

Institut für Zweiradsicherheit e.V.
Gladbecker Str. 425
45329 Essen

Dynamic Test Center
Centrum für Dynamische Tests
Centre de Tests Dynamiques

Vauffelin, 28. Juli 2008/ifz_beitrag_langfassung.doc/01

7. Internationale Motorradkonferenz

Autor/Autoren: Raphael Murri, Dipl. Ing FH – Bereichsleiter passive Sicherheit
Roberto Martinbianco, Dipl. Ing FH
Bernhard Gerster, Dipl. Ing. FH – Dozent FH / Geschäftsführer DTC

Referent: Raphael Murri, Dipl. Ing FH – Bereichsleiter passive Sicherheit
Ersatzreferent: Roberto Martinbianco, Dipl. Ing. FH

Vertretene Institution: DTC, Dynamic Test Center, CH-2537 Vauffelin,
in Partnerschaft mit der Berner Fachhochschule

Endgültiger Vortragstitel: **Sicherheitsgurt für Motorradfahrer / Safety Belt for Motorcyclists**

1. Zusammenfassung

Nicht umsonst hat das Motorrad so viele Freunde: Es ist schnell, konkurrenzlos handlich und es gibt kaum Parkplatzprobleme, also bestens geeignet, der Masse der Automobilisten stets eine Nasenlänge voraus zu sein. Preis dieses Mobilitätsvorteils ist die wesentlich geringere passive Sicherheit. Die Möglichkeit, den Motorradfahrer bei einer Kollision durch Rückhaltesysteme zu sichern, wird bis heute nicht genutzt.

Am Dynamic Test Center wurden in Eigeninitiative verschiedene technische Möglichkeiten analysiert, wie der Freiflug in eine verzögerte Bewegung umgewandelt werden könnte und damit das Verletzungsrisiko für den Motorradfahrer bei einem Unfall reduziert werden könnte. Bei der Wahl des Rückhaltesystems wurde Wert auf ein mechanisch einfaches und reversibles System, sowie wegen einer besseren Akzeptanz auf ein passives Wirken gesetzt. Damit wird der mögliche Schaden bei einer allfälligen Fehlauflösung für den Benutzer nicht zur Abschreckung. Im Falle eines Sturzes oder



ähnlicher Situationen, bei denen keine Rückhaltekraft aufgebaut werden kann, trennt sich der Motorradfahrer wie gewohnt von seinem Motorrad.

In einer Versuchsreihe von Motorrad-Schlittenversuchen und -Anprallversuchen mit leichten und schweren Motorrädern in die Seite von stehenden Personenwagen konnte die Wirksamkeit des Gurtsystems erwiesen werden. Dies nicht nur unter Normbedingungen (ISO 13232), sondern auch bei einer Kollision mit auf doppeltem Energieniveau mit 70 km/h.

In den nächsten Entwicklungsschritten muss einerseits das Gurtzeug für den Einsatz am Motorradfahrer optimiert werden und die biomechanischen Belastungen auf den Körper bei einer Kollision weiter ermittelt werden. Andererseits ist das Gurtschloss mit der entsprechenden Verriegelungsstrategie und der Konstruktion zu entwickeln. Die weitaus grössere Herausforderung wird aber darin liegen, auf dem Markt eine genügend grosse Akzeptanz für ein Rückhaltesystem zu erreichen. Der Gedanke an einen Motorradunfall wird durch die Fahrer üblicherweise verdrängt, weshalb Motorradhersteller die passive Sicherheit nicht als Marketinginstrument einsetzen wollen. Das Bewusstsein über die Gefahren des Motorradfahrens könnte sich negativ auf die Umsatzzahlen auswirken. Dies könnte sich sehr schnell ändern, wenn auf gesetzlicher Ebene entsprechende Massnahmen gefordert würden.

1. Abstract

There is good reason why the motorcycle has so many friends: it is fast, unrivalled in handling and there are hardly any parking problems, therefore it is best suited to being ahead of the masses of motorists at all times. The price of having this advantage of mobility is the substantial reduction in passive safety. The possibility of securing a motorcyclist during a collision, by means of a restraining system, has not been used up to the present time.

