreuzungs- und Einbiegeunfällen bzw. bei den Unfällen durch Abkommen von der Fahrbahn hingewiesen.

Ähnlich große Unterschiede bestehen hinsichtlich der "Charakteristik der Unfallstelle", wie aus **Tabelle 2** hervorgeht:

Charakteristik der Unfallstelle	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
Kreuzung	11,5	23,5
Einmündung/Anschluß	23,2	26,1
Grundstücksein- oder ausfahrt	7,1	7,7
Steigung/Gefälle	10,5	6,2
Kuppe	0,8	0,5
Kurve	31,3	16,3
keine Nennung	15,6	19,7
Summe	100,0	100,0

Tabelle 2: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach der "Charakteristik der Unfallstelle"

Auch hier soll auf die sehr großen Strukturunterschiede hingewiesen werden, insbesondere bei der "Kreuzung" und bei der "Kurve". - Hingegen führt die Auszählung der Variablen "Besonderheiten der Unfallstelle" zu keinen nennenswerten Strukturunterschieden bei den beiden Kfz-Arten. - Die Variable "Verkehrsregelung" zeigt nur eine Ausprägung mit einem auffälligen Strukturunterschied: Nur 6,8% der Kradunfälle ereignen sich an Lichtzeichenanlagen, die in Betrieb sind, aber 13,7% der Pkw-Unfälle. - Hinsichtlich der Unfälle, die sich

im Bereich vor Geschwindigkeitsbegrenzungen ereignen, sind ebenfalls nur geringe Strukturunterschiede festzustellen, und zwar sowohl beim Gesamtanteil als auch unter Berücksichtigung der verschiedenen Stufen der Geschwindigkeitsbegrenzung. Allenfalls sind die Pkw-Unfälle tendenziell häufiger bei den höheren Werten für die Geschwindigkeitsbegrenzung vertreten. - Erhebliche Unterschiede ergeben sich aber bei der Variablen "Lichtverhältnisse", wie aus der nachfolgenden **Tabelle 3** hervorgeht:

Lichtverhältnisse	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
Dämmerung	4,3	4,5
Dunkelheit	18,9	27,0
Straßenbeleuchtung in Betrieb	0,4	0,5
Straßenbeleuchtung außer Betrieb	2,9	2,8
keine Nennung	73,5	65,2
Summe	100,0	100,0

Tabelle 3: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach den "Lichtverhältnissen"

Hier fällt der große Unterschied bei den Dunkelheitsunfällen auf, bei denen die Kradunfälle deutlich unterrepräsentiert sind. - Die Variable "Straßenbelag" läßt nur geringe Strukturunterschiede erkennen, während diese Unterschiede in den verschiedenen Ausprägungen der Variablen "Straßenzustand" sehr gravierend sind, wie **Tabelle 4** zeigt:

Straßenzustand	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
trocken	82,3	59,8
naß	13,1	32,9
Glatteis	0,5	3,6
Schneeglätte	0,1	2,9
gestreut	0,1	0,1
Schlüpfrigkeit (Öl, Dung, Laub usw.)	3,0	0,4
schadhafte Fahrbahn	0,9	0,3
Summe	100,0	100,0

Tabelle 4: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach dem "Straßenzustand"

Auffällig ist der hohe Anteil der Kradunfälle bei "Trockenheit" und der dementsprechend geringe Anteil der Kradunfälle bei gefahrerhöhenden Straßenzuständen, wie "Nässe", "Glatteis" usw. Auch dieses Ergebnis läßt sich nur durch die grundsätzlich anderen Nutzungsgewohnheiten bei Krädern bzw. Pkw erklären. - Die Auswertung der Variablen "Witterung" bestätigt dieses Ergebnis: Bei "Regen" verunglücken 6,2% der Kradfahrer, aber 16,5% der Pkw-Fahrer. Bei "Schneefall/Hagel" sind es 0,2% der Krad- bzw. 2,9% der Pkw-Fahrer. Hier können als Ursache für diese und die vorgenannten Unterschiede nur die bei einem Freizeitgerät naheliegenden Risikovermeidungsstrategien angenommen werden, da vermutet werden muß, daß das Verkehrsunfallrisiko der Kräder bei gefahrerhöhenden Straßenzuständen bzw. Witterungsbedingungen wesentlich größer als das der Pkw ist. Diese Vermutung könnte durch entsprechende weitere Aus-

wertungsschritte bestätigt bzw. widerlegt werden. Diese sind aber bisher noch nicht vorgenommen worden.

Bei den durch die "Straßenverhältnisse" bedingten Unfallursachen fällt wieder ein großer Strukturunterschied zwischen diesen beiden Kfz-Arten bei witterungsbedingten Ursachen auf: Die Kräder sind bei "Schnee/Eis" nur mit 0,5%, die Pkw dagegen mit 5,8% vertreten, bei "Regen" betragen die beiden Werte: 2,8 bzw. 6,3%. Die weiter oben bereits geäußerte Vermutung, wonach diese Strukturunterschiede auf Risikovermeidungsstrategien der Kradfahrer und nicht etwa auf ein besseres, fahrerisches Können zurückzuführen sind, findet eine Stütze durch die Auswertung der Unfallursache "Verunreinigung durch ausgeflossenes Öl". Hier sind nämlich die Kräder mit 2,1% (im Vergleich zu den Pkw mit 0,1%) deutlich überrepräsentiert. Daraus ergibt sich die tatsächlich viel größere Gefährdung des einspurigen Krades gegenüber dem zweispurigen Pkw bei Straßenverhältnissen, die den Kraftschluß beeinträchtigen. Dem "ausgeflossenen Öl" kann der Kradfahrer nicht aus dem Wege gehen, dagegen sehr wohl dem Eis oder dem Schnee. Dies trifft sogar für die Nässe bzw. den Regen zu, da ein derart witterungsabhängiges Freizeitgerät auch bei Regen sehr viel weniger genutzt werden dürfte als bei Trockenheit.

Auch hinsichtlich der "Ortslage" differenzieren die Auswertungsergebnisse sehr stark zwischen Krad und Pkw, wie Tabelle 5 zeigt.

Auch hier muß eine unterschiedliche Gefahrenexposition als Ursache für diese hohen Unterschiede angenommen werden, die sich plausibel nur durch das unterschiedliche Nutzungsverhalten dieser beiden Gruppen von Kfz-Führern erklären läßt: Es liegt nahe, daß Freizeitgeräte überwiegend außerhalb geschlossener Ortschaften benutzt werden. Möglicherweise kommen noch andere Ursachen hinzu, so z.B. die außerorts durch Kurven usw. erhöhte Gefährdung des Kradverkehrs.

Der von der Polizei ebenfalls erhobene Unfalltyp differenziert auch sehr stark zwischen den Unfallstrukturen dieser beiden Kfz-Arten. Dies geht aus Tabelle 6 hervor.

Ortslage	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
innerorts	62,2	72,2
außerorts	37,8	27,8
Summe	100,0	100,0

Tabelle 5: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach "Ortslage"

Unfalltyp	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
Fahrerunfall	37,5	19,5
Abbiegeunfall	14,0	14,8
Einbiegen und Kreuzen	8,3	24,6
Fahrbahnüberschreitungen	3,5	3,0
Unfälle durch ruhenden Verkehr	2,9	6,2
Unfälle im Längsverkehr	22,2	22,8
sonstige Unfälle	11,6	9,1
Summe	100,0	100,0

Tabelle 6: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach dem "Unfalltyp"

Hier kommt die besondere Gefährdung des Kradverkehrs durch ein Instabilwerden des Fahrtzustandes (Fahrunfälle) besonders gut zum Ausdruck. Dagegen ist der Pkw-Verkehr bei Unfällen, die mit Einbiege- oder Kreuzungsvorgängen verbunden sind, stark überrepräsentiert. Diese Feststellung wird gestützt durch die bereits referierten Auswertungsergebnisse bezüglich der "Unfallart" bzw. der "Charakteristik der Unfallstelle" (vgl. Tabellen 1 und 2). Auch hier sind weitergehende Auswertungen erforderlich, um entscheiden zu können, ob sich dieses Phänomen hinreichend durch die technisch bedingten Unterschiede zwischen diesen beiden Kfz-Arten erklären läßt, oder ob darüber hinaus noch weitere Gründe, die in der Person des Fahrzeugführers liegen, infrage kommen können.

Unfallursache	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
Alkoholeinfluß	7,8	11,0
Verstoß gegen das Rechtsfahrgebot	6,7	3,0
Nicht angepasste Geschwindigkeit in anderen Fällen	34,4	18,5
Überholen trotz unklarer Verkehrslage	7,5	1,3
Nichtbeachten der die Vorfahrt regelnden Verkehrszeichen	2,8	14,9
Fehler beim Abbiegen	2,7	10,3
Andere Fehler beim Fahrzeugführer	10,1	6,2
Summe	72,0	65,2

Tabelle 7: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle bei 7 ausgewählten Unfallursachen

Das amtliche Ursachenverzeichnis nennt insgesamt 43 Ursachen, die beim Fahrzeugführer liegen. Wegen dieser großen Zahl soll hier nicht das vollständige Auswertungsergebnis wiedergegeben werden, sondern nur diejenigen Ursachen, die relativ häufig (mindestens bei einer Kfz-Art $\geq 5\%$) vertreten und bei denen auffällige Unterschiede zu verzeichnen sind (der größere Wert ist mindestens um ein Viertel größer als der kleinere Wert). Die oben wiedergegebene **Tabelle 7** nennt daher nur sieben der 43 möglichen Unfallursachen (wegen der nicht berücksichtigten, anderen Unfallursachen ist bei dieser Tabelle die Summe der Spalten < 100).

Auch hier fällt das Überwiegen von Fahrfehlern (im weitesten Sinne) bei den Kradfahrern und das Überwiegen von Vorfahrtsverletzungen bei den Pkw-Fahrern auf. Das erstgenannte Phänomen läßt sich durch die besondere Nutzungsform des Kraftrades (Freizeitgerät, das insbesondere der Befriedigung des Geschwindigkeitsrausches dient) erklären, während das zweite Phänomen, das eine nochmalige Bestätigung des weiter oben bereits referierten Ergebnisses darstellt, noch erklärungsbedürftig ist.

Die Zahl der möglichen Ausprägungen der Variablen "Alter" ist sehr groß, da die polizeilich erhobenen Unfalldaten das Alter unfallbeteiligter Personen in Jahren angeben. Um die nachfolgend wiedergegebene **Tabelle 8** nicht zu groß werden zu lassen, werden die Altersangaben der Polizei in neun Altersstufen zusammengefaßt. Dabei wurden im Interesse einer höheren Auflösung in dem für das Jugendlichkeitsrisiko interessierenden Bereich ungleichförmige Intervallgrößen gewählt. Ein solches Vorgehen ist vertretbar, da lediglich ein Vergleich der Altersstrukturen von Pkw- und Kradfahrern angestellt werden soll. (Die jederzeit einsehbaren Originalauswertungen gestatten jede beliebige Zusammenfassung der einzelnen Altersstufen.)

Die Unterschiede in der Altersstruktur der Pkw- und Kradfahrer, die von der Polizei als "Hauptverursacher" bezeichnet wurden, sind augenfällig. Als Ursachen kommen die sicherlich unterschiedlichen Nutzungsstrukturen dieser beiden Kfz-Arten ebenso in Frage wie die Überlagerung von Jugendlichkeits-, Anfänger- und Kfz-artspezifischem

Altersstufe	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
< 18	4,5	0,5
< 19	17,2	6,7
19 - 21	41,3	17,1
22 - 24	19,2	10,9
25 - 34	10,2	20,9
35 - 44	3,1	17,8
45 - 54	1,2	11,4
55 - 64	0,6	5,9
> 64	0,4	3,8
unbekannt	2,3	5,0
Summe	100,0	100,0

Tabelle 8: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach 9 Altersstufen

Risiko bei den Kradfahrern, da das Krad als Freizeitgerät offensichtlich fast nur von einer bestimmten Altersgruppe, bei der das Jugendlichkeits- und das Anfängerrisiko gemeinsam auftreten, genutzt wird. Die Werte der Tabelle 8 erlauben es nicht, diese Vermutungen zu begründen. Mehrdimensionale Auswertungen können aber zur weiteren Aufhellung der Hintergründe dieser augenfälligen Strukturunterschiede beitragen.

Die Variable "Geschlecht" läßt ebenfalls sehr große Strukturunterschiede erkennen, wie aus Tabelle 9 hervorgeht:

Geschlecht des Fahrers	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
männlich	94,0	73,9
weiblich	3,9	22,6
unbekannt	2,1	3,5
Summe	100,0	100,0

Tabelle 9: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach dem Geschlecht des Fahrers

Der hier zutage tretende, auffällige Strukturunterschied läßt sich zunächst nur durch eine prozentual unterschiedliche Teilnahme der Frauen am Verkehr mit Krädern bzw. Pkw erklären. Ob darüber hinaus weitere Einflußgrößen vorhanden sind, wie z.B. eine insgesamt vorsichtigeren Fahrweise der Frauen - soweit sie Kradfahrer sind - kann aufgrund dieser eindimensionalen Auswertung nicht gesagt werden. Auch hier wären weitergehende, mehrdimensionale Auswertungen erforderlich, um Aussagen über das eventuelle Vorliegen geschlechtsspezifischer Unterschiede im Verkehrsunfallrisiko machen zu können.

Auch die Schwere der Verletzungen der Kraftfahrer selbst unterscheidet sich bei den beiden Kfz-Arten außerordentlich stark, wie Tabelle 10 erkennen läßt.

Diese Ergebnisse korrespondieren gut mit den weiter oben bereits referierten Ergebnissen hinsichtlich der Gesamtfolgen der Unfälle. Eine an sich wünschenswerte Differenzierung nach den Einflüssen des Jugendlichkeits- und Anfängerrisikos einer-

Schwere der Verletzungen des Fahrers	Prozentualer Anteil der	
	Kradunfälle	Pkw-Unfälle
unverletzt	20,5	82,7
leichtverletzt	40,2	10,8
schwerverletzt	35,9	6,0
getötet	3,4	0,5
Summe	100,0	100,0

Tabelle 10: Prozentualer Anteil der durch Krad- bzw. Pkw-Fahrer verursachten Unfälle nach der Verletzungsschwere

seits und demjenigen des Kfz-artspezifischen Risikos ist wegen der Eindimensionalität der Auswertung nicht möglich. Es sind Methoden denkbar, die eine solche Differenzierung mit Hilfe mehrdimensionaler Auswertungen möglich erscheinen lassen.

Als Beispiel für eine mehrdimensionale Auswertung wurde eine Auszählung aller "Hauptverursacher" nach den Hauptgruppen der "Art der Verkehrsbeteiligung" vorgenommen, wobei gleichzeitig nach den "Unfallgegnern", d.h. nach der Art derjenigen Verkehrsteilnehmer gefragt wurde, die bei einem Unfall von der Polizei mit der Ordnungsnummer "02" bezeichnet worden sind. Bei den Unfällen mit nur zwei Beteiligten, die zahlenmäßig bei weitem überwiegen, handelt es sich um den Unfallpartner des "Hauptverursachers", dem von der Polizei manchmal auch eine "Mitverursachung" angelastet wird. Bei Unfällen mit mehr als zwei Beteiligten ist es derjenige Unfallbeteiligte, der nach Ansicht der Polizei am meisten mit zum Unfallzustandekommen beigetragen hat.

Aus der sehr umfangreichen Kreuztabelle sollen nur die Summenwerte für Krad und Pkw referiert werden, außerdem die Werte, die sich für die beiden Kfz-Arten ergaben, soweit sie miteinander

kollidierten:

Die Kräder werden in 2,1% aller Unfälle als "Hauptverursacher" und in 2,4% als "Unfallgegner" bezeichnet. Bei den Pkw lauten diese beiden Werte: 69,6% bzw. 64,1%.

Bereits ein Vergleich dieser beiden Wertepaare läßt einen sehr bedeutsamen Unterschied zutage treten. Unter der Annahme der von Engels und Dellen [Engels, 1982 (31)] erarbeiteten sogenannten "Gleichverteilungshypothese" müßten diese beiden Wertepaare jeweils gleich groß sein. Abweichungen von dieser Nullhypothese sind nur durch ein entsprechend höheres bzw. geringeres Verkehrs-unfallrisiko zu erklären. Demnach liegt das Verkehrs-unfallrisiko des Systems "Fahrer/Kraftrad" unter dem erwarteten Mittelwert aller Unfälle mit mehr als einem Beteiligten, während es beim System "Fahrer/Pkw" umgekehrt ist.

Bestätigt wird dieses Ergebnis durch eine Analyse aller 5.135 Unfälle, die sich im Jahre 1980 in Nordrhein-Westfalen zwischen Pkw und Krädern ereigneten. (Hier sollen ausnahmsweise die Absolutwerte genannt werden, um den Risikounterschied quantifizieren zu können.) Von diesen 5.135 Unfällen wurden 3.297 oder 64,2% durch Pkw-Fahrer und nur 1.838 oder 35,8% durch Kradfahrer verursacht. Das Verkehrs-unfallrisiko des Systems "Fahrer/Pkw" ist also bei Unfällen mit mehr als einem Beteiligten um das 1,79fache größer als dasjenige des Systems "Fahrer/Kraftrad". Die hier angewandte Methode hat den Vorteil, daß sie alle Einflüsse einer qualitativ unterschiedlichen Gefahrenexposition, wie z.B. Witterungseinflüsse und diejenigen der Lichtverhältnisse, automatisch ebenso eliminiert, wie den Einfluß einer unterschiedlichen Fahrleistung. Dieses Ergebnis ist insofern von besonderer Bedeutung, als alle anderen Methoden zur Ermittlung eines systemspezifischen Verkehrs-unfallrisikos daran scheitern, daß die nach Brühning und Völker [Brühning, 1982 (16)] erforderliche Bezugsgröße in Form einer Gefahrenexposition nicht bekannt ist bzw. nur mit sehr großem Aufwand ermittelt werden kann. Selbst wenn dies geschähe, wäre es nicht möglich, die mit Sicherheit vorhandenen, sehr großen qualitativen Unterschiede bei der Gefahrenexposition von Krädern und Pkw zu ermitteln.

Das Risiko des Pkw-Fahrers, einen Partnerunfall mit einem Krad zu verursachen, ist also um fast 80% höher als das Risiko eines Krad-Fahrers, einen solchen Unfall mit einem Pkw zu verursachen. Dieses Ergebnis stützt die weiter oben (vgl. Tabellen 1, 2, 6 und 7) bereits mitgeteilten Ergebnisse, wonach die Pkw-Fahrer bei Unfällen, die in irgendeinem Zusammenhang mit Kreuzungs- oder Einmündungsvorgängen stehen, überrepräsentiert sind. Das überhöhte Unfallrisiko des Systems "Fahrer/Pkw" läßt sich aufgrund dieser Auswertungsergebnisse plausibel durch ein Kfz-artspezifisches Fehlverhalten von Pkw-Fahrern bei Partnerunfällen mit Krafträdern erklären. Dieses besteht sehr wahrscheinlich in einer relativ sehr häufigen Verletzung der Vorfahrt des Krades durch den Pkw-Fahrer. (Eine weitergehende Auswertung der vorgenannten 5.135 Pkw/Krad-Unfälle würde diese Überlegung sehr wahrscheinlich bestätigen.)

Über die Ursachen dieser Vorfahrtsverletzungen können hier nur Vermutungen angestellt werden. Als wahrscheinlichste Ursache dürfte das "Übersehenwerden" des Krades durch den Pkw-Fahrer in Frage kommen. Auch hier lassen sich weitergehende Auswertungen denken, die diese Vermutung stützen könnten.

Im Rahmen der hier zu kommentierenden Auswertungsergebnisse wurde beispielhaft eine monetäre Bewertung des Personenschadens der von den Führern der verschiedenen Kfz-Arten verursachten Unfälle vorgenommen, um zu zeigen, welche weitergehenden Möglichkeiten einer Auswertung der polizeilich erhobenen Unfalldaten bestehen, und weil ansonsten der Vergleich der verschiedenen Verletzungsarten (getötet, schwer- bzw. leichtverletzt) nicht möglich ist. Bei dieser Bewertung wurde der für den Erhebungszeitpunkt (1980) allgemein anerkannte, volkswirtschaftliche Gesamtschaden für die einzelnen Verletzungsarten zugrunde gelegt, nämlich 600.000 DM für einen Getöteten, 70.000 DM für einen Schwerverletzten und 6.000 DM für einen Leichtverletzten. Dann wurden die Unfallfolgen mit diesen Beträgen gewichtet und je Kfz-Art aufaddiert. Durch Division durch die Zahl der je Kfz-Art verursachten Unfälle ergaben sich dann die Mittelwerte des monetär bewerteten Personenschadens, die aus der Tabelle 11 hervorgehen.

Kfz-Art	Mittelwert des monetär bewerteten Personenschadens in DM
Moped	43.357
Mofa	42.849
Krad	66.582
Kleinkrad	54.357
Motorroller	44.021
Pkw	21.755
Nutzfahrzeuge	20.508
Fußgänger	76.881
Fahrrad	48.993

Tabelle 11: Mittelwert des monetär bewerteten, gesamten Personenschadens bei Unfällen, die durch die Fahrer der angehobenen Kfz-Arten verursacht wurden (zum Vergleich: Monetär bewerteter Personenschaden bei Unfällen, die durch Fußgänger und Radfahrer verursacht wurden)

Der von Kradfahrern verursachte, monetär bewertete mittlere Personenschaden ist der größte aller Kfz-Arten und wird nur noch von demjenigen selbstverschuldeter Fußgängerunfälle übertroffen. (Der sehr hohe Schaden ist bei Fußgängerunfällen dadurch zu erklären, daß hier keine Unfälle mit nur Sachschaden anfallen, während der Mittelwert bei den Kradunfällen durch einen gewissen Anteil von Unfällen mit nur Sachschaden herabgedrückt wird.) Der Mittelwert der Kradunfälle liegt um 306% über dem der Pkw-Unfälle. Diese Meßzahl veranschaulicht die besondere Gefährdung der Benutzer von Kraft-rädern in eindringlicher Weise.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß das in den polizeilich erhobenen Unfalldaten enthaltene Erkenntnispotential einen Beitrag zur Erhellung von Unfallursachen zu leisten vermag. Diese, mit Unterstützung des Instituts für Zweiradsicherheit, Bochum, vorgenommene, vorwiegend eindimensionale Auswertung läßt bereits eine Fülle solcher möglichen Ursachen für das - im Vergleich zum Pkw - außerordentlich hohe Unfallrisiko des Systems Fahrer/Kraftrad erkennen. Mit Sicherheit überlagern sich hier die speziellen Nutzungsgewohnheiten beim Kraftrad, das gegenwärtig überwiegend als Freizeitgerät gebraucht wird, mit einem Anfänger- und Jugendlichkeitsrisiko und dem Kfz-artspezifischen Risiko, das einerseits durch die Einspurigkeit dieser Kfz-Art, andererseits durch das fast völlige Fehlen von Elementen der passiven Sicherheit, also des Benutzerschutzes, gekennzeichnet ist. Hinzu kommt ein weiteres, sehr hohes Risiko bei Partner-Unfällen, das durch die relativ sehr häufige Verletzung der Vorfahrt von Krafträdern durch andere Verkehrsteilnehmer zustande kommen dürfte. Vorbehaltlich der Ergebnisse weiterer Auswertungsschritte, die noch vorgenommen werden sollten, kann bereits jetzt schon vermutet werden, daß Krafträder wahrscheinlich häufig "übersehen" werden. Als Ursache hierfür kommt wahrscheinlich auch der Umstand in Frage, daß Krafträder im heutigen Verkehr eine derart seltene Erscheinung sind, daß die Fahrer anderer Kfz-Arten, insbesondere die Führer von Pkw, nicht mit dem Auftauchen von Krafträdern rechnen.

**Ein Beitrag zum Fahrereinfluß
auf die Fahrdynamik des Kraftrades**

Ulrich Hackenberg

Gliederung

	Seite
Zusammenfassung	115
Einleitung	115
Untersuchsmethodik	117
Landstraßenfahrt	118
Autobahnversuche	121
Der Fahrereinfluß auf das Stabilitätsverhalten	123

Zusammenfassung

Der Fahrer hat neben den technischen Eigenschaften maßgebenden Einfluß auf die Dynamik des Kraftrades. Innerhalb einer Studie mit mehreren Krafträdern und unterschiedlich geübten Fahrern wurden individuelle fahrdynamische Leistungen, Fahrerstrategien und die Beeinflussung der Geradeausfahrstabilität durch den Fahrer untersucht und z.T. quantifiziert. Die zeitliche Entwicklung der Fahrerfahrung wird mit Hilfe von über mehrere Jahre durchgeführten Referenzversuchen mit einem unveränderten Kraftrad dokumentiert.

Über den Indikator Pulsfrequenz wird die individuelle Belastung von Fahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung im Bereich der subjektiven Höchstgeschwindigkeit dargestellt.

Einleitung

Das Unfallrisiko und speziell die Unfallauswirkungen sind bei Krafträdern laut Unfallstatistiken gravierender als bei Zweispurfahrzeugen. Dem Defizit an passiver Sicherheit stehen erhöhte Anforderungen an die Fahrzeugbeherrschung gegenüber. Als Zweiradfahrzeug hat das Kraftrad naturgemäß eine geringere Fahrstabilität, die den Fahrer früher als beim Pkw mit dem fahrdynamischen Grenzbereich konfrontiert.

Speziell die Verbindung zwischen erhöhter Risikobereitschaft und häufig geringer Fahrerfahrung meist jüngerer Kraftradfahrer führt zu einer unzureichenden Differenz zwischen der subjektiven Leistungsgrenze des Fahrers und der objektiven Leistungsgrenze des Gesamtsystems, Abbildung 1.

Neben der fahrdynamischen Auslegung des Kraftrades hat demnach der Fahrer maßgebenden Einfluß darauf, ob sich das System Kraftrad-Fahrer unter dem Einfluß von inneren und äußeren Störungen stabil verhält.

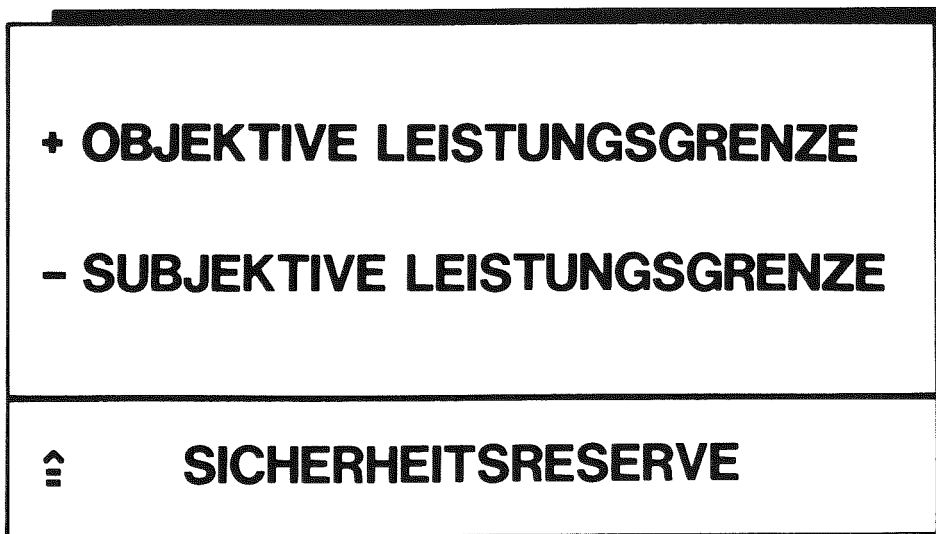


Abbildung 1: Definition Sicherheitsreserve

Die überaus komplexe Fahreraufgabe läßt sich vereinfacht durch die Regelaktionen "Kursfestlegung" und "Kurseinhaltung" beschreiben [Bernotat, 1983 (8)], wobei die Fahrerentscheidung zur Festlegung des Sollkurses innerhalb der Straßenbreite maßgebend durch die Fahrerfahrung, die Streckenkenntnis sowie das akzeptierte Risiko des Fahrers beeinflusst werden [Wilde, 1981 (137)], Abbildung 2.

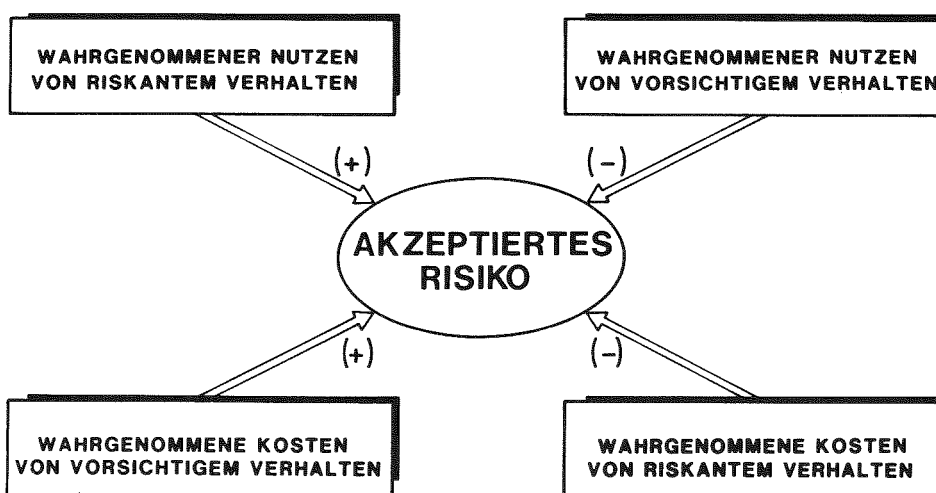


Abbildung 2: Definition Akzeptiertes Risiko

Die Aktionen zur "Kurseinhaltung" sind meist kompensatorischer Art und werden insbesondere beim fahrerfahrenen Fahrer im Unterbewußtsein, also reflektorisch gesteuert. Erst nach Überschreiten gewisser Schwellgrenzen greift der Fahrer während dieser Phase bewußt in das System ein. Eine Beschreibung des Fahrereinflusses bedarf daher sowohl Betrachtungen von Fahrstrategien als auch reinen Stabilitätsuntersuchungen des Gesamtsystems.

Untersuchungsmethodik

Die Untersuchung stützt sich teils auf ein Forschungsvorhaben der DFG [Hackenberg, 1983 (42)], teils auf Pilotstudien, die am Institut für Kraftfahrwesen der RWTH Aachen in Eigeninitiative durchgeführt wurden [Hackenberg, 1984 (43)]. Es wurden Fahrversuche mit mehreren Krafträdern der Leistungsklasse 70 - 100 PS und insgesamt 15 Fahrern unterschiedlicher Fahrerfahrung durchgeführt.

Die Krafträder waren mit einer umfassenden Meßtechnik zur Erfassung von

- Fahrgeschwindigkeit
- Lenkwinkel/-moment
- horizontierten Beschleunigungen
- Winkelgeschwindigkeiten
- Fahrerpulsfrequenz

ausgerüstet, **Abbildung 3.**

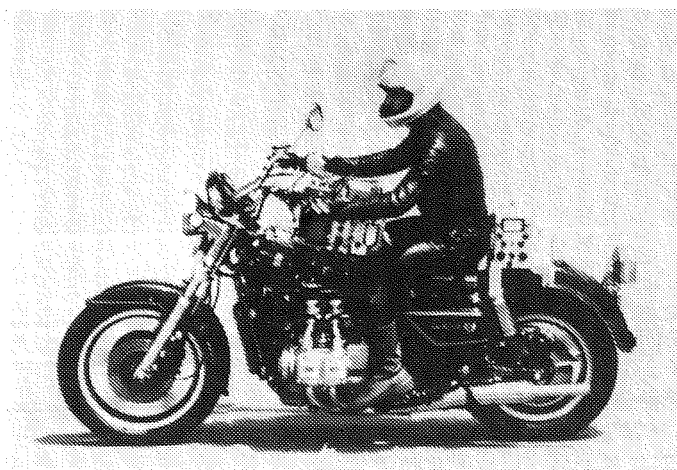


Abbildung 3: Kraftrad mit Messausrüstung

Als Fahraufgabe waren Landstraßen- und Autobahnabschnitte zu durchfahren. Die Auswertung geschah mit Hilfe der Frequenzanalyse sowie Methoden der deskriptiven Statistik.

Landstraßenfahrten

Als Versuchsstrecke diente eine typische Voreifelstraße von 9 km Länge mit hoher Kurvigkeit und relativ geringem Verkehrsaufkommen.

Die während der Versuchsfahrten aufgezeichneten Zeitsignale wurden in Form von Häufigkeitsverteilungen dokumentiert und den Ergebnissen einer auf gleicher Strecke durchgeführten Pkw-Untersuchung [Hackenberg, Heißing, 1982 (41)] gegenübergestellt.

Die Verteilung der Längsgeschwindigkeit ist sowohl durch die Streckencharakteristik als auch durch die Varianz der Fahrer geprägt. **Abbildung 4** vergleicht die aus 21 Fahrten gemittelte Geschwindigkeitsverteilung mit einer Pkw-Verteilung (45 Fahrten).

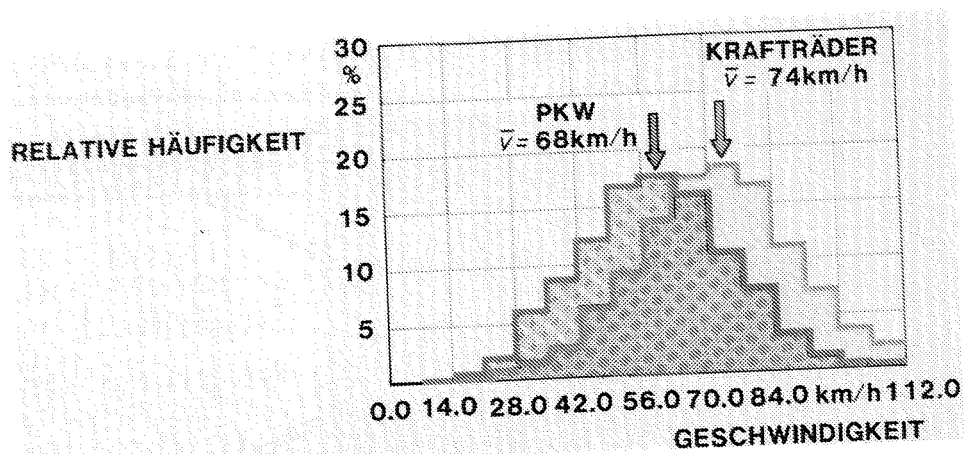


Abbildung 4: Verteilungsdichte der Längsgeschwindigkeit (kurvige Landstraße)

Das Geschwindigkeitsniveau liegt für eine kurvige Landstraße relativ hoch, da die Fahrer keinerlei Auflagen bezüglich der Fahrgeschwindigkeit erhielten und die Streckencharakteristik gerade Motorradfahrer zu sportlicher Fahrweise verleitete. Dementsprechend wurde schneller gefahren als bei der Pkw-Untersuchung ($\bar{v}_{KR} = 74 \text{ km/h}$; $\bar{v}_{PKW} = 68 \text{ km/h}$), wobei die höheren Geschwindigkeitsanteile allerdings ausschließlich während der Geradeauspassagen erzielt wurden (**Abbildungen 5 und 6**). Die Kurvengeschwindigkeiten, dargestellt durch die Verteilung der Gierwinkelgeschwindigkeiten, Abbildung 5, lagen niedriger als bei Pkw. Die Längsbeschleunigungen, Abbildung 6, dokumentieren, daß die Fahrer das hohe Leistungspotential der Kraftäder in den Beschleunigungsphasen voll ausnutzten. Hohe Verzögerungen wurden allgemein vermieden.

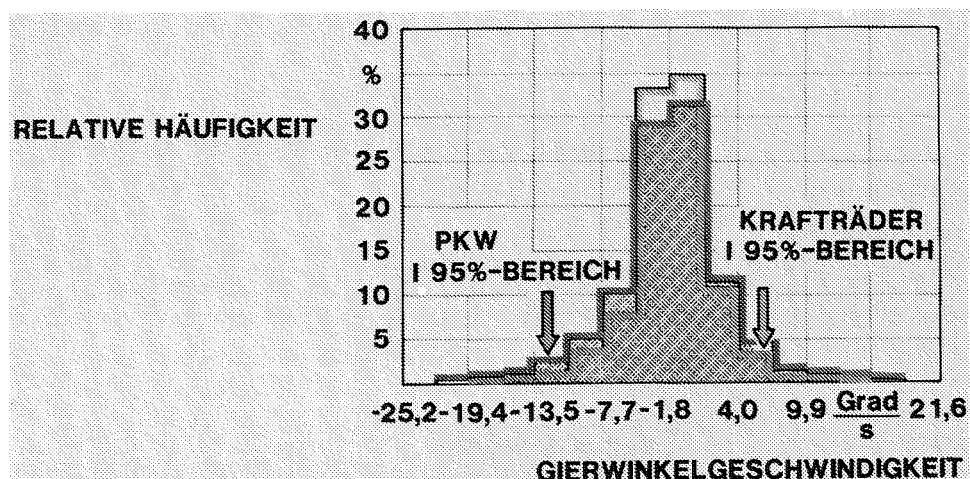


Abbildung 5: Verteilungsdichte der Gierwinkelgeschwindigkeit (kurvige Landstraße)

Der Anteil geringer Verzögerungen dagegen ist überhöht. Diese über einen relativ langen Zeitraum wirkenden Verzögerungen entstehen in der Bremszone vor der Kurveneinfahrt, die bei den Kraftadern gegenüber dem Pkw signifikant länger ausgebildet ist.

Der Fahrer nutzt die lange Verzögerungszeit zur Vorbereitung der Kurvenfahrt. Dabei steigen die

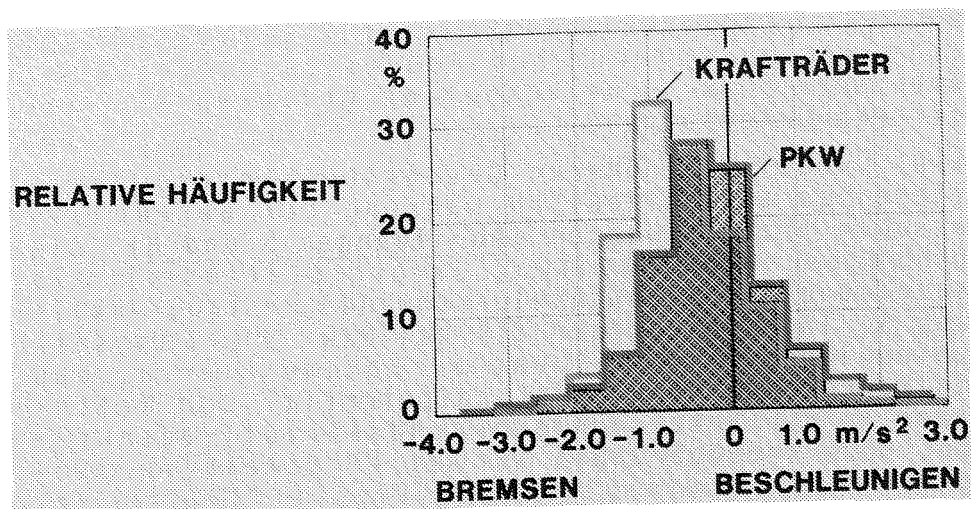


Abbildung 6: Verteilungsdichte der Längsbeschleunigung (kurvige Landstraße)

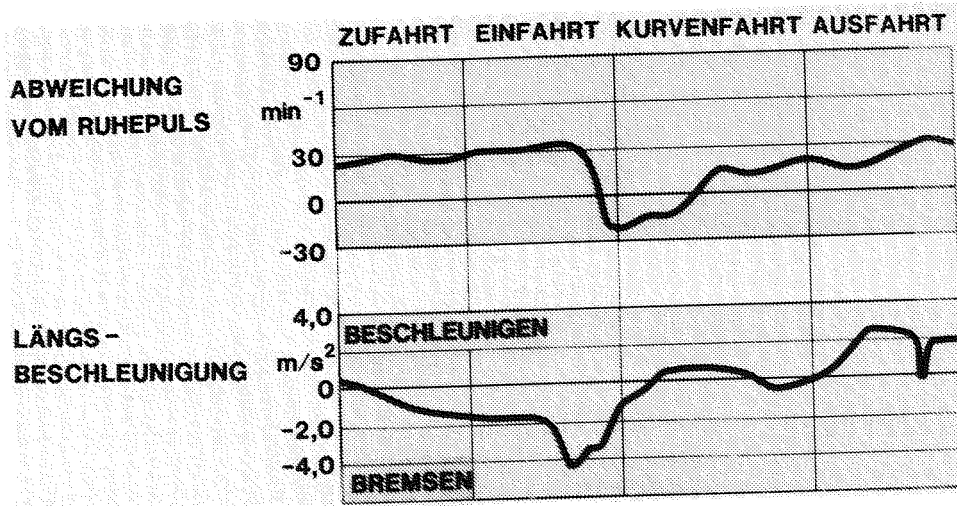


Abbildung 7: Pulsfrequenzverhalten des Kraft-
radfahrers bei Kurvenfahrt

Pulsfrequenzwerte innerhalb der Vorbereitungsphase deutlich an, um dann nach Erreichen der stationären Kurvenfahrt bzw. bei Einblick in den gesamten Kurvenverlauf plötzlich stark abzusinken, **Abbildung 7**. Der Zeitpunkt der Kurveneinsicht

ist für den Fahrer scheinbar von hoher Bedeutung, da er ihm eine Bestätigung bzw. eine notwendige Änderung seiner Fahrstrategie ermöglicht. Ähnliche Beobachtungen wurden in geringem Ausmaß auch bei den Pkw-Untersuchungen gemacht.

Autobahnversuche

Die Stabilitätsuntersuchungen wurden auf Autobahnabschnitten im Raum Aachen sowie auf abgesperrten Versuchsstrecken der Industrie durchgeführt. Untersuchungen zur Erfassung der kraftradspezifischen Eigenschaften wie Dämpfung bzw. Abklingverhalten der Pendelschwingung werden in der Literatur ausschließlich auf der Basis "diskreter" Anregungsversuche beschrieben [Koch, 1980 (81)]; Pachernegg, Michel, 1982 (104)]. Die Versuchsmethodik des offenen Regelkreises - also ohne Regelung des Fahrers - ist nicht zur Beschreibung des Fahrereinflusses geeignet.

Aber auch beim Versuchsansatz zur Identifizierung von Kraftradparametern ist dieser Versuchsansatz in Frage zu stellen, da der Fahrereinfluss systembedingt nicht vernachlässigbar ist.

Deshalb wurde am ika ein Verfahren entwickelt, das den Fahrer bewußt miteinbezieht und die Stabilität des Gesamtsystems beschreibt. Zur Stabilitätsbewertung werden die relevanten Zeitsignale der Kraftradschwingungen über einen längeren Zeitabschnitt mit konstanter Fahrgeschwindigkeit aufgezeichnet und anschließend frequenzanalysiert. Als Ergebnis liegen dann spektrale Leistungsdichtefunktionen vor, die das Bewegungsverhalten bzw. die Bewegungsintensität bezogen auf die System-schwingungen, wiedergeben, **Abbildung 8**.

Zur geschwindigkeitsbezogenen Bewertung lassen sich die Flächenintegrale bzw. die Dichtemaxima der betrachteten Schwingungsform als Funktion der Fahrgeschwindigkeit auftragen.

Abbildung 9 zeigt das Ergebnis einer Parametervariation des Vorderradsystems eines ansonsten unveränderten Kraftrades. Durch den Anbau von unterschiedlichen Lenkerverkleidungen bzw. Zusatzmassen wurde das Massenträgheitsmoment um die Lenkachse

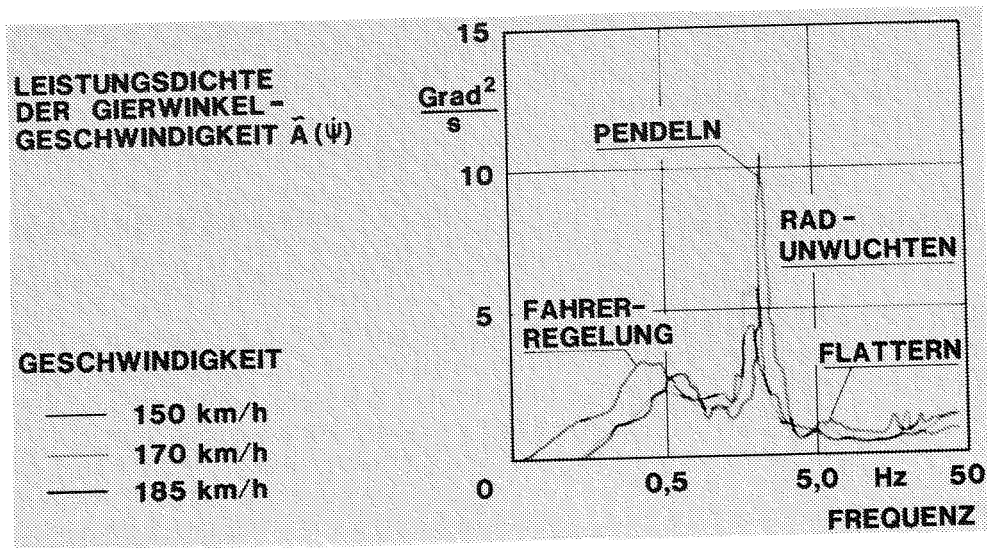


Abbildung 8: Leistungsdichtespektrum bei Geradeausfahrt

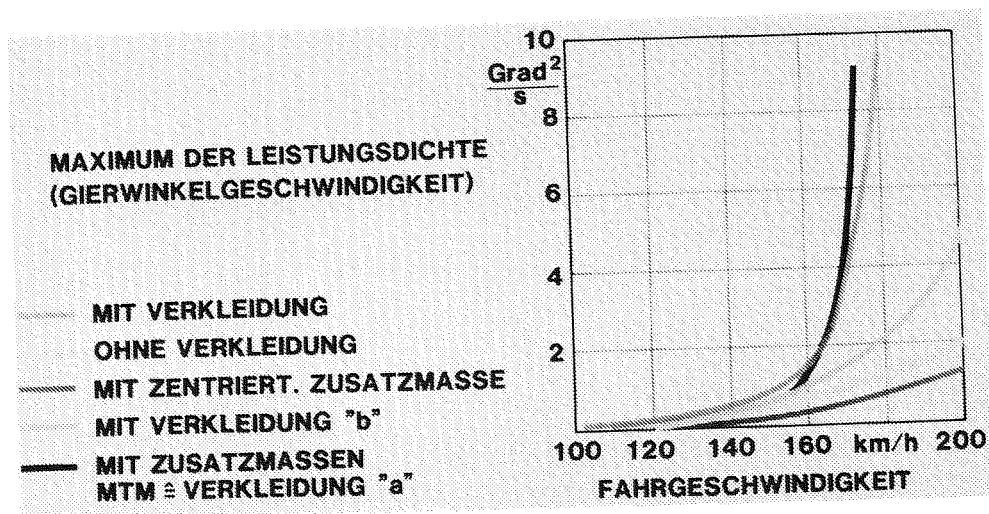


Abbildung 9: Einfluß von Verkleidungs-Parametern auf die Fahrstabilität

variiert. Gegenüber der Originalversion des Kraftrades steigen die Bewertungsfunktionen bei erhöhtem Massenträgheitsmoment um die Lenkachse stark an, wobei der Versuchsfahrer beim Einsatz der kleinen, sportlichen Verkleidung mit relativ geringem Massenträgheitsmoment die maximale Fahrge-

schwindigkeit noch erreicht, beim Anbau der großen Tourenverkleidung "a", die Fahrt allerdings bei ca. 180 km/h aus Gründen unzureichender Stabilität abbricht.

In diesen Fällen liegt die subjektive Höchstgeschwindigkeit des Fahrers stabilitätsbedingt unterhalb der durch die Antriebsleistung bestimmten objektiven Höchstgeschwindigkeit des Kraftrades. Die Differenz zwischen subjektiver und objektiver Höchstgeschwindigkeit ist negativ.

Im Gegensatz dazu ist der Gradient der Bewertungsfunktion nach der Montage einer bzgl. der Lenkachse zentrierten Zusatzmasse geringer, was eine Stabilitätsverbesserung dokumentiert.

Der Fahrereinfluß auf das Stabilitätsverhalten

Der Fahrereinfluß und insbesondere der Lerneffekt des Fahrers soll am Beispiel der über einen Zeitraum von 2 Jahren durchgeführten Referenzfahrten von 5 Fahrern mit unverändertem pendelkritischen Kraftrad erläutert werden [Hackenberg, 1982 (41); Hackenberg, 1984 (43)].

Fahrer - 1, 3 und 7 verfügten zu Beginn der Versuche nur über geringe Fahrpraxis mit schweren Krafträdern und erzielten Ergebnisse mit ähnlich niedrigem Stabilitätsniveau, Abbildung 10.

Die subjektive Höchstgeschwindigkeit dieser Fahrer lag deutlich unterhalb der leistungsbedingten Möglichkeiten des Kraftrades. Die sehr viel erfahreneren Fahrer - 5 und 6 - erzielten weit bessere Ergebnisse und erreichten mühelos die technische Höchstgeschwindigkeit des Kraftrades. Fahrer - 1 - und - 5 - führten dann über mehrere Monate regelmäßig Höchstgeschwindigkeitsfahrversuche durch. Entgegen den Erwartungen stellten sich für Fahrer - 1 - im Laufe dieser Zeit nur geringfügige Verbesserungen des Stabilitätsverhaltens ein. Die Ergebnisse von Fahrer - 5 - zeigten ebenfalls nur geringfügige Schwankungen.

Die Fahrer 3, 6 und 7 führten lediglich Referenzfahrten im Abstand von 3 Monaten durch, wobei Fahrer 3 als Gelegenheitsfahrer ohne eigenes Kraftrad

keine weitere regelmäßige Fahrpraxis hatte. Fahrer 7 erwarb im Laufe der Versuchszeit ein eigenes Kraftrad der 100 ccm-Klasse.

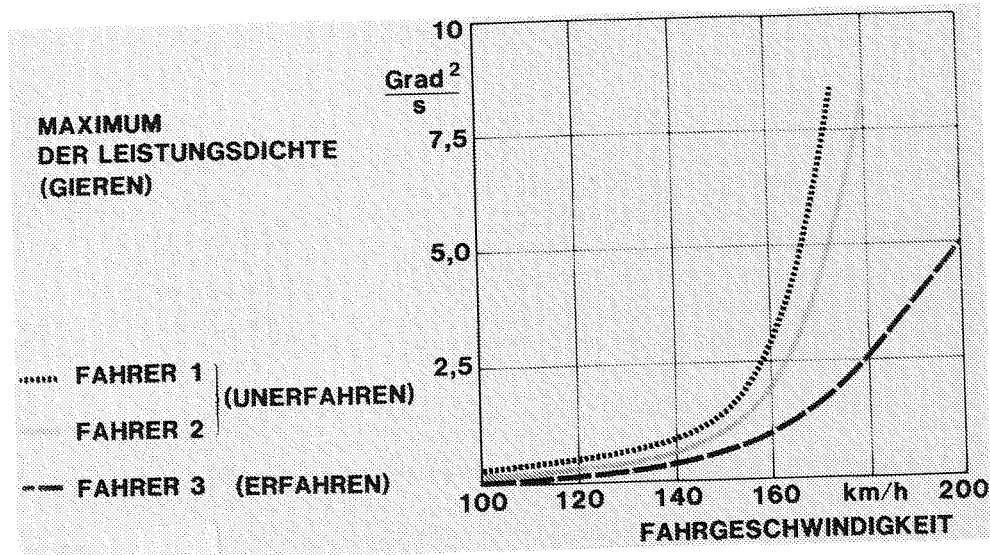


Abbildung 10: Stabilität eines Kraftrades mit unterschiedlichen Fahrern

Nach Abschluß dieser Versuchsreihe wurde winterbedingt eine längere Versuchspause eingelegt, in deren Anschluß die 5 Fahrer zu einer erneuten Versuchsreihe zur Verfügung standen. Die mit dem unveränderten Kraftrad ermittelten Ergebnisse von Fahrer - 3 - und - 5 - entsprachen denen der ersten Test-Serie. Fahrer - 1 - allerdings zeigte ein signifikant verbessertes Stabilitätsverhalten, das dem Niveau von Fahrer - 5 - sehr nahe kam, **Abbildung 11.**

Der Grund für diesen Lernsprung nach einer längeren Fahrpause könnte in einem langsamen Abbau der durch die Art der Versuche bedingten Überbeanspruchung des Fahrers liegen [Schmidtke, 1973 (32)]. Eine andere Theorie [Fleischmann, (37)] baut darauf auf, daß der Adaptionsprozeß bei besonders komplexen Vorgängen, die in einer gewissen Inkompatibilität zum menschlichen Reaktionsschema stehen, nicht nur innerhalb längerer Lernphasen stattfindet, sondern sich auch in Ruhephasen fortsetzt.

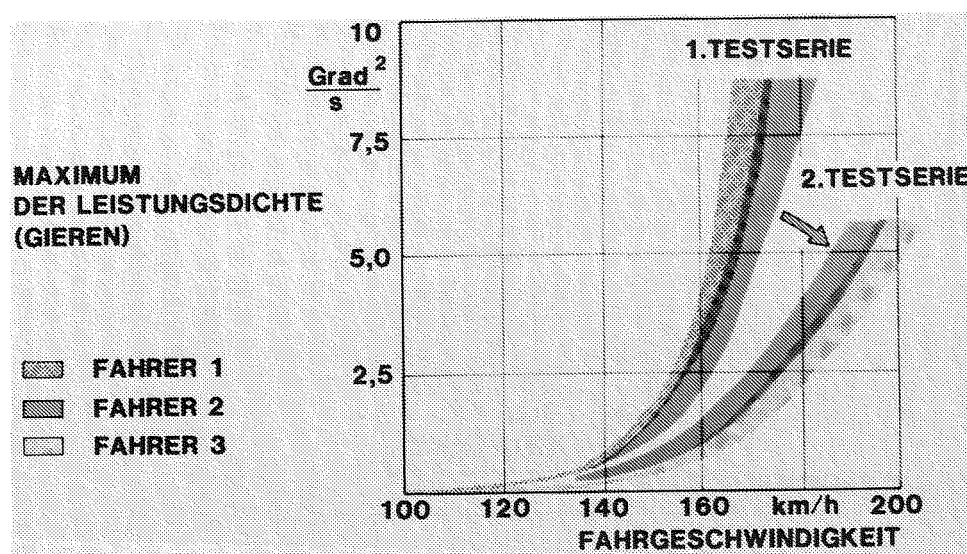


Abbildung 11: Einfluss von Lernphasen auf die Stabilität

Untersucht man die weiteren Testergebnisse auf diese Hypothese hin, so bestätigt sich, daß Fahrer 3, der ausschließlich innerhalb dieser Versuche Pendelerfahrung sammeln konnte, bis zum Abschluß der Untersuchung gleichmäßig pendelintensive Ergebnisse lieferte.

Bei Fahrer 1 als ständigem Testfahrer war auch nach der zweiten Winterpause eine verbesserte Systemstabilität festzustellen.

In dem hier beschriebenen Fall ist dem Fahrer eine Änderung seines Verhaltens nicht bewußt, das heißt, die Wahrnehmung eines gewissen Schwingungsniveaus führt zu einer motorischen Anpassung des Fahrers. Durch seine adaptierte Integration in das Schwingungssystem dämpft er passiv die Schwingungen, so daß sowohl das normale Schwingungsniveau als auch die maximalen Schwingungsamplituden beeinflusst werden.

Erst nach Überschreiten übermäßiger Schwingungsamplituden greift der Fahrer bewußt in das System ein und verändert z.B. die Fahrgeschwindigkeit des Kraftrades, **Abbildung 12.**

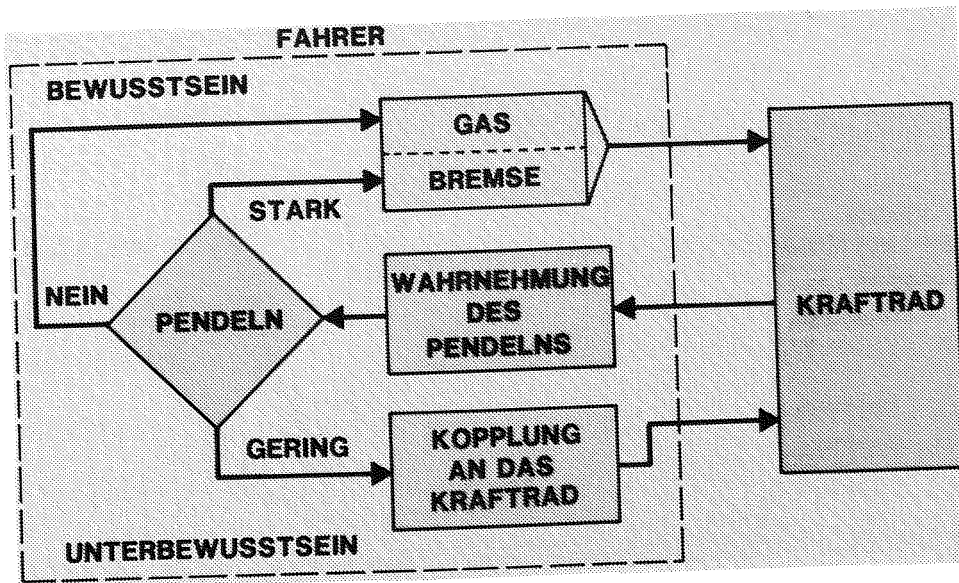


Abbildung 12: Regelstruktur des Kraftradfahrers bei schneller Geradeausfahrt

Der Zeitpunkt des Fahrereingriffs hat wiederum mit der Risikoakzeptanz des Fahrers zu tun und läßt sich parallel in dem Zeitverhalten der Pulsfrequenzänderung nachvollziehen. Nachdem der Fahrer Pendelschwingungen wahrnimmt, beobachtet er die Änderung des Schwingungsverhaltens über eine von dem persönlichen Risikoverhalten mitbestimmte Zeit und entscheidet sich dann zu einer Aktion. Diese Entscheidungsphase verursacht eine stark überhöhte Pulsfrequenz. Sobald der Fahrer wahrnimmt, daß seine Regelaktion zur Dämpfung der Pendelschwingung führt, tritt eine Entspannung ein, die anfangs durch ein kurzzeitiges Absinken der Pulsfrequenz und dann bei reduzierter Fahrgeschwindigkeit zu einer Pulsstabilisierung führt.

Abbildung 13 stellt diesen Zusammenhang am Beispiel zweier Fahrer mit unterschiedlicher Fahrerfahrung dar. Bei der zugrundegelegten Fahrt bestand die Fahraufgabe darin, einen vorgegebenen Autobahnabschnitt mit konstanter Fahrgeschwindigkeit von 180 km/h zu durchfahren. Für den unerfahrenen Fahrer entsprach die Fahrgeschwindigkeit dabei der subjektiven Höchstgeschwindigkeit.

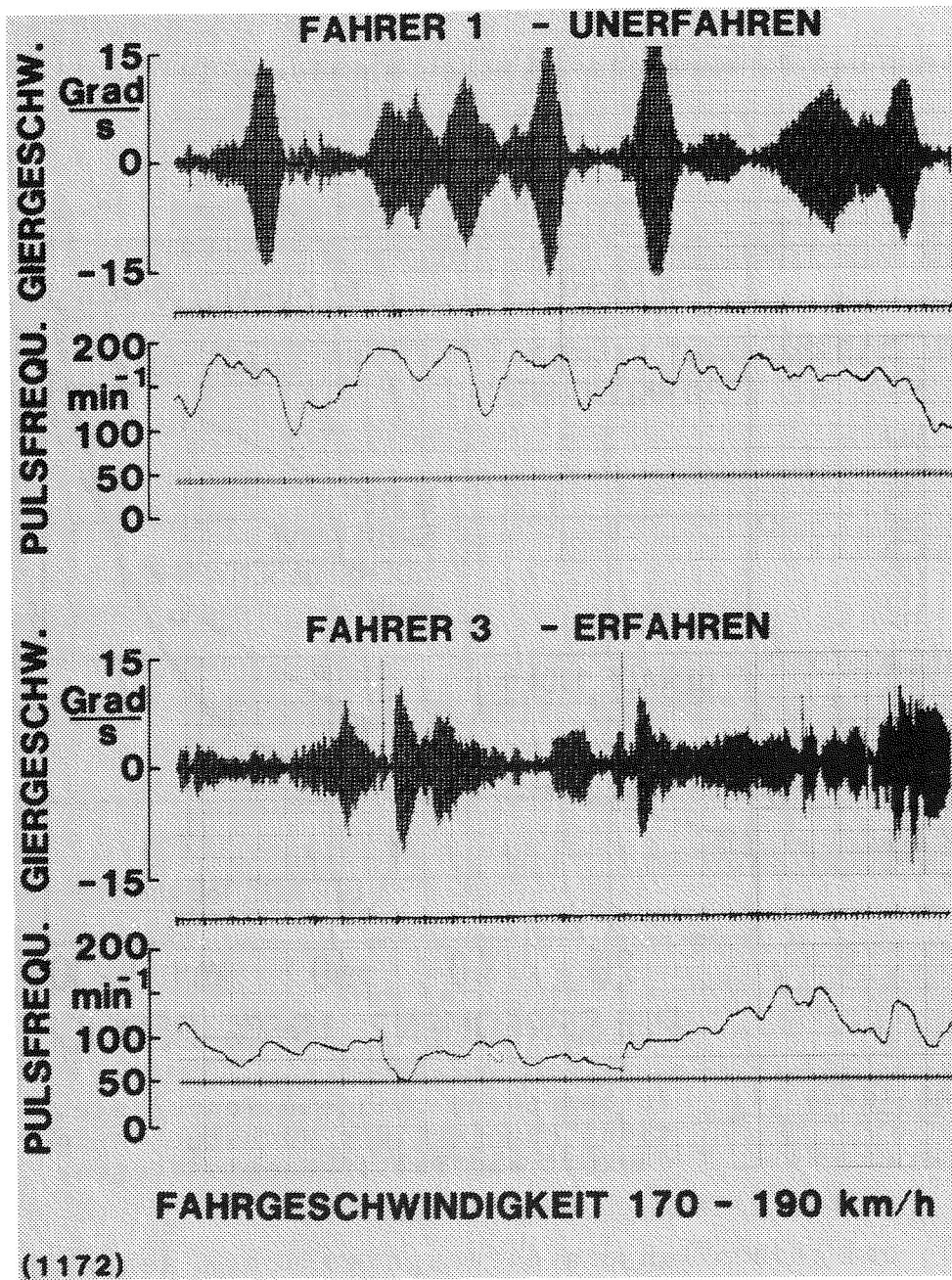


Abbildung 13:

Fahrerbelastung im Hochgeschwindigkeitsbereich unter Pendeleinwirkung

Für den erfahrenen Fahrer stellten die ebenfalls auftretenden Pendelschwingungen keinen Grund zu bewußten Dämpfungsmaßnahmen dar. Trotzdem erreichten die Pulsfrequenzen Werte von 150 min^{-1} .

Eine Gegenüberstellung der Ergebnisse zeigt einen auffälligen Zusammenhang zwischen Stabilitätsniveau und Fahrerbeanspruchung, Abbildung 14.

