

Aktive und passive Sicherheit gebräuchter Leichtkraftfahrzeuge

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 44

bast

Aktive und passive Sicherheit gebräuchter Leichtkraftfahrzeuge

von

Jost Gail
Claus-Henry Pastor
Marco Spiering
Klaus Sander
Mechthild Lorig

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 44

bast

Kurzfassung – Abstract

Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge

Die Klasse der Leichtkraftfahrzeuge (LKfz) unterliegt in Deutschland bislang keiner Zulassungspflicht und damit auch keiner regelmäßigen technischen Überwachung. Es handelt sich hierbei um Fahrzeuge mit einer Leermasse unter 350 kg und einer zulässigen Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h. Das äußere Erscheinungsbild der LKfz ähnelt dem eines normalen Kleinwagens. Die Fahrzeuge erhalten ein Versicherungskennzeichen, als Fahrerlaubnis wird ein Führerschein der Klasse B benötigt.

Im Rahmen dieser Forschungsarbeit wurde untersucht, ob von der Einführung einer obligatorischen technischen Überwachung für LKfz ein Beitrag zur Verkehrssicherheit zu erwarten ist und wie eine solche Überprüfung aussehen sollte. Hierzu wurden stichprobenhaft drei gebrauchte LKfz unterschiedlicher Hersteller, ein neues LKfz sowie ein vergleichbarer kompakter Pkw beschafft. Die Untersuchung erfolgte in drei Schritten:

- Die LKfz wurden zunächst einer Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO zugeführt und anschließend einer darüber hinausgehenden Prüfung unterzogen. Dabei zeigten sich teilweise erhebliche, sicherheitsrelevante Mängel, die ohne eine Überprüfung unerkannt geblieben wären.
- Um Aussagen über die aktive Sicherheit der LKfz zu erhalten, wurden Versuche zur Fahrdynamik durchgeführt. Prinzipiell zeigten sich im Vergleich untereinander sowie mit dem normalen Kleinwagen keine wesentlichen Unterschiede in den fahrdynamischen Eigenschaften im Geschwindigkeitsbereich bis 45 km/h; es kam zu keinen kritischen Fahrsituationen. Allerdings wurden erst durch die Fahrversuche Defekte an der Bremse und der Lenkung bei je einem der LKfz entdeckt.
- Zur Beurteilung der passiven Sicherheit wurden die LKfz, ausgerüstet mit einem Dummy, mit einer Geschwindigkeit von 35 km/h gegen einen starren Block gefahren. Auswirkungen auf die passive Sicherheit der LKfz aufgrund einer fehlenden technischen Überwachung konnten hierbei nicht nachgewiesen werden. Grundsätz-

lich zeigte sich jedoch, dass bei der passiven Sicherheit der LKfz ein erhebliches Verbesserungspotenzial besteht.

Resultierend aus den Ergebnissen dieser Untersuchungen ergibt sich folgende Forderung: Zur Verbesserung der Verkehrssicherheit sollte eine regelmäßige technische Überwachung der LKfz eingeführt werden. Die Überprüfung sollte in Anlehnung an die Hauptuntersuchung von Pkw erfolgen, im Prüfumfang jedoch speziell auf die LKfz abgestimmt werden. Hierzu gehört insbesondere eine kurze Probefahrt, um Mängel an der Bremsanlage bzw. Lenkanlage oder Manipulationen an der Drosselung der Geschwindigkeit feststellen zu können.

Der Originalbericht enthält als Anhang die Prüfergebnisse der Untersuchungen nach § 29 StVZO sowie die Diagramme der Messungen bei den Crashversuchen. Auf den Abdruck dieses Anhangs wurde in der vorliegenden Veröffentlichung verzichtet. Er liegt bei der Bundesanstalt für Straßenwesen vor und ist dort einsehbar.

Active and passive safety of used light quadricycles

Hitherto there has been no obligation in Germany to register vehicles of the light quadricycles (Leichtkraftfahrzeuge-LKfz) category and consequently they have not been subject to any regular technical inspection. This category of vehicles comprises vehicles with an empty mass of under 350 kg and a maximum permissible speed of 45 km/h. The external appearance of light motor vehicles is similar to that of a normal small car. The vehicles are given an insurance identification mark and a driver must have a category B driving licence to drive them.

Investigations were carried out in the research project on whether the introduction of an obligatory technical inspection of LKfz could be expected to produce an increase in road safety and how such a test should be structured. Three randomly chosen used LKfz from different manufacturers were procured for the test, as well as a new LKfz and a comparable small car. The test was carried out in three phases:

- The LKfz were initially subjected to a main inspection in accordance with § 29 Road Traffic

Authorisation Ordinance (Straßenverkehrszulassungsordnung – StVZO) and then to a more extensive inspection. These showed safety-relevant defects, some of which were substantial, which would have remained unnoticed without an inspection.

- Driving dynamics tests were carried out to evaluate the active safety of the LKfz. In principle a comparison of the LKfz with each other and with the normal small car did not show any essential differences in the driving dynamics properties at speeds of up to 45 km/h; there were no critical driving situations. However, it was not until the driving tests that defects in the brakes were discovered in one of the LKfz and in the steering of another.
- To assess the passive safety of the LKfz, they were equipped with a dummy and driven at a speed of 35 km/h into a rigid block. It was not possible to detect any effects on the passive safety of the LKfz caused by a lack of technical inspection. However, there was seen to be considerable potential for improving the passive safety of the LKfz.

The results of these investigations show that there is a need for the following: regular technical inspections of the LKfz should be introduced to improve road safety. The LKfz inspection should be based on the main inspection for passenger cars, but its scope should be specially geared towards the LKfz. It should in particular include a short test drive, in order to be able to ascertain defects in the braking system or steering system or manipulations of the speed limiter.

The appendix to the original report contains the results of the inspections carried out in accordance with § 29 Road Traffic Authorisation Ordinance and the diagrams of the readings in the crash tests. This appendix was omitted from the present publication. It can be consulted at the Federal Highway Research Institute.

Inhalt

1	Einleitung	7	6.3.4	Gebrauchtfahrzeug vom Typ Ligier	26
2	Grundlagen	8	6.4	Dummybelastungen	27
2.1	Leichtkraftfahrzeuge	8	6.4.1	Neufahrzeug vom Typ Bellier	27
2.2	Anforderungen an die gebrauchten Leichtkraftfahrzeuge	8	6.4.2	Gebrauchtfahrzeug vom Typ Bellier	29
2.3	Technische Daten der gekauften Leichtkraftfahrzeuge	8	6.4.3	Gebrauchtfahrzeug vom Typ Aixam	29
2.4	Technische Daten des Vergleichs-Pkw	10	6.4.4	Gebrauchtfahrzeug vom Typ Ligier	29
3	Technische Überprüfung der Leichtkraftfahrzeuge	10	7	Ergebnisse und Empfehlungen	30
4	Weitere Prüfphasen	11	7.1	Aktive Sicherheit	30
4.1	Achsgeometrievermessung	11	7.1.1	Untersuchung der Fahrzeuge	30
4.2	Optische Inspizierung der Leichtkraftfahrzeuge	12	7.1.2	Fahrversuche	30
5	Fahrversuche zur aktiven Sicherheit	12	7.2	Passive Sicherheit	31
5.1	Messtechnik	13	7.3	Konsequenz für die technische Überwachung	32
5.1.1	Hardware	13	8	Zusammenfassung	32
5.1.2	Software	13	9	Literatur	33
5.2	Bremsen geradeaus	14			
5.3	Bremsen mit der Handbremse	16			
5.4	Bremsen in der Kurve	16			
5.5	Stationäre Kreisfahrt	17			
5.6	Doppelter Spurwechsel	18			
5.7	Lenkmomentmessung	19			
6	Versuche zur passiven Sicherheit	20			
6.1	Ausgangskonfiguration für die Crashversuche	20			
6.2	Betrachtung der Leichtkraftfahr- zeuge vor dem Crash	20			
6.3	Crashverhalten der Fahrzeuge	21			
6.3.1	Neufahrzeug vom Typ Bellier	21			
6.3.2	Gebrauchtfahrzeug vom Typ Bellier	23			
6.3.3	Gebrauchtfahrzeug vom Typ Aixam	25			

1 Einleitung

In Deutschland wurde entsprechend der Richtlinie des Europäischen Rates 92/61/EG [1] die Klasse der vierrädrigen Leichtkraftfahrzeuge (LKfz) neu eingeführt (StVZO § 18 Abs. 2 Nr. 4b) [2]. Die Fahrzeuge haben eine Leermasse von 350 kg, im beladenen Zustand eine Masse von etwa 500 bis 600 kg mit einer zulässigen bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h. Im Innerortsbereich besitzen diese Fahrzeuge somit etwa die halbe kinetische Energie eines konventionellen Kleinwagens.

Nach der derzeitigen Regelung unterliegen Leichtkraftfahrzeuge in der Bundesrepublik Deutschland nicht der Zulassungspflicht, sie erhalten wie Mofas oder Mopeds ein Versicherungskennzeichen. Damit unterliegen sie auch keiner regelmäßigen technischen Überwachung. Bezogen auf die Position des Fahrerplatzes, die Bedienung des Fahrzeugs, die Masse sowie die Silhouette und auf Grund der Zweispurigkeit sind die Leichtkraftfahrzeuge eher einem Pkw ähnlich als den genannten Zweirädern. Dies spiegelt sich auch in der geforderten Fahrerlaubnisklasse B für das Führen eines LKfz wider. Bezüglich der Verbreitung der LKfz ergab eine Recherche des Kraftfahrt-Bundesamtes im zentralen Fahrzeugregister im Jahr 2000, dass 1.252 Fahrzeuge des Bestandes mit den Charakteristika der LKfz übereinstimmen. Dies entspricht 0,003 % des Pkw-Bestandes. Bei dieser Anzahl an Fahrzeugen handelt es sich jedoch nicht ausschließlich um LKfz, da auch andere Fahrzeuge, wie z. B. auf 25 km/h gedrosselte Pkw, mit erfasst sind. Die tatsächliche Zahl der vierrädrigen Leichtkraftfahrzeuge ist also geringer.

Die Frage nach einer obligatorischen technischen Überwachung der LKfz wird von europäischen Staaten unterschiedlich beantwortet. So gibt es z. B. in Belgien, Frankreich oder in den Niederlanden keine technische Überwachung. In Österreich dagegen existiert eine technische Überwachung der Leichtkraftfahrzeuge in jährlichem Rhythmus. Die LKfz werden dabei genauso behandelt wie Pkw. Die Beanstandungen dort sind laut Aussagen des Kuratoriums für Verkehrssicherheit [3] gering. Allerdings traten Mängel und Verschleißerscheinungen auf, die angesichts eines geringen Alters der Fahrzeuge ungewöhnlich waren. Außerdem wurden Manipulationen an der Drosselung der Geschwindigkeit entdeckt.

Bereits im Jahr 1988 hat die Technische Universität Darmstadt im Auftrag der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) eine Studie zur Sicherheitsbeurteilung kleiner Stadt-Pkw durchgeführt [4]. In dieser auf Recherchen beruhenden Untersuchung wurde festgestellt, dass viele der angebotenen Leichtkraftfahrzeuge keine ausreichende Betriebssicherheit aufwiesen bzw. Mängel hinsichtlich der aktiven und passiven Fahrsicherheit zeigten.

Es stellt sich daher die Frage, ob Leichtkraftfahrzeuge in der Bundesrepublik Deutschland nicht zur Wahrung der Verkehrssicherheit mit in die technische Überwachung einbezogen werden sollten.

Der Bundesrat hat in seinem Beschluss vom 25.02.00 die Bundesregierung gebeten, eben dieser Frage nachzugehen und dazu die BASt einzuschalten. Die BASt erhielt daraufhin einen Auftrag vom Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW) für ein Forschungsprojekt. Ziel des Projektes ist es, eine Einschätzung der Wirksamkeit einer obligatorischen technischen Überwachung bei Leichtkraftfahrzeugen zu erlangen.

Dazu wurden in einem ersten Schritt verschiedene gebrauchte Leichtkraftfahrzeuge beschafft. Da das Angebot an gebrauchten LKfz in Deutschland praktisch nicht vorhanden ist, wurde auf das größere, ausländische Angebot an gebrauchten LKfz zurückgegriffen. Zu Vergleichszwecken wurde ein neues LKfz beschafft. Weiterhin wurde ein den äußeren Abmaßen der LKfz ähnlicher, gebrauchter Pkw gekauft, welcher der periodischen technischen Überwachung unterlag und mängelfrei war.

Um Mängel an dem neuen und den gebrauchten LKfz festzustellen, wurden diese einer Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO beim TÜV Rheinland/Berlin-Brandenburg e. V. unterzogen. Eine Achsvermessung von Spur, Sturz und Nachlauf bei einer Fachwerkstatt sollte evtl. weitere Mängel aufzeigen. Anschließend wurden Fahrversuche zur aktiven Sicherheit auf der fahrzeugtechnischen Versuchsanlage (FTVA) der BASt durchgeführt. Dazu wurden die Fahrzeuge mit entsprechender Messtechnik ausgerüstet und dann standardisierte Tests mit Testfahrern absolviert.

Schließlich wurden die LKfz auf ihre passive Sicherheit hin untersucht. Dazu wurden die LKfz mit einem Dummy und entsprechender Messtechnik ausgerüstet. Im Anschluss wurden Crashversuche durchgeführt und die resultierenden Messdaten ausgewertet.

2 Grundlagen

2.1 Leichtkraftfahrzeuge

Die im Folgenden betrachteten zulassungsfreien LKfz unterliegen folgenden gesetzlichen Beschränkungen nach § 18 StVZO (2) 4b). Die Fahrzeuge sind definiert als: „vierrädrige Leichtkraftfahrzeuge mit einer Leermasse von weniger als 350 kg, ohne Masse der Batterien im Fall von Elektrofahrzeugen, mit einer durch die Bauart bestimmten Höchstgeschwindigkeit von 45 km/h oder weniger und einem Hubraum für Fremdzündungsmotoren von 50 cm² oder weniger beziehungsweise einer maximalen Nennleistung von 4 kW oder weniger für andere Motortypen“.

Insbesondere heißt dieses, dass für Motoren mit Selbstzündung keine Hubraumbegrenzung gilt. Die üblichen Selbstzünder-Motoren, die auf dem Markt angeboten werden, haben einen Hubraum von 400 - 500 cm³. Dadurch besitzen sie ein höheres Drehmoment als die auf 50 cm³ begrenzten Fremdzündungsmotoren und sind deshalb für die Fahrversuche auf der FTVA der BASSt besser geeignet.

2.2 Anforderungen an die gebrauchten Leichtkraftfahrzeuge

Um bei der Beantwortung der Fragestellung zur Wirksamkeit einer technischen Überwachung auf möglichst belastbare und nicht durch Nebeneinflüsse verfälschte Ergebnisse zurückgreifen zu können und um die Versuche auf der FTVA der BASSt durchführen zu können, wurde beim Erwerb der gebrauchten LKfz auf folgende Punkte geachtet:

- Die Fahrzeuge dürfen während ihrer gesamten Nutzungsdauer keiner technischen Überwachung unterlegen haben. (Wartungsinspektionen durch Werkstätten stellen keine technische Überwachung im vorigen Sinne dar.)
- Das Mindestalter der Fahrzeuge liegt bei drei Jahren, höhere Fahrzeugalter werden bevorzugt.
- Die Laufleistung liegt bei mindestens 10.000 km, höhere Laufleistungen werden bevorzugt.
- Die Fahrzeuge werden von einem Selbstzündungsmotor angetrieben.
- Bei den Fahrzeugen handelt es sich um gängige Modelle ohne konstruktive Besonderheiten,

die in großer Stückzahl in Europa verkauft wurden.

- Die Fahrzeuge weisen keine signifikanten konstruktiven Abweichungen zur aktuellen Modellpalette bezüglich Fahrleistungen und Sicherheit (aktiv und passiv) auf. Neuwertige Vergleichsfahrzeuge müssen bei Bedarf lieferbar sein.
- Die Fahrzeuge wurden von allen Vorbesitzern ausschließlich privat genutzt.
- Die Fahrzeuge dürfen dauerhaft nur in Staaten der Europäischen Gemeinschaft genutzt worden sein. Die Staaten, in denen die Fahrzeuge genutzt wurden, sind anzugeben, ebenso wie die Nutzungsdauer in den einzelnen Staaten.
- Der Händler gibt die Fahrzeuge vom Vorbesitzer an die BASSt weiter, ohne irgendwelche Veränderungen oder Ausbesserungen vorzunehmen.
- Eine Kopie des Servicescheckheftes ist beizulegen.
- Die Fahrzeuge müssen sich in einem fahrbereiten Zustand befinden.
- Die Fahrzeuge werden vor Übernahme durch die BASSt einer Sichtprüfung durch einen Vertreter der BASSt unterzogen.

2.3 Technische Daten der gekauften Leichtkraftfahrzeuge

Alle gekauften Leichtkraftfahrzeuge besitzen einen Gitterrohrrahmen und eine daran befestigte Kunststoff (GfK)-Karosserie. Eine Beschreibung der unterschiedlichen Rahmenkonzepte der LKfz findet sich in Abschnitt 6.2. Die Motoren sind vorne untergebracht und treiben die Vorderachse an. Alle Motoren sind Viertakt-Diesel mit einem stufenlos verstellbaren Riemengetriebe (CVT-Getriebe). Einen Test von ungedrosselten Leichtkraftfahrzeugen findet man in [5].