At the Dynamic Test Center, in an in-house initiative, different technical options were analysed, which could transform throwing the motorcyclist into a retarded movement, and could thereby reduce the risk of injury to the motorcyclist in an accident. In the evaluation of the restraining system, value was placed on a mechanical, simple and reversible system, as well as on passive operation (better acceptance). With this, possible injury in the event of a release failure does not deter the user. In the event of a fall or similar situation, in which no restraining force can be built up, the motorcyclist removes himself from his motorcycle in the usual way.

In a test series of motorcycle skidding trials and motorcycle impact trials with light and also heavy motorcycles into the side of stationary motor cars, the effectiveness of the belt system could be proved. This was not only under standard conditions (ISO 13232), but also in a collision with double energy at 70 km/h.

In the next stages of development the body harness must, on the one hand, be optimised for use on the motorcyclist and the bio-mechanical load on the body in a collision must be further determined. On the other hand, the belt fastener needs to be developed together with the appropriate locking strategy and construction. By far the greatest requirement, however, lies in gaining sufficiently high acceptance of the restraining system on the market. The thought of a motorcycle accident is usually ruled out by the rider, this is why motorcycle manufacturers do not introduce passive safety as a marketing instrument. The awareness of the dangers of motorcycling can have a negative effect on the turnover figures. This could quickly change, if at the legislative level appropriate measures were called for.

2. Passive Sicherheit für Motorräder

In den vergangenen zehn Jahren hat sich die Zahl der Motorräder auf unseren Strassen fast verdoppelt. Während in der Vergangenheit die Zahl der im Strassenverkehr getöteten Personenwageninsassen rückläufig war, ist die Zahl der tödlich verunglückten Motorradfahrer angestiegen oder im besten Fall stagniert. Heute ist jeder fünfte Verkehrstote ein Motorradfahrer. Dies ist unter Berücksichtigung der geringen jährlichen Fahrleistung im Vergleich zum Automobil um so dramatischer. Der Stand der passiven Sicherheit heutiger Motorräder ist mit derjenigen von Automobilen der 60er Jahre vergleichbar. Der Motorradfahrer kann bei einer Kollision, ausser bei einem Motorrad-Luxusmodell, nicht von einem Rückhaltesystem profitieren. Aufgrund der immer gewichtigeren Anzahl an verletzten oder getöteten Motorradfahrern sind Entwicklungen im Bereich der passiven Sicherheit bei Motorrädern künftig unumgänglich. Ein abwarten gesetzlicher Vorgaben ist sicher nicht ratsam.

3. Systemevaluation

Die physikalischen Rahmenbedingungen für ein wirkungsvolles Rückhaltesystem sind bei einer Motorradkollision aus 50 km/h, Bild 2, mit denjenigen im Automobil vergleichbar:

- ca. 1 m verfügbarer Verzögerungsweg
- ca. 10 g mittlere Verzögerung
- ca. 11 kN mittlere Rückhaltekraft erforderlich

Eine Rückhaltekraft (Zugrichtung) birgt ein geringeres Verletzungspotenzial als eine Stützkraft (Druck), welche im ungünstigsten Fall partiell am Kopf wirken könnte.

Im Vergleich zum Airbag hat der Sicherheitsgurt für Motorräder folgende Vorteile:

- + wirkt, wenn die Abstützung möglich ist und eine Rückhaltekraft aufgebaut werden kann
- + einfaches und kostengünstiges System
- + im Falle einer „Fehlaktivierung“ reversibel
- + für die Sensierung einer allfälligen Trennung des Motorradfahrers vom Motorrad steht deutlich mehr Zeit zur Verfügung, als dies für den Zündentscheid eines Airbags der Fall ist.



Bild 1: Motorrad in Kollisionspunkt



Bild 2: Motorrad 70 km/h mit Gurt

Ein Nachteil ist: Um das Gurtsystem in der Bekleidung zu integrieren, ist eine Zusammenarbeit zwischen Motorrad-, Gurtsystem- und Bekleidungsherstellern unumgänglich.