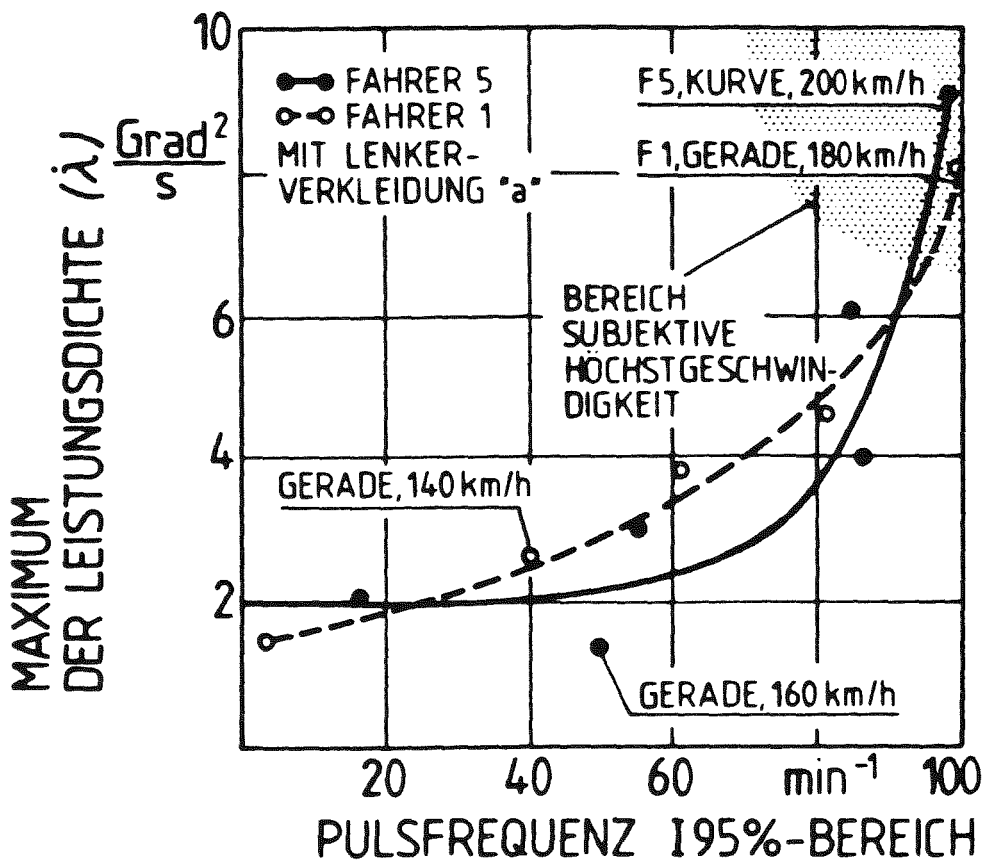


Abbildung 14: Zusammenhang zwischen Pendelintensität, subjektiver Höchstgeschwindigkeit und Pulsfrequenzdifferenz

Die bei beiden Fahrern unterschiedlichen subjektiven Höchstgeschwindigkeiten sind mit vergleichbarer Pendelintensität (Leistungsdichte) und Pulsfrequenz verbunden.

Eine genauere Analyse dieser Zusammenhänge bedarf weiterer umfassender Forschungsarbeit, die sich über die Thematik der Stabilität hinaus auch auf Kurvensituationen und von der Verkehrsführung her anspruchsvolle Fahrsituationen beziehen sollten.

Die Aufschlüsse über das Lernverhalten und die situationsbedingte Beanspruchung könnten dabei wertvolle Erkenntnisse bzgl. der Fahrausbildung liefern.

**Veränderungen der Herzfrequenz und der
Stoffwechselfparameter beim Langzeitmotorradfahren
und Motorradbergrennen**

**Georg Huber
Manfred Lehmann
Josef Keul**

Gliederung

Kapitel		Seite
1.	Einleitung	133
2.	Methoden	135
2.1	Untersuchungsgut	135
2.1.1	Motorrad-Testfahrer	135
2.1.2	Motorrad- bzw. Auto-Rennfahrer	135
2.2	Fahr- und Rennstrecken	136
2.2.1	Testfahrstrecke	136
2.2.2	Bergrennstrecke	137
2.3	Untersuchungsgang	137
2.3.1	EKG und Herzfrequenzen	137
2.3.2	Biochemische Bestimmungen	138
2.3.3	Statistik	139
3.	Ergebnisse	140
3.1	Herzfrequenzen	140
3.1.1	Motorrad-Testfahrer	145
3.1.2	Motorrad-Rennfahrer	145
3.1.3	Auto-Rennfahrer	147
3.2	Stoffwechsel-Veränderungen	148
3.2.1	Motorrad-Testfahrer	154
3.2.2	Motorrad-Rennfahrer	155
3.2.3	Auto-Rennfahrer	158
4.	Diskussion	160
5.	Zusammenfassung	172

1. Einleitung

Beim gesunden Menschen können sich emotionale und Streßbelastungen nachteilig auf die Herz- und Kreislauftätigkeit auswirken und rufen, insbesondere wenn sie mit Angst und Konfliktsituationen verbunden sind, Erhöhungen der Herzfrequenz wie bei schwerer körperlicher Arbeit hervor.

Es wurden in den letzten Jahren bei Untersuchungen von mehreren Sportarten - wie Skispringen [Blatter, 1969 (10)], Skilanglauf, Skiabfahrtslauf [Keul, 1975 (71)], Segelfliegen [Clasing, 1971 (22); Neubert, 1976 (98)], Fallschirmspringen [Kopp, 1978 (83)], Bobfahren [Huber, 1975 (53); Keul, 1976 (74)], Autofahren, Autorennen [Hoffmann, 1961 (50); Hüllemann, 1973 (54); Keul, 1979 (63); Keul, 1979 (66); Lönne, 1972 (88); Lönne, 1968 (89)] u.a. - die Zunahme der Herzfrequenz beobachtet, die nicht durch eine Zunahme des Energieumsatzes erklärbar waren [Blatter, 1969 (10); Clasing, 1971 (22); Haralambie, 1969 (46); Hoffmann, 1961 (50); Huber, 1975 (53); Hüllemann, 1973 (54); Imhof, 1969 (57); Keul, 1979 (63); Keul, 1975 (71); Keul, 1976 (74); Keul, 1979 (66); Keul, 1968 (73); Kopp, 1978 (83); Lönne, 1972 (88); Lönne, 1968 (89); Roskamm, 1965 (112)].

Bei Bobfahrern findet sich eine Zunahme der Herz-tätigkeit, die durch eine erhöhte sympathikoadrenale Aktivität bewirkt wird [Euler, 1974 (35); Huber, 1975 (53); Keul, 1976 (74)]. Den Einfluß auf die Glykolyse und Lipolyse hat man auf eine starke psychische Belastung zurückgeführt. Individuell sehr unterschiedliche Reaktionen der Herzfrequenz und der Stoffwechselgrößen im Blut werden auch bei Sportarten wie Tennis beobachtet. Hier werden sowohl starke körperliche als auch nervliche Belastungen angesprochen.

Ergänzend zu früheren Ergebnissen [Keul, 1979 (63); Keul, 1979 (66)] werden die cardiozirkulatorischen und metabolischen Veränderungen bei Langzeitmotorradfahrten - insgesamt bis zu 8 Stunden - und bei Motorradbergrennen untersucht. Es soll gezeigt werden, daß Langzeitbelastungen mit dem Motorrad entscheidendere Veränderungen als entsprechende Autotestfahrten oder kurzdauernde Motorradbergrennen erwarten lassen.

Im Vergleich werden auf einer Bergrennstrecke neben den Motorradrennfahrern auch Autorennfahrer untersucht.

2. Methoden

2.1 Untersuchungsgut

2.1.1

Untersucht werden während eines Langzeit-Motorradtests 8 Motorrad-Testfahrer - 1 Fahrer (Alter: 29 Jahre) und 7 Fahrer (Alter: $\bar{x} = 26 \pm 5$ Jahre). Das Körpergewicht der Untersuchten lag durchschnittlich bei 69 kg. Alle Motorradfahrer verfügten über eine mehrjährige Fahrpraxis ($\bar{x} = 9$ Jahre) und eine Kilometerleistung von 5.000 - 60.000 km/Jahr ($\bar{x} = 29.000$ km/Jahr).

Für diese Testfahrt wurden Motorräder der Mittelklasse zwischen 400 und 500 ccm benutzt.

2.1.2

Weiterhin wurden in zwei aufeinanderfolgenden Jahren während des Trainings und Rennens im Rahmen der Deutschen Meisterschaftsläufe für Solo-Motorräder und Seitenwagenmaschinen auf der Bergrennstrecke Schauinsland/Schwarzwald insgesamt 19 Motorrad-Rennfahrer, davon 4 Einzelfahrer (Alter: $\bar{x} = 29,5$ Jahre), 7 Gespann-Piloten (Alter: $\bar{x} = 29,2$ Jahre) und 8 Gespann-Copiloten (Alter: $\bar{x} = 29,3$ Jahre) bei insgesamt 27 Einzelfahrten während des Trainings und 13 Fahrten während des Rennens untersucht. Bezogen auf die Gesamtzahl der Aufzeichnungen waren eine der Trainings- und zwei der Rennuntersuchungen wegen defekter Elektroden des EKG-Aufzeichnungsgerätes nicht verwertbar.

Die Fahrer sowie die Beifahrer setzten sich zusammen aus Nachwuchsfahrern und bekannten Rennfahrern der nationalen und internationalen Spitzenklasse; benutzt wurden Motorräder der Klasse 3 über 175 ccm bis 250 ccm, der Klasse 4 über 250 ccm bis 350 ccm und der Klasse 6 mit Seitenwagen bis 500 ccm.

Die Probanden hatten eine Fahrpraxis von durchschnittlich $\bar{x} = 5,7$ Jahren als Motorrad-Einzelfahrer; $\bar{x} = 6,0$ Jahren als Gespann-Piloten und $\bar{x} = 2,7$ Jahren als Gespann-Copiloten. Während des

Schauinsland-Bergrennes wurden zum Vergleich auch 11 Autorennfahrer (Alter: $\bar{x} = 27,8$ Jahre) in 20 Trainings- und 12 Rennläufen untersucht.

Bei den Trainingsaufzeichnungen waren 5, bei den Rennaufzeichnungen 6 EKG's wegen defekter Impulsübertragung nicht verwertbar. Weitere Einschränkungen der Verwertbarkeit für die Gesamtuntersuchung waren durch Ausfall mit Motordefekt in den einzelnen Untersuchungsphasen gegeben.

Die Probanden waren durchweg Nachwuchsfahrer und Rennfahrer der nationalen und internationalen Spitzenklasse. Benutzt wurden Fahrzeuge der Wertungsgruppe A - Serientourenwagen Gruppe I der Klasse 3 über 1150 bis 1300 ccm und der Klasse 4 über 1300 bis 1600 ccm; in der Wertungsgruppe B - Tourenwagen Gruppe II und GT - Wagengruppe IV der Klasse 9 bis 1000 ccm und der Klasse 11 über 1150 bis 1300 ccm; in der Wertungsgruppe D - Spezial - Produktionswagen Gruppe V der Klasse 19 über 1600 bis 2000 ccm und historische Rennwagen.

Die Fahrpraxis der Rennfahrer lag durchschnittlich bei 6,7 Jahren.

Das Training und das Rennen für die Motorradfahrer wurde an 2 nachfolgenden Tagen durchgeführt. Bei Auto-Rennfahrern wurde an 2 Tagen trainiert, wobei sich der Rennlauf unmittelbar an den Trainingslauf anschloß. Die Pausen zwischen den einzelnen Durchgängen beliefen sich auf ca. 45 Minuten. Der Start erfolgte einzeln im Abstand von 30 bis 60 Sekunden.

2.2 Fahr- und Rennstrecken

2.2.1

Als Fahrstrecke wurde eine Doppelschleife - A Landstraße im Nordschwarzwald und Rheintalautobahn, B Schnellstraße im Hohenloher Land - mit Start und Ziel in Stuttgart gewählt. Die beiden Fahrabschnitte waren so gewählt, daß nach 4 Stunden - wie vom Gesetzgeber vorgeschrieben - eine Pause eingelegt wurde.

Der erste Streckenabschnitt von insgesamt 210 km Länge sollte zur Untersuchung der Fahrbelastung im Stadt - Land - Verkehr (220 km) und auf der Autobahn (90 km) dienen.

Die Probanden legten diese Strecke in einer Zeit von ca. 4 Stunden unter Wahrung der Verkehrsvorschriften zurück. Nach einer Pause von durchschnittlich 40 Minuten wurde der 2. Streckenabschnitt (95 km) zur Untersuchung der Fahrbelastung im Überland-Verkehr gefahren. Die durchschnittliche Zeitdauer lag bei 1,5 Stunden, die durchschnittliche Geschwindigkeit betrug 66,3 km/h.

Im Gegensatz zum zweiten Streckenabschnitt, der über kurvenreiche, aber verkehrsarme und trockene Überlandstraßen führte, mußten 2/3 der ersten Fahrstrecke bei leichtem Nieselregen und einer Außentemperatur von ca. +10 Grad über kurvenreiche, regennasse Straßen mit zähflüssigem Verkehr gefahren werden. Die Durchschnittsgeschwindigkeit lag hier bei 65 km/h. Unter diesen Bedingungen legten 7 Fahrer nach einer Fahrzeit von ca. 3 Stunden eine außerplanmäßige Pause von 50 Minuten ein - Tanken und Nahrungsaufnahme -. Um eine genaue Erfassung der Belastung zu erreichen, wurde ein Fahrprotokoll mit genauer Zeitangabe geführt.

2.2.2

Die Schauinsland - Bergrennstrecke hat eine Länge von 11,2 km. Es müssen 172 Kurven verschiedener Schwierigkeitsgrade durchfahren werden. Der Höhenunterschied zwischen Start und Ziel beträgt 720 m. Die durchschnittliche Fahrzeit lag bei ca. 7 Minuten. Der Streckenrekord für Motorräder liegt bei 5.58.46 Minuten = 112,31 km/h, für Wagen bei 5.01.28 Minuten = 133,76 km/h.

2.3 Untersuchungsgang

2.3.1

Die Herzfrequenz- und EKG-Aufzeichnungen sowie die Auswertung wurden mit den EKG-Speicher-System

MEMOPORT II der Firma Hellige, Freiburg durchgeführt. Das System arbeitet auf der Basis eines Cassettenrecorders, wobei die Bandaufzeichnungsgeschwindigkeit von 3,7 mm/s eine Laufzeit für handelsübliche 120-Minuten-Cassetten von ca. 14 Stunden gewährleistet. Bei dem Doppelspurgerät mit einem Gewicht von 400 g wurde das EKG moduliert und eine Pilot-Frequenz aufgezeichnet. Die Pilotfrequenz sollte eventuelle Gleichlaufschwankungen bei der Wiedergabe korrigieren, so daß die Herzfrequenz-Dokumentation unbeeinflußt blieb. Die Auswertung erfolgte in 20facher Zeitraffung und bei Bedarf in EKG-Einzelschreibung. Das Herzfrequenz-Profil konnte über einen eindimensionalen Schreiber aufgezeichnet werden (Toshin-Elektron, Japan).

Die EKG-Ableitung erfolgte über Klebeelektroden, wobei diese bipolar in modifizierter CM 5-Stellung [Roskamm, 1971 (111)] angebracht wurden. Die Kabelverbindung wurde störungsfrei am Overall befestigt und das Gerät mittels Ledertasche auf dem Rücken angebracht.

2.3.2

Die Bestimmung der Glukose und des Lactats erfolgte aus dem hyperämisierten Ohrläppchen mittels Glaskapillaren. Nach der Blutentnahme erfolgte eine Enteiweißung durch Perchlorsäure. Für die übrigen Bestimmungen wurde aus der Cubitalvene Blut entnommen. Als Untersuchungszeitpunkt wurde die morgentliche Ruhe sowie 3. und 6. Minute nach Belastung gewählt.

Aus dem Cubitalvenenblut wurden nach Zentrifugierung die freien Fettsäuren durch autometrische Titration [Keul, 1968 (68)], Glycerol und Triglyceride enzymatisch [Böhringer, 1975 (13); Eggstein, 1966 (29); Eggstein, 1966 (30)], Cholesterin colorimetrisch [Böhringer, 1975 (13); Zöllner, 1962 (141)] und die Elektrolyte flammenphotometrisch bestimmt. Glukose und Lactat wurden enzymatisch bestimmt [Hohorst, 1962 (51); Slein, 1962 (125)].

2.3.3

Von Herzfrequenzeinzelwerten wurden die Mittelwerte (\bar{x}) und die Standardabweichungen (s) errechnet und den verschiedenen Ruhe-, Belastungs- und Erholungsphasen zugeordnet.

Von den Einzelwerten der verschiedenen Stoffwechselfparameter wurden ebenfalls Mittelwerte und Standardabweichungen berechnet. Der Mittelwertvergleich und die Signifikanzwahrscheinlichkeit (p) wurden nach dem Student'schen t-Test berechnet; Signifikanzniveau $p < 0,05$ [Documenta Geigy, 1960 (28)]. Eine prozentuale Häufigkeitsverteilung der Herzfrequenzwerte erfolgte nur für die verschiedenen Belastungsphasen bei Testfahrern und Motorrad-Einzelfahrern (Training und Rennen).

3. Ergebnisse

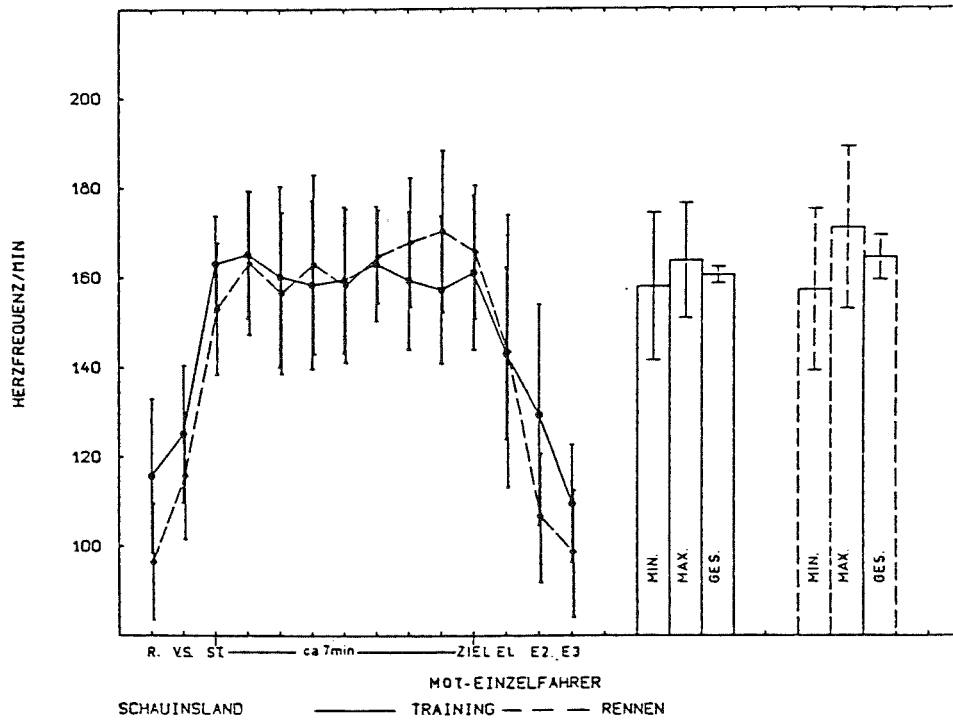
3.1 Herzfrequenzen

	Ruhe	Vor-start	Stadt-land-fahrt	Pause, Essen	Auto-bahn-fahrt	Ruhe-phase	Vor-start	Über-land-fahrt	Erho-lungs-phase
♂	98 ±12	109 ± 11	94 ±14	83 ± 9	109 ± 12	89 ±12	105 ± 11	101 ± 12	90 ±13
♀	114 ± 7	119 ± 10	97 ±10	89 ± 6	111 ± 8	86 ± 9	109 ± 7	107 ± 9	103 ± 6

Tabelle 1: Veränderungen der Herzfrequenz vor, während und nach der Belastung bei Motorrad-Testfahrern (männlich n = 7, weiblich n = 1)

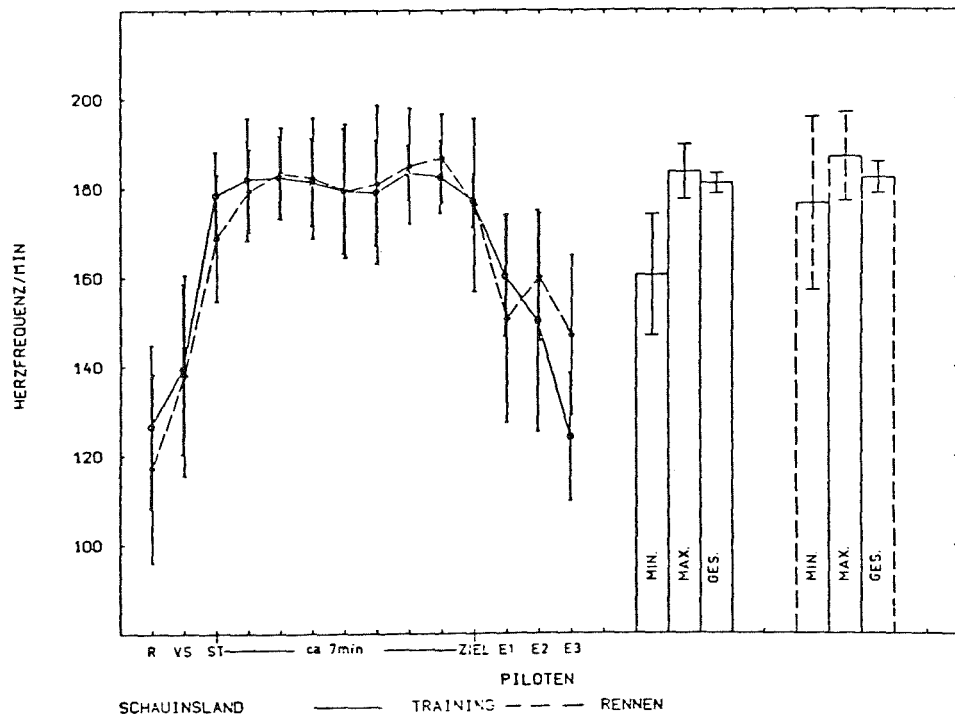
	n	Ruhe	Vor-start	Start	T/R	Ziel	Erholungsphasen		
							E1	E2	E3
Motorrad-Solofahrer	T 7	116 ± 17	126 ± 15	164 ± 11	164 ± 13	162 ± 17	143 ± 19	130 ± 25	110 ± 13
	R 4	97 ± 13	116 ± 14	154 ± 15	164 ± 16	166 ± 15	144 ± 31	107 ± 14	99 ± 14
Seitenwagen-Piloten	T 10	127 ± 18	140 ± 19	178 ± 10	183 ± 9	177 ± 6	160 ± 14	150 ± 25	124 ± 14
	R 4	117 ± 21	139 ± 23	169 ± 14	183 ± 12	176 ± 19	151 ± 23	160 ± 14	147 ± 18
Seitenwagen-Co-Piloten	T 9	110 ± 15	127 ± 22	169 ± 12	181 ± 10	171 ± 12	149 ± 21	150 ± 20	116 ± 18
	R 3	121 ± 24	139 ± 22	173 ± 8	183 ± 10	178 ± 5	161 ± 15	147 ± 17	125 ± 26
Auto-Rennfahrer	T 15	114 ± 14	120 ± 15	150 ± 12	163 ± 11	160 ± 11	139 ± 15	141 ± 12	129 ± 18
	R 6	120 ± 13	128 ± 10	159 ± 15	175 ± 12	165 ± 9	149 ± 12	151 ± 14	137 ± 17

Tabelle 2: Veränderungen der Herzfrequenz vor, während und nach der Belastung bei Motorrad- und Autorennen (T = Training; R = Rennen)



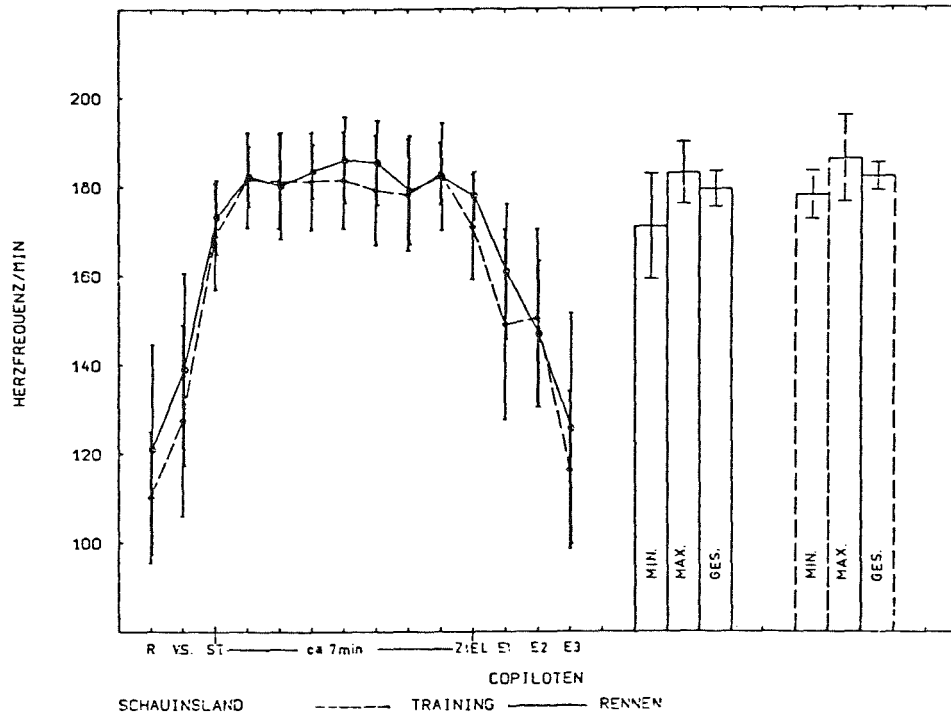
R (Ruhe)
 V.S. (Vorstartphase)
 S.T. (Startphase)
 E1-3 (Erholungsphasen)

Abbildung 1: Durchschnittliche Herzfrequenzen und Herzfrequenzprofile bei den Motorrad-Einzelfahrern beim Bergrennen vor, während und nach den Trainings- und Rennläufen



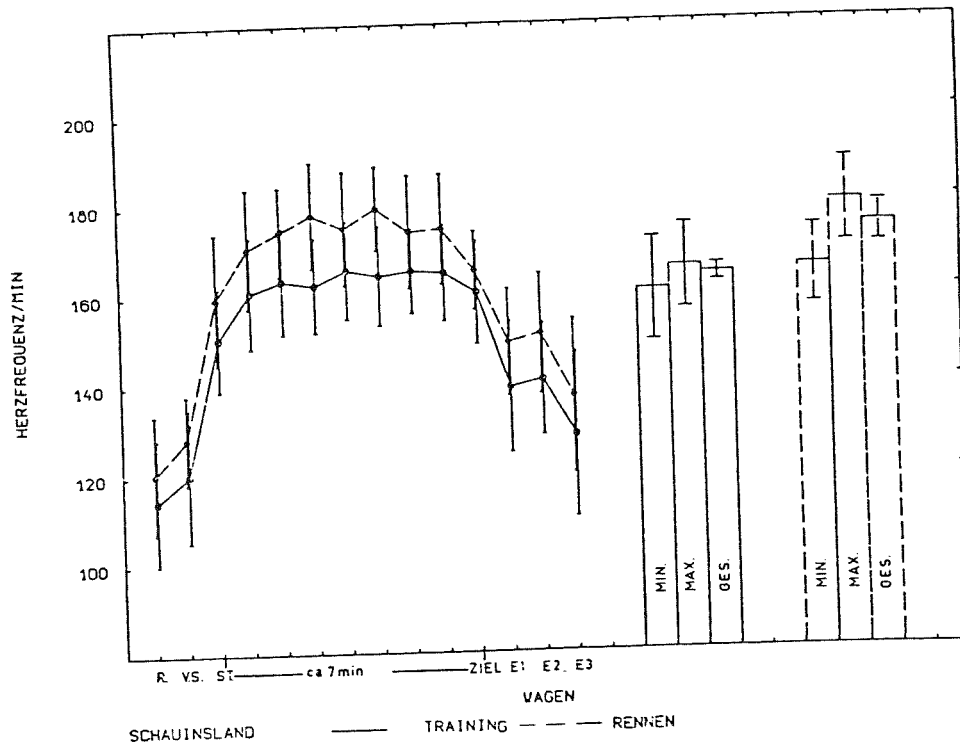
R (Ruhe)
 V.S. (Vorstartphase)
 S.T. (Startphase)
 E1-3 (Erholungsphasen)

Abbildung 2: Durchschnittliche Herzfrequenzen und Herzfrequenzprofile bei den Seitenwagen-Piloten beim Bergrennen vor, während und nach den Trainings- und Rennläufen



R (Ruhe)
 V.S. (Vorstartphase)
 S.T. (Startphase)
 E1-3 (Erholungsphasen)

Abbildung 3: Durchschnittliche Herzfrequenzen und Herzfrequenzprofile bei den Seitenwagen-Copiloten beim Bergrennen vor, während und nach den Trainings- und Rennläufen



R (Ruhe)
 V.S. (Vorstartphase)
 S.T. (Startphase)
 E1-3 (Erholungsphasen)

Abbildung 4:

Durchschnittliche Herzfrequenzen und Herzfrequenzprofile bei den Auto-Rennfahrern beim Bergrennen vor, während und nach den Trainings- und Rennläufen

3.1.1

Die Herzfrequenzen der Motorrad-Testfahrer liegen in der Ruhephase und während der Blutentnahme vor dem Start zur Stadt-Land-Fahrt bei $\bar{x} = 98 \pm 12/\text{min}$ für die männlichen Teilnehmer und bei $\bar{x} = 114 \pm 7/\text{min}$ für die Teilnehmerin (siehe Tabelle 1). In der Vorstartphase steigt die Herzfrequenz auf $\bar{x} = 109 \pm 11/\text{min}$ für die männlichen Teilnehmer bzw auf $\bar{x} = 119 \pm 10/\text{min}$ für den weiblichen Teilnehmer und fällt dann während der Fahrt auf $\bar{x} = 94 \pm 14/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 97 \pm 10/\text{min}$ ab, wobei die maximal erreichte Herzfrequenz bei 156/min bzw. 128/min liegt. Während der außerplanmäßigen Pause sinkt die Herzfrequenz auf $\bar{x} = 83 \pm 9/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 89 \pm 6/\text{min}$ ab. Bei der Autobahnfahrt erreichten die Herzfrequenzwerte annähernd die gleiche Höhe wie in der Vorstartphase: $\bar{x} = 109 \pm 12/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 111 \pm 8/\text{min}$. Die Maxima liegen hier bei 156/min bzw. 130/min. In der Ruhephase nach dem ersten Streckenabschnitt sinken die Herzfrequenzen auf $\bar{x} = 89 \pm 12/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 86 \pm 9/\text{min}$. Während der Vorstartphase - zu Beginn der Überlandfahrt - wird ein Herzfrequenzanstieg auf $\bar{x} = 105 \pm 11/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 109 \pm 7/\text{min}$ verzeichnet. Während der Fahrt sind Frequenzanstiege auf $\bar{x} = 101 \pm 12/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 107 \pm 9/\text{min}$ aufgezeichnet worden, wobei die Maximalwerte bei 132/min bzw. 137/min liegen. In der Erholungsphase sinken die Herzfrequenzen auf $\bar{x} = 90 \pm 13/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 103 \pm 6/\text{min}$ ab.

3.1.2

Bei Motorrad-Solorennfahrern liegen die Herzfrequenzen in der relativen Ruhephase vor dem Training bei $\bar{x} = 116 \pm 17/\text{min}$ und vor dem Rennen bei $\bar{x} = 97 \pm 13/\text{min}$ (siehe Tabelle 2; Abbildung 1). In der Vorstartphase (Erwartungsphase) steigt die Herzfrequenz beim Training auf $\bar{x} = 126 \pm 15/\text{min}$ und beim Rennen auf $\bar{x} = 116 \pm 14/\text{min}$ an, um dann in der Startphase des Trainings auf $\bar{x} = 164 \pm 11/\text{min}$ bzw. des Rennens auf $\bar{x} = 154 \pm 15/\text{min}$ anzusteigen. Während der Trainingsläufe werden Werte bei $\bar{x} = 164 \pm 13/\text{min}$, während der Rennläufe bei $\bar{x} = 164 \pm 15/\text{min}$ gemessen.

In der Zieldurchfahrt ergeben sich keine wesentlichen Frequenzveränderungen für Training ($\bar{x} = 162 \pm 17/\text{min}$) und Rennen ($\bar{x} = 166 \pm 15/\text{min}$). Im Einzelfall werden Herzfrequenzanstiege auf 186/min im Training bzw. 194/min im Rennen aufgezeichnet. In der Erholungsphase nach den Trainingsläufen sinkt die Herzfrequenz ab auf $\bar{x} = 110 \pm 13/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 99 \pm 14/\text{min}$ nach den Rennläufen.

Die Herzfrequenzprofile der Seitenwagen-Piloten liegen in den Ruhephasen vor dem Training bei $\bar{x} = 127 \pm 18/\text{min}$ und vor dem Rennen bei $\bar{x} = 117 \pm 21/\text{min}$ (Tabelle 2; **Abbildung 2**).

In der Vorstartphase steigen während des Trainings die Herzfrequenzen auf $\bar{x} = 140 \pm 19/\text{min}$ und während des Rennens auf $\bar{x} = 138 \pm 23/\text{min}$. In der Startphase findet sich ein Herzfrequenzanstieg auf $\bar{x} = 178 \pm 10/\text{min}$ im Training und auf $\bar{x} = 169 \pm 14/\text{min}$ im Rennen. Während des Trainings und Rennens liegen die Herzfrequenzen bei $\bar{x} = 183 \pm 9/\text{min}$ bzw. $\bar{x} = 183 \pm 12/\text{min}$. In der Zieldurchfahrt ergibt sich keine wesentliche Veränderung, es entsteht ein Pulsfrequenzabfall um ca. 10 Schläge/min. Die Höchstwerte liegen während der Rennphase bei 197/min, während des Trainings bei 200/min. In der Erholungsphase erfolgt nur ein langsamer Abfall auf $\bar{x} = 124 \pm 14/\text{min}$ (Training) bzw. $\bar{x} = 147 \pm 18/\text{min}$ (Rennen). Diese Veränderungen sind durch Bereitstellen der Maschinen und die Blutentnahme über die Norm erhöht. Bei den Copiloten war in der relativen Ruhepause vor dem Training die Herzfrequenz bei $\bar{x} = 110 \pm 15/\text{min}$ (Tabelle 2; **Abbildung 3**). In der Erwartungsphase vor dem Start steigt die Frequenz auf $\bar{x} = 127 \pm 22/\text{min}$ an und liegt während des Starts bei $\bar{x} = 169 \pm 12/\text{min}$. In den Trainingsläufen werden durchschnittliche Herzfrequenzen von $\bar{x} = 181 \pm 10/\text{min}$, in der Zieldurchfahrt $\bar{x} = 171 \pm 12/\text{min}$ erreicht. Im Einzelfall liegen die Frequenzen während des Trainings bei 202/min. In der Erholungsphase sinkt die Frequenz auf $\bar{x} = 149 \pm 21/\text{min}$ in der 3ten Minute und auf $\bar{x} = 116 \pm 18/\text{min}$ in der 6ten Minute ab. Bei den Rennen liegt die Herzfrequenz in der Ruhephase vor dem Start bei $\bar{x} = 121 \pm 24/\text{min}$ (Tabelle 2; **Abbildung 3**). In der Vorstartphase steigt die Frequenz auf $\bar{x} = 139 \pm 22/\text{min}$ an, beim Start auf $\bar{x} = 173 \pm 8/\text{min}$ und in der Rennphase auf $\bar{x} = 183 \pm 10/\text{min}$.

Bei der Zieldurchfahrt wird ein Absinken um 5 Herzschläge pro Minute gemessen. Die maximal erreichte Herzfrequenz liegt bei 195/min. In der Erholungsphase kommt es zum Frequenzabfall auf $\bar{x} = 125 \pm 26/\text{min}$.

3.1.3

Bei Auto-Rennfahrern zeigt sich während des Bergrennens für das Training in Ruhe eine Herzfrequenz von $\bar{x} = 114 \pm 14/\text{min}$. Beim Rennen $\bar{x} = 120 \pm 13/\text{min}$ (Tabelle 2; **Abbildung 4**).

Vor dem Start wurde eine Frequenz von $\bar{x} = 120 \pm 15/\text{min}$ für das Training und $\bar{x} = 128 \pm 10/\text{min}$ für das Rennen gemessen. In der Startphase liegt die Frequenz im Training bei durchschnittlich $\bar{x} = 150 \pm 12/\text{min}$ und im Rennen bei $\bar{x} = 159 \pm 15/\text{min}$. Während der Wettfahrt wird eine Durchschnittsfrequenz von $\bar{x} = 163 \pm 11/\text{min}$ für das Training und $\bar{x} = 175 \pm 12/\text{min}$ im Rennen gemessen. Bei der Zieldurchfahrt liegen die Werte bei $\bar{x} = 160 \pm 11/\text{min}$ (Training) und bei $\bar{x} = 165 \pm 9/\text{min}$ (Rennen). Der einzelne Höchstwert wird mit 194/min bzw. 189/min angegeben. In der Erholungsphase sinkt die Pulsfrequenz nach dem Training auf $\bar{x} = 128 \pm 18/\text{min}$ und nach dem Rennen auf $\bar{x} = 137 \pm 17/\text{min}$ ab.

In der Auswertung der einzelnen EKG-Kurven war bei den Motorrad-Testfahrern in der Autobahnfahrphase ein deutlicher Anstieg von supraventrikulären und ventrikulären Extrasystolen bei allen untersuchten Fahrern festzustellen.

Bei einzelnen Motorradrennfahrern fanden sich sowohl im Training als auch im Rennen monotone fixgekoppelte ventrikuläre Extrasystolen.

Die Nachuntersuchung im Labor konnte jedoch keine krankhafte Befundung ergeben.

3.2 Stoffwechselveränderungen

SUBSTRAT	a		b		c		p a:b	p a:c
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ		
Glucose (mMol/l)	4,873 $\pm 0,480$	5,42	5,037 $\pm 0,653$	4,12	5,196 $\pm 0,922$	3,91	-	-
Lactat (mMol/l)	1,226 $\pm 0,302$	1,18	1,041 $\pm 0,285$	1,40	0,989 $\pm 0,372$	0,86	-	-
Triglyceride (mMol/l)	1,416 $\pm 0,542$	1,14	2,409 $\pm 1,001$	1,74	2,225 $\pm 1,280$	1,48	<0,05	-
fr. Fettsäuren (mMol/l)	0,337 $\pm 0,085$	0,24	0,679 $\pm 0,209$	0,43	0,617 $\pm 0,172$	0,37	<0,005	<0,005
Glycerol (mMol/l)	0,075 $\pm 0,015$	0,10	0,112 $\pm 0,035$	0,12	0,096 $\pm 0,015$	0,11	<0,025	<0,025
Cholesterin (mg % \cong mg/dl)	187,7 $\pm 25,0$	132,2	200,8 $\pm 32,4$	147,5	199,5 $\pm 30,4$	146,2	-	-
Natrium (mMol/l)	140,6 $\pm 4,894$	146,2	140,9 $\pm 5,305$	144,1	142,1 $\pm 5,336$	145,0	-	-
Kalium (mMol/l)	4,129 $\pm 0,315$	4,40	4,000 $\pm 0,480$	3,63	3,886 $\pm 0,474$	3,92	-	-

(Mittelwerte; \pm Standardabweichung; p Signifikanz;
a = in Ruhe; b = nach 310 km; c = nach 95 km)

Tabelle 3: Veränderungen der Substratspiegel bei
Motorrad-Testfahrern (männlich n = 7,
weiblich n = 1)

SUBSTRAT	a		b		c		p a:b	p b:c	p a:c
	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ	\bar{x}	σ			
Glucose (mMol/l)	5,668 $\pm 1,274$	6,318	6,318 $\pm 1,222$	6,637	6,637 $\pm 0,747$	-	-	-	
Lactat (mMol/l)	1,688 $\pm 0,559$	4,320	4,320 $\pm 2,142$	4,960	4,960 $\pm 1,669$	<0,02	-	<0,005	
Triglyceride (mMol/l)	0,795 $\pm 0,246$	1,323	1,323 $\pm 0,857$	1,294	1,294 $\pm 0,628$	-	-	-	
fr. Fettsäuren (mMol/l)	0,502 $\pm 0,146$	1,025	1,025 $\pm 0,410$	0,830	0,830 $\pm 0,293$	<0,05	-	<0,05	
Glycerol (mMol/l)	0,054 $\pm 0,026$	0,141	0,141 $\pm 0,079$	0,172	0,172 $\pm 0,048$	-	-	<0,001	
Cholesterin (mg % \cong mg/dl)	175,8 $\pm 47,7$	178,5	178,5 $\pm 42,4$	191,3	191,3 $\pm 51,5$	-	-	-	
Natrium (mMol/l)	144,4 $\pm 3,209$	142,7	142,7 $\pm 4,933$	143,8	143,8 $\pm 3,764$	-	-	-	
Kalium (mMol/l)	4,380 $\pm 0,370$	3,733	3,733 $\pm 0,513$	3,700	3,700 $\pm 0,253$	-	-	<0,01	

(Mittelwerte; \pm Standardabweichung; p Signifikanz;
a = in Ruhe; b = nach dem Training; c = nach dem
Rennen)

Tabelle 4: Veränderungen der Substratspiegel bei
Motorrad-Einzelfahrern (n = 5)

SUBSTRAT	a	b	c	p a:b	p b:c	p a:c
Glucose (mMol/l)	5,639 ±0,340	5,856 ±0,794	6,558 ±1,215	-	-	-
Lactat (mMol/l)	1,884 ±0,466	5,234 ±1,304	5,207 ±2,076	<0,001	-	<0,001
Triglyceride (mMol/l)	0,646 ±0,285	1,390 ±0,294	1,599 ±0,598	<0,05	-	-
fr. Fettsäuren (mMol/l)	0,450 ±0,113	0,762 ±0,241	0,975 ±0,262	-	-	<0,05
Glycerol (mMol/l)	0,090 ±0,037	0,189 ±0,065	0,230 ±0,110	-	-	-
Cholesterin (mg % ± mg/dl)	170,5 ± 46,0	211,2 ± 47,7	203,0 ± 37,5	-	-	-
Natrium (mMol/l)	144,5 ±0,707	142,2 ±2,775	142,2 ±2,927	-	-	-
Kalium (mMol/l)	4,000 ±0,120	3,581 ±0,384	3,573 ±0,472	-	-	-

(Mittelwerte; ± Standardabweichung; p Signifikanz;
a = in Ruhe; b = nach dem Training; c = nach dem
Rennen)

**Tabelle 5: Veränderungen der Substratspiegel bei
Seitenwagen-Piloten (n = 7)**

SUBSTRAT	a	b	c	p a:b	p b:c	p a:c
Glucose (mMol/l)	6,213 ±0,611	6,044 ±0,978	7,114 ±1,281	-	<0,02	-
Lactat (mMol/l)	1,774 ±0,825	5,773 ±2,365	7,009 ±2,560	<0,001	-	<0,001
Triglyceride (mMol/l)	0,830 ±0,347	0,832 ±0,242	0,884 ±0,344	-	-	-
fr. Fettsäuren (mMol/l)	0,325 ±0,007	0,622 ±0,194	0,691 ±0,232	-	-	-
Glycerol (mMol/l)	0,041 ±0,008	0,151 ±0,043	0,148 ±0,057	<0,02	-	<0,05
Cholesterin (mg % ± mg/dl)	174,0 ± 31,1	160,6 ± 57,2	159,1 ± 42,8	-	-	-
Natrium (mMol/l)	145,5 ±2,121	142,2 ±3,033	144,0 ±2,381	-	-	-
Kalium (mMol/l)	4,350 ±0,212	3,740 ±0,288	3,571 ±0,350	<0,05	-	<0,02

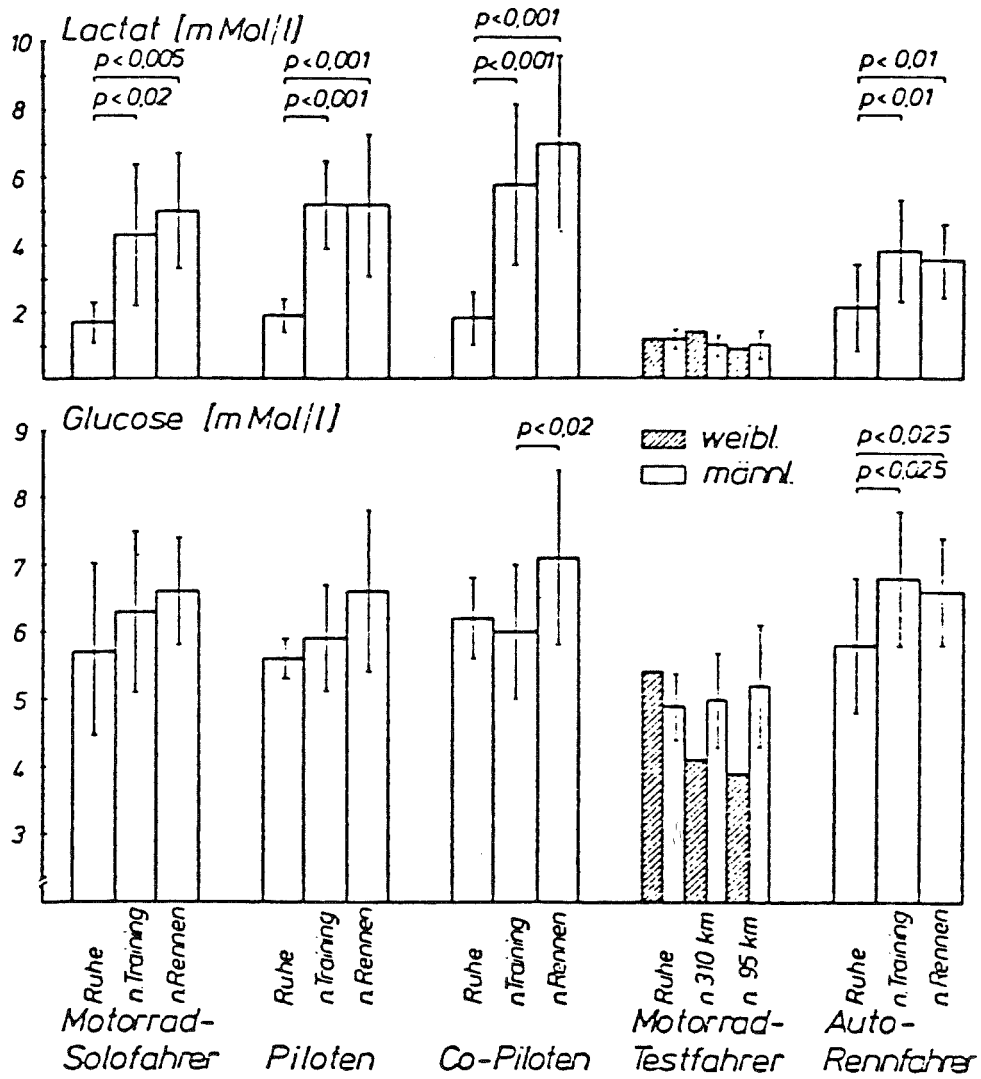
(Mittelwerte; ± Standardabweichung; p Signifikanz;
a = in Ruhe; b = nach dem Training; c = nach dem
Rennen)

**Tabelle 6: Veränderungen der Substratspiegel bei
Seitenwagen-Copiloten (n = 8)**

SUBSTRAT	a	b	c	p a:b	p b:c	p a:c
Glucose (mMol/l)	5,806 ±1,005	6,817 ±1,026	6,642 ±0,830	<0,025	-	<0,025
Lactat (mMol/l)	2,106 ±1,329	3,751 ±1,475	3,482 ±1,096	<0,01	-	<0,01
Triglyceride (mMol/l)	1,184 ±0,612	-	1,122 ±0,658	-	-	-
fr. Fettsäuren (mMol/l)	0,512 ±0,140	-	0,698 ±0,246	-	-	<0,05
Glycerol (mMol/l)	0,104 ±0,022	-	0,157 ±0,047	-	-	<0,01
Cholesterin (mg % ± mg/dl)	192,8 ± 41,1	-	201,7 ± 45,0	-	-	-
Natrium (mMol/l)	139,4 ±1,265	-	141,8 ±0,919	-	-	<0,001
Kalium (mMol/l)	5,100 ±0,328	-	3,930 ±0,116	-	-	<0,001

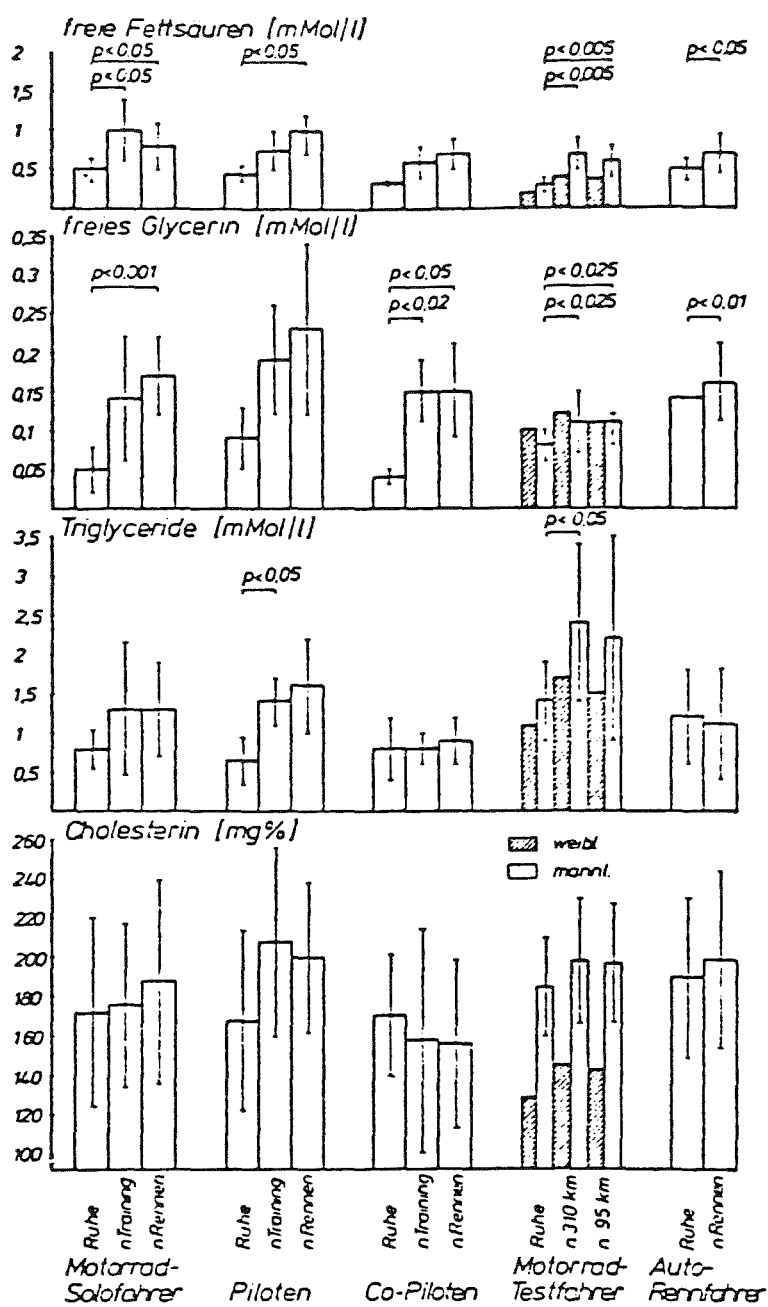
(Mittelwerte; ± Standardabweichung; p Signifikanz;
a = in Ruhe; b = nach dem Training; c = nach dem
Rennen)

**Tabelle 7: Veränderungen der Substratspiegel bei
Auto-Rennfahrern (n = 11)**



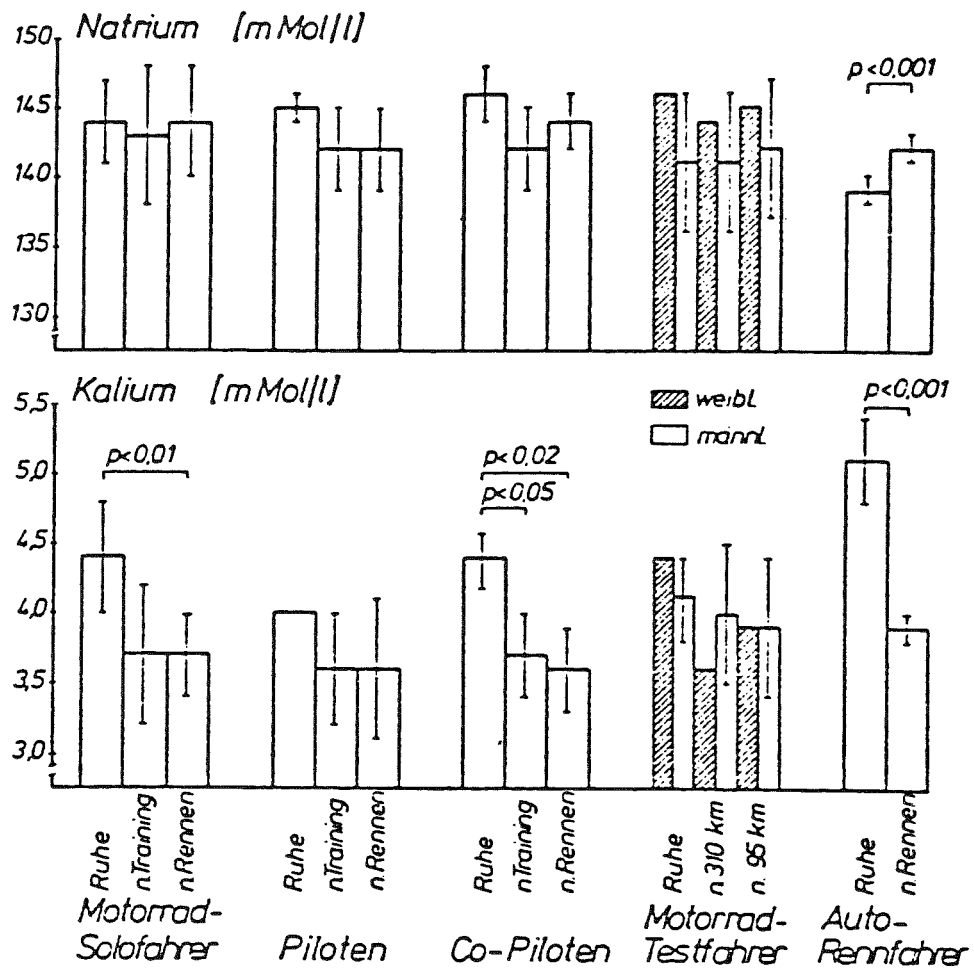
p (signifikante Veränderungen)

Abbildung 5: Vergleichende Darstellung der Veränderungen der Glucose- und Lactatspiegel während verschiedener Fahrbelastungen



p (signifikante Veränderungen)

Abbildung 6: Vergleichende Darstellung der Veränderungen der Serumsubstrate (freie Fettsäuren; freies Glycerin $\hat{=}$ Glycerol; Triglyceride; Cholesterin) bei verschiedenen Fahrbelastungen



p (signifikante Veränderungen)

Abbildung 7: Vergleichende Darstellung der Veränderungen im Elektrolythaushalt (Natrium und Kalium) bei verschiedenen Fahrbelastungen

3.2.1

Der Glucosespiegel liegt bei den männlichen Motorrad-Testfahrern in Ruhe vor dem ersten Streckenabschnitt bei $\bar{x} = 4,87 \pm 0,48$ mMol/l. 3 Minuten nach Beendigung dieser Fahrbelastung und nach der 2. Streckenbelastung war nur ein geringgradiger Anstieg auf $\bar{x} = 5,04 \pm 0,65$ mMol/l bzw. $\bar{x} = 5,20 \pm 0,92$ mMol/l festzustellen.

Bei der weiblichen Testperson war ein Glucoseabfall von 5,42 mMol/l in Ruhe auf 4,12 mMol/l nach dem ersten Streckenabschnitt aufgefallen (Tabelle 3; Abbildung 5).

Die Lactatwerte zeigen bei den männlichen Testfahrern keine wesentlichen Veränderungen. Bei der Testfahrerinnen steigt während der ersten Belastungsphase das Lactat von 1,18 mMol/l auf 1,40 mMol/l an und fällt nach der zweiten Fahrbelastung auf 0,86 mMol/l ab (Tabelle 3; Abbildung 5).

Der Triglyceridspiegel steigt bei den männlichen Testpersonen während der Stadt-Land-Fahrt von $\bar{x} = 1,42 \pm 0,54$ mMol/l auf $\bar{x} = 2,41 \pm 1,00$ mMol/l an ($p < 0,05$) und liegt 3 Minuten nach der zweiten Belastung bei $\bar{x} = 2,23 \pm 1,28$ mMol/l. Bei der Testfahrerinnen steigt der Triglyceridspiegel in der ersten Belastungsphase ebenfalls von 1,14 mMol/l auf 1,74 mMol/l an, sinkt jedoch nach der zweiten Belastungsphase auf 1,48 mMol/l ab (Tabelle 3; Abbildung 6).

Die freien Fettsäuren (FFS) zeigen einen Anstieg während des ersten Fahrtabschnitts von $\bar{x} = 0,34 \pm 0,09$ mMol/l auf $\bar{x} = 0,68 \pm 0,21$ mMol/l ($p < 0,005$). Bei der Testfahrerinnen war ein Anstieg von 0,24 mMol/l auf 0,43 mMol/l gefunden worden. In der zweiten Belastungsphase sind die freien Fettsäuren mit einem Signifikanzniveau von $p < 0,005$ sowohl für die männlichen Testfahrer als auch für die Fahrerinnen wieder abgesunken (Tabelle 3; Abbildung 6).

Der Glycerolspiegel steigt während der ersten Belastungsphase geringfügig bei beiden Belastungsgruppen an. Im zweiten Belastungsabschnitt fällt der Glycerolspiegel nur unwesentlich ab (Tabelle 3; Abbildung 6).

Das Cholesterin der Testfahrer war im ersten Ab- von $\bar{x} = 187,7 \pm 25$ mg/dl auf $\bar{x} = 200,8 \pm 32,4$ mg/dl angestiegen; bei der Testfahrererin war ein Anstieg von 132,2 mg/dl auf 147,5 mg/dl zu verzeichnen. Nach dem zweiten Abschnitt waren die Veränderungen nicht wesentlich (Tabelle 3; Abbildung 6).

Die Natriumbestimmung ergab bei der Fahrererin und den Fahrern, bezogen auf den Ruhewert, sowohl für den ersten als auch für den zweiten Streckenabschnitt keine wesentlichen Veränderungen (Tabelle 3; **Abbildung 7**).

Der Kaliumspiegel im Serum zeigte bei den Testfahrern im ersten Belastungsabschnitt einen Abfall von $\bar{x} = 4,13 \pm 0,32$ mMol/l auf $\bar{x} = 4,00 \pm 0,48$ mMol/l und nach dem zweiten Belastungsabschnitt auf $\bar{x} = 3,89 \pm 0,47$ mMol/l. Bei der Testfahrererin war nach dem ersten Abschnitt ebenfalls ein Abfall von 4,40 mMol/l auf 3,63 mMol/l zu verzeichnen. Nach der zweiten Belastung ergab sich ein geringgradiger Anstieg auf 3,92 mMol/l (Tabelle 3; Abbildung 7).

3.2.2

Bei den Motorrad-Solofahrern zeigt die Glucose sowohl nach dem Training als auch nach dem Rennen einen deutlichen Anstieg $\bar{x} = 5,67 \pm 1,27$ mMol/l auf $\bar{x} = 6,32 \pm 1,22$ mMol/l bzw. $\bar{x} = 6,64 \pm 0,75$ mMol/l (**Tabelle 4**; Abbildung 5).

Das Lactat liegt vor dem Training bei $1,69 \pm 0,56$ mMol/l und steigt signifikant ($p < 0,02$) auf $\bar{x} = 4,32 \pm 2,14$ mMol/l an. Nach dem Rennen findet sich ein hochsignifikanter ($p < 0,005$) Anstieg auf $\bar{x} = 4,96 \pm 1,67$ mMol/l (Tabelle 4; Abbildung 5).

Die Triglyceride steigen während des Trainings von $\bar{x} = 0,80 \pm 0,25$ mMol/l auf $\bar{x} = 1,32 \pm 0,86$ mMol/l und während des Rennens auf $\bar{x} = 1,30 \pm 0,63$ mMol/l (Tabelle 4; Abbildung 6).

Die freien Fettsäuren zeigen einen signifikanten Anstieg während der Trainingsphase von $\bar{x} = 0,5 \pm 0,15$ mMol/l auf $\bar{x} = 1,03 \pm 0,41$ mMol/l ($p < 0,05$).

Nach dem Rennen wird lediglich ein Anstieg auf $\bar{x} = 0,83 \pm 0,30$ mMol/l ($p < 0,05$) festgestellt (Tabelle 4, Abbildung 6).

Das Glycerol zeigt beim Training und beim Rennen einen signifikanten Anstieg ($p < 0,001$) von $\bar{x} = 0,05 \pm 0,03$ mMol/l auf $\bar{x} = 0,14 \pm 0,08$ mMol/l bzw. $\bar{x} = 0,17 \pm 0,05$ mMol/l (Tabelle 4, Abbildung 6).

Das Cholesterin zeigt während des Trainings und Rennens keine wesentlichen signifikanten Veränderungen (Tabelle 4; Abbildung 6).

Für den Natriumspiegel war - bezogen auf den Ruhevwert nach Training und Rennen - kein unterschiedlicher Befund erhoben worden (Tabelle 4; Abbildung 7).

Das Kalium fällt während der Trainingsbelastung von $\bar{x} = 4,38 \pm 0,37$ mMol/l auf $\bar{x} = 3,73 \pm 0,51$ mMol/l. Nach dem Rennen findet sich ein Abfall auf $\bar{x} = 3,70 \pm 0,25$ mMol/l ($p < 0,01$) (Tabelle 4; Abbildung 7).

Bei den Gespannpiloten ist für die Glucose im Training nur ein unwesentlicher Anstieg zu verzeichnen. Nach dem Rennen konnten auch keine Differenzen zum Ruheausgangswert festgestellt werden (Tabelle 5; Abbildung 5).

Bei den Gespannpiloten war im Training der Glucosespiegel unwesentlich abgefallen. Während des Rennens war ein signifikanter Anstieg ($p < 0,02$) von $\bar{x} = 6,21 \pm 0,61$ mMol/l auf $\bar{x} = 7,11 \pm 1,28$ mMol/l zu verzeichnen (Tabelle 6; Abbildung 5).

Das Lactat war bei den Gespann-Piloten signifikant ($p < 0,001$) angestiegen von $\bar{x} = 1,88 \pm 0,47$ mMol/l auf $\bar{x} = 5,23 \pm 1,30$ mMol/l im Training und $\bar{x} = 5,21 \pm 2,08$ mMol/l im Rennen (Tabelle 5; Abbildung 5).

Bei den Gespann-Copiloten war ebenfalls ein signifikanter Anstieg ($p < 0,001$) von $\bar{x} = 1,77 \pm 0,83$ mMol/l auf $\bar{x} = 5,78 \pm 2,37$ mMol/l nach dem Training und $\bar{x} = 7,01 \pm 2,56$ mMol/l nach dem Rennen zu verzeichnen (Tabelle 6; Abbildung 5).

Die Triglyceridwerte der Gespann-Piloten änderten sich während der Trainings- und Rennbelastung signifikant ($p < 0,05$) von $\bar{x} = 0,65 \pm 0,29$ mMol/l auf $\bar{x} = 1,39 \pm 0,29$ mMol/l bzw. $\bar{x} = 1,60 \pm 0,6$ mMol/l (Tabelle 5; Abbildung 5). Bei den Copiloten waren für beide Belastungen keine wesentlichen Veränderungen feststellbar (Tabelle 6; Abbildung 6).

Die freien Fettsäuren zeigten bei den Gespann-Piloten während des Trainings nicht signifikante Anstiege; während der Rennläufe wurde eine Signifikanz ($p < 0,05$) festgestellt (Tabelle 5; Abbildung 6).

Bei den Copiloten findet sich im Training ein Anstieg von $\bar{x} = 0,33 \pm 0,01$ mMol/l auf $\bar{x} = 0,62 \pm 0,19$ mMol/l. Während der Rennbelastung ist dieser nicht wesentlich verändert (Tabelle 6; Abbildung 6).

Das Glycerol steigt bei den Gespann-Piloten von $\bar{x} = 0,09 \pm 0,04$ mMol/l auf $\bar{x} = 0,19 \pm 0,07$ mMol/l für die Trainingsbelastung und auf $\bar{x} = 0,23 \pm 0,11$ mMol/l für die Rennbelastung an (Tabelle 5; Abbildung 6).

Bei den Copiloten findet sich im Gegensatz ein signifikanter Anstieg ($p < 0,02$) von $\bar{x} = 0,04 \pm 0,01$ mMol/l auf $\bar{x} = 0,15 \pm 0,04$ mMol/l während des Trainings. Unter Rennbelastungen war eine höhere Signifikanz zu verzeichnen ($p < 0,05$). Der Wert stieg auf $\bar{x} = 0,15 \pm 0,06$ mMol/l (Tabelle 6; Abbildung 6).

Das Cholesterin veränderte sich bei den Gespann-Piloten um ca. 30 mg/dl (Tabelle 5; Abbildung 6).

Bei den Copiloten war keine wesentliche Veränderung für Rennen und Training zu verzeichnen (Tabelle 6; Abbildung 6).