Die Bilder 2.1 bis 2.3 zeigen die von der BASSt im Rahmen der Versuchsreihen verwendeten Typen von LKfz.

Betrachtet man die in Tabelle 2.1 aufgeführten von der BASSt ermittelten Leermassen der Fahrzeuge, so fällt auf, dass diese mit Ausnahme des Aixam über der Grenze von 300 kg liegen, so dass die



Hubraum:	400 cm ³
Leistung:	4 kW (3200 U/min)
Länge:	2,585 m
Breite:	1,375
Leergewicht:	350 kg
Ges.gewicht:	600 kg
Verbrauch:	3,5 l/100 km

Das Fahrzeug vom Typ Aixam 400 wurde gebraucht gekauft mit einem Kilometerstand von 10.117 km. Das Fahrzeug stammt aus dem März 1998.

Bild 2.1: Abbildung und technische Daten eines Aixam 400



Hubraum:	505 cm ³
Leistung:	4 kW (3000 U/min)
max. Dm.:	15,1 Nm (2340 U/min)
max. Dz.:	3100 U/min
Länge:	2,64 m
Breite:	1,44 m
Höhe:	1,54 m
Verbrauch:	3-4 l/100 km

Das Fahrzeug vom Typ Ligier Ambra wurde gebraucht gekauft mit einem Kilometerstand von 35.800 km. Das Fahrzeug stammt aus dem Juni 1998.

Bild 2.2: Abbildung und technische Daten eines Ligier Ambra

Bellier (Bj. 2001)	424 kg
Bellier (Bj. 1994)	426 kg
Aixam	349 kg
Ligier	389 kg

Tab. 2.1: Leermassen der verwendeten Leichtkraftfahrzeuge

Gültigkeit der Typgenehmigung als vierrädriges Leichtkraftfahrzeug (Klasse L6e nach 2002/24/EG [6]) für diese Fahrzeuge in Frage zu stellen ist. Fahrzeuge mit größerer Masse müssten in die Klasse L7e bzw. M1 eingestuft werden.



Hubraum:	523 cm ³
Leistung:	4 kW (2300 U/min)
max. Dz.:	2400 U/min
Länge:	2,50 m
Breite:	1,40 m
Leergewicht:	420 kg
zul. Ges.gew.:	625 kg

Vom Typ Bellier VX 550 wurden zwei Fahrzeuge gekauft, ein gebrauchtes Fahrzeug aus dem April 1994 mit 28.000 km und ein Neufahrzeug aus dem Jahr 2001.

Bild 2.3: Abbildung und technische Daten eines Bellier VX 550

2.4 Technische Daten des Vergleichs-Pkw

Als Vergleichs-Fahrzeug wurde wegen der Nähe zum LKfz in Bezug auf Abmessungen und Leermasse ein Fiat cinquecento verwendet. Das Fahrzeug wurde ebenfalls gebraucht gekauft. Die Erstzulassung war im Oktober 1993. Das Fahrzeug hatte im Jahr 2002 einen Kilometerstand von 14.690 km. Bild 2.4 zeigt eine Abbildung des Fahrzeugtyps und die zugehörigen technischen Daten.

3 Technische Überprüfung der Leichtkraftfahrzeuge

Die LKfz wurden einer Hauptuntersuchung (HU) nach § 29 StVZO unterzogen, um zu klären, ob eventuelle sicherheitsrelevante Mängel im Zeitraum der Nutzung aufgetreten sind, die bei einer periodischen technischen Überwachung aufgedeckt und danach behoben worden wären. Bei dem Neufahrzeug vom Typ Bellier wurde eine Prüfung nach § 17 StVZO vorgenommen. Die Mängel wurden aber auch hier nach der Richtlinie für die Durchführung von HU nach § 29 StVZO erfasst. Es wurden Mängel von den Kraftfahrzeugsachverständigen festgestellt, die von der BAST hinsichtlich ihrer Relevanz für die aktive Sicherheit der Fahrzeuge bewertet wurden (s. Tabelle 3.1).



Hubraum:	899 cm ³
Leistung:	29 kW (2300 U/min)
max. Dz.:	2400 U/min
Länge:	3,23 m
Breite:	1,49 m
Höhe:	1,43 m
Leergewicht:	710 kg
zul. Ges.gewicht.:	1150 kg

Bild 2.4: Abbildung und technische Daten des verwendeten Typs Fiat cinquecento

Fahrzeug	Mängel nach Richtlinie für die Durchführung von HU zu § 29 StVZO
Aixam (3/1998) (VLGC34VB000007903)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Motor/Antrieb: Ölverlust (402) 2. Scheinwerfer zu hoch eingestellt (808) <p>Beide Mängel sind ohne gravierende Auswirkung auf die aktive Sicherheit. Falsch eingestellte Scheinwerfer bergen jedoch die Gefahr der Blendung anderer Verkehrsteilnehmer. Der Ölverlust stellt ein Problem für die Umwelt sowie den nachfolgenden Verkehr dar.</p>
Bellier (4/1994) (VF9XLD502RX237476)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Feststellbremsanlage: Hebelweg zu groß (116) 2. Bremsleitungen aus Kunststoff (119) 3. Batterie lose (433) 4. Hinterachsschwingungsämpfer schadhafte re/li (507) 5. Rahmen/Tragende Teile – Bruch im Bereich vorne links/rechts ebenso Mitte links/rechts des Weiteren Bruch/Riss: bei Reparatur stumpf zusammengeschweißt ohne Verstärkung (601) 6. Auspuffanlage: stark undicht (801) 7. Scheibenwischer: hinten beschädigt (303) <p>Mangel 1: Aufgrund des zu großen Handbremshebelweges besteht die Gefahr, dass das LKfz im Gefälle nicht mit genügend großer Haltekraft abgestellt wird und sich dann alleine in Bewegung setzt.</p> <p>Mangel 2: Ein bestimmtes Material für die Bremsleitungen ist nicht gefordert, so dass für das LKfz hier kein Mangel vorliegt.</p> <p>Mangel 3 kann zu einem Kurzschluss, im schlimmsten Fall zu einer Explosion des Fahrzeugs führen.</p> <p>Mangel 4 hat negative Auswirkungen auf die aktive Sicherheit, da die Gefahr von Aufschaukeln besteht und so auf unebener Fahrbahn ein verlängerter Bremsweg möglich ist.</p> <p>Mangel 5 kann beim Bruch eines Rahmenteiltes zu deutlichen Verschlechterungen der aktiven Sicherheit bzw. zu gravierenden Gefährdungen im Straßenverkehr bis hin zum totalen Verlust der Manövrierfähigkeit führen.</p>
Ligier (6/1998) (VJRJS16FDX0009439)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Feststellbremsanlage: ungleichmäßige Wirkung > 50 % (re: 30 daN, li: 70 daN) (108) 2. Feststellbremsanlage: Hebelweg zu groß (116) 3. Bremsleuchten: eine leuchtet nicht oder in der Wirkung unzureichend re/li (409) <p>Zu den Mängeln 1 und 2 siehe die Erläuterungen zu Bellier EZ: 4/94.</p> <p>Mangel 3 ist leicht zu beheben, stellt jedoch für den nachfolgenden Verkehr sowie den Fahrer des LKfz selbst eine Gefährdung dar, insbesondere dann, wenn das zweite Bremslicht verdeckt ist.</p>
Bellier (neu: 12/2001) (VF9XLD5031X237031)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Feststellbremsanlage: Hebelweg zu groß (107) 2. Kennzeichenbeleuchtung: falsche Ausführung (410) 3. Gefährdende Fahrzeugteile außen/innen: Abdeckung Lenkrad fehlt, Riementrieb ohne Abdeckung, Kunststoffkarosserie (Feuerverhalten) (617) 4. Wagenheberbefestigung auf Kunststoffspritzschutz nicht ausreichend (704) 5. Auspuffanlage – falsche Ausführung, Abgasaustritt unter Fahrzeugboden, Hitzeschutz vermutl. nicht ausreichend (802) 6. Kraftstoffanlage: Leitungen/Befestigung mangelhaft (807) 7. Motor: keinerlei Nachweise über Leistung, Hubraum, Abgasverhalten, Geräuschwerte, Höchstgeschwindigkeit (809) <p>Zu Mangel 1 siehe die Erläuterungen zu Bellier EZ: 4/94.</p> <p>Die Mängel 2-4 beeinträchtigen die aktive Sicherheit nur in geringem Maße.</p> <p>Mangel 5 und 6 können zu Fahrzeugbrand und ggf. Umweltverschmutzung führen.</p> <p>Mangel 7: Entsprechende Nachweise finden sich im Konformitätszertifikat.</p>

Tab. 3.1: Festgestellte Mängel

Insgesamt ist festzuhalten, dass bei der Überprüfung der Leicht-Kfz Maßstäbe entsprechend der Pkw-Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO angelegt wurden, so dass – sogar beim Neufahrzeug – Aspekte bemängelt wurden (wie z. B. die Wagenheberbefestigung oder die Kunststoffkarosserie), für die im Rahmen der Typgenehmigung der LKfz keine Anforderungen festgelegt sind. Bei einer eventuellen periodischen technischen Überwachung für die LKfz wären die Prüfbedingungen dementsprechend an die Anforderungen des Typgenehmigungsverfahrens für LKfz zu knüpfen.

Der Vergleichs-Pkw wurde keiner erneuten Hauptuntersuchung unterzogen, da dieses Fahrzeug noch eine gültige Prüfplakette besaß und der periodischen technischen Überwachung unterlag.

4 Weitere Prüfphasen

Durch die folgenden beiden Prüfphasen sollen evtl. weitere Mängel an den LKfz gefunden werden, die bei einer HU nicht aufgedeckt worden wären. Da man nicht den Restriktionen bezüglich Zeitaufwand und Prüfumfang der HU unterliegt, entsteht ein genaueres Bild des tatsächlichen Zustands der sicherheitsrelevanten Teile. Damit ist es möglich zu klären, ob eine eventuelle HU für LKfz gegenüber der herkömmlichen Prüfung für Pkw einen anderen Prüfumfang besitzen müsste. Aus den Erkenntnissen lassen sich ggf. Vorschläge zu einer Anpassung der Prüfmethode an die Eigenschaften der Leichtkraftfahrzeuge ableiten.

4.1 Achsgeometrievermessung

Die Leichtkraftfahrzeuge wurden zur Aufdeckung von weiteren Mängeln an der Radgeometrie einer Achsgeometrievermessung unterzogen. Durchgeführt wurden die Messungen bei der Firma Karosseriebau Lohmar in Overath-Untereschbach. Tabelle 4.1 zeigt die Ergebnisse der Messung.

Auffällig ist beim Bellier 1 (altes Modell), dass zum einen der Nachlauf um ca. $2^{\circ}50'$ differiert und zum anderen der Sturz auf der linken Seite positiv ($1^{\circ}06'$), auf der rechten Seite aber negativ ist ($-1^{\circ}42'$). Dieser Sachverhalt deutet auf einen Unfallschaden hin, der sich bei genauerer Betrachtung des Abstandes der Räder zum Radkasten bestätigt. Der Abstand beträgt links 30 mm und rechts 60 mm, siehe Bild 4.1.

Auswirkung haben diese Abweichungen auf das Lenkmoment, welches in Linkskurven anders ist als in Rechtskurven. Auf diesen Sachverhalt wird in Abschnitt 5.7 näher eingegangen.

Bei näherer Untersuchung des Unterbodens des Aixam zeigte sich, dass eine Strebe im Bereich der

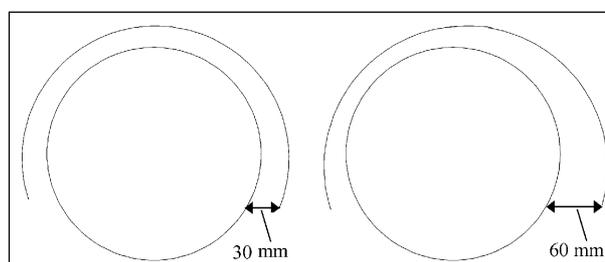


Bild 4.1: Position der Vorderräder zum Radkasten (Bellier 1994)

Fahrzeug		Nachlauf		Sturz		Spur		Spreizung	
Aixam	VA	Links:	$3^{\circ}54'$	Links:	$-0^{\circ}30'$	Links:	$0^{\circ}18'$	Links:	$13^{\circ}14'$
		Rechts:	$3^{\circ}24'$	Rechts:	$-0^{\circ}24'$	Rechts:	$0^{\circ}00'$	Rechts:	$14^{\circ}06'$
	HA			Links:	$0^{\circ}30'$	Links:	$-0^{\circ}09'$		
				Rechts:	$0^{\circ}00'$	Rechts:	$-0^{\circ}27'$		
Bellier 1	VA	Links:	$-2^{\circ}54'$	Links:	$1^{\circ}06'$	Links:	$-0^{\circ}27'$	Links:	$15^{\circ}07'$
		Rechts:	$-0^{\circ}06'$	Rechts:	$-1^{\circ}42'$	Rechts:	$-0^{\circ}15'$	Rechts:	$15^{\circ}20'$
	HA			Links:	$-2^{\circ}18'$	Links:	$0^{\circ}06'$		
				Rechts:	$-2^{\circ}12'$	Rechts:	$0^{\circ}06'$		
Bellier 2	VA	Links:	$5^{\circ}00'$	Links:	$1^{\circ}12'$	Links:	$-0^{\circ}03'$	Links:	$10^{\circ}28'$
		Rechts:	$4^{\circ}42'$	Rechts:	$0^{\circ}30'$	Rechts:	$0^{\circ}09'$	Rechts:	$9^{\circ}43'$
	HA			Links:	$0^{\circ}30'$	Links:	$0^{\circ}00'$		
				Rechts:	$1^{\circ}12'$	Rechts:	$0^{\circ}12'$		
Ligier	VA	Links:	$2^{\circ}42'$	Links:	$-1^{\circ}06'$	Links:	$-0^{\circ}12'$	Links:	$13^{\circ}39'$
		Rechts:	$2^{\circ}48'$	Rechts:	$-0^{\circ}12'$	Rechts:	$-0^{\circ}06'$	Rechts:	$12^{\circ}44'$
	HA			Links:	$0^{\circ}42'$	Links:	$0^{\circ}00'$		
				Rechts:	$0^{\circ}12'$	Rechts:	$-0^{\circ}24'$		

VA: Vorderachse; HA: Hinterachse

Tab. 4.1: Ergebnisse der Achsvermessung bei den Leichtkraftfahrzeugen

Radaufhängung fehlt, die normalerweise als Verstärkung dient und auch bei allen anderen LKfz vorhanden war.

Das einem Pkw-Fahrwerk ähnlichste Fahrwerk hat der Ligier. Hier sind die Achsschenkel aus Gusseisen statt aus Blechen geschweißt.

4.2 Optische Inspizierung der Leichtkraftfahrzeuge

Zur Inspizierung wurden die LKfz auf eine Hebebühne gefahren und von unten gesichtet. Außer den schon bei der Hauptuntersuchung festgestellten Punkten wurden keine weiteren sichtbaren Mängel festgestellt. Bezüglich des Zustandes von Rahmen und Karosserie, Schwingungsdämpfern, Motorblock, Abgasanlage und Bremsanlage stellt die Prüfung, wie sie bei der Hauptuntersuchung für den gewöhnlichen Pkw vorgeschrieben ist, also ein geeignetes Mittel dar, auch bei den LKfz Mängel aufzudecken.

Der Bellier aus dem Jahr 1994 weist am Rahmen die gravierendsten Mängel auf. Gebrochene Teile wurden z. B. nicht fachmännisch wieder zusammengesweißt. Außerdem zeigt das Metall starken Korrosionsbefall. In den Bildern 4.2 bis 4.4 sind Ansichten der Bodengruppe des genannten LKfz



Bild 4.2: Längsträger hinten links: stumpf zusammengesweißt und korrodiert

dargestellt. Insbesondere der Längsträger auf der linken Fahrzeugseite sowie der vordere Querträger des Gitterrohrrahmens und die Verbindung zwischen beiden sind mangelhaft.

5 Fahrversuche zur aktiven Sicherheit

Die Fahrversuche zur aktiven Sicherheit wurden auf der fahrzeugtechnischen Versuchsanlage (FTVA) der BASt durchgeführt. Die Versuche wurden zum

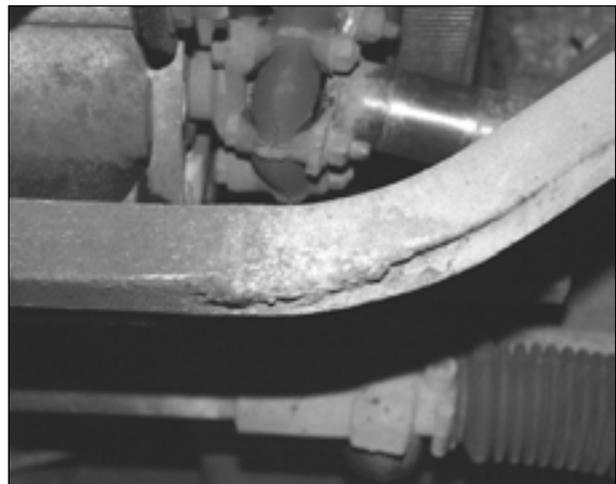


Bild 4.3: Schweißnaht vorderer Querträger



Bild 4.4: Verbindung zwischen Längsträger, Querträger und Radaufhängung

Teil in Anlehnung an DIN/ISO-Standards durchgeführt. Da diese Normen für Pkw entwickelt wurden, sind sie nicht unmittelbar auf die maximal 45 km/h fahrenden LKfz übertragbar. Die Versuche wurden deshalb an die Verhältnisse der Leichtkraftfahrzeuge angepasst. Die Testergebnisse werden nach zwei Maßgaben bewertet. Zum einen erfolgt ein Vergleich mit einem neuen LKfz, da von einem gebrauchten Fahrzeug kein besseres Fahrverhalten als von entsprechenden Neufahrzeugen gefordert werden kann. Zum anderen erfolgt ein Vergleich mit dem Verhalten eines etwa gleich großen Pkw bei gleicher Geschwindigkeit, da sich die LKfz durch den Verzicht auf eine technische Überwachung hinsichtlich ihres Sicherheitsniveaus nicht signifikant von einem vergleichbaren Pkw im Geschwindigkeitsbereich unter 50 km/h unterscheiden sollten.

