

Nr. 5

Passive Sicherheit für Zweiradfahrer

Referate des
2. Bochumer Workshops
für Zweiradsicherheit

**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 1987
Verlag: Institut
für Zweiradsicherheit
GmbH
Westenfelder Str. 58
4630 Bo.-Wattenscheid
Tel. 0 23 27/60 90
ISBN: 3-923994-06-0
ISSN: 0175-2626**

Abstract

Der vorliegende Band enthält einen differenzierten Überblick des aktuellen Standes der wissenschaftlichen Erkenntnisse über Möglichkeiten und Grenzen des passiven Unfallschutzes für motorisierte Zweiradfahrer.

Gegliedert nach den Themenschwerpunkten: Schutzkleidung (Trageverhalten, Materialoptimierung), Schutzhelm (Optimierung), Straße (Schutzplankenproblematik) und Motorrad (Sicherheitsmotorrad) werden durch Analyse des Unfallgeschehens, -Realverkehrsbeobachtungen, Unfallsimulationen und Laboruntersuchungen gewonnene Erkenntnisse vorgestellt und diskutiert.

Die Autoren der Studien zeichnen darüber hinaus Wege der Optimierung des passiven Unfallschutzes vor, diskutieren Kosten-Nutzen Aspekte einzelner Maßnahmen und behandeln Perspektiven der Neugestaltung von Sicherheitsnormen.

Abstract

This volume contains a complex survey of the latest developments in scientific knowledge concerning the possibilities and limits of passive accident prevention for motorcyclists.

Structured according to the following main subjects: protective clothing (wearing habits, optimizing of material), crash helmets (optimizing), road conditions (guardrail problem) and the motorcycle itself (safety motorcycle), it presents and discusses knowledge acquired by analyzing the course of events leading to accidents, the observation of real traffic situations, simulation of accidents and laboratory tests.

In addition to this the authors of these studies point out ways of optimizing passive accident prevention, they discuss cost-benefit aspects of individual measures and deal with the prospects of redefining safety norms.

Abstrait

Ce présent tome contient une vue différenciée du niveau actuel des reconnaissances scientifiques sur les possibilités et les limites de la protection passive contre les accidents des motocyclistes.

Divisé en centres de gravité des sujets: vêtements protectifs (attitude à la mise, choix du matériel optimal), casquette-protection (son choix optimal), route (problèmes envers des planches protectives) et moto-bicyclette (moto à sécurité) les reconnaissances évoluées par des essais-laboratoires, simulations accidents, étude de la circulation réelle, et par des analyses des accidents produits, y sont présentées et discutées.

Les auteurs des études indiquent, par-delà, des moyens du choix juste de la protection passive contre les accidents, et discutent les aspects couts vis-à-vis les aspects profits des mesures individuelles et traitent les perspectives de la restructuration des normes-sécurité.

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

V

Koch

Einführung des Herausgebers

VII

THEMATISCHER UBERBLICK

Otte, Suren, Appel

Lösungsansätze zur Verbesserung der Verletzungssituation des motorisierten Zweiradbenutzers.

1

Schutzkleidung

Weidele

Gedanken zur Weiterentwicklung von Motorradfahrerschutzbekleidung.

27

Aldman, Kajzer, Gustafsson, Nygren, Tingvall

Schutzwirkung eines besonders entwickelten Anzugs für Motorradfahrer.

55

Marburger

Das Schutzbekleidungsstragen motorisierter Zweiradfahrer.

77

Schutzhelm

Stöcker

Optimierung von Kraftfahrerschutzhelmen. 89

Grandel, Schaper

Der Schutzhelm als passives Sicherheitselement - Anforderungen an künftige Entwicklungen aus Sicht der Unfallforschung. 107

Berge

Untersuchungen an Motorradhelmen im Windkanal. 131

Straße

Jessl

Anprallversuche mit dem Dummy Sierra Hybrid II/Part 572 an Leitplankenpfosten mit Anpralldämpfern. 139

Domhan

Passive Sicherheit von Schutzplanken beim Anprall von Motorradaufsassen. 163

Motorrad

Spornier, Langwieder, Polauke

Passive Sicherheit am Motorrad. Kritische
Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten von
Airbags.

177

Vorwort des Herausgebers

Die "Forschungshefte Zweiradsicherheit" haben mit dem hier vorgelegten Band 5 ihr Aussehen verändert. Ziel der Änderung ist es, sie handlicher, griffiger und praxisnäher zu machen. Zusätzlich hat sich der Verlag geändert. Die "Forschungshefte Zweiradsicherheit" erscheinen ab sofort im Verlag des Instituts für Zweiradsicherheit und werden über die "Institut für Zweiradsicherheit GmbH" vertrieben. Die Bände können damit, wie bisher, über den Buchhandel, aber auch direkt über das Institut für Zweiradsicherheit Bochum bezogen werden. Damit wollen wir dem Wunsch vieler Leser nach einer schnellen und einfachen Bezugsmöglichkeit entgegenkommen. Gleichzeitig haben wir auch den Eigenvertrieb der bereits erschienenen Bände übernommen. Für Bestellungen findet sich ein Coupon auf der letzten Seite.

Wir bitten alle Teilnehmer des 2. Bochumer Workshops zur Zweiradsicherheit, besonders die Referenten und Autoren, um Verständnis und Nachsicht für die durch die Umstellungen bedingte Verzögerung des Erscheinungstermins.

Einige Vorträge wurden nicht in diesen Band aufgenommen, manche da sie nur einen vorläufigen Status hatten, weil sie auf einer Pilotstudie basierten und demnächst in anderer, vollständiger Form erscheinen werden, andere da sie uns nicht rechtzeitig in Form einer druckbaren Fassung vorlagen.

Bochum, im Oktober 1987

Dr. Hubert Koch

Einführung des Herausgebers

Am 18. und 19. Februar 1986 fand in Bochum der "2. Bochumer Workshop zur Zweiradsicherheit" statt, der die Arbeit des ersten Workshops vom 7. und 8. Februar 1983 fortsetzte (Vgl. "Der Motorradunfall. Beschreibung, Analyse, Prävention", hrsg. von Hubert Koch, Bochum 1986, Heft 3 dieser Schriftenreihe).

Während es beim ersten Workshop noch allgemein um die Beschreibung und Analyse des Problems "Motorradunfall" und um ein Ausloten der Möglichkeiten, die Sicherheit des Motorradverkehrs zu erhöhen, ging, stand dieses Mal die passive Sicherheit im Mittelpunkt des Interesses.

Die Sicherheit ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen, wenn man das Verhältnis zwischen der Zahl der pro Jahr getöteten Motorradfahrer und dem Bestand als Maßstab nimmt. Wie die Tabelle zeigt, entfielen 1975 noch 266 Getötete auf 100.000 zugelassene Motorräder, 1986 nur noch 69. Bei den Verletzten entfielen 1975 noch 8.296 Verletzte auf 100.000 zugelassene Motorräder, 1986 nur noch 3.561.

 Institut für Zweiradsicherheit e.V.

Unfallentwicklung

Jahr	I	Bestand an		Bei Verkehrsunfällen		Kennzahl*1 I verletzte		Kennzahl*1		
		I	Motorrad*2	I	%	I	%	I	%	
1970	I	378604		I	853	225,3	I	27251	7197,8	
1975	I	454811	20,1	I	1211	42,0	266,3	I	37730	8295,8
1976	I	503835	10,8	I	1250	3,2	248,1	I	44625	18,3
1977	I	554474	10,1	I	1272	1,8	229,4	I	43005	-3,6
1978	I	595851	7,5	I	1149	-9,7	192,8	I	41569	-3,3
1979	I	654674	9,9	I	1251	8,9	191,1	I	42495	2,2
1980	I	738180	12,8	I	1225	-2,1	165,9	I	45394	6,8
1981	I	879969	19,2	I	1319	7,7	149,9	I	51052	12,5
1982	I	1078114	22,5	I	1453	10,2	134,8	I	63499	24,4
1983	I	1242982	15,3	I	1350	-7,1	108,6	I	69159	8,9
1984	I	1355559	9,1	I	1206	-10,7	89,0	I	65719	-5,0
1985	I	1406869	3,8	I	1070	-11,3	76,1	I	56551	-14,0
1986	I	1411714	0,3	I	973	-9,1	68,9	I	50267	-11,1

* jeweils die Veränderung zum Vorjahr in %

*1 jeweils bei Verkehrsunfällen Verunglückte pro 100.000 Fahrzeugbestand

*2 einschliesslich Klein- und Leichtkrafträder

Die Bestandszahlen beziehen sich auf den 1.7., die Unfallzahlen auf den 31.12. des jeweiligen Jahres

Quelle: 1. Kraftfahrtbundesamt: Statistische Mitteilungen. - Flensburg, 9/1986

2. Statistisches Bundesamt: Reihe 3.3 Strassenverkehrsunfälle. - Wiesbaden, 1980 - 1986

Die Ursachen für die verbesserte Gesamtbilanz in der Verletzungssituation sind noch nicht exakt untersucht, eine Quantifizierung der unterschiedlichen Einflußfaktoren liegt nicht vor. Wenngleich sicher eine Reihe von externen Faktoren wie etwa die Verbesserung des Rettungswesens sowie die Weiterentwicklung der Unfallchirurgie und größere Erfahrungen der Mediziner im Umgang mit verunfallten Motorradfahrern eine Rolle spielen, so kann doch sicher auch ein Zugewinn an passiver Sicherheit in den letzten Jahren zweifelsfrei konstatiert werden.

Der aktuelle Stand der wissenschaftlichen Erkenntnisse über die Möglichkeiten und Grenzen des passiven Unfallschutzes bei Motorrädern wird von den Autoren dieses Bandes dokumentiert, und zwar bezogen auf die Bereiche:

- Schutzkleidung
- Schutzhelm
- Straße
- Motorrad

In einem einführenden Überblicksreferat skizzieren Otte, Suren und Appel "Lösungsansätze zur Verbesserung der Verletzungssituation des motorisierten Zweiradbenutzers".

Basierend auf einer differenzierten Unfallanalyse durch die Direkterhebungen am Unfallort beschreiben sie Lösungen zu allen genannten Bereichen, nämlich am Fahrzeug Motorrad, an anderen Fahrzeugen (Pkw bzw. Lkw), bei der Verkehrsumwelt (Straßenbau) sowie bei der Fahrerschutzausrüstung (Schutzkleidung, Helm).

Im Kapitel **Schutzkleidung** referiert Weidele in seinem Beitrag "**Gedanken zur Weiterentwicklung von Motorradfahrerschutzbekleidung**" den derzeit erreichten technischen Stand und beschreibt mögliche Innovationen im Bereich des Materials mit dem Schwerpunkt der Verbesserung des Abriebverhaltens, während Aldman et al. die "**Schutzwirkung eines besonders entwickelten Anzugs für Motorradfahrer**" darstellen mit dem Schwerpunkt der Verbesserung der Stoßdämpfung.

Die in beiden Beiträgen deutlich gemachten Möglichkeiten der Erhöhung der passiven Sicherheit durch Verbesserung der Schutzkleidung werden relativiert und ergänzt durch die Arbeit von Marburger: "**Das Helm- und Schutzkleidungstragen motorisierter Zweiradfahrer in der Bundesrepublik Deutschland**". Mit einer empirischen Erfassung der Tragequoten verschiedener Schutzkleidungskonfigurationen bei Motorradfahrern zeigt er das Nutzenpotential auf, das neben der technischen Innovation durch die erhöhte Benutzung des derzeitigen Angebots besteht.

Das Kapitel **Schutzhelm** wird eröffnet von **Stöcker**, der über vier Projekte der Bundesanstalt für Straßenwesen zur "Optimierung von Kraftfahrerschutzhelmen" berichtet. Denselben Ziel dient die Arbeit von **Grandel** und **Scharper**: "Der Schutzhelm als passives Sicherheitselement - Anforderungen an künftige Entwicklungen aus der Sicht der Unfallforschung". Die Autoren sind sich einig, daß mögliche Verbesserungen nicht nur Material und Konstruktion betreffen, sondern auch eine Weiterentwicklung bestehender Normen einschließen müssen. Das Kapitel wird abgeschlossen von **Berge**, der über "Untersuchungen an Motorradhelmen im Windkanal" berichtet.

Das Kapitel **Straße** besteht aus zwei Beiträgen. Die Diskussionen um Möglichkeiten zur Erhöhung der passiven Sicherheit konzentrieren sich in der Bundesrepublik Deutschland seit einigen Jahren auf die Entschärfung der form- und materialaggressiven Schutzplanken und Pfosten. Nach **Schüler** (1985) legte **Jessl** die Ergebnisse einer Wirksamkeitsuntersuchung vor, die er durch "Aufprallversuche mit dem Dummy Sierra Hybrid II/Part 572 an Leitplankenpfosten mit Anpralldämpfern" erstellt hat. **Domhan** gibt einen mehr globalen Überblick über das Problem "Passive Sicherheit von Schutzplanken beim Anprall von Motorradaufsassen" und skizziert, unter welchen Bedingungen eine Ummantelung von Schutzplankenpfosten auch bei Berücksichtigung der Nutzen-Kosten-Aspekte sinnvoll ist.

Den Abschluß des Bandes bildet das Kapitel **Motorrad** mit der Arbeit von **Spornier**, **Langwieder** und **Polauke** unter dem Titel "Passive Sicherheit am Motorrad. Kritische Beurteilung der Einsatzmöglichkeiten von Airbags". Die Autoren berichten über ihre seit Jahren unternommenen Kollisionsversuche, das Modell des von ihnen entwickelten Sicherheitsmotorrades und reflektieren, basierend auf eigenen neueren Versuchen, Möglichkeiten der weiteren Verbesserung der passiven Sicherheit durch die Verwendung von Airbags am Motorrad.

Die Referate des 2. Bochumer Workshops zur Zweiradsicherheit zeugen, zusammengenommen, von einer intensiven wissenschaftlichen Beschäftigung mit Fragen der passiven Sicherheit von Zweiradfahrern. Das erreichte Erkenntnisniveau sowie die schon realisierte praktische Umsetzung ist, auch im internationalen Vergleich, beachtlich. So wird beispielsweise zu Fragen der Entschärfung von Schutzplankenpfosten derzeit nur, zu Fragen der Möglichkeiten des Airbags fast nur in der Bundesrepublik Deutschland geforscht. Neuentwicklungen wie Protektorenkombis sind zwar zuerst in Schweden erstellt und erprobt worden, wichtige Optimierungen wurden aber ebenfalls in Deutschland entwickelt. Der Gesamterkenntnisstand läßt sich stichwortartig wie folgt festhalten:

- Schutzkleidung.

Nach Jahren der Stagnation sind jetzt Wege bekannt, das Abriebverhalten, teilweise durch neue Materialien, zu optimieren, den Tragekomfort, und damit die Akzeptanz, zu erhöhen und - erstmals - ein gewisses Maß an Energieabsorptionsfähigkeit zu schaffen.

- Helm

Der erreichte konstruktive und normative Standard ist hoch, die gesetzgeberische Absicherung der Tragevorschrift durch Normvorgaben steht unmittelbar bevor. Weitere Optimierungen von Konstruktion und Material sind möglich, eine Weiterentwicklung der Norm dabei unabdingbar.

- Straße

Schutzplanken, besonders ihre Pfosten, sind als bedeutsamer Verursachungsfaktor von Verletzungen bekannt. Es gibt Möglichkeiten der Entschärfung durch Doppelschutzplanken oder Pfostenummantelungen, deren Wirksamkeit meßtechnisch und traumatologisch ebenso bewiesen ist wie - unter bestimmten Voraussetzungen - ihre positive Kosten-Nutzen-Relation.

- Motorrad

Möglichkeiten der Erhöhung der passiven Sicherheit durch konstruktive Maßnahmen am Motorrad betreffen die Entschärfung der Außenkontur, um direkte Verletzungen des Fahrers durch das Motorrad zu verhindern. Darüberhinaus wird versucht, die Bewegungsbahn des Fahrers bei Kollisionen mit Pkw zu beeinflussen, um einen Körperanprall am Pkw zu verhindern. Hier liefert der Airbag möglicherweise zusätzliche Chancen.

- andere Fahrzeuge

Die Entschärfung der Außenkontur am Pkw sowie die Montage von Unterfahrschutzvorrichtungen an Lkw können die passive Sicherheit von Motorradfahrern deutlich erhöhen.

Erste Ergebnisse einer Reihe derzeit laufender Forschungsprojekte lassen vermuten, daß die bestehenden Möglichkeiten kurz- und mittelfristig noch deutlich weiter verbessert werden.

Dazu ist es hilfreich und notwendig, für die Einzelmaßnahmen konkrete Zielvorgaben zu entwickeln und zu definieren. Geht es, wie von **Grandel** und **Stöcker** diskutiert, beim Schutzhelm

bereits um die Weiterentwicklung einer bestehenden Norm (ECE/22 02), die schon einen relativ hohen Standard repräsentiert, so müssen Normen für Schutzkleidung oder für Pfostenummantelungen noch völlig neu definiert werden (Vgl. Weidele und Domhan). Eine Norm hat dabei nicht nur den Vorteil, daß die Unfallforschung unterschiedliche Problemlösungen vergleichen kann, sie bietet darüber hinaus für Entwicklung und Produktion von Schutzeinrichtungen eine unverzichtbare Orientierung.

Ein weiterer Fortschritt ist auf dieser Basis dann möglich, wenn aus den Einzelprojekten eine Gesamtforschung im Systembezug Mensch-Fahrzeug-Umwelt entwickelt wird. Dieser Versuch verspricht einen deutlichen weitergehenden Erkenntnisgewinn und damit die Möglichkeit weiterer Verbesserung des passiven Unfallschutzes. Das Gesamtergebnis einer solchen systembezogenen Forschung ist dann mehr als die Summe der Teile, wenn es gelingt, die unterschiedlichen Weiterentwicklungen und Verbesserungen nicht je für sich, sondern im Bezug auf das Gesamtsystem zu definieren. So wäre es beispielsweise sinnvoll und hilfreich, bei der Weiterentwicklung der Dämpfungseigenschaften von Helmen die Gestaltung von Dachkanten der Pkw, insbesondere ihr Verformungsverhalten, einzubeziehen; es wäre ein Gewinn, die Dämpfungskennlinien von Pfostenummantelungen an Schutzplanken auf die von Helmen oder Protektorenkombis zu beziehen .

Die Möglichkeiten, positive Synergieeffekte zu erzielen, beziehen sich auf alle Teilkomponenten des Systems Mensch-Fahrzeug-Umwelt und ihre jeweiligen Wechselwirkungen. Um sie zu erreichen, bedarf es zunächst einer exakten gemeinsamen Zieldefinition und sodann einer entsprechend breit, auch interdisziplinär, angelegten Forschungsplanung und -praxis. Wenngleich in den letzten Jahren ein erheblicher Zuwachs an passiver Sicherheit zu konstatieren ist, besteht in dieser komplexeren Vorgehensweise eine wichtige Aufgabe besonders für die staatliche Forschungsplanung und Mittelverwendung der nächsten Jahre. Diese Forschung ist sicher deutlich schwieriger, als sie vergleichsweise bei Pkw-Unfällen war, da der Motorradunfall ein ungleich komplexeres Phänomen darstellt. Wie bei der Weiterentwicklung der passiven Sicherheit im Pkw-Bereich aber kann Erfolg nur erwartet werden, wenn es die geforderte Gesamtzieldefinition gibt und wenn diese in konkrete operationalisierte Einzelziele umgesetzt wird, wie dies beispielsweise beim definierten 50-km/h-Anprall gegen eine feste Wand im Pkw-Bereich gemacht worden ist.

Auch für den Motorradunfall müßte zunächst genau definiert werden, welche Kollisionen unter welchen Bedingungen noch zu überleben sein sollen, um einen Maßstab zu haben, mit dem vorgeschlagene Lösungen gemessen werden können und an dem sich die Industrie bei der Entwicklung von Innovationen orientieren kann.

Sicher wird ein vergleichbar hohes Maß an passiver Sicherheit wie beim Pkw für die sogenannten äußeren Verkehrsteilnehmer (Fußgänger, Radfahrer, Motorradfahrer) nicht zu erreichen sein, es ist aber realistisch, die vorhandene Differenz in der Wahrscheinlichkeit, bei einem Unfall verletzt zu werden, zu reduzieren.

Lösungsansätze zur Verbesserung der Verletzungssituation des motorisierten Zweiradbenutzers

Dietmar Otte
Ernst-Günter Suren
Herrmann Appel

1. Einleitung

Die Bedeutung der Verkehrsunfälle motorisierter Zweiradbenutzer in der Bundesrepublik Deutschland wird durch die vom Statistischen Bundesamt Wiesbaden [Straßenverkehrsunfälle, 1983 (1)] publizierten amtlichen Unfallzahlen belegt. Es konnten für das Jahr 1984 registriert werden:

bei Verkehrsunfällen insgesamt verletzte Personen	n = 476.232 (100%)
verletzte, motorisierte Zweiradbenutzer	n = 93.816 (19,7%)
getötete, motorisierte Zweiradbenutzer	n = 1.548 (1,7%)

Wenngleich bei dem Begriff "motorisiertes Zweirad" vornehmlich an die Gruppe der Motorradfahrer gedacht wird, so darf doch nicht übersehen werden, daß als solche auch gelten:

Mofa: bei Verkehrsunfällen verletzte Benutzer	n = 19.730 (21%)
Moped/Mokick:	n = 7.161 (8%)
Krafträder (einschl. Kraft-/ Leichtkrafträder sowie Motor- roller):	n = 66.925 (71%)

Verglichen mit dem Bestand und den jährlich zurückgelegten Fahrleistungen ergibt sich ein gegenüber dem Pkw-Insassen für:

Mofabbenutzer	5-faches Risiko
Moped/Mokickbenutzer	4,5-faches Risiko
Krafträderbenutzer	8,1-faches Risiko

bei einem Verkehrsunfall verletzt zu werden. Grundlage dieser Berechnung bilden eigene, bereits publizierte Erkenntnisse [Otte, 1983 (2) und 1986 (3)].

Die hohe Gefährdung eines im Straßenverkehr verunfallenden Zweiradbenutzers basiert im wesentlichen auf der zweirädrigen Konzeption des Zweirades und den im Vergleich zum Pkw nicht durch eine schützende Insassenzelle und Sicherheitsgurt geschützten Aufsassen.

So sind auch Unfälle mit motorisierten Zweiradbenutzern in der Regel immer mit Verletzungen verbunden. Während fast die Hälfte der Unfälle mit Pkw-Beteiligung ausschließlich mit Sachschaden verlaufen (40%), hat der überwiegende Teil - nämlich 98% - der motorisierten Zweiradunfälle Personenschaden zur Folge [Statistisches Bundesamt, 1983 (1)].

2. Zielsetzung

Es gibt bereits eine Vielzahl von Untersuchungen zur Verletzungssituation im bundesweiten [u.a. Jessl, 1978 (4), Beier, 1985 (5), Schüler, 1985 (6)] wie internationalen Bereich [u.a. Hurt, 1976 (7), Hight, 1978 (8)].

Dennoch finden sich kaum über diese Verletzungen, Verletzungsmechanismen und Schutzwirkung von Helm oder Lederkleidung beschreibenden Arbeiten hinausgehende, gezielte Vorschläge zur Zweiradbenutzersicherheit. In der Literatur sind nur wenig sinnvolle realitätsbezogene Maßnahmen zu finden, u.a. die von Sporner, 1982 (9) angegebene Möglichkeit einer Optimierung des Abflugwinkels des verunfallenden Zweiradbenutzers. Vorschläge wie z.B. den Sicherheitsgurt für Motorradfahrer [u.a. von Schimmelpfennig, 1981 (10)] müssen aus unfall- und verletzungskinematischer Sicht verworfen werden.

Die Autoren sind dagegen der Ansicht, daß aus dem derzeitigen Kenntnisstand der Unfallsituation und der Kollisions- und Verletzungsmechanismen sehr wohl praktikable Lösungsansätze zur Verbesserung der Unfallprophylaxe des motorisierten Zweiradbenutzers abgeleitet werden können. Ziel vorstehender Arbeit ist es, diese Möglichkeiten aufzuzeigen und die dadurch zu erwartende Verletzungsminderung anzugeben, da der Nutzen einer Maßnahme sich an der Häufigkeit und der Schwere auftretender Verletzungen messen lassen muß. Um diesen Weg zu verfolgen, ist eine exakte Erfassung der Verletzungen nach Art, Schwere und Lokalisation erforderlich, die mit den rekonstruierten Unfall- und Kollisionsabläufen korreliert und bewertet werden

müssen. Hierzu bieten sich besonders "Erhebungen am Unfallort" an, durch deren Methodik die Voraussetzungen für eine detaillierte Unfallanalyse geschaffen sind.

3. Methodik der Analyse

3.1 Unfallaufnahme

Seit 1973 existiert an der Medizinischen Hochschule Hannover ein interdisziplinär medizinisch/technisch arbeitendes Unfallererhebungsteam. Dieses von der Bundesanstalt für Straßenwesen gemeinsam mit dem Institut für Fahrzeugtechnik der Technischen Universität Berlin durchgeführte Forschungsprojekt erfaßt Verkehrsunfälle mit Personenschaden im Stadt- und Landkreis Hannover [Otte, 1982 (11)]. Ein Team von Ärzten und Ingenieuren fährt mit speziellen Einsatzfahrzeugen die Unfallstelle an und beginnt dort mit der Datenerhebung u.a. von Unfallschäden, Endstellungen der Fahrzeuge und Anprallstellen sowie Endlagen der Verletzten. Durch die Anwendung der Stereofotografie können maßstäbliche Skizzen der Unfallörtlichkeit einschließlich der dort gesicherten Spuren je Einzelfall angefertigt werden. Dies ermöglicht mit hoher Genauigkeit die Rekonstruktion des Unfalles, der kinematischen Vorgänge und der Verletzungsmechanismen.

Alle Verletzungen werden nach Art, Schwere und Lokalisation erfaßt und nach der AIS-Scala gewertet [Abbreviated Injury Scale of Automotive Medicine, 1980 (12)]. Die medizinisch/technische Zusammenarbeit ermöglicht dabei eine Korrelation der vorgefundenen Beschädigungen, Bewegungsabläufe und der diagnostizierten Verletzungen auf physikalisch, biomechanischer und kinematischer Grundlage.

3.2 Beschreibung des untersuchten Kollektivs

Insgesamt standen zur Auswertung 379 motorisierte Zweiradunfälle mit 470 Aufsassen zur Verfügung. Diese verteilen sich auf folgende Arten von Zweirädern

Mofa	n = 73	(19,2%)
Moped/Mokick	n = 48	(12,7%)
Kleinkraftrad	n = 29	(7,7%)
Leichtkraftrad	n = 31	(8,2%)
Motorrad	n = 192	(50,6%)
Roller	n = 6	(1,6%)
	-----	-----
	n = 379	100,0%

4. Unfall- und Verletzungssituation des motorisierten Zweiradbenutzers

In den verschiedenen Zweiradgruppen zeigten sich Unterschiede in den Verletzungs- und Kollisionsmustern sowie Verletzungsmechanismen. So kann anlehnend an bisherige Erkenntnisse eigener Studien [Otte, 1985 (13)] das Unfallgeschehen der verschiedenen Zweiräder nach folgenden typischen Gruppen analysiert und dargestellt werden:

Mofa
Moped/Mokick
Kraftrad (beinhaltet Leichtkraftrad, Kleinkraftrad, Motorrad, Motorroller).

Das Mofa verhält sich aufgrund der gegenüber Motorrädern sehr geringen Eigengeschwindigkeit im Unfallgeschehen eher wie das Fahrrad. Es kommt dabei häufig zu Kollisionen mit der Front eines Pkw, der insbesondere für Mofas der häufigste Kollisionskontrahent ist. Motorradfahrer verunfallen demgegenüber häufiger alleine und kollidieren dabei mit Objekten wie Baum, Leitplanke o.ä. Deutlich wird dies auch bei vorliegendem Unfallkollektiv (Bild 1)

Fahrzeugart	Kollisionskontrahenten						Gesamt	
	Pkw	Nutz- fahr- zeug	Zwei- rad	Fuß- gän- ger	Ob- jekt	Mehr- fach	n	%
	%	%	%	%	%	%		
Mofa	78,1	13,7	-	-	6,8	1,4	73	19,2
Moped/Mokick	74,9	12,5	2,1	-	4,2	6,3	48	12,7
Kleinkraftrad	62,2	20,7	3,4	-	3,4	10,3	29	7,7
Leichtkraftrad	61,3	12,9	3,2	3,2	12,9	6,5	31	8,2
Motorrad	52,5	6,3	7,8	4,7	17,2	11,5	192	50,6
Roller	83,3	16,7	-	-	-	-	6	1,6
Gesamt	62,3	10,3	4,7	2,6	11,9	8,2	379	100,0

Bild 1: Kollisionskontrahenten des motorisierten Zweirades

Im Vergleich zur Bundesstatistik [Straßenverkehrsunfälle, 1983 (1)] fällt auf, daß Kollisionen mit Nutzfahrzeugen in dem von uns untersuchten Datenmaterial häufiger sind (10,3%) gegenüber 4,8%). Dagegen sind Kollisionen mit Zweirädern und Fußgängern unterrepräsentiert.

In vorangegangenen Studien wurde nachgewiesen (u.a. 13), daß das Unfallgeschehen motorisierter Zweiräder klassifiziert beschrieben werden kann durch

Kollisionstypen
Kinematikgruppen
Auslaufgruppen

Durch Kollisionstypen werden die die weitere Bewegung beeinflussenden Stellungen der Kollisionspartner im Zeitpunkt der Kollision beschrieben. Dabei wurden 6 Typen für den Fahrzeuganprall sowie 2 weitere für den Objektenanprall definiert. Während Mofas überwiegend rechtwinklig mit der Front eines Pkw/Lkw kollidieren, findet man mit Zunahme der Motorisierungsstärke des Zweirades häufiger andere Kollisionsstellungen. So kollidierten lediglich noch 9,2% der Krafträder unter diesem Kollisionstyp, sondern häufiger mit der Seite eines Pkw/Lkw (30,8%) sowie mit festen bzw. beweglichen Objekten (24,6%).

Nach der Kollision des Zweirades löst sich in der Regel der Benutzer von seiner Maschine und fliegt mit oder ohne Anprall des Körpers in die Endlageposition. Die möglichen kinematischen Formen in dieser Bewegungsphase wurden durch 7 **Kinematikgruppen** standardisiert beschrieben. Während Mofafahrer noch überwiegend vom Kollisionspartner "aufgeschöpft" werden und einen "Anprall mit Richtungsänderung" erfahren, findet man bei Motorradfahrern dies allerdings nur noch in 7,7%. Beim Motorradfahrer ist häufiger ein "freier Flug" ohne Körperanprall am Pkw/Lkw zu verzeichnen (8% Mofa/Mokick, 10,2% Kraftrad). Auffallend hoch ist bei Krafträdern eine "indirekte Kollision" durch einen der Fahrzeugkollision vorangegangenen Sturz bzw. Seitenlage der Maschine (23,2%).

Nach der Kollisions- und Flugphase des verunfallenden Zweiradfahrers ist oftmals noch ein Anprall an diversen Objekten (u.a. Baum, Leitplanke, Bordstein) festzustellen, der standardisiert durch 5 **Auslaufgruppen** beschrieben werden kann. Neben einem überwiegend auf der Straße rutschenden Körper (73,2%) kann auch ein Anprall an eckigen, runden bzw. scharfkantigen Anprallflächen insbesondere bei Motorradfahrern beobachtet werden. Eine Übersicht der verschiedenen kinematischen Formen und deren Häufigkeit sind in **Bild 2** dargestellt.

Bei der detaillierten Betrachtung der kinematischen Vorgänge werden die Rahmenbedingungen des Verletzungsrisikos deutlich. Dies sind:

- Relativgeschwindigkeit der Kollisionspartner
- Formgebung des Anprallgegenstandes
- Kollisionskonstellation und -winkel
- Kinematik und Anprallsituation des Zweiradbenutzers in der Crash- und Post-Crash-Phase (Bewegungsformen und Art sowie Formgebung des Anprallgegenstandes)

Kollisionstypen von Zweirädern		Kinematikgruppen von Zweiradaufsassen		Auslaufgruppen von Zweiradaufsassen	
	1		I	freier Flug	8,9 %
	2		II	abrutschen	3,5 %
	3		III	aufschöpfen	12,3 %
	4		IV	Anprall am Kollisionspartner mit Richtungsänderung	25,9 %
	5		V	Anprall am Kollisionspartner ohne Richtungsänderung	17,9 %
	6		VI	Anprall und Sitzenbleiben	12,3 %
	7		VII	gestürzt (indirekter Anprall)	19,2 %
	8				8,2 %
				rutschen, rollen	73,2 %
				überschlagen	1,8 %
				kleine Anprallfläche	12,9 %
				große Anprallfläche	5,5 %
				überrollen	1,5 %
				andere (unbekannt)	5,1 %

Bild 2: Häufigkeiten der definierten Kollisionstypen, Kinematikgruppen und Auslaufgruppen

4.1 Verletzungssituation

Über die Hälfte aller Zweiradbenutzer (52,1%) erlitten Verletzungen des Schweregrades OAIS 1 und 2 (Bild 3)

Fahrzeugart	Gesamtverletzungsschweregrad OAIS					Gesamt	
	unver-	OAIS	OAIS	OAIS	unbe-	n	%
	letzt	1/2	3/4	5/6	kannt		
%	%	%	%	%			
Mofa	5,1	44,9	35,9	14,1	-	78	16,6
Moped/Mokick	8,3	48,3	31,7	10,0	1,7	60	12,8
Kleinkraftrad	5,4	62,1	18,9	13,5	-	37	7,9
Leichtkraftrad	2,4	64,3	30,9	2,4	-	42	8,9
Motorrad	5,7	50,8	27,5	16,0	-	244	51,9
Roller	11,1	77,8	-	11,1	-	9	1,9
Gesamt	5,7	52,1	28,5	13,4	0,2	470	100,0
Anteil getöteter Aufsassen	-	0,4	1,5	85,7	-	58	12,3

Bild 3: Gesamtverletzungsschwere OAIS nach Art der Zweiradbenutzung

28,5% der Zweiradbenutzer wurden schwer verletzt (OAIS 3 und 4) und 13,4% erlitten schwerste bzw. tödliche Verletzungen (OAIS 5 und 6). Es zeigt sich, daß Mofafahrer häufiger schwere und schwerste Verletzungen erleiden als Benutzer anderer Zweiradarten, insbesondere gegenüber Benutzern von Leichtkrafträdern. Von diesen erlitten nur 33,3% Verletzungen der Schweregrade OAIS > 2. Insbesondere die Gruppe der Leichtkraftradfahrer bedürfen der Aufmerksamkeit, da doch diese erst seit 1983 im Verkehr vorhanden sind, dennoch mit 8,9% eine hohe Unfallbeteiligung besitzen.

Insgesamt verstarben 12,3% der Verletzten. Eine Person mit OAIS 1 verstarb aufgrund eines zuvor eingetretenen Herzinfarktes unfallunabhängig. Zwei Personen mit OAIS 3 verstarben an den Folgen einer Sepsis bzw. Embolie im Rahmen der Behandlung von Frakturen der unteren Extremitäten - eine klinische Komplikation der unfallbedingten Heilbehandlung, die bei motorisierten Zweiradfahrern aufgrund des häufigen Auftretens oft-

mals hohe Langzeitfolgen bewirken [Börner, 1983 (14) und Otte, 1983 (15)].

4.2 Verletzungsmuster

Die im Rahmen der Studie dokumentierten 470 Zweiradbenutzer erlitten insgesamt 3.530 Einzelverletzungen. Am häufigsten waren die Beine betroffen (83,2% der Benutzer - Bild 4). Weichteilverletzungen bildeten mit 77% dabei den Hauptanteil. Besonders gefährdet ist an den Beinen der Unterschenkel mit einer hohen Frakturhäufigkeit, während das häufig verletzte Knie (51,3% der Personen) in der Regel ausschließlich Weichteilverletzungen erfährt. Bemerkenswert erscheint neben einer starken Verletzungsgefährdung des Ober- und Unterschenkels auch die Sprunggelenk- und Fußregion, wo 24% bzw. 15,7% aller Zweiradbenutzer verletzt wurden. Verletzungen der unteren Extremitäten führen sehr häufig zu Komplikationen im Heilbehandlungsverlauf und damit zu hohen Langzeitfolgen (15). Am Körperstamm Thorax einschließlich Schulter, Abdomen und Becken wurden lediglich etwa 1/5 bis 1/4 der Verunfallten verletzt. Verletzungen der Organe treten dabei zu etwa 7% und Gefäßverletzungen zu etwa 1 bis 2% auf. Eine weitere stark verletzungsgefährdete Körperregion ist der Kopf, wo 73% der nicht helmgeschützten und 42% der helmgeschützten Personen verletzt wurden, außerdem die oberen Extremitäten (59,4% der Personen).

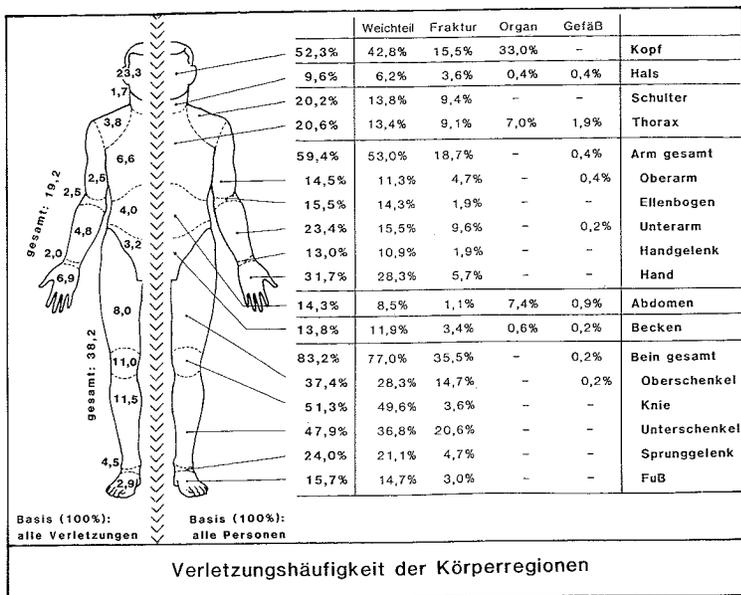


Bild 4:

Verletzungshäufigkeit der Körperregionen

+30%

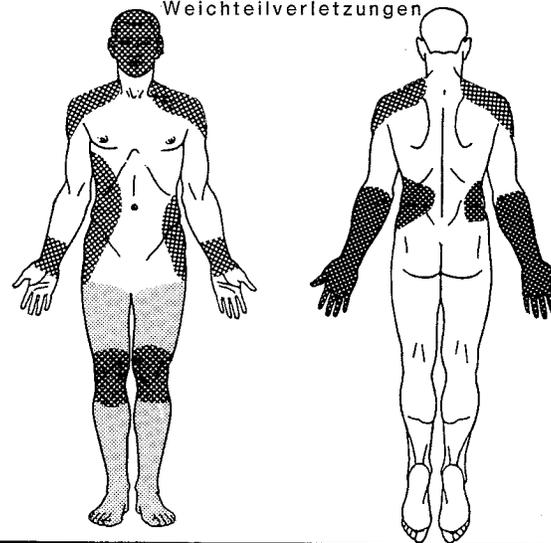
Jede einzelne Verletzung wurde entsprechend ihrer exakten Lokalisation analysiert. Es ergab sich das in Bild 5 anschauliche Piktogramm der am häufigsten verletzten Körperregionen und damit diejenigen Bereiche (Schraffur), die eines besonderen Schutzes bedürfen. Gewonnen wurden diese durch summarische Aufbereitung aller Einzelverletzungen.

Weichteilverletzungen sind besonders häufig an Schultern, den seitlichen Lendenbereichen von Thorax, Abdomen und Becken, den Unterarmen dorsal einschließlich der Ellenbogen, der Handgelenke und den Händen zu finden. Ebenso sind die gesamten Beine ventral einschließlich des Fußbereiches insbesondere jedoch der Knie betroffen.

Frakturen finden sich insbesondere im Schulterbereich, den Oberarmen proximal, den Unterarmen distal einschließlich der Hände und Handgelenke. Am Thorax wird insbesondere der vordere Rippenbereich oftmals frakturiert. Frakturen findet man im gesamten Beckenbereich sowie an den Oberschenkeln vorwiegend im mittleren Drittel und im gesamten Bereich des Unterschenkels.

Stark gefährdete Körperregionen für

Weichteilverletzungen



Stark gefährdete Körperregionen für

knöcherne Verletzungen

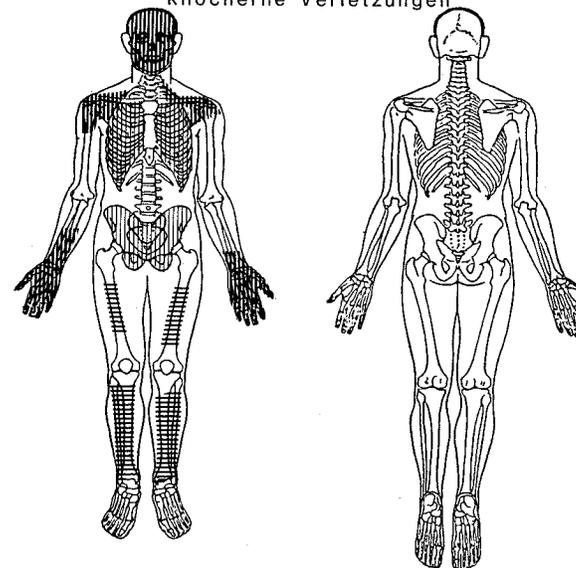


Bild 5: Körperbereiche mit hoher Verletzungsgefährdung

Der Kopf zeigt Weichteilverletzungen hauptsächlich am vorderen und seitlichen Gesichtsschädel, wo ebenso die meisten Frakturen vorzufinden sind. In der Veröffentlichung [Jes1, 1984 (16)] findet sich eine detaillierte Übersicht des Verletzungsmusters am Kopf.

Etwa 2/3 aller aufgetretenen Weichteilverletzungen sind trotz eines benutzten Schutzes (Helm, Lederbekleidung) entstanden, so daß die Schutzwirkung des Helmes sowie von Lederbekleidung zwar vorhanden ist, dennoch nach derzeitigem Stand nicht ausreichend erscheint.

4.3 Verletzungsursachen

Mögliche Verletzungsursachen lassen sich grundsätzlich in 4 verschiedene Ursachenbereiche gliedern, und zwar Verletzungen durch Teile von

Personenkraftwagen	31,7%
Lastkraftwagen und Nutzfahrzeuge	8,7%
der Unfallörtlichkeit	47,1%
des eigenen Zweirades	12,6%

a) Verletzungsverursachung durch Teile des Pkw

Besonders häufig sind Verletzungen durch die Front einschließlich der Stoßstange und der Fronthaubenkante. Diese Bereiche stellen zusammen 11,9% aller Verletzungsursachen dar.

Hinsichtlich der Verletzungshäufigkeit sind im weiteren das mittlere Drittel der Fronthaube, die Frontscheibe sowie die seitlichen Türen und Kotflügelstrukturen vorn wie hinten auffallend.

Schwere Verletzungen (AIS > 2) finden sich mit Ausnahme durch den Fronthaubenanprall zusätzlich noch an seitlichen B-Pfosten. Eine Übersicht über die verletzungsverursachenden Teile am Pkw ist Bild 6 zu entnehmen.

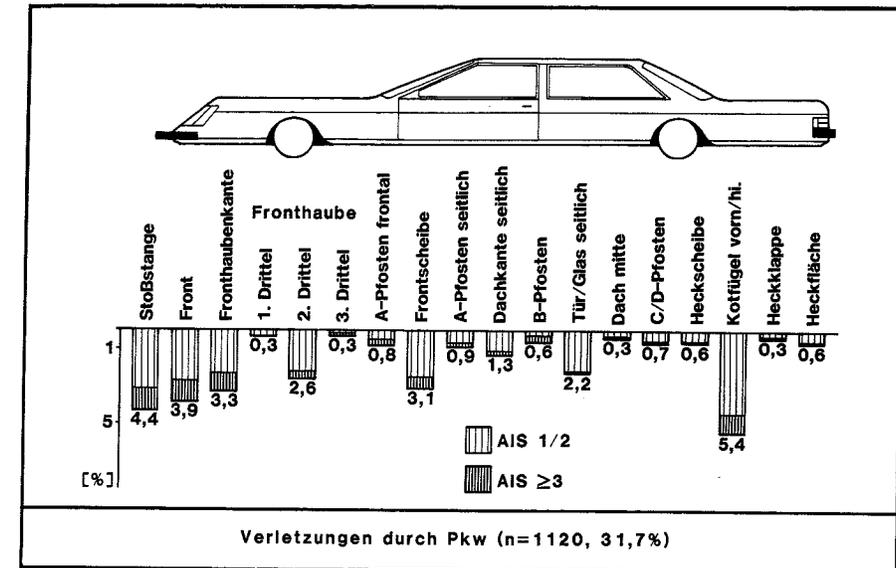


Bild 6

b) Verletzungsverursachung durch Teile des Lkw

4,2% aller Verletzungen des motorisierten Zweiradbenutzers werden durch Teile der Frontfläche eines Lastkraftwagens verursacht (Bild 7).

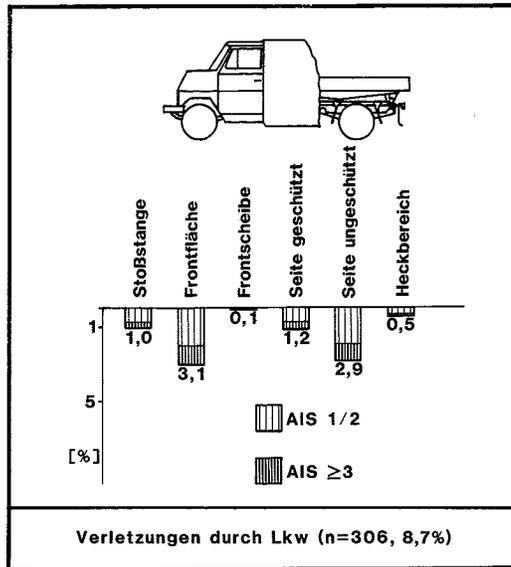


Bild 7

Häufig sind schwere Verletzungen die Folge. Verletzungen durch Teile der Fahrzeugseite werden insbesondere an dem ungeschützten Teil der Lkws induziert. Nach außen vorstehende Rahmentteile, kantige Aufbauten sowie der zwischen Vorder- und Hinterachse relativ ungeschützte Teil bilden besondere Gefährdungszonen für den Zweiradfahrer.

c) Verletzungen aufgrund der Unfallörtlichkeit

Teile der Unfallörtlichkeit bilden mit 47,1% aller Verletzungen den Hauptanteil der Verletzungsursachen. Auffallend häufig ist dabei mit 27,4% die Straßenoberfläche. Sie induziert allerdings überwiegend leichte Verletzungen (AIS 1/2). Besonders gefährlich erweist sich der Anprall an Masten, Pfählen oder Bäumen (3,5%) mit überwiegend schweren Verletzungen. Es wird deutlich, daß ein Anprall an Leitplanken mit lediglich 1,9% und oftmals geringer Verletzungsschwere doch im gesamten

Verletzungsursachenmuster eine eher untergeordnete Bedeutung hat [siehe Otte, 1986 (17)]. (Bild 8)

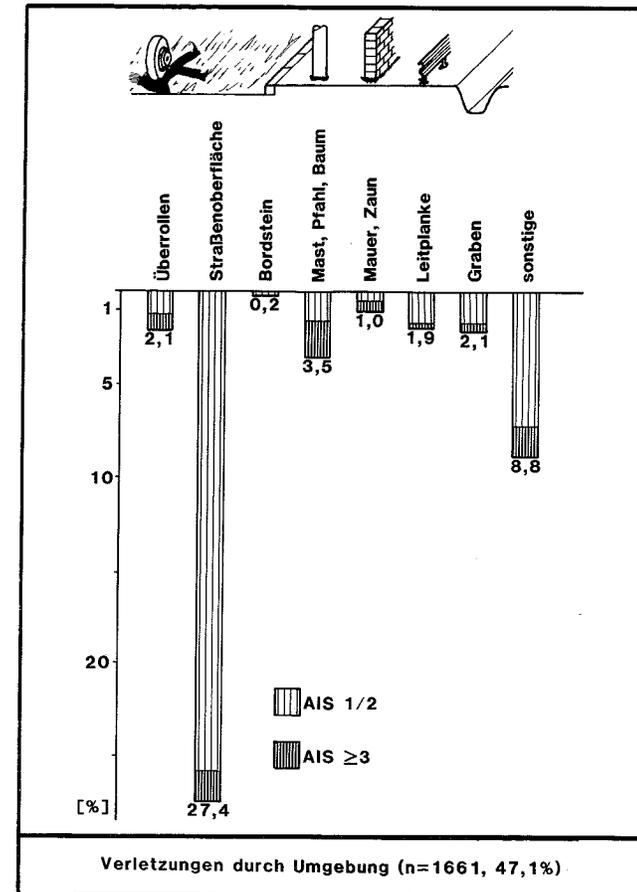


Bild 8

d) Verletzungen durch Teile des eigenen Zweirades

Mit immerhin 12,6% aller Verletzungsursachen nehmen Teile des eigenen Zweirades eine besondere Stellung ein (Bild 9).

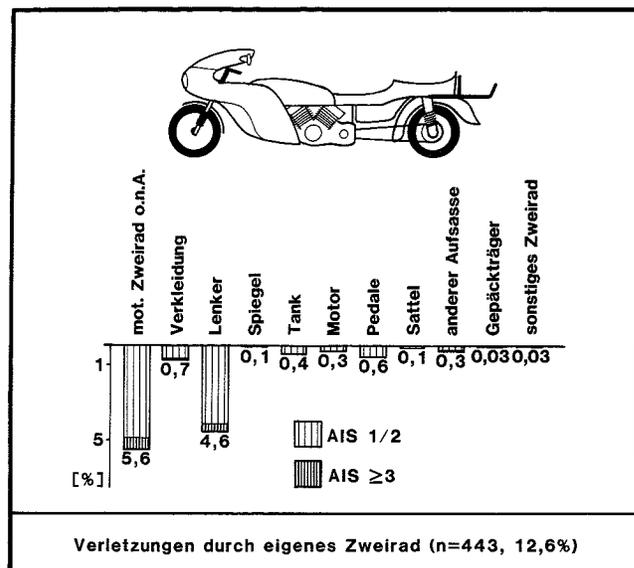


Bild 9

Am Zweirad zeichnet sich der Lenker mit 4,6% aller Verletzungen als häufig verletzungsursachend ab. Die durch Teile des Zweirades induzierten Verletzungen sind allerdings überwiegend leicht einzustufen (AIS 1/2).

5. Möglichkeiten einer Verletzungs- und Verletzungsschweregradreduzierung

Aus Kenntnis der erlittenen Verletzungen und Formgebung der verursachenden Teile (Bild 10) können in Verbindung mit den auftretenden kinematischen Formen des Bewegungsablaufes verunfallter Zweiradbenutzer Möglichkeiten einer verbesserten Unfallprophylaxe durch Maßnahmen an Pkw, Lkw, Unfallörtlichkeit, am eigenen Zweirad sowie an der eigenen Person selbst erarbeitet werden.