4. Gurtsystem

Ziel des Rückhaltesystems ist, die ersten 100 ms nach Crashbeginn möglichst effizient für die Verzögerung des Motorradfahrers zu nutzen. Wenn möglich sollte der Kopfanprall an der Fahrzeugseitenwand oder der Dachkante verhindert werden. In jedem Fall muss die Geschwindigkeit des Motorradfahrers bis zum Anprall deutlich reduziert werden, damit die Kopf-, Halswirbelsäulen-, Brust- und Beckenverletzungen massiv vermindert werden können.

Um eine günstige Krafterleitung in den Körper zu realisieren, besteht das entwickelte Gurtsystem aus zwei Schulter-, Becken- und Schrittgurten, Bild 5.

Aufgrund der auf Motorrädern realisierbaren Gurtverankerungspunkte wurde primär mit Schlittenversuchen untersucht, ob sich für Motorradfahrer durch die Gurtverankerungspunkte in Höhe des H-Punktes eine vernünftige Verzögerungskinematik realisieren lässt und ob die Rückenwirbelsäule dadurch nicht zu stark belastet würde. Die Schlittenversuche aus 50 km/h haben gezeigt, dass das entwickelte Gurtsystem für die Rückhaltung von Motorradfahrern im Prinzip funktioniert und dabei keine biomechanischen Belastungsgrenzwerte überschritten werden.

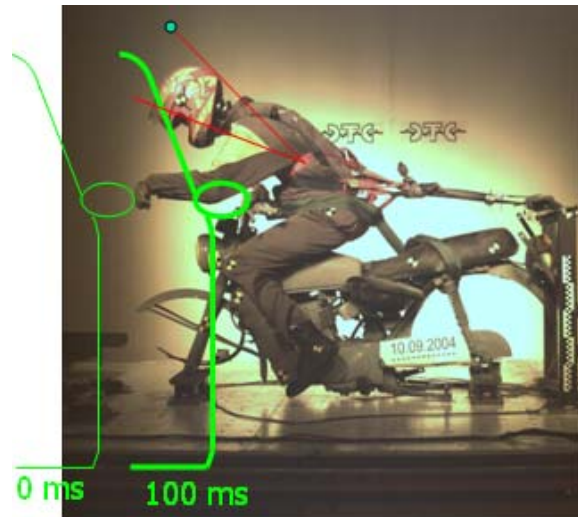


Bild 3: Schlittenversuch 50 km/h mit Motorrad-Sicherheitsgurt

Damit die Gurtkräfte im Realfall über den Motorradrahmen auf den Kollisionspartner abgestützt werden können, ohne dass das Motorradheck übermäßig angehoben wird, muss das Motorrad eine zusätzliche Crashbox aufweisen. Für die Crashversuche wurde diese Crashbox aus Styrofoam teilweise in der Motorradverschalung integriert. Im Wesentlichen besteht das Rückhaltesystem für Motorräder aus folgenden Komponenten, Bild 5:

- eine Crashbox in der Frontverkleidung des Motorrades
- seitliche Schutzvorrichtungen in der Verschalung des Motorrades für die Beinabstützung beim Frontalaufprall oder im Falle einer Seitenkollision als Beinschutz
- optimierte Tankform zur Abstützung des Beckens mit geringem Beckenverletzungsrisiko
- Sicherheitsgurt

Für einen möglichst hohen Tragkomfort sollte der Sicherheitsgurt in der Motorradbekleidung integriert werden können. Der Sicherheitsgurt besteht aus folgenden Hauptkomponenten:

- für den Motorradfahrer entwickelter Sicherheitsgurt, bestehend aus
- zwei Schulter-, einem Becken- und zwei Schrittgurten
- zwei Gurtroller, für die gewohnte Bewegungsfreiheit in Fahrt
- zwei Gurtschlösser, mit entsprechender Öffnungsstrategie und -konstruktion



Bild 4: Sicherheitsgurt und Komponenten des Motorrad-Rückhaltesystems

Mit diesen Komponenten erfolgte auf die positiven Ergebnisse der Schlittenversuche ein erster realer Crashtest mit gesichertem Motorradfahrer.

