

Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 24

bast

Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes

von

Ingo Kalliske
Christoph Albus
Eberhard Faerber

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 24

bast

Die Bundesanstalt für Straßenwesen veröffentlicht ihre Arbeits- und Forschungsergebnisse in der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen**. Die Reihe besteht aus folgenden Unterreihen:

A - Allgemeines
B - Brücken- und Ingenieurbau
F - Fahrzeugtechnik
M- Mensch und Sicherheit
S - Straßenbau
V - Verkehrstechnik

Es wird darauf hingewiesen, daß die unter dem Namen der Verfasser veröffentlichten Berichte nicht in jedem Fall die Ansicht des Herausgebers wiedergeben.

Nachdruck und photomechanische Wiedergabe, auch auszugsweise, nur mit Genehmigung der Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Die Hefte der Schriftenreihe **Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen** können direkt beim Wirtschaftsverlag NW, Verlag für neue Wissenschaft GmbH, Bgm.-Smidt-Str. 74-76, D-27568 Bremerhaven, Telefon (04 71) 9 45 44 - 0, bezogen werden.

Über die Forschungsergebnisse und ihre Veröffentlichungen wird in Kurzform im Informationsdienst **BAST-Info** berichtet. Dieser Dienst wird kostenlos abgegeben; Interessenten wenden sich bitte an die Bundesanstalt für Straßenwesen, Referat Öffentlichkeitsarbeit.

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 96526:
Beurteilung eines neuartigen Zweiradkonzeptes hinsichtlich der Gewährung einer Ausnahmegenehmigung von der Helmtragepflicht

Herausgeber:

Bundesanstalt für Straßenwesen
Brüderstraße 53, D-51427 Bergisch Gladbach
Telefon (0 22 04) 43 - 0
Telefax (0 22 04) 43 - 674

Redaktion:

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag:

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax (04 71) 9 45 44 77

ISSN 0943-9307

ISBN 3-89701-208-1

Bergisch Gladbach, August 1998

Kurzfassung - Abstract

Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes

Aufgrund des hohen Anteils von ca. 80% des Individualverkehrs am gesamten Personenverkehr, der abnehmenden Verkehrsräume und der zunehmenden Verkehrsdichte im innerstädtischen Bereich ist es erforderlich, geeignete Verkehrs- und Fahrzeugkonzepte zu entwickeln, um dieses Verkehrsaufkommen zu bewältigen.

Die BMW AG hat vor diesem Hintergrund ein neuartiges Zweiradfahrzeug konzipiert. Auf diesem Fahrzeug sitzt der Fahrer aufrecht und angegurtet in einem speziellen Schutzraum, der aus Überrollbügeln gebildet wird. Zusätzlich verfügt das Zweirad im Frontbereich über eine Knautschzone.

Da das Fahrzeug bezüglich der passiven Sicherheit über einen hohen Standard verfügt und die Akzeptanz am Markt davon abhängig ist, wird die Möglichkeit untersucht, den Fahrer dieses Fahrzeugs von der Helmtragepflicht zu befreien. Darüber hinaus werden allgemeine Aspekte der aktiven und passiven Sicherheit bewertet.

Die Ergebnisse der Untersuchungen sollen es dem Bundesministerium für Verkehr ermöglichen, wissenschaftlich begründete Entscheidungen hinsichtlich der Befreiung von der Helmtragepflicht und den allgemeinen Zulassungsbedingungen zu treffen.

Die Untersuchungen basieren auf Meßergebnissen und Videoaufzeichnungen von Anprallversuchen, auf Ergebnissen von Computersimulationen, Daten aus Unfallerehungen, Literaturstudien, Fachgesprächen und weiteren Analysen.

Die Sicherheit des C1-Zweirades wurde jeweils für den Frontalanprall, den seitlichen Anprall und die Ausschleuderphase bewertet. Alle Versuchs- und Simulationsdaten ergaben Dummybelastungen, die zeigten, daß das C1-Fahrzeug im Frontalanprall erheblich sicherer ist als ein herkömmliches Zweirad. Auch beim seitlichen Anprall ergibt sich ein Sicherheitsvorteil gegenüber herkömmlichen Zweirädern. Die Ausschleuderphase bei einem Zweiradunfall ist sehr komplex. Soll der Fahrer des C1-Zweirades von der Helmtragepflicht befreit werden, ist sicherzustellen, daß sein Kopf zu keinem Zeitpunkt mit der Fahrbahn oder anderen Hindernissen in Kontakt kommt. Hierzu sind die Sicherheitsrah-

menstruktur und das Gurtsystem entsprechend auszulegen.

Um das Sicherheitspotential des Zweirades zu bewerten, wurden u.a. Versuche nach ISO 13232 durchgeführt, in der Unfallkonstellationen zur Beurteilung des Schutzes von Zweiradaufsassen bei Unfällen empfohlen werden.

Das Gutachten stellt fest, daß das C1-Zweirad die an die aktive und passive Sicherheit zu stellenden Anforderungen erfüllt. Darüber hinaus kann der Benutzer des Zweirades vorerst von der Helmtragepflicht befreit werden. Die Helmtragepflichtbefreiung ist an die Umsetzung von Sicherheitsanforderungen gekoppelt, die in einem Anforderungskatalog zusammengestellt wurden. In diesem Zusammenhang sind zwei neue Testverfahren entwickelt worden. Aus den Ergebnissen dieses Gutachtens wurden allgemeine Anforderungen für Zweiräder dieser Bauart definiert und eine Ausnahmeverordnung für die Straßenverkehrsordnung (Befreiung von der Helmtragepflicht) vorbereitet.

Damit etwaige Probleme frühzeitig erkannt werden, sind nach Markteinführung Unfälle unter Beteiligung des C1-Zweirades sorgfältig zu beobachten und auszuwerten.

Evaluation of the safety aspects of a new two-wheeler concept

Due to the high percentage of total passenger traffic which is made up by private transport (approx 80 %), the declining amount of traffic space and the increasing traffic density in city centres, it is necessary to develop appropriate traffic and vehicle concepts to cope with this traffic volume.

In view of this, BMW AG has developed a new two-wheel vehicle. The driver wears a seatbelt and sits upright on the vehicle within a specially protected space formed by roll bars. The front of the two-wheeler is also fitted with a deformation zone.

As the vehicle has a high standard of passive safety and acceptance on the market depends on this, the possibility of exempting the driver of this type of vehicle from the obligation to wear a helmet was investigated. General aspects of the active and passive safety were also evaluated.

The investigation results should enable the Federal Ministry of Transport to make scientifically sound decisions concerning the exemption from the obligation to wear a helmet and general approval provisions.

The investigations were based on measuring results, video recordings of crash tests, results of computer simulations, data from accident investigations, literature studies, technical discussions and other analyses.

Evaluations were made of the safety of the C1 two-wheeler in frontal and lateral collisions and during the ejection phase. All test and simulation data resulted in dummy loads which revealed that the C1 vehicle was considerably safer in the case of frontal collisions than a conventional two-wheeler. It also showed a higher level of safety than conventional two-wheelers in the case of lateral collisions. The ejection phase during a two-wheeler accident is very complex. If the driver of a C1 two-wheeler is to be exempted from the obligation to wear a helmet, it should be ensured that his head does not at any point come in contact with the road surface or any other obstacles. The safety frame structure and the belt system should be designed accordingly.

In order to evaluate the safety potential of the two-wheeler, tests were carried out in accordance with, inter alia, ISO 13232, which contains recommendations regarding accident constellations for the evaluation of the protection of two-wheeler passengers during accidents.

The expertise states that the C1 two-wheeler meets the requirements regarding active and passive safety. Furthermore, the user of the two-wheeler can for the present be exempted from the obligation to wear a helmet. This exemption is subject to the implementation of safety requirements listed in a requirement catalogue. Two new test methods have been developed in this regard. From the results of this expertise, general requirements for two-wheelers of this type were defined and a special ordinance for the Road Traffic Regulations prepared (exemption from the obligation to wear a helmet).

In order to identify any problems at an early stage, accidents involving C1 two-wheelers should be carefully observed and evaluated after they are introduced onto the market.

Inhalt

1	Aufgabenstellung	6		
2	Einleitung	7		
3	Neuartige Zweiradkonzepte - Beispiele und Entwicklungen -.....	8		
4	Das BMW-C1-Zweirad-Konzept	8		
4.1	Allgemeine Aspekte	9		
4.2	Beschreibung des Sicherheitskonzeptes des C1-Zweirades hinsichtlich der passiven Sicherheit	10		
5	Bewertung der aktiven Sicherheit des C1-Zweirades	10		
5.1	Allgemeine Aspekte der aktiven Sicherheit von motorisierten Zweirädern	10		
5.2	Besonderheiten der aktiven Sicherheit und Zielkonflikte zur passiven Sicherheit bei neuartigen Zweiradkonzepten	11		
5.3	Beurteilung des C1-Konzeptes	13		
5.3.1	Erkenntnisse aus Probefahrten	13		
5.3.2	Beurteilung der aktiven Sicherheit	14		
5.3.3	Folgerungen hinsichtlich fahrzeugtechnischer Zulassungsbestimmungen	14		
6	Bewertung der passiven Sicherheit des C1-Zweirades	15		
6.1	Abschätzung des Verhaltens des C1 Zweirades im Verkehrsunfall	15		
6.1.1	Frontal-Anstoß des C1-Zweirades	15		
6.1.2	Seitlicher und schiefwinkliger Anstoß an das C1-Zweirad	16		
6.1.3	Fahrzeugverhalten nach dem Primärstoß	16		
6.2	Versuchsergebnisse und deren Bewertung.....	16		
6.2.1	Bewertung der Crash-Versuche	17		
6.2.2	Bewertung der Simulationsergebnisse	19		
6.2.3	Abschätzung der seitlichen Kopfbewegung eines C1-Aufsassen in der Ausschleuderphase	19		
6.3	Auswertung der örtlichen Unfallerebungen für die Bewertung des C1-Konzeptes	21		
6.3.1	Örtliche Unfallerebungen in Hannover.....	21		
6.3.2	Bewertung der von der BMW AG getesteten Unfallkonstellationen.....	23		
6.4	Schlußfolgerungen zur passiven Sicherheit und der Befreiung von der Helmtragepflicht für Fahrer des C1-Fahrzeuges	24		
7	Allgemeine Anforderungen an mit dem C1-Zweirad vergleichbare Konzepte	26		
8	Untersuchungsvorschlag zur Beobachtung des Markt- und Unfallgeschehens	27		
9	Literatur	28		
	Anhang	29		
	Anhang 1: Ergebnisse aus Crashversuchen und Simulationen	30		
	Anhang 2: Abschätzung der seitlichen Kopf-Hals-Verlagerung	34		
	Anhang 3: Einteilung von Unfällen nach ISO 13232, Versuchsmatrix	36		
	Anhang 4: Seitlicher Umkipptest	37		
	Anhang 5: Dacheindrückttest	39		
	Anhang 6: Stand hinsichtlich fahrzeugtechnischer Zulassungsbestimmungen nach EU-Recht	41		

1 Aufgabenstellung

Die Bayerischen Motorenwerke (BMW AG) haben ein neuartiges Zweiradkonzept mit der internen Bezeichnung C1 entwickelt (Prinzipbild siehe Bild 1). Auf diesem Zweirad sitzt der Fahrer aufrecht und ist mit einem Gurtsystem gesichert. Um den Überlebensraum für den Aufsassen, im Falle eines Crashes zu sichern, wurde eine spezielle Rahmenstruktur mit einem integrierten System von Überrollbügeln entwickelt. Dieses bietet gleichzeitig weitgehenden Schutz vor Witterungseinflüssen. Zusätzlich hat das Fahrzeug im Frontbereich eine Knautschzone.

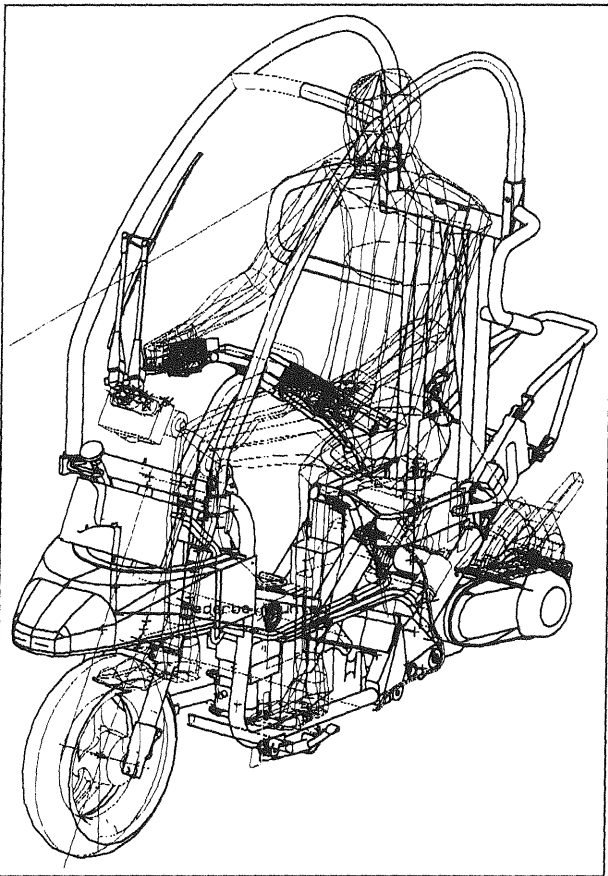


Bild 1: Prinzipdarstellung des C1-Zweiradkonzeptes

Das Bundesministerium für Verkehr (BMV) hat die Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) beauftragt, eine gutachterliche Stellungnahme zu erarbeiten und zu prüfen, ob das oben genannte Fahrzeugkonzept für einen Fahrer ohne Schutzhelm mindestens genauso sicher zu fahren ist, wie ein herkömmliches Kraftrad oder ein Motorroller für einen Fahrer mit Schutzhelm. Darüber hinaus soll untersucht werden, ob das C1-Fahrzeug den allgemein an die aktive und passive Sicherheit zu stellenden Anforderungen (z.B. Minimierung des Verletzungsrisikos anderer Körperteile wie Gliedmaßen, Brust-

korb usw.) entspricht. Da die Frage der Befreiung von der Schutzhelmtragepflicht von der ganzheitlichen Bewertung der passiven Sicherheit des C1-Zweirades nicht zu trennen ist, wird hier der Bericht „Neues Zweiradkonzept der BMW AG - C1, Teil 1: Stellungnahme zu einer möglichen Befreiung von der Schutzhelmtragepflicht“ erweitert.

2 Einleitung

Der Individualverkehr hatte im Jahre 1994 mit 44,56 Mio. beförderten Personen einen Anteil von 81% am gesamten Personenverkehr.

Mit verkehrspolitischen Maßnahmen wird versucht, den Individualverkehr aus den Ballungszentren in die Randbezirke der Städte zu verlagern. Viele Städte sind, aufgrund des hohen Verkehrsaufkommens, den Grenzen bei der Gestaltung des Verkehrsflusses sowie den Beschränkungen beim Bau von Verkehrswegen kaum in der Lage, den Verkehr zu den Spitzenzeiten zu bewältigen. Betrachtet man weiterhin die Personenbesetzung eines Pkw im Stadtverkehr (durchschnittlich ca. 1,5 Personen/Fahrzeug), so zeigt sich, daß ein sehr ungünstiges Verhältnis zwischen der Anzahl beförderter Personen pro Pkw bezogen auf den beanspruchten Verkehrsraum besteht. Verbesserung durch eine erhöhte Auslastung der Fahrzeuge, z.B. durch Fahrgemeinschaften, oder alternative Fahrzeugkonzepte, bei denen die Fahrzeuge weniger Verkehrsfläche benötigen, wären mögliche Lösungen.

Den letztgenannten Gedanken hat die BMW AG mit dem C1-Zweirad aufgegriffen. Die Idee zu diesem Fahrzeug wurde 1991 entwickelt. 1992 wurde das C1-Konzept im Rahmen eines Vortrages anlässlich der Motorrad-VDI-Konferenz mit dem Titel „Verkehrsmittel der Zukunft, Strukturauslegung eines Zweiradsicherheitsrahmens“ vorgestellt (NURTSCH, 1993). Im gleichen Jahr zeigte die BMW AG eine Konzeptstudie des C1 auf der IFMA, um die Kundenreaktionen zu untersuchen. Dabei zeigte sich, daß die Akzeptanz stark von Kriterien wie Erhalt der Individualität bei der Beförderung, weitgehend dem Pkw entsprechender Komfort (z.B. weitgehende Witterungsunabhängigkeit) und einem hohen Sicherheitsniveau abhängt. Als entscheidend für die Marktakzeptanz des Fahrzeugs hat sich die Befreiung von der Helmtragepflicht herausgestellt.

Zur Bearbeitung der Frage der Befreiung von der Helmtragepflicht und der ganzheitlichen Bewertung der aktiven und passiven Sicherheit des C1-Zweiradkonzeptes wurden, wie nachfolgend auf-

geführt, verschiedene Unterlagen ausgewertet sowie Untersuchungen, Probefahrten und Besprechungen durchgeführt. Desweiteren wurden Erkenntnisse aus Diskussionen im FKT Sonderauschuß „Zweiradfahrzeuge“ herangezogen.

Die BMW AG ließ insgesamt neun Crashversuche mit dem C1-Fahrzeug durchführen. Es wurden die Filmaufzeichnungen und die Meß- und Berechnungsdaten der Crash-Versuche sowie Berechnungsergebnisse aus Computersimulationen zur Verfügung gestellt. Am 18.12.1996 fand im Hause BMW eine Besprechung zum Thema „C1-Zweirad“ statt. In einem ersten theoretischen Teil wurde das Fahrzeugkonzept detailliert vorgestellt und anschließend konnte das C1-Zweirad in Probefahrten getestet werden. Besprechungen zum Inhalt des Gutachtens sowie zum weiteren Vorgehen bei der ganzheitlichen Bewertung des C1-Konzeptes wurden am 20.02.1997 in der BAST und am 24.02.1997 bei der BMW AG durchgeführt. Am 17.06.97 wurde durch die BMW AG ein Prototyp des C1 zur Verfügung gestellt, um das Fahrzeug und dessen Eigenschaften u.a. im realen Verkehrsgeschehen zu testen.

Die BAST führte eine Anfrage an die Medizinische Hochschule Hannover (MHH) durch, um aus unfallanalytischer Sicht eine Bewertung der Kopfverletzungsrisiken zu erhalten. Weiterhin wurden seitens der BAST eine Literaturstudie durchgeführt und eigene, im Rahmen anderer Projekte durchgeführte Crash-Versuche analysiert.

Zur Beurteilung der Aspekte der aktiven Sicherheit ist zu sagen, daß diese, mit Ausnahme der einzuhaltenden fahrzeugtechnischen Zulassungsbestimmungen (s. Kapitel 5.3.3), nur subjektiv möglich ist, da die für eine objektive Bewertung notwendigen Kriterien, Testverfahren und Grenzwerte nicht existieren. Es hat in der Vergangenheit dazu Ansätze gegeben (SCHMIEDER, 1991), (SCHWEERS, 1991), aber allgemein kann davon ausgegangen werden, daß die aktive Sicherheit und insbesondere das Fahrverhalten von Zweirädern nicht durch objektive Verfahren bewertet werden kann.