Motorrad

verletzungsursachende Teile	Schweregrad AIS der Verletzungen			verletzte Körperregionen						alle Verletzungen		
	1/2	3/4	5/6	Kopf	Hals	Thorax	Abd.	Becken	Extremitäten untere	Extremitäten obere	n	%
Fahrzeugfront (Stoßstange, Haubenkante)	67,1	29,6	3,3	6,2	1,2	7,4	2,9	1,2	68,7	12,3	243	13,7
Fronthaube	73,0	24,3	2,7	8,1	2,7	24,3	16,2	2,7	21,6	24,3	37	2,1
Windschutzscheibe	62,2	29,7	8,1	73,0	10,8	5,4	-	-	2,7	8,1	37	2,1
Fahrzeugseite	78,5	17,9	3,6	13,3	0,7	11,5	3,2	6,1	41,6	23,7	279	15,7
Dach	79,7	18,7	1,6	48,4	12,5	20,3	4,7	3,1	6,2	4,7	64	3,6
Überrollen	61,8	32,4	5,9	2,9	-	23,5	14,7	38,2	11,8	8,8	34	1,9
Zweirad	89,6	10,0	0,4	8,8	0,4	3,5	4,2	4,2	53,8	25,0	260	14,6
Straßenoberfläche	86,1	9,4	4,5	22,9	1,7	10,4	4,1	2,6	33,7	24,6	691	38,9
Sonstige	90,2	7,5	2,3	51,9	2,3	6,0	0,8	0,8	33,8	4,5	133	7,5
Gesamt	81,7	15,0	3,4	20,5	1,9	9,6	3,9	3,7	40,4	20,0	1778	100,0

Mofa/Mokick

verletzungsursachende Teile	Schweregrad AIS der Verletzungen			verletzte Körperregionen						alle Verletzungen		
	1/2	3/4	5/6	Kopf	Hals	Thorax	Abd.	Becken	Extremitäten untere	Extremitäten obere	n	%
Fahrzeugfront (Stoßstange, Haubenkante)	79,1	19,9	1,0	4,7	2,1	3,1	2,6	6,3	74,3	6,8	191	27,1
Fronthaube	92,9	7,1	-	30,4	1,8	25,0	3,6	8,9	1,8	28,6	56	7,9
Windschutzscheibe	85,7	10,2	4,1	83,7	2,0	2,0	-	-	-	12,2	49	6,9
Fahrzeugseite	74,0	20,8	5,2	41,6	-	3,9	-	1,3	41,6	11,7	77	10,9
Dach	74,4	16,3	9,3	83,7	-	9,3	-	-	4,7	2,3	43	6,1
Überrollen	42,9	35,7	21,4	-	-	35,7	28,6	14,3	21,4	-	14	2,0
Zweirad	88,9	11,1	-	16,7	-	-	-	2,8	69,4	11,1	36	5,1
Straßenoberfläche	96,3	2,8	0,9	32,6	-	5,0	1,4	1,4	27,5	32,1	218	30,9
Sonstige	72,7	18,2	9,1	77,3	-	13,6	-	-	-	9,1	22	3,1
Gesamt	84,7	12,6	2,7	32,4	0,8	6,7	2,0	3,4	37,5	17,1	706	100,0

Bild 10: Verletzungsschwere und -häufigkeit verletzter Körperregionen und deren Ursachen

5.1 Maßnahmen am Pkw

Maßnahmen am Pkw zur Verletzungsreduzierung von verunfallenden motorisierten Zweiradbenutzern nehmen einen hohen Stellenwert ein, da Verletzungen durch diese Teile ca. 1/4 aller Verletzungen des Zweiradbenutzers verursachen. Somit können durch optimale Gestaltung am Pkw ca. 25% der Verletzungen vermieden und/oder gemindert werden.

Durch die Front des Pkw, insbesondere der Stoßstange und Haubenvorderkante werden überwiegend Verletzungen der Unterschenkel und Knie verursacht. Die stoßenden Kräfte werden direkt

auf diesen Bereich durch in der Regel harte, nur wenig nachgebende Blechstrukturen übertragen. Stoß- und energieabsorbierende Elemente an diesen Fahrzeugregionen erscheinen hinsichtlich der Verletzungsprophylaxe sehr sinnvoll, u.a.:

- mit breiter und dicker Gummiauflage belegte Stoßstange, möglichst in Fußrastenhöhe des Zweirades
- abgerundete breitflächige Fahrzeugkanten zur Verteilung und Minderung der auf den Körper übertragenen Stoßkräfte
- besondere Energieabsorptionszonen durch spezielle Anpralldämpfer (u.a. Kunststoffschäum). Diese eignen sich besonders für erforderliche Maßnahmen im mittleren Fronthaubenbereich. Dort treten neben Verletzungen der oberen und unteren Extremitäten häufig zusätzlich Verletzungen im Thorax- und insbesondere bei Mofa/Mokickfahrern im Kopfbereich auf.

Die Windschutzscheibenregion ist häufig für Verletzungen des Kopfes verantwortlich. Während hier bei einem Anprall gegen den Glasverbund nur eine gegenüber hartem Einscheibensicherheitsglas elastischere Verbundglaswindschutzscheibe Verbesserung verspricht, sollten zusätzlich die seitlichen A-Pfosten sowie die obere Dachkante abgerundet und energieabsorbierend ausgebildet sein. Ferner muß der Übergang von Fronthaube zur Windschutzscheibe breitflächig und ohne Kantenstrukturen versehen sein (u.a. versenkte Scheibenwischer). Seitliche verletzungsgefährdende Fahrzeugregionen sind Dachkante, Türstrukturen einschließlich der oberen A-, B-, C- und ggf. D-Pfosten sowie die oberen Kotflügelbereiche vorn und hinten. Auch diese sollten abgerundet und nachgiebig gestaltet sein. Das Einbringen von speziellen Anpralldämpfern an diesen Stellen erscheint grundsätzlich möglich.

5.2 Maßnahmen am Lkw

Der Zweiradfahrer verunfallt mit der Front eines Lastkraftwagens in der Regel durch Anprall seines gesamten Körpers mit der gesamten Frontfläche des Nutzfahrzeuges. Multiple Verletzungen am gesamten Körper sind die Folge. Nicht nur durch das zwischen beiden Kollisionspartnern ungünstig hohe Massenverhältnis und die wenig nachgiebige Front des Lkw, sondern auch durch das unterschiedliche und stark divergierende Höhenverhältnis von Zweiradvorderrad und Lkw-Stoßstange gelingt es

oftmals nicht, die umsetzende Energie durch Anprall und Deformation der Zweiradfront zu verringern. Gleiches gilt auch für den oft mit schwersten Folgen verbundenen Anprall eines Zweirades mit der Seite eines Lastkraftwagens. Verletzungsgefährdend kommt beim Lkw hinzu, daß Aufbauten oftmals kantig ausgebildete Rahmenträger als äußere Begrenzung besitzen (u.a. Müllfahrzeuge, landwirtschaftliche Fahrzeuge). Nicht zuletzt bildet der Seitenbereich durch die relativ ungeschützten Teile zwischen Vorder- und Hinterachse eine weitere Gefährdung für Überrollverletzungen.

Sinnvolle Maßnahmen dürften sein:

- Front-, Seiten- und Heck-Unterfahrschutz
- energieabsorbierende Frontflächen (z.B. durch spezielle Anpralldämpfer)
- abgerundete breitflächige Fahrzeugkanten zur Verteilung und Minderung der auf den Körper übertragenen Stoßkräfte
- mit breiter, dicker Gummiauflage belegte Stoßstange, möglichst in Fußrastenhöhe des Zweirades

Durch gezielte Maßnahmen am Lkw könnten allerdings lediglich ca. 7% der derzeit bei motorisierten Zweiradbenutzern registrierten Verletzungen vermieden bzw. gemindert werden.

5.3 Maßnahmen an der Unfallörtlichkeit

Schutzmaßnahmen an der Umwelt sind nur vereinzelt möglich, wie Ummantelung von Pfosten, Leitplanken oder ähnlichem. Aufgrund der nahezu unendlichen Anzahl der damit so auszurichtenden Teile und der andererseits eher geringen Verletzungsgefährdung durch diese Teile (5,4%) erscheinen Maßnahmen hier wenig erfolgversprechend. Vielmehr muß der Schutz gegen Verletzungen durch Teile der Unfallörtlichkeit am Zweiradfahrer selbst angebracht werden. Bestärkt wird diese Forderung dadurch, daß der überwiegende Teil der Verletzungen durch Abroll- bzw. Abgleitbewegungen des Körpers auf der Straßenoberfläche entstehen. Diese in der Regel als leicht einzustufenden Weichteilverletzungen können gezielt durch Lederkleidung und Helm verhindert werden. Immerhin könnten so ca. 40% der Verletzungen vermieden bzw. gemindert werden.

5.4 Maßnahmen am eigenen Zweirad

Als häufig verletzungsverursachend zeichnete sich der Lenker des Zweirades ab. Zu Verletzungen kommt es dabei meist in der Phase des sich Lösens vom Zweirad, bei der der Benutzer sich relativ nach vorn bewegt. Es kommt zu Verletzungen der Unterarme, und zwar durch Abstützen am Lenker (Frakturen im Unterarm-, Handgelenk- und Mittelhandbereich) sowie zu Verletzungen im Oberschenkel- (Frakturen) und Kniebereich (Weichteilverletzungen) durch direkten Anprall am Lenker. Auch Teile der sich oftmals an den Lenker anschließenden Schutzverkleidungen werden zum Teil als verletzungsverursachend erkannt, insbesondere dann, wenn splitterndes Kunststoffmaterial verwendet wird.

Durch gepolsterte Lenker oder zusätzlich angebrachte den Lenker umschließende Anpralldämpfer erscheinen diese Verletzungen vermeidbar bzw. minderbar. Grundsätzlich sollten am Zweirad alle hervorstehenden kantigen und harten Teile vermieden werden, um einen passiven Unfallschutz von Seiten des Zweirades zu garantieren.

6. Vorschläge eines passiven Unfallschutzes

Zusammenfassend stehen Maßnahmen am Pkw sowie die Verbesserung des Eigenschutzes durch Tragen von Schutzhelm und Schutzkleidung im Vordergrund. Insbesondere die Verbesserung von Helm und Kleidung sollte forciert werden, da durch Optimierung des am Körper äußerlich aufzubringenden Schutzes Maßnahmen am Kollisionspartner, am eigenen Zweirad oder an der Umwelt bzw. Unfallörtlichkeit noch effektiver werden oder gar an Stelle dieser vorgenommen werden können.

Aus Sicht der Autoren reichen bisher konzipierte und auf dem Markt erhältliche Schutzkleidungen dabei nicht aus.

Dies deshalb, da die derzeit verwendete Lederkleidung ausschließlich gegen Weichteilverletzungen schützt. Der Entstehung von Frakturen muß mit speziellen Anpralldämpfern begegnet werden. Hierzu sollten Protektoren an besonders gefährdeten Körperstellen eingebracht werden, damit die resultierenden Stoßkräfte durch großflächige Übertragung auf den Körper nicht die biomechanischen Belastungsgrenzwerte überschrei-

ten und sich so eine Verletzungsminde rung einstellt. Eine Basis für die Entwicklung einer derartigen Schutzkleidung wurde mit dieser Studie geschaffen (Bild 5), die auch bereits Eingang in ein spezielles Forschungs- und Entwicklungsprojekt (im Auftrag der Fa. Difi Dierk Filmer Varel als Innovationsforschung des Landes Niedersachsen) einer Vollschutzkombi fand [(Friebe, 1986 (18))].

Die Schutzwirkung heutiger, nach aktueller ECE-Norm geprüfter Helme [ECE- 22/2, (19) 1985] kann als durchaus zufriedenstellend gewertet werden. Integralhelme sollten allerdings ausschließlich genutzt und auch im Stirn- und Kinnbereich beim Aufschlag auf flache, insbesondere aber kantige Amboßformen geprüft werden, da diese Körperregionen den häufigsten Anprallort darstellen. Dieser Schutzmöglichkeit bedürfen alle Arten von Zweiradbenutzern - Mofa- wie Motorradfahrer!

Dennoch darf abschließend nicht übersehen werden, daß die Summe der Einzelmaßnahmen den Schutzgewinn für den Zweiradfahrer bringen wird. Somit müssen auch Maßnahmen des Partnerschutzes an Pkw und Lkw auf die Liste der zu fordernden Maßnahmen gesetzt werden. Appel schätzt die Wirksamkeit des Partnerschutzes an Pkw und Lkw auf nahezu 30% Verletzungsminde rung [Appel, 1985 (20)]. Durch bessere Formgebungs- und Nachgiebigkeitsgestaltung kann der Partnerschutz noch weiter ausgebaut werden. Zwar sind heutige Pkw u.a. wegen aerodynamischer Aspekte bereits mit abgerundeten Fahrzeugkanten ausgerüstet, doch bedarf es zum Schutze des Motorradfahrers noch weiterer Anstoß-/Energieabsorptionszonen. Insbesondere bedarf die äußerliche Gestaltung des Lkw weiterer Sicherheitsmaßnahmen, wie u.a. tief heruntergezogene Stoßfänger vorn, Entschärfung und Glättung der Front- und Seitenkontur.

Literatur

- (1) Statistisches Bundesamt Wiesbaden. Straßenverkehrsunfälle 1983, Fachserie 8, Reihe 3.3. Verlag Kohlhammer, Mainz 1983 und persönliche Mitteilung Statistisches Bundesamt Wiesbaden, 1985.
- (2) Otte, D.; Schlichting, K.D., Aktualisierte Fahrleistungen von Motorrädern. Zeitschrift f. Verkehrssicherheit 29, 4 - 171, 1983.
- (3) Otte, D.; Schlichting, K.D., Fortschreibung aktualisierter Fahrleistungen von Motorrädern. Zeitschrift f. Verkehrssicherheit 32, 1 - 30, 1986.
- (4) J Essl, P.; Rüter, G., Analyse des Entwicklungsstandes des passiven Unfallschutzes für motorisierte Zweiradfahrer. Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Köln 1978.
- (5) Beier, G.; Schuller, E.; Spann, W., Vor- und nachteilige Wirkungen passiver Schutzrichtungen für motorisierte Zweiradfahrer. Forschungsbericht 7806/3, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch-Gladbach 1985.
- (6) Schüler, F.; Mattern, R.; Helbing, M., Wirksamkeit von Elementen des passiven Unfallschutzes. Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Bd. 3, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch-Gladbach 1985.
- (7) Hurt, H.H.; Quillet, J.V., Analysis of Accident involved Motorcycle safety Helmets. Proc. Conf. Americ. Ass. Automotive Med. 20, 187 - 198, 1976.
- (8) Hight, P.V.; Siegel, A.W.; Nahum, A.M., Injury mechanism and Motorcycle design. Proc. IRCOBI 3, 65 - 80, 1976.
- (9) Sporer, A., Experimentelle und mathematische Simulation von Motorrad-Kollisionen im Vergleich zum realen Unfallgeschehen. Dissertation TU München, 1982.
- (10) Schimmelpfennig, K.H., Diskussionsbeitrag zur passiven Sicherheit von Motorrädern. Kolloquium "Sicherheit bei motorisierten Zweirädern". Verlag TÜV Rheinland, 276 - 278, 1981.
- (11) Otte, D.; Kühnel, A.; Suren, E.G.; Weber, H.; Gotzen, L.; Schockenhoff, G.; Vu HAN, V., Erhebungen am Unfallort. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, Heft 37, 7 - 10, 1982.
- (12) Abbreviated Injury Scale - revision 80 American Association for Automotive Medicine States, J.D. et al. Morton Grove IL 60053, 1980.
- (13) Otte, D.; Suren, E.G., Auswertung von Zweiradunfällen. Forschungsbericht 7806/2. Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Bereich Unfallforschung, Bergisch-Gladbach 1985.
- (14) Börner, M., Motorisierte Zweiradunfälle - eine Statistik der Berufsgenossenschaftlichen Unfallklinik Frankfurt a. Main aus den Jahren 1977 - 1980, in: Der Motorradunfall - Beschreibung, Analyse, Prävention: Forschungshefte Zweiradsicherheit, Institut für Zweiradsicherheit, Nr. 3; Hrsg. Hubert Koch; Bochum 1986.
- (15) Otte, D.; Suren, E.G., Verletzungen und deren Langzeitfolgen bei verunfallten motorisierten Zweiradbenutzern. Der Motorradunfall - Beschreibung, Analyse, Prävention: Forschungshefte Zweiradsicherheit, Institut für Zweiradsicherheit, Nr. 3; Hrsg. Hubert Koch; Bochum 1986.
- (16) J Essl, P.; Otte, D., Biomechanische Wertung von Unfallschädigungen an Schutzhelmen motorisierter Zweiradbenutzer. Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, Heft 11, Reihe 102 - 306, 1984.
- (17) Otte, D.; Suren, E.G.; Appel, H., Leitplankenverletzungen bei motorisierten Zweiradbenutzern. Zeitschrift für Verkehrssicherheit 32, 2 - 80, 1986
- (18) Friebe, W., Forschungsprojekt Schutzkleidung. Vortrag 2. Bochumer Workshop zur Zweiradsicherheit, Februar 1986.
- (19) ECE 22/2, Economic Commission for Europe-United Nations. Uniform provisions concerning the approval of protective helmets for drivers and passengers of motorcycles, 1985.
- (20) Otte, D.; Suren, E.G., Der Fahrradunfall. Hefte zur Unfallheilkunde 171, Springer Verlag Heidelberg 1985.
- (21) Appel, H.; Middelhaue, V.; Otte, D., Der Beitrag anderer Kraftfahrzeuge zur passiven Sicherheit von Kraftfahrzeugen, 100 Jahre Motorrad, München, Oktober 1985.

**Gedanken zur Weiterentwicklung von
Motorradfahrer-Schutzkleidung**

Alois Weidele

1. Einleitung

Das Thema Schutzkleidung für Motorradfahrer ist im Grunde genommen so alt wie das Motorrad selbst und untrennbar mit diesem verbunden.

Anders als bei nahezu jedem anderen motorisierten Fahrzeug werden Fahrer und Beifahrer auf dem Motorrad nicht durch eine geschlossene Fahrgastzelle geschützt. Dem Bestreben, durch Ausbildung einer Karosserie, sprich Verkleidung, dem Fahrzeug zu einer entsprechenden Schutzfunktion zu verhelfen, sind naturgemäß Grenzen gesetzt.

Das Verständnis der Schutzwirkung der Bekleidung hat im Laufe der Motorradgeschichte eine gründliche Wandlung erfahren:

Während in der Anfangszeit generell und beim Gebrauchsmotorrad bis in die 50er und 60er Jahre von der Kleidung nur mehr oder weniger tauglicher Schutz vor den Unbilden der Witterung erwartet wurde (Bild 1), wurde die - eigentlich wesentlich wichtigere - Unfallschutzfunktion erst mit dem 1970 einsetzenden Boom und der damit einhergehenden andersartigen Benutzereinstellung salonfähig. Renn- und Sportfahrer allerdings hatten dies schon sehr viel früher erkannt und konsequent genutzt.

2. Eingrenzung des Begriffs "Schutzkleidung"

Global gesehen gehören zur Schutzkleidung alle Bekleidungs-elemente, die zum Schutz des Motorradfahrers beitragen (Bild 2). Jedoch wird heute der Schutzhelm aufgrund seiner besonderen Technik i.a. gesondert behandelt. Es erscheint allerdings vernünftig, Handschuhe und Stiefel als integrale Be-



Bild 1: Historischer Motorradanzug

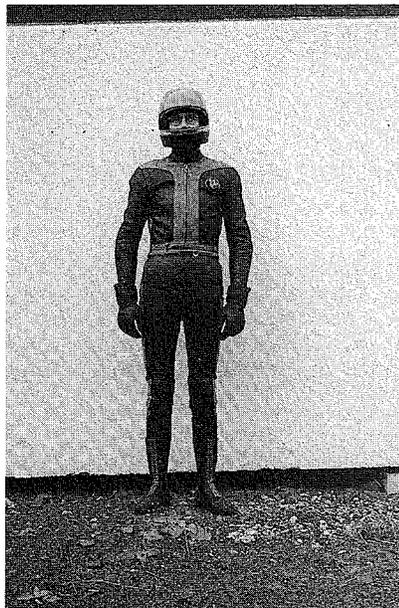


Bild 2: Motorradschutzkleidung

standteile der Schutzkleidung zu betrachten; hierauf wird an späterer Stelle noch eingegangen.

Während für den Schutzhelm heute umfassende Normen und Richtlinien für Herstellung, Prüfung und Benutzung existieren, sind vergleichbare Regelwerke für die übrige Schutzkleidung so gut wie nicht vorhanden, ja nicht einmal der Begriff "Schutzkleidung" ist eindeutig definiert.

Ein ähnliches Bild zeigt sich auf dem Gebiet der Forschung: Die fachübergreifende wissenschaftliche Durchdringung des Unfallablaufes und die sich daraus ergebenden Konsequenzen für die technische Weiterentwicklung sind beim Schutzhelm sehr viel weiter fortgeschritten als bei der Schutzkleidung.

3. Anforderungen an Schutzkleidung

Richtig entworfene Schutzkleidung leistet ihren Beitrag zur aktiven und zur passiven Sicherheit. Die wesentlichen Sicherheitskriterien seien hier kurz aufgelistet:

aktive Sicherheit:

- Auffälligkeit (Kontrast, Helligkeit, Reflexion, Fluoreszenz)
- Wetterschutz (Hitze, Kälte, Regen, Schmutz)
- Tragekomfort (Ermüdung, Wohlbefinden, Luftwiderstand)

passive Sicherheit

- Schutz vor großflächigen Abschürfungen
- Schutz vor offenen Frakturen und Weichteilverletzungen
- Schutz vor Schnitt- und Stichverletzungen (Penetration)
- Stoßdämpfung (Verminderung von Prellungen usw.)
- Schutz vor Verbrennungen (Reibungshitze)
- BauteilstEIFigkeit ("globale Hüllsteifigkeit")

Neben diesen primär zu fordernden Sicherheitseigenschaften spielen weitere Kriterien eine Rolle, so z.B.

- Pflegebedarf
- Lebensdauer, Haltbarkeit
- Reparaturmöglichkeit

- Akzeptanz (Modeaspekt)
- Gewicht
- Preis

Wie meist in der Technik divergieren oder widersprechen sich die Anforderungen zum Teil, und es gilt, den optimalen Kompromiß zu finden.

4. Prüfmethode

Die jahrzehntelang geübte Praxis der rein subjektiven Beurteilung der Qualität von Motorradfahrerschutzbekleidung ist natürlich nicht mehr akzeptabel, wenn es darum geht, Schutzkleidung oder einzelne ihrer Eigenschaften gezielt weiterzuentwickeln.

Im besonderen die unter der Rubrik "passive Sicherheit" aufgelisteten Kriterien sind für den Verletzungsschutz des Motorradfahrers von so ausschlaggebender Bedeutung, daß es zwingend erforderlich scheint, das bisher erreichte Sicherheitsniveau und - darauf aufbauend - mögliche Verbesserungen mit Hilfe geeigneter Prüfmethode und Prüfapparaturen zu untersuchen.

Es ist festzustellen, daß einerseits herkömmliche, für andere Einsatzbereiche entwickelte Testverfahren wegen ungeeigneter Versuchsparameter versagen und andererseits die Entwicklung geeigneter spezieller Materialtests weltweit noch in den Kinderschuhen steckt, erste ernstzunehmende Ansätze kamen aus dem sicherheitsbewußten Schweden.

Vom schwedischen Verkehrssicherheitsamt wurden vor kurzem normenähnliche Vorschriften für Typgutachten über Motorradfahrer-Schutzkleidung erstellt; brandneu ist die Nachricht, daß ein namhafter schwedischer Versicherer Motorradfahrern, die einen mit diesem Typgutachten ausgestatteten Schutzanzug tragen, Prämienrabatt gewährt (5).

Das Fachgebiet Fahrzeugtechnik der THD hat es sich im Rahmen seiner Motorradsicherheitsforschung zur Aufgabe gemacht, wissenschaftlich brauchbare Testzyklen zu entwickeln. Hierbei waren die Vorgaben vor allem

- möglichste Realitätsnähe der Versuchsparameter (Geschwindigkeitsprofil, Flächenpressung, Kontaktfläche, Temperatur usw.)
- Reproduzierbarkeit und statistische Absicherung
- Anwendbarkeit für alle Arten von Schutzkleidung (Leder, Textilien, Kunstfasern, Verbundmaterialien)
- überschaubare Kosten, die dem begrenzten Markt des Wirtschaftsproduktes "Schutzkleidung" adäquat sein sollten.

Aus einschlägigen Untersuchungen [Jensen, 1982 (1); Bühler, 1976 (2)] war bekannt, daß neben einigen anderen Verletzungsarten vor allem großflächige Abschürfungen mit den sie oft begleitenden Verbrennungen ein enormes Verletzungspotential darstellen. Es erschien daher sinnvoll, zunächst Testverfahren zur Bestimmung des Scheuerverhaltens und der Wärmeisolation von Schutzkleidung einzuführen. Das Bild 3 zeigt die Prüfmaschine zur Messung des Materialabriebs. Auf diesem Prüfstand werden seit 1980 zahlreiche verschiedene Materialien unter Variation wesentlicher Parameter getestet. Einige interessante Ergebnisse werden im folgenden noch dargestellt.

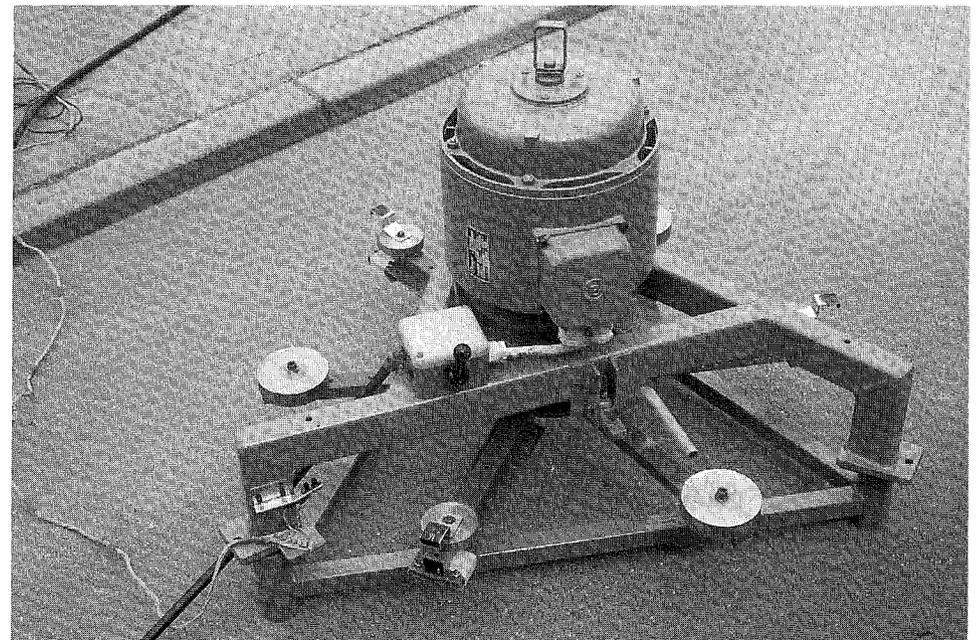


Bild 3: Prüfmaschine für Materialabrieb

5. Technischer Stand der Schutzkleidung

Neben einigen mehr oder minder - meist minder - tauglichen Alternativen bewährt sich bisher fast ausschließlich das Naturprodukt Leder als Ausgangsmaterial für Motorradfahrer-Schutzkleidung. In der Regel kommt Rindleder zur Anwendung, seltener Ziegen- und Schweinsleder, in einigen Fällen Känguruhleder.

Die Verwendung von Leder ergab sich nicht zufällig oder etwa aus modischen Gründen, sondern aufgrund einer Reihe vorteilhafter Eigenschaften:

- Das Abriebverhalten eines guten Leders ist bisher unübertroffen. Der Reibbeiwert Leder/Straße liegt im unfallmechanisch günstigen Bereich um $\mu = 0,9$.
- Die Bauteilsteifigkeit ist - gute Paßform und gekonnte Nahtführung vorausgesetzt - durch das feste und relativ unelastische Material grundsätzlich gegeben.
- Die physiologischen Eigenschaften (Hautverträglichkeit, Atmungsaktivität, Verträglichkeit bei Verletzungen usw.) sind, da es sich um ein Naturprodukt handelt, günstig.
- Bei gutem Design ist die Akzeptanz, nicht zuletzt aufgrund der Vorbildfunktion des Rennsports, problemlos.

Diesen positiven Merkmalen stehen allerdings auch Nachteile gegenüber:

- Auswahl des Rohmaterials und Qualität der Verarbeitung sind von der Erfahrung des Herstellers abhängig und können stark schwanken; es gehört know-how dazu, bestimmte Partien einer keineswegs gleichmäßigen Tierhaut beanspruchungsgemäß an einer Motorradkombi zu platzieren.
- Paßform und damit das Wohlbefinden des Benutzers bedürfen ebenfalls sehr der Treffsicherheit des Herstellers beim Zuschnitt.
- Es ist viel Pflegeaufwand erforderlich; falsche Behandlung kann zu einem rapiden Abfall der Werkstoffkennwerte führen.
- Leder ist nur wenig regentauglich, zusätzlicher Regenschutz ist erforderlich.

- Nicht zuletzt ist der Preis des Rohmaterials ständigen Schwankungen unterworfen. Aufgrund einer seit Jahren zu beobachtenden Tendenz zu sinkendem Fleischkonsum (Leder ist ein Abfallprodukt der Fleischproduktion) bei gleichzeitig steigender Nachfrage nach Leder (Kleidung, Möbel usw.) ist langfristig mit Verknappung und entsprechender Verteuerung zu rechnen.

Bei der hier beschriebenen Leder-Schutzkleidung stagniert praktisch seit Jahrzehnten die Entwicklung, wenn man einmal von Detailoptimierungen, wie verbessertem Nahtmaterial oder auffälligerer Farbgebung, absieht. Echte Innovation, wie z.B. die Technik zusätzlicher integrierter Protektoren, im Rennsport seit Jahren bewährt, findet nur sehr zögerlich Eingang in die Serie.

Materialseitig ist bei Leder eine Weiterentwicklung (z.B. hinsichtlich der Wasserdichtheit) naturgemäß nur sehr bedingt möglich.

Bisher entwickelte Alternativen konnten sich am Markt nicht durchsetzen, sie sind eigentlich ausnahmslos in ausschlaggebenden Kriterien, z.B. dem Scheuerverhalten, einem guten Leder unterlegen; dies wird an späterer Stelle noch mit Maß und Zahl belegt.

6. Neuentwicklung (Basis Aramidfaser)

Mehr Entwicklungspotential ist einer Neuentwicklung (Bild 4) zuzuschreiben, auf die hier näher eingegangen werden soll:

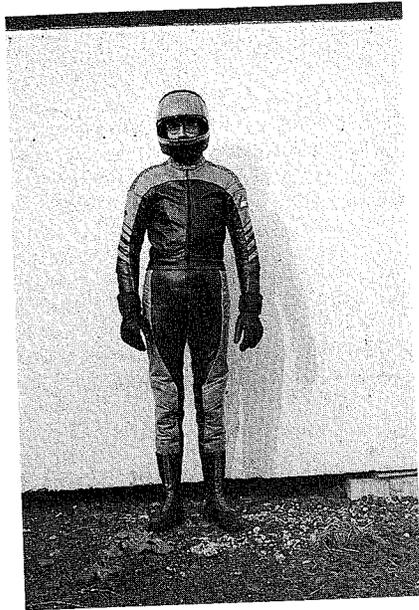


Bild 4: Neuentwickelter Schutzanzug

Das Ausgangsmaterial ist ein rein synthetischer Verbundwerkstoff,

- die Polyurethan-Deckschicht ist wasserdicht und liefert das Styling (Farbe, Oberflächenstruktur, Glanzgrad), sie hat nahezu keine Festigkeitseigenschaften,
- das tragende Aramidfaser-Polyamid-Mischgewebe steuert die Festigkeitseigenschaften bei (Abriebfestigkeit, Reißfestigkeit, E-modul)
- eine Zwischenschicht aus offenporigem Schaumstoff dient der Stoßdämpfung,
- das Viskose-/Polypropylen-Futter in grobmaschiger Frotteege-
wirkeausführung ist als Speicher zur Aufnahme der Körper-
feuchtigkeit vorgesehen.

Ein Schutzanzug, aus diesem Material hergestellt, kann mit einer Reihe positiver Eigenschaften aufwarten:

- Da der Werkstoff synthetisch hergestellt wird, können ge-
wünschte Eigenschaften gezielt entwickelt und optimiert
werden,

- Schwankungen der Materialkennwerte (bei Leder ein großes Problem) sind weitgehend ausgeschlossen,
- zusätzliche Protektoren oder andere Elemente, wie z.B. Heizdrähte, lassen sich elegant integrieren,
- das Material ist regendicht (nicht jedoch zwangsläufig das komplette Kleidungsstück, Nähte und Verschlüsse machen zusätzliche Abdichtung erforderlich),
- die Paßform ist infolge der im Vergleich zu Leder höheren Elastizität weniger problematisch, der Zuschnitt verkraftet größere Toleranzen,
- das Kleidungsstück ist pflegeleicht,
- die Ressourcen sind langfristig gesichert.

Wesentliche Nachteile sind derzeit noch:

- Atmungsaktivität ist nicht vorhanden, Körperfeuchtigkeit kann nur im Futter gespeichert werden,
- die physiologischen Eigenschaften sind ungünstiger als die von Leder, bei Erhitzung (durch Rutschen oder Auspuffberührung) kann schmelzendes Material in die Haut eindringen,
- die Resistenz gegen Lösungsmittel ist nicht a priori gegeben,
- die Akzeptanz erscheint problematisch ("Plastik-Image").

Ein solcher Prototyp-Schutzanzug wurde im Fahrbetrieb über eine Saison subjektiv hinsichtlich seiner Trageeigenschaften beurteilt, wichtige sicherheitsrelevante Materialdaten wurden experimentell bestimmt und mit den entsprechenden Daten anderer Schutzkleidungs-Werkstoffe verglichen.

7. Ergebnisse und Beurteilung

7.1 Meßergebnisse

Mit Hilfe der vorgestellten Prüfeinrichtungen wurden Scheuer-
verhalten und Temperaturisolation von

- verschiedenen Ledern
- Aramidfaser-Verbundmaterial
- Jeansstoffen und
- einer Reihe weiterer Materialien

untersucht.

Zusammen mit einigen weiteren Materialkennwerten ergibt sich (der Übersicht halber verkürzt) folgende Tabelle (Bild 5):

MATERIAL KENNWERT	RINDLEDER HOCHWERTIG	RINDLEDER MITTLERE QUALITÄT	ARAMIDFASER- VERBUND ENTW.-STUFE I	ARAMIDFASER- VERBUND ENTW.-STUFE II	JEANS, NEU, HOCHWERTIG	JEANS, GEBRAUCHT, MITTLERE QUALITÄT	PA-GEWEBE PVC- BESCHICHTET („KUNSTLEDER“)
DICHTE $\frac{\text{kg}}{\text{dm}^3}$	≈ 0,6	0,5 - 0,6	0,35	0,4	0,55	0,55	0,3
DICKE mm	10 - 15	10 - 15	≈ 2,0	≈ 2,0	0,9	0,8	≈ 1,0
* FLÄCHENGEW. $\frac{\text{N}}{\text{m}^2}$	6 - 9	5 - 9	7	8	5	4	3
E-MODUL $\frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$	≈ 8	≈ 8	4	4,5	17	9	20
* ABRIEBRATE %	10 - 15	15 - 20	20	18	15	> 60	> 60
TEMPERATUR- ANSTIEG K	60	60	20	20	35	30	25
REIBBEIWERT	0,9	0,9	0,9	0,9	0,7	0,8	0,8

DAS FLÄCHENGEWICHT U. DIE ABRIEBRATE BEZIEHEN SICH AUF OBERMATERIAL + GGF. UNTERBAU + FUTTER

Bild 5: Kennwerte von Schutzkleidungsmaterialien

Die Dichte liegt für Leder bei ca. 0,6 g/cm³
für Aramidfasergewebe bei 0,35
bzw. 0,4
für Jeans bei 0,55
für Kunstleder bei 0,3

Wie zu erwarten, können für das Naturprodukt Leder im Gegensatz zu den synthetischen Materialien nur ca.-Werte angegeben werden, dies setzt sich bei den weiteren Kennwerten fort:

Die Dicke erreicht bei Leder 1,0 ./ 1,5 mm
bei Aramidfasergewebe 2,0 mm
- hier erschwert die Nachgiebigkeit des Unterbaus die Messung der an sich konstanten Dicke -
bei Jeans neu 0,9 mm
bei Jeans gebraucht, offensichtlich schon etwas abgewetzt, 0,8 mm
bei Kunstleder 1,0 mm.

Das Flächengewicht ergibt sich nach Umrechnung aus Dichte und Dicke und kann hier zum Vergleich der Gewichte der fertigen Motorradkombi dienen.

Der E-modul als Maß für die elastische Dehnung des Materials bei Beanspruchung beträgt

für Leder ca. 8 N/mm²
für Aramidfasergewebe nur halb soviel, nämlich 4 bzw. 4,5, hier ist von Stufe I zu Stufe II eine Verbesserung eingetreten
für Jeans neu 17 und ist somit erstaunlich hoch
für Jeans gebraucht fällt der E-modul stark ab, hier auf 9
für Kunstleder aufgrund des relativ starren Unterbaus 20

Auf die nicht unwichtige Bedeutung des E-Moduls der Schutzkleidung wird später noch eingegangen.

Die Abriebrate, eine ausschlaggebende Kenngröße bei der Beurteilung des passiven Schutzes der Schutzkleidung, wurde im vorgestellten FZD-Verfahren gemessen bei einer Ausgangsgeschwindigkeit $v_0 = 106 \text{ km/h}$ und einer Flächenpressung von 1,875 N/cm². Die gewählte Flächenpressung ergibt sich durch Ausplanimetrieren der Kontaktfläche eines in Rückenlage rutschenden Fahrers mit 75 kg Masse. Die Fahrbahn ist Autobahn-Zementbeton.

Eine Abriebrate von zum Beispiel 10% sagt aus, daß bei einem Scheuerzyklus ein Gewichtsverlust von 10% erlitten wurde, bei homogenem Material ist dies identisch mit dem Dickenverlust. Abriebraten von über 50% weisen im Regelfall auf partielle bis totale Lochbildung hin.

Die Abriebrate für hochwertiges Rindleder liegt bei 10% (und weniger) (Bild 6) und steigt mit sinkender Lederqualität auf ca. 20 % an (Bild 7)

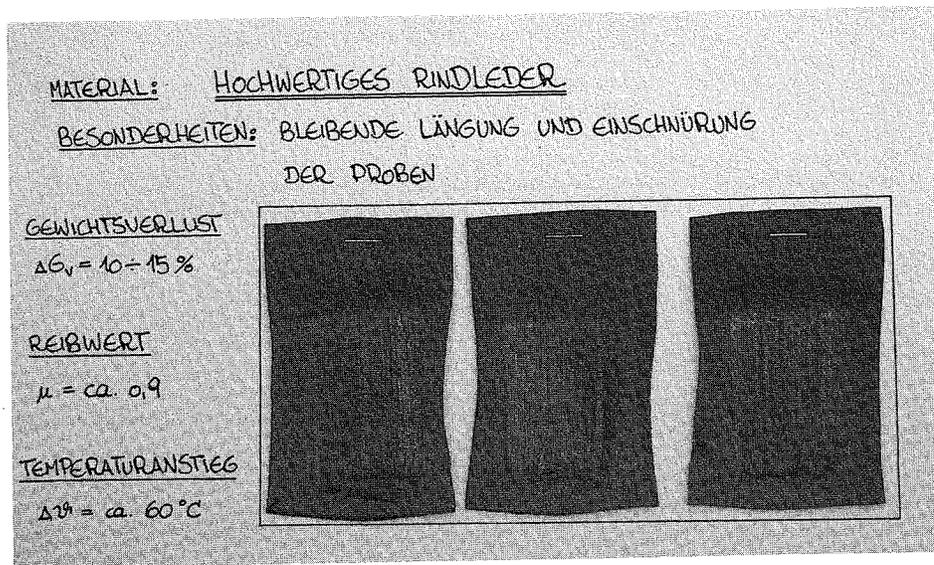


Bild 6

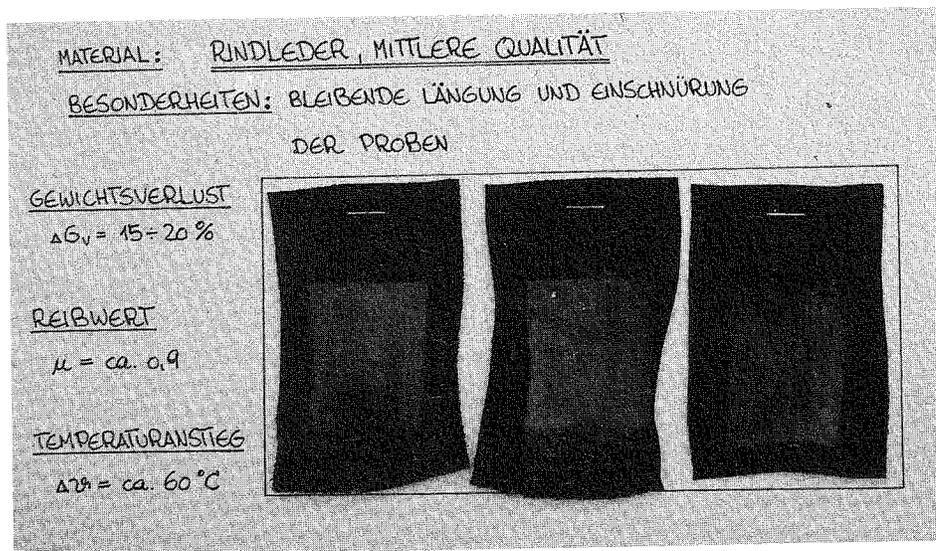


Bild 7:

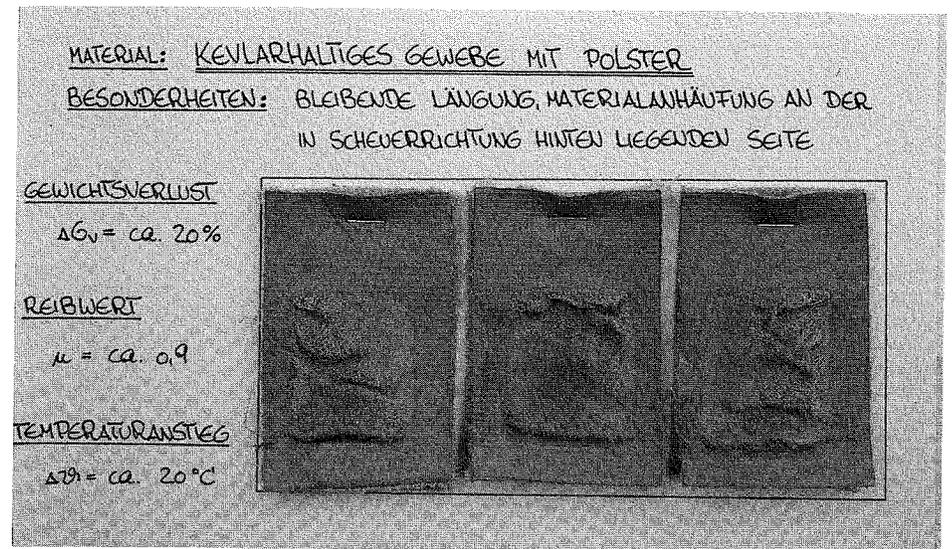


Bild 8:

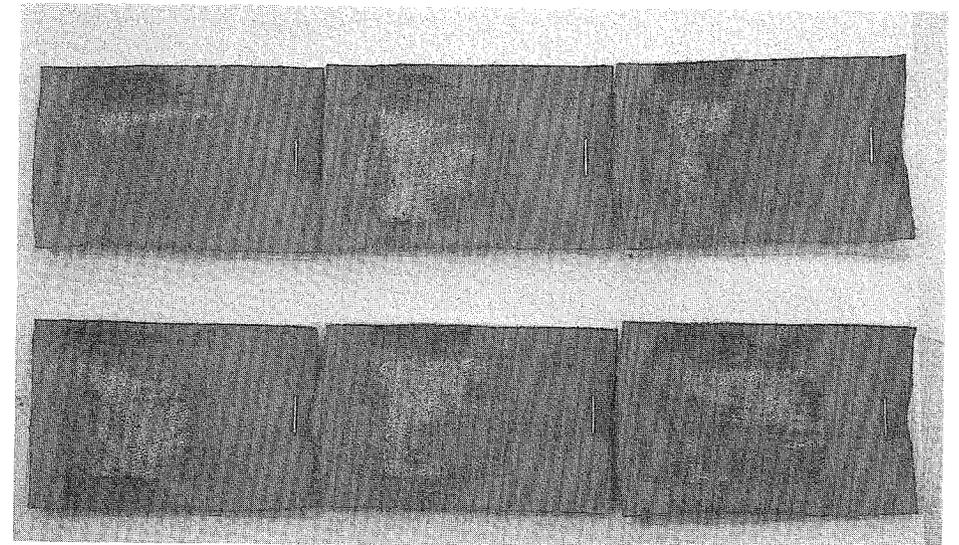


Bild 9:

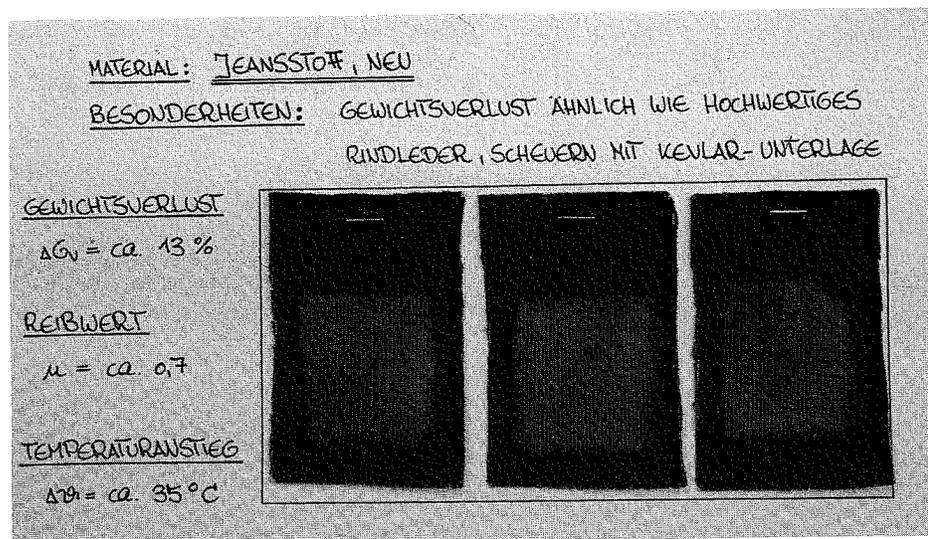


Bild 10:

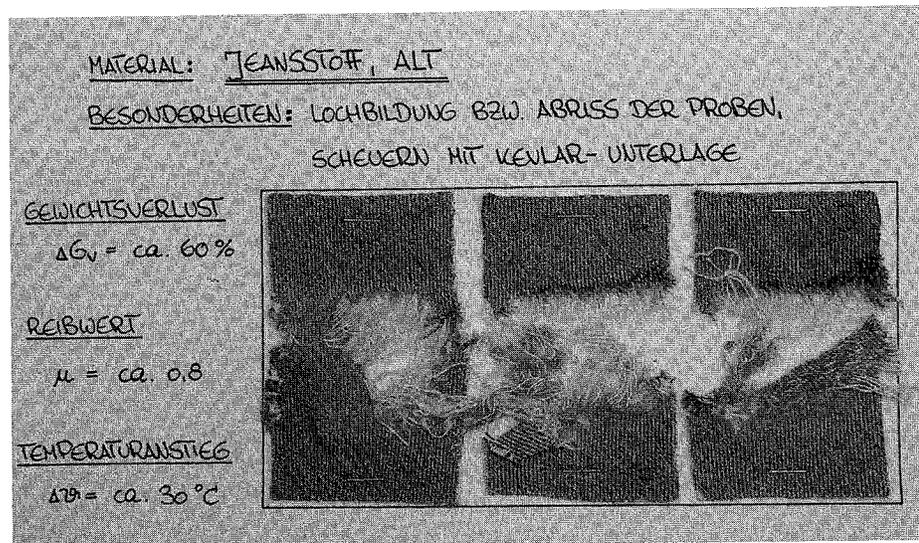


Bild 11:

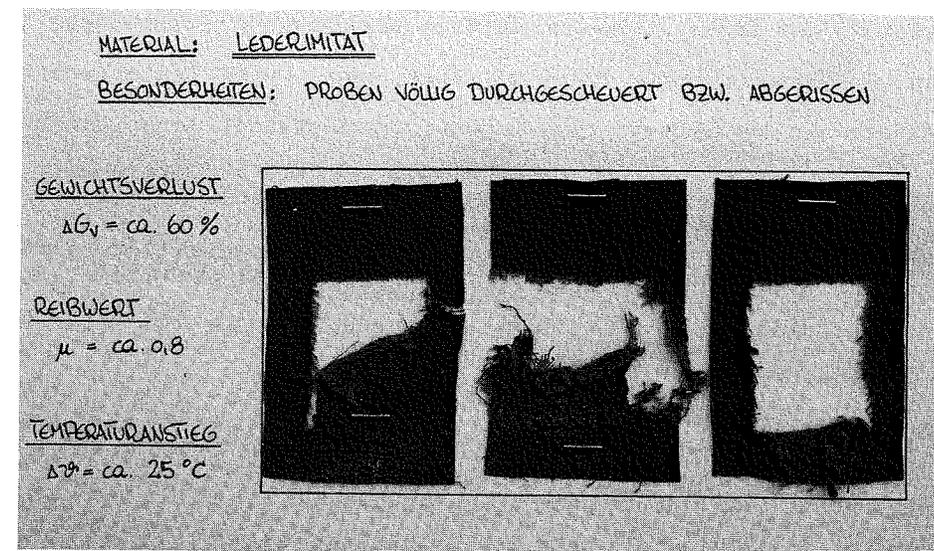


Bild 12:

der Aramidfaserverbund zeigt im Zuge der Weiterentwicklung eine Verbesserung von 20 auf 18 %, weitere Optimierung wäre durch einfache Erhöhung des Faseranteils zu realisieren (Bild 8 und Bild 9),

Jeans neu liegt mit 15 % sehr gut im Rennen, der Grund liegt in der deutlich zu beobachtenden Schmierwirkung der Oberflächenimprägnierung mit der Konsequenz eines ungünstig niedrigen Reibwerts (Bild 10), gebrauchte Jeans weisen mit unvermeidbaren 60 % weitgehende Lochbildung auf (Bild 11), ähnlich sieht es bei Kunstleder aus (Bild 12).