Das Natrium zeigte bei den Gespann-Piloten im Training und Rennen geringgradige Verminderungen von ca. 3 mMol/l (Tabelle 5; Abbildung 7).

Bei den Copiloten waren geringere Veränderungen bei Training und Rennen zu verzeichnen (Tabelle 5, Abbildung 7).

Das Kalium zeigte bei den Gespann-Piloten einen Abfall von $\bar{x} = 4,00 \pm 0,12$ mMol/l auf $\bar{x} = 3,58 \pm 0,38$ mMol/l nach den Trainingsläufen und auf $\bar{x} = 3,57 \pm$ mMol/l nach den Rennläufen (Tabelle 5, Abbildung 7).

Bei den Gespann-Copiloten war in Training und Rennen eine Signifikanz zu verzeichnen ($p < 0,05$ bzw. $p < 0,02$). Die Werte sanken von $\bar{x} = 4,35 \pm 0,21$ mMol/l auf $\bar{x} = 3,74 \pm 0,29$ mMol/l im Training bzw. $\bar{x} = 3,57 \pm 0,33$ mMol/l im Rennen (Tabelle 6; Abbildung 7).

3.2.3

Bei den Rennwagenfahrern war für die Glucose in Training und Rennen eine signifikante Veränderung feststellbar ($p < 0,025$). Die Werte stiegen von $\bar{x} = 5,81 \pm 1,01$ mMol/l in Ruhe auf $\bar{x} = 6,82 \pm 1,03$ mMol/l unter Trainingsbelastung bzw. $\bar{x} = 6,64 \pm 0,83$ mMol/l unter Rennbelastung an (Tabelle 7; Abbildung 5).

Das Lactat stieg von $\bar{x} = 2,11 \pm 1,33$ mMol/l während des Trainings mit dem Signifikanzniveau ($p < 0,01$) auf $\bar{x} = 3,75 \pm 1,48$ mMol/l bzw. $\bar{x} = 3,48 \pm 1,10$ mMol/l im Rennen an (Tabelle 7; Abbildung 5).

Der Triglyceridspiegel war nur während des Rennens gemessen worden, wobei sich dort keine signifikante Veränderung ergab (Tabelle 7; Abbildung 6).

Die freien Fettsäuren zeigten einen signifikanten Anstieg während des Rennens von $\bar{x} = 0,51 \pm 0,14$ mMol/l auf $\bar{x} = 0,70 \pm 0,25$ mMol/l ($p < 0,05$). Trainingswerte wurden nicht gemessen (Tabelle 7; Abbildung 6).

Das Glycerol zeigte ebenfalls einen signifikanten Anstieg ($p < 0,01$) unter Rennbedingungen.

Bei der Bestimmung des Cholesterinwertes unter Rennbedingungen waren keine signifikanten Unterschiede feststellbar (Tabelle 7; Abbildung 6).

Der Natriumspiegel zeigte einen signifikanten Anstieg ($p < 0,001$) von $\bar{x} = 139,4 \pm 1,27$ mMol/l auf $\bar{x} = 141,8 \pm 0,92$ mMol/l.

Das Kalium war signifikant abgefallen ($p < 0,001$) von $\bar{x} = 5,10 \pm 0,33$ mMol/l auf $\bar{x} = 3,93 \pm 1,2$ mMol/l.

4. Diskussion

Die Auswirkung verschiedener Belastungsformen auf den menschlichen Organismus waren häufig Gegenstand von Untersuchungen, wobei vor allen Dingen körperliche Belastungen und im Zusammenhang stehende Veränderungen von Herz- und Kreislauf - sowie Stoffwechsel - und hormonalen Parametern geprüft wurden [Bassan, 1966 (6); Bergström, 1966 (9); Bolt, 1956 (15); Christensen, 1931 (20); Hahanenkopf, 1960 (45); Haralambie, 1961 (46); Israel, 1974 (59); Keul, 1973 (70); Keul, 1969 (67); Keul, 1968 (75); Keul, 1966 (72); Keul, 1967 (64); Keul, 1968 (73); Kindermann, 1977 (76); Minarovjeh, 1967 (94); Nöcker, 1954 (99); Pampe, 1931 (105); Roskamm, 1965 (112); Sautter, 1977 (113); Schmidt, 1970 (115); Sivkov, 1966 (124); Stegemann, 1964 (129)]. Da die körperlichen Belastungen oft sehr stark von psychischen Einflüssen überlagert sind, wurden auch die Auswirkungen von Belastungsreizen, die psychisch bzw. emotional bedingt sind, in die Untersuchung mit einbezogen [Blatter, 1969 (10); Clasing, 1971 (22); Euler, 1974 (35); Hoffmann, 1961 (50); Huber, 1975 (53); Hüllemann, 1973 (54); Imhof, 1969 (57); Keul, 1973 (69); Keul 1979 (63); Keul, 1975 (71); Keul, 1976 (74); Keul, 1979 (66); Kopp, 1978 (83); Lönne, 1972 (88); Lönne, 1968 (89); Neubert, 1976 (98); Sautter, 1977 (113)].

Extreme Veränderungen cardiozirkulatorischer bzw. metabolischer und hormonaler Art wurden bei Autorennfahrern beobachtet. Hier übertrafen die Ergebnisse diejenigen anderer Sportarten, vornehmlich emotionaler, konzentrativer und zum Teil mit Angst verbundener Belastungen - wie Bobfahren, Fallschirmspringen, Segelfliegen und Skispringen [Blatter, 1969 (10); Huber, 1975 (53); Hüllemann, 1973 (54); Keul, 1978 (69); Keul, 1979 (63); Keul 1976 (74); Keul, 1979 (66); Kopp, 1978 (83); Lönne, 1972 (88); Lönne, 1968 (89); Neubert, 1976 (98)].

Nur einige Untersuchungen geben Auskunft über den Einfluß des Motorsports auf biologische Funktionsgrößen beim Menschen, obwohl der Auto- und Motorradrennsport aber auch das Motorradfahren überhaupt, in seinen vielfältigen Formen zusehends

mehr Anhänger findet [Arréhn, 1978 (4); Christophe, 1967 (21); Feldkamp, 1974 (36); Hoffmann, 1961 (50); Hüllemann, 1973 (54); Keul, 1975 (65); Keul, 1978 (69); Keul, 1979 (63); Keul, 1979 (66); Lönne, 1972 (88); Lönne, 1968 (89)].

Das Motorradfahren ist besonders geeignet, unterschiedliche Belastungen, die weniger eine muskuläre sondern vielmehr eine koordinative, reaktive, emotionale Beanspruchung darstellen.

Um die Auswirkungen des Motorradfahrens auf den menschlichen Organismus zu prüfen, wurden Untersuchungen an Motorradtestfahrern bei Stadt- und Landfahrten, Autobahnfahrten und Überlandfahrten durchgeführt. Dazu wurden Motorradrennfahrer - Solofahrer und Gespannfahrer - zum Vergleich noch Autorennfahrer in Trainings- und Wettläufen bei einem Bergrennen untersucht.

Die erhöhten Herzfrequenzen, sowohl der Testfahrer als auch der Motorrad- und Autorennfahrer vor dem Start erklären sich dadurch, daß die Versuchspersonen sich in einer bestimmten Erwartungshaltung, die man als Bereitstellungsreaktion im Sinne eines Adaptierens an den Stressor interpretieren kann, befinden. Die Erwartungstachykardie zeigt bei den getesteten Personen deutlich, wie ohne körperliche Arbeit eine kardiozirkulatorische Beeinflussung eintreten kann. Bei der Stadt-Land-Fahrt und Überlandfahrt liegen die Frequenzen durchschnittlich um ca. 20 Pulsschläge/Minute höher als die Normruhefrequenzen. Die Autobahnfahrt erbringt Herzfrequenzmittelwerte, die durchschnittlich um 30-40/Min über der Norm liegen [Keul, 1979 (63)]. Bei der weiblichen Testperson liegen in allen Belastungsphasen die Herzfrequenzwerte noch um 10-20 Schläge/Min über denen der männlichen Testpersonen. Im Vergleich zu Langzeitautofahrten auf der Autobahn waren für männliche und weibliche Testpersonen eine um ca. 30 Pulsschläge höhere Herzfrequenz gemessen worden [Keul, 1979 (63)].

Die deutliche Erhöhung der cardiocirculatorischen Daten während der Motorradtestfahrt kann nicht allein durch die zweifelsohne höhere emotionale Belastung bedingt sein, sondern das Mehr an körperlicher Arbeit muß mitberücksichtigt werden. Dennoch stehen sicherlich der Risikogehalt der betriebenen Sportart und das Risikoerlebnis entscheidend im Vordergrund [Hoffmann, 1961 (50)];

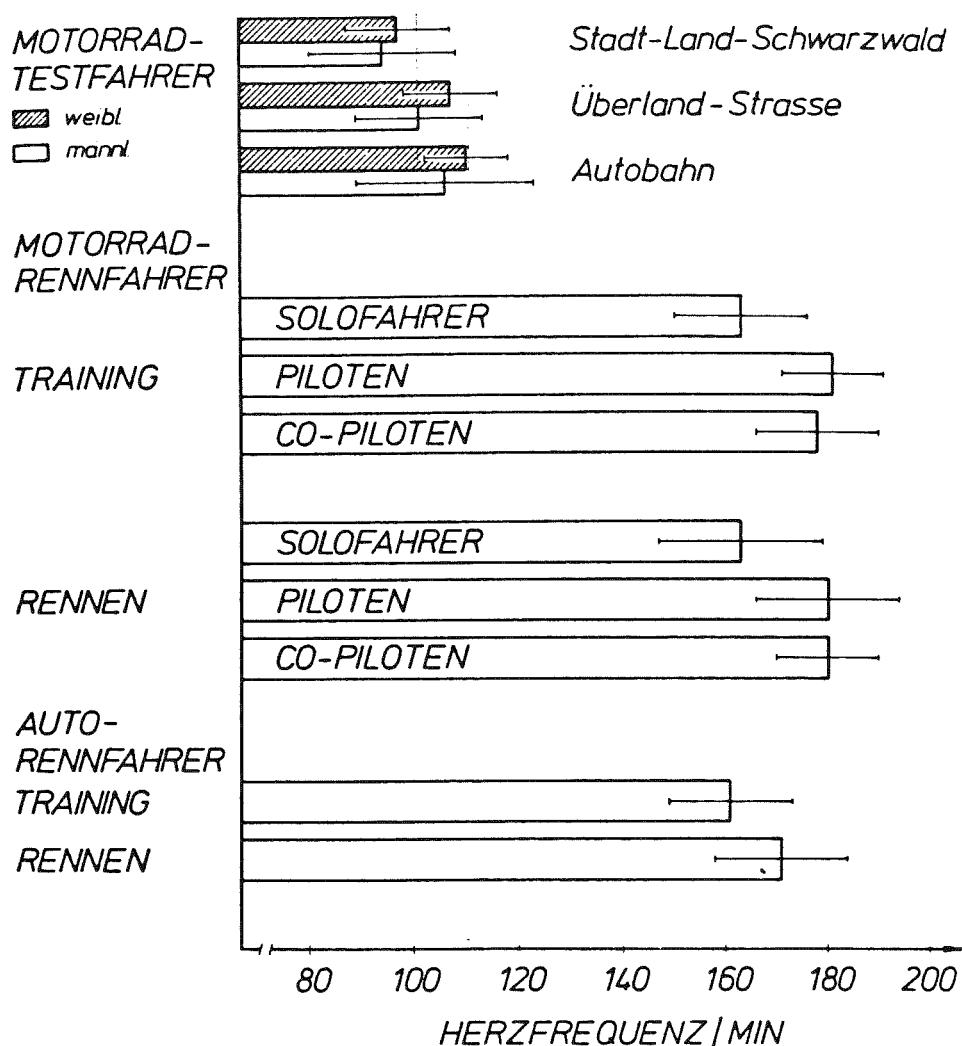


Abbildung 8: Vergleichende Darstellung der Herzfrequenz-Mittelwerte während verschiedener Belastungsphasen

Lönne, 1968 (89)]. Dies wird besonders deutlich bei den Motorradrennfahrern. Für die Trainings- und Wettkampfbelastung waren in der Häufigkeitsverteilung 14% über 185/Min gelegen (**Abbildung 9**). Während bei den Motorrad-Testfahrern zu Beginn der Belastung ein kontinuierlicher Herzfrequenzanstieg zu verzeichnen war, fand sich bei den Trainings- und Rennläufen in der Startphase ein sprunghafter Anstieg (**Abbildungen 10 und 11**). Bei den Solo-Fahrern zeigte sich zwischen Trainings- und Rennbelastung ein Unterschied in der Pulsfrequenzaufzeichnung. Die Trainingsläufe wurden nach dem Start bis ins Ziel mit einer Herzfrequenz von ca. 160/Min durchfahren. Im Rennen war

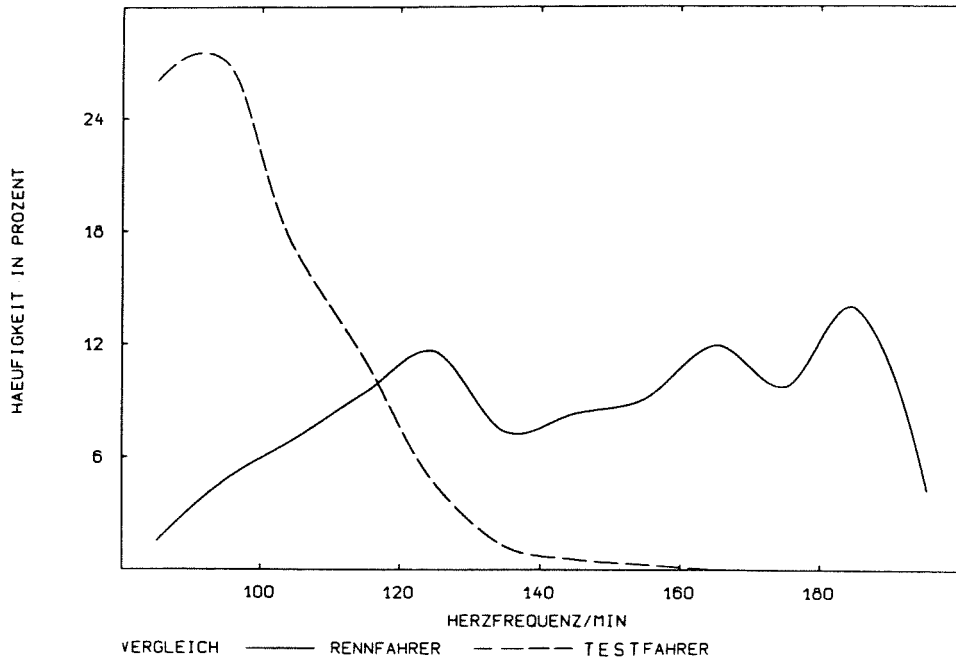
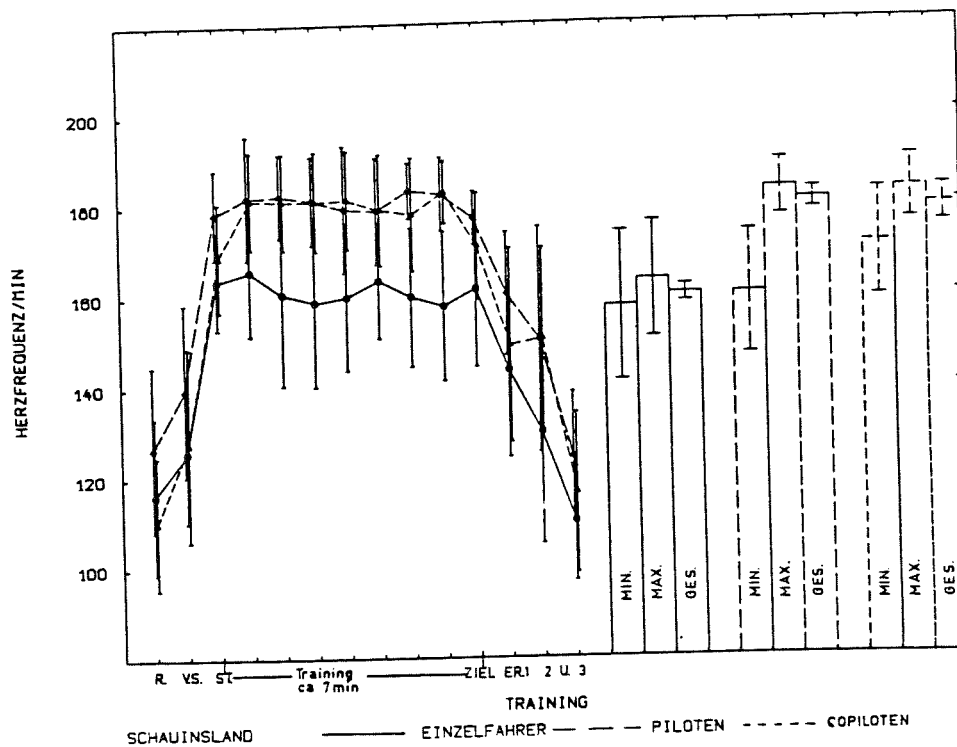


Abbildung 9: Häufigkeitsverteilungskurven der Herzfrequenzmittelwerte während der Belastungsphasen für Motorrad-Einzelfahrer beim Bergrennen (in allen Trainings- und Rennläufen) und für Motorrad-Testfahrer

gegen Ende der Belastung ein Frequenzanstieg auf ca. 170/Min festgestellt worden. Dieser Unterschied zwischen Training und Rennen muß dahingehend gedeutet werden, daß der Fahrer während des Trainings mit der Optimierung seiner Fahrtechnik beschäftigt war. Schwankungen der Herzfrequenz während der Rennbelastung, sowie ein deutlicher Anstieg kurz vor dem Ziel, deuten nun darauf hin, daß unter diesen Bedingungen mit einer größeren Risikobereitschaft an der Grenze des Möglichen gefahren wurde.

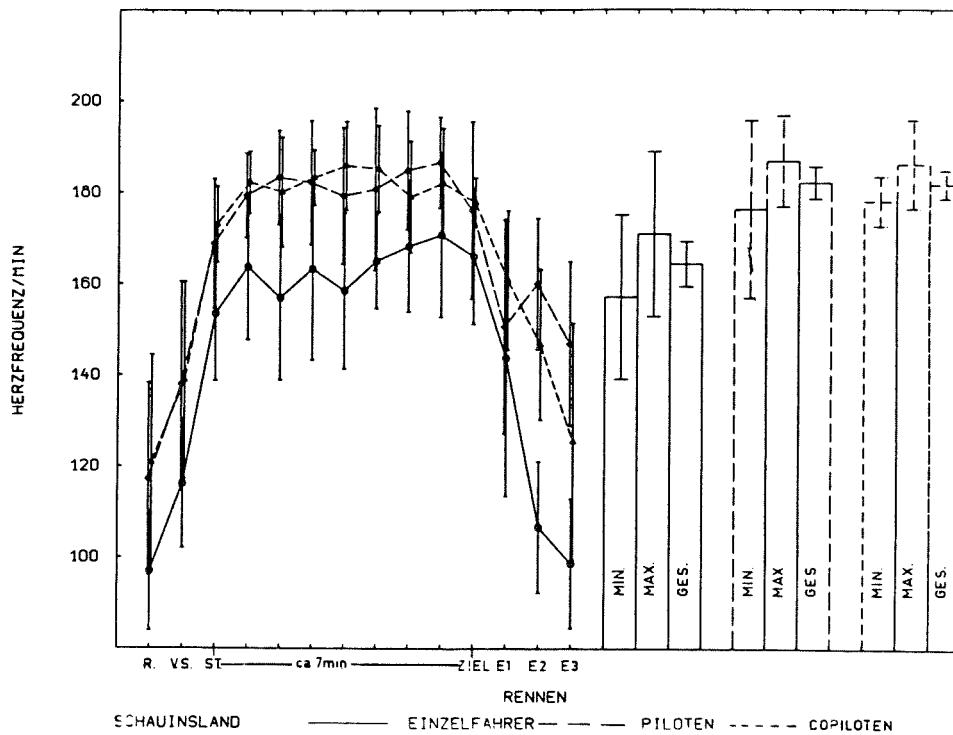
Somit muß der Herzfrequenzunterschied zwischen Training und Rennen auf eine rein emotionale Belastung zurückgeführt werden. In ähnlicher Weise ist das Verhalten der Herzfrequenzen bei dem Motorradtestfahrer während höherer Geschwindigkeiten auf der Autobahn zu erklären.



R (Ruhe)
 V.S. (Vorstartphase)
 S.T. (Startphase)
 E1-3 (Erholungsphasen)

Abbildung 10:

Herzfrequenzprofile und durchschnittliche Herzfrequenzen vor, während und nach den Trainingsfahrten bei den Motorrad-Einzel Fahrern, Seitenwagen-Piloten und Seitenwagen-Copiloten beim Bergrennen



R (Ruhe)
 V.S. (Vorstartphase)
 S.T. (Startphase)
 E1-3 (Erholungsphasen)

Abbildung 11: Herzfrequenzprofile und durchschnittliche Herzfrequenzen vor, während und nach den Rennläufen bei den Motorrad-Einzelfahrern, Seitenwagen-Piloten und Seitenwagen-Copiloten beim Bergrennen

Bei den Gespann-Piloten und -Copiloten steigt unmittelbar nach dem Start die Herzfrequenz auf die Maximalhöhe an und bleibt während der gesamten Fahrt - abgesehen von geringen Schwankungen - auf der gleichen Höhe. In der getrennten Betrachtung der Frequenzprofile bei Pilot und Copilot zeigen sich deutliche Unterschiede. Diese Unterschiede lassen sich auch aufzeigen zwischen Gespann-Pilot und Solofahrer. Dennoch muß auch hier eine Summation von körperlicher Arbeit und psychischer Belastung das Herzfrequenzverhalten bestimmt haben. Dies gilt vor allen Dingen für die Piloten, da eine unbequemere Sitzposition einerseits und der erhebliche isometrische Kraftaufwand bei den Kurvenmanövern andererseits die Unterschiede erklären lassen. Gleichzeitig ist für beide Situationen auch die höhere Geschwindigkeit der Gespannmaschinen für die Erhöhung der Herzfrequenz bei den Gespannpiloten verantwortlich.

Bei den Gespann-Copiloten ist das Verhältnis zwischen körperlicher Arbeit und emotionaler Belastung mehr zur letzteren hin verschoben. Aus diesem Grunde erklärt sich auch, daß gerade in den sehr kurvenreichen Abschnitten eine deutlich höhere Frequenz erreicht wurde als in der relativ geraden Streckenführung unmittelbar vor dem Ziel.

Bei den Auto-Rennfahrern auf der gleichen Bergstrecke konnten unter Trainingsbedingungen ähnliche Pulsfrequenzveränderungen festgestellt werden wie bei den Solomotorrad-Rennfahrern. Unter Belastung des Rennverlaufs waren die Pulsfrequenzen um ca. 20 Schläge/Min angestiegen. Dies entspricht mehr dem Pulsfrequenzverhalten bei den Piloten der Gespanne. Das Pulsfrequenzmaximum war im Gegensatz zu den Motorradfahrern jedoch im mittleren und unteren Streckenabschnitt zu finden, wo ein häufiger Wechsel zwischen Hochgeschwindigkeitsteilen und schweren Kurvenpassagen zu durchfahren war. Gerade im Rennen ist, bedingt durch die höhere Geschwindigkeit, Angst, Anspannung und körperliche Arbeit durch Schalt- und Steuervorgänge erhöht. Möglicherweise ist aber das Risikoverhalten Hauptverursacher des Herzfrequenzunterschieds zwischen Trainings- und Rennbelastung. Im Gegensatz zur Rundstreckenrennbelastung, die meist über 1-2 Stunden dauert, können hier äußere Faktoren, wie unmittelbarer Kontakt zum Gegner, Hitzestau unter der Schutzkleidung und Atembehinderungen durch Abgase, nicht die cardio-

circulatorischen Veränderungen erklären.

Die Erholungsphase bei Motorrad- und Autorennfahrern zeigt einen deutlich geringeren Abfall der Herzfrequenz als bei ähnlichen anderen Sportarten. Abzüglich der emotional bedingten Herzfrequenzsteigerung bei der Blutentnahme und der durch körperliche Belastung mit Bereitstellung der Fahrzeuge verbundenen Erhöhungen der Herzfrequenzen, muß hier eine schlechte Anpassung des cardio-circulatorischen Systems an die Belastung konstatiert werden. Die entsprechende Trainings-Anamnese erklärt diesen Zusammenhang.

Der erhebliche Herzfrequenzunterschied zwischen den einzelnen Fahrern, sowohl beim Test als auch unter den Trainings- und Rennbelastungen, war sicherlich auf das fahrerische Können der einzelnen zurückzuführen. Hierunter lassen sich auch die Rhythmusstörungen erklären, die vor allen Dingen als supraventrikuläre und ventrikuläre Extrasystolen ohne pathologische Bedeutung auf die schlechter trainierten Fahrer und unerfahrenen Piloten zutreffen. Diejenigen Test- bzw. Rennfahrer, die eine gute allgemeine Kondition hatten - meist erworben durch Ausdauertraining, wie Laufen, Radfahren und Skilanglauf - zeigten auch die geringsten reaktiven Veränderungen als Ausdruck einer stabilen angepaßten Kreislaufregulation.

Starke psychische und physische Belastungen führten zu einem Anstieg von Adrenalin und Noradrenalin. Die vom Organismus gegebenen Antwort beruht nicht allein auf der Herz-Kreislauf-Leistungsveränderung, sondern auch auf Stoffwechselverschiebungen [Sautter, 1978 (114)]. So kommt es insbesondere unter den extremen Bedingungen des Motorrennsports zu einer gesteigerten Lipolyse und Glycogenolyse [Gollnick, 1973 (39); Havel, 1965 (47); Keul, 1979 (63)].

Je nach Art, Intensität und Dauer der körperlichen Belastung verbraucht der Muskel verschiedene Energieträger: Zunächst ATP und Kreatinphosphat, die dann durch im Muskel gespeichertes Glykogen entweder aerob oder anaerob regeneriert werden, im letzteren Fall unter Vermehrung des Lactats, das dann aerob abgebaut und wieder zu Glykogen synthetisiert wird. Je länger eine Körperarbeit währt, desto mehr wird der Energiebedarf durch oxydative Reaktionen gedeckt, während der anaerobe

Anteil zurücktritt. Da außerdem die Vorräte an Glykogen begrenzt, diejenigen an Fetten hingegen auch bei stundenlanger Dauerbelastung gar nicht auszuschöpfen sind, werden vermehrt Fettsäuren abgebaut.

So lassen sich bei der Betrachtung der Lactatveränderungen der Motorradtestfahrer, sowohl während der Stadt-Land-Fahrt als auch während der Überlandfahrt keine wesentlichen Veränderungen feststellen. Dies kann man einmal aus der doch geringeren Belastung, gemessen an den Herzfrequenzen, verglichen mit anderen Motorsportbelastungen sehen; zum anderen stehen vor allem - wie bei Dauerbelastungen - oxydative Vorgänge zur Energieversorgung bereit. Entweder wird das Endprodukt der Glucose (das Pyruvat) in höherem Maße oxydiert oder weniger Glucose bzw. Glykogen abgebaut. Für letzteres spricht, daß sich der Glucosespiegel der männlichen Testfahrer geringfügig erhöht und daß nach lang dauernden Belastungen der respiratorische Quotient zunimmt und somit vermehrt Fette verbrannt werden müssen [Ahlborg, 1967 (2); Bühring, 1966 (18); Schmidt, 1970 (115)].

Darüber hinaus vermag eine höhere Konzentration von freien Fettsäuren die Aufnahme und Verwertung von Kohlenhydratmetaboliten im Muskel zu hemmen [Keul, 1969 (67)]. Da im Verlauf der einzelnen Belastungsphasen bei der Testfahrt Triglyceride, Glycerol und die freien Fettsäuren signifikant ansteigen, könnte dieser Effekt für einen verminderten Abbau von Kohlenhydraten verantwortlich sein. Mit dem Anstieg der freien Fettsäuren im Blut wird deutlich, daß die oxydative Energiebereitstellung nicht über die Glykolyse, sondern im Hauptteil über den Fettstoffwechsel vollzogen wird. Bei den Rennsportbelastungen, die hier in Betracht gezogen werden, sind ausschließlich Kurzbelastungen im Vordergrund gestanden. Der signifikante Anstieg der Lactatspiegel während der Trainings- und Rennläufe kann einerseits Ausdruck der muskulären Belastung in der Vorstartphase sein, wobei von den Fahrern und Beifahrern die schweren Maschinen an den Start geschoben werden müssen. Dies ist vergleichbar mit den Veränderungen, die sich beim Anschieben eines Bobschlittens ergeben haben. Gleichzeitig sind jedoch - gerade bei den Gespannfahrern - die in schneller Folge auftretenden Gewichtsverlagerungen und Wendemanöver der schweren Gespanne in den

sehr engen Kurven als Hinweis für eine kurzfristige muskuläre Beanspruchung und damit verbundenen Lactaterhöhung zu werten. Die durch Risikobereitschaft vermehrte, psychische Anspannung führt zur Katecholaminfreisetzung, die ebenfalls für die Lactaterhöhungen verantwortlich sein kann [Euler, 1974 (35)]. Dies ist umso mehr anzunehmen, als bei stärkeren kurzzeitigen Belastungen höhere Lactatwerte erreicht werden, sodaß die Katecholaminausschüttung in erster Linie Grund dieser Lactaterhöhung sein muß [Keul, 1969 (67); Kindermann, 1977 (76)]. Dafür spricht auch, daß die höchsten Lactatwerte - ebenso wie die höchsten Herzfrequenzen - bei den Gespann-Copiloten gefunden werden, bei denen die Streßbelastung infolge des Risikobewußtseins deutlich im Vordergrund steht. Die Autorennfahrer zeigen in der gleichen Belastungsphase die niedrigsten Lactatspiegel und auch die niedrigsten Herzfrequenzwerte.

Das erhebliche Ausmaß der emotionalen und konzentrativen Anspannung wird auch am Anstieg der Glucose, besonders bei den Copiloten während der Rennläufe, sichtbar. In der gleichen Weise ist die Zunahme der freien Fettsäuren und des Glycerols zu erklären [Keul, 1973 (70); Keul, 1969 (67); Keul, 1975 (71)]. Es muß somit während der Belastung eine vermehrte lipolytische Spaltung stattgefunden haben. Die Spaltung der Triglyceride zu Glycerol und freien Fettsäuren im Fettgewebe und in der Blutbahn wird über Triglyceridlipasen gesteuert, wobei verschiedene Hormone wie Adrenalin, Noradrenalin, STH, ACTH, TSH, Glucagon und Insulin mitwirken. Eine Proteinkinase, die selbst durch 3',5'-zyklisches AMP oder durch Calciumionen aktiviert wird, bewirkt durch eine Phosphorylierung die Aktivierung der Triglyceridlipasen [Gollnick, 1973 (39); Havel, 1965 (47); Quabbe, 1972 (108)]. Da sich im Verlauf der Belastung die Glycerolspiegel erhöhen und die Zunahmen des Glycerolspiegels als Maß für die Triglyceridspaltung gilt [Havel, 1965 (47)], müssen in hohem Maße Triglyceride gespalten worden sein.

Die erhöhten Cholesterinwerte können auch als Folge der häufigen, sich wiederholenden Streßsituationen gewertet werden, da in andauernden psychischen Belastungssituationen eine Cholesterinspiegelerhöhung gefunden wurde [Glatzel, 1973

(38)]. Die Veränderungen des Hormonhaushaltes und die damit verbundenen Fettstoffwechsellanpassungen können möglicherweise, bezogen auf Tierexperimente, auch auslösender Faktor für Rhythmusstörungen sein. Dies gilt umsomehr, als gerade bei den schwächeren und nicht so erfahrenen Gespann-Rennfahrern eine Vermehrung der Störungen festgestellt wurde.

Die Veränderungen im Mineralhaushalt sind, wie bei längeren Belastungen schon beschrieben, in der vermehrten Schweißabsonderung zu sehen. Bei den Motorradtestfahrern lassen sich Vergleiche zu Fußballspielern anstellen. Bei feucht-warmem Wetter können bei Dauerleistungssportlern, wie Marathonläufer, Straßenradrennfahrer, aber auch Langzeitmotorradfahrer, mit dem Schweiß Salzverluste auftreten, wobei das Salzdefizit ca. 0,5 g/kg Körpergewicht sein kann. Dennoch ist der NaCl-Gehalt im Blut nicht vermindert, sondern häufig leicht erhöht, da der Wasserverlust stärker als der Salzverlust ist. Dies kommt deutlich bei den untersuchten Autorennfahrern zum Ausdruck. Bei der Körperarbeit findet sich ein deutlicher Anstieg des Serum-Kaliums. Der Anstieg des Kaliumspiegels bei Körperarbeit entstammt vornehmlich der Muskulatur. Die Abgabe von Kalium durch die arbeitende Muskulatur ist so ausgeprägt, daß es zu einem Anstieg von Kalium im arteriellen Blut kommt. Innerhalb weniger Minuten nach Belastung fällt jedoch der Kaliumspiegel wieder ab, um sofort nach einer erneuten Belastung wieder anzusteigen. Beim Abbau des Glykogens für die energetischen Prozesse des Muskels wird Kalium frei. Bei Körperarbeit kommt es deshalb zu einer deutlichen Verminderung des intrazellulären Kaliums. Da bei den Motorradfahrern nur begrenzte Muskelgruppen beansprucht werden - vor allem die Unterarm- und Unterschenkelmuskulatur - kommt es dort zu einem intrazellulären Defizit, das sich nach Aussage der einzelnen Fahrer in einer Muskelermüdung oder Verkrampfung bemerkbar macht. Die signifikanten Veränderungen des Natrium- und Kaliumspiegels, besonders bei den Autorennfahrern und Gespann-Copiloten müssen auf die Schweißverluste zurückgeführt werden. Der Kaliumgehalt im Blut wird vermindert, da eine größere Abgabe durch Schweißabsonderung als Freisetzung durch den Glykogenabbau erfolgt.

Mit dieser Untersuchung konnte gezeigt werden, daß nicht nur Autorennfahren und Langzeitautofahren Veränderungen in der Stoffwechsellage und des Herz-Kreislaufsystems beim Menschen verursacht, sondern daß gerade Motorradrennsport und auch Motorradlangzeitfahren durch höhere muskuläre und vor allen Dingen emotionale Belastungen deutlich höhere Allgemeinveränderungen verursachen.

5. Zusammenfassung

Es wurden 8 Personen, darunter eine Frau, bei Langzeitmotorradfahrten bis zu 8 Stunden, sowie 19 Motorrad-Rennfahrer und 11 Auto-Rennfahrer bei Trainings- und Rennbelastungen auf die Veränderungen metabolischer und cardiozirkulatorischer Parameter untersucht.

1. Bei Langzeit-Motorradfahrern zeigten die Herzfrequenzen einen Anstieg um ca. 60 Pulsschläge/Min. Durchschnittlich liegen diese Daten um 25 Schläge/Min höher, als bei vergleichbaren Autofahrtbelastungen. Dies trifft vor allen Dingen für die Belastungen während der Autobahnfahrt zu.
2. Bei Motorrad-Rennfahrern, insbesondere bei Gespann-Copiloten war die Herzfrequenz auf ein Maximum von ca. 200/Min angestiegen. Dies ist nicht allein Ausdruck der körperlichen, sondern vermehrt Ausdruck der emotionalen Belastung. Gerade bei den Motorrad-Rennfahrern ist die Strebbelastung und die damit erfolgte Katecholaminausschüttung höher als bei den übrigen untersuchten Motorsportlern. Sie liegt etwa 30 bis 40% über der bei vergleichbaren Autofahrten.
3. Die untersuchten Autorennfahrer zeigten im Wettkampf ähnliche cardiozirkulatorische Veränderungen wie bei länger währenden Autosportbelastungen im Rundstreckenrennen.
4. Die Stoffwechselfparameter wie Glucose, Lactat, Cholesterin, Kalium und Natrium waren bei der Langzeitmotorradfahrt nicht wesentlich verändert. Signifikante Anstiege finden sich für die Fettstoffwechselfparameter, freien Fettsäuren, Glycerol, Triglyceride als Ausdruck einer gesteigerten Lipolyse, infolge der erhöhten körperlichen Dauerbelastung und im speziellen als Ausdruck der vermehrten Katecholaminausschüttung während der Autobahnbelastung.

5. Aufgrund der emotionalen Anspannung und Risikobereitschaft sind bei Motorrad- und Autorennfahrern in gleicher Weise signifikante Veränderungen des Lactats und der Fettstoffwechselparameter aufgetreten.
6. Im Motorrad- und Autorennsport waren die Natriumveränderungen unwesentlich; deutliche Veränderungen fanden sich im Kaliumhaushalt.
7. Die aufgetretenen EKG-Veränderungen wie Rhythmusstörungen, vor allen Dingen bei den ungeübteren Fahrern sind möglicherweise ebenfalls Ausdruck der erhöhten hormonalen und lipolytischen Veränderungen.

**Verletzungen und deren Langzeitfolgen bei
verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern**

**Dietmar Otte
Ernst-Günter Suren**

Gliederung

	Seite
Verletzungen und deren Langzeitfolgen bei verunfallten Zweiradbenutzern	177
Basismaterial	179
Verletzungssituation und Häufigkeiten von Komplikationen bei verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern	180
Volkswirtschaftliche Aspekte	187
Gegenüberstellung des Verletzungsrisikos motorisierter Zweiradbenutzer zu anderen Verkehrsteilnehmern	190
Diskussion	193
Schutzmöglichkeiten	195

Verletzungen und deren Langzeitfolgen bei verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern

Im Jahr 1981 verunglückten in der Bundesrepublik Deutschland 101.616 Benutzer motorisierter Zweiräder. Nach den amtlichen Zahlen des Statistischen Bundesamtes Wiesbaden [Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 1973-1983 (128)] wurden davon

66% leicht verletzt
32% schwer verletzt
2% getötet.

Das dabei zugrundeliegende Bewertungsschema berücksichtigt lediglich die Art der klinischen Behandlung und zeigt daher kein reales Bild der tatsächlichen Verletzungsschwere verunfallter motorisierter Zweiradbenutzer.

Es bleibt festzustellen, daß Verletzungsfolgen derzeit unter folgenden Aspekten gewertet werden können:

1. In der amtlichen Statistik wird jeder ambulant behandelte Patient als "leicht", jeder stationär behandelte als "schwer" und der innerhalb von 30 Tagen verstorbene Patient als "tot" geführt.
2. Nach Forschungsgesichtspunkten erfolgt gebräuchlicherweise eine Klassifikation nach der Abbreviated Injury Scale [States, 1976 (1)]. Dabei bewerten sechs Verletzungsschweregrade die Schwere der erlittenen Verletzung. Auf andere Klassifikationen der Verletzungsschwere sei an dieser Stelle der Vollständigkeit halber nur hingewiesen (u.a. NACA, ISS).
3. Subjektive Aspekte, wie u.a. Schmerzen, Bewegungseinschränkungen, Narbenbildungen, Berufsunfähigkeit, bilden eine weitere Definition der Verletzungsschwere.

Für den Patienten selbst sowie für die Volkswirtschaft spielt bei der Bewertung des Schweregrades einer Verletzung auch der Umfang und das Ausmaß der Verletzungsfolgen eine wesentliche Rolle. So stellt z.B. eine erstgradig offene Fraktur, die binnen 2-3 Monaten folgenlos zur Ausheilung ge-

bracht und damit der Patient vollständig rehabilitiert wurde, subjektiv eine geringere Verletzung dar, als z.B. eine Weichteilverletzung, die infolge einer Infektbildung eine lange Therapiedauer bedingt. Außerdem kann strukturell bedingt ein Patient mit einer lebensgefährlichen Verletzung im Zentralkrankenhaus unter Einsatz massiver therapeutischer und personeller Mittel gerettet werden, dagegen kann dieser in einem anderen Krankenhaus aufgrund geringerer Hilfsmöglichkeiten möglicherweise nicht überleben. Auch die regional und je nach Unfallart differierenden Möglichkeiten von Rettungsmaßnahmen bedingen Unterschiede in der Verletzungsschwere bzw. den Unfallfolgen.

Bei der Vielzahl möglicher Verletzungen gibt es einerseits leicht zu behandelnde und folgenlos auszuheilende und andererseits komplexe zu Komplikationen neigende Verletzungen, die z.B. infolge von Sekundärinfektionen, Nerven- und Gefäßläsionen usw. für den Patienten häufige Operationen, lange Liegezeiten, erhebliche Spätschäden sowie berufliche und soziale Folgen bedeuten.

Daraus wird deutlich, daß es äußerst schwierig sein kann, die Verletzungsschwere exakt und reproduzierbar zu definieren. Die Beurteilung durch einen unfallmedizinisch erfahrenen Arzt erscheint daher unabdingbar. Medizinisch und auch volkswirtschaftlich gesehen gilt als "schwer verletzt" derjenige Patient, der durch ein Trauma in Lebensgefahr gebracht wurde - entweder durch isolierte oder auch kombinierte Verletzungen [Dittel, 1981 (27)]. Die chirurgische Behandlung eines polytraumatisierten Patienten erfordert gegenüber der Einzelverletzung quantitativ und qualitativ höhere fachliche und technische Anforderungen und verlangt eine anspruchsvollere therapeutische Taktik. Der Eintritt des Todes stellt ebenso wie eine Verletzungskomplikation ein wichtiges Kriterium für Unfallfolgen dar, kann jedoch traumatologisch nicht zur Bewertung eines Schweregrades der Verletzungen herangezogen werden, da viele Einflußfaktoren zu berücksichtigen sind, u.a. Alter, Konstitution des Patienten, Art der Primärbehandlung bzw. der Erste-Hilfe-Leistung, einschließlich lebenserhaltender Sofortmaßnahmen.

Vorliegende Studie hat das Ziel, neben den aufgetretenen medizinischen Komplikationen die damit verbundenen Langzeitfolgen verunfallter motori-

sierter Zweiradbenutzer und damit auch die subjektiv für den Zweiradbenutzer erlittene Verletzungsschwere aufzuzeigen. Eine Verletzungsskalierung, die Langzeitfolgen bzw. Dauerfolgen beinhaltet, fehlt derzeit für eine wissenschaftliche Auswertung und Angaben zu dem Umfang der bei Unfällen erlittenen Langzeitfolgen sind auch in der Literatur nur unzureichend anzutreffen.

Basismaterial

Anlaß vorliegender Studie bilden während der Jahre 1973-1981 analysierte 224 Unfälle motorisierter Zweiräder mit 272 Benutzern, die im Rahmen eines Forschungsprojektes "Erhebungen am Unfallort" der Bundesanstalt für Straßenwesen im Großraum Hannover erfaßt, rekonstruiert und hinsichtlich der Verletzungsmechanismen analysiert wurde [Otte, 1981 (100)]. Durch das an der Unfallchirurgischen Klinik der Medizinischen Hochschule Hannover in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Berlin durchgeführte Projekt werden Daten von Verkehrsunfällen medizinisch und technisch direkt am Unfallort bzw. im Krankenhaus erhoben. Für die Bewertung von Langzeitfolgen wurden zusätzliche klinische Daten von 123 in den Jahren 1978 und 1979 stationär behandelten, motorisierten Zweiradbenutzern im Rahmen einer Klinikstudie ausgewertet, die mit einem umfangreichen Fragebogen über den Unfallzusammenhang und die aufgetretenen Folgekosten befragt wurden.

Da die Verletzungsschwereskalierung nach AIS (Abbreviated Injury Scale) als qualitative Verletzungsschwereklassifikation angesehen werden kann und sie eine Standardisierung der Verletzungsschwere möglich macht, soll sie Bestandteil der folgenden Vergleiche sein. Dabei wird der Verletzungsschweregrad einer Person als OAIS (Overall Abbreviated Injury Scale) gebildet und ist als traumatologische Bewertung aller Einzelverletzungen des Patienten anzusehen.

Verletzungssituation und Häufigkeiten von Komplikationen bei verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern

Während die Bundesstatistik der letzten Jahre keine erheblichen Unterschiede zwischen den einzelnen Zweiradarten hinsichtlich der erlittenen Verletzungsschwere ausweist,

	leicht verletzt	schwer verletzt	getötet
Mofabenutzer	67%	32%	1%
Moped-/Mokick- benutzer	68%	31%	1%
Motorrad- benutzer	65%	33%	2%

zeigte sich im Rahmen der von uns in Erhebungen vor Ort erfaßten und mittels AIS bewerteten Verletzten, daß Motorradbenutzer mehr leichte Verletzungen als Moped-/Mokick- oder Mofabenutzer erlitten. Dabei wurden die Verletzungsschweregrade OAIS 1 und OAIS 2 als "leicht verletzt", OAIS 3 bis 5 als "schwer verletzt" zusammengefaßt und OAIS 6 als "getötet" gewertet.

	leicht verletzt	schwer verletzt	getötet
Mofabenutzer	44%	48%	8%
Moped-/Mokick- benutzer	57%	39%	4%
Motorrad- benutzer	61%	27%	12%

Bei den tödlich verunfallten Personen überwiegen hingegen in Übereinstimmung mit der Bundesstatistik die Motorradbenutzer.

Insgesamt waren 73% der Verletzungen Weichteilläsionen, 20% Frakturen und 7% Organverletzungen. Weichteilläsionen stellen an allen Körperregionen die Hauptverletzungsart dar (Abbildung 1).

		Verletzungsart von 272 verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern		
		Weichteil- verletzung	Fraktur	Innere/Organ- defekt
Körperregion	Kopf 100% (n=548)	55 %	16 %	29 %
	Thorax 100% (n=51)	55 %	20 %	25 %
	Abdomen/ Becken 100% (n=73)	49 %	10 %	41 %
	obere Extremitäten 100% (n=231)	80 %	20 %	—
	untere Extremitäten 100% (n=401)	78 %	22 %	—

Abbildung 1: Bei 272 verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern festgestellte 1304 Verletzungsarten an den einzelnen Körperregionen (je Körperregion 100%)

Nahezu die Hälfte aller Verletzungen konnten einerseits am Kopf und andererseits an den Extremitäten festgestellt werden, 30% an den unteren Extremitäten.

Das klinisch untersuchte Patientengut (n=123) beinhaltete keine Verletzten der Schweregrade O AIS 1

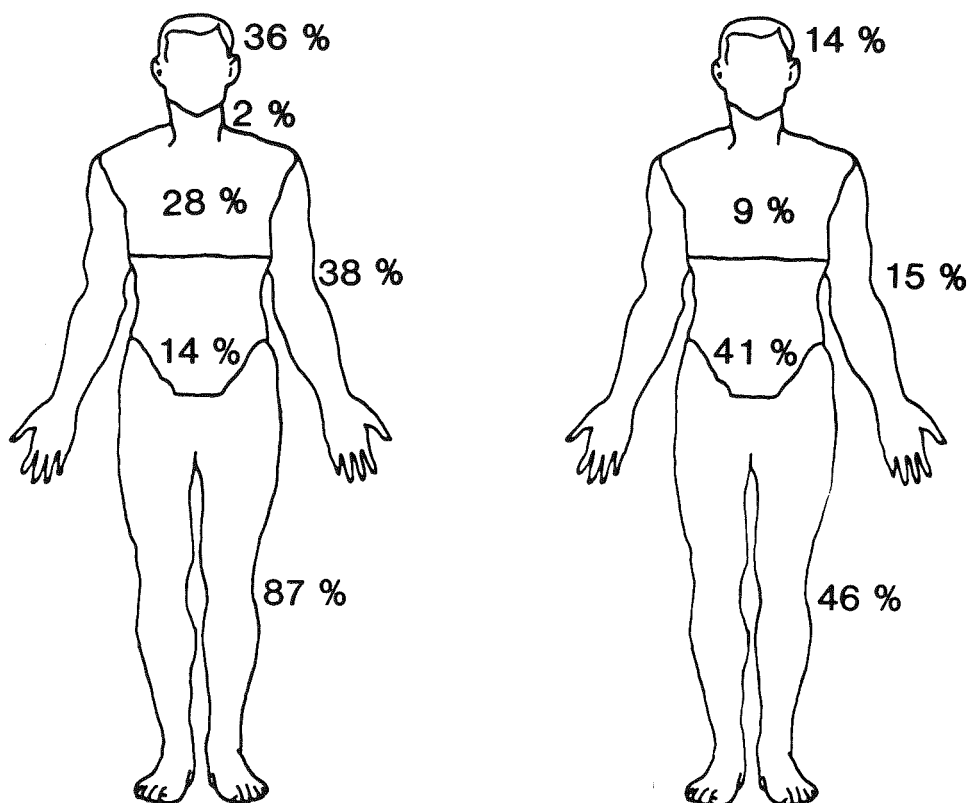
und 6, 29% OAIS 2, 66% OAIS 3/4 und 5% OAIS 5. Das Fehlen des Verletzungsschweregrades OAIS 1 und die Übergewichtung von Schwerverletzten ist u.a. darauf zurückzuführen, daß einerseits nur stationär behandelte Patienten betrachtet wurden und andererseits die Medizinische Hochschule Hannover als Zentralklinikum und Spezialklinik des Landes Niedersachsen sowie angrenzender Bundesländer anzusehen ist und somit viele schwerwiegende Fälle dort behandelt werden.

Bekräftigt wird dies durch die Tatsache, daß 58 sekundär verlegte, motorisierte verunfallte Zweiradbenutzer (47%) aus anderen Krankenhäusern Norddeutschlands stammten. Als Grund für diese Verlegungen wurden in 67,3% der Fälle Verletzungen der unteren Extremität angegeben, was bereits auf Komplikationsmöglichkeiten hinweist. Hierbei sind die Verletzungen des Unterschenkels hervorzuheben, die einen erheblichen Teil der therapeutischen Probleme bedingen. Dies kann darauf zurückgeführt werden, daß am Unterschenkel streckseitig das Schienbein nur durch einen dünnen Weichteilmantel mit kritischer, längsverlaufender Blutversorgung gedeckt ist. Ein direkter Anprallmechanismus mit ausgedehnter Weichteilquetschung und darunter liegender Fraktur stellt ein besonderes Risiko hinsichtlich einer Weichteil-/Knocheninfektion dar, da es im Bereich der Weichteilquetschung leicht zu Nekrosen und damit freiliegender Fraktur kommt. So finden sich auch Knocheneiterungen als häufigste Ursache für Rezidiveingriffe und langdauernde stationäre Behandlung.

Die bei motorisierten Zweiradbenutzern infolge hoher lokaler Energieeinwirkung besonders an der unteren Extremität häufig auftretenden Frakturen mit schwerer Muskelzertrümmerung und primären Gefäß-/Nervenläsionen können infolge nicht erkannter ausgeprägter Weichteilschwellung zum sogenannten Compartment-Syndrom führen, was ebenso wie eine massive Knochen-/Weichteileiterung gravierende Folgen bis hin zum Extremitätenverlust haben kann. Bei 7 von 117 Patienten (6%) mußten Extremitäten amputiert werden. Es handelt sich um 6 untere Extremitäten mit 4 schweren, primären Gefäßverletzungen sowie 2 subtotale Amputationen.

Beide untersuchten Kollektive zeigten übereinstimmend, daß nahezu jeder verunfallte motorisierte Zweiradbenutzer Verletzungen der unteren Extremität

tät erlitt. Im klinischen Krankengut hatten 87% Beinverletzungen, 46% aller Beinverletzungen führten zu schwerwiegenden Komplikationen (Abbildung 2).



Verletzte Körperregionen

davon mit Komplikationen

Abbildung 2: Verletzungshäufigkeit der Körperregionen bei 123 im Rahmen der Klinikstudie untersuchten motorisierten Zweiradbenutzern und dabei auftretende Komplikationen bei 72 Patienten
(links: alle Verletzungen 100%;
rechts: alle Verletzungen der jeweiligen Körperregion 100%)

36% erlitten Kopfverletzungen, wovon 14% Komplikationen bedingten. Dagegen traten Verletzungen des Abdomen-/Beckenbereiches im Verhältnis zu anderen Körperregionen relativ selten auf (14%), der An-

teil von Komplikationen war allerdings mit 41% erheblich. Zu nennen sind hier u.a. Beckenvenentrombosen nach Hüftverrenksbrüchen und Harnwegsinfektionen nach Blasenkontusionen und Dauerkatheterbehandlung.

Folgende Verletzungen, besonders an den Extremitäten führten im klinischen Krankengut häufig zu Komplikationen:

Frakturen mit schwerem Weichteilschaden (besonders am Unterschenkel), Quetschverletzungen mit Durchblutungsstörungen von Muskeln und Weichteilen ohne Gefäßverletzungen, Gefäß-/Nervenverletzungen, unfallbedingte Gelenköffnungen, Gelenktrümmerbrüche, komplexe Bandinstabilitäten bzw. -zerreißen, besonders am Kniegelenk. Als Komplikationen zeigten sich danach Weichteil-/Knocheninfekte, Weichteil-/Knochennekrosen, ausgedehnte Weichteildefekte, Fehlstellungen, Bewegungseinschränkungen usw.

Der Anteil der Patienten mit Komplikationen steigt mit zunehmendem Verletzungsschweregrad OAIS (Abbildung 3).

So erlitten 31% der mit OAIS 2 bewerteten Patienten Komplikationen und 77% der Verletzten mit OAIS 4. Alle mit OAIS 5 eingelieferten Personen verstarben nach einer durchschnittlichen Intensivbehandlung von 5,8 Tagen, wobei jeder eine Komplikation erlitt. Die besonders komplikationsträchtigen offenen Frakturen mit dem Schweregrad OAIS 3 wurden vermehrt bei Motorradfahrern festgestellt und führten dazu, daß die mit OAIS 3 geführten Motorradbenutzer mehr komplikationsträchtige Verletzungen erlitten (69%) als Moped-/Mokick- und Mofabenutzer im gleichen Verletzungsschweregrad.

		Verletzungsschweregrad OAIS				
		2 (n=36)	3 (n=64)	4 (n=17)	5 (n=6)	
Zweiradart	Motorrad/ Kleinkraftrad (n=66)	27% 10% 22%	53% 62% 69%	14% 18% 78%	6% 10% 100%	100% Pat. mit Kompl. (n=39) Pat. der OAIS-Klasse
	Moped/ Mokick (n=35)	31% 31% 45%	54% 45% 37%	9% 12% 67%	6% 12% 100%	100% Pat. mit Kompl. (n=16) Pat. der OAIS-Klasse
	Mofa (n=22)	32% 20% 29%	45% 40% 40%	23% 40% 80%	- - -	100% Pat. mit Kompl. (n=10) Pat. der OAIS-Klasse
	Gesamt (n=123)	29% 17% 31%	52% 54% 55%	14% 20% 77%	5% 9% 100%	100% Pat. mit Kompl. (n=65) Pat. der OAIS-Klasse

Abbildung 3: Anteil der Komplikationen in den jeweiligen Verletzungsschweregraden OAIS, unterschieden nach der Benutzung der Zweiradart.

(* Anteil der Patienten einer Zweiradart erlitten Komplikationen)

Mit zunehmender Schwere der Verletzung nimmt die Dauer der stationären Klinikbehandlung sowie die Gesamtbehandlungsdauer und die Arbeitsunfähigkeit zu (**Abbildung 4**).

Die durchschnittliche Dauer der stationären Behandlung betrug bei OAIS 4-Verletzten 87 Tage. Patienten mit OAIS 3 lagen im Durchschnitt auch 83 Tage in der Klinik. Unterscheidet man nach primär bzw. sekundär in untere Schwerpunkt-klinik eingelieferten Verletzten, zeigt sich, daß sekundär eingelieferte Patienten einen wesentlich längeren

Aufenthalt in der Klinik verzeichneten als die primär aufgenommenen Patienten. Hieraus wird ersichtlich, daß sekundär verlegte Patienten sowohl eine wesentlich höhere Komplikationsrate mit einer nahezu Verdoppelung der stationären Behandlungsdauer aufweisen.

3% der O AIS 2- und 76% der O AIS 4-Verletzten mußten auf Intensivstationen behandelt werden (Abbildung 4).

	Verletzungsschweregrad O AIS				
	2 (n=36)	3 (n=64)	4 (n=17)	5 (n=6)	
durchschnittliche Dauer der stationären Behandlung je O AIS-Klasse (Tage)	35 13 25	83 30 79	87 37 53	†	Gesamt (n=123) prim. eingeliefert sek. eingeliefert
durchschnittliche Dauer der gesamten Behandlung (Tage)	247	307	347	†	
durchschnittliche Dauer der Arbeitsunfähigkeit (Tage)	196	224	277	†	
durchschnittliche Kosten für Krankenhausaufenthalt je Patient u. O AIS-Klasse (DM)	3.950 10.075	9.650 24.700	10.000 18.050	†*	ohne Komplikationen mit Komplikationen
Patienten lagen auf Intensivstation	3 %	20 %	76 %	†	27 % aller Pat.
Patienten hatten Komplikationsoperationen	25 %	33 %	41 %	†	30 % aller Pat.

Abbildung 4: Durchschnittliche Dauer der stationären Behandlung, der Gesamtbehandlungsdauer und der Arbeitsunfähigkeit von 123 im Rahmen der Klinikstudie untersuchten motorisierten Zweiradbenutzer für Verletzungsschweregrade O AIS. (* nicht sofort tot, daher auch kostenverursachend) 100% alle Personen je Verletzungsschweregrade

25 % der OAIS 2- und 41% der OAIS 4-Patienten wurden infolge einer Komplikation operiert.

Volkswirtschaftliche Aspekte

Bei der Analyse von Unfallfolgen gelten neben materiellen Elementen auch Schäden immaterieller Art. Neben den medizinischen Behandlungskosten je Verunglückten sind Produktionsausfälle, Minderung der Lebensqualität, Sachschadenkosten, Reparaturkosten und indirekte Kosten wie z.B. Polizei, Kraftfahrtversicherung, Krankenversicherung, Rechtsschutz usw. anzuführen.

Im Rahmen vorliegender Studie war es u.a. aus Datenschutzgründen nicht möglich, alle diese Kosten zu erfassen und so erfolgte ausschließlich die Ermittlung von Klinikkosten für den stationären Aufenthalt. Um die nicht-monetären Größen annähernd darzustellen, wurde der Anteil der Personen mit bleibenden Gesundheitsschäden, körperlichen Beschwerden, privaten und beruflichen Folgen ermittelt.

Auch hier ist grundsätzlich ein Anstieg von Negativfolgen mit steigender OAIS-Klasse feststellbar. So klagten 25% der OAIS 2-Verletzten lediglich zeitlich begrenzt über körperliche Beschwerden, 8% dagegen über subjektive Dauerfolgen. 22% hatten auch objektiv nachweisbare gesundheitliche Dauerfolgen (Abbildung 5).

Demgegenüber wiesen nur 6% der OAIS 4-Verletzten zeitlich begrenzte körperliche Beschwerden auf, 53% dagegen andauernde Beschwerden. 71% erlitten hier ärztlicherseits nachweisbare bleibende Gesundheitsschäden.

Die durchschnittliche Dauer der Arbeitsunfähigkeit liegt wesentlich über der der stationären Behandlung und konnte bei OAIS 2-Verletzten mit 196 Tagen und bei OAIS 4-Verletzten mit 277 Tagen ermittelt werden.

Zur Darstellung der Unfallkosten wird die Nutzen-/Kostenanalyse von Willeke [Willeke, 1978 (138)] vergleichend gegenübergestellt, die eine durchschnittliche stationäre Behandlungsdauer von ins-

	Verletzungsschweregrad O AIS				
	2 (n=36)	3 (n=64)	4 (n=17)	5 (n=6)	Gesamt (n=123)
Patienten mit bleibenden gesundheitlichen Schäden der O AIS-Klasse	22 %	39 %	71 %	†	37 %
Patienten mit privaten Folgen der O AIS-Klasse	11 %	20 %	41 %	†	20 %
Patienten mit beruflichen Folgen der O AIS-Klasse	14 %	22 %	41 %	†	21 %
Patienten klagten über körperliche Beschwerden zeitlich begrenzt	25 %	23 %	6 %	†	20 %
dauernd	8 %	22 %	53 %		21 %

Abbildung 5: Je O AIS-Klasse festgestellte bleibende Gesundheitsschäden, private Folgen, berufliche Folgen, zeitlich begrenzte sowie andauernde körperliche Beschwerden der 123 im Rahmen der Klinikstudie untersuchten motorisierten Zweiradbenutzer (alle Patienten je O AIS-Klasse 100%)

gesamt 1.260 Unfallverletzten als Grundlage hat (**Abbildung 6**). Die von uns durchschnittlich ermittelte Behandlungsdauer je AIS-Klasse wurde mit dem Pauschalpflegesatz je Behandlungstag der Medizinischen Hochschule Hannover (derzeit DM 310,00) verknüpft, sodaß sich an Heilkosten für die verunfallten motorisierten Zweiradbenutzer in der O AIS-Klasse 2 ohne Komplikationen DM 3.950,00, mit Komplikationen DM 10.075,00 und in der O AIS-Klasse 4 ohne Komplikationen DM 10.000,00, sowie mit Komplikationen DM 18.050,00 ergeben.

Wir sind uns dabei durchaus bewußt, daß der Ansatz des pauschalen Pflegesatzes nur einen Bruchteil der tatsächlich angefallenen Kosten insbesondere in der Gruppe mit Komplikationen beinhaltet.

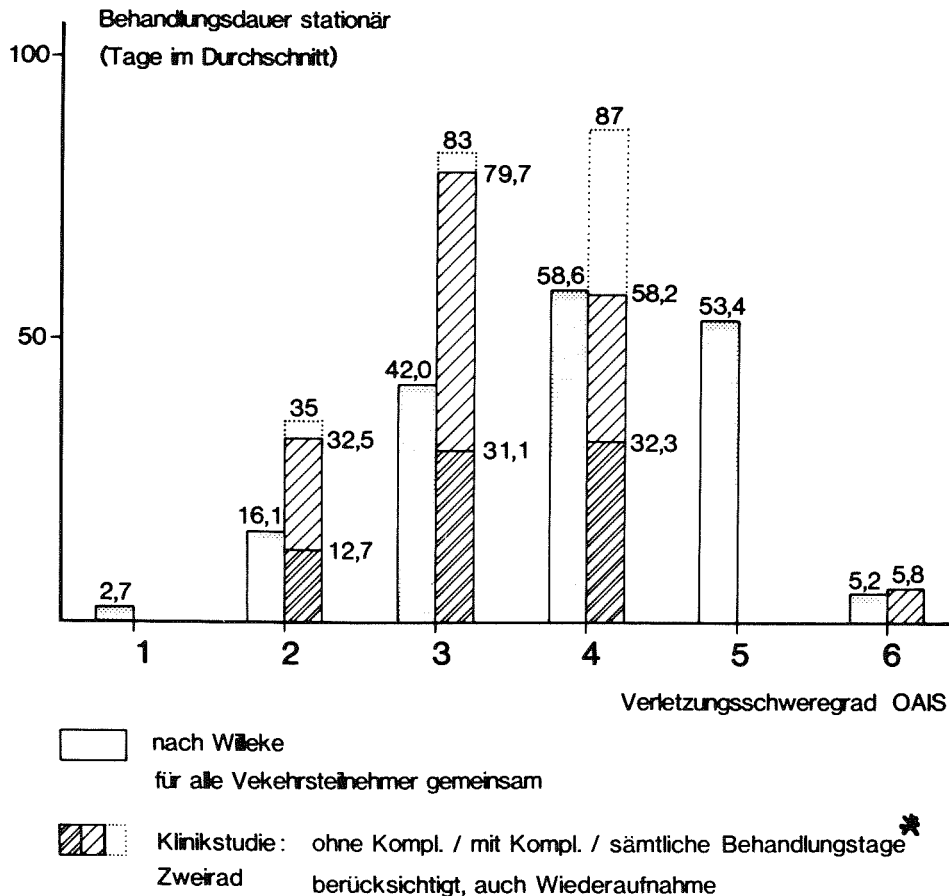


Abbildung 6: Grafische Darstellung der durchschnittlichen stationären Behandlungsdauer von 123 im Rahmen einer Klinikstudie untersuchten motorisierten Zweiradbenutzern für Verletzungsschweregrade OAIS, vergleichend dazu aufgetragene Ergebnisse von Willeke [Willeke, 1978 (138)].

