

Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall

Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen

Fahrzeugtechnik Heft F 43

bast

Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall

Zur Erlangung des akademischen Grades eines
Doktor-Ingenieurs

vom Fachgebiet Kraftfahrzeuge am
Institut für Land- und Seeverkehr der
Technischen Universität Berlin
genehmigte und von

Dipl.-Ing. Reiner Nett
aus Aschaffenburg vorgelegte

Dissertation

Aschaffenburg, im Dezember 2002

D 83

**Berichte der
Bundesanstalt für Straßenwesen**

Fahrzeugtechnik Heft F 43

bast

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

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

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

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

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

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

Impressum

Bericht zum Forschungsprojekt 82.111/1997:
Entwicklung eines Testverfahrens für Kinderschutzsysteme beim Seitenaufprall

Projektbetreuung

Roland Schäfer

Herausgeber

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

Redaktion

Referat Öffentlichkeitsarbeit

Druck und Verlag

Wirtschaftsverlag NW
Verlag für neue Wissenschaft GmbH
Postfach 10 11 10, D-27511 Bremerhaven
Telefon: (04 71) 9 45 44 - 0
Telefax: (04 71) 9 45 44 77
Email: vertrieb@nw-verlag.de
Internet: www.nw-verlag.de
ISSN 0943-9307
ISBN 3-86509-016-8
Bergisch Gladbach, August 2003

Kurzfassung – Abstract

Testverfahren zur Bewertung und Verbesserung von Kinderschutzsystemen beim Pkw-Seitenaufprall

Die gegenwärtige europäische Regelung zur Prüfung und Zulassung von Kinderschutzsystemen (KSS) für Pkw (ECE-R44-03) beinhaltet dynamische Tests zur Frontal- und Heckaufprallsimulation. Der Seitenaufprall ist bisher nicht berücksichtigt, obwohl die Verletzungsschwere und die Folgekosten groß sind. Im Gegensatz zum Frontal- und Heckaufprall ist der Seitenaufprall gekennzeichnet durch eine direkte Lasteinleitung durch intrudierende Strukturen. Das Kinderschutzsystem und das Kind werden durch große Kontaktkräfte direkt beaufschlagt. Verletzungen des Kopfes und Halsbereichs von Kindern in KSS sind hierbei häufig und schwer.

Seit 1993 beschäftigt sich daher eine ISO-Arbeitsgruppe (International Standardization Organisation) mit der Entwicklung eines Testverfahrens zur Prüfung von KSS beim Seitenaufprall. Die Ziele und entsprechende Ideen sowie Konzepte beteiligter Parteien sind bis heute kontrovers, so dass bisher keine endgültige Einigung im Rahmen der Arbeitsgruppe erzielt werden konnte.

Ziel der vorliegenden Arbeit als Abschluss eines Projekts der BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen) und dem Fachgebiet Kraftfahrzeuge der TU Berlin ist es, die komplexe Problematik zu dem Thema umfassend darzustellen und gleichzeitig einen ganzheitlichen Lösungsvorschlag anzubieten. Hierzu sind die Teilergebnisse der ISO-Arbeitsgruppe im ersten Schritt strukturiert und analysiert worden. Wissenslücken wurden detektiert und in einem weiteren Schritt beseitigt. Alle Teilergebnisse wurden im Rahmen der ISO-Arbeitsgruppe präsentiert, diskutiert und größtenteils auch akzeptiert. Der aktuelle Stand der ISO-WG1 ist somit maßgeblich von den hier erzielten Ergebnissen beeinflusst.

Als Kern der vorliegenden Arbeit ist an der TU Berlin das Konzept für ein Testverfahren entwickelt, umgesetzt und geprüft worden. Die wesentlichen Parameter des realen Seitenaufpralls wie:

- Beschleunigungsniveau des gestoßenen Pkw,
- Delta-v des gestoßenen Pkw,
- Maximalintrusion beim gestoßenen Pkw sowie
- die maximale Intrusionsgeschwindigkeit im Kopfbereich

sind wiedergegeben.

In Abgrenzung zu aktuellen, komplexen Schlittentestverfahren, die z. B. zur Entwicklung von Seitenairbags dienen, ist die statische und dynamische Intrusionsgestalt einer realen Pkw-Seitenstruktur hingegen stark vereinfacht, aber ausreichend dargestellt.

Die Ergebnisse zeigen, dass es prinzipiell möglich ist, das Schuttpotential von rückwärtsgerichteten sowie vorwärtsgerichteten KSS mit dieser Prozedur zu analysieren. Die Seitenaufprallabbildungsgüte ist hoch bei einer gleichzeitig sehr guten Reproduzierbarkeit der Messergebnisse.

So zeigen die Tests, dass die Kinematik des Kopf- und Halsbereichs im Wesentlichen von der Gestalt des KSS im Seitenbereich abhängig ist. Ausreichend große Seitenwangen können den Kopf flächig stützen und vermeiden so den direkten Kontakt zu intrudierenden Strukturen. Gleichzeitig wird die starke laterale Inklination der Halswirbelsäule reduziert. Die Belastungen am Kopf sind aber bei allen getesteten KSS hoch und liegen deutlich oberhalb diskutierter Grenzwerte. Bei genauer Betrachtung der KSS-Seitenwangenpolsterung fällt auf, dass diese entweder gar nicht oder nur rudimentär vorhanden ist. Modifikationen, die abschließend an KSS vorgenommen wurden, zeigen aber auf, dass bereits durch einfache technische Maßnahmen die Belastungen im Kopfbereich signifikant gesenkt werden können.

Das mit dieser Arbeit vorgelegte Testverfahren bietet KSS-Herstellern wie auch dem Gesetzgeber die Möglichkeit, Schwächen von KSS aufzudecken und Modifikationen zielgerichtet durchzuführen. Durch die Berücksichtigung des realen Seitenaufpralls ist gewährleistet, dass alle Optimierungen seitens der KSS-Hersteller auch positiven Einfluss auf die passive Sicherheit von Kindern in Pkw haben können. Eine maximale Reduktion der schwer bzw. tödlich verletzten Kinder als Pkw-Insassen in Höhe von ca. 10% ist bei 100%-iger Marktdurchdringung mit optimal gestalteten Produkten realistisch. Dies entspricht einer Verringerung der Anzahl getöteter Kinder um ca. 10 sowie schwerverletzter Kinder um ca. 200 pro Jahr in Deutschland.

Test methods for assessing and improving child protection systems in side-impact crashes in passenger cars.

The current European regulation on testing and licensing of child protection systems for passenger cars (ECE-R44-03) includes dynamic tests for frontal-impact and rear-impact simulation. Side impact has not been allowed for to date even though the injury severity and consequential costs are high. Unlike frontal impact and rear impact, side impact is characterised by a direct load admission as the result of intrusive structures. The child protection system and the child are subjected directly to high contact forces. Injuries to the head and neck area of children in child protection systems are frequent and severe in this case.

Consequently, an ISO (International Standardisation Organisation) working group has been investigating development of a test method for testing child protection systems in side-impact accidents since 1993. The objective and corresponding ideas and concepts of parties involved have been controversial through to today so that it has not yet been possible to reach a definitive agreement within the framework of the working group.

The aim of the present study, as a conclusion of a project conducted by the Federal Highway Research Institute (BAST) and the Motor Vehicles Faculty of Berlin Technical University, is to comprehensively present the complex problems relating to the topic and, at the same time, offer an integral proposal for solving the problem. To this aim, the partial results of the ISO working group were structured and analysed in an initial step. Gaps in available knowledge were detected and eliminated in a further step. All partial results were presented, discussed and also largely accepted within the framework of the ISO working group. The current status of ISO working group 1 is thus crucially influenced by the results achieved here.

As the core of the present study, the concept for a test method was developed, implemented and tested at Berlin Technical University. The essential parameters of the real side impact, such as:

- acceleration level of the impacted passenger car
- delta-v of the impacted passenger car
- maximum intrusion on the impacted passenger car and

- maximum intrusion velocity in the head area are presented.

Unlike current, complex sled test methods which are used to develop side airbags for instance, the static and dynamic intrusion configuration of a real passenger car side structure is greatly simplified but adequately presented.

The results indicate that, in principle, it is possible to analyse the protection potential of backward-pointing and forward-pointing child protection systems with this procedure. The quality of side impact imaging is high and, at the same time, reproducibility of the measured results is very good.

Thus, the tests indicate that the kinematics of the head and neck area are essentially dependent on the configuration of the child protection system in the side area. Adequately large lateral supports are able to support the head over a large area and thus avoid direct contact with intrusive structures. At the same time, the high lateral inclination of the cervical vertebral column is reduced. The loads on the head are, however, high in the case of all child protection systems tested and lie well above discussed limit values. If we consider the child protection system lateral support cushioning more precisely, we can see that this is either not present at all or is present only in rudimentary form. Modifications which were implemented on child protection systems in the concluding phase do, however, indicate that even simple technical measures are able to significantly lower the loads in the head area.

The test method submitted with this study offers manufacturers of child protection systems and legislators the option of revealing vulnerabilities in child protection systems and implementing modifications in targeted manner. Allowing for the real side impact ensures that all optimisations on the part of the child protection system manufacturers are also able to positively impact on passive safety of children in passenger cars. A maximum reduction of around 10 % in the number of children seriously injured or suffering lethal injuries as passenger car occupants is realistic with 100 % market penetration of optimally designed products. This corresponds to an approx. 10 % reduction in the number of children killed and around 200 seriously injured children less per annum in Germany.

Inhalt

1	Einleitung	7	3.4	Ableitung von Schutzkriterien aus CREST	23
1.1	Grundlagen der Kindersicherheit in Pkw	7	3.4.1	Methodik	23
1.2	Ausgangslage zu Seitenaufpralltestverfahren	9	3.4.2	CREST-Unfallrekonstruktionen	24
1.3	Vorgehensweise	10	4	Konzeption und Konstruktion einer Versuchseinrichtung	25
1.4	Anmerkungen des Verfassers	10	4.1	Anforderungskatalog an ein standardisierungsfähiges Testverfahren	25
2	Theoretische Grundlagen	11	4.1.1	Kinematik des Testaufbaus	25
2.1	Der Pkw im Seitenaufprall	11	4.1.2	Intrusionsstruktur	25
2.1.1	Statistik	11	4.2	Anforderungen an anthropometrische Prüfpuppen	25
2.1.2	Dynamik der Pkw	11	4.2.1	Abbildungsgüte des menschlichen Körpers („Biofidelity“)	26
2.2	Das Kind beim Seitenaufprall	13	4.2.2	Messtechnik	26
2.2.1	Statistik	13	4.2.3	Robustheit	26
2.2.2	Verletzungen des Kindes beim Seitenaufprall	13	4.3	Vorgeschlagenes Konzept	26
2.3	Die Gesetzgebung	14	4.4	Konstruktion der Versuchseinrichtung	28
2.3.1	Energieaufnahmevermögen nach ECE-R44-03	14	4.4.1	Der Grundrahmen	28
2.3.2	Schutzkriterien	14	4.4.2	Die ECE-R44 Sitzbank	28
2.4	Testverfahrensprinzipien	15	4.4.3	Das Panel	28
2.4.1	Das „fixed door“-Prinzip	15	4.4.4	Der Impaktor	29
2.4.2	Das „flat door“-Prinzip	15	4.4.5	Das Gurtsystem	29
2.4.3	Das „hinged door“-Prinzip	16	4.4.6	ISOFIX-Verankerungen	29
2.5	Diskussion der Prinzipien	16	5	Prüfung des Testverfahrens	30
2.5.1	Bewertung „fixed door“-Prinzip	16	5.1	Testkonfigurationen	30
2.5.2	Bewertung „flat door“-Prinzip	16	5.2	Mechanische Funktionsfähigkeit	30
2.5.3	Bewertung „hinged door“-Prinzip	17	5.3	Einhaltung der Testvorschriften	31
3	Experimentelle Grundlagen	18	5.3.1	Kollisionsgeschwindigkeit	31
3.1	Auswertung von Versuchsdaten (ECE-R95)	18	5.3.2	Geschwindigkeitskorridor	31
3.1.1	Messergebnisse	18	5.3.3	Paneleindrehwinkel	31
3.1.2	Berechnete Ergebnisse	18	5.3.4	Panelwinkelgeschwindigkeit	31
3.1.3	Diskussion der Ergebnisse	19	5.4	Wiederholbarkeit der Dummy-Messergebnisse	32
3.2	Geometrieigenschaften von Türinnenverkleidungen	19	5.4.1	Versuch Eurokids Star 1-3	32
3.2.1	Vorgehensweise	20	5.4.2	Versuch Römer Duofix 2-3	32
3.2.2	Messergebnisse	20	5.4.3	Versuch Römer Quickfix 1-3	33
3.2.3	Auswahl von Parameterwerten	21	5.4.4	Versuch Römer Babystar 2-3	33
3.3	Dynamische Kontaktsteifigkeiten von Türinnenverkleidungen	21	5.5	Diskriminierung zwischen KSS	33
3.3.1	Testbedingungen	21	5.6	Abbildungsgüte	34
3.3.2	Messergebnisse	22	5.7	„non worst case“-Versuche	35
3.3.3	Diskussion	22			

5.8	Modifizierte KSS	35	7.12	Messergebnisse Klippan Suprema (graphische Zeitverläufe)	77
5.8.1	Theoretische Betrachtungen	35	7.12.1	Klippan Suprema 01	77
5.8.2	Experimenteller Nachweis	37	7.13	Messergebnisse Römer Babystar (tabellarische Maxima)	80
6	Diskussion & Ausblick	38	7.13.1	Struktur	80
6.1	Diskussion	38	7.13.2	Dummy	80
6.2	Ausblick	39	7.14	Messergebnisse Römer Babystar (graphische Zeitverläufe)	80
7	Messergebniss	40	7.14.1	Römer Babystar 01	80
7.1	Ergebnisse aus Geometrie- untersuchungen	40	7.14.2	Römer Babystar 02	83
7.2	Ergebnisse zu Pkw-Massen	42	7.14.3	Römer Babystar 03	85
7.3	Ergebnisse aus Pendelschlag- versuchen	43	7.14.4	Römer Babystar 04	88
7.4	Brief summary & FAQ	45	7.14.5	Römer Babystar 06	90
7.5	Messergebnisse Römer Duofix (tabellarische Maxima)	47	Danksagung		93
7.5.1	Struktur	47	Abkürzungen		94
7.5.2	Dummy	47	8	Literatur	95
7.6	Messergebnisse Römer Duofix (graphische Zeitverläufe)	47			
7.6.1	Römer Duofix 01	47			
7.6.2	Römer Duofix 02	50			
7.6.3	Römer Duofix 03	52			
7.6.4	Römer Duofix 04	55			
7.7	Messergebnisse Römer Quickfix (tabellarische Maxima)	58			
7.7.1	Struktur	58			
7.7.2	Dummy	58			
7.8	Messergebnisse Römer Quickfix (graphische Zeitverläufe)	58			
7.8.1	Römer Quickfix 01	58			
7.8.2	Römer Quickfix 02	61			
7.8.3	Römer Quickfix 03	63			
7.8.4	Römer Quickfix 04	66			
7.9	Messergebnisse Eurokids Star (tabellarische Maxima)	69			
7.9.1	Struktur	69			
7.9.2	Dummy	69			
7.10	Messergebnisse Eurokids Star (graphische Zeitverläufe)	69			
7.10.1	Eurokids Star 01	69			
7.10.2	Eurokids Star 02	72			
7.10.3	Eurokids Star 03	74			
7.11	Messergebnisse Klippan Suprema (tabellarische Maxima)	77			
7.11.1	Struktur	77			
7.11.2	Dummy	77			

1 Einleitung

1.1 Grundlagen der Kindersicherheit in Pkw

In der automobilen Entwicklungsgeschichte ist die Sicherheit von Pkw mit der starken Zunahme der verletzten und getöteten Insassen durch die ansteigende Verkehrsdichte und der Erhöhung der Fahrleistungen immer stärker in den Vordergrund gerückt. Die Entwicklung und Einführung von Maßnahmen der aktiven Sicherheit (Verkehrserziehung, Straßenbau, Fahrdynamik von Pkw) und der passiven Sicherheit (Sicherheitsgurt, steife Fahrgastzelle und Airbag) haben erheblich dazu beigetragen, die Anzahl der getöteten und schwerverletzten Pkw-Insassen kontinuierlich bis heute zu reduzieren. 1997 starben noch 8549 Personen in Pkw in Deutschland; im Jahr 2001 reduzierte sich die Anzahl der getöteten Insassen auf 6977 Personen. Abbildung 1 zeigt die positive Tendenz auch für den kindlichen Insassen in Deutschland.

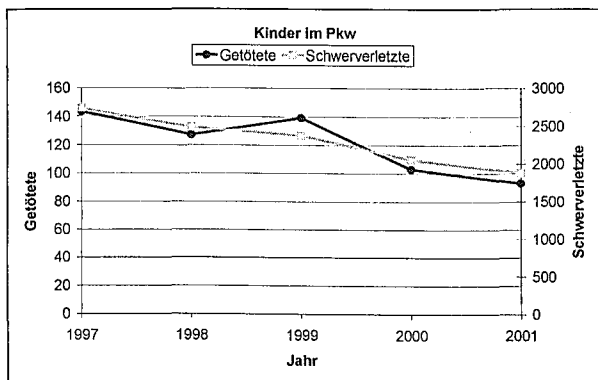


Abbildung 1: Schwerverletzte und getötete Kinder als Pkw-Insasse in Deutschland (0-14 Jahre) [38]

Im Jahr 2001 starben 93 Kinder (unter 14 Jahren) gegenüber 141 Kindern im Jahr 1997 als Pkw-Insasse.

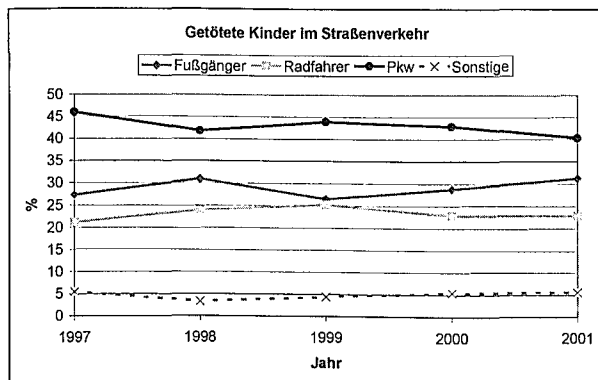


Abbildung 2: Getötete Kinder nach Art der Verkehrsbeteiligung in Deutschland (prozentuale Anteile, 0-14 Jahre) [38]

Betrachtet man alle getöteten Kinder im deutschen Straßenverkehr, so wird aber ersichtlich, dass die größte Gefährdung immer noch als Pkw-Insasse besteht. Deutlich geringer sind die Gefährdungen für ein Kind als Fußgänger oder als Radfahrer (Abbildung 2).