Mit allen Fahrzeugen wurden folgende Versuche bei trockener und nasser Fahrbahnoberfläche durchgeführt:

- Bremsen geradeaus mit der Betriebsbremse,
- Bremsen geradeaus mit der Handbremse,
- Bremsen in der Kurve,
- stationäre Kreisfahrt und
- doppelter Fahrspurwechsel.

Die Versuche lassen gleichzeitig eine Aussage über die tatsächliche Höchstgeschwindigkeit der LKfz zu. Diese liegt bei allen getesteten Fahrzeugen bei ca. 45 km/h, Manipulationen konnten nicht festgestellt werden.

Folgende Messgrößen wurden bei den Versuchen erfasst: Längsgeschwindigkeit, Längs-, Quer- und Vertikalbeschleunigung sowie Bremspedalbetätigung. Außerdem wurde für ein Fahrzeug, das Auffälligkeiten in der Lenkung zeigte, eine Messung des Lenkmomentes vorgenommen. Dies erfolgte beim Durchfahren eines Slalomparcours sowie bei stationärer Kreisfahrt.

5.1 Messtechnik

5.1.1 Hardware

In Tabelle 5.1 sind die in/an den Fahrzeugen erfassten Messsignale und eingesetzten Sensoren mit ihren Messbereichen zusammengefasst. Zur Datenerfassung und -speicherung wurde ein mobiles Datenerfassungssystem, bestehend aus einem Mobil-PC mit einer 32-Kanal-ADW-Karte sowie

einer gesonderten Analogeneinheit, eingesetzt, in der neben der Vorverstärkung und analogen Filterung der Messsignale mit Tiefpassfiltern 6. Ordnung (mit Butterworthcharakteristik und 25-Hz-Grenzfrequenz) zusätzlich die Speisung der unterschiedlichen Sensoren und galvanische Trennung des analogen Messsystems von der Fahrzeugbatterie erfolgte. Die gefilterten Signale wurden im Mobil-PC in einer 32-kanaligen ADW-Karte mit 12-Bit-Auflösung und einer Abtastrate von 100 s^{-1} digitalisiert und im speziellen Datenformat der verwendeten Software abgespeichert.

Zur Kennzeichnung von Beginn und Ende der Messstrecken wurden retroreflektierende Markierungen verwendet, die von einem am Versuchsfahrzeug angebrachten Reflexions-Lichttaster erkannt und als Positionsmarken in einem gesonderten Messkanal abgelegt wurden.

Die wichtigsten Messdaten wie Geschwindigkeit, Längs- und Querschleunigung wurden als Zeitschrieb online auf einem TFT-LCD-Bildschirm im Versuchsfahrzeug angezeigt.

Bild 5.1 zeigt das mit dem System zur Datenerfassung und -anzeige ausgerüstete Versuchsfahrzeug. In Bild 5.5 in Abschnitt 5.2 ist der Geschwindigkeitssensor am Heck des Fahrzeugs zu sehen.

5.1.2 Software

Für die Kalibrierung des Geschwindigkeitssensors und zur Überprüfung der angegebenen Höchstgeschwindigkeit der LKfz wurde ein spezielles Erfassungsprogramm mit dem Softwarepaket RT-EDAS 2.8 erstellt.

RT-EDAS ist ein unter DOS laufendes Programm zur Prozessdatenerfassung und -steuerung, das

Mess-Signal	Sensortyp, Hersteller	Messbereich
Längsgeschwindigkeit	Vektorsensor V1, Datron ¹	0 - 200 km/h
Längs-, Quer- und Vertikalbeschleunigung	Triaxialer Beschleunigungssensor K-Beam 8392A2, Kistler ²	$\pm 2 \text{ g}$
Bremspedal	Gabellichtschranke OPB911W, Optek ³	
Fahrbahnmarke	Reflexions-Lichttaster OCT500-F22NPN, Pepperl+Fuchs ⁴	0 - 500 mm
Lenkradmoment	Drehmomentmesszelle MRT, interfaceforce	$\pm 20 \text{ Nm}$

¹ an Heckklappe des Versuchsfahrzeugs mit freiem Blick auf die Fahrbahnoberfläche angebracht

² im Versuchsfahrzeug in Schwerpunktnähe angebracht

³ sensiert das Bremspedalgestänge im Fußraum des Fahrzeuges

⁴ am Kotflügel des Fahrzeugs außen rechts mit horizontaler Erfassung angebracht.

Tab. 5.1: Messsignale und Sensoren am Versuchsfahrzeug



Bild 5.1: Mit Datenerfassungssystem ausgerüstetes Leichtkraftfahrzeug

auf Grund seiner Eigenschaften (Multitaskingfähigkeit, Erfassung, Berechnung und Anzeige der Messdaten in Echtzeit), in der Vergangenheit bei vergleichbaren Messaufgaben erfolgreich eingesetzt wurde und sich damit auch für die vorliegende Aufgabenstellung anbieten [7]. Die Datenerfassung erfolgte mit dem Datenerfassungsprogramm EDAS 3.21.

Die nachträgliche Aufbereitung der Messdaten (Ausreißer-, Offsetkorrektur, digitale Filterung und gleitende Mittelwertbildung) erfolgte mit einem speziell erstellten Auswerteprogramm unter RT-EDAS, mit dem sämtliche unterschiedlichen Versuche (Bremsen geradeaus, doppelter Fahrspurwechsel usw.) nach den entsprechenden ISO-Normen automatisiert ausgewertet wurden.

5.2 Bremsen geradeaus

Die Bremsungen im Rahmen der Fahrversuche wurden mit Ausgangsgeschwindigkeiten zwischen 30 km/h und ca. 45 km/h gefahren. Die Geschwindigkeit wurde in 5-km/h-Schritten erhöht, wobei für jede Geschwindigkeit drei Versuche gefahren wurden. Bei den LKfz wurden auch Anfahrten mit Vollgas vorgenommen, so dass auch Geschwindigkeiten leicht über 45 km/h auftreten. Die Bremsungen erfolgten so, dass schnellstmöglich volle Bremskraft erreicht wurde. Dieser Zustand wurde bis zum völligen Stillstand des Fahrzeugs beibehalten.

Im Allgemeinen blockierten dabei die Vorderräder der Fahrzeuge. Es wurden Maximalverzögerungen bis 10 m/s^2 erreicht.

Im Verlauf der Versuche stellte sich für das Neufahrzeug vom Typ Bellier heraus, dass bei starken Bremsungen die Hinterachse vor der Vorderachse blockierte, so dass es zu Drehungen des Fahrzeugs während des Bremsvorgangs kam. Bei 45 km/h Ausgangsgeschwindigkeit und nasser Fahrbahn betrug der Drehwinkel nahezu 90° . Ursache für dieses Verhalten ist ein relativ nahe der Vorderachse gelegener Schwerpunkt des Fahrzeugs, so dass die Hinterachse beim Bremsen, auch infolge der Nickbewegung, stark entlastet wird, im Zusammenspiel mit einer Bremskraftverteilung mit zu hohen Bremskräften an der Hinterachse für diesen dynamischen Fall. Die ungünstige Bremskraftverteilung war zurückzuführen auf einen defekten Hauptbremszylinder, der dann als Garantiefall ausgetauscht wurde. Da sich der Effekt der im Verhältnis zur Vorderachse zu stark gebremsten Hinterachse nur im dynamischen Fall bei Nickbewegung des Fahrzeugs mit Entlastung der Hinterachse zeigte, konnte dieser nicht auf dem Bremsenprüfstand erkannt werden. Bild 5.2 zeigt die Ortskurven von Längs- und Querbearbeitung bei einer Bremsung aus 45 km/h vor und nach Austausch des Hauptbremszylinders. Lag die Querbearbeitung vorher auf Grund der Drehung bei ca. 6 m/s^2 , so betrug der Wert nach der Reparatur nur noch $1,5 \text{ m/s}^2$. Bellier 2 bezeichnet das Neufahrzeug vor dem Austausch des Hauptbremszylinders, Bellier 3 danach.

In Bild 5.3 sind die Bremswege des Fahrzeugs auf trockener Fahrbahnoberfläche vor und nach der Reparatur aufgetragen. Betrug der Bremsweg aus 45 km/h vorher 10 m, so waren es danach nur noch 8 m.

Im normalen Fahrbetrieb wäre der Defekt der Bremsanlage nicht aufgefallen. In einer Gefahrensituation mit Notbremsung hätte sich das LKfz dann jedoch unerwartet gedreht, was die Unfallgefahr deutlich vergrößert hätte. Wäre in einer Hauptuntersuchung eine kurze Probefahrt mit Bremsprobe eingeschlossen und wäre die technische Überwachung für die Leichtkraftfahrzeuge obligatorisch, so wäre dieser sicherheitsrelevante Defekt aufgedeckt worden.

Bei den folgenden Vergleichen der Bremsungen der verschiedenen Versuchsfahrzeuge fließen beim Neufahrzeug vom Typ Bellier nur die Werte ein, die

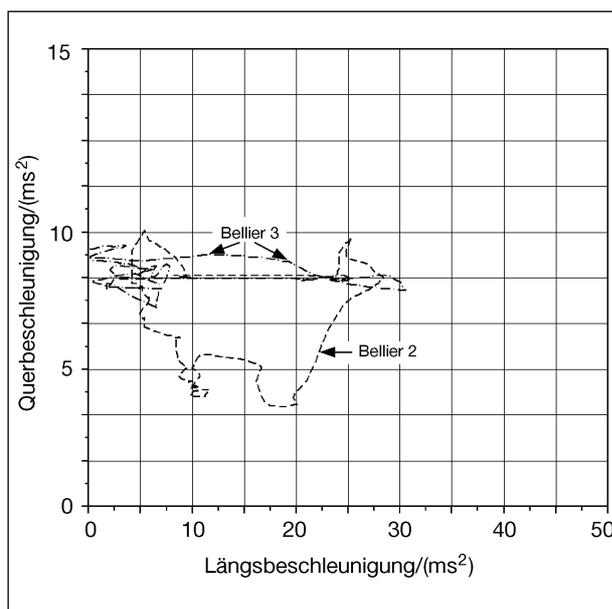


Bild 5.2: Ortskurven der Quer- und Längsbeschleunigung für Bremsungen aus 45 km/h mit dem neuen LKfz vor und nach Austausch des defekten Hauptbremszylinders

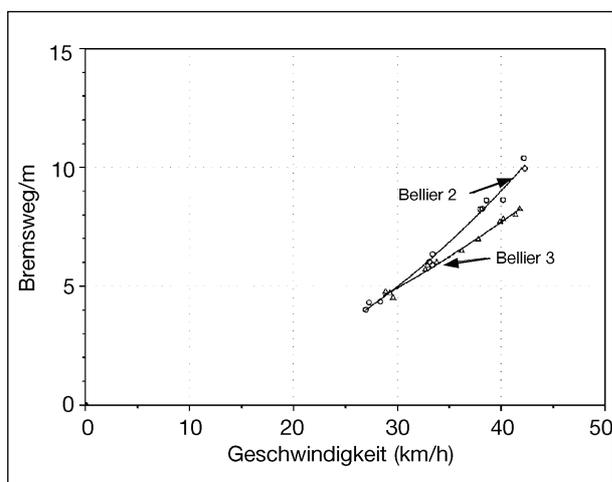


Bild 5.3: Bremsweg in Abhängigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit mit dem neuen LKfz vor und nach Austausch des defekten Hauptbremszylinders

mittlere Verzögerung (m/s ²)	Aixam	Ligier	Bellier 1	Bellier 3	Fiat 500
trocken	7,5	8,0	7,2	7,6	7,7
nass	nicht gemessen	7,4	7,1	7,4	6,7

Tab. 5.2: Mittlere Verzögerung $-\bar{a}_x$ beim Bremsen geradeaus

nach Austausch des Hauptbremszylinders ermittelt wurden. Das gebrauchte LKfz vom Typ Bellier wird mit Bellier 1 bezeichnet.

In Bild 5.4 sind die Bremswege in Abhängigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit für alle Fahrzeuge

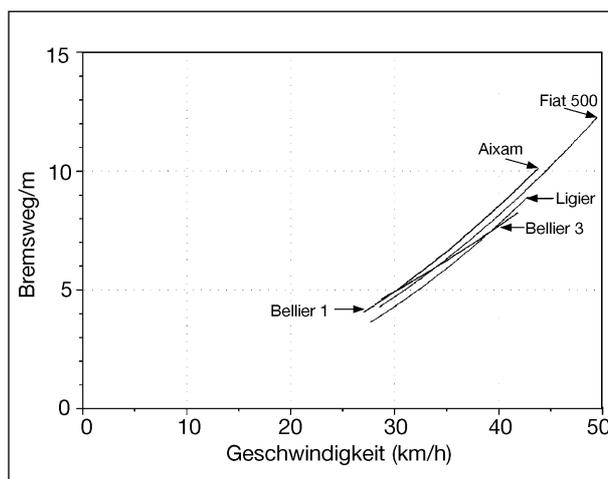


Bild 5.4: Vergleich der Bremswege aller Fahrzeuge beim Bremsen geradeaus auf trockener Fahrbahn



Bild 5.5: Bremsung geradeaus mit gebrauchtem LKfz Bellier (Baujahr 1994)

in einem Diagramm dargestellt. Die Kurven beziehen sich auf trockene Fahrbahnoberfläche. Den kürzesten Bremsweg aus 40 km/h weisen das Neufahrzeug Bellier sowie der Ligier auf. Der Vergleichs-Pkw befindet sich in der Mitte aller getesteten Fahrzeuge. Beim Bremsvermögen im Stadtverkehr stehen die LKfz einem normalen Pkw nicht nach.

Das zeigt auch Tabelle 5.2, in der die mittleren Verzögerungen aufgeführt sind, die von den Fahrzeugen bei trockener und nasser Fahrbahnoberfläche erbracht wurden. Die Verzögerungen liegen alle zwischen 6,7 und 8,0 m/s². Die LKfz zeigen zum Teil höhere Verzögerungen als das Vergleichsfahrzeug. Auch das Neufahrzeug der LKfz sticht nicht besonders hervor. Der Ligier hebt bei Vollbremsungen mit den Hinterrädern leicht ab.

Bild 5.5 zeigt eine Aufnahme des gebrauchten LKfz vom Typ Bellier bei Bremsversuchen geradeaus auf trockener Fahrbahn.

5.3 Bremsen mit der Handbremse

Da bei der vorab durchgeführten Hauptuntersuchung Mängel an verschiedenen Feststellbremsanlagen gefunden wurden, wurde in das Versuchs-

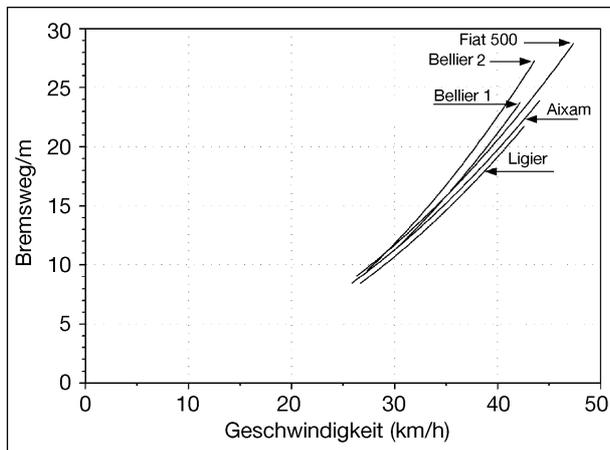


Bild 5.6: Vergleich der Bremswege beim Bremsen mit der Feststellbremse aus verschiedenen Geschwindigkeiten (trockene Fahrbahnoberfläche)

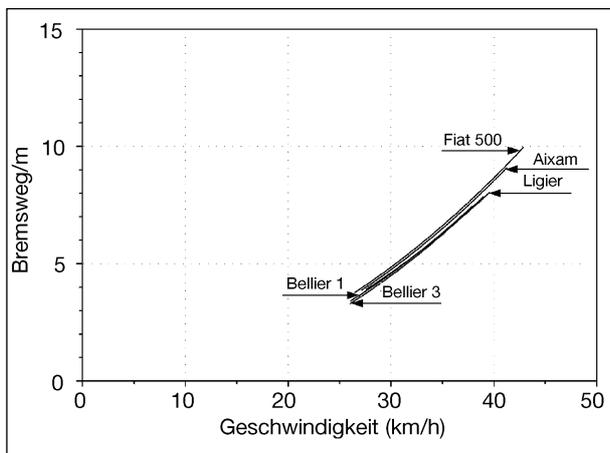


Bild 5.7: Bremsen in der Kurve bei trockener Fahrbahn

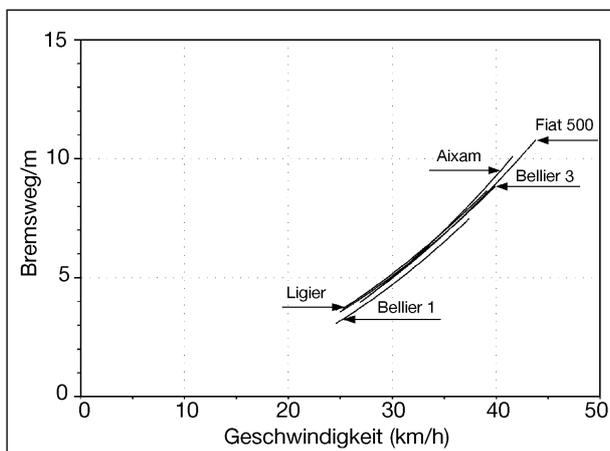


Bild 5.8: Bremsen in der Kurve bei nasser Fahrbahn

programm auch ein Test der Handbremse mit einbezogen. Außerdem stellt die Bremsung mit der Handbremse eine Möglichkeit dar, das Fahrzeug auch bei Ausfall der Betriebsbremsanlage notfalls noch zum Stillstand zu bringen.