Der Temperaturanstieg wurde im ebenfalls schon angesprochenen Aufheizungsversuch ermittelt. Hier wird bei einer konstanten Geschwindigkeit von 100 km/h bei gleicher Flächenpressung die Materialprobe an einer Korundscheibe der Körnung P 60

bis auf eine Restdicke von 0,2 mm durchgescheuert und die dabei an der Probenrückseite auftretende Temperatur gemessen.

Ein abriebresistentes Material legt sehr lange Reibstrecken zurück und wird dabei naturgemäß sehr heiß. Die hier angegebenen Absolutwerte sind daher nur innerhalb einer Stoffgruppe ohne weiteres vergleichbar.

Zum Gesamtvergleich muß eine auf die erreichte Scheuerstrecke bezogene **Temperaturrate** errechnet werden. Trotz dieser Einschränkung zeichnen sich für das Aramidfasergewebe klare Vorteile ab, ein Resultat des mehrschichtigen Sandwichaufbaus.

Der **Reibbeiwert** ist eine durchaus relevante Größe, bestimmt er doch bei gegebener Ausgangsgeschwindigkeit den "Bremsweg" des gestürzten Fahrers.

Der Reibbeiwert der Schutzkleidung auf trockenem Asphalt sollte in jedem Fall zwischen 0,8 und 1,0 liegen, vergleichbar einer optimalen Motorrad-Vollbremsung.

Begründung: Das gestürzte Motorrad, dessen Reibwert je nach Außenkontur bei 0,5 ./. 0,7 liegt (6), soll vor dem Fahrer herrutschen, damit vermieden wird, daß der während des Rutschens auf ein Hindernis treffende Fahrer von der hinter ihm kommenden Maschine getroffen wird. Andererseits darf der Schutzkleidungs-Reibbeiwert nicht zu hoch sein, weil sonst das erwünschte quasistatische Rutschen in ein verletzungsträchtiges Rollen und Purzeln übergeht, die Grenze liegt hier bei $\mu \approx 1,0$.

Die Tabelle zeigt für Leder und Aramidfaser den Idealwert

von $\mu = 0,9$

für neue Jeans aufgrund der schon erwähnten Schmierwirkung einen zu niedrigen Reibwert von $\mu = 0,7$

für gebrauchte Jeans und Kunstleder den noch vertretbaren Wert von $\mu = 0,8$.

Anmerkung: Bei in Dickenrichtung inhomogenen Stoffen (dies trifft auf alle hier aufgeführten Schutzkleidungs-Materialien zu) ändert sich der Reibbeiwert mit zunehmendem Abrieb. Eine Reibwertmessung am unverschlissenen Material ist daher unzulässig. Die hier angegebenen Zahlen sind im Rutschsimulationsversuch gemessen und stellen einen Mittelwert über die gesamte während des Rutschvorganges erreichte Scheuertiefe dar.

Die wichtigsten Kenngrößen aus Bild 12 sind im Säulendiagramm dargestellt (Bild 13).

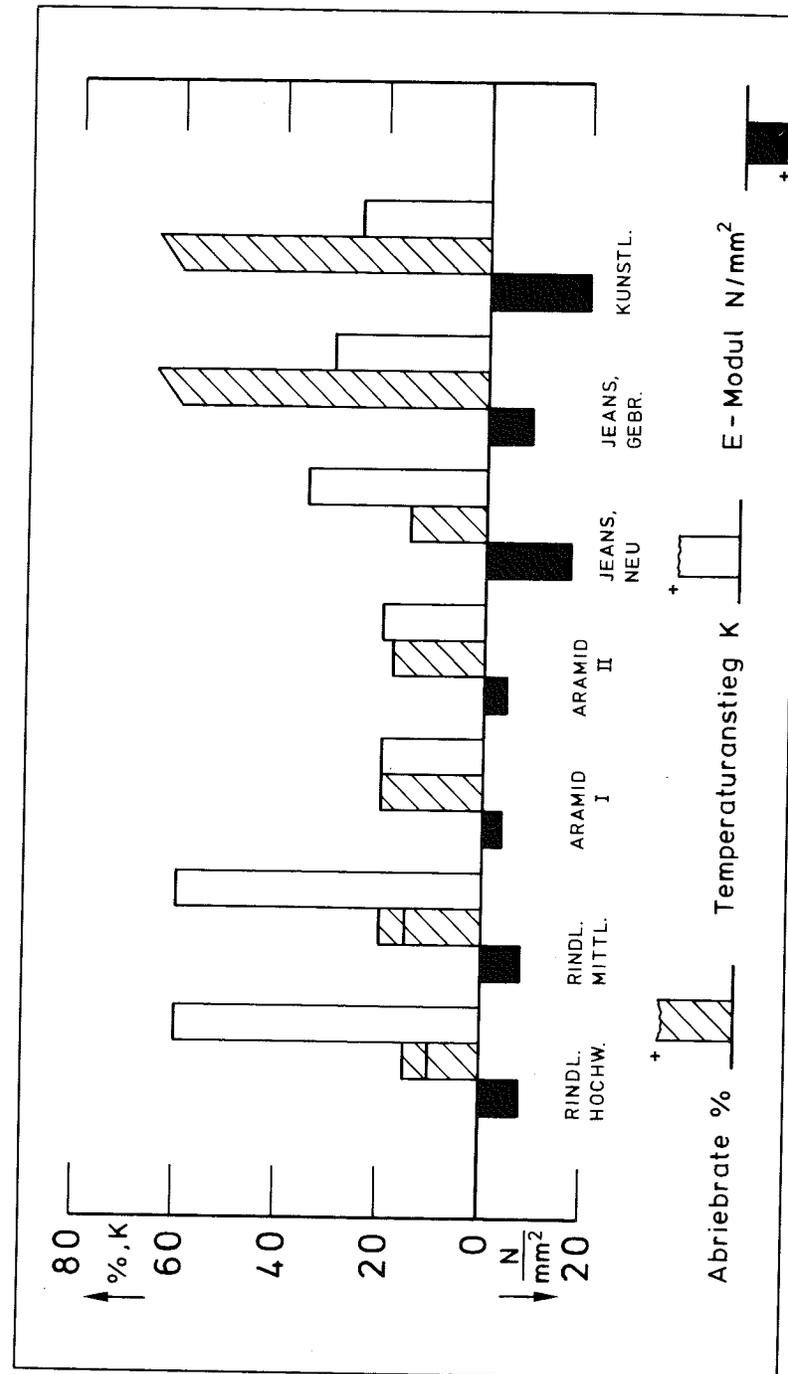


Bild 13: Kennwerte von Schutzkleidungsmaterialien

7.2 Beurteilung

Von Einsätzen bei Rennfahrern abgesehen wurde von zwei Fahrern je eine Prototyp-Kombi des Aramidfaser-Verbundmaterials eine Saison lang benutzt und anschließend subjektiv beurteilt.

Als Ergebnisse können im wesentlichen konstatiert werden:

- Wärmeisolation besser als bei Leder; dies macht sich bei Kälte angenehm bemerkbar, exakte Temperaturangaben sind wegen der subjektiven Empfindung nicht möglich;
- die wasserdichte Oberflächenbeschichtung verhindert den Abtransport der Körperfeuchtigkeit. Die durch Einbau eines Futters mit sehr großer Oberfläche beabsichtigte Speicherung von Körperfeuchtigkeit gelingt nur für kurze Zeit und bis zu mittleren Außentemperaturen, darüber stellt sich dann ein unangenehmer Sauna-Effekt ein. Hier versucht der Hersteller derzeit, den Zielkonflikt Wasserdichtigkeit bei gleichzeitiger Atmungsaktivität durch Modifikation der Oberflächenbeschichtung zu lösen;
- ein weiteres Kriterium des Tragekomforts, die Nachgiebigkeit, ist aufgrund des relativ niedrigen E-moduls als günstig zu bewerten. Die im Vergleich zu Leder höhere Elastizität verzeiht einerseits geringe Fehler beim Zuschnitt und behindert andererseits weniger die Körperbewegungen des Fahrers. Im Falle des Falles jedoch ist hohe Elastizität eher von Nachteil, hierauf wird im folgenden noch näher eingegangen;
- das mit Leder vergleichbare gute Scheuerverhalten konnte bei einem realen Sturz aus exakt 80 km/h bestätigt werden, die Verschleißschicht der Schutzkleidung war anschließend noch beinahe unversehrt. Die schon in der vorangegangenen visuellen Beurteilung bemängelte fehlende Stoßdämpfung allerdings zeichnete für Druckstellen an exponierten Körperstellen verantwortlich.

8. Entwicklungsmöglichkeiten

Spektakuläre Innovationen sind auf dem Felde der Motorradfahrer-Schutzkleidung auf absehbare Zeit nicht zu

erwarten. Technische Machbarkeit und Kosten lassen der Weiterentwicklung nur wenig Spielraum. Schon in der Vergangenheit ist mancher interessante, technisch realisierbare Ansatz an der Akzeptanzfrage gescheitert, [Danner, 1984 (4)] u.a. führen Beispiele an.

Dennoch ist das Entwicklungspotential keineswegs ausgeschöpft. Nachfolgend sollen realistische, zum Teil sogar kostenneutrale Verbesserungsmöglichkeiten bei Material, Verarbeitung und Anwendung angesprochen werden.

8.1 Material

Beim Material muß man die Möglichkeiten für das Naturprodukt Leder und die synthetischen Alternativen separat betrachten.

Bei Leder scheint das Machbare weitgehend ausgereizt: Das Rohmaterial ist nicht beeinflussbar, hier ist infolge ungünstiger Umwelteinflüsse und Verknappung zukünftig eher mit einer Verschlechterung zu rechnen, Verbesserungen erscheinen allenfalls durch neue Gerbverfahren und gezielten Einsatz von Zusatzstoffen denkbar. Es darf allerdings nicht übersehen werden, daß gutes Leder in wichtigen Kriterien wie z.B. dem Scheuerverhalten schon heute sehr gute Eigenschaften vorzuweisen hat.

Bei synthetischen Werkstoffen ist die Chance gegeben, durch geeignete Auswahl des Rohmaterials und der Fertigungsverfahren bestimmte gewünschte Kennwerte wie E-modul oder Reißfestigkeit zu "züchten"; die vorgestellte Aramidfaser liegt hinsichtlich E-modul und Zugfestigkeit in der Größenordnung von Stahl. Der in der Tabelle ausgewiesene sehr viel niedrigere E-Modul des kompletten Aramidfaser-Verbundmaterials (ca. 4 N/mm² gegenüber ca. 200.000 N/mm² von Stahl) ist eine Funktion des gewählten Web- oder Wirkverfahrens.

Es erscheint vorstellbar, den E-modul und damit die Dehnsteifigkeit des Materials in weiten Grenzen so zu variieren, daß an der fertigen Schutzkleidung Partien, die beim Unfall bevorzugt beansprucht werden (wie Unterarme oder Hüften) eher dehnsteif und andere Bereiche (vor allem die Gelenkstellen) sehr dehnweich ausgeführt werden. Auch

richtungsorientierte Elastizität stellt kein großes Problem dar.

Das Verschleißverhalten über dem Rutschweg (Bild 14) - bei realen Schutzkleidungs-Werkstoffen, wie man sieht, noch nicht optimal - könnte der Idealkurve angenähert werden. Anzustreben wäre eine möglichst konstante Abriebrate mit Lochbildung erst bei praktisch nicht mehr vorkommenden Rutschstreckenlängen.

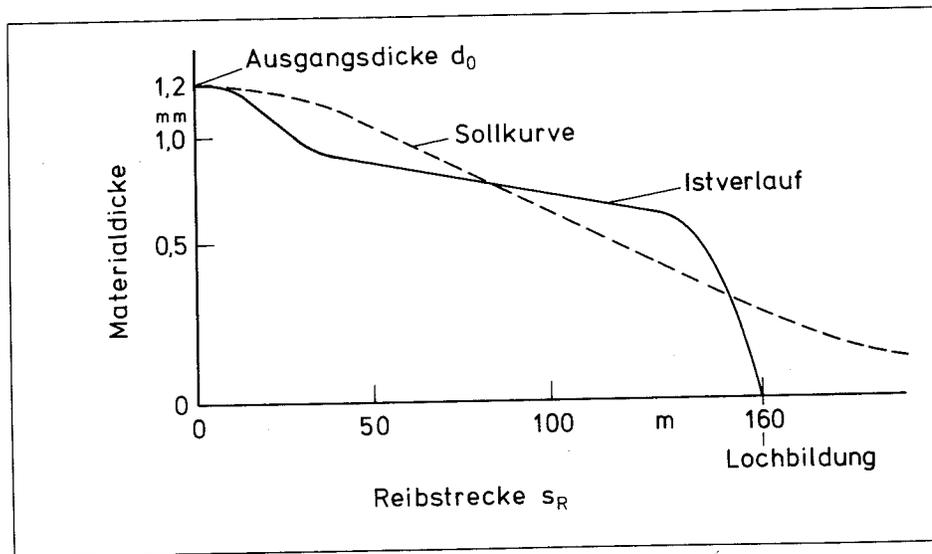


Bild 14: Materialverschleißkurve real (Leder, Aramid) und ideal

Reflektierende oder fluoreszierende Beschichtungen sind auf synthetischem Trägermaterial leicht realisierbar.

Auch für die an sich widersprüchliche Forderung nach **Wasserdichtigkeit** bei gleichzeitiger **Atmungsaktivität** erscheint eine Lösung durch Anwendung eines physikalischen Tricks möglich: Eine aus vielen kleinen einseitig nach außen öffnenden Membranen bestehende Schicht erlaubt Durchtritt der Körperfeuchtigkeit und verhindert das Eindringen von äußerer Nässe. In Analogie zur Elektronik könnte man eine solche Beschichtung als "Dampfdiode" bezeichnen. Erschwerend wirkt sich auf der Vorderseite der Schutzkleidung der Staudruck des auftretenden

Regens aus, er beträgt im Zentrum eines Regentropfens bei einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h immerhin schon 3,8 bar!

In den Unterbau können bereits bei der Materialherstellung **Heizfäden** eingearbeitet werden, die - gespeist aus dem Bordnetz - die Unterkühlung des Fahrers in der kälteren Jahreszeit verhindern und so einen Beitrag zur aktiven Sicherheit (Konzentrationsfähigkeit) und zur passiven Sicherheit (Körperelastizität) leisten.

Bei einem watteähnlichen Futter von 4 mm Dicke, 1,5 mm Schutzkleidung, einer Fahrgeschwindigkeit von 100 km/h und einer Außentemperatur von 0°C ergibt sich ein Leistungsbedarf von 120 W, wenn man eine Aufheizung der Kleidung auf 15°C für ausreichend erachtet [Stoffwerte aus Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 1984 (7)]. Selbstverständlich müßte die Heizung auf der Innenseite des Futters angebracht sein.

ENERGIEBEDARF FÜR BEHEIZTE SCHUTZKLEIDUNG

Annahmen:

- Fahrgeschwindigkeit 100 km/h
- Außentemperatur 0°C
- Dicke der Schutzbekleidung 1,5 mm
- Dicke des Unterbaues 4,0 mm

Wärmestrom:

$$\dot{Q} = k A \Delta T$$

$$\frac{1}{k} = \frac{1}{\alpha_i} + \left(\frac{s}{\lambda}\right)_{\text{Unterbau}} + \left(\frac{s}{\lambda}\right)_{\text{Schutzbekl.}} + \frac{1}{\alpha_a}$$

$$\alpha_a \approx 6,4 \cdot v^{0,75}$$

$$\rightarrow \underline{\underline{P_{\text{Bedarf}} = 120 \text{ W}}}$$

Bild 15: Energiebedarf für beheizte Schutzkleidung

8.2 Verarbeitung

Zusätzliche Schutzfunktionen können durch intelligente Weiterverarbeitung des Rohmaterials zur fertigen Schutzkleidung realisiert werden. An dieser Stelle soll nicht über triviale handwerkliche Dinge wie richtiges Nahtmaterial und Nahtführung oder etwa die optimale Reißverschlußausführung diskutiert werden, obwohl auf diesem Feld immer noch gesündigt wird.

Vielmehr sollen einige Möglichkeiten angerissen werden, die vor allem den passiven Schutz gezielt verbessern könnten.

Eine an sich bekannte Technik zur Reduzierung der örtlichen Flächenpressung stellen die **Protektoren** dar, die bisher fast ausschließlich im Gelände- und Straßenrennsport zum Einsatz kommen. Sie sind in der heutigen Ausführung allerdings auch einigermaßen unkomfortabel, da weitgehend starr und deswegen in die Schutzkleidung nur schwer integrierbar. Der Rennfahrer akzeptiert das für den Normalbenutzer kaum zumutbare Manko.

Verbesserung erscheint machbar durch eingeschränkte oder asymmetrische, der Körperergonomie angepaßte Beweglichkeit des Protektors oder durch Protektorwerkstoff, dessen Steifigkeit, d.h. dessen E-modul mit der Beanspruchungsgeschwindigkeit zunimmt. Entsprechende Materialien sind bekannt. Ein solcher Protektor könnte der normalen Körperbewegung folgen, während er bei Schlägeinwirkung weitgehend starr reagiert.

Die **Stoßdämpfung** an exponierten Körperstellen (Knie, Hüfte, Ellbogen, Schultern) wird heute noch in aller Regel durch offenporigen Schaumstoff bewerkstelligt, der durch frühzeitiges Materialsetzen schnell zur Wirkungslosigkeit verdammt ist.

Geschlossenporige Schäume mit hoher Dichte oder pastöse Massen, die die Stoßenergie zum großen Teil in innere unschädliche Materialreibung umwandeln, könnten - selbstverständlich integriert in den Unterbau der Schutzkleidung - die Situation verbessern.

Ein einfaches Zahlenbeispiel soll die Wirksamkeit der Stoßdämpfung veranschaulichen:
Bei einem harmlosen Sturz vom Motorrad aus einer angenommenen Fallhöhe von 0,8 m tritt an den Aufprallstellen des Fahrerkörpers, dessen Eigendämpfung hier einmal vernachlässigt sei, bei Einsatz einer ungepolsterten Lederkombi mit Unterwäsche eine Beschleunigung von 400 g auf (!); bei richtiger Anordnung von 20 mm dickem Stoßdämpfungsmaterial kann dieser Wert um den Faktor 10 auf relativ ungefährliche 40 g reduziert werden.

Das Zahlenbeispiel verweist aber auch den immer wieder aufkeimenden Gedanken, mit ausreichend dicker Polsterung könne Aufprallschutz bei den üblichen Kollisionsgeschwindigkeiten geboten werden, eindeutig in den Bereich frommen Wunschenkens.

Noch wenig genutzt erscheinen die Möglichkeiten, den passiven Schutz durch verbesserte **Formsteifigkeit** des Gesamtbauteils Schutzkombi anzuheben. Diese Bauteilsteifigkeit wird gelegentlich auch mit der Vokabel "globale Hüllsteifigkeit" umschrieben.

Formsteifigkeit ist dazu angetan, Frakturen - vor allem offene Frakturen-, Gelenkbrüche und Gliedmaßenabrisse zu reduzieren.

Dem Zielkonflikt zwischen Tragekomfort und dem durch erhöhte Formsteifigkeit gesteigerten passiven Schutz kann auf zweierlei Weise begegnet werden:

1. Durch großflächigen Einsatz der vorher angesprochenen schlagzähem Materialien, hier könnten allerdings die Herstellkosten ein Realisierungshemmnis bilden.
2. Durch richtungsorientierte Asymmetrie des E-moduls des eigentlichen Schutzkleidungs-Materials, dehnweich in Richtung der natürlichen Körperbewegungen und weitgehend dehnstarr in der diametralen Richtung.

Als letzter Punkt hinsichtlich der Verarbeitung sei die **Optimierung des Formschlusses** angesprochen:

Weit geschnittene Schutzkleidung trägt sich bequemer und erlaubt es, die Unterkleidung der Witterung anzupassen. Sie hat aber neben der bei höheren Geschwindigkeiten unangenehmen und unter Umständen sogar unfallträchtigen Flatterneigung den schwerwiegenden Nachteil, beim Sturz zu verrutschen, Grund:

Der Reibbeiwert zwischen Straße und Schutzkleidung liegt, wie schon dargestellt, bei $\mu = 0,8$./ 1,0, wohingegen zwischen Schutzkleidung und Körper des Fahrers je nach Art der Unterwäsche und Zustand der Hautoberfläche nur Werte um 0,5 erreicht werden; somit ist reibschlüssiger Sitz der Schutzkleidung nicht möglich!

Verrutschen der Schutzkleidung und damit Freilegen ganzer Körperpartien kann nur durch formschlüssigen, engen Sitz unterbunden werden.

Dies bedeutet, daß vor allem die Abschlüsse an Unterarm und Wade exakt passen müssen und daß die aus Komfortgründen zweiteilig auszuführende Kombi z.B. durch einen Rundum-Reißverschluss unbedingt zum Einteiler verbunden werden muß!

Im zweiten Entwicklungsschritt wären dann auch Stiefel und Handschuhe formschlüssig mit der Schutzkleidung zu verbinden, um das immer wieder zu beobachtende Abschleudern dieser Bekleidungsstücke zu verhindern.

Hinsichtlich einer Verbindung zwischen Schutzhelmen und Schutzkleidung gab es in der Vergangenheit schon interessante Lösungsansätze, die aber wohl bisher an der praktischen Realisierung gescheitert sind.

8.3 Anwendung

Die beste Innovation ist wertlos, wenn sie nicht Eingang in die tatsächliche Fertigung findet; ebenso wertlos sind technische Eigenschaften, die nur auf irgendeinem Papier stehen, ohne daß sie durch geeignete Material- und Bauteilprüfungen mit Maß und Zahl belegt sind.

Das, was beim Schutzhelm seit langem Stand der Technik ist, nämlich die Anwendung einheitlicher Prüfstandards, ist bei Schutzkleidung überfällig.

Es gilt

- die zu fordernden Schutzeigenschaften zu definieren,
- zu deren Überprüfung adäquate Testverfahren zu entwickeln (die vorgestellten Prüfeinrichtungen könnten ein erster Ansatz sein),
- diese Tests bei nachgewiesener Brauchbarkeit zu normen,

um auf diese Weise letztendlich ein Qualitätszertifikat für die komplette Schutzkleidung einführen zu können.

Dieses Prüfetikett wäre - ähnlich wie heute beim Schutzhelm - für den Hersteller werbewirksam, für die Versicherungen ein griffiges Argument bei der Prämiengestaltung und für den

Käufer, der bis dato ausschließlich auf subjektive Erfahrungswerte angewiesen ist, eine positive Entscheidungshilfe.

Letztendlich muß durch Aufklärungsarbeit das Bewußtsein der Motorradfahrer für die gesteigerte Sicherheitsfunktion der so verbesserten Schutzkleidung geschärft werden, damit zukünftig nicht mehr so häufig wie in der Vergangenheit der Fahrer im wörtlichen Sinne seine Haut zu Markte tragen muß.

Literatur

- (1) Jensen, J.J. und Weiss, M.J.H.: Der Zweiradunfall, eine Analyse von Unfällen motorisierter Zweiradfahrer im Rhein-Neckar-Kreis unter besonderer Berücksichtigung der verletzungsreduzierenden Wirkung von Schutzhelm und Schutzkleidung. Dissertation Heidelberg 1982.
- (2) Bühler, G.: Einfluß von Schutzmaßnahmen auf die Verletzungsfolgen bei motorisierten Zweiradfahrern, eine prospektive Studie 1972 - 1974. Dissertation Heidelberg 1976.
- (3) Bayer, B. und Breuer, B.: Untersuchungen zur Schutzwirkung von Motorradfahrerkleidung, in: Der Verkehrsunfall, März 1982, Heft 3.
- (4) Danner, M; Langwieder, K.; Polauke, J.; Sporner, A.: Schutzkleidung für motorisierte Zweiradfahrer, Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bericht zum Forschungsprojekt 7806/7, Dezember 1984.
- (5) N.N.: MOTORRAD, Heft 2, Januar 1986, S. 65/66.
- (6) N.N.: Second international congress on automotive safety motorcycle and recreational vehicle safety, paper 73051, San Francisco, 1973.
- (7) BOSCH, Kraftfahrtechnisches Taschenbuch, 19. Auflage, 1984.

Schutzwirkung eines besonders entwickelten Anzugs für Motorradfahrer

A. Nygren
u. a.

1. Zusammenfassung

Verletzungen führen bei Motorradfahrern häufiger als bei Auto-passagieren zu dauernder Invalidität (10% gegen 6%). Durch die Anwendung von Sturzhelmen hat die Gefahr von Kopfverletzungen abgenommen. Andere Verletzungen, die zu dauernder Invalidität führen, sind heute zumeist Verletzungen der Gliedmaßen (etwa 70%). Fast alle sind auf Gelenkbrüche zurückzuführen, wobei es sich üblicherweise um Kniegelenke, Ellenbogen, Schultern und Fußgelenke handelt.

Eine auf 200 Motorradunfällen basierende Untersuchung hat gezeigt, daß die herkömmliche Schutzkleidung keinen Einfluss auf die Häufigkeit von Brüchen an Kniegelenken, Ellenbogen und Schultern hat. Auf Grundlage der bei diesen Unfällen gesammelten Erfahrungen wurde ein neuer Motorrad-Schutzanzug entwickelt. Der Hauptzweck war, ein stoßdämpfendes Material zum Schutz der Kniegelenke, Ellenbogen und Schultern bei einem Unfall zu finden. Confor Foam, ein Urethanschaumstoff mittlerer Dichte wurde geprüft. Es stellte sich heraus, daß geeignete Eigenschaften vorlagen. Das Material wurde unter Versuchsbedingungen getestet. Es zeigte eine gewisse Empfindlichkeit gegen Feuchtigkeit und Temperaturwechsel und optimalen Stoßdämpfungseffekt bei +10° bis +30°. Untersuchungen zeigten die Bedeutung fortlaufender Überprüfung bei Leder, das für die Herstellung von Motorradanzügen verwendet wird. Die Schutzwirkung des Schutzanzugs wurde bei tatsächlichen Unfällen studiert, die sich im Laufe von zwei Jahren ereigneten. Eine vorläufige Studie zeigte eine signifikante Abnahme der Anzahl der Brüche.

2. Hintergrund

Das Motorradfahren gehört zu den gefährlichsten Methoden der Fortbewegung. Die Bemühungen um eine Einschränkung der Verletzungsgefahr müssen sich sowohl auf die aktive wie die passive Sicherheit einrichten. Bis vor kurzem konzentrierte man sich bei der passiven Sicherheit auf den Schutz des Kopfes und auf die Auslegung des Motorrades. Es hat sich jedoch gezeigt, daß die Lederbekleidung einigen Einfluß auf die Häufigkeit und den Umfang der Weichteilverletzungen bei Motorradfahrern hat. Feldkamp und Junghans (1) haben dargestellt, daß sich ernsthafte Verletzungen durch Schutzkleidung einschränken lassen.

Eine Verringerung der Weichteilverletzungen wurde durch Aldman et al. (2) und Engström (3) aufgezeigt.

Ein Motorradhelm besteht aus einer Schale und einer Innenschicht aus stoßdämpfendem Material, die verhindern soll, daß die bei einem Unfall entstehenden Kräfte zu einer Kopfverletzung führen (1). In gewissem Umfang ist der ganze Motorradanzug ähnlich ausgelegt. Er besteht aus einer Schutzhülle aus Leder und einem stoßdämpfenden Material an den besonders verletzungsgefährdeten Stellen des Körpers, z.B. Kniegelenken, Ellenbogen und Schultern (2). Um trotzdem bequem zu sein und die notwendige Bewegungsfreiheit zu gewähren, muß der Anzug natürlich besondere Eigenschaften aufweisen. Dies trifft vor allem das stoßdämpfende Material an den Gelenken. Das Leder muß sowohl geschmeidig wie auch kräftig sein.

Die Versicherungsgesellschaft Folksam hat zusammen mit dem Institut für Verkehrssicherheit der Technischen Universität Chalmers einen Anzug entwickelt, der auf den Erfahrungen mit tatsächlichen Unfällen basiert. Wir stellen diesen Anzug in dieser Studie vor, die folgende Teile umfaßt:

- I. Auswertung der Eigenschaften des Leders und des stoßdämpfenden Materials
- II. Auswertung der Wirkung des entwickelten Anzugs auf Körperverletzungen

3. Auswertung der Eigenschaften des Leders und des stoßdämpfenden Materials

3.1 Zielsetzung

Die Studie bezweckt eine Auswertung der folgenden Faktoren

- Körperbewegungen bei einem Unfall
- grundsätzliche Unterschiede zwischen verschiedenen Lederarten und zwischen verschiedenen Proben der gleichen Lederart
- Einfluß der Temperatur auf das stoßdämpfende Material

- Einfluß der Feuchtigkeit auf das stoßdämpfende Material
- Stoßdämpfungseigenschaften bei verschiedenen Anzügen mit und ohne stoßdämpfendes Material.

3.2 Arbeitsmaterial und -verfahren

Die Bewegungen des Motorradfahrers bei einem Unfall konnten studiert werden, indem man sich Filme tatsächlicher Unfälle bei Motorradrennen anschaute.

Ziegenleder und Rindleder wurden unter Laborbedingungen überprüft, und zwar im Hinblick auf Verschleißfestigkeit, Reißfestigkeit und Stabilität.

Das stoßdämpfende Material, Confor Foam, ein Polyurethanschaumstoff, wurde unter wirklichen Verkehrsbedingungen bei verschiedenen Temperaturen und im Labor getestet. Die Temperatur wurde sowohl im Material wie auch an dessen Innen- und Außenflächen gemessen.

Die Stoßdämpfungseigenschaften wurden unter Laborbedingungen bei verschiedenen Temperaturen und unterschiedlicher Feuchtigkeit getestet.

3.3 Ergebnisse

Bei Einzelunfällen rutscht der Motorradfahrer auf der Straßendecke. Während dieses Rutschvorganges bleibt er normalerweise in der gleichen Stellung. Sobald er dann den Straßenrand erreicht, überschlägt er sich oder wird umgeworfen. Die senkrechte Fallhöhe ist normalerweise gering, aber die Geschwindigkeit bei der horizontalen Rutschbewegung kann sehr groß werden. Diese Art von Unfällen bewirkt keine gefährlichen Verletzungen, falls das Opfer nicht irgendwo anschlägt oder falls die Schutzkleidung nicht dabei in Stücke gerissen wird, was zu einer Infektion der Wunden führen kann.

Bei einem Aufprallunfall ist hingegen die Stoßwirkung auf den Körper sehr stark und kann zu Brüchen an ungeschützten Gliedmaßen führen. Um den Körper vor Verletzungen zu schützen, sollte Leder in Kombination mit Confor Foam verwendet werden.

3.4 Untersuchung des Leders

Ziegen- und Rindleder wurden im Hinblick auf Verschleiß- und Reißfestigkeit getestet. Lederstücke wurden an Modellen angebracht, die einen Ellenbogen oder eine Schulter vorstellten, d.h. einen spitzen und einen runden Teil des Körpers. Das Leder wurde dann einem rotierenden Modell einer Straßenoberfläche ausgesetzt. Die Dicke der verschiedenen Teststücke wurde gemessen (siehe Tab. 1), wobei im allgemeinen das Rindleder dünner als das Ziegenleder war.

Ledersorte	D i c k e					
	Mikrometer mit Spitze			Mikrometer mit Platte		
	C ₁ min.	C ₁ max.	C ₁ mittel	C ₂ min.	C ₂ max.	C ₂ mittel
Rindleder	0,75	1,05	0,91	1,10	1,50	1,35
Ziegenleder	0,85	1,15	0,98	1,10	1,50	1,39

Tab. 1: Dicke der verschiedenen Lederproben

Art d. Schadens	Resultat	Beschreibung d.Schadens
Schleifschäden	1	Oberflächenschaden, Oberflächenkratzer
	2	Oberflächenschaden, tiefe Kratzer
	3	Tiefe Kratzer, kleine Kratzlöcher
	4	Tiefe Kratzer, lange Kratzrisse
	5	Große Kratzlöcher
Reißschäden	0	Kein Schaden
	2	Umfangreicher Schaden

Tab. 2: Resultate bei verschiedenen Arten von Schleif- und Reißschäden an Lederproben

Tab. 2 zeigt die Resultate der Beschädigung des Leders. Tab. 3 zeigt die Summe der Resultate bei 12 Tests am Ellbogenmodell und 7 Tests am Schultermodell. Es zeigt sich, daß der Beständigkeitsunterschied zwischen Ziegen- und Rindleder in Bezug auf Schleifschäden und Reißschäden gering ist.

Die Verschleiß- und Reißfestigkeit verschiedener Lederproben wurde auch im Hinblick auf eine Durchdringung getestet. Das Testergebnis ist aus Abb. 1 ersichtlich. Je schlechter die Verschleiß- und Reißfestigkeit, desto größer sind die Durchmesser bei einer Durchlöcherung. Die Rindledersorte 1 hatte eine durchschnittliche Dicke von 0,64 mm, die Sorte II 0,90 mm und die Sorte IV 1,14 mm, gemessen mit einem Mikrometer. Entsprechende Werte, gemessen mit einem Mikrometer mit Platte waren 1,03, 1,36 und 1,60 mm. Das Ziegenleder hatte eine durchschnittliche Dicke von 0,98 mm, gemessen mit einem spitzen Mikrometer, und 1,37 mm, gemessen mit einem Mikrometer mit Platte.

Körperbereich	Ledersorte	Schleifschd.	Reißschd.
Ellenbogen (12)	Ziegenleder	26	4
	Rindleder	34	2
Schulter (17)	Ziegenleder	13	0
	Rindleder	15	2

Tab. 3: Schleif- und Reißschäden an verschiedenen Lederproben

Aus Abb. 1 ist ein geringerer Durchdringungswiderstand der Rindledersorte I und IV im Vergleich zu Sorte II und Ziegenleder ersichtlich. Dies bedeutet, daß es durchaus möglich ist, durch Anwendung eines Durchdringungstests zwischen guter und schlechter Qualität zu unterscheiden.

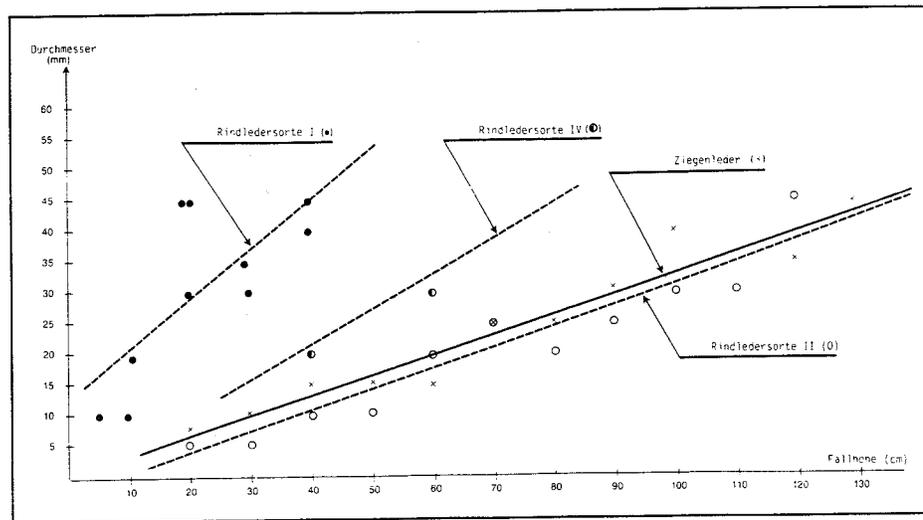


Bild 1: Ergebnisse der Durchdringungstests, summiert mit linearer Regression

3.5 Test des stoßdämpfenden Materials

Tab. 4 zeigt die Temperaturwerte für Confor Foam, und zwar im Material und an den Innen- und Außenflächen, gemessen unter realen Verkehrsbedingungen und bei verschiedenen Lufttemperaturen.

	Lufttemperatur			
	0°C		21°C	
	Stadtverk.	110km/h	Stadtverk.	110km/h
Außenfläche	9,4	5,4	24,3	22,6
Innentem. von Confor Foam	13,5	10,3	26,1	25,0
Innenfläche	21,1	17,7	28,6	28,3
mittlerer Wert	14,7	11,1	26,3	25,2

Tab. 4: Temperaturen im Inneren und an den Außen- und Innenflächen des stoßdämpfenden Materials, gemessen unter realen Verkehrsbedingungen

Die am stoßdämpfenden Material gemessene mittlere Temperatur variiert zwischen +11,1°C und +26,3°C bei Testbedingungen und einer Lufttemperatur von 0°C und +21°C im Stadtverkehr und bei Geschwindigkeiten von 110 km/h.

Es zeigt sich, daß das stoßdämpfende Material seine stoßdämpfenden Eigenschaften bei Temperaturen zwischen +10°C und +30°C beibehalten dürfte.

Abb. 2 zeigt die Stoßdämpfungseigenschaften für Confor Foam bei verschiedenen Temperaturen im Material. Eine Confor-Foam-Platte (15 mm) wurde Fallgewichten von 5 kg bei einer Einschlagfläche von 177 cm² ausgesetzt. Es zeigt sich, daß Confor Foam gute stoßdämpfende Eigenschaften zwischen +20°C und +30°C

hat, d.h. bei Temperaturen, bei denen ein Motorrad normalerweise gefahren wird.

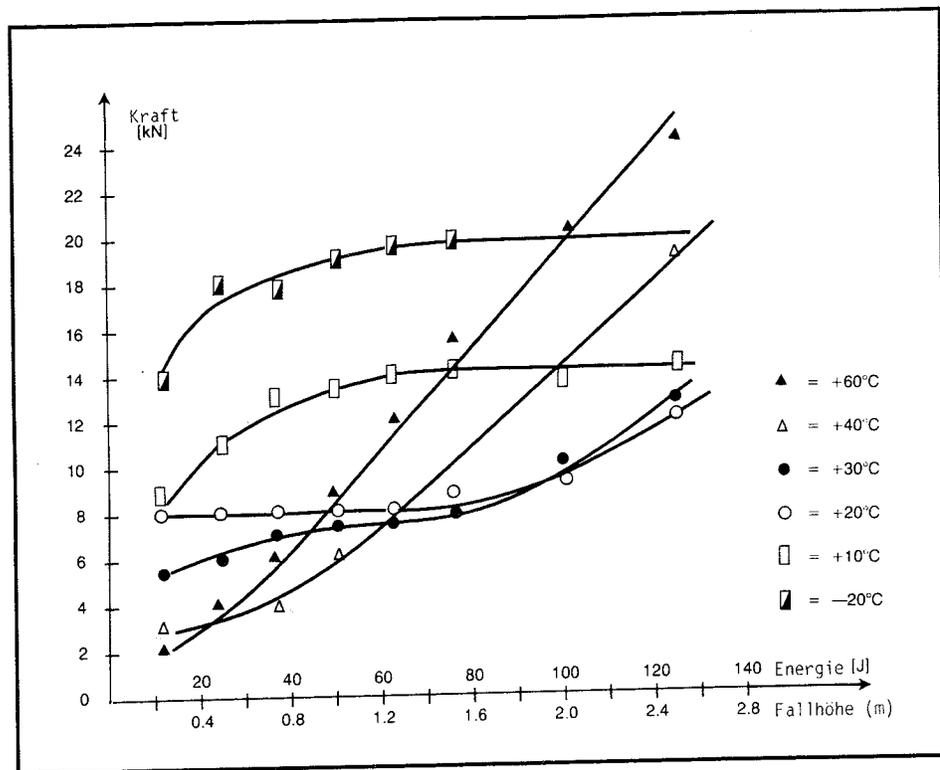


Abb. 2: Stoßdämpfungseigenschaften von Confor Foam bei verschiedenen Temperaturen

Abb. 3 zeigt die Stoßdämpfungseigenschaften bei verschiedenen Wasseranteilen. Confor Foam verliert die Stoßdämpfungseigenschaften bereits bei einer geringen Wasserkonzentration.

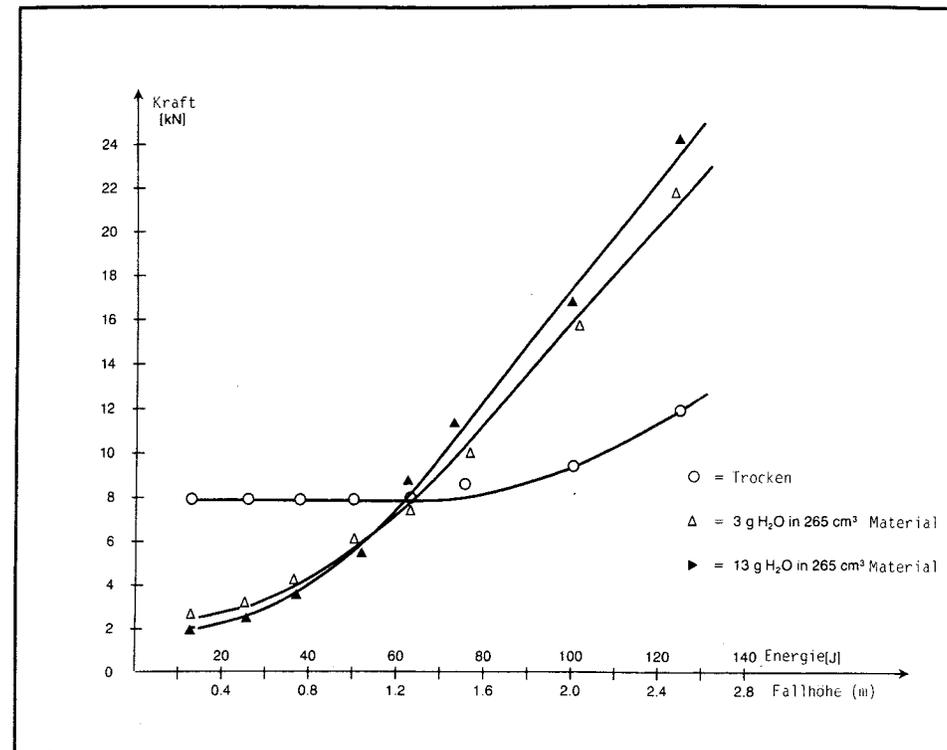


Abb. 3: Stoßdämpfungseigenschaften von Confor Foam bei verschiedenen Wasseranteilen

3.5 Test der Stoßdämpfungseigenschaften bei verschiedenen Motorradanzügen

Ein Anzug mit Confor Foam an den Kniegelenken, Ellenbogen und Schultern wurde mit einem Anzug ohne dieses stoßdämpfende Ma-

terial verglichen. Im Hinblick auf die Stoßdämpfung wurde der Kniebereich untersucht.

Die Kniebereiche der beiden Anzüge wurden zwei Fallgewichten von 5 kg mit unterschiedlicher Form ausgesetzt. Hierbei hatte eines eine kugelförmige Einschlagfläche mit einem Durchmesser von 45 mm und das andere eine flache Oberfläche mit einem Durchmesser von 40 mm. Die beiden Gewichte fielen aus unterschiedlicher Höhe. Die gegen die Unterlage auftretende Kraft wurde gemessen. Die Testtemperatur betrug 20°C und die relative Luftfeuchtigkeit 60%.

Abb. 4 zeigt die Kraftkennlinien bei einer flachen Einschlagfläche und Abb. 5 diejenigen bei einer kugelförmigen. Es ist ersichtlich, daß sich bei einem Anzug ohne stoßdämpfendes Material eine lineare Kraftkennlinie ergibt. Die Schutzwirkung ist also sehr niedrig ($< 5,0$ J) und konnte in dieser Studie nicht gemessen werden.

Der Anzug mit stoßdämpfendem Material andererseits konnte jedoch Energie absorbieren. Bei Energiewerten zwischen 10 J und 30 J sind die Kennlinien nicht linear, d.h. das stoßdämpfende Material absorbiert Energie, bis ein Grenzwert erreicht ist und die Beziehung zwischen Kraft und Energie dann linear wird.

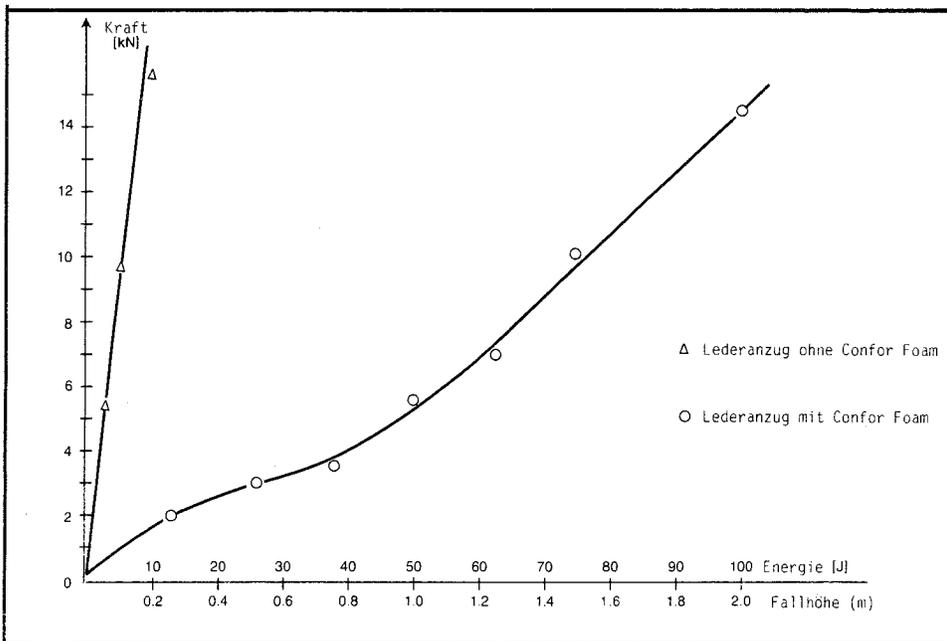


Abb. 4: Kraft als Funktion der Fallhöhe bei zwei verschiedenen Anzügen mit und ohne Confor Foam. Flache Einschlagfläche

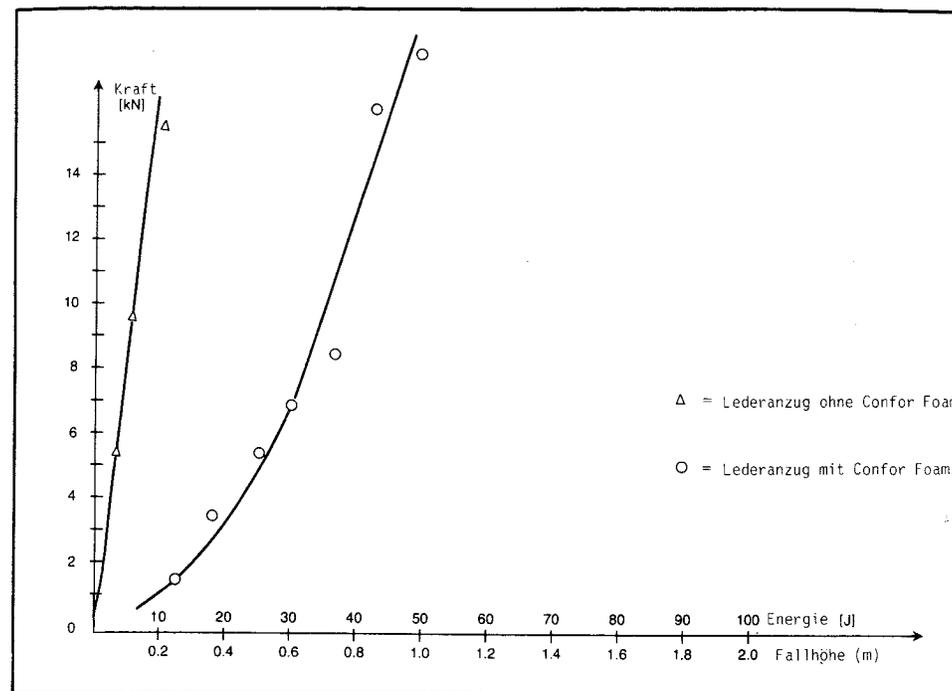


Abb. 5: Kraft als Funktion der Fallhöhe bei zwei verschiedenen Anzügen mit und ohne Confor Foam. Kugelförmige Einschlagfläche.

4. Auswertung der Wirkung des entwickelten Anzugs auf Körperverletzungen

4.1 Material und Verfahren

Verschiedene Studien wurden bei Versicherungsnehmern durchgeführt, die ein Motorrad bei der Folksam-Gruppe versichert haben (etwa 35.000).

- A. 1.001 Motorradfahrer, unabhängig davon, ob ein Unfall vorlag oder nicht.
- B. Motorradfahrer, die in den Jahren 1983 und 1984 verletzt wurden.
- C. Alle Motorradfahrer, die zwischen 1976 und 1982 invalidisiert (>10%) wurden.

Die Versicherungsberichte wurden durch Fragebögen ergänzt, die sich auf den Anzug der Motorradfahrer bezogen.

4.2 Ergebnisse

Tab. 5 zeigt, daß 10,3 % der verletzten Motorradfahrer um >10% invalidisiert wurden. Die entsprechende Ziffer für Autopassagiere ist 6,2%.

Straßenbenutzer	Relative Häufigkeit permanenter Invalidität >10%
Motorradfahrer	10,3%
Autopassagier	6,2%

Tab. 5: Relative Häufigkeit permanenter Invalidität >10% bei Motorradfahrern im Vergleich zu Autopassagieren

Tab. 6 zeigt Kontaktflächen bei Motorradfahrern, die in Unfälle verwickelt waren. Kontaktflächen sind hier Flächen, die mit verschiedenen Oberflächen während des Unfalls in Kontakt gekommen sind und vom Motorradfahrer als solche erkannt oder an der Kleidung nach dem Unfall erkannt werden konnten.

Körperbereich	Nicht von Leder bedeckt	Von Leder bedeckt	N
Kniegelenk, Ellenbogen, Schultern	77,9%	24,4%	203
Andere Körperbereiche	(4/17)	(5/21)	38

Tab. 6: Weichteilverletzungen pro Kontaktfläche, bezogen auf den Körperbereich und die Art der Schutzkleidung bei Motorradfahrern, die in Unfälle verwickelt wurden. Verletzte und nicht verletzte Fahrer einbezogen, aber nicht Kopfverletzungen

Aus Tab.6 ist ersichtlich, daß Weichteilverletzungen bei lederbekleideten Motorradfahrern weniger häufig sind als bei solchen mit anderer Kleidung (signifikant***). Es zeigt sich auch, daß die Kontaktflächen vor allem die Gelenke der Gliedmaßen sind, d.h. Kniegelenke, Ellenbogen und Schultern.

Tab. 7 zeigt, daß eine Infektion bei Weichteilverletzungen weniger häufig ist, falls der Körperbereich lederbedeckt war (signifikant ***).

Tab. 8 zeigt, daß 46% aller Verletzungen, die zu einer Invalidität geführt haben, an Schultern, Ellenbogen und Kniegelenken zu finden sind. Am häufigsten war das Kniegelenk betroffen (32%).