Erweitert man den Blick auf europäische Länder, so ist ersichtlich, dass das Risiko, als Kind im Pkw zu sterben, in Portugal mit 3,3 Getöteten pro 100.000 der jeweiligen Altersgruppe (0-14 Jahre) am höchsten ist. Ebenfalls hoch ist das Risiko für Kinder in Belgien, Frankreich, Österreich und Spanien. Moderat (unterhalb des EU-Durchschnitts von 1,13 Getöteten pro 100.000 der Altersgruppe 0-14 Jahre) ist das Risiko in Deutschland, Italien und Dänemark. Gering ist das Risiko (kleiner als 0,5 Getötete pro 100.000 der Altersgruppe 0-14 Jahre) wiederum in England und den Niederlanden sowie in den nordischen Ländern Schweden und Norwegen (Abbildung 3). Die tatsächliche Fahrleistung von Kindern als Pkw-Insassen ist allerdings nicht berücksichtigt, da statistische Daten hierzu nicht vorliegen. [11][32]

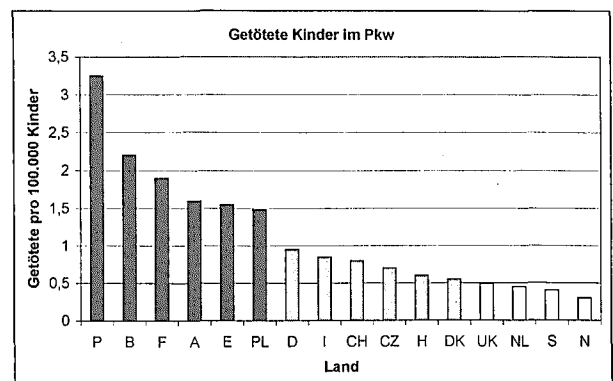


Abbildung 3: Risiko-Vergleich europäischen Länder 1998 (0-14 Jahre) [11][32]

Innerhalb der passiven Pkw-Sicherheit nimmt der kindliche Insasse als Teil der mobilen Gesellschaft eine Sonderstellung ein. So decken Pkw in der Regel in ihren Innenraumabmessungen maximal eine menschliche Insassengröße von 150-200cm ab. Die Körperlängendifferenz beträgt 50cm und führt zu technischen Lösungen wie Sitzlängsverstellungen, Sitzhöhenverstellungen sowie Vorrichtungen zur Anpassung der Gurtgeometrie. Der kindliche Körper in einem Alter von 0-12 Jahren misst hingegen statistisch 50-150cm. Dieses Längenwachstum ist sehr groß und erfordert eine erhebliche Erweiterung der Anpassungsfähigkeit von Pkw-Sitzbestuhlungen und Gurtgeometrien. Optional ist diese Erweiterung durch integrierte Kindersitzsysteme in einigen Pkw erhältlich, wobei diese Systeme im allgemeinen eine Mindestkörpergröße von 80cm voraussetzen.

Weitere Besonderheiten des kindlichen Körpers erschweren die Kompatibilität zwischen Kind und

Pkw-Insassensicherheit. So ist der kindliche Kopf im Vergleich zum Erwachsenen überproportional schwer. Während eine Erwachsenenkopfmasse ca. 1/14 des Gesamtkörpergewichts beträgt, nimmt der Kopf eines einjährigen Kindes einen Gewichtsanteil von 25% ein. Zudem besteht die Wirbelsäule von Kindern bis zum 12. Lebensjahr aus mehreren noch knorpeligen Verbindungen zwischen Wirbelkörper und Wirbelbogen. Dies führt zu einer geringeren Stabilität der Wirbelsäule und zu einem geringeren Schutz des Rückenmarks. In Ermangelung ausgeprägter Nackenmuskulatur und -sehnen ist die Halswirbelsäule (HWS) im Falle auftretender Crashlasten daher besonders gefährdet. [6]

Neben der HWS-Sensibilität ist der Abdominalbereich in zweierlei Hinsicht in Abgrenzung zur Erwachsenen sicherheit zu berücksichtigen. Erstens ist der Beckendarmbeinknochen in seiner Gestalt wenig ausgeprägt und durch die noch fehlende Verknöcherung des Beckens nachgiebig. Gerade bei Erwachsenen macht sich aber der herkömmliche Pkw-Gurt die Kammausprägung des Darmbeinknochens zu Nutze, da er hier eine natürliche Führung erfährt und somit den Beckenbereich im Crashfall gut stützen kann. Die fehlende Führung und die Knochennachgiebigkeit führt im Crashfall bei kindlichen Körpern häufig zu schweren inneren Verletzungen des Abdomens. Zweitens ist im oberen Abdominalbereich die Gefährdung durch den herkömmlichen 3-Punkt-Gurt erhöht, da der untere Rippenbogen bei Kindern bis ca. 4 Jahren wenig ausgeprägt ist. Dies führt dazu, dass die Leber zu einem Großteil nicht durch die Rippen geschützt und daher mechanisch leicht verletzbar ist.

Neben den rein physiologischen Besonderheiten des kindlichen Körpers darf auch das Verhalten des Kindes im Pkw nicht unberücksichtigt bleiben. Untersuchungen haben gezeigt, dass ca. 75-90% aller Kinder während der Fahrt im Pkw schlafen. [25] Die damit einhergehende Muskelrelaxation führt oftmals zum seitlichen Abknicken des Oberkörpers und gleichzeitigem Herausrollen aus dem asymmetrischen Dreipunktgurt von Pkw oder zu einem Gurtverlauf dicht am Hals. Beide Schultergurtpositionen gilt es zu vermeiden, da sie zu erheblichen Folgeverletzungen führen können.

Zusammenfassend kann man sagen, dass herkömmliche Pkw-Innenräume sowie deren Insassenschutzsysteme nur bedingt in der Lage sind, Kinder im Crashfall ausreichend zu schützen. Daher sieht der Gesetzgeber in Deutschland gemäß der Straßenverkehrsordnung (§21 Abs.1a StVO) seit 1993 vor, dass alle Kinder bis zur Vollendung des 12. Lebensjahrs (oder bis zu einer Körpergröße von 150cm) durch zusätzliche, amtlich genehmigte Vorrichtungen zu schützen sind. Diese Schutzvorrichtungen werden gemeinhin als Kindersitze, fachlich korrekt als Kinderschutzsysteme

(KSS) oder Kinderrückhaltesysteme (KRS) bezeichnet.

Die StVO bezieht sich in ihrer Beschreibung von zulässigen KSS auf die europäische einheitliche Regelung zur Genehmigung von KSS (ECE-R44-03). Diese Regelung beinhaltet Vorschriften über die Zulassung, Bauart, Prüfung und Produktion von KSS. 1982 trat sie in Kraft und wurde seitdem zweimal modifiziert (1988, 1995). Der Gesetzgeber unterscheidet 5 Gewichtsklassen:

Klasse 0	für Kinder unter 10kg
Klasse 0+	für Kinder bis 13kg
Klasse 1	für Kinder von 9-18kg
Klasse 2	für Kinder von 15-25kg
Klasse 3	für Kinder von 22-36kg

Weiterhin unterteilt er in Universal-, Semi-Universal- und Spezialkategorie. Ein Universal-KSS darf in allen Pkw benutzt werden. Ein Spezial-KSS wird hingegen für einzelne Pkw-Typen (z.B. integrierte KSS) zugelassen.

Die hier zusammengefassten Erfordernisse für das zu sichernde Kind, verbunden mit der differenzierten Klassifizierung von KSS, lassen bereits vermuten, dass eine Vielzahl an verschiedenen KSS-Produkten dem Verbraucher angeboten werden. So sind gegenwärtig auf dem deutschen Markt mindestens 50 Produkte von ca. 10 KSS-Herstellern erhältlich. Verschiedene Verbraucherschutzorganisationen haben es sich daher zur Aufgabe gemacht, in regelmäßigen Abständen KSS vergleichend zu testen und zu bewerten. Da der gesetzgeberische Standard von diesen Organisationen als nicht hinreichend zur Bewertung von KSS betrachtet wird, sind zusätzliche Prüf- und Bewertungskriterien definiert worden, die nicht einheitlich sind. Dies hat zur Folge, dass ein KSS-Produkt verschiedene Bewertungen erfahren kann, was wiederum nicht hilfreich für den Verbraucher ist. Während in den 70-iger und 80-iger Jahren die zeitlichen Abstände der konkurrierenden Publikationen groß waren, sind heute verschiedene Testergebnisse oftmals gleichzeitig zu teilweise identischen KSS-Produkten veröffentlicht. Diese Medienvielfalt zeigt aber auch, dass das öffentliche Interesse und das Informationsbedürfnis des Endverbrauchers zu diesem Thema sehr groß ist.

Neben der Schwierigkeit der richtigen Produktwahl ist der Verbraucher konfrontiert mit KSS, die bisher fast ausschließlich mit dem Dreipunktgurt des Fahrzeugs befestigt werden. Oftmals ist diese Verbindung nur schwer zu bewerkstelligen, so dass die Fehlbenutzungsrate bei KSS sehr hoch ist. Man spricht hier von „*misuse*“, der im Crashfall schwere Verletzungen induzieren kann. [25] Daher wird in Fachkreisen seit vielen Jahren die einheitliche Befestigung von KSS durch genormte Verbindungselemente gefordert. Diese Verbindungen, genannt ISOFIX, sind inzwischen bei den meisten europäischen Pkw in der zweiten Sitzreihe serien-

mäßig verbaut, so dass spezielle ISOFIX-KSS schnell, leicht und fehlerminimiert in Pkw befestigt werden können. Leider haben sich diese ISOFIX-KSS bisher nur wenig durchgesetzt, da sie bisher nicht universal zugelassen werden können, sondern immer der Semiuniversal- oder Spezialkategorie der ECE R44-03 unterliegen.

Mit dieser einleitenden Darstellung wird deutlich, dass die verschiedenen Aspekte des Kindes, des KSS und dessen Handhabung sowie des Pkw erheblichen Einfluss auf die Sicherheit des Kindes im Pkw haben. Verschiedene Institutionen und Organisationen versuchen daher, diese Problemfelder zu detektieren und hierfür konstruktive Lösungen zu entwickeln. Auf nationaler Ebene wird dies hauptsächlich durch die BAST (Bundesanstalt für Straßenwesen), dem DVR (Deutscher Verkehrssicherheitsrat) und dem GDV-IFM (Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft – Institut für Fahrzeugsicherheit München) wahrgenommen. Im Sinne der europäischen Verbesserung und Harmonisierung der Kindersicherheit arbeitet seit dem Jahre 2000 die EEVC-WG18 (*European Enhanced Vehicle Safety Committee – Working Group 18*). Hier sind alle großen europäischen Staaten durch ihre nationalen Institutionen (z.B. BAST für Deutschland) sowie einem jeweiligen nationalen Fachspezialisten vertreten. Auf globaler Ebene arbeitet die ISO-WG1 (*International Standardization Organisation - Working Group 1*). Sie besteht seit 1987 und verfolgt das Ziel, im Bereich der Kindersicherheit global zu harmonisieren und zu standardisieren. Insgesamt 15 Staaten sind durch ca. 70 Spezialisten aus Industrie, Forschung und nationalen Behörden repräsentiert. Folgende Schwerpunkthinhalte sind gegenwärtig in diesen Institutionen thematisiert:

- ISOFIX-Befestigungen
- Interaktion zwischen Pkw-Airbags und dem kindlichen Insassen
- Fehlbenutzungsformen von KSS und deren Auswirkungen (⇒ Methodik MMEA)
- Neudefinition der KSS-Typklassen
- Analyse des europäischen Unfallgeschehens (Unfallstatistik)
- Ermittlung biomechanischer Grenzwerte und Diskussion von Schutzkriterien für Kopf, HWS, Brust und Abdomen des kindlichen Körpers
- Harmonisierung von KSS-Testverfahren und -methoden (⇒ Programm NPACS)
- Seitenaufpralltestverfahren für KSS

1.2 Ausgangslage zu Seitenaufpralltestverfahren

Bereits 1981 verwies G. Stürtz auf die besondere Gefährdung des Kindes bei Fahrzeugseitenkollisionen. Er forderte eine Prüfung von KSS auch unter

dieser Belastungsrichtung. [40] Bestätigt findet sich dies 1989 und 1991 durch K. Langwieder und T. Hummel. [23][24] 1992 wies auch K.-P. Glaeser auf die Notwendigkeit eines Seitenaufpralltestverfahrens für KSS hin. [10]

Seit 1993 beschäftigt sich eine ISO-adhoc-Arbeitsgruppe mit dem Thema „*Children in Cars – Side Impact Studies*“ (ISO/TC22/SC12/WG1). [13] Hauptziel dieser Gruppe ist die Entwicklung eines einheitlichen Testverfahrens für Kinderschutzsysteme beim Seitenaufprall, welches Eingang in die nationalen Gesetzgebungen europäischer Staaten, USA, Kanada und Japan finden soll.

Beteiligt an dieser Arbeitsgruppe sind Forschungsanstalten, Verbraucherorganisationen sowie Hersteller von KSS und Pkw. Es wird deutlich, dass drei Gruppierungen mit teilweise unterschiedlicher Motivation und Intention in dieser Arbeitsgruppe mitwirken. Gleichzeitig hat die ISO keinen verbindlichen Einfluss auf die Gesetzgebung, sondern kann nur Empfehlungen in detaillierter Form anbieten. Die Arbeit der ISO mit dem Ziel der weltweiten Harmonisierung von Regeln und Vorschriften ist jedoch allgemein anerkannt, so dass die ISO-Vorschläge häufig als Vorlage für nationale Regelungen oder ECE-Regelungen dienen.

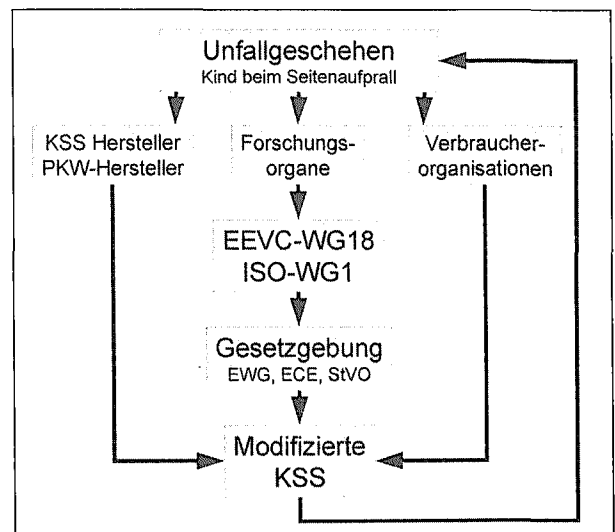


Abbildung 4: Strukturelle Umgebung zum Thema „KSS beim Seitenaufprall“

In Abbildung 4 ist der grobe Ablauf vom Unfallgeschehen bis hin zu modifizierten Produkten und deren Wirkung auf die Verletzungsfolgen im Unfallgeschehen dargestellt. Neben der Position der ISO-WG1 zu diesem Thema wird deutlich, dass die Hersteller, unabhängig von gesetzgeberischen Aktivitäten, Einfluss auf ihre Produkte nehmen und die Verbraucherorganisationen neben ihrem Engagement in der ISO versuchen, über die gezielte Verbraucherinformation Einfluss auf die Produktgestaltung zu nehmen. Sofern Einigkeit in der Vorgehensweise aller Parteien besteht, sind die pa-

rallelen Aktivitäten sinnvoll und unterstützen das gemeinschaftliche Ziel, ein gesetzgeberisches Testverfahren zu etablieren. Dies ist aber insbesondere durch die Gesetze der Marktwirtschaft nicht immer gegeben. Ein latenter Zeitdruck sowie der starke Wunsch, möglichst kostengünstig die resultierenden Anforderungen durch veränderte Gesetzgebungen erfüllen zu können, führen bezüglich der Konsensfähigkeit zu erheblichen Schwierigkeiten.

Erschwerend ist allgemein die Abbildung der prinzipiellen Mechanik des Seitenaufpralls in Form eines Komponententestverfahrens deutlich komplexer und damit aufwändiger und kostenintensiver als das Pendant für den Frontalaufprall. [20]

So sieht sich seit Jahren ein heterogenes Konglomerat von Parteien in der Position, ein gemeinschaftliches grobes Ziel zu verfolgen, ohne Einigkeit in den notwendigen Details zu finden. Die Notwendigkeit, ein Testverfahren für KSS beim Seitenaufprall zu etablieren, ist jedoch unstrittig. [1] [3] [7] [32] [33] [39]

Betrachtet man marktübliche KSS hinsichtlich ihrer Schalengeometrie, so ist auffällig, dass ein beträchtlicher Anteil gar keine Struktur im Seitenbereich aufweisen kann. Dies bedeutet, dass das Kind allein auf das Schutzpotential des Pkw angewiesen ist. Deren Seitenschutzeinrichtungen sind zumeist nicht auf das Kind abgestimmt. Den Kindersitzen, die bereits mit einer lateralen Schalenstruktur ausgerüstet sind, fehlt es wiederum an geeigneter Aufpolsterung. Teilweise ist nur ein gefütterter Stoff vorgesehen, teilweise zusätzlich eine wenige Millimeter starke Styroporschicht. Beide Maßnahmen sind nicht geeignet, die Belastungen für das Kind zu minimieren. [17][18] Es ist offensichtlich, dass das technische Potential auch unter Berücksichtigung marktwirtschaftlicher Randbedingungen mit diesen Produkten nicht ausgeschöpft ist. Der Gesetzgeber sollte an dieser Stelle regulierend eingreifen, um eine Verbesserung der Seitenschutzigenschaften zu erwirken.

1.3 Vorgehensweise

Ende 1998 vergab die Bundesanstalt für Straßenwesen das Projekt „Testverfahren für KSS beim Seitenaufprall“ an die Technische Universität Berlin, dessen Ergebnisse hier vorliegen. Allgemeines Ziel dieser Arbeit ist es, ein Testverfahren vorzuschlagen, welches in der Lage ist, von allen o.g. Parteien akzeptiert zu werden. Durch die zentrale Position der ISO-adhoc-Arbeitsgruppe sollten die bis dahin ausgeführten Aktivitäten Ausgangspunkt für dieses Projekt sein.

Nach intensiver Einarbeitung in den Arbeitsstand der ISO-adhoc-Arbeitsgruppe wurden folgende Arbeitsschritte zur Erreichung des Ziels vollzogen:

- Literaturrecherche zur Ermittlung der bereits existierenden theoretischen Grundlagen,
- Analyse vorhandener Testergebnisse,
- Durchführung von Geometrieuntersuchungen an Pkw-Innenräumen,
- Durchführung von Tests zur Ermittlung von Steifigkeitseigenschaften von Tür-Innenverkleidungen,
- Definition eines allgemeinen und fundierten Anforderungskatalogs für ein Testverfahren,
- Konzeption und Konstruktion einer Versuchseinrichtung,
- intensive, experimentelle Überprüfung des Testverfahrens hinsichtlich aller erforderlichen Randbedingungen.

1.4 Anmerkungen des Verfassers

Diese Vorgehensweise stellt nur einen Ausschnitt aus der gesamten inhaltlichen Arbeit dar. Ein wesentlicher Bestandteil ist im engen fachlichen Dialog mit allen beteiligten Parteien zu sehen. Zwischenergebnisse wurden regelmäßig sowohl in der ISO-WG1 als auch in anderen fachspezifischen Forschungsprogrammen präsentiert und diskutiert (CREST, EEVC-WG18). Alle wesentlichen Parameter und deren Werte wurden beschrieben und begründet. Punktuelle Kompromisse waren jedoch notwendig, um eine länderübergreifende Konsensfähigkeit zu erreichen.

Das Thema ‚Seitenairbags von Pkw‘, welches sehr eng mit den hier dargestellten Inhalten verbunden ist, wurde nicht behandelt. Da Seitenairbags in Pkw bisher im Straßenverkehr nicht flächendeckend vorzufinden sind, kann und sollte die potentielle Schutzwirkung dieser in einem standardisierten Testverfahrensvorschlag nicht berücksichtigt werden.

Mit dem hiermit vorgeschlagenen Testverfahren können KSS hinsichtlich ihrer Seitenschutzigenschaften geprüft und bewertet werden. Dies setzt voraus, dass das zu prüfende KSS Seitenaufprallschutzelemente konstruktiv vorweist. Da kaum ein KSS der Klassen 2 und 3 eine Seitenstruktur aufweist, sind diese für eine differenzierte Bewertung durch ein solches Testverfahren ungeeignet. Daher beschränkt sich dieses Verfahren auf KSS-Typen der Klassen 0, 0+ und 1.

2 Theoretische Grundlagen

Die Gesamtheit des Seitenaufpralls wird nachfolgend betrachtet in den Teilbereichen:

- PKW,
- Kind in Kinderschutzsystem,
- Gesetzgebung und
- Testverfahrensprinzipien.