(* bei sämtlichen Behandlungstagen ist auch eine erneute Wiederaufnahme in die Klinik u.a. zur Plattenentfernung nach Osteosynthese berücksichtigt)

Gegenüberstellung des Verletzungsrisikos motorisierter Zweiradbenutzer zu anderen Verkehrsteilnehmern

Zur Gegenüberstellung wurden zusätzliche Verkehrsteilnehmer der "Erhebungen am Unfallort" herangezogen. Im einzelnen handelt es sich um

3.175 Pkw-Insassen
 388 Lkw-Insassen
 207 Fahrradfahrer
 411 Fußgänger

(Abbildung 7)

	Verkehrsteilnehmer				
	Pkw-Insasse (n=3165)	Lkw-Insasse (n=388)	Radfahrer (n=207)	Fußgänger (n=411)	mot. Zweiradben. (n=283)
unverletzt (n=2043)	54,1 %	78,9 %	1,9 %	1,0 %	6,4 %
stationär behandelt (n=1325)	23,4 %	10,3 %	61,8 %	61,3 %	58,3 %
ambulant behandelt (n=730)	16,8 %	7,7 %	18,4 %	15,6 %	23,7 %
verstorben (n=356)	5,7 %	3,1 %	17,9 %	22,1 %	11,6 %

Abbildung 7: Anteil der unverletzten und verstorbenen, sowie ambulant und stationär behandelten 4.454 Verkehrsteilnehmer, die im Rahmen der "Erhebungen am Unfallort" dokumentiert wurden

Stationär behandelt werden mußten:

10,3% der verunfallten Lkw-Insassen
 23,4% der verunfallten Pkw-Insassen
 58,3% der verunfallten motor. Zweiradbenutzer

61,3% der verunfallten Fußgänger
61,8% der verunfallten Fahrradfahrer

Die äußeren Verkehrsteilnehmer zeigen damit gegenüber den Insassen ein deutlich höheres Risiko für schwere Verletzungen, aus denen ein stationärer Aufenthalt resultiert.

Betrachtet man allein die äußeren Verkehrsteilnehmer, zeigt sich, daß die motorisierten Zweiradbenutzer nur ein geringfügig niedrigeres Risiko aufweisen, stationär in ein Krankenhaus aufgenommen zu werden.

Dieses wird auch dadurch unterstrichen, daß der überwiegende Anteil der Fahrzeuginsassen unverletzt blieb, während kaum äußere Verkehrsteilnehmer ohne Verletzungen im Kollektiv nachweisbar waren:

1,0% aller Fußgänger
1,9% aller Fahrradfahrer
6,4% aller motorisierten Zweiradbenutzer
54,1% aller Pkw-Insassen
78,9% aller Lkw-Insassen

blieben unverletzt.

Auch die durchschnittliche Dauer des Krankenhausaufenthaltes bestätigte die höhere Verletzungsgefährdung des äußeren Verkehrsteilnehmers, insbesondere des Fußgängers (**Abbildung 8**).

Hier ergab sich bereits bei OAI 1-Verletzten ein durchschnittlicher stationärer Aufenthalt von 23,6 Tagen, gegenüber einem sehr kurzen Krankenhausaufenthalt von im Durchschnitt 3 Tagen bei motorisierten Zweiradbenutzern und 5,5 Tagen bei Pkw-Insassen. Ähnliche Abstufungen ergeben sich für den Verletzungsschweregrad OAI 2. Ursächlich liegt u.a. das höhere Alter des Fußgängerkollektivs zugrunde.

Zwischen verletzten Pkw-Insassen und motorisierten Zweiradbenutzern zeigt sich kein wesentlicher Unterschied in der durchschnittlichen Krankenhausaufenthaltsdauer.

Für die unterschiedliche Teilnahme am motorisierten Zweiradverkehr ergeben sich folgende durchschnittliche Tage eines primären stationären Kran-

kenhausaufenthaltes für die Benutzung von

Motorrädern	16 Tage
Leichtkrafträdern/ Kleinkrafträdern	12 Tage
Mopeds/Mokicks	14 Tage
Mofas	22 Tage

Somit zeigt sich für Mofabnutzer die höchste Gefährdung langer Behandlungsdauer.

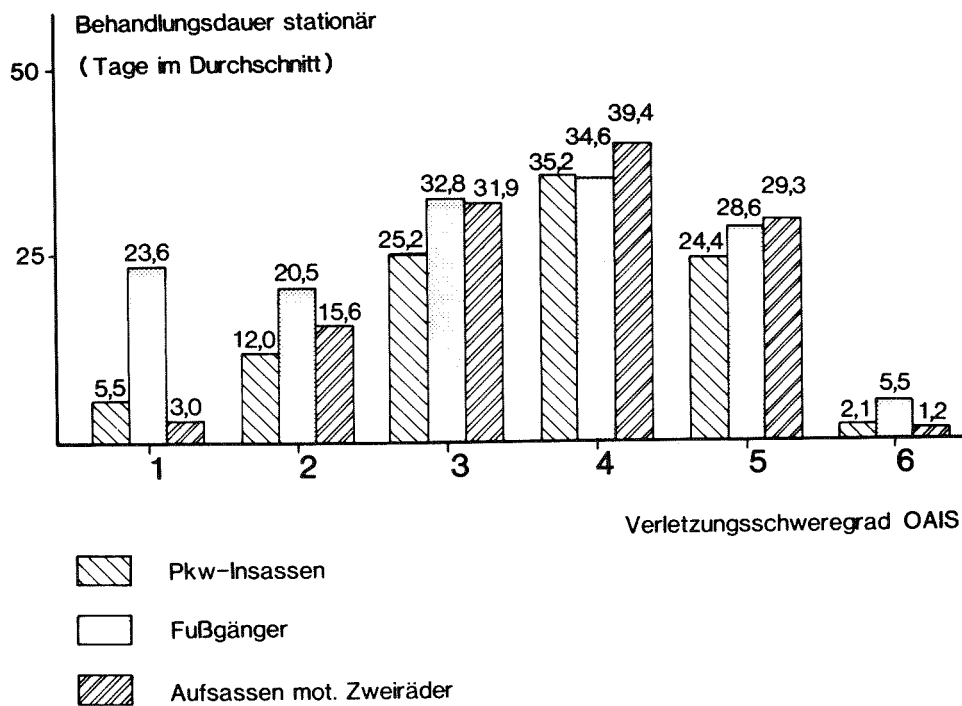


Abbildung 8: Durchschnittliche Behandlungsdauer motorisierter Zweiradbenutzer im Vergleich zu anderen verunfallten Verkehrsteilnehmern. Grundlage bilden dabei die im Rahmen der "Erhebungen am Unfallort" dokumentierten 3.165 Pkw-Insassen, 411 Fußgänger und 282 motorisierten Zweiradbenutzer

Diskussion

Das Auftreten von Komplikationen nach Unfallverletzungen ist neben Art und Ausmaß der Primärverletzung abhängig von der Art der Verkehrsteilnahme, der Durchführung sachgerechter Erste-Hilfe-Maßnahmen und nicht zuletzt von der Qualität der Definitivversorgung im Krankenhaus. Das Zusammenwirken aller dieser Faktoren bedingt das endgültige Ausmaß der Verletzungsfolgen.

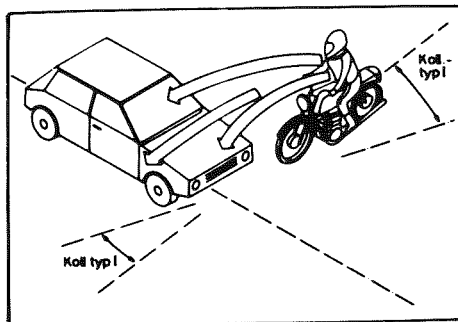
Die bei Unfällen der einzelnen Verkehrsteilnehmer unterschiedlichen kinematischen Gesetzmäßigkeiten [Otte, 1981 (102)] haben ein differentes Risiko für komplikationsträchtige Verletzungen zur Folge.

Wegen der beispielsweise hohen und direkten Energieumsetzung auf den Körper des motorisierten Zweiradbenutzers (**Abbildung 9**), insbesondere am schlecht weichteilgedeckten Unterschenkel, treten bei diesen häufig spezifische Frakturkomplikationen auf.

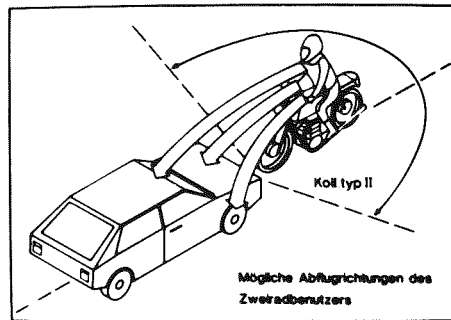
Zusätzlich sind Knochen-/Weichteilinfekte infolge starker Schmutzeinsprengung beim motorisierten Zweiradbenutzer eher zu erwarten, da er häufiger infolge seiner hohen Eigenbewegung mit straßenbegrenzenden Abschnitten (z.B. Acker) Kontakt erlangt. Dagegen wird der Fußgänger meist auf die "relativ saubere" Straße abgeworfen und der In-sasse an inneren Fahrzeugteilen verletzt.

Zusätzlich macht die Studie deutlich, daß nahezu 2/3 der verunfallten motorisierten Zweiradbenutzer nach der Bundesstatistik als "leicht verletzt" geführt werden, ein erheblicher Anteil davon jedoch unter klinischen Aspekten als "schwer verletzt" zu bewerten ist.

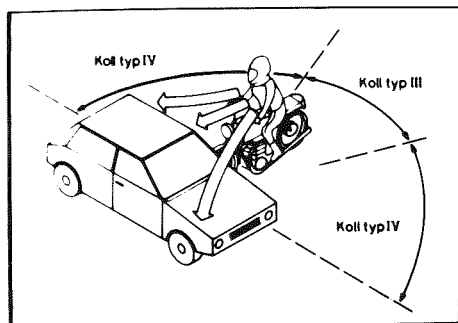
Dabei wird nicht nur auf das Problem der amtlichen Klassifikation "leicht-/schwer verletzt/getötet" auf der Definitionsbasis "ambulant-/stationär behandelt/innerhalb von 30 Tagen verstorben" hingewiesen, sondern auch auf die möglichen medizinischen Komplikationen, die zu einer Erhöhung der subjektiven Beschwerden des Patienten und zur unfallchirurgischen objektivierbaren Verschlimmerung dauernder Verletzungsfolgen führt.



Kollisionstyp I

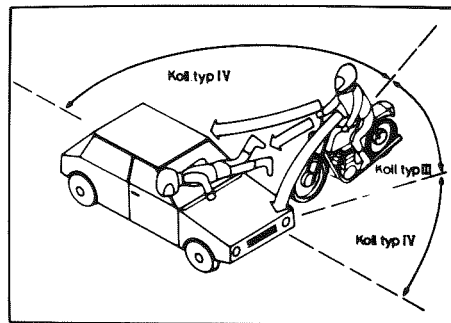


Kollisionstyp II

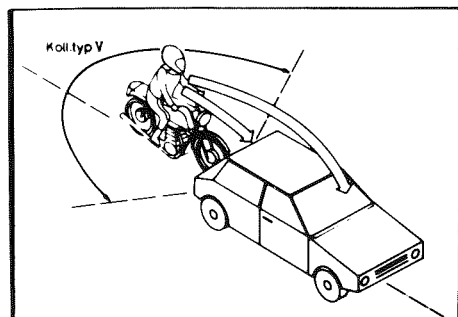


Compartmentbereich

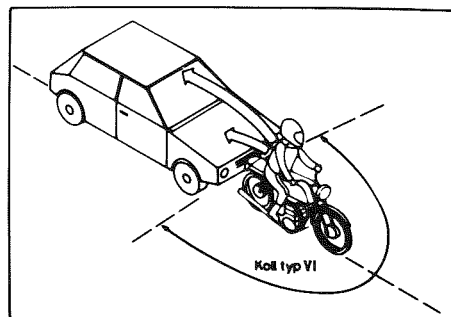
Kollisionstyp III / IV



außerhalb
Compartmentbereich



Kollisionstyp V



Kollisionstyp VI

Abbildung 9: Mögliche kinematische Formen des Zweiradunfalles wobei der Zweiradbenutzer je nach Anprallstelle, Anprallwinkel und unterschiedlicher Relativgeschwindigkeit am Kollisionspartner anprallen oder darüber hinwegfliegen kann

In einer vorausgehenden Studie wurde der prozentuale Anteil der Fehlererfassung bei der amtlichen Verletzungsschwerebewertung angegeben [Otte, 1982 (103)]. Bei Zugrundelegung der dort angegebenen Werte ergibt sich für die im Jahre 1983 verunglückten 101.616 Benutzer motorisierter Zweiräder ein finanzieller Gesamtaufwand für Klinikbehandlung von ca. 350 Mio. DM - ein Betrag, der sich durchaus zu senken lohnt.

Außerdem wurde deutlich, daß die allgemein in der Unfallforschung angewendete Verletzungsschweregradbewertung nach AIS eine nützliche und notwendige Skalierung darstellt. Dabei muß unterstrichen werden, daß hiermit der momentane primäre Verletzungszustand gewertet wird, Komplikationen, Langzeitfolgen und subjektive Beschwerden damit jedoch nicht erfassbar sind. Auf die Notwendigkeit, auch die gravierenden Verletzungsfolgen objektiv und reproduzierbar durch eine entsprechende Klassifikation zu erfassen, sei hingewiesen.

Insgesamt ergibt sich, daß eine objektive Aussage zur angeblich erhöhten Verletzungsschwere und gravierenden Verletzungsfolgen bei motorisierten Zweiradfahrern sehr schwer zu treffen ist. Je nach Gesichtspunkt und Zielsetzung ist der Eindruck von Laien, Presse oder behandelnden Ärzten, Verletzungen motorisierter Zweiradfahrer seien besonders schwerwiegend, möglicherweise rein subjektiv.

Schutzmöglichkeiten

Wegen der hohen Risikoexponierung des motorisierten Zweiradbenutzers zur Erlangung komplikationsträchtiger Weichteilverletzungen, insbesondere an der unteren Extremität, sowie der schwerwiegenden Schädel-/Hirnverletzungen senkt das Tragen von Lederkleidung und Schutzhelm und auch die Anbringung von Sicherheitsverkleidungen am Zweirad das Risiko.

**Unfallanalytische und biomechanische Aspekte des
Motorradunfalles unter besonderer Berücksichtigung
der Funktion von Kraftfahrerschutzhelmen**

**Florian Schüler
Georg Schmidt**

Gliederung

Kapitel		Seite
1.	Unfallanalyse, Schutzhelmunter- suchung Vereinheitlichung - Kenngrößen	199
2.	Biomechanische Versuche zur Opti- mierung von Schutzhelmen	205
3.	Feststellungen aus wissenschaftlichen und forensischen Unfallbearbeitungen - Folgerungen für die Verbesserung von Kraftfahrerschutzhelmen	207
	Abkürzungen	214

1. Unfallanalyse, Schutzhelmuntersuchung Vereinheitlichung - Kenngrößen

Unfalluntersuchungen wurden und werden von einer Reihe interdisziplinärer Untersuchungsteams durchgeführt. Es gibt inzwischen zahlreiche und weitreichende Daten und Ergebnisse, die jedoch einen gemeinsamen Mangel aufweisen: Eine Vergleichbarkeit und rationelle Synthese der Daten der einzelnen Untersuchungsgruppen im Sinne einer statistischen Absicherung ist bisher kaum oder gar nicht möglich.

Zwar wurde vor geraumer Zeit eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Ärzten und Ingenieuren bzw. Physikern, d.h. die simultane Bearbeitung der "Unfalleinwirktschwere" (technische Mechanik, KfZ-Technik usw.) sowie der "Unfallfolgenschwere" (Verletzungen nach Art, Schwere, Lokalisation) als unabdingbare Voraussetzung für eine schlüssige Unfallanalyse erkannt und durchgeführt. Es fehlt jedoch bisher bei der Erhebung und der Auswertung von Unfällen motorisierter Zweiradbenutzer eine Vereinheitlichung von Vorgehensweisen, Datenmindestumfang und Unfallkenngrößen. Ausnahme von dieser Uneinheitlichkeit bildet die Anwendung der Abbreviated Injury Scale (AIS) [Abbreviated Injury Scale, 1980 (1)], nach der die Mediziner eine einheitliche Verschlüsselung von Verletzungen durchführen.

Speziell die Unfälle motorisierter Zweiradbenutzer sind in ihrer rekonstruktiven Bearbeitung problematisch.

Zur Gegenüberstellung von Unfalleinwirktschwere und erlittenen Verletzungen sowie zur Beurteilung des Filterungsverhaltens von Elementen des passiven Unfallschutzes (Schutzhelme, Schutzkleidung, Einrichtungen am motorisierten Zweirad) ist es erforderlich, auf der Seite der Einwirkungen eine geeignete Größe zu definieren, die eine brauchbare Aussage zu Unfalleinwirktschwere (Unfallsschwere-Index) liefert.

Der Versuch der Definition einer solchen kombinierten Größe wurde bei der Bearbeitung bzw. Auswertung der in Heidelberg erhobenen Verkehrsunfälle motorisierter Zweiradbenutzer [Schüler, 1983 (117)] unternommen. Die Anwendung dieses Unfall-

schwere-Index bezieht sich ausschließlich auf die Feststellung der Unfalleinwirkungen am Körper der Zweiradbenutzer. Art und Schwere der Beschädigungen der Fahrzeuge sind nur mittelbar von Bedeutung, es sei denn, es handelt sich um körperkontaktbedingte Deformationen.

Der Motorradunfallschwere-Index MCASI (Motor Cycle Accident Severity Index) [Schüler, 1983 (117)] basiert auf den folgenden Unfallparametern:

1. Körperauftreffgeschwindigkeit bzw. am Körper abgebaute Geschwindigkeit Δv_c .
2. Körperauftreffwinkel α_c .
3. Körperbewegungsweite s_c
(ohne Transportstreckenanteile).
4. Formaggressivität AF
(des Kollisionshindernisses)
5. Materialaggressivität AM
(des Kollisionshindernisses)

Die beiden zuletzt genannten Größen beschreiben die Struktur der wesentlichen Körperkollisionskontaktbereiche. Diese 5 Parameter der Unfalleinwirkung wurden in jeweils 6 Stufen unterteilt.

Der zahlenmäßige Wert des MCASI errechnet sich dann, indem die unter den zu berücksichtigenden Unfallparametern zugewiesenen Werte addiert und durch die Anzahl der bewerteten Parameter dividiert werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß der unter dem Parameter Körperauftreffgeschwindigkeit Δv_c bestimmte Wert in die zu bildende Zählersumme quadriert eingeht. Unter dieser Definition ergeben sich Werte für die Unfallschwere zwischen 1 und 12. Bei mehrphasigen Unfallereignissen mit etwa gleicher Schwere der Teilphasen werden die Unfallparameter aller Teilphasen berücksichtigt. Unfalleinwirkungen in Form von Überrollungen oder globalen Körperquetschungen - z.B. durch nachstürzendes Motorrad - werden bei der Bildung des MCASI bisher nicht berücksichtigt. Solche Arten der Unfalleinwirkungen wurden jedoch bei dem hier bearbeiteten Unfallkollektiv nur äußerst selten festgestellt. Der Anlaß, die am

Körper umgesetzte Geschwindigkeit Δv_c bzw. den bereichsweise ermittelten Wert zu quadrieren, ist im wesentlichen Einfluß dieses Unfallparameters begründet; physikalisch gesehen kann man dies auch als eine Berücksichtigung der am Körper umgesetzten Unfallenergie betrachten.

Die unter dem Unfallparameter Materialaggressivität zugeordneten Begriffe: "Sehr weich, weich usw." sind physikalisch nicht exakt quantifiziert, aber ordinal skalierbar. Hier muß eine Bewertung abgeschätzt werden, wozu eine Gegenüberstellung praktischer Beispiele zu den einzelnen Bewertungsstufen der Materialaggressivität erforderlich ist.

Zusätzlich zur Anwendung des Unfallschwere-Index wurde sowohl eine Klassifizierung nach Unfallarten als auch eine Klassifizierung nach Bewegungsabläufen bezüglich der Körper der Zweiradbenutzer vorgenommen.

Ein einheitliches Schema (Terminologie, Datenmindestumfang, Art der Datenerhebung und Verschlüsselung, Rekonstruktionsverfahren, spezielle Untersuchungen - z.B. des Schutzhelmes, usw.) wäre für eine Vergleichbarkeit und zusammenfassende Auswertung von Unfalluntersuchungen verschiedener Institutionen wünschenswert.

Die systematische Auswertung von Schutzhelmen führte ebenfalls zur Anwendung eines rangskalierten Beurteilungsrasters: Zur Quantifizierung der Schutzhelmbeschädigungen wurde ein Schutzhelmbeschädigungs-Index HDI (Helmet Damage Index) [Schüller, 1983 (117)] definiert: In einer 7stufigen Unterteilung - Werte 0 bis 6 - werden stufenweise festgestellte Beschädigungswerte zugeordnet. Einem getragenen Schutzhelm, der bei einem Unfallereignis beschädigungsfrei blieb, wird der HDI-Wert 0 zugeordnet, während der HDI-Wert 6 auf eine vollständige, unfallbedingte Zerstörung des Schutzhelmes und/oder auf eine anderweitig manifestierte, exzessive Helmbeanspruchung hinweist.

Jedem Schutzhelm wurde nach der Untersuchung gemäß der Beschreibung der einzelnen Beschädigungsstufen der entsprechende Index-Wert zugewiesen, wobei Helme, die infolge Abschleuderung höchstens eine teilweise Schutzwirkung entfalten konnten, besonders berücksichtigt wurden.

Eine Einstufung von Helmbeschädigungen erfolgte nur, wenn diese in getragenen Zustand des Helmes entstanden; Beschädigungen an abgeschleuderten Helmen wurden nicht bewertet.

Zur vollständigen Erfassung von Einwirkungen und Beschädigungen an Schutzhelmen ist es notwendig, neben der Schwere der Beschädigungen die Art und den Ort der Spurenlage anzugeben.

Zur systematischen Erfassung des Ortes der Beschädigungen am Schutzhelm wurden 24 Schutzhelmzonen definiert (siehe Abbildung 1). Zunächst erfolgte eine Einteilung des Helmes in die 4 Hauptzonen: Schutzhelmkappe, Helmstirnzone, Helmohrzone und Schutzhelmbasiszone. Die Benennung der Einzelzonen von Schutzhelmkappe und den 3 weiteren zirkular verlaufenden Hauptzonen erfolgte in Anlehnung an die Terminologie der Schädelanatomie; zusätzlich wurde eine systematische Durchnummerierung, ausgehend von der Helmkappe bis zum unteren Helmabschluß vorgenommen, wobei alle Teilzonen auf der linken Schutzhelmhälfte ungerade, und alle Teilzonen auf der rechten Schutzhelmhälfte gerade Zahlen erhielten.

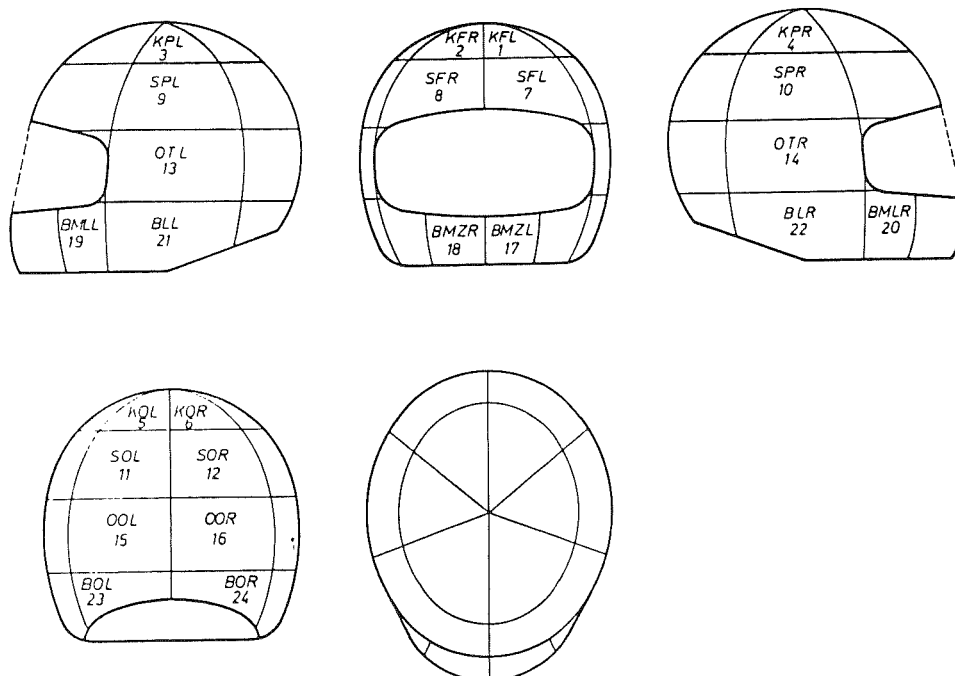


Abbildung 1: Einteilung des Schutzhelmes in 24 Zonen

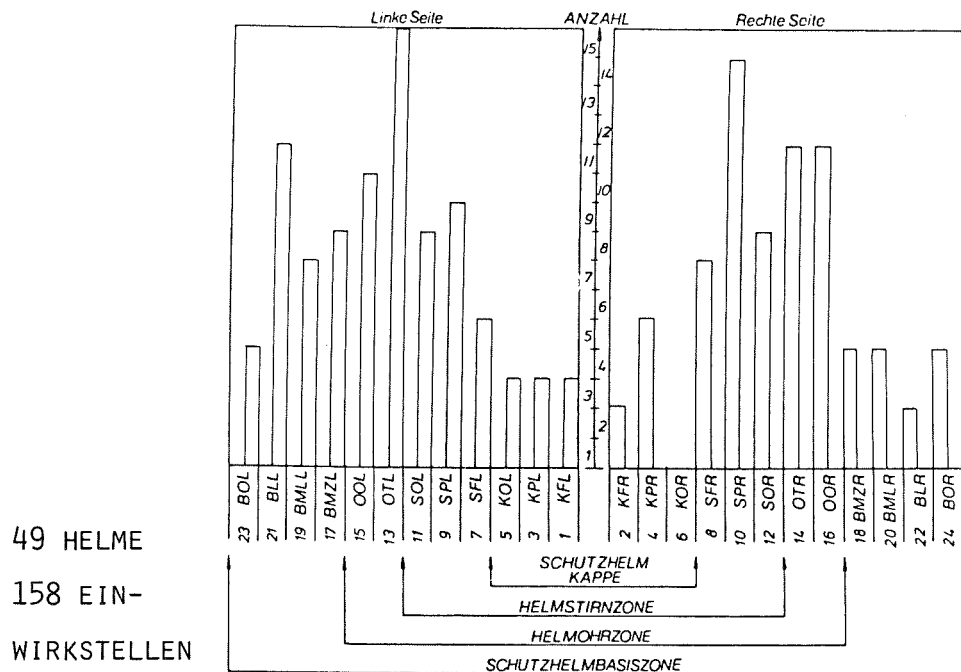


Abbildung 2: Lokalisation der Einwirkstellen am Schutzhelm

Abbildung 2 gibt die Auswertung eines Teilkollektives hinsichtlich der Lokalisation der Einwirkstellen an 49 Helmen wieder. Bisher zeigte sich (ohne Anspruch auf statistische Absicherung), daß jeder Helm im Mittel 3 mal relevant beansprucht wurde, daß aber eine mehr als einmalige schwere Anpralleinwirkung im selben Helmschalenbereich (Distanz ca. 2 cm) in keinem Fall erkannt werden konnte.

Schwierig gestaltete sich die Aussage über den elastischen also reversiblen Anteil der Helmverformung. In einigen Fällen konnte durch Gegenüberstellung der Kraft-Deformationskennlinie von unbeanspruchten und beanspruchten Stellen derselben Schutzpolsterung Abschätzungen vorgenommen werden; es ergaben sich Werte für die elastische Zusammendrückung in der Größenordnung von 50% der plastischen Deformation.

Ein Denkansatz für zukünftige Unfalluntersuchungen könnte dahin gehen, mit Hilfe eines auf den Kopf bezogenen Unfallschwere-Index, unter Feststellung einer Schutzhelmbeschädigungsschwere mittels des HDI sowie bei gesicherter Schädel-Hirn-Verlet-

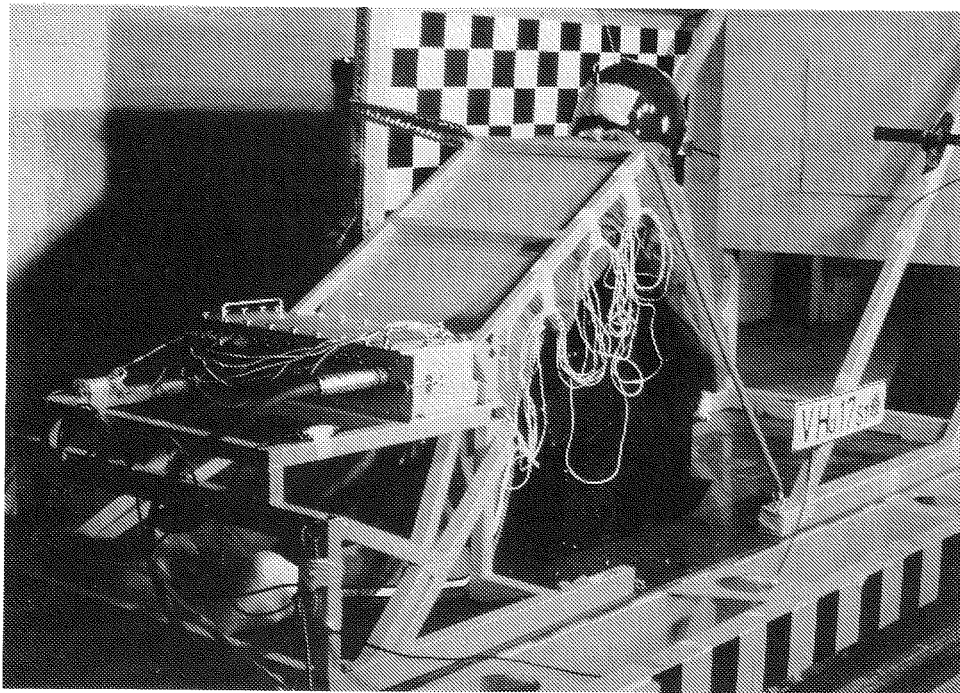
zungsbefundung unter Ausnutzung weitreichender Diagnosehilfsmittel (Computertomographie) aus der Analyse von Verkehrsunfällen motorisierter Zweiradbenutzer einen UNFALLANALYTISCHEN SCHUTZHELMWIRKUNGSGRAD als wesentliches Entwicklungskriterium für Kraftfahrerschutzhelme zu erarbeiten.

Zusammen mit der Feststellung der statistisch relevanten Unfallbeanspruchungen von Helmen nach Art, Ort und Schwere wäre hierin eine tragfähige und begründete Basis für die gezielte Weiterentwicklung von Schutzhelmen zu sehen, die keinen Raum für Spekulationen und nicht nachvollziehbar erhobene Forderungen mehr zuließe.

2. Biomechanische Versuche zur Optimierung von Schutzhelmen

Biomechanische Versuche zur Aufklärung der Verletzungsmechanik bei Kopfanprallen unter Helmschutz sowie zur Verbesserung von Schutzhelmen und der einschlägigen Prüfbestimmungen sind in der Literatur nur selten beschrieben worden (Bowman, 1981 (123); Fayon, 1976 (106)).

Eine in Heidelberg, im Rahmen eines EEC-Forschungsprogrammes für die Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch-Gladbach durchgeführte Versuchsreihe [Schüler, 1984 (93)] hatte die dynamische Fronto-occipitale Kopfbelastung von post-mortalen Versuchsobjekten unter Helmschutz zum Gegenstand der Untersuchung (siehe Abbildung 3).



Beschleunigungsmessungen an Schutzhelm, Kopf und Wirbelsäule (TH1, TH12)

Abbildung 3: Versuchsaufbau Fronto-Occipital-Anprall des helmgeschützten Kopfes gegen eine quasi starre Wand ca. 40 km pro Stunde

Aufschlußreiche Ergebnisse zum Verhalten der nach Stand der Technik eingesetzten Schutzhelme und vor allem hinsichtlich der Verletzungsmechanik der Wirbelsäule verdeutlichten, daß eine Fortsetzung derartiger Versuche unter sorgfältiger Festlegung des Versuchsdesigns das noch fehlende Wissen mit ergänzen kann. Hauptproblem ist hierbei die Wahl einer dem realen und wahrscheinlichen Unfallgeschehen vergleichbaren Versuchsanordnung.

Seitens der Biomechanik könnte als Qualitätskriterium für Schutzhelme der Biomechanische Helmwirkungsgrad (Safety Helmet Quality Criterion) eine geeignete Maßzahl für die weitere Verbesserung des passiven Unfallschutzes von Helmen bieten.

BIOMECHANISCHER HELMWIRKUNGSGRAD

$$\eta_{SH} = \frac{HIC_{(-SH)} - HIC_{(+SH)}}{HIC_{(-SH)}}$$

Dieser Wirkungsgrad ist demnach zu bilden aus den jeweils ohne und mit Schutzhelm berechneten HIC-Werten (HIC = Head Injury Criterion [Chou, 1974 (19)]); hierzu ist die dreiaxiale Messung der Kopfverzögerung bei Anprall Voraussetzung.

3. Feststellungen aus wissenschaftlichen und forensischen Unfallbearbeitungen - Folgerungen für die Verbesserung von Kraftfahrerschutzhelmen

Zunehmend werden nach Unfällen motorisierter Zweiradbenutzer von den Gerichten interdisziplinäre (technische Rekonstruktion zusammen mit Verletzungsmechanik) Gutachten in Auftrag gegeben. Darin ist u.a. häufig Stellung zu nehmen zu Fragen des Schutzhelmes: Tauglichkeit, ordnungsgemäße Behandlung (z.B. Nachlackierung), ordnungsgemäße Benutzung [Schüler, 1982 (118)] (z.B. loser oder offener Kinnriemen), Verletzungsfolgen und andere Fragepunkte. Beweisfragen können z.B. lauten:

- "Hatte der Schutzhelm, den die Klägerin bei dem in Rede stehenden Unfallereignis nach Zeugenaussagen getragen haben soll, eine zutreffende Paßform und war dieser richtig verschlossen?"
- "Hätte - bei Verneinung der vorstehenden Beweisfrage die ordnungsgemäße Benutzung, d.h. das Tragen eines passenden und richtig befestigten Schutzhelmes die Unfallfolgen (Verletzungen) ausgeschlossen oder jedenfalls vermindert, ggf. in welchem Umfang und mit welchem Grad von Wahrscheinlichkeit?"

Die Beantwortung derartiger Fragen - auch nach Aktenlage kann in den meisten Fällen unter der Voraussetzung einer qualifizierten Unfallaufnahme einer umfassenden Dokumentation des Unfallgeschehens (Lichtbilder!) und einer exakten Verletzungsbefundung mit hoher Beurteilungssicherheit erfolgen.

Schwieriger erscheint die Beantwortung etwa der Frage:

- "Konnte der Kläger erkennen, daß es sich bei dem von ihm erworbenen Schutzhelm (älterer Fallschirmspringer-Helm in Integralausführung) um einen Helm handelte, der den Anforderungen an Kraftfahrerschutzhelme nicht genügte. ..."

Hierzu sei folgendes ausgeführt:

Bereits der Zusammenhang zwischen Gesetz (im weiteren Sinne) - hier § 21a Abs. 2, StVO - und den anzulegenden Maßstäben bezüglich genannter Begriffe - hier Kraftfahrerschutzhelm - ist klärungsbedürftig.

Ein direkter Bezug auf Normen und Richtlinien zu Kraftfahrerschutzhelmen ist derzeit in § 21a StVO noch nicht gegeben. Es wäre wünschenswert, daß neben den anderen Punkten auch der Punkt 3 der Empfehlung des Arbeitskreises III "Die erhöhte Unfallgefahr bei motorisierten Zweirädern" des 21. Deutschen Verkehrsgerichtstages (1983) beim Gesetzgeber Berücksichtigung fände. Der Punkt 3 der Empfehlung lautet: "Zur Klärung der Mindestanforderungen an alle Kraftfahrerschutzhelme sollte die derzeitige Formulierung des § 21a StVO unverzüglich durch einen Bezug zu bestehenden, einschlägigen Normen und Richtlinien ergänzt werden." [Deutsche Akademie für Verkehrswissenschaft, 1983 (134)].

Im Gegensatz zum prüfpflichtigen Sicherheitsgurt ist der Schutzhelm kein kraftfahrtechnisches Teil.

Vielmehr ist auch der Kraftfahrerschutzhelm wie andere Helme eingeordnet unter dem Überbegriff Technische Arbeitsmittel/Persönliche Schutzausrüstung (s. Gesetz über technische Arbeitsmittel - Gerätesicherheitsgesetz - vom 24.06.1968, BGBI. I S. 717, zuletzt geändert durch Gesetz vom 13.08.1979 BGBI. I S. 1432).

Anforderungen, die hier gestellt werden, sind global umrissen mit der Formulierung "Nach den allgemein anerkannten Regeln der Technik sowie den Arbeitsschutz- und Unfallverhütungsvorschriften".

Inwieweit diese Zusammenhänge einem Motorradbenutzer bekannt sein müssen, und insbesondere ob zutreffende Beurteilungskriterien bei der Auswahl eines Kraftfahrerschutzhelmes durch einen Kradbenutzer und ferner, ob die Einsicht bezüglich einer ordnungsgemäßen Benutzung (z.B. Gebrauch des Kinnriemens) vorausgesetzt werden können, ist als Rechtsfrage anzusehen.

Die heute zum Verkauf gelangenden Schutzhelme weisen trotz durchgeführter Prüfung, z.B. nach DIN

4848 [DIN 4848, 1970 (24)] unter Umständen untereinander erhebliche Qualitätsunterschiede in der konstruktiven Ausführung auf.

Nach den bisher über 350 hiesigen Motorrad Unfalluntersuchungen kann der Wirkungsgrad des Helmschutzes, d.h. die erreichbare Verletzungsminde- rung bereits bei preiswerten Schutzhelmen unzwei- felhaft erheblich sein. Nachteilige Wirkungen von Schutzhelmen konnten gegenüber den in gleicher Situation ohne Schutzhelm zu erwartenden Auswir- kungen bisher nicht beobachtet werden.

Die Ausführung der Konstruktion von Schutzhelmen ist im wesentlichen gegeben durch die Wahl der Werkstoffe für die Helmaußenschale (duroplastische oder thermoplastische Kunststoffe) und die ener- gieabsorbierende Schutzpolsterung (expandierter Polystyrol- oder Polyurethan-Hartschaum) sowie die Formgebung bezüglich anatomischer Paßform im Hin- terhauptsbereich, d.h. Hinterhauptsformschluß (Problem der Helmabschleuderung trotz ordnungsge- mäß verschlossenen Kinnriemens: Hierzu wurden Versuche durchgeführt auf der institutseigenen Verzögerungswagenanlage sowie anlässlich eines Schutzhelm-Testes der Stiftung Warentest [Stiftung Warentest, 1981 (140)].)

Auffällig ist der Rückgang von Schädel- ein- schließlich komplizierter Unterkieferfrakturen. Dagegen muß die Vermeidung von Schädelbasisbrü- chen, insbesondere von Schädelbasis- Impressions- frakturen infolge von Normal- und Biegekräften sowie die Verminderung von Cerebraltraumatisierun- gen sehr viel kritischer und fallspezifisch beur- teilt werden. Primär sind die derzeitigen Schutz- helme geeignet, Schädelfrakturen, Schürf- und Schnittwunden sowie Prellungen zu vermindern, bzw. zu vermeiden.

Auf keinen Fall besteht jedoch berechtigter Grund zur Behauptung, "daß ein Schutzhelm lediglich vor äußeren Schädelverletzungen zu schützen ver- mag, keinesfalls (!) vor Hirnverletzungen und Schädelbasisbrüchen ...", die ein praktischer Arzt in einem Gutachtenfall aufgestellt hatte!

Erforderlich ist eine Anpassung der SCHUTZPOLSTE- RUNG und der HELMAUßENSCHALE an die biomechani- schen Gegebenheiten des Schädel-Hirn-Systems unter Berücksichtigung wahrscheinlicher Helmbelastungen

durch das Unfallgeschehen.

Eine Reduzierung von Schädel-(Kalotten-)brüchen muß in Anbetracht der Gefährlichkeit auch unter Helmschutz erfolgter, gedeckter Schädel-Hirn-Traumata als Scheinerfolg gewertet werden. Die Auswahl geeigneter Werkstoffe und Strukturen muß so erfolgen, daß die Schutzpolsterung bei der gegebenen Kurzzeitigkeit eines kritischen Helmanpralles - Größenordnung: 10 Millisekunden - ein Maximum an Stoßenergie zum Schutz des Kopfes, insbesondere des Gehirnes absorbieren kann.

Dies ist nach den bisherigen Unfall- bzw. Helmuntersuchungen (IRM Heidelberg) offensichtlich nicht der Fall. Die Ergebnisse geben vielmehr Hinweise dafür, daß insbesondere Helme mit biegesteifer Außenschale und Raumdichten der Schutzpolsterung oberhalb von ca. 50 Gramm pro Liter zu hart, d.h. für den menschlichen Schädel überdimensioniert sind.

Ferner müssen möglichst alle elastischen Deformationsanteile der bisher aus Polystyrol oder Polyurethan-Hartschaum unterschiedlicher Expansionsdichte gefertigten Schutzpolsterungen und der Helmaußenschalen zu Gunsten eines plastischen Deformationsverhaltens eliminiert werden.

Aus biomechanischer sowie ingenieurwissenschaftlicher Sicht ist nach den Ergebnissen der Unfallforschung und nach den vermehrten Kenntnissen der Traumatologie davon auszugehen, daß Kraftfahrerschutzhelme bezüglich der Verminderung von Hirnverletzungen noch erheblich verbessert werden können.

Eine Anpassung der Schutzhelme an kleinere Kopfgrößen mittels der TRAGEPOLSTERUNG verschenkt nicht nur Energieaufnahme, sondern begünstigt auch eine Helmabschleuderung trotz ordnungsgemäßer (verschlossener Kinnriemen) Helmbenutzung [Schüler, 1982 (118)].

Die Tragepolsterung sollte einen Schaumstoffhöchstwert von etwa 8 mm nicht überschreiten. Zu empfehlen wären Tragepolstermaterialien, die sich der individuellen Schädelform unter Körperwärme und leichtem Druck im Verlauf einiger Stunden anpassen, und somit dem Helm einen festen Sitz geben könnten. Derartige Materialien wurden schon vor

geraumer Zeit mit gleicher Zielsetzung bei der Fertigung von Ski-Schuhen eingesetzt.

Ebenfalls begünstigt wird eine Helmabschleuderung durch einen zu hohen NACKENAUSSCHNITT am Helm. Erst in letzter Zeit gehen die Erkenntnisse dahin, daß die befürchteten Halswirbelsäulen-Verletzungen nur sehr selten auftreten; die Wahrscheinlichkeit einer Helmabschleuderung wegen zu hohen Nackenausschnittes mit der Folge eines Kopfanpralles ohne Helm ist deutlich größer einzustufen als eine helmverursachte Halswirbelsäulenverletzung. Am Institut durchgeführte Versuche haben gezeigt, daß nach Größe und Paßform (Hinterhauptformschluß) richtig gewählte Schutzhelme, deren Kinnriemen ordnungsgemäß verschlossen waren, erst dann abgeschleudert wurden, wenn den Helmbenutzer eine Körperverzögerung (außerhalb des Kopfes) im Bereich lebensfordernder Einwirkungen traf.

Auch Schlüsselbeinfrakturen durch den Helmrand sind entgegen früherer Vermutungen selten; häufig verbirgt sich hinter einem Schlüsselbeinbruch ein reflexartiger Abstützvorgang mit der Hand beim Sturz.

VISIERE geeigneter Ausführung sind unabdingbar; sie müssen ausreichend häufig rastbar ("Stadtstellung") und mit einer Hand problemlos bedienbar sein. Zu fordern sind möglichst hohe Transparenz, gute optische Qualität, hohe Kratzfestigkeit der Visieraußenoberfläche sowie Antibeslagausstattung der Visierinnenoberfläche. Getönte Visiere sind nach vorliegenden Erkenntnissen gefährlich, da sie in Verbindung mit einer verschleißbedingten Minderung der optischen Qualität (Streulicht) unter Umständen einen wesentlichen Verlust an optischer Information herbeiführen können und damit eine Unfallbegünstigung.

Wichtig ist auch die Gestaltung des Helmäußeren, insbesondere die Anbringung des Visiers unter dem Aspekt der Geräuscentwicklung bei höheren Fahrtgeschwindigkeiten. Eigene Feststellungen bei Versuchsfahrten, die mittels Audiometrie bestätigt wurden, ergaben reversible Ohrvertäubungen, die jeweils im Verlauf von max. 24 Stunden wieder abgeklungen waren. Es sollte diesem Problem in Zukunft mehr Aufmerksamkeit zugemessen werden, da bisher nicht ausgeschlossen werden kann, daß sich bei ausreichend häufiger Exposition ein bleibender

Gehörschaden einstellt. Als Fortschritt kann bezeichnet werden, daß die DIN 58 218 [DIN 58 218, 1981 (25)] die wesentlichen Anforderungen an ein Helmvisier nennt, wobei einerseits gewisse Forderungen realitätsfremd erscheinen, andererseits der passive Unfallschutz der Visiere größere Bedeutung finden sollte.

Die HELMBEFESTIGUNG weist in ihrer konservativen Ausführung an den Kinnriemen nach wie vor KINNRIEMENSCHLIEßEN ohne feste Einstellmöglichkeit auf. Diese immer noch sehr häufig anzutreffenden Walzenschließen, gelegentlich auch noch die Doppel-D-Schließen, ist von Nachteil, da unhandlich zu schließen und im Notfall umständlich und zeitraubend zu öffnen.

Drucktasten haben sich - soweit richtig gebaut - als Standardlösung am besten bewährt. Die Drucktaste sollte jedoch auf jeden Fall rot sein, wie sich bei Unfalluntersuchungen zeigte: Mehrfach hatten Rettungssanitäter bei nächtlichen Motorradunfällen erhebliche Schwierigkeiten, Schutzhelme mit weißen Drucktasten verunglückten Kradfahrern vom Kopf zu nehmen, da sie die weißen Drucktasten in ihrer Funktion nicht erkannten.

Eine Wirknorm bezüglich Schutzhelmschließen wäre nach Meinung der Autoren dringend zu erarbeiten. Fest steht, daß umständlich zu bedienende Riemen-schließen u.a. manchen Helmbenutzer dazu verleiten, den Kinnriemen unverschlossen zu belassen oder sich damit zu begnügen, den Kinnriemen lediglich mit dem sogenannten Klettverschluß zu fixieren, der nicht als ein Kinnriemenverschluß angesehen werden darf. Dieser Sachverhalt dürfte das relativ häufige Abschleudern von Schutzhelmen bei Unfällen motorisierter Zweiradbenutzer mitbegründen.

Vom Kinnriemen und seiner Benutzung bzw. Öffnung unabhängig ist das Problem, einen entsprechend gebauten (Hinterschneidung am Kragensteg) und deshalb stramm sitzenden Helm im Ernstfall möglichst ohne Kraftaufwand abzusetzen: Hier könnte z.B. durch entsprechend konstruierte, im Notfall am noch aufgesetzten Helm lösbare Nackenpolster Abhilfe geschaffen werden.

Schutzhelme mit aufklappbarem oder geteiltem Kinnbügel - wie sie bereits im Handel angeboten

werden - berücksichtigen dieses Problem bereits.

Viele Maßnahmen zur Verbesserung von Schutzhelmen erfordern jedoch mehr Zeit als eine unbedingt erforderliche GEZIELTE AUFKLÄRUNG von Benutzern motorisierter Zweiradfahrzeuge und anderen Verkehrsteilnehmern zu wichtigen Schutzhelmfragen z.B. im theoretischen Fahrschulunterricht und während des obligatorischen Kurses in Erster Hilfe.

Abkürzungen

AIS	Abbreviated Injury Scale
BGBI	Bundesgesetzblatt
DIN	Deutsches Institut für Normung e.V.
HDI	Helmet Damage Index
HIC	Head Injury Criterion
IRM	Institut für Rechtsmedizin
MCASI	Motorcycle Accident Severity Index
StVO	Straßenverkehrsordnung

**Unfälle motorisierter Zweiradfahrer
– Sicherheitserhöhung durch technische Maßnahmen
aus der Kenntnis des realen Unfallgeschehens –**

**Max Danner
Klaus Langwieder
Alexander Sporer**

Gliederung

	Seite
Unfälle motorisierter Zweiradfahrer	217
Technischer Sachstand	218
Probleme bei den leichter motorisierten Zweirädern	220
Unfallcharakteristik bei motorisierten Zweirädern	221
Unfallablauf	223
Bewegungsabläufe und Verletzungsmuster	224
Experimentelle Ergebnisse	233
Mathematische Beschreibung des Bewegungsablaufes	232
Ergebnisse	233
Zusammenfassung	238

Unfälle motorisierter Zweiradfahrer

Die Sicherheitsforschung auf dem Zweiradsektor ist im Vergleich zur Pkw-Forschung noch in den Anfängen. Gerade deshalb ist es wichtig, nicht sofort auf globale Lösungen zuzusteuern, sondern nach einer genauen Analyse der Unfallcharakteristik die Schwerpunkte im Unfallgeschehen zu finden. Erst dann ist es möglich, gezielt nach Verbesserungen bzw. neuen Sicherheitselementen zu forschen, die im Endeffekt das Verletzungsrisiko des Zweiradfahrers reduzieren und das Zweiradfahren in Zukunft sicherer machen.

Der HUK-Verband hat Anfang der 70er Jahre als eine der ersten Institutionen begonnen, den Zweiradunfall systematisch zu erfassen und auszuwerten. Dies ist umso bemerkenswerter, als in diesem Zeitraum, im Jahre 1972, der Bestand an Motorrädern so gering wie in keinem anderen Jahr mehr war. Zum Vergleich: 1972 gab es einen Bestand von 198.221 Motorrädern, 1984 betrug dieser Anteil 946.572 Motorräder.

Durch diese sehr früh einsetzende Forschungstätigkeit kann heute auf umfangreiche Grundlagen der Unfallanalyse und der experimentellen Simulation zurückgegriffen werden, die es erlaubt, sinnvolle technische Maßnahmen zur Verletzungsreduzierung vorzustellen.

Bisher sind über 3.500 Zweiradunfälle, in der Bundesrepublik durch Ingenieure des Verbandes ausgewertet und in EDV-Dateien übertragen worden. Diese Unfälle stellen den Ausgangspunkt dar für weiterführende Versuche und mathematische Modelle.

Die Entwicklung der Verkehrsunfälle bei denen Zweiradfahrzeuge beteiligt waren, zeigt nach einem sehr starken Anstieg in den Jahren bis 1982 bei den Motorrädern einen erfreulichen Abwärtstrend (**Abbildung 1**). Auch die Unfallzahlen der Mofas und Mokicks sind rückläufig. Einzig die Unfallzahlen der Leichtkrafträder sind in den letzten Jahren angestiegen. Dies ist in erster Linie auf das Verhalten der jugendlichen Fahranfänger in dieser Klasse zurückzuführen.

Trotzdem sind im Jahre 1984 noch 1.548 tote und 30.544 schwerverletzte Zweiradbenutzer zu verzeichnen gewesen. Man darf daher in den Sicherheitsbemühungen nicht nachlassen.

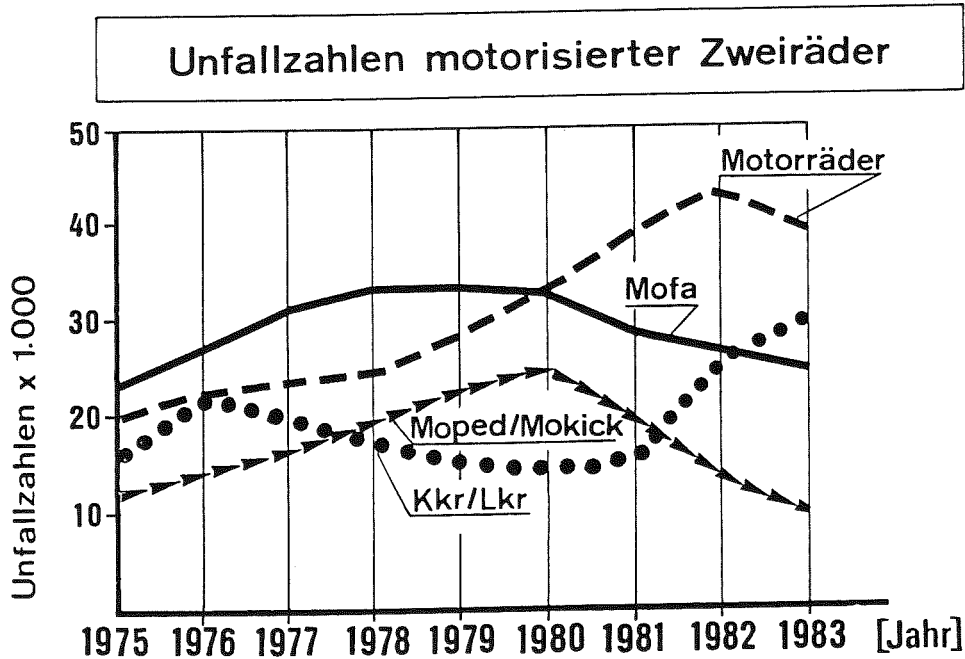


Abbildung 1: Unfallzahlen motorisierter Zweiräder
Quelle: Stat. Bundesamt

Technischer Sachstand

Die Darstellung der Unfallzahlen hat bereits deutlich gemacht, daß eine undifferenzierte Globalauswertung des Zweiradunfalles wenig sinnvoll ist, da jede Zweiradkategorie über spezielle Probleme verfügt. Zur besseren Überschaubarkeit sind die Hauptunterscheidungsmerkmale kurz zusammengefaßt (Abbildung 2).

In der Bundesrepublik Deutschland wird zur Zeit zwischen vier motorisierten Zweiradtypen unterschieden.

- Mit 15 Jahren ist der Einstieg in den motorisierten Straßenverkehr mit dem auf 25 km/h limitierten Mofa möglich.

- Mit 16 Jahren kann zwischen dem 40 km/h schnellen Moped/Mokick und dem 80 km/h schnellen Leichtkraftrad gewählt werden.
- Ab 18 Jahren darf ein Motorrad ohne Leistungsbeschränkung, sieht man von der freiwilligen Begrenzung der Hersteller auf 100 PS ab, gefahren werden.

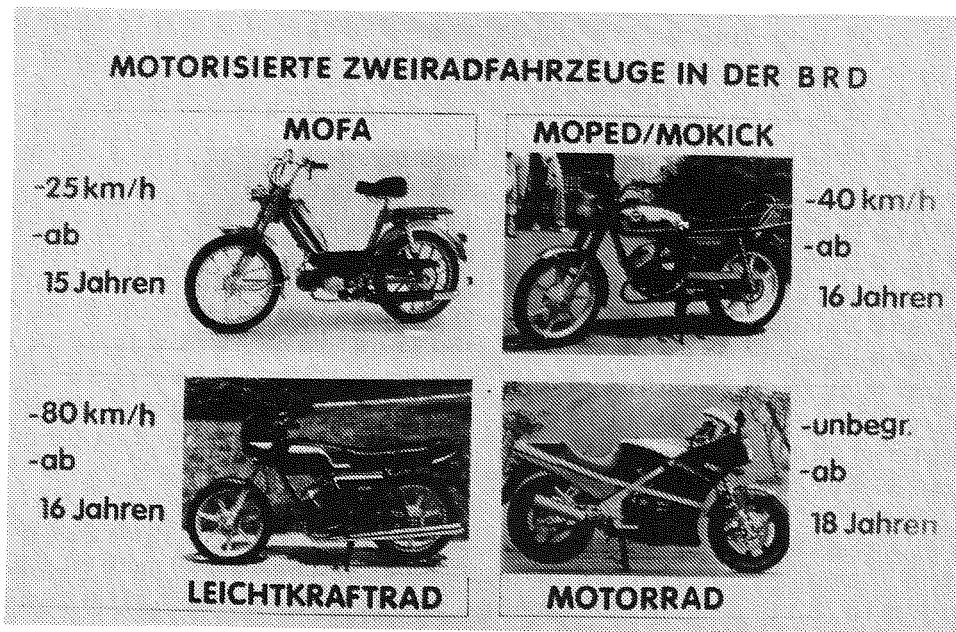


Abbildung 2: Motorisierte Zweiradfahrzeuge in der BRD

Die geplante Einführung eines Stufenführerscheines wird die Gruppe der Motorräder in folgenden Kategorien aufteilen:

- Anfängermotorrad bis 20 kW Leistung und
- Motorrad ohne Leistungsbeschränkung

Jede Fahrzeuggruppe für sich hat eine eigene Unfallcharakteristik, insbesondere ist zwischen den leichter motorisierten Zweirädern und den schweren Motorrädern zu unterscheiden.

Erst die genaue Kenntnis dieser Bewegungsabläufe ist die Voraussetzung für die Erarbeitung von realistischen Sicherheitskonzeptionen.

Probleme bei den leichter motorisierten Zweirädern

Aus einer umfassenden Studie über 1.700 Mofaunfälle [HUK-Verband, 1983 (132)] in Bayern und aus einer speziellen Analyse von 1.000 Leichtkraftradunfällen [Langwieder, (85)] kann entnommen werden, daß ein dominierender Unfallfaktor beim jugendlichen Fahrer und seinem Verhalten zu finden ist. Fehlende Erfahrung und Risikobereitschaft sind der Anlaß für Fahrmanöver, die oft in einem Unfall enden. Jugendliche Fahranfänger erkennen häufig Krisensituationen zu spät.

Ein weiterer Aspekt hält die möglichen technischen Verbesserungen in einem engen Rahmen. Die Konstruktion der Mofas, Mopeds und Mokicks erlaubt kaum zusätzliche Teile am Fahrzeug, da sowieso schon an der unteren Grenze des Fahrzeuggewichtes gebaut wird, um eine konkurrenzfähige Fahrleistung zu erhalten. Außerdem müssen Schutzvorrichtungen, wenn sie ihrer Schutzfunktion gerecht werden sollen, über eine gewisse Festigkeit verfügen, die aber wiederum an einem leichten Rahmen nicht oder nur schwer zu verwirklichen ist.

Wie in einem späteren Abschnitt noch beschrieben wird, trifft dies vor allem bei Seitenkollisionen zu, die bei den kleineren Zweirädern im Vordergrund stehen.

Dieses Ergebnis führt zwangsläufig zu dem Schluß, daß bei der Verwirklichung von technischen Sicherheitsmaßnahmen für die schwächeren Zweiräder nur begrenzte Erfolgsaussichten zu erwarten sind.

Andererseits sind noch längst nicht alle bekannten Sicherheitsreserven verwirklicht.

Ansatzpunkte, hier Verbesserungen zu erarbeiten finden sich z.B. bei den Pedalen des Mofas, die nachgewiesenermaßen zu einem höheren Sturzrisiko führen als Fußrasten. Weitere Verbesserungen sind denkbar bei den lichttechnischen Einrichtungen der Fahrzeuge und bei der Rahmenstabilität. Aber auch Antimanipulations-Maßnahmen am Motor, um eine Leistungs- und Geschwindigkeitserhöhung unmöglich zu machen, fallen unter die wünschenswerten technischen Maßnahmen, die bekannt sind, aber leider noch nicht alle verwirklicht sind.

Unfallcharakteristik bei motorisierten Zweirädern

Die Analyse des Unfallgeschehens aller motorisierten Zweiräder zeigt sinnvolle Ansatzpunkte, besonders bei den schwereren Motorrädern, durch technische Maßnahmen einen Einfluß auf das Verletzungsrisiko zu nehmen. Dazu müssen aber als erstes die Hauptmerkmale dargestellt werden, die den Zweiradunfall charakterisieren.

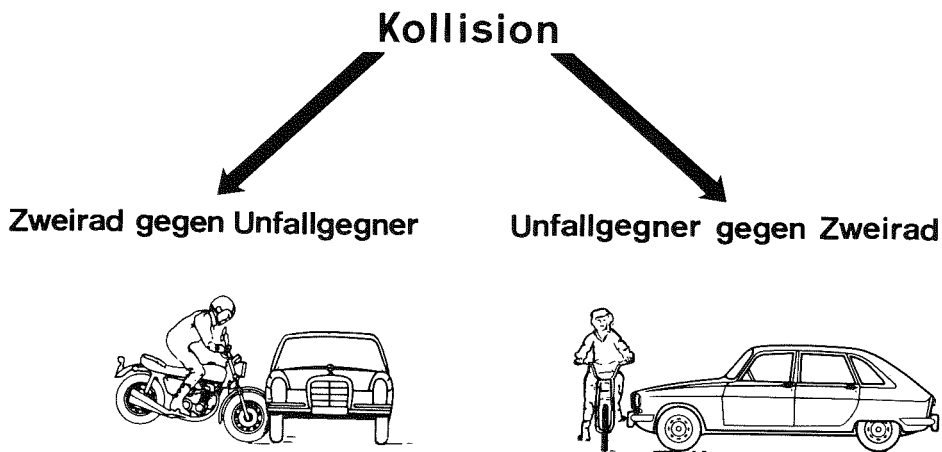
Generell kann man zwischen Alleinunfällen und Kollisionen unterscheiden.

Der Alleinunfall wird augenblicklich in einer Forschungsarbeit untersucht, und es zeichnen sich einige Möglichkeiten ab, technisch auf die Entstehung des Alleinunfalles Einfluß zu nehmen, so wie auf die während des Sturzes stattfindende Verletzungsmechanik.

Bei den angesprochenen Kollisionen, sieht man von den selteneren Streifkollisionen ab, liegen zwei vollständig unterschiedliche Unfallabläufe vor (Abbildung 3).

- Die Kollision des Unfallgegners gegen das Zweirad und
- die Kollision des Zweirades gegen den Unfallgegner

Kollisionen mit Zweirädern



(BEVORZUGT STÄRKER MOT. ZWEIRÄDER)

(BEVORZUGT SCHWÄCHER MOT. ZWEIRÄDER)

Abbildung 3: Kollisionen mit Zweirädern

Im ersten Fall wird der Zweiradfahrer vom Unfallgegner erfaßt und umgefahren.

Die Bewegungsenergie des Zweiradfahrers ist von untergeordneter Bedeutung, und der Bewegungsablauf ähnelt in einigen Punkten dem Fußgängerunfall. In den meisten Fällen wird das Opfer vom Unfallgegner erfaßt, auf die Motorhaube geschleudert und anschließend abgeworfen. Die Verletzungen entstehen primär durch Kontakte mit dem Unfallgegner und sind in erster Näherung proportional zu dessen kinetischer Energie und Formaggressivität. Mit anderen Worten, je schneller und kantiger der Unfallgegner ist, desto schwerwiegender fallen die Verletzungen des Zweiradfahrers aus.

Diese Kollisionsart tritt am häufigsten bei den schwächer motorisierten Zweirädern wie Mofa und Moped/Mokick auf.

Effektive Schutzmöglichkeiten sind dabei, wie schon erwähnt, nur sehr schwer zu realisieren, zumal die leichte Konstruktion dieser Fahrzeuge einen schweren Schutzbügel im Bereich der unteren Extremitäten verbietet.

Beim zweiten Fall, der Kollision eines Zweirades gegen einen anderen motorisierten Verkehrsteilnehmer, sieht der Unfallablauf ganz anders aus. Hier ist die Geschwindigkeit und damit die kinetische Energie des Zweiradfahrers der zentrale Parameter für die Bewegungsbahn und die Verletzungsschwere bzw. -art. Außerdem sind in dieser Gruppe die Motorräder und Leichtkrafträder vertreten und somit die Voraussetzungen, technische Maßnahmen zu verwirklichen, gegeben.

Besonders die teuren und schweren Tourenmotorräder sind ideal geeignet, Sicherheitselemente aufzunehmen, ohne den Motorradcharakter zu verlieren.

Neben diesen erfolgversprechenden Aussichten aus technischer Sicht war auch die relative Häufigkeit dieses Unfalltyps, Zweirad gegen Unfallgegner, Anlaß, tiefer in die Problematik einzusteigen. Die folgende Abbildung 4 aus einer weiteren Untersuchung des HUK-Verbandes macht dies deutlich [Danner, 1984 (119)].