Der Confor-Foam-Anzug wurde 1983 eingeführt. 1983 und 1984 wurden etwa 12.000 Schutzanzüge in Schweden verkauft. Diese Schutzanzüge erfüllten bestimmte Vorschriften gemäß Spezifikationen von Folksam, basierend auf den bereits beschriebenen Versuchen.

Im Jahre 1984 wurde zweimal Untersuchungsmaterial eingesammelt, um die verletzungs-mindernde Wirkung des Schutzanzugs zu analysieren. Bei dem einen Untersuchungsmaterial handelte es sich um eine Studie über Motorradfahrer mit Schutzkleidung, unabhängig davon, ob diese in einen Unfall verwickelt waren oder nicht.

Art der Bekleidung	Infektion	Keine Infektion	Insgesamt
Lederbedeckt	4	34	38
Nicht lederbedeckt	28	29	57
Insgesamt	32	63	95

Tab. 7: Weichteilverletzungen mit und ohne Infektionen bei lederbedeckten und nicht lederbedeckten Körperbereichen

Körperbereich	Anzahl	Körperbereich	Anzahl
Schulter	7	Kopf (inkl. Gesicht)	10
Ellenbogen	5	Wirbel	6
Weichteile, Beine	1	Rückenmark, Nerven	4
Kniegelenk	30	Hände (inkl. Handgelenk)	12
		Eingeweide	1
		Becken	2
		Fussgelenk	14
Insgesamt	43		50

Tab. 8: Anzahl der zu einer Invalidität (>10%) führenden Verletzungen unter den während der Jahre 1976 - 1983 verletzten Motorradfahrern (93)

Tab. 9 zeigt einen Vergleich zwischen verschiedenen Bekleidungsarten - ausgenommen Schutzanzüge - und den Schutzanzügen. Die Kontaktflächen wurden wie in Verbindung mit Tabelle 5 beschrieben definiert. Es ist ersichtlich, daß ein großer Unterschied zwischen Schutzanzügen und anderen Bekleidungsarten besteht. Dieser Unterschied ist außerordentlich bedeutungsvoll (***) .

	Ohne Schutzanzug	Mit Schutzanzug
Kontaktanzahl	187	78
Anzahl der Brüche	35 (13,4%)	1 (1,3%)

Tab. 9: Anzahl der Kontakte zwischen Fahrer und Oberflächen bei einem Unfall im Hinblick auf durch den Schutzanzug bedeckte Bereiche (Kniegelenke, Ellenbogen, Schultern) und Anzahl der Brüche in diesen Bereichen

Das andere Untersuchungsmaterial betraf verletzte Motorradfahrer. Die Brüche wurden in zwei Gruppen eingeteilt: Brüche in Bereichen, die durch den Anzug mit stoßdämpfendem Material geschützt wurden und Brüche in anderen Bereichen (außer dem Kopf).

Körperbereich	Ohne Schutzanzug	Mit Schutzanzug
Kniegelenk, Ellenbogen, Schultern	26	2
Andere Bereiche	22	15
Insgesamt	48	17

Tab.10: Anzahl der Brüche bei verletzten Motorradfahrern in den vom Anzug geschützten Bereichen und anderen Bereichen bei Unfällen mit und ohne Schutzanzug

Tab. 10 zeigt, daß ein anderes Verhältnis zwischen geschützten und ungeschützten Bereichen bei Fahrern mit Schutzanzug im Vergleich zu solchen ohne Schutzanzug besteht. Die Streuungsdifferenz ist sehr wichtig (***) .

Aus Tab. 9 und Tab. 10 läßt sich errechnen, daß die Verletzungsminderung an Kniegelenken, Ellenbogen und Schultern mehr als 50% beträgt. Um eine Berechnung mit größerer Präzision durchführen zu können, muß umfangreicheres Material gesammelt werden, da dies zur Herstellung einer Beziehung zwischen den verschiedenen Verletzungen (beeinflusste bzw. nicht beeinflusste) erforderlich ist.

5. Diskussion

Es gibt weltweit eine immer größere Anzahl von Motorrädern und somit auch eine größere Anzahl von Unfallverletzungen und Verkehrstoten. Alle Bemühungen um eine Einschränkung dieses Trends müssen eingesetzt werden. Motorradhelme sind in vielen Ländern vorgeschrieben, wodurch Kopfverletzungen wesentlich eingeschränkt werden konnten. Bei einem Studium invalidisierender Verletzungen wird jedoch deutlich, daß es auch gilt, Brüche an oder in Gelenken zu verhindern.

Diese Studie hatte den Zweck einer Auswertung der Wirkung und Eigenschaften eines besonders entwickelten Schutzanzuges unter tatsächlichen Verkehrsbedingungen wie auch unter Laborbedingungen.

Im Hinblick auf die Bewegungsweise eines Motorradfahrers bei einem Unfall ist offensichtlich, daß der Körper von einer Schutzschicht aus widerstandsfähigem Material bedeckt sein sollte. Während des Rutschvorgangs bei einem Unfall besteht große Verletzungsgefahr und auch große Gefahr einer Infektion der Wunden.

Infizierte Wunden in der Nähe eines Bruches bedingen eine oft lange Behandlungsdauer und erhöhen die Gefahr langfristiger Unfallfolgen.

Leder wird als das beste Material betrachtet. Prime und Woods (1984, 5) haben gezeigt, daß Kunststoffmaterial keinen ausreichenden Schutz gewährt.

Bei welchem Kraftwert entstehen Brüche? Patric, Kroell und Mertz (6) haben nachgewiesen, daß eine Kraft von 6 kN den Grenzwert für Knieverletzungen darstellt.

Knieverletzungen entstehen bereits bei niedrigeren Werten. 5 KN wurde als Referenzwert für kleinere Kniescheibenverletzun-

gen angesetzt. Powell et al. (7) haben 80% Kniescheibenverletzungen und 33% Gelenkknochenbrüche bei einer Kraft von 10,5 kN nachgewiesen und FMVSS 208 1977 setzt eine Kraft von 10 kN als realistischen Grenzwert für die Gefahr eines Oberschenkelbruches an.

Confor Foam bietet einen Schutz gegen Brüche. Im Versuch wurde nachgewiesen, daß Confor Foam Energiemengen zwischen 10 J und 30 J absorbiert. Die Energieaufnahme bei einem Anzug mit Confor Foam war 14,1 X höher als bei einem Anzug ohne stoßdämpfendes Material, und zwar bei einer Kraft von 10 kN mit flacher Einschlagfläche. Der entsprechende Wert bei einer kugelförmigen Einschlagfläche betrug 6,5.

Die Prüfungen des Anzugs mit stoßdämpfendem Material weisen darauf hin, daß ein ausreichender Schutz vorliegt, und es ist anzunehmen, daß die Versuche geeignet sind, die Wirkung verschiedener Materialien und Anzüge zu testen.

5. Schlußfolgerungen

Die Untersuchungen der Versicherungsunterlagen haben zu folgenden Schlußfolgerungen Anlaß gegeben:

- Lederbekleidung verringert die Verletzungsgefahr um mindestens 50% bei einem Auftreffen des Körpers auf dem Boden oder auf anderen harten Objekten.
- Lederbekleidung verringert die Gefahr einer Infektion der Wunden um mindestens 50%.
- Stoßdämpfendes Material an Kniegelenken, Ellenbogen und Schultern verringert die Gefahr von Brüchen um mindestens 50%.
- Mindestens 50% aller invalidisierenden Verletzungen betrafen Kniegelenke, Ellenbogen und Schultern.

Folgende Schlußfolgerungen konnten anhand der Experimente gezogen werden:

- Die Qualität der Ledersorten variiert. Es ist wichtig, bei der Herstellung von Motorradanzügen ständige Prüfungen durchzuführen.

- Eine ganze Reihe verschiedener stoßdämpfender Materialien wird sich wahrscheinlich eignen.
- Confor Foam wurde getestet und praktisch erprobt und scheint sich zu eignen.
- Auch die Qualität von Confor Foam variiert und muß beim Hersteller vor der Anwendung getestet werden.
- Confor Foam ist feuchtigkeitsempfindlich und sollte daher vor Feuchtigkeit geschützt werden.
- Confor Foam ist auch temperaturempfindlich und zeigt optimale Stoßdämpfungseigenschaften bei +10°C - + 30°C. Dies ist die in der Motorradsaison übliche Temperatur in Schweden.

Literaturhinweise

- (1) G. Feldkamp, K. Junghans: The typical traffic accident in adolescents - some epidemiologic features and the effectiveness of safety helmets and clothing. Proceedings of the meetings on bio-mechanics of injury to pedestrians, cyclists and motor-cyclists (Der typische Verkehrsunfall bei Jugendlichen - einige epidemiologische Faktoren und die Wirkung von Schutzhelmen und -kleidung. Unterlagen über die Treffen bezüglich der Biomechanik der Verletzungen bei Fußgängern, Radfahrern und Motorradfahrern). Amsterdam, 1976, S. 7580.
- (2) B. Aldman, I. Cacciola, H. Gustafsson, A. Nygren, J. Wersäll: The protective effect of different kinds of protective clothing worn by motor-cyclists. (Schutzwirkung verschiedener Schutzkleidung bei Motorradfahrern). IRCOBI, 1984. Bericht.
- (3) A. Engström: Causes and consequences of moped and motorcycle accidents. (Ursachen und Folgen von Moped- und Motorradunfällen). Scandinavian Journal of Social Medicine, Suppl. 15, 1979.
- (4) B. Aldman, L. Thorngren, H. Gustafsson, A. Nygren, J. Wersäll: The protective effect of crash helmets. A study of 96 motorcycle accidents. (Schutzwirkung von Sturzhelmen. Eine Studie über 96 Motorradunfälle). IV IRCOBI-Konferenz über die Biomechanik des Traumas. Bron, Frankreich, 1979. Berichte, S. 63 - 74.
- (5) D.M. Prime, R.I. Woods: Tests on the protection afforded by various fabrics and leathers in a simulated impact of a motor-cyclist on a road surface. (Prüfung der Schutzwirkung verschiedener Gewebe und Ledersorten beim simulierten Aufprall eines Motorradfahrers auf eine Straßendecke). Internationale IRCOBI-Konferenz, 1984. Berichte.
- (6) L.M. Patric, C.K. Croell, M.J. Mertz: Forces on the human body in simulated crashes (Krafteinwirkung auf den menschlichen Körper bei simulierten Unfällen). IX Stapp Car Crash Conference, University of Minnesota, 1966. Berichte.
- (7) W.R. Powell, S.S. Ojala, S.M. Advani, R.B. Martin: Cadaver femur responses to longitudinal impacts. (Wirkung längsgerichteter Stöße auf den Oberschenkelknochen). XIX Stapp Car Crash Conference, San Diego, 1975. Berichte, SAE-Dokument Nr. 751160.

Das Schutzkleidungstragen motorisierter Zweiradfahrer

Ernst-Albrecht Marburger

Das Helm- und Schutzkleidungstragen motorisierter
Zweiradfahrer in der Bundesrepublik Deutschland

Im März 1977 beobachtete die Bundesanstalt für Straßenwesen zum ersten Mal bundesweit das Helmtragen motorisierter Zweiradfahrer im fließenden Innerortsverkehr. Bei den Fahrern wurde von Anfang an auch das Schutzkleidungstragen registriert; die Beifahrer kamen 1978 hinzu. Seitdem werden jährlich zweimal (in ferienfreien Zeiten im Mai und September) Zahlen über die Helm- und Schutzkleidungstragequoten der Zweiradfahrer erhoben. Dabei werden die Zweiradfahrer in vier nach Repräsentativitätsgesichtspunkten ausgewählten Gebieten der Bundesrepublik an 6 Wochentagen beobachtet. Die Fahrer werden zusätzlich nach der Fahrzeugart und ihrem Alter gefragt, die Mofafahrer bis zum Herbst 1985 (danach neue Rechtslage) darüber hinaus nach dem Prüfbescheinigungsbesitz und ihrer evtl. Teilnahme an einem Mofakurs.

Durch einen genau festgelegten Wechsel der Zählstandorte im Tagesverlauf wird versucht, unterschiedliche Fahrzwecke (Berufsverkehr, Einkaufsverkehr, Ausflugsverkehr) zu berücksichtigen.

Pro Erhebung werden etwa 2.000 motorisierte Zweiräder erfaßt. Wegen der nach wie vor mangelhaften Information über Fahrleistungen - dies gilt besonders auch für die motorisierten Zweiräder - ist ein Fahrleistungsbezug der erhobenen Helm- und Schutzkleidungstragequoten nicht möglich.

Entwicklung und derzeitiger Stand (Herbst 1985, Berichte über die Erhebungen des Jahres 1986 können bei der Bundesanstalt für Straßenwesen, Brüderstraße 53, 5060 Bergisch Gladbach 1, kostenlos angefordert werden) der Quoten werden im folgenden skizziert.

1. Schutzhelmtragequoten

Der Schutzhelm wird - dies macht Tab. 1 deutlich - von der überwiegenden Mehrheit der motorisierten Zweiradfahrer schon seit langem, bei den Kraftradfahrern auch schon vor Einführung des Verwarnungsgeldes, in erfreulich großem Maß getragen. Dies gilt für Fahrer und Mitfahrer gleichermaßen, ohne daß Ermüdungserscheinungen erkennbar wären.

Tab. 1	Helmtragequoten der Fahrer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder außer Mofa in v.H. (Zahlen in Klammern = n)	
	Fahrer	Mitfahrer
Mai 1979	74 (2.454)	62 (497)
Aug. 1979	72 (2.044)	66 (382)
Nov. 1979	83 (1.952)	56 (297)
Mai 1980	79 (2.308)	66 (471)
Sept. 1980	93 (1.703)	84 (331)
Mai 1981	96 (2.529)	89 (432)
Sept. 1981	96 (2.401)	90 (375)
Mai 1982	94 (2.181)	94 (258)
Sept. 1982	94 (2.446)	95 (331)
Mai 1983	94 (2.207)	94 (293)
Sept. 1983	96 (1.880)	95 (205)
Mai 1984	97 (1.924)	99 (248)
Sept. 1984	97 (1.748)	97 (199)
Mai 1985	97 (1.961)	97 (245)
Sept. 1985	96 (2.152)	96 (259)

Quelle: Bundesanstalt für Strassenwesen FG U4.1

Tab. 1

Bei den einzelnen Fahrzeugarten sieht es für die Fahrer folgendermaßen aus (Vgl. Tab. 2)

Tab. 2	Helmtragequoten der Fahrer motorisierter Zweiräder nach der Fahrzeugart in v.H. (Zahlen in Klammern = n)						
	Kraft- rad	Kraft- roller	Leicht- kraftr.	Klein- kraftr.	Mokick	Moped	Mofa
Mai 1979	87 (1144)	91 (99)	-	66 (382)	55 (591)	51 (238)	14 (1654)
Aug. 1979	88 (730)	71 (126)	-	78 (455)	55 (455)	45 (278)	16 (1561)
Nov. 1979	95 (449)	92 (142)	-	91 (422)	77 (678)	58 (261)	37 (1732)
Mai 1980	93 (1050)	75 (67)	-	77 (298)	67 (658)	54 (235)	21 (1478)
Sept. 1980	97 (781)	87 (38)	-	90 (230)	92 (439)	87 (215)	24 (1302)
Mai 1981	99 (1305)	95 (127)	97 (141)	98 (176)	93 (675)	87 (105)	26 (1180)
Sept. 1981	99 (1021)	97 (98)	98 (244)	98 (238)	92 (654)	79 (146)	33 (1579)
Mai 1982	99 (1119)	96 (79)	97 (284)	95 (163)	91 (412)	53 (124)	17 (1083)
Sept. 1982	99 (935)	97 (147)	98 (511)	97 (198)	87 (515)	69 (140)	19 (1861)
Mai 1983	100 (1127)	97 (105)	98 (462)	97 (74)	85 (280)	60 (159)	27 (1011)
Sept. 1983	100 (780)	100 (100)	98 (596)	93 (59)	89 (269)	57 (76)	21 (1169)
Mai 1984	100 (935)	100 (109)	100 (513)	100 (39)	90 (267)	57 (61)	28 (999)
Sept. 1984	100 (736)	97 (99)	99 (580)	91 (34)	90 (261)	55 (38)	22 (1156)
Mai 1985	100 (981)	98 (127)	100 (498)	100 (37)	94 (190)	70 (128)	22 (857)
Sept. 1985	100 (1044)	99 (140)	97 (549)	95 (37)	88 (248)	72 (134)	22 (1301)

Quelle: Bundesanstalt für Strassenwesen FG U4.1

Tab. 2

Spätestens seit September 1980 (am 1. August 1980 wurde die verwarnungsgeldbewehrte Helmtragepflicht (Ausnahme: Mofafahrer) eingeführt) gibt es durchgängig hohe Tragequoten, lediglich die dann wieder gefallene Tragehäufigkeit der Mopedfahrer fällt auf.

Und natürlich war die Helmtragequote der Mofafahrer immer unbefriedigend. Sie hat - aus erklärlichen Gründen - den 1980er Sprung nach oben nicht mitgemacht. Die Quote war damals (September 1980) 24% und lag im September 1985 mit 22% noch in der gleichen Größenordnung. Bei einer Sondererhebung der BAST unmittelbar nach der Einführung der Helmtragepflicht für

Mofafahrer zum 1. Oktober 1985 hat sich allerdings eine erstaunlich hohe Tragequote von über 90% ergeben. (In der Erhebung vom Mai 1986 hat sich diese positive Entwicklung mit 96% bestätigt.)

Was die Mitfahrer angeht, liegen aussagefähige Besetzungszahlen nur für Mitfahrer auf Kraft- und Leichtkraft- rädern vor (3/4 aller Zweiradmitfahrer werden auf diesen beiden Fahrzeugtypen angetroffen). Im September 1985 trugen die Krafttradmitfahrer den Helm zu 100% und die Leichtkrafttrad- fahrer zu 93%.

2. Schutzkleidung

Bei den ersten Erhebungen wurde das Merkmal "Schutzkleidung getragen" nur dann registriert, wenn die Zweiradfahrer außer dem Helm auch sonst komplette Schutzkleidung trugen, also Anzüge oder Kombinationen mit Handschuhen und Stiefeln.

Dieses Kriterium ist für eine Aussage über das Schutz- kleidungstragen an sich nicht zu streng, denn ein möglichst weitgehender Schutz setzt voraus, daß die Zweiradbenutzer **komplette** Schutzkleidung tragen. Andererseits erfordert die Abbildung des tatsächlichen Istzustandes eine differenziertere Erhebung. Das wird bei einem Blick auf die Straße deutlich, wo sich eine Reihe von motorisierten Zweiradfahrern findet, die doch wenigstens mit Schutzkleidungsteilen, z.B. einer Leder- jacke, bekleidet sind.

Die Bundesanstalt hat deshalb das Beobachtungsschema seit der Herbsterhebung 1984 so geändert, daß jedes Teil der Schutz- kleidung für sich registriert wird und somit auch die Möglich- keit besteht, über verschiedene Kombinationen von Einzelteilen Aussagen zu machen.

Aus den Erhebungen ergibt sich derzeit folgendes Bild (Vgl. Tab. 3):

Tab. 3	Tragequoten von Schutzkleidung von Fahrern motorisierter Zweiräder nach Fahrzeugart (Mai '85/Sept. '85) in v.H. (Zahlen in Klammern = n)							
	Kraft- rad	Kraft- roller	Leicht- kraftr.	Klein- kraftr.	Mokick	Moped	Mofa	
mit Helm und:								
Kompl. übrige Schutzkleidung ¹⁾	25/25	2/1	1/0	--	0/1	0/1	0/-	
Jacke u. Hose/Anzug, mit/ohne Handschuhe oder Stiefel	6/6	-/1	-/1	--	2/0	--	0/-	
Jacke, Handschuhe und Stiefel	10/11	2/1	4/2	5/3	-/0	-/1	0/0	
Jacke und Handschuhe	23/24	9/10	18/25	11/14	6/9	6/11	1/1	
Jacke	9/8	13/9	12/18	8/24	10/15	7/11	2/2	
Handschuhe	7/8	24/19	22/15	22/8	18/11	12/5	2/2	
Kombination anderer Schutzkleidungsteile	5/5	1/1	3/1	-/3	2/2	1/4	1/0	
Regenkombi mit/ohne Hand- schuhen und/oder Stiefeln	7/5	5/9	4/2	3/-	4/3	1/1	1/1	
ohne jede Schutzkleidung (nur mit Helm)	8/8	42/47	36/33	51/43	52/47	43/38	15/16	
ohne Helm und:								
mit Schutzkleidungsteilen	-/0	-/-	-/1	-/-	0/1	2/1	4/3	
ohne jede Schutzkleidung	0/0	2/1	0/2	-/5	6/11	28/27	74/75	
Gesamt	Mai 1985	100 (980)	100 (127)	100 (498)	100 (37)	100 (189)	100 (128)	100 (856)
	September 1985	100 (1044)	100 (139)	100 (549)	100 (37)	100 (248)	100 (134)	100 (1301)
1) Zur kompletten übrigen Schutzkleidung gehört das Tragen von Anzügen (einteilig oder als Kombination) und Handschuhen und Stiefeln, die vorwiegend aus Leder oder Kunst- stoffen gefertigt sein müssen.								
Quelle: Bundesanstalt für Strassenwesen							FG U4.1	

Tab. 3

Insgesamt wird nach wie vor zu wenig Schutzkleidung getragen, und es ist auch noch kein positiver Trend erkennbar, im Gegen- teil, bei manchen früheren Erhebungen wurden höhere Anteile an kompletter Schutzkleidung registriert als derzeit. Das gilt auch für die Krafttradfahrer, die, nimmt man die Fälle, in denen nur die Handschuhe oder die Stiefel fehlen, noch hinzu, wenigstens zu etwa 30% eine vollständige Montur tragen. Bei den Fahrern der übrigen Fahrzeuge wird demgegenüber fast über- haupt keine komplette Ausrüstung registriert.

An zweiter Stelle in der Häufigkeit der beobachteten Fälle tritt dann bei Krafttradfahrern mit ebenfalls etwa 25% die Kombination Jacke mit Handschuhen auf, die sich auch bei den übrigen Fahrern in Kombination oder je für sich alleine noch zu kleinen, aber durchaus nennenswerten Anteilen findet. Andererseits ist für viele Fahrer der Helm bislang nach wie

vor der einzige Schutz: Bei den Leichtkraftradfahrern betrifft dies 33%, bei den Kraftrollern und Mokicks 47%, bei den Mopeds 38% und bei Kleinkrafträdern 43%. Lediglich für die Kraftradfahrer ist die entsprechende Zahl mit 8% erfreulich niedrig.

Beachtlich erscheint die sehr große Anzahl von Mopedfahrern, vor allem aber Mofafahrern, die ohne jede Schutzkleidung ange-troffen werden.

Einige Anmerkungen zu den Mitfahrern (Vgl. Tab. 4):

Tab. 4	Tragquoten von Schutzkleidung von Mitfahrern motorisierter Zweiräder nach der Fahrzeugart (Mai '85/Sept. '85) in v.H. (Zahlen in Klammern = n)						
	Kraft-rad	Kraft-roller	Leicht-kraftr.	Klein-kraftr.	Mokick	Moped	
mit Helm und:							
Kompl. übrige Schutzkleidung ¹⁾	15/13	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	
Jacke u. Hose/Anzug, mit/ohne Handschuhe oder Stiefel	6/2	-/-	-/-	-/-	-/-	-/-	
Jacke, Handschuhe und Stiefel	5/3	-/-	-/1	-/-	-/-	-/-	
Jacke und Handschuhe	15/19	-/-	1/1	-/-	-/6	-/-	
Jacke	10/25	-/-	8/17	-/50	8/6	-/17	
Handschuhe	12/4	18/-	5/6	-/-	-/-	-/-	
Kombination anderer Schutzkleidungsteile	4/4	-/-	-/1	25/-	-/-	-/-	
Regenkombi mit/ohne Handschuhen und/oder Stiefeln	3/7	-/8	3/1	-/-	-/-	-/-	
ohne jede Schutzkleidung (nur mit Helm)	30/23	71/92	78/66	75/50	77/71	100/83	
ohne Helm und:							
mit Schutzkleidungsteilen	-/-	-/-	-/1	-/-	-/-	-/-	
ohne jede Schutzkleidung	-/-	14/-	5/6	-/-	15/17	-/-	
Gesamt	Mai 1985	100 (134)	100 (7)	100 (78)	100 (4)	100 (13)	100 (7)
	September 1985	100 (121)	100 (13)	100 (94)	100 (6)	100 (18)	100 (6)
1) Vgl. Fußnote 1) zu Tabelle 3							
Quelle: Bundesanstalt für Strassenwesen				FG U4.1			

Tab. 4

Von den insgesamt bei der Septembererhebung 1985 auf Zweirädern beobachteten 259 Mitfahrern saßen 121 auf Kraft-rädern und 94 auf Leichtkrafträdern. Komplette oder nahezu komplette Schutzkleidung trugen dabei allerdings nur einige Kraftradmitfahrer, nämlich gerade 15% (im Mai 1985 waren es etwa 20%). Mitfahrer auf anderen Fahrzeugen waren in keinem einzigen Fall komplett angezogen.

An zweiter Stelle finden sich auch hier Jacke und Handschuhe allein oder in Kombination. Und obwohl sich bei den Leichtkraftradmitfahrern noch einige wenige fanden, die wenigstens eine Jacke oder Handschuhe trugen, bleibt als Gesamtergebnis, daß 25 bis 30% der Kraftradmitfahrer und etwa 70% der Leichtkraftradmitfahrer außer dem Helm sonst keine Schutzkleidung trugen. (Die übrigen Besetzungszahlen sind zu klein, um Aussagen zuzulassen.)

Die Gründe für diesen insgesamt unbefriedigenden Tragestand sind weitgehend unbekannt. Die BAST hat auf der Basis des vorliegenden Datenmaterials drei mögliche Einflußgrößen etwas näher untersucht, freilich ohne recht fündig zu werden: Alter, Geschlecht und Wetter.

Unterteilt man einmal die Kraftradfahrer (für die übrigen Fahrzeuge gibt es keine hinreichend große Zahl für solche weiteren Unterteilungen, außerdem unterliegen die übrigen Fahrzeuge anderen altersspezifischen Verteilungen ihrer Benutzer) in vier Altersklassen, deutet sich für die komplette Ausrüstung an, daß die Älteren etwas häufiger über komplette Schutzkleidung verfügen als die Jüngeren (Vgl. Tab. 5).

Korrespondierend damit zeigen sich etwas höhere Quoten der Jüngeren bei einzelnen Schutzkleidungsteilen. Eine sorgfältige Interpretation hat hier freilich daran zu denken, daß sich hinter dem Lebensalter andere Einflußgrößen wie das möglicherweise höhere Einkommen der Älteren oder auch einfach der Zeitablauf (vielleicht komplettiert man seine Ausstattung erst nach und nach) verbergen können.

Tab. 5	Tragequoten von Schutzkleidung durch Krafttradfahrer in Abhängigkeit vom Alter (Mai '85/September '85) in v.H. (Zahlen in Klammern = n)				
	Alter				Durchschnitt
	18-20	21-25	26-30	31 u. älter	
mit Helm und:					
Kompl. übrige Schutzkleidung ¹⁾	18/13	22/23	36/35	32/32	25/24
Jacke u. Hose/Anzug mit/ohne Handschuhe oder Stiefel	6/3	7/7	6/9	4/7	6/7
Jacke, Handschuhe und Stiefel	9/11	10/11	11/12	12/11	10/11
Jacke und Handschuhe	22/27	26/26	17/18	23/23	23/24
Jacke	7/10	11/7	7/7	5/5	9/8
Handschuhe	11/15	6/8	6/5	5/1	7/8
Kombination anderer Schutzkleidungsteile	8/6	5/5	5/4	6/1	5/5
Regenkombi mit/ohne Handschuhen und/oder Stiefeln	9/4	6/5	6/6	5/9	7/5
ohne jede Schutzkleidung (nur mit Helm)	10/11	7/8	6/4	8/11	8/8
Gesamt					
Mai 1985	100 (238)	100 (447)	100 (202)	100 (81)	100 (966) ²⁾
September 1985	100 (245)	100 (418)	100 (226)	100 (75)	100 (964) ²⁾
1) Vgl. Fußnote 1) zu Tabelle 3.					
2) Die niedrigere Gesamtzahl der Krafttradfahrer gegenüber Zahlen in den Tabellen 2 und 3 erklärt sich dadurch, daß einige Befragte ihr Alter nicht angeben.					
Quelle: Bundesanstalt für Strassenwesen			FG U4.1		

Tab. 5

Zum Einfluß des Geschlechts auf das Schutzkleidungstragen liegen analysierbare Anzahlen nur für die Kraftträder vor. Den 983 männlichen Krafttradfahrern "saßen" bei der Septembererhebung 1985 59 weibliche gegenüber. Bei der kompletten bzw. fast kompletten Schutzkleidung lagen die männlichen Fahrer mit etwa 30% Tragequote deutlich höher als die Frauen mit etwa 20%. Bei der Kombination Jacke mit Handschuhen zeigte sich umgekehrt mit 39% zu 23% ein Vorsprung für die Fahrerinnen. Die übrigen Kategorien unterschieden sich nicht wesentlich.

Auch die Quote der weiblichen Mitfahrer (registriert wurden insgesamt 69 weibliche und 52 männliche Krafttradmitfahrer), die komplette Schutzkleidung trugen, war mit etwa 12% deutlich niedriger als die der Männer, die auf etwa 20% kamen. Bei den

unvollständigen Kombinationen zeigten auch hier wiederum die Frauen etwas höhere Quoten. Z.B. trugen 25% der Mitfahrerinnen Jacke und Handschuhe gegenüber nur 12% bei den Mitfahrern.

Schließlich noch zum Wetter. Weil die Mofahelmtragequoten immer relativ stark schwankten, gab es die Vermutung, dies könnte etwas mit dem Wetter zu tun haben, zumal die Mofafahrer bei früheren entsprechenden Befragungen warmes/heißes Wetter häufig als Grund für das Nichttragen des Helms genannt hatten. Seit September 1984 wird deshalb während der Erhebungen stündlich das Wetter registriert, und zwar sehr differenziert nach Regen und trocken, nach kühl/kalt, warm/heiß sowie nach sonnig, bedeckt und neblig.

Ein Einfluß hat sich in den letzten drei Erhebungen auch insoweit bestätigt, als die Helmtragequoten der Mofafahrer bei naßkaltem Wetter tatsächlich deutlich höher waren.

Ein Einfluß auf das Schutzkleidungstragen ist hingegen aus den vorliegenden Zahlen nicht erkennbar, wenn man einmal von dem durchaus nicht unerwarteten Ergebnis absieht, daß Regenkombis bei Regen sehr viel häufiger getragen werden als bei trockenem Wetter. Ansonsten fanden sich die Fälle, in denen bei trockenem Wetter sowohl komplette Schutzkleidung wie auch Kombinationen (etwa Jacke und Handschuhe) bei trockenem warmem Wetter häufiger getragen wurden als bei naßkaltem Wetter ebenso wie das eigentlich erwartete Umgekehrte. Hier müßten wohl ergänzend auch die Fahrzwecke und -weiten analysiert werden.

3. Zusammenfassung

- Die Helmtragequoten der Zweiradfahrer und -mitfahrer (ohne Mofas) haben sich auf hohem Niveau stabilisiert und lagen bei der Erhebung im September 1985 im Durchschnitt bei jeweils 96%.
- Die Mofahelmtragequote betrug demgegenüber im September 1985 nach wie vor nur 22%. (Inzwischen haben die Mofafahrer mit 96% (Mai 1986) den gleichen hohen Stand erreicht.)
- Schutzkleidung wird insgesamt gesehen zu selten getragen. Vollständige Schutzkleidung findet man ausschließlich bei Krafttradfahrern und -mitfahrern mit etwa 30% bzw. 15 - 20%. Auch die Tragehäufigkeit einzelner Schutzkleidungsteile, wie

etwa Jacke und Handschuhe o.ä. ist zu niedrig und übersteigt in keinem Fall die 30%-Marke.

- Und schließlich verzichten derzeit noch zu viele Zweiradbenutzer - mit Ausnahme auf den Helm - auf jede Form von Schutzkleidung.

Optimierung von Kraftfahrerschutzhelmen

Ulrich Stöcker

1. Einleitung

Um die Frage nach Optimierung des Schutzhelmes zu beantworten, ist es notwendig, die Zielrichtung der Optimierung vorzugeben. Dies kann für den Schutzhelm nur aus der Kenntnis der Vorgänge im Unfallgeschehen und den dabei auftretenden Belastungen geschehen. Dabei spielen beispielsweise die Häufigkeit eines Anpralls, der Ort des Anpralls und die Deformationsmöglichkeiten am Anprallort eine wichtige Rolle. Zur Beantwortung eines großen Teiles dieser Fragenkomplexe wurden Anfang der achtziger Jahre insgesamt vier Projekte speziell zum Schutzhelm durchgeführt, die sich in drei Projekte zur Unfallanalyse und eine Laboruntersuchung unterteilen lassen. Ziel war es, neben der Gewinnung von Erkenntnissen zum Unfallgeschehen der motorisierten Zweiradbenutzer die Schutzwirkung des Helmes nach Einführung der Helmtragepflicht aufzuzeigen. Darüber hinaus sollten die Untersuchungen einen Ansatz bieten, das bestehende Regelwerk an die aktuellen Erkenntnisse aus der Unfallforschung anzupassen.

2. Forschungsprojekte zum Schutzhelm

In einem Projektbündel von vier Forschungsprojekten der Bundesanstalt für Straßenwesen wurde speziell der Schutzhelm untersucht. Die Projekte teilen sich auf in drei Unfallanalysen und eine Laborstudie. Die Forschungsprojekte wurden von Forschungsnehmern in Hannover, Heidelberg, München und Frankfurt bearbeitet. Grundlage der Untersuchungen in Hannover (Otte) bilden 224 Unfälle motorisierter Zweiräder von 1973 - 1981, wo 272 Benutzer (davon 141 Helmträger) aufgenommen wurden. Der Bericht aus Heidelberg (Schüler) stützt sich auf ein Untersuchungskollektiv von 130 Verkehrsunfällen (aus dem Jahre 1980) mit 142 Zweiradbenutzern, davon 82 Helmträger. Bei der Untersuchung in München (Beier) wurden insgesamt 309 verunglückte Benutzer (davon 251 Helmträger) aus 247 Unfällen im Jahre 1980 erfaßt.

Die Laboruntersuchungen bezüglich der Unfallsituation wurden von Jessl (Battelle Frankfurt) mit Dummies unterschiedlichen Percentils durchgeführt. Im Rahmen der Fortführung der Aktivitäten wird auf zwei laufende Projekte verwiesen, die sich zum einen von der aktiven Sicherheit her mit dem Visier und dem passiven Unfallschutz mit der mathematischen Analyse der Wirk-

mechanismen in Anprallsituationen (Zusammenwirken von Helmschale und Stoßpolsterung) mit dem Ziel der Maximierung des Energieaufnahmevermögens beschäftigen.

3. Wichtige Ergebnisse aus den abgeschlossenen Projekten

In den Projekten zur Unfallanalyse war es ein Ziel, durch die Bestimmung der Lokalisation des Anpralls Aufschluß über die Hauptbelastungszonen im Unfallgeschehen zu bekommen. Daneben stand die Klassifizierung der Verletzungsschwere mit einer besonderen Wichtung der Reduktion dieser Verletzungsschwere bei Schutzhelmtägern im Vordergrund. Bild 1 zeigt als Zusammenfassung von zwei Kollektiven die Verschiebung der Verletzungsschwere bei Helm- und Nichthelmtägern. So blieben in der Gruppe der Helmtäger etwa 60% der erfaßten Fälle unverletzt, während in der Gruppe der Nichthelmtäger nur

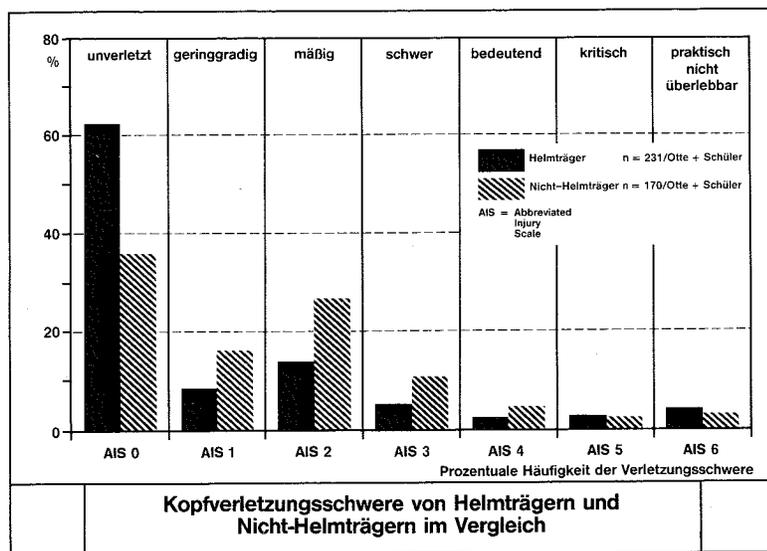


Bild 1

ca. 35% zu finden sind. Daraus resultiert dann auch die größere Häufigkeit nahezu doppelt so hoch) der Nichthelmtäger in den AIS-Klassen (AIS = Abbreviated Injury Scale) > 1. Die hohen AIS-Klassen 5 und 6 sollten der geringen Fallzahl wegen von dieser Betrachtung ausgenommen werden.

In der Verletzungsklassifizierung der Helmtäger zeigten sich die in Bild 2 dargestellten Verhältnisse für alle drei Untersuchungskollektive. Es ist zu erkennen, daß die Verletzungen am häufigsten in die AIS-Klassen bis 2 einzuordnen sind.

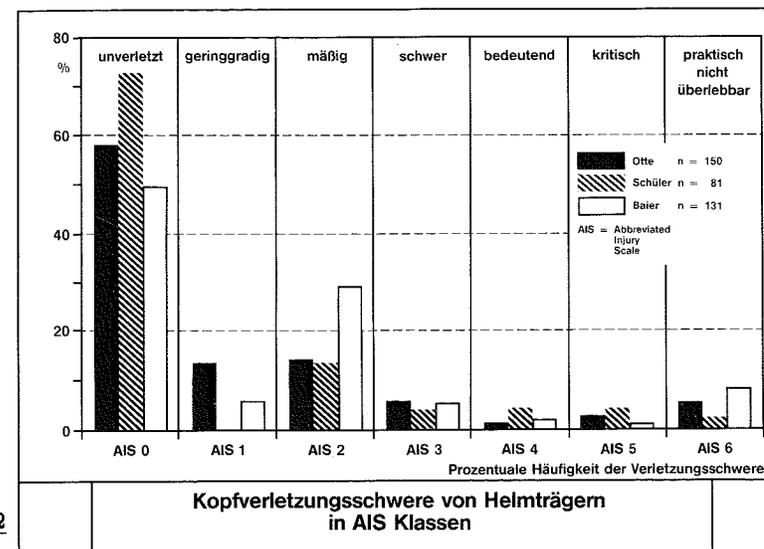


Bild 2

Im Bild 3 ist für den Hauptunfallgegner Pkw für verschiedene Anprallstellen der jeweils ermittelte mittlere Verletzungsschweregrad aufgetragen. Auch hier wird zwischen Helmtägern und Nichthelmtägern differenziert. Für alle betrachteten Anprallstellen ist die deutliche Reduktion der Verletzungsschwere für den behelmten Kopf ersichtlich. Vergleichend zu den Anprallsituationen am Pkw und den dort ermittelten Verletzungsschweren wird die Verletzungsschwere beim Anprall auf die Straße zusätzlich dargestellt. Auch hier wurde mit behelmttem Kopf eine deutlich niedrigere Verletzungsschwere beobachtet.

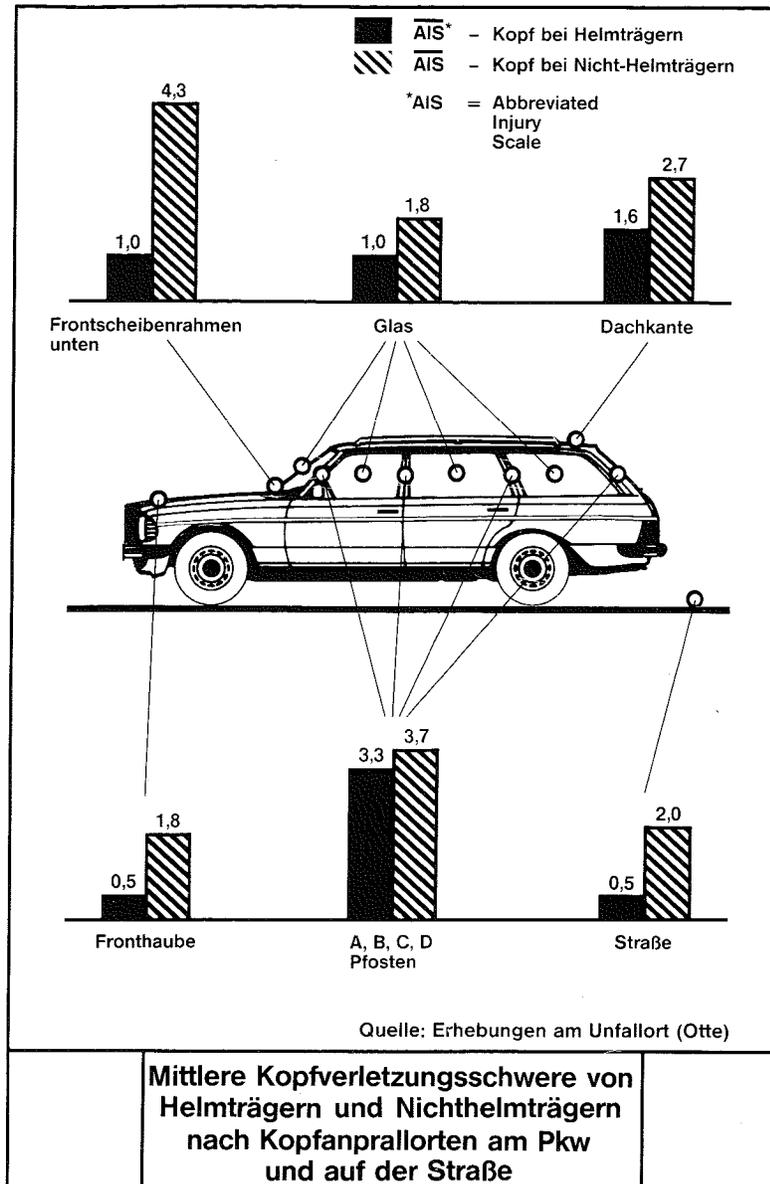


Bild 3

In der Laborstudie wurden für eine definierte Anprallsituation die auftretenden Kräfte unter der Variation unterschiedlicher Randbedingungen (Helmtyp, Geschwindigkeit, Dummymasse) gemessen. Diese Messung gibt Aufschluß über die Größenordnung der zu erwartenden Kräfte und Momente und bietet somit eine wertvolle Hilfe für die Eingabe von Randbedingungen in die Modellierung der Wirkmechanismen, wie sie für ein Folgeprojekt benötigt werden.

4. Bestimmung der Einflußparameter als Grundlage für die Optimierung von Schutzhelmen

In dem vorliegenden Beitrag werden hauptsächlich mögliche Ansätze für eine bessere Energieabsorption diskutiert. Bezüglich der Verbesserung von z.B. Verschlusssystemen, Visieren etc. wird auf die laufenden Aktivitäten zur Verbesserung der Europäischen Regelung ECE 22 verwiesen.

Zur Beantwortung der Frage, in welche Richtung eine Optimierung der Schutzwirkung des Helmes gehen muß, ist die Kenntnis der physikalischen Abläufe in der Anprallsituation notwendig. Dies soll anhand der folgenden Bildsequenz dargestellt werden, die freundlicherweise vom Technischen Überwachungsverein Rheinland zur Verfügung gestellt wurde.

Zur Situation: Ein zur Sichtbarmachung der Deformation aufgeschnittener Schutzhelm prallt mit einer Geschwindigkeit von 7 m/s auf einen flachen Amboß. Mit einer Hochgeschwindigkeitskamera werden die Phasen der Deformation von Helmschale und Stoßpolsterung erfaßt. Zur besseren Verdeutlichung der Abläufe wurde auf die Stoßpolsterung ein orthogonales Gitternetz aufgezeichnet.

Das erste Bild (Bild 4) zeigt die Situation unmittelbar vor dem Aufschlag. Stoßpolsterung und Helmaußenschale sind undeformiert.

Das zweite Bild (Bild 5) der Sequenz zeigt die ersten Verformungen; die Helmaußenschale liegt in einem Durchmesser von ca. 30 mm flach auf dem Amboß auf; der Polystyrolschaum wird nach innen gedrückt; etwa in der Ebene der neutralen Faser zeigen sich

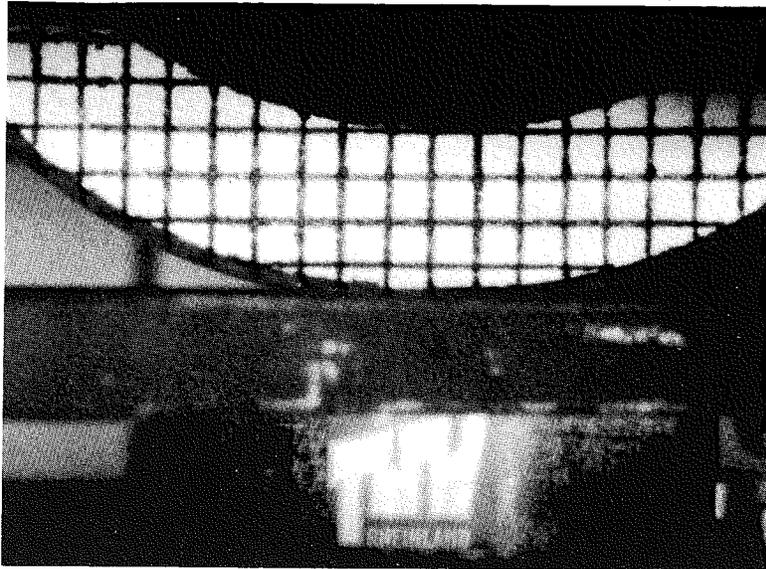


Bild 4

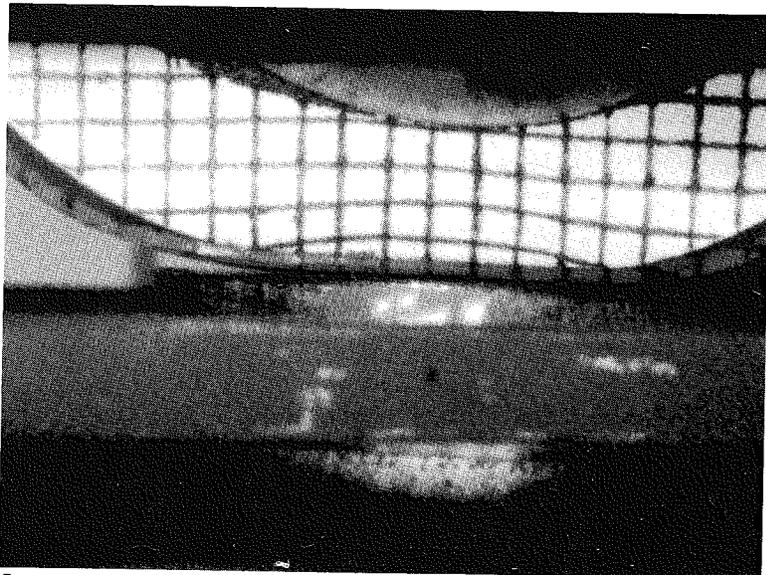


Bild 5

erste Anzeichen der Deformation; außerhalb des Amboßbereiches ist eine Trennung von Außenschale und Stoßpolsterung zu erkennen; der Prüfkopf hat die Komfortpolsterung zusammengedrückt und liegt nun auf einem Durchmesser von ca. 20 mm auf der Stoßpolsterung auf.

Bei dem folgenden Bild (Bild 6) der Sequenz liegt die Schale in einem Durchmesser von ca. 40 mm auf dem Amboß flach auf; die so beanspruchte Stoßpolsterung wird nach innen gedrückt und im Bereich der neutralen Faser etwa auf die Hälfte deformiert; der Prüfkopf auf der anderen Seite leistet ebenfalls einen Beitrag zur Deformation und dringt als starrer Körper in die Stoßpolsterung ein.

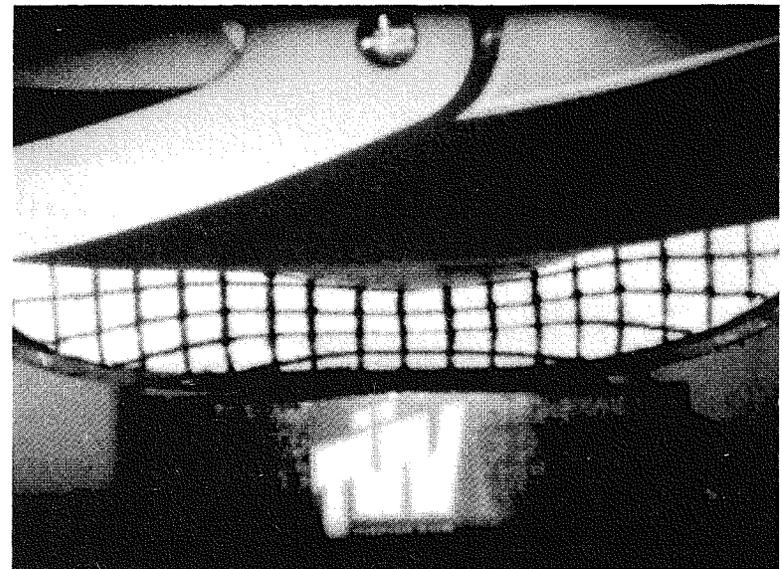


Bild 6

Im vierten Bild (Bild 7) der Sequenz liegt die Helmschale auf der gesamten Fläche des Amboßes flach auf; die äußere Schale der Stoßpolsterung bleibt nahezu undeformiert; die wesentliche Deformation findet in der neutralen Faser bis auf

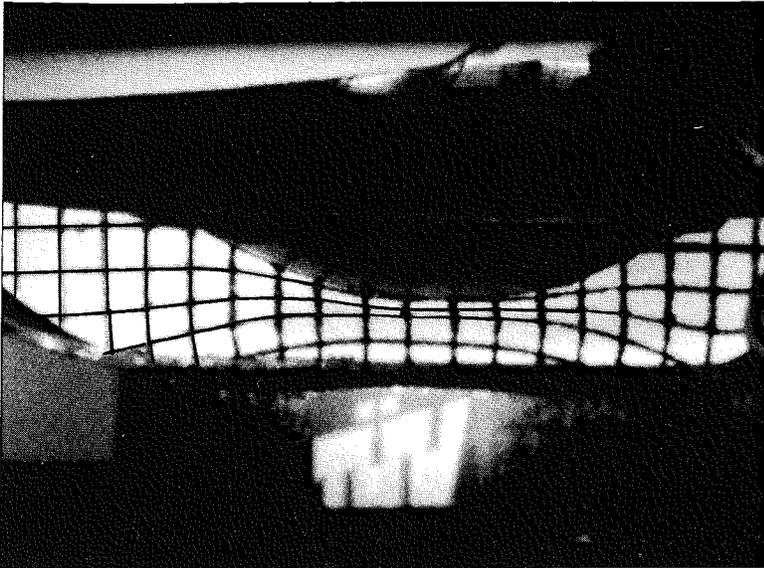


Bild 7

ca. 15% des Ausgangswertes statt; der Prüfkopf ist etwa bis zur Hälfte in die Stoßpolsterung eingedrungen.