2.1 Der Pkw im Seitenaufprall

2.1.1 Statistik

Der Seitenaufprall ist mit 23-29% Anteil die zweithäufigste Aufprallart im deutschen Straßenverkehr (Abbildung 5 und 6). Die Unfallschwere ist aber deutlich höher als bei allen anderen Unfallarten. Die Verletzungsfolgekosten (Abbildung 7) beim Seitenaufprall erreichen fast das Niveau des Frontalaufpralls (42% gegenüber 51%).

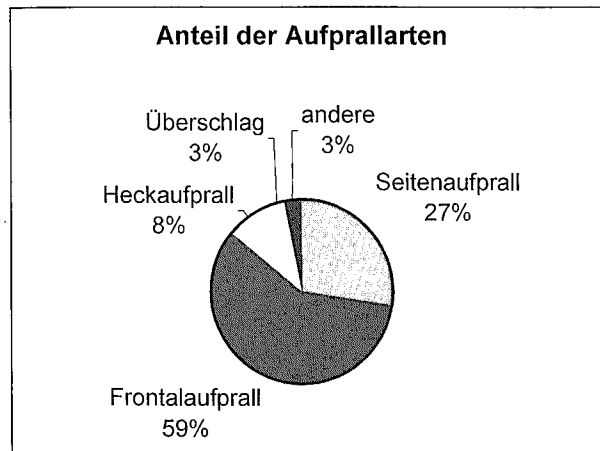


Abbildung 5: Anteil der Aufprallarten [5]

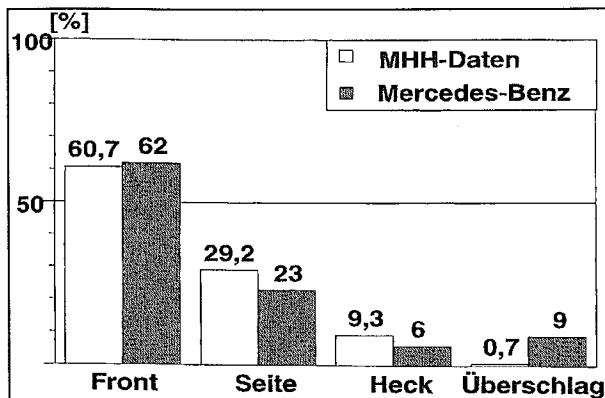


Abbildung 6: Kollisionshäufigkeit [2]

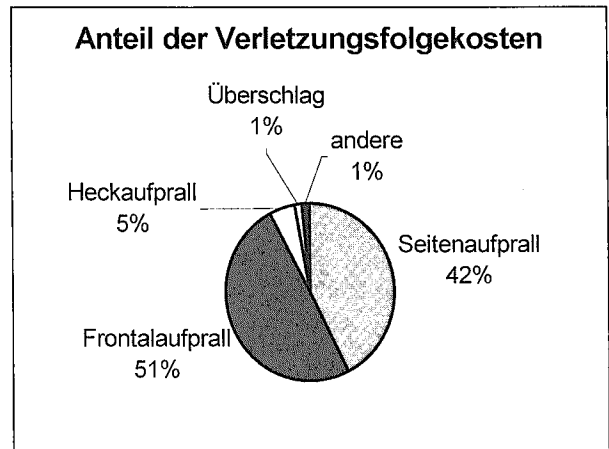


Abbildung 7: Verletzungsfolgekosten [5]

2.1.2 Dynamik der PKW

Die Aufprallgeschwindigkeit des stoßenden Fahrzeugs, bei denen Kinder als Insassen des gestoßenen Fahrzeugs MAIS 2+ (*Maximum Abbreviated Injury Scale 2+* entspricht mäßigem bis lebensgefährlichem Verletzungsschweregrad) verletzt werden, ist in Tabelle 1 klassifiziert dargestellt. In 70% dieser betrachteten Unfälle liegt die Aufprallgeschwindigkeit bei maximal 50km/h.

Km/h	≤ 30	≤ 50	≤ 80	>80
No.	14	12	9	2
%	38	32	24	6

Tabelle 1: Aufprallgeschwindigkeit des stoßenden Fahrzeugs [21]

Die Anprallrichtung des stoßenden Fahrzeugs ist zu 56% senkrecht zum gestoßenen Fahrzeug, zu 39% trifft das Fahrzeug von schräg vorne auf (Abbildung 8).

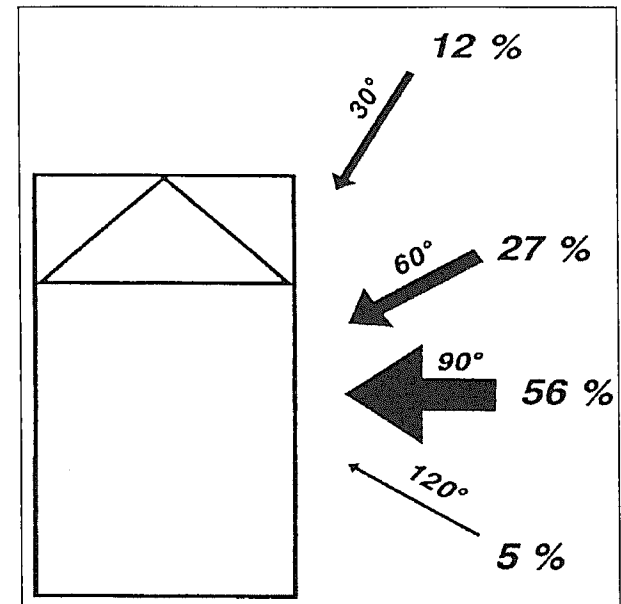


Abbildung 8: Anprallrichtung des stoßenden Fahrzeuges [22]

Die verletzungsinduzierende Stoßrichtung ist jedoch vorzugsweise von schräg vorne (ca. 60%) und unter 90° (nur ca. 20%) zu beobachten, wie in Abbildung 9 dargestellt.

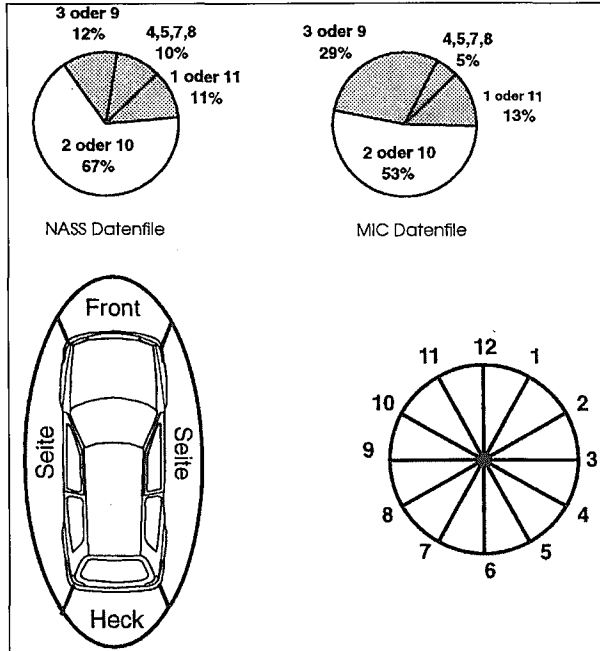


Abbildung 9: Verteilung der Verletzungen AIS ≥ 3 für verschiedene Stoßrichtungen beim Seitenaufprall NASS (National Accident Statistic Sample) [2]

Die Stoßrichtung berücksichtigt gegenüber der reinen Anprallrichtung den Geschwindigkeitsvektor des gestoßenen Fahrzeugs.

Das beim Seitenaufprall entstehende Deformationsbild kann grob unterteilt wie folgt dargestellt werden:

Form /Gestalt	rechteckig	v-förmig	halb-rund	andere Form
Anzahl	25	20	5	1
%	49	39	10	2

Tabelle 2: Deformationsbild beim Seitenaufprall [21]

Zu 50% entspricht die plastische Deformation einer Rechtecksform und zu 39% eher einer Dreiecksform.

Betrachtet man die Geschwindigkeitsverläufe der unterschiedlichen Systeme beim Seitenaufprall, so ist bemerkenswert, dass die Türgeschwindigkeit des gestoßenen Fahrzeuges in lateraler Richtung nahezu das Niveau des stoßenden Fahrzeuges erreicht. Die Geschwindigkeitsänderung ist bedeutend höher als die des gestoßenen Fahrzeugchassis (Abbildung 10).

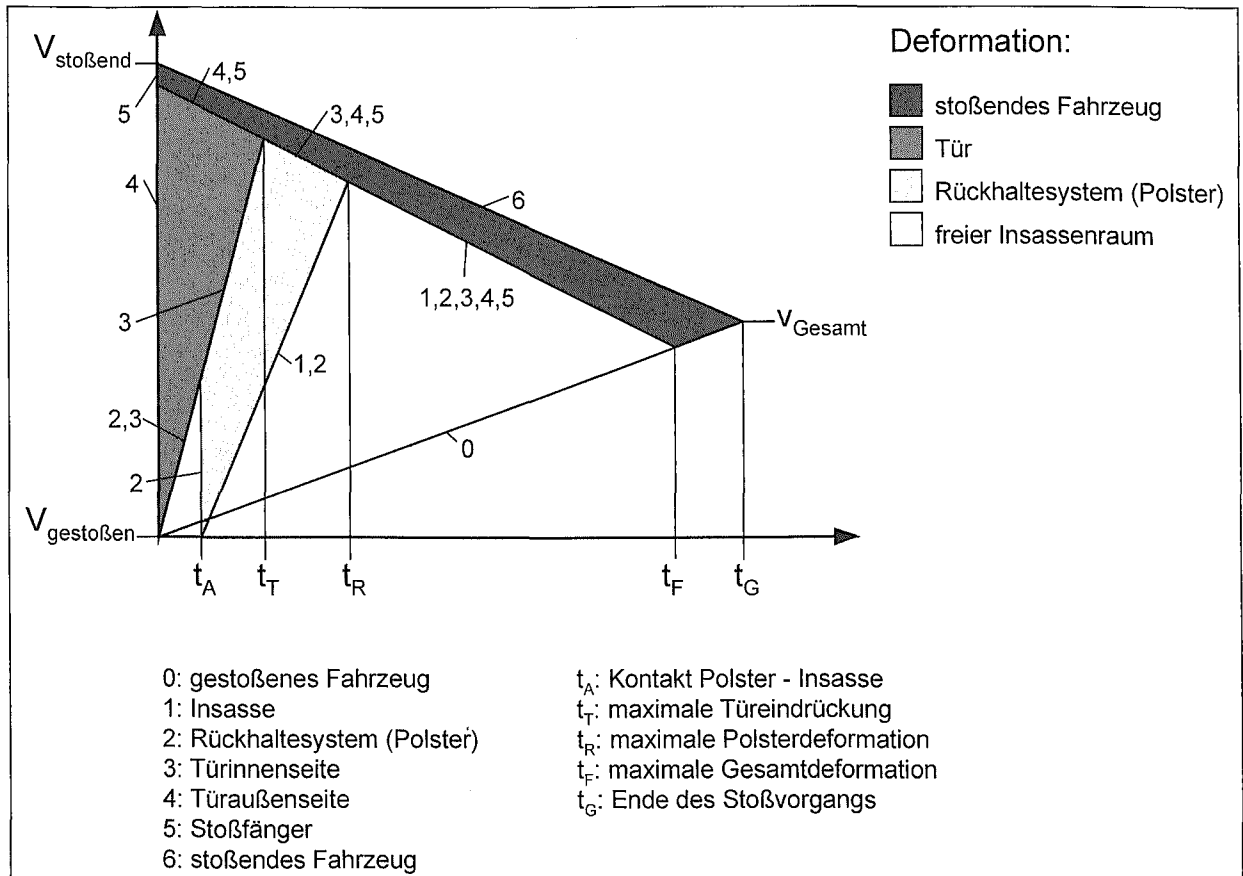


Abbildung 10: Prinzipielle Geschwindigkeitsverläufe beim Seitenaufprall [36]

2.2 Das Kind beim Seitenaufprall

2.2.1 Statistik

1996 umfasste die internationale Datenbasis des GDV (Gesamtverband der deutschen Versicherungswirtschaft) 139 Unfälle, in denen Kinder mit MAIS 2+ verletzt wurden. 55% der betrachteten Kinder sind demnach 0-3 Jahre alt (Tabelle 3). [22]

Alter	Anzahl	%
0-1	42	31
2-3	33	24
4-5	16	12
6-7	16	12
8-9	14	10
10-11	16	12

Tabelle 3: Altersverteilung in der Datenbasis [22]

Tabelle 4 zeigt, dass die Sitzposition bzgl. der Stoßseite ein wesentlicher Einflussparameter ist. So sind die Verletzungen für das Kind auf der stoßzugewandten Seite schwerer als auf der stoßabgewandten Seite. Jedoch ist festzustellen, dass auch auf der abgewandten Seite durchaus schwere Verletzungen auftreten (15% gegenüber 26%).

ISS	stoßzugewandt	stoßabgewandt
-20	50%	70%
21-40	24%	26%
41-75	26%	15%

Tabelle 4: ISS (Injury Severity Score) der stoßzugewandten und -abgewandten Seite [22]

2.2.2 Verletzungen des Kindes beim Seitenaufprall

Betrachtet man die Verteilung der Körpersegmentverletzungen in Tabelle 5, so sind Kopfverletzungen bei 84% aller betrachteten Fälle anzutreffen. In 53% aller betrachteten Fälle sind dies sogar schwere Kopfverletzungen (AIS 3-6). Weiterhin treten schwere Verletzungen im Bereich der Halswirbelsäule (HWS) (Gesamtanteil 12% mit AIS 3-6) und des Thorax mit 20% Anteil (AIS 4-6) auf. Arme und Beine sind relativ häufig verletzt (in ca. 25% aller Fälle), jedoch ist die Schwere mit maximal AIS 3 geringer. Allgemein kann man sagen, dass vom Kopf abwärts die Verletzungsschwere im Seitenaufprall sinkt. [15] Kinder jedoch, die nur durch den Fahrzeuggurt gesichert sind, werden häufiger im Bereich des Thorax, des Abdomen und der Extremitäten verletzt.

Hauptursache hierfür ist sicherlich der direkte Anstoß an intrudierende Fahrzeuginnenverkleidungen, da der Schutz durch eine Sitzschale entfällt. [9][30]

Körperregion	AIS					
	1	2	3	4	5	6
Kopf	12 %	19 %	13 %	9 %	27 %	4 %
Brust	2 %		10 %	10 %		
Abdomen	4 %	7 %	6 %	3 %		
Becken	4 %	3 %	2 %			
Halswirbelsäule	3 %		1 %	1 %	1 %	9 %
Brustwirbelsäule			2 %			
Lendenwirbelsäule		2 %				
Arme	10 %	16 %	2 %			
Beine	9 %	7 %	10 %			

Tabelle 5: Verletzungstyp und -schwere [22]

Körperregion	KSS N=29	nur Pkw-Gurt N=40
Kopf	86 %	63 %
Brust	13 %	25 %
Abdomen	10 %	20 %
Becken	3 %	5 %
Halswirbelsäule	17 %	10 %
Brustwirbelsäule	-	3 %
Lendenwirbelsäule	-	3 %
Arme	7 %	25 %
Beine	10 %	22 %

Tabelle 6: Verletzungstyp [22]

Andererseits scheint jedoch durch die Verwendung von herkömmlichen KSS das Verletzungsrisiko im Bereich des Kopfes und der Halswirbelsäule anzusteigen (Tabelle 6). Berücksichtigen muss man hierbei allerdings die Tatsache, dass gerade ältere Kinder nur durch den Fahrzeuggurt gesichert werden und die Verletzbarkeit des Kopfes und der HWS altersbedingt geringer ist.

Ergebnisse aus dem EU-Forschungsprojekt CREST (Kap. 3.4) untermauern die prinzipielle Verletzungsverteilung am kindlichen Körper beim Seitenaufprall. [26][41][42]

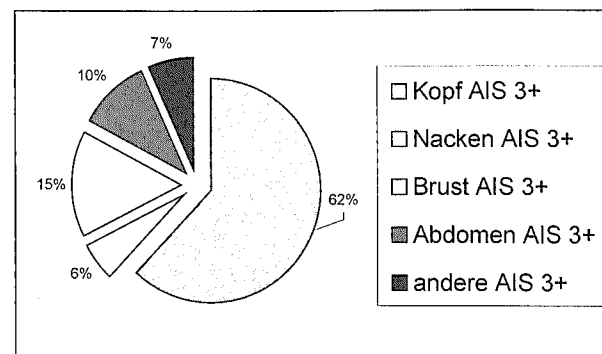


Abbildung 11: Verletzungsverteilung beim Seitenaufprall nach CREST [26] [41] [42]

So ist in Abbildung 11 erkennbar, dass 62% aller AIS 3+ Verletzungen den Kopf betrafen. Weiterhin

häufig vertreten waren Brustverletzungen mit einem Anteil von 15% sowie Abdominalverletzungen mit einem Anteil von 10%. Nackenverletzungen waren mit 6%-Anteil im Vergleich zu vorheriger Quelle etwas weniger häufig. Es ist jedoch anzumerken, dass alle Nackenverletzungen mit einer Verletzungsschwere AIS3+ tödlich waren (siehe auch Tabelle 5).

2.3 Die Gesetzgebung

Global betrachtet ist derzeit nur in Australien und Neuseeland die Prüfung von KSS beim Seitenaufprall zwingend vorgeschrieben.

Folgende Rahmenbedingungen sind festgelegt:

- Das KSS wird unter 90° zur Schlittenbewegung getestet.
- Die Geschwindigkeit des Schlittens beträgt mindestens 32km/h.
- Die Schlittenverzögerung ist durch einen Korridor vorgeschrieben und muss für minimal 20ms zwischen 14 und 20g liegen (Abbildung 12).
- Die Interaktion zwischen KSS und Fahrzeugstruktur wird nicht berücksichtigt.

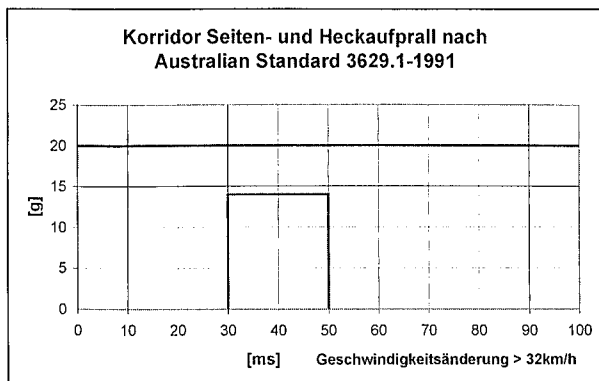


Abbildung 12: Beschleunigungskorridor Seitenaufprall-Testverfahren Australien [9]

Die Staaten der europäischen Union, die USA und Japan beobachten die Aktivitäten der ISO-WG1. Aufgrund der starken Repräsentanz der europäischen Staaten in der ISO-WG1 ist anzunehmen, dass die EU diese dann möglichst schnell in die Gesetzgebung einfließen lassen möchte. Die USA und Japan verfolgen die Aktivitäten mit großem Interesse und sehen auch gesetzgeberischen Bedarf. Entscheidungen sind seitens USA und Japan aber zum heutigen Zeitpunkt nicht absehbar.

2.3.1 Energieaufnahmevermögen nach ECE-R44-03

Die ECE-R44-03 sieht keinen dynamischen Seitenaufpralltest von KSS vor, jedoch ist eine Prüfung der Schalenpolsterung im Kopfbereich des Kindes vorgeschrieben. Diese besagt, dass eine Kopfkalotte mit einer Masse von 2,75kg aus

100mm Fallhöhe (h) auf das zu testende Polstermaterial fallen soll. Die maximale Beschleunigung der Kopfkalotte darf dabei 60g nicht überschreiten. Berechnet man hieraus näherungsweise die notwendige Materialstärke, so ergibt sich unter Annahme eines Dreieckspulses ein Wert von ca. 3-4mm ($s_{Def} = 2 \cdot h / 60$). Dies resultiert aus der geringen Fallhöhe und der damit verbundenen geringen Aufprallgeschwindigkeit von ca. 5km/h. Für eine Polsterung, die aber auch Crashlasten minimieren soll, ist diese Anforderung nicht ausreichend.