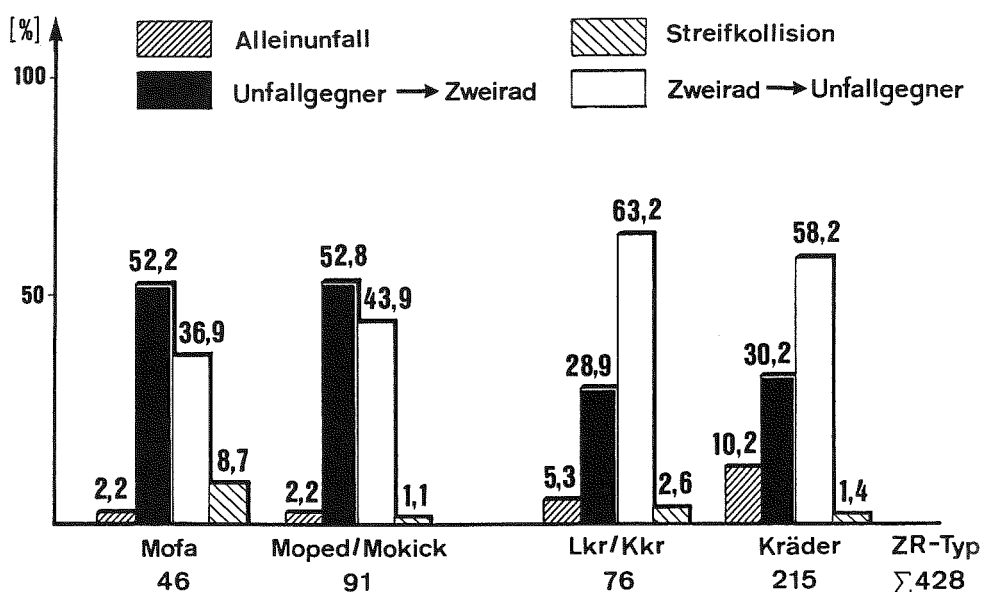


Abbildung 4

Ca. 60% aller Unfälle mit Motorrädern und Leichtkrafträdern fallen in die Kategorie "Zweirad fährt gegen Unfallgegner". Bei den leichter motorisierten Zweirädern entfällt auf diesen Unfalltyp lediglich ein Anteil von ca. einem Drittel.

Zwei Gründe sprechen also dafür, diesen Unfallablauf näher zu untersuchen, nämlich die Häufigkeit und die besseren Erfolgsaussichten für technische Maßnahmen.

Unfallablauf

Zum Erkennen der Ansatzpunkte für zukünftige Sicherheitselemente muß dieser Kollisionsablauf, also der Aufprall eines Motorrades gegen ein anderes Kraftfahrzeug, in seine einzelnen Phasen zerlegt werden (**Abbildung 5**).

In der ersten Phase, der Vorkollisionsphase, werden die Voraussetzungen für die in der zweiten Phase stattfindenden Bewegungsarten bestimmt. Gerade das Zweirad kann aufgrund seiner einspurigen Konstruktion bereits in stürzender Weise in die Kollisionsphase einfahren und somit vollkommen neuartige Bewegungsabläufe produzieren, die beim Pkw-Unfall nicht auftreten.

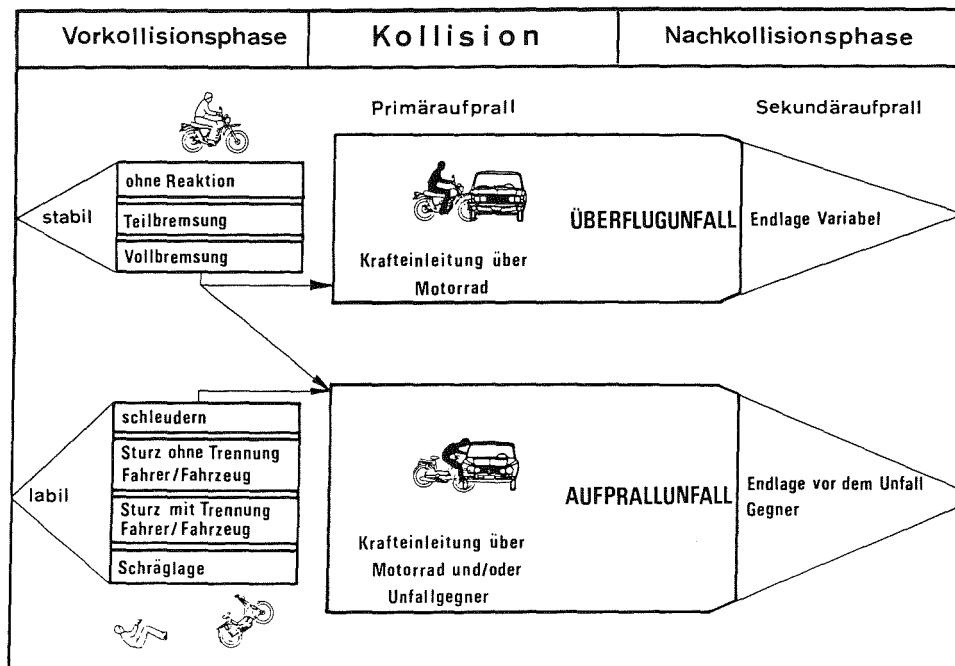


Abbildung 5: Vorkollisionsphase - Kollision - Nachkollisionsphase

In der Kollisionsphase selbst zeigen sich Hauptunterschiede im direkten Aufprall des Fahrers auf den Unfallgegner und im Überflug. Hier entscheidet sich die Verletzungsschwere des Zweiradfahrers, da die Energievernichtung entweder durch den harten Aufprall des Zweiradfahrers auf den Unfallgegner erfolgt oder durch den Überflug abgebaut wird.

Die Nachkollisionsphase zeigt dann das Ergebnis, d.h., ob der Zweiradfahrer einen Aufprall erlitten hat oder seine Energie durch Abrollen auf der Straße vernichten konnte.

Bewegungsabläufe und Verletzungsmuster

Ansatzpunkte, technische Schutzmaßnahmen zu entwickeln, haben also den größten Nutzen in der Vorkollisions- und Kollisionsphase, da hier sozusagen die Weichen gestellt werden für die Entscheidung Aufprall oder Überflug.

Wie entscheidend dieser Unterschied ist, zeigt ein Blick auf die Verletzungsschwere der Motorradfahrer, aufgeteilt nach Aufprall und Überflug. Das reale Unfallgeschehen gibt hier schon den deutlichen Hinweis, daß Sicherheitsmaßnahmen nur dann möglich sind, wenn diese den Zweiradfahrer im Hinblick auf einen belastungsärmeren Überflug beeinflussen (**Abbildung 6**). Die Verletzungsschwere nimmt mit zunehmender Geschwindigkeit zu, der Wert der Verletzungsschwere beim Aufprall übersteigt aber in jedem Geschwindigkeitsbereich den Wert, der sich beim Überflug ergibt.

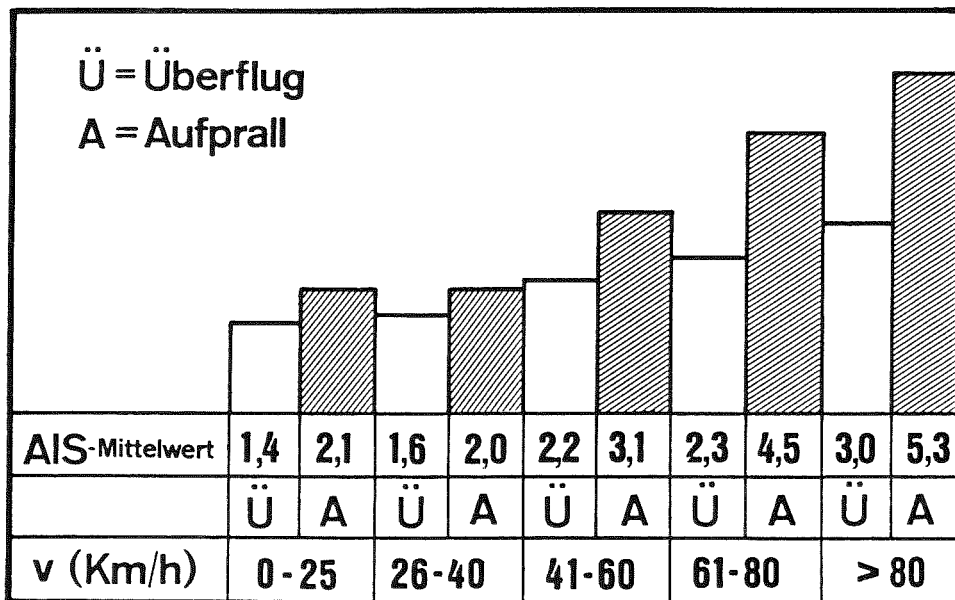


Abbildung 6: Vergleich der Verletzungsschwere in Bezug auf die Kollisionsgeschwindigkeit des Krades

Welche Ursachen lassen sich für diese beobachteten unterschiedlichen Bewegungsabläufe finden.

Die Analyse des realen Unfallgeschehens [Spornier, 1982 (126)] zeigt, daß die Fahrer bestimmter Zweiradtypen häufiger einen Überflug einleiten konnten. Diese Zweiradtypen waren vor allem Enduros oder Geländesporträder (**Abbildung 7**).

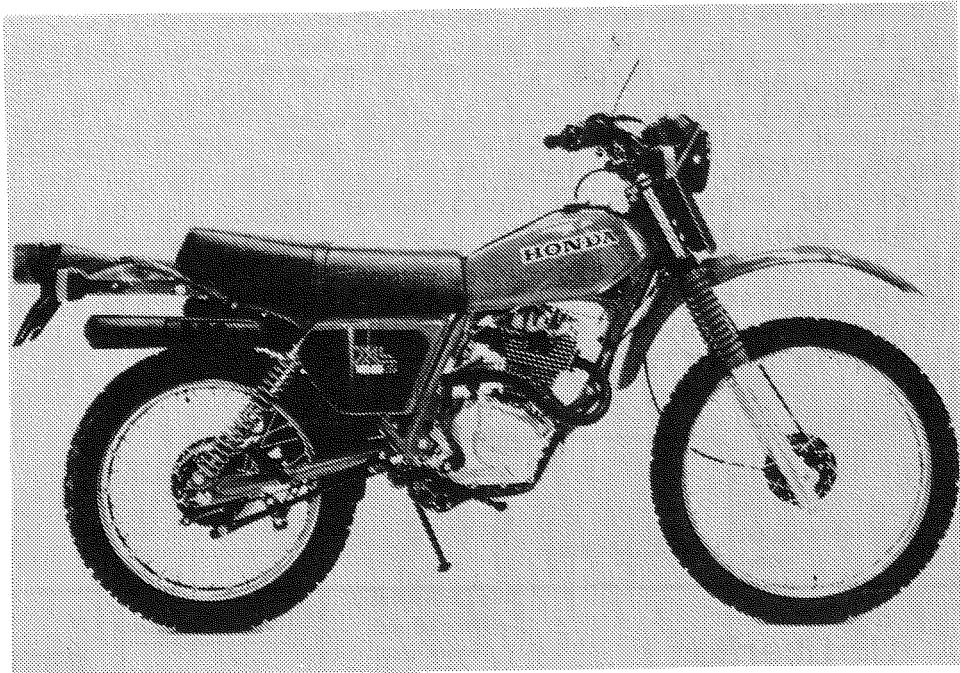


Abbildung 7: Enduro

Bei vergleichbaren Aufprallgeschwindigkeiten und ähnlichen Unfallgegnern konnten die Fahrer von diesen Fahrzeugen sehr viel häufiger ihren Unfallgegner überfliegen als die Fahrer von normalen Motorrädern bzw. Leichtkrafträdern. Dieses Ergebnis zeigt, daß technische Parameter vorhanden sein müssen, die einen Einfluß auf die Bewegungsbahn ausüben. Diese Erkenntnis führte dann zu experimentellen und mathematischen Simulationen der möglichen Einflußparameter und wird im folgenden näher erläutert. Als mögliche Parameter können Punkte in Frage kommen, die sich einmal aus der Konstruktion, das heißt den geometrischen Abmessungen des Zweirades ergeben und zum zweiten aus Abwehrreaktionen des Zweiradfahrers selbst. Lassen wir den zweiten Punkt vorerst außer acht, so ergibt sich eine Variation der Parameter, die die wesentlichen Abmessungen und Eigenschaften eines Motorrades bestimmen:

- **Sitzhöhe**
- **Sitzposition:** Fußrasten, Sitzbank, Lenker
- Form von **Kontaktflächen:** Tank, Lenker, Prallpolster

Experimentelle Ergebnisse

Im experimentellen Teil der Untersuchung wurden zwei Reihen von Crashversuchen durchgeführt, die sich einerseits sehr gut gegenseitig ergänzten, andererseits jede für sich zu wichtigen Einzelergebnissen führte; der Realcrash und der Schlittentest.

Im Realtest wurden Motorräder gleichen Typs gegen verschiedene Fahrzeugflächen eines stehenden Pkw gefahren (Abbildung 8).

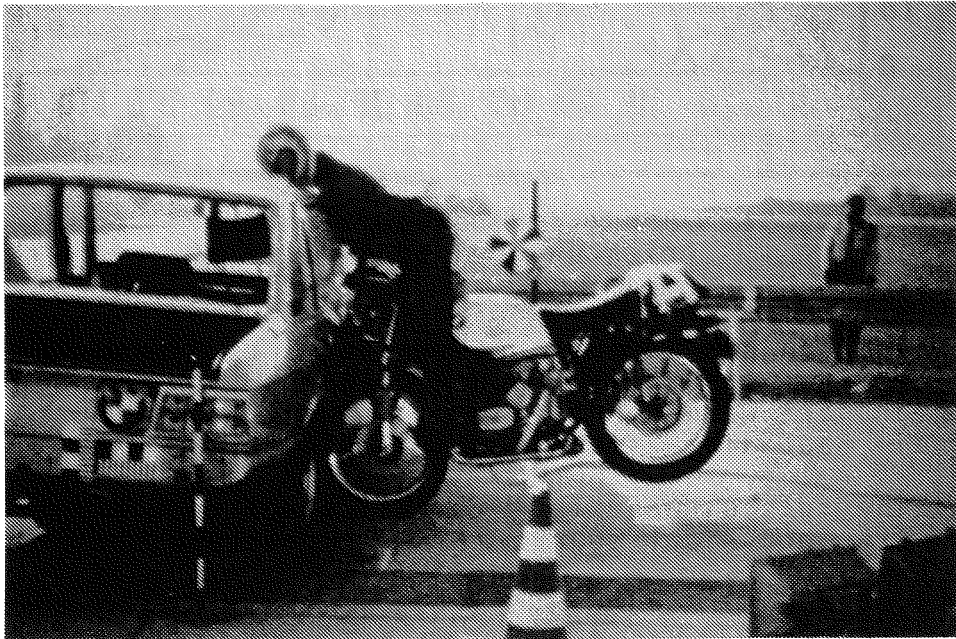


Abbildung 8: Motorrad im Realtest

Neben den Verzögerungen des Motorrades wurden die Verzögerungen des Kopfes und der Brust eines "50%-Sierra-Dummy's" gemessen und durch Hochgeschwindigkeitsfilme eine chronologische Darstellung aller Ereignisse in den ersten 200 ms erstellt. Die gemessenen Verzögerungen des Motorrades lassen folgende Schlüsse zu (Abbildung 9).

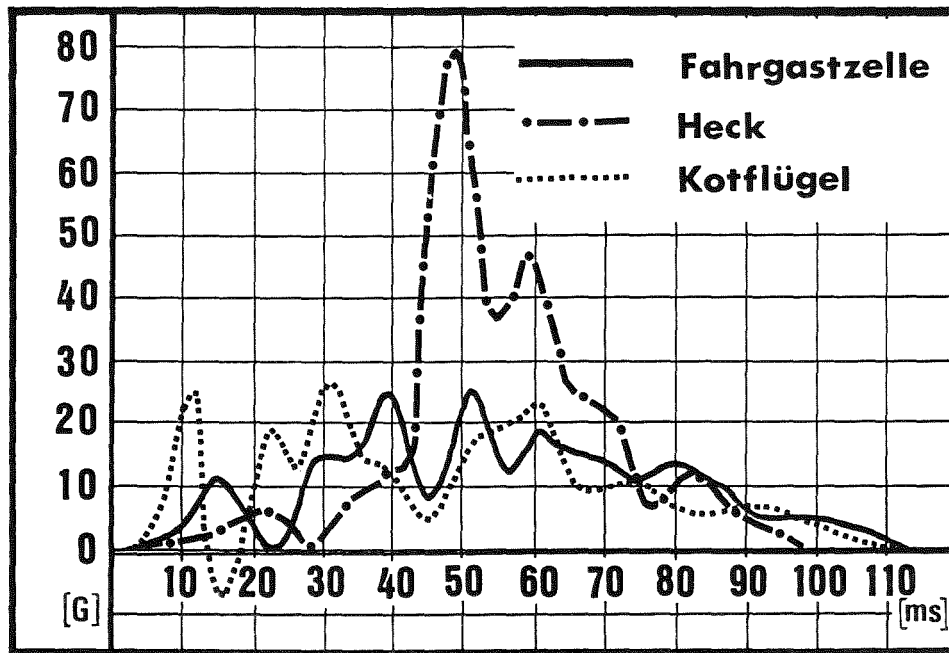


Abbildung 9: Resultierende Verzögerung in Fahrtrichtung bei 50 km/h Crash

- Die Form des Verzögerungsverlaufes des Motorrades kann theoretisch durch technische Maßnahmen variiert werden, da sie im wesentlichen durch die Bauteile Reifen-Gabel-Felge bestimmt wird.
- Eine solche Maßnahme in Hinblick auf den Fahrer wäre aber nicht sehr erfolgsversprechend, da:
 1. Der Zweiradfahrer nur durch Sitzreibung mit dem Motorrad verbunden ist und somit eine weiche Verzögerung nicht weitergeleitet werden kann.
 2. Die Verzögerung des Zweirades aber auch stark von der Geometrie und Festigkeit des Aufprallpunktes abhängig ist, wie der Verlauf der Verzögerung beim Heck-Crash zeigt. Hier konnten sich Reifen-Gabel-Felge nicht in gewünschter Weise verformen, sondern das Motorrad hat das Heck des Pkw mit dem Vorderreifen unterfahren und ist erst durch den sehr harten Kontakt zwischen Lenkerkopf und Stoßstange stark verzögert worden. Im Bewegungsablauf

des Dummies war aber keine Reaktion auf diese unterschiedliche Verzögerung zu erkennen.

Die Verzögerung hat also einen vernachlässigbaren Einfluß auf die Bewegungsbahn des Zweiradfahrers.

Die chronologische Darstellung der einzelnen Ereignisse liefert dagegen wichtige Hinweise (Abbildung 10).

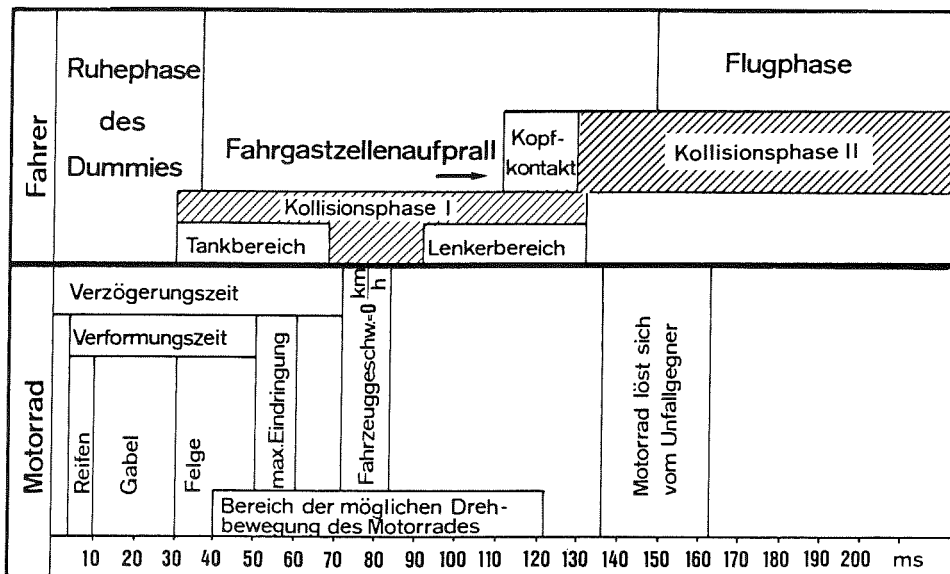


Abbildung 10: Chronologische Darstellung des Kollisionsablaufes $V_{Koll}=50 \text{ km/h}$

Im oberen Teil des Bildes sind die Aktivitäten des Dummy's vermerkt, im unteren Teil die Verformungen und Bewegungen des Zweirades. Dadurch lassen sich beide Systeme miteinander in Bezug bringen.

Nimmt man den Fall einer Kollision gegen die Fahrgastzelle eines Pkw mit einer Kollisionsgeschwindigkeit von 50 km/h, so finden die wichtigsten Ereignisse in den ersten 100 ms nach t_0 statt. Dies ist eine sehr kurze Zeit, um Maßnahmen wirken zu lassen, trotzdem aber besteht die Möglichkeit, in dieser Zeit durch Variation einiger Konstruktions-

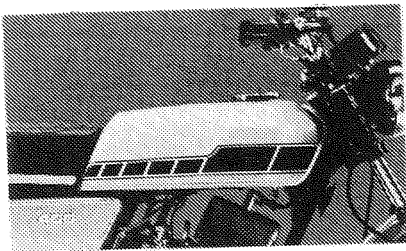
elemente die Bewegungsbahn des Zweiradfahrers zu beeinflussen.

Das Ziel einer Sicherheitskonzeption war ja, einen Überflug einzuleiten oder die Gefahrenzone Dachkante für den Kopf zu entschärfen [Langwieder, 1977 (84)].

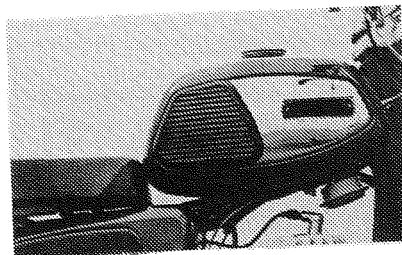
Der erste Kontakt nach t_0 zwischen Dummy und Motorrad findet nach ca. 30 ms statt. Der Unterkörper stößt dabei gegen den Tank.

Bei der Variation der Tankformen [Sporner, 1982 (126)] hat sich gezeigt, daß ein ca. 40° - 45° ansteigender Tank den besten Kompromiß darstellt (Abbildung 11).

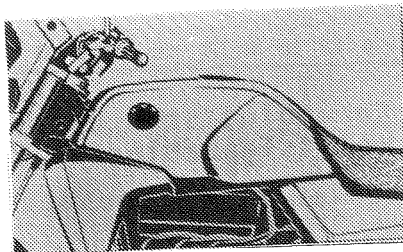
Tankformen



zu flacher Tank



zu steiler Tank



ca. 40° - 45°

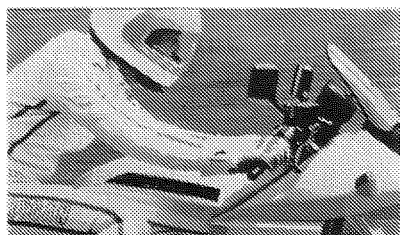
Abbildung 11: Tankformen

Ein zu flacher Tank übt erstens keinerlei Reaktionskraft auf den Fahrer aus, die den Schwerpunkt anhebt und zweitens ist bei einem zu flachen Tank der Aufprall der Oberschenkel auf den Lenker ungedämpft, da kein Geschwindigkeitsabbau erfolgt.

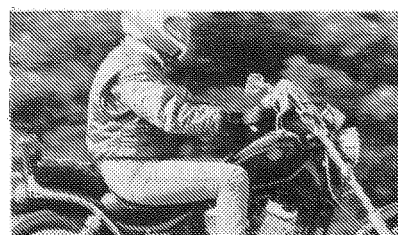
Ein steiler Tank hebt den Schwerpunkt des Zweiradfahrers zwar an, ist aber leider mit einer starken Rotation des Oberkörpers um den Unterkörper verbunden, die den Kopf nicht aus der Gefahrenzone bringt.

Der Lenker des Motorrades ist in doppelter Hinsicht von Einfluß. Einmal wird durch seine Form die Sitzposition festgelegt, und zum anderen ist der Lenker verantwortlich für schwere Oberschenkelverletzungen, wenn es zu einem Aufprall auf ihn kommt. Das Ziel bei der Optimierung ist es also, die für einen Überflug günstigste Sitzposition zu finden und den Aufprall der unteren Extremitäten zu vermeiden (Abbildung 12).

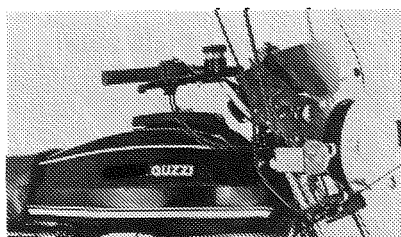
Lenkerformen



tiefer Lenker



Chopperlenker



Tourenlenker

Abbildung 12: Lenkerformen

Auch hier hat sich der Mittelweg in Form eines Touren- oder Geländelenkers als am günstigsten erwiesen. Ein zu flacher Lenker, wie er oft bei Sportmaschinen zu sehen ist, bringt den Motorradfahrer in eine sehr geduckte Sitzposition, bei der die Kopfhöhe relativ zur Oberkante des Unfallgeg-

ners tief ist. Diese sehr niedrige Kopfposition durch technische Maßnahmen innerhalb der ersten 100 ms derart anzuheben, daß der Kopf aus dem Gefahrenbereich der Dachkante kommt, ist äußerst schwierig, wenn nicht unmöglich.

Ein sehr hoher Lenker, auch Chopperlenker genannt, bringt zwar eine optimale Sitzposition, hat aber leider im Verlauf der Kollision Eigenschaften, die zum Verhaken des Körpers am Lenker führen und somit einer angestrebten Flugbahn im Wege stehen. Außerdem ist die Sitzhöhe bei Chopper-Motorrädern sehr niedrig.

Mathematische Beschreibung des Bewegungsablaufes

Alle bisher beschriebenen Variationen wurden bereits auf einer Schlittenanlage durchgeführt, mit der die Kontrolle der Auswirkung der einzelnen Parameter am einfachsten möglich war. Gleichzeitig wurde in einem mathematischen Simulationsprogramm der Bewegungsablauf berechnet, um die auftretenden Kräfte und Verzögerungen zu erhalten. Durch ein umgewandeltes Insassenmodell mit 10 Freiheitsgraden konnten die Kräfte und Bewegungen eines Motorradfahrers simuliert werden, der gegen ein festes Hindernis, einen Pkw prallt [Spörner, 1982 (126)], (Abbildung 13).

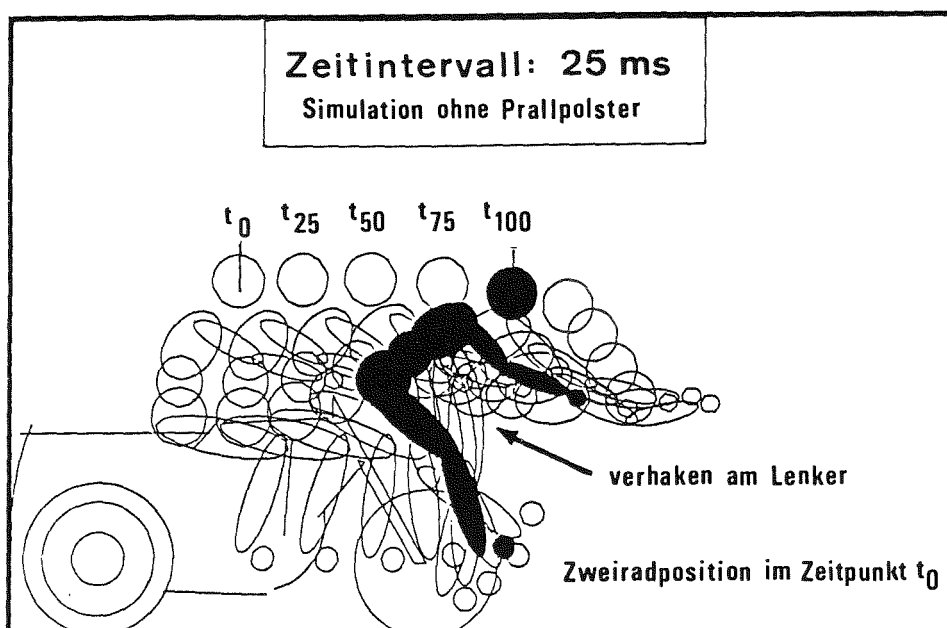


Abbildung 13: Simulation ohne Prallpolster

Ergebnisse

Die erste positive Beeinflussung der Bewegungsbahn des Zweiradfahrers ergab sich rechnerisch und experimentell nach der Einführung von Prallpolstern vor den Beinen des Fahrers.

Der ungünstige Aufprall der Beine auf den Lenker konnte dadurch vermieden werden. Damit ist erstens die Gefahr der Oberschenkelverletzungen gebannt, aber auch das Verhaken am Lenker, auch Klappmesserereffekt, kann damit eliminiert werden. Eine optimale Funktion des Knie-Pads schließt ein, daß die Abstützung über den gesamten Unterschenkel erfolgen muß.

Die volle Wirkung des Prallpolsters konnte anschließend bei der Kombination mit einem Tourenlenker beobachtet werden, da in diesem Fall auch eine Beeinflussung der Flugbahn erfolgte, (Abbildungen 14 und 15).

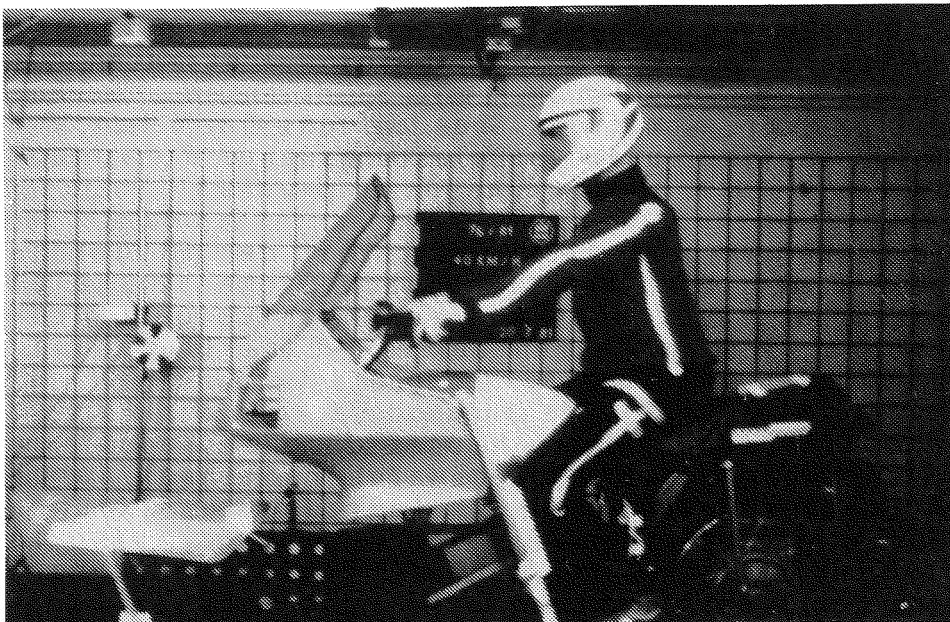


Abbildung 14

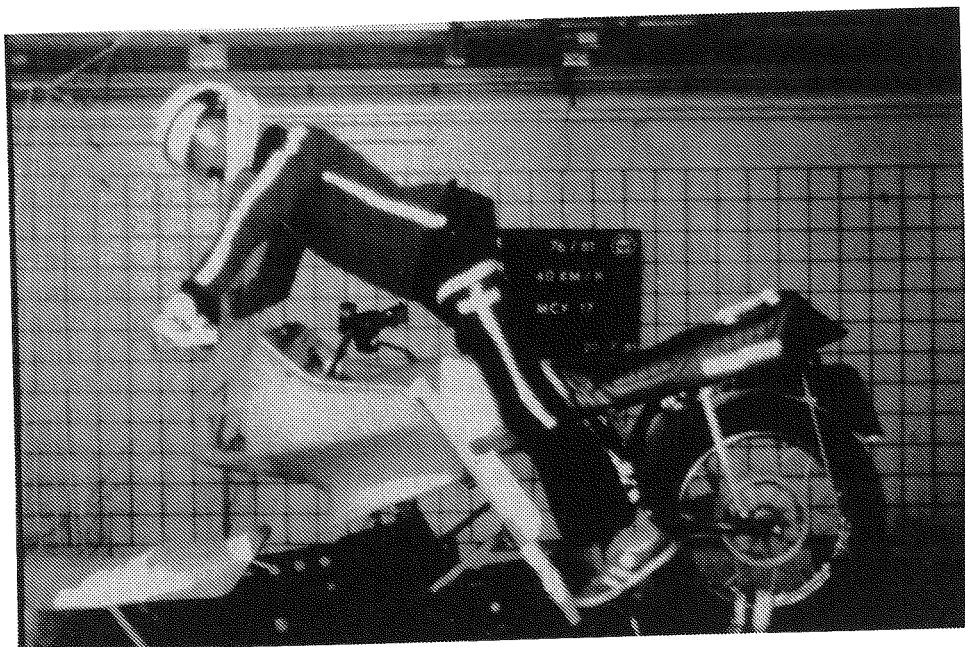


Abbildung 15

Der Körper des Dummys streckte sich, und der Aufprallpunkt des Kopfes lag um einige Zentimeter höher als bei den Versuchen mit Sportlenker und ohne Prallpolster, womit der Stoß auf das Dach tangentialer verlief, und die Belastungswerte sich reduzierten.

Die bisher vorgestellte Möglichkeit der Flugbahnbeeinflugung bzw. die Suche nach Sicherheitselementen hat damit noch keinen Abschluß gefunden, sondern wird im Rahmen der HUK-Unfallforschung weitergeführt.

In den letzten Jahren hat es durchaus nicht an Vorschlägen gemangelt, den Zweiradfahrer durch Rückhaltevorrichtungen am Fahrzeug zu fixieren bzw. in irgend einer Form das Verhakungsrisiko zu mindern. Bei der Durchsicht der Patentanmeldungen sind Konstruktionen zu finden, die teils futuristisch, teils laienhaft versuchen, Sicherheit auf dem motorisierten Zweirad zu erzwingen. Die Wahrscheinlichkeit, diese Erfindungen zu realisieren, ist sehr gering, da meist die Wirkung des neuen Sicherheitselementes unsicher ist oder die Kon-

zeption des gesamten Motorrades verändert werden würde.

Anders dagegen verhält sich dies bei einem Sicherheitselement, das eigentlich für Personenkraftwagen entwickelt worden ist, nämlich dem Luftsack oder Airbag. Zum momentanen Zeitpunkt ist der Airbag eines der sehr wenigen Pkw-Sicherheitselemente, die auch auf dem Zweiradsektor eine Wirkung zeigen könnten, allerdings nur, wenn er auf der Basis der bisher besprochenen Maßnahmen zusätzlich eingesetzt wird und zweiradspezifische Eigenschaften nicht verändert.

Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, muß nämlich die Wirkung des Airbags erweitert werden. Beim motorisierten Zweirad ist neben der Aufpralldämpfung auch eine Flugbahnbeeinflussung durch den Airbag denkbar. Im Vergleich zum Pkw-Airbag ergeben sich für den Zweirad-Airbag andere Prioritäten, nämlich:

1. Beeinflussung der Flugbahn
2. Aufpralldämpfung

Bereits vor über zehn Jahren experimentierten die beiden Forscher Hirsch und Bothwell [Hirsch; Bothwell, 1973 (49)] mit Luftsäcken auf dem Motorrad; damals hauptsächlich mit dem Ziel, den Zweiradfahrer vor dem Aufprall auf den Unfallgegner zu schützen. Eine Beeinflussung der Flugbahn wurde nicht in Erwägung gezogen, so daß sich die Form des damaligen Airbags an einer Abstützung orientieren mußte. Dieser Airbag hatte außerdem ein Volumen von ca. 200l und war somit äußerst schwierig zu füllen.

Eine Weiterentwicklung der seinerzeit vorgestellten Ideen ist nicht bekannt geworden, außer einem aufblasbaren Schutzanzug für den Motorradfahrer selbst, der aber nie seine Funktion voll erfüllen konnte, da die Füllung mit Pressluft erfolgte und somit länger als 150 ms dauerte. Diese Zeit reicht aus, um bei einem Sturz den Zweiradfahrer zu schützen, aber nicht bei einer Kollision, bei der die entscheidenden Ereignisse in den ersten 100 ms stattfinden.

Glücklicherweise ist durch die Aktivitäten auf dem Pkw-Sektor die Technik des Airbags weiter ent-

wickelt worden, so daß grundlegende Erkenntnisse übernommen werden können. Die Füllung der Airbags erfolgt heute, in der dritten Generation, durch Festtreibstoffabbrand und nicht mehr durch Druckluft wie in der ersten Generation oder durch Hybridgeneratoren, die aus Festtreibstoff und Flüssiggas bestanden, wie in der zweiten Generation. Dieser definierte Abbrand mit gesteuerter Expansion ermöglicht Aufblaszeiten, abhängig von der Temperatur, von ca. 30 ms, [Daimler-Benz, (92)]. Da der chronologische Ablauf bei einer Motorradkollision durch die vorangegangenen Versuche bekannt ist, kann gesagt werden, daß diese Zeit ausreichend ist, um die Schutzwirkung realisieren zu können.

Das Volumen des Kissens, beim Pkw ca. 60 l, wird für das Motorrad mit großer Sicherheit nicht ausreichend sein. Weitere Optimierungspunkte sind außerdem die Form des Luftsackes und seine Unterbringungen am Zweirad, um die beiden vorrangigen Ziele möglichst gut zu erfüllen.

Die Auslösung des Treibsatzes und die elektronische Überwachungsanlage sind in dieser Aufzählung absichtlich nicht erwähnt worden.

Diese Teilkomponenten des Systems stehen in der augenblicklichen Phase noch nicht im Vordergrund, denn erst muß gezeigt werden, wie eine optimale Beeinflussung des Zweiradfahrers durch Abstimmung aller Maßnahmen erreicht werden kann, und dann erst kann die Lösung dieser Teilprobleme in Angriff genommen werden.

Auf der Basis dieser theoretischen Überlegungen und der bereits geleisteten Vorarbeiten [Spörner, 1982 (126); Langwieder, 1977 (84)] wurde eine erste Versuchsreihe gestartet, um die Wirkung des Airbags im Experiment zu beobachten.

Die folgende **Abbildung 16** zeigt die Simulation einer Kollision mit einem Airbag auf der schon erwähnten Schlittenanlage. Der Dummy wird dabei durch den Airbag etwas angehoben und kommt somit ebenfalls aus dem Gefahrenbereich der Dachkante. Im weiteren Verlauf kann der Airbag aber auch eine Aufpralldämpfung übernehmen, da er sich mit dem Körper in Richtung Unfallgegner bewegt.



Abbildung 16

Weitere Arbeiten müssen zeigen, welche der oben genannten Ausführungen für das Zweirad am effektivsten ist.

Weitere Probleme, wie z.B. wirtschaftliche Gesichtspunkte oder Fragen zur Aktivierungssicherheit, müssen in folgenden Phasen untersucht werden. Preise um die 2.000,00 DM, wie sie zur Zeit für einen Pkw-Airbag verlangt werden, sind für Motorräder illusorisch.

Trotzdem darf die Suche nach technischen Sicherheitselementen nicht an diesen Hindernissen scheitern, denn durch erhöhte Akzeptanz des Airbags beim Pkw werden mit Sicherheit die Systemkosten auf Dauer reduziert, was auch dem Motorradfahrer im Endeffekt zu Gute kommen könnte.

Zusammenfassung

Die Komplexität des Zweiradunfalles erfordert bei der Suche nach technischen Maßnahmen zur Sicherheitserhöhung eine genaue Kenntnis der Bewegungsabläufe und Unfallcharakteristika. Bei den in Deutschland vertretenen motorisierten Zweiradtypen scheinen bei den schwächer motorisierten Zweirädern wie Mofa, Moped und Mokick nur begrenzte Möglichkeiten zu bestehen, durch technische Maßnahmen die Sicherheit entscheidend zu beeinflussen. Dies hängt einmal von der Konstruktion und Rahmensteifigkeit ab, andererseits von der Kollisionsmechanik, da diese Zweiräder meist vom Unfallgegner angefahren werden.

Bei den stärkeren Motorrädern sehen die Aussichten erfolgsversprechender aus, selbst wenn es einen totalen Schutz nicht geben kann. Hier ist zum einen die Kollision des Motorrades gegen den Unfallgegner dominierend, und die Konstruktion des Motorrades erlaubt zusätzliche technische Maßnahmen, die die Sicherheit erhöhen können.

Aus der Analyse des realen Unfallgeschehens und durch experimentelle und mathematische Simulationen wurde folgende Forderung erarbeitet.

Ein wirksames Sicherheitselement für den Motorradfahrer muß einen Einfluß auf seine Bewegungsbahn ausüben. Erst wenn der direkte Aufprall auf den Unfallgegner vermieden wird, reduziert sich das Verletzungsrisiko. Die Summe aller möglichen Maßnahmen ist in der letzten Abbildung noch einmal zusammengefaßt (Abbildung 17).

Beim Aufprall gegen einen Pkw kann durch

- eine möglichst hohe Sitzposition,
- einen Tourenlenker, der mit einem Prallpolster vor den Beinen kombiniert ist,
- einen optimierten Tank,
- ein Antidivesystem, das im Moment einer Notbremsung den Körper des Zweiradfahrers nicht absinken läßt,
- und ein Airbagsystem

das Risiko, schwere bzw. tödliche Verletzungen zu erleiden, wesentlich reduziert werden. Darüber hinaus können bei Seitenkollisionen und Stürzen durch integrierte Schutzbügel die Beine des Zweiradfahrers zusätzlich geschützt werden.

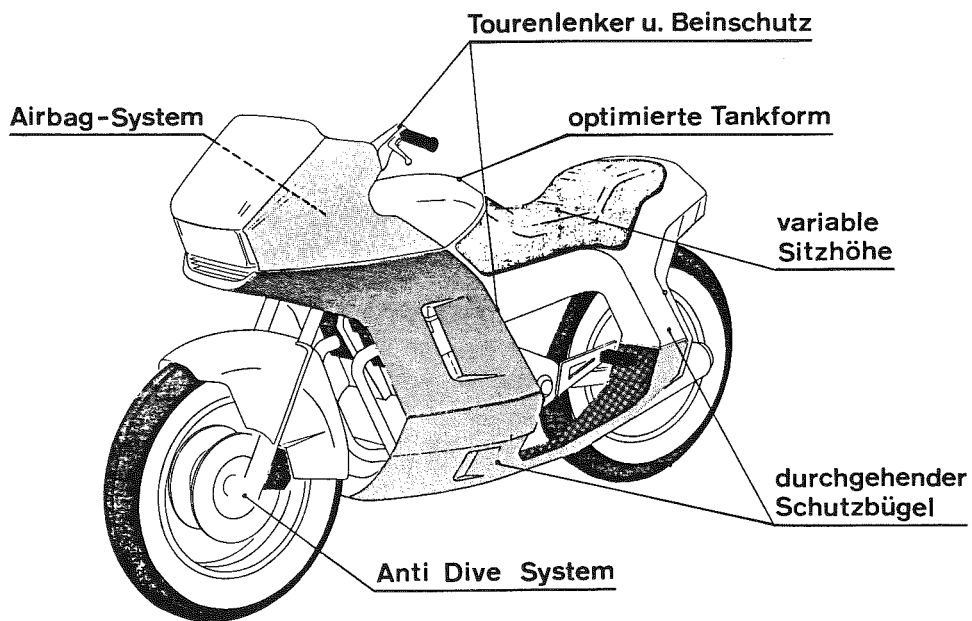


Abbildung 17

Wie realistisch und andererseits leicht durchführbar die von uns erarbeiteten technischen Maßnahmen sind, zeigen die neuesten Modelle einiger Motorradhersteller, die Ansätze von Sicherheitselementen bereits verwirklicht haben. Da eine volle Schutzwirkung aber nur durch die Kombination aller vorgeschlagenen Elemente gewährleistet ist, ist noch erhebliche Entwicklungsarbeit notwendig, und es ist zu hoffen, daß es nicht mehr allzu lange dauert, bis die heute erkennbaren technischen Sicherheitsmaßnahmen realisiert sind.

**Experimentelle Untersuchungen an
Motorradfahrerschutzbekleidung unter besonderer
Berücksichtigung von Schutzhandschuhen**

**Bernward Bayer
Bert Breuer**

Gliederung

Kapitel		Seite
1.	Einleitung	243
2.	Anforderungen an Schutzkleidung	244
3.	Unfallanalyse und statistisches Zahlenmaterial	246
4.	Vorgehensweise für experimentelle Untersuchungen	250
5.	Ergebnisse	259
5.1	Allgemeines	259
5.2	Ergebnisdarlegung und Diskussion	260
5.3	Fotodokumentation	267
6.	Zusammenfassung	275

1. Einleitung

Infolge fehlender Knautschzonen und geeigneter Rückhaltesysteme ist das Risiko, bei einem Unfall mit einem motorisierten Zweirad schwerwiegende Verletzungen zu erleiden, wesentlich größer als beim modernen Pkw. Der Körper des Zweiradfahrers kollidiert während des Unfallablaufs direkt mit dem Unfallgegner oder dem Straßenbelag. Eine Milderung eventueller Folgen erscheint derzeit nur durch Verwendung geeigneter Schutzkleidung möglich.

Einen Teil dieser Schutzkleidung stellt der spezielle Motorradfahrer-Handschuh dar. Der vorliegende Bericht des Fachgebiets Fahrzeugtechnik der Technischen Hochschule Darmstadt (FZD) soll einen Beitrag zur Klärung der Frage leisten, welche Kriterien zur Beurteilung der grundsätzlichen Eignung eines solchen Kleidungsstückes heranzuziehen sind und welche Lederarten für Handschuhe für die speziellen Erfordernisse des Motorradfahrens geeignet erscheinen.

2. Anforderungen an Schutzkleidung

An die Oberbekleidung des Kraftradfahrers wird - anders als bei der üblichen Bekleidung - ein ganzes Spektrum von Forderungen gestellt. Zweckmäßig ausgesuchte Motorradfahrerschutzbekleidung kann sowohl die aktive als auch insbesondere die passive Sicherheit erhöhen, da beim Kraftrad - anders als beim modernen Pkw - Sicherheitseinrichtungen wie Fahrgastzelle, Rückhaltesysteme und Knautschzonen weitestgehend fehlen und auch bei Beibehaltung des zweiradtypischen Erscheinungsbildes kaum realisierbar sind.

Abbildung 1 zeigt den Anforderungskatalog an Schutzkleidung in einer systematischen Übersicht. Angesichts der sicherheitstechnischen Bedeutung, die der Schutzkleidung zukommt, verwundert es, daß keine Normen bezüglich der Qualitätsanforderungen an die Schutzkleidung bestehen und daß auch die zahlreichen in- und ausländischen Hersteller keine aussagekräftigen standardisierten Richtwerte über die Eigenschaften ihrer Produkte angeben können.

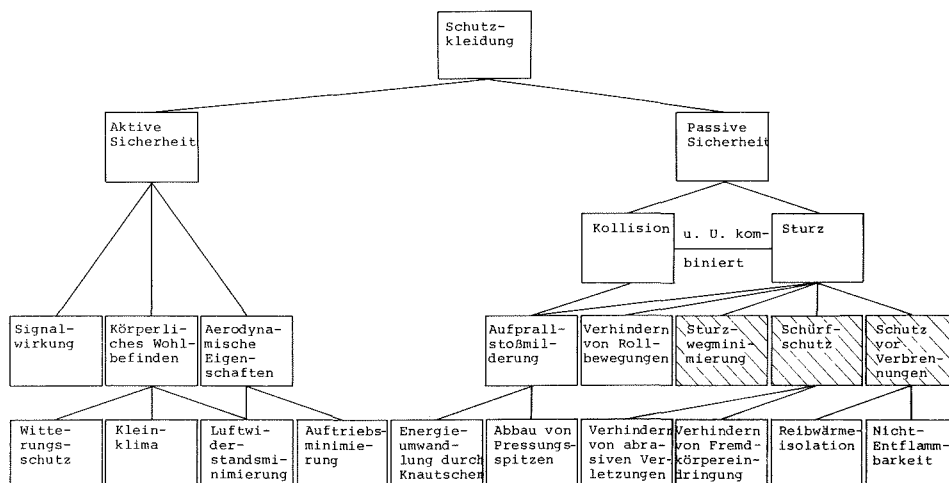


Abbildung 1: Anforderungskatalog an Schutzkleidung

Der Käufer ist durch die angebotene Vielfalt verschiedener Materialien und Ausführungen bei der Wahl seiner Schutzkleidung speziell unter dem Aspekt der passiven Sicherheit überfordert, vorausgesetzt er ist überhaupt grundsätzlich bereit, sich Schutzkleidung zuzulegen und sich dabei nicht ausschließlich von modischen Aspekten und Pseudo-Sicherheits-Slogans leiten zu lassen.

Während die verschiedenen Funktionen des Schutzhelmes heute nach bestehenden Normen und Richtlinien überprüft werden und der Helm durch weltweite Untersuchungen hinsichtlich seiner Wirkmechanismen relativ gründlich erforscht ist, sind auf dem Gebiet der Schutzkleidung bisher fast ausschließlich einige wenige statistische Untersuchungen veröffentlicht worden.

3. Unfallanalyse und statistisches Zahlenmaterial

Prinzipiell unterscheidet man beim Zweirad zwei verschiedene Unfallarten: Den Alleinunfall (Sturz) und den Unfall mit Beteiligung von primären Kollisionspartnern (Aufprall). In vielen Fällen treten Vermischungen auf. Wie bereits in Abbildung 1 angedeutet, kann es vorkommen, daß nach einem Aufprall (beispielsweise auf einen Pkw) eine Flugphase mit sekundärem Aufprall auf die Straße erfolgt und anschließend eine Rutschphase bis zum endgültigen Stillstand mit Endlage des Verunglückten stattfindet. Ebenso kann es im Verlauf eines Sturzes zu einer abrupten Unterbrechung des Rutschvorganges kommen, wenn z.B. ein Anprall an einen Stützpfeiler einer Schutzplanke eintritt [Schüler, 1984 (116)].

Schutzkleidung und damit auch speziell Handschuhe sollen beim Zweirad außer dem aktiven Schutz (z.B. Witterung) der Vermeidung oder Schwereverminderung von Unfallverletzungen dienen. Dies gilt insbesondere bei Verletzungen durch Aufprall auf die Straße mit einer anschließenden Rutschphase [Jesl, 1978 (61)].

Die hier betrachteten Wirkungsweisen von Schutzhandschuhen beziehen sich also auf die in Abbildung 1 schraffiert unterlegten Einzelpunkte. Im wesentlichen wird somit die Wirksamkeit von Schutzkleidung in bezug auf Sturzwegminimierung, Schürfschutz und Reibwärmisolation behandelt.

Wie in Jensen, 1982 (60) aufgezeigt wird, ist aber auch bei Kollisionsunfällen eine Senkung der Verletzungshäufigkeit bei oberflächlichen Anprallverletzungen durch das Tragen von Schutzhandschuhen zu verzeichnen.

Tabelle 1 aus Jensen, 1982 (60) verdeutlicht das Trageverhalten bezüglich Schutzkleidung von Fahrern verschiedener Kategorien motorisierter Zweiradfahrzeuge. Auffällig ist, daß bei den untersuchten 237 Unfällen in der Bundesrepublik Deutschland die Handschuhtragequote generell unter 50% lag, obwohl eigentlich kein Teil der Körperoberfläche beim Tragen von Schutzkleidung ausgespart werden sollte, wie in Jensen, 1982 (60) festgestellt wird.

	Mofa 47=100%	Moped 74=100%	KKrad 25=100%	Krad 91=100%
keine Schutzkleidung Anzahl / %	39 / 83	31 / 41,9	8 / 32	17 / 18,7
Jacke Anzahl / %	1 / 2,1	12 / 16,2	9 / 36	32 / 35,2
Nierengurt Anzahl / %	4 / 8,5	22 / 29,7	9 / 36	44 / 48,4
Kombi Anzahl / %	1 / 2,1	3 / 4,1	2 / 8	8 / 8,8
Handschuhe Anzahl / %	4 / 8,5	24 / 32,4	10 / 40	45 / 49,5
Stiefel Anzahl / %	---	6 / 8,1	3 / 12	31 / 34,1
schützende Kleidung, nicht motor- radspezifisch Anzahl / %	---	5 / 6,8	---	2 / 2,2
nicht erfaßt Anzahl / %	---	4 / 5,4	---	12 / 13,2

Tabelle 1: Schutzkleidungs-Trageverhalten

In einer schwedischen Studie [Protective Effect, 1981 (107)] hingegen wird von einer Handschuhtragequote von 79% berichtet, wobei 131 Unfälle untersucht wurden. Dabei war eine signifikante Senkung der Handverletzungen von 48% bei den Verunfallten ohne Handschuhe auf 18% beim Tragen von Handschuhen ermittelbar.

Ähnliche Ergebnisse (aus USA) bezüglich der Verletzungsminderung sind in Hurt, 1981 (55) verzeichnet, wobei dort die interessante Feststellung getroffen wird, daß Schutzkleidung tragende Zweiradfahrer nicht nur besseren Schutz genießen, sondern auch seltener in Unfälle verwickelt sind als solche, die auf Schutzkleidung verzichten. Weiterhin wird dargelegt, daß sehr leichte Handschuhe, speziell solche aus Stoffgewebe, keinerlei Schutz bieten, während starke Materialien besonders Schürfverletzungen gut vermeiden können. Eine Reduktion der Anzahl von Knochenfrakturen an Hand und Handgelenk ist hingegen auch durch das Tragen von Handschuhen nicht zu erreichen. Ähnliches gilt für tiefgehende Wunden, besonders bei Kollisionen [Jensen, 1982 (60)].

Einige typische Entstehungsmechanismen von Handverletzungen sind Jensen, 1982 (60) und [Bühler, 1976 (17)] zu entnehmen. **Abbildung 2** gibt einen Eindruck davon wieder, daß häufig ein Abstützreflex während der Sturzphase typische Abschürfverletzungsmuster ergibt, während in **Abbildung 3** ein Tangentialanprall an ein festes Hindernis skizziert wird.

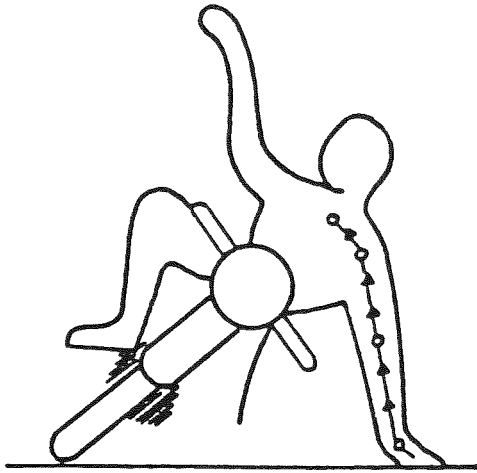


Abbildung 2: Armabstützverletzung

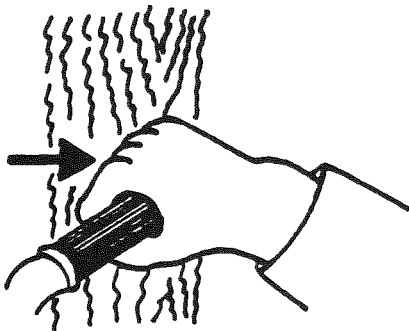


Abbildung 3: Tangentialanprall der Hand an festes Hindernis

4. Vorgehensweise für experimentelle Untersuchungen

Auf dem Gebiet der Textil-, Kunststoff- und Elastomerprüfung bestehen einige DIN-Normen zur Bestimmung der Abriebfestigkeit und des Verhaltens gegenüber Reibungswärme. Aus diesen Normen wurden zunächst die Versuche nach DIN 53 528 (sogenannter Frank-Hauser-Versuch) und DIN 53 516 ausgewählt, um eine Übertragbarkeit auf die Prüfung von Schutzkleidungsmaterialien im Hinblick auf das Reibverhalten zu untersuchen.

Der Aufbau des Frank-Hauser-Versuchs geht aus **Abbildung 4** hervor. Ein mit Schmirgelpapier gespannter und oszillierender Prüftisch wird an den Proben Träger angepaßt. Die Relativbewegung findet zwischen eingespannter Probe und Schmirgelpapier mit 40er Körnung statt. Es werden 5000 Hübe ausgeführt. Abweichend von der Norm wurden die Flächenpressung und die Bewegungsrichtung des Hubes für die Versuche mit Schutzkleidungsmaterialien modifiziert, um möglichst realistische Bedingungen zu erhalten. Die Pressung betrug $0,019 \text{ N/mm}^2$, die Scheuerrichtung war linear, während nach Prüfvorschrift eine zweiachial überlagerte Hubbewegung vorgesehen ist, welche aber nicht den Gegebenheiten eines Motorradsturzes entsprechen würde. Die mittlere Scheuergeschwindigkeit betrug $0,23 \text{ m/s}$. Die zugrundegelegte Flächenpressung wurde ermittelt, indem in der Rückenlage einer Versuchsperson (Größe $1,75 \text{ m}$, Masse 75 kg) ein Abdruck der tragenden Stellen des Körpers auf einer ebenen und harten Unterlage aufgenommen und ausplanimetriert wurde.

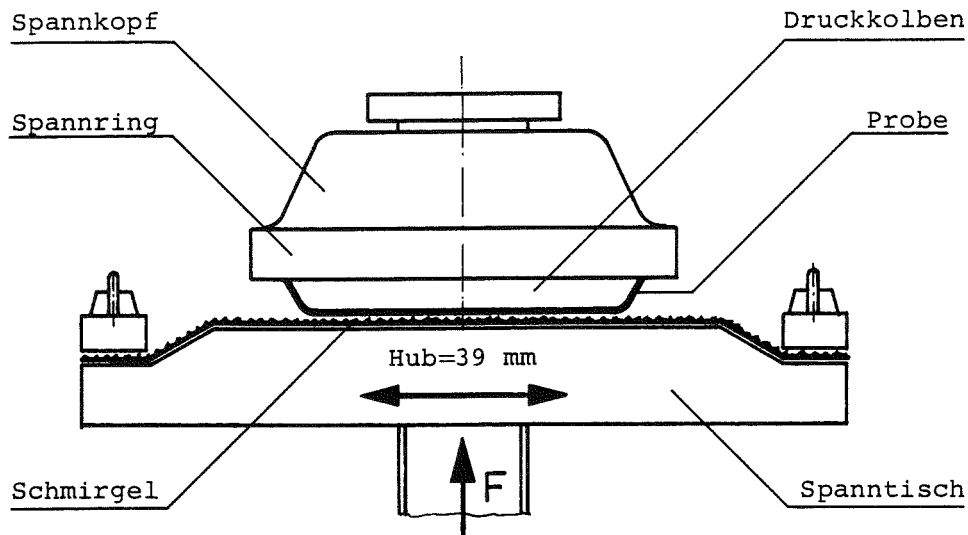


Abbildung 4: Versuch nach DIN 53 528

Das Prinzip des Versuchs nach DIN 53 516 ist **Abbildung 5** zu entnehmen. Ein Probenhalter drückt durch sein Eigengewicht das Prüfstück auf eine mit Schmirgelpapier (Angriffsschärfe gemäß DIN 53 516 = 220 mg) bestückte Walze, die mit einer Umfangsgeschwindigkeit von 0,32 m/s rotiert. Durch einen eingebauten Vorschub des Probenhalters (s. Abbildung 6) ist gewährleistet, daß das zu prüfende Material stets an einer neuen Stelle des Schmirgels zum Anliegen kommt. Auch bei diesem Prüfverfahren wurden einige Abweichungen von den Normbedingungen vorgesehen, um etwas praxisgerechtere Prüfbedingungen zu gewährleisten. So mußte die Probenbefestigung aus geometrischen Gründen verändert werden (Kleben anstatt Klemmen) und der auf der Walzenoberfläche von der Probe zurückgelegte Weg wurde auf 13,5% des vorgesehenen Reibweges beschränkt, weil bei dieser Strecke die meisten Prüflinge bereits weitgehend zerschlissen waren. Der Probenhalter mit Probe war etwas mehr als die geforderten drei Grad zur Senkrechten geneigt, um einen ratterfreien Betrieb zu gewährleisten. Die rechnerische Druckspannung betrug bei diesem Versuch normgerecht $0,05 \text{ N/mm}^2$.

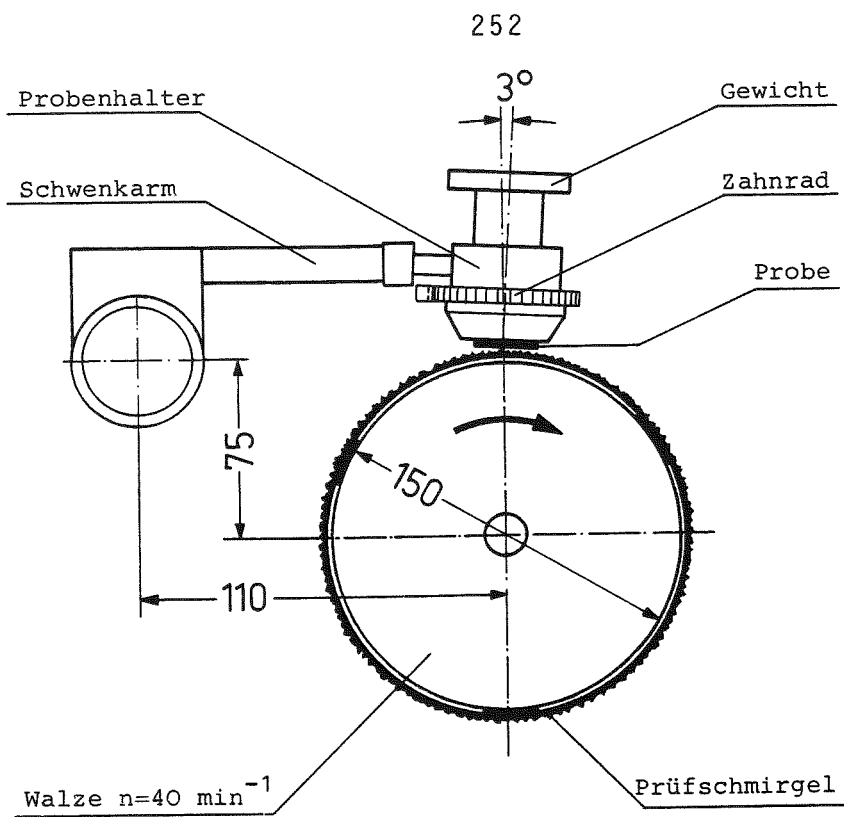


Abbildung 5: Versuch nach DIN 53 516

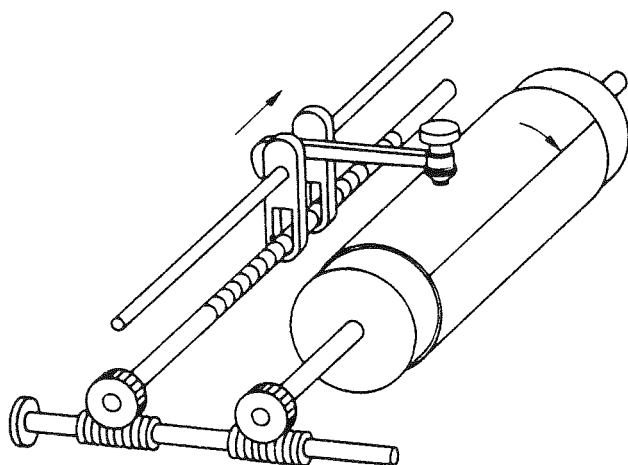


Abbildung 6: Versuch nach DIN 53 516

Beide Normversuche (DIN 53 528 und 53 516) ergaben Abriebwerte an den untersuchten Materialien, die bei fast allen Materialien als unrealistisch hoch anzusehen sind. Dies ist einerseits auf die Angriffsschärfe des verwendeten Prüfschmirgels zurückzuführen, andererseits auf die beim Versuch nach DIN 53 516 recht hohe Flächenpressung. Beide Versuche arbeiten mit konstanter und sehr niedriger Relativgeschwindigkeit, was quasistatische Reibverhältnisse schafft. Diese widersprechen aber den Praxisverhältnissen. Insgesamt ergab sich, daß beide untersuchte Normverfahren nicht geeignet sind, um Motorradfahrerschutzbekleidung experimentell zu untersuchen.