3 Neuartige Zweiradkonzepte - Beispiele und Entwicklungen -

Chancen von speziellen Stadtfahrzeugen als Individualverkehrsmittel werden schon seit langer Zeit untersucht. Ein entsprechendes Zweiradfahrzeug als neuartige Fahrzeugklasse wird seit Anfang der

90er Jahre intensiv diskutiert (SAMMER et al.), (HEINZE, 1991), (SIEVERT, 1997). Dieses neuartige Zweiradfahrzeug könnte ein Beitrag zur Lösung von Verkehrsproblemen in Ballungsräumen darstellen. Hierbei spielen die Aspekte Umweltschutz sowie Einsparung von Verkehrs- und Parkraum eine Rolle. Einer Studie zufolge (SAMMER et al.) ist eine Verlagerung des Wegeanteils von etwa 7 % auf ein solches „neues motorisiertes Zweiradfahrzeug“ bei entsprechenden Infrastrukturbedingungen zu erwarten.

Eine enge Definition dieser möglichen neuen Zweiradklasse existiert derzeit nicht. Vorstellbar sind rollerähnliche Zwei- und Dreiradfahrzeuge mit (teilweise) geschlossenen Aufbauten bzw. Kabinen, die als stadtkverkehrs- und alltagstaugliches Fahrzeug mehr als Transportmittel denn als Freizeitgerät eingesetzt werden können. Die o. g. Literaturstellen sowie Aufsätze zum (Gebrauchs-) Motorrad der Zukunft (ROUX et al., 1991), (WEIDELE, 1991) enthalten einige mögliche Merkmale bzw. Anforderungen an diese neuartige Fahrzeugklasse:

- hohe Bedienungsfreundlichkeit (z. B. Automatikgetriebe, einfache Handhabung, wartungsarmer Betrieb)
- Komfort- und Witterungsschutz
- hohe Anforderungen an die passive Sicherheit (gegebenenfalls ohne Helm, Schutzkleidung)
- Dachaufbau, geschlossene Kabine, Beinschutz
- Stabilisierungshilfen im Stand
- variable Transportkapazität.

Als Beispiele für Fahrzeuge, die in diese Richtung weisen, können das Honda-Modell Canopy genannt werden, bei dem der Aufbau über ein Kippgelenk mit der Zweiradhinterachse verbunden ist, sowie das Modell Bunny der Firma TGB (SAMMER et al.), (MOTORRADKATALOG, 1996).

4 Das BMW-C1-Zweirad-Konzept

Nach Einschätzung der BMW AG kann man bei dem C1-Konzept nicht von einem rollerähnlichen Fahrzeug sprechen, sondern es handelt sich um eine neue, andersartige und eigenständige Zweiradfahrzeug-Konzeption.

Die nachfolgenden Angaben sind Informationen der BMW AG und beschreiben den Stand des Fahrzeugs, welches für die Probefahrt zur Verfügung stand. Der derzeitige Planungsstand, bezüglich des zukünftigen Serienmodells, wird an den entsprechenden Stellen erwähnt.

4.1 Allgemeine Aspekte

Das C1-Fahrzeug ist zunächst als einsitziges Leichtkraftrad (EG-Definition) konzipiert. Das Zweirad soll eine Höchstgeschwindigkeit von ca. 100 km/h erreichen. Aufgrund der nationalen Führerscheinbestimmungen ist auch eine 80 km/h-Version geplant. Der Einsatz soll vor allem auf mittlere Strecken (20 - 50 km) in Ballungsgebieten erfolgen und ist daher geeignet für Pendler, Familien (als Ergänzung des Fuhrparks), Lieferservice (z.B. Pizzalieferanten), Kurierdienste (z.B. Eilbriefzustellung) oder öffentliche Institutionen (z.B. Beförderung von Verkehrspolizisten zum Einsatzort).

- Nach dem Lastenheft wird für das Serienmodell ein Gewicht von 170 kg angestrebt. Es ist vorgesehen, den Schwerpunkt durch konstruktive Maßnahmen (z. B. Lageveränderung des Tanks und der Batterie) gegenüber dem derzeitigen Stand weiter nach vorn und nach unten zu verlagern.
 - Das Serien - C1 - Zweirad wird durch einen 4-Takt-Ottomotor mit 125 ccm Hubraum und einer Leistung von 11 kW angetrieben. Der wassergekühlte, drehmoment-optimierte Einspritzmotor wird mit 4-Ventil-Technik und mit zwei obenliegenden Nockenwellen ausgestattet sein.
 - Es ist geplant, daß das Abgas des C1-Zweirades durch einen geregelten Drei-Wege-Katalysator gereinigt wird.
 - Die Antriebseinheit ist als Triebsatzschwinge ausgelegt.
 - Das C1-Fahrzeug ist mit einem Automatikgetriebe ausgestattet. In den Serienfahrzeugen wird der Start des Motors nur bei betätigter Hinterradbremse möglich sein.
 - Das Fahrzeug ist mit einem konventionellen Bremssystem mit getrennter Bedienung für Vorderradbremse (Handbremshebel rechts) und Hinterradbremse (Handbremshebel links) ausgerüstet. Wahlweise soll später als Sonderausstattung ein ABS angeboten werden.
 - Die Telelever-Vorderradführung ermöglicht einen Nickausgleich, der allerdings nicht auf 100 % ausgelegt ist.
 - Der Lenker ist horizontal in Fahrzeuginnenrichtung bis zu 50 mm verstellbar. Die Sitzposition ist festgelegt, da Sitz- und Sitzlehnen nicht verstellbar sind.
 - Hinter dem Schutzraum des Aufsassens ist die Befestigung eines Heckkoffers geplant, der begrenzten Stauraum zur Verfügung stellen soll. Alternativ zu dem Heckkoffer soll als Sonderzubehör mit Teilegutachten ein „Notsitz für einen Beifahrer“ als Nachrüstatz angeboten werden,
- der durch ein Sitzkissen und Fußrasten realisiert wird. Die Erweiterung der Sicherheitseinrichtungen auf den Sozius ist nicht vorgesehen.
- Zur Zeit noch nicht vorhanden, aber geplant, ist ein sogenannter Komfortkippständer. Mit einem zentralen Griff im Beinbereich (mittig) könnte dann über einen Hebel mit Einhandbedienung das Fahrzeug aufgebockt werden. Dies ist allerdings nur im Stand möglich, und die Abstützung mit den Füßen auf der Fahrbahn ist notwendig. Die Möglichkeit, den Ständer aus der Sitzposition heraus zu bedienen, soll das Auf- und Absteigen sowie das Anschnallen mit stabilisiertem Fahrzeug im Stand unterstützen bzw. verbessern.
 - Windschutzscheibe und Aufbaurahmen schützen den Fahrer vor Witterungseinflüssen. Für die Außenseite der Scheibe sorgen bei Regen oder Verschmutzung Scheibenwischer und -wascher für Reinigung.
 - Die Windempfindlichkeit des C1-Zweirades wurde im Windkanal optimiert.
 - Für den Betrieb bei kühleren Außentemperaturen ist die Beheizung der Lenkergriffe, der Scheibenbelüftung und des Sitzes vorgesehen. Vom Lüftungssystem im Scheibenbereich soll zusätzlich ein warmer Luftstrom in Richtung Fahrer geleitet werden.
 - Hinter der Kopfstütze ist das Einfügen eines Netzes in die Struktur der Überrollbügel vorgesehen, das zusätzlich zu den vorhandenen Scheiben dem Windschutz dienen soll.
 - Die vordere Beleuchtungseinrichtung enthält H4 - Lampen.
- BMW richtet sich mit diesem Fahrzeugkonzept an männliche Verkehrsteilnehmer im Alter zwischen 35 und 40 Jahre. Es wird erwartet, daß passionierte Motorradfahrer nicht in dieses Marktsegment wechseln werden. Eine weitere Zielgruppe sind weibliche Verkehrsteilnehmer. Da diese Zielgruppe jedoch in der Mehrheit wenig für ein Zweirad zu begeistern ist, soll diese durch entsprechende Argumentationen und Ausstattungsmerkmale (z.B. automatisches Getriebe, Heizung, weitgehende Witterungsunabhängigkeit usw.) von diesem Konzept überzeugt werden. Bei Jugendlichen im Alter bis etwa 20 Jahre kann mit dem Sicherheitsanspruch des Fahrzeuges wenig fruchtbar argumentiert werden. In dieser Zielgruppe, wie auch bei den weiblichen Verkehrsteilnehmern, wäre eine Befreiung von der Helmtragepflicht ein sehr wirksames Argument für eine Kaufentscheidung.

4.2 Beschreibung des Sicherheitskonzeptes des C1-Zweirades hinsichtlich der passiven Sicherheit

- Das C1 - Fahrzeug ist ein Zweirad mit einer, aus Aluminium gefertigten, Sicherheitsrahmenstruktur (Gewicht ca. 20 kg). In diesen Rahmen sind die Überrollbügel integriert, die den Schutzraum für den Aufsassen bilden.
- Die Überrollbügel wurden einem statischen Dacheindrückttest unterzogen, wie er in den USA im Pkw-Bau für die Fahrgastzelle vorgeschrieben ist. Bei diesem Test muß die Struktur bei einer Verformung von maximal 27 mm einer quasistatischen Belastung von mindestens 22 kN standhalten. Beim C1 - Zweirad wurde eine maximale Belastung von 26 kN, bei gegebener Verformung von 27 mm, gemessen. Die Überrollbügel sollen Verletzungen beim Alleinunfall und/oder Sekundäranprall verhindern.
- Das Zweirad ist mit einem Rückhaltesystem ausgestattet, das aus zwei getrennten Gurtsystemen, einem Drei-Punkt-Gurt und einem Zwei-Punkt-Schulter-Gurt besteht. Der Drei-Punkt-Gurt besteht aus einem Schulter-Gurt und einem Becken-Gurt. Die Gurtsysteme sind so montiert, daß sich die Schulter-Gurte auf der Brust des Aufsassen kreuzen. Die Gurtverankerungs- und Gurtumlenkpunkte sind an der Sicherheitsrahmenstruktur befestigt. Nach der Prüfvorschrift für Gurtverankerungen bei Pkw nach ECE-R14, müssen die Verankerungen von Drei-Punkt-Gurten mit Retraktor (Aufroll-einrichtung) und Zwei-Punkt-Gurten einer Belastung von 13,5 kN über einem Zeitraum von mindestens 0,2 Sekunden standhalten. Sowohl der Drei-Punkt-Gurt als auch der Zwei-Punkt-Gurt erfüllen jeweils diese Forderung.
- Das C1-Zweirad besitzt einen Sicherheitssitz. Durch eine seitliche Polsterung im Schulterbereich ist eine gewisse Seitenführung gegeben. Im Bereich der vorderen Sitzfläche wurde der Sitz so geformt, daß einem Durchrutschen des Aufsassen unter dem Beckengurt (Submarining) vorgebeugt wird. Der Sitz mit der integrierten Kopfstütze ist, nach Angaben der BMW AG, auf Körpergrößen für den Bereich von der 5% - Frau bis zum 95% - Mann ausgelegt.
- Im Becken- und Schulterbereich sind links und rechts Sicherheitsbügel befestigt, die ein seitliches Verlassen des Schutzraumes der Überrollbügel durch den Oberkörper sowie ein Eindringen von Fahrzeugteilen und Hindernissen verhindern sollen. Diese Bügel werden beim Serienfahrzeug noch etwas verändert, um eine bessere Schutzwirkung zu erzielen.
- Über dem Vorderrad des C1-Zweirades ist anstatt eines Schutzbleches ein deformierbares Element (Crashelement) vorgesehen, mit dem es möglich ist, über einen Weg von etwa 300 mm definiert Energie abzubauen. Das Crash-Element ist speziell für den Frontalaufprall ausgelegt. Trifft das Crashelement auf ein Hindernis oder einen Kollisionsgegner, werden die auftretenden Kräfte während des Anstoßes, aufgrund der Einbauhöhe des Elementes, mit einem relativ geringen vertikalen Abstand zum Schwerpunkt des C1-Fahrzeuges eingeleitet. Das führt zu einem geringen Hebelarm zum Schwerpunkt des Fahrzeugs. Infolgedessen verringert sich die Neigung des C1-Zweirades, mit dem Heck weit von der Fahrbahn abzuheben, wobei es sich um den Bereich der vorderen Radaufstandsfläche dreht.
- Die Vorderradaufhängung ist durch eine Televergabel realisiert. Diese Federgabel besteht aus zwei sogenannten Standrohren, die mit dem Lenkkopf des Zweirades fest verbunden sind. In jedem Standrohr bewegt sich ein Tauchrohr. Zusammen mit Feder- und Dämpferelementen ergibt sich ein System, das die Funktion einer herkömmlichen Federgabel erfüllt. Die Besonderheit der Televergabel ist, daß zwischen den Tauchrohren und dem Rahmen eine Abstützung eingebaut ist. An den Befestigungsstellen ist die Abstützung drehbar gelagert. Die Abstützung bewirkt, daß höhere Kräfte durch die Federgabel aufgenommen werden können. Die Televergabel bestimmt daher zusammen mit dem Crashelement das Verhalten im Frontalunfall, da sie in den Abbau der Kollisionsenergie mit einbezogen wird.
- Im Sichtfeld des Fahrers ist in die Überrollbügel eine Windschutzscheibe eingebaut. In der derzeitigen Ausführung wird aus fertigungstechnischen Gründen für die Scheibe Einscheiben - Sicherheitsglas eingesetzt.

5 Bewertung der aktiven Sicherheit des C1-Zweirades

5.1 Allgemeine Aspekte der aktiven Sicherheit von motorisierten Zweirädern

Unter aktiver Sicherheit sind alle fahrzeugtechnischen Maßnahmen zu verstehen, die zur Vermeidung von Unfällen beitragen. Bei Zweirädern ist es dabei besonders wichtig, die Komponenten Fahrer, Fahrzeug und Umfeld nicht isoliert, sondern als komplexes Gesamtsystem zu betrachten, da der

Fahrer über die Kopplung mit dem Zweirad aktiv und passiv zur Stabilisierung beiträgt, und das Zweiradfahrzeug besonders sensibel auf Störungen aus dem Umfeld reagiert. Die Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems hinsichtlich der Aufgabe der Unfallvermeidung ist sowohl abhängig von den Voraussetzungen von Fahrer, Motorrad und Umfeld als auch vom Zusammenspiel dieser Komponenten. Auf die fahrzeugtechnischen Bedingungen hinsichtlich der aktiven Sicherheit der Systemkomponente Motorrad wird nachfolgend eingegangen.

In der folgenden Auflistung (siehe Tabelle 1) sind die wichtigsten Aspekte der aktiven Sicherheit von Motorrädern aufgeführt (nach (ALBUS, 1993)). Bei der ersten Untergruppe (Fahrsicherheit, Fahrverhalten) muß berücksichtigt werden, daß beim Zweirad als einspuriges Fahrzeug grundsätzlich andere fahrdynamische Bedingungen vorliegen als bei mehrspurigen Fahrzeugen. Hauptkriterien des Fahrverhaltens der Systemkomponente Motorrad sind Fahrstabilität und Handlichkeit. Einen weiteren wichtigen Punkt des Aspektes Fahrsicherheit stellen die sogenannten neuen Fahrhilfen dar. Gemeint sind damit jene fahrzeugtechnischen Einrichtungen (z. B. ABS), die den Fahrer automatisch von gewissen Regelungsaufgaben entlasten sollen, insbesondere zur Vermeidung und Bewältigung kritischer Situationen.

Weitere wichtige Aspekte der aktiven Sicherheit sind die Bedien- und Informationskonzeption, die Konditions- sowie die Wahrnehmungssicherheit. Unter den Aspekt der Konditionssicherheit fallen alle jene fahrzeugseitigen Maßnahmen, die eine körperliche Beanspruchung des Fahrers verringern und der Ermüdung vorbeugen. Unter die Wahrnehmungssicherheit fällt die gesamte Thematik „Sehen und gesehen werden“, für Zweiradfahrer sicherlich sehr wichtig. Auch der Aspekt des Fahrzeugzustandes spielt für die aktive Sicherheit eine Rolle, insbesondere weil einerseits technische Änderungen von Krafttradbesitzern relativ häufig vorgenommen werden, und andererseits der Ausfall sicherheitsrelevanter Komponenten (z. B. Elektroniksysteme oder auch die o. g. neuen Fahrhilfen) zu sehr kritischen Situationen führen können.

5.2 Besonderheiten der aktiven Sicherheit und Zielkonflikte zur passiven Sicherheit bei neuartigen Zweiradkonzepten

Die in Kapitel 3 angesprochenen Merkmale bzw. Anforderungen dieser neuartigen Zweiradklasse weisen darauf hin, daß es bezüglich der Aspekte

der aktiven Sicherheit (Kapitel 5.1) besonders zu beachtende Punkte gibt:

- Fahrverhalten im unteren Geschwindigkeitsbereich
- Windeinflüsse im Zusammenhang mit Verkleidung und Fahrzeugaufbau
- Sichtbedingungen.

Neben konstruktiven Bedingungen spielt für die Stabilisierung des Fahrzeuges im unteren Geschwindigkeitsbereich die Fixierung des Oberkörpers am Fahrzeug sowie die Bewegungsfreiheit der Beine eine Rolle. Neben der Größe Lenkmoment bzw. -winkel ist die Schwerpunktverlagerung des Oberkörpers eine weitere wichtige Regelgröße zur Stabilisierung von Zweiradfahrzeugen bzw. zur Einleitung einer Kurvenfahrt. Eine zu starke Fixierung des Oberkörpers durch ein Gurtsystem bzw. durch die Gestaltung eines Rahmens oder Sitzes kann hier zu negativen Auswirkungen führen. Desweiteren würde eine entsprechende Gestaltung des Fußraumes (Witterungsschutz) bzw. die Realisierung eines Beinschutzes zu Schwierigkeiten bei der Abstützung mit den Füßen auf der Fahrbahn führen. Hier können Zielkonflikte zur passiven Sicherheit bestehen. Verstärkt werden Probleme der Fahrzeugstabilisierung im unteren Geschwindigkeitsbereich bzw. im Stand durch eine konstruktiv bedingte hohe Schwerpunktlage. Möglicherweise werden entsprechende Abstützsysteme oder Stützräder realisiert, die je nach Auslegung zu Problemen beim Fahrverhalten im höheren Geschwindigkeitsbereich führen können. Die Fußraumbreite bzw. mögliche Stützvorrichtungen können sich beispielsweise auch negativ auf die Schräglagenfreiheit des Fahrzeuges auswirken.

Durch Aufbauten zum Zweck des Witterungsschutzes wie Verkleidung, Dach oder geschlossene Kabine können Beeinträchtigungen durch Windeinflüsse entstehen. Seitenwindverhalten und Windverwirbelungen beeinflussen die Fahrstabilität. Außerdem spielen bei Windverwirbelungen die Aspekte Geräusche und Hörvermögen sowie Eintritt von Schmutz und Wasser (z. B. in die Augen) eine Rolle.