2.3.2 Schutzkriterien

Die oben erwähnte australische Gesetzgebung sieht nur verbale Beschreibungen als Schutzkriterien vor. So müssen Kontakte zum Pkw-Innenraum nach Möglichkeit minimiert sein und das KSS muss die laterale Bewegung des Kindes minimieren. Üblich sind jedoch klare, einzuhaltende Grenzwerte, die am Dummy nicht überschritten werden dürfen. Da keine andere Seitenaufprallgesetzgebung für KSS existiert, sind an dieser Stelle die wesentlichen Schutzkriterien verschiedener nationaler Frontaltestgesetzgebungen genannt. [12]

Schutzkriterien	Kopf	Brust
Europa	---	< 55g/3ms
Dänemark*	< 80g/3ms	---
Schweden*	< 50g/3ms	< 40g/3ms
USA	HIC < 1000	< 60g/3ms
Kanada	< 80g/3ms	< 60g/3ms
Japan	< 80g/3ms	< 60g/3ms

Tabelle 7: Nationale (*: zusätzliche) Frontalaufprall-Schutzkriterien aus Beschleunigungsmessungen (Resultierende) [12]

Die Tabelle 7 zeigt die Schutzkriterien, die aus den gemessenen Dummysegmentbeschleunigungen abgeleitet sind. Neben diesen gibt es z.B. in der ECE-R44 Schutzkriterien, die sich auf die dynamischen Kopfvorverlagerungen beziehen. Auffallend in Tabelle 7 ist, dass große Einigkeit für das Brustkriterium mit 60g (a3ms-Wert) besteht. Für den Kopf ist bis auf die schwedische Gesetzgebung ebenfalls ein Konsens mit 80g (a3ms) klar erkennbar. Zusätzlich sei noch das HIC-Kriterium der USA genannt, welches große Verbreitung in den Gesetzgebungen zum Schutz der erwachsenen Insassen hat.

Neben diesen gesetzgeberischen Kriterien sind die Ergebnisse aus verschiedenen internationalen Forschungsvorhaben (von 1969 - 1993) zu nennen. Eine Zusammenfassung der diskutierten

Schutzkriterien für Kinder ist mit [4] gegeben und in Tabelle 8 zusammengefasst.

Schutzkriterien	Kopf	Brust
Minimaler Vorschlag aus [4]	60g/3ms	45g/3ms
Maximaler Vorschlag aus [4]	98g/3ms	73/3ms

Tabelle 8: Diskutierte Beispiele von Schutzkriterien für Kopf und Brust des Kindes aus internationaler Literatursammlung zu Forschungsergebnissen zwischen 1969 und 1993 [4]

Besonders in Europa ist in den letzten Jahren erheblicher Forschungsaufwand betrieben worden, um die europäische Gesetzgebung diesbezüglich mit neu erworbenen Erkenntnissen zu modifizieren. (CREST [26][41][42]) Die Ergebnisse zeigen im Wesentlichen, dass ein Kopfkriterium im Bereich von 80g/3ms sinnvoll ist. So wird folgendes Kriterium vorgeschlagen (Kap. 3.4 [32]):

Kopfverletzungsrisiko gering: < 70g/3ms
 Kopfverletzungsrisiko moderat: < 85g/3ms
 Kopfverletzungsrisiko hoch: > 85g/3ms

Es sei darauf hingewiesen, dass alle hier genannten Schutzkriterien auf Frontalaufpralltests bezogen sind. Die für den erwachsenen Insassen geltenden Gesetzgebungen (ECE-R94, ECE-R95) zeigen, dass das Kopfbeschleunigungskriterium (HPC-Kriterium) sowie das Brusteingdrückungskriterium (VC-Kriterium) beim Frontalaufprall- und beim Seitenaufpralltest identisch sind. Vielfache biomechanische Untersuchungen an menschlichen, erwachsenen Schädelknochen belegen, dass die Belastbarkeit des Schädelknochens in lateraler Richtung ca. 20% geringer ist als in frontaler Stoßrichtung. [19]

In Ermangelung weiterer Erkenntnisse ist die Übertragbarkeit der Kinderschutzkriterien daher akzeptabel.

2.4 Testverfahrensprinzipien

In Abgrenzung zur Abbildung des Frontalaufpralls durch ein Komponententestverfahren, ist beim Seitenaufprall neben der Pkw-Beschleunigung die dynamische Intrusion der seitlichen Pkw-Struktur sowie der Kontakt der Struktur zum Insassen zu berücksichtigen. Die Intrusion ist gekennzeichnet durch einen Geschwindigkeits-Zeit Verlauf, durch eine charakteristische Deformationsgestalt sowie einer Kontaktkennung zum Insassen. So muss

- das Beschleunigungsniveau von gestoßenen Pkw,
- das Delta-v von gestoßenen Pkw,
- die Maximalintrusionstiefe und -gestalt von gestoßenen Pkw sowie
- die maximale Intrusionsgeschwindigkeit nach Ort, Zeit und Richtung

durch ein Testverfahren ausreichend genau abgebildet sein. Versuchsreihen, die ohne Seitenintrusion durchgeführt wurden (gemäß australischer Gesetzgebung), zeigten, dass die Belastungen am Dummy unrealistisch klein sind und nicht dem realen Seitenaufprall entsprechen. [35] Folgend sind daher nur Testprinzipien dargestellt, die einen lateralen Kontakt zwischen KSS und Seitenstruktur berücksichtigen.

2.4.1 Das „fixed door“-Prinzip

Basierend auf dem Prinzip der Standard-Frontalschlittentests nach ECE-R44 wird bei dem „fixed door“-Konzept das KSS lateral mit einem Abbremspuls beaufschlagt. In Erweiterung zu der australischen Gesetzgebung (Kapitel 2.3) wird dies in einer realen Fahrzeugumgebung durchgeführt, so dass es zu einem Kontakt zwischen KSS und Pkw-Seitenstruktur kommen kann. Wahlweise ist es bei diesem Aufbau möglich, den Stoßwinkel durch schräges Anstellen der Karosserie zu variieren. Somit erhält der Dummy im KSS eine Lastkomponente in negative x-Richtung (VDA-Koordinatensystem), die bei vorwärtsgerichteten KSS ein Herausdrehen des Kopfes aus der Sitzschale verstärkt. Die Initialgeschwindigkeit ist prinzipiell variabel. Tests wurden bisher jedoch ausschließlich mit einer Geschwindigkeit von 25km/h durchgeführt (ADAC). [1]

Eine Pkw-typische Intrusion der Seitenstruktur, wie in Kapitel 2.1 beschrieben, ist nicht vorgesehen. Der Kontakt entsteht ausschließlich durch die Relativbewegung des KSS gegenüber der Pkw-Struktur. Die Kontaktgeschwindigkeiten liegen somit immer unterhalb der Initialgeschwindigkeit und sind bei gegebener Geometrie hauptsächlich von dem KSS-Gewicht sowie der Art und Steifigkeit der KSS-Verbindung zum Pkw abhängig.

2.4.2 Das „flat door“-Prinzip

In Erweiterung zu dem vorherig erläuterten Konzept ist bei dem „flat door“-Konzept die Intrusion einer lateralen Kontaktstruktur berücksichtigt.

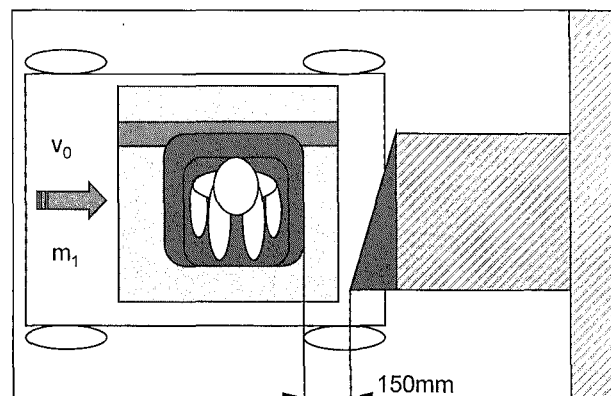


Abbildung 13: Das „flat door“-Prinzip in Initialposition (t_0) von TNO (ähnlich von Folksam [37])

Das KSS wird mit der um 90° gedrehten ECE-R44 Sitzbank auf einem Versuchsschlitten mit einem Abbremspuls beaufschlagt. Gleichzeitig intrudiert eine ortsfeste Türbarriere im Bereich des KSS. Die Intrusionstiefe der Barriere ist abhängig von deren Initialposition (bei t_0) und von der Intrusionstiefe des Versuchsschlittens. Auch hier liegen somit die Kontaktgeschwindigkeiten immer unterhalb der Initialgeschwindigkeit (TNO, Folksam, MPA-Stuttgart). [33][37]

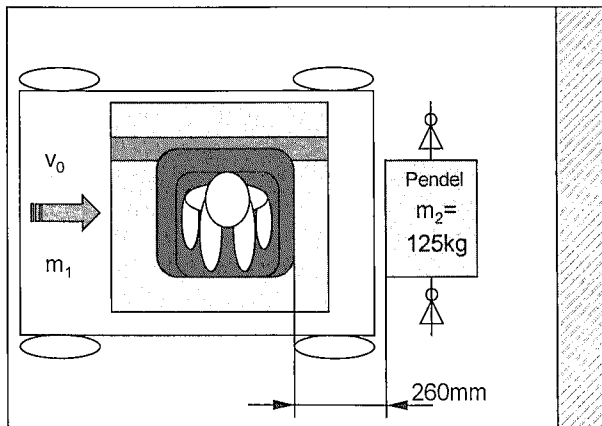


Abbildung 14: Das „flat door“-Prinzip in Initialposition (t_0) von MPA-Stuttgart [33]

2.4.3 Das „hinged door“-Prinzip

Die Standard ECE-R44 Sitzbank ist seitlich (90° zur Stoßrichtung) auf einem Schlitten montiert. Ein Panel, welches die eindringende Seitenstruktur eines Fahrzeuges wiedergeben soll, ist drehbar am Schlitten montiert (*hinge*: ~ Gelenk, Scharnier), so dass es vereinfacht ein v-förmiges Deformationsverhalten einer PKW-Seitenstruktur wiedergibt (Abbildung 15, 16). Die Kollisionsgeschwindigkeit beträgt 25 km/h . Dies entspricht gerade der theoretischen Geschwindigkeitsänderung eines gestoßenen Fahrzeuges im 50 km/h -Seitenaufprall (wenn $m_1 = m_2$). Der Schlitten wird über eine geeignete Abbremsvorrichtung verzögert.

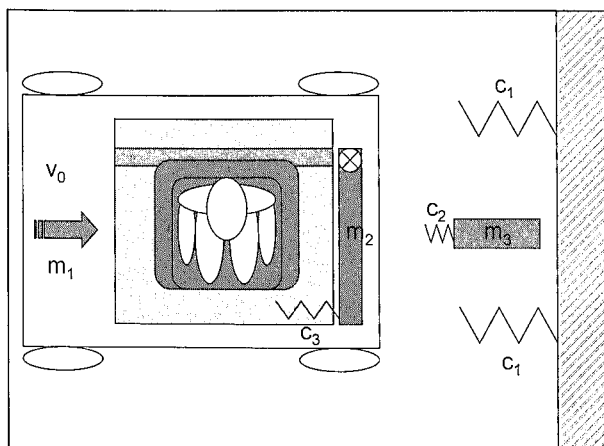


Abbildung 15: Das „hinged door“-Prinzip

Gleichzeitig kontaktiert ein Impaktor ($m_3 = 100\text{ kg}$) das Panel, welches sich rotatorisch in Richtung KSS eindreht. Bei $17,5^\circ$ wird die Rotation blockiert. Der Impaktor ist translatorisch gleitend gelagert, so dass bei Abschluss der Paneldrehung die Massenträgheit des Impaktors überwunden ist und er in Schlittenbewegungsrichtung beschleunigt wird. Der Kontakt zum Panel bricht ab und eine mechanische Zerstörung des Schlittenaufbaus wird somit vermieden (TRL & Middlesex University, IDIADA, ISO). [8][22][25][34]

2.5 Diskussion der Prinzipien

2.5.1 Bewertung „fixed door“-Prinzip

Dieses Verfahren besteht durch die Einfachheit des Aufbaus. Das Fehlen jeglicher Intrusion ist jedoch ein grober Mangel. Wie bereits angedeutet, ist ein auftretender Kontakt im Wesentlichen abhängig vom KSS-Gewicht sowie der KSS-Verbindung zum Versuchsschlitten. Beispielsweise würde ein sehr leichtes KSS mit einer starren ISOFIX-Verbindung zum Pkw zu keinerlei äußeren Kontaktbelastung der Sitzschale führen. Beim realen Seitenaufprall würde der äußere Kontakt aber in gleicher Schwere wie bei anderen KSS auftreten, da dieser Kontakt bestimmt wird durch intrudierende Strukturen relativ zum Pkw-Chassis. Ein verbreiteter Einsatz dieses Testverfahrens kann zu KSS-Modifikationen führen, die keinen Nutzen im realen Seitenaufprall zeigen. Da der wesentliche Charakter des Seitenaufpralls missachtet ist, können aber selbst negative Auswirkungen auf die KSS-Produkte und auf die Unfallfolgen nicht ausgeschlossen werden.

2.5.2 Bewertung „flat door“-Prinzip

Dieser Vorschlag ist der denkbar einfachste Aufbau mit intrudierender Struktur. Die notwendigen konstruktiven Aufwendungen sind gering und daher als positiv anzusehen. Der Aufbau ist mechanisch einfach, so dass nur geringe dynamische Systemprobleme zu erwarten sind.

Die Abbremslänge des Schlittens und die Intrusion des Panels können nicht getrennt gesteuert werden. Zum Zeitpunkt $t=0$ ist der Abstand mit 150 mm recht groß gewählt, so dass die Intrusion gegenüber dem KSS bis zum Stillstand des Schlittens nicht zu tief ist. Eine große Intrusion des Panels kann zu unerwünschten Interaktionen mit dem Gurtsystem (mechanische Zerstörung) führen.

Die Geschwindigkeiten des Schlittens und der Tür sind nicht getrennt steuerbar. Ist der Abstand zum Zeitpunkt $t=0$ nur 0 mm , so ist die Relativgeschwindigkeit zwischen Panel und KSS bei Kontakt identisch mit der Geschwindigkeitsänderung des Schlittens. Wählt man einen Abstand, wie in Bil-

den 13 und 14 dargestellt, so liegt die Geschwindigkeit des Panels bzgl. des KSS bei Kontakt deutlich unterhalb der Geschwindigkeitsänderung des Schlittens. Dies entspricht aber nicht den prinzipiellen Geschwindigkeitsverläufen, wie sie in Abbildung 10 dargestellt sind.

So muss immer ein Kompromiss zwischen realistischer Intrusionsgeschwindigkeit, der Intrusionstiefe und des damit verbundenen Beschleunigungs-niveaus gefunden werden.

2.5.3 Bewertung „hinged door“-Prinzip

Dieses noch relativ einfache Verfahren hat den Vorteil, dass der Anstoßpunkt des Impaktors bzgl. der Rotationsachse des Panels frei wählbar ist. Der Abstand zwischen Anstoßpunkt des Impaktors und der Rotationsachse des Panels ist proportional zur Geschwindigkeitsdifferenz zwischen Panel und Schlitten. So kann die Panelgeschwindigkeit prinzipiell problemlos an einen gewünschten Zielkorridor angepasst werden. Der rotatorische Freiheitsgrad kann jedoch auch zu zusätzlichen Problemen bzgl. der Zuverlässigkeit und Wiederholbarkeit der Messergebnisse führen.

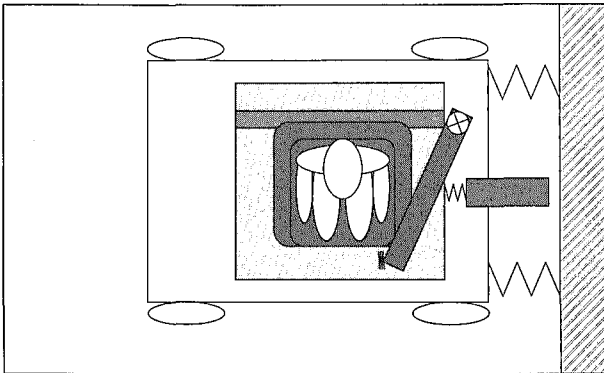


Abbildung 16: Das „hinged door“-Prinzip bei Maximal eindringung für vorwärtsgerichtete KSS

In mehreren Versuchsreihen an verschiedenen Forschungseinrichtungen in Europa konnte die konstruktive Umsetzung nicht überzeugen (ADAC, TRL, IDIADA). Konzeptionellen Schwächen führten immer wieder zu der Aussage, dass das Prinzip grundsätzlich ungeeignet sei. Die Gründe hierfür waren vielfältig. Einige sind folgend aufgeführt:

- Impaktor als träge Masse mit 100kg:
Die träge Masse des Impaktors mit 100kg reicht nicht aus, das Panel hinreichend zu beschleunigen; insbesondere, wenn ein Kontakt zu einem sehr schweren und steifen KSS auftritt.
- Panel als durchgängig ebene Geometrie:
Die Intrusionsgestalt ist v-förmig und entspricht nicht dem typischen Deformationsbild von Pkw (Kap. 2.1.2).
- $V_0=25\text{km/h}$:

Die Geschwindigkeitsänderung auf Schlitten-testanlagen beträgt somit mindestens 25km/h. Die in Tests erzielten Dummyantworten sind im Vergleich zu ECE-R95 Ergebnissen unrealistisch groß.

- „worst case“-Szenario nur für rückwärtsgerichtete KSS:

Das „worst case“-Szenario besagt, dass alle KSS-Typen derart getestet werden, dass die Maximalintrusion im Bereich des Dummykopfs auftritt. Da es aber vorwärts- und rückwärtsgerichtete KSS gibt, muss der Testaufbau entsprechend adaptierbar sein. Das einfache „hinged door“-Prinzip berücksichtigt dies nicht. Das hat zur Folge, dass rückwärtsgerichtete KSS unter schwereren Bedingungen getestet werden als vorwärtsgerichtete KSS. Folglich erscheinen bei vergleichender Bewertung tendenziell alle vorwärtsgerichteten KSS mit einem größeren Seitenaufprallschutzpotential. Dies ist nicht korrekt und erschwert das generelle Akzeptanzproblem von rückwärtsgerichteten KSS in vielen Ländern. Im Sinne der Erhöhung der passiven Sicherheit von Kindern als Pkw-Insasse ist eine solche Vorgehensweise kontraproduktiv.

3 Experimentelle Grundlagen

In diesem Kapitel sind die wesentlichen Grundlagen, die in der Fachliteratur nicht frei zugänglich, aber für die Definition eines sinnvollen Testverfahrens notwendig sind, herausgearbeitet. Die hier dargestellten Ergebnisse von Seitenaufprallversuchen nach ECE-R95, von Pkw-Innenraumgeometrievermessungen sowie von Steifigkeiten der Türinnenverkleidungen sind wesentliche Voraussetzungen für die Entwicklung eines Seitenaufpralltestverfahrens.

3.1 Auswertung von Versuchsdaten (ECE-R95)

Sämtliche unter 3.1 dargestellten Ergebnisse aus Versuchen nach ECE-R95 sind von der Bundesanstalt für Straßenwesen für dieses Projekt zur Verfügung gestellt worden. Abgebildet sind Ergebnisse von 9 verschiedenen Pkw-Typen aus der Kompakt- und Mittelklasse.

3.1.1 Messergebnisse

Im gestoßenen Fahrzeug wurden 3-axiale Tunnelbeschleunigungen (Querbeschleunigung: Abbildung 17) sowie die Intrusion der Türinnenverkleidung im Bereich des Oberschenkel-Abdominalübergangs des positionierten Dummies dynamisch aufgenommen. Die Türintrusionsmessung wurde für die Front- und Heckinsassenposition durchgeführt (Abbildung 18 & 19).