Es sei an dieser Stelle noch einmal darauf hingewiesen, daß diese Versuche aus einer Reihe von existierenden Normverfahren ausgewählt wurden, die ursprünglich zur Prüfung von Textilien, Kunststoffen und Gummiteilen entworfen wurden und in Ermangelung geeigneter Verfahren zur objektiven Schutzkleidungsprüfung herangezogen wurden. Es ist zu erwarten, daß auch andere, ähnliche Testverfahren nicht für die Schutzkleidungsprüfung anwendbar sind.

Am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der Technischen Hochschule Darmstadt wurden daher zwei Versuchseinrichtungen neu geschaffen, die reproduzierbare Messungen des Abriebverhaltens und der Reibwärmeverwicklung an Probestücken aus Motorradfahrerschutzbekleidung, die Unfallbedingungen unterworfen werden, gestatten. Dabei handelt es sich jeweils um die Simulation der Rutschphase eines gestürzten Zweiradfahrers, also die Unfallphase, bei welcher die Vorteile von Schutzkleidung primär zum Tragen kommen.

In einem Versuchsaufbau (Abbildung 7) wird eine realistische Annäherung an die Gleitphase eines gestürzten Motorradfahrers erreicht (Rutschsimulation). Hierbei wird der translatorisch verlaufende Sturz rotatorisch nachvollzogen. Dazu kommt ein elektromotorisch angetriebenes Dreibein als rotierender Probesträger zum Betrieb auf ebenen, ansonsten aber beliebigen Straßenoberflächen zur Anwendung. Das Massenträgheitsmoment des Systems um die Laufachse wurde so gewählt, daß sich ausgehend von einer Umfangsgeschwindigkeit von 29,5 m/s (= 106 km/h) nach Abschalten des Antriebs dieselben kinetischen Verhältnisse wie bei einem

Sturz eines Zweiradbenutzers aus derselben Geschwindigkeit ergeben. Für statische Bestimmtheit des Systems werden in jedem Versuch 3 identische, gleichzeitig reibende Proben verwendet. Die Proben werden bei angehobenen Probenträgern zunächst auf die gewünschte Umfangsgeschwindigkeit beschleunigt; danach erfolgt die Absenkung auf die Straßenoberfläche bei gleichzeitigem Abschalten des elektrischen Antriebs. Dabei bremst das System sich selbst im freien Spiel von Trägheits-, Luft- und Reibkräften bis zum Stillstand ab, so daß Vergleichbarkeit mit einem gestürzten und rutschenden Zweiradfahrer besteht.

Die Versuche fanden im Labor auf einer Beton-Fahrbahn statt, deren Zusammensetzung derjenigen eines Beton-Autobahnbelags entspricht. Die Umdrehungen des Systems bis zum Stillstand werden opto-elektrisch aufsummiert.

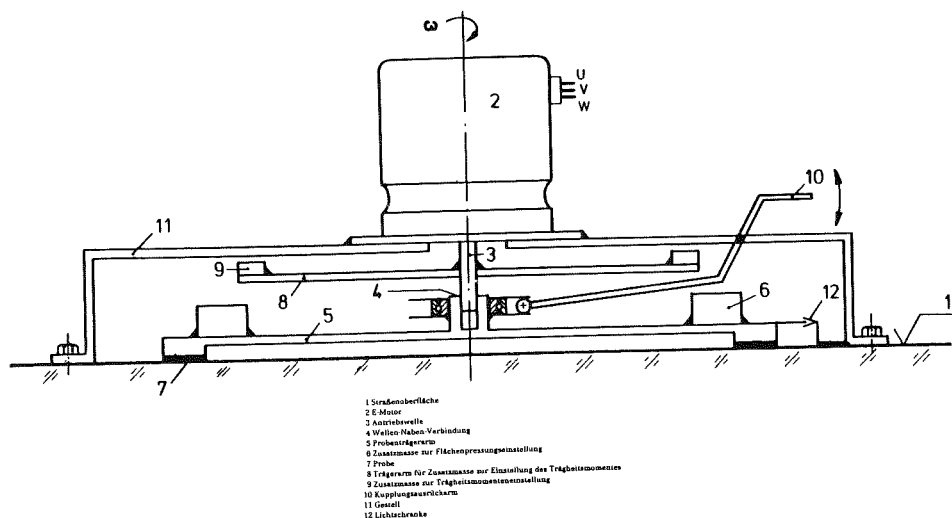


Abbildung 7: Rutschsimulationsvorrichtung

Ein zusätzlicher Versuch betrifft die meßtechnische Erfassung des Reibwärmeisoliationsvermögens von Schutzkleidungsmaterialien; dieses ist bei nicht durchgescheuerter Kleidung zum Verhindern von Brandwunden wichtig. Es wurde der in **Abbildung 8** dargestellte Aufbau ausgeführt. An einem Werkstattschleifstein mit einer Scheibenkörnung P 60 und konstanter Umfangsgeschwindigkeit von 29,8 m/s (= 107 km/h) wurde ein Probenträger angebracht, der das zu untersuchende Material an die Schleifscheibe andrückt. An der Rückseite der Proben, die bis auf eine vorgegebene Restdicke von 0,2 mm abgeschliffen werden, wird der Spitzenwert der Temperatur gemessen. Die beiden Versuchen zugrundegelegte Flächenpressung von 0,019 N/mm² entspricht wieder dem Wert, den ein auf dem Rücken liegender Mensch im Mittel auf eine ebene Unterlage ausübt [Bayer, 1982 (7)]. Diese Druckspannung wurde mangels geeigneter Zahlenwerte aus dem realen Unfallgeschehen auch für die hier betrachteten Handschuh-Untersuchungen gewählt, wobei einige Versuche zusätzlich mit verdoppelter Pressung gefahren wurden.

Wie sich herausstellte, korrelieren die erhaltenen Versuchsergebnisse gut mit den aus statistischen Unfalluntersuchungen [Hurt, 1981 (55)] gewonnenen Erkenntnissen, so daß von einer realistischen Belastung des zu prüfenden Materials gesprochen werden kann.

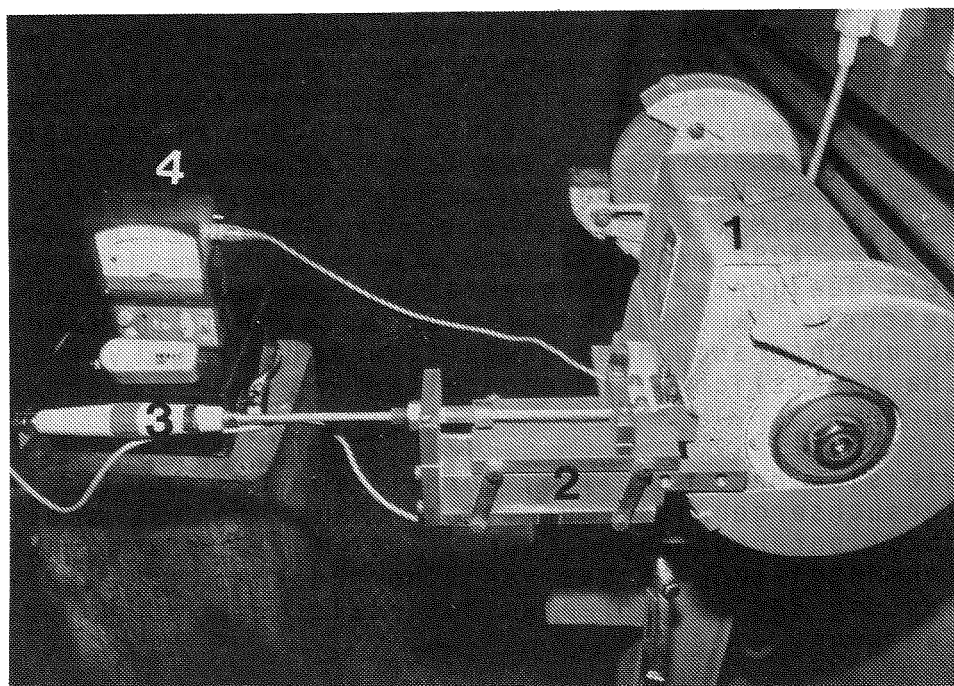


Abbildung 8: Reibwärmerversuch

Als Reibpartner diente im Rutschsimulationsversuch eine Betonfahrbahn, die aus Sand (Körnung 0/2), Kies (Körnung 2/8), Edelsplitt (Körnung 8/16), Zement (PZ 350 F) und Wasser hergestellt war. Die Siebkurven für die genannten Einzelkomponenten sind den **Abbildungen 9 bis 11** zu entnehmen. Für den Schleifsteinversuch fand eine Normalkorund-Scheibe mit keramischer Bindung und Körnung P 60 (hart, mittlere Körnung) nach DIN 69 102 Verwendung.

Außer einigen textilen Materialien in gebrauchtem Zustand befanden sich alle Proben im Neuzustand und wurden größtenteils aus bereits fertiggestellten Handschuhen entnommen.

Sieblinie der Mineralstoffe - Sand

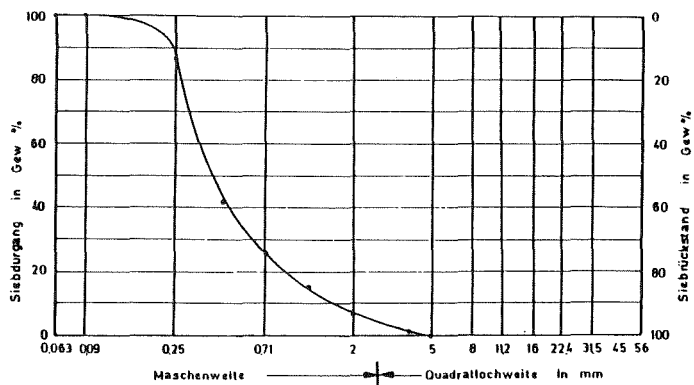


Abbildung 9: Sieblinie Sand

Sieblinie der Mineralstoffe - Kies

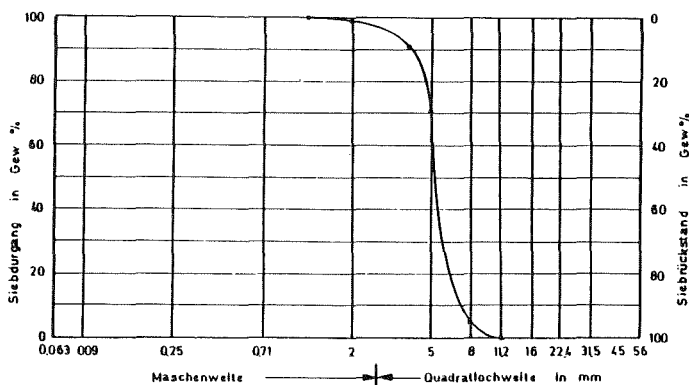


Abbildung 10: Sieblinie Kies

Sieblinie der Mineralstoffe - Splitt

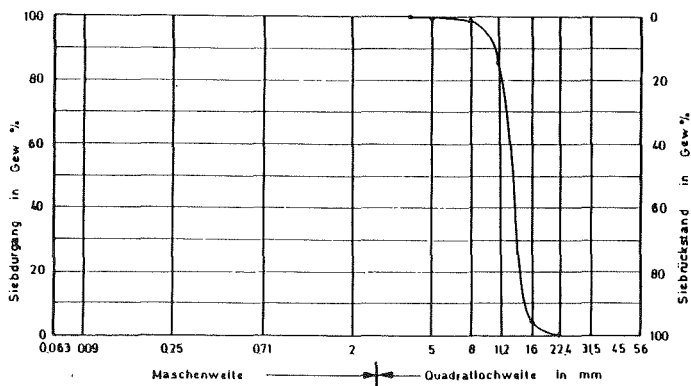


Abbildung 11: Sieblinie Splitt

Auf diese Weise waren auch Naht- und Reißverschlußstücke mit im Untersuchungsgut vorhanden. Einige Grundlagenversuche, z.B. mit veränderter Flächenpressung, nassem Leder usw. wurden mit Lederstücken vorgenommen, die einer Tierhaut in "Naturform" entstammten (also noch nicht für Bekleidung zugeschnitten), aber bereits gegerbtem und gefärbtem Leder. Für die Proben wurde keine spezielle Scheuerrichtung definiert, weil Leder keine Textur aufweist und auch andere Materialien i.a. keine signifikante Abhängigkeit des Abriebs von einer bestimmten Bewegungsrichtung haben. Einige Testversuche betrafen Stoffgewebe und Kunststoff, um deren mögliche Eignung für den Einsatz bei Mofabenutzern zu klären.

Als Maß für den durch die dynamische Reibbeanspruchung im Rutschsimulationsversuch entstandenen abrasiven Materialverschleiß wurde der auf die Scheuerfläche bezogene, relative Gewichtsverlust gewählt, wobei das unverschlissene, serienmäßige Probestück im Anlieferungszustand die Bezugsbasis darstellt. Definitionsgemäß muß sich dabei eine Größe zwischen 0% und 100% einstellen, wobei der erste Wert einem gänzlichen Materialverlust entsprechen würde.

Als Anhaltspunkt für das Wärmeisolationsvermögen wurde beim Schleifsteinversuch die Reibtemperatursteigerung vom Anfangszustand (entsprechend Raumtemperatur) auf die jeweilige Spitztemperatur definiert.

Alle Ergebnisse stellen arithmetische Mittelungen von 3 Einzelwerten dar, wobei der abrasiv bedingte, gravimetische Materialverlust ausschließlich im Versuch gemäß Abbildung 7 und die Reibtemperatursteigerung ausschließlich im Versuch gemäß Abbildung 8 ermittelt sind.

5. Ergebnisse

5.1 Allgemeines

Die in Kapitel 5.2 in Diagrammform dargestellten Ergebnisse enthalten jeweils am linken Rand die Kürzel für das verwendete Material. Es bedeuten:

HA, HE, TR: Herstellerkennung

Hs = Haarschafleder

Ri = Rindleder

Sa = Schafleder

Zi = Ziegenleder

nach Herstellerangabe

gb = gelb

gr = grün

rt = rot

sw = schwarz

we = weiß

Farbkennung

(ein "+" zwischen 2 Farben bzw. Farbkombinationen bedeutet:

Es handelt sich um Handschuhe gleichen Typs, aber unterschiedlicher Farbgebung)

ZV = Zusatzversuch

Beispiel: HA Ri sw/gr = schwarz/grünes Rindleder des Herstellers HA

Nummern: Vor dem Schrägstrich steht die Versuchsreihennummer, dahinter die Probennummern (immer 3 Proben = 1 Satz).

Rechts am Diagrammrand befinden sich Ziffern, die auf die in der jeweiligen Diagrammlegende vorhandenen Fußnoten verweisen. Wird Lochbildung vermerkt, so bedeutet das, daß alle 3 verwendeten Proben völlig durchgerieben waren.

Die Proben HA Ri sw und HA Zi sw entstammen den in Kap. 4 bereits erwähnten Tierhäuten. Die Textilmaterialien wurden gebrauchten Kleidungsstücken entnommen. Das Regenkombimaterial war neu, ebenso alle anderen Proben, die aus Handschuhen stammen.

5.2 Ergebnisdarlegung und Diskussion

Alle wesentlichen Untersuchungsergebnisse sind aus den Abbildungen 12 bis 14 ersichtlich.

Abbildung 12 listet die Resultate des Schleifsteinversuchs auf: Ausgehend von $+21^{\circ}\text{C}$ bis $+25^{\circ}\text{C}$ ergaben sich Reibtemperatursteigerungen von max. ca. 55°C , also Gesamttemperaturen um 80°C . Eine Aufdoppelung oder Polsterung ergibt interessanterweise keinesfalls zwangsläufig eine Temperatursenkung. Dies ist aus dem Versuchsaufbau erklärbar: Alle Materialien - ungeachtet ihrer Ausgangsdicke - werden bis auf 0,2 mm Restdicke durchgeschliffen, wobei viele Proben, eventuell bereits vor Erreichen dieser Restsollstärke, abreißen. Ein dickes Material ergibt in der Regel eine längere Schleifzeit, so daß auch die Spitzentemperatur höher sein kann als beim dünneren Grundmaterial.

Metallnietenbesatz erhöht die Abriebfestigkeit bei diesem Versuch so sehr, daß sich nach einer gewissen Zeit ein quasistationärer Beharrungszustand einstellt: Die Nieten setzen der Schleifscheibe einen so großen Widerstand entgegen, daß kaum mehr Material abgetragen wird, wobei die Temperatur bei einem festen Wert verharrt (= Versuchsabbruchbedingung). Dieser liegt bei den untersuchten Nietenhandschuhen dank guter Isolation im üblichen Bereich. Metallnieten ergeben also nicht zwangsläufig Reibtemperaturspitzen, die über denen von einfachem Leder liegen, obwohl die Nieten außen seitig durch die Wärmeentwicklung Anlauffarben aufweisen.

Die Abbildungen 13 und 14 betreffen die Resultate der Rutschsimulation, wobei Balkendiagramm 14 einen unter speziellen Gesichtspunkten vorgenommenen Auszug aus 9 darstellt.

Abbildung 13 listet alle ausgewerteten Versuche der Rutschsimulation auf. Der bezogene Gewichtsverlust schwankt je nach Material in weiten Grenzen zwischen weniger als 5% und rund 70%.

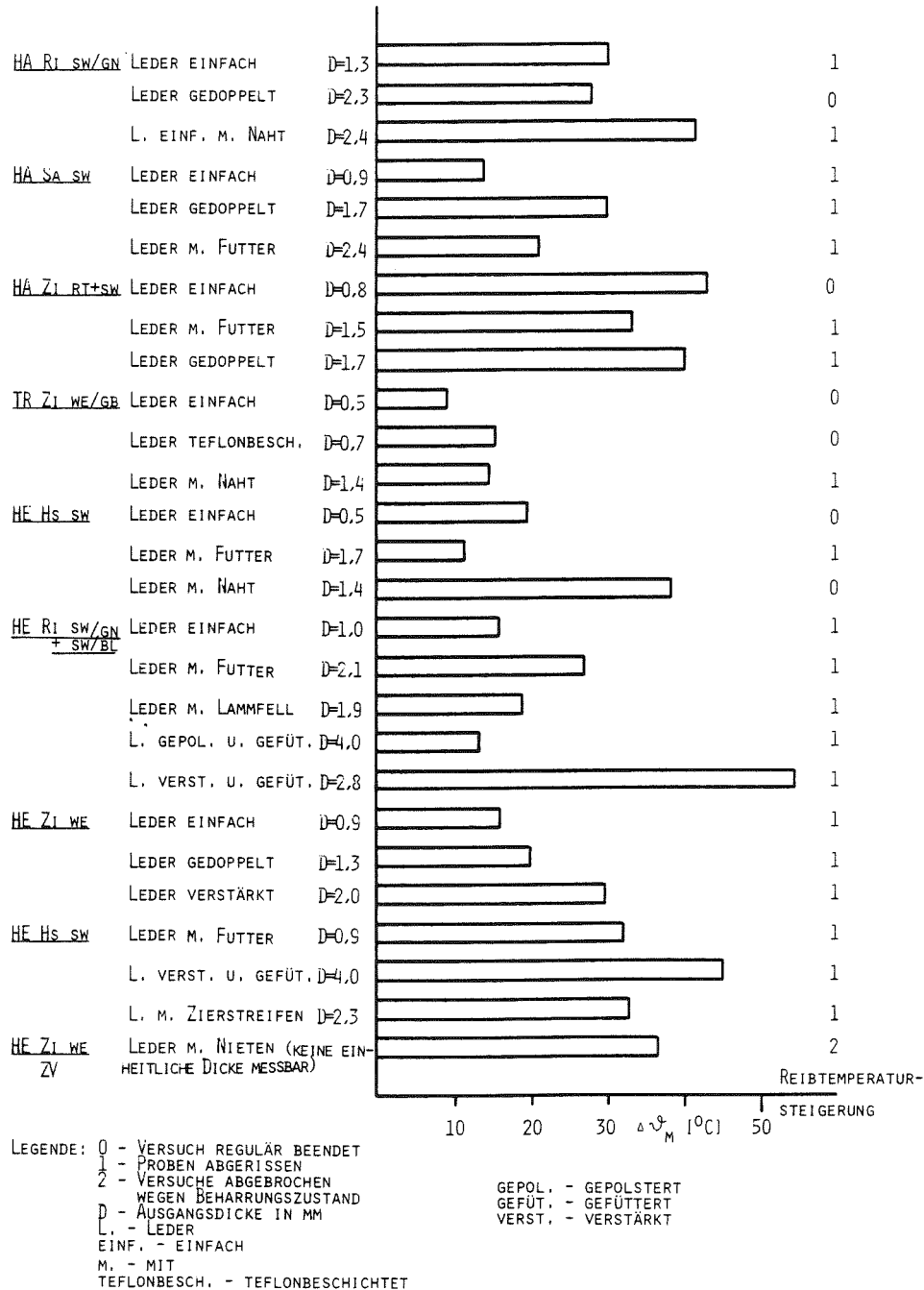


Abbildung 12: Ergebnisse des Schleifsteinversuchs

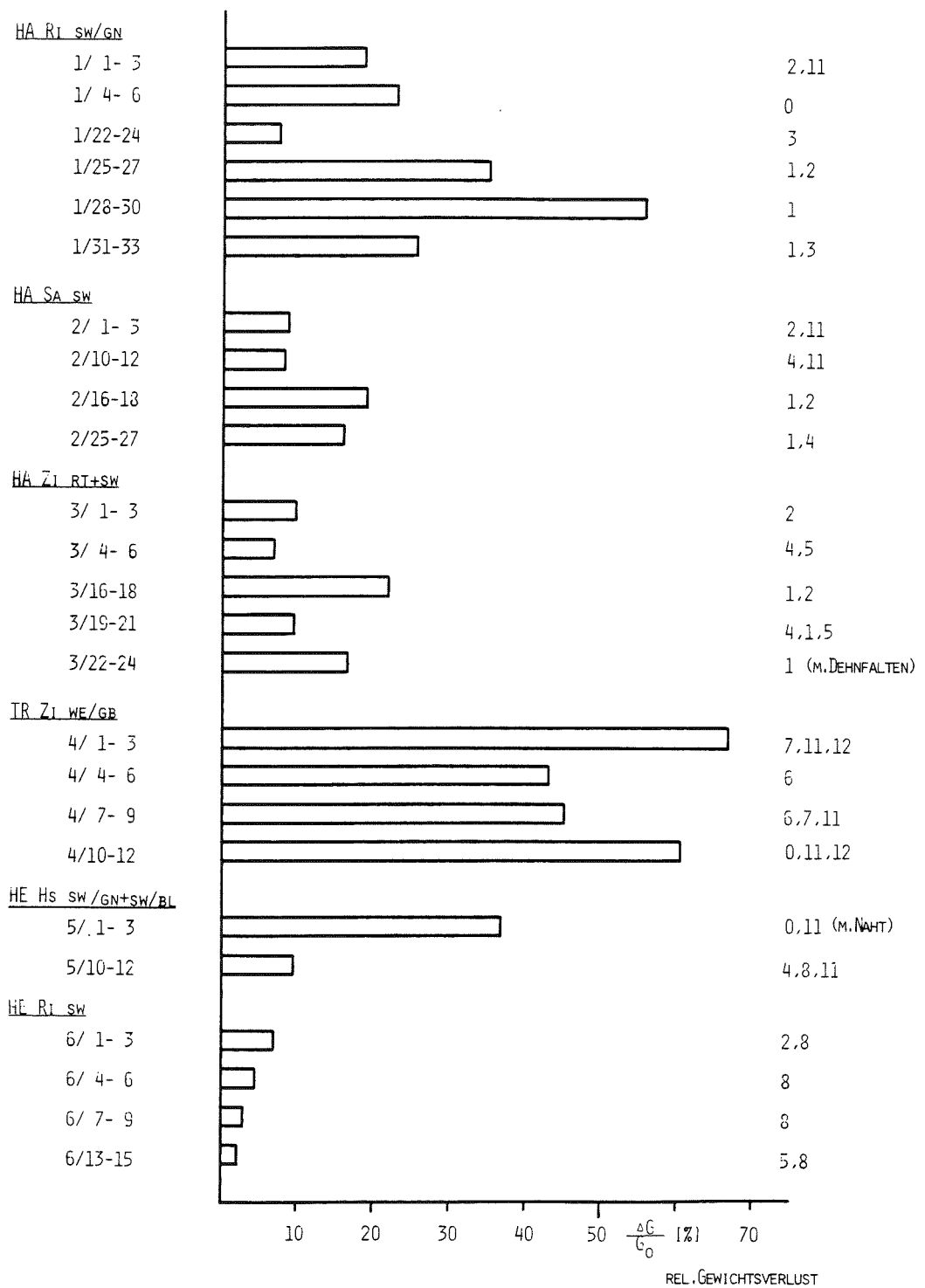
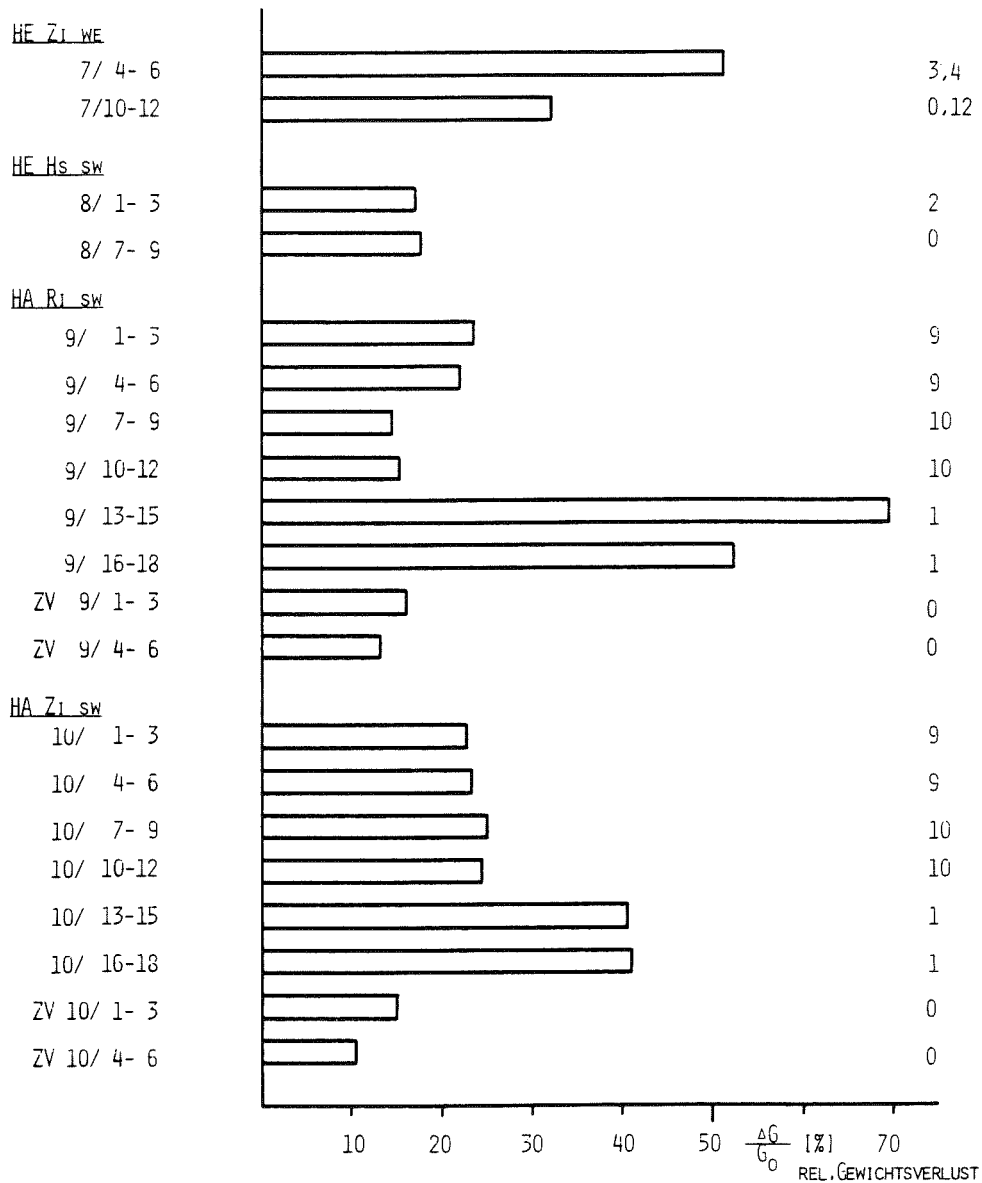


Abbildung 13: Ergebnisse des Rutschsimulationsversuchs, Teil 1



LEGENDE : 0 - EINFACHE FLÄCHENPRESSUNG, KEINE BESONDEREN MERKMALE

1 - DOPPELTE FLÄCHENPRESSUNG

2 - LEDER VERSTÄRKT

3 - LEDER GEDOPPELT

4 - LEDER GESTEPPT(AUCH ZIERSTREIFEN)

5 - LEDER GEPOLSTERT

6 - LEDER NACHGEPOLSTERT(BEI FZD)

7 - LEDER TEFLONBESCHICHTET

8 - LEDER GEFÜTTERT

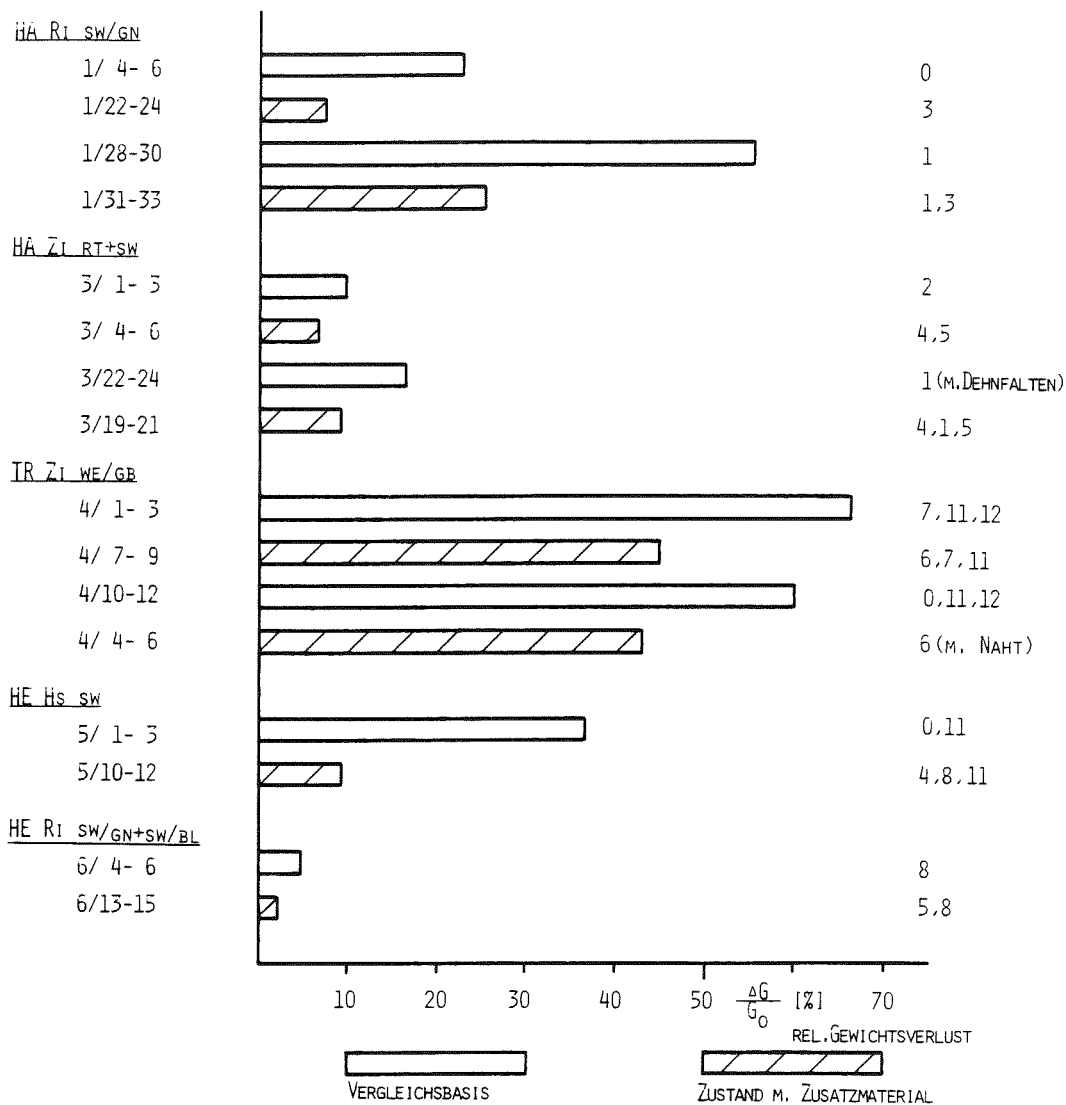
9 - LEDERRÜCKSEITE

10 - LEDER NASS

11 - LEDER ABGESCHÄLT

12 - LEDER DURCHGERIEBEN
(LOCHBILDUNG)

Abbildung 13: Ergebnisse des Rutschsimulationsversuchs, Teil 2



LEGENDE: 0 - EINFACHE FLÄCHENPRESSUNG, KEINE BESONDEREN MERKMALE

1 - DOPPELTE FLÄCHENPRESSUNG

2 - LEDER VERSTÄRKT

3 - LEDER GEDOPPELT

4 - LEDER GESTEPPT (AUCH ZIERSTREIFEN)

5 - LEDER GEPOLSTERT

6 - LEDER NACHGEPOLSTERT (BEI FZD)

7 - LEDER TEFLONBESCHICHTET

8 - LEDER GEFÜTTERT

11 - LEDER ABGESCHÄLT

12 - LEDER DURCHGERIEBEN
(LOCHBILDUNG)

Abbildung 14: Gegenüberstellung
"gepolsteter" ./ "ungepolsteter"
Proben

Lederstücke mit Verstärkungen, Beschichtungen usw. zeigen häufig sogenannte Abschäl-effekte. Dies deutet auf eine ungenügende Verbindungsfestigkeit zwischen Grund- und Deckmaterial hin. Relativ selten tritt völlige Lochbildung infolge Durchreibens oder Abschälens auf. Diese Lochbildung, die bei einem Unfall für schwere Abschürfungen ursächlich sein kann, kommt - wenn überhaupt - vornehmlich bei Ziegenleder vor. Der in [Die Motorradfibel, 1982 (95)] aufgestellten These, Ziegenleder sei das beste Material für die Handschuhe, muß somit widersprochen werden.

Zusätzliche Betrachtungen zur Nahtscheuerfestigkeit (längs) und zum Abriebverhalten von Reißverschlüssen (längs) sowie Metallnieten ergaben folgendes:

Außenliegende, aufgesteppte Nähte weisen i. a. selbst bei doppelreihiger Ausführung (Abbildung 23) größere lokale Zerstörungen (erhöhten Nahtabrieb) auf als einfache, innenliegende Steppnähte, speziell wenn bei diesen eine Unterfütterung (Abbildung 24) oder doppelagiges Leder verarbeitet ist.

Kunststoff-Reißverschlüsse neigen zum Verschmelzen mehrerer Zähne durch die Reibwärme und zeigen generell höhere Abriebwerte als Metallreißverschlüsse, während es bei diesen zum partiellen Ausriß einzelner Zähne kommt (Abbildung 22). Bei beiden Arten ergaben sich teilweise so starke Beschädigungen, daß sie nach den Versuchen nur noch schwer zu öffnen waren.

Metallnietenbesatz außenseitig verringert den scheuerbedingten Gewichtsverlust drastisch. Das "robuste" Aussehen korreliert sehr gut mit den objektiven Meßergebnissen (Abbildung 20). Der festgestellte recht geringe Reibbeiwert Stahl/Strape muß nicht zwangsläufig mit erhöhten Sturzwegen erkaufte werden, weil nur ein Anteil der Gewichtskraft des Verunglückten bei einem Sturz auf der Hand bzw. den Händen lastet.

Die in einigen Versuchen, die nicht zahlenmäßig ausgewertet wurden, untersuchten textilen Gewebeproben und Regenkombimaterial (thermoplastischer Kunststoff) zeigten ein völlig unzureichendes Scheuerverhalten mit totaler Probenzerstörung in

der Beanspruchungsfläche (Abbildungen 27 bis 29). Die hier zusätzlich vorgenommenen Versuchsabläufe aus Mofageschwindigkeit (25 km/h) erbrachten für Stoffgewebe gerade noch ausreichende Festigkeit; dünnes Kunststoffmaterial weist bereits hier partielle Lochbildung auf. Da aber auch bei Textilgewebe nur noch eine geringe Sicherheitsreserve (Restdicke) vorhanden war, ist auch Mofafahrern zum Tragen "echter" Schutzhandschuhe zu raten, sich also nicht mit z.B. Woll- oder Regenhandschuhen zu behelfen.

Abbildung 14 weist aus, daß Ledermaterial mit großer Ausgangsdicke, erzielt durch Verstärkungen, Aufdoppelungen, aufgesteppte Streifen, Unterpolsterungen und Ausfütterungen stets weniger Gewichtsverlust aufweist als einfaches Leder unter sonst gleichen Randbedingungen. Die Tatsache, daß dies bei verstärktem und doppelagigem Material auftritt, bedarf keines weiteren Kommentars, da erhöhte Ausgangsdicke stets einen Sicherheitsgewinn darstellt. Erstaunlich ist hingegen zunächst, daß auch eine Unter- oder Ausfütterung - eventuell auch nachträglich vorgenommen, wobei der Gewichtsverlust in diesen Fällen auf das reine Leder bezogen wurde - einen deutlichen Gewinn in der Verschleißrate erbringt. Die Erklärung dafür liegt darin, daß eine Unterpolsterung (z.B. Schaumstoff) eine erhebliche Vergleichmäßigung der Flächenpressung gegenüber Einzelrauheiten der Fahrbahnoberfläche ergibt (sogenannter Stützeffekt). Es sei an dieser Stelle noch vermerkt, daß auf diese Weise sogar ein dünnes Ziegenleder, das trotz Teflonbeschichtung sehr schlechte Ergebnisse aufzeigte, so verbessert werden konnte, daß es zu keinem Durchscheuern mehr kam (siehe Abbildungen 25 und 26; dieses beschichtete Leder entstammte Prototyp-Handschuhen, die zum Untersuchungszeitpunkt in dieser Form noch nicht serienmäßig hergestellt wurden).

5.3 Fotodokumentation

Im folgenden werden aussagekräftige Bilder, die exemplarisch wesentliche Sachverhalte verdeutlichen, vorgestellt. Alle **Abbildungen (15 bis 29)** betreffen die Versuche der Rutschsimulation.



Abbildung 15: Teile des Untersuchungsmaterials im Ausgangszustand

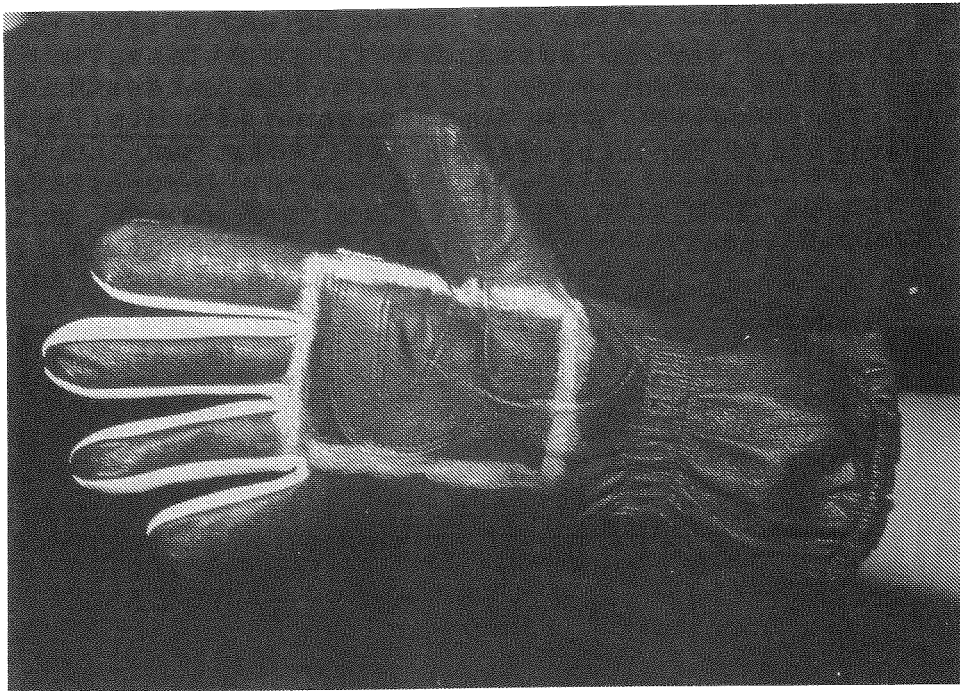


Abbildung 16: Markierte Probenentnahmestelle

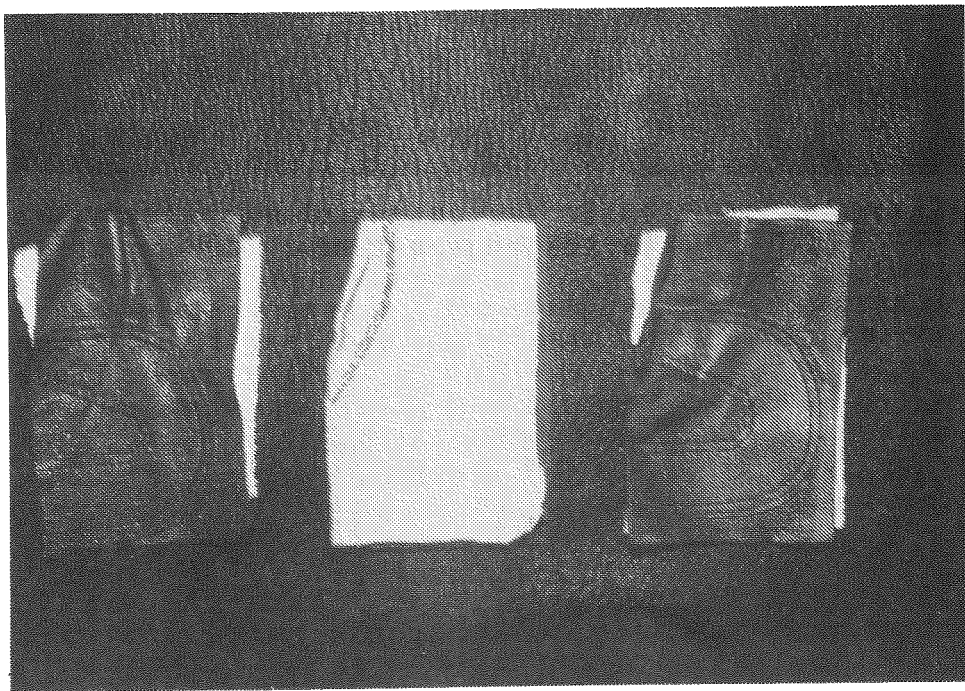


Abbildung 17: Probestücke im Ausgangszustand

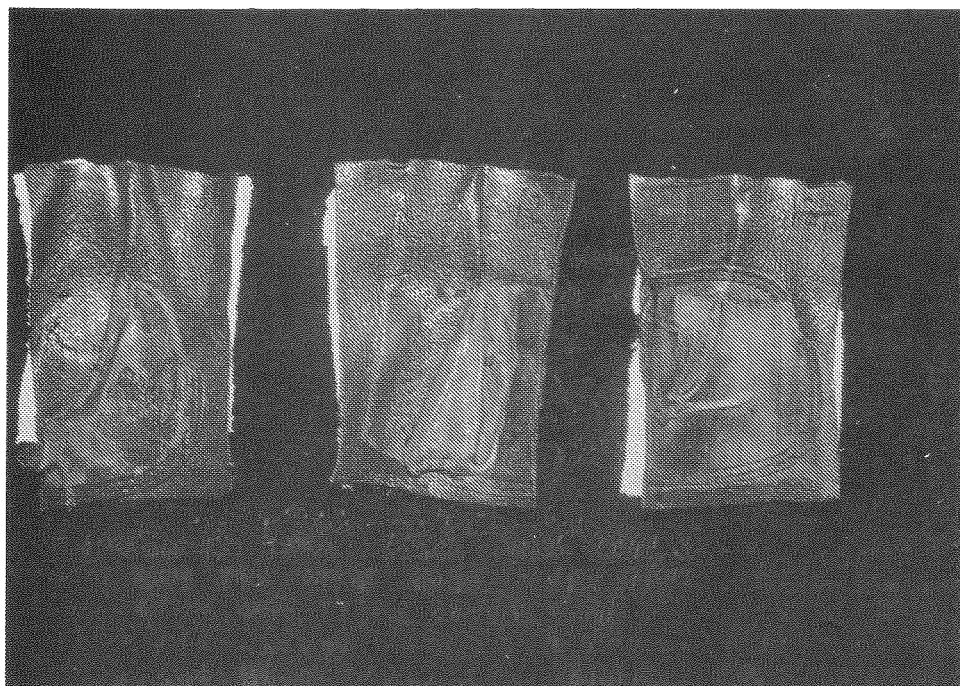


Abbildung 18: Probestücke nach Reibbeanspruchung

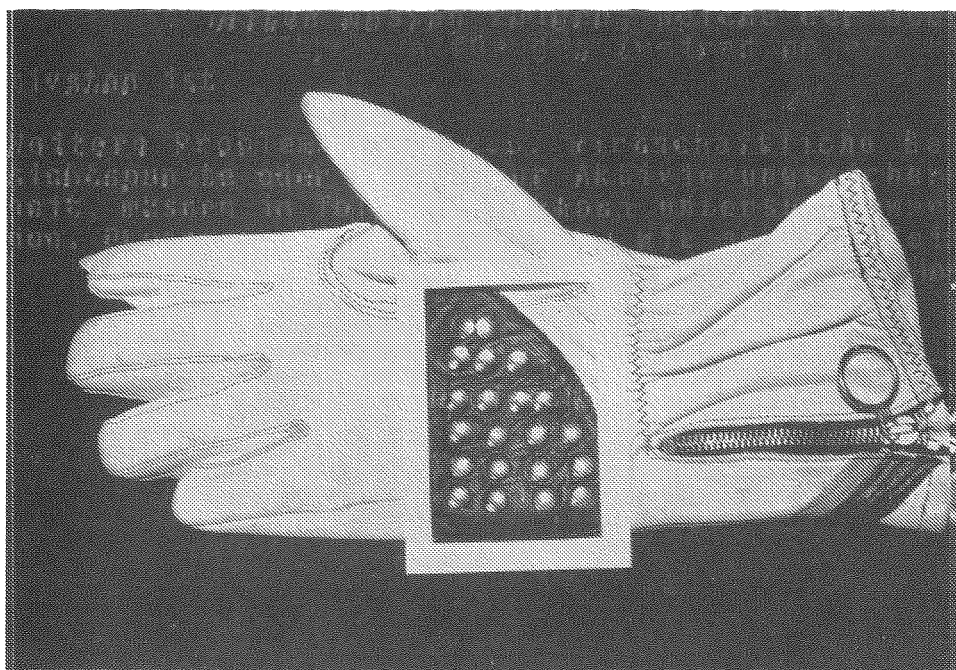


Abbildung 19: Metallnietenbesatz als Probe-
entnahmestelle

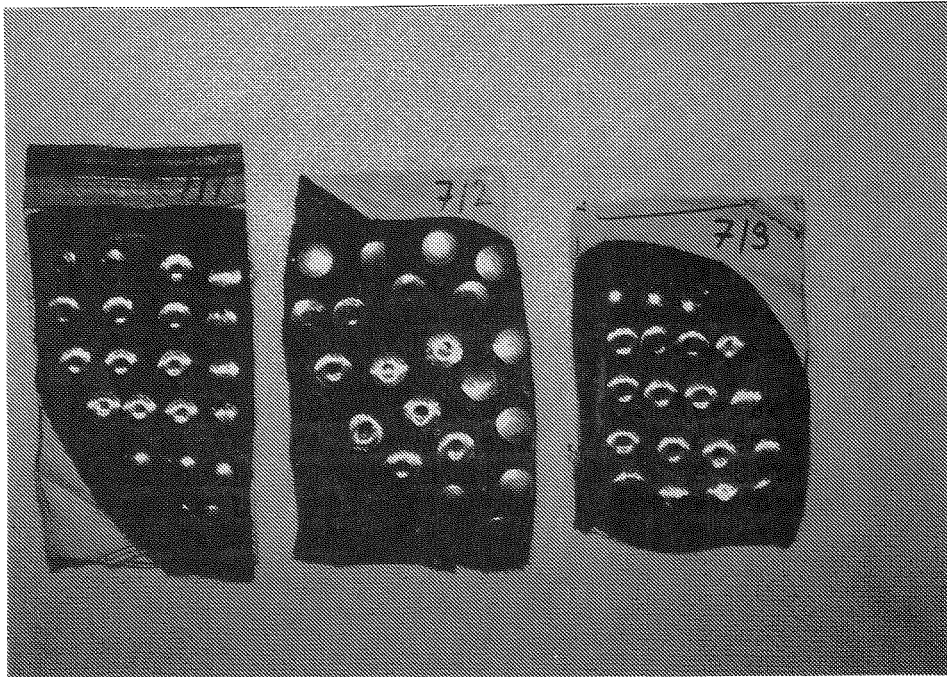


Abbildung 20: Metallnietenbesatz nach Reibbeanspruchung

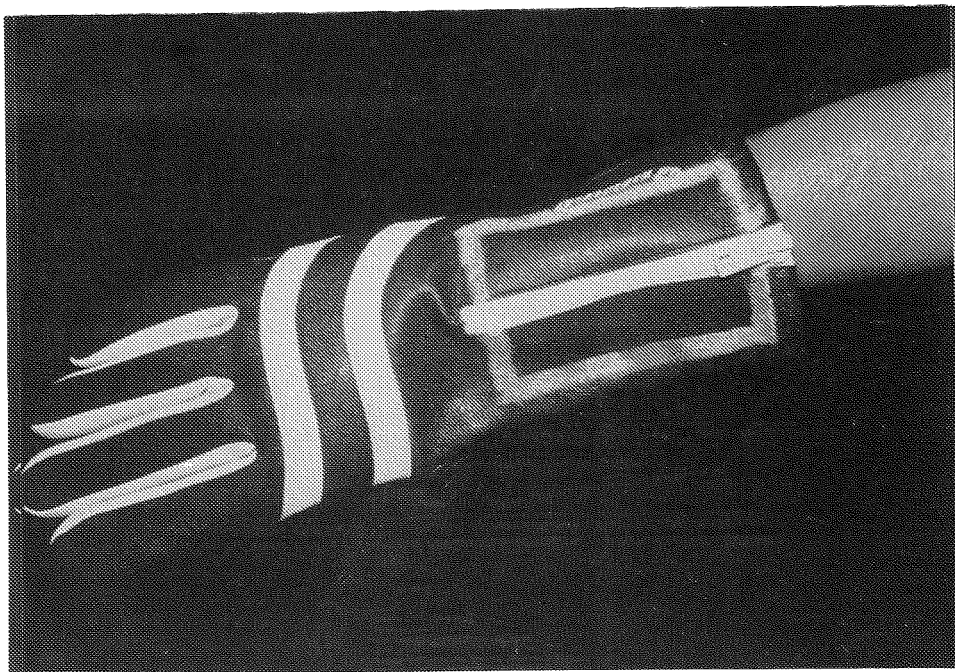
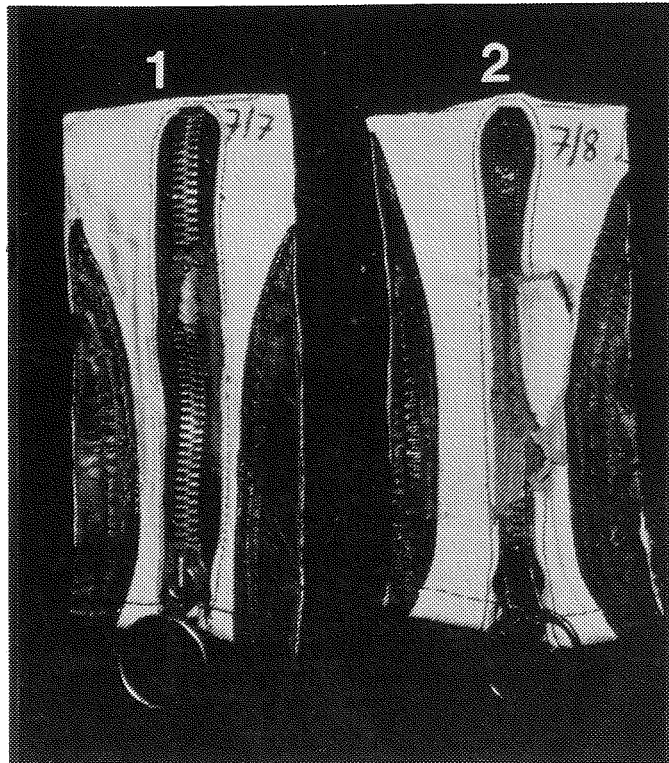


Abbildung 21: Reißverschluß als Probenentnahmestelle



1: Metallreißverschluß 2: Kunststoffreißverschluß

Abbildung 22: Reißverschlüsse nach Reibbeanspruchung (längs)

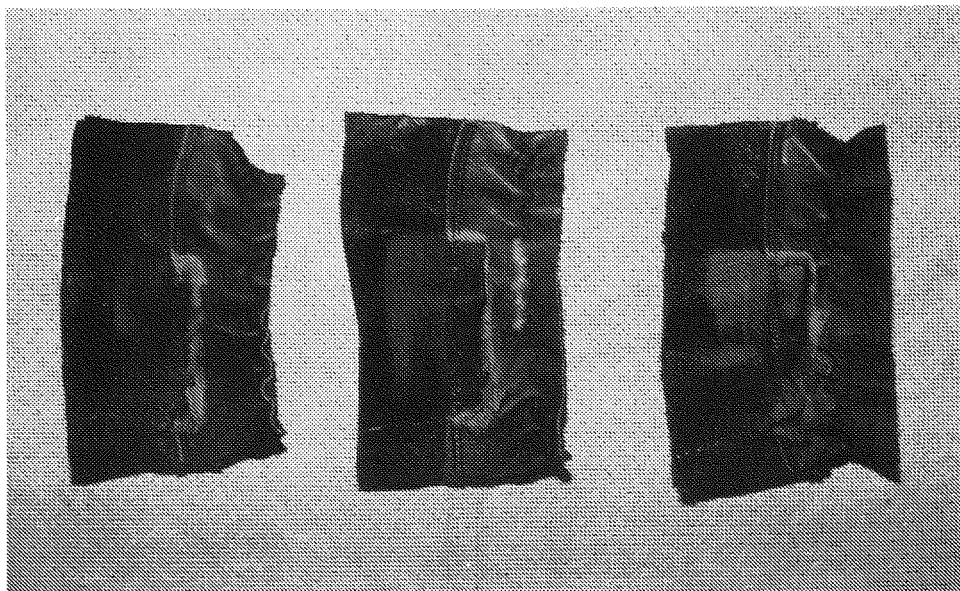


Abbildung 23: Aufgesteppte, außenliegende Nähte (doppelreihig) nach Reibbeanspruchung

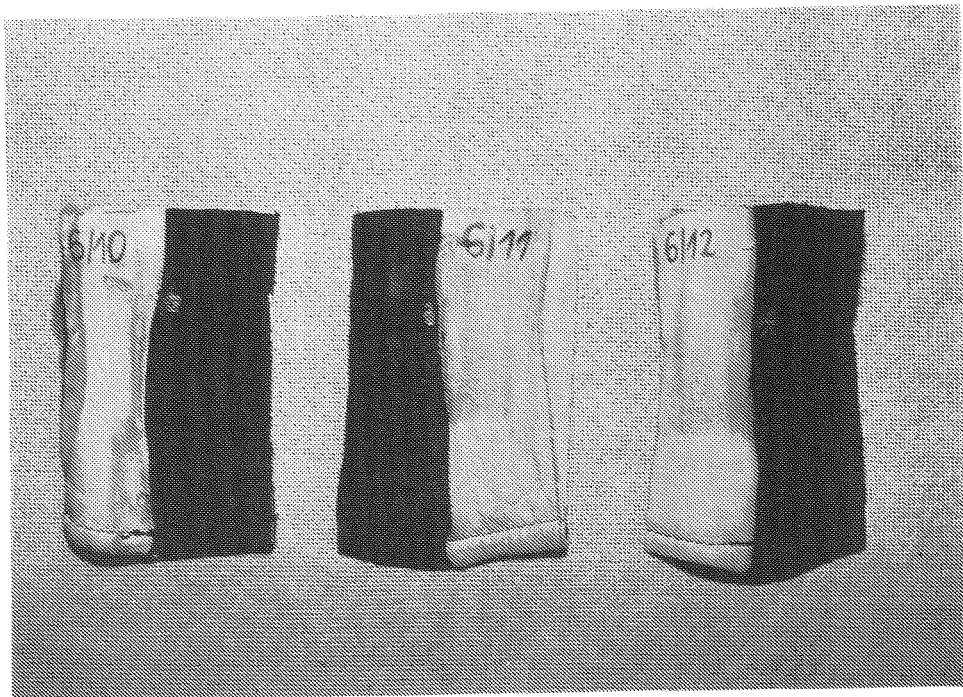


Abbildung 24: Einfach, innenliegende Steppnähte nach Reibbeanspruchung (längs)
(Proben mit serienmäßiger Unterpolsterung)

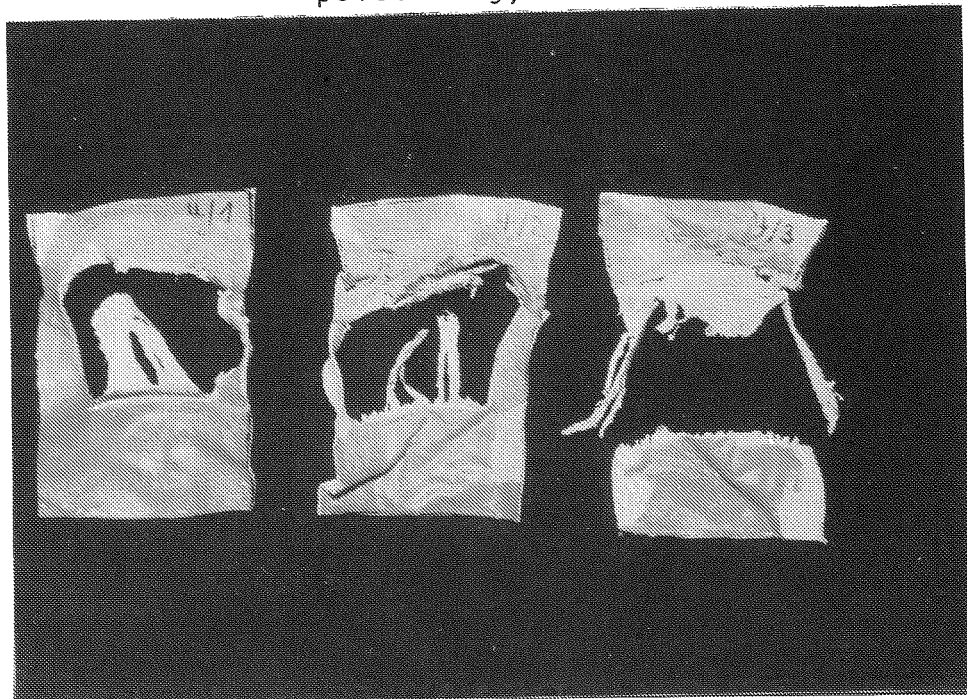


Abbildung 25: Teflon-beschichtete Probestücke nach Reibbeanspruchung

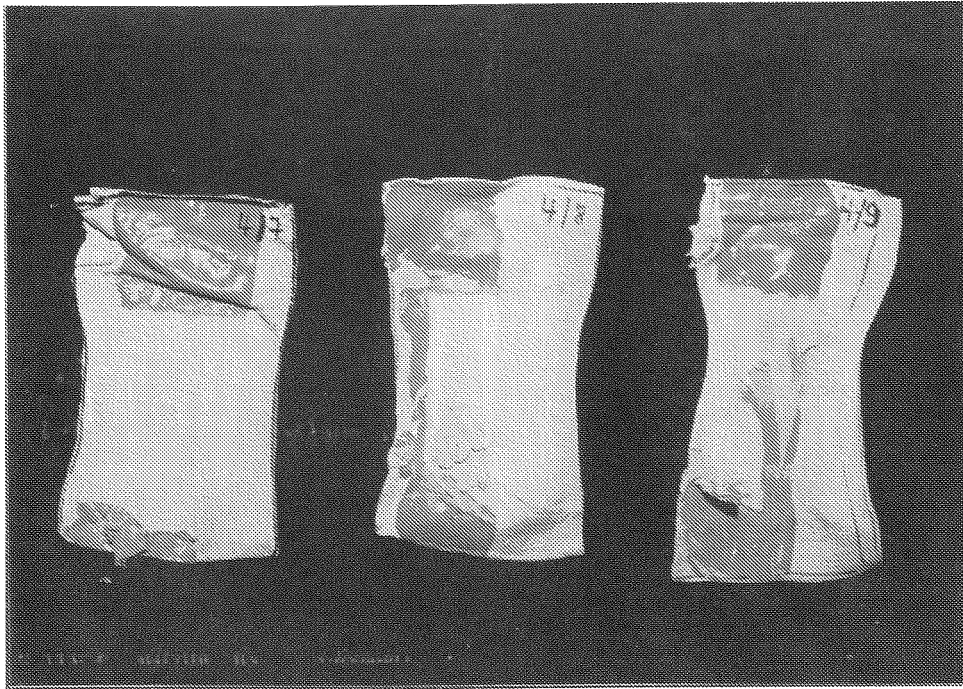
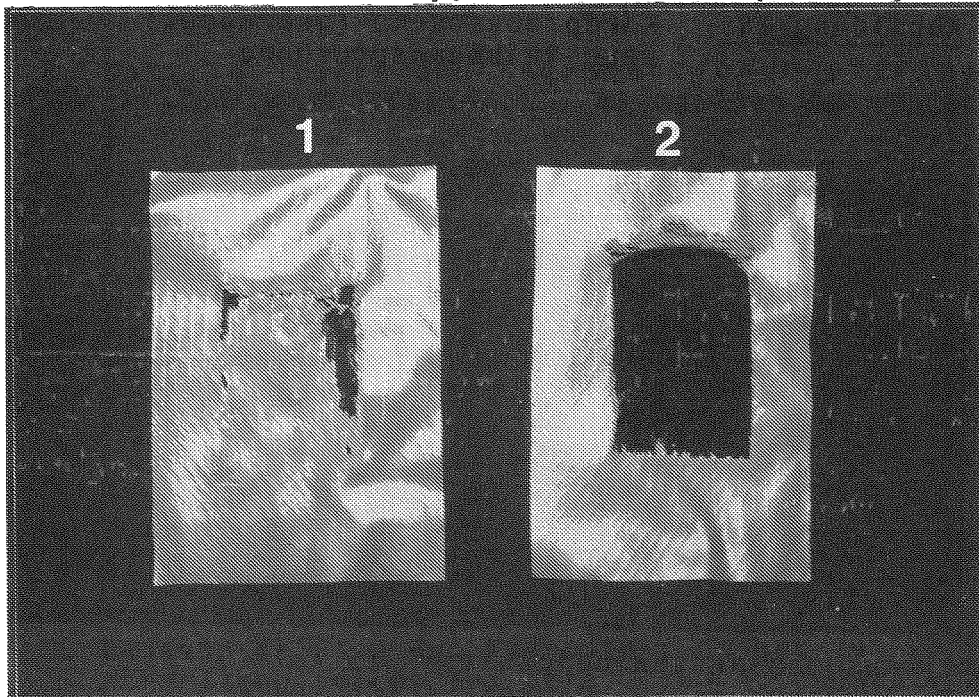
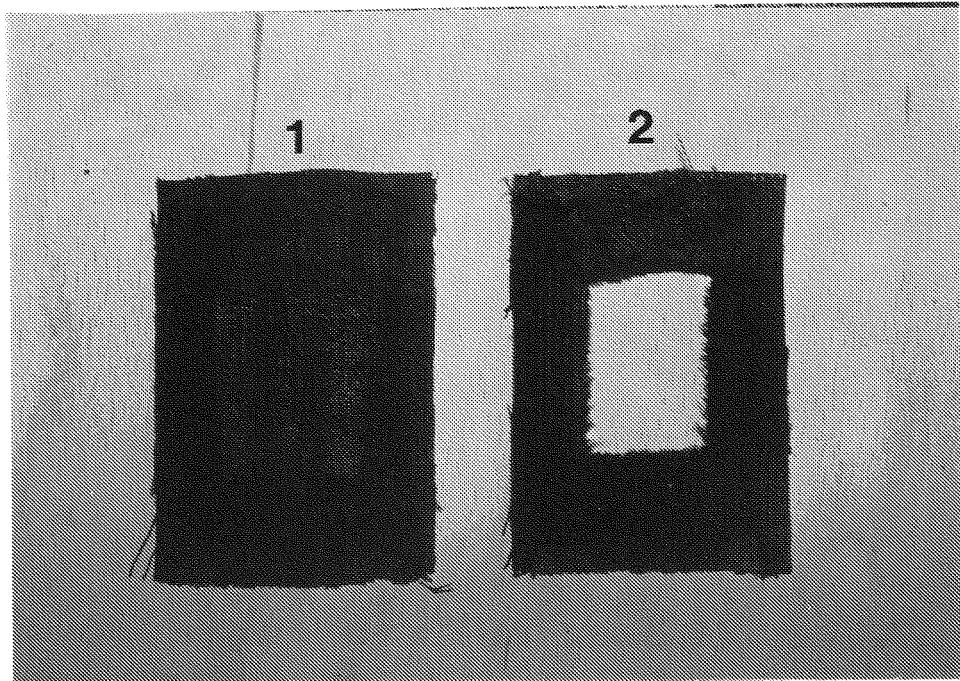


Abbildung 26: Probestücke mit nur geringer Teflon-Beschichtung, aber Unterpolsterung (nachträglich vorgenommen), nach Reibbeanspruchung



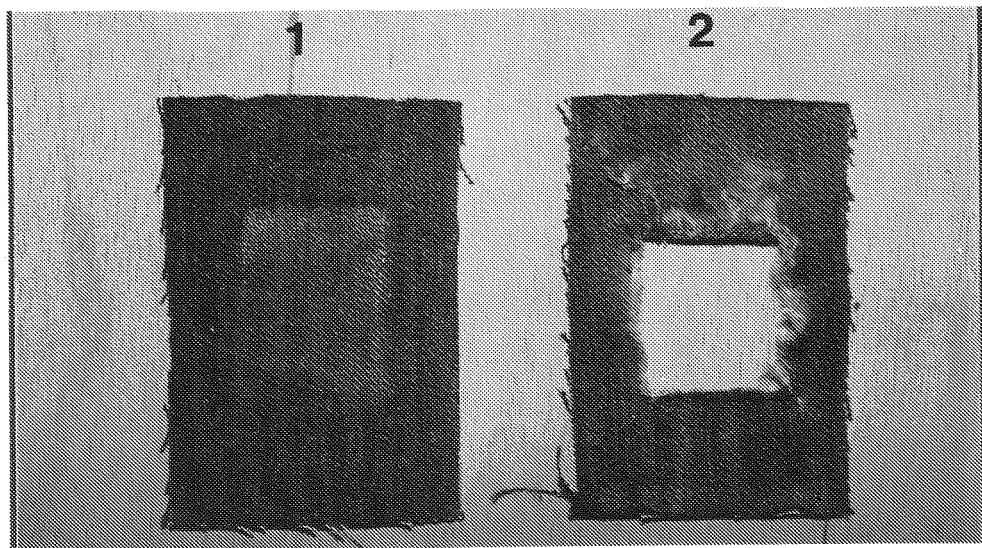
1: Ausgangsgeschwindigkeit = 25 km/h
2: Ausgangsgeschwindigkeit = 106 km/h

Abbildung 27: Regenkombiprobestücke nach Reibbeanspruchung



1: Ausgangsgeschwindigkeit = 25 km/h
 2: Ausgangsgeschwindigkeit = 106 km/h

Abbildung 28: Kordprobestücke (gebraucht)
 nach Reibbeanspruchung



1: Ausgangsgeschwindigkeit = 25 km/h
 2: Ausgangsgeschwindigkeit = 106 km/h

Abbildung 29: Jeansprobestücke (gebraucht)
 nach Reibbeanspruchung

6. Zusammenfassung

Am Fachgebiet Fahrzeugtechnik der Technischen Hochschule Darmstadt wurden experimentelle Untersuchungen zur Wirksamkeit von Motorradhandschuhen gegenüber Reibbeanspruchung bei einer Unfallsituation angestellt. Als wesentliche Ergebnisse lassen sich die nachstehenden Thesen formulieren:

1. Dickes Leder bzw. Aufdoppelungen besitzen klare Vorteile gegenüber dünnem, einladigem Leder.
2. Aufdoppelungen, Beschichtungen (Teflon) usw. besitzen zum Teil eine ungenügende Schubfestigkeit (Schälereffekt).
3. Schlechtes Grundmaterial kann auch durch hochwertige Beschichtungen nicht zu hinreichender Qualität "aufgestockt" werden.
4. Nietenbesatz ergibt extreme Verschleißvorteile ohne Reibwärmeprobleme hervorzurufen, wenn die Nieten zur Innenhand gut abisoliert sind.
5. Textile Stoffe und Regenhandschuhmaterial alleine ergeben keinen wirksamen Schutz.
6. Unterpolsterungen und Ausfütterungen können nicht nur durch den Dickeygewinn, sondern vor allem durch Vergleichmäßigung der Flächenpressung gegenüber Einzelrauheiten der Fahrbahn auch relativ schlechte Lederqualitäten im Reibverhalten stark "aufbessern". Es sollten daher verstärkt Handschuhe mit elastischen Unterpolsterungen entwickelt werden, die auch als Sommerhandschuhe zu benutzen sind, ohne Probleme in den Trageeigenschaften heraufzubeschwören.
7. Die Nahtscheuerfestigkeit ist bei außenliegenden Nähten schlechter als bei innenliegenden.
8. Reißverschlüsse aus Kunststoff neigen zum Verschmelzen, solche aus Metall zum Ausreißen von Zähnen. Die Gesamtfestigkeit ist aber bei beiden Varianten i.a. ausreichend.