Pfosten und Polsterung des Fahrzeugaufbaus haben einen negativen Einfluß auf das Blickfeld. Dies spielt insbesondere dann eine Rolle, wenn bei gleichzeitigem Tragen eines Helmes das Blickfeld schon eingeschränkt ist. Hinsichtlich der „Windschutzscheibe“ des Fahrzeugaufbaus spielen Aspekte wie Scheibenwischer und -wascher, Belüftung gegen Beschlagen sowie das Verkratzen der Scheiben eine Rolle. Der letztgenannte Punkt

insbesondere dann, wenn Kunststoffscheiben nach dem derzeitigen Stand der Technik eingesetzt werden. Vor allem durch den Scheibenwischer ist ein schnelles Verkratzen einer Kunststoffscheibe zu erwarten. Andererseits wäre aus Gründen der Schwerpunkthöhe und der passiven Sicherheit eine

Kunststoffscheibe von Vorteil. Zu beachten ist allerdings auch der Aspekt des Durchgangs und der Streuung von Scheinwerferlicht entgegenkommender Fahrzeuge.

<p><u>Fahrsicherheit, Fahrverhalten</u> (Zweirad-Fahrdynamik - quer, längs, vertikal)</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fahrwerk (Rahmen, Federung/Dämpfung, Bremsen, Räder, Reifen) • Fahrstabilität (Pendeln, Flattern, Kentern) • Handlichkeit • Bremsverhalten • Windeinfluß (Seitenwind, Verwirbelungen) • Fahrverhalten bei veränderter Zuladung (Beifahrer, Gepäck) • Neue Fahrhilfen (Antiblockiersystem (ABS), Kombi-Bremsanlage Antriebsschlupfregelung (ASR), Hinterradlenkung, semiaktives Federungs-/Dämpfungssystem, Zweiradantrieb) • Motorrad-Charakteristik (Typ, Fahrleistungen, Gewicht)
<p><u>Bedien- und Informationskonzeption</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Anordnung und Informationsgehalt der Instrumente, Warnleuchten und anderer Informationseinrichtungen • Anordnung, Ergonomie, Verstellmöglichkeiten und Funktion von Schaltern, Hebeln und Pedalen • Kommunikationsmöglichkeit mit Systemen im Umfeld • Bewegungsfreiheit von Oberkörper, Armen und Beinen
<p><u>Konditionssicherheit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Sitzposition (Höhe, Körperwinkel, Abstützkräfte) • Aerodynamik • Einstellmöglichkeiten der Sitzposition • Komfort (Federung/Dämpfung) • Vibrationen • Geräusche • Witterungsschutz
<p><u>Wahrnehmungssicherheit</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Beleuchtung und Signalgebung • Tagesfahrlicht • Erkennbarkeit (auffällige Farbgestaltung, Reflektionsflächen) • Identifizierbarkeit als Einspurfahrzeug/Motorrad • Blickfeld und Sichtbedingungen
<p><u>Fahrzeugzustand</u></p> <ul style="list-style-type: none"> • Typprüfung • Technische Überprüfung (§ 29) • Betriebs- und Ausfallsicherheit relevanter Komponenten • On-Board-Diagnose sicherheitsrelevanter Einrichtungen • Wartungszustand (Defekte, Reifenluftdruck) • Technische Änderungen und Manipulationen

Tabelle 1: Aspekte der aktiven Sicherheit von motorisierten Zweirädern (ohne Aspekte Helm, Schutzkleidung)

Als weitere Aspekte der aktiven Sicherheit, die möglicherweise eine besondere Rolle spielen, können die folgenden Punkte genannt werden:

- Durch Realisierung eines hohen Komforts und Witterungsschutzes sind positive Auswirkungen auf die Konditionssicherheit zu erwarten.
- Wird als Gurtanlegesicherung eine Motorstartverhinderung durch Unterbrechung der Zündung vorgesehen, so können sich bei Fehlfunktionen im Fahrbetrieb gefährliche Situationen ergeben.
- Insbesondere bei Fahrzeugen, die in Stadtbereichen eingesetzt werden, ist die Erkennbarkeit sowie die Identifizierbarkeit als Einspurfahrzeug wichtig (SPORNER et al., 1993).

Da diese Klasse der neuartigen Zweiradfahrzeuge im jetzigen Verkehrsgeschehen so gut wie nicht vertreten ist, sind z. Zt. aktuelle Unfallanalysen nicht vorhanden. Eine mögliche naheliegende Vergleichsgruppe bildet die Fahrzeugklasse der Motorroller. In einer Auswertung der MHH im Rahmen des BAST-Projektes „Erhebungen am Unfallort“ sind entsprechende Daten aus den Jahren 1985 bis 1995 von Unfällen von Motorrädern (>80 ccm/ n=776) und Motorrollern (<80 ccm und > 80 ccm / n=89) verglichen worden (OTTE, 1996). Mit 88,9 % ist demzufolge die Unfallhäufigkeit der Roller innerorts häufiger als die von Motorrädern (79,2 %). Auch die Unfallhäufigkeit an Knoten ist mit 56,7 % (gegenüber 51,2 %) bei Motorrollern höher. Kollisionskontrahenten von Motorrollern sind im Vergleich zu Motorrädern weniger PKW und LKW, dafür aber vermehrt Fahrräder, Fußgänger sowie Objekte (darunter überwiegend Sturz auf die Fahrbahn).

5.3 Beurteilung des C1-Konzeptes

5.3.1 Erkenntnisse aus Probefahrten

Die nachfolgend geschilderten Eindrücke und Rückschlüsse basieren auf insgesamt drei Probefahrten, die mit dem C1 Vorserien- bzw. Erprobungsmodell gefahren werden konnten. Im Herbst 1996 wurde, im Rahmen der Sitzung des FKT Sonderausschusses „Zweiradfahrzeuge“, bei Regen und nasser Straße eine kurze Probefahrt ermöglicht. Im Juni 1997 konnten ausgiebige Fahrten auf dem Handlingkurs des BMW-Testgeländes sowie eine Stadtfahrt von ca. 15 km in München durchgeführt werden. Das Fahrzeug wurde dabei nur als Einsitzer im Einmannbetrieb gefahren.

Für einen Fahrer, der konventionelle Motorräder mit Knieschluß gewöhnt ist, ist das Fahrverhalten

zunächst gewöhnungsbedürftig. Mit einem direkten Lenkverhalten und einem leicht „kippeligen“ Fahrverhalten ist dieses mit dem eines konventionellen Motorrollers vergleichbar. Die Fixierung des Oberkörpers durch die Sitzform und den Gurt stellt sich als unauffällig und unproblematisch dar. Oberkörperbewegungen sind möglich und alle wichtigen Bedienelemente sind während der Fahrt erreichbar. Wegen des Gewichts des hohen Aufbaus bzw. der Überrollbügel ist das Handling des Fahrzeugs im Stand bzw. das Auf- und Absteigen gewöhnungsbedürftig. Dies fällt aber nicht negativ im Fahrverhalten bei der Stabilisierung im niedrigen Geschwindigkeitsbereich auf. Beim Bremsen bis zum Stillstand bei Kurvenfahrt muß man auf das seitliche Wegkippen des Fahrzeuges nach innen vorbereitet sein und dieses mit den Füßen abstützen. Dieser Effekt tritt aber auch bei anderen motorisierten Zweirädern auf.

Während der Probefahrten im Juni 1997 herrschte starker böiger Wind. Es konnten aber keine negativen Auswirkungen auf das Fahrverhalten registriert werden. Insbesondere von Seitenwindempfindlichkeit war nichts zu spüren. Auch Windverwirbelungen hinter der Verkleidungsscheibe (Wasser, Schmutz, Wind) fielen nicht auf. Lediglich starke Windverwirbelungen im Kopfbereich seitlich und hinten wurden als unkomfortabel empfunden. Wie im Kapitel 4.1 erwähnt, soll dies durch eine Netzbespannung zukünftig gelöst werden.

Die Sichtbedingungen können als positiv beurteilt werden. Sowohl nach vorne, seitlich als auch nach hinten durch die Rückspiegel bzw. beim Umdrehen des Oberkörpers und des Kopfes war das Sichtfeld immer ausreichend. Auch an die Einschränkung der Sicht durch die A-Säule konnte man sich schnell gewöhnen. Der Vergleich mit einer Fahrt auf einem konventionellen Zweirad mit Helm macht deutlich, daß insgesamt das Fahren ohne Helm bezüglich der Sichtverhältnisse günstiger ist. Durch die aufrechte Sitzposition im C1 hat man einen guten Überblick über den Straßenverkehr, was sich insbesondere im Stadtverkehr als positiv herausstellt.

Die Gestaltung des Unterbaus bzw. des Bodenbleches hat keinen negativen Einfluß auf die Bewegungsfreiheit der Füße. Diese ist nicht eingeschränkt, und ein Herausnehmen der Füße zum Abstützen des Fahrzeuges ist immer möglich. Schräglagenfreiheit ist ausreichend gegeben.

Ein ausgeprägtes Bremsnicken war nicht zu spüren. Da bewußt auf die konstruktive Auslegung der Telelever-Vorderradführung mit 100 % Nickaus-

gleich verzichtet wurde, erhält man über ein leichtes Bremsnicken eine Rückmeldung über die Stärke der Bremsvorgänge.

5.3.2 Beurteilung der aktiven Sicherheit

Eine Beurteilung der aktiven Sicherheit des C1-Konzeptes gründet sich auf die Information der BMW AG sowie auf die Eindrücke aus den Probefahrten, die in den vorangegangenen Kapiteln beschrieben wurden. Es sollen nicht alle Aspekte, die in Kapitel 5.1 bezüglich der aktiven Sicherheit von motorisierten Zweirädern genannt worden sind, bewertet werden, sondern nur die Besonderheiten des neuartigen Zweiradkonzeptes. Wegen des Fehlens objektiver Kriterien und Testverfahren ist eine Beurteilung nur subjektiv möglich.

Grundsätzlich kann die aktive Sicherheit des vorgestellten C1-Konzeptes als positiv beurteilt werden. Dies kann insbesondere folgendermaßen begründet werden:

- Die Besonderheiten, die bei dieser neuartigen Fahrzeugklasse zum Tragen kommen, sind mit dem C1-Konzept sehr gut gelöst und fallen nicht negativ auf.
- Das C1-Konzept besitzt besondere Einrichtungen zur Steigerung der aktiven Sicherheit, und dem Käufer werden durch Sonderausstattungen wie das ABS weitere Verbesserungen ermöglicht.
- Nach Aussage der BMW AG und des zuständigen technischen Dienstes werden alle fahrzeugtechnischen Zulassungsbestimmungen nach EU-Recht eingehalten.

Das Fahrzeug läßt sich im unteren Geschwindigkeitsbereich gut stabilisieren, ist wendig und hat im oberen Geschwindigkeitsbereich keine Fahrstabilitätsprobleme. Bezüglich der Windempfindlichkeit und insbesondere auch hinsichtlich der Seitenwindempfindlichkeit liegt kein negatives Verhalten des Fahrzeuges vor. Nach Aussage der BMW AG sind diesbezüglich Versuche gefahren worden. Es existieren allerdings keine Meßwerte. Objektive Kriterien zur Beurteilung der Seitenwindempfindlichkeit sind nicht bekannt. Durch das auffällige Design und die Lackierung dieses Fahrzeuges ist davon auszugehen, daß eine gute Erkennbarkeit gegeben ist, was insbesondere für den Stadtverkehr wichtig ist.

5.3.3 Folgerungen hinsichtlich fahrzeugtechnischer Zulassungsbestimmungen

Die BMW AG und der zuständige technische Dienst streben eine Zulassung des C1-Konzeptes

nach den EU-Zulassungsbestimmungen an. Als Vorschrift wird die neue Gesamtbetriebserlaubnis-Richtlinie für zwei- und dreirädrige Fahrzeuge herangezogen (RICHTLINIE 97/24/EG, 1997). Die BMW AG strebt keine nationale ABE nach § 20 StVZO an. Ausnahmegenehmigungen sind für das C1-Konzept nicht notwendig. Die Zulassungsfähigkeit nach der EU-Gesamtbetriebserlaubnis ist in der Besprechung bei der BMW AG im Februar 1997 diskutiert worden, an der Vertreter des BMV, des KBA, des TÜV Bayern und der BAST teilgenommen haben. Eine Liste der zutreffenden Einzelrichtlinien ist damals vom TÜV Bayern vorgelegt worden (siehe Anhang 6). Die in der EU-Richtlinie für zwei- und dreirädrige Fahrzeuge vorgesehenen Scheibenvorschriften sowie die Anforderungen an die Beschaffenheit der Windschutzscheiben gem. Richtlinien 92/22/EWG werden eingehalten. Die Zulassung der Bremsanlage soll nach ECE R-78 erfolgen. Allgemein kann bezüglich der Zulassungsfähigkeit dieses neuartigen Kraftradkonzeptes aus der 148. FKT Tagung der folgende Abschnitt zitiert werden:

„Auf der 144. Tagung wurde bereits erläutert, daß die EG-Betriebserlaubnis für ein solches Fahrzeug zu erteilen ist, wenn alle relevanten Einzelbestimmungen erfüllt sind. Basierend auf der Vorschriftenlage könne keinesfalls „aufgesattelt“ werden auf die Erfüllung von Vorschriften, die nur für drei- oder vier- rädrige Fahrzeuge gefordert werden. Beispielhaft wären dazu insbesondere die Windschutzscheibe, Scheibenwischer und -wascher sowie Sicherheitsgurte und deren Verankerung zu nennen. Gleichwohl ist bei dem vorgestellten zweirädrigen Fahrzeug nach Meinung des Sonderausschusses darüber nachzudenken, wie ein solches Konzept im Rahmen der EG-Betriebserlaubnis sinnvoll zu behandeln sei. Hier gilt es, zukünftig noch weitere Überlegungen anzustellen“ (Ende des Zitats).

Bisher sind allerdings keine Punkte bekannt, die als besondere Anforderungen von neuartigen Zweiradkonzepten zu Änderungen der Zwei-/Dreiradrichtlinie führen müßten. Eine Ausnahme bildet lediglich die Thematik der Kunststoffscheibe und die diesbezüglichen Anforderungen an die Kratzfestigkeit. Mittelfristig ist nach Auskunft der BMW AG der Einsatz einer Kunststoffverkleidungsscheibe geplant, insbesondere, um das Gewicht zu verringern und den Schwerpunkt nach unten zu verlagern. Es ist zu erwarten, daß die technische Entwicklung dahin gehen wird, daß beschichtete Kunststoffscheiben eine hohe Kratzfestigkeit erreichen werden. Das würde bedeuten, daß zukünftig auch Kunststoffscheiben in der Richtlinie

92/22/EWG berücksichtigt werden müssen. Die Richtlinie sollte entsprechend modifiziert werden.

Es wird vorgeschlagen, daß die für Dreiradfahrzeuge geltenden Kapitel der EU-Richtlinie (RICHTLINIE 97/24/EG, 1997) (z. B. Kapitel 12: Scheiben, Scheibenwischer, Scheibenwascher, ... von dreirädrigen Kleinkraftködern sowie dreirädrigen und vierrädrigen Kraftködern mit Aufbau) zukünftig auch für besondere Zweiradfahrzeuge gelten sollen.

6 Bewertung der passiven Sicherheit des C1-Zweirades

6.1 Abschätzung des Verhaltens des C1-Zweirades im Verkehrsunfall

Da das C1-Fahrzeug von BMW, wie vorstehend bereits erwähnt, keiner bisher bekannten Fahrzeugart eindeutig zugeordnet werden kann, wird versucht, bestimmte Unfallabläufe bzw. Unfallphasen (z.B. Primärkollision) zu definieren, bei denen anschließend die Fahrerbelastungen bewertet werden können. Anhand der Fahrzeugstruktur (z.B. Sicherheitsrahmenstruktur, Gurtsystem, Crashelement über dem Vorderrad, Sicherheitssitz) liegt ein Vergleich des C1-Fahrzeugs mit einem Pkw im Frontalanstoß nahe. Da nach dem Primäranstoß das Gleichgewicht des Fahrer-Zweirad-Systems, bestehend aus C1-Fahrzeug und Aufsasse, einen entscheidenden Einfluß auf den weiteren Unfallverlauf hat, ist von diesem Zeitpunkt an das C1-Fahrzeug mit einem Motorrad bzw. einem Motorroller zu vergleichen. Für alle anderen Unfallkonstellationen, insbesondere dem Seitenanstoß, wird bei der Bewertung der Fahrerbelastung und des Fahrzeugverhaltens für den gesamten Kollisionsverlauf ein Motorroller bzw. ein Motorrad als Vergleichsfahrzeug herangezogen.

6.1.1 Frontal-Anstoß des C1-Zweirades

Bei heutigen Pkw gehört ein umfassendes Paket an aktiven und passiven Sicherheitseinrichtungen zur Serienausstattung.

Bereits seit 1974 sind Neuwagen auf den Frontsitzen mit Drei-Punkt-Gurten ausgerüstet. Nach der Einführung der Gurtanlegepflicht in Deutschland (1976) und der serienmäßigen Ausstattung von Neuwagen mit Gurten für die Fondsitze, haben alle Pkw-Insassen die Pflicht, sich anzugurten. Das C1-Fahrzeug ist, untypisch für Zweiräder, ebenfalls mit einem Gurtsystem ausgestattet. Wie im Pkw ist die Aufgabe des Gurtes, den Aufsassen im Frontal-

aufprall zeitig an das Fahrzeug zu binden, um ihn an dem Verzögerungsverlauf des Fahrzeugs teilhaben zu lassen. Diese Verzögerung ist durch die Steifigkeitscharakteristik des Crash-Elementes sowie die Steifigkeit des Vorderrades und der Televerfedergabel bestimmt. Zusatzeinrichtungen für das Gurtsystem wie Gurtklemmer, Gurtkraftbegrenzer oder Gurtstraffer können durch die Fahrzeughersteller eingesetzt werden, um die Effizienz des Gurtsystems zu erhöhen. Der Einsatz derartiger Zusatzeinrichtungen für den Gurt ist auch am C1-Zweirad möglich.

Das Crash-Element des C1-Motorrades entspricht in seiner Funktion im Frontalaufprall der Vorderwagenstruktur eines Pkw. In beiden Fällen soll möglichst viel kinetische Energie in Verformungsenergie umgewandelt werden, so daß das Fahrzeug möglichst sanft verzögert wird.

Die Fahrgastzelle eines Pkw ist so ausgelegt, daß diese sich bei einer Kollision möglichst wenig verformt, um genügend Überlebensraum für die Insassen zur Verfügung zu stellen. Diese Funktion wird beim C1-Zweirad durch die Sicherheitsrahmenstruktur übernommen. Darüber hinaus soll die Rahmenstruktur auch in der Auslaufphase eine Schutzfunktion erfüllen (z.B. beim Anstoß des rutschenden Fahrzeugs an ein ortsfestes Hindernis).

Neufahrzeuge sind heute sehr oft mit Airbags ausgerüstet. Im C1-Fahrzeug ist der Einsatz eines Airbags nicht vorgesehen, da hier ausreichend Raum für eine Vorverlagerung des Insassen in Fahrzeuggängsrichtung zur Verfügung steht. Nach Angaben von BMW wurden Untersuchungen zu dieser Thematik auch mit besonders großen Dummies durchgeführt.