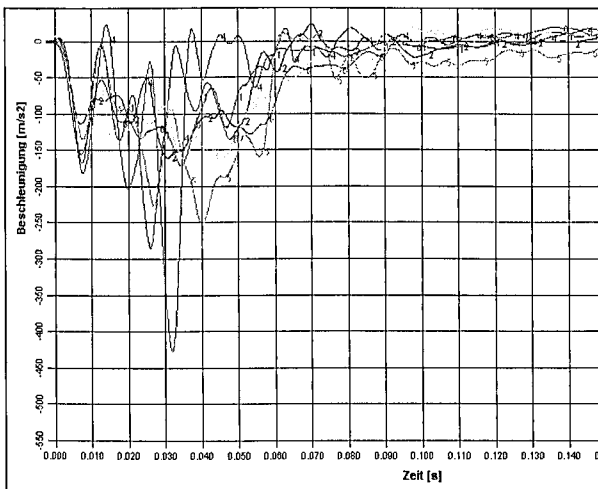


Abbildung 17: Querbeschleunigung (y-Richtung nach VDA-Konvention) der gestoßenen Pkw (ECE-R95)

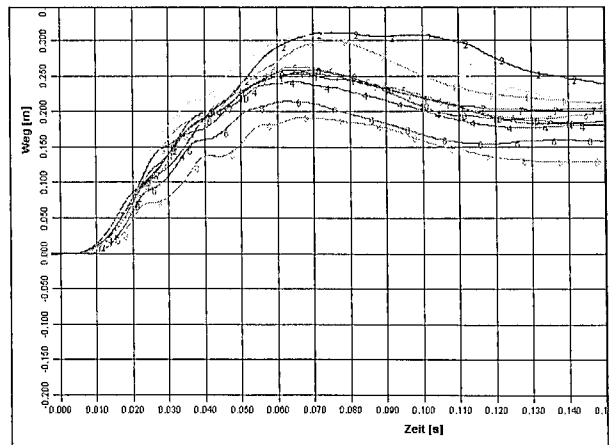


Abbildung 18: Intrusion der Türinnenverkleidungen vorne

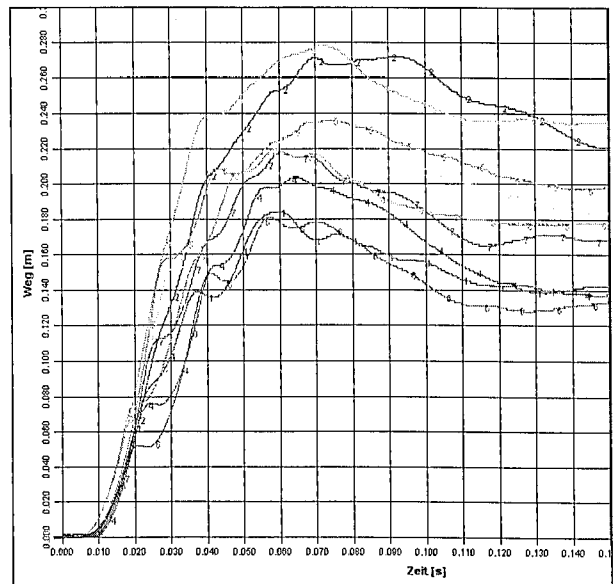


Abbildung 19: Intrusion der Türinnenverkleidungen hinten

3.1.2 Berechnete Ergebnisse

Die Tunnelbeschleunigungen wurden zur Darstellung des Geschwindigkeitsverlaufs des gestoßenen Fahrzeugs (Abbildung 20) mathematisch integriert (Zeitintegration).

Die Türintrusionen wurden zur Darstellung des lokalen Geschwindigkeitsverlaufs an der Türinnenverkleidung (Abbildung 21) mathematisch abgeleitet (Zeitableitung).

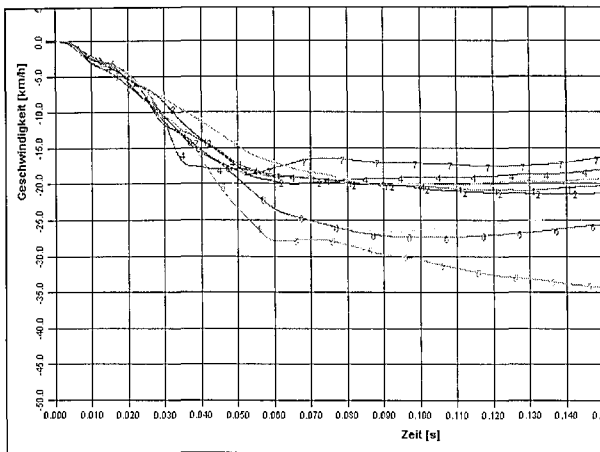


Abbildung 20: Integration des Beschleunigungsverlaufs der gestoßenen Pkw

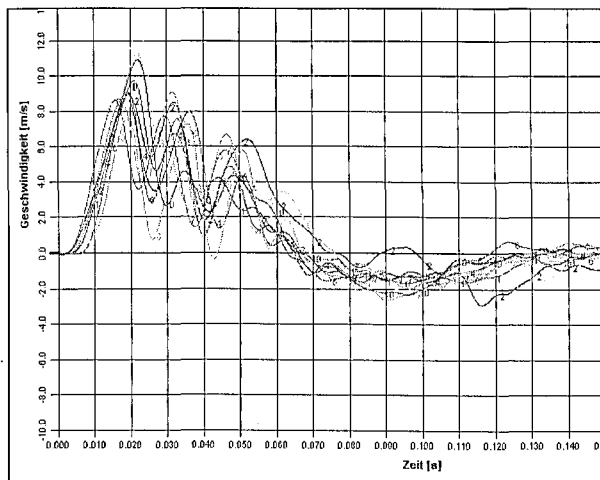


Abbildung 21: Ableitung der Türintrusionen

3.1.3 Diskussion der Ergebnisse

Betrachtet man zunächst die Zellenbeschleunigung des gestoßenen Fahrzeuges (Abbildung 17), so ist auffällig, dass alle betrachteten Fahrzeuge eine nahezu identische Zeitdauer der Beschleunigung erfahren. Das Niveau ist hingegen zeitlich stark schwankend, da es sehr abhängig von lokaler Geometrie und Steifigkeiten ist. So erreicht die Insassenzelle innerhalb von 8ms ein Beschleunigungsniveau von maximal 12-18g, welches zwischen 60-70ms wieder auf Null abfällt. Gleichzeitig führen die starken Schwankungen zu Minima nahe 0g. Ein umhüllender Korridor ist hieraus nur schwer zu generieren. Alternativ dazu ist das Verhalten des gestoßenen Pkws auch darstellbar über den Geschwindigkeits-Zeitverlauf, wie in Abbildung 20 abgebildet. Eine Geschwindigkeitsänderung zwischen 18 und 28km/h nach 60-70ms ist hierbei festzustellen. Mit dieser Zeitintegration wird deutlich, dass die Beschleunigungsverläufe mit großer Umsicht analysiert und genutzt werden müssen, denn eine Geschwindigkeitsänderung von 28km/h ist nur durch eine überlagerte Rotation des Pkws

oder durch ein deutlich geringeres Pkw-Gewicht als der beweglichen Barriere gemäß ECE-R95 (950kg) erklärbar. Dies ist jedoch bei keinem der getesteten Pkw der Fall. Um die mittlere Geschwindigkeitsänderung eines Pkw zu ermitteln, müssen demnach mehrere Beschleunigungsaufnehmer über die Fahrzeuglängsachse betrachtet werden. Solche Messergebnisse liegen zu den Versuchen aber nicht vor. Mit dem Impulssatz der theoretischen Stoßmechanik kann man unter Annahme einer durchschnittlichen Pkw-Masse eine mittlere Geschwindigkeitsänderung abschätzen. Tabelle 21 (Kap. 7.2) zeigt die Pkw-Neuzulassungsstatistik in Deutschland im Jahr 2001. Für jedes Pkw-Segment ist exemplarisch das meistverkaufte Fahrzeug ausgewählt und die Masse angegeben. Gewichtet mit dem prozentualen Anteil des jeweiligen Segments ergibt sich ein durchschnittliches Pkw-Leergewicht von ca. 1200kg. Da die Statistik von neu zugelassenen Pkw nicht den gegenwärtigen Pkw-Bestand hinreichend wiedergibt, ist ein 10%-iger Abzug vom Durchschnittsgewicht angenommen (Bsp.: VW Golf III: 1005kg, VW Golf IV: 1110kg). Hieraus ergibt sich ein Durchschnittsgewicht von ~1100kg, das auch nach Kramer [20] der durchschnittlichen, gegenwärtigen Crashmasse entspricht. Diese Annahme führt zu einer rechnerischen Geschwindigkeitsänderung von näherungsweise 23km/h. Dies entspricht auch dem arithmetischen Mittelwert des Geschwindigkeitsbereichs von 18-28km/h beim ECE-R95 Test nach Abbildung 20.

Die Türintrusionstiefen verschiedener Pkw (Abbildungen 18 & 19) schwanken recht stark, zeigen aber trotzdem eine typische Charakteristik im Seitenaufprall. So ist ein deutliches Rückschwingen durch die elastischen Anteile der Verformung zu erkennen, welches in folgender Tabelle berücksichtigt ist:

	Sitzposition vorne	Sitzposition hinten	gemittelt
Dynamische Intrusion	190-310mm	180-280mm	230-250mm
Statische Intrusion	130-240mm	130-240mm	185mm

Tabelle 9: Maximale Lateralintrusionen von Pkw nach ECE-R95

Die Maxima werden in einem Zeitraum von 60-70ms erreicht. Die Zeitableitung der Weg-Zeitverläufe ergibt eine maximale Intrusionsgeschwindigkeit von ca. 8-10m/s (28,8-36km/h) bei 15-25ms.

3.2 Geometrieigenschaften von Türinnenverkleidungen

Der Initialabstand zwischen Insasse (hier Kind mit KSS) und Tür beim Seitenaufprall ist ein wesentli-

cher Parameter, der die Größe und zeitliche Zuordnung der Belastung des Insassen durch kontaktierende Pkw-Innenstrukturen beeinflusst. [9] Daher wurden an ausgewählten Fahrzeugen Innenraumvermessungen durchgeführt, um Eingangsgrößen für das Testverfahren zu ermitteln.

3.2.1 Vorgehensweise

Als Grundlage für die Auswahl der zu vermessen den Pkw dienten die Jahreszahlen des Kraftfahrtbundesamtes über die Neuzulassungen von 1997. Anhand dieser Daten wurden für die Sub-Kompakt-, Kompakt-, Mittel- und Oberklasse jeweils die 3 (in der Sub-Kompaktklasse) bzw. 4 meistverkauften Fahrzeuge ausgewählt. Die Untersuchung wurde an Neuwagen in verschiedenen Autohäusern durchgeführt.

Ermittelt wurden die Höhe und Neigung der Fensterunterkante (Übergang Fenster – Türinnenverkleidung) bezüglich der CR-Achse (CRA aus ECE-R44), der Neigungswinkel des unteren Fensterbereichs sowie der minimale Abstand der Türinnenverkleidung zum KSS (Kap. 7.1: Abbildung 64, 65). Zur zusätzlichen Dokumentation der geometrischen Beschaffenheit (wie z.B. Form und Lage von Armauflagen, Griffen und Staufächern) der Tür sind Fotos aufgenommen worden.

Um eine möglichst gute Vergleichbarkeit der Ergebnisse zu erreichen, wurde eine Messvorrichtung gebaut. Diese wurde auf einer Grundplatte mit den Maßen 350 x 400 mm befestigt, welche die Auflagefläche eines Kindersitzes simulieren soll (Abbildung 22). Die beiden mit Skalen versehenen Messarme sind so miteinander verbunden, dass sie immer parallel zueinander stehen und somit der Aufwand zum senkrechten Ausrichten minimiert werden kann.

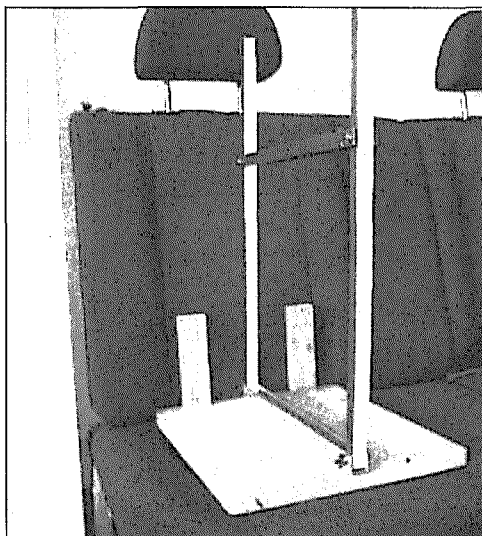


Abbildung 22: Messvorrichtung für Geometrieigenschaften von Türinnenverkleidungen

Die Messarme werden mit Hilfe eines digitalen Winkelmessers ausgerichtet, welcher auch dazu dient, den Winkel der Sitzfläche zu bestimmen. Die Höhe der Fensterunterkante wird durch das Anlegen einer horizontal ausgerichteten Wasserwaage an die Skalen der Messarme und durch Auflegen auf die Türkante gemessen. Die Messeinrichtung wurde zentrisch auf dem jeweiligen Sitz positioniert. Als Orientierung dafür dienten die Kopfstützen. So war es möglich, die Abstände der Fensterunterkante und der Tür zur Messeinrichtung mit einem Gliedermaßstab zu messen. Um die Höhen besser vergleichen zu können, wurden höhenverstellbare Beifahrersitze so weit wie möglich abgesenkt. Horizontal wurden die Sitze so ausgerichtet, dass die CR-Achse (Kap. 7.1, Abbildung 64,65) 10 cm vor der B-Säule lag. Bei 3-türigen Fahrzeugen wurde eine mittlere Position gewählt.

3.2.2 Messergebnisse

Die Ergebnisse dieser Untersuchung sind in den Tabellen in Kapitel 7.1 detailliert abgebildet.

Die hohe Anzahl an aufgenommenen Werten ist im Folgenden graphisch zusammengefasst dargestellt, die sich daraus ergebenden Mittelwerte werden erläutert. Die gemittelten Messergebnisse für die 1. bzw. 2. Sitzreihe in den Pkw unterscheiden sich nur marginal (Abweichungen < 3%), so dass folgend nur die Ergebnisse für die 2. Sitzreihe dargestellt sind.

Aus diesen Werten ergibt sich eine mittlere Höhe der Fensterunterkante (Abbildung 23) und eine mittlere Neigung dieser um die y-Achse (VDA) von 508 mm / 1,7° für die hintere und 519 mm / 1,6° für die vordere Tür.

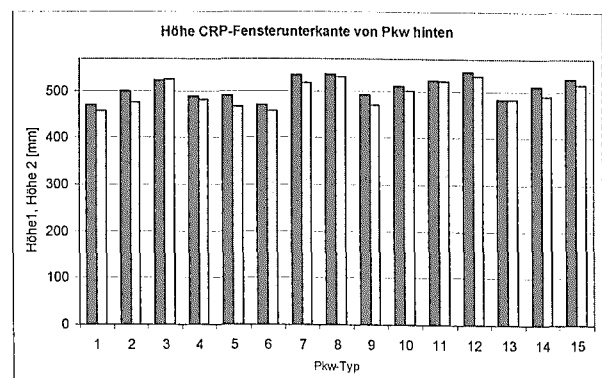


Abbildung 23: Relative Höhen zwischen CRA und Fensterunterkante verschiedener Pkw

Aus den Messwerten ergibt sich weiterhin ein mittlerer Abstand von der Fensterunterkante zur Sitzmitte sowie eine Neigung dieser um die z-Achse (VDA-Koordinatensystem) von

386 mm / 1,4° für die hintere und
390 mm / -0,8° für die vordere Tür.

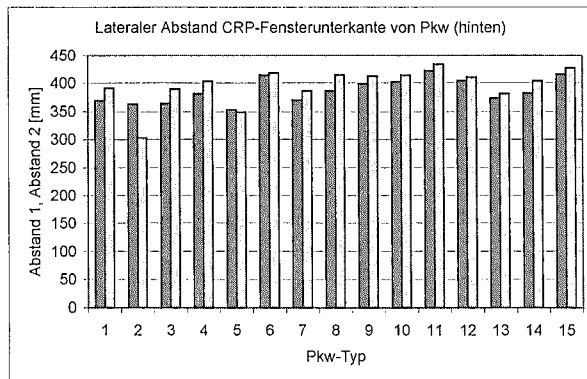


Abbildung 24: Graphische Darstellung Lateralabstand Fensterunterkante Pkw hinten

Für den Abstand der Türinnenverkleidung zur Sitzmitte betragen diese Werte

335 mm / $2,3^\circ$ für die hintere und
322 mm / $1,1^\circ$ für die vordere Tür.

Der gemittelte minimale Abstand liegt vorn wie hinten bei ca. 300mm (Abbildung 25). Der Anstellwinkel der Fensterscheiben liegt vorn wie hinten gemittelt bei ca. 72° (Abbildung 26).

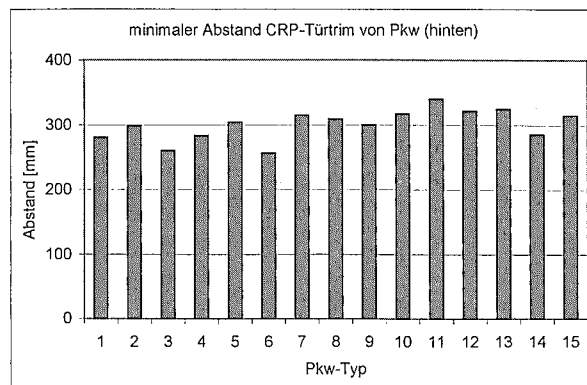


Abbildung 25: Minimaler Abstand zwischen Türtrim und Sitzmitte bei Pkw hinten

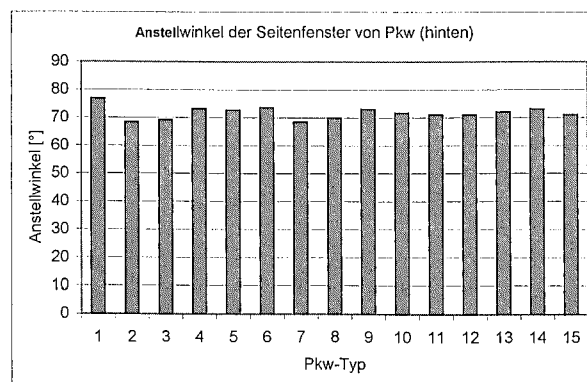


Abbildung 26: Anstellwinkel der Fensterscheibe bei Pkw hinten

3.2.3 Auswahl von Parameterwerten

Aus den vorliegenden Ergebnissen können folgende Schlussfolgerungen zur Beschreibung einer durchschnittlichen Pkw-Tür gezogen werden:

- Die Oberkante des Türtrims kann als horizontale Linie angenommen werden.
- Der Türtrim kann als parallel zur Symmetrieebene des Sitzplatzes angenommen werden.
- Die Höhe des Türtrims (Abstand von CR-Achse in z-Richtung) beträgt 500mm.
- Der minimale Abstand des Türtrims (unterer Bereich) zur Symmetrieebene des Sitzplatzes (Sagittalebene Kind) beträgt 300mm (wie auch in [14] beschrieben).
- Der Abstand des Türfensters zur Symmetrieebene Sitzplatz (Sagittalebene Kind) beträgt 380-390mm.
- Die Neigung des Türfensters zur Horizontalen beträgt 72° .