Das letzte Bild (Bild 8) schließlich zeigt die weiter fortschreitende Deformation, wobei zu beachten ist, daß weiterhin der äußere Bereich der Stoßpolsterung zur Helmschale hin nahezu undeformiert ist und die weitere Beanspruchung der Stoßpolsterung im wesentlichen durch das Eindringen des Prüfkopfes in die Polsterung geprägt wird.

Diese gewählte Anprallsituation ist in der ersten Näherung mit der Betrachtung der Abläufe vergleichbar, die bei einer Anprallsituation im Stirnbereich, wo ebenfalls durch den Sichtfeldausschnitt ein Teil der Steifigkeit der Außenschale fehlt, wirksam werden. Der Versuch bietet folgende Vorteile:

- Er gibt grundsätzlich darüber Aufschluß, wo und wie die Deformationsvorgänge im Anprall ablaufen.
- Er liefert Randbedingungen für eine mathematische Simulation des Stoßvorgangs.

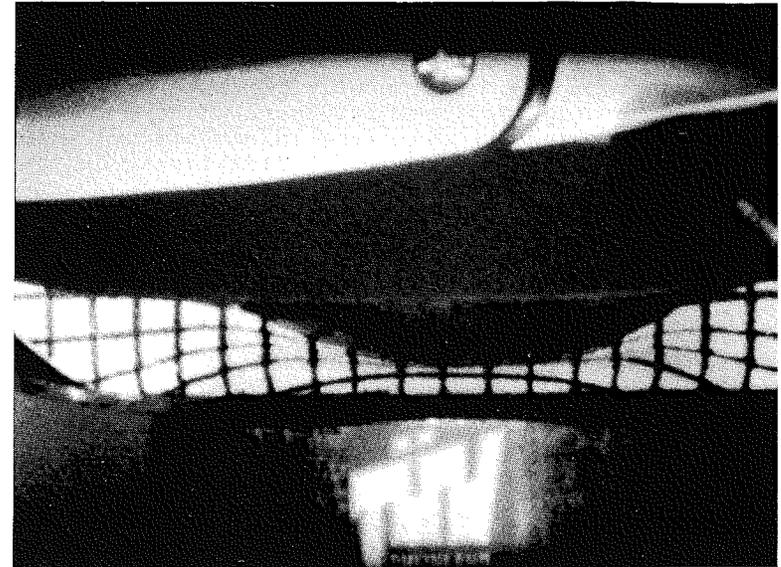


Bild 8

Ein Nachteil:

- Er kann die Wirkung der Gesamtsteifigkeit einer geschlossenen Schale nicht aufzeigen.

Es erscheint trivial, darauf hinzuweisen, daß aus diesen Einzelversuchen noch keine allgemein gültigen Regeln für eine Optimierung abgeleitet werden können. Dazu muß das Versuchsspektrum erweitert und die Anprallsituation, Aufschlaggeschwindigkeit und die Materialart variiert werden.

Für die weitere Diskussion und eine Optimierung sollte auf folgende Punkte geachtet werden:

- Die eigentlich plastische Verformung findet nur in einer recht kleinen Zone von ca. 60 mm Durchmesser statt.
- Das flache Aufliegen der Schale wirkt sich ungünstig auf die Pressung in der neutralen Faser aus (Konvex/Konvex) und steht der Forderung einer "weichen" Außenschale entgegen.
- In der dynamischen Belastung werden mehr als 2/3 der Stoßpolsterung durch das Eindringen des Prüfkopfes in die durch das Aufliegen der Außenschale gestreckte Stoßpolsterung als Verformungsweg verbraucht.
- Daraus folgt, daß angestrebt werden muß, einen größeren Volumenanteil an der Energieumsetzung zu beteiligen.

Orientierungsrahmen für die Bewertung der Energieabsorption sind beim Helmtest die angewandten Beschleunigungsmessungen. Das folgende Bild (Bild 9)

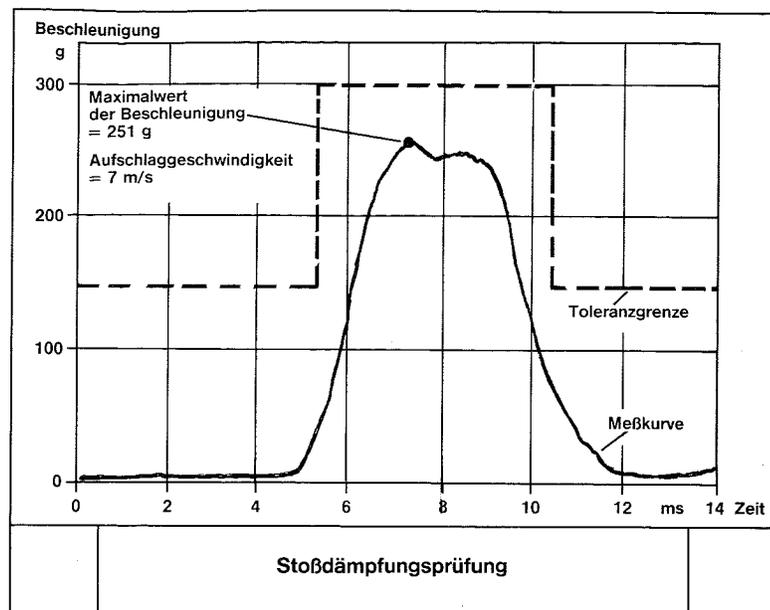


Bild 9

zeigt eine praktische Meßkurve mit den Grenzen, wie sie innerhalb des Europäischen Regelwerkes vorgeschrieben sind. Die Belastungsgrenzen werden geprägt durch einen max. zulässigen Spitzenwert (peak value) von 300 g und durch Zeitfenster von max. 5 ms, in welchen der Wert von 150 g überschritten werden darf. Diese Grenzen stellen aus der Biomechanik abgeleitete Werte für den menschlichen Kopf dar. In der theoretischen Betrachtung stellen sie jedoch ein lineares Kriterium (bezogen auf einen Massenpunkt) dar, in dem z.B. der Rotationseinfluß vernachlässigt wird. Hier müssen die Bemühungen weitergehen, geeignete Kriterien zu finden, die sich für den Helmtest in Meßgrößen darstellen lassen. HIC* (Head Injury Criterion), als Maß für den zentralen Stoß (und damit ebenfalls ein linearer Ansatz) entwickelt und vielfach zur Beurteilung gefordert, erscheint für die Komplexität der Vorgänge in unterschiedlichen Anprallsituationen ebenfalls ein zu einfaches und damit ungeeignetes Kriterium zu sein. Hier ist von seiten der biomechanischen Forschung noch einiges an Beiträgen zu leisten.

Die numerische Behandlung der Energiedissipation soll in einem laufenden Forschungsprojekt auf zwei Arten durchgeführt werden, erstens mit einem Finite-Element-Programm, das auf der FE-Steifigkeitsmethode aufgebaut ist und in dem folgende Problemlösungen möglich sind.

- Aufschlagprobleme,
- große Verschiebungen, Rotationen und Drehungen,
- hohe nichtlineare Beschreibung der Stoffgesetze,
- elastomere Bruchmechanik, angerissene Schalen,
- Elasto-Visko-Plastizität.

Als Erregerfunktion dienen gemessene Stoßfunktionen. Zur Minimierung der Belastung im Schädelbereich werden im ersten Schritt die Parameter Schalendicke und Dichte der Stoßpolsterung eines Polycarbonat-/Polystyrolhelmes variiert. Zweitens werden parallel "Trendrechnungen" mittels Übertragungsmatrizen durchgeführt. Damit sollen die Einflüsse der Parameter studiert werden und weiterhin die bei hohen nichtlinearen Problemen besonders rechenintensiven Finiten Elemente entlastet werden.

5. Fragen der Alterung der Schalenwerkstoffe

Neben der Gewährleistung der Schutzwirkung im Anlieferungszustand des Helmes ist auch eine ausreichende Schutzwirkung nach einer definierten Tragezeit zu fordern. Die im Rahmen des Testverfahrens nach ECE 22 geforderte Prüfung auf Alterung des Schutzhelms (48 Stunden lang der UV-Bestrahlung einer 125 W Xenon-Lampe im Abstand von 25 cm ausgesetzt, danach Stoßdämpfungsprüfung), wird von den Experten allgemein als zu milde beurteilt, da die Bestrahlung nur einer Sonneneinstrahlung von wenigen Stunden Dauer entspricht. Um jedoch den Test auf Alterung praxisnäher zu gestalten, ist sowohl die Erarbeitung eines geeigneten Testverfahrens als auch die Kenntnis geeigneter Beurteilungsgrößen für das Bestehen des Tests notwendig. Bezüglich des Testverfahrens lassen sich grundsätzlich zwei Wege verfolgen:

- Prüfung des bewitterten Schutzhelms
- Prüfung an einer bewitterten Materialprobe.

Bei der Prüfung des Gesamthelms, die als objektivste Prüfung zur Beurteilung des Bewitterungseinflusses angesetzt werden kann, ist zu beachten, daß dieses Prüfverfahren auch unter zeitraffenden Bedingungen (ca. 1000 Stunden) sehr aufwendig ist. Probenuntersuchungen haben den Vorteil, daß sie unabhängig vom eigentlichen Helmtest in einer großen Charge durchgeführt werden können. Hier müssen dann jedoch noch Kriterien für die Prüfung der Proben (z.B. Durchstoßtest) festgelegt und Fragen der Übertragung der an den Proben gewonnenen Ergebnisse auf den Helm mit beantwortet werden.

$$* \text{HIC} = \left[\frac{1}{\Delta t} \int a(t) dt \right]^{2,5} \Delta t$$

Aus der Kunststoffprüfung liegen zahlreiche Kenntnisse darüber vor, wie sich die Werkstoffe nach definierter Freibewitterung verhalten. Als erstes soll dies in Bild 10 am Beispiel der Beurteilungsgröße "Glanz", die sich mit der Außenlagerung verändert, dargestellt werden. Für die häufig verwandten thermoplastischen Kunststoffe (die im wesentlichen von Alterungsfragen betroffen sind) Polycarbonat, Polyamid und ABS zeigt sich bei dem letztgenannten ein deutlicher Abfall nach einer Bewitterungszeit um 1000 Stunden. Die optische Beurteilung muß jedoch mit Festigkeitswerten verglichen werden. Dies soll am Beispiel der in Bild 11 dargestellten Reißdehnung gezeigt werden. Das ABS zeigt auch hier nach 1000 Stunden Einsatzzeit einen starken Abfall der Dehnwerte, die auch für andere mechanische Prüfungen, wie z.B. die auf Schlagzugfähigkeit, Bedeutung haben. Hier können jedoch nur Tendenzen dargestellt werden, die sich in der praktischen

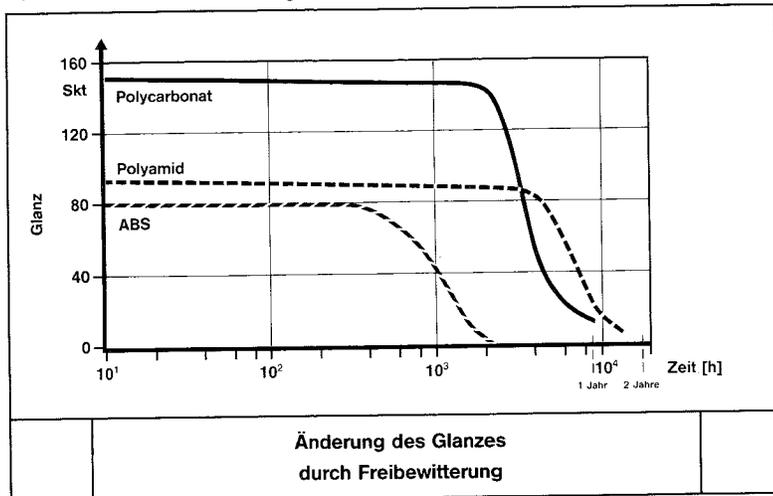


Bild 10

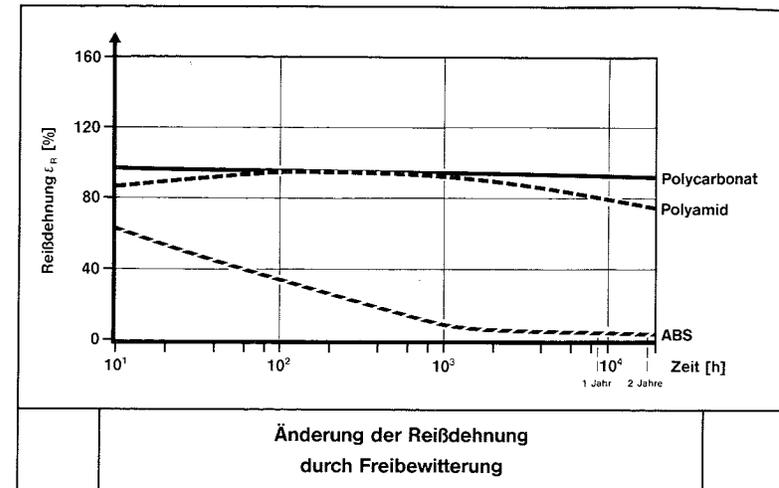


Bild 11

Kunststofftechnologie durch den Einsatz von Stabilisatoren noch beeinflussen lassen. Grundsätzlich ist jedoch derzeit der Einsatz von ABS als problematisch einzustufen. Die Beurteilungsgröße "Glanz" läßt sich mit den Festigkeitswerten nicht eindeutig korrelieren und ist damit keine taugliche Größe.

6. Schlußbemerkung und Projektion der möglichen Anwendung auf das Regelwerk

Die Grundanforderungen an den Schutzhelm sind im Europäischen Regelwerk ECE 22 festgehalten. Ansätze zur Optimierung der Schutzwirkung sollten deshalb auch gleichzeitig einen Vorschlag für die mögliche Änderung des Testverfahrens beinhalten. Für die Verbesserung der Energieabsorption könnten das, nachdem man die ablaufenden Wirkmechanismen studiert und optimiert hat, bedeuten, daß anstatt einer punktuellen Prüfung eine Kennlinie geprüft wird.

Bei der Formulierung von hohen Anforderung an die Kennlinie (Schutzwirkung im Bereich $\ll 7$ und $\gg 7$ m/s) kann das für den Aufbau der Stoßpolsterung dazu führen, daß schalenförmige oder differenziert geschäumte Lösungen notwendig werden. Auch vollplastische Deformationselemente mit linearer Kennung sind denkbar.

Das Regelwerk als Stand der Technik wird laufend überarbeitet. Die aktuelle Überarbeitung (zu einer Änderungsserie 03) betrifft folgende wichtige Punkte:

- die Einbeziehung des Visiers in die Prüfung
- die Vereinheitlichung der Verschlusssysteme zur Verbesserung der Situation im Rettungsfall
- Einführung eines Abstreiftests für die Schutzhelme.

Die Notwendigkeit der Vereinheitlichung der Verschlusssysteme und Maßnahmen zur Verhinderung der Helmabschleuderung sind auch Anregungen aus den Unfallanalysen. Darüber hinaus sind weitere Vorschläge in der Diskussion. Beispielfhaft sind hier zu nennen:

- die Einführung verschärfter Anforderungen bezüglich des Alterungsverhaltens der Werkstoffe, die aus dem oben diskutierten Verhalten der Thermoplaste abzuleiten sind
- die Einbeziehung des Kinnbügels von Integralhelmen in das Testverfahren zur Stoßabsorption.

Der nach ECE 22 getestete Helm stellt einen Kompromiß dar zwischen einer möglichen Optimierung für eine einzelne Anprallsituation und einer breitgefächerten Anwendung bezüglich aller im Unfallgeschehen denkbaren Anprallkonstellationen. Mit dem vorhandenen Regelwerk scheint dieser Kompromiß trotz notwendiger Verbesserungen gelungen.

Literatur

- (1) Beier, G.: Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Forschungsbericht der Bundesanstalt für Straßenwesen 1985, Teil I, Nr. 114.

Schüler, F.: Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen 1985, Teil II, Nr. 114.

- (2) Otte, D.: Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen 1985, Nr. 113.

- (3) Jessl, P.: Schutzhelme für motorisierte Zweiradfahrer, Forschungsberichte der Bundesanstalt für Straßenwesen 1983, Nr. 91.

**Der Schutzhelm
als passives Sicherheitselement —
Anforderungen an künftige Entwicklungen
aus Sicht der Unfallforschung**

Jürgen Grandel
Dieter Schaper

1. Überblick

Die negative Entwicklung des Unfallgeschehens mit Beteiligung motorisierter Zweiräder veranlaßte Gesetzgeber und Unfallforscher, Ursachen zu ergründen und Gegenmaßnahmen zu entwickeln.

Grundsätzlich führt die Analyse des realen Unfallgeschehens retrospektiv und vor Ort zu Erkenntnissen über die Folgen des Ist-Zustandes der aktiven und passiven Sicherheit im System Fahrer - Fahrzeug - Umwelt. So werden Grenzen der menschlichen Leistungsfähigkeit und das Fehlverhalten offengelegt, technisches Versagen dokumentiert und negative Einflüsse der Umwelt aufgezeigt. Gleichzeitig bietet die Unfallanalyse Ansätze zur Weiterentwicklung der sicherheitsrelevanten Systemkomponenten. Dem Schutz des Menschen muß dabei besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden.

Nach heutigen Erkenntnissen ist der Schutzhelm als wirkungsvolles passives Sicherheitselement nicht umstritten. Dies drückt sich auch in der gesetzlichen Vorschrift zum Tragen von Schutzhelmen für Fahrer und Mitfahrer von Krafträdern, Mopeds, Mopeds und Mofas aus. Neuere Erkenntnisse aus der Unfallforschung zeigen jedoch, daß die Optimierung der Schutzwirkung weiterverfolgt werden muß. Der vorliegende Bericht soll weitere Forschungsergebnisse in die Diskussion einbringen.

2. Problematik der Anforderungen an die Schutzwirkung von Helmen

Die Anforderungen an die Qualität der Helme sind noch nicht in ein Gesetz - hier die StVZO - eingebunden. Auch wenn dieser Schritt vollzogen sein wird, bezieht sich der Gesetzgeber auf einen technischen Standard, der wiederum von Fachleuten entworfen wurde und jeweils neuen Erkenntnissen anzupassen ist.

Für die Bundesrepublik Deutschland sind derzeit zwei technische Standards, die DIN-Norm 4848 "Kraftfahrer-Schutzhelme" und die ECE-Regelung R 22-02 "Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Schutzhelme für Fahrer und Mitfahrer von Krafträdern, Fahrrädern mit Hilfsmotor und Mopeds" gegeben.

Die Normen beschreiben Anforderungen an die Schutzwirkung von Helmen, zum Beispiel die Stoßdämpfung, die Durchdringungsfestigkeit, die Gestaltfestigkeit und die Trageeinrichtung. Standardisierte Typprüfungen sollten im Idealfall die Realität des Unfallgeschehens hinsichtlich der Beanspruchung von Schutzhelmen und der sinnvollen, das heißt erfolgversprechenden Schutzwirkungsmaßnahmen in ihren Prüfvorschriften abdecken.

Das vorliegende Regelwerk ECE R 22-02 enthält schon sehr weitreichende Prüfvorschriften, die zu Helmen mit einer wesentlichen Schutzwirkung führen. Insbesondere zum Prüfkriterium "Stoßdämpfung" bestehen aber in Fachkreisen Zweifel, ob der sogenannte "Doppelschlag" eine geeignete Prüfvorschrift zur Durchsetzung optimaler Stoßdämpfung darstellt. Die ECE-Prüfung schreibt für die Aufschlagpunkte vor, daß derselbe Helm jeweils an zwei Punkten, die nur 15 mm +/- 5 mm auseinander liegen dürfen, zuerst auf den flachen und danach auf den halbkugelförmigen Sockel fallen muß. Die Geschwindigkeit des Prüfkopfes und des Helmes unmittelbar vor Aufschlag muß für den flachen Sockel ca. 25,2 km/h und für den halbkugelförmigen Sockel ca. 21,6 km/h betragen. Ein Helm gilt hinsichtlich der Stoßdämpfung als zufriedenstellend, wenn während einer gesamten Zeitdauer von höchstens 5 ms die am Schwerpunkt des Prüfkopfes resultierende Beschleunigung 150 g, in keinem Fall aber 300 g übersteigt.

Der Doppelschlag und auch die Form der Aufprallkörper können nicht aus dem Unfallgeschehen abgeleitet werden. Dies muß aber nicht zwangsläufig zu Helmen führen, die den Anforderungen der Unfallrealität nicht genügen. Ausgehend von realen Unfällen, Simulationen von Zweirad-/Pkw-Unfällen und Schutzhelmuntersuchungen wird deshalb die Frage der Notwendigkeit einer Optimierung der Stoßdämpfung von Helmen untersucht.

3. Versuchsprogramm und Versuchsaufbau

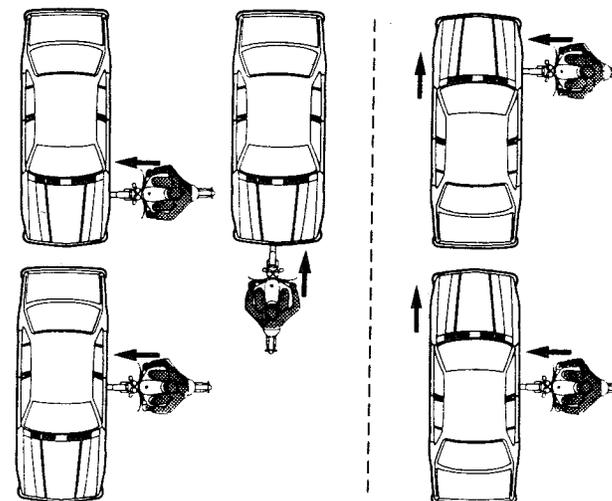
Die Analyse realer Unfälle zeigt, daß Kreuzungs- und Gegenverkehrsunfälle im Zweirad-Pkw-Unfallgeschehen dominieren. Besonders gefährdet ist der Kopf des unfallbeteiligten motorisierten Zweiradfahrers. Erhebungen am Unfallort [Otte, 1982 (1)] ergaben, daß 60% aller Zweiradbenutzer Kopfverletzungen mit einem mittleren Verletzungsschweregrad $AIS_m = 2,4$ aufwiesen.

Die Auswertung von ca. 300 Anstoßstellen am Helm, die der Unfallanalyse entnommen wurden, belegt, daß der Stirnbereich und

die Gesichtspartie jeweils mit 30% aller Aufschläge am häufigsten betroffen waren [Jessl, 1984 (2)].

3.1 Unfallsimulation

Die Simulation der wichtigsten Unfalltypen wurde aufbauend auf die Ergebnisse der Unfallanalyse angelegt, Bild 1.



PKW steht

$$v_{KZ} = 50 \dots 70 \text{ km/h}$$

PKW bewegt

$$v_{KZ} = 46 \dots 77 \text{ km/h}$$

$$v_{KP} = \frac{1}{2} \cdot v_{KZ}$$

Bild 1: Übersicht zu den Anstoßkonstellationen bei den Unfallsimulationen mit Anstoß des Zweirades gegen stehende oder bewegte Personenkraftwagen

Die Zweiräder werden in einem Beschleunigungsschlitten geführt, Bild 2. Dieser Schlitten fixiert das Zweirad mit dem Dummy während des Beschleunigens bis zum Erreichen der Kollisionsgeschwindigkeit und wird kurz vor der Kollision abgebremst, wobei sich Zweirad und Dummy vom Schlitten lösen und mit konstanter Geschwindigkeit weiterbewegen bis zur Kollision mit dem Pkw, Bild 3.

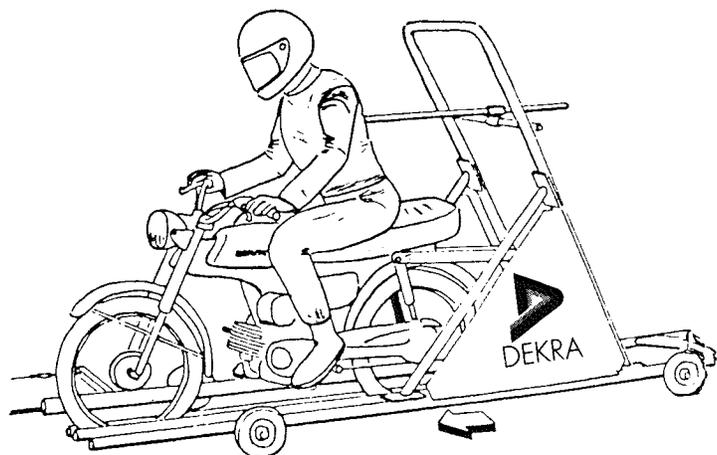


Bild 2: Zweirad-Beschleunigungsschlitten

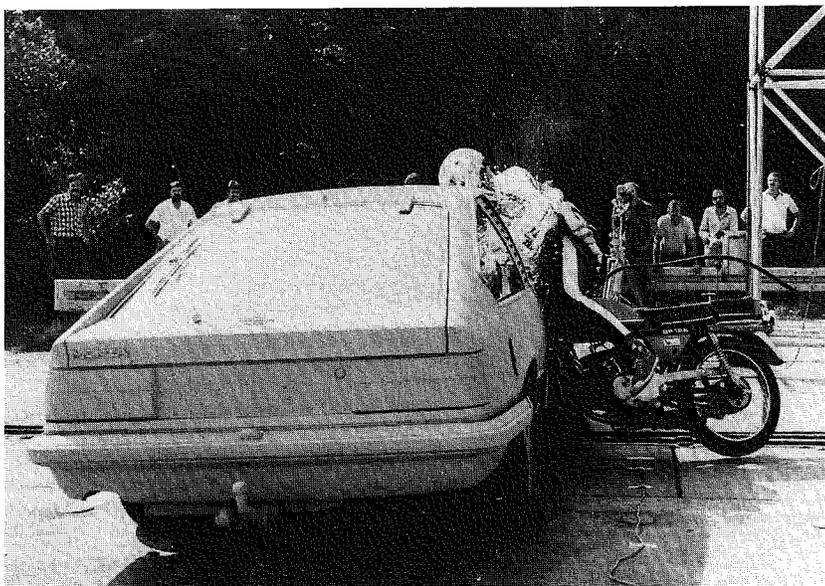


Bild 3: Beispiel einer Kollision Zweirad gegen stehenden Pkw, Kollisionsgeschwindigkeit 50 km/h

Für die Versuche zur Messung der resultierenden Kopfbeschleunigungen beim Aufprall wurde ein 50%-Hybrid-II-Fußgängerdummy (ähnlich ATD Part 572) - beim Anprall gegen stehenden Pkw ausgerüstet mit dreiaxialen Beschleunigungsaufnehmern - verwendet. Der Helm wurde nach jedem Versuch gegen einen neuen

ausgetauscht, um jeweils gleiche Versuchsbedingungen zu realisieren. Zur Dokumentation des Aufprallablaufes waren Hochgeschwindigkeitsfilmkameras eingesetzt.

Die Unfallsimulationen wurden in zwei Gruppen durchgeführt, Bild 1:

- Zweirad gegen stehenden Pkw
- Zweirad gegen bewegten Pkw

Die Kollisionsversuche gegen stehende Pkw fanden auf dem Gelände des Sicherheitszentrums der Adam Opel AG in Rüsselsheim statt. Die Zweiräder prallten jeweils rechtwinklig gegen die Personenwagenseite im Bereich der Vorderachse und der Fahrer- bzw. Beifahrertür sowie zentrisch gegen die Pkw-Front.

Die Kollisionsversuche gegen bewegte Pkw wurden in Zusammenarbeit mit der Winterthur-Versicherung in der Schweiz durchgeführt. Die Kollisionskonstellationen beim Seitenaufprall entsprechen jenen gegen stehende Pkw. Die Geschwindigkeit des Pkw im Moment des Zweirad-aufpralles war auf halbe Zweiradgeschwindigkeit eingestellt.

3.2 Laborversuche

Aus den Unfallsimulationen konnten Aufprallkontaktzonen des Kopfes mit dem Fahrzeug abgeleitet werden. Zur systematischen Untersuchung der Kopfbelastung der Zweiradfahrer unter reproduzierbaren Laborbedingungen ergänzten Pendelschlagversuche die Unfallsimulationen. Zur Aufnahme des Helmes diente ein 50%-Hybrid-II-Dummy-Kopf, der an einem Pendel gemäß ECE-Entwurf befestigt war, Bild 4. Das Pendel schlug - vergleichbar dem realen Unfallablauf - den Kopf mit Helm gegen steife Flächen und Dachkantenabschnitte, und zwar mit den in der Unfallsimulation beobachteten Helmaufprallbereichen. Die maximale Aufprallgeschwindigkeit des Kopfes betrug entsprechend der Pendelkonstruktion 32 km/h. Weitere Versuche dienten der Untersuchung der Energieaufnahme von Helmen, die zu diesem Zweck mit der Seite gegen die steife Unterlage prallten. Hierzu wurden zum Vergleich in einige Helme auch alternative Dämpfungsmaterialien eingefügt.

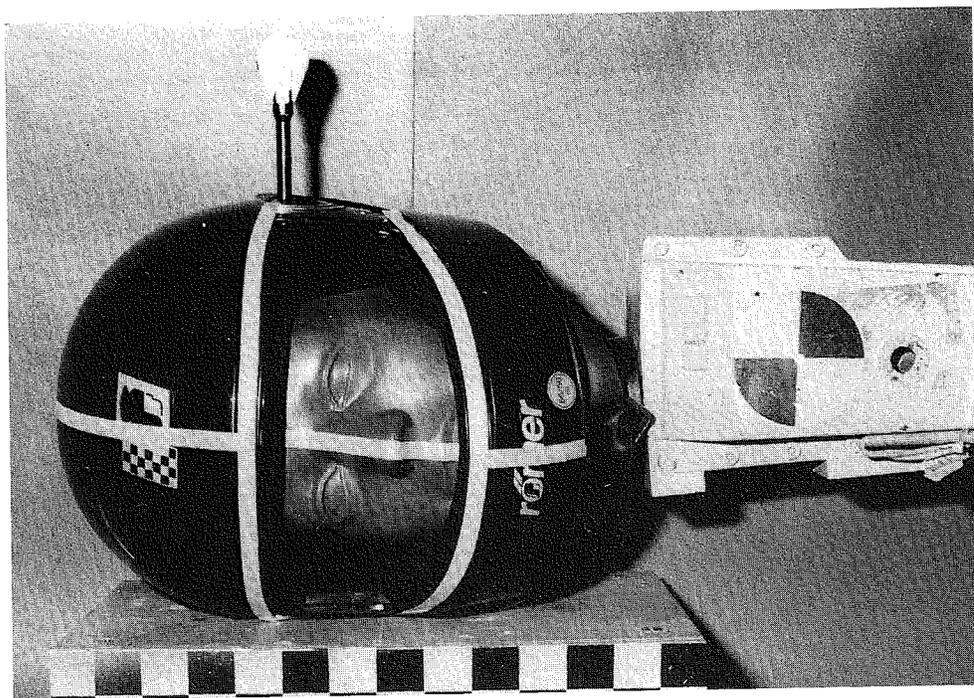


Bild 4: Pendel mit Dummykopf und Helm als Aufpralltesteinrichtung, $m = 9,2 \text{ kg}$, $v = 32 \text{ km/h}$ (Helm Römer RS)

4. Versuchsergebnisse

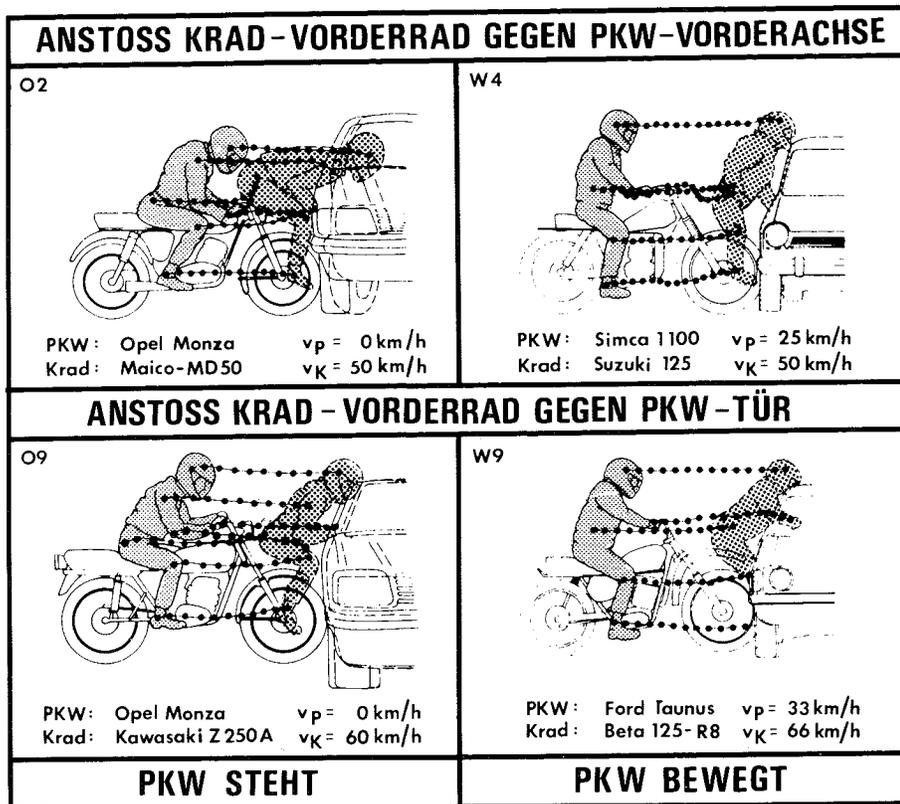
4.1 Unfallsimulation

Zunächst werden die Kopfanprallstellen beim Erstkontakt zwischen Dummykopf und Pkw untersucht. Der ungefähr mit Kollisionsgeschwindigkeit aufprallende Kopf führt zum Kontakt des Schutzhelmes im Kinnbereich, Visierbereich und Stirnbereich. Wie die Hochgeschwindigkeitsfilmauswertung gezeigt hat, ist diese Schutzhelmbbeanspruchung unabhängig davon, ob der Pkw im Moment des Dummyaufpralles steht oder wie bei diesen Versuchen mit halber Zweiradaufprallgeschwindigkeit fährt.

Bei der rechtwinkligen Kollision des Zweirades gegen Front, Vorderachsbereich oder Türbereich des stehenden Pkw wird der Frontbereich des Zweirades "geradlinig" zusammengedrückt, wobei sich der Dummy relativ zum Zweirad erst dann nach vorne bewegt, wenn diese Frontdeformation schon nahezu abgeschlossen ist. Entsprechend der Fahrtrichtung vor Kollision prallt der Dummy deshalb ebenso rechtwinklig gegen den Pkw, und zwar je nach Kollisionskonstellation gegen die Motorhaube, die Dachkante, das Dach oder das Glas von Türen oder Windschutzscheiben.

Bewegt sich der Pkw bei rechtwinkliger Kollision des Zweirades gegen Vorderachs- oder Türbereich, so wird das Zweiradvorderrad in Bewegungsrichtung des Pkw weggedrückt, legt sich quer an den Pkw an und der Frontbereich des Zweirades verformt sich, ohne daß in der eigentlichen kurzzeitigen Kollisionsphase das Zweirad aus seiner ursprünglichen Fahrtrichtung abweicht. Entsprechend bewegt sich auch der Dummy geradlinig vor bis zum Kontakt mit dem Pkw, der damit in der entscheidenden Belastungsphase dem Kontakt mit stehendem Pkw entspricht.

Befindet sich die Anprallstelle am Pkw im Vorderachsbereich nahe der Fahrgastzelle, kann infolge der Eigenbewegung des Pkw die Kontaktzone von der Motorhaube (wie bei stehendem Pkw zu erwarten) an die A-Säule oder den Dachbereich verlagert werden. Bild 5 zeigt beispielhaft vier Bewegungsstudien mit Kontaktzonen Kopf/Pkw bei stehendem und bewegtem Pkw im Vergleich.



$$HIC = \left[\frac{1}{t_2 - t_1} \cdot \int_{t_1}^{t_2} a_{res} \cdot dt \right]^{2,5} \cdot (t_2 - t_1)$$

Nach heutigen Erkenntnissen ist ein HIC 1.000 überlebbar, wobei diskutiert wird, ob dieser Grenzwert bis 1.500 erweitert werden kann. Bezüglich der maximalen ertragbaren resultierenden Kopfverzögerungen wird bei dem Hybrid-II-Dummy in der Automobil-Sicherheitsforschung von 80 g über 3 ms Wirkdauer ausgegangen. Die ECE-Regelung 22-02 schreibt als Grenzwerte für den dort verwendeten Prüfkopf und Sockelaufschlag 150 g und 5 ms Wirkdauer bzw. maximal 300 g vor. Ein vergleichender Zusammenhang zwischen den unterschiedlichen Bewertungskriterien ist derzeit noch nicht hergestellt.

Die Kopfbelastungen sind nach der Aufprallzone am Pkw unterscheidbar. Die geringsten Belastungen ergaben sich beim Aufprall des Kopfes auf die Mittelzone der Motorhaube in der Simulation des Gegenverkehrsunfalles mit Aufprallgeschwindigkeit 50 km/h, Bild 6.

Bild 5: Vergleich der Kopfanprallstellen bei bewegtem und stehendem Pkw

Erst nach dem Anliegen des Dummies am Pkw konnte eine entsprechende Drehung des Körpers um seine Hochachse in Fahrtrichtung Pkw festgestellt werden, die sehr ausgeprägt war. Dabei drehte sich auch der Dummykopf zur Seite, und Sekundärstöße des Helmes mit seiner Rückseite gegen den Pkw waren die Folge. Wie erwähnt, war der Dummy bei den Versuchen gegen stehende Pkw unter anderem im Kopf mit dreiaxialen Beschleunigungsaufnehmern ausgerüstet. Aus den jeweils gemessenen Richtungswerten wurde die resultierende Kopfverzögerung bestimmt. Zur Bewertung der Kopfbelastung kann zusätzlich das Head Injury Criterion (HIC) herangezogen werden:

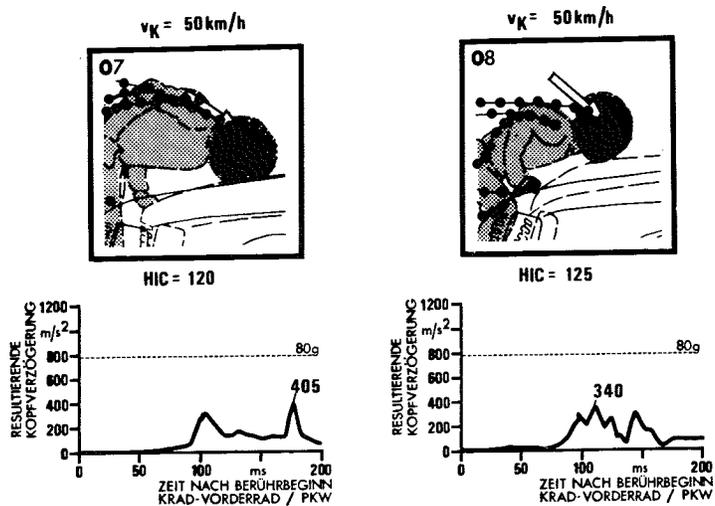


Bild 6: Unfallsimulation Gegenverkehr, Kopfaufprall auf Motorhaube, Kollisionsgeschwindigkeit 50 km/h, Helme Römer 59/60

Die maximalen resultierenden Kopfverzögerungen und HIC-Werte liegen weit unter den kritischen Werten.

Größere Belastungen treten beim Seitenanprall mit 50 km/h gegen die Randzone der Motorhaube, den Dachbereich und den Glasbereich auf, Bild 7.

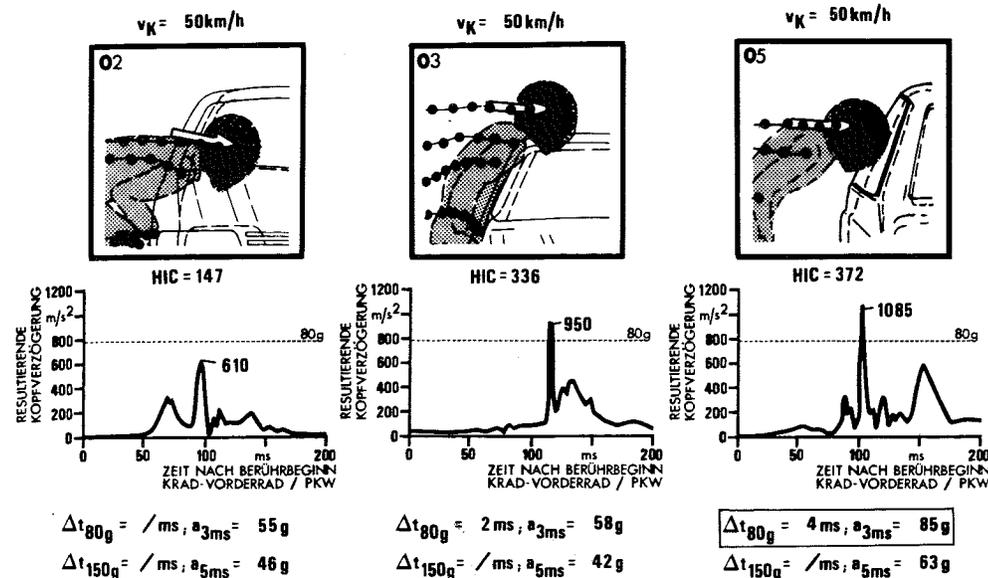


Bild 7: Unfallsimulation Kreuzungsunfall, Kopfaufprall auf Randzone der Motorhaube, Dachbereich und Glasbereich, Kollisionsgeschwindigkeit 50 km/h, Helme Römer 59/60

Der seitliche Motorhaubenanprall ist noch unterkritisch (55 g bei 3 ms, 46 g bei 5 ms). Beim Dachanprall wird der 80-g-Wert überschritten, jedoch nur für 2 ms (58 g bei 3 ms, 42 g bei 5 ms). Beim Anprall gegen die Seitenscheibe wirkt die resultierende Verzögerung über 80 g mit 4 ms länger als der kritische 3-ms-Wert (85 g bei 3 ms, 63 g bei 5 ms). In keinem Fall werden also die ECE-Werte bei diesen drei seitlichen Kollisionen erreicht oder überschritten.

Schließlich werden vier überkritische Kopfanstöße gegen die Dachkante dargestellt, Bild 8. Die HIC-Werte liegen weit über dem Grenzwert 1.000. Auch die Einwirkung der 80-g-Verzögerung überschreitet jeweils 3 ms.

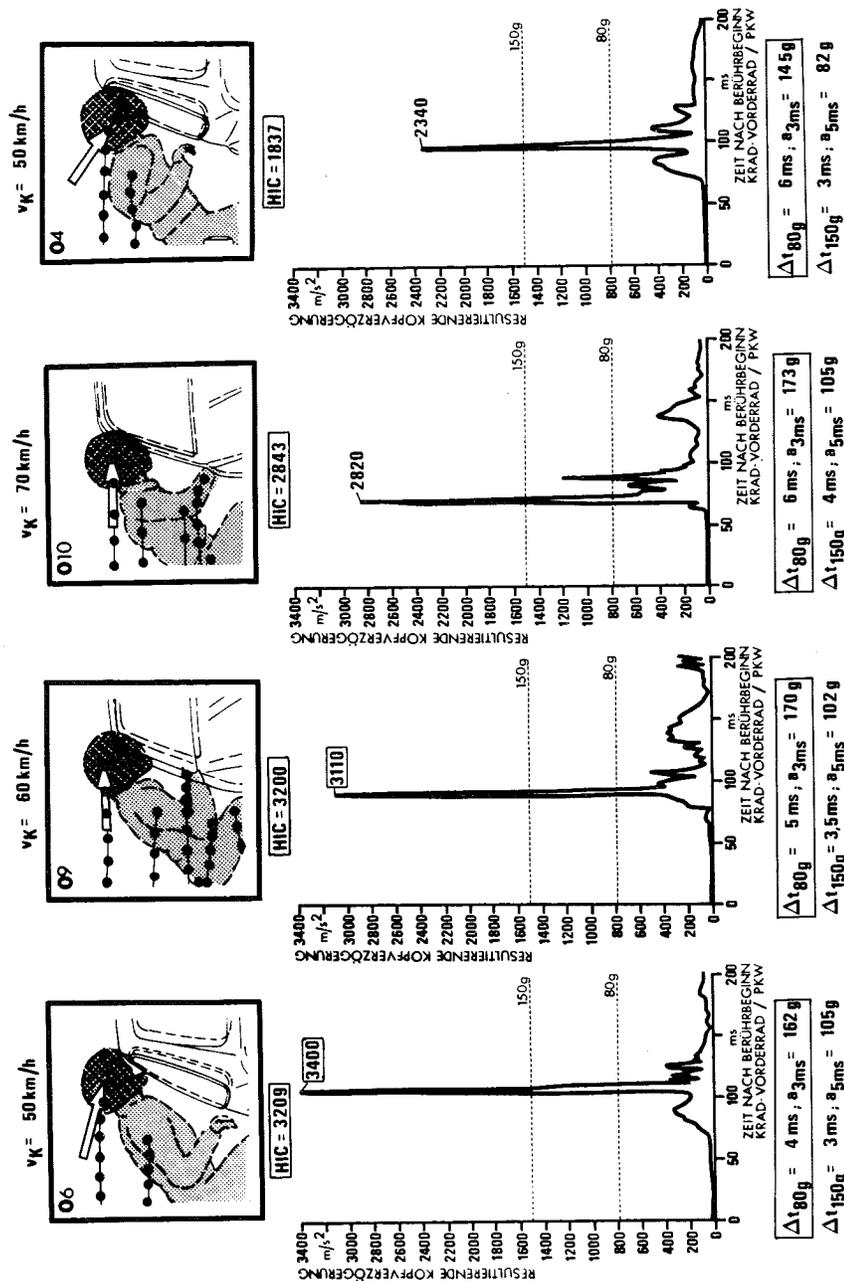


Bild 8: Unfallsimulation Kreuzungsunfall, Kopfaufprall Dachkante, Kollisionsgeschwindigkeiten 50, 60 und 70 km/h, Helme Römer 59/60

Die Einzelwerte sind jeweils dem Bild 8 zu entnehmen, wobei - wie bei allen Bildern - eingerahmte Werte die Überschreitung der jeweiligen Grenzbedingung anzeigen. Beide Kriterien führten unter Zugrundelegung der Erkenntnisse für den Hybrid-II-Dummy zur eindeutigen Aussage, daß diese Kopfbelastungen nicht überlebar sind.

Noch ungeklärt ist dagegen die Wertung bezüglich der ECE-Kriterien, die - wie schon erläutert - nicht aus den Unfallsimulationen abgeleitet wurden, sondern sowohl im Hinblick auf die Prüfköpfe als auch auf die Sockelformen, auf die die Schutzhelme aufprallen, eigenständige Prüfbedingungen darstellen. Gemessen an den ECE-Kriterien ist bei keinem der Helme die maximale 150-g-Wirkdauer von 5 ms überschritten worden. Bei den beiden Helmen, die im oberen Stirnbereich gegen die Dachkante schlugen (Versuch 04 und 010) ist auch die zweite ECE-Bedingung, nach der 300 g maximale Verzögerung nicht überschritten werden dürfen, eingehalten worden. Bei den Helmbelastungen im Visierbereich (Versuche 06 und 09) liegen diese maximalen Verzögerungen allerdings über dem Grenzwert 300 g.

Diese Bewertungsunsicherheiten können beseitigt werden, wenn die verschiedenen Prüfbedingungen und die Prüfkörper nach weiteren Versuchen vergleichend in Beziehung zueinander gebracht sind.

Wie sich aus den Unfallsimulationen ergibt, ist der Visieranprall der ungünstigste Belastungsfall, wobei die Anprallgeschwindigkeit alleine nicht dominiert. Die Helmbelastung im Visierbereich (Versuch 06) mit Kollisionsgeschwindigkeit 50 km/h ist größer als die im Stirnbereich (Versuch 010) mit 70 km/h.

4.2 Laborversuche

Aus Gründen der Reproduzierbarkeit der Versuchsergebnisse wurde für die Laborversuche die oben genannte Versuchsanordnung gewählt, bei der ein Hybrid-II-Dummykopf mit Helm auf eine steife Platte geschlagen wird. Verglichen werden die aus den Unfallsimulationen abgeleiteten Helmbelastungen Stirn-, Visier- und Kinnanprall. Als Vergleichsbasis wurde der Seitenanprall gewählt, weil die damit gewonnenen Basiskennwerte nur geringfügig streuen und außer den Einflüssen des Helmanprallortes auch Einflüsse der Helmgröße bzw. der Dicke des Stoßdämpfungsmaterials sowie alternative Stoßdämpfungsmaterialien in geeigneter Weise dargestellt werden können.

Bild 9 zeigt die Ergebnisse der Basisversuche (links) sowie den Einfluß des Helmanprallortes auf HIC und Kopfbelastungen.