9. Großflächige Lochbildung infolge Durchscheuerns oder Schälereffekten war bei den untersuchten Handschuhen nicht der Regelfall, was gut mit Erkenntnissen aus der Unfallforschung übereinstimmt.
10. Es gibt keine herausragende Lederart, die als Handschuhmaterial unter dem Aspekt des passiven Unfallschutzes eindeutig zu bevorzugen wäre. Ziegenleder neigte in den durchgeführten Versuchen eher als andere Materialien zur Lochbildung. Auch hier gelten aber die Punkte 1, 4 und 6. Die zu empfehlende Mindest-Materialstärke beträgt aus der Sicht der Forschungsstelle für alle Ledersorten etwa 1,0 mm.

Unfallprophylaxe durch Ausbildung

**Stefan Flügel
Hubert Koch**

Gliederung

Kapitel		Seite
1.	Einführung	279
2.	Ausbildungskonzeption für die Zweiradklassen	280
2.1	Systematische Schulung der Fahrzeugbeherrschung	281
2.2	Systematische Schulung im Verkehr	284
2.3	Theorieunterricht	288
3.	Konsequenzen	292
3.1	Weitere Forschung	292

1. Einführung

Im Rahmen eines Forschungsprojektes der Bundesanstalt für Straßenwesen [Koch, 1982 (78)] wurde eine Konzeption zur Fahrschulausbildung motorisierter Zweiradfahrer entwickelt. Durch die Umsetzung dieser Konzeption (eine flächendeckende Umsetzung kann erst nach der Entwicklung eines entsprechenden Curriculums erfolgen) in Fahrschulen wird eine Verbesserung des Fahrverhaltens der auszubildenden Zweiradfahrer sowie eine Reduzierung der Unfallbeteiligung intendiert.

Aufbauend auf einem Ansatz von Böcher [Böcher, 1975 (11)] entwickelten Ansatz versteht sich diese Konzeption als integrativ. Verbunden werden sollen einerseits Theorie und Praxis und andererseits die unterschiedlichen Bereiche, die auf das Verkehrsverhalten einwirken (Wissen, Können, Einstellungen).

Bisher gibt es kaum ausreichende Daten oder Evaluationen von Ausbildungsprogrammen, welche die genauen Zusammenhänge der Einzelfaktoren (Wissen, Können, Einstellungen) auf das Verkehrsverhalten detailliert untersucht oder ausgearbeitet haben [Koch, 1982 (77)]. Deshalb muß zur Zeit ein auf begründeten Vermutungen und wenigen Untersuchungen basierender Ansatz zugrunde gelegt werden. Die im folgenden dargestellte Konzeption bezieht sich auf die Erstausbildung motorisierter Zweiradfahrer. Sie ist mit entsprechend geänderter Akzentuierung und Schwerpunktsetzung (etwa auf Gefahrenkognition und Unfallvermeidungsstrategien) auch als Fortbildungsmaßnahme für Motorradfahrer anwendbar.

2. Ausbildungskonzeption für die Zweiradklassen

Die entwickelte Ausbildungskonzeption gliedert sich in drei Grundbestandteile. Diese Trennung ist nicht inhaltlich begründet, sondern trägt den Besonderheiten des deutschen Fahrschulwesens Rechnung, für das diese Konzeption entwickelt wurde.

Die folgende Darstellung zeigt die Bestandteile der Konzeption.

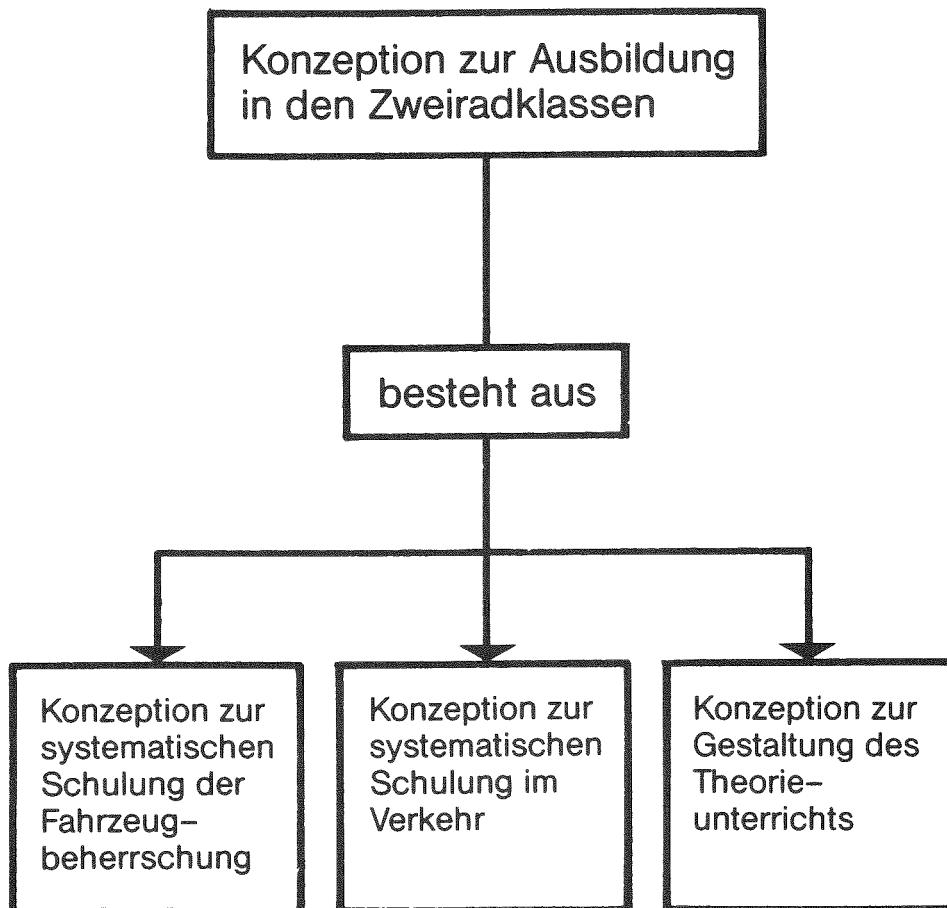


Abbildung 1: Übersicht: Konzeptionstabelle

2.1 Systematische Schulung der Fahrzeugbeherrschung

Ein gewisser Grad an Fahrzeugbeherrschung, zumindest aber eine Automatisierung der Bewegungsabläufe ist Voraussetzung für die weitere Ausbildung im Verkehr bzw. die spätere Verkehrsteilnahme. Aus der Zeichnung geht hervor, welche Vorarbeiten unternommen wurden, um diesen Konzeptions- teil zu entwickeln.

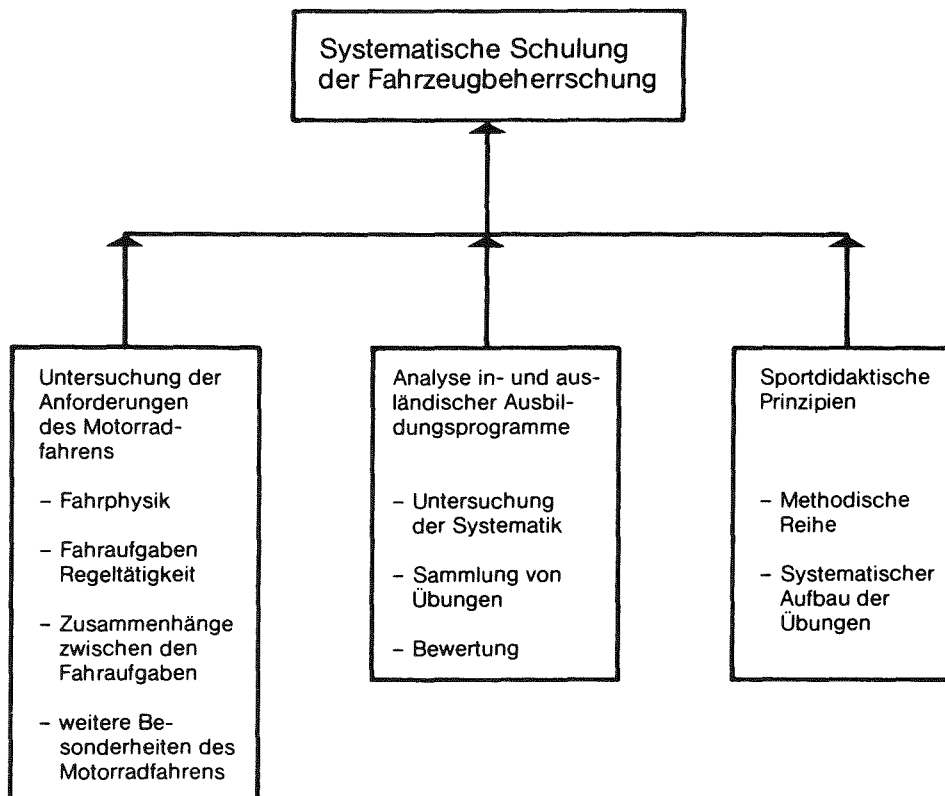


Abbildung 2: Übersicht: Schulung der Fahrzeugbeherrschung

Aus einer Analyse der fahrphysikalischen und fahrdynamischen Besonderheiten eines motorisierten Zweirads wurden vier Grundfahraufgaben abgeleitet [Koch, 1981 (79)].

Diese sind:

1. Stabilisierung bei Geradeausfahrt

Der Fahrer muß bei Geradeausfahrt die Stabilität des Fahrzeugs herstellen und aufrechterhalten. Dies geschieht insbesondere durch Lenkbewegungen und darauf abgestimmte Gewichtsverlagerung durch Oberkörperneigung.

2. Stabilisierung bei Kurvenfahrt

Der Fahrer muß bei stationärer Kurvenfahrt eine stabile Schräglage aufrechterhalten. Dazu stehen ihm neben den oben beschriebenen Regeltätigkeiten (Stabilisierung) noch Geschwindigkeitsregulierungen (Bremsen/Beschleunigen) zur Verfügung.

3. Einleiten oder Beenden der Kurvenfahrt/Ausweichen

Der Fahrer muß beim Einleiten oder Beenden einer Kurvenfahrt ein Lenkmoment aufbringen und sein Gewicht so verlagern (Oberkörperneigung), daß das Fahrzeug die vorher beschriebene Fahrtrichtung verläßt und in die gewünschte Fahrtrichtung einschwenkt.

4. Bremsen

Der Fahrer muß beim Bremsen durch Aufbringen und dauernde Anpassung eines bestimmten optimalen Bremsdruckes auf Vorder- und Hinterradbremse das Fahrzeug unter Aufrechterhaltung des Stabilitätszustandes verzögern.

In einer früheren Untersuchung von Koch [Koch, 1980 (80)] wurden die Zusammenhänge zwischen diesen vier Fahraufgaben untersucht. Mit Ausnahme der Fahraufgaben Ausweichen und Kurvenfahrt ergaben sich keine Zusammenhänge zwischen den Fahraufgaben. Für die Ausbildung bedeutet dies, daß jede Fahraufgabe für sich vermittelt und trainiert werden muß.

Aus der Analyse in- und ausländischer Ausbildungsprogramme wurde deutlich, daß es bisher weder eine begründete Ableitung von Fahraufgaben noch eine begründete Abfolge von einzelnen Übungen gibt. Deswegen wurde eine solche Systematisierung vorgenommen.

Da es beim Erlernen des Motorradfahrens in der Anfangsphase um das Erlernen von Bewegungen und Bewegungsabläufen geht, werden zur Gliederung des Ablaufs der einzelnen Übungen Erkenntnisse aus der Sportdidaktik übernommen und zur Strukturierung der Übungen eingesetzt. Unter Einbeziehung der vorgenannten Analysen ergibt sich folgende Grobstruktur der Konzeption zur systematischen Schulung der Fahrzeugbeherrschung:

1. Handhabung eines Zweirads
2. Gewöhnung an die Maschine
3. Stabilisierung des Fahrzeugs
bei langsamer Geradeausfahrt
4. Bremsen
5. Kurvenfahren/Ausweichen
6. Komplexe Übungen
- Bremsen und Ausweichen

Die Konzeption zur systematischen Schulung der Fahrzeugbeherrschung wurde in zwei Richtungen erprobt. Es wurde der Zeitbedarf für die Übungen, die Akzeptanz bei FahrSchülern und Fahrlehrern ermittelt sowie die Systematik der Konzeption - also die Abfolge der einzelnen Übungen - auf ihre Stimmigkeit hin überprüft. Beide Erprobungsrichtungen hatten positive Ergebnisse. Die nachstehende Tabelle zeigt die ermittelten Zeitwerte für die Grundfahrübungen.

Zeitbedarf in Minuten	Anzahl	%	* %
- 90	52	29.1	41.3
91 - 135	17	9.5	13.5
136 - 180	16	8.9	12.7
181 - 270	41	22.9	32.5
keine Angabe	53	29.6	-
Summe	179	100.0	126 = 100%

* Dies sind die Prozentzahlen, die unter Ausschluß der Spalte "keine Angabe" berechnet wurden.

Diese bereinigten Zeitangaben sind die zeitlichen Aufwendungen für alle Übungen einschließlich der Übung Bremsen und Ausweichen, jedoch ohne die benötigten Zeiten zur An- und Abfahrt zum Übungsplatz.

Die folgende Tabelle zeigt, wieviele Fahrstunden (à 45 Minuten) unter Berücksichtigung von An- und Abfahrt und der notwendigen Wiederholungen der Übungen tatsächlich für die Schulung der Fahrzeugbeherrschung benötigt werden.

Fahrstunde	Anzahl	%	kumuliert* %
bis 2.	40	22.3	22.3
bis 3.	24	13.4	35.7
bis 4.	30	16.8	52.5
bis 5.	17	9.5	62.0
bis 6.	28	15.6	77.6
bis 8.	21	11.7	89.3
9. und mehr	15	8.4	97.7
ohne Angaben	4	2.3	100.0
Summe	179	100.0	

* Aufaddierung der Prozentzahlen aus der dritten Spalte

2.2 Systematische Schulung im Verkehr

Verschiedene Unfalluntersuchungen [Otte, 1982 (33); Nagayama, 1979 (97)] lassen die begründete Vermutung zu, daß ein Großteil der Unfälle mit mehreren Beteiligten auf Fehler der Fahrzeugführer im Bereich der Wahrnehmung zurückzuführen ist. Diese Vermutung soll anhand eines typischen Unfalls zwischen Pkw und Motorrad verdeutlicht werden.

Der häufigste Unfalltyp im innerstädtischen Bereich - und das gilt auch im internationalen Vergleich - ist der Zusammenstoß eines vorfahrtberechtigten Motorrads mit einem entgegenkommenden Fahrzeug (in der Regel ein Pkw), welches nach

links (in Ländern mit Linksverkehr, etwa Japan und Großbritannien nach rechts) abbiegen will. Es liegt nahe - und die Untersuchungen von Nagayama [Nagayama, 1979 (97)] bekräftigen dies - daß eine inadäquate Blickführung für diese Unfälle mit verantwortlich ist. In dieser Untersuchung wird deutlich, daß sich das Blickverhalten von Pkw-Fahrern und Motorradfahrern stark unterscheidet.









	AUFFAHREN DES ZWEIRADES 	ABBIEGEN DES ZWEIRADES und entg. komm. PKW/LKW 	AUSSCHEREN DES ZWEIRADES 	ABBIEGEN DES PKW/LKW m. überholenden ZWEIRAD 	ABBIEGEN DES PKW/LKW m. entg.komm. ZWEIRAD 	Kreuzender VERKEHR 	ENTGEGEN- KOMMENDES ZWEIRAD frontal 	Straßenüber- querung infolge Radweg * 
Motorrad (n = 47)	-	-	-	18,8	46,8	18,8	15,6	-
Kleinkraft- rad + Moped (n = 43)	8,8	14,6	2,9	17,6	5,8	50,3	-	-
Mofa (n = 37)	3,3	23,2	-	19,9	6,6	33,8	6,6	6,6
motorisierte Zweiräder n = 127	4,1	12,4	1,1	18,6	20,6	34,0	7,2	2,0
Fahrer n=100	1	9	18	-	4	40	2	26

Tabelle aus: Erhebungen am Unfallort [Otte, 1982 (33)]

Dies führt dazu, daß der Motorradfahrer die Abbiegeabsicht des Pkw nicht oder nicht rechtzeitig wahrnimmt, oder auf seine Vorfahrt vertraut und andererseits der Pkw-Fahrer das Motorrad aufgrund seiner schmalen Silhouette und den Sichtproblemen im Pkw übersieht oder dessen Geschwindigkeit falsch einschätzt.

Diese Überlegungen führten uns zu einer intensiveren Beschäftigung mit den Fragen der Wahrnehmung, dabei insbesondere zu Problemen des kraftfahrerspezifischen Blickverhaltens und dessen Erlernbarkeit. Von den Ergebnissen der Arbeit von Hosemann [Hosemann, 1979 (52)] konnten wir wesentliche Teile übernehmen.

Vor allem wurde durch diese Untersuchung deutlich, wie sich erfahrene Fahrer hinsichtlich ihres Blickverhaltens von Fahranfängern unterscheiden.

Wesentlich für die Entwicklung einer Konzeption zum Erlernen eines dem erfahrenen Fahrer angenäherten Blickverhaltens war die Erkenntnis, daß die Steuerung des Blickverhaltens halb- und vollbewußten Prozessen unterliegt und somit erlernbar ist. Zur Entwicklung eines vermittelbaren und in Fahrschulen einsetzbaren Konzepts gehört vor allem die Reduzierung der Komplexität des Lerngegenstandes. In einem amerikanischen Trainingsprogramm [Motorcycle Rider Course, 1977 (96)] fanden wir eine verwertbare Strategie zur Situationsanalyse für die Ausbildung. Grob betrachtet sieht das Lernschema wie folgt aus:

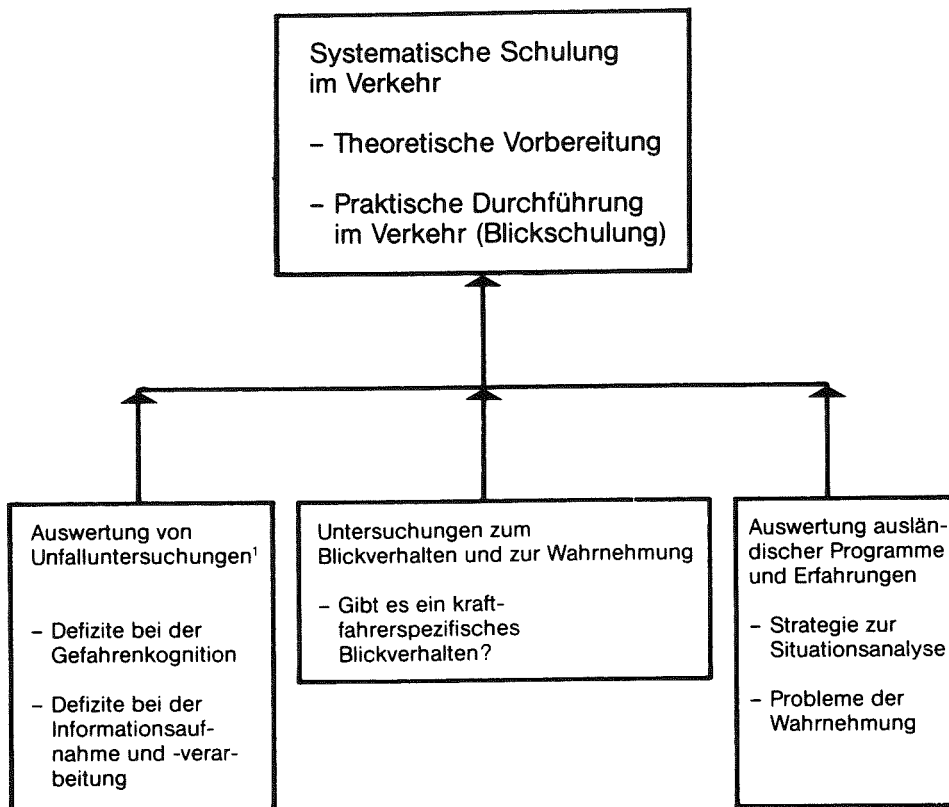
1. Erkennen einer Gefahr
2. Vorhersagen, ob es zu einer Kollision kommen kann
3. Entscheiden, was zu tun ist
4. Ausführen des entsprechenden Fahrmanövers

In einem ersten Schritt konzentrierten wir uns vor allem auf das Erkennen von potentiell gefährlichen Situationen, da die Wahrnehmung von Verkehrssituationen die wesentliche Voraussetzung für adäquates Handeln nach diesem Schema ist. Erst nach der Wahrnehmung kann eine Vorhersage über die Entwicklung der Situation, danach eine Entscheidung über das auszuführende Fahrmanöver getroffen werden.

Auf diesen Ergebnissen aufbauend wurde eine Konzeption zur systematischen Schulung im Verkehr entwickelt, die sich auf die Bereiche Stadt, Überland und Autobahn bezieht. Es wurden prototypische Situationen gesammelt, systematisiert und eine praktikable Strategie zur Schulung im Verkehr vorgeschlagen.

An einer ersten Erprobung und Weiterentwicklung dieser Rohkonzeption nahmen im Rahmen einer Fortbildungsveranstaltung in Berlin etwa 160 Fahrlehrer teil.

Die Zeichnung stellt die Vorarbeiten, die zur Konzeptionsentwicklung durchgeführt werden mußten im Überblick dar.



¹Hier werden nur spezifische, für die Schulung im Verkehr relevante Ergebnisse referiert.

Abbildung 3: Systematische Schulung im Verkehr

Die praktische Durchführung dieser "Blickschulung" im Verkehr setzt eine gründliche theoretische Vorbereitung voraus. Im Unterricht wird dabei unter Zuhilfenahme von audio-visuellem Material im wesentlichen die Strategie in ihren vier Stufen eingeübt. Die Fahrschüler sollen anhand von vorgelegtem Bildmaterial (Dias, Fotos, Folien) die Gefahrenmomente einer Situation herausarbeiten, die Entwicklung der Situation beschreiben und Verhaltensalternativen vorschlagen. Eine erste praktische Erprobung fand in einigen ausgewählten Fahrschulen statt. Das Ergebnis war positiv, wenn man die Praktikabilität, Akzeptanz und Durchführbarkeit der Konzeption betrachtet. Eine ausführliche Praxiserprobung ist geplant. Entsprechende Materialien wurden bereits entwickelt.

2.3 Theorieunterricht

Der theoretische Unterricht hat die Aufgabe, einerseits das nötige Wissen für die Fahrzeugbeherrschung und die Verkehrsteilnahme zu vermitteln und andererseits die Aufgabe, gemachte Erfahrungen nachzubereiten und auszuarbeiten. Um die Inhalte des Unterrichts zu erarbeiten, eine optimale Gestaltung des Unterrichts zu gewährleisten (Lernplanung) und eine zielgruppenadäquate Vermittlung der Inhalte zu erreichen, wurden folgende Arbeiten durchgeführt.

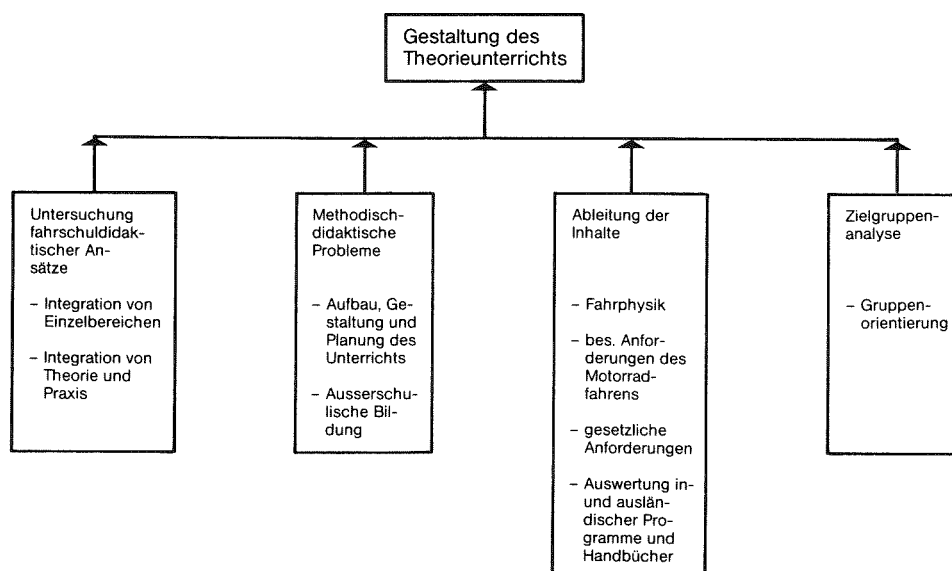


Abbildung 4: Gestaltung des Theorieunterrichts

Die Untersuchung neuer fahrschuldidaktischer Ansätze führte uns zur Übernahme des integrativen Ansatzes von Böcher [Böcher, 1975 (11)].

Dabei wird sowohl eine Integration von Theorie und Praxis als auch eine Integration der Einzelbereiche angestrebt.

Die folgende Darstellung zeigt anhand des Beispiels Bremsen, wie eine solche Inbeziehungsetzung verschiedener Teilbereiche aussehen kann.

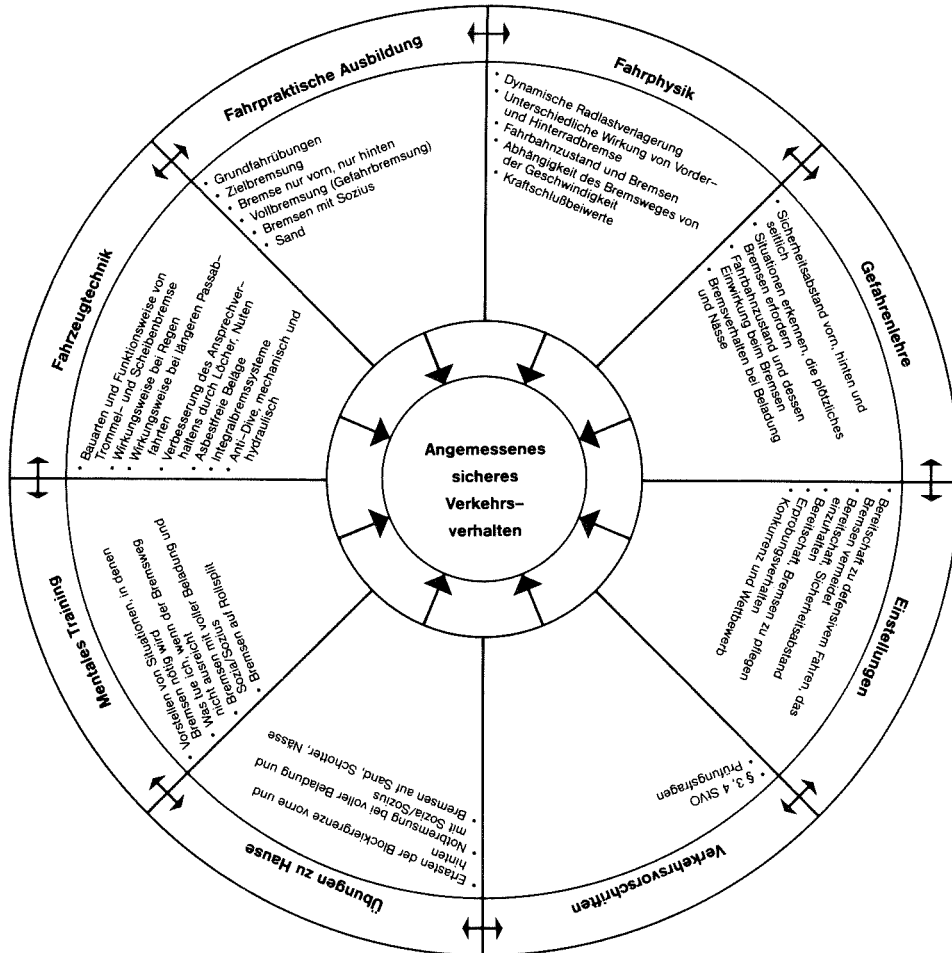


Abbildung 5: Lerneinheit Bremsen

Die zu vermittelnden Inhalte - entsprechend aufgebaut wie im dargestellten Beispiel - ergeben sich aus der Fahrphysik und Fahrdynamik, den besonderen Anforderungen des Motorradfahrens und den gesetzlichen Bestimmungen. Aus den Analysen dieser Bereiche wurden folgende Inhalte für den theoretischen Unterricht abgeleitet:

- Ausrüstung und Bekleidung
- Aufbau eines motorisierten Zweirades
- Bremsen

- Kurvenfahren
- Ausweichen
- Fahren bei nasser und glatter Fahrbahn
- Fahren mit Sozius und Gepäck
- Gespannfahren/Fahren mit Seitenwagen

Die folgende Darstellung zeigt alle inhaltlichen Bereiche in ihren Zusammenhängen auf.

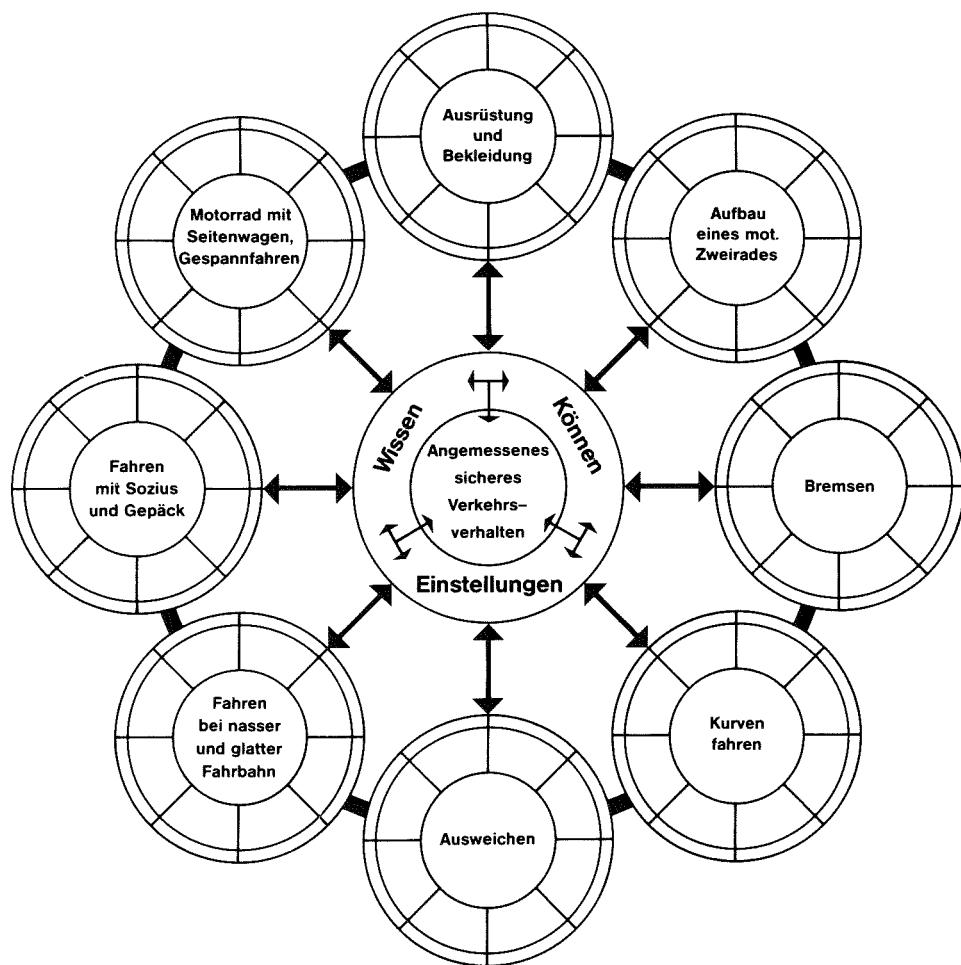


Abbildung 6: Gesamtkonzept

Die Gestaltung des Unterrichts sollte aufgrund der Auswertung von Zielgruppenuntersuchungen und von Erkenntnissen aus der außerschulischen Jugend- und Erwachsenenbildung gruppenorientiert sein und eine aktive Beteiligung der Lernenden mit einschließen. Durch eine Kombination verschiedener Lehr- und Lernformen (Vortrag, Lehrgespräch, Gruppenarbeit) sowie durch Medienunterstützung sollen eine hohe Akzeptanz und ein entsprechender Lernerfolg sichergestellt werden.

Eine Ersterprobung ist bisher in der Fahrschule des Forschungsnehmers [Ingenieurbüro Wolfer, Nürtingen und Fahrschule Wolfer] erfolgt. Hier wurde insbesondere die Akzeptanz bei den Fahrschülern, die Praktikabilität der Unterrichtsform und der Zeitbedarf ermittelt. Dieser liegt bei etwa sechs Theorie-Doppelstunden (90 Minuten) für alle Themenbereiche. Für eine Breitereprobung sind noch geeignete Lehr- und Lernmaterialien zu entwickeln.

3. Konsequenzen

Vordringlich, was die mögliche Umsetzung der Konzeption betrifft, ist die weitere Entwicklung zu einem umfassenden Curriculum. Ebenfalls ist eine Veränderung einiger Rahmenbedingungen erforderlich. Diese Konsequenzen sind in der folgenden Zeichnung dargestellt.

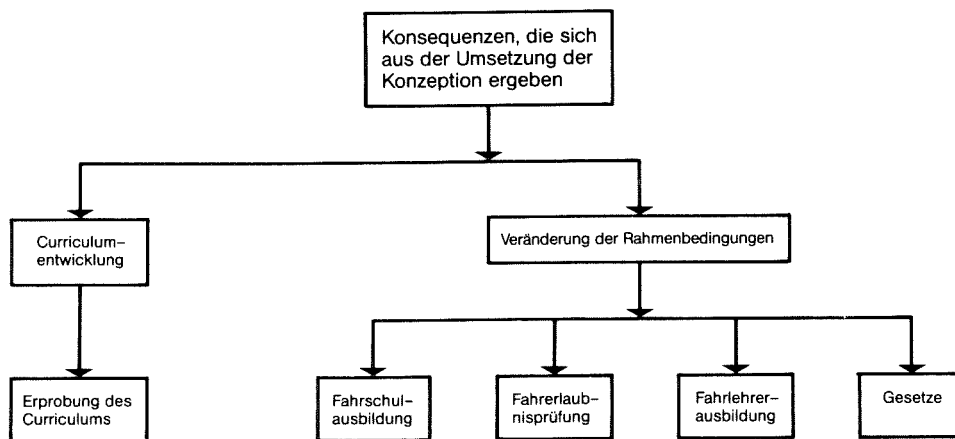


Abbildung 7: Konsequenzen aus der Konzeptionsumsetzung

Zur Fundierung dieses Curriculums sind weitere Forschungen in den Bereichen Unfall- und Fahrverhaltensanalysen erforderlich.

3.1 Weitere Forschung

Zum Bereich der Wahrnehmung von unfallträchtigen Verkehrssituationen durch die Unfallbeteiligten geben bisher nur einige Arbeiten Auskunft. Erhebungen am Unfallort sollten daher mit verstärkter Akzentuierung auf der Analyse des menschlichen Versagens, wie es in Ansätzen bei Otte [Otte, 1982 (33)] u.a. durchgeführt wurde, angelegt werden. Das Ziel sollte dabei sein, die Unfallursachen, welche ja nicht als singuläre Ursache sondern als

eine Häufung oder Verkettung von Ursachen betrachtet werden können, genauer herauszuarbeiten. Damit könnten den angehenden Verkehrsteilnehmern Hilfen zu Situationseinschätzung und Gefahrenkognition gegeben werden. Möglichkeiten dazu bietet eine Befragung der verunfallten Personen anhand eines auf die Probleme der Wahrnehmung zugeschnittenen Fragebogens.

Im Bereich des Schutzes vor den Unfallfolgen kann die Forschung dazu beitragen, den Motorradfahrern Informationen über die Wirkung von Schutzkleidung und Helmen zu geben. Dies kann einerseits durch Erhebungen am Unfallort geschehen, die den allgemeinen Nutzen von Schutzkleidung und Helmen herausarbeiten können. Im Test können verschiedene neue, stoßabsorbierende Materialien (Protektoren) auf ihre Wirkungsweise und Einsatzmöglichkeiten hin getestet werden [Bayer, 1982 (7)].

Zur weiteren Ausarbeitung der Konzeption wären Untersuchungen im Bereich der Wahrnehmung von Verkehrssituationen, insbesondere zum Blickverhalten von Motorradfahrern ähnlich der Arbeiten von Nagayama [Nagayama, 1979 (97)] und Renge [Renge, 1980 (110)] sinnvoll.

Im verhaltenswissenschaftlichen Bereich fehlen grundlegende Untersuchungen zur Möglichkeit der Beeinflussung des Fahrverhaltens, bzw. sind zur Zeit nur in Ansätzen im Rahmen von Evaluationen von Trainingsprogrammen vorhanden.

Ebenfalls fehlen im deutschsprachigen Raum Untersuchungen zum Einfluß von Alter, Fahrerfahrung und Maschinenleistung auf die Unfallverwicklung.

**Überlegungen zur Stand- und Kippstabilität
von Kraffrad-Seitenwagen-Gespannen**

Bernward Bayer

Inhaltsverzeichnis

Kapitel		Seite
1.	Einleitung	297
2.	Voraussetzungen und Definitionen	298
3.	Bestimmung statischer Werte	304
3.1	Berechnung der statischen Radlasten	304
3.2	Schwerpunktlagenbestimmung	305
4.	Kippstabilität bei stationärer Kreisfahrt	311
4.1	Rechtskurve	311
4.2	Linkskurve	314
5.	Beispielrechnung für "Kippen oder Rutschen"	320
	Diskussion	322
6.	Zusammenfassung	324
	Literaturverzeichnis	325

1. Einleitung

Das asymmetrische Dreiradfahrzeug "Gespann" nimmt mit seiner Fahrwerksgeometrie eine Außenseiterposition unter allen Kraftfahrzeugen ein. Dennoch - oder gerade deshalb - übt es auf eine bestimmte Motorradfahrergruppe einen ganz speziellen Reiz aus. Das durch die Gesetze der Kreiseldynamik dominierend geprägte Fahrverhalten der Solomaschine, bei welcher zusätzlich der Freiheitsgrad "Schräglage" eine für die Kurvenfahrt wesentliche Rolle spielt, ist nicht mit der Fahrdynamik eines Gespannes mit zwei "starren" Rädern und einem gelenkten Rad vergleichbar.

Vom Pkw her ist bekannt, daß dort bei forcierter Kurvenfahrt in der Regel ein Zustand des Rutschens der Reifen auf der Fahrbahn ("Driften" oder Schleudern mit ausgeprägt hohen Schräglaufwinkeln) vor einem möglichen Umkippen des Fahrzeuges auftritt. Bei Nutzfahrzeugen mit dem zur Spurweite relativ hoch angesiedelten Gesamtschwerpunkt ist das Gegenteil festzustellen: Im Grenzfall kippt das Fahrzeug anstatt zu rutschen.

Welche Zusammenhänge nun für ein Kraftrad-Gespann gelten, soll im folgenden näher untersucht werden. Wegen der bereits erwähnten Asymmetrie des Beiwagenanschlusses an nur eine Seite der Solomaschine ist dabei zu differenzieren, ob es sich um das Befahren einer Links- oder Rechtskurve handelt.

2. Voraussetzungen und Definitionen

Folgende - für eine Behandlung des Problem es in erster Näherung zulässige - Vereinfachungen seien vorab definiert:

- Bekannt seien die grundlegenden Daten (Maße) des betrachteten Gespannes.
- Es werden keine Effekte der Aufbau- und Reifenefederung berücksichtigt (entsprechend einer "unendlich" großen Wank- und Hubfedersteife).
- Es wird eine feste Schwerpunktlage des gesamten (beladenen) Fahrzeuges angenommen, also ein - falls vorhanden - "starrer" Beiwagenpassagier, der keine Relativbewegungen zum Fahrzeug ausführt.
- Sturz- und Vorspureffekte der Fahrwerksgeometrie werden nicht betrachtet.
- Der Lenkeinschlag des Maschinenvorderrades wird vernachlässigt.
- Die Reifenbreite wird vernachlässigt, es werden für alle Berechnungen die Reifenaufstandspunkte und deren Verbindungslinien untereinander herangezogen.
- Die bei Kurvenfahrt auftretende Fliehkraft stehe immer exakt senkrecht auf der Verbindungslinie von Maschinenvorder- und Hinterrad (= Maschinen-Längssymmetrielinie).
- Es wird der für die Bundesrepublik Deutschland übliche Rechtsanschluß des Seitenwagens an die Solomaschine zugrundegelegt.
- Es sollen ausschließlich statische oder quasi-statische Zustände (stehendes oder sich in stationärer Kreisfahrt befindendes Gespann) betrachtet werden.

- Der Moment des Abhebens eines Rades des Gespannes vom Boden (Seitenwagenrad oder Maschinenhinterrad) wird als beginnender Überschlag definiert, obwohl z.B. im Zustand "angehobener Seitenwagen" auch noch - bei entsprechendem fahrerischen Talent - ein stationärer Fahrzustand einstellbar ist.
- Es handele sich um eine ebene, nicht bombierte und seitlich nicht geneigte Fahrbahn, die auch keine Welligkeit aufweisen soll.
- Zusammenhänge aus der Reifenmechanik (Seitenführung ./ Schräglauf sowie Überlagerungen von Quer- und Umfangskräften) werden nicht behandelt; vielmehr wird ein fester "Haft"-Reibbeiwert in Bewegungsquerrichtung unterstellt und auf die Berechnung von Schräglaufwinkeln verzichtet.

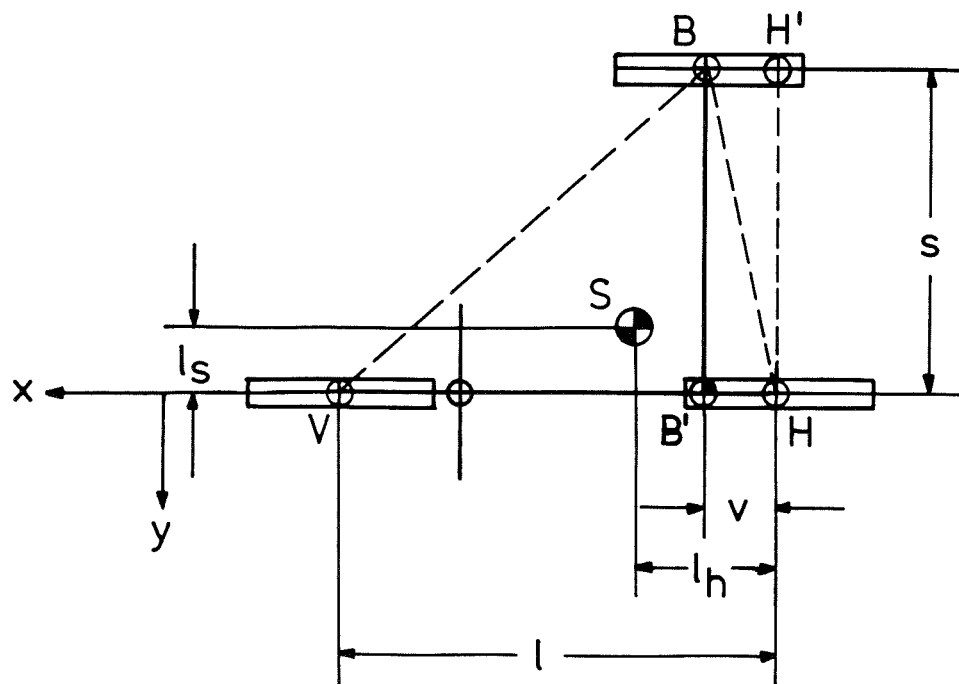
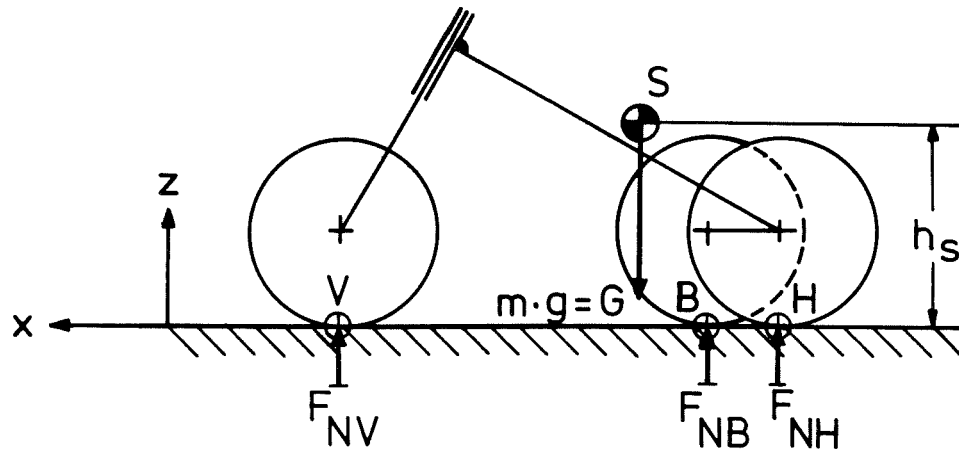


Abbildung 1: Prinzipdarstellung eines Gespannes

Abbildung 1 zeigt ein vereinfachtes Ersatzmodell eines solchen Gespannes. In der weiteren Abhandlung des Themas werden die nachstehenden Symbole und Einheiten benutzt:

- x : Koordinate in Fahrzeuglängsrichtung
(nach vorne)
- y : Koordinate in Fahrzeugquerrichtung
(nach links)
- z : Koordinate in Fahrzeughochrichtung
(nach oben)
- V : Maschinenvorderradaufstandspunkt
- H : Maschinenhinterradaufstandspunkt
- H' : Projektion des Maschinenhinterradaufstandspunktes in negativer y-Richtung auf die Parallele zur Maschinen-Längssymmetrielinie durch Seitenwagenradaufstandspunkt
- B : Seitenwagenradaufstandspunkt
- B' : Projektion des Seitenwagenradaufstandspunktes in y-Richtung auf die Maschinen-Längssymmetrielinie
- S : Gesamtschwerpunkt
- l : Radstand der Maschine in [m]
- v : Seitenwagenradvorlauf in [m]
- s : Spurweite in [m]
- l_h : Schwerpunktsabstand in x-Richtung vom Hinterradaufstandspunkt in [m]
- l_s : Schwerpunktsabstand in negativer y-Richtung von der Maschinen-Längssymmetrielinie in [m]
- h_s : Schwerpunkthöhe in z-Richtung über der Fahrbahn in [m]
- a, b, c, d, e, f, h, i: geometrische Hilfsgrößen
(siehe jeweilige Bilder)
in [m]

- R : Kurvenradius in [m]
 F_{NV} : Vorderradaufstandskraft der Maschine in [N]
 F_{NH} : Hinterradaufstandskraft der Maschine in [N]
 F_{NB} : Seitenwagenradaufstandskraft in [N]
 F_S : Seitenführungskräfte der Reifen für das gesamte Gespann in [N]
 F_{SV} : Seitenführungskraft des Maschinenvorder-
rades in [N]
 F_{SH} : Seitenführungskraft des Maschinenhinter-
rades in [N]
 F_{SB} : Seitenführungskraft des Seitenwagenrades in
in [N]
 F_{SN} : 1. Komponente der Seitenführungskräfte der
Reifen für das gesamte Gespann in [N]
 F_{SVN} : 1. Komponente der Seitenführungskraft des
Maschinenvorderrades in [N] gemäß Abbil-
dung 5
 F_{SHN} : 1. Komponente der Seitenführungskraft des
Maschinenhinterrades in [N] gemäß Abbil-
dung 5
 F_{SBN} : 1. Komponente der Seitenführungskraft des
Seitenwagenrades in [N] gemäß Abbildung 5
 F_{ST} : 2. Komponente der Seitenführungskräfte der
Reifen für das gesamte Gespann in [N]
 F_{SVT} : 2. Komponente der Seitenführungskraft des
Maschinenvorderrades in [N] gemäß Abbil-
dung 5
 F_{SHT} : 2. Komponente der Seitenführungskraft des
Maschinenhinterrades in [N] gemäß Abbil-
dung 5
 F_{SBT} : 2. Komponente der Seitenführungskraft des
Seitenwagenrades in [N] gemäß Abbildung 5
 G : Gewichtskraft in [N]
 g : Erdbeschleunigung = 9,81 [m/s²]

- m : Masse in [kg]
- F_F : Fliehkraft in [N]
- F_{FN} : 1. Komponente der Fliehkraft in [N] gemäß
Abbildung 5
- F_{FT} : 2. Komponente der Fliehkraft in [N] gemäß
Abbildung 5
- v_g : rechnerische Kurvengrenzgeschwindigkeit in
[m/s], i.a. wird unterschieden zwischen:
- v_{gK} : kippsicherer Kurvengrenzgeschwindigkeit in
[m/s] sowie
- v_{gR} : rutschbedingter Kurvengrenzgeschwindigkeit
in [m/s]
- α : Winkel zur Schwerpunkthöhenbestimmung in
[grad]
- β : Hilfswinkel in [grad] gemäß Abbildung 5
- μ_q : Haftreibungskoeffizient quer zur Fahrtrichtung
zwischen Reifen und Fahrbahn [-]

3. Bestimmung statischer Werte

Eine Grundvoraussetzung zu allen weiteren Berechnungen ist die Bestimmung des Fahrzeug-Gesamtschwerpunktes. Andererseits kann es aber auch bei bereits bekannter Schwerpunktlage interessant sein, die statische Radlastverteilung zu ermitteln. Mit der Lösung dieser Fragestellung soll hier begonnen werden.

3.1 Berechnung der statischen Radlasten

Es gilt nach den Gesetzen der Mechanik (Abbildung 1):

Summe der Kräfte in z-Richtung = 0

$$F_{NV} + F_{NB} + F_{NH} - m \cdot g = 0 \quad (1)$$

Summe der Momente um Linie \overline{HV} = 0

$$m \cdot g \cdot l_s - F_{NB} \cdot s = 0 \quad (2)$$

Summe der Momente um Linie \overline{HH} = 0

$$m \cdot g \cdot l_h - F_{NV} \cdot l - F_{NB} \cdot v = 0 \quad (3)$$

(2) liefert:

$$\underline{\underline{F_{NB} = \frac{m \cdot g \cdot l_s}{s}}} \quad (4)$$

(4) in (3) ergibt:

$$\underline{\underline{F_{NV} = \frac{m \cdot g}{l} \cdot \left(l_h - \frac{l_s \cdot v}{s} \right)}} \quad (5)$$

(4) und (5) in (1) liefert:

$$\underline{\underline{F_{NH} = m \cdot g \cdot \left(1 + \frac{l_s \cdot v}{l \cdot s} - l_s/s - l_h/l\right)}} \quad (6)$$

Damit sind - bei vorgegebener Lage des Schwerpunktes in der x-y-Ebene - mit Hilfe der Strecken l , l_h , l_s , v und s die einzelnen statischen Radlasten aus den Gleichungen (4), (5) und (6) bestimmbar. Die Schwerpunkthöhe über der Fahrbahn (siehe Abschnitt 3.2) wird hierzu noch nicht gebraucht.

Häufig sind, umgekehrt zur bisher angenommenen Vorgehensweise, die einzelnen Radlasten (durch Auswiegen auf Radlastwaagen) bekannt, und die Schwerpunktlage ist zu berechnen. Dies wird im folgenden Abschnitt behandelt.

3.2 Schwerpunktlagenbestimmung

Eine praktische Methode, sich Klarheit über die wichtige Schwerpunktlage eines Gespannes zu verschaffen, besteht darin, zunächst die drei statischen Radlasten des (besetzten) Fahrzeuges durch Wiegen experimentell zu bestimmen und dann in die untenstehenden Gleichungen einzusetzen:

Aus (4) folgt:

$$l_s = \frac{F_{NB} \cdot s}{m \cdot g} \quad (7)$$

Mit

$$G = m \cdot g \quad (8)$$

gilt:

$$\underline{\underline{l_s = \frac{F_{NB} \cdot s}{G}}} \quad (9)$$

(7) in (6) ergibt:

$$l_h = \frac{1}{m \cdot g} \cdot (F_{NB} \cdot v - F_{NB} \cdot l - F_{NH} \cdot l) + l \quad (10)$$

Mit (8) ergibt sich:

$$l_h = l - \frac{F_{NB} \cdot l - F_{NB} \cdot v + F_{NH} \cdot l}{G} \quad (11)$$

Somit ist die Lage des Schwerpunktes in der x-y-Ebene bekannt. Für Betrachtungen zur Kippstabilität in Kurven (siehe Abschnitte 4.1 und 4.2) ist nun noch die zusätzliche Kenntnis der Schwerpunkthöhe über der Fahrbahn unerlässlich. Auch die Schwerpunkthöhe ist im Versuch ermittelbar, **Abbildung 2**. Dabei wird das Seitenwagenrad auf eine erhöhte Position gebracht und in diesem Zustand die (im Vergleich zur Messung in der Ebene verminderte) Radlast ausgewogen.

Um gemäß der in Abschnitt 2 getroffenen Vereinbarung Federungseffekte auszuschließen, müssen die Federn aller drei Räder des Gespannes in der Stellung, die den statischen Radlasten in der Ebene entspricht, blockiert werden. Auch hier muß das Fahrzeug, wenn nicht der Schwerpunkt des leeren Gespannes ermittelt werden soll, mit Fahrer und Beifahrer(n) sowie gegebenenfalls Gepäck ballastiert sein. Auch die Lenkung sollte festgehalten werden (Geradausposition).

Die Gleichgewichtsbeziehung lautet:

Summe der Momente um Linie $\overline{HV} = 0$

$$F_{NB} \cdot a = m \cdot g \cdot d \quad (12)$$

Geometrische Beziehungen:

$$a = s \cdot \cos \alpha \quad (13)$$

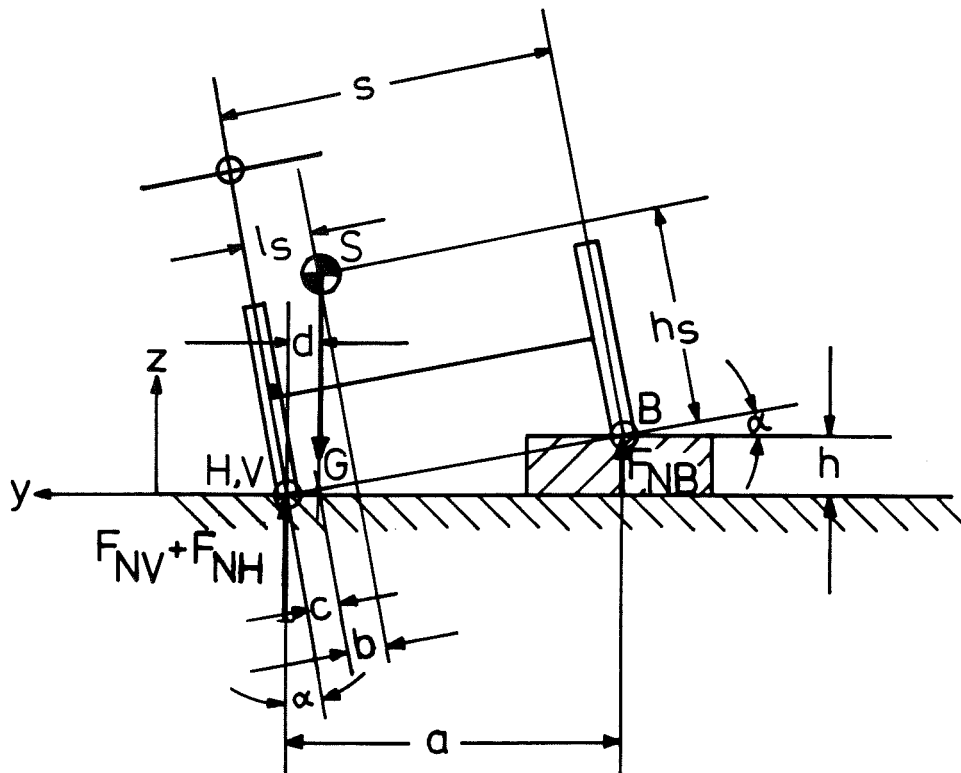


Abbildung 2: Abmessungen und Kräfte zur Bestimmung der Schwerpunkthöhe

$$b = h_s \cdot \tan \alpha \quad (14)$$

$$c = l_s - b \quad (15)$$

(14) in (15) liefert:

$$c = l_s - h_s \cdot \tan \alpha \quad (16)$$

Weiterhin gilt:

$$d = c \cdot \cos \alpha \quad (17)$$

(16) in (17) ergibt:

$$d = l_s \cdot \cos \alpha - h_s \cdot \sin \alpha \quad (18)$$

(13) und (18) in (12) liefert:

$$h_s = \cot \alpha \cdot \left(l_s - \frac{F_{NB} \cdot s}{m \cdot g} \right) \quad (19)$$

Mit (8) folgt:

$$\underline{\underline{h_s = \cot \alpha \cdot \left(l_s - \frac{F_{NB}}{G} \cdot s \right)}} \quad (20)$$

Durch Messen (Wiegen) der Radlast des angehobenen Seitenwagenrades ist jetzt bei vorgegebenem Winkel α und bekannter Schwerpunktlage in y -Richtung (Strecke l_s) auch die Schwerpunkthöhe bestimmbar.