3.3 Dynamische Kontaktsteifigkeiten von Türinnenverkleidungen

Der Pkw-Seitenaufprall ist wesentlich gekennzeichnet durch intrudierende Strukturen und hierdurch auftretende direkte Kontakte zwischen der Pkw-Türinnenstruktur und dem Insassen bzw. KSS. Eine Untersuchung von Türinnenverkleidungen bzgl. ihrer Kontaktsteifigkeit ist daher zwingend erforderlich, da diese Steifigkeit wesentlichen Einfluss auf die Belastungen des Insassen haben kann. Da die Bauarten von Türinnenverkleidungen stark differieren, sind drei verschiedene Pkw-Verkleidungen aus der Kompakt-, der Mittel- sowie der Oberklasse ausgewählt worden. Diese wurden mit der kompletten Türbaugruppe in einheitlicher Weise an 6 verschiedenen Stellen (siehe Abbildung 27) mit einer Pendelschlagprüfvorrichtung dynamisch beaufschlagt. Die erzielten Messergebnisse wurden mathematisch 2-fach zeitintegriert und grafisch dargestellt. Ziel war es, eine gemittelte Kraft-Weg-Kennlinie zu erhalten, um ein geeignetes Deformationsmaterial zu gestalten, welches diese Kennlinie ausreichend genau wiedergibt.

3.3.1 Testbedingungen

Der Stahlaufprallkörper der Pendelschlagprüfvorrichtung hat ein Gewicht von 4,8kg und trifft mit seiner kreisförmigen Kontaktfläche (Durchmesser 120mm) die Türinnenverkleidung mit einer Geschwindigkeit von 5,2-5,5m/s im unteren Totpunkt des Pendels. Die Türbaugruppen sind jeweils derart auf einem Versuchsträger befestigt, dass ein orthogonaler Anprall ermöglicht wird. Die Anprallpositionen sind subjektiv mit dem Ziel ausgewählt, ein möglichst breites Spektrum von lokalen Drucksteifigkeiten zu ermitteln (Abbildung 27).

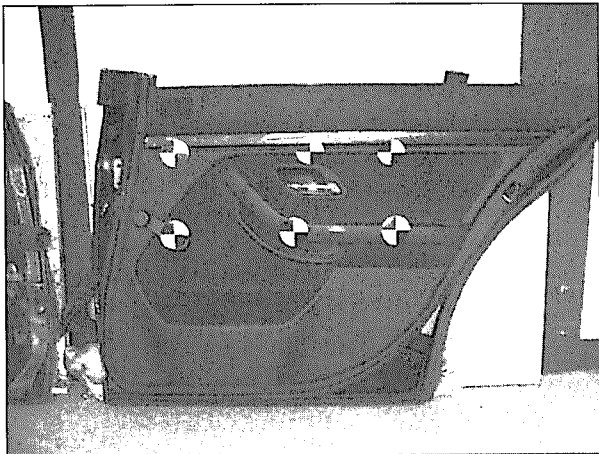


Abbildung 27: Markierte Auftreffpunkte bei einer BMW-Tür

Auf der Rückseite des Stahlaufprallkörpers ist ein 1-axialer Beschleunigungsaufnehmer montiert, mit dem die Verzögerung des Pendels durch den Aufprall gemessen wird. Um dynamische Kraft-Weg-Kennungen zu erhalten, wurde dieses Signal 2-fach zur Ermittlung des Wegs integriert bzw. mit der Pendelmasse zum Erhalt der Kraft* multipliziert (Die mit „*“ angegebenen Kräfte entsprechen nicht exakt der physikalisch aufgetretenen Kraft, da die anteilige Masse des Pendelstabs unberücksichtigt bleibt).

3.3.2 Messergebnisse

BMW-Tür	Kraft* [N]	Weg [mm]	v_0 [m/s]	Kommentar
Segment 1	4158	18,6	5,26	Außenkante
Segment 2	2889	39	5,24	
Segment 3	3136	27,1	5,24	
Segment 4	2754	41,8	5,49	Kurbel
Segment 5	2725	32,5	5,49	Handgriff
Segment 6	3351	30,4	5,49	Armlehne

Tabelle 10: Ermittelte Kraft*-Weg Maxima einer BMW-Türinnenverkleidung (BMW 5er-Serie, E39)

Die tabellarischen Maximalwerte der BMW-Türinnenverkleidung (5er-Serie, E39) ergeben eine durchschnittliche lineare Drucksteifigkeit von 112N/mm. Je nach Anprallposition variiert diese zwischen 66 und 224N/mm.

Ford-Tür	Kraft* [N]	Weg [mm]	v_0 [m/s]	Kommentar
Segment 1	2456	20,4	5,25	
Segment 2	2240	43,4	5,3	
Segment 3	2412	35,6	5,3	
Segment 4	5546	17,9	5,46	
Segment 5	2693	44,2	5,45	
Segment 6	2310	36,7	5,45	Außenkante

Tabelle 11: Ermittelte Kraft*-Weg Maxima einer Ford-Türinnenverkleidung (Ford Escort)

Die Türinnenverkleidung des Ford Escort zeigt eine identische durchschnittliche Drucksteifigkeit und variiert dabei je nach Anprallort zwischen 62N/mm und 310N/mm. Die Türinnenverkleidung des VW Passat ist mit 100 N/mm etwas weicher und variiert zwischen 38 und 236N/mm.

VW-Tür	Kraft* [N]	Weg [mm]	v_0 [m/s]	Kommentar
Segment 1	4489	34,6	5,35	Außenkante
Segment 2	2289	31	5,36	Handgriff
Segment 3	2290	41,1	5,35	
Segment 4	7920	33,5	5,48	Außenkante
Segment 5	2182	57,5	5,51	Trim eingerissen
Segment 6	2841	44,9	5,52	

Tabelle 12: Ermittelte Kraft*-Weg Maxima einer VW-Türinnenverkleidung (VW Passat)

3.3.3 Diskussion

Die dynamische Drucksteifigkeit von Türinnenverkleidungen variiert nach Anprallposition erheblich aufgrund des heterogenen Aufbaus von Türbaugruppen. Der Verlauf der ermittelten Kraft-Weg-Kennungen kann näherungsweise als linear steigend angenommen werden (siehe Kapitel 7.3). Mittelt man die Drucksteifigkeiten einer Pkw-Tür über ihre Fläche, so sind die Unterschiede der durchschnittlichen Drucksteifigkeiten zwischen den getesteten Türinnenverkleidungen nur noch gering. Eine homogenisierte, dynamische Drucksteifigkeit, die zwischen 100-120N/mm liegt, kann als Ergebnis dieser Untersuchung als sinnvoll für einen typ-unabhängigen Komponententest angesetzt werden.

Nachfolgend wurden verschiedene Schäume unter unveränderten Testbedingungen geprüft, um diese Kennung zu erreichen.

"Padding"	Kraft* [N]	Weg [mm]	v_0 [m/s]
20mm Styrodur	6980	18,6	5,24
40mm Styrodur	4556	19,4	5,26
60mm Styrodur	4500	20,3	5,24
20mm + 30mm**	3646	29,9	5,24
20mm + 45mm**	3041	36,6	5,24

Tabelle 13: Ermittelte Kraft*-Weg Maxima von technischen Schaumproben (**: Styrodur + Zellkautschuk)

Zunächst wurde ein 20mm Styrodurschaum (Dichte 44kg/m³) untersucht. Dieser weist ein stark plastisches Deformationsverhalten auf. Die Materialdicke war nicht ausreichend, so dass in weiteren Schritten die Dicke verdoppelt und verdreifacht wurde. Insgesamt ist die Steifigkeit deutlich zu hoch und zeigt gleichzeitig nicht die erwünschte elastische Rückfederung.

Daher wurde ein 20mm Styrodurschaum mit einer 30mm Zellkautschukplatte (Dichte 180 kg/m³) unterlegt. Der Zellkautschuk zeigt ein rein elastisches

Kompressionsverhalten, so dass er mehrfach eingesetzt werden kann. Die Kombination führt zu einer Drucksteifigkeit von 122N/mm. Dies liegt nur leicht oberhalb der erwünschten Zielkennung. Eine Variation mit 45mm Zellkautschuk führte dann zu einer Drucksteifigkeit von 83N/mm. Beide Varianten liegen in einem annehmbaren Bereich (siehe Kapitel 7.3: Abbildung 69).

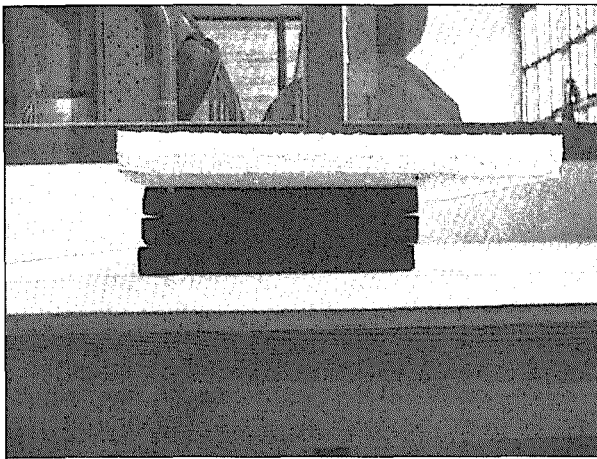


Abbildung 28: Materialprobe bestehend aus 20mm Styrodur (oben) und 45mm Zellkautschuk (unten)

3.4 Ableitung von Schutzkriterien aus CREST

CREST (Child Restraint Standard) war ein großes europäisches Forschungsprojekt (1996-2001) zur

Kindersicherheit in Pkw unter Beteiligung von Automobilherstellern sowie verschiedener wissenschaftlicher Institute. [26] [41] [42]

3.4.1 Methodik

Aus Deutschland, England, Italien und Frankreich wurden Daten des realen Unfallgeschehens gesammelt und analysiert. Betrachtet wurden alle Unfälle, bei denen Kinder als Insassen verletzt wurden bzw. bei großer Unfallschwere unverletzt blieben. Insgesamt beinhaltet diese Datenbank 405 Unfälle. Hiervon wurden 56 experimentell 'nachgefahren'. 110 Komponententests für Parameterstudien unterstützten hierbei die möglichst exakte Abbildung und Analyse der Unfälle.

Der Einsatz von neuen anthropomorphen Prüfpuppen (Q-Dummies) ermöglichte detaillierte Messungen. Ziel dieser Vorgehensweise war die Korrelation von Verletzungen aus dem realen Unfallgeschehen mit physikalischen Parameterwerten der experimentellen Rekonstruktion. Hieraus wurden Belastungsgrenzwerte ermittelt, die als Schutzkriterien zur Bewertung von KSS sowie der Kindersicherheit in Pkw zur Diskussion gestellt werden. Gegen Ende des Projekts wurde ein umfangreiches KSS-Testprogramm durchgeführt, um die Anwendbarkeit dieser Schutzkriterien unter verschärften, realitätsnahen Bedingungen zu analysieren. Ein öffentlicher Abschlußbericht [41] liegt vor. Die wesentlichen Erkenntnisse aus der Analyse der experimentellen Rekonstruktionen sind im Folgenden zusammengefasst.

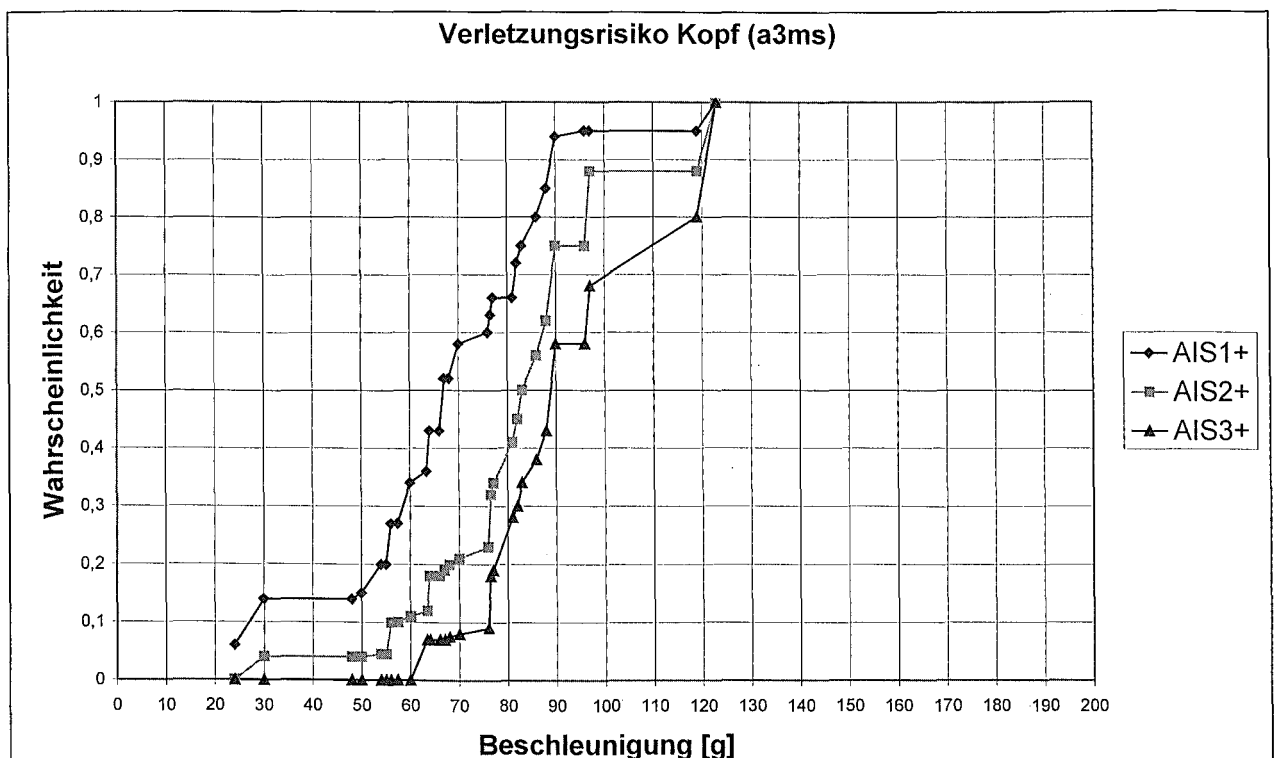


Abbildung 29: Verletzungsrisiko-Kurven für den Kopf des 3-Jährigen (Q-Dummy, Res. a_{3ms}) [41]

3.4.2 CREST-Unfallrekonstruktionen

Die Verletzung des Kopfes im Unfallgeschehen ist häufig und folglich auch in der CREST-Datenbank stark vertreten (Kap. 2.2, Abbildung 11). Das Ziel, mit der Rekonstruktions-Methode Belastungsgrenzwerte für Körpersegmente zu ermitteln und daraus Schutzkriterien abzuleiten, konnte für den Kopf erreicht werden. Die Abbildungen 29 und 30 zeigen Verletzungsrisiko-Kurven mit zwei verschiedenen Methoden der Datenfilterung. In Abbildung 29 sind die Dummykopf-Messergebnisse, die mit der veralteten P-Dummyserie ermittelt wurden, eliminiert und alle weiteren auf das 3-jährige Kind skaliert (Geometrie- und Materialeigenschaften [28]), abgebildet. In Abbildung 30 sind alle Messdaten ohne Skalierung und Vorauswahl zusammengefasst analysiert. Angewandt wurde in beiden Fällen die „*Certainty-Grouping-Method*“. [29] Dieses Verfahren findet häufig Anwendung zur Ermittlung von Verletzungs-Risiko-Kurven. Kennzeichnend hierbei ist die Definition von Schwellenwerten sowie die Aussage zur Erfüllung oder Nichterfüllung (ja/nein) der zu betrachtenden Zielgröße (z. B. AIS2+) durch ein Einzelereignis. Für jeden Schwellenwert erhält man eine Anzahl von Ja/Nein-Aussagen, mit denen sich der Erfüllungs-

grad (Wahrscheinlichkeit) der Zielgröße bestimmen lässt ($p_i = \text{Anzahl ja} / \text{Anzahl ja+nein}$). Die resultierenden Verletzungsrisiko-Kurven der beiden Filtermethoden unterscheiden sich nur marginal, so dass für den Frontalaufprall folgende Grenzwerte für den Q1, Q3 und Q6 plausibel erscheinen und zur Diskussion gestellt werden:

- Kopfverletzungsrisiko gering: Kopf $_{Res a3ms} < 70g$ (50%-Wahrscheinlichkeit AIS1+)
- Kopfverletzungsrisiko moderat: Kopf $_{Res a3ms} < 85g$ (50%-Wahrscheinlichkeit AIS2+)
- Kopfverletzungsrisiko hoch: Kopf $_{Res a3ms} > 85g$ (50%-Wahrscheinlichkeit AIS2+)

Gleiche Analysen wurden für Halswirbelsäule, Thorax und Abdomen durchgeführt. Leider konnten hierbei bisher keine befriedigenden Ergebnisse erzielt werden, da einerseits die Anzahl der rekonstruierten Unfälle nicht ausreichend war, aber andererseits auch die vorhandenen Ergebnisse keinen eindeutigen Trend aufweisen. Dies ist zurückzuführen auf die Benutzung verschiedener Dummytypen, Modifikationen der Q-Prototypen im laufenden Projekt sowie für diese Forschungszwecke unzureichende Messmöglichkeiten an den Dummytypen.

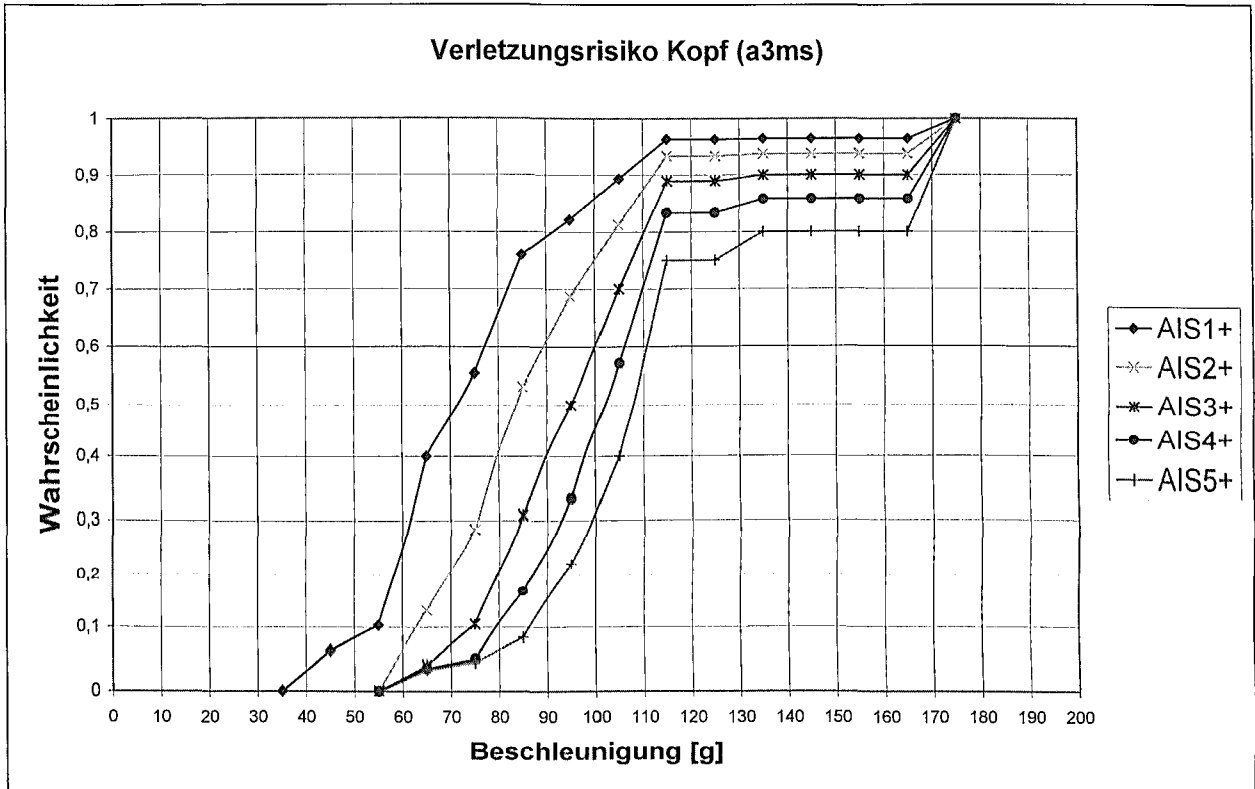


Abbildung 30: Verletzungsrisiko-Kurven für Kopf des 0-6-Jährigen (P- & Q-Dummy, Res. a_{3ms}) [32]

4 Konzeption und Konstruktion einer Versuchseinrichtung

4.1 Anforderungskatalog an ein standardisierendes Testverfahren

Der im Folgenden beschriebene Anforderungskatalog bezieht sich ausschließlich auf die Quellen, die in den vorangegangenen Kapiteln erläutert sind. Er stellt die Basis dar, um im Weiteren mit Ideen und daraus resultierenden Konzepten eine Testprozedur zu generieren.