Die Versuche wurden in Bezug auf die gefahrenen Geschwindigkeiten und Zahl der Messungen analog derer mit der Betriebsbremse durchgeführt; die Handbremse wurde möglichst schnell mit möglichst hoher Kraft gezogen, so dass im Allgemeinen die Hinterräder blockierten.

Insgesamt ist festzuhalten, dass die Notbremswirkung der Handbremse bei allen Fahrzeugen gegeben ist. Es treten auf Grund der unterschiedlichen Bremswirkung zwischen rechter und linker Seite Gierbewegungen auf, die sich aber durch leichtes Gegenlenken korrigieren lassen.

Bild 5.6 zeigt einen Vergleich der Bremswege in Abhängigkeit von der Ausgangsgeschwindigkeit für alle Fahrzeuge bei trockener Fahrbahn. Aus 40 km/h ergeben sich Bremswege zwischen 19 m und 23 m. Den kürzesten Bremsweg zeigt der Ligier. Der Vergleichs-Pkw befindet sich wiederum in der Mitte aller getesteten Fahrzeuge.

5.4 Bremsen in der Kurve

Die Versuche zum Bremsen in der Kurve wurden in Anlehnung an die Norm ISO 7975 „Passenger Cars – Braking in a turn – Open loop test procedure“ [8] durchgeführt. Dabei ist die stationäre Kreisfahrt, wie in Abschnitt 5.5 beschrieben, der Ausgangszustand für den eigentlichen Test. Geschwindigkeit und Lenkwinkel werden konstant gehalten. Das Bremsmanöver erfolgt aus der Kreisfahrt mit einem Radius von 20 m heraus, bei dem mit voller Kraft gebremst wird und die Lenkwinkelstellung beibehalten wird. Die Versuche wurden aus Links- und Rechtskurven heraus durchgeführt mit Geschwindigkeiten zwischen 25 km/h und 45 km/h. Die dargestellten Ergebnisse sind Mittelwerte aus beiden Orientierungen. Bild 5.7 zeigt die Bremswege in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit bei trockener Fahrbahn, Bild 5.8 bei nasser Fahrbahn.

Im Nassen ist der Bremsweg aus 40 km/h im Mittel über alle Fahrzeuge etwa 1 m länger als im Trockenen. Insgesamt liegen die Werte aller Fahrzeuge eng beieinander, so dass man beim Bremsweg beim Bremsen in der Kurve von keinem signifikanten Unterschied zwischen den gebrauchten LKfz und den Vergleichsfahrzeugen sprechen kann.

Die Bilder 5.9 und 5.10 zeigen Messschriebe von Kurvenbremsungen aus 45 km/h bei nasser Fahrbahn von den Fahrzeugen Aixam und Fiat. Beide schieben im Verlauf der Bremsung mit blockierten Rädern tangential zum Kurvenäußeren hin. Dieser Versatz der Fahrspur betrug bei Bremsungen aus 45 km/h nahezu 1 m. Beim Fiat sind im Gegensatz zum LKfz ein schnellerer Aufbau der Längsverzögerung und Abbau der Querb beschleunigung zu verzeichnen, der sich im Bremsweg jedoch nicht äußert.

Bei den LKfz ist beim Bremsen in der Kurve häufig eine Gierbewegung zum Kurveninneren hin zu beobachten. Diese resultiert aus dem kurzen Radstand der Fahrzeuge mit relativ hohem Schwerpunkt, so dass bei starker Bremsung durch die Nickbewegung die Hinterräder deutlich entlastet werden und nicht mehr genügend Seitenkraft aufbauen können; bei einigen LKfz hebt sogar das kurveninnere Hinterrad ab. Eine ungleichmäßige Bremswirkung zwischen rechter und linker Seite, die ja auch bei den Hauptuntersuchungen festgestellt wurde, unterstützt diesen Prozess der Gierbewegung noch. Es wurden Drehungen bis zu 80° beobachtet.

5.5 Stationäre Kreisfahrt

Die stationäre Kreisfahrt wurde in Anlehnung an die Norm ISO 4138 „Passenger cars – Steady-state circular test procedure“ [9] durchgeführt. Sie dient zur Untersuchung des Fahrverhaltens bei jeweils konstanten Querb beschleunigungen unterschiedlicher Größe. Es wurden sowohl Links- als auch Rechtskurven gefahren. Dabei beschrieb der Schwerpunkt der Fahrzeuge jeweils einen Kreis mit einem Radius von 20 m. Während jeder Einzelmessung wurden Radius und Geschwindigkeit möglichst konstant gehalten. Beginnend mit 30 km/h wurde die Geschwindigkeit jeweils schrittweise bis auf Maximalgeschwindigkeit (LKfz) bzw. 50 km/h (Fiat) gesteigert.

Bild 5.11 zeigt für Linkskurven und nasse Fahrbahnoberfläche die auftretenden Querb beschleunigungen in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit für alle Fahrzeuge. Ein wesentlicher Unterschied zwischen den einzelnen Fahrzeugen ist nicht zu erkennen. Für Rechtskurven sowie für trockene Bedingungen ergibt sich das gleiche Bild. Bis auf die Schwankungen im Lenkmoment, auf die in Abschnitt 5.7 eingegangen wird, haben die Fahrzeuge

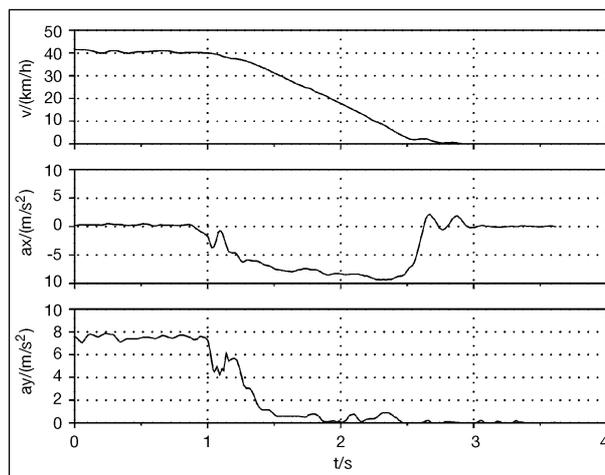


Bild 5.9: Geschwindigkeits-, Längsbeschleunigungs- und Querb beschleunigungsverlauf bei einer Bremsung in der Kurve mit dem Fahrzeug vom Typ Aixam bei nasser Fahrbahn

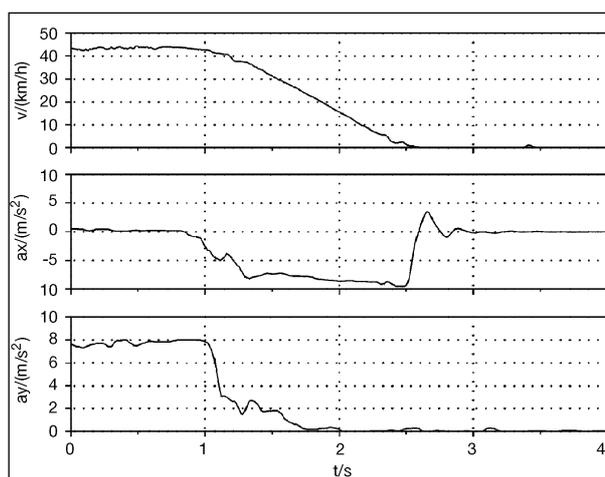


Bild 5.10: Geschwindigkeits-, Längsbeschleunigungs- und Querb beschleunigungsverlauf bei einer Bremsung in der Kurve mit dem Fahrzeug vom Typ Fiat bei nasser Fahrbahn

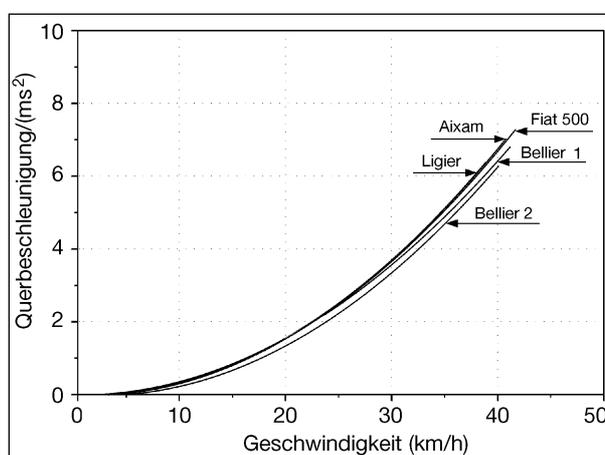


Bild 5.11: Querb beschleunigung in Abhängigkeit von der Fahrgeschwindigkeit bei stationärer Kreisfahrt (Linkskurve, trocken)



Bild 5.12: Stationäre Kreisfahrt mit LKfz Bellier (Baujahr 1994)

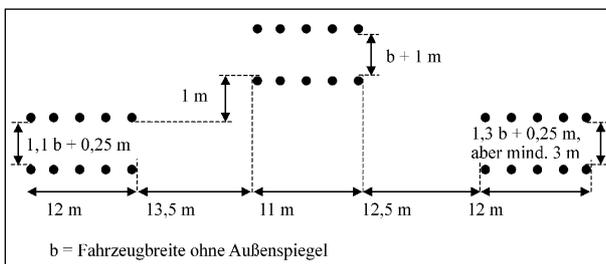


Bild 5.13: Abmessungen der Fahrspur des Tests entsprechend ISO 3888-2 (Passenger cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre – Part 2: Obstacle avoidance)



Bild 5.14: Doppelter Spurwechsel mit Leichtkraftfahrzeug

die stationäre Kreisfahrt problemlos absolviert, wie Bild 5.12 zeigt. Bei einigen Fahrzeugen hebt das kurveninnere Hinterrad bei Querbeschleunigungen über 6 m/s^2 ab, was jedoch nicht kritisch ist.

5.6 Doppelter Spurwechsel

Für den doppelten Spurwechsel wurde die in ISO 3888-2 (Passenger cars – Test track for a severe

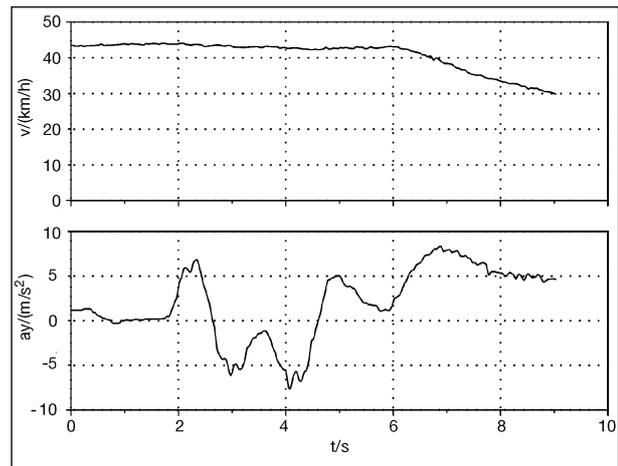


Bild 5.15: Geschwindigkeits- und Querbeschleunigungsverlauf bei einem doppelten Fahrspurwechsel mit dem Gebrauchtfahrzeug vom Typ Bellier bei trockener Fahrbahn

lane-change manoeuvre – Part 2: Obstacle avoidance) [10] beschriebene Fahrspur verwendet. Diese Fahrspur ist in Deutschland auch als VDA-Gasse bekannt. Die gesamte Länge der Gasse beträgt 61 m. Bild 5.13 zeigt die Abmessungen des Parcours und die Positionen der zur Markierung der Strecke zu verwendenden Leitkegel. Die Fahrspur nach ISO 3888-2 beschreibt einen abrupten Wechsel auf eine Parallelspur nach links und wieder zurück in die Ausgangsspur. Dabei sind die geraden Strecken zwischen den Spurwechseln, in denen sich das Fahrzeug stabilisieren kann, sehr kurz (13,5 m und 12,5 m). Der Test ermöglicht somit eine Einschätzung der Fahrdynamik des Versuchsfahrzeugs hinsichtlich der Lateralstabilität.

Die Gasse wurde während der Versuche im Gegensatz zu dem in der ISO-Norm vorgeschlagenen Verfahren mit möglichst konstanter Geschwindigkeit durchfahren, weil bei einer maximalen Ausgangsgeschwindigkeit von ca. 50 km/h mit Loslassen des Gaspedals die Geschwindigkeit am Ende der Gasse so gering würde, dass eine Aussage über das Verhalten des Fahrzeugs im fahrdynamischen Grenzbereich nicht möglich wäre. Bei den Versuchen wurde mit einer Geschwindigkeit von 30 km/h begonnen. Mit dem Fiat cinquecento wurde die Gasse mit bis zu 50 km/h durchfahren, bei den LKfz mit 45 km/h (entsprechend Vollgas). Bild 5.14 zeigt die Durchfahrt der Gasse mit einem der LKfz.

Bei 45 km/h treten maximale Querbeschleunigungen von bis zu $7,9 \text{ m/s}^2$ auf. Die Werte sind jedoch stark von der Fahrweise beim Durchfahren der Gasse abhängig. Die Gasse wird von allen Fahr-

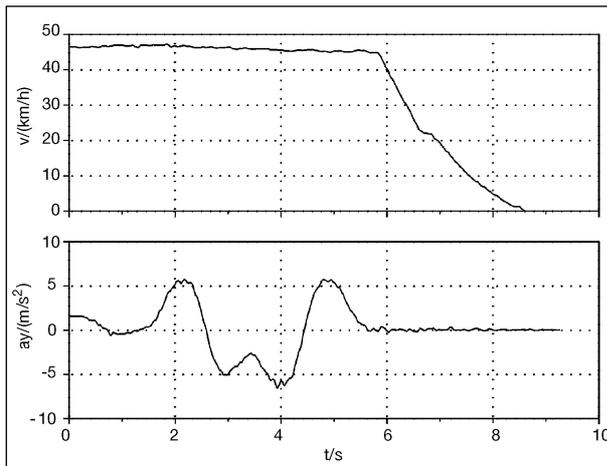


Bild 5.16: Geschwindigkeits- und Querschleunigungsverlauf bei einem doppelten Fahrspurwechsel mit dem Gebrauchtfahrzeug vom Typ Fiat cinquecento bei trockener Fahrbahn

zeugen im gewählten Geschwindigkeitsbereich problemlos passiert.

In den Bildern 5.15 und 5.16 sind die Verläufe von Geschwindigkeit und Querschleunigung für eine Durchfahrt des gebrauchten Fahrzeugs vom Typ Bellier (Bellier 1) sowie des Fiat cinquecento aufgetragen. Die Messschriebe beziehen sich auf eine trockene Fahrbahnoberfläche. Bei der Fahrt mit dem Leichtkraftfahrzeug Bellier 1 waren mehr Lenkkorrekturen nötig als beim Fiat, um das Fahrzeug in der Fahrspur zu halten. Daraus resultieren auch etwas größere Spitzen in der Querschleunigung. Die Ursache dafür sind Schädigungen am Fahrwerk (siehe Abschnitt 4.1).

5.7 Lenkmomentmessung

Bei dem Gebrauchtfahrzeug Bellier aus dem Jahr 1994 (Bellier 1) spürt der Fahrer schon im normalen Fahrbetrieb, dass bei Rechtskurven ein deutlich höherer Kraftbedarf bei der Drehung des Lenkrades nötig ist als bei Linkskurven. Um diese Erfahrung quantifizieren zu können, wurde das Fahrzeug mit einer Einrichtung zur Lenkmomentmessung versehen. Auf trockener Fahrbahn wurden dann die Fahrversuche Slalomfahrt und stationäre Kreisfahrt durchgeführt, um die dabei auftretenden Lenkmomente in Abhängigkeit von der Orientierung der Kurve zu bestimmen.