Die vorstehenden Überlegungen beziehen sich nur auf rein längsgerichtete Anstöße des C1-Fahrzeuges gegen andere Fahrzeuge oder Hindernisse. Streng genommen gelten die Betrachtungen nur bei Kollisionen gegen nicht bewegte Fahrzeuge oder Hindernisse. Befindet sich der Kollisionsgegner in Bewegung, sind grundsätzlich zwei Fälle zu unterscheiden:

1. Fährt das Zweirad, was im realen Unfallgeschehen am häufigsten vorkommt, mit einer sehr viel höheren Geschwindigkeit als der Kollisionsgegner, hat dessen Geschwindigkeit kaum einen Einfluß auf den weiteren Kollisionsverlauf. In diesem Fall können die Erkenntnisse aus den Kollisionen mit unbewegten Kollisionsgegnern übertragen werden.

2. Ist die Geschwindigkeit des Zweirades ungefähr gleich groß oder geringer als die des Kollisionskontrahenten, kann es im Verlauf des Primäranstoßes zuerst zu einem Umklappen des Vorderrades sowie des Lenkungssystems um die Lenkachse kommen, infolgedessen sich das Rad parallel zur Anstoßfläche ausrichtet. Anschließend erfolgt eine Drehung um die Hochachse des Zweirades im Bereich der Aufprallstelle. Dies wird durch ein Anheben des Zweiradhecks im Anstoßverlauf unterstützt. Bei einem bewegten Kollisionsgegner kommt es darüber hinaus zu Abgleit- und Verhakungsprozessen. Es können in diesem Fall sehr komplexe Bewegungsabläufe stattfinden, in deren Folge jedoch keine schwerwiegenden Schädigungen des Kopfes des C1-Aufsassens erwartet werden. Um genauere Aussagen treffen zu können, wäre ein Versuch des Kollisionstyps 4 (siehe Tabelle 2), der von der BMW AG nicht durchgeführt wurde, sehr hilfreich. Die BMW AG wird diesen Versuch noch durchführen, so daß die Ergebnisse für die ganzheitliche Bewertung des C1-Fahrzeuges, im zweiten Teil des Gutachtens, zur Verfügung stehen.

6.1.2 Seitlicher und schiefwinkliger Anstoß an das C1-Zweirad

Der entscheidende Unterschied zwischen einem handelsüblichen motorisierten Zweirad und dem C1-Fahrzeug ist auch bei dieser Anprallart, daß durch das Gurtsystem Fahrer und C1-Zweirad in der Crash- und Auslaufphase miteinander verbunden bleiben. Dennoch sind Relativbewegungen zwischen beiden möglich, die aus einer nicht zu vermeidenden Gurtlose, z.B. durch aufragende Kleidung und nach vorn geneigter Sitzhaltung, entstehen können.

Der Sicherheitsrahmen und der Sicherheitssitz bieten im Vergleich zu einem konventionellen Motorrad/Motorroller zusätzlichen Schutz beim Seitenaufprall. Das C1-Fahrzeug ist so konstruiert, daß es, wie ein Motorroller, ohne Knieschluß gefahren wird, d.h. in normaler, aufrechter Sitzposition sind die unteren Extremitäten des Fahrers nicht durch Fahrzeugteile (z.B. Kraftstofftank, Motor) räumlich voneinander getrennt. Dadurch ist es möglich, daß die unteren Extremitäten seitlichen Anstößen durch Fahrzeuge ausweichen können und nicht zwischen der anstoßenden Fahrzeugfront und der eigenen Zweiradstruktur eingeklemmt werden.

Das C1-Zweirad hat, aufgrund der Überrollbügel und der daran befestigten Fahrzeugteile, einen höheren Schwerpunkt als ein konventionelles Zweirad. Bei einem seitlichen Anstoß führt der höhere Schwerpunkt im allgemeinen zu einem ausgeprägteren Aufschöpfen des C1-Fahrzeugs auf einen anstoßenden Pkw, wobei es zu Kontakten zwischen der vorderen Fahrzeugstruktur (z.B. Motorhaube) des Pkw und dem oberen Teil der Rahmenstruktur des C1-Fahrzeugs kommen kann.

6.1.3 Fahrzeugverhalten nach dem Primärstoß

Bei allen denkbaren Unfallkonstellationen mit dem C1-Zweirad hat die Fahrzeugstabilität (z.B. Umkippen, Abgleiten, Wegschleudern) einen entscheidenden Einfluß auf den Verlauf der Kollision und/oder der sich anschließenden Auslaufphase. Wie bei allen Zweirädern, so auch beim C1-Fahrzeug, ist die Ausschleuderbewegung im allgemeinen nicht, wie bei einem Pkw, durch eine Drehung um die Hochachse des Fahrzeugs gekennzeichnet. Durch die geringe Stabilität eines Fahrer-Zweirad-Systems kippt dieses nach der Kollision sehr häufig um. Die verbleibende Restenergie nach dem Primäranstoß wird durch Schleuder- und Rutschbewegungen des Zweirades abgebaut.

6.2 Versuchsergebnisse und deren Bewertung

In der Vorbereitung eines ISO-Standards (ISO 13232, 1995) zur Prüfung der Sicherheit von motorisierten Zweirädern wurden die örtlichen Unfallerehungen der Medizinischen Hochschule Hannover (MHH), die im Auftrag der BAST durchgeführt werden, und die örtlichen Unfallerehungen aus Los Angeles analysiert. Es wurden aus diesen Erhebungen sieben, im Unfallgeschehen sehr häufig vorkommende Unfallkonstellationen herausgearbeitet und in der ISO-Norm (ISO 13232, 1995) für die Bewertung des Crash-Verhaltens von Zweirädern empfohlen. Bei der Erstellung der ISO-Norm wirkte auch die BMW AG aktiv mit.

Die BMW AG testete zwei dieser ISO - Unfallkonstellationen, je einmal für das C1-Fahrzeug und einmal für einen herkömmlichen Motorroller (Honda Helix). Zusätzlich wurde eine der Unfallkonstellationen nach ISO für das C1-Fahrzeug, mit Fahrer und Sozius besetzt, getestet. Der im realen Unfallgeschehen sehr häufig vorkommende schräge seitliche Anstoß des Zweirades (Kollisionstyp 4 nach MHH, siehe Tabelle 2 sowie Unfallkonstellationen 4 und 5 nach ISO, siehe Tabelle 17) wurde, wie bereits erwähnt, durch die BMW AG in Crash-

Versuchen nicht untersucht. Ein Versuch zu diesem Kollisionstyp wird in nächster Zeit durchgeführt und die Ergebnisse werden dann zur Verfügung gestellt. Zusätzlich zu den beiden Unfallkonstellationen nach ISO wurden sechs weitere Versuche nach eigenen Vorgaben der BMW AG, die sich jedoch stark an die empfohlenen Konstellationen von ISO und MHH anlehnen, durchgeführt. Insgesamt wurden 11 Crash-Versuche nach acht Unfallkonstellationen getestet (siehe Tabelle 18, Anhang 3). Für alle nach ISO-Norm (ISO 13232, 1995) vorgesehenen Versuchskonstellationen wurden außerdem Computersimulationen durchgeführt.

Sowohl die von der BMW AG bereitgestellten Ergebnisse der Crash-Versuche als auch die Ergebnisse aus den Computersimulationen zeigen, daß alle zugrunde gelegten Belastungsgrenzwerte weit unterschritten werden.

6.2.1 Bewertung der Crash-Versuche

Die Belastungen der Dummies aus den zwei ISO-Versuchen, sowohl für das C1-Zweirad als auch für den handelsüblichen Motorroller (Honda Helix), sind in Tabelle 4 bis Tabelle 6 (siehe Anhang 1) den biomechanischen Grenzwerten, wie sie bei Pkw-Crashes angewendet werden, gegenübergestellt. Wie oben erwähnt, wurden alle anderen Unfallkonstellationen durch den Hersteller (BMW AG) festgelegt. Diese Versuchsdaten sind in Tabelle 7 bis Tabelle 12 (siehe Anhang 1) aufgeführt.

Nach der Analyse der Crash-Versuche ist zu erwarten, daß das C1-Konzept eine hohe passive Sicherheit des Aufsassen gewährleistet. Sowohl die Meßwerte, als auch die berechneten Werte (z.B. HIC) aus den Crash-Versuchen sind überwiegend niedrig. Sie liegen z.T. weit unter den festgelegten biomechanischen Grenzwerten. Bei einem direkten Vergleich des C1-Fahrzeuges mit einem herkömmlichen Motorroller (Honda Helix) bei gleichen Unfallkonstellationen ergaben sich für die Aufsassen des C1-Zweirades meist sehr viel geringere Belastungen. Damit kann im realen Unfallgeschehen neben einer geringeren Verletzungshäufigkeit auch eine geringere Verletzungsschwere vor allem des Kopfes erwartet werden.

Im Frontalaufprall wird der Fahrer des C1-Zweirades durch die Sicherheitsgurte an das Fahrzeug gebunden. Es kommt daher nicht zu einem Kopfanprall des Fahrers an Fahrzeugteile (z.B. Dachrahmen) des Kollisionskontrahenten. Daraus resultieren sehr geringe Kopfbeschleunigungen und HIC-Werte für den Aufsassen des C1-

Fahrzeuges. Die Halsmomente des C1-Aufsassen sind gegenüber den Halsmomenten des Fahrers eines herkömmlichen Zweirades um ca. 50% geringer. Die Halskräfte liegen bei beiden Zweiradkonzepten in der gleichen Größenordnung. Dabei ist anzumerken, daß der Dummy auf dem C1-Zweirad und auch der Dummy auf dem handelsüblichen Zweirad einen Helm getragen haben. Durch den Helm wird die Masse im Bereich des Kopfes erhöht. Vorausgesetzt, daß die gleichen Beschleunigungen (hier Verzögerungen) am Kopf auftreten wie bei unbehelmteten Aufsassen, sind die resultierenden Kräfte und Momente (bei gleichem Hebelarm) bei einem behelmteten Aufsassen größer, da sich die Kraft aus Masse mal Beschleunigung errechnet. Käme es zu einer Befreiung von der Helmtragepflicht, ist mit noch geringeren Halsbelastungen des Fahrers des C1-Zweirades zu rechnen. Die Brust- und Beckenbelastungen bei dem C1-Aufsassen sind höher als beim Aufsassen eines herkömmlichen Zweirades (infolge Rückhaltung mit Sicherheitsgurten), liegen jedoch unterhalb der biomechanisch zulässigen Belastungsgrenzen. Bei der Kollision des herkömmlichen Zweirades wird ein großer Teil der kinetischen Energie des Aufsassen durch den primären Kopfanprall, z.B. an der Dachkante des gegnerischen Fahrzeuges, und durch den Kontakt der Beine mit dem Lenkrad oder Teilen der Verkleidung abgebaut, und es ergeben sich daher nur sehr geringe Belastungen im Becken- und Brustbereich. Durch die Angurtung des C1 - Aufsassen werden die während des Anstoßes auftretenden Belastungen gleichmäßig auf den Oberkörper verteilt. Über die Belastungen im Abdomen liegen keine Erkenntnisse vor. Es wird jedoch vermutet, daß das Verhältnis der Abdomen-Belastungen (C1-Aufsasse gegenüber Aufsasse eines herkömmlichen Zweirades) ähnlich dem Verhältnis der Belastungen im Becken- und Brustbereich ist. Die unteren Extremitäten erfahren nur geringe Belastungen (nur ca. 1/12 der Belastung eines Aufsassen eines herkömmlichen Zweirades).

Im Seitenaufprall wird das C1-Zweirad auf den anstoßenden Pkw aufgeschöpft. Die Rotation führt zu einem Anstoß zwischen C1-Fahrzeug und Pkw-Front im oberen Bereich der Rahmenstruktur des C1-Fahrzeuges. Durch die Überrollbügel, die Fixierung des Aufsassen durch die Gurte und die seitlichen Schutzbügel wird der Aufsasse gegen einen direkten Kontakt mit der gegnerischen Fahrzeugstruktur geschützt. So kam es im allgemeinen zu sehr geringen Belastungen. Ähnlich wie im Frontalanprall sind die Halsmomente des C1-Aufsassen gegenüber den Halsmomenten des Fahrers eines herkömmlichen Zweirades hier um ca. 70% geringer. Die Halskräfte liegen bei beiden

Zweiradkonzepten in der gleichen Größenordnung (Ausnahme ist die z-Richtung, hier ist die Belastung des Fahrers eines herkömmlichen Zweirades dreimal höher als beim C1-Aufsassen; Anhang 1, Tabelle 4). Die Brustbelastungen des C1-Aufsassen sind höher als die Brustbelastungen für den Aufsassen eines herkömmlichen Zweirades. Sie liegen jedoch unterhalb der für Pkw-Insassen gültigen biomechanischen Belastungsgrenzen. Bei einem 90°-Seitenstoß wurde die Belastung im Beckenbereich (siehe Anhang 1, Tabelle 4) mit 60,5 g gemessen. Diese liegt nur sehr gering über dem niedrigsten in der Literatur angegebenen Grenzwert für Beckenbelastungen. Die Gesetzgebung in den USA schreibt für den Pkw - Seitenanprall eine Belastungsgrenze von weniger als 130 g für das Becken vor. Durch die gegenüber einem herkömmlichen Zweirad leicht erhöhte Sitzposition des C1 - Aufsassen, kommt es nicht zu einem direkten Anprall zwischen Pkw - Front und Becken. Nach dem Erstkontakt des Pkw an das C1 - Fahrzeug wird dieses seitlich beschleunigt. Da eine von Relativbewegungen freie Bindung zwischen C1 - Zweirad und Aufsasse nicht möglich ist, verbleibt der Aufsasse aufgrund seiner Trägheit in der ursprünglichen Position. Da die seitliche Bewegungsfreiheit des Aufsassen im Bereich der Sitzfläche durch die Schutzbügel begrenzt ist, kommt es im Anstoßverlauf zu einem Anprall des Beckens an den Schutzbügel, infolgedessen sich die etwas erhöhte Beckenbelastung ergibt. Der Versuch mit der Honda Helix zeigt nur geringe Beckenbelastungen. Diese sind dadurch zu erklären, daß, gegenüber dem C1-Zweirad, Fahrer und Fahrzeug nicht fest miteinander verbunden sind und somit bei einem Anstoß der Fahrer aufgeschöpft und das Fahrzeug weggestoßen wird. Es findet hier ein mehr streifenförmiger Anstoß zwischen der Fahrzeugfront und dem Aufsassen im Beckenbereich statt.

Der Primärstoß im Bereich der unteren Extremitäten hat relativ geringe Folgen, da die Extremitäten in Richtung der stoßabgewandten Seite ausweichen können. So ist das Risiko, daß sehr langwierige und kostenintensive Verletzungen der Beine auftreten, die zusätzlich oft zu einer Verminderung der Erwerbsfähigkeit führen können, geringer. Durch das seitliche Aufschöpfen des Fahrers kommt es bei einem herkömmlichen Zweirad häufig zu einem Anstoß des behelmteten Kopfes mit Teilen des gegnerischen Fahrzeugs. Es treten dabei z.T. erhebliche Kopfbelastungen bei den Aufsassen auf. Dem wirkt beim C1-Fahrzeug der Sicherheitskäfig, der durch die Überrollbügel gebildet wird, entgegen. Durch die Konzeption des C1-Fahrzeugs trennen sich Fahrer und Fahrzeug während der Kollision nicht, daher sind Belastungen

vor allem der oberen Extremitäten (z.B. durch Einklemmen zwischen Rahmenstruktur und Kollisionsgegner) möglich. Diese Gefahren können durch geeignete Maßnahmen (z.B. Polsterung der Überrollbügel und/oder erhöhte Rohrquerschnitte der Überrollbügel, die den Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 3: „Vorstehende Außenkanten ...“ entsprechen) entschärft werden.

Nach dem Primärstoß schließt sich die Auslaufphase an. Sie ist gekennzeichnet durch Umkippen des Zweirades, Schleuderbewegungen und/oder Sekundärstoße. Beim Umkippen des C1-Zweirades kann es bei ungenügender Breite des Schutzbereiches der Überrollbügel zu einem Kontakt des Kopfes mit der Straße kommen. Wäre der Aufsasse dann unbehelmt, könnte dies zu erheblichen Verletzungen im Kopfbereich führen. Bei den Crash-Versuchen war dies nicht der Fall. Es traten dort nur geringe Kopfbelastungen auf, die nicht auf einen Kontakt mit der Fahrbahn zurückzuführen waren. Es muß in diesem Zusammenhang jedoch die Übertragbarkeit der Dummybewegung auf den Menschen berücksichtigt werden. Zu dieser Thematik wird in Kapitel 6.2.3 eine überschlägige Rechnung vorgestellt, die berücksichtigt, daß der Mensch erheblich biegsamer als eine Versuchspuppe ist. Aus diesem Grund sollte aus Sicht der BAST der Schutzbereich seitlich verbreitert werden. Für die objektive Bewertung des diesbezüglichen Sicherheitspotentials des C1-Zweirades wurde, in Zusammenarbeit zwischen der BMW AG und der BAST, ein Testverfahren entwickelt, das in Anhang 4, ausführlich vorgestellt wird und dessen Grundlagen in Kap. 6.2.3 dargestellt werden.

Schleuderbewegungen des C1-Fahrzeugs führen dazu, daß die Extremitäten des Aufsassen den Schutzraum des C1-Fahrzeugs verlassen können. Da diese Bewegungen durch konstruktive Maßnahmen nicht verhindert werden können, sind Vorkehrungen zu treffen, die die Verletzungen mildern (z.B. Polsterung der Überrollbügel und/oder Rohrquerschnitte der Überrollbügel, den Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 3: „Vorstehende Außenkanten ...“ entsprechen). Über den Sekundärstoß eines schleudernden oder rutschenden C1-Fahrzeugs können aufgrund der Videoaufzeichnungen keine eindeutigen Aussagen gemacht werden. Es wird jedoch vermutet, daß ein möglicher Sekundärstoß nur zu geringen Belastungen des Aufsassen - geringer als bei einem herkömmlichen Zweirad - führt, da das C1-Zweirad eine sehr steife Rahmenstruktur besitzt. Zur Bewertung der Rahmenstruktur wurde

ein Testverfahren entwickelt (Dacheindrückttest), welches sich an die FMVSS 216 anlehnt und im Anhang 5 beschrieben ist.

In allen Kollisionsphasen kann es zu starken Verwindungen der Rahmenstruktur oder Anstößen kommen, in deren Folge ein Bruch der Scheibe am Schutzraum für den Aufsassen möglich ist. Die BMW AG sieht laut Lastenheft lediglich Einscheibensicherheitsglas vor, das im Bruchfalle in sehr kleine Teile zerfällt. Wird kein geschlossener Helm getragen, können die entstehenden Splitter in die Augen des Fahrers eindringen und schwere Augenverletzungen hervorrufen. Es wird daher aus Sicht der BAST die Verwendung von Scheiben empfohlen, die den Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 12: „Scheiben, Scheibenwischer,...“ entsprechen, wonach die Bruchstücke und Splitter nach Bruch der Glasscheibe so beschaffen sein müssen, daß das Verletzungsrisiko auf ein Minimum beschränkt wird.