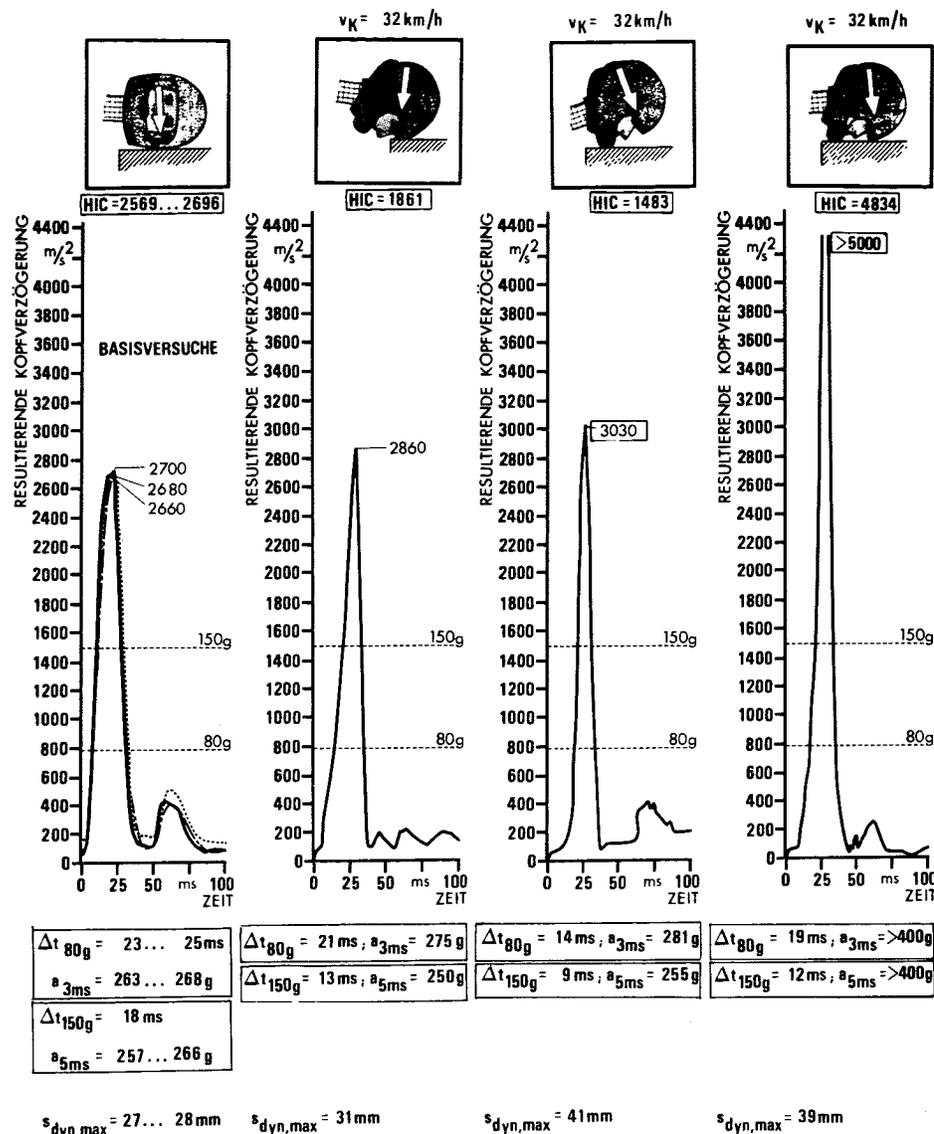


Bild 9: Einfluß des Helmanprallortes auf die resultierenden Kopfverzögerungen, HIC-Werte und dynamischen Helmverformungen (Helme Römer RS XS 55/56)

Die Basisversuche zeigen gute Übereinstimmung bei dreifacher Versuchswiederholung. Die HIC-Werte streuen von 2.569 bis

2.696, die maximalen Verzögerungen von 271 g bis 275 g und die dynamische Helmverformung von 27 bis 28 mm. Die dynamische Helmverformung gibt den relativen Weg des Dummykopfes von Berührungsbeginn des Helmes auf der Platte bis zur maximalen Eindrückung der Dämpfungsschicht - hier des Styroporeinsatzes - an.

Die 80-g-Schwelle wird 23 bis 25 ms lang überschritten, die 150-g-Schwelle während ca. 18 ms (263 bis 268 g bei 3 ms, 257 bis 266 g bei 5 ms).

Obwohl die Prüfgrenzwerte damit stark überschritten werden, ist eine vergleichende Beurteilung der Belastungen bei unterschiedlichen Helmanprallorten sinnvoll. Die absolute Bewertung muß - wie bereits erläutert - nach weitergehenden Untersuchungen überdacht werden.

Wie bei den Unfallsimulationen wird auch im Laborversuch der Visieranprall als ungünstigster Fall eingestuft. Beim Kinn- und Stirnanprall treten zusätzlich starke Rotationen des Kopfes auf. Dies entspricht ebenfalls den Beobachtungen aus den Unfallsimulationen, wenn beispielsweise der Helm im Stirnbereich unten gegen die Dachkante schlägt und in Folge der Dummykopf um den Anschlagbereich drehend gegen die Seitenscheibe und in den Fahrzeuginnenraum gedrückt wird (Situationen aus Versuchen 04 und 010 im Bild 8).

Im Bild 10 sind die Meßergebnisse aus Schlagversuchen mit Helmen verschiedener Größen im Vergleich zu den Basisversuchen dargestellt. Insbesondere der Einfluß auf die resultierenden Kopfverzögerungen ist markant. Die Größe LM weist ca. 1,3 mal, die Größe XL ca. 1,7 mal höhere maximale resultierende Kopfverzögerungen aus als die Basisgröße XS, und zwar unter ansonsten identischen Versuchsbedingungen. Das Prinzip, gleiche Helmschalen für unterschiedliche Kopfgrößen zu verwenden, geht also zu Lasten der Schutzwirkung, da die Dämpfungsschicht für größere Kopfgrößen zwangsläufig dünner gestaltet werden muß.

Bisher wurden Untersuchungsergebnisse dargelegt, die auf Versuchen mit Helmen basierten, die aus der Serienfertigung herausgenommen wurden und heutigem Stand entsprechen. Mit den folgenden Darlegungen soll ein Weg aufgezeigt werden, in welcher Richtung künftige Helmentwicklungen modifiziert werden könnten, um die Schutzwirkung zu verbessern. Voraussetzung hierzu wäre allerdings, daß auch die Prüfkriterien modifiziert werden, denn die alternativen Dämpfungsmaterialien verdienen den Abbau der Verzögerungsspitzen einer größeren Nutzung des Verformungsweges beim primären Anprall. Der "Doppelschlag" steht dieser Nutzung bisher entgegen.

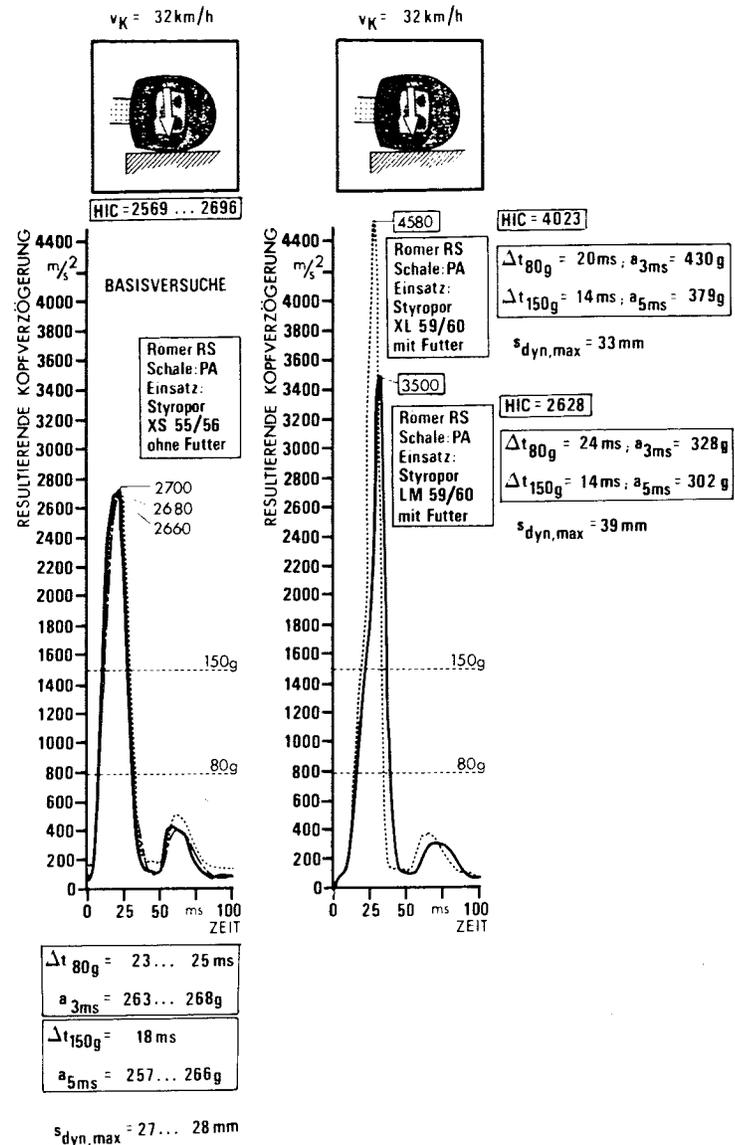


Bild 10: Einfluß der Helmgröße auf die resultierenden Kopfverzögerungen, HIC-Werte und dynamischen Helmverformungen (Helme Römer RS XS 55/56, RF LM 59/60 und RF XL 59/60)

Im Bild 11 wird der Einfluß des Dämpfungsmateriales auf die maximalen resultierenden Kopfverzögerungen, die HIC-Werte und die dynamischen Helmverformungen dargestellt. In jeweils zwei Helmen wurde statt des üblichen Styroporeinsatzes Polyurethanschaum und Hexcel (Material mit hexagonalem Zellaufbau - Wabenstruktur - aus Aluminiumfolie) gleicher Dicke wie das Styropor verwendet.

Polyurethan reduziert die maximale resultierende Kopfverzögerung um durchschnittlich 14% bei leichter Erhöhung des dynamischen Verformungsweges. Hexcel führt zu einer entsprechenden Reduzierung der Kopfverzögerung von durchschnittlich 35% bei Erhöhung des dynamischen Verformungsweges um ca. 10 mm gegenüber den Basiswerten.

Um den Helmschutz zu verbessern, könnte daher EA-Material der oben erwähnten Charakteristik verwendet werden. Vorzusehen ist eine Materialart wie Hexcel, die für eine gegebene Dicke nahezu 90% der Verformung für eine ertragbare Kopfverzögerung nutzen kann. Styropor, PU-Schaum und Schäume im allgemeinen haben diesbezüglich eine niedrige Dickeneffektivität.

Die Dickeneffektivität charakterisiert eine spezifische dynamische Materialeigenschaft. Sie gibt den effektiven Verformungsweg bei einem gegebenen Verzögerungslimit von 800 m/s^2 an, zum Beispiel als Maximum für die Kopfverzögerung. Die Dickeneffektivität wird hergeleitet, indem Materialproben mit der potentiellen Dicke mit einem passenden Impaktor, zum Beispiel einer Kopfform, beaufschlagt werden.

Die Aufprallgeschwindigkeit wird Schritt für Schritt erhöht, bis die maximalen Verzögerungswerte den gesetzten Grenzwert deutlich überschreiten.

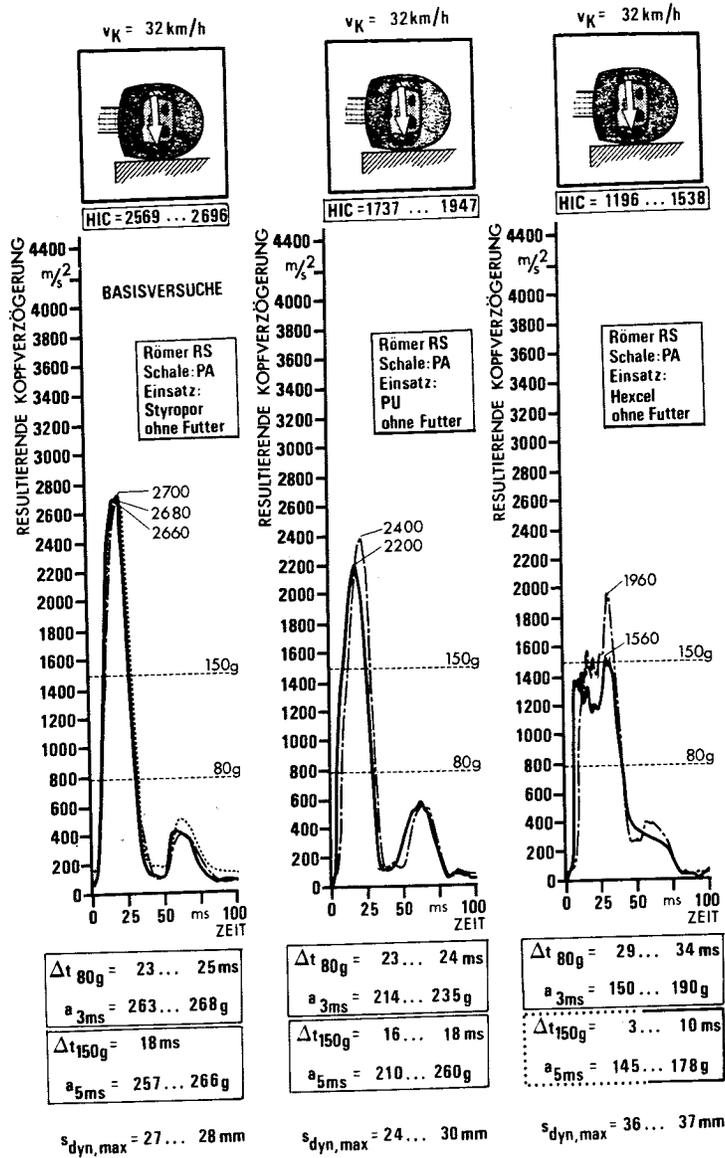


Bild 11: Einfluß des Dämpfungsmateriales auf die maximalen resultierenden Kopfbeschleunigungen, die HIC-Werte und die dynamischen Helmverformungen (Helme Römer RS XS 55/56)

Bild 12 zeigt die Ergebnisse von zwei Materialbeispielen: PU-Schaum und Hexcel.

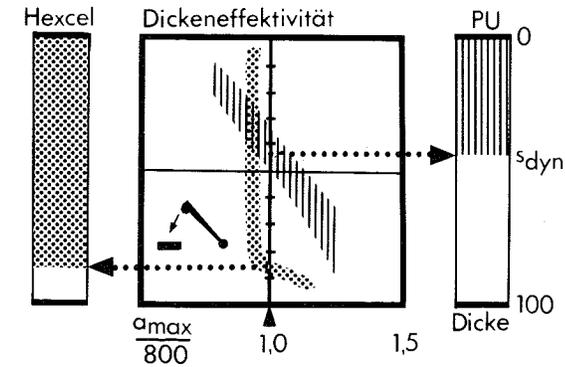


Bild 12: Diagramm der Dickeneffektivität (Quelle: Opel) Material: Hexcel und PU-Schaum

Es ist die maximale dynamische Verformung als Prozentwert der Gesamtdicke über der bezogenen maximalen Verzögerung aufgetragen. Die Verzögerung ist bezogen auf den oben angegebenen Grenzwert. Die Schnitte der eingezeichneten Felder mit der vertikalen Linie (1,0) geben die Dickeneffektivität an, die jeweils nach rechts für PU und nach links für Hexcel herausgezogen sind. Hier wird gezeigt, daß Hexcel ca. 90% seiner vorgegebenen Dicke für ertragbare Verzögerungen nutzen kann. Demgegenüber hat PU-Schaum lediglich ca. 40% des Weges anzubieten. Auf diese Art und Weise können in Frage kommende Stoßabsorptionsmaterialien im Vorfeld untersucht, beurteilt und für den Einsatz im Helm empfohlen werden.

5. Zusammenfassung und Schlußfolgerungen

Die ECE-Regelung R 22-02 beschreibt Anforderungen an die Schutzwirkung von Helmen. Insbesondere das Prüfkriterium "Stoßdämpfung" mit Doppelschlag und speziellen Aufschlagkörpern kann nicht aus dem Unfallgeschehen abgeleitet werden. Unter Einbeziehung von Ergebnissen der Unfallforschung sollte deshalb die Notwendigkeit einer Optimierung der Stoßdämpfung von Helmen und ggf. die Modifizierung der Prüfvorschriften untersucht werden.

Ausgehend von realen Unfällen wurden Unfallsimulationen mit Zweirädern, die gegen stehende und bewegte Pkw prallten, durchgeführt, die Kopfaufprallzonen analysiert und Kopfbelastungen gemessen. Die aus den Unfallsimulationen abgeleiteten Kopfaufprallkonstellationen wurden unter reproduzierbaren Laborbedingungen mittels Pendelschlagversuchen nachgestellt. Die Schutzhelmwirkung, bewertet durch resultierende Kopfverzögerungen, HIC-Werte und dynamische Helmverformungen, wurde in Abhängigkeit von verschiedenen Helmanprallorten, Helmgrößen und Dämpfungsmaterialien untersucht. Zur Bewertung der Stoßdämpfungseigenschaften von Dämpfungsmaterialien in Helmen wurde die Dickeneffektivität eingeführt.

Zunächst zeigte sich, daß die eigenständigen Prüfverfahren für Kopfbelastungen - die ECE-Stoßdämpfungsprüfung mittels spezieller Prüfköpfe und Aufschlagkörpern sowie die in der Automobil-Sicherheitsforschung (ASF) angewandte Prüfung mittels Dummy - vergleichend gegenübergestellt werden sollten, um Bewertungsunterschiede der Schutzkriterien, die sich bei mehreren Aufprallkonstellationen aus den Versuchen ergaben, beurteilen zu können.

Unterschiedliche Bewertungen ergaben sich besonders beim Stirnanprall gegen die Dachkante, bei dem HIC- und ASF-Grenzwert weit überschritten waren, dagegen die ECE-Kriterien - gemessen am Dummy - noch eingehalten wurden.

Aus Unfallsimulationen und Pendelschlagversuchen ergab sich übereinstimmend, daß der Gesichtsaufprall an Dachkanten zu den stärksten Kopfbelastungen führt. Allerdings ist zu berücksichtigen, daß die Helmanprallorte Stirn und Kinn heftige Kopftrotationen auslösen, die Verletzungen im Halswirbelbereich verursachen.

Beim Einfluß der Helmgröße auf die Schutzwirkung wirkt sich negativ auf die Kopfbelastung aus, daß bei größeren Kopfgrößen und gleicher Helmschalengröße zwangsläufig die Dämpfungsschicht dünner und die Schutzwirkung signifikant geringer wird.

Die Untersuchung alternativer Dämpfungsmaterialien wie PU-Schaum und Hexcel zeigte, daß bei Nutzung eines größeren Verformungsweges die Stoßdämpfung erheblich verbessert werden kann. Maßgeblich für das Erreichen ertragbarer Kopfverzögerungen ist insbesondere bei Hexcel die hohe Dickeneffektivität, eine spezifische Materialeigenschaft, die dazu führt, daß Hexcel ca. 90% seiner Dicke für die Stoßabsorption nutzen kann.

Für künftige Helmentwicklungen sollte daher eine konsequente Optimierung der Gestaltung der Gesichtszone, der Stoßdämpfungsschichtdicke bei unterschiedlichen Helmgrößen, der Dämpfungsmaterialien und ihrer Dickeneffektivität und die Modifizierung der Prüfkriterien für die Schutzwirkung angestrebt werden.

Literatur

- (1) Otte, D. et al.: Erhebungen am Unfallort. Unfall- und Sicherheitsforschung Straßenverkehr, 1982, Heft 37.
- (2) Jessl, P.: Kraftfahrer-Schutzhelm aus heutiger Sicht. Vortrag beim VDI-Arbeitskreis Fahrzeugtechnik, Battelle-Institut e.V., Frankfurt am Main, 1984.

Untersuchungen an Motorradhelmen im Windkanal

Wilfried Berge

Untersuchungen an Motorrad-Helmen im Windkanal

Bei der Konstruktion von Motorrad-Schutzhelmen muß nach mehreren Gesichtspunkten vorgegangen werden. Ein Kriterium dabei ist die bekannte Stoßdämpfungsprüfung von Helmen, früher DIN 4848, heute ECE 22/02.

Diese Prüfungen dienen dazu, daß nur solche Helme auf den Markt gebracht werden, die dem Fahrer im Falle eines Sturzes einen möglichst hohen Schutz vor Verletzungen bieten.

Dieses ist jedoch nicht das einzige Kriterium, nach dem ein Helm beurteilt werden sollte. Was nützt es dem Fahrer eines Motorrades, wenn der Helm wohl die geforderten Prüfnormen besteht, jedoch, wie man so schön sagt, nicht fahrbar ist.

Das zeigt uns, daß ein Helm, der nur nach der derzeit bestehenden Norm konstruiert ist, nicht immer der optimale Motorrad-Helm sein muß. Denn etwas, was nach keiner Norm geprüft wird, ist z.B. die Aero-Dynamik eines Helmes, die Belüftung und das Helm-Innenklima.

Es gibt heute sehr viele Helme auf dem Markt, die keineswegs nach aero-dynamischen Gesichtspunkten entwickelt worden sind. Das merkt der Fahrer jedoch erst, nachdem er den Helm gekauft hat und mit diesem Helm bei höheren Geschwindigkeiten Schwierigkeiten bekommt.

Diese Schwierigkeiten können sein: Sehr hoher Winddruck, hohe Auftriebskräfte (Steigen), große Seitenkräfte (Verdrehen), große Nickmomente, Rütteln des Helmes und z.B. auch dadurch, daß der Helm den Fahrer durch die unterschiedlichsten Geräusche vom Pfeifen bis zum Brummen (tiefes Rauschen) stark belastet.

Aufgrund dieser Erkenntnisse haben wir sehr früh angefangen, unsere Helme nicht nur nach den jeweiligen Prüfnormen zu entwickeln, sondern haben die Aero-Dynamik und damit das Fahrverhalten als ein sehr wichtiges Element angesehen, um einen guten Motorrad-Schutzhelm zu konstruieren.

Aus diesem Grunde haben wir schon im Jahre 1977 im Niedergeschwindigkeitskanal der Forschungsanstalt für Luft- und Raumfahrt in Göttingen Untersuchungen durchgeführt und haben daraus erste Erkenntnisse über die aero-dynamischen Anforderungen, die an einen Schutzhelm zu stellen sind, gesammelt.

Diese Untersuchungen haben wir dann in dem Windkanal der Technischen Hochschule in Aachen, im Windkanal der Technischen Universität in München, im Forschungsinstitut für

Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren in Stuttgart und in verschiedenen anderen Kanälen fortgesetzt.

Ein Ergebnis aus diesen Untersuchungen ist z.B. unser SPEED-Helm, dem ersten Helm mit einer strukturierten Oberfläche.

Ich muß allerdings gestehen, je mehr Windkanäle von uns zu Untersuchungen herangezogen wurden, je mehr wurden wir verunsichert. Denn es hat sich dabei teilweise herausgestellt, daß die Ergebnisse der einzelnen Windkanäle untereinander nicht vergleichbar waren. Zum anderen aber auch, daß Helm-Konstruktionen, die im Windkanal ausgezeichnete CW-Werte aufwiesen, zum Motorradfahren ungeeignet waren.

Wir haben also schon sehr frühzeitig erkannt, daß auf dem Gebiet der Aero-Dynamik noch sehr viel Forschungsarbeit zu leisten ist.

Uns wurde klar, daß diese Forschungen nur in einem eigenen Windkanal geleistet werden können. In fremden Kanälen gab es außerdem die Schwierigkeit, daß Erkenntnisse, die man gewonnen hatte, nicht schnell genug verarbeitet werden konnten, z.B. weil der Windkanal nicht weiter zur Verfügung stand und auch weil wir nicht in der Lage waren, konstruktive Änderungen an Ort und Stelle vorzunehmen.

Wir sind nun seit Ende vorigen Jahres im Besitz eines eigenen Windkanals mit, wie wir meinen, für Helm-Prüfungen idealen Abmessungen. Unser Kanal besitzt eine Länge von 18,00 m, eine Freistrahlstrecke von 1,50 m und einen Düsenquerschnitt von 1,00 qm. Die Pressung in unserem Kanal beträgt 4 : 1. Wir können Geschwindigkeiten bis 215 km/h fahren.

Zu einem guten Windkanal gehört aber auch eine entsprechende Waage. Denn was nützt der beste Kanal, wenn man die auf den Helm wirkenden Strömungskräfte nicht genauestens messen und konstruktive Änderungen am Helm nicht feststellen kann.

Wir setzen daher eine externe 6-Komponenten-Waage ein, die eine Meßgenauigkeit von 0,15 o/oo aufweist. Bei den 6 Komponenten handelt es sich um den Auftrieb, die Seitenkraft, den Widerstand, das Giermoment, das Kippmoment und das Rollmoment.

Nun zu den Ergebnissen und Erkenntnissen, die wir aus den Windkanalversuchen gewonnen haben. Unsere Messungen haben gezeigt, daß der CW-Wert allein, wie man es manchmal hört und auch in Helm-Tests bewertet wurde, nichts über die Gebrauchstüchtigkeit (Fahrverhalten des Helmes beim Fahren) aussagen kann.

Zur Beurteilung eines Helmes müssen zusätzlich zur Widerstandskraft mind. die Auftriebskraft, Seitenkraft und das Nickmoment mit herangezogen werden, d.h., es müssen mind. vier Komponenten gegeneinander abgewogen werden.

Ein gutes Beispiel läßt sich aus den Untersuchungen unseres Speed-Helms mit der strukturierten golfballähnlichen Oberfläche und den in seiner äußeren Form identischen oberflächen-glatten Helm-Typ smk herleiten. Wer diese beiden Helme jemals bei Geschwindigkeiten über 120 km/h gefahren hat, wird bestätigen, daß der Speed-Helm einen spürbar geringeren Winddruck hat, als der mit glatter Oberfläche versehene Helm.

Beim CW-Wert ließ sich jedoch kein entscheidender Unterschied ausmessen. Jedoch war die Auftriebskraft des glatten Helms 8 mal höher als die des Speed-Helms. Der Fahrer kann jedoch nicht immer beurteilen, ob der Helm, der ihm seinen Kopf nach hinten drückt, eine hohe Auftriebskraft oder eine hohe Widerstandskraft besitzt.

Wir haben z.B. Helme konstruiert, die einen fast optimalen CW-Wert von unter 0,30 besaßen. Jedoch stellte sich dann bei den Praxiserprobungen (Fahrversuchen) heraus, daß dieser Helm nicht zu fahren war. Er hatte eine sehr hohe Auftriebskraft, wie auch schon im Windkanal festgestellt, und subjektiv hatte man das Gefühl, daß bei diesem Helm der Kopf stark nach hinten gedrückt wird, d.h., daß ein Helm, der einen sehr günstigen CW-Wert aufweist, jedoch gleichzeitig eine hohe Auftriebskraft besitzt, zum Fahren ungeeignet sein kann.

Um in Zahlen zu sprechen, hat der Speed-Helm bei einer Geschwindigkeit von 180 km/h einen CW-Wert von 0,35 und eine Auftriebskraft von 1,54 Newton. Der Proto-Typ, von dem ich sprach, hat bei gleicher Geschwindigkeit einen CW-Wert von 0,29, jedoch eine Auftriebskraft von 18,35 Newton, d.h., die Auftriebskraft war 12 mal so hoch wie beim Speed-Helm. Ähnlich verhält es sich beim Nickmoment. Das Nickmoment kann positiv oder negativ sein. Ein Helm, der zur Brust gedrückt wird, hat ein negatives Nickmoment, bei einem positiven Nickmoment wird der Helm in den Nacken gedrückt. Das günstigste ist, wenn das Nickmoment gleich null ist. Denn dadurch wird der Kopf nicht zusätzlich um seinen vertikalen Drehpunkt nach hinten gedreht.

Wodurch lassen sich nun diese drei Komponenten CW-Wert, Auftrieb und Nickmoment beeinflussen?

Sehr viel hängt davon ab, welche Schrägstellung die Visierscheibe in Fahrposition hat. Was ist nun aber die richtige Fahrposition? Untersuchungen haben gezeigt, daß eine Kopfneigung von 20° nach vorn die meist gebräuchliche ist. Diese Kopfhaltung ändert sich jedoch zwangsläufig individuell je nach Sitzposition, Größe des Fahrers und Konstruktionsmerk-

malen des Motorrades, z.B. Lenkerbreite, Lenkerhöhe usw. Verändert man die Kopfhaltung, so verändert sich auch die Stellung der Sichtscheibe, und es ergeben sich vollkommen andere Werte. Die Aero-Dynamik eines Helmes ist daher sehr stark von der Kopfhaltung des jeweiligen Fahrers abhängig.

Beschränken wir uns aber hier, wie schon gesagt, auf die meist gebräuchliche Kopfneigung von 20° nach vorn. Steht bei dieser Kopfneigung die Visierscheibe des Helmes genau senkrecht zur laminaren Strömung, hat man den größten Luftwiderstand. Je mehr die Scheibe jedoch in die Waagerechte geneigt wird, um so kleiner wird der Widerstand und damit auch der CW-Wert.

Die schräge Scheibenstellung kann jedoch den Nachteil haben, daß die Auftriebskräfte sehr hoch werden, denn mit dieser Schrägstellung hat man einen Flugzeugflügel konstruiert, der ja einen Auftrieb erzeugen soll.

Diesen Auftrieb kann man durch konstruktive Maßnahmen am Helm jedoch reduzieren, indem man die Strömung, die über den Helm läuft, z.B. durch eine strukturierte Oberfläche oder durch Abrißkanten, stört, d.h., die Grenzschichtablösung muß so früh wie möglich erfolgen.

Hieraus kann man ableiten, daß es ohne weiteres möglich sein müßte, in Zukunft Helme zu konstruieren, die einen CW-Wert von ca. 0,30 aufweisen, sehr geringe Auftriebskräfte und ein neutrales Nickmoment besitzen.

Dieser Helm kann dann durch sein weit vorspringendes Kinn teil immer noch einen weiteren entscheidenden Nachteil haben. Der Motorradfahrer fährt ja nicht nur geradeaus, sondern muß bei Überholvorgängen im Straßenverkehr und auch bei höheren Geschwindigkeiten auf Autobahnen zusätzlich einen Kontrollblick nach hinten werfen, um sich zu vergewissern, daß der Überholvorgang eingeleitet werden kann.

Hierfür sind Kopfdrehungen von mehr als 45° üblich. Bei dieser Kopfdrehung können jedoch ausgesprochen unangenehme Seitenkräfte am Helm auftreten. Es kann im Extremfall sogar soweit kommen, daß der Helm dem Fahrer den Kopf regelrecht herumreißt.

Messungen haben ergeben, daß bei 180 km/h und einer Kopfdrehung von nur $22,5^\circ$ Seitenkräfte von 28 Newton auftreten können. Das ist nicht nur unangenehm, sondern kann auch zu einem unfallauslösenden Moment werden.

Nun kann man zu der Annahme gelangen, daß ein Helm, der rund wie eine Kugel ist, der optimale Helm sein könnte. Dem ist jedoch nicht so. Die Kugel hat, da sie keine definierten Abrißkanten besitzt, eine aero-dynamische ungünstige Form, d.h.,

daß auch der kugelförmige Helm niemals der ideale Helm sein kann. Man muß also, wie so oft in der Technik, Kompromisse schließen. Dieser Kompromiß kann z.B. folgendermaßen aussehen.

Ein optimaler Helm sollte u.E. bei einer Geschwindigkeit von 180 km/h einen CW-Wert von 0,32 nicht überschreiten, keine höheren Seitenwerte bei einer Kopfdrehung von 45° als 18 Newton und einen leichten Abtrieb aufweisen. Dabei wäre ein Nickmoment von max. ein Newton ideal. Meine bisherigen Ausführungen gelten jedoch nur für die laminare Strömung, d.h., eine Strömung, die gradlinig, ungestört und ohne Turbulenzen auf den Helm auftrifft. Diese laminare Strömung wird jedoch immer unterschiedlich beeinflusst durch die Art der Maschine und durch die verschiedensten Verkleidungen. Das kann z.B. soweit gehen, daß ein Helm, der auf einer unverkleideten Maschine sehr gute aero-dynamische Werte besitzt und sehr leise ist, hinter einer Verkleidung zum Rütteln neigt, steigt oder auch einen hohen Geräuschpegel ausweist. Diese Erscheinungen können auch durch die Größe des Fahrers, durch die Sitzhaltung usw. beeinflusst werden.

Alle bisherigen Erkenntnisse basieren nur auf solo-geführten Maschinen. Problematisch wird die gesamte Aero-Dynamik des Helmes, wenn die Maschine mit Sozius gefahren wird. Hierbei kann es passieren, daß durch Turbulenzen, ausgelöst vom Helm des Fahrers, unzumutbare Rüttelneigungen beim Beifahrer entstehen können. Das hängt damit zusammen, daß der Beifahrer nicht mehr in der einigermaßen laminaren Strömung liegt, sondern abhängig von der Sitzposition des Fahrers großen Turbulenzen ausgesetzt sein kann.

Wir haben z.B. festgestellt, daß, wenn Fahrer und Beifahrer in gleicher Höhe sitzen, stärkere Rüttelerscheinungen auftreten können, als wenn der Beifahrerkopf über den Fahrerkopf hinausragt, z.B., weil er größer ist oder weil eine abgestufte Sitzbank vorhanden ist.

Dem aero-dynamischen Verhalten von Schutzhelmen im Soziusbetrieb wird daher von uns in Zukunft besondere Aufmerksamkeit gewidmet.

Sie sehen, wie schwierig es ist, praktisch unmöglich, einen Helm zu konstruieren, der für die verschiedensten Maschinen, Verkleidungen, Sitzpositionen, Solo-Betrieb, Sozius-Betrieb, optimale Fahreigenschaften ausweist.

Bei diesen ganzen Untersuchungen hat sich aber auch gezeigt, daß Helme nicht nur im Windkanal entwickelt werden können, sondern daß es genauso wichtig ist, die Helme auf dem Motorrad, in der Praxis, auf der Straße zu erproben.

Wenn wir jedoch über die Einsatzmöglichkeiten von Windkanälen zur Optimierung von Motorrad-Schutzhelmen sprechen, darf nicht das Helm-Innenklima ver-- gessen werden. Ein Schwachpunkt vieler auf dem Markt befindlicher Helme ist heute immer noch die Möglichkeit, die Sichtscheiben bei regnerischer und kalter Witterung beschlagfrei zu halten.

Was nützen alle aero-dynamischen Untersuchungen, die alle mit geschlossenen Visierscheiben durchgeführt werden, wenn man nicht mit geschlossener Visierscheibe fahren kann. Ein geöffnetes Visier bei höheren Geschwindigkeiten kann leicht zum unfallauslösenden Moment werden. Genauso wichtig ist es jedoch auch, daß man im Sommer bei hohen Temperaturen einen kühlen Kopf behält.

Diese hierfür erforderlichen Untersuchungen kann man sehr gut, und ich meine, besser als auf der Straße, im Windkanal durchführen. Auf diesem Gebiet der Be- und Entlüftung des Helmes gibt es sicher noch einiges zu verbessern.

Wir haben festgestellt, daß durch Strömungsverhältnisse am Helm nicht alle Stellen für den Lufteintritt geeignet sind. Die größte Schwierigkeit besteht darin, eine genügende Luftzirkulation auch bei geringen Fahrgeschwindigkeiten zu erreichen. Diese Zirkulation muß dann aber auch dort vorhanden sein, wo sie gebraucht wird, und zwar für die Beschlagfreiheit an der Visierscheibe.

Zusammenfassung

Den idealen Helm, der für jedes Motorrad, jede Verkleidung, für jede Sitzposition optimales Fahrverhalten zeigt, gibt es nicht. Aus diesem Grunde sollte jeder Käufer eines Helmes seinen Händler bitten, ihm zur Probefahrt einen Testhelm zu Verfügung zu stellen, um den Helm auf seiner Maschine, hinter seiner Verkleidung, probefahren zu können. Denn nur ein Helm, unter dem sich der Fahrer wohl fühlt, der für ihn günstige aero-dynamische Eigenschaften besitzt und der eine gute Belüftungsmöglichkeit hat, trägt zur optimalen Sicherheit des Motorradfahrers bei.

Anprallversuche an Leitplanken mit Dummies

Peter J Essl

1. Einleitung

Aus der amtlichen Statistik 1984 ist bekannt, daß sich auf den Straßen der Bundesrepublik Deutschland 2,9 Millionen motorisierte Zweiräder bewegen.

Insgesamt verunglückten 1984 93.771 Fahrer und Mitfahrer motorisierter Zweiräder.

Davon verletzten sich 30.486 schwer, 1.566 fanden den Tod.

Für gestürzte Zweiradfahrer bedeutet der Anprall an seitliche Hindernisse neben der Fahrbahn, insbesondere an Leitplankenpfosten, eine erhebliche Gefahr. Unfallanalysen zeigen, daß die verunglückten Zweiradfahrer insbesondere schwerste Verletzungen an den Extremitäten davontragen.

Im einzelnen sind dies:

- Frakturen,
- offene Frakturen,
- schwere innere Verletzungen und
- Abrisse der Extremitäten.

Schätzungen besagen, daß zwischen 1.000 und 2.000 (genaue Zahlen sind bisher nicht bekannt) motorisierte Zweiradbenutzer während des Unfallablaufes mit den Leitplankenpfosten mehr oder weniger in Berührung geraten. Vermutlich finden etwa 50 meist junge Menschen dabei den Tod.

Um diese gefährlichen Hindernisse für verunglückte motorisierte Zweiradbenutzer zu entschärfen, entwickelte die Firma Münch GmbH, Hesseneck im Odenwald, einen Anpralldämpfer für Leitplankenpfosten mit dem Ziel, möglichst viel Anprallenergie zu absorbieren, so daß eine starke verletzungs-mindernde Wirkung erzielt wird.

Da bisher für diese Anpralldämpfer weder Prüfrichtlinien noch Anforderungskataloge vorliegen, beauftragte die Fa. Münch das Battelle-Institut, den Anpralldämpfer auf seine verletzungs-mindernde Wirkung zu untersuchen. [Prüfungen an Anpralldämpfern, 1985].

In Aufprallversuchen mit der Versuchspuppe Sierra Hybrid II/Part 572 (Körpergröße: 1,75 m; Körpergewicht 736 N) sollte das Absorptionsverhalten des Anpralldämpfers untersucht werden.

2. Versuchsprogramm

Insgesamt wurden 13 Aufprallversuche mit und 7 Aufprallversuche ohne Anpralldämpfer auf einen Leitplankenpfosten (Profilträger Bauart IPE-100) durchgeführt.

Der Anpralldämpfer aus Polystyrol mit einer Dichte von 22 g/l wurde sowohl einphasig als auch mehrphasig nach den folgenden 3 verschiedenen Versuchsanordnungen untersucht:

- Versuchsanordnung I, Armanprall (einphasig)
- Versuchsanordnung II, Kopf-, Schulter- und Armanprall (mehrphasig)
- Versuchsanordnung III, Kopfanprall (einphasig)

Für die Versuchsanordnung II und III erhielt der Anpralldämpfer mit einem Durchmesser von 280 mm eine Ummantelung aus Polyurethanlack mit einer Dicke von ca. 1 mm (Bild 1).

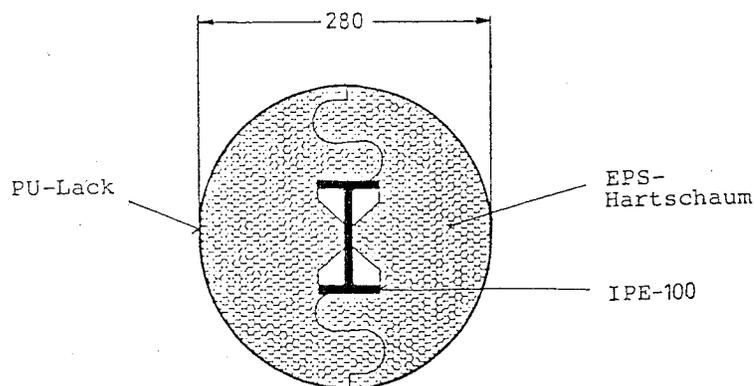


Bild 1: Anpralldämpfer für Leitplankenpfosten

2.1 Armanprall

Bei der Versuchsanordnung I fiel die Versuchspuppe, Sierra Hybrid II/Part 572, in Anlehnung an die Versuche des Institutes für Rechtsmedizin, Heidelberg, vom September 1984, die postmortale Versuchsobjekte einsetzten [Bericht des Institutes für Rechtsmedizin, 1985], mit ausgestreckten Armen aus einer Höhe von 4,0 Meter (= 32 km/h) auf einen Profilträger von IPE-100. Der Profilträger war mit dem Anpralldämpfer ummantelt. Die Abmessungen des Anpralldämpfers ergeben für die vorgegebene Aufprallrichtung eine stoßabsorbierende Materialdicke von 110 mm (Bild 2).

Bei Vergleichsversuchen prallte der Oberarm ohne Anpralldämpfer auf den IPE-Träger. Zur Schonung des Dummies wurde dabei eine Fallhöhe von nur 2 Meter (= 22,0 km/h, (Bild 5) gewählt.

Insgesamt wurden folgende Versuche durchgeführt:

- 6 Versuche bei 32 km/h mit Anpralldämpfer und
- 3 Versuche bei 22 km/h ohne Anpralldämpfer.

Gemessen wurde die Aufprallkraft in der Stoßrichtung und die Verzögerung am Oberarm der Versuchspuppe.

Dazu war in die Profilträgerstütze ein Kraftaufnehmer INTERFACE Typ 1210-AF eingebaut. Am Oberarm der Puppe war in der Aufpralllinie ein Beschleunigungsaufnehmer ENDEVCO Typ 2262-1000 befestigt.



Bild 2: Versuchsanordnung I mit Anpralldämpfer



Bild 3: Versuchsanordnung I ohne Anpralldämpfer

Die Signale der Meßgeber wurden mit einem digitalen Signalanalysator HEWLETT-PACKARD Typ 5240 digitalisiert und gespeichert.

Der Meßfrequenzbereich der Meßkette war durch entsprechende Filter auf den Bereich 0 - 1.6 kHz begrenzt.

Zur Datendokumentation wurden die Meßsignale aus dem Signalanalysator mittels eines Rechners HEWLETT-PACKARD Typ 9845 ausgelesen und auf einem Plotter ausgedruckt.

2.2 Kopf-, Schulter und Armanprall

Bei Versuchsanordnung II fiel der Dummy mit Integral-Schutzhelm (Die Firma Nolan stellte freundlicherweise die Helme unentgeltlich zur Verfügung.), Typ: N 34 pro, aus einer Höhe von 4,0 m (dies entspricht einer Aufprallgeschwindigkeit von 32,0 km/h) jeweils dreimal primär mit dem Kopf voran, postprimär mit der Schulter und sekundär mit dem Oberarm auf einen Profilträger IPE-100.

Der Profilträger war mit dem Anpralldämpfer ummantelt (Bild 4). Die stoßabsorbierende Materialdicke des Anpralldämpfers betrug 110 mm.

Zur Schonung der Versuchspuppe erfolgte nur ein einziger, vergleichender Aufprall ohne Anpralldämpfer mit einer Geschwindigkeit von 22 km/h (Bild 5).

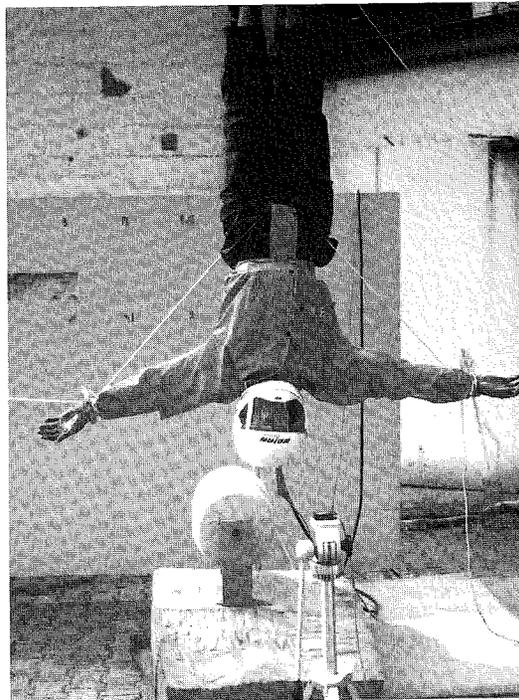


Bild 4: Versuchsanordnung II mit Anpralldämpfer



Bild 5: Versuchsanordnung II ohne Anpralldämpfer

Für jeden Versuch wurde ein neuer Integral-Schutzhelm eingesetzt.

Gemessen wurde:

- die Aufprallkraft in der Stoßrichtung,
- die Kopfbeschleunigung in vertikaler Richtung,
- die Kopfbeschleunigung in horizontaler Richtung,
- die Kopfbeschleunigung in Querrichtung und
- die Brustbeschleunigung.

Für die Messung der Aufprallkraft wurde ein Kraftaufnehmer INTERFACE 1210 AF eingesetzt, die Beschleunigungsmessungen erfolgten mit Beschleunigungsaufnehmern ENDEVCO 2262-1000.

Die Signale der Meßgeber wurden mit einem Analog-Digital-Wandler JOHNE u. REILHOFER TM 8 K 13 digitalisiert und von einem Rechner HEWLETT-PACKARD 9845 B übernommen. Zur Dokumentation wurden die Ergebnisse auf einem Plotter ausgedruckt. Die resultierende Kopfbeschleunigung wurde aus den drei gemessenen Kopfbeschleunigungen errechnet und gleichfalls ausgedruckt.

2.3 Kopfanprall

Bei der Versuchsanordnung III fiel nur der Kopf der Versuchspuppe (Größe 57) mit Schutzhelm in Anlehnung an die ECE-22/02 (Prüfnorm für Schutzhelme) im geführten freien Fall aus einer Höhe von 4,0 m jeweils mit dem Scheitel auf die Gurtkante des Profilträgers IPE 100.

Der Profilträger war mit dem Anpralldämpfer ummantelt (Bild 6). Die stoßabsorbierende Materialdicke des Anpralldämpfers betrug 85 mm.

Der Kopf der Versuchspuppe schlug jeweils dreimal

- auf den Anpralldämpfer und
- auf den ungeschützten Profilträger (Bild 7).

Für jeden Versuch wurde ein neuer Integral-Schutzhelm eingesetzt.

Gemessen wurde:

- die Aufprallkraft in der Stoßrichtung,
- die Kopfbeschleunigung in vertikaler Richtung,
- die Kopfbeschleunigung in horizontaler Richtung und
- die Kopfbeschleunigung in Querrichtung.

Für die Messung der Aufprallkraft wurde ein Kraftaufnehmer INTERFACE 1210 AF eingesetzt, die Beschleunigungsmessungen erfolgten mit Beschleunigungsaufnehmern ENDEVCO 2262-1000.

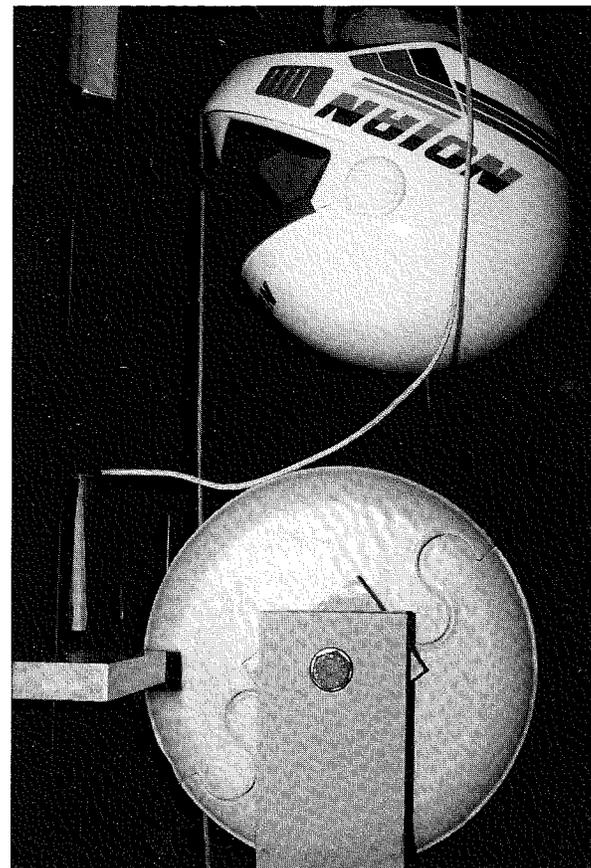


Bild 6: Versuchsanordnung III mit Anpralldämpfer

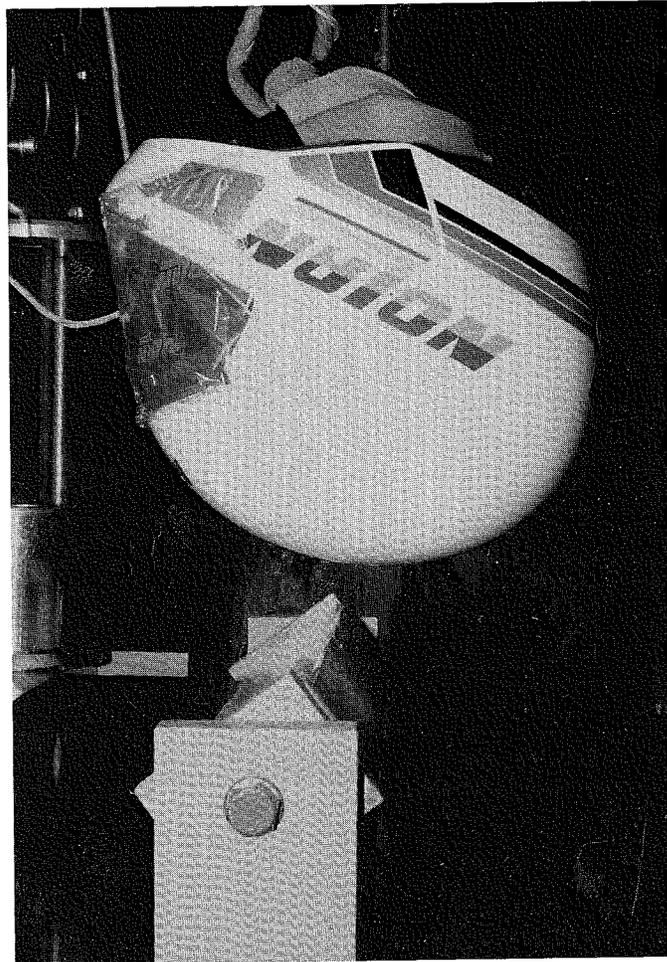


Bild 7: Versuchsanordnung III ohne Anpralldämpfer

Die Signale der Meßgeber wurden wieder entsprechend verarbeitet.

3. Ergebnisse

3.1 Armanprall

Beim Aufprall des Oberarmes wurden mit Anpralldämpfer im Mittel maximale Aufprallkräfte von 5600 N und maximale Verzögerungen von 1900 m/s² gemessen. Die Stoßzeit betrug im Mittel 14 Millisekunden.

Bei der Stoßbelastung auf den Träger ohne Anpralldämpfer wurden erwartungsgemäß trotz der nur ca. 30 % niedrigeren Aufprallgeschwindigkeit die höchsten Kräfte und Verzögerungen und die kürzesten Stoßzeiten gemessen. Die arithmetischen Mittelwerte ergaben für die Kraft 7400 N, für die Verzögerung 3300 m/s² und für die Stoßzeit 7 Millisekunden (Tab. 1).

Aufprall- objekt	V km/h	\bar{a} m/s ²	\bar{F}_A N	\bar{t} ms
Anprall- dämpfer	32	1900	5600	14
IPE-100	22	3300	7400	7

Tab. 1: Meßergebnisse für die Versuchsanordnung I (arithmetische Mittelwerte)

- V = Aufprallgeschwindigkeit
 a = Maximale negative Beschleunigung am Arm
 F = Maximale Aufprallkraft
 t = Stoßzeit

Nachfolgend sind beispielhaft für die Versuche 3 und (mit und ohne Anpralldämpfer) die Beschleunigungsmessungen und die berechneten Geschwindigkeits- und Wegverläufe wiedergegeben (Bild 8).