Bild 5.17 zeigt den zeitlichen Verlauf des Lenkmoments bei einer Slalomfahrt mit 42,5 km/h. Die Leitkegel hatten einen Abstand von 18 m. Es ist deutlich zu erkennen, dass das mittlere Lenkmoment

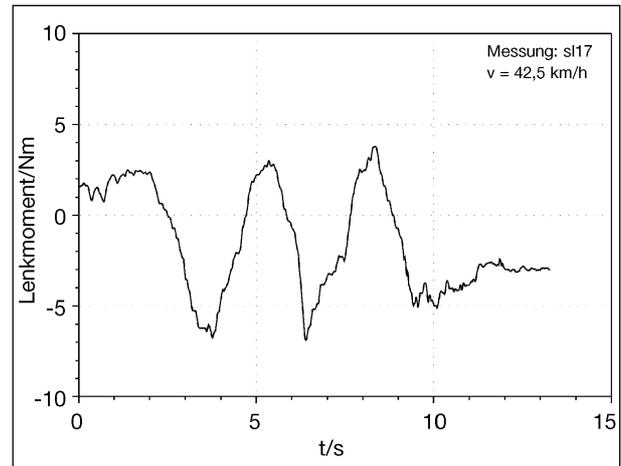


Bild 5.17: Lenkmoment in Abhängigkeit von der Zeit bei Slalomfahrt mit 42,5 km/h (Bellier 1994)

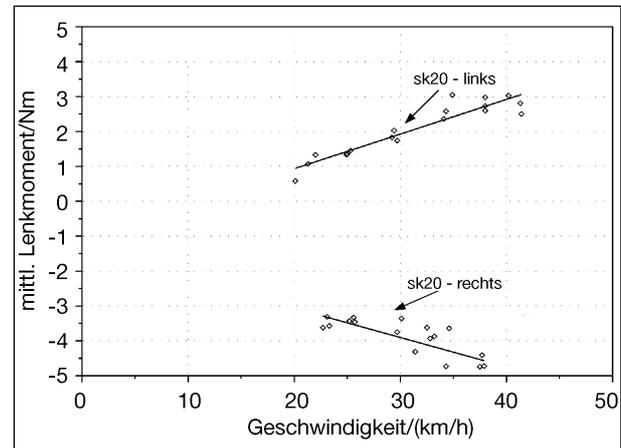


Bild 5.18: Lenkmoment in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit und der Orientierung der Kurve bei stationärer Kreisfahrt mit Radius 20 m (Bellier 1994) (oben: Linkskurve, unten: Rechtskurve)

bei etwa -2 Nm liegt und nicht beim Wert Null, der bei einer intakten Radaufhängung zu erwarten wäre.

In Bild 5.18 ist das mittlere Lenkmoment für stationäre Kreisfahrten bei einem Radius von 20 m für verschiedene Versuchsgeschwindigkeiten aufgetragen. Der Betrag des Lenkmomentes nimmt mit der Geschwindigkeit zu, was das untersteuernde Verhalten des Leichtkraftfahrzeugs widerspiegelt. Bei vorgegebener Geschwindigkeit ist das benötigte Lenkmoment in Rechtskurven wesentlich größer als in Linkskurven. Bei 30 km/h sind es in der Linkskurve ca. 2 Nm, in der Rechtskurve dagegen ca. 4 Nm. Der Fahrer muss also das doppelte Lenkmoment aufbringen, um die gleiche Kurve mit der gleichen Geschwindigkeit in umgekehrter Orientierung zu durchfahren.

Die starken Lenkmomentdifferenzen zwischen Links- und Rechtskurven werden durch Beschädigungen am Fahrwerk verursacht, die wiederum auf einen Unfall ohne nachfolgende Reparatur bzw. mit mangelhaft durchgeführter Reparatur zurückzuführen sein könnten. Ein sicheres Bewegen des Fahrzeugs im Straßenverkehr ist bei den vorhandenen Variationen im Lenkmoment nicht möglich. Wäre im Rahmen der technischen Überwachung eine kurze Probefahrt vorgenommen worden, wären die Unstimmigkeiten im Lenkmoment aufgefallen.

6 Versuche zur passiven Sicherheit

Im Rahmen eines Forschungsprojektes zur Verbesserung der Sicherheit von Leichtfahrzeugen hat die Arbeitsgruppe für Unfallmechanik der Universität und Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich nachgewiesen, dass es möglich ist, LKfz mit einem hohen Niveau der passiven Sicherheit zu konstruieren. Die dafür durchgeführten Tests finden sich in [11].

Im Hinblick auf die passive Sicherheit der Leichtkraftfahrzeuge verweist ein Hersteller der getesteten LKfz, die Firma Ligier, darauf, die Anforderungen der Tests nach 74/297/EWG, geändert durch 91/662 EWG (Verhalten der Lenkanlage bei Unfallstößen) [12], zu erfüllen. Die Richtlinie bezieht sich eigentlich auf die Fahrzeugklasse M1. Die Aufprallgeschwindigkeit auf eine starre Barriere beträgt 48,3 km/h. Ein weiterer Hersteller, die Firma Aixam, hat mit ihrem LKfz „MEGA“ Crashtests nach oben genannter Richtlinie bei der Union Technique de l'Automobile, du Motorcycle et du Cycle (UTAC) durchführen lassen. Die Ergebnisse zeigen, dass das Fahrzeug die Anforderungen der Richtlinie erfüllt [13-15].

6.1 Ausgangskonfiguration für die Crashversuche

Die LKfz wurden in der fahrzeugtechnischen Versuchsanlage der BAST frontal gegen einen starren Block mit einer Masse von 90 Tonnen gefahren. Die Geschwindigkeit der Fahrzeuge betrug jeweils 35 km/h, um einen Innerortsunfall zu simulieren. Die Überdeckung beim Anprall betrug 100 %.

In jedem Versuch wurde ein 50-%-Hybrid-III-Dummy (dieser Dummytyp ist standardmäßig in ge-



Bild 6.1: Fahrzeug mit eingebautem Encoder K3600

	Bellier (neu)	Bellier (gebr.)	Aixam	Ligier
Leergewicht (kg)	424	426	349	389
Testgewicht (kg)	553	563	474	508
Testgeschwindigkeit (m/s)	9,73	9,74	9,73	9,69

Tab. 6.1: Ausgangskonfiguration der Crashversuche

setzlich vorgeschriebenen Tests einzusetzen) auf dem Fahrersitz des LKfz positioniert. Der Dummy wurde mit drei dreiaxialen Beschleunigungsaufnehmern zur Messung der Kopf-, Brust- und Beckenbeschleunigung ausgestattet. Am Brustbein wurde zusätzlich die Eindrückung der Brust während des Crashes ermittelt. Ferner wurden die auftretenden Kräfte und Momente am Schienbeinknochen (Tibia: oben und unten) sowie im Nacken des Dummys gemessen. Das Fahrzeug selbst wurde mit zwei dreiaxialen Beschleunigungsaufnehmern auf Höhe des B-Pfostens ausgerüstet. Weiterhin wurden vier Kraftaufnehmer zur Messung der Gurtkräfte am Anschnallgurt des Dummys eingesetzt. Zur Aufzeichnung der Messdaten wurde ein K3600-Encoder der Firma Kayser-Threde verwendet (siehe Bild 6.1).

Die Crashversuche wurden mit drei Hochgeschwindigkeitskameras (500 Bilder/s) beidseitig und von oben gefilmt. Die Auswirkungen des Crashes wurden zusätzlich durch Fotografien der Fahrzeuge vor und nach dem Crash dokumentiert. Tabelle 6.1 zeigt die Ausgangskonfiguration für die vier durchgeführten Tests.

6.2 Betrachtung der Leichtkraftfahrzeuge vor dem Crash

Die beiden Bellier besitzen einen geschweißten Rahmen aus quadratischen Stahlprofilen als tragende Struktur. Fahrgastzelle und Karosserie be-

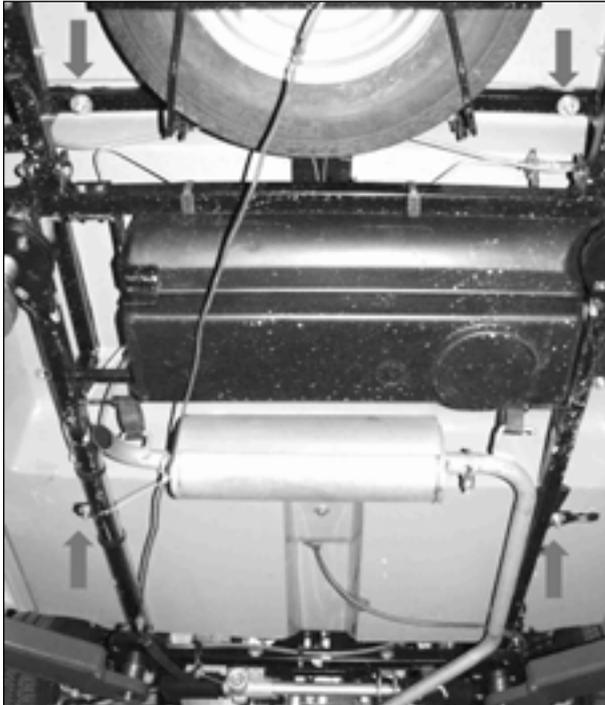


Bild 6.2: Verschaubung der Fahrgastzelle mit dem Fahrzeugunterboden

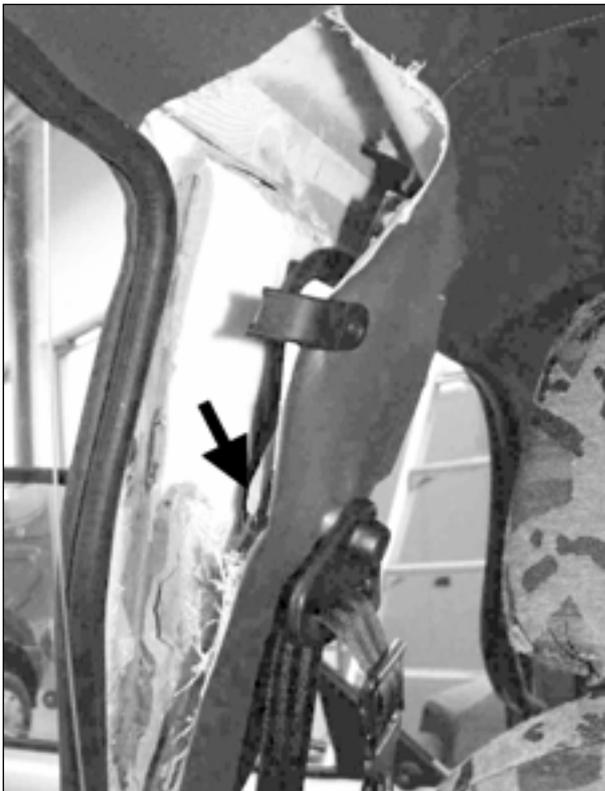


Bild 6.3: Zur Befestigung der oberen Gurtverankerung ist ein Stahlprofil in die Glasfaserkarosserie eingelegt. (Das Foto wurde nach dem Test aufgenommen)

stehen aus Glasfaserformteilen. Die Fahrgastzelle wurde auf den Stahlrahmen aufgesetzt und verschraubt (Bild 6.2).



Bild 6.4: Aluminiumkarosserie des Aixam mit Vorderwagengestell aus Stahlprofilen

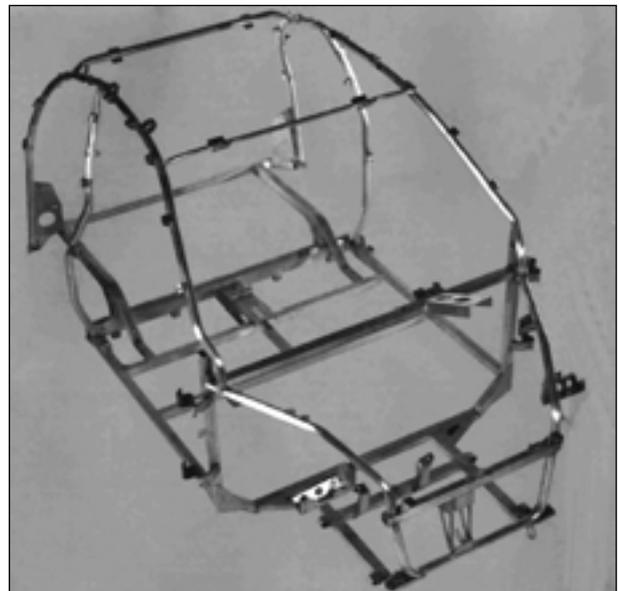


Bild 6.5: Aluminiumrahmen des Ligier

Zu Befestigungszwecken, so z. B. für die obere Gurtverankerung, wurden quadratische Stahlprofile oder Sperrholzleisten in die Glasfaser eingeleitet (Bild 6.3).

Die Fahrgastzellen des Aixam und des Ligier besitzen hingegen eine Aluminiumprofilstruktur, welche fest mit der Bodengruppe verbunden ist. Der Vorderwagen des Aixam besteht dabei aus einer geschweißten Stahlrohrkonstruktion während beim Ligier auch für diesen Bereich Aluminiumprofile verwendet wurden (Bilder 6.4 und 6.5)

6.3 Crashverhalten der Fahrzeuge

6.3.1 Neufahrzeug vom Typ Bellier

Bild 6.6 zeigt den Zustand des Fahrzeugs nach dem Crash. Die Stahlrahmenkonstruktion des Vorderwagens nimmt die kinetische Energie des Fahrzeugs über Biegedeformation auf. Diese Energieauf-

nahme setzt sich bis in den Unterbodenbereich fort, wo die Verschraubungen der GFK-Zelle an mehreren Stellen herausreißen (Bild 6.7b). Das in die Glasfaser eingelegte Stahlprofil zur Befestigung der oberen Gurtverankerung des Fahrers ist aus der Glasfa-

serstruktur herausgerissen und in den Innenraum hineingebogen (Bild 6.8). Weiterhin hat sich der Fahrersitz beim Aufprall um 14 cm in Fahrtrichtung verschoben. Das Lenkrad ist durch den Aufschlag des Dummies stark verbogen (Bild 6.9). Intrusion und



Bild 6.6: Bellier-Neufahrzeug; Frontcrash mit 35 km/h vor eine starre Wand; 100 % Überdeckung



Bild 6.8a: Ausgerissene Gurtverankerung beim Bellier-Neufahrzeug



Bild 6.7a: Biegung des Unterbodenrahmens beim Bellier-Neufahrzeug



Bild 6.8b: Ausgerissene Gurtverankerung beim Bellier-Neufahrzeug



Bild 6.7b: Ausgerissene Schraubverbindung im Unterboden des Bellier-Neufahrzeugs



Bild 6.9: Gesamtansicht des Cockpits nach dem Crash des Bellier-Neufahrzeugs. Das Lenkrad wurde durch Brust- und Kopfkontakt erheblich deformiert

Rahmenverbiegung sind auf der Fahrerseite geringer als auf der Beifahrerseite.

Bei Betrachtung der Videodaten fällt außerdem auf, dass das Fahrzeug auf Grund seines hohen Schwerpunktes beim Crash mit der Hinterachse abhebt. Man erkennt weiterhin, dass die dynamische Eindringung der Lenksäule in den Innenraum sehr viel größer ist, als dies eine Vermessung der Lenkradposition vor und nach dem Crash ergibt. Während letztere Messung eine Intrusion von 1,7 cm ergibt, zeigt eine Analyse der Videodaten eine Intrusion von ca. 13 cm. Bild 6.10 ist ein Videoausschnitt und veranschaulicht die Nickbewegung des Fahrzeuges, das Nachschieben des Sitzes und die Intrusion der Lenksäule.

Das Kraft-Weg-Diagramm (Bild 6.11) zeigt zwei deutliche Kraftspitzen, welche beim Verbiegen der Frontstruktur entstehen. Das Kraftniveau von bis zu 200 kN ist für den getesteten Neuwagen mit einer

Testmasse von 553 kg als hoch anzusehen. Der gesamte Verformungsweg des Fahrzeuges beträgt etwa 40 cm. Diese Zahl befindet sich im Einklang mit den Nachvermessungen des Fahrzeuges und der Analyse der Videodaten.

6.3.2 Gebrauchtfahrzeug vom Typ Bellier

Das Deformationsverhalten des älteren Belliers ist dem des Neufahrzeuges ähnlich. Bild 6.12 zeigt den Zustand des Fahrzeuges nach dem Crash. Auch hier findet eine Verbiegung der Stahlrahmenkonstruktion bis in den Unterbodenbereich statt (Bild 6.13). Die obere Gurtverankerung des Fahrergurtes ist mitsamt des eingelegten Stahlprofils und einem Teil der „B-Säule“ aus der GfK-Karosserie herausgerissen (Bilder 6.14a - c). Das Lenkrad wird auch in diesem Fall durch den Aufschlag des Dummys stark deformiert und absorbiert dabei einen Teil seiner Bewegungsenergie.



Bild 6.10: Videoaufnahme: Darstellung des Crashverhaltens des Bellier-Neufahrzeugs



Bild 6.12: Bellier-Gebrauchsfahrzeug; Frontcrash mit 35 km/h vor eine starre Wand; 100 % Überdeckung

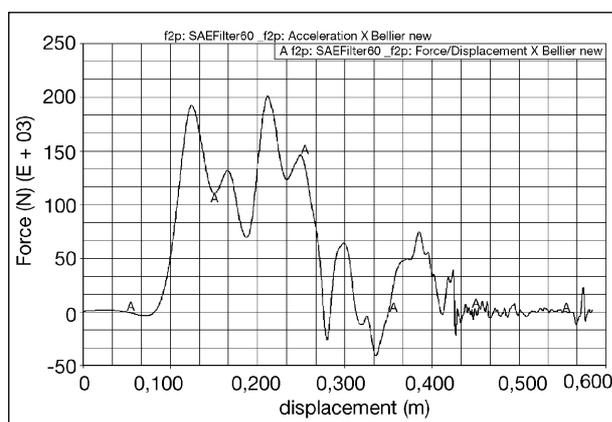


Bild 6.11: Kraft-Weg-Verlauf beim Crash des Bellier-Neufahrzeugs



Bild 6.13: Verformung des Unterbodenrahmens

Die Analyse der Videodaten ergibt wiederum eine sehr hohe dynamische Intrusion der Lenksäule von etwas mehr als 11 cm. Ferner ist zu erkennen, dass sich der Crashpuls wellenförmig durch die Autokarosserie fortpflanzt und in der Folge zu einer Stauchung der B-Säule führt. Die auf diese Weise geschwächte Struktur gibt bereits in der Anfangsphase des Crashes nach (Bild 6.15).