5. Crashversuch mit leichtem Motorrad

Zu Beginn wurde ein leichtes Motorrad mit einer Geschwindigkeit von 50 km/h gegen die Seite eines Leichttransporters mit Blechseitenwand gefahren. Bei diesem Crashversuch wurde das Zusammenwirken von Sicherheitsgurt, Krafteinleitung in den Motorradrahmen und Abstützung der Rückhaltekräfte über eine Crashbox am Kollisionspartner untersucht.

Das Motorrad war mit einer improvisierten Crashbox vor dem Gabelkopf sowie zwei seitlichen Beinschutzvorrichtungen bestückt, welche in Längsrichtung ein hohes Energieaufnahmevermögen haben, aber in Querrichtung steif sind. Beide Komponenten könnten künftig ohne wesentliche Gewichtserhöhung und sehr kostengünstig durch Schäumung der Front- und Seitenverschalung realisiert werden. Am verstärkten Motorradheck war ein Sechspunktsicherheitsgurt verankert.

Die ersten Ergebnisse vermochten zu überzeugen. Immerhin hat der Dummykopf die Seitenwand des Leichttransporters trotz einer Aufprallgeschwindigkeit von 50,1 km/h nicht touchiert.

Die Crashbox im Frontbereich stützte das Motorrad an der Seitenwand des Leichttransporters ab und verhinderte ein starkes Anheben des Motorradhecks. Der angeschnallte Fahrer blieb während der Verzögerungsphase nahezu aufrecht. Am Dummykopf wurde eine 3-ms-Spitzenbeschleunigung von 44,0 g (biomechanischer Grenzwert = 80 g) und ein 87 % unter dem biomechanischen Grenzwert liegender Kopfverletzungsschwereindex (HIC) gemessen.



Bild 5: Crash nach 100 ms, die Geschwindigkeit ist nahezu abgebaut

6. Realisierbarkeit von Gurtverankerungspunkten an Motorrädern

Touren- und Strassenmotorräder sind für die Einführung eines Gurtsystems und einer entsprechenden Umrüstung am besten geeignet. Der Rahmen im Heckbereich ist für die Gurtverankerungspunkte genügend stabil und die Verschalung eignet sich sehr gut zur Realisierung der Crashbox, welche die Rückhaltekräfte am Kollisionspartner abstützt. Zudem ist davon auszugehen, dass die Motorradfahrer dieser Motorradkategorien am einfachsten von der positiven Wirkung passiver Sicherheitseinrichtungen überzeugt werden könnten.

In der Folge wurde eine Honda CBR 600 am Rahmenheck mit Gurtverankerungspunkten nachgerüstet. Die Crashbox aus Styrofoam wurde in der Verschalung integriert. Das Motorrad kollidierte mit 50 km/h einmal ohne und einmal mit Rückhaltesystem in die Seite eines hohen Personenwagens.



Bild 6: Schweres Motorrad mit 50 km/h mit / ohne Gurt

Ohne Gurtsystem prallt der Motorradfahrer mit dem Kopf in die Dachkante des Personenwagens. Nebst hohen Kopfbeschleunigungen, bei welchen die biomechanischen Grenzwerte überschritten wurden, lagen auch die Belastungen der Halswirbelsäule über den zulässigen Grenzwerten. Aufgrund der Tankform des verwendeten Motorrades ist zudem mit Verletzungen im Becken- und Genitalbereich zu rechnen. Mit Hilfe des Rückhaltesystems konnte der Kopfanprall am Fahrzeug komplett verhindert werden. Die Kopf- und Halswirbelsäulenbelastungen lagen deutlich unterhalb der biomechanischen Grenzwerte. Im Vergleich zum leichten Motorrad war die Crashbox sehr knapp ausgelegt, weshalb das Motorradheck durch die Einleitung der Gurtkräfte angehoben wird.

7. Hochgeschwindigkeitscrash mit schwerem Motorrad

Gurtsysteme haben den Vorteil, dass sie über einen grossen Energiebereich gut abgestimmt werden können, ohne dass, wie bei einem Airbag, unterschiedliche Stufen gezündet werden müssen. Um dies unter Beweis zu stellen und um die Wirksamkeit des Gurtsystems auch bei deutlich höheren Geschwindigkeiten zu untersuchen, wurde nochmals eine Honda CBR 600 mit Gurtsystem mit 70 km/h in die Seite eines stehenden hohen Personenwagens (SUV) gefahren, Bild 3. Die Ergebnisse waren beeindruckend:

Mit Hilfe der Crashbox in der Motorradfrontverkleidung konnte die Kraftabstützung der Gurtkräfte über das Motorrad wirkungsvoll auf dem Personenwagen realisiert werden. Gurt, Gurtzeug und Verankerungspunkte haben den extrem hohen Belastungen standgehalten.