4.1.1 Kinematik des Testaufbaus

- Die Geschwindigkeitsänderung der Testbasis (z.B. ECE-R44 Sitzbank auf Testschlitzen) muss mindestens 23km/h und darf höchstens 23,2km/h betragen.
- Die Geschwindigkeitsänderung muss in einem Zeitbereich von 60-70ms nach t_0 eingetreten sein.
- Entsprechend ist ein Geschwindigkeitskorridor einzuhalten, so dass ein durchschnittliches Beschleunigungsniveau von ca. 10-13g realisiert wird (Abbildung 31).

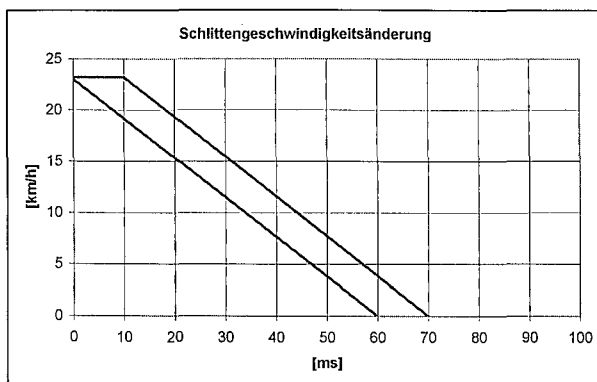


Abbildung 31: Delta-v Korridor

4.1.2 Intrusionsstruktur

Das Testverfahren muss eine intrudierende Struktur mit folgenden Eigenschaften aufweisen:

- Der Initialabstand zur Saggitalebene des Dummys muss 300mm betragen.
- Die Struktur ist glattflächig zu gestalten und parallel zur Saggitalebene des Dummys auszurichten.
- Der Strukturbereich, der das KSS kontaktiert, muss eine Steifigkeit aufweisen, die der einer durchschnittlichen Pkw-Türinnenverkleidung entspricht (siehe Kapitel 3.3).

- Die Höhe der Struktur muss 500mm betragen (vertikal über CR-Achse).
- Die Oberkante muss horizontal verlaufen.
- Die Maximalintrusion muss im Bereich von 230-250mm und in einem Zeitbereich von 60-80ms erreicht werden. Diese muss für alle KSS-Typen im Bereich des Kopfs auftreten.
- Die maximale Intrusionsgeschwindigkeit muss zwischen 29 und 36km/h liegen.
- Für ein „hinged door“-basiertes Verfahren (Kap. 2.4) ist folgender Korridor einzuhalten:

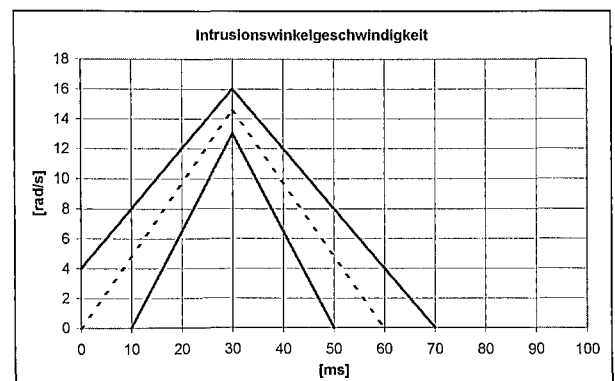


Abbildung 32: Winkelgeschwindigkeitskorridor

Die Obergrenze ist derart gestaltet, dass sie einer Winkeländerung der „hinged door“ um die Drehachse von 35° entspricht. Die Untergrenze beschreibt eine Änderung von 15° , so dass der gestrichelte Mittelwert gerade einer Winkeländerung von 25° entspricht. Dies wiederum entspricht exakt der Forderung nach einer Eindringung von 230-250mm. Der Korridor ist im Bereich der Maximalgeschwindigkeit sehr eng gesteckt. Dies reduziert die Bandbreite der möglichen Intrusionsgeschwindigkeiten. Diese liegt zwischen 13 und 16rad/s. Bei einem Kontaktbereichsabstand des Kopf-Nackensbereichs von 0,55-0,65m zur Paneldrehachse ergibt sich ein wie oben geforderter Intrusionsgeschwindigkeitsbereich von ca. 26-37km/h.

4.2 Anforderungen an anthropometrische Prüfpuppen

In der experimentellen Insassensimulation werden Prüfpuppen eingesetzt (*Crashdummies*), die einerseits dem menschlichen Körper ähnlich sein sollen und andererseits die im Test auftretenden mechanischen Lasten unbeschädigt ertragen können. Sie dienen der Abbildung der menschlichen Kinematik unter Crashbedingungen, der Einleitung von realistischen Massenträgheitskräften in die Pkw-Umgebung sowie der Messung von physikalischen Größen (Beschleunigungen, Kräfte, Momente und Wege).

Gegenwärtig sind drei wesentliche Kinderdummybauarten zu unterscheiden:

- P-Dummys (Fa. TNO)
- H-III Dummys (Fa. FTSS und Denton ATD)
- Q-Dummys (Fa. FTSS)

Diese werden folgend unter den dummyspezifischen Kriterien wie Abbildungsgüte, Robustheit und Messtechnik bezüglich der Seitencrasheignung diskutiert.

4.2.1 Abbildungsgüte des menschlichen Körpers („*Biofidelity*“)

Oberstes Ziel bei der Entwicklung einer Crashprüfpuppe ist die möglichst genaue Wiedergabe des Verhaltens des menschlichen Körpers unter den zu prüfenden Crashbedingungen. Zur Abbildung einer menschenähnlichen Kinematik im dynamischen Ablauf sind daher folgende Aspekte zu beachten:

- geometrische Eigenschaften wie Abmaße, Massen und Trägheiten aller Körpersegmente sowie Gelenklokalitäten und deren Kinematik,
- mechanische Nachgiebigkeit aller Körpersegmente unter dynamischer Last.

Hinsichtlich der Abbildung dieser geometrischen Eigenschaften ist die Q-Familie (FTSS, TNO) hervorzuheben. Der Diskretisierungsgrad ist im Vergleich zu den veralteten P-Dummys hoch. Es wurden z.B. Röntgenaufnahmen von Körpersegmenten zur Abbildung relevanter Knochengeometrien herangezogen (⇒EU-Projekt CREST). [41][42]

Im Gegensatz zur konkurrierenden HIII-Kinderdummyfamilie und zur bestehenden P-Serie wurde die Q-Familie unter Berücksichtigung lateraler Crashbedingungen konzipiert. Das komplexe Schultergelenk des menschlichen Körpers ist vereinfacht abgebildet und auch in lateraler Richtung nachgiebig; der Brustkorb ist omnidirektional flexibel. Dies hat wesentlichen Einfluss auf das dynamische Gesamtverhalten des Dummyoberkörpers beim Seitenaufprall. Die Schulter wird seitlich kontaktiert und kann nachgeben. Der Abstand der intrudierenden Struktur zum Kopf wird reduziert, so dass bei der dann beginnenden Inklination der HWS der freie Abstand bereits geringer ist und somit der maximale Inklinationswinkel der HWS deutlich kleiner ausfällt als bei einem Dummy mit starrer Schultergeometrie.

Da weder die P-Dummys noch die H-III Dummys lateral nachgiebig gestaltet sind, müssen diese als weniger geeignet eingestuft werden. Im Weiteren werden daher nur die Q-Dummys betrachtet.

4.2.2 Messtechnik

Durch den lateralen Anstoß und die daraus resultierenden typischen Verletzungsbilder am kindlichen Körper (siehe Kap. 2.2) ergeben sich die notwendigen Messstellen am Dummy:

1. Kopf
2. Halswirbelsäule
3. Brustkorb (Rippen, unterer Rippenbogen)
4. Extremitäten
5. Abdomen
6. Becken

Hierfür ist die Q-Familie mit folgender Sensorik vorbereitet:

Kopf:	3-axialer Beschleunigungsaufnehmer
Obere HWS:	6-Kanal Messdose (Kräfte und Momente)
Untere HWS:	6-Kanal Messdose (Kräfte und Momente)
Brustkorb:	lateraler Wegaufnehmer & 3-axialer Beschleunigungsaufnehmer
Becken:	3-axialer Beschleunigungsaufnehmer

Für die Extremitäten und für den Abdominalbereich ist keine Messmöglichkeit vorgesehen.

Da im Seitencrash der Dummy primär durch direkte Kontaktkräfte belastet wird, wäre es wünschenswert, diese im Bereich des Kopfes, der Schultern, der Extremitäten und des Abdominalbereichs direkt zu messen (⇒ EU-Projekt CHILD). Dies könnte zur Optimierung von KSS zukünftig hilfreich sein, da der Rückschluss von Beschleunigungsmessungen auf lokale Kontaktkräfte nur bedingt möglich ist.

4.2.3 Robustheit

Die mechanische Belastbarkeit eines Dummys ist eine wesentliche Voraussetzung zum Einsatz im experimentellen Crashbereich. Diese Forderung steht jedoch häufig im direkten Zielkonflikt mit der Forderung nach einer hohen Abbildungsgüte.

Die Q-Serie mit ihrem sehr differenzierten Aufbau (kleine, teilweise dünnwandige Bauteile) konnte nur durch den intensiven Einsatz von Kunststoffen realisiert werden. Bei insgesamt ca. 30 für dieses Forschungsprojekt durchgeführten Versuchen zeigte der genutzte Q3-Dummy trotzdem keinerlei Defekte der Mechanik oder der Elektronik.

Hingegen musste bereits nach mehreren Versuchen mit dem P18 Monate-Dummy ein Bauteil des Schultergelenks ausgetauscht werden. Die sehr steife und nicht nachgiebige Ausführung der Schulter führte zum Bruch eines Stahlgelenkkauges.

4.3 Vorgeschlagenes Konzept

Die Diskussion der existierenden Prinzipien (Kap. 2.5) zeigt, dass das „*hinged-door*“-Prinzip am ehesten in der Lage ist, die wesentlichen Parameter des Seitenaufpralls zu integrieren. Die be-

schriebenen Fehler in der konzeptionellen und konstruktiven Umsetzung sind analysiert worden und wurden mit dem hier vorgestellten Konzept (TUB-SIPCRS) überwunden.

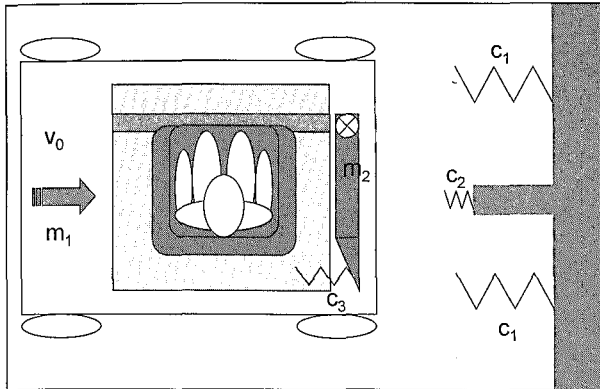


Abbildung 33: TUB-SIPCRS Konzept

Folgende Erweiterungen des Ausgangskonzepts sind hierzu notwendig:

- Es wird ein starrer, also ortsfester Impaktor benutzt. Hierdurch ist der Energieeintrag groß, so dass der Masseneinfluss des Panels und der KSS klein sind. Numerische Simulationen mit MADYMO zeigten, dass die Alternative einer Massenerhöhung des transversal beweglichen Impaktors erst bei sehr großen Massen das erwünschte Resultat erbrächten. [31]
- Die Geometrie des Panels ist derart gestaltet, dass zu keinem Zeitpunkt die Intrusion von 250mm überschritten ist. Gleichzeitig ermöglicht diese Gestalt eine realistischere Abbildung von Pkw-Seitenaufpralldeformationen (Abbildung 36: *curved door*).
- Die Initialgeschwindigkeit ist, wie in Kapitel 4 beschrieben, auf 23km/h festgelegt.
- Die gesamte ECE-R44 Sitzbank ist so ausgelegt, dass sie auch um 180° gedreht montiert werden kann, so dass vorwärts- und rück-

wärtsgerichtete KSS derart getestet werden, dass die Maximalintrusion im Kopfbereich auftritt („worst case“-Szenario, vgl. Abbildung. 34 und 35).

- Dieses Konzept macht die Bewegung der Lehne im vorwärtsgerichteten Modus erforderlich (Abbildung 35).
- Der Retraktor und die obere Gurtumlenkung des 3-Punkt Gurtsystems werden transversal beweglich ausgeführt, so dass die Crashintrusion der B-Säule und der daran befestigten Gurtelemente wiedergeben sind.

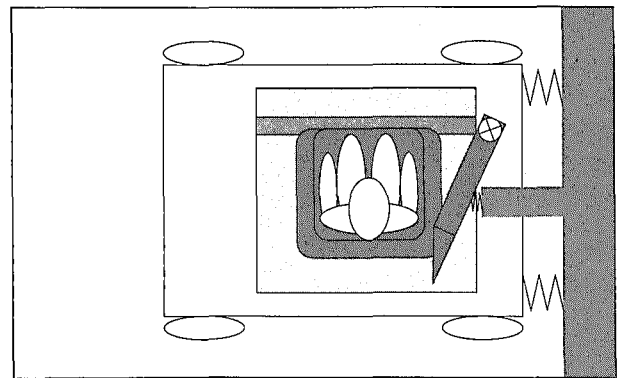


Abbildung 34: Maximaleintrusion für rückwärtsgerichtete KSS bei TUB-SIPCRS

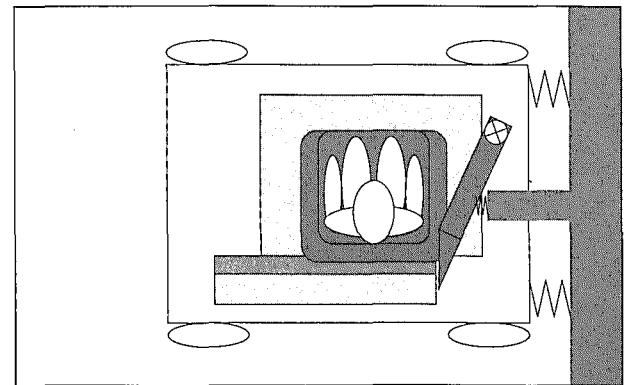


Abbildung 35: Maximaleintrusion für vorwärtsgerichtete KSS bei TUB-SIPCRS

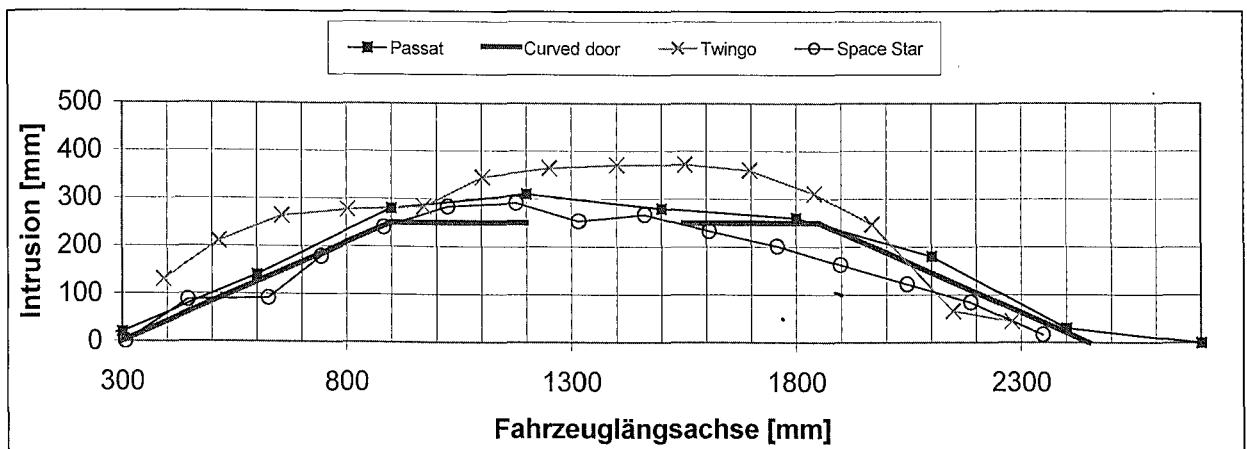


Abbildung 36: Vergleich Intrusionsprofil TUB-SIPCRS (*curved door*) und Pkw-Intrusionen nach ECE-R95 (VDA-Schnittebene bei $z \sim 500\text{mm}$)

4.4 Konstruktion der Versuchseinrichtung

Die konstruktive Umsetzung des Konzepts TUB-SIPCRS bemüht sich um Einfachheit und setzt Standardausstattungen üblicher Craschanlagen voraus, wie sie auch am Fachgebiet Kraftfahrzeuge der TU Berlin vorzufinden sind. [16] Hierzu gehört ein als Leiterraum ausgeführter Versuchsschlitten, der auf die gewünschte Geschwindigkeit beschleunigt werden kann. Abgebremst wird er über eine Biegeblechbremse, die maximal vierstufig belegbar ist.

Der Testaufbau besteht aus einem Grundrahmen, der ECE-Sitzbank, dem Panel sowie aus einem ortsfesten Impaktor.

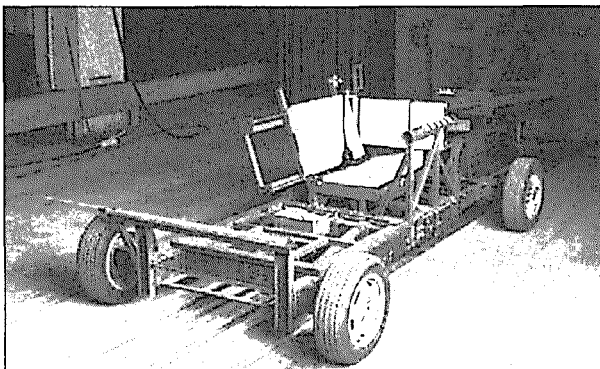


Abbildung 37: Gesamtaufbau auf Testschlitten

4.4.1 Der Grundrahmen

Der Grundrahmen ist auf den Leiterraum des Schlittens angepasst. Er ist mit dem Schlitten verschraubt und stützt sich gleichzeitig formschlüssig an diesem ab. Alle Bestandteile der Versuchseinrichtung (außer Impaktor) sind auf diesem Grundrahmen montiert, so dass eine schnelle Aufrüstzeit ermöglicht wird. Das Gesamtgewicht der Versuchseinrichtung (ohne Impaktor und Schlitten) beträgt ca. 260kg.

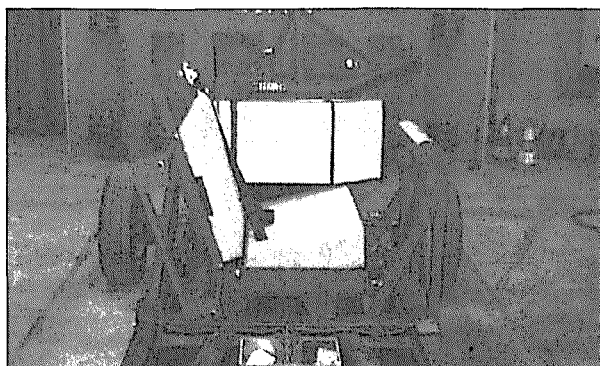


Abbildung 38: Testaufbau für rückwärtsgerichtete KSS (Ansicht von hinten in Fahrtrichtung)

4.4.2 Die ECE-R44 Sitzbank

Die ECE-Sitzbank ist im Gegensatz zur Standardanwendung nach ECE-R44 zweiteilig ausgeführt. Dies ist notwendig, da die Lehne mitsamt dem Retraktor translatorisch auf Schienen gelagert ist. Die Sitzbank sowie die Lehne können in zwei Anordnungen auf dem Grundrahmen montiert werden:

- „worst case“-Szenario I (für rückwärtsgerichtete KSS): Lehne nahe der „hinged door“-Drehachse,
- „worst case“-Szenario II (für vorwärtsgerichtete KSS): Lehne im Bereich der Maximalintrusion des Panels.