Der Winkel α ist entweder direkt zu messen oder wie folgt errechenbar, wenn die Anhebehöhe gegeben ist:

$$\sin \alpha = h/s \quad (21)$$

Dies liefert:

$$\alpha = \arcsin \frac{h}{s} \quad (22)$$

Damit wird aus (20):

$$\underline{\underline{h_s = \left(l_s - \frac{F_{NB}}{G} \cdot s \right) \cdot \cot \left(\arcsin \frac{h}{s} \right)}} \quad (23)$$

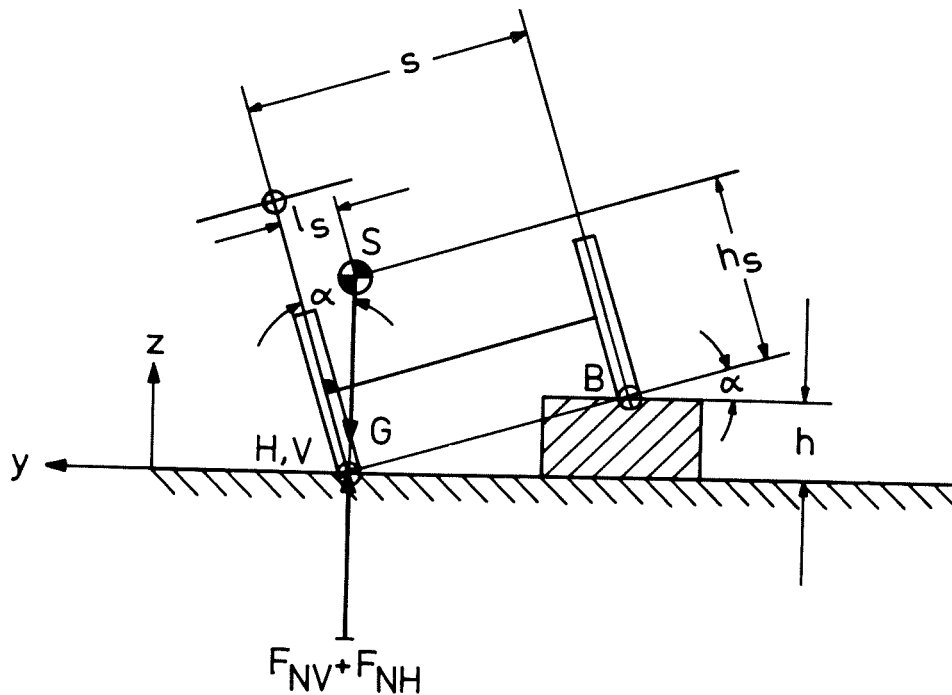


Abbildung 3: Statischer Kippbeginn eines Seitenwagens nach links

Einen Grenzfall stellt der Zustand dar, in welchem das Seitenwagenrad gerade so weit angehoben ist, daß die Radlast dieses Rades zu Null wird (statische Kippgrenze für seitlichen Überschlag, in der Praxis z.B. im Gelände dadurch zu erreichen, daß ein Hang auf der sogenannten Schichtlinie befahren wird). Die Gewichtskraft schneidet hierbei genau die Verbindungslinie von Maschinenvorder- und Hinterrad. Gemäß **Abbildung 3** gilt:

$$\cot \alpha = h_s / l_s \quad (24)$$

Daraus folgt:

$$\underline{\underline{h_s = l_s \cdot \cot \alpha}} \quad (25)$$

Mit (22) ergibt sich:

$$\underline{\underline{h_s = l_s \cdot \cot(\arcsin \frac{h}{s})}} \quad (26)$$

Auch mittels Formel (23) läßt sich dieses Ergebnis beweisen, wenn F_{NB} gleich Null gesetzt wird:

$$h_s = (l_s - \overset{\uparrow}{\frac{F_{NB}}{m \cdot g}} \cdot s) \cdot \cot(\arcsin h/s) \quad (23)$$

Also gilt auch hier für diese Grenzbetrachtung:

$$\underline{\underline{h_s = l_s \cdot \cot(\arcsin \frac{h}{s})}} \quad (26)$$

4. Kippstabilität bei stationärer Kreisfahrt

Hier soll, wie bereits in der Einleitung angesprochen, untersucht werden, ob ein Gespann in einer Rechts- bzw. Linkskurve eher zum seitlichen Wegrutschen oder zum Umkippen neigt. Dazu sind als Grundlage außer rein geometrischen Abmessungen im wesentlichen die Daten über die Schwerpunktlage nötig, wie sie schon in Abschnitt 3 abgehandelt sind.

4.1 Rechtskurve

Abbildung 4 zeigt, daß die mögliche Kipplinie des Gespannes in einer Rechtskurve durch die Verbindungslinie der Aufstandspunkte des Kraftradvorder- und Hinterrades gebildet wird.

Im einzelnen ergibt sich:

Summe der Momente um Linie $\overline{HV} = 0$

$$m \cdot g \cdot l_s - F_{NB} \cdot s - F_F \cdot h_s = 0 \quad (27)$$

Für den zunächst unterstellten Kippbeginn (Abheben des Seitenwagenrades) gilt, daß F_{NB} gleich Null werden muß; damit wird aus Gleichung (27):

$$m \cdot g \cdot l_s = F_F \cdot h_s \quad (28)$$

Es folgt:

$$F_F = \frac{m \cdot g \cdot l_s}{h_s} \quad (29)$$

Mit dem bekannten Zusammenhang für die Fliehkraft

$$F_F = \frac{m \cdot v^2}{R} \quad (30)$$

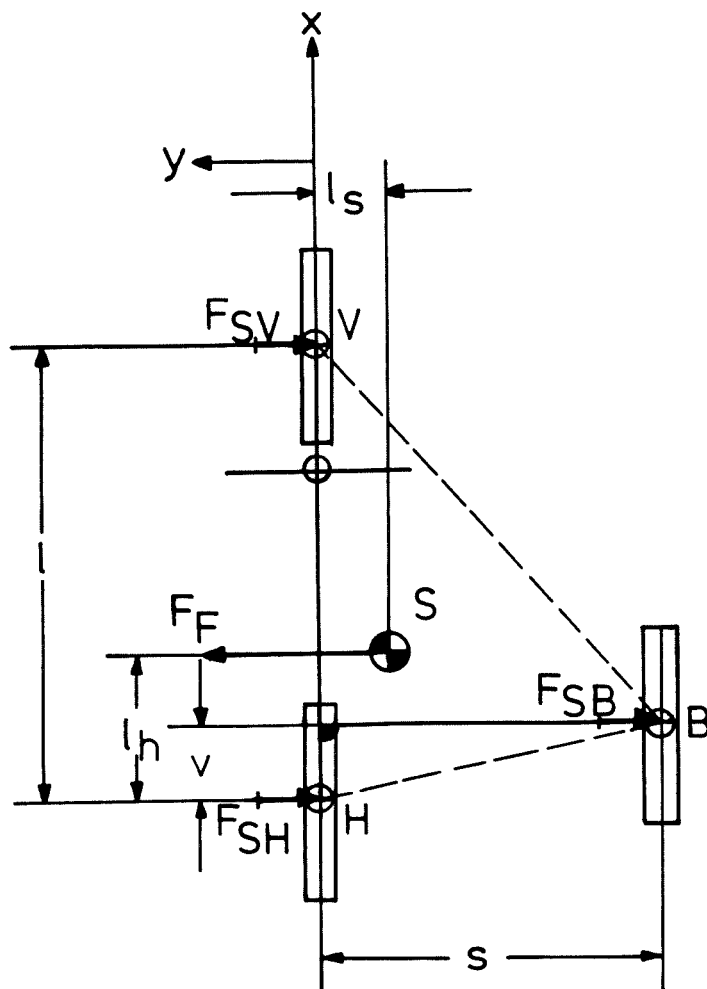
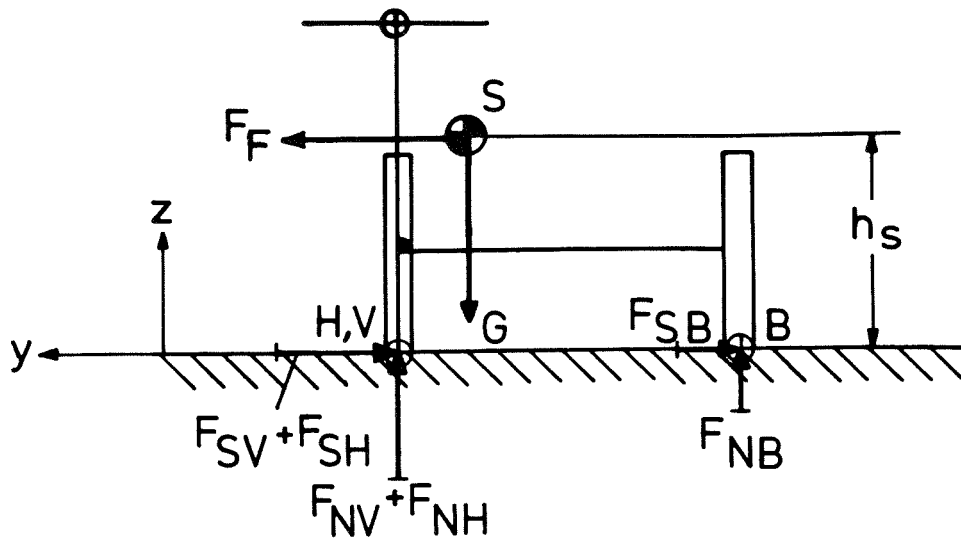


Abbildung 4: Ersatzmodell eines Gespannes in Rechtskurve

wird aus (29), aufgelöst nach der Grenzgeschwindigkeit für Umkippen:

$$\underline{v_{gK} = \frac{\sqrt{g \cdot l_s \cdot R}}{\sqrt{h_s}}} \quad (31)$$

Die maximal in Anspruch zu nehmende Seitenführungskraft für das Gespann errechnet sich aus dem Produkt von verfügbarem Reibbeiwert quer zur Fahrtrichtung und der Gesamtgewichtskraft (Normalkraft):

$$F_S = \mu_q \cdot m \cdot g \quad (32)$$

Gleichsetzen der Gleichungen (30) und (32) ergibt die rechnerisch mögliche Grenzgeschwindigkeit, bevor Rutschen auftritt:

$$\underline{v_{gR} = \sqrt{g \cdot \mu_q \cdot R}} \quad (33)$$

Tritt nun eher Kippen oder Schleudern auf? Diese Frage ist zu beantworten, indem man untersucht, ob die vorhandenen Seitenführungskräfte größer oder kleiner als die wirkende Fliehkraft am gesamten Fahrzeug sind. Also:

$$F_S \stackrel{?}{\geq} F_F \quad (34)$$

(29) und (32) eingesetzt in (34) liefert:

$$\mu_q \stackrel{?}{\geq} l_s / h_s \quad (35)$$

Das gleiche Ergebnis erhält man übrigens aus einem Vergleich der Grenzgeschwindigkeiten (Gleichungen (31) und (33)).

Fallunterscheidung:

$$a) \mu_q \geq l_s/h_s:$$

Das Gespann kippt im Grenzfall seitlich über beide Maschinenräder (Linie \overline{HV}) um, da die Seitenführungskräfte der Reifen auch im Moment des Kippens noch ausreichen, um ein Wegrutschen zu verhindern. Anschaulich bedeutet das, daß die Wirkungslinie der Resultierenden aus Gewicht- und Fliehkraft außerhalb der Aufstandsfläche, die durch die drei Radaufstandspunkte gebildet wird, die Fahrbahn schneidet, und zwar - in diesem Fall der Rechtskurve - jenseits der Verbindungslinie (Kipplinie) \overline{HV} der Maschinenräder [Koop, 1949 (1)].

$$b) \mu_q < l_s/h_s:$$

Das Gespann beginnt im Grenzfall seitlich wegzurutschen und strebt dem Kurvenaugenrand zu, ohne umzukippen. Die Seitenführungskräfte sind ausgeschöpft, bevor das Fahrzeug kippen kann, die Reifen "antworten" mit entsprechend großen Schräglaufwinkeln.

4.2 Linkskurve

Wie aus Abbildung 5 im Vergleich zu Abbildung 4 hervorgeht, ist für eine analytische Behandlung der Kreisfahrt nach links eine Vektorenzerlegung der Fliehkraft notwendig: senkrecht sowie tangential zur möglichen Kipplinie, welche durch die Verbindung der Radaufstandspunkte von Maschinenvorderrad und Seitenwagenrad dargestellt wird (Linie \overline{VB}).

Es gilt:

Summe der Momente um Linie $\overline{VB} = 0$

$$F_{NH} \cdot f - m \cdot g \cdot e + F_{FN} \cdot h_s = 0 \quad (36)$$

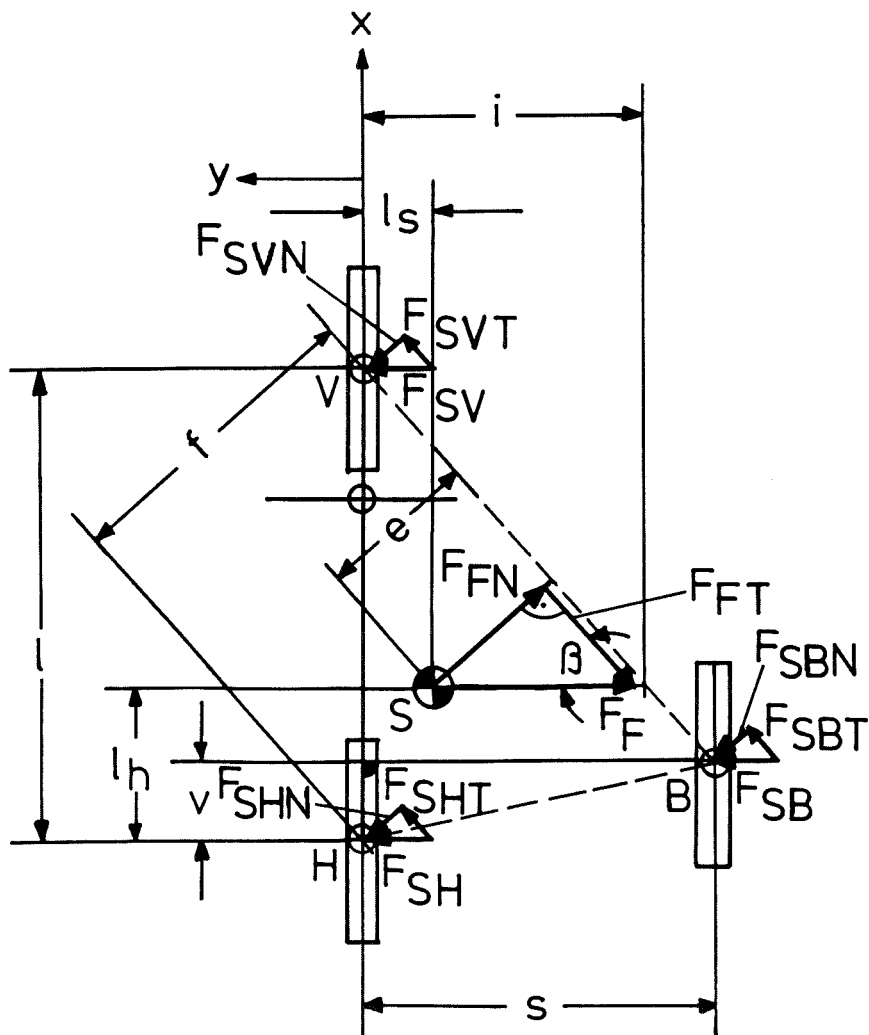
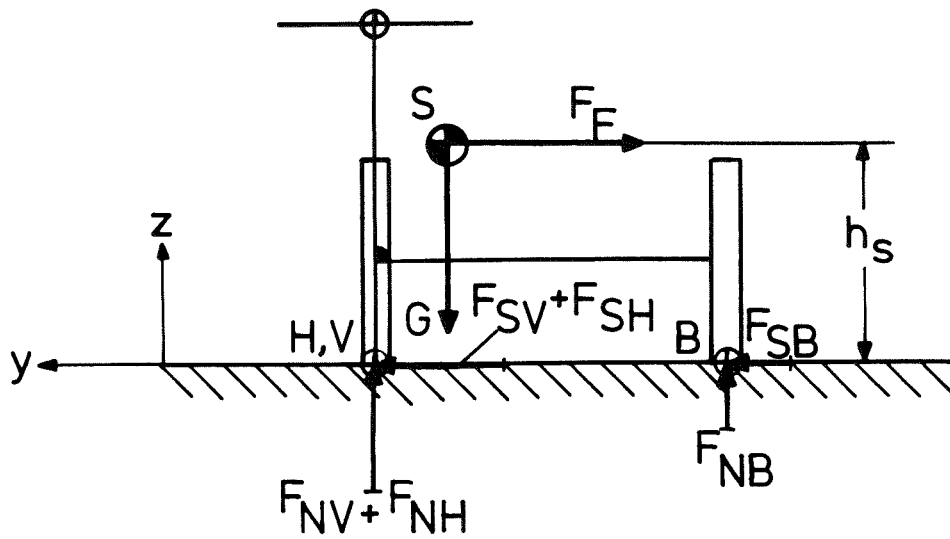


Abbildung 5: Ersatzmodell eines Gespannes in Linkskurve

Kippbeginn mit F_{NH} gleich Null ergibt:

$$m \cdot g \cdot e \cdot = F_{FN} \cdot h_s \quad (37)$$

Geometrische Beziehung:

$$\frac{l - v}{l - l_h} = \frac{s}{i} \quad (38)$$

Dies liefert:

$$i = \frac{s \cdot (l - l_h)}{l - v} \quad (39)$$

Weiterhin ist:

$$\tan \beta = \frac{l - l_h}{i} \quad (40)$$

Mit (39) folgt:

$$\beta = \arctan \left(\frac{l - v}{s} \right) \quad (41)$$

Außerdem gilt:

$$F_{FN} = F_F \cdot \sin \beta \quad (42)$$

Dies ergibt mit (41):

$$F_{FN} = F_F \cdot \sin \left[\arctan \left(\frac{l - v}{s} \right) \right] \quad (43)$$

Es läßt sich außerdem schreiben:

$$\sin \beta = \frac{e}{i - l_s} \quad (44)$$

Das liefert:

$$e = (i - l_s) \cdot \sin \beta \quad (45)$$

Mit (39) und (41) gilt nun:

$$e = \left[\frac{s \cdot (1 - l_h)}{1 - v} - l_s \right] \cdot \sin \left[\arctan \left(\frac{1 - v}{s} \right) \right] \quad (46)$$

Setzt man (30) in (43) ein, so erhält man:

$$F_{FN} = \frac{m \cdot v^2 g}{R} \cdot \sin \left[\arctan \left(\frac{1 - v}{s} \right) \right] \quad (47)$$

(37) ergibt:

$$F_{FN} = \frac{m \cdot g \cdot e}{h_s} \quad (48)$$

Einsetzen von (46) in (48) liefert:

$$F_{FN} = \frac{m \cdot g \cdot \left[\frac{s \cdot (1 - l_h)}{1 - v} - l_s \right] \cdot \sin \left[\arctan \left(\frac{1 - v}{s} \right) \right]}{h_s} \quad (49)$$

Gleichsetzen von (47) und (49) ergibt nach Auflösen nach der Grenzgeschwindigkeit für Kippen:

$$v_{gK} = \frac{\sqrt{g \cdot R \cdot \left[\frac{s \cdot (1 - l_h)}{1 - v} - l_s \right]}}{h_s} \quad (50)$$

Für die Rutschgrenze gilt unverändert Gleichung (33):

$$v_{gR} = \sqrt{g \cdot \mu_q \cdot R} \quad (33)$$

Die interessierende Frage lautet auch hier: Tritt eher der Zustand des Kippens oder des Schleuderns ein? Es muß also geklärt werden, ob im Grenzfall die der wirkenden Fliehkraftkomponente, die ein Kippen des Gespannes verursachen könnte, maximal entgegen stehenden Reifenkräfte größer oder kleiner sind als die Fliehkraftkomponente selbst.

Als "Seitenführungskräfte" zählen in dieser Betrachtung nur die Komponenten an den Reifen, welche senkrecht zur Kipplinie \overline{VB} stehen (Vektorenzerlegung in Komponenten).

Es ist:

$$F_{SN} = F_S \cdot \sin \beta \quad (51)$$

Mit (41) wird aus (51):

$$F_{SN} = F_S \cdot \sin \left[\arctan \left(\frac{1 - v}{s} \right) \right] \quad (52)$$

Einsetzen von (32) liefert:

$$F_{SN} = \mu_q \cdot m \cdot g \cdot \sin \left[\arctan \left(\frac{1-v}{s} \right) \right] \quad (53)$$

Frage:

$$F_{SN} \stackrel{?}{\geq} F_{FN} \quad (54)$$

Einsetzen von (49) und (53) ergibt schließlich:

$$\mu_q \stackrel{?}{\geq} \frac{s \cdot (1-l_h) - l_s \cdot (1-v)}{h_s \cdot (1-v)} \quad (55)$$

Auch dieses Ergebnis ließe sich - wie bereits bei der Behandlung der Rechtskurve in Abschnitt 4.1 - durch Vergleich der Grenzgesehwindigkeiten (Gleichungen (50) und (31)) herleiten.

Fallunterscheidung:

$$\text{a) } \mu_q \stackrel{?}{\geq} \frac{s \cdot (1-l_h) - l_s \cdot (1-v)}{h_s \cdot (1-v)}$$

Das Gespann kippt im Grenzfall über die Verbindungslinie \overline{VB} (Maschinenvorderrad - Seitenwagenrad) um. Die Wirkungslinie der Resultierenden aus Gewichts- und Fliehkraft schneidet die Fahrbahn außerhalb der Radaufstandslinie \overline{VB} , also außerhalb des Aufstandsdreieckes der drei Gespannräder.

$$\text{b) } \mu_q \stackrel{?}{<} \frac{s \cdot (1-l_h) - l_s \cdot (1-v)}{h_s \cdot (1-v)}$$

Das Gespann rutscht ohne zu kippen seitlich aus der Kurve.

5. Beispielrechnung für "Kippen oder Rutschen"

Folgende Daten eines fahrbereiten Gespannes mit rechts angeschlossenen Beiwagen seien gegeben (orientiert an Werten aus den Quellen [Bauer, 1978 (2); Bauer, 1978 (3); Peikert, 1983 (4)], Gespann mit drei Personen besetzt):

$$\begin{aligned}
 l &= 1,5 & [\text{m}] \\
 v &= 0,25 & [\text{m}] \\
 s &= 1,1 & [\text{m}] \\
 l_h &= 0,5 & [\text{m}] \\
 l_s &= 0,22 & [\text{m}] \\
 h_s &= 0,7 & [\text{m}] \\
 R_s &= 50 & [\text{m}] \quad (\text{enge Kurve}) \\
 \mu_q &= 1 & \quad (\text{trockene, griffige Straße})
 \end{aligned}$$

Rechtskurve:

Formel (35) liefert nach Einsetzen der o.g. Werte:

$$1 \geq \frac{? \cdot 0,22}{0,7}$$

$$1 > 0,31$$

Resultat:

Kippen statt Rutschen im Grenzfall.

Die dabei erzielbare Grenzyeswindigkeit ist laut Gleichung (31):

$$v_{gK} = \sqrt{\frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 0,22 \text{ m} \cdot 50 \text{ m}}{0,7 \text{ m}}}$$

$$\underline{\underline{v_{gK} = 12,4 \text{ m/s} = 44,7 \text{ km/h}}}$$

Linkskurve:

Formel (55) liefert:

$$l \geq \frac{1,1 \text{ m} \cdot (1,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m}) - 0,22 \text{ m} \cdot (1,5 \text{ m} - 0,25 \text{ m})}{0,7 \text{ m} \cdot (1,5 \text{ m} - 0,25 \text{ m})}$$

$$l > 0,94$$

Resultat:

Kippen statt Rutschen im Grenzfall.

Die hierbei erreichbare Grenzgeschwindigkeit ist gemäß Gleichung (50).

$$v_{gK} = \frac{9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 50 \text{ m} \cdot \left[\frac{1,1 \text{ m} \cdot (1,5 \text{ m} - 0,5 \text{ m})}{1,5 \text{ m} - 0,25 \text{ m}} - 0,22 \text{ m} \right]}{0,7 \text{ m}}$$

$$\underline{\underline{v_{gK} = 21,5 \text{ m/s} = 77,4 \text{ km/h}}}$$

Diskussion:

Wegen des relativ nahe an der Symmetrieebene der Maschine befindlichen Gesamtschwerpunktes neigt das Gespann in Rechtskurven recht früh zum Kippen. Der Praktiker kennt den Zustand "angehobenes Seitenwagenrad" allerdings und lernt ihn in der Regel in flott gefahrenen Rechtskurven zu beherrschen, ohne daß das Gespann vollständig umkippt. Dabei blancierte er mit dem Oberkörper das Fahrzeug derart aus, daß die Resultierende aus Gewicht- und Fliehkraft genau durch die Verbindungslinie der Aufstandspunkte beider Maschinenräder geht. Dieser Fahrzustand entspricht einem "Solomotorrad" mit extrem einseitiger Ballastierung.

In Linkskurven liegen Kippen und Rutschen eng beieinander, wie der Wert des Quotienten in Gleichung (55) mit 0,94 darlegt, welcher nahe dem Zahlenwert 1 liegt (das ist der Grenzfall für darüber hinaus beginnendes Rutschen).

Das Beispielfahrzeug neigt bei der betrachteten griffigen Straße auch in Linkskurven eher zum Kippen als zum Rutschen, aber bei weitaus höherer Geschwindigkeit als in Rechtskurven. Das dabei auftretende Abheben des Maschinenhinterrades ist gefürchtet und führt vielfach zum vollständigen Überschlag des Gespannes nach rechts vorne (in Richtung des "fehlenden" vierten Rades), wenn z.B. ein Wendemanöver nach links auf engstem Raum und mit relativ hoher Geschwindigkeit vorgenommen wird. Noch gefährlicher ist es, sich in Linkskurven bei sehr großer Fahrgeschwindigkeit an die mögliche "Grenze" heranzutasten, weil dabei ein Überschlag des Fahrzeuges besonders gefährlich ist.

Die genannten Überlegungen für "Kippen oder Rutschen" gelten übrigens, wie man den Gleichungen (35) und (55) ansieht, ohne Beschränkung auf einen bestimmten Kurvenradius, da dieser in den genannten Formeln nicht vorkommt. Allerdings ist ein möglicher Überschlag bei großer Fahrgeschwindigkeit natürlich folgenreicher als bei niedriger (ein großer Kurvenradius entspricht bei einer bestimmten Haftwertausnutzung einer großen Fahrgeschwindigkeit).

Der Haftreibbeiwert der Reifen auf der Fahrbahn (im Beispiel gleich 1 gesetzt) spielt naturgemäß eine dominierende Rolle für die Klärung der Frage "Kippen oder Rutschen". Die Zahl 1 für diese physikalische Größe liegt in der Nähe des möglichen Maximums für übliche Bereifungen, zumal da durch den Zusammenhang des sogenannten Kammschen Haftungskreises bei der Überlagerung von Vortriebs- und Seitenführungskräften, wie sie bei Kurvenfahrt am Maschinenhinterrad auftreten, für die Seitenführung eher niedrigere Werte anzunehmen sind. Ein hoher Reibbeiwert begünstigt Kippen, ein niedriger (nasse Straße!) Rutschen.

Anders als der Reibbeiwert, welcher die Grenzbedingungen des Umkippens oder Rutschens mehr zur einen oder anderen Bedingung hin verschieben kann, wird der Kurvenradius lediglich zur Berechnung der erzielbaren Kurvengrenzgeschwindigkeit vor Erreichen einer der beiden Gegebenheiten benötigt, ohne die Tatsache, ob das Gespann eher umstürzt oder schleudert, selbst direkt beeinflussen zu können. Die Masse des Fahrzeuges wird zur Betrachtung "Kippen oder Rutschen" nicht benötigt.

6. Zusammenfassung

Es wurde hergeleitet, wie man einerseits bei bekannter Schwerpunktlage eines Dreirad-Gespannes die statischen Radlasten errechnen kann und wie andererseits durch Wiegen der Radlasten der Gesamtschwerpunkt des Fahrzeuges zu ermitteln ist.

Eine weiterführende analytische Abhandlung erlaubt die Berechnung von Kurvengrenzgeschwindigkeiten, wobei - bei bekanntem Reibbeiwert Reifen/Straße - differenziert werden kann, ob das Gespann eher zum Umkippen oder zum seitlichen Wegrutschen (Schleudern) neigt.

Für übliche geometrische Auslegungswerte von Kraftradgespannen zeigt sich, daß bei Rechtsanschluß des Seitenwagens die Fahrgeschwindigkeit in Rechtskurven deutlich durch die Kippgrenze diktiert ist. Ein niedriger Gesamtschwerpunkt ist also anzustreben. Auch in Linkskurven besteht Überschlaggefahr, wenngleich hier bei gleicher Haftwertausnutzung die noch ohne Kippen erreichbare Grenzgeschwindigkeit wesentlich höher als in Rechtskurven ist.

Literaturverzeichnis

- Koop, H.: Das Kraftrad, IV. Teil der "Kraftfahrzeugkunde".
(1) Braunschweig, 3. Auflage 1949
- Bauer, N.: Fahrwerksgeometrie von Gespannen.
(2) In: Zeitschrift "MOTORRAD" (Sonderteil Motorrad-
Technik), Heft 3/1978
- Bauer, N.: Fahrwerkkonstruktion und Antriebsprobleme
beim Gespann.
(3) In: Zeitschrift "MOTORRAD" (Sonderteil Motorrad-
Technik), Heft 10/1978
- Peikert, E.; Carell, G.: Leitfaden für Freunde des
Gespannfahrens.
(4) Remscheid / Herausgeber: Bundesverband der Motor-
radfahrer e.V.) / 2. Auflage 1983

Literaturverzeichnis

- The abbreviated injury scale: 1980 revision; AIS
80 / American Association for Automotive
(1) Medicine, Committee on Injury Scaling.
John D. States u.a. - Morton Grove,
Ill., 1980
- Ahlborg, B.: Blood glucose during prolonged
physical exercise in man.
(2) In: Foersvarsmedicin. - 3(1967). - S. 3
- Appel, H; Otte, D.; Suren, E.G.: Schwerpunkte des
Unfallgeschehens aus Untersuchungen am Un-
(3) fallort.
In: Sicherheit bei motosierten Zweirädern
/ Kolloquium des Instituts für Verkehrs-
sicherheit im Technischen Überwachungs-
Verein Rheinland e.V. - Köln, 1981. -
S. 11-52
- Arrehn, R. (Hrsg.): To be or not to be ... a
serious motocross rider: training manual
(4) for juniors and champions. - 1978
- Barry, P.Z.: The role of inexperience in motor-
cycle crashes. Highway Safety Research
(5) Center, University of North Carolina. -
Chapel Hill, N.C., 1970
- Bassan, L.: Über die Aussagekraft der Herzfrequenz
als physiologische Meßgröße in der Leistungs-
(6) physiologie.
In: Internationales Archiv für Gewerbepatha-
logie und Gewerbehygiene. - 22(1966). -
S. 262-281
- Bayer, B; Breuer, B.: Untersuchungen zur Schutz-
wirkung von Motorradfahrerkleidung.
(7) In: Der Verkehrsunfall. - 20(1982)3. -
S. 44-46
- Bernotat: Anthropotechnik. Vorlesung, RTH Aachen.
(8) - 1983

- Bergström, J.; Hultmann, E.: The effect of exercise on muscle glycogen and electrolytes in normals.
 (9) In: Scan. Journal Lab. Invest. - 88(1966). - S. 16
- Blatter, K.; Imhof, P.: Die Rolle der adrenergen Betarezeptoren bei der emotionellen Tachykardie: Radiotelemetrische Untersuchungen an Skispringern.
 (10) In: Schweizerische Zeitschrift für Sportmedizin. - 17(1969). - S. 131
- Böcher, W.: Integrative Aspekte der Verkehrserziehung.
 (11) In: Verkehrserziehung - Alibi oder pädagogische Chance? - Bonn, 1978 (Verkehrserziehung und ihre Grenzgebiete; 1)
- Böcher, W.: Vorsicht - Rücksicht - Umsicht: Ein Abriss partnerschaftlicher Sicherheits- und Gefahrenlehre. - Bonn, 1975
 (12)
- Böhringer, Mannheim: Biochemica-Test-Combination Triglyceride vollenzymatisch (Neutralfett) und Gesamtlipide. - Mannheim, 1975, 1976
 (13)
- Bönsch, H.W.: Einführung in die Motorradtechnik.
 (14) - 3. Aufl. - Stuttgart, 1981
- Bolt, W.; Hollmann, W. u.a.: Über den Brenztraubensäure- und Milchsäurespiegel im Blut bei der Arbeit.
 (15) In: Ärztliche Wochenschrift. - 11(1956). - S. 656-658
- Brühning, E.; Völker, R.: Das Unfallrisiko im Straßenverkehr - Kenngrößen und ihre statistische Behandlung.
 (16) In: Zeitschrift für Verkehrssicherheit. - 28(1982)3. - S. 106-117
- Bühler, G.: Einfluß von Schutzmaßnahmen auf die Verletzungsfolgen bei motorisierten Zweiradfahrern (1972-1974). Heidelberg, Diss., 1976
 (17)

- Bühring, H.; Hockenheimer, P.: Modelluntersuchungen zum Stoffwechsel des Muskels. Die Oxidation
 (18) Fettsäure und Glucose sowie die Milchsäurebildung im ruhenden und arbeitenden Muskel in vitro.
 In: Biochemische Zeitschrift. - 346(1966). - S. 50
- Chou, C.; Nyquist, G.: Analytical Studies of the Head Injury Criterion (HIC).
 (19) Proc. Automotive Engineering Congress, Detroit/USA 1974, SAE 740082
- Christensen, E.H.: Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit. Der Blutzucker
 (20) während und nach körperlicher Arbeit.
 In: Arbeitsphysiologie. - 4(1931). - S. 128
- Christophe, Ch.: Sport mit Motorrädern.
 (21) - Stuttgart, 1967
- Clasing, D.; Vogler, G. u.a.: Herzfrequenz und psychische Anspannung beim Segelfliegen.
 (22) In: Medizinische Welt. - 22(1971). - S. 808-811
- Danner, M.: Schutz des Zweiradfahrers. Möglichkeiten aus techn. Sicht.
 (23) In: Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Verkehrsmedizin. Kongreßbericht / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Köln, 1979. - S. 165-181 (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr; 21)
- DIN 4848/1970. Kraftfahrerschutzhelme, Begriffe, technische Lieferbedingungen, Prüfeinrichtungen, Prüfkopf. Beuth Verlag GmbH, Berlin 30 und Köln 1, 1970
 (24)
- DIN 58218/1981. Visiere für Kraftfahrerschutzhelme, sicherheitstechnische Anforderungen und Prüfung. Beuth Verlag GmbH, Berlin 30 und Köln 1, 1981
 (25)
- Dinslage, P.: Technische und verkehrserzieherische Maßnahmen zur Erhöhung der aktiven Sicherheit des motorisierten Zweiradverkehrs. - 1979
 (26) Köln, Fachhochschule, Ing.arb., 1979

- Dittel, K.K.; Weller, S.: Zur Problematik des polytraumatisierten Patienten.
 (27) In: Aktuelle Traumatologie. - 11(1981). - S. 35-42
- Documenta Geigy: Wissenschaftliche Tabellen der
 (28) Firma Geigy. - 6. Aufl. - Basel, 1960
- Eggstein, H.; Kreutz, F.H.: Eine neue Bestimmung der Neutralfette im Blutserum und Gewebe
 (29) Prinzip, Durchführung und Besprechung der Methode.
 In: Klinische Wochenschrift. - 44(1966). - S. 262-267
- Eggstein, H.: Eine neue Bestimmung der Neutralfette im Blutserum und Gewebe, Zuverlässigkeit der
 (30) Methode, andere Neutralfettbestimmungen, Normalwerte für Triglyceride und Glycerin im menschlichen Blut.
 In: Klinische Wochenschrift. - 44(1966). - S. 267-273
- Engels, K.; Dellen, R.G.: Beitrag zur Ermittlung eines geschlechtsspezifischen Verkehrsunfallrisikos. / Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für Straßenverkehr und Verkehrssicherheit. - Köln, 1982
 (31) (Buchreihe der Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für Straßenverkehr und Verkehrssicherheit; 35)
- Ergonomie / Hrsg.: Heinz Schmidtke. - München, Wien. 1. Grundlagen menschlicher Arbeit
 (32) und Leistung. - 1973
- Erhebungen am Unfallort: Abschlußbericht zu den Forschungsvorhaben FP 7263 und FP 7506 im
 (33) Auftr. der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung/Dietmar Otte u.a. - Hannover; Berlin, 1980, unveröffentlicht
- Erhebungen am Unfallort / Dietmar Otte u.a., Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich
 (34) Unfallforschung. - Köln 1982 (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr; 37)

- Euler, U.S.: Sympatho - adrenal activity in physical exercise.
 (35) In: Medicine and Science in Sports. -5(1974). - S. 165
- Feldkamp, G.; Junghanns, K.; Prall, W.-D.: Motorrad - Boom und Motorradunfälle.
 (36) In: Fortschritte der Medizin. - 92(1974)8. - S. 325-327
- Fleischmann, E.A.: The structure and measurement of physical fitness. / American Institute for
 (37) Research, Washington. - Englewood Cliffs, N.J., o.J.
- Glatzel, H.: Sinn und Unsinn in der Diätetik. Nahrungsfett und Blutcholesterin.
 (38) In: Medizinische Welt. - 24(1973). - S. 1245-1252
- Gollnick, P. D.: Factors controlling glycogenolysis and lipolysis during exercise.
 (39) In: Limiting factors of physical performance: International symposium at Gravenbruch 1971 / Hrsg.: J. Keul. - Stuttgart, 1973
- Grosse-Berndt, G.; Weigbrodt, G.; Zimmermann, G.: Vier-Länder-Vergleich von Kenngrößen der
 (40) Straßenverkehrssicherheit Japan, Großbritannien, Niederlande, Bundesrepublik Deutschland. / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Köln 1981 (Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung; 58)
- Hackenberg, U.; Heissing, B.: Die fahrdynamischen Leistungen des Fahrer-Fahrzeug-Systems im
 (41) Straßenverkehr. In: ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift. - 84(1982)7,8. - S. 341-345
- Hackenberg, U.: Die Stabilitätseigenschaften des Systems Fahrer-Kraftrad-Straße.
 (42) Forschungsbericht / Dt. Forschungsgesellschaft - 1983
- Hackenberg, U.: Ein Beitrag zur Stabilitätsuntersuchung des Systems Fahrer-Kraftrad-Straße -
 (43) 1984. Aachen, Techn. Hochschule., Diss. 1984

- Hackenberg, U.: Influence of the driving practice on straight-line-stability of driver-motor-cycle-system: a preliminary report.
(44) In: 2nd Annual Manual Conference. - Bonn, 1982
- Hahanenkopf, M.: Bedeutung des Glucosemangels bei der sportlichen Leistung.
(45) In: Sportärztliche Praxis. - 3(1960). - S. 4
- Haralambie, G.; Partheniu, A.: Über die Beziehung der Herzfrequenz zu neurodynamischen und metabolischen Steuerungsgrößen bei Sportlern.
(46) In: Sportarzt und Sportmedizin. - 20(1969). - S. 93-106
- Havel, R.J.: Some influence of the sympathetic nervous system and insulin on mobilisation of fat from adipose tissue: studies of the turnover rates of free fatty acids and glycerol.
(47) In: Ann. N.Y. Acad. Sci. - 131(1965). - S. 91
- Helling, J.: Krafträder: Umdruck zur Vorlesung. / Institut für Kraftfahrtwesen, RWTH Aachen. -
(48) 1981, (IKA Dokumentation)
- Hirsch, A.E.; Bothwell, P.: Air bag protection for motorcycle application. / ASME. - Denver, Col., 1973
(49)
- Hoffmann, H.; Reygers, W.: Über den Einfluß hoher Geschwindigkeiten auf das Kreislaufverhalten von Kraftfahrzeugführern
(50) In: Zentralblatt für Verkehrsmedizin, Verkehrspsychologie, Luft- und Raumfahrtmedizin. - 7(1961). - S. 138
- Hohorst, H.-J.: L-(+)-Lactat. Bestimmung mit Lactatdehydrogenase und DPN.
(51) In: Methoden der enzymatischen Analyse / Hrsg. H. U. Bergmeyer. - Weinheim, 1962
- Hosemann, A.: Die Trainierbarkeit von verkehrrelevantem Blickverhalten in der Fahrausbildung. - Wien, 1979, unveröffentlicht
(52)
- Huber, G.; Kindermann, W. u.a.: Der Einfluß des Bobfahrens auf die Herzfrequenz und den Stoffwechsel.
(53) In: Medizin und Sport. - 15(1975). - S. 378-384

- Hüllemann, K.-D.; List, M.: Fortlaufende EKG-Aufzeichnungen bei Autorennfahrern.
 (54) In: Medizinische Welt. - 24(1973). - S. 1360-1363
- Hurt, H.H.; Quellet, J.V.; Wagar, I.J.: Effectiveness of motorcycle safety helmets and protective clothing.
 (55) In: Proceedings of the 25. Conference of the American Association for Automotive Medicine, San Francisco, Calif. 1981. - Morton Grove, Ill. 1981
- Hurt, H.H.; Quellet, J.V.; Thom, D.R.: Motorcycle accident cause factors and identification of counter-measures. / Traffic Safety Center, Univ. of Southern California. - Los Angeles, 1981. - Vol. 1-2
- Imhof, P.R.: Betablockade and emotional tachycardia.
 (57) In: Journal of applied physiologie. - 27(1969). - S. 366
- In 5 Stufen zum heißen Ofen.
 (58) In: ADAC Motorwelt. - (1982)10. - S. 7
- Israel, S.; Kuppardt, H. u.a.: Die submaximale Herzfrequenz als leistungsdiagnostische Kenngröße.
 (59) In: Medizin und Sport. - 14(1974). - S. 298-304
- Jensen, J. J.; Weiss, M. J.H.: Der Zweiradunfall: e. Analyse von Unfällen motoris. Zweiradfahrer im Rhein-Neckar Kreis unter besonderer Berücksichtigung d. verletzungsreduzierenden Wirkung von Schutzhelm und Schutzkleidung.
 (60) 1982, Heidelberg, Univ., Diss., 1982
- Jessl, P.; Rüter, G.: Analyse des Entwicklungsstandes des passiven Unfallschutzes für motorisierte Zweiradfahrer. / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Köln, 1978 (Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung; 20)

- Kalbe, P.; Suren, E. G.; Otte, D.: Trauma assessment of injuries and their consequences in accidents with two-wheelers.
(62) In: 6th International IRCOBI conference on the Biomechanics of Impacts: proceedings / International Research Committee on the Biomechanics of Impacts. - Salon de Provence, 1981
- Keul, J.; Huber, G. u.a.: Auswirkungen des Autofahrens auf Herztätigkeit und Stoffwechsel bei Normalpersonen, Herzinfarktpatienten und Rennfahrern
(63) In: Fortschritte der Medizin. - (1979)
- Keul, J.; Doll, E. u.a.: Der Einfluß körperlicher Arbeit auf die arteriellen Glucose-, Lactat- und Pyruvat Spiegel in Freiburg und Mexico-City.
(64) In: Sportarzt und Sportmedizin. - 18(1967). - S. 327-341
- Keul, J.: Gutachten über die Zusammenhangsfrage von Motorsport und Leibesübungen.
(65) Freiburg, 1975
- Keul, J.; Huber, G. u.a.: Kardiozirkulatorische und metabolische Veränderungen von Gesunden und Herzinfarktpatienten bei Autofahren unter Betarezeptorenblockade.
(66) In: Herz und Kreislauf. - 11(1979). - S. 117-125
- Keul, J.; Doll, E.; Keppler, D.: Muskelstoffwechsel: Die Energiebereitstellung im Skelettmuskel als Grundlage seiner Funktion.
(67) München, 1969
- Keul, J.; Linnet, N.; Eschenbruch, E.: The photometric autotitration of free fatty acids.
(68) In: Zeitschrift für klinische Chemie und klinische Biochemie. - 6(1968). - S. 394
- Keul, J.; Lehmann, M.: Psychophysische Reaktionen bei extremen Belastungen.
(69) In: Therapiewoche. - 28(1978)

- Keul, J.: The relationship between circulation and metabolism during exercise.
(70) In: Medicine and Science in Sports. - 5(1973). - S. 209
- Keul, J.; Huber, G.; Kindermann, W.: Die unterschiedliche Wirkung des Skilanglaufens und des Skiabfahrtslaufes auf Kreislauf und Stoffwechsel
(71) In: Sportarzt und Sportmedizin. - 26(1975). - S. 49-58
- Keul, J.; Doll, E. u.a.: Die Veränderung arterieller Substratspiegel unter dem Einfluß körperlicher Arbeit.
(72) In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschließlich Arbeitsphysiologie. - 22(1966). - S. 356-371
- Keul, J.; Scharf, K.; Nöcker, J.: Verhalten der Herzfrequenz während des Trainings von Hochleistungssportlern in Mexico-City.
(73) In: Internationale Zeitschrift für angewandte Physiologie einschl. Arbeitsphysiologie. - 26(1968). - S. 150-163
- Keul, J.; Huber, G. u.a.: Die Wirkung eines neuartigen Betarezeptorenblockers (Bunitrolol) auf Kreislauf und Stoffwechsel unter extremen Streßbedingungen.
(74) In: Medizinische Welt. - 27(1976). - S. 437-443
- Keul, J.; Doll, E., Keppler, D.: Zum Stoffwechsel des Skelettmuskels. Glucose, Lactat, Pyruvat und freie Fettsäuren im arteriellen und venösen Blut der arbeitenden Muskulatur bei Hochleistungssportlern.
(75) In: Pflügers Archiv. - 301(1968). - S. 198-229
- Kindermann, W.; Keul, J.: Anaerobe Energiebereitstellung.
(76) Schondorf, 1977

- Koch, H.: Die Evaluation von verhaltensbeeinflussenden Maßnahmen für jugendliche Zweiradfahrer. Ergebnisse von Wirksamkeitsuntersuchungen und Konsequenzen.
 (77) In: Symposium '82 "Wirksamkeit von Verkehrssicherheitsmaßnahmen" ... am 28. Sept. 1982 in Bonn / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Köln, 1983 (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr; 41)
- Koch, H.; Flügel, S.; Wolfer, B.: Motorradfahrer-ausbildung in Fahrschulen: Analyse d. Grundlagen u. Bedingungsfaktoren sowie Vorschläge zur konzeptionellen Gestaltung e. Curriculums. / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Bergisch Gladbach, 1984 (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr; 46)
- Koch, H.: Praktische Grundausbildung für Zweiradfahrer.
 (79) In: Fahrschule (1981)5; Beilage Blickpunkt
- Koch, H.: Verkehrswissen und -verhalten jugendlicher Mofafahrer. / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Köln, 1980 (Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr; 28)
- Koch, J.: Experimentelle und analytische Untersuchungen des Motorrad-Fahrer-Systems.
 (81) Düsseldorf, 1980 (Fortschritt-Berichte der VDI-Zeitschriften, Reihe 12: Verkehrstechnik; 40)
- Kommission für Verkehrssicherheit: Bericht der Kommission für Verkehrssicherheit.
 (82) Bonn, 1982
- Kopp, K.H.; Huber, G.; Keul, J.: Veränderungen von Herzfrequenz und Stoffwechselfparameter im Blut beim Fallschirmspringen
 (83) In: Sportarzt und Sportmedizin. - 29(1978). - S. 44-49
- Langwieder, K.: Collision characteristics and injuries to motorcyclists and moped drivers.
 (84) In: Proceedings of 21. Stapp Car Crash Conference. - Ann Arbor, Mich., 1977

- Langwieder, K.; Klein, H.; Zipfel, H.-D.: Untersuchung von 1000 Leichtkraftradunfällen in
 (85) Bayern. / HUK-Verband. - München, o.J.,
 unveröffentlicht
- List, H.: Der Beitrag des Gesetzgebers zur Verbesserung der Sicherheit im motorisierten
 (86) Zweiradverkehr.
 In: Sicherheit bei motorisierten Zweirädern /
 Kolloquium des Institutes für Verkehrssicherheit im Techn. Überwachungs-Verein
 Rheinland e.V. - Köln, 1981
- Löffelholz, H.; Marburger, E.-A.; Schmid, M.:
 (87) Stellungnahme zu einer Ausdehnung der Schutzhelmtragepflicht auf Moped/Mokick- und Mofabenutzer. / Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung. - Köln, 1977
 (Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung)
- Lönne, E.; Lönne, Ch. u.a.: EKG und Herzfrequenzverhalten bei Autofahrern.
 (88) In: Verkehrs - Touristik - Unfall - Medizin. - (1972)8
- Lönne, E.; Lönne, Ch. u.a.: Pulsfrequenzmessungen und EKG-Registrierung bei Autorennen.
 (89) In: Sportarzt und Sportmedizin. - (1968)19. - S. 103-112
- Lövsund, P.: Motorcykelsäkerhet - en probleminventering. / Statens väg- och trafikinstitut,
 (90) National Road & Traffic Research Institute. - Linköping, 1982
 ((VTI-Rapport; 239)
- Lüpertz, H.: Brems- und Blockierverhalten von Motorrädern mit verschiedenen Bremssystemen.
 (91) In: ATZ: Automobiltechnische Zeitschrift. - 81(1979)3. - S. 99-107
- Luftsack und Gurtstrammer für Mercedes-Benz Pkw.
 Daimler-Benz AG. - o.O., o.J.
 (92) Technische Information

- Mattern, R.; Schüler, F.; Schmidt, Gg.: Dynamic fronto-occipal head loading of helmet
 (93) protected cadavers.
 In: AGARD Proceedings of the Meeting on Impact Injury. - Köln, 1982
- Minarovjeh, V.; Büttner, G.; Burger, H.:
 Synchrone Registrierung der Herzfrequenz bei
 (94) einem Langstreckenläufer über einen längeren Zeitraum unter Labor-, Kontroll-, Trainings- und Wettkampfbedingungen.
 In: Medizin und Sport. 7(1967) - S. 97
- Motorradfibel, Die. / ADAC Württemberg. Stuttgart,
 (95) 1982
- Motorcycle rider course. Instructors guide.
 / by the Motorcycle Safety Foundation. -
 (96) 2. print. - Linthicum, Md., 1977
- Motorcyclists visual scanning pattern in comparison with automobile drivers. / Y. Nagayama u.a. -
 (97) Detroit, 1979
 (SAE Technical Paper Series 790262)
- Neubert, C.-G.; Mohr, M.: Das Verhalten hämodynamischer Parameter beim Segelfliegen.
 (98) In: Sportarzt und Sportmedizin. - 27(1976). - S. 49-60
- Nöcker, H.: Stoffwechsel und Sport.
 In: Abhandlungen zu Fragen der Sportmedizin /
 (99) Hrsg.: R. Müller. - Berlin, 1954
- Otte, D.; Suren, E.G.: Rekonstruktion von Zweiradunfällen aus Erhebungen am Unfallort: Abschlußbericht zu dem Forschungsprojekt FP 7806/02 der Bundesanstalt für Straßenwesen. - Köln, 1981, unveröffentlicht
- Otte, D.: A review of different kinematic forms in two-wheel-accidents - their influence on
 (101) effectiveness of protective measures.
 In: 24. Stapp Car Crash Conference: proceedings. - 1980. - S. 561-605

- Otte, D.; Kalbe, P.; Suren, E. G.: Typical injuries to the soft body parts and fractures of the
 (102) motorized two-wheelers.
 In: 6th International IRCOBI conference on the biomechanics of impacts: proceedings / International Research Committee on the Biokinetics of Impacts. - Salon de Provence, 1981. - S. 148-165
- Otte, D.; Appel, H.; Suren, E. G.: Vergleich einer Verletzungsbewertung in amtlichen Verkehrs-
 (103) unfallanzeigen und einer internationalen Verletzungsschwere-Klassifikation (AIS).
 In: Internationales Verkehrswesen. - 34(1982)1. - S. 31-36
- Pachernegg, S.; Michel, R.-P.: Fahrstabilität bei Motorrädern.
 (104) In: Arbeitsphysiologie. - 4(1931). - S. 342
- Pampe, W.: Hyperglycämie und körperliche Arbeit.
 (105) In: Arbeitsphysiologie. - 4(1931). - S. 342
- Performance of helmets and contribution to the definition of the tolerances of human head to
 (106) impact. / A. Fayon u.a.
 In: Proceedings of the Meeting on Biomechanics of Injury to Pedestrians, Cyclists and Motorcyclists: Amsterdam, 7-8 Sept. 1976 / International Research Committee on the Biokinetics of Impacts. - Amsterdam, 1976. - S. 291-300
- Protective Effect of different kinds of protective clothing worn by motorcyclists. / B. Aldman u.a.
 (107) In: Journal of Traffic Medicine. - 9(1981)4
- Quabbe, H.-J.; Bratzke, H.-J. u.a.: Studies on the relationship between plasma free fatty acids
 (108) and growth hormone secretion in man.
 In: Journal of Clinical Investigation. - 51(1972). - S. 2388
- Rekonstruktion des Zweiradunfalls: 2. Seminar für Unfallrekonstruktion in Berlin, 18. u. 19.
 (109) Juni 1982 / H. Appel u.a. - Berlin, 1982

- Renge, K.: The effects of driving experience on a drivers visual attention: An analysis of
 (110) objects looked at using the "verbal report" method.
 In: International Association of Traffic and Safety Sciences. Research. - 4(1980). - S. 96-106
- Roskamm, H.: Funktionsprüfung von Herz und Kreis-
 (111) lauf. - 1971 (Kurzmonographie Sandoz; 2)
- Roskamm, H.; Beckhove, Ph.; Reindell, H.: Die Herz-
 frequenz im Training und im Wettkampf des
 (112) Hochleistungssportlers.
 In: Sportarzt und Sportmedizin. - 16(1965). - S. 439-450
- Sautter, H.: Stress-Men: Messungen an Motorradfahrern.
 (113) In: Motorrad. - (1977)21. - S. 104-110
- Sautter, H.: Stress-Situation: Messungen an Motorrad-
 fahrern.
 (114) In: Motorrad. - (1978)14. - S. 97-102
- Schmidt, H; Gadermann, E.; Voigt, K. D.: Zum
 Energiestoffwechsel von Leistungssportlern
 (115) unter Wettkampfbedingungen.
 In: Medizinische Welt. - 21(1970). - S. 1679
- Schüler, F.; Bayer, B. u.a.: Der Körperanprall gegen
 Schutzplanken beim Verkehrsunfall motorisierter
 (116) Zweiradbenutzer. / Institut für Zweiradsicher-
 heit e.V. - Bremerhaven 1984
 (Forschungshefte Zweiradsicherheit; 2)
- Schüler, F.; Mattern, R.; Helpling, M.: Wirksamkeit
 von Elementen des passiven Unfallschutzes.
 (117) Abschlußbericht zum Forschungsprojekt 7806/6
 der Bundesanstalt für Straßenwesen. -
 Bergisch-Gladbach, 1983, Veröffentlichung in
 Vorbereitung
- Schüler, F.: Zum Begriff der ordnungsgemäßen Benut-
 zung von Sicherheitsgurten und Kraftfahrer-
 (118) schutzhelmen.
 In: Deutsches Autorecht. - (1982)10. -
 S. 312-314

- Schutzkleidung für motorisierte Zweiradfahrer. /
Max Danner u.a. / Bundesanstalt für Straßen-
(119) wesen, Bereich Unfallforschung. - Bergisch-
Gladbach, 1984
(Forschungsberichte der Bundesanstalt für
Straßenwesen, Bereich Unfallforschung; 107)
- Segel, L.: Demands on braking performance an
directional stability of motorcycles.
(120) In: Sicherheit bei motorisierten Zweirädern /
Kolloquium des Institutes für Verkehrs-
sicherheit im Techn. Überwachungs-Verein
Rheinland e.V. - Köln, 1981. - S. 149-188
- Severy, D. M.; Brink, H.M.; Blaisdell, D. M.:
Motorcycle collision experiments.
(121) In: 14. Stapp Car Crash Conference: proceedings.
- Ann Arbour. - 1970. - S. 66-120
- Sicherheit bei motorisierten Zweirädern. / Kolloquium
des Institutes für Verkehrssicherheit im
(122) Techn. Überwachungs-Verein Rheinland e.V. -
Köln, 1981
- Simulation of head/neck impact responses for helmeted
and unhelmeted motorcyclists. / B.M. Bowman u.a.
(123) In: Proceedings of the 25th Stapp Car Crash
Conferenxe. - 1981. - S. 13-68
- Sivkov, I.K.; Melichova, M. A.: Der Milchsäuregehalt
im Blut bei Körperarbeit.
(124) In: Theorie und Praxis der Körperkultur. -
15(1966) S. 29
- Slein, W. M.: D-Glucose Bestimmung mit Hexokinase
und Glucose-6-Phosphat-Dehydrogenase.
(125) In: Methoden der enzymatischen Analyse /
Hrsg. H.-U. Bergmeyer. - Weinheim, 1962.
- S. 117-123
- Sporner, A.: Experimentelle und mathematische Simu-
lation von Motorrad-Kollisionen im Vergleich
(126) zum realen Unfallgeschehen.
München, Techn. Univ., Diss., 1982
- States, J. D.; Huelke, D. F.; Hames, L. N.:
1974 AMA-SAE-AAM revision of the abbreviated
(127) injury scale (AIS).
In: 18th Conference of the American Association
for Automotive Medicine, American Group. -
Illinois, 1974

- Statistisches Bundesamt: Fachserie 8: Verkehr: Reihe
3.3, Straßenverkehrsunfälle. - Stuttgart; Mainz,
(128) 1950-1981
- Stegemann, J.: Zur kausalen Beziehung zwischen Muskel-
stoffwechsel, Pulsfrequenz und Leistungsfähigkeit.
(129) In: Internationaler Kongreß für Ergonomie. -
Dortmund, 1964
- Summary of results "Motorcycle accident factors study".
/ National Highway Traffic Safety Administration.
(130) Hrsg.: H. H. Hurt - Washington, 1981. -
S. 341-428/331
- Suren, E. G.: Verkehrsmedizinische Analyse zum Unfall-
geschehen motorisierter Zweiradfahrer.
(131) Hannover, Habil.-Schrift, 1981
- Unfallcharakteristik und Verletzungsfolgen bei Mofa-
Unfällen: Zusammenfassung von Ergebnissen e.
(132) Untersuchung von 1700 Unfällen in Bayern im
Jahre 1981 zum Thema Beeinflußung d. Verlet-
zungsrisikos durch Schutzhelm. / HUK-Verband.
- München, 1984
- Verkehrssicherheit.
(133) /Daimler-Benz AG, 1981
- Veröffentlichung der auf dem 21. Deutschen Verkehrs-
gerichtstag 1983 gehaltenen Referate und er-
(134) arbeiteten Empfehlungen. / Deutsche Akademie
für Verkehrswissenschaften. - Hamburg, 1983. -
S. 11
- Weber, H.; Otte, D.: Unfallauslösende Faktoren bei
motorisierten Zweirädern.
(135) In: Der Verkehrsunfall. - 19(1981)9. -
S. 164-168
- Wiegner, P.: Leistungsgrenzen bei der Führung von
Motorrädern.
(136) In: Internationale Zeitschrift für Verkehrs-
sicherheit. - 28(1982)3. - S. 117-126
- Wilde, J.S.: Objektive und subjektive Sicherheit
im Wechselwirkungsbereich Fahrer-Straße.
(137) / Daimler-Benz AG. - o.O., 1981

Willeke, R.; Jäger, W.; Lindenlaub, K. H.:
Ein Optimum an Sicherheit: Nutzen-Kosten
(138) Untersuchungen für Verkehrssicherheitsmaß-
nahmen. - Frankfurt a.M., 1978
(Schriftenreihe des Verbandes der Automobil-
industrie e.V., VDA; 25)

Die Wirkung eines neutralen Betarezeptorenblockers
(Bunitrolol) auf Kreislauf und Stoffwechsel unter
(139) extremen Stressbedingungen.
In: Medizinische Welt. - 27(1976). - S. 437-443

Zeitschrift Stiftung Warentest.
(140) Berlin, 1980, Heft 11, S. 21

Zöllner, N.; Kirsch, K.: Über die quantitative Be-
stimmung von Lipoiden mittels der vielen
(141) natürlichen Lipoiden gemeinsamen Sulfo-
phosovanillin-Reaktionen.
In: Zeitschrift für die gesamte experimentelle
Medizin einschließlich experimentelle
Chirurgie. - 135(1962). - S. 545

Verzeichnis der Forschungsstellen

Bundesanstalt für Straßenwesen
Bereich Unfallforschung
Brüderstraße 53
5060 Bergisch Gladbach 1

Telefon: 02204/43-0

Technische Universität Berlin
Institut für Fahrzeugtechnik
Fachgebiet Kraftfahrzeuge
Fachbereich 12
Verkehrswesen
Straße des 17. Juni 135
1000 Berlin 12

Institutsleiter:
Prof. Dr. Ing. Herrmann Appel

Telefon: 030/314-1

Forschungsschwerpunkte:

- Unfallrekonstruktionen

Arbeits- und Forschungsgemeinschaft für
Straßenverkehr und Verkehrssicherheit
Institut an der Universität zu Köln
Hermeskeiler Straße 17
5000 Köln 41 (Sülz)

Institutsleiter:
Prof. Dr. Klaus Engels

Telefon: 0221/431386

Forschungsschwerpunkte:

- Großstatistische Unfallerhebungen auf Grundlage der amtlichen Unfallstatistik

**Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule
Aachen**

Institut für Kraftfahrwesen

Aachen
Templergraben 86
5100 Aachen

Institutsleiter:
Prof. Dr.-Ing. Jürgen Helling

Wissenschaftlicher Assistent:
Dr.-Ing. Ulrich Hackenberg
Dipl.-Ing. Dreyer

Telefon: 0241/805605

Forschungsschwerpunkte:

- Arbeitsgruppe "Fahrstabilität"
- Beurteilung und Optimierung des dynamischen Verhaltens von Kraftfahrzeugen
- Fahrversuche und Simulationsrechnungen

**Albert Ludwigs Universität, Klinikum
Medizinische Universitätsklinik**
Abteilung Sport- und Leistungsmedizin
Hugstetter Straße 55
7800 Freiburg i.Br.

Ärztlicher Direktor:
Prof. Dr. Josef Keul

Wissenschaftlicher Mitarbeiter:
Dr. Georg Huber

Telefon: 0761/270-1

Forschungsschwerpunkte:

- Beanspruchungsmessungen
- Leistungsdiagnostik
- Trainingsmodelle

Medizinische Hochschule Hannover
Unfallforschung-Unfallchirurgische Klinik
Forschungsprojekt der Bundesanstalt für Straßenwe-
sen in Zusammenarbeit mit dem Institut für Fahr-
zeugtechnik der Technischen Universität Berlin
Karl-Wiechert-Allee 9
3000 Hannover 61

Forschungsnehmer:
Prof. Dr. med. Harald Tscherne
Prof. Dr. Ing. Herrmann Appel

Projektleitung:
Dipl.-Ing. Dietmar Otte

Telefon: 0511/532-1

Forschungsschwerpunkte:

- Direkterhebungen am Unfallort
- Interdisziplinäre Unfallforschung
- Unfallfolgenuntersuchung
- Entwicklung technischer Möglichkeiten der Pro-
phylaxe (Schutzkleidung)

Ruprecht-Karls-Universität
Unfallforschung Heidelberg
am Institut für Rechtsmedizin
im Klinikum
Vogelstraße 2
6900 Heidelberg

Geschäftsführender Direktor:
Prof. Dr. Georg Schmidt

Wissenschaftlicher Mitarbeiter:
Dipl.-Ing. Florian Schüler

Telefon: 06221/565460 oder 565461

Forschungsschwerpunkte:

- Direkterhebungen am Unfallort
- Biomechanik
- Helmforschung

Verband der Haftpflichtversicherer, Unfallversicherer, Autoversicherer und Rechtsschutzversicherer e.V.

Büro für Kfz-Technik

Leopoldstraße 20

8000 München 40

Leitung:

Dr.-Ing. Klaus Langwieder

Wissenschaftlicher Mitarbeiter:

Dr.-Ing. Alexander Spörner

Vorsitzender des Schadensverhütungsausschusses:

Prof. Dr.-Ing. Max Danner

Telefon: 089/332034

Forschungsschwerpunkte:

- Großstatistische Unfallauswertungen
- Unfallkinematik
- Möglichkeiten technischer Prophylaxe (Sicherheitsmotorrad, Komponentenerprobung)

Technische Hochschule Darmstadt

Fachgebiet Fahrzeugtechnik

im Fachbereich Maschinenbau

Petersenstraße 30

6100 Darmstadt

Wissenschaftlicher Leiter:

Prof. Dr.-Ing. Bert Breuer

Wissenschaftliche Mitarbeiter:

Dipl.-Ing. Bernward Bayer

Dipl.-Ing. Alois Weidele

Telefon: 06151/162196 und 163796

Forschungsschwerpunkte:

- Aktive Sicherheit motorisierter Zweiräder, speziell Fahrdynamik

Institut für Zweiradsicherheit e.V.
Westenfelder Straße 58
4630 Bochum 6 (Wattenscheid)

Institutsleiter:
Dr. Hubert Koch

Wissenschaftliche Mitarbeiter:
Reiner Brendicke
Wolfgang Stern

Telefon: 02327/88095

Forschungsschwerpunkte:

- Verhaltenswissenschaftliche Forschung
- Unfallursachenforschung
- Verkehrserziehung
- Curriculum-Entwicklung, -Evaluation
- Entwicklung und Erprobung von
Aus-, Fort- und Weiterbildungskonzepten
- Medienentwicklung
- Wissenschaftliche Dokumentation
- Spezialbibliothek "Zweiradsicherheit"

**Demnächst
erscheinen in
dieser Reihe:**

**Bernward Bayer:
Untersuchungen
zur Fahrdynamik
von Krafrädern
unter besonderer
Berücksichtigung
konstruktiver
Einflußparameter
auf die Hoch-
geschwindigkeits-
geradeausstabi-
lität.**

**Passive Sicherheit
für Zweiradfahrer.
Referate des
2. Bochumer
Workshops für
Zweiradsicherheit.**

ISBN: 3-88314-488-6
ISSN: 0175-2626