Ausser geringen Streifspuren konnte ein massiver Kopfanprall an der Dachkante/B-Säule des Personenwagens verhindert werden, Bild 3. Die Kopf- und Halsbelastungen lagen im überleblichen Bereich.

Gestützt auf diesen Versuch kann davon ausgegangen werden, dass sich ein Sozius bei einer Kollision mit 50 km/h auf dem Motorradfahrer abstützen liesse. Wenn möglich sollte aber auch für den Sozius ein Gurtsystem vorgesehen werden.



Bild 7: Motorradfahrer wird auf dem Motorrad wirkungsvoll gehalten

8. Biomechanische Belastungen auf den Fahrer

Damit die Belastungen auf den Fahrer umfassend beurteilt werden konnten, wurde mit einem vollinstrumentierten 50% Dummy auf einem kleinen Motorrad mit 50 km/h gegen die Seite eines VW T5 durchgeführt. Der Motorradfahrer wurde wiederum wirkungsvoll auf dem Motorrad zurückgehalten, so dass kein Kopfanprall an der Seitenwand des Fahrzeugs stattfinden konnte.



Bild 8: M-BUS Dummy auf Motorrad

Die biomechanischen Grenzwerte wurden grundsätzlich eingehalten, wobei bedingt durch die zusätzliche Helm-masse am Hals durch Zug dort die höchsten relativen Belastungen gemessen wurden. Die Belastungen vom Thorax an nach unten liegen teilweise weit unterhalb 50% der zulässigen Grenzwerte.

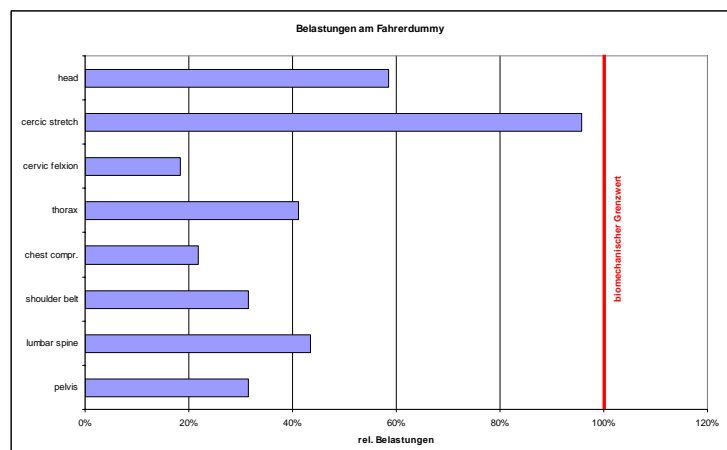


Bild 9: Relative Belastungen am Fahrerdummy

9. Herausfordernde Motorradkategorien

Für Motorräder, auf welchen in der natürlichen Sitzposition der Fahrerkopf horizontal betrachtet einen zu geringen Abstand zum vordersten Punkt des Vorderrades aufweist, würde der Nutzen eines Sicherheitsgurtes nur noch gering ausfallen. Weiter könnten Sicherheitsgurte nur an Motorrädern vorgesehen werden, welche eine genügend stabile Struktur aufweisen.

Wie ein Crashversuch mit einem Roller gezeigt hat, müsste die Rahmenstruktur von Rollern mit Sicherheitsgurten verstärkt werden. Der Rahmen des Rollers kollabierte im Bereich der Fussstützen. Zudem wurde der Personenwagen unterfahren. Die Knie stützten sich direkt am BW Bus T5 ab. Die deutlichsten Grenzwertüberschreitungen wurden am Kopf infolge des heftigen Anpralls gemessen.