Da nur die Sitzbank um 180° gedreht werden muss, ist die Umrüstzeit zum Testwechsel zwischen vorwärts- und rückwärtsgerichteten KSS extrem kurz.

4.4.3 Das Panel



Abbildung 39: Panel mit Impaktoraufprallfläche und Impaktor (links)

Das Panel ist als Schweißkonstruktion mit St-37-Profilen ausgeführt. Die Kontaktflächen aus Hartholz mit Defo-Matten (Zellkautschuk plus Styrodur) sind zueinander winklig angeordnet. Durch diese Gestalt kann eine unrealistisch große Panelintrusion verhindert werden (*curved door*). Das Panel ist uniaxial gelenkig in Gleitlagerungen befestigt. Die Lagerbolzen sind formschlüssig mit den Panellaugerungen verbunden. Somit führen diese Bolzen eine Drehung gegenüber dem Dreibein des Grundrahmens aus. Drehwinkelaufnehmer, die am Dreibein befestigt werden, sind über eine Adapterkupplung mit den Bolzen verbunden und geben den dynamischen Drehwinkel des Panels als Messsignal wieder.

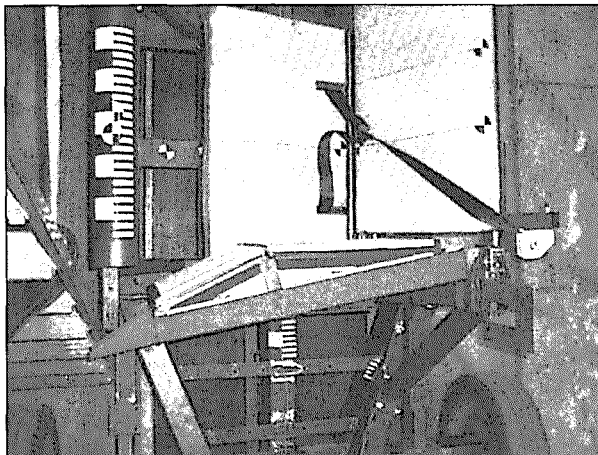


Abbildung 40: Gekröpfte mehrschichtige Panelauflage

4.4.4 Der Impaktor

Der Impaktor ist ein geschweißter Tragwerksausleger aus St-37-Profilen. Er ist oberhalb der Bandbremse an der starren Barriere verschraubt. Der panelseitige Bereich ist derart ausgeführt, dass die Impaktorspitze in der horizontalen Ebene in Grenzen einstellbar ist ($\pm 20\text{cm}$ in x- und y-Richtung). Dies ist notwendig, da hierüber die Einhaltung des Winkelgeschwindigkeitskorridors wesentlich beeinflusst werden kann.

Die Grundplatte (10x10cm) an der Spitze dient zur Befestigung von Defoelementen.

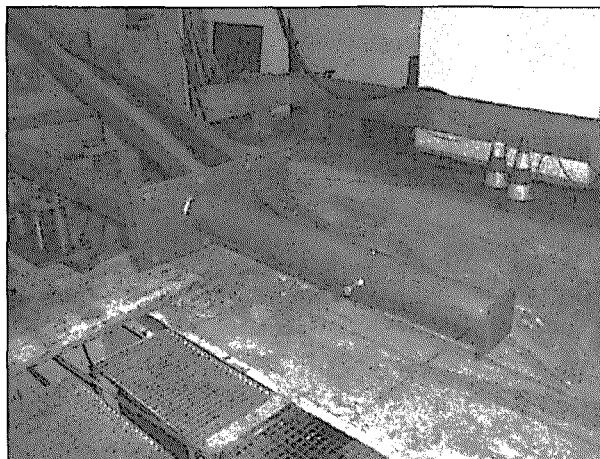


Abbildung 41: Starrer Impaktor

4.4.5 Das Gurtsystem

Der Retraktor und die obere Gurtumlenkung des 3-Punkt Gurtsystems sind am Rahmen der ECE-R44 Lehne befestigt. Im Modus für vorwärtsgerichtete KSS wird somit der äußere Schultergurt mit der Lehnenbewegung mitgeführt. Dies hat den Vorteil, dass ein Nachgeben des Gurtsystems möglich ist.

Ohne diese bewegliche Lagerung würde das KSS durch den Gurt starr fixiert sein und im Verlauf der Panelintrusion extrem verspannt werden.

4.4.6 ISOFIX-Verankerungen

Die fahrzeugseitigen ISOFIX-Verankerungen sind in diesem Testaufbau auf einer Schiene gleitend gelagert. Somit wird bei einem lateralen Anstoß eines ISOFIX-KSS eine einseitig freie laterale Bewegung des KSS ermöglicht (Abbildung 42). Es ist jedoch auch möglich, den Freiheitsgrad durch Klemmmuffen auf der Schiene zu sperren. Somit können in Testserien prinzipiell verschiedene Varianten überprüft werden. Die im folgenden Kapitel durchgeführten Tests mit ISOFIX-KSS zeigen jedoch, dass auch mit dem lateralen Freiheitsgrad die Verschiebung der ISOFIX-Verankerungen nur maximal 6cm beträgt. Dabei wurden sowohl die Verankerungen des Testaufbaus als auch die Verankerungen des Testaufbaus als auch die KSS-seitigen ISOFIX-Befestigungen durch ein Versatzmoment bereits plastisch deformiert.

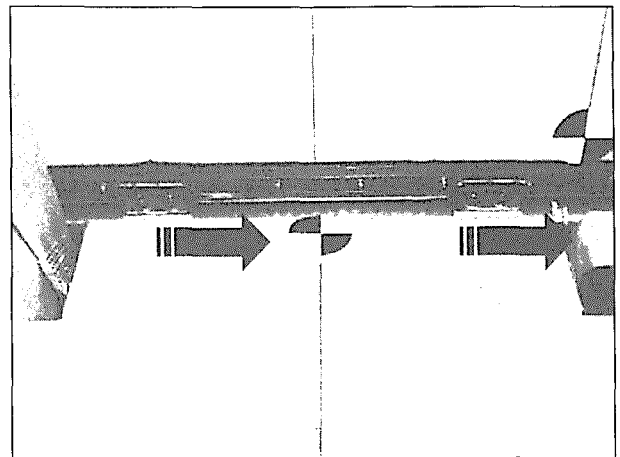


Abbildung 42: Einseitig translatorischer Freiheitsgrad der ISOFIX-Verankerungen

Eine unverschiebbare und starre ISOFIX-Verankerung am Testaufbau würde die plastische Deformation weiter erhöhen und möglicherweise zum Bruch der Befestigungen am KSS führen. Ohne exakte Kenntnisse der durchschnittlichen Verschiebung der Verankerungen beim Pkw-Seitencrash ist dieses Vorgehen wenig sinnvoll und nicht aussagekräftig. Da die KSS-seitigen ISOFIX-Befestigungen durch die ISO-13216 hinsichtlich ihrer Festigkeit überprüft werden, ist eine Festigkeitsprüfung innerhalb des hier diskutierten Seitenaufprall-Testverfahrens nicht notwendig.

5 Prüfung des Testverfahrens

Den Abschluss dieser Arbeit stellt die Überprüfung der Eignung des Testverfahrens dar. Neben der rein mechanischen Funktionsfähigkeit sind nachfolgend die Kriterien

- Einhaltung der Testvorschriften,
- Wiederholbarkeit der Testergebnisse,
- Abbildungsgüte des Seitenaufpralls,
- Diskriminierung des Seitenaufprallschuttpotentials von KSS sowie
- Eignung zur Seitenaufprallschutzoptimierung von KSS

am System überprüft und beschrieben. Zusätzlich wurde das Thema „worst case“-Szenario dem „non worst case“-Szenario gegenübergestellt (siehe Kap. 2.5.3).

Es wurden insgesamt 10 Vortests zur Adjustierung der Grundkinematik im Rahmen der Testvorschriften durchgeführt. 17 Seitenaufprallkonfigurationen mit 5 verschiedenen KSS sind mit diesen Einstellungen getestet worden.

5.1 Testkonfigurationen

Die Testmatrix ist derart gestaltet, dass ein möglichst breites Spektrum verschiedener KSS-Typen berücksichtigt ist. Hiermit soll aufgezeigt werden, dass das Verfahren in der Lage ist, mit den teilweise extrem unterschiedlichen KSS-Typen (Art der Fixierung, Gewicht, geometrische Abmessungen) gleichermaßen zu funktionieren.

Jeder Test wurde mindestens einmal, teilweise auch zweimal wiederholt (Ausnahme KSS Klippan Suprema: Dieser diente, aufgrund des aus Vorversuchen bekannten schlechten Seitenschutzes, als Negativreferenz). Zusätzlich sind Modifikationen an zwei KSS vorgenommen worden, um die Realisierbarkeit von KSS-Optimierungen für den Seitenaufprallschutz darzulegen.

Folgende KSS-Tests wurden durchgeführt:

Römer Duofix (Duo1-4):

- vorwärtsgerichtetes KSS der Gruppe I
- KSS-Fixierung durch ISOFIX (leicht vorgespannt)
- Q3-Dummy
- Dummy-Fixierung durch 5-Pkt-Hosenträgergurt
- Gurtlose nach ECE-R44
- 2 Wiederholungstests
- 1 Test mit modifizierter Innenpolsterung

Römer Quickfix (Fix 1-4):

- vorwärtsgerichtetes KSS der Gruppe I
- KSS-Fixierung durch 3-Punkt-Retraktorgurt (Retraktor gesperrt), extreme Vorspannung des Gurts durch KSS-seitigen Spannmechanismus

- Q3-Dummy
- Dummy-Fixierung durch 5-Pkt-Hosenträgergurt
- Gurtlose nach ECE-R44
- 2 Wiederholungstests
- 1 Test in „non worst case“-Anordnung

Eurokids Star (Star1-3):

- vorwärtsgerichtetes KSS der Gruppe I-3 in „Billigausführung“
- KSS-Fixierung durch 3-Punkt-Retraktorgurt (Retraktor gesperrt), schlechte Gurtführung und folglich große Gurtlose für KSS
- Q3-Dummy
- Dummy-Fixierung durch 5-Pkt-Hosenträgergurt
- Gurtlose nach ECE-R44
- 2 Wiederholungstests

Römer Babystar (Rf1-6):

- rückwärtsgerichtetes KSS der Gruppe 0+ mit starker Marktverbreitung
- KSS-Fixierung durch 3-Punkt-Retraktorgurt (Retraktor gesperrt)
- P18-Dummy (ein entsprechender Q-Dummy stand nicht zur Verfügung)
- Dummy-Fixierung durch 3-Pkt-Hosenträgergurt
- Sitzbank invertiert
- Gurtlose nach ECE-R44
- 2 Wiederholungstests
- 1 Test in „non worst case“-Anordnung
- 1 Test mit modifizierter Innenpolsterung

Klippan Suprema (Klip1):

- vorwärtsgerichtetes KSS der Gruppe I-3 ohne Seitenschutz im Kopf-Nackebereich
- KSS-Fixierung durch 3-Punkt-Retraktorgurt (Retraktor gesperrt)
- Q3-Dummy
- Dummy-Fixierung durch 5-Pkt-Hosenträgergurt
- Gurtlose nach ECE-R44
- kein Wiederholungstest

5.2 Mechanische Funktionsfähigkeit

Alle Bauteile des Versuchsaufbaus sind in der vorliegenden Fassung ausreichend dimensioniert. Der Testaufbau ist steif; es ergaben sich keinerlei Schäden oder Schwingungsprobleme.

Es sei jedoch angemerkt, dass dieses Ergebnis erst nach einer Iterationsschleife erreicht werden konnte. In der ersten konstruktiven Auslegung wurden die bewegten Teile (Panel und Sitzlehne) teilweise über die Elastizitätsgrenze des Materials belastet. Die dynamisch auftretenden Lasten wurden zunächst offensichtlich deutlich unterschätzt. [16]

5.3 Einhaltung der Testvorschriften

5.3.1 Kollisionsgeschwindigkeit

Die Schlittengeschwindigkeit wurde durchgängig ausreichend genau eingehalten. Es ist jedoch wichtig, dass die Anfahrbeschleunigung zum Erreichen der Kollisionsgeschwindigkeit möglichst klein gehalten wird ($< 0,2g$), damit die Initialposition des Dummys erhalten bleibt. Ein Abweichen des Dummys von seiner Sollposition kann erhebliche Abweichungen der Dummyantworten zur Folge haben.

5.3.2 Geschwindigkeitskorridor

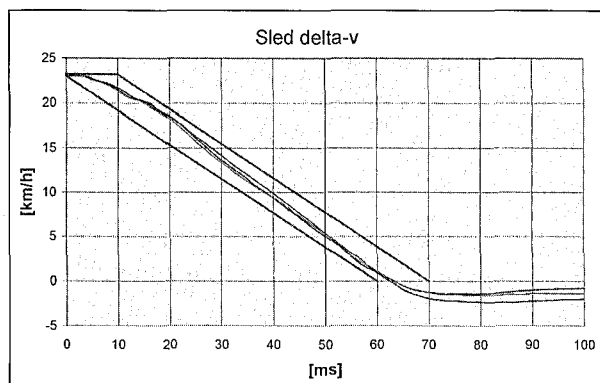


Abbildung 43: Geschwindigkeitsänderung des Testschlittens

In allen Versuchen konnte der Geschwindigkeitskorridor eingehalten werden. Die Abbildung 43 verdeutlicht dies anhand von drei exemplarisch ausgewählten Versuchen.

5.3.3 Paneleindrehwinkel

Der Eindrehwinkel ist ein Maß für die maximale Intrusionstiefe des Panels. Er soll im Bereich von $23-25^\circ$ liegen und diesen innerhalb von maximal 60-80ms erreichen. Dies entspricht einer Intrusionstiefe von 230-250mm im Kopf-Nackenbereich des Panels.

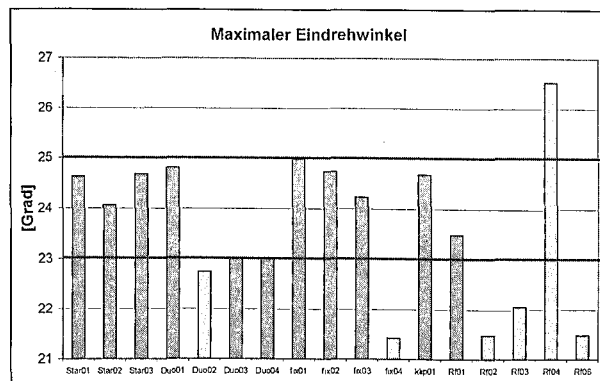


Abbildung 44: Maximaler Eindrehwinkel und Grenzl意思

Der Winkel wird in 11 von 17 Tests innerhalb der erforderlichen Zeitschranken erreicht. In 5 weiteren Tests ist der Winkel nicht erreicht, in einem weiteren deutlich überschritten. Die Gründe hierfür liegen im Bereich des Dämpfungsmaterials des Impaktors und des Panels. Dieses wurde von Hand geschnitten und aufgeklebt und führte somit zu geometrischen Abweichungen zwischen den Versuchen. Gleichzeitig wurden zwei verschiedene Chargen des Produkts genutzt, welche nicht identisch erschienen. Der Geradeauslauf des Testschlittens war nicht optimal und führte zusätzlich zu Abweichungen bezüglich des Aufprallpunktes des Impaktors.

5.3.4 Panelwinkelgeschwindigkeit

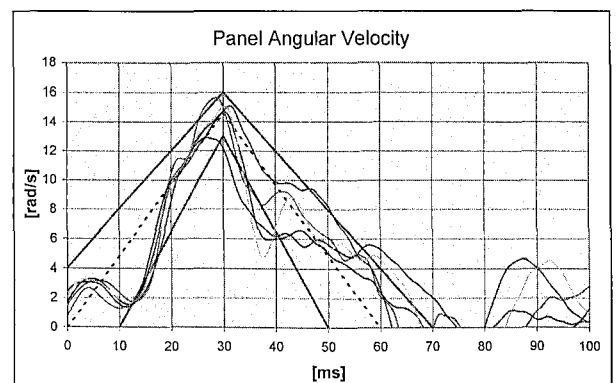


Abbildung 45: Winkelgeschwindigkeitsverläufe des Panels

Die maximale Panelwinkelgeschwindigkeit soll zwischen 13 und 16 rad/s liegen. Diese wird in allen Versuchen erreicht, jedoch wird in Abbildung 45 gleichzeitig deutlich, dass der Winkelgeschwindigkeitskorridor in keinem Versuch durchgängig eingehalten wird. Bis 30 ms sind die Abweichungen zwischen den Versuchen nur marginal. Alle touchieren die Untergrenze zwischen $12-16 \text{ ms}$; ein Einbruch im Anstieg der Geschwindigkeit, der systembedingt zu sein scheint. Nach 30 ms ist bei allen Versuchen ein recht starker Abfall zu verzeichnen, der bei ca. 40 ms wieder abgefangen ist. Bei ca. $55-70 \text{ ms}$ liegen zwei Versuche oberhalb der Korridorobergrenze.

Die Ursache für das zu verzeichnende überlagerte Schwingungsverhalten liegt in der konstruktiven Verbindung zwischen Panel und beweglicher Lehne begründet. Diese Elemente sind miteinander über ein Gummigelenk verbunden, welches Schwingungen ermöglicht. Da der Elastomer jedoch zur Reduktion der dynamischen Kraftspitzen benötigt wird, ist eine Bauteiloptimierung an dieser Stelle sinnvoll. Vorversuche sowie numerische Simulationen mit einer Begrenzung des elastischen Dehnverhaltens des Gummielements zeigten, dass das Schwingungsverhalten hierdurch deutlich reduziert werden kann. Eine Einhaltung des Korridors kann somit ermöglicht werden.

5.4 Wiederholbarkeit der Dummy-Messergebnisse

Neben der voran beschriebenen Einhaltung der Testbedingungen ist die Reproduzierbarkeit eines Testverfahrens das entscheidende Kriterium für ein qualitativ überzeugendes und damit durchsetzungsfähiges Testverfahren. Jeder KSS-Typstest wurde daher mindestens einmal wiederholt. Ein Gütemaß ist die absolute Standardabweichung (σ_{ak}) der Messwerte ($x_{k,i}$) aller Tests (Anzahl i) pro Testkonfiguration (k):

$$\sigma_{ak} = \sum (|x_{k,i} - X_{k,mittel}|) / i$$

mit dem arithmetischen Mittelwert:

$$X_{k,mittel} = (\sum x_{k,i}) / i$$

Daraus folgt der absolute Variationskoeffizient:

$$CV_{ka} = \sigma_{ka} / X_{k,mittel}$$

Abbildung 46 zeigt, dass die über alle Konfigurationen gemittelten Variationskoeffizienten im Bereich von 2 - 4% des jeweiligen Mittelwerts liegen. Es ist aber auffällig, dass die mittlere Nackenzugkraftabweichung deutlich größer ist. Dies deutet darauf hin, dass in diesem Bereich der Dummy möglicherweise unpräzise arbeitet. Eine prinzipielle Abweichung bedingt durch den Testaufbau würde an mehreren Dummymessstellen signifikante Abweichungen erzeugen. Zusammenfassend betrachtet ist die Wiederholbarkeit sehr zufriedenstellend. Folgend sind die Einzelergebnisse vergleichend dargestellt.