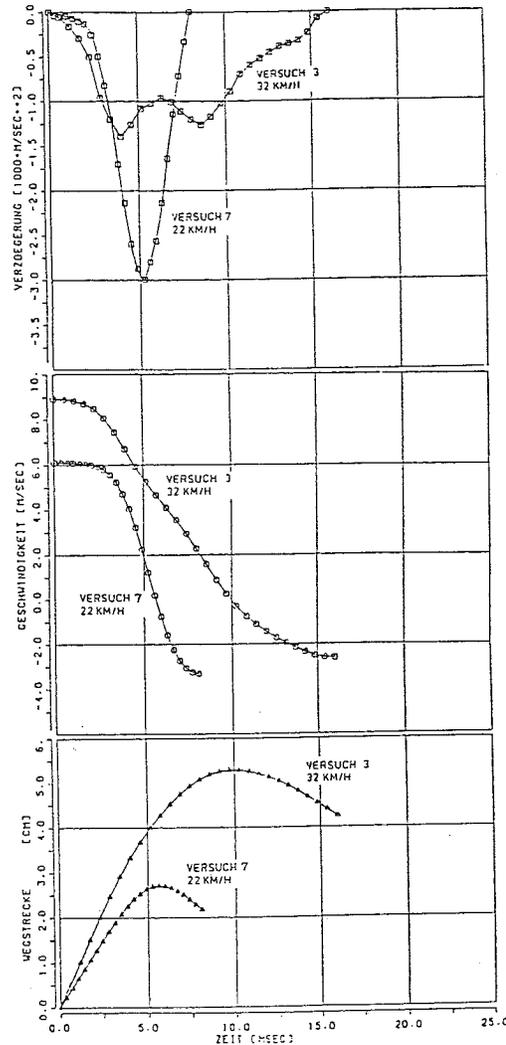


Bild 8: Vergleich der Beschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Wegverläufe für die Versuche 3 (mit Anpralldämpfer) und 7 (ohne Anpralldämpfer)

3.2 Kopf-, Schulter- und Armanprall

Die Versuchspuppe schlug - wie gesagt - bei der Versuchsanordnung II (freier Fall) primär mit dem behelmten Kopf, postprimär mit der Schulter und sekundär mit dem Arm auf den ummantelten IPE-Träger. Hierbei kam es vor, daß der Kopf der Versuchspuppe nicht immer auf der gleichen Stelle des Anpralldämpfers aufschlug. Dies führte zu unterschiedlich hohen Kopfbelastungen (Bild 9 und 10).

Schlug der Kopf zentraler auf den Dämpfer auf, wurden naturgemäß für den primären Aufschlag höhere Kopfbelastungen und für den postprimären Aufschlag niedrigere Kopfbelastungen gemessen.

Die Belastungen in der Brust dagegen waren erwartungsgemäß für alle Versuche beim postprimären Schulteraufschlag am höchsten, unabhängig von den geringfügig veränderten Kopfaufschlagpunkten, bedingt durch die große Masse des Körpers.

Beim primären, eher dezentralen Kopfaufprall wurden entsprechend Tab. 2 für den Anpralldämpfer im Mittel maximale resultierende Verzögerungen im Kopf von 410 m/s^2 gemessen, für den eher zentralen Aufprall dagegen 680 m/s^2 . Der postprimäre Schulteraufprall führte im Mittel beim eher dezentralen Kopfaufprall zu resultierenden Verzögerungen im Kopf von 663 m/s^2 , der zentrale Aufprall nur zu 380 m/s^2 . Die maximalen Belastungen in der Brust lagen im Mittel bei 472 m/s^2 .

Die Gesamtstoßzeit betrug im Mittel für den Kopf-, Schulter- und Armaufprall zusammen 112 Millisekunden.

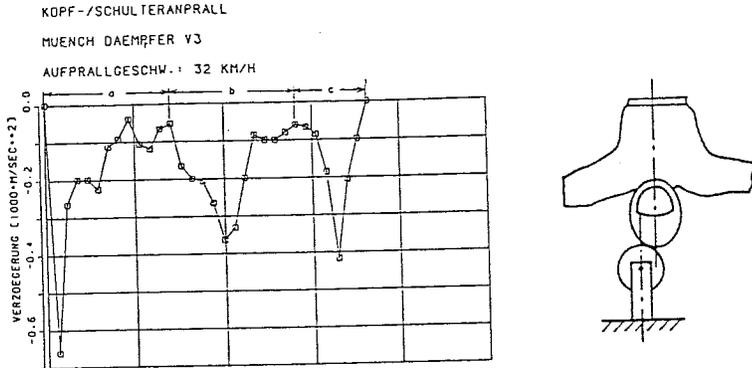


Bild 9: Kopfbelastungen der Versuchspuppe gegen Anpralldämpfer (mehr zentral)
a) Kopf/Dämpferaufprall
b) Einfluß durch Schulter/ Dämpferaufprall
c) Einfluß durch Arm/Dämpferaufprall

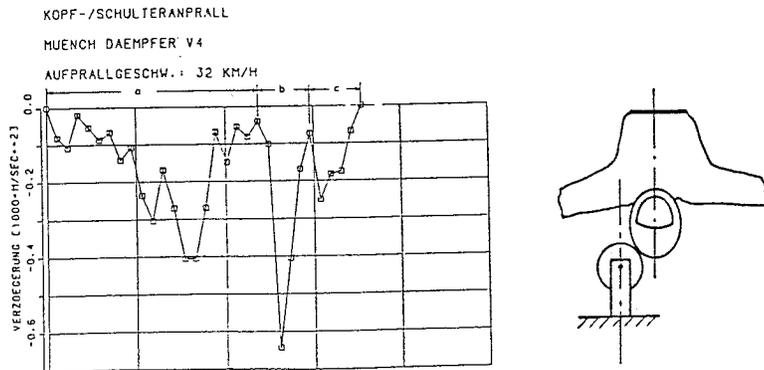


Bild 10: Kopfbelastungen der Versuchspuppe gegen Anpralldämpfer (weniger zentral)
a) Kopf/Dämpferaufprall
b) Einfluß durch Schulter/ Dämpferaufprall

Aufprall- objekt	V km/h	\bar{a}_{kres} m/s ²			\bar{a}_B m/s ²			\bar{t} ms		
		primär	post- primär	sekun- där	primär	post- primär	sekun- där	primär	post- primär	sekun- där
Dämpfer (eher dezen- tral)	32	410	663	203	286	520	117	69	20	24
Dämpfer (eher zentral)	32	680	380	420	200	330	240	42	47	22
IPE 100 (eher zentral)	22	1200	590	390	300	860	700	47	40	15

- V = Aufprallgeschwindigkeit
- a_{kres} = Maximale negative resultierende Beschleunigung im Kopf
- a_B = Maximale negative Beschleunigung in der Brust
- F_A = Maximale Aufprallkraft
- t = Stoßzeit
- primär = Kopfanprall
- postprimär = Schulteranprall
- sekundär = Armanprall

1) Abbruch des Armes

Tab. 2: Messergebnisse für die Versuchsanordnung II (arithmetische Mittelwerte)

Der Vergleichsversuch mit einer ca. 30% niedrigeren Aufprallgeschwindigkeit ohne Dämpfer direkt auf den IPE-Träger führte zu einem eher zentralen Kopfaufprall. Die gemessenen Belastungen für den Kopf lagen beim Kopfaufprall bei 1200 m/s² und beim Schulteraufschlag bei 590 m/s², siehe Bild 11. In der Brust wurde eine maximale Verzögerung von 860 m/s² gemessen. Die Gesamtstoßzeit betrug 102 Millisekunden (Tab. 2).

KOPF-/SCHULTERANPRALL

OHNE DAEMPFER V9

AUFPRALLGESCHW.: 22 KM/H

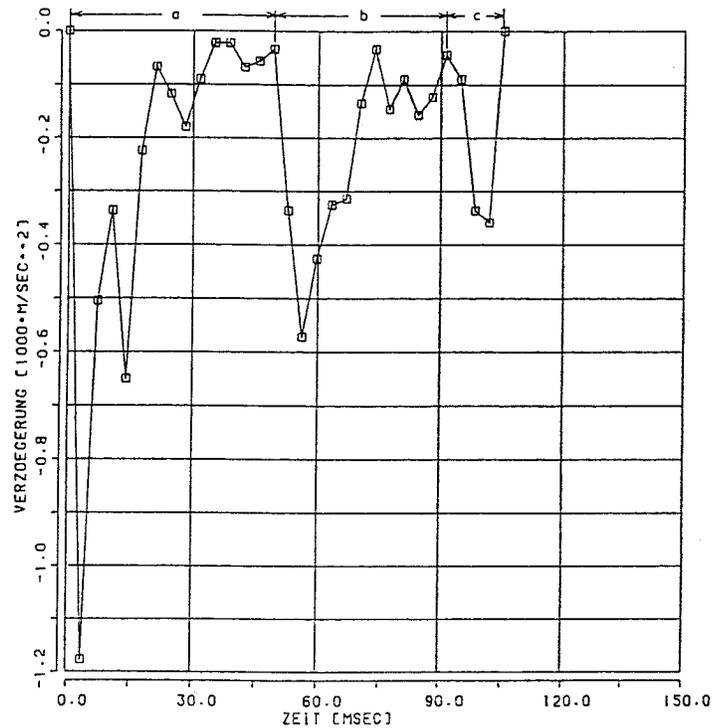


Bild 11: Kopfbelastung der Versuchspuppe ohne Dämpfer auf IPE-100 (mehr zentral)
 a) Kopf/IPE-Aufprall
 b) Einfluß durch Schulter/IPE-Aufprall
 c) Einfluß durch Arm/IPE-Aufprall

3.3 Kopfanprall

Bei der Versuchsanordnung III schlug nur der behelmte Kopf der Versuchspuppe im geführten freien Fall jeweils mit dem Scheitel auf den Dämpfer. Bedingt durch den geführten freien Fall sind keine Abweichungen bezogen auf die Auftreffflächen (Helm/Dämpfer bzw. Helm/IPE-Träger) möglich.

Beim Aufprall des Kopfes wurden gemäß Tab. 3 für den Dämpfer im Mittel maximale Aufprallkräfte von 9410 N und maximale Verzögerungen von 1214 m/s² gemessen.

Die Stoßzeit betrug im Mittel 23 Millisekunden.

Bei der ungedämpften Stoßbelastung auf den IPE-Träger wurden um ca. 100% höhere Belastungen und geringere Stoßzeiten ermittelt. Die arithmetischen Mittelwerte ergaben für die Kraft 18080 N, für die Verzögerung 2500 m/s² und für die Stoßzeit 13 Millisekunden.

Aufprall- objekt	V	akres m/s ²	FA N	t ms
Dämpfer	32	1214	9410	23
IPE 100	32	2500	18080	13

Tab. 3: Meßergebnisse für die Versuchsanordnung III (arithmetische Mittelwerte)

V	=	Aufprallgeschwindigkeit
akres	=	Maximale negative resultierende Beschleunigung im Kopf
FA	=	Maximale Aufprallkraft
t	=	Stoßzeit

Nachfolgend sind beispielhaft für die Versuche 15 und 20 (mit und ohne Dämpfer) die Beschleunigungsmessungen und die berechneten Geschwindigkeits- und Wegverläufe wiedergegeben (Bild 12).

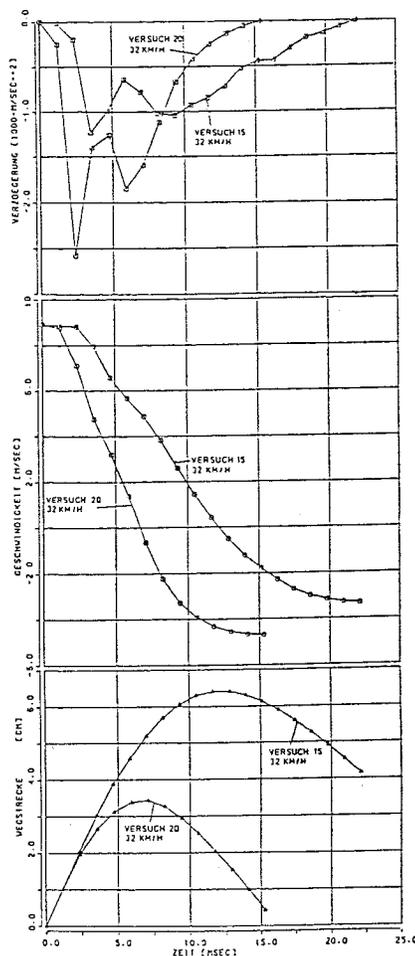


Bild 12: Vergleich des resultierenden Kopfbeschleunigungs-, Geschwindigkeits- und Wegverlaufs für die Versuche 15 (mit Dämpfer) und 20 (ohne Dämpfer)

4. Schlußfolgerungen

Die verschiedenen Versuchsanordnungen (I, II, III) stellten an den Dämpfer verschieden hohe Anforderungen.

Bei der Versuchsanordnung II, bei der ein mehrphasiger Unfallmechanismus simuliert wurde, wurde der Dämpfer am stärksten beansprucht. Die mit Dämpfer erreichten maximalen Verzögerungen im Vergleich zu den ungedämpften Verzögerungen lagen für den Kopfaufprall 57% und für den Brustaufprall 38% niedriger.

Bei der Versuchsanordnung III, bei der ein einphasiger Unfallmechanismus simuliert wurde, wurden an den Dämpfer deutlich niedrigere Anforderungen gestellt. Die mit Dämpfer im Mittel erzielten Reduzierungen der Verzögerungen lagen bei 49% gegenüber den Versuchen ohne Anpralldämpfer. Am geringsten wurde der Anpralldämpfer bei Versuchsanordnung I beansprucht.

Insgesamt liegen alle gemessenen negativen Beschleunigungswerte für den behelmten Kopf unterhalb der biomechanischen Toleranzgrenze von 3000 m/s^2 . Dies spricht besonders bei der Versuchsanordnung II mit ungeschütztem IPE-Träger für die guten Dämpfungseigenschaften des verwendeten Integral-Schutzhelmes.

Die gemessene Brustbeschleunigung liegt beim ungedämpften Aufprall mit 860 m/s^2 oberhalb der biomechanischen Toleranzgrenze, die zwischen $600 - 800 \text{ m/s}^2$ angegeben ist [(Braun, (1969), Rüter (1975))]. Die mit Dämpfer gemessenen Brustbeschleunigungen liegen im Mittel bei 472 m/s^2 .

Literatur

- (1) Biomechanische Versuche hinsichtlich des passiven Unfallschutzes von Aufsassen motorisierter Zweiradfahrzeuge beim Anprall gegen Schutzplankenpfosten. Bericht des Instituts für Rechtsmedizin der Ruprecht-Karls-Universität, Heidelberg, für die SPIG-Schutzplanken-Produktions-Gesellschaft mbH & Co. KG, 1985.
- (2) Braun, F.-W.: Mehrfachfrakturen der knöchernen Körperabschnitte nach Verkehrsunfällen. Dissertation Universität München, 1969.
- (3) Domhan, M.: Passive Sicherheit der Schutzplanken bei Anprall von Zweiradfahrern. Straße und Autobahn Nr. 12, (1983).
- (4) ECE-22/02, Regelung Nr. 22, Einheitliche Vorschriften für die Genehmigung der Schutzhelme für Fahrer und Mitfahrer von Krafträdern, Fahrrädern mit Hilfsmotor und Mopeds. Anlageband zum Bundesgesetzblatt Teil II Nr. 27 vom 28. August 1984.
- (5) Jessl, P.: Kraftfahrer-Schutzhelme aus heutiger Sicht. Vortragsmanuskript, 1984.
- (6) Der Körperanprall gegen Schutzplanken beim Verkehrsunfall motorisierter Zweiradbenutzer, von Florian Schüler u.a., Institut für Zweiradsicherheit, Forschungsheft Nr. 2, 1984.
- (7) Otte, D.; Suren, E.G.: Analyse motorisierter Zweiradunfälle durch Erhebungen am Unfallort. Der Verkehrsunfall Nr. 7/8 (1979) S. 149 - 153
- (8) Prüfungen an sechs Anpralldämpfern für Schutzplankenpfosten. Bericht des Battelle-Instituts e.V., Frankfurt am Main, für die Firma Münch GmbH, Juli 1985.

- (9) Prüfungen an sieben Anpralldämpfern für Schutzplankenpfosten, Bericht des Battelle-Instituts e.V., Frankfurt am Main, für die Firma Münch GmbH, Oktober 1985.
- (10) Rüter, G.; Hoffmann, M.: Beanspruchungsgrenzen beim inneren Aufprall. Bericht des Battelle-Instituts e.V., Frankfurt am Main, für das Bundesministerium für Verkehr, StV 9, April 1985.

**Passive Sicherheit von Schutzplanken bei
Anprall von Motorradaufsassen**

Martin Domhan

1. Einleitung

Die heute gebräuchlichen Konstruktionen der Schutzplanken wurden in der Bundesrepublik Deutschland wie im Ausland in den Jahren vor 1970 in Anfahrversuchen mit Pkw und Lkw entwickelt. Ihre Eignung in Bezug auf Anfahrten von Zweiradfahrern zu prüfen, erschien seinerzeit wegen deren geringem Anteil am Kraftfahrzeugverkehr nicht erforderlich. Auch in der Literatur findet sich kein entsprechender Hinweis.

Mit dem starken Anstieg des Zweiradverkehrs und des Anteils der Zweiradunfälle am gesamten Unfallgeschehen in der Bundesrepublik Deutschland in den Jahren 1970 - 1982 (Tab. 1)

1970	1972	1974	1976	1978	1980	1981	1982	1983
4,4	5,2	6,5	8,4	7,8	9,4	11,3	12,5	11,5

Tab. 1: Anteil der in Verkehrsunfällen getöteten Fahrer und Mitfahrer von Krafträdern/Rollern an der Gesamtzahl der bei Verkehrsunfällen Getöteten in % (Daten der amtlichen Straßenverkehrsunfallstatistik)

traten häufiger Unfälle auf, in denen Zweiradfahrer an die Schutzplanken anfahren oder nach einem Sturz gegen die Pfosten der Schutzplanken prallten. Aufgrund der oft sehr schwerwiegenden Unfallfolgen haben diese Unfälle auch erhebliche Aufmerksamkeit in den Medien, vor allem auch in den Motorradzeitschriften, und in politischen Gremien erfahren. Eine Unterschriftenaktion von Motorradclubs und des Instituts für Zweiradsicherheit zum Thema Schutzplanken und Zweiradfahrer mit der Forderung nach Abbau "unnötiger Leitplanken" und nach zusätzlichen Schutzmaßnahmen an den Schutzplanken brachte über 16.000 Unterschriften.

2. Unfalldaten

Da die vorhandenen Unfalldaten für eine vertiefte Behandlung des Themas nicht ausreichten, wurden auf Veranlassung der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) in verschiedenen Regionen Analysen der Unfälle von Motorradfahrern durchgeführt.

Im Regierungsbezirk Tübingen (Baden-Württemberg) wurden vom 1.1. bis 31.12.1984 alle Unfälle motorisierter Zweiradfahrer mit Anprall an ein Hindernis neben der Fahrbahn nach einem Fragebogen der BASt erhoben. Bei insgesamt 2.793 Motorradunfällen im Bereich des RP Tübingen erfolgte in 91 Unfällen ein Anprall an ein festes Hindernis neben der Fahrbahn, davon waren 24 an Schutzplanken, davon wiederum 22 außerorts. In diesen 22 Unfällen wurden 7 Personen getötet (16% der Getöteten) und 14 schwer verletzt.

Der LV Westfalen-Lippe hat der BASt alle Verkehrsunfallanzeigen von Unfällen mit motorisierten Zweirädern auf Bundes- und Landesstraßen in den Jahren 1980 bis Juni 1982 (rund 1.370 Unfälle) übergeben. Eine erste Auswertung ergab z.B. für den Bereich eines im Bergischen Land gelegenen Straßenbauamtes (Hagen) 299 Unfälle, bei denen insgesamt 381 Personen verletzt bzw. getötet wurden. Von den 381 Motorradfahrern und Beifahrern verunglückten 207 außerorts (54,3%). Von diesen waren 50 an einem Unfall mit Anprall an Schutzplanken beteiligt, wobei 3 Personen getötet und 31 schwer verletzt wurden. Nur etwa jeder Dritte kam mit leichten Verletzungen davon. In anderen Worten: auf den Bundes- und Landesstraßen außerorts im Bereich des SBA Hagen wurde im Beobachtungszeitraum etwa jeder sechste an einem Unfall mit Personenschaden beteiligte Motorradaufgasse nach erfolgtem Anprall an Schutzplanken schwer verletzt oder getötet.

Mit der gleichen Fragestellung beschäftigten sich Schüler, Bayer, Mattern und Helbling in einem vom Institut für Zweiradsicherheit, Bochum, in Auftrag gegebenen Forschungsauftrag "Der Körperanprall gegen Schutzplanken beim Verkehrsunfall motorisierter Zweiradbenutzer" (1). Anhand von Fallstudien wird die hohe Gefährdung von gestürzten Zweiradaufgassen bei einem Anprall vor allem an Schutzplankenpfosten aufgezeigt.

3. Anprallschutz

3.1 Zusätzlicher unterer Schutzplankenholm

Nach Ansicht der BASt ist eine zweckmäßige Maßnahme, welche die Unfallschwere bei einem Anprall von gestürzten Zweiradfahrern im Bereich der Pfosten wesentlich herabsetzen kann, der Einbau eines zusätzlichen unteren Schutzplankenholmes. Insbesondere an Unfallstellen, an denen gestürzte Zweiradfahrer eher unter spitzem Winkel und mit hoher Anprallgeschwindigkeit anprallen, wird der Einbau eines zusätzlichen Holmes empfohlen. Diese Auffassung wird durch Versuchsberichte des Laboratoire des Chocs der INRETS in Bron bestätigt, welche die BASt im Rahmen der deutsch-französischen Zusammenarbeit im Straßenwesen erhalten hat. In diesen Versuchen wurden Dummies von einem Schlitten mit dem Kopf voraus (mit Sturzhelm und Motorradkleidung) mit $V=60$ km/h unter ca. 30° Anprallwinkel gegen Schutzplanken mit einem zusätzlichen unteren Holm geschleudert. Dank der nachgiebigen Aufhängung dieses unteren Holmes lagen die an der Puppe gemessenen Verzögerungen weit unter den Grenzwerten für schwere Verletzungen.

Bild 1 und 2 zeigen die in der Bundesrepublik Deutschland vorgesehene Konstruktion für eine einfache Ergänzung von Distanzschutzplanken durch einen zweiten Holm, die Halterung kann ohne Demontage auf das Distanzstück aufgeschoben werden.

3.2 Anpralldämpfer an den Schutzplankenpfosten

Als Alternative und in vielen Fällen vielleicht auch als wirtschaftlichere Lösung kommt eine an



Bild 1: Distanzschutzplanke mit zweitem Holm

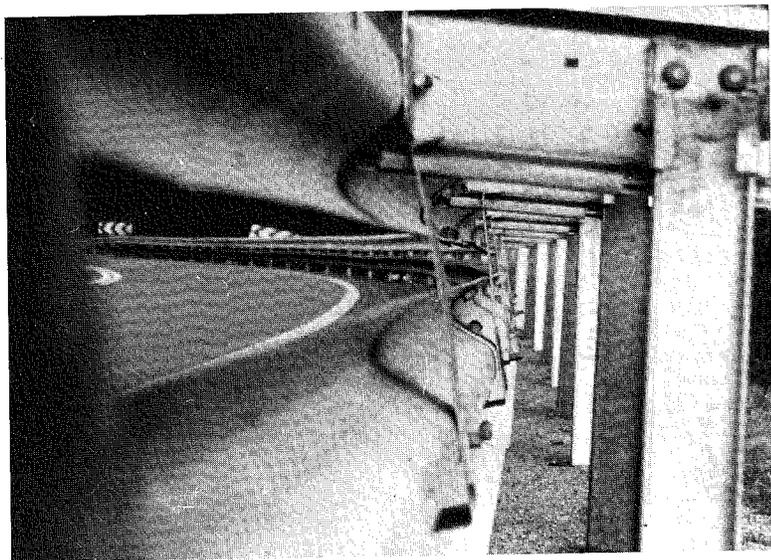


Bild 2: Halterung der zusätzlichen Schutzplanke

pralldämpfende Umhüllung der Schutzplankenpfosten in Frage. Die BAST hatte deshalb bereits 1982 die Entwicklung von Anpralldämpfern zum Einbau um die Schutzplankenpfosten angeregt. Auch Schüler et al. empfehlen in dem bereits erwähnten Forschungsauftrag (1) anpralldämpfende Elemente an den Schutzplankenpfosten oder einen zusätzlichen unteren Holm. Als weitere mögliche Maßnahmen weisen sie noch auf die Möglichkeit des Einsatzes von weniger formaggressiven Schutzplankenpfosten (sog. SIGMA-Pfosten) und von Betongleitwänden an Stelle von Schutzplanken hin.

Ein Vorschlag für solche Anpralldämpfer, der SPIG-Crash-Absorber aus "Neopolen" der Fa. BASF wurde im Rechtsmedizinischen Institut der Universität Heidelberg in biomechanischen Versuchen (2) erprobt. Diese Versuche haben gezeigt, daß bereits bei einem Anprall mit 35 km/h der IPE-100 Pfosten zu "bedeutenden" Verletzungen geführt hat (abbreviated injury scale AIS=4). Dagegen wurden in einem Versuch mit gleicher Geschwindigkeit und dem genannten Anpralldämpfer nur noch "geringgradige" bis "mäßige" Verletzungen diagnostiziert (AIS=1-2). Die obere Grenze der Wirksamkeit der APD dürfte nach ersten Schätzungen des Institutes je nach Anprallkonfiguration bei einer Anprallgeschwindigkeit des Körpers von 50 - 60 km/h liegen.

Inzwischen sind an Versuchsstrecken mehr als 16.000 Stück dieses Crash-Absorbers im Einsatz. Bild 3 zeigt die Montage eines solchen Anpralldämpfers an Schutzplankenpfosten.

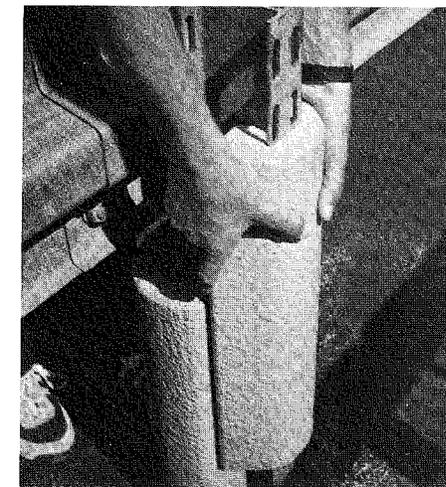
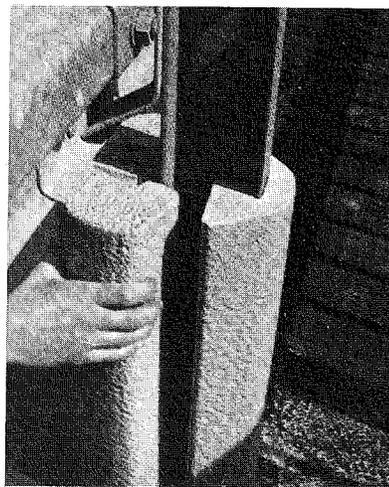


Bild 3: Montage eines Anpralldämpfers

Eine andere Konstruktion aus "Bayflex" der Fa. Bayer wurde in Falltests mit halbkugelförmigen und flachen Fallkörpern erprobt. Ein weiterer Anpralldämpfer aus Polystyrol (Styropor) wurde im Oktober 1985 in Fallversuchen mit Dummies erprobt (siehe auch den Bericht von Jessl "Anprallversuche an Leitplanken mit Dummies" in diesem Heft). Von diesen vorgenannten wurden an Versuchsstrecken bisher rund 3.000 Stück eingebaut.

Die BAST strebt an, quantitative Anforderungen an solche Anpralldämpfer festzulegen (Lastenheft). Bisher liegen hierzu noch nicht genügend Erfahrungen vor, so daß der probeweise Einsatz der angebotenen Anpralldämpfer vorläufig aufgrund einer Beurteilung der Konstruktion durch Experten erfolgt.

4. Nutzen/Kosten-Abschätzungen

Die BAST hat im Zusammenhang mit ihren ersten Überlegungen und Empfehlungen für Schutzmaßnahmen an Schutzplanken für gestürzte Zweiradfahrer auch Abschätzungen des möglichen Nutzens an ersparten Jahresunfallkosten und der zu erwartenden Kosten aufgestellt. Solche Nutzen/Kosten-Abschätzungen sind auch bei Maßnahmen für die Verkehrssicherheit sinnvoll.

Für eine vollständige Ausrüstung aller Schutzplankenabschnitte mit einem zusätzlichen Holm oder mit Anpralldämpfern an den Pfosten ergaben sich folgende Nutzen/Kosten-Fakten (Tab. 2):

	Zusätzlicher Schutzplankenholm	Pfostenanpralldämpfer
BAB	0,2	0,3
BStr.	0,5	0,7
LStr.	0,3	0,3
KStr.	0,2	0,2

Tab. 2: Nutzen/Kosten-Faktoren bei Schutzmaßnahmen an allen Schutzplankenabschnitten

Diese Abschätzung zeigt, daß für eine durchgehende Ausstattung der Schutzplanken mit den vorgeschlagenen zusätzlichen Schutzelementen die Kosten überwiegend in keinem tragbaren Verhältnis zu den vermeidbaren Unfallkosten stehen; d.h. diese Gelder würden besser für andere Verkehrssicherheitsmaßnahmen eingesetzt, die einen höheren Nutzen/Kosten-Faktor ergeben.

Ein anderes Bild ergibt sich, wenn man von einer - sicher eher zutreffenden - ungleichen Verteilung der Unfälle ausgeht.

Wenn sich auf 10% der Länge der Schutzplankenabschnitte 20/30/40% der Unfälle ereignen, in denen gestürzte Zweiradfahrer gegen die Schutzplankenpfosten prallen, errechnet sich ein 2/3/4facher Nutzen an vermeidbaren Jahresunfallkosten durch zusätzliche Schutzmaßnahmen an diesen Schutzplankenabschnitten (Tab. 3).

	Zusätzlicher Schutzplankenholm			Pfostenanpralldämpfer		
	20%	30%	40%	20%	30%	40%
BAB	0,4	0,6	0,8	0,6	1,0	1,4
BStr.	1,0	1,5	2,1	1,3	2,0	2,7
LStr.	0,6	0,9	1,2	0,7	1,0	1,3
KStr.	0,4	0,6	0,8	0,4	0,6	0,8

Tab. 3: Nutzen/Kosten-Faktoren bei ungleicher Verteilung der Unfälle an 10% der Schutzplanken

Umgekehrt kann hieraus geschlossen werden, daß der Nutzen/Kosten-Faktor an den anderen 90% Schutzplankenstrecken noch viel geringer ist, als in Tab. 2 dargestellt.

5. Einsatzkriterien

Die BAST hat aus den bereits angeführten Nutzen/Kosten-Abschätzungen folgende Schlußfolgerungen gezogen:

Die Abschätzungen der Größenordnung von Nutzen und Kosten zusätzlicher Schutzeinrichtungen an Schutzplanken zum Schutz gestürzter Zweiradfahrer gegen den Anprall an die Schutzplankenpfosten zeigen auf:

- Ein genereller Einbau solcher Schutzeinrichtungen ist unwirtschaftlich.
- Auf BAB erscheinen zusätzliche Schutzeinrichtungen nur an besonderen Gefahrenstellen, die erheblich weniger als 10% der Schutzplankenabschnitte umfassen werden, angebracht. Im allgemeinen dürften die Schutzplanken im Mittelstreifen nicht dazugehören.
- Auf Bundesstraßen kommt der Einbau zusätzlicher Schutzeinrichtungen an einem ausgewählten Teil der Schutzplankenabschnitte in Frage. Dies gilt auch für Landesstraßen, allerdings dort für einen kleineren Anteil der Schutzplankenabschnitte.
- Auf Kreisstraßen und nichtklassifizierten Straßen kämen zusätzliche Schutzeinrichtungen nur für besondere Gefahrenstellen in Frage.

Die Erarbeitung von Einsatzkriterien für die Auswahl von Schutzplankenabschnitten, an denen zusätzliche Schutzeinrichtungen zum Schutz für gestürzte Motorradfahrer angebracht werden sollen, ist besonders schwierig. Zunächst kommen Stellen in Frage, an denen sich bereits ein oder mehrere solcher Unfälle ereignet haben und nach den örtlichen Gegebenheiten - stärkerer und schnellerer Motorradverkehr, enge oder sonst gefährliche Kurven - die Gefahr weiterer solcher Unfälle besteht. Es wäre natürlich vorteilhaft, wenn man vorbeugend auch an Stellen Schutzmaßnahmen treffen könnte, an denen man nach örtlicher Kenntnis eine erhöhte Gefahr solcher Unfälle vermutet, auch wenn sich dort noch kein solcher Unfall ereignet hat. Bei der Untersuchung von Streckenabschnitten mit mehreren solchen Unfällen hat sich jedoch gezeigt, daß die Stellen, an denen sich die Unfälle ereignet haben, nicht aus dem Linienverlauf der Strecke zu erkennen gewesen wären. Es waren z.B. jeweils nicht die Kurven mit den engsten Radien betroffen.

Beispielhaft erscheint das Vorgehen des Landschaftsverbandes Westfalen-Lippe. Dort werden alle Streckenabschnitte, an denen sich in den letzten Jahren mehr als ein Zweiradunfall mit Anprall an Schutzplanken ereignet hat, überprüft und dann ggfs. geeignete Schutzmaßnahmen getroffen. Dies sind im Zuständigkeitsbereich des Landschaftsverbandes (Bundes- und Landesstraßen) rd. 50 Streckenabschnitte, davon sind mehr als die Hälfte bereits ausgerüstet; die Überprüfung der übrigen Abschnitte soll noch vor der nächsten Motorradsaison erfolgen. Durch eine laufende Fortführung der Untersuchung soll gewährleistet werden, daß auch künftig Strecken umgehend überprüft werden, wenn sich dort mehr als 1 Zweiradunfall an Schutzplanken ereignet hat. Darüber hinaus können aber auch Streckenabschnitte mit zusätzlichen Schutzeinrichtungen ausgerüstet werden, an denen zwar kein Unfall eingetreten ist, aber andere Hinweise vorliegen, daß an dieser Stelle eine erhöhte Gefahr des Anpralls von gestürzten Zweiradfahrern an Schutzplanken besteht.

6. Versuchsstrecken

In der Bundesrepublik Deutschland wurden seit Herbst 1984 in mehreren Bundesländern auf Versuchsstrecken kurze Schutzplankenabschnitte an gefährlichen Stellen mit einer zusätzlichen Schutzplanke oder mit Anpralldämpfern an den Pfosten ausgestattet (Bild 4). Dieses Programm wird in diesem Jahr sicher noch erweitert werden. Das Unfallgeschehen auf den Versuchsstrecken wird verfolgt. Es liegen schon einzelne Berichte über Unfälle an solchen Strecken vor, bei denen nach Aussage der Polizei ohne die vorhandenen unteren Holme oder Anpralldämpfer wahrscheinlich sehr viel schwerere, wenn nicht sogar tödliche Verletzungen aufgetreten wären (Bild 5). Erste statistische aussagekräftige Ergebnisse werden jedoch nicht vor dem kommenden Jahr vorliegen.

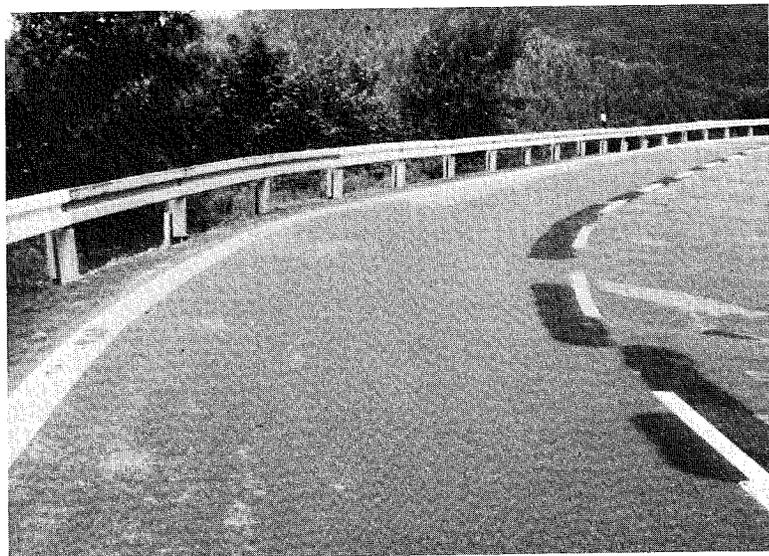


Bild 4: Schutzplankenabschnitt mit Anpralldämpfern

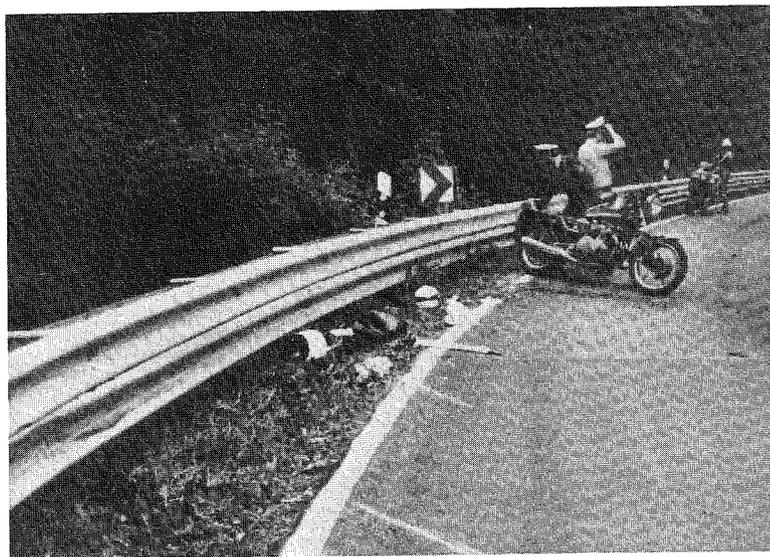


Bild 5: Unfallstelle

7. Zusammenfassung und Schluß

Gestürzte Zweiradfahrer sind besonders gefährdet, wenn sie gegen die Pfosten von Schutzplanken prallen. Die Zahl solcher Unfälle mit der Folge schwerer Verletzungen hat mit der Zunahme des Zweiradverkehrs gleichfalls zugenommen. Als Schutzmaßnahmen für gestürzte Zweiradfahrer gegen den Anprall an die Pfosten sind vor allem zusätzliche untere Holme oder Anpralldämpfer an den Pfosten geeignet. Es ist jedoch sehr schwierig, Einsatzkriterien für solche kostenaufwendigen Schutzmaßnahmen festzulegen, weil bezogen auf die gesamten Schutzplankenabschnitte der Anprall von gestürzten Zweiradfahrern ein sehr unwahrscheinliches Ereignis ist. Es gibt aber mit Sicherheit Schutzplankenabschnitte, an denen eine erhöhte Wahrscheinlichkeit des Anpralls von Zweiradfahrern besteht. (Ihr Anteil wird in einer ersten Abschätzung für Bundesstraßen auf etwa 10% beziffert). Da es jedoch offenbar nicht möglich ist, solche Abschnitte vorausschauend z.B. aus der Linienführung der Straße zu erkennen, können solche Abschnitte nur anhand von Unfallanalysen identifiziert werden, um dann in der Örtlichkeit geeignete Schutzmaßnahmen festzulegen. Seit Herbst 1984 wurden in mehreren Bundesländern Versuchsstrecken mit solchen Schutzeinrichtungen eingerichtet, und es wurde inzwischen auch mit systematischen Unfalluntersuchungen zur Identifizierung von solchen Unfallstellen begonnen. Die Schutzmaßnahmen für gestürzte Zweiradfahrer gegen den Anprall an Schutzplankenpfosten - ein unterer Holm oder Pfostenanpralldämpfer - wurden auch in den Entwurf für neue "Richtlinien für passive Schutzeinrichtungen an Straßen" aufgenommen.

Literatur

- (1) Institut für Zweiradsicherheit e.V.: "Der Körperanprall gegen Schutzplanken beim Verkehrsunfall motorisierter Zweiradbenutzer" / Schüler, Florian; Bayer, Bernward; Mattern, Rainer, Helbling, Michael.

In: Forschungshefte Zweiradsicherheit, Bochum, 1984.

- (2) Institut für Rechtsmedizin der Ruprecht-Karls-Universität Heidelberg: "Biomechanische Versuche hinsichtlich des passiven Unfallschutzes von Aufsassen motorisierter Zweiradfahrzeuge beim Anprall gegen Schutzplankenpfosten" / Schmidt, Gg.; Schüler, F.; Mattern, R., Untersuchungsbericht, Heidelberg, 1985.

**Passive Sicherheit am Motorrad.
Kritische Beurteilung der
Einsatzmöglichkeiten von Airbags**

Alexander Sporer
Klaus Langwieder
Joachim Polauke

Das Zweiradunfallgeschehen ist, trotz der in den letzten Jahren wieder etwas sinkenden Unfallzahlen, noch immer eines der Gebiete, in dem die Verkehrssicherheit noch keinen befriedigenden Stand erreicht hat. Besonders auf dem ingenieurwissenschaftlichen Gebiet sind die Erfolge in Hinblick auf die passive Sicherheit noch lange nicht zufriedenstellend.

Ein Grund hierfür ist, im Gegensatz zur Pkw-Unfallforschung, die relativ spät einsetzende Aktivität auf dem Zweiradsektor, in Richtung Sicherheit zu arbeiten. Allzu lange wurde die Sicherheit auf zwei Rädern vernachlässigt, und erst als die Unfallzahlen in den späten 70er Jahren drastisch anstiegen, wurden verstärkt Untersuchungen zu diesem Problem in Gang gesetzt.

Die ersten Forschungstätigkeiten in Richtung Zweiradsicherheit setzten ca. Mitte der 70er Jahre ein und bereits zu diesem Zeitpunkt konnten vom "Verband der deutschen Autoversicherer" erste grundlegende Untersuchungen vorgestellt werden [Langwieder, 1977 (1); Hugh, 1979 (2); Severy, 1970 (3); Hight (4)]. Diese systematischen Analysen des Zweiradunfalles sind die Voraussetzung, wirklichkeitsnahe Sicherheitselemente zu erarbeiten.

Die Ergebnisse dieser Analysen sind zum Teil im ersten Workshop und auf anderen Kongressen zum Thema Zweiradsicherheit vorgestellt worden [Der Motorradunfall, 1986 (5)]. Die wichtigsten Punkte sollen trotzdem noch einmal kurz angesprochen werden.

Das Verletzungsbild eines verunglückenden Zweiradfahrers wird in erster Linie von seinem während des Unfalls stattfindenden Bewegungsablauf bestimmt. Durch die lose Verbindung zwischen Fahrer und Motorrad ist die Kenntnis der Kinematik der Schlüssel zur Reduzierung des Verletzungsrisikos. Die Analyse des Unfallgeschehens zeigt, daß sich bei den Bewegungsabläufen vier Hauptunfalltypen ergeben, die es verbieten, den Zweiradunfall als eine Einheit zu betrachten, sondern eine getrennte Analyse erfordern.

Auch bezüglich des Fahrzeugtyps unterscheiden sich die Unfallabläufe. So zeigen sich bei den leichter motorisierten Zweirädern wie Mofa, Moped und Mokick hauptsächlich Kollisionen, bei denen das Zweirad an- bzw. umgefahren wird oder es kommt zu Streifkollisionen. Bei den schwereren und schnelleren Motorrädern steht dagegen die Kollision des Zweirades gegen einen Unfallgegner im Vordergrund. (Bild 1)

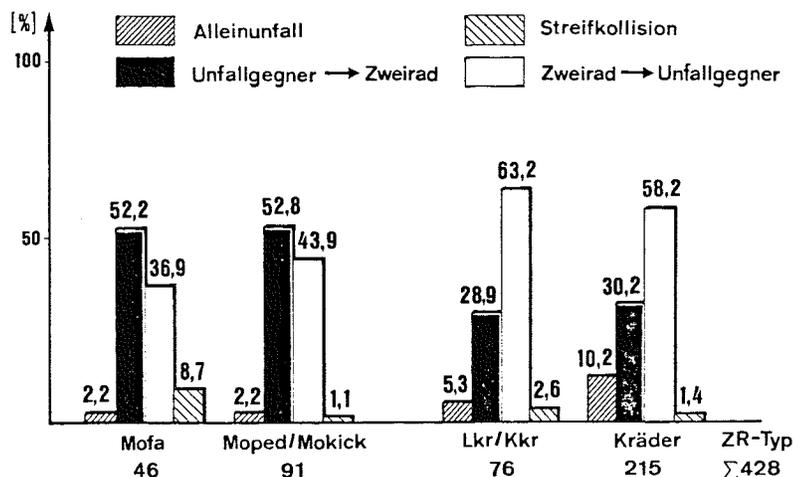


Bild 1

Im folgenden Referat soll dieser Unfalltyp näher beschrieben und Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt werden, die das Verletzungsrisiko senken können. Dabei kommt zur Hilfe, daß bei den schwereren Motorrädern die Möglichkeit einer technischen Änderung durch Zusatzbauteile realistischer erscheint als bei den leichteren Fahrzeugen wie Mofa, Moped und Mokick.

Die folgenden Ausführungen beziehen sich also auf ein Teilgebiet des gesamten Zweiradunfallgeschehens, wobei darauf geachtet wurde, daß sich keinerlei negative Beeinflussung der anderen Unfallabläufe ergeben darf.

Grundsätzlich läßt sich bei der Kollision eines Motorrades gegen einen Unfallgegner die Richtung der Sicherheitsforschung in zwei Gruppen unterteilen. (Bild 2)

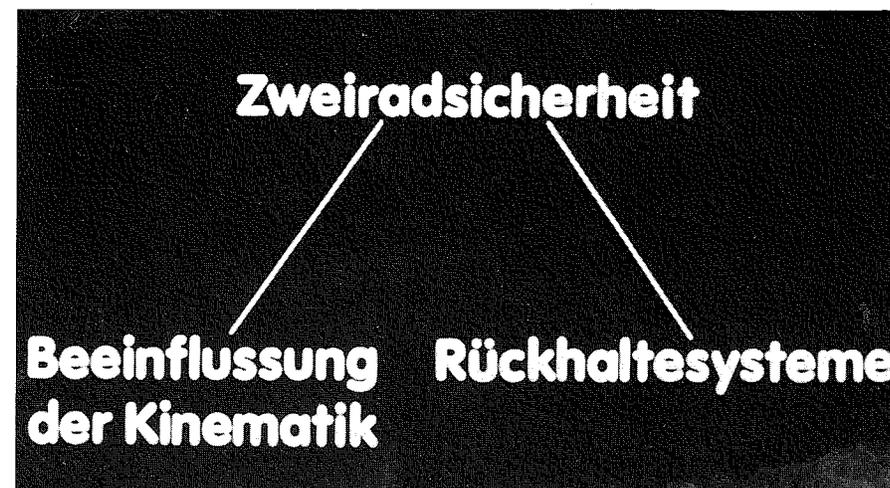


Bild 2

Einmal kann durch eine stärkere Fixierung des Fahrers auf dem Motorrad eine Rückhaltemöglichkeit geschaffen werden, die ähnlich wie beim Pkw-Insassen den Aufprall verhindern soll. Mit anderen Worten sozusagen der Sicherheitsgurt auf dem Zweirad. Ähnliche Vorschläge mit Prallpolstern vor der Brust des Zweiradfahrers liegen ebenfalls vor. Eine verletzungsreduzierende Funktion dieser Einrichtungen kann aber nur dann erfolgen, wenn über den Motorradvorbau eine erträgliche Verzögerung in das Motorrad eingeleitet werden kann.

Dies ist aber bei der konventionellen Konstruktion eines Motorrades nicht möglich. Die folgenden Bilder (Bild 3, 4) zeigen daher einige Einspurfahrzeuge, die diesen Nachteil umgehen, indem die ganze Konstruktion des Zweirades geändert wurde. Auch die Sitzposition wird stark verändert, wobei der Fahrer in eine Pkw-ähnliche Haltung gezwungen wird.

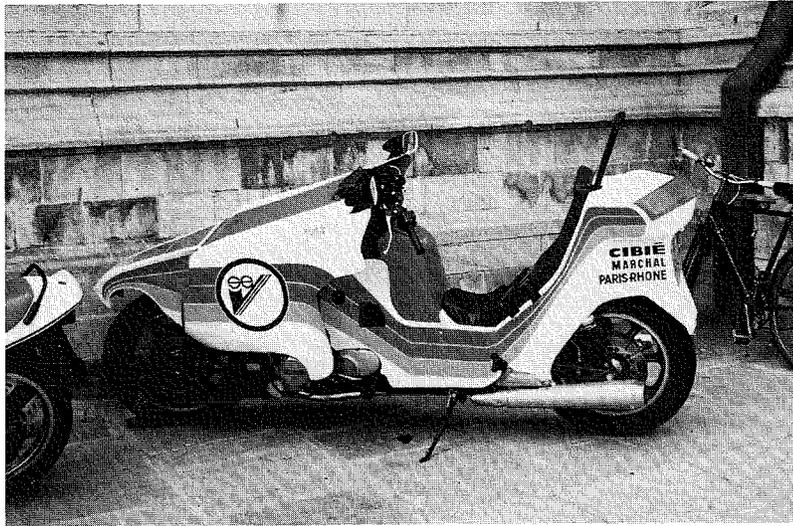


Bild 3

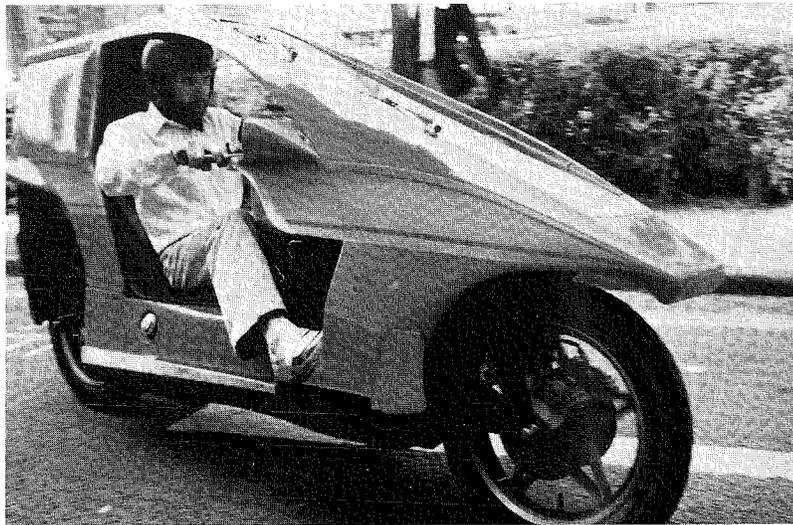


Bild 4

Inwieweit es sich hierbei noch um Motorräder handelt, möchte ich den Betrachter selbst entscheiden lassen. Fest steht aber daß sich die Entwickler dieser Systeme einig sind, daß sich eine Rückhaltevorrichtung auf einem konventionellen Motorrad nicht verwirklichen läßt.