Das Kraft-Weg-Diagramm (Bild 6.16) zeigt eine sehr steife Frontstruktur des Bellier älteren Baujah-



Bild 6.14a: Ausgerissene B-Säule des Bellier-Gebrauchtfahrzeugs



Bild 6.14b: Ausgerissene B-Säule des Bellier-Gebrauchtfahrzeugs



Bild 6.14c: Ausgerissene B-Säule des Bellier-Gebrauchtfahrzeugs

res mit Kraftspitzen von 250 kN. Wie auch beim Neufahrzeug vom Typ Bellier zeigen die Kraftspitzen das Verbiegen einzelner Strukturen der Front-



Bild 6.15: Videoaufnahme: Crashverhalten des Bellier-Gebrauchtfahrzeugs beim Einreißen der B-Säule. Man erkennt eine Stauchung der B-Säule auf Grund der Fortpflanzung des Crashpulses durch die Karosserie

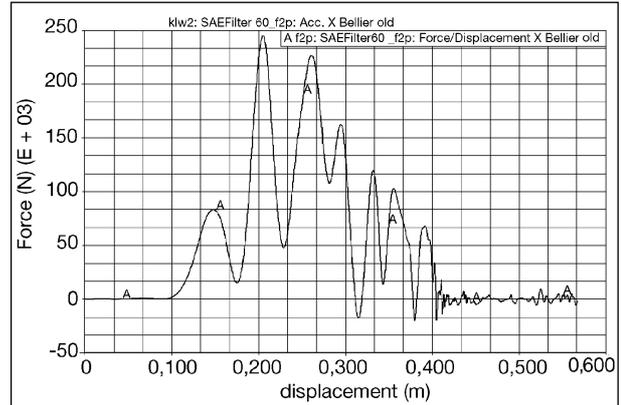


Bild 6.16: Kraft-Weg-Verlauf beim Crash des Bellier-Gebrauchtfahrzeugs



Bild 6.17: Videoaufnahme im Moment der maximalen Längsdeformation: Deformation des Vorderwagens (Bellier-Gebrauchtfahrzeug). Die Videoaufnahme wurde im Moment der maximalen Deformation aufgenommen. Diese ist von oben am besten zu erkennen

struktur an. Der Verformungsweg ist mit 40 cm in etwa gleich kurz wie beim Neufahrzeug. Die Zahl deckt sich mit den Nachvermessungen des Fahrzeuges und der Analyse der Videodaten. Bild 6.17 zeigt die Verformung des Vorderwagens des gebrauchten Bellier.

6.3.3 Gebrauchtfahrzeug vom Typ Aixam

Bild 6.18 zeigt den Zustand des Fahrzeugs nach dem Crash. Beim Aixam wird die kinetische Energie hauptsächlich durch Verformung der Stahlprofile des Vorderwagens absorbiert. Da die Verformung in diesem Fall recht einfach nachzuvollziehen ist, wird die verformte Struktur in den Bildern 6.19a - d vor bzw. nach dem Crash dargestellt. Die mit einem Pfeil markierte Biegung zeigt vor dem Crash einen Winkel von 135° und nach dem Crash einen Winkel von 90° . Die Längsträger im Unterbodenbereich werden nur leicht verformt. Die sehr längssteifen Türschweller verhindern hier eine nennenswerte Stauchung. Bei genauerer Betrachtung

zeigt sich eine Wellung der Blechfelder des Unterbodens im Fußraumbereich von Fahrer und Beifahrer (Bild 6.20). Außerdem ist die hintere Riemenscheibe des Getriebes durch die Stirnwand in den Fußbereich des Fahrers eingedrungen (Bild 6.21). Es wurde keine Intrusion der Lenksäule beobachtet.

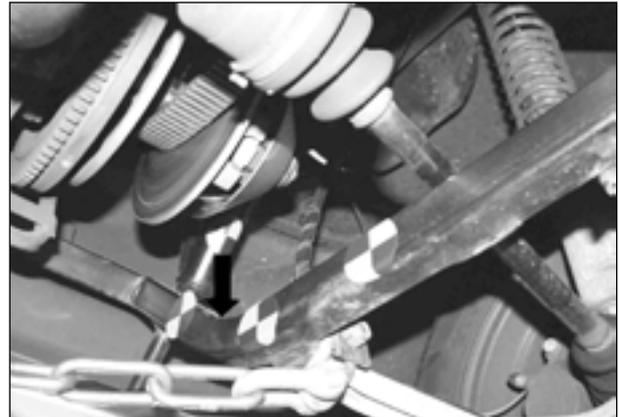


Bild 6.19b: Vorderwagen des Aixam vor dem Crash



Bild 6.18: Aixam; Frontcrash mit 35 km/h vor eine starre Wand; 100 % Überdeckung

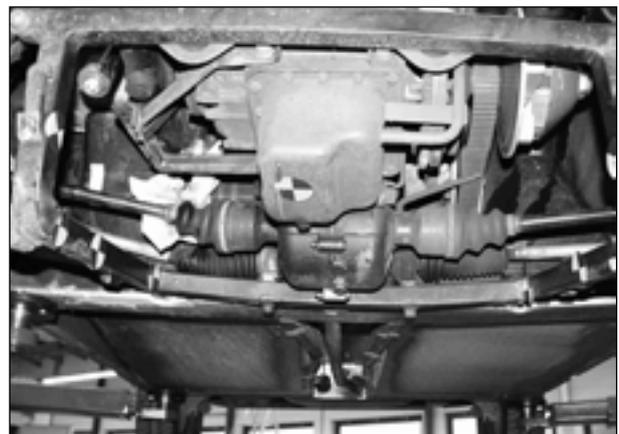


Bild 6.19c: Verformungen des Vorderwagens nach dem Crash



Bild 6.19a: Vorderwagen des Aixam vor dem Crash



Bild 6.19d: Verformungen des Vorderwagens nach dem Crash

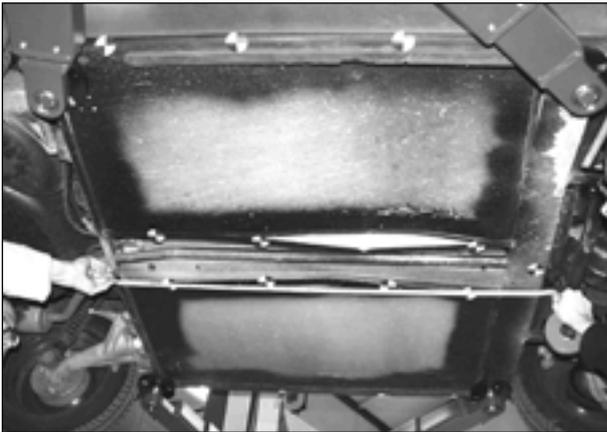


Bild 6.20: Wellung der Blechfelder im Unterbodenbereich



Bild 6.21: Eintrittsstelle der Getrieberiemenscheibe unterhalb des Gaspedals

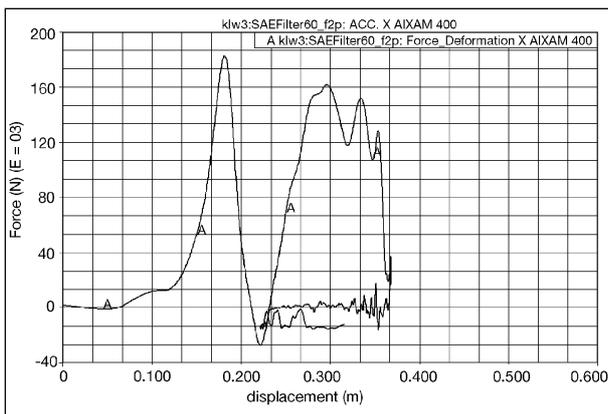


Bild 6.22: Kraft-Weg-Verlauf beim Crash des Aixam

Das Kraft-Weg-Diagramm (Bild 6.22) des Aixam zeigt eine deutliche Spitze mit einer Spitzenkraft von etwa 180 kN. Diese Spitze scheint die Verbiegung des Frontrahmens zu beschreiben (siehe auch Bilder 6.19a - d). Danach wird der Querträger an der Stirnwand der Fahrgastzelle belastet, welcher sich nach der Belastung zurückverformt. Der

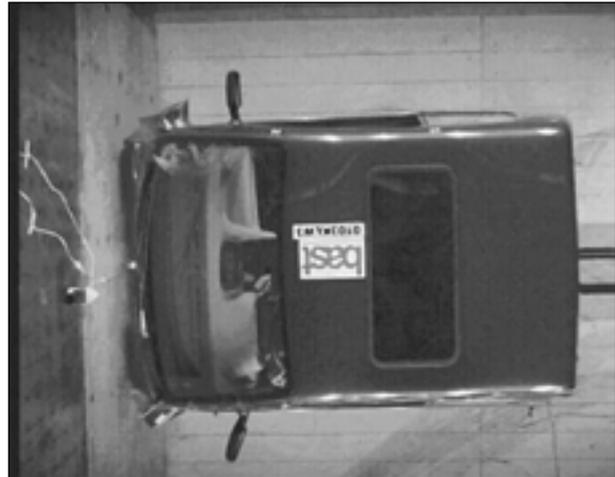


Bild 6.23: Videoaufnahme im Moment der maximalen Längsdeformation: Das Bild zeigt den Kontakt des oberen Querträgers mit dem Block

Verformungsweg ist mit ca. 35 cm gering. Das erklärt die hohen Beschleunigungen und Gurtkräfte, die beim Versuch mit diesem Fahrzeug aufgetreten sind. Bild 6.23 zeigt die maximale Längsverformung des Vorderwagens. Hierbei kommt es zum Kontakt des oberen Querträgers mit dem Block.

6.3.4 Gebrauchtfahrzeug vom Typ Ligier

Bild 6.24 zeigt den Zustand des Fahrzeugs nach dem Crash. Es fällt auf, dass annähernd alle Schweißverbindungen der Aluminiumkonstruktion des Vorderwagens abgerissen sind (Bild 6.25). Daher hat nur wenig kinetische Energie in Deformationsenergie umgewandelt werden können. Lediglich die oberen Längsträger haben sich nach innen zur Fahrzeugmitte hin verbogen (Pfeile in Bild 6.24). Die Gurtverankerung an der Gurtschlossseite wurde herausgerissen (Bild 6.26). Auch dies ist auf eine an dieser Stelle gerissene Schweißnaht zurückzuführen. Das Lenkrad wurde beim Aufprall um 4,5 cm in Richtung der Frontscheibe, also in Fahrtrichtung, verschoben.

Das Kraft-Weg-Diagramm des Ligier (Bild 6.27) zeigt das Nachgeben der einzelnen Aluschweißverbindungen bei vergleichsweise geringen Kräften von maximal 120 kN. Die Kraftspitzen am Ende des Verformungsweges entstehen durch den Kontakt des Querträgers an der Stirnwand der Fahrgastzelle (siehe auch Bild 6.28). Die im Diagramm erkennbare Rückformung am Ende des Crashes ist mit Vorsicht zu interpretieren, da die gesamte Rahmenstruktur des Fahrzeuges, auf Grund der gerissenen Schweißnähte, auseinander gebrochen ist.

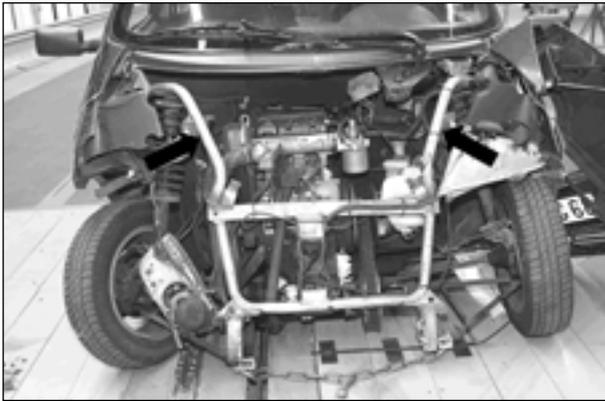


Bild 6.24: Ligier; Frontcrash mit 35 km/h vor eine starre Wand; 100 % Überdeckung



Bild 6.25: Die Schweißnähte der Vorderwagenstruktur des Ligier sind fast alle gerissen

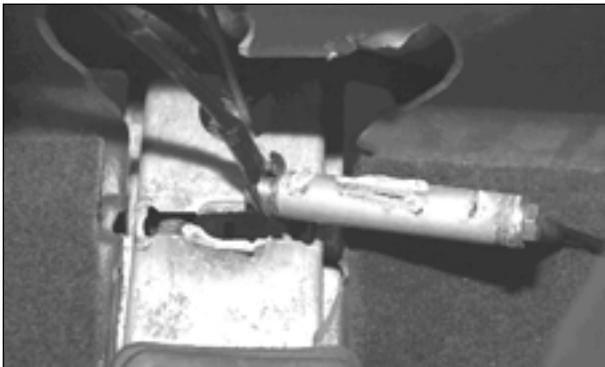


Bild 6.26: Herausgerissene Gurtverankerung beim Ligier

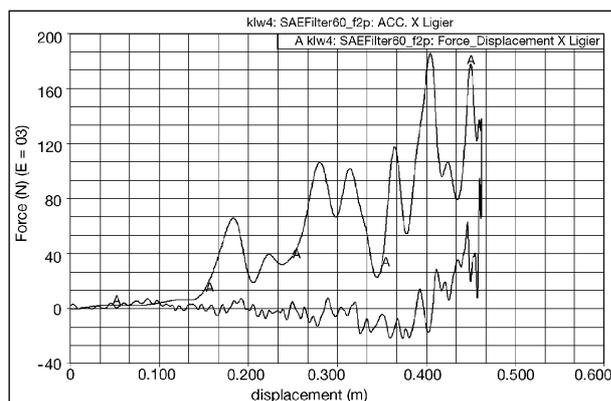


Bild 6.27: Kraft-Weg-Verlauf beim Crash des Ligier



Bild 6.28: Videoaufnahme im Moment der maximalen Längsdeformation: Das Bild zeigt den Kontakt des oberen Querträgers an der Stirnseite der Fahrgastzelle mit dem Block. Dieser Deformationsbereich zeichnet sich durch eine hohe Steifigkeit aus und soll den Fahrer z. B. beim Aufprall auf eine Mauer schützen. Es ist jedoch zu bedenken, dass dieser „Sicherheitsbereich“ bereits bei einer Aufprallgeschwindigkeit von 35 km/h in Mitleidenschaft gezogen wurde

Mit fast 45 cm hat der Ligier den größten Verformungsweg aller getesteten Fahrzeuge.

Prinzipiell ist der Kraft-Weg-Verlauf beim Ligier nahezu ideal, mit geringen Steifigkeiten im ersten Deformationsbereich für kleine Aufprallgeschwindigkeiten, mittleren Steifigkeiten im zweiten Deformationsbereich und hoher Steifigkeit im dritten Deformationsbereich zum Zwecke des Eigenschutzes.

6.4 Dummybelastungen

Tabelle 6.2 zeigt die wesentlichen Kenndaten zur Belastung des Dummies während des Crashes.

Die mit einem schwarzen Dreieck markierten Werte indizieren eine besonders hohe Belastung. Die Grundlage der Beurteilung bilden die in der letzten Spalte eingetragenen Grenzwerte der EWG 96/79 bzw. des US-Standards FMVSS 208. Der schwarze Punkt zeigt eine hohe Belastung an, welche allerdings noch unterhalb der Toleranzgrenze der zu Grunde gelegten Kriterien liegt.

6.4.1 Neufahrzeug vom Typ Bellier

Die Kenndaten der Tabelle 6.2 zeigen sehr hohe Belastungen, verbunden mit einer großen Wahrscheinlichkeit für schwere Verletzungen. Der Dummy bekommt in der Verzögerungsphase schnell Brustkontakt mit dem Lenkrad ($t = 52$ ms).

Verletzungskriterien		Bellier neu	Bellier geb.	Aixam	Ligier	Grenzwert
Kopf	HIC36 -	385,46	315,13	564,85	219,49	1000
	a _{3ms} [g]	71,52	62,73	▶ 81,91	49,75	80
Brust	a _{3ms} [g]	41,31	30,93	36,73	27,26	60
	Eindrückung [mm]	39,51	20,57	26,82	7,81	50
	VC [m/s]	● 0,98	0,10	0,09	0,02	1,0
Becken	a _{3ms} [g]	34,45	28,85	43,83	27,96	60
Oberschenkel	F _{links compr.} [kN]	0,69	1,19	0,63	2,86	10,0
	F _{rechts compr.} [kN]	1,44	2,84	1,36	2,34	10,0
Nacken	F _{Dehnung} [kN]	▶ 4,01	2,18	1,62	1,98	3,3
	F _{Scherung} [kN]	0,41	0,85	0,17	0,18	3,1
	M _{Flexion} [Nm]	18,93	▶ 232,20	85,59	48,89	195
	M _{Extension} [Nm]	- 34,32	- 37,22	- 42,08	- 47,38	- 57
Tibia unten	Tl _{links} -	0,41	0,39	0,17	0,94	1,3
	Tl _{rechts} -	0,59	▶ 1,50	▶ 1,88	0,62	1,3
Tibia oben	Tl _{links} -	0,62	0,56	0,68	0,61	1,3
	Tl _{rechts} -	0,68	0,53	0,30	0,45	1,3

Erläuterungen:
HIC 36: Der HIC (Head Injury Criteria) ist ein Indexwert, der eine kurzzeitige Belastung des Kopfes – hier, wie allgemein üblich, über eine Dauer von 36 ms – beschreibt.
a_{3ms}: Die maximale Beschleunigung über einen Zeitraum von wenigstens 3 ms (hier gemessen für Kopf, Brust und Becken).
VC: Das Viscous Criterium gibt implizit Auskunft über die Geschwindigkeit einer auftretenden Brustdeformation.
TI: Der Tibia Index ist ein Indexwert, der sich aus einer Kombination von Momenten und Kräften berechnet und die Belastung der unteren Extremitäten beschreibt.