6.2.2 Bewertung der Simulationsergebnisse

Es wurden für alle nach ISO-Norm geforderten 7 Unfallkonstellationen Computersimulationen für die Kopfbelastungen durchgeführt. Die Berechnungen wurden für das C1-Zweirad mit einem Aufsassen ohne Helm, für das C1-Zweirad mit einem Aufsassen mit Helm und einem handelsüblichen Motorroller mit Aufsassen mit Helm durchgeführt. Es wurden der HIC, die Kopfbeschleunigung in 'g' und der GAMBIT (siehe Tabelle 13, Anhang 1) ermittelt. Mit dem GAMBIT wird die Wahrscheinlichkeit von Gehirnverletzungen resultierend aus den linearen Beschleunigungen und den Rotationsbeschleunigungen berechnet.

Die Ergebnisse zeigen, daß der HIC, die Kopfbeschleunigungen und der GAMBIT bei der Simulation eines C1-Zweirad mit behelmttem Aufsassen deutlich geringere Werte aufweisen als bei einem handelsüblichen Zweirad mit behelmttem Aufsassen. Bei der Versuchskonstellation 6, bei der ein streifender Frontalanstoß zwischen Zweirad und Pkw stattfindet, sind Kopfbelastung des C1 - Aufsassen größer als die eines Aufsassen eines herkömmlichen Zweirades. Insgesamt wird das höhere Sicherheitspotential des C1-Fahrzeuges gegenüber einem handelsüblichen Zweirad deutlich. Ein Vergleich der Belastungen des behelmtten und des unbehelmtten C1-Fahrers aus den Versuchen nach ISO (ISO 13232, 1995) zeigt nur geringe Unterschiede. Die Kopfbeschleunigung in der Versuchskonstellation IV (schräger Anstoß des C1-Zweirades unter einem Winkel von 45° in die Seite

des Pkw's) ist beim C1-Fahrer mit Helm deutlich höher als beim Fahrer des C1-Fahrzeugs ohne Helm. Da keine Videoaufzeichnungen vom Verlauf der Simulationen vorliegen, können über die Ursachen der Belastungsunterschiede bei den Fahrern, sowohl zwischen den verschiedenen Zweiradarten als auch zwischen behelmtten und unbehelmtten C1-Fahrern, nur Vermutungen angestellt werden. Die Unterschiede in den Belastungen der behelmtten Fahrer des C1-Fahrzeugs und der behelmtten Fahrer eines herkömmlichen Motorrollers sind im unterschiedlichen Bewegungsverhalten während der Kollision und in der Auslaufphase zu suchen. Bei einem handelsüblichen Zweirad trennen sich im Verlaufe des Anstoßes Fahrer und Fahrzeug, wobei wahrscheinlich die hohen Belastungen (z.B. HIC>1000) durch direkte Anstöße am Kollisionskontrahenten oder an Hindernissen entstehen. Die sich aus den Simulationen ergebenden Kopfbelastungen der Fahrer eines C1-Zweirades lassen nicht auf Anstöße am Kollisionsgegner, am eigenen Fahrzeug oder an Hindernissen schließen.

6.2.3 Abschätzung der seitlichen Kopfbewegung eines C1-Aufsassen in der Ausschleuderphase

Die oben beschriebenen Versuchsauswertungen haben gezeigt, daß bei den Primärkollisionen nur geringe Belastungen des Aufsassen des C1-Fahrzeugs auftreten. Problematisch dagegen scheint, wie bereits erwähnt, die Ausschleuderbewegung des C1-Zweirades. Da die Crash-Filme und die Simulationsergebnisse nur wenige Informationen zur Bewertung der Kopfbewegung in der Ausschleuderphase liefern, wurden Hochgeschwindigkeitsfilmaufnahmen aus Seitencrashtesten der BAST ausgewertet. Zusätzlich wurde eine Abschätzung der Kopfbewegung eines Menschen gegenüber einem Dummy als Aufsassen eines C1-Zweirades vorgenommen. Bei den hier analysierten BAST-Seitencrashtesten fuhr eine Barriere mit einer Anstoßgeschwindigkeit von ca. 50 km/h rechtwinklig in die Seite des zu testenden Fahrzeugs. Stoßseitig waren die Fahrzeuge mit EURO-SID-Dummies besetzt. Die Auswertung ergab, daß der Kopf des Dummies während des Anstoßes im Durchschnitt ca. 40 mm über dessen eingedrückte Schulter hinausragt. Bei einer Breite des Sicherheitsbügels im Schulterbereich von 20 bis 25 mm käme es zu einem seitlichen Verlassen des Schutzraumes des C1-Fahrzeugs.

In der Ausschleuderphase treten erheblich niedrigere seitliche Aufprallgeschwindigkeiten als in den vorstehend genannten Testen auf. Hohe Geschwindigkeiten sind zu erwarten, wenn das Zwei-

rad aus seiner aufrechten Fahrposition umstürzt. Um die Aufprallgeschwindigkeiten des Kopfes auf die Fahrbahn abzuschätzen, wird davon ausgegangen, daß sich der Schwerpunkt des Kopfes bei aufrechter Sitzposition auf einer Höhe von 1,3 m bis 1,5 m befindet. Um eine näherungsweise Abschätzung zu treffen, wird das Trägheitsmoment des Fahrers und des C1-Zweirades nicht berücksichtigt. Bei dieser Annahme wird die gesamte potentielle Energie des Kopfes in translatorische kinetische Energie umgewandelt, und es ergibt sich, entsprechend der Ausgangshöhen des Schwerpunktes des Kopfes, ein Aufprallgeschwindigkeitsbereich auf der Fahrbahn von 5,1 m/s bis 5,4 m/s (18,1 km/h bis 19,4 km/h).

In einer Studie zur Weiterentwicklung des Halses eines speziellen Dummies (APROD) (HUE et al., 1982), der jedoch nicht in die Gesetzgebung aufgenommen wurde, wurden Untersuchungen zur Flexibilität des Kopf-Hals-Bereiches bei Dummies und bei Leichen während eines seitlichen Anstoßes durchgeführt. Die Anstoßgeschwindigkeit bei diesen Versuchen war 22 km/h, entsprechen also annähernd dem Geschwindigkeitsniveau bei einem aus dem Stand umkippenden C1-Zweirad. In den Versuchen wurden u.a. der Kopfbeugewinkel (α) und der Halsbiegewinkel (β) bestimmt (siehe Bild 4, Anhang 2).

Um eine überschlägige Berechnung der seitlichen Verlagerung des Kopfes bei einem EUROSID-Dummy und beim Menschen durchzuführen, wurden am EUROSID die zur Berechnung erforderlichen Körpermaße abgenommen. Die Maße wurden für den Menschen übernommen und sind zusammen mit den Berechnungen der nachfolgend beschriebenen Ergebnisse im Anhang 2 zusammengestellt. Das Kopf-Hals-System sowohl vom Dummy als auch vom Menschen muß sich mindestens um die halbe Schulterbreite seitlich verlagern, damit es zu einem Kontakt mit an der Schulter anliegenden Fahrzeugteilen oder Hindernissen kommen kann. Die halbe Schulterbreite beträgt bei einem EUROSID ca. 241 mm. Die Berechnung der seitlichen Verlagerung des Kopf-Hals-Systems bei einem EUROSID, auf der Grundlage der Versuchsergebnisse für einen Dummy nach (HUE et al., 1982) ergab, daß dieser sich bei einer Anstoßgeschwindigkeit von 22 km/h 217 mm seitlich verlagert. Führt man die Berechnung auf der Grundlage der Versuchsergebnisse für einen Menschen nach (HUE et al., 1982) durch, ergibt sich eine seitliche Verlagerung des Kopf-Hals-Systems von 274 mm. Hier zeigt sich die höhere Flexibilität des Menschen

gegenüber dem Dummy. Der seitliche Überstand des Kopfes über die Schulter berechnet sich aus der Differenz zwischen seitlicher Verlagerung des Kopf-Hals-Systems und der halben Schulterbreite. Diese Differenz ergibt sich beim Dummy zu -24 mm (d.h. der Kopf ragt nicht über die Schulter hinaus) und beim Menschen zu 33 mm (d.h. der Kopf würde sich seitlich über die Schulter hinaus verlagern). Diese Ergebnisse zeigen, daß beim Umkippen eines mit einem Dummy besetzten C1-Fahrzeuges keine hohen Belastungen, z.B. durch einen Anstoß auf der Straße, auftreten. Der Mensch jedoch würde, bei gleichen Versuchsbedingungen, den Schutzraum für den Aufsassen des C1-Zweirades, wäre dieser nur so breit wie die Schulter des Fahrers, mit hoher Sicherheit verlassen, und es käme infolgedessen zu einem Kontakt mit der Fahrbahn. Da es sich bei der Berechnung der seitlichen Verlagerung des Kopf-Hals-Systems des Menschen nur um eine überschlägige Rechnung handelt, wird von der BAST empfohlen, die Konstruktion des Schutzraumes sowie die Abstimmung mit dem Gurtsystem so zu gestalten, daß bei einer seitlichen Verlagerung des Kopfes 50 mm über den seitlichen Schulterbereich hinaus keine Kontakte mit Hindernissen (z.B. Fahrbahn) auftreten können.

Zur Realisierung dieser Forderung wurde in Zusammenarbeit zwischen der BMW AG und der BAST ein Testverfahren entwickelt. Dieses als Wirkvorschrift definierte Verfahren läßt auch bei zukünftigen Entwicklungen dieser Art andere konstruktive Lösungen zu. Die ausführliche Beschreibung dieses Testverfahrens findet sich in Anhang 4.

Eine notwendige Bedingung zum Erfüllen dieses Testverfahrens und damit zur sicheren Rückhaltung des Aufsassen ist das Angurten des Fahrers. Um Nachlässigkeiten (z.B. Vergessen!) hinsichtlich des Angurtens vorzubeugen, wird aus Sicht der BAST der Einbau einer Signallampe vorgeschlagen. Diese sollte gut sichtbar sein, mit angemessener Intensität leuchten und gegebenenfalls durch Blinken den Fahrers auf das unterlassen Angurten aufmerksam machen. Aus verhaltenswissenschaftlicher Sicht wird ein Warnton als Signal für die nicht angelegten Gurte nicht befürwortet, da dieser eine unnötig hohe Geräuschbelastung und eventuell negative Beeinflussung des Verkehrsgeschehens zur Folge hätte. Das Lichtsignal ist nicht geeignet, dem vorsetzlichen Unterlassen des Angurtens zu begegnen.

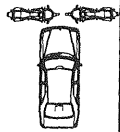
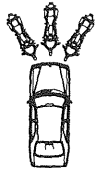
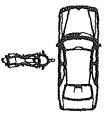
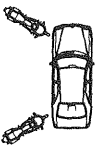
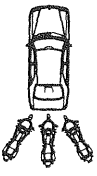
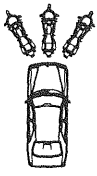
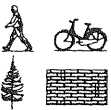
	Typ 1 seitlicher Anstoß des Pkw	Typ 2 Frontal- anstoß von Pkw und Zweirad	Typ 3 90° seitli- cher Anstoß des Zweirad	Typ 4 schräger seitlicher Anstoß des Zwei- rad	Typ 5 Heck- aufprall des Zweirades	Typ 6 Heck- aufprall des Pkw	Typ 7 Alleinunfall des Zwei- rades
							
Häufigkeit bei Motor- roller	5,1%	22,3%	7,0%	16,7%	5,2%	-	43,7%
Häufigkeit bei Motor- rad	4,2%	18,3%	5,9%	25,7%	11,2%	-	34,7%

Tabelle 2: Kollisionstypen

6.3 Auswertung der örtlichen Unfall- erhebungen für die Bewertung des C1-Konzeptes

Die MHH führt im Auftrag der BAST örtliche Unfall-erhebungen durch. Im Rahmen des hier vorge-
stellten Gutachtens wurde durch die MHH eine Ex-
pertise (OTTE, 1996) erstellt, die aus unfallanaly-
tischer Sicht das C1-Fahrzeug bezüglich des Kopf-
verletzungsrisikos untersucht. Nachfolgend werden
wichtige Daten aus der Unfallstatistik für Motorrä-
der und Motorroller dargestellt. Anschließend wird
auf die unfallanalytische Bewertung der sieben
Unfallkonstellationen eingegangen, die in Crash-
Versuchen nachgefahren wurden.

6.3.1 Örtliche Unfall-erhebungen in Hannover

Im Erhebungszeitraum von 1985 - 1995 wurden
1109 Unfälle unter Beteiligung motorisierter Zwei-
radfahrer aufgenommen. Bei 776 Unfällen waren
Motorräder und Leichtkrafträder beteiligt, die im
weiteren als Motorräder bezeichnet werden. 89
Unfälle mit Motorrollern wurden erhoben. 72,8%
der Motorroller hatten ein Hubvolumen bis ein-
schließlich 80 ccm und 27,2% über 80 ccm.

Die Kollisionskonstellationen zwischen Zweirad
und Pkw oder Lkw sowie der Alleinunfall werden
durch Kollisionstypen beschrieben (siehe Tabelle
2).

Am häufigsten bei motorisierten Zweiradfahrern
treten Alleinunfälle auf -Typ 7- (Motorrad: 34,7% ;
Motorroller: 43,7%). Dabei sind überwiegend Stür-
ze auf die Fahrbahn festzustellen (Motorrad: 67,4%
; Motorroller: 78,9%). Kollisionen mit Hindernissen
sind dagegen nur bei 32,6% der Motorräder und
bei lediglich 21,1% der Motorroller anzutreffen.

Bei Unfällen mit anderen Fahrzeugen sind Anstöße
unter einem schrägen Winkel frontal gegen die
Seite des Kollisionskontrahenten (Typ 4) bei Motor-
rädern am häufigsten anzutreffen. Dieser Kollision-
styp macht 25,7% des gesamten Unfallgeschehens
mit Motorrädern aus. Die Front zu Front - Kollision
im Bewegungsverkehr (Typ 2) tritt bei 18,3% der
Motorradunfälle auf. Betrachtet man das Unfallge-
schehen bei Motorrollern, dominiert deren Front zu
Front - Kollision mit Fahrzeugen im Bewegungsver-
kehr (Typ 2) mit einer Häufigkeit von 22,3%. Die
Kollisionen unter einem schrägen Winkel frontal in
die Seite des Kollisionskontrahenten (Typ 4) haben
einen Anteil von 16,7% am Unfallgeschehen mit
Motorrollern.

Die Anstoßrichtungen bei Motorrad- und Motorrol-
lerunfällen sowie deren Häufigkeitsverteilung sind
in Bild 2 gegenübergestellt.

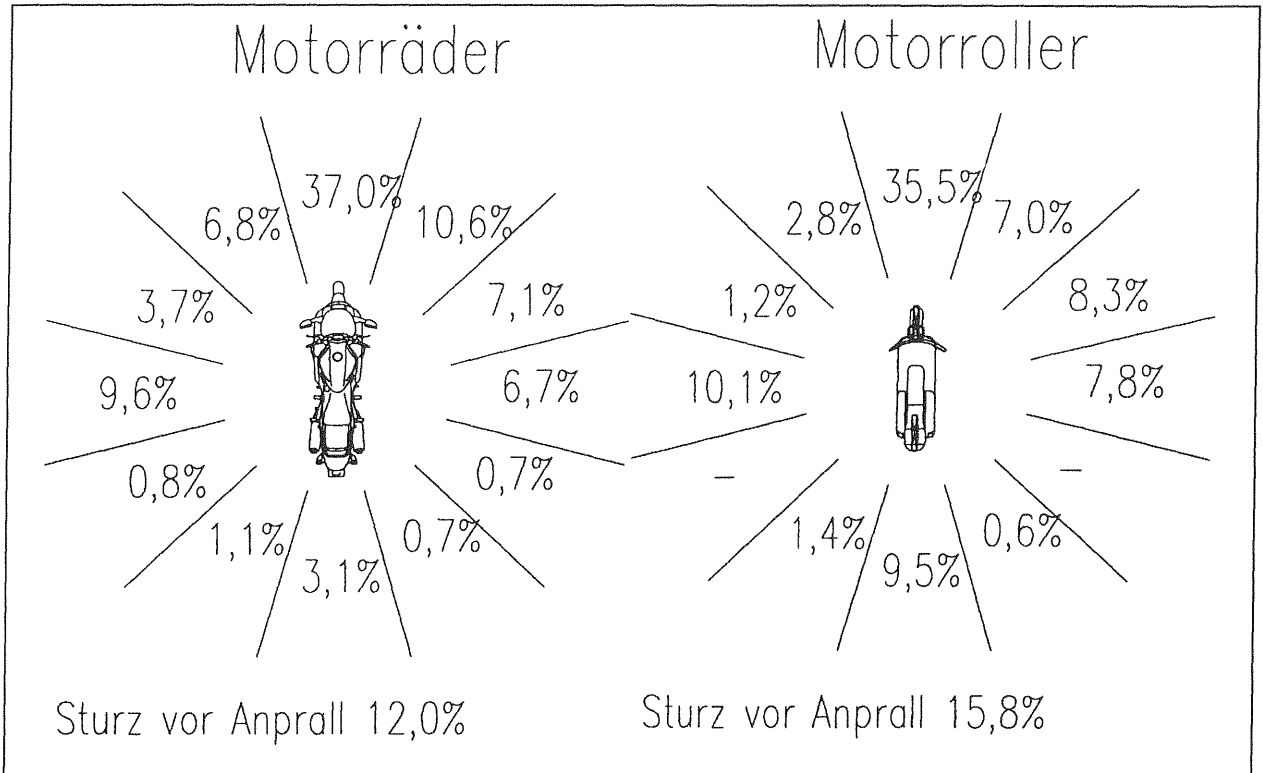


Bild 2: Anstoßrichtungen und Häufigkeitsverteilung bei Motorrädern und Motorrollern

Der Anstoß von vorn ist demnach der häufigste Anstoß.

Die Unterscheidung von Verkehrsunfällen mit Motorrädern und Motorrollern nach dem Unfallort zeigt, daß 80% bis 90 % der Unfälle mit diesen Zweirädern innerorts stattfinden.

Die Gesamtverletzungsschwere bei Motorradunfällen zeigt kaum Unterschiede zur Gesamtverletzungsschwere bei Motorrollerunfällen. In beiden Fällen weisen 98% der Kopfverletzungen eine maximale Verletzungsschwere (maximum abbreviated injury scale = MAIS) $MAIS \leq 2$ auf. Die Helmtragequote lag bei diesen Unfällen mit ca. 95% sehr hoch.

Für die Verletzungsschwere relevant ist vornehmlich die Relativgeschwindigkeit zwischen Zweirad und gegnerischem Fahrzeug. Motorroller sind in dem untersuchten Kollektiv schwächer motorisiert als die Motorräder. Demzufolge sind die Relativgeschwindigkeiten dieser Fahrzeuge deutlich geringer als diejenigen der Motorräder. Es zeigt sich, daß mit zunehmender Relativgeschwindigkeit zwischen Zweirad und Kollisionskontrahent der Anteil der Kopfverletzungen und deren Schwere zunehmen.

Vergleicht man die Kopfverletzungsschwere bei den verschiedenen Kollisionstypen bei Motorrad

und Roller, so ergibt sich für die drei jeweils wichtigsten Kollisionstypen eine Rangfolge wie in Tabelle 3.