Die zweite Gruppe der Sicherheitsforschung im Zweiradbereich geht einen anderen Weg, und zwar über die Optimierung der Flugbahn mit dem Ziel, daß der Zweiradfahrer die verletzungsverursachenden Fahrzeugteile an seinem Fahrzeug bzw. am Unfallgegner überhaupt nicht trifft bzw. in abgeschwächter Form streift. Die Grundlage dieser Überlegung war das Ergebnis von Untersuchungen [Langwieder, 1977 (1); Sporer, 1982 (6); Grandel, 1984 (7)], die zeigten, daß bei vergleichbaren Unfällen, das heißt, Kollisionen eines Motorrads gegen einen Unfallgegner, die Verletzungsschwere der Motorradfahrer am geringsten war, die ihren Unfallgegner überfliegen konnten. (Bild 5)

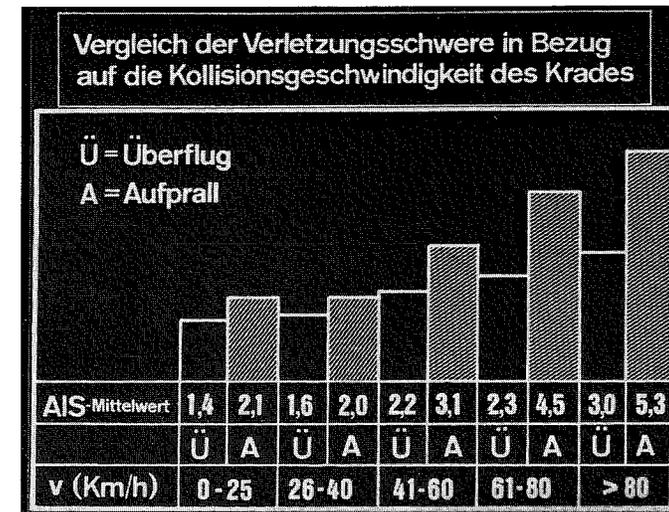


Bild 5

Dieses "Überfliegen" kann ganz oder teilweise erfolgen. Auf jeden Fall lag die Verletzungsschwere in jedem Geschwindigkeitsbereich unter der Verletzungsschwere des Motorradfahrers, der direkt gegen den Unfallgegner prallte. Die wichtigsten Parameter [Danner, 1985 (8)] zur Beeinflussung der Bewegungsbahn eines Zweiradfahrers sind die Sitzhöhe, die Gelenkstellung des Fahrers und die Krafteinwirkung von Prall-

polstern bzw. Kontaktflächen. Durch eine Optimierung der Tankform, kombiniert mit einem Tourenlenker und Prallpolstern vor den Beinen des Zweiradfahrers konnte ein Verhaken am Lenker bzw. anderen Zweiradteilen vermieden und der Körper etwas angehoben werden, wodurch die Intensität eines direkten Dachaufpralls verringert wurde.

Aus diesen Ergebnissen entwickelte sich der Vorschlag eines Sicherheitsmotorrades, das vom Institut für Zweiradsicherheit und vom HUK-Verband auf der letzten Internationalen Fahrrad- und Motorradausstellung vorgestellt wurde. (Bild 6)

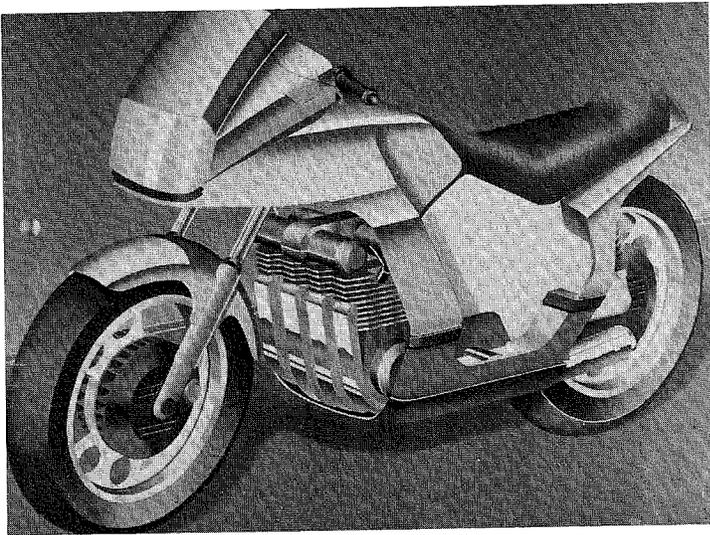


Bild 6

Besonders der verletzungsreduzierende Einfluß der Prallpolster auf die unteren Extremitäten ist hier zu bemerken, da auch bei Streifkollisionen durch eine Ablenkfunktion das Bein des Fahrers geschützt werden kann. Die spontane Verwirklichung dieses Sicherheitselementes von einigen Motorradherstellern zeigt, daß realistisch erarbeitete Sicherheitsvorschläge durchaus in die Praxis umgesetzt werden können. (Bild 7)



Bild 7

Zahlreiche Versuche und mathematische Simulationen zeigten aber auch, daß die Wirkung dieser auf die Bewegungsbahn einwirkenden Parameter ihre Grenzen hat. Es ist mit anderen Worten nicht möglich, einzig und alleine durch Anbringung von Prallpolstern und durch optimierte Tankformen den Zweiradfahrer vollkommen ohne Berührung des Unfallgegners über das Hindernis zu leiten. Aus diesem Grunde wurde auch auf die bestehende Möglichkeit hingewiesen, durch Aktivitäten des Zweiradfahrers die Bewegungsbahn zu beeinflussen. Durch ein Aufrichten kurz vor einer drohenden Kollision werden die Anfangsgrößen für eine begünstigte Flugbahn verbessert, so daß es zu einem verletzungsärmeren Überfliegen des Unfallgegners kommen kann.

In den nächsten Bildern (Bild 8,9,10) ist ein Fall dokumentiert, der zeigt, daß einerseits durch die Konstruktion des Zweirades - hier handelte es sich um eine Enduro - und durch das richtige Verhalten des Fahrers eine kontaktarme Kollisionsphase eingeleitet werden konnte. Die einzigen Verletzungen dieses Zweiradfahrers waren Abschürfungen und mehrere Prellungen, jedoch keinerlei schwere Kopf- bzw. innere Verletzungen.

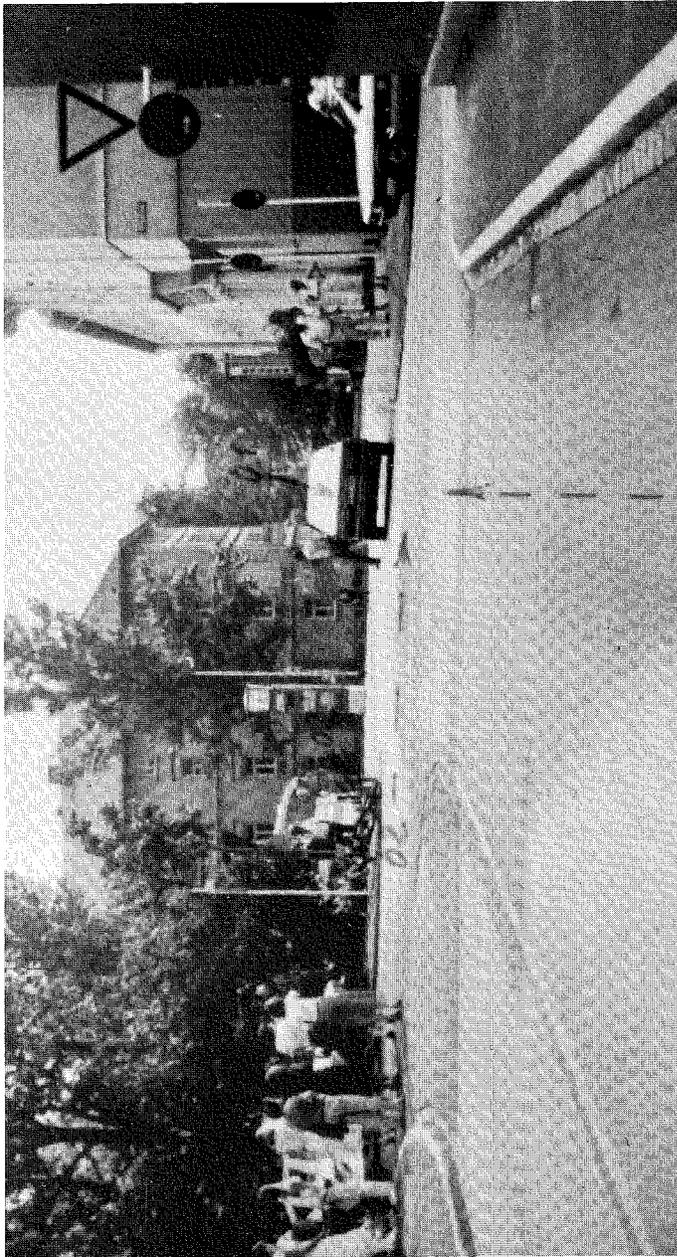


Bild 8

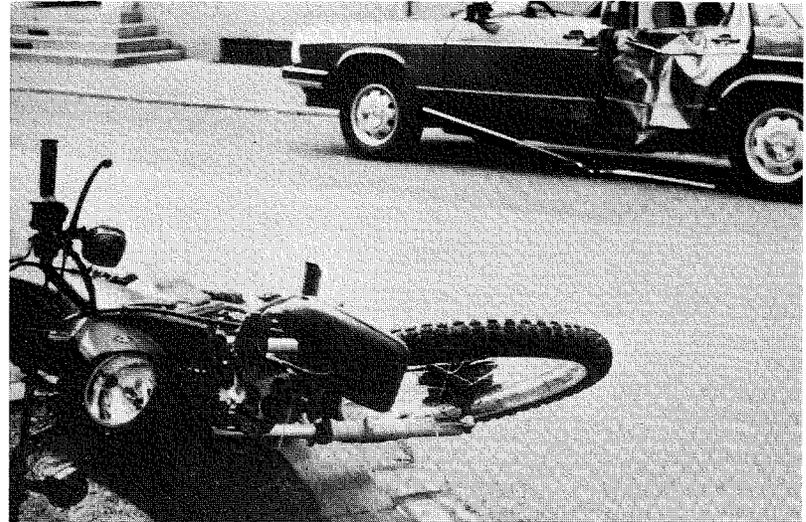


Bild 9

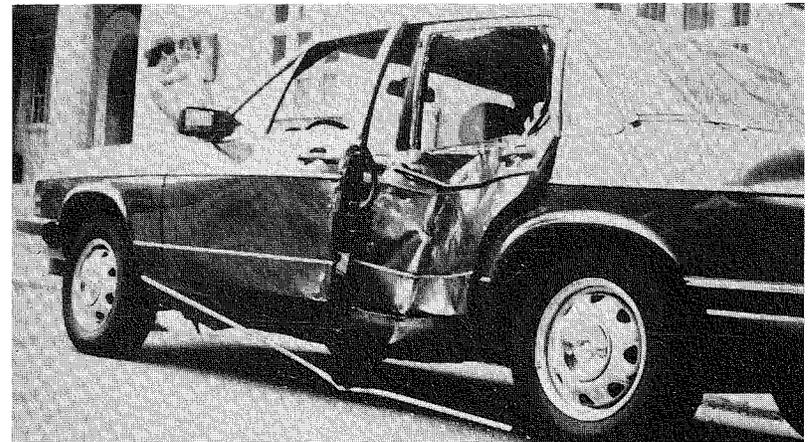


Bild 10

Dieses Verhalten, das Aufrichten kurz vor der Kollision, ist natürlich problematisch, da in vielen Fällen die Kollision innerhalb der Zeit für Wahrnehmung und Reaktion stattfindet und somit von vornherein die Möglichkeit des Reagierens genommen wird. Aus diesem Grunde wurde die Suche nach weiteren Parametern zur Beeinflussung der Bewegungsbahn weitergeführt. Ein Sicherheitselement kristallisierte sich dabei als realistisch und unter bestimmten Voraussetzungen auch als wirksam heraus, nämlich der Airbag. Zwar ist der Airbag bisher ein Teil eines Rückhaltesystems im Pkw, doch könnte sich bei einer Anpassung auf zweiradspezifische Probleme durchaus auch für Motorräder eine Schutzwirkung des Luftsackes ergeben. Ganz entscheidend ist dabei die Tatsache, daß ein einfaches Übertragen des Airbagkonzeptes auf das Zweirad nicht funktionieren kann, da es sich hier um weitaus komplexere Probleme handelt.

Die ersten Versuche mit einem solchen Airbag wurden bereits in den 70er Jahren gefahren [Hirsch, 1973 (9)]. (Bild 11 bis 16)

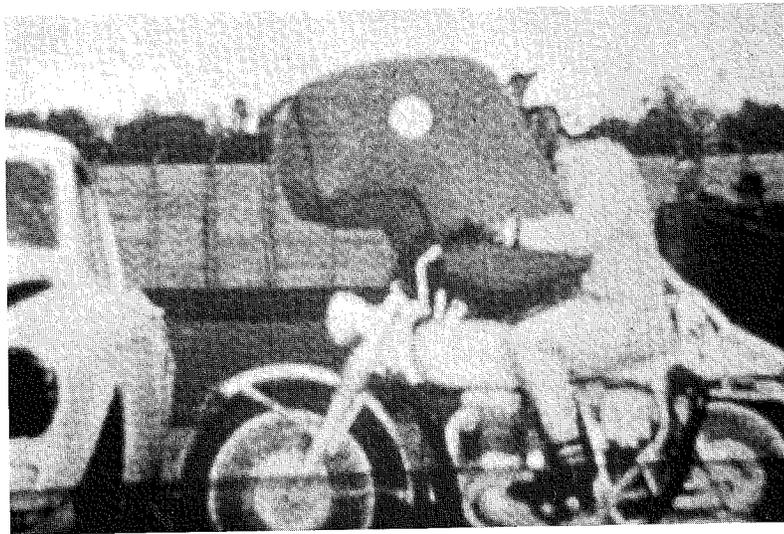


Bild 11

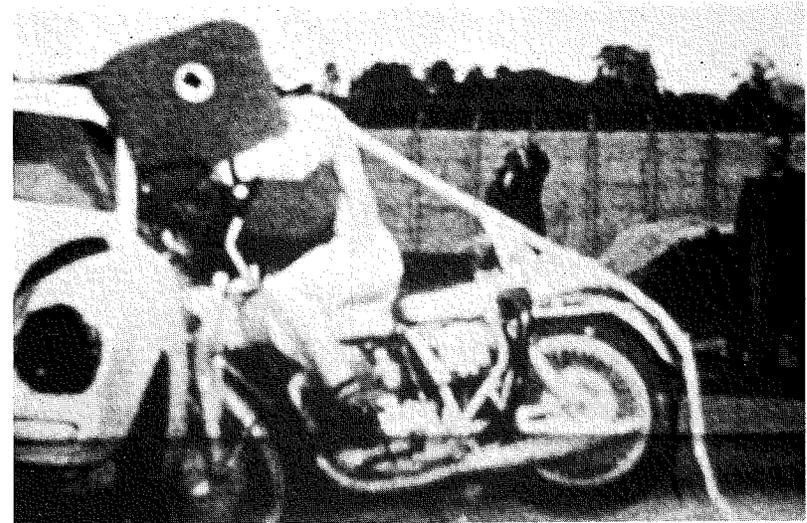


Bild 12

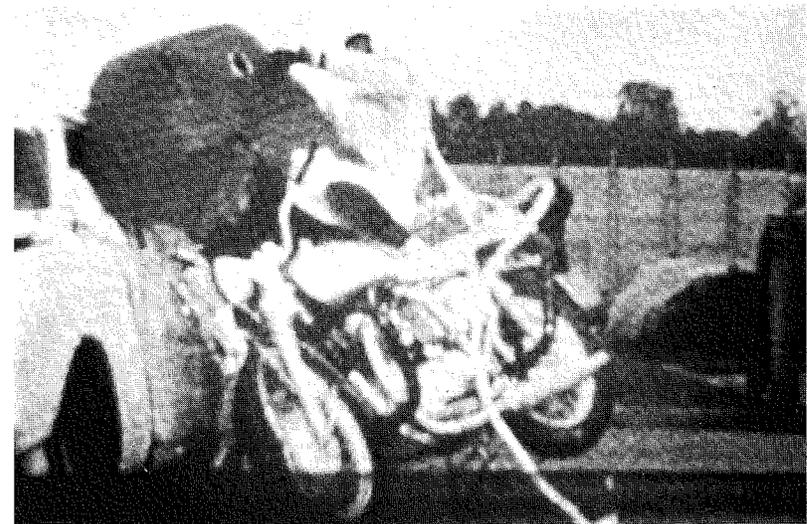


Bild 13

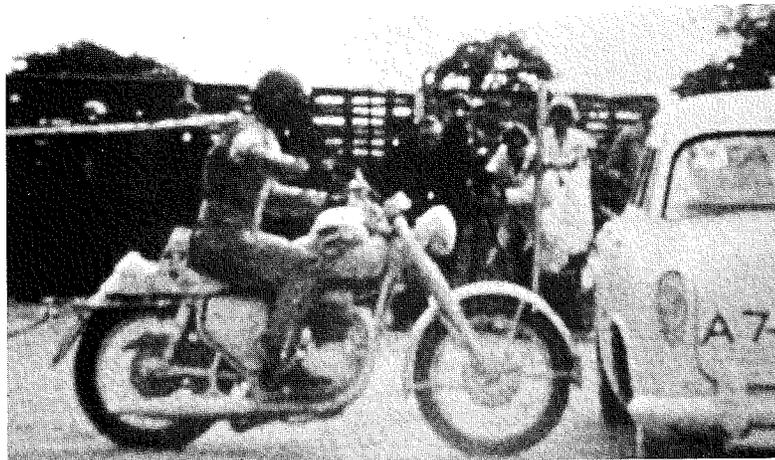


Bild 14

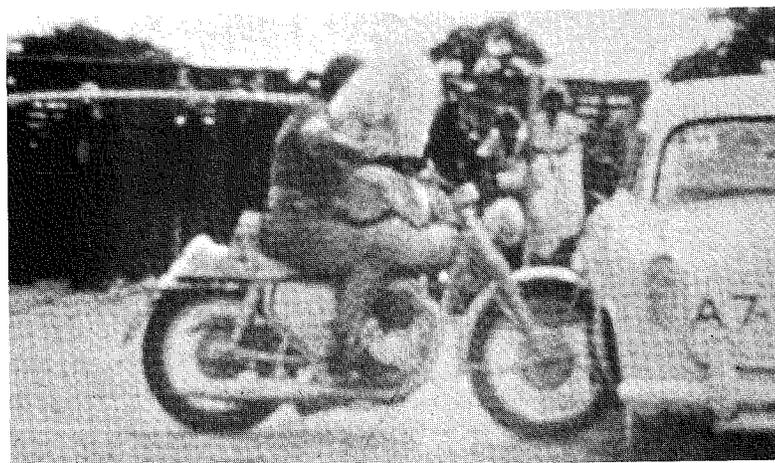


Bild 15

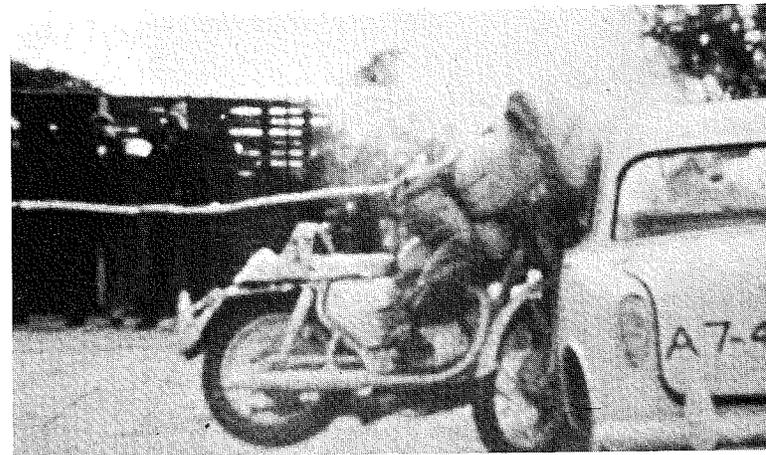


Bild 16

Das Ziel der damaligen Versuche war es, den Zweiradfahrer so gut wie möglich mit einem Polster vor dem Unfallgegner abzufangen. Die Bilder zeigen die Form dieser Luftsäcke. Eine direkte Weiterentwicklung dieser Versuchsreihe ist nicht bekannt, dafür konnte man auf der letzten ESV-Konferenz in Oxford neue Überlegungen zu diesem Thema sehen [Chinn, 1985 (10)].

Der verwendete Airbag wurde aus einem Pkw entnommen und in der Nähe des Lenkerkopfes montiert. (Bild 17, 18, 19)

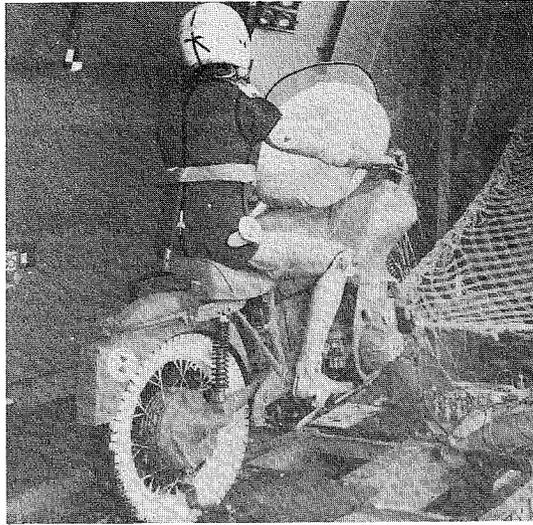


Bild 17

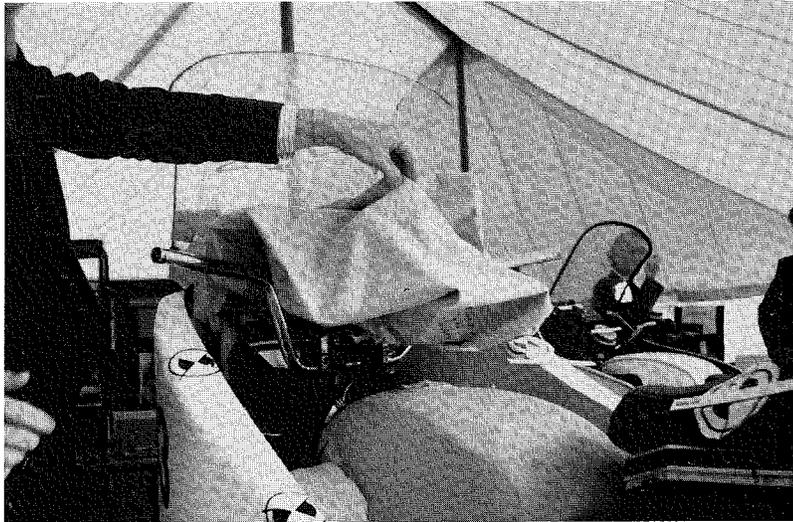
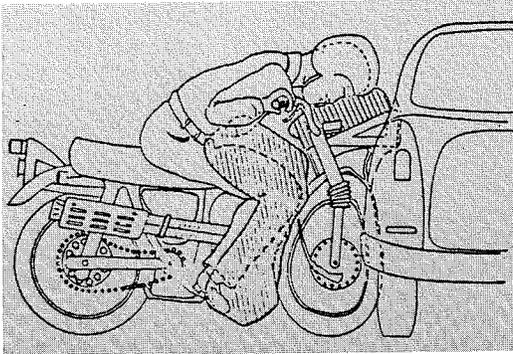


Bild 18

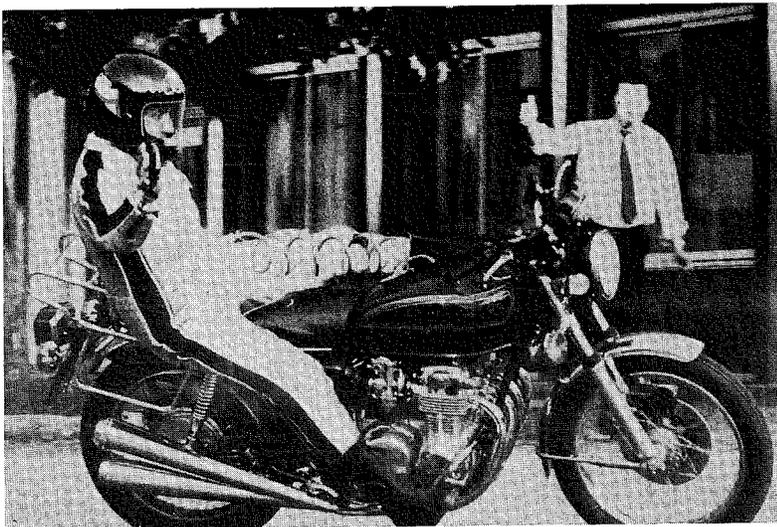


Bild 19

Das Ziel dieser Anordnung war, die kinetische Energie des Zweiradfahrers durch eine Rotation des Oberkörpers in den Airbag abzubauen. Das nächste Bild zeigt, wie diese Kinematik funktionieren soll. (Bild 20)

Bild 20

Eine Möglichkeit, die Luftpolsterung am Fahrer direkt zu verwirklichen, wurde ebenfalls entwickelt, und zwar in Form eines Luftkammernschutzanzuges. (Bild 21)

Bild 21

Dieser Gedanke ist durch die neuartige Technik der Hartschaum-einlagen in Schutzanzügen wieder etwas in den Hintergrund geraten, da zudem der Preis dieses Anzuges mit seiner etwas komplizierten Technik vom kommerziellen Standpunkt aus nicht sehr attraktiv war [Danner, 1984 (12)].

Der Gedanke der Sicherheitserhöhung durch Luftdämpfung ist daher auch beim Zweirad nicht von der Hand zu weisen. Fest steht aber, daß der Airbag nicht isoliert als universelles Sicherheitselement betrachtet werden darf, sondern nur ein Baustein auf dem Weg zur verbesserten Zweiradsicherheit ist. Die Fortsetzung der bereits genannten Untersuchungsergebnisse zwingt daher die Anforderungen an den Airbag für das Zweirad zu erweitern, und zwar in Richtung auf eine Beeinflussung der Bewegungsbahn.

Diese beiden Punkte, Aufpralldämpfung und Beeinflussung der Bewegungsbahn sind, wenn sie von einem Airbag erfüllt werden können, eine weitere Erhöhung des Sicherheitsniveaus auf dem Motorrad. (Bild 22)

Anforderungen an den Zweirad-Airbag

- Flugbahnbeeinflussung
- Aufpralldämpfung

Bild 22

Soweit nun die vorausgehenden Überlegungen, die zu einer Versuchsreihe geführt haben, die den Einfluß des Airbags auf dem Motorrad zeigen sollten.

Fünf Hauptproblemgebiete sind dabei zu lösen, die ich im folgenden näher vorstellen möchte. (Bild 23)



Bild 23

Bei unserer Versuchsreihe haben wir bei Punkt 1, dem Anbringungsort, folgende Varianten in Betracht gezogen. (Bild 24)

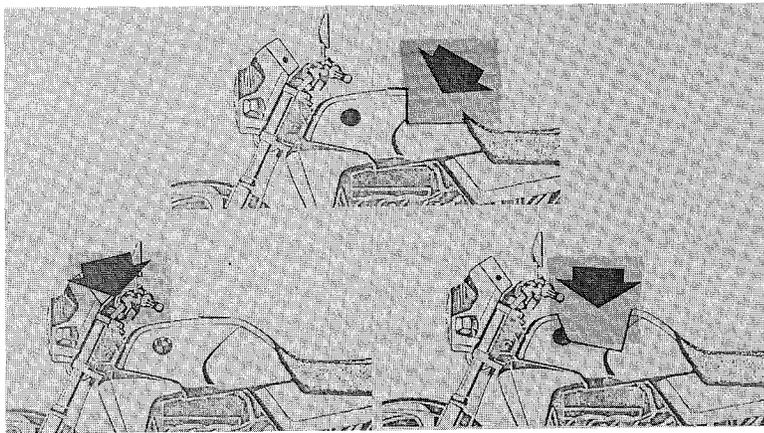


Bild 24

1. Vorderer Tankbereich
2. Hinterer Tankbereich
3. Lenkerbereich

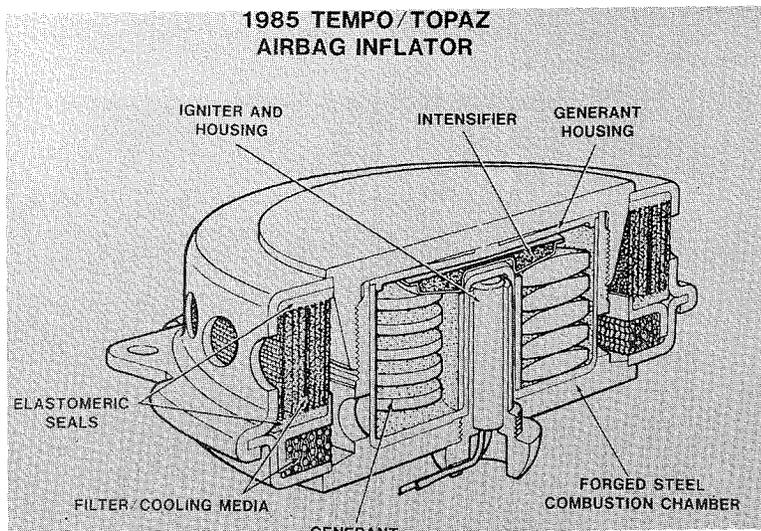
Das Volumen und die Airbagform müssen sich von der Pkw-Ausführung deutlich unterscheiden. (Bild 25)



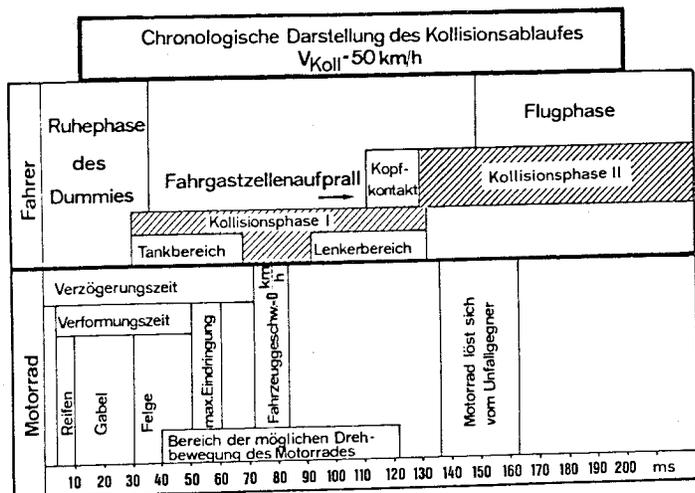
Bild 25

Während beim Pkw eine kissenförmige Ausführung mit ca. 70 l Inhalt ausreichend für eine Abpolsterung vor dem Lenkrad ist, kann beim Zweirad ein solcher Airbag keinerlei signifikante Schutzfunktionen übernehmen. Als mögliche Variationen erschienen uns die Ausführungen des Luftsackes als Kegelstumpf bzw. Pyramidenstumpf. Aber auch eine Ausführung als Zylinder wäre denkbar. Die Vorteile dabei liegen in der höheren Reichweite des Luftkissens, denn nur so kann auch eine dämpfende Wirkung im Dachkantenbereich erreicht werden. Pkw-Kissen reichen in diesen Bereich nicht hinein. Zwangsläufig erhöht sich dadurch das Volumen, weshalb bei unseren Versuchen Volumina zwischen 80 und 92 Litern Verwendung fanden.

Die Fülltechnik, das heißt die in wenigen Millisekunden stattfindende Blähung des Kissens, ist in der heutigen Zeit weitgehend optimiert [Technische Information (11)]. Die Druckluft- bzw. Hybridfüllungen der früheren Jahre gehören endgültig der Vergangenheit an. Ein gesteuerter Abbrand durch Festtreibstoff ermöglicht heutzutage Auffüllzeiten im Bereich von 30 - 40 ms. (Bild 26)

**Bild 26**

Ein Blick auf die chronologische Reihenfolge des Kollisionsablaufes bei einem 50 km/h-Crash zeigt, daß diese Zeitspanne ausreichend ist, um den nach vorne rutschenden Motorradfahrer vor einem Aufprall zu schützen. (Bild 27)

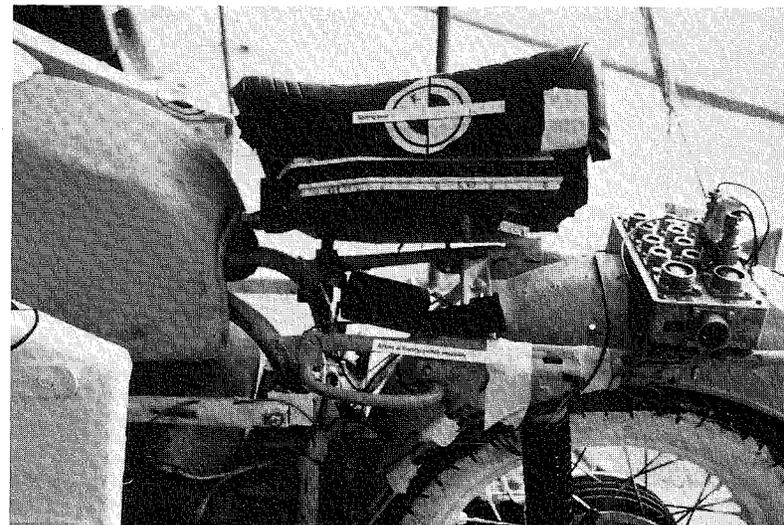
**Bild 27**

Im vorletzten Punkt, der Auslösetechnik, sind zwei Probleme zusammengefaßt. Einmal der Auslösungszeitpunkt und zum zweiten die Auslösungsmechanik. Bei unseren Versuchen konnten wir den Zündzeitpunkt des Gasgenerators stufenlos von t_0 bis 50 ms nach t_0 variieren, um die Bewegung des Dum mies mit dem Füllzeitendpunkt zu kombinieren. Bei einer Kollisionsgeschwindigkeit von 40 km/h lag der Zündzeitpunkt bei 45 ms nach t_0 .

Der Auslösemechanismus erfolgte, bedingt durch die verwendeten Gasgeneratoren, durch eine elektrische Kurzschlußschaltung. Die Auslösung dieser Schaltung könnte auf dem Motorrad durch verschiedene Möglichkeiten verwirklicht werden. Folgende Vorschläge sollten dabei diskutiert werden

1. Auslösung durch einen Verzögerungsaufnehmer
2. Auslösung durch einen Dehnmeßstreifen, der auf die Verbiegung der Vorderradgabel reagiert.
3. Auslösung durch ein Trägheitselement, das einen elektrischen Kontakt schließt.

Die letzte angesprochene Möglichkeit wurde bei den englischen Versuchen verwendet, wobei die Sitzbank des Motorrades auf einem Gleitlager nach vorne beweglich montiert wurde. (Bild 28)

**Bild 28**

Im Falle einer Kollision rutscht somit die Sitzbank in Kollisionsrichtung weiter und löst nach einem bestimmten Weg einen elektrischen Kontakt aus. Leider ist auch hier nicht bekannt, wie verschiedene Belastungen der Sitzbank, zum Beispiel durch Soziusbetrieb, die Auslösung beeinflussen können.

Die Auslösung durch die am Motorradrahmen auftretende Verzögerung birgt ebenfalls ein Problem in sich, das bereits beim Thema "Knautschzone" angesprochen wurde. Ein einheitlicher Verzögerungsverlauf ist beim Motorrad kaum zu erreichen, wie ein Blick auf die Verzögerungskurven zeigt. (Bild 29)

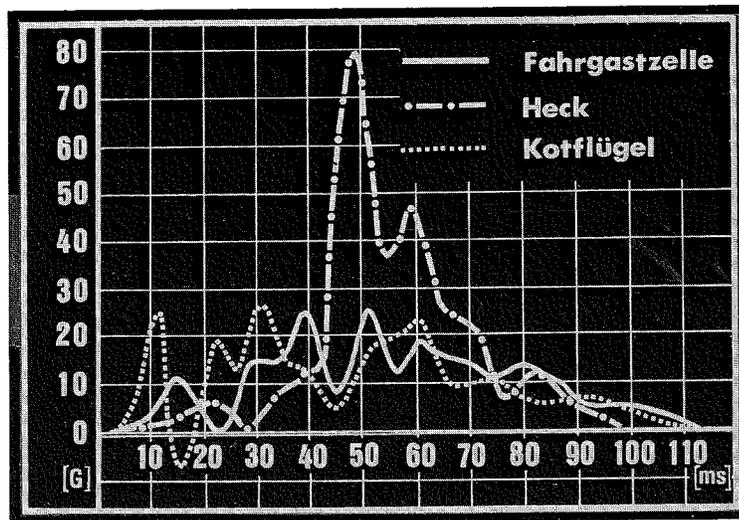


Bild 29

Bei gleicher Aufprallgeschwindigkeit, aber unterschiedlichem Aufprallpunkt, variieren die Werte ganz erheblich.

Die Überlegung einer elektrischen Zündung des Gasgenerators ist durch einen neuen Vorschlag aus den USA etwas in den Hintergrund gedrängt worden. Dort wurde nämlich ein mechanischer Airbag vorgestellt, der ohne elektrische Zündung den Gasgenerator auslöst. (Bild 30)

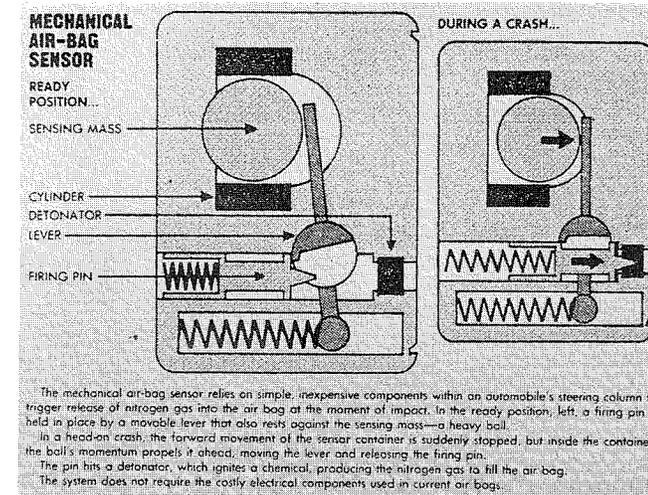


Bild 30

Dies geschieht mit Hilfe eines Schlagbolzens, der durch eine träge Masse bei der Kollision freigegeben wird und auf ein Zündhütchen trifft. Diese erste kleine Explosion zündet den Festtreibstoff, und der restliche Ablauf des Füllvorganges entspricht dem der elektrischen Zündung. Der bestechende Vorteil dieses Vorschlages liegt im Preis dieser Einheit. Nach Aussage des Herstellers kann bei entsprechender Fertigung eine komplette Airbageinheit für ca. 50\$ gefertigt werden. Es wurden bereits Fahrzeuge in Amerika mit diesen Airbags ausgerüstet, und man kann gespannt sein, wie die ersten Realunfälle damit ablaufen. In Versuchsreihen hat sich dieser Airbag bereits bestens bewährt [Breed (13)].

Vor dem Hintergrund dieser sich abzeichnenden Entwicklung ist die Verwendung eines Airbags auf dem Motorrad auch vom kommerziellen Standpunkt in Zukunft durchaus realistisch.

Unsere Versuche widmeten sich in erster Linie den soeben angesprochenen ersten beiden Punkten. Die Frage nach der Auslösesicherheit sollte vorerst noch nicht behandelt werden, da erst geklärt werden muß, ob die Verwendung eines Airbags auf dem Motorrad Erfolg verspricht oder nicht.

Der optimale Anbringungsort für den Airbag erscheint nach dieser Versuchsreihe im Bereich des Lenkers bzw. im vorderen Tankbereich. Damit könnte man auch das Problem eines Tankrucksackes umgehen, der sonst bei der Anbringung im Tank nicht verwendet werden dürfte.

Bei der Gestaltung des Airbags haben wir zwischen den beiden Formen eines Kegelstumpfes und eines Pyramidenstumpfes variiert. Unsere Überlegungen zielten darauf ab, möglichst viel Volumen in den oberen Bereich des Airbags zu bekommen, da in dieser Höhe der gefährliche Dachaufprall stattfindet. Der Pyramidenstumpf zeigte eine etwas größere Stabilität, was aller Wahrscheinlichkeit nach auf die vier Nähte zurückzuführen ist. Andererseits erhöhen zusätzliche Nähte die Herstellungskosten, weshalb der Kegelstumpf von den Fertigungskosten her günstiger zu produzieren sein wird. Beim Zylinder erhöht sich das Volumen zwangsläufig durch den größeren Durchmesser im unteren Bereich des Airbags. Bei unseren Versuchen wurde mit Gasgeneratoren gearbeitet, die mit 76g Treibstoff ausgerüstet waren. Durch Verwendung von etwas mehr Treibstoff ist es denkbar, dieses vergrößerte Volumen mit einem befriedigenden Druck zu füllen. Damit könnte die Verwendung von zwei Gasgeneratoren vermieden werden, die nicht nur den Preis, sondern auch das Gewicht der Einheit erhöhen.

Der Auslösungszeitpunkt der Treibladung lag bei den beiden letzten Versuchen 45 ms nach t_0 . Der Füllvorgang war somit nach 90 - 100 ms abgeschlossen, und der maximale Druck des Airbags und die Vorwärtsbewegung des Dummies in Richtung Dachkante fanden gleichzeitig statt. Die folgenden Bilder zeigen diesen Versuch. (Bild 31 bis 35)



Bild 31

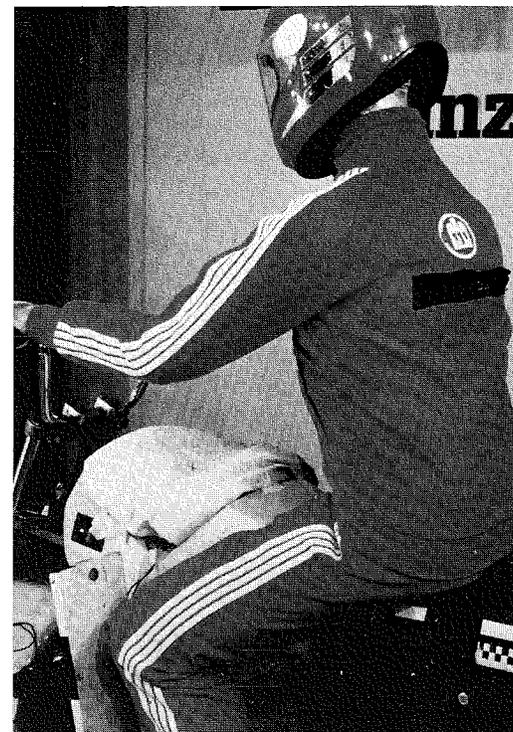


Bild 32

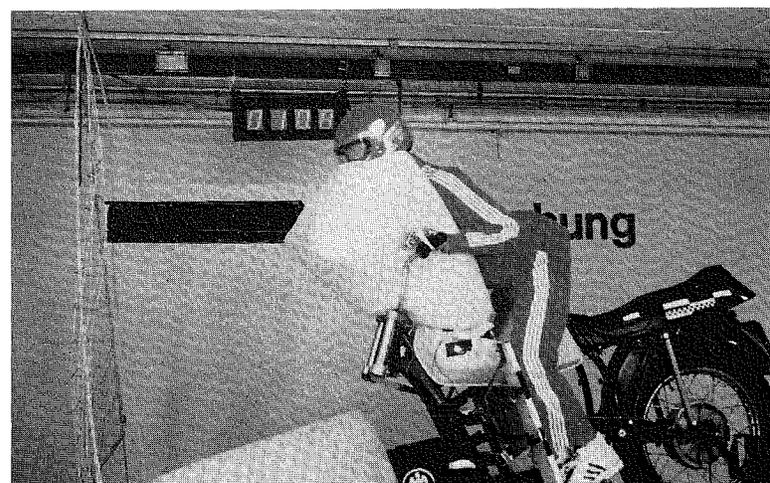


Bild 33

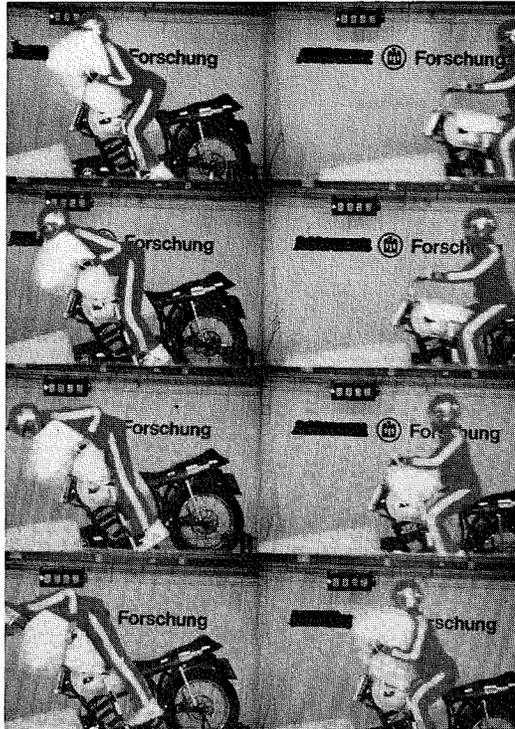


Bild 34

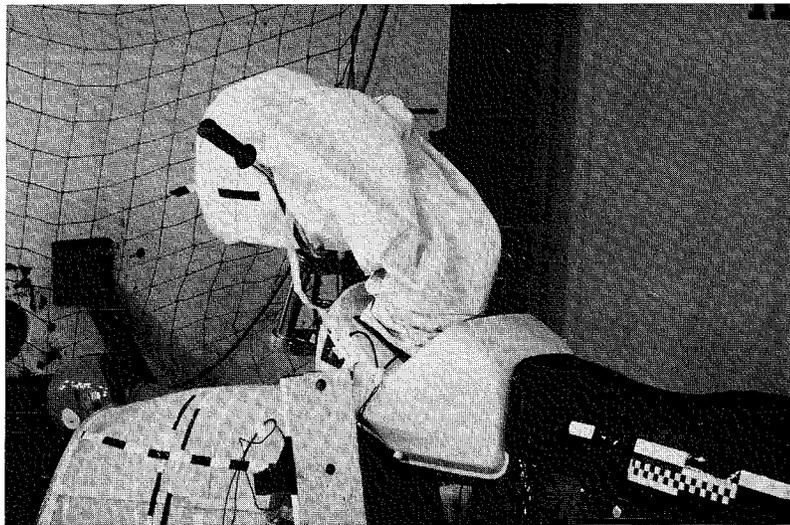


Bild 35

Zusammenfassend läßt sich sagen, daß auf dem Gebiet der passiven Sicherheit auf dem Motorrad noch lange nicht alle Sicherheitsreserven erforscht sind. Die Optimierung der Bewegungsbahn muß als erfolgversprechende Maßnahme in Zukunft intensiv vorangetrieben werden. Weitere Sicherheitsmaßnahmen sind durch den Airbag möglich, die ich hoffentlich mit diesem Referat etwas angeregt habe. Das Hauptproblem dabei ist die Anpassung der Airbagtechnik an zweiradspezifische Eigenschaften.

Nach wie vor steht auch dann die Bewegungsbahn des Zweiradfahrers im Vordergrund, und wenn es gelingt, sie zu optimieren, so daß die gefährlichen Kontakte mit dem Unfallgegner vermieden werden können, darf von einer Reduzierung des Verletzungsrisikos gesprochen werden. (Bild 36)

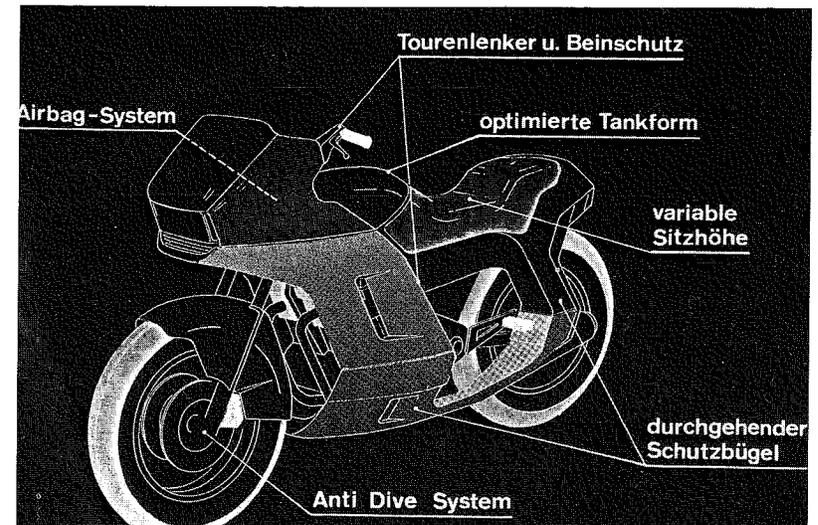


Bild 36

Der Airbag kann dann auch für Motorräder ein Sicherheitssystem der Zukunft sein, wenn erstens alle angesprochenen Probleme gelöst werden und zweitens die Kostenfrage in einem realistischen Rahmen bleibt.

Literatur

- (1) Langwieder, K.: Collision Characteristics And Injuries To Motorcyclists And Moped Drivers. 21. Stapp Car Crash Conference 1977.
- (2) Hugh, H./Hurt, Jr.: Status Report Of Accident Investigation Data. Traffic Safety Center, Univ. of Southern California 1979.
- (3) Severy, D.M. et al.: Motorcycle Collisions Experiments. 14. Stapp Car Crash Conference 1970.
- (4) Hight, P.V. et al.: Injury Mechanism In Motor-Cycle Collisions. 17. Conference Of The American Association For Automotive Medicine.
- (5) Der Motorradunfall - Beschreibung, Analyse, Prävention: Forschungshefte Zweiradsicherheit Nr. 3: Institut für Zweiradsicherheit, Hrsg. Hubert Koch, Bochum 1986.
- (6) Sporner, A.: Experimentelle und mathematische Simulation von Motorradkollisionen im Vergleich zum realen Unfallgeschehen. Diss. München Mai 1982.
- (7) Grandel, J./Schaper, D.: Impact Dynamic, Head Impact Severity and Helmets Energy Absorption in Motorcycle/Passenger Car Accident Tests. International IRCOBI Conference 1984.
- (8) Danner, M./Langwieder, K./Sporner, A.: Accidents of Motorcyclists - Increase Of Safety By Technical Measures On The Basis Of Knowledge Derived From Real Live Accidents. 10. ESV Conference Oxford Juli 1985.
- (9) Hirsch, A.E./Bothwell, P.: Airbag Crash Protection For Motorcycle Application. N.H.T.S.A. 1973.
- (10) Chinn, et al.: Motorcycle Rider Protection In Frontal Impacts. ESV Conference 1985.

- (11) Technische Informationen der Bayern Chemie.
- (12) Danner, M./Langwieder, K./Polauke, J./Sporner, A.: Schutzkleidung für motorisierte Zweiradfahrer. Bundesanstalt für Straßenwesen, Dezember 1984.
- (13) Breed, D.: Can We Develop Less Expensive Airbags? SAE Paper 851201.