Tab. 6.2: Kenndaten zur Dummybelastung

AIS	Schweregrad	Verletzungen (Beispiele)	Letalitätsrate [%]
0	Unverletzt		0,00
1	Gering	Schürfungen, Schnittwunden, Stauchung, Prellung, Verbrennungen 1. und 2. Grades bis 10 % der Oberfläche	0,00
2	Mäßig	Großflächige Schürfung und Prellung, ausgedehnte Weichteilverletzungen, leichte Gehirnerschütterung mit Amnesie, Verbrennungen 2. Grades bis 15 % der Oberfläche, unkomplizierter Knochenbruch	0,07
3	Schwer, nicht lebensgefährlich	Schädelfraktur ohne Liquoraustritt, Gehirnerschütterung mit Bewusstlosigkeit, Pneumothorax, Verbrennungen 2. Grades bis 25 % der Oberfläche, offene Knochenbrüche	2,91
4	Bedeutend, lebensgefährlich, Überleben wahrscheinlich	Schädelfraktur mit Liquoraustritt, Gehirnerschütterung mit Bewusstlosigkeit bis 24 Stunden, Perforation des Brustkorbes, Verbrennungen 2. oder 3. Grades bis 35 % der Oberfläche	6,88
5	Kritisch, Überleben unsicher	Schädelfraktur mit Hirnstammblutung, Organriss oder -abriss, Verbrennungen 3. Grades bis 90 % der Oberfläche	32,32
6	Maximal, nicht behandelbar, praktisch nicht überlebbar	Massive Kopfquetschung, Hirnstammlazeration, Schädelbasisfraktur, Thoraxquetschung, Aortaruptur und -durchtrennung, Trennung zwischen Thorax und Becken	100
9	Unbekannt		unbekannt

Tab. 6.3: Verletzungsschweregrad nach AIS, Verletzungsbeispiele und Letalitätsrate [16]

Durch die recht massive Eindrückung im Brustbereich (39,54 mm) wird ein beträchtlicher Teil seiner Bewegungsenergie abgebaut. Dies ist ein Grund für die relativ geringe Kopfbelastung (HIC = 385). In die Phase des ersten Brustanpralls fällt auch das Maximum des VC-Kriteriums bei t = 56 ms, welches ein Maß für das Verletzungsrisiko der inneren Organe im Brustbereich darstellt.

Um die Dummy-Messwerte zu veranschaulichen, wird im Folgenden teilweise eine Zuordnung von Messwerten und einem entsprechenden Verletzungsrisiko für den Menschen gegeben. Die Verletzungsschwere wird dabei in der Größenordnung AIS (Abbreviated Injury Scale) angegeben. Die verschiedenen AIS-Stufen sind zusammen mit beispielhaften Verletzungen in Tabelle 6.3 angegeben.

Es muss betont werden, dass dieser Zusammenhang zwischen Dummy-Messwerten und Verletzungsrisiko dem Leser als Anhaltspunkt dienen soll. Der exakte Zusammenhang konnte bisher nicht in letzter Konsequenz durch wissenschaftliche Daten validiert werden.

Bei einem VC von 1.0 m/s besteht ein 25-prozentiges Risiko für Verletzungen mit einer Schwere vom Grade ≥ AIS 4 (entsprechend einer Letalitätsrate ≥ 6,88 %). Des Weiteren kommt es zu einer starken

Zugbelastung des Halses beim Aufprall des Kopfes auf das Lenkrad, welche Verletzungen im Nackenbereich der Schwere \geq AIS 4 hervorrufen kann.

Das potenzielle Verletzungsrisiko für den Fahrer des LKfz ist für die vergleichsweise geringe Aufprallgeschwindigkeit von 35 km/h als sehr hoch einzustufen. Dies kommt insbesondere durch die Exposition besonders sensibler Körperbereiche, hier u. a. der Brust, zustande. Ursächlich für die hohe Belastung sind

- das Versagen des Sicherheitsgurtes,
- die starke Intrusion der Lenksäule, welche den Verzögerungsweg des Fahrers bis zum Aufprall auf das Lenkrad verkürzt,
- der nach vorne rutschende Sitz, welcher den Aufprall des Fahrers verstärkt,
- der hohe Schwerpunkt des Fahrzeuges und die damit verbundene Nickbewegung.

6.4.2 Gebrauchtfahrzeug vom Typ Bellier

Auch beim zweiten Bellier bekommt der Dummy als Erstes Brustkontakt mit dem Lenkrad und absorbiert dabei einen Großteil seiner kinetischen Energie. Die Brustbelastungen fallen insgesamt jedoch geringer aus, obwohl auch in diesem Fall das Gurtsystem versagt (jedoch: kein Nicken des Fahrzeuges, geringere Lenkradintrusion und kein „Nachschieben“ des Fahrersitzes). Beim Aufprall auf das Lenkrad tritt ein starkes Biegemoment im Halsbereich auf (Bild 6.29). Außerdem kommt es im Bereich der unteren Extremitäten zu hohen Belastungen. Der hohe Wert für den rechten Tibia-Index



Bild 6.29: Videoaufnahme: Aufprall des Kopfes auf das Lenkrad. Man erkennt das weit in den Innenraum geschobene Lenkrad

in Tabelle 6.1 resultiert aus einem hohen Biegemoment und indiziert eine wenigstens 10-prozentige Wahrscheinlichkeit für eine Fraktur im Bereich der rechten unteren Extremitäten. Insgesamt ist die Wahrscheinlichkeit für eine schwere Verletzung geringer als bei dem zuvor getesteten Neufahrzeug der gleichen Baureihe.

6.4.3 Gebrauchtfahrzeug vom Typ Aixam

Der Aixam ist das einzige der vier getesteten Fahrzeuge, bei welchem das Rückhaltesystem nicht versagt hat. Es ist somit auch das einzige Fahrzeug, bei welchem die Lasten für das Rückhaltesystem ermittelt werden konnten. Dabei traten sehr hohe Gurtkräfte von über 8 kN auf. Diese Kräfte hängen mit den hohen Verzögerungen auf Grund des kurzen Deformationsweges und der steifen Fahrgastzelle zusammen.

Beim Dummy des Aixam treten im Mittel die größten Verzögerungswerte auf. So liegt der Beschleunigungswert des Kopfes leicht über den zulässigen 80 g. Der Aufschlag des Kopfes erfolgt durch das funktionierende Gurtsystem exakt auf der dafür vorgesehenen Prallplatte auf dem Lenkrad (Bild 6.30). Die Brusteindrückung ist bezogen auf die hohen Gurtkräfte gering. Durch das Eindringen der Riemenscheibe des Getriebes in den Fußraum des Fahrers kommt es zu einem hohen Tibia-Index rechts unten. Die Wahrscheinlichkeit für eine Fraktur in diesem Bereich ist groß.

6.4.4 Gebrauchtfahrzeug vom Typ Ligier

Die Dummybelastungen beim Ligier liegen alle deutlich unterhalb der vorgegebenen Grenzwerte. Dies erstaunt um so mehr, wenn man bedenkt, dass auch beim Ligier das Gurtsystem versagt hat,



Bild 6.30: Videoaufnahme: Aufprall des Dummies auf die Prallplatte am Lenkrad

da die innere Gurtverankerung beim Aufprall herausgerissen wurde. Die Videodaten (Bilder 6.31a und 6.31b) lassen erkennen, dass sich das Lenkrad beim Anprall an die Wand nach vorne in Richtung der Frontscheibe bewegt. Der Dummy wird in Fahrtrichtung beschleunigt und berührt zunächst mit den Knien das Kniepolster des Armaturenbrettes. Dieser Verzögerungsmechanismus zeigt sich in den im Vergleich mit den anderen Fahrzeugen hohen axialen Oberschenkelkräften von 2,86 kN links- bzw. 2,34 kN rechtsseitig. Diese Kräfte liegen jedoch noch weit unterhalb einer bedenklichen Last. Nach dem Knieanschlag bewegt sich der Oberkörper des Dummys weiter nach vorne. Dabei hat er die Arme vor dem Körper angewinkelt. In dieser Haltung schlägt er mit den Unterarmen zuerst gegen das Armaturenbrett. Auf Grund dieser „Schutzhaltung“ kommt es zu keinen nennenswerten Brusteindrückungen oder Kopfbeschleunigungen. Der Dummy besitzt in den Armen standardmäßig keine Messaufnehmer, so dass über die an dieser Stelle aufgetretenen Lasten keine Aussage gemacht werden kann.



Bild 6.31a: Videosequenz zur Verdeutlichung der Bewegung des Dummys



Bild 6.31b: Videosequenz zur Verdeutlichung der Bewegung des Dummys

7 Ergebnisse und Empfehlungen

7.1 Aktive Sicherheit

7.1.1 Untersuchung der Fahrzeuge

Die Untersuchung der Fahrzeuge auf technische Mängel im Rahmen einer §-29-Untersuchung und darüber hinausgehender Untersuchungen zeigen, dass die gebrauchten Leichtkraftfahrzeuge erhebliche Mängel aufweisen, die sicherheitsgefährdend sind. Die Belege dafür werden im Folgenden aufgeführt.

Es hat sich gezeigt, dass fast alle LKfz bezüglich ihres Bremsvermögens beanstandet wurden. Die Betriebs- und Feststellbremsen zeigten ungleichmäßige Wirkungen, was bei dem kurzen Radstand der Fahrzeuge zu kritischen Situationen führen kann. Weiterhin zeigen der Rahmen und die tragenden Teile, soweit sie nicht aus Kunststoff oder Aluminium sind, wesentliche Mängel, die auf Korrosion und fehlerhaft durchgeführte Reparaturen zurückzuführen sind.

Bei einem LKfz wurde Ölverlust bemerkt, was zu Umweltverschmutzungen und Gefährdung des nachfolgenden Verkehrs durch Öl auf der Fahrbahn führen kann.

Im Bereich der Beleuchtung ist zu nennen, dass Scheinwerfer falsch eingestellt waren und Lampen defekt waren.

7.1.2 Fahrversuche

Die Fahrversuche zur aktiven Sicherheit zeigen, dass im Hinblick auf die fahrdynamischen Eigenschaften keine wesentlichen Unterschiede zwischen den gebrauchten LKfz und dem Neufahrzeug vorhanden sind. Dies gilt mit kleinen Einschränkungen auch für den Vergleich mit einem normalen Kleinwagen. Es traten im Verlauf der Messungen auch bei hohen Werten des Betrags von Längs- und Querschleunigung keine kritischen Fahrsituationen auf.

Bei den Bremsversuchen zeigen die LKfz auf Grund ihres geringen Radstandes und hohen Schwerpunktes die Neigung, mit dem Fahrzeugheck auszubrechen. Eine technische Überwachung hätte aber auf diese Eigenschaft der LKfz, die auf dem Bauprinzip beruht, keinen Einfluss.

Bei dem neuen LKfz war der Hauptbremszylinder defekt, so dass die Hinterräder bei starken Brem-

sungen zuerst blockierten, was zum Ausbrechen des Fahrzeugs führte. Dieser Mangel in der Bremskraftverteilung im dynamischen Betrieb mit veränderlicher Radlast (Nickbewegung beim Bremsen) wurde bei der Hauptuntersuchung mit der statischen Bremsenprüfung nicht entdeckt. Dies wäre auch bei einem normalen Pkw der Fall gewesen. Eine kurze Probefahrt mit Test der Bremsanlage durch eine starke Bremsung aus normaler Fahrgeschwindigkeit wäre daher für die technische Überwachung der LKfz sinnvoll.

Die Versuche zur Lenkmomentmessung zeigten, dass bei einem LKfz starke Lenkmomentdifferenzen zwischen Links- und Rechtskurven auftraten, die das Beherrschen des Fahrzeugs deutlich erschweren. Dieser erhebliche sicherheitsrelevante Mangel wurde bei der §-29-Untersuchung ebenfalls nicht entdeckt. Auch dieser Missstand wäre mit einer kurzen Probefahrt mit Prüfung der ordnungsgemäßen Funktionsfähigkeit der Lenkung behoben.

7.2 Passive Sicherheit

Die vier getesteten LKfz wurden mit einer vergleichsweise geringen Geschwindigkeit von 35 km/h gegen eine flache Wand gefahren. Die Überdeckung betrug 100 %. Die Belastungen für die Fahrzeugstruktur sind bei diesem Test im Allgemeinen geringer als bei einem realen Verkehrsunfall, da 100 % der Frontstruktur zur Aufnahme der Bewegungsenergie zur Verfügung stehen.

Die festgestellten Intrusionen

- Lenkradintrusionen bei beiden Belliers,
- Eindringen der Getriebieremenscheibe beim Aixam

dürften in einem realen Unfall stärker sein und entsprechend schwerere Verletzungen nach sich ziehen. Insbesondere das Eindringen der Lenksäule beim Bellier kann zu schweren Verletzungen im Brustbereich führen.

Das Rückhaltesystem Gurt wurde auf Grund der starken Verzögerungen einer hohen Belastung ausgesetzt. Das Versagen dieses Sicherheitssystems in drei von vier Fällen ist jedoch nicht nur auf diese hohen Belastungen zurückzuführen. Erkennbare Gründe sind z. B. die unzureichende Verankerung des Gurtes durch ein in die GfK-Karosserie eingelegetes Stahlprofil, wie beim Bellier. Ebenso war die

Verschweißung der mittleren Gurtverankerung mit der Bodengruppe beim Ligier mangelhaft.

Das Problem der Lenksäulenintrusion kann, wie Aixam und Ligier zeigen, durch eine Befestigung an einem Querträger im Bereich der Stirnwand gelöst werden. Den Wert einer solchen Maßnahme erkennt man am Ligier, wo der Dummy trotz fehlerhaften Rückhaltesystems seine Energie primär über einen Kniekontakt mit der Armaturentafel abbauen konnte, bevor es zum Brust- und Kopfkontakt mit dem Lenkrad kam. Bild 7.1 zeigt die Befestigung der Lenksäule am vorderen Querrahmen der Fahrgastzelle.

Die insgesamt aufgetretenen hohen Verzögerungswerte für Struktur und Dummy müssen durch eine kontinuierlichere Energieaufnahme über den kurzen zur Verfügung stehenden Verformungsweg verringert werden. Die Energieaufnahme durch Verbiegung der Rahmenkonstruktion ist dazu ungeeignet. Eine Möglichkeit bietet der Einbau von Pralltöpfen, welche die Energie durch Faltung aufnehmen. Außerdem sollte auf eine ausreichend stabile Verankerung des Gurtsystems geachtet werden. Eine massive Rahmenkonstruktion der Fahrgastzelle, wie beim Aixam und Ligier vorhanden, bildet die Grundlage für eine solche Verankerungsmöglichkeit. Eine solche Zelle wäre auch den beim Crash auftretenden dynamischen Lasten besser gewachsen.

Insgesamt zeigt sich also bei den LKfz ein erhebliches Potenzial zur Verbesserung der passiven Sicherheit. Ein schlechteres Abschneiden der gebrauchten Fahrzeuge gegenüber dem Neufahrzeug bei den Tests, das man wegen einer fehlenden

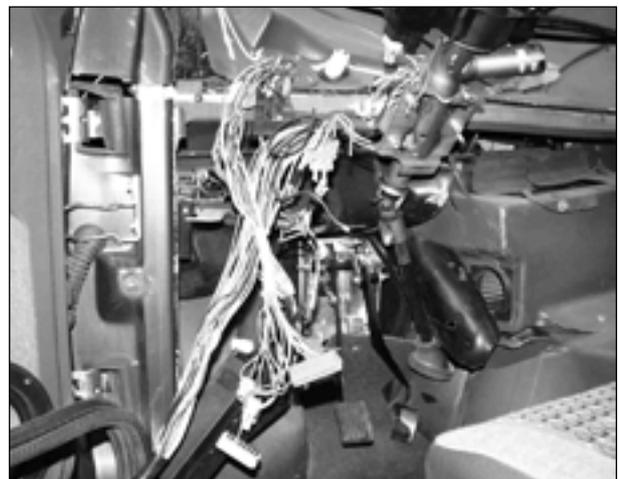


Bild 7.1: Befestigung der Lenksäule des Ligier am vorderen Querrahmen der Fahrgastzelle

technischen Überwachung hätte vermuten können, ist nicht festzustellen. Wesentliche Unterschiede in den Crashtestergebnissen ergeben sich hauptsächlich auf Grund der unterschiedlichen Bauweisen der LKfz (siehe Abschnitt 6.2).

7.3 Konsequenz für die technische Überwachung

Auch wenn die untersuchten drei gebrauchten LKfz und das eine neue LKfz nur eine Stichprobe aus der gesamten europäischen LKfz-Flotte darstellen, lassen die Ergebnisse, auch auf Grund der angelegten Auswahlkriterien bei der Beschaffung der LKfz, den Schluss zu, dass eine periodische technische Überwachung der LKfz mit auf die Fahrzeugklasse zugeschnittenem Prüfumfang zu einer deutlichen Verbesserung der Verkehrssicherheit führen würde.