	Kollisionstyp	Häufigkeit von Kopfverletzungen mit AIS 2 und höher
Motorrad:	Typ 3	11,5%
	Typ 7	9,2%
	Typ 4	9,1%
Motorroller:	Typ 4	6,8%
	Typ 7	5,0%
	Typ 2	2,0%

Tabelle 3: Darstellung der drei wichtigsten Kollisionstypen jeweils für Unfälle mit Motorrädern und Motorrollern

Insgesamt ist der Kopfanprall auf Grund der hohen Helmtragequoten nicht sehr folgenschwer (ca. 90% der Unfälle $AIS \leq 2$).

Untersucht man die Kopfverletzungen hinsichtlich des Anstoßortes ergibt sich, daß ca. 59% der Kopfverletzungen durch den Sturz auf die Straße entstehen. Ein Anprall am gegnerischen Fahrzeug ist bei 17% der Motorradfahrer und bei 19% der

Rollerfahrer Ursache für Kopfverletzungen. Eine Bewertung der Kopfanprallstellen hinsichtlich der dabei auftretenden Verletzungsschweregrade des Kopfes zeigt, daß der Kopfanprall am Kollisionskontrahenten für den Fahrer eines Motorrades und auch eines Motorrollers zu den folgenschwersten zählt. Der häufig auftretende Sturz auf die Straße führt dagegen zu überwiegend leichten Verletzungen.

Die Bewegung der Zweiradfahrer wird in Anlehnung an bisherige Studien durch die Definition der Kinematikgruppen dargestellt (Bild 3). Analysiert man die Kopfverletzungen bezüglich der Kinematikgruppen, so treten die höchsten Kopfverletzungen beim Anprall mit Richtungsänderung (ca. 25%-30%), beim seitlichen Herumschlagen des Zweirades beim Anprall: Umkippen (ca. 10%-17%), sowie dem isolierten Sturz des Krades (ca. 22%-31%) auf.

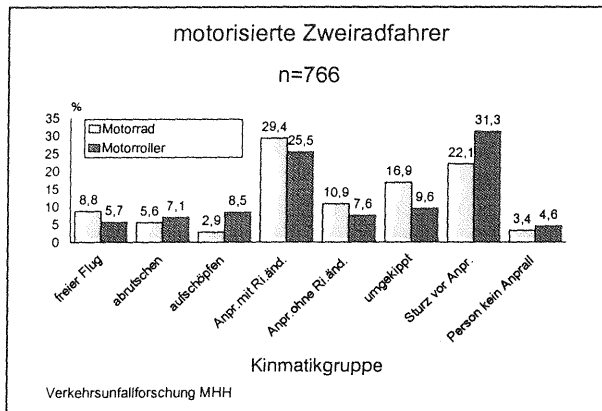


Bild 3: Kinematikgruppen und Häufigkeitsverteilung bei Motorrädern und Motorrollern

Der Anprall mit Richtungsänderung durch einen schrägen Anstoß ist bei fast allen Kollisionstypen, mit Ausnahme des Alleinunfalles, sehr häufig anzutreffen.

Die vorliegende Auswertung zeigt die Bedeutung der durch die MHH definierten Kollisionstypen im realen Unfallgeschehen.

6.3.2 Bewertung der von der BMW AG getesteten Unfallkonstellationen

Die von der BMW AG getesteten Unfallkonstellationen werden im folgenden den von der MHH abgeleiteten und als wichtig erachteten Kollisionstypen (siehe Tabelle 2) zugeordnet. Auf diese Weise wird die Relevanz der einzelnen durch die BMW AG durchgeführten Versuche für das Unfallgeschehen dargestellt. Die nachfolgend aufgeführten Un-

fallhäufigkeiten beziehen sich auf Motorradunfälle, da es kaum signifikante Unterschiede zu den Unfallhäufigkeiten bei Motorrollern gibt.

1. Kollisionstyp 1 (seitlicher Anstoß des Pkw):

Diese Kollisionssituation wurde durch die BMW AG mit einer Geschwindigkeit von 35 km/h getestet. Dieser Kollisionstyp ist in der Realität nicht sehr häufig (4,2% der Unfälle) und läßt auch keine schweren Kopfverletzungen erwarten. Problematisch ist hier die unkontrollierte Bewegung der Extremitäten, die dadurch sehr leicht zwischen Rahmen und Hindernisse bzw. Fahrzeugteile eingeklemmt werden können. Durch die Gestaltung der Rahmenstruktur in den gefährdeten Bereichen (Anforderungen entsprechend der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 3: "Vorstehende Kanten...") läßt sich diese Gefahr mindern.

2. Kollisionstyp 2 (Frontalanstoß von Pkw und Zweirad):

Das Zweirad wurde unter einem Winkel von 20° und mit einer Geschwindigkeit von 35 km/h frontal gegen einen stehenden Pkw gefahren. Dieser Kollisionstyp ist mit 18,3% recht häufig. Hier kann das Rückhaltesystem des C1-Zweirades seine Wirkung voll entfalten. Der Fahrer wird zurückgehalten und ein primärer Kontakt mit Fahrzeugteilen vermieden. Der Einbau von Gurtzusatzeinrichtungen (z.B. Gurtstraffer, Gurtklemmer usw.) oder deren Kombination würde den Aufsassen noch besser an das Fahrzeug binden und damit große Relativbewegungen zwischen Aufsasse und Fahrzeug vermeiden. Durch das Rückhaltesystem werden die an den Aufsassen angreifenden Kräfte gleichmäßig auf den Körper verteilt.

3. Kollisionstyp 3 (90° seitlicher Anstoß des Zweirades):

Dieser Kollisionstyp kommt, ebenso wie Typ 1, relativ selten vor (ca. 5,9%). Es wurden hier vergleichende Versuche mit dem C1-Zweirad und einer Honda Helix durchgeführt. Der Versuch erfolgte einmal mit und einmal ohne Sozius, jeweils mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h. Die Versuche mit Sozius sollen hier unberücksichtigt bleiben. Die passiven Sicherheitseinrichtungen des C1-Zweirades halten den Fahrer wirksam zurück und verhindern einen primären Kontakt mit Teilen des eigenen und des gegnerischen Fahrzeugs. Analog zu Kollisionstyp 2 kann die Wirkung des Rückhaltesystems durch Gurtzusatzeinrichtungen verbessert werden.

4. Kollisionstyp 4 (schräger seitlicher Anstoß des Zweirades):
Für diesen Kollisionstyp wurde durch die BMW AG kein Versuch durchgeführt. Diese Konstellation sollte noch untersucht werden, da diese Unfallkonstellation 25,7% des realen Unfallgeschehens mit Motorrädern ausmacht. Ein Versuch zu diesem Kollisionstyp wird, nach Aussage der BMW AG, in der 34. Kalenderwoche 1997 durchgeführt und die Ergebnisse werden dann der BASt zur Verfügung gestellt.
5. Kollisionstyp 5 (Heckaufprall des Zweirades):
Für diesen Kollisionstyp wurde durch die BMW AG kein Versuch durchgeführt. Diese Unfallkonstellation ist jedoch mit dem Kollisionstyp 2 vergleichbar, da es sich für das Motorrad in beiden Fällen um eine Frontalkollision handelt. Es gilt demnach das oben Gesagte. Der Kollisionstyp 5 hat einen Anteil von 11,2% am gesamten Unfallgeschehen.
6. Kollisionstyp 6 (Heckaufprall des Pkw):
Diese Unfallkonstellation ist im realen Unfallgeschehen so gut wie nie anzutreffen (ca. 0%). Daher ist dieser Fall für unsere Betrachtungen nicht relevant.
7. Kollisionstyp 7 (Alleinunfall):
Alleinunfälle treten am häufigsten auf (ca. 34,7%). Die BMW AG hat für diesen Kollisionstyp drei verschiedene Unfallkonstellationen getestet:
- Zum einen wurde der recht seltene Fall der direkten Kollision mit einem starren ortsfesten Hindernis getestet. Der Anstoß gegen die starre Barriere mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h führt zu ähnlich geringen Belastungen, wie man sie von Pkw-Versuchen her kennt. Es kommt während der Kollision nicht zum Kontakt mit eigenen Fahrzeugteilen bzw. Teilen des Hindernisses. Die Wirkung des Gurtsystems kann durch Gurtsatzeinrichtungen weiter verbessert werden.
 - Der zweite Versuch zum Kollisionstyp 7 war ein Rutschversuch mit einer Ausgangsgeschwindigkeit von 50 km/h. Dieser Kollisionstyp tritt bei etwa 3/4-tel der Alleinunfälle auf. Bei den Versuchen durch die BMW AG kommt es während des Rutschens nicht zu einem Kontakt zwischen dem Kopf des Fahrers und der Fahrbahn. Da der Mensch, wie bereits oben ausgeführt, gegenüber dem Dummy flexibler ist (siehe Kapitel 6.2.3) schlägt die BASt Maßnahmen vor, die den seitlichen Schutzbereich erweitern. Geeignete Maßnahmen wären z.B. die seitliche Verbreiterung des Schutzraumes, die Verbreiterung der Sicherheitsbügel im Schulter- und Beckenbereich und/oder zusätzliche Maßnahmen für die Fixierung des Aufsassen, um nur möglichst geringe Gurtlosen zuzulassen und somit die seitliche Verlagerung des Aufsassen zu verringern.
- Der dritte Versuch zum Kollisionstyp 7 war das Umkippen des C1-Zweirades aus dem Stand. Der Film zeigt, daß das Gurtsystem den Aufsassen sicher zurückhält. Allerdings sei auch an dieser Stelle noch einmal auf den Unterschied in der Beweglichkeit zwischen Mensch und Dummy hinzuweisen.

6.4 Schlußfolgerungen zur passiven Sicherheit und der Befreiung von der Helmtragepflicht für Fahrer des C1-Fahrzeuges

In diesem Bericht wurde das Verhalten des C1-Zweirades der BMW AG in verschiedenen Unfallsituationen in Hinblick auf die Befreiung von der allgemeinen Helmtragepflicht und bezüglich der passiven Fahrzeugsicherheit untersucht. Um eine differenzierte Beurteilung des Zweiradkonzeptes zu ermöglichen, wurde zwischen primärem Frontalanstoß und primärem Seitenanstoß sowie der Ausschleuderphase unterschieden.

Im Frontalanstoß ist die Sicherheit des C1-Fahrzeuges mit der eines Pkw vergleichbar. Es ist erheblich sicherer als handelsübliche Motorräder und Motorroller. Die hohe Sicherheit resultiert aus der Übertragung der im Pkw-Bau bereits bewährten passiven Sicherheitseinrichtungen wie Knautschzone (beim C1-Fahrzeug als Crashelement ausgebildet), Gurtsystem und Sicherheitssitz.

Auch im Seitenanstoß ist das C1-Fahrzeug sicherer als ein Motorrad/ Motorroller. Durch das Rückhaltesystem und die seitlichen Sicherheitsbügel im Schulter- und Beckenbereich kommt es in der Regel nicht zu einem direkten Kontakt des Aufsassen mit Fahrzeugteilen des anstoßenden Fahrzeugs. Infolge einer dem Motorroller eigenen Konstruktionsweise (fehlender Knieschluß) wird das Einklemmen der Beine bei einem seitlichen Anstoß vermieden. Das führt zu entscheidenden Verbesserungen bezüglich der Unfallfolgen.

Für den Frontal- und Seitenanprall gilt gleichermaßen:

Infolge der Bindung des C1- Aufsassen an das Zweirad durch das Gurtsystem, treten im Brust- und Beckenbereich höhere Aufsassen-Belastungen als bei herkömmlichen Zweirädern auf. Dies ist die Folge einer gleichmäßigeren Verteilung der wirkenden Belastungen auf den gesamten Körper des C1-Aufsassen. Die Belastungen liegen jedoch unter den für Pkw-Insassen gültigen biomechanischen Belastungsgrenzen.

Über die Belastungen im Abdomenbereich eines C1-Aufsassen liegen keine Meßergebnisse vor. Es wird jedoch vermutet, daß, entsprechend den Brust- und Beckenbelastungen gegenüber dem Aufsassen eines herkömmlichen Zweirades, leicht erhöhte Belastungen auftreten, diese jedoch unter den biomechanischen Grenzwerten für Pkw-Insassen liegen.

Die Halskräfte der Aufsassen eines herkömmlichen Zweirades und eines C1-Zweirades im primären Frontal- und Seitenanprall unterscheiden sich im allgemeinen kaum voneinander. Bei den Halsmomenten zeigt der C1-Aufsasse deutlich geringere Werte als der Aufsasse eines herkömmlichen Zweirades. Diese Ergebnisse stammen aus Versuchen, bei denen auch der C1-Aufsasse einen Helm trug. Wird der Fahrer eines C1-Zweirades von der Helmtragepflicht befreit, werden die Halsbelastungen noch geringer.

Als Kernproblem zur Beantwortung der Frage nach der Befreiung des C1-Aufsassen von der Helmtragepflicht wird die Ausschleuderphase angesehen. Anders als die herkömmlichen Zweiräder bleiben C1-Zweirad und Aufsasse während der gesamten Ausschleuderphase miteinander verbunden. Im Verlauf eines Unfalls kommt es sehr häufig zum Umkippen des Zweirades. Um in diesem Fall genug Raum für eine kontaktfreie seitliche Bewegung des Kopf-Hals-Systems zur Verfügung zu stellen, ist, aus der Sicht der BAST, die Konstruktion in diesem Bereich so auszulegen, daß eine seitliche Bewegung des Kopfes von maximal 50 mm über den seitlichen Schulterbereich hinaus zu keinen Kontakten mit Hindernissen (z.B. Fahrbahn) führt. In einer Rutsch- oder Schleuderphase reduzieren das Gurtsystem und der Becken- und Schulterbügel das Verletzungsrisiko. Es wird durch die BAST empfohlen, ein dem Stand der Technik entsprechendes Rückhaltesystem einzusetzen, das eine möglichst geringe Vorverlagerung des Oberkörpers während der Crash- und Postcrashphase realisiert. Dieses Gurtsystem soll auch in der Ausschleuderphase wirken, um die Gurtlose klein zu halten und damit einer starken seitlichen Verlagerung des Aufsassen entgegenzuwirken. Bei einem Aufprall

gegen ein Hindernis in der Ausschleuderphase ist der Aufsasse durch die steife Rahmenstruktur der Überrollbügel gut geschützt.

Während einer Kollision können die Extremitäten des Aufsassen den Schutzbereich, der aus der Rahmenstruktur gebildet wird, verlassen. Infolgedessen sind Verletzungen zu erwarten, die durch das Einklemmen zwischen der eigenen Rahmenstruktur und einem Hindernis (auch Fahrzeug) entstehen. Es ist daher wichtig, an den entsprechenden Stellen Polsterungen vorzusehen oder die Struktur mit ausreichend großen Rohrradien zu versehen.

Um Nachlässigkeiten (z.B. Vergessen!) hinsichtlich des Angurtens vorzubeugen, wird aus Sicht der BAST der Einbau einer Signallampe vorgeschlagen. Diese sollte gut sichtbar sein, mit angemessener Intensität leuchten und gegebenenfalls durch Blinken den Fahrers auf das unterlassene Angurten aufmerksam machen. Das Lichtsignal ist allerdings nicht geeignet, dem vorsätzlichen Unterlassen des Angurtens zu begegnen.

In jeder Phase eines Unfalles kann es zu einer Beschädigung der Frontscheibe des Schutzraumes des C1-Fahrzeuges kommen. Bei der Verwendung von Einscheibensicherheitsglas könnten, bei einem unbehelmt Aufsassen, die kleinen Glassplitter, die beim Zerbersten einer Scheibe aus Einscheibensicherheitsglas entstehen, zu Schädigungen der Augen führen. Es wird daher durch die BAST die Verwendung einer Scheibe empfohlen, die den Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 12 „Scheiben, Scheibenwischer,...“ genügt.

Der Kollisionstyp 4 (nach MHH), schräger seitlicher Anstoß des C1-Zweirades gegen einen Pkw, wurde durch die BMW AG bisher nicht getestet, obwohl dieser mit einem erheblichen Anteil - bei Motorrädern 25,7% und bei Motorrollern 16,7% - am gesamten Unfallgeschehen beteiligt ist. Ein Versuch zu diesem Kollisionstyp ist für Ende August 1997 geplant und die Ergebnisse werden der BAST zur Verfügung gestellt.

Aufgrund der durchgeführten Untersuchungen kommt die BAST zu dem Urteil, daß das C1-Zweirad die an die aktive und passive Sicherheit zu stellenden Anforderungen erfüllt und darüberhinaus zunächst von der Helmtragepflicht befreit werden kann, wenn insbesondere folgende Sicherheitsanforderungen umgesetzt werden:

- Verbreiterung des Schutzbereiches, so daß das Prüfverfahren „seitliches Umkippen“ nach Anhang 4 erfüllt wird
- Einhaltung der Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 3 „Vorstehende Außenkanten...“ oder Polsterung der Rahmenstruktur im Kontaktbereich der Extremitäten
- Einbau eines Rückhaltesystems nach dem heutigen Stand der Technik, das eine möglichst geringe Vorverlagerung des Oberkörpers während der Crash- und Postcrashphase zuläßt (Anforderung nach Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 11 „Verankerung der Sicherheitsgurte...“)
- Durchführung des Dacheindrücktstes nach dem neu entwickelten Prüfverfahren von BAST und BMW AG (siehe Anhang 5)
- Verwendung einer Scheibe, die den Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, Kapitel 12 „Scheiben, Scheibenwischer,...“, Anhang I, Abschnitt 1.1 und 1.2 genügt
- Durchführung eines Versuches zum Kollisionstyp 4 (nach MHH), schräger seitlicher Anstoß des C1-Zweirades gegen einen Pkw, durch die BMW AG und Erfüllung der Schutzkriterien
- Einbau einer Warnleuchte als Hinweis für den nicht angegurteten Fahrer entsprechend EWG-Richtlinie 78/316, Anhang III, Abbildung 9.
- Durch ein Hinweisschild im Sichtbereich des fahrbereiten Fahrzeugführers muß darauf hingewiesen werden, daß die Helmtragepflicht besteht, wenn der Aufsasse nicht angegurtet ist.

Nach der Markteinführung sollte die Unfallentwicklung mit Beteiligung des C1-Zweirades sowie ähnlicher neuartiger Zweiradkonzepte sorgfältig beobachtet und ausgewertet werden.

7 Allgemeine Anforderungen an mit dem C1-Zweirad vergleichbare Konzepte

Wie bereits im Kapitel 0 „Einleitung“ erwähnt, handelt es sich bei dieser Fahrzeugart um ein neuartiges Zweiradkonzept. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, allgemeine Anforderungen zu definieren, die Fahrzeuge dieser Konzeptionsart erfüllen sollten. In diesem Abschnitt werden die Anforderungen an die passiven Sicherheit solcher Fahrzeuge vor allem bezüglich des Kopfschutzes dargestellt. Diese Anforderungen wurden auf der Ba-

sis der Bewertung des C1-Zweiradkonzeptes abgeleitet. Anliegen ist es, die allgemeinen Anforderungen so zu definieren, daß durch deren Erfüllung ein hoher Sicherheitsstandard für diese Fahrzeugart erreicht wird. Es sollte damit möglich sein, zukünftige Entwicklungen anderer Fahrzeughersteller hinsichtlich ihres passiven Sicherheitspotentials zu bewerten und eventuell Produkte, die dem geforderten Sicherheitsniveau nicht entsprechen, zu erkennen und vom Markt fernzuhalten. Aufgrund der hier dargestellten Anforderungen wird durch das BMV eine Ausnahmeverordnung zur Befreiung von der Schutzhelmtragepflicht formuliert.