Bild 10: Roller mit 50 km/h und Sicherheitsgurt

Entsprechende Verstärkungen für den Rahmen von Rollern könnten aus dem Rennbereich übernommen werden.

Im weiteren stellen sehr leichte Motorräder ebenfalls für die Integration eines Sicherheitsgurtes eine grosse Herausforderung dar. In Folge der geringen Massenträgheit extrem leichter Zweiräder müsste die Crashbox exakt auf die abzustützenden Kräfte abgestimmt sein. Zudem müsste die Höhe mit den einzuleitenden Gurtkräfte abgestimmt sein.

Dies wurde mit Hilfe eines Crashtests mit einem Zweirad mit angegurtem Fahrer verdeutlicht, welches mit 40 km/h in die Seite eines hohen Personenwagens gefahren wurde. Die Deformationen am Fahrradrahmen zeigen, dass der Fahrer über den Sicherheitsgurt etwas zurückgehalten worden ist. Dadurch wurde das Heck des Zweirades sehr schnell angehoben. Beim Anprall des Fahrers in die Seite des Personenwagens wurden die Belastungsgrenzwerte teilweise massiv überschritten.



Bild 11: Zweirad mit 40 km/h und Sicherheitsgurt

10. Schutzpotenzial bewiesen

Die Entwicklungen und Versuche haben die technische Möglichkeit gezeigt, einen Motorradfahrer mit einem Sicherheitsgurtsystem bei einer Frontalkollision wirkungsvoll zu schützen. Die Rückhaltekräfte können bei Verwendung einer Crashbox über den Motorradrahmen abgestützt werden. Dabei können die biomechanischen Belastungen weit unter den Grenzwerten gehalten werden. Das Gurtsystem kann seine Schutzwirkung entwickeln, wenn die Rückhaltekräfte am Kollisionspartner genügend abgestützt werden können. Zudem müssen die Zweiräder über einen genügend stabilen Rahmen verfügen. Bei Kollisionen ohne genügende Stützmöglichkeit oder in unkontrollierten Lagen (z.B. Sturz) werden die beiden Gurtschlösser freigegeben und der Motorradfahrer kann sich wie heute üblich vom Motorrad trennen.

Im Rahmen einer Diplomarbeit an der Berner Fachhochschule wurden etwa 100 Motorradunfälle mit schwer verletzten oder getöteten Motorradfahrern in der Schweiz bezüglich einer möglichen Wirksamkeit eines Rückhaltesystems analysiert. Die Ergebnisse decken sich mit ähnlichen Untersuchungen aus Deutschland zur Schutzwirkung von Airbags, wobei die Schutzwirkung eines Sicherheitsgurtes nicht von einer Auslösung abhängt. Mit einem Gurtsystem für Motorradfahrer hätten 30 % der untersuchten Motorradunfälle zu geringeren Verletzungen geführt.

11. Markteinführung

Die grosse Herausforderung besteht darin, auf dem Markt eine genügende Akzeptanz für Motorräder mit Rückhaltesystemen zu erreichen. Der Gedanke an einen Motorradunfall wird durch die Fahrer üblicherweise verdrängt, weshalb Motorradhersteller die passive Sicherheit nicht als Marketinginstrument einsetzen können. Die bewusste Wahrnehmung der Gefahren des Motorradfahrens könnte sich negativ auf die Umsatzzahlen auswirken. Trotzdem sollte der Markt mit positiven Meldungen bearbeitet werden, bevor auf gesetzlicher Ebene zur Erreichung der Halbierung der Verkehrstoten entsprechende Massnahmen von der Motorradindustrie gefordert werden.

Am konkretesten steht derzeit die Homologation des Gurtsystems an einem Trike zur Diskussion. Weil in der Schweiz auf solchen Fahrzeugen beim Tragen von Sicherheitsgurten auf den Helm verzichtet werden könnte, ist bei etlichen Fahrern mit grossem Interesse zu rechnen. Zudem ist auf diesen Fahrzeugen noch keine Weiterentwicklung des Gurtschlösses erforderlich.



Bild 12: Trike mit Sicherheitsgurt

Kombiniert mit einem Überrollbügel würden diese Fahrzeuge über eine recht hohe passive Sicherheit verfügen.