Mängel an Rahmen, tragenden Teilen und Fahrwerk würden im Rahmen einer regelmäßigen technischen Überwachung der LKfz allein durch Sichtprüfung festgestellt. Gleiches gilt für Defekte, bei denen Betriebsflüssigkeiten austreten.

Die Mängel an der Beleuchtung würden im Rahmen einer technischen Überwachung ebenfalls entdeckt, so dass nach Instandsetzen der Beleuchtungseinrichtungen Gefährdungen durch Blendung oder nicht vorhandene Signaleinrichtungen abgestellt wären. Insbesondere bei der relativ geringen Geschwindigkeit der LKfz im Außerortsverkehr stellt eine korrekte Beleuchtung einen wichtigen Sicherheitsfaktor dar. Im Zusammenhang mit der Beleuchtung ist unabhängig von der Frage der technischen Überwachung zu überlegen, ob die LKfz auf Grund der Kombination der geringen Geschwindigkeit mit der Optik eines kleinen Pkw besonders gekennzeichnet sein sollten, um auf die LKfz aufmerksam zu machen und damit die sich aus den Geschwindigkeitsdifferenzen ergebenden Gefahren abzumildern.

In Österreich wurden bei der technischen Überwachung starke Überschreitungen der für die LKfz geforderten bauartbedingten Höchstgeschwindigkeit festgestellt, die auf Manipulationen an der Geschwindigkeitsbegrenzung zurückzuführen waren. Auf diesen Punkt sollte bei einer technischen Überwachung ebenfalls besonderer Wert gelegt werden.

Insgesamt sollte sich eine technische Überwachung für LKfz auch bezüglich der Fristen an der

von Pkw orientieren, jedoch zusätzlich eine kurze Probefahrt mit Bremsprobe und Test der Maximalgeschwindigkeit einschließen. Die Prüfbedingungen für die LKfz sollten sich jedoch an die Anforderungen des Typgenehmigungsverfahrens für LKfz anlehnen.

8 Zusammenfassung

Die Fahrzeugkategorie der vierrädrigen Leichtkraftfahrzeuge unterliegt derzeit in der Bundesrepublik Deutschland keiner technischen Überwachung. Um die Frage zu klären, ob das Fehlen der technischen Überwachung Auswirkungen auf die aktive und passive Sicherheit von gebrauchten Leichtkraftfahrzeugen (LKfz) hat, wurde von der Bundesanstalt für Straßenwesen ein Forschungsprojekt durchgeführt. Im Rahmen dieses Projektes wurden drei gebrauchte Leichtkraftfahrzeuge im Hinblick auf sicherheitsrelevante Mängel untersucht. Zum Vergleich wurden die Untersuchungen ebenfalls auf ein Neufahrzeug eines LKfz-Typs sowie einen gewöhnlichen Kleinwagen ausgedehnt.

Im Rahmen des Projektes wurden die Leichtkraftfahrzeuge einer Hauptuntersuchung nach § 29 StVZO unterzogen, wie sie für Pkw vorgeschrieben ist. Weiterhin wurden Achsvermessungen sowie weitere Prüfungen der Fahrzeuge auf Mängel vorgenommen. Mit allen Fahrzeugen wurden Fahrversuche durchgeführt, um die aktive Sicherheit und das Fahrverhalten der gebrauchten LKfz beurteilen zu können. Weiterhin wurden Versuche zur passiven Sicherheit der LKfz durchgeführt. Alle vier LKfz wurden mit Dummy und entsprechender Sensorik ausgestattet und einem Aufprall mit 35 km/h gegen einen starren Block unterzogen. Die Überdeckung dabei betrug 100 %.

Das Fehlen der technischen Überwachung hat, soweit die Messungen an vier LKfz den Schluss zulassen, keine Auswirkungen auf die passive Sicherheit von gebrauchten Leichtkraftfahrzeugen. Es zeigt sich jedoch allgemein ein erhebliches Verbesserungspotenzial bei den LKfz zum Schutz der Insassen bei einem Unfall.

Aus den Prüfungen und Versuchen zur aktiven Sicherheit ist zu folgern, dass eine technische Überwachung der LKfz nötig ist. Die LKfz weisen ein weites Spektrum an sicherheitsrelevanten Mängeln auf, die im Verlauf einer technischen Überwachung entdeckt worden wären. Ohne eine Überprüfung

der Fahrzeuge werden die Mängel nicht behoben und verbleiben gegebenenfalls für die restliche Lebensdauer des LKfz. Dieses stellt damit eine Gefährdung für Fahrer und Mitfahrer im LKfz sowie für andere Verkehrsteilnehmer dar. Da die LKfz im Innerortsbereich den normalen Pkw hinsichtlich der Fahrleistungen und des Bremsvermögens nicht nachstehen, sollte sich die technische Überwachung der LKfz an der der Pkw mit an die Klasse der LKfz angepassten Anforderungen orientieren. Insbesondere eine kurze Probefahrt mit Bremsprobe sowie Test der Lenkanlage und der Maximalgeschwindigkeit sollte zum Umfang der Prüfung gehören.

Die Autoren danken Herrn Dr. KLÖCKNER und Herrn Dipl.-Ing. KRAUTSCHEID für die geleisteten Vorarbeiten zu diesem Projekt.

9 Literatur

- [1] FEE Fahrzeugtechnik EWG/ECE: Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften für Straßenfahrzeuge (EWG-Richtlinien) und Regelungen der Economic Commission for Europe für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger, Grundwerk mit 44. Ergänzungslieferung, Kirschbaum Verlag Bonn, Oktober 2002, 92/61/EWG
- [2] StVZO Straßenverkehrs-Zulassungs-Ordnung: Grundwerk mit 31. Ergänzungslieferung, Stand 1. Oktober 2002, Kirschbaum Verlag Bonn, § 18
- [3] WINKELBAUER, M.: Kuratorium für Verkehrssicherheit, Wien, persönliche Mitteilung, Juli 2000
- [4] GASSMANN, St., KLIPPERT, U.: Sicherheitsbeurteilung kleiner Stadt-Pkw, Bericht zum Forschungsprojekt 8519 der Bundesanstalt für Straßenwesen, Bereich Unfallforschung, Bergisch Gladbach, Mai 1988
- [5] AutomobilRevue Nr. 41, Oktober 2001
- [6] FEE Fahrzeugtechnik EWG/ECE: Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften für Straßenfahrzeuge (EWG-Richtlinien) und Regelungen der Economic Commission for Europe für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger, Grundwerk mit 44. Ergänzungslieferung, Kirschbaum Verlag Bonn, Stand Oktober 2002, 2002/24/EG
- [7] NN: Handbuch zu RT-EDAS, Version 2.8, Ingenieurbüro Meyer & Heinen, Erfstadt, 1996
- [8] „Passenger Cars – Braking in a turn – Open loop test procedure“, Draft International Standard ISO/DIS 7975, International Organization for Standardization, 1995
- [9] „Passenger Cars – Steady-state circular test procedure“, Draft International Standard ISO/DIS 4138, International Organization for Standardization, 1995
- [10] „Passenger Cars – Test track for a severe lane-change manoeuvre – Part 2: Obstacle avoidance“, Draft International Standard ISO 3888-2, International Organization for Standardization, 2000
- [11] „Sicherheit von Leichtfahrzeugen“, Arbeitsgruppe für Unfallmechanik Universität und Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Mai 1997
- [12] FEE Fahrzeugtechnik EWG/ECE, Richtlinien der Europäischen Gemeinschaften für Straßenfahrzeuge (EWG-Richtlinien) und Regelungen der Economic Commission for Europe für Kraftfahrzeuge und ihre Anhänger, Grundwerk mit 44. Ergänzungslieferung, Kirschbaum Verlag Bonn, Stand 1. August 2002, 74/297/EWG
- [13] UTAC-Prüfbericht: Proces-Verbal No 96/05028, Monthlery, Oktober 1996
- [14] UTAC-Prüfbericht: Proces-Verbal No 97/01108, Monthlery, Juni 1997
- [15] UTAC-Prüfbericht: Proces-Verbal No 00/04232, Monthlery, Juli 2000
- [16] KRAMER, F.: Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen, Vieweg, Braunschweig/Wiesbaden, 1998; ISBN 3-528-06915-5

Schriftenreihe

Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen

Unterreihe „Fahrzeugtechnik“

F 1: Einfluß der Korrosion auf die passive Sicherheit von Pkw
E. Faerber, G.-D. Wobben
88 Seiten, 1993 € 12,50

F 2: Kriterien für die Prüfung von Motorradhelmen
W. König, H. Werner, E. Schuller, G. Beier, W. Spann
80 Seiten, 1993 € 13,50

F 3: Sicherheit von Motorradhelmen
H. Zellmer
52 Seiten, 1993 € 11,00

F 4: Weiterentwicklung der Abgassonderuntersuchung
Teil 1: Vergleich der Ergebnisse aus Abgasuntersuchung und Typprüfverfahren
A. Richter, G. Michelmann
Teil 2: Praxiserprobung des vorgesehenen Prüfverfahrens für Fahrzeuge mit Katalysator
Chr. Albus
80 Seiten, 1993 € 13,50

F 5: Nutzen durch fahrzeugseitigen Fußgängerschutz
R. Bamberg, H. Zellmer
56 Seiten, 1994 € 11,00

F 6: Sicherheit von Fahrradanhängern zum Personentransport
G.-D. Wobben, H. Zahn
64 Seiten, 1994 € 12,50

F 7: Kontrastwahrnehmung bei unterschiedlicher Lichttransmission von Pkw-Scheiben
Teil 1: Kontrastwahrnehmung im nächtlichen Straßenverkehr bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
P. Junge
Teil 2: Kontrastwahrnehmung in der Dämmerung bei Fahrern mit verminderter Tagessehschärfe
M. Chmielarz, B. Siegl
Teil 3: Wirkung abgedunkelter Heckscheiben - Vergleichsstudie -
H. Derkum
88 Seiten, 1994 € 14,00

F 8: Anforderungen an den Kinnschutz von Integralhelmen
D. Otte, G. Schroeder, J. Eidam, B. Kraemer
32 Seiten, 1994 € 10,50

F 9: Kraftschlußpotentiale moderner Motorradreifen unter Straßenbedingungen
M. Schmieder, D. Bley, M. Spickermann, V. von Zettelmann
40 Seiten, 1994 € 11,00

F 10: Einsatz der Gasentladungslampe in Kfz-Scheinwerfern
J. Damasky
52 Seiten, 1995 € 12,50

F 11: Informationsdarstellung im Fahrzeug mit Hilfe eines Head-Up-Displays
H. Mutschler
124 Seiten, 1995 € 16,50

F 12: Gefährdung durch Frontschutzbügel an Geländefahrzeugen
Teil 1: Gefährdung von Fußgängern und Radfahrern
H. Zellmer, M. Schmid
Teil 2: Quantifizierung der Gefährdung von Fußgängern
H. Zellmer
44 Seiten, 1995 € 12,00

F 13: Untersuchung rollwiderstandsarmer Pkw-Reifen
K. Sander
40 Seiten, 1995 € 11,50

F 14: Der Aufprall des Kopfes auf die Fronthaube von Pkw beim Fußgängerunfall
Entwicklung eines Prüfverfahrens
K.-P. Glaeser
100 Seiten, 1996 € 15,50

F 15: Verkehrssicherheit von Fahrrädern
Teil 1: Möglichkeiten zur Verbesserung der Verkehrssicherheit von Fahrrädern
C. Heinrich, E. von der Osten-Sacken
Teil 2: Ergebnisse aus einem Expertengespräch „Verkehrssicherheit von Fahrrädern“
F. Nicklisch
220 Seiten, 1996 € 22,50

F 16: Messung der tatsächlichen Achslasten von Nutzfahrzeugen
R. Sagerer, K. Wartenberg, D. Schmidt
52 Seiten, 1996 € 12,50

- F 17: **Sicherheitsbewertung von Personenkraftwagen**
- Problemanalyse und Verfahrenskonzept
D. Grunow, G. Heuser, H.J. Krüger, Chr. Zange-
meister
136 Seiten, 1996 € 17,50
- F 18: **Bremsverhalten von Fahrern von Motorrädern mit und ohne ABS**
J. Präckel
84 Seiten, 1996 € 14,50
- F 19: **Schwingungsdämpferprüfung an Pkw im Rahmen der Hauptuntersuchung**
E. Pullwitt
44 Seiten, 1996 € 11,50
- F 20: **Vergleichsmessungen des Rollwiderstands auf der Straße und im Prüfstand**
K. Sander
60 Seiten, 1996 € 13,00
- F 21: **Einflußgrößen auf den Kraftschluß bei Nässe**
M. Fach
80 Seiten, 1996 € 14,00
- F 22: **Schadstoffemissionen und Kraftstoffverbrauch bei kurzzeitiger Motorabschaltung**
B. Bugsel, Chr. Albus, W. Sievert
24 Seiten, 1997 € 10,50
- F 23: **Unfalldatenschreiber als Informationsquelle für die Unfallforschung in der Pre-Crash-Phase**
F. A. Berg, U. Mayer
171 Seiten, 1997 € 19,50
- F 24: **Beurteilung der Sicherheitsaspekte eines neuartigen Zweiradkonzeptes**
I. Kalliske, Ch. Albus, E. Faerber
44 Seiten, 1998 € 12,00
- F 25: **Sicherheit des Transportes von Kindern auf Fahrrädern und in Fahrradanhängern**
I. Kalliske, D. Wobben, M. Nee
39 Seiten, 1998 € 11,50
- F 26: **Entwicklung eines Testverfahrens für Antriebsschlupf-Regelsysteme**
T. F. Schweers
74 Seiten, 1999 € 11,50
- F 27: **Betriebslasten an Fahrrädern**
M. Vötter, E. Groß, St. Esser, A. Born, M. Flamm, D. Rieck
22 Seiten, 1999 € 10,50
- F 28: **Überprüfung elektronischer Systeme in Kraftfahrzeugen**
R. Kohlstruck, H. Wallentowitz
59 Seiten, 1999 € 13,00
- F 29: **Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen**
Teil 1: Verkehrssicherheit runderneuerter Reifen
K.-P. Glaeser
Teil 2: Verkehrssicherheit runderneuerter Lkw-Reifen
Th. Aubel
54 Seiten, 2000 € 13,00
- F 30: **Rechnerische Simulation des Fahrverhaltens von Lkw mit Breitreifen**
A. Faber
44 Seiten, 2000 € 12,50
- F 31: **Passive Sicherheit von Pkw bei Verkehrsunfällen**
D. Otte
43 Seiten, 2000 € 12,50
- F 32: **Die Fahrzeugtechnische Versuchsanlage der BAST**
Einweihung mit Verleihung des Verkehrssicherheitspreises 2000 am 4. und 5. Mai 2000 in Bergisch Gladbach
63 Seiten, 2000 € 14,00
- F 33: **Sicherheitsbelange aktiver Fahrdynamikregelungen**
W. Gaupp, D. Wobben, M. Horn, M. Seemann
116 Seiten, 2000 € 17,00
- F 34: **Ermittlung von Emissionen im Stationärbetrieb mit dem Emissions-Mess-Fahrzeug**
K. Sander, B. Bugsel, W. Sievert, Ch. Albus
22 Seiten, 2001 € 11,00
- F 35: **Sicherheitsanalyse der Systeme zum Automatischen Fahren**
H. Wallentowitz, D. Ehmanns, D. Neunzig, M. Weilkes, B. Steinauer, F. Bölling, A. Richter, W. Gaupp
147 Seiten, 2001 € 19,00
- F 36: **Anforderungen an Rückspiegel von Kraft-rädern**
A. van de Sand, H. Wallentowitz, Th. Schrüllkamp
64 Seiten, 2001 € 14,00
- F 37: **Abgasuntersuchung - Erfolgskontrolle: Ottomotor - G-Kat**
G. Afflerbach, D. Hassel, H. Schmidt, K.-S. Sonnborn, F.-J. Weber
32 Seiten, 2001 € 11,50

F 38: Optimierte Fahrzeugfront hinsichtlich des Fußgängerschutzes

F. Friesen, H. Wallentowitz, M. Philipps
44 Seiten, 2001 € 12,50

F 39: Optimierung des rückwärtigen Signalbildes zur Reduzierung von Auffahrunfällen bei Gefahrenbremsung

J. Gail, M. Lorig, Chr. Gelau, D. Heuzeroth, W. Sievert
27 Seiten, 2002 € 9,50

F 40: Prüfverfahren für Spritzschutzsysteme an Kraftfahrzeugen

Chr. Domsch, D. Sandkühler, H. Wallentowitz
104 Seiten, 2002 € 16,50

F 41: Abgasuntersuchung: Dieselfahrzeuge

G. Afflerbach, D. Hassel, H. J. Mäurer, H. Schmidt, F.-J. Weber
63 Seiten, 2003 € 14,00

F 42: Schwachstellenanalyse zur Optimierung des Notausstiegssystems bei Reisebussen

M. Krieg, G. Rüter, A. Weißgerber
79 Seiten, 2003 € 15,00

F 43: Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall

R. Nett
99 Seiten, 2003 € 16,50

F 44: Aktive und passive Sicherheit gebrauchter Leichtkraftfahrzeuge

J. Gail, C.-H. Pastor, M. Spiering, K. Sander, M. Lorig
36 Seiten, 2003 € 12,00

Zu beziehen durch:
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
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de