- Durch die BAST werden folgende Unfallkonstellationen zur Bewertung der passiven Sicherheit derartiger Zweiradkonzepte empfohlen: Unfallkonstellationen aus ISO 13232 (siehe Tabelle 17):
 - Konstellation 1: seitlicher Anstoß des Pkw
 - Konstellation 2: schräger Frontalanstoß zwischen Zweirad und Pkw
 - Konstellation 4: schräger seitlicher Anstoß des Zweirades von hinten
 - Konstellation 6: streifender Frontalanstoß von Pkw und Zweirad
 - Konstellation 7: seitlicher 90°-Anstoß des Zweirades gegen stehenden Pkw

Die Konstellation 3 wird durch Konstellation 4 und 7 abgedeckt und die Konstellation 5 ist mit der Konstellation 2 vergleichbar.

Darüber hinaus sind:

- ein seitlicher Umkipptest und
- ein Dacheindrückttest
- durchzuführen. Die jeweiligen Versuchsbeschreibungen und Durchführungen sind in Anhang 4 und Anhang 5 dargestellt.
- Bei allen vorstehend beschriebenen Versuchen wird der Grenzwert für die Kopfbelastung des Aufsassen, entsprechend den Anforderung beim Pkw Frontal- und Seitenaufpralltest (Richtlinie 96/79/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 16. Dezember 1996 über den Schutz der Fahrzeuginsassen beim Frontalaufprall und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG, Anhang II, Abschnitt 3.2.1.1. und Richtlinie 96/27/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 20. Mai 1996 über den Schutz der Kraftfahrzeuginsassen beim Seitenaufprall und zur Änderung der Richtlinie

70/156/EWG, Anhang II, Abschnitt 3.2.1.1.), auf den HPC=1000 festgelegt.

- Die Extremitäten des Aufsassen können in der Anprall- und/oder Ausschleuderphase den Schutzbereich des Fahrzeuges verlassen. Um die Verletzungen der Extremitäten beim Einklemmen unter Beteiligung der eigenen Fahrzeugstruktur so gering wie möglich zu halten, sind die Kontaktkräfte (Flächenpressungen) möglichst gering zu halten. Können die Anforderungen nach Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, über bestimmte Bauteile und Merkmale von zwei- und dreirädrigen Kraftfahrzeugen, Kapitel 3 nicht erfüllt werden, sind Polsterungen im Kontaktbereichen der Extremitäten vorzusehen.
- Das Zweirad ist durch ein geeignetes, dem Stand der Technik entsprechendes, Rückhaltesystem auszustatten, das den Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, über bestimmte Bauteile und Merkmale von zwei- und dreirädrigen Kraftfahrzeugen (Kapitel 11, Verankerung der Sicherheitsgurte und Sicherheitsgurte von dreirädrigen Kleinkrafträdern, Drei- und Vierradfahrzeugen mit Aufbau) entspricht. Das Rückhaltesystem muß den Aufsassen in allen Phasen eines möglichen Unfalles sicher zurückhalten und ihn somit vor Kontakten mit Hindernissen und/oder Teilen der eigenen Fahrzeugstruktur schützen.
- Ist der Schutzbereich des Zweirades mit Scheiben versehen, müssen diese den Anforderungen der Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997, über bestimmte Bauteile und Merkmale von zwei- und dreirädrigen Kraftfahrzeugen, Kapitel 12, Anhang I, Abschnitt 1.1. oder 1.2. entsprechen.
- Ist für den Aufsassen des Fahrzeugs ein Rückhaltesystem vorgesehen und ist dieses manuell zu betätigen, wird der Einbau einer Signallampe gefordert, um Nachlässigkeiten bei der Benutzung (z.B. Vergessen!) vorzubeugen. Diese Lampe sollte gut sichtbar angeordnet sein, mit angemessener Intensität leuchten und den Anforderungen der EWG-Richtlinie 78/316, Anhang III, Abbildung 9 entsprechen. Durch ein Hinweisschild im Sichtfeld des fahrbereiten Fahrzeugführers muß darauf hingewiesen werden, daß die Helmtragepflicht besteht, wenn der Aufsasse das Gurtsystem nicht anlegt.

8 Untersuchungsvorschlag zur Beobachtung des Markt- und Unfallgeschehens

Es ist möglich, daß Fahrzeuge dieser neuen Fahrzeugklasse zukünftig einen gewissen Marktanteil erreichen werden und insbesondere im Stadtverkehr häufig anzutreffen sind. Insgesamt gesehen werden an diese Fahrzeugklasse hohe Anforderungen an die aktive und passive Sicherheit zu stellen sein. Wie sich diese neue Fahrzeugklasse im Unfallgeschehen widerspiegeln wird, muß sich noch zeigen, da bisher diesbezüglich keinerlei Erfahrungen vorliegen. Aus diesem Grunde wird vorgeschlagen, in den nächsten Jahren parallel zur Markteinführung dieses neuartigen Zweiradkonzeptes eine begleitende Untersuchung bezüglich der Marktentwicklung und des Unfallgeschehens durchzuführen. Diese Untersuchung sollte langfristig angelegt sein, da die Marktdurchdringung zu Beginn der Serieneinführung zunächst noch gering sein wird. Informationen über die Marktentwicklung können von den Fahrzeugherstellern bzw. -importeuren erwartet werden. Das Unfallgeschehen kann über Sonderauswertungen der Medizinischen Hochschule Hannover (BAST Projekt „Erhebungen am Unfallort“) erfolgen. Nach Aussage der BMW AG wird die Firma im Rahmen ihrer eigenen Unfallerbhebung von BMW-Fahrzeugen im Raum München zukünftig auch das C1-Unfallverhalten untersuchen.

9 Literatur

- [1] ALBUS, C.: Bewertung von Maßnahmen zur Steigerung der aktiven Sicherheit bei Motorrädern, Tagungsbericht - 5. Fachtagung - Motorrad, VDI Verlag, Düsseldorf, 1993
- [2] HEINZE, G.W.; KILL, H.H.: Chancen für das Motorrad im Verkehrssystem von morgen, Tagungsbericht - 4. Fachtagung - Motorrad, VDI Verlag, Düsseldorf 1991
- [3] HUE, B. et.al.: Injury Criteria in Lateral Collision, When an APROD Dummy is Used, 9th International Technical Conference on Experimental Safety Vehicles, Kyoto, Japan, 1982
- [4] MORRES, H.: Berechnungsverfahren und Parametereinflüsse bei der Ermittlung von Dummybelastungswerten (Untersuchungen zum HIC), Thesis No. 14/82 (FG 1), Technical University of Berlin 1984.
- [5] N.N.: Draft International Standard ISO/DIS 13232 (Teil 1-8), 1995
- [6] N.N.: Richtlinie 97/24/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 17. Juni 1997 über bestimmte Bauteile und Merkmale von zweirädrigen oder dreirädrigen Kraftfahrzeugen,
- [7] N.N.: Motorradkatalog 1996, Ausgabe Nr. 27, Motor-Presse Verlag, Stuttgart, 1996
- [8] NURTSCH, B.; HELM, D.: C1, Verkehrsmittel der Zukunft, Strukturauslegung eines Zweiradsicherheitsrahmens, Tagungsbericht - 5. Fachtagung - Motorrad, VDI Verlag, Düsseldorf, 1993
- [9] OTTE, D.: Motorradunfälle mit Sozius, VDI Bericht Nr. 779, 107-131, 1989
- [10] OTTE, D.: Unfallanalytische Expertise zum BMW-C1-Projekt - Bewertung des Kopfverletzungsrisikos-, Dezember 1996
- [11] ROUX, P.L.; BLEZARD, P.N.: Das Motorrad der Zukunft, Tagungsbericht - 4. Fachtagung - Motorrad, VDI Verlag, Düsseldorf 1991
- [12] SAMMER, G.; WERNSPERGER, F.: Stadtverkehr der Zukunft (FP NMZ), Kurzfassung, Hrsg. IVM, Essen
- [13] SCHMIEDER, M.: Entwicklung eines Prüfverfahrens zur Beurteilung der Hochgeschwindigkeitsstabilität von Motorrädern, Forschungsberichte des BMV, Bereich Fahrzeugtechnik, Hrsg. BAST, Bergisch Gladbach, April 1991
- [14] SCHWEERS, T.; ALBUS, C.: Objective Assessment of Motorcycle Manoeuvrability, Proceedings of the 1991 Int. Motorcycle Conference, Hrsg. IfZ, Bochum, 1991
- [15] SIEVERT, W.: Mobilität und das richtige Verkehrsmittel - Umweltschutz durch Typenvielfalt?, Zeitschrift „Polizei, Verkehr, Technik“, 2/1997
- [16] SPORNER, A.; LANGWIEDER, K.: Motorisierte 2- und 3-Radfahrzeuge als Individualverkehrsmittel der Zukunft, Tagungsbericht - 5. Fachtagung - Motorrad, VDI Verlag, Düsseldorf, 1993
- [17] WEIDELE, A.: Das Gebrauchsmotorrad der Zukunft - ein Denkansatz, Tagungsbericht - 4. Fachtagung - Motorrad, VDI Verlag, Düsseldorf 1991
- [18] WISMANS, J.; SPENNY, C. H.: Performance Requirements for Mechanical Necks in Lateral Flexion, Stapp Crash Car Conference, San Diego (USA), 1983

Anhang

Anhang 1: Ergebnisse aus Crashversuchen und Simulationen

Daten der Real - Crash - Versuche

Durch BMW wurden 2 Versuchskonstellationen nach DIN/ISO 13232-2 und weitere 6 - frei festgelegte - Real- Crash- Versuche durchgeführt. In Tabelle 1-9 sind die Versuchsdaten sowie die realen MATD-Dummy- Belastungen den biomechanischen Belastungsgrenzen gegenübergestellt.

Seitenaufprall Pkw gegen stehendes Krafrad unter 90°			
Fahrzeug	C1	Helix	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	35,7	36	
HIC	(24)	(173)	1000
a_{K3ms} (g)	17	48	80
a_{Brust} (g)	28,5	17	60
a_{Becken} (g)	60,5	38	(60...)80
F_{Nacken} (kN) x:	--	0,6	--
y:	0,5	0,4	--
z:	0,5	1,7	--
M_{Nacken} (Nm) X:	16	49	--

Tabelle 4: Versuchsdaten (behelmtete Aufsassen)

Frontalaufprall 90° Krafrad gegen Pkw			
Fahrzeug	C1	Helix	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	51	51	
HIC	134	1100	1000
a_{K3ms} (g)	34	111	80
a_{Brust} (g)	36	22	60
a_{Becken} (g)	42	34	(60...)80
$F_{Femur (li)}$ (kN)	2,1	25	10
$F_{Femur (re)}$ (kN)	2,0	25	10
F_{Nacken} (kN) x:	1,2	1,3	--
z:	1,9	2,2	--
M_{Nacken} (Nm) y:	35	84	--

Tabelle 5: Versuchsdaten (behelmtete Aufsassen)

Frontalaufprall 90° Kraftrad gegen Pkw (2 Aufsassen)			
Fahrzeug	C1-Fahrer	C1-Sozius	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	48,3	48,3	
HIC	(88)	(77)	1000
a_{K3ms} (g)	25	28	80
a_{Brust} (g)	27	29	60
a_{Becken} (g)	39	39	(60...)80
$F_{Femur (li)}$ (kN)	1,6	2,7	10
$F_{Femur (re)}$ (kN)	1,5	2,7	10
F_{Nacken} (kN) x:	0,9	0,5	--
z:	1,1	1,1	--
M_{Nacken} (Nm) y:	52	11	--

Tabelle 6: Versuchsdaten (behelmt Aufsassen)

Aufprall 160° Kraftrad gegen Pkw		
Fahrzeug	C1	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	35,9	
HIC	55	1000
a_{K3ms} (g)	31	80
a_{Brust} (g)	30	60
a_{Becken} (g)	21	(60...)80
$F_{Femur (li)}$ (kN)	1,9	10
$F_{Femur (re)}$ (kN)	1,1	10
F_{Nacken} (kN) x:	0,8	--
z:	1,6	--
M_{Nacken} (Nm) y:	32	--

Tabelle 7: Versuchsdaten (behelmt Aufsasse)

Heckaufprall Pkw gegen C1		
Fahrzeug	C1	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	36,3	
HIC	275	1000
a_{K3ms} (g)	63	80
a_{Brust} (g)	26	60
a_{Becken} (g)	16	(60...)80
$F_{Femur (li)}$ (kN)	1,5	10
$F_{Femur (re)}$ (kN)	1,8	10
F_{Nacken} (kN) x:	0,5	--
z:	1,1	--
M_{Nacken} (Nm) y:	19	--

Tabelle 8: Versuchsdaten (behelmt Aufsasse)

90° Aufprall C1 gegen Barriere		
Fahrzeug	C1	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	48,46	
HIC	488	1000
a_{Kr} (g)	52	80
a_{Brust} (g)	69	60
a_{Becken} (g)	--	(60...)80
F_{Femur} (li) (kN)	3,6	10
F_{Femur} (re) (kN)	3,4	10
F_{Nacken} (kN) x:	1,3	--
z:	1,7	--
M_{Nacken} (Nm) y:	74	--

Tabelle 9: Versuchsdaten (unbehelmter Aufsasse)

Heckaufprall 30° Pkw gegen C1		
Fahrzeug	C1	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	0	
HIC	150	1000
a_{Kr} (g)	46	80
a_{Brust} (g)	42	60
a_{Becken} (g)	--	(60...)80
F_{Femur} (li) (kN)	3,6	10
F_{Femur} (re) (kN)	2,4	10
F_{Nacken} (kN) x:	0,29	--
y:	0,13	--
z:	0,15	--
M_{Nacken} (Nm) y:	45	--

Tabelle 10: Versuchsdaten (unbehelmter Aufsasse)

Alleinunfall (Rutschversuch), Rahmen voraus		
Fahrzeug	C1	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	50	
HIC	2,1	1000
a_{Kr} (g)	6,8	80
a_{Brust} (g)	7,7	60
a_{Becken} (g)	--	(60...)80
F_{Femur} (li) (kN)	0,2	10
F_{Femur} (re) (kN)	0,14	10
F_{Nacken} (kN) x:	0,08	--
y:	0,21	--
z:	0,26	--
M_{Nacken} (Nm) x:	20	--

Tabelle 11: Versuchsdaten (unbehelmter Aufsasse)

Umfallen aus dem Stand		
Fahrzeug	C1	Biomechanische Belastungsgrenzen
v (km/h)	0	
HIC	28,4	1000
a _{Kr} (g)	22,5	80
a _{Brust} (g)	28	60
a _{Becken} (g)	--	(60...)80
F _{Femur (li)} (kN)	0,19	10
F _{Femur (re)} (kN)	0,19	10
F _{Nacken} (kN) x:	0,25	--
y:	0,47	--
z:	0,9	--
M _{Nacken} (Nm) x:	33	--

Tabelle 12: Versuchsdaten (unbehelmtter Aufsasse)

Daten der Computersimulation

Daten der Computersimulationen der 7 ISO - Konfigurationen										
Versuchskonfiguration		C1 ohne Helm			C1 mit Helm			Motorroller mit Helm		
		HIC	a _{Kopf} in [g]	GAMBIT	HIC	a _{Kopf} in [g]	GAMBIT	HIC	a _{Kopf} in [g]	GAMBIT
I	ISO 143 - 9,8/0	126	44	0,37	80 (14*)	45 (18*)	0,26	40 (130*)	30 (48*)	0,17
II	ISO 114-6,7/13,4	246	36	0,17	217	35	0,15	1591	153	0,62
III	ISO 413 - 6,7/13,4	361	40	0,19	266	38	0,16	930	160	0,92
IV	ISO 412 - 6,7/13,4	344	84	0,5	417	112	0,49	434	90	0,53
V	ISO 414 - 6,7/13,4	139	52	0,33	119	58	0,26	337	75	0,34
VI	ISO 225 - 0/13,4	162	45	0,18	113	34	0,15	16	12	0,05
VII	ISO 413 - 0/13,4	484	52	0,22	371 (84*)	49 (34*)	0,21	1726 (1083*)	162 (166*)	0,83

Tabelle 13: Ergebnisse der Simulationen nach ISO 13232 - Versuche

Anhang 2: Abschätzung der seitlichen Kopf-Hals-Verlagerung

Nach (HUE et al., 1982) wurden folgende Kopfbeugewinkel(α) und Halsbiegewinkel (β) bei einer Anstoßgeschwindigkeit von 22 km/h bestimmt:

	α	β
Dummy	61	48
Leiche	72	108

Tabelle 14: experimentell bestimmte Kopf- und Halsbiegewinkel nach (HUE et al., 1982)

Zur Berechnung erforderliche Maße des EUROSID:

Beschreibung	Formelzeichen	Maß
halben Breite des Oberkörpers im Schulterbereich	L_{TV2}	241mm
Halslänge	L_H	146mm
Kopfhöhe	H_K	143mm

Tabelle 15: zur Berechnung relevante Maße des EUROSID

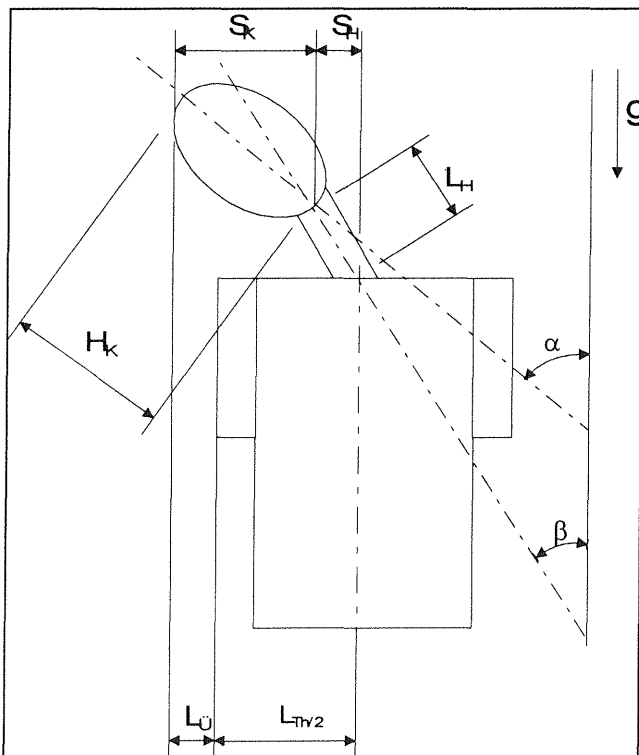


Bild 4: Geometrische Zusammenhänge am Kopf-Hals-System bei seitlichem Anstoß modifiziert nach (HUE et al., 1982)

gesuchte Größen:	seitliche Verlagerung des Halses:	S_H
	seitliche Verlagerung des Kopfes:	S_K
	seitliche Verlagerung des Kopf-Hals-Systems:	S_Σ
	seitlicher Überstand des Kopfes über die Schulter:	L_0

Aus der Geometrie in Bild 4 lassen sich über die Winkelbeziehungen die Gleichungen zur Berechnung der gesuchten Größen S_H und S_K ableiten.

Berechnung S_H :
$$\sin\beta = \frac{S_H}{L_H} \Rightarrow S_H = \sin\beta \cdot L_H$$

	Dummy	Mensch
S_H :	100 mm	145 mm

Berechnung S_K :
$$\sin\alpha = \frac{S_K}{H_K} \Rightarrow S_K = \sin\alpha \cdot H_K$$

	Dummy	Mensch
S_K :	117 mm	129 mm

Die gesamte seitliche Verlagerung des Kopf-Hals-Systems (S_Σ) berechnet sich aus der Summe der seitlichen Verlagerung des Kopfes und der seitlichen Verlagerung des Halses.

Berechnung von S_Σ :
$$S_\Sigma = S_H + S_K$$

	Dummy	Mensch
S_Σ :	217 mm	274 mm

Der seitliche Überstand des Kopfes über die Schulter (L_0) ergibt sich aus dem Verhältnis der halben Breite des Oberkörpers im Schulterbereich ($L_{Th/2}$) zur gesamten seitlichen Verlagerung des Kopf-Hals-Systems (S_Σ).

Berechnung von L_0 :
$$L_0 = S_\Sigma - S_{Th/2}$$

	Dummy	Mensch
L_0 :	-24,0 mm	33,0 mm

Stellt man sich nun vor, daß der Mensch seitlich z.B. auf eine Straße schlägt, dann bedeutet ein negativer seitlicher Überstand des Kopfes, daß keine Berührung mit der Fahrbahn erfolgt. Bei positivem L_0 würde der Kopf die Straße berühren.

Anhang 3: Einteilung von Unfällen nach ISO 13232, Versuchsmatrix

Konstellation 1	Konstellation 2	Konstellation 3	Konstellation 4	Konstellation 5	Konstellation 6	Konstellation 7
vPkw=35 km/h vKrad=0 km/h	vPkw=24 km/h vKrad=48 km/h	vPkw=24 km/h vKrad=48 km/h	vPkw=24 km/h vKrad=48 km/h	vPkw=24 km/h vKrad=48 km/h	vPkw=0 km/h vKrad=48 km/h	vPkw=0 km/h vKrad=48 km/h

Tabelle 16: Unfallkonstellationen nach ISO 13232

durchgeführte Unfallkonstellationen der BMW AG	getestete Fahrzeuge			
	C1 - Zweirad		Motorroller	
	Solo	mit Sozius	Solo	mit Sozius
seitlicher Anstoß des Pkw	1		1	
90° seitlicher Anstoß des Zweirades	1	1	1	
schräger Frontalanstoß von Pkw und Zweirad	1			
Heckaufprall des Pkw (Anstoßwinkel 0°)	1			
Heckaufprall des Pkw (Aufprallwinkel 30°)	1			
90° Frontalanprall gegen starre Barriere	1			
Rutschversuche	1			
Umkippen des Zweirades aus dem Stand	1			

Tabelle 17: durchgeführte Versuche der BMW AG

Anhang 4: Seitlicher Umkipptest

1. Anwendungsbereich

Mit diesem Testverfahren wird untersucht, ob es beim Umkippen des Fahrzeuges, besetzt mit einem Fahrer, zum Kopfkontakt zwischen Aufsasse und Fahrbahn kommt.

2. Anforderungen

Beim seitlichen Umfallen des Prüffahrzeuges muß die Kopfgeschwindigkeit des Euro-SID Dummys (entsprechend Richtlinie 96/27/EG des Europäischen Parlamentes und des Rates vom 20 Mai 1996 über den Schutz der Kraftfahrzeuginsassen beim Seitenaufprall und zur Änderung der Richtlinie 70/156/EWG, Anhang II) 20 km/h + 2 km/h betragen.

Dabei muß einer der beiden anschließend genannten Punkte erfüllt sein.

2.1. Abstand des Kopfes zur Fahrbahn

Der Abstand zwischen Kopf und Fahrbahn darf während des Versuches die in 3.3.1. definierte Distanzplatte nicht berühren. Am Kopf darf keine Farbmarkierung sichtbar sein.

2.2. Schutzeinrichtungen für den Kopf

Bei Einsatz von Schutzeinrichtungen für den Kopf, die den unmittelbaren Kontakt zum Boden verhindern, gilt das Kopfbelastungskriterium $HPC < 1000$.

3. Versuchsaufbau

3.1. Fahrzeug

Möglichkeiten:

- a) Das Prüffahrzeug steht entweder mit beiden Rädern auf einer waagerechten, ebenen, nicht verschmutzten Fläche, die für eine normale, trockene, nicht verschmutzte Straßenoberfläche repräsentativ ist (im weiteren 'Boden' genannt) oder gegebenenfalls auf einer erhöhten, parallel zu dieser Fläche eingerichteten Plattform.
- b) Das Fahrzeug wird mit der unter 4.1. definierten Kontaktebene parallel zum Boden aufgehängt.

Das Vorderrad befindet sich in Geradeausstellung. Die Räder können durch die Betätigung oder einen Eingriff ins Bremssystem während des Versuches blockiert sein.

Ragt der Lenker aus der Kontaktebene heraus, muß dieser für den Versuch entfernt oder so abgeändert werden, daß ein Bodenkontakt vermieden wird.

Bei verstellbaren Sitzen und Kopfstützen, sind diese jeweils in ihre Mittelstellung zu bringen.

3.2. Dummy

Als Versuchspuppe wird ein Euro-SID Dummy verwendet. Dieser ist mittig zur Fahrzeuglängsachse zu positionieren.

Die Beine sind in normaler Fahrposition abzustellen.

Der bzw. die Gurte werden mit der geringsten möglichen Gurtlose angelegt.

Die Oberarme werden unter einem Winkel von 45° zur Oberkörpersekrechten eingestellt.

3.3. Meßeinrichtungen

3.3.1. Bestimmung des Abstandes Kopf - Boden

Zur Bestimmung des Abstandes zwischen Kopf und Kontaktebene (nach 2.1.) wird eine 75_{-0}^{+2} mm dicke Platte (Distanzplatte) mit geeigneten Abmessungen so am Boden plziert, daß vor und während der Berührung der Fahrzeugstruktur in der geforderten Kontaktebene keine Berührungen mit anderen Körperteilen und/oder Fahrzeugteilen möglich ist.

Die Distanzplatte wird vor dem Versuch an der Oberseite eingefärbt.

Bei Berührung des Kopfes mit der Platte muß sich am Kopf eine Farbmarkierung abbilden.

3.3.2. Bestimmung der Kopfbelastungswerte

Bei der Prüfung nach 2.2. werden die Kopfbeschleunigungswerte des Euro-SID gemessen und ausgewertet (z.B. HPC).

3.3.3. Bestimmung der maximalen Kopfgeschwindigkeit

Das Verfahren zur Bestimmung der Kopfgeschwindigkeit ist nicht festgelegt. Denkbar wären: die Auswertung einer Highspeed-Filmaufzeichnung oder die Integration der Beschleunigung in y-Richtung.

4. Versuchsdurchführung

4.1. Verfahren

Für das Testverfahren wird als Berührungsfläche der Fahrzeugseite mit dem Boden eine Kontakt-ebene definiert. Die sich aufgrund der Dynamik des Versuches nach 3.1. a) ergebende Berührungsebene zwischen Fahrzeugseite und einer ebenen Fläche bei der der Kopfabstand zu dieser Fläche am geringsten ist, wird als Kontaktebene festgelegt.

- a) Das Fahrzeug kippt aus dem Stand (senkrechte Position) auf die vorgesehene Seite, so daß es den Boden in der Kontaktebene berührt.
- o) Das Fahrzeug fällt, nach 3.1. b) ausgerichtet, aus einer durch die Forderung in 4.2. gegebenen Höhe auf den Boden.

4.2. Kopfgeschwindigkeit

Die maximale Kopfgeschwindigkeit in den Testverfahren a) und b) soll 20 km/h + 2 km/h betragen.

Um diese Geschwindigkeit zu erreichen kann es im Versuch 4.1. a) bauartbedingt erforderlich sein, daß das Fahrzeug aus einer erhöhten Position (siehe 3.1. a)) umkippen muß.

Bei der Versuchskonstellation 4.1. b) ist die erforderliche Fallhöhe entsprechend einer Aufprallgeschwindigkeit von 20 km/h + 2 km/h zu bestimmen.

5. Dokumentation

Highspeed-Filmaufnahmen vom Aufschlagbereich des Kopfes dienen der Dokumentation des Bewegungsablaufes.

Anhang 5: Dacheindrückttest

1. Anwendungsbereich

Das Verfahren dient der Überprüfung der Steifigkeit von Dachrahmen bzw. Dachstrukturen bei Einspurfahrzeugen mit Gurtsystem für die eine Helmtragepflichtbefreiung angestrebt wird.

2. Anforderungen

Bei der Dacheindrückprüfung von Einspurfahrzeugen mit Gurtsystem die eine Helmtragepflichtbefreiung anstreben, muß die maximal auftretende Kraft, die während des Verformungsweges von 127 mm auftritt, mindestens 22,2 kN betragen.

Die bei diesem Verformungsweg der Dachstruktur aufgenommene Energie muß mindestens 1,4 kJ betragen. (Dieses Niveau entspricht einem linearen Kraftanstieg von 0 bis 22,2 kN über einem Verformungsweg von 127 mm -siehe Abb. 2-). Sehr steife Dachstrukturen, die nach geringer Verformung kollabieren, können diese Anforderungen nicht erfüllen.

3. Versuchsaufbau des Dacheindrückttestes

3.1. Fahrzeug

Der Rahmen des Fahrzeuges mit Dachstruktur wird auf einer ebenen, stabilen Grundplatte so fixiert, daß er beim Dacheindrückttest nicht verschoben werden kann (siehe Bild 6).

Dabei muß sich der Rahmen des Fahrzeugs relativ zur Grundplatte in Normallage befinden und derart abgestützt sein, daß ein rahmenfester Punkt in unmittelbarer Nähe des Fahrzeugschwerpunktes und die Neigung des Hauptrahmens während der Belastung nahezu unverändert bleiben (± 10 mm, $\pm 3^\circ$).

Alle Abstützungen müssen unter einer zur Grundplatte parallelen Ebene durch den H-Punkt liegen. Bei verstellbaren Sitzen gilt der H-Punkt der tiefsten Sitzstellung.

Oberhalb dieser Ebene dürfen keine zusätzlichen Versteifungen angebracht werden, außer Strukturteile, die bei dem entsprechenden Fahrzeug als tragende Elemente ausgelegt sind (z.B. evtl. Motor, Schalensitz, Karosserie).

3.2. Druckplatte

Mit einer ausreichend großen, ebenen Platte (größer als die Kontaktfläche der gesamten Dachstruktur nach der Eindrückung) wird parallel zur Grundplatte mit konstanter Geschwindigkeit auf die Dachstruktur gedrückt (siehe Bild 6).

4. Versuchsdurchführung

Die Druckplatte wird mit einer maximalen Geschwindigkeit von 0,013 m/s bis zu einer Verformung von 127 mm bewegt. Die maximale Testzeit beträgt 120 s.

5. Dokumentation

Die Kraft/Weg-Kennung (senkrecht zur Druckplatte) wird zur Dokumentation des Kraftverlaufes aufgenommen (siehe Bild 5).

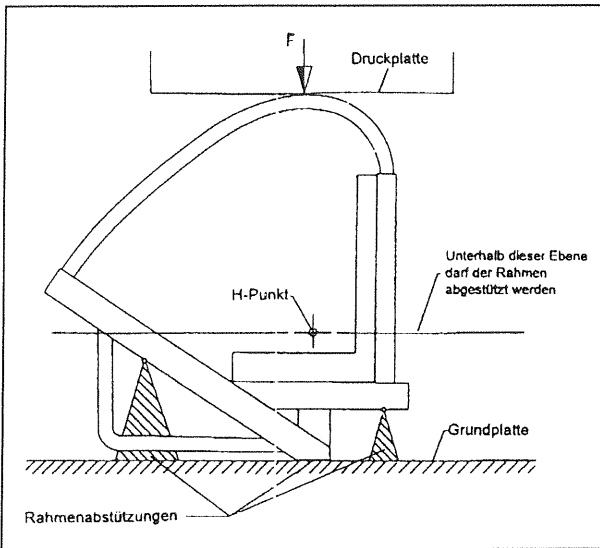


Bild 5: Kraft - Weg - Diagramm

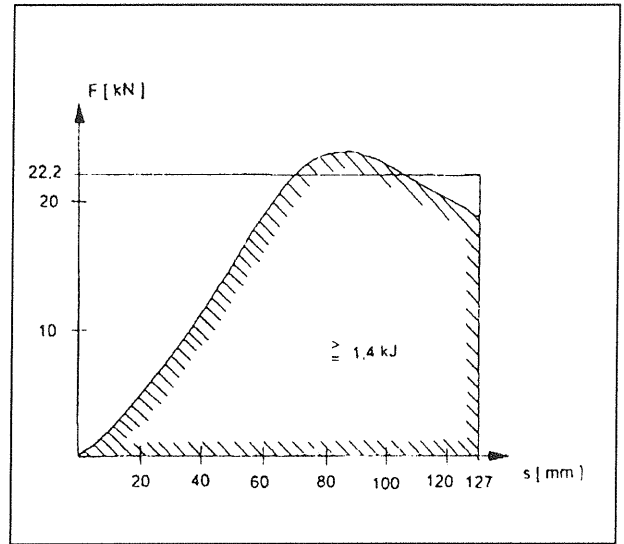


Bild 6: Versuchsaufbau

Anhang 6: Stand hinsichtlich fahrzeugtechnischer Zulassungsbestimmungen nach EU-Recht

Projekt C1

Richtlinie	Titel	Prüfung		Probleme zu erwarten?	
		erforderlich	bereits erledigt	ja	nein
93/14	Bremsanlage für zweirädrige oder dreirädrige Kraftfahrzeuge (Kfz)	X			X
93/29	Kennzeichnung der Betätigungseinrichtung, Kontrollleuchten und Anzeiger	X			X
93/30	Einrichtungen für Schallzeichen von zweirädrigen oder dreirädrigen Kfz	X			X
93/31	Ständer von zweirädrigen Kfz	X			X
93/32	Halteeinrichtung für Beifahrer von zweirädrigen oder dreirädrigen Kfz	X			X
93/33	Sicherheitseinrichtung gegen unbefugte Benutzung von zweirädrigen oder dreirädrigen Kfz	X			X
93/34	Vorgeschriebene Angaben an zweirädrige oder dreirädrige KFz	X			X
93/92	Anbau der Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen an zweirädrige oder dreirädrige Kfz	X			X
93/93	Massen und Abmessungen von zweirädrigen oder dreirädrigen Kfz	X			X
93/94	Anbringungsstellen des amtlichen Kennzeichens an der Rückseite	X			X
95/1	Bauartbedingte Höchstgeschwindigkeit, maximales Drehmoment und maximale Nutzleistung	X			X
78/1015	Zulässiger Geräuschpegel und die Auspuffanlage von Krafträdern	X			X
80/780	Rückspiegel von Zweiradmotorfahrzeugen und ihren Anbau	X			X

Ist-Stand gemäß derzeit gültiger EU Richtlinien

Stand: 10.02.1997

Quelle: Institut für Fahrzeugtechnik, Unternehmensgruppe TÜV Bayern

Projekt C1

	Titel	Prüfung		Probleme zu erwarten?	
		erforderlich	bereits erledigt	ja	nein
	Luftreifen	X			X
	Beleuchtungs- und Lichtsignaleinrichtungen	X			X
	Vorstehende Kanten	X			X
	Rückspiegel ersetzt in Zukunft 80/780/EWG	X			X
	Maßnahmen gegen Verunreinigung der Luft	X			X
	Kraftstoffbehälter	X			X
	Maßnahmen gegen unbefugte Eingriffe	X			X
	Elektromagnetische Verträglichkeit	X			X
	Zulässiger Geräuschpegel und Auspuffanlage Ersetzt in Zukunft 78/1015/EWG	X			X
	Anhängervorrichtungen für Anhänger und Befestigung für Beiwagen	--	--	--	--
	Verankerung der Sicherheitsgurte	--			
	Verglasung, Scheibenwischer und Scheibenwascher sowie Entfrostsungs- und Trocknungsanlagen	--			

Ist-Stand gemäß derzeit gültiger EU Richtlinien

Stand: 10.02.1997

Quelle: Institut für Fahrzeugtechnik, Unternehmensgruppe TÜV Bayern

Schriftenreihe

**Berichte der Bundesanstalt
für Straßenwesen**

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

- F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw**
von E. Faerber und G.-D. Wobben
88 Seiten, 1993 DM 23,50
- F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen**
von W. König, H. Werner, E. Schuller, G. Beier und W. Spann
80 Seiten, 1993 DM 25,50
- F 3: Sicherheit von Motorradhelmen**
von H. Zellmer
52 Seiten, 1993 DM 21,00
- F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung**
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren
von A. Richter und G. Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator
von Chr. Albus
80 Seiten, 1993 DM 26,00
- F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz**
von R. Bamberg und H. Zellmer
56 Seiten, 1994 DM 21,00
- F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport**
von G.-D. Wobben und H. Zahn
64 Seiten, 1994 DM 24,00
- F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben**
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
von P. Junge
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
von M. Chmielarz und B. Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie -
von H. Derkum
88 Seiten, 1994 DM 27,00
- F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen**
von D. Otte, G. Schroeder, J. Eidam und B. Kraemer
32 Seiten, 1994 DM 20,00
- F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen**
von M. Schmieder, D. Bley, M. Spickermann und V. von Zettelmann
40 Seiten, 1994 DM 21,00
- F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern**
von J. Damasky
52 Seiten, 1995 DM 24,00
- F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays**
von H. Mutschler
124 Seiten, 1995 DM 32,00
- F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen**
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
von H. Zellmer und M. Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
von H. Zellmer
44 Seiten, 1995 DM 23,00
- F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen**
von K. Sander
40 Seiten, 1995 DM 22,50
- F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall**
Entwicklung eines Prüfverfahrens
von K.-P. Glaeser
100 Seiten, 1996 DM 30,00
- F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern**
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
von C. Heinrich und E. von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
von F. Nicklisch
220 Seiten, 1996 DM 43,50
- F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen**
von R. Sagerer, K. Wartenberg und D. Schmidt
52 Seiten, 1996 DM 24,00

- F 17: Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen**
- Problemanalyse und Verfahrenskonzept
von D. Grunow, G. Heuser, H.J. Krüger und Chr. Zangemeister
136 Seiten, 1996 DM 33,50
- F 18: Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS**
von J. Präckel
84 Seiten, 1996 DM 28,00
- F 19: Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung**
von E. Pullwitt
44 Seiten, 1996 DM 22,50
- F 20: Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand**
von K. Sander
60 Seiten, 1996 DM 24,50
- F 21: Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe**
von M. Fach
80 Seiten, 1996 DM 27,00
- F 22: Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung**
von B. Bugsel, Chr. Albus und W. Sievert
24 Seiten, 1997 DM 20,00
- F 23: Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase**
von F. A. Berg, U. Mayer und DEKRA Automobil AG Stuttgart
171 Seiten, 1997 DM 38,00
- F 24: Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes**
von I. Kalliske, Ch. Albus und E. Faerber
44 Seiten, 1998 DM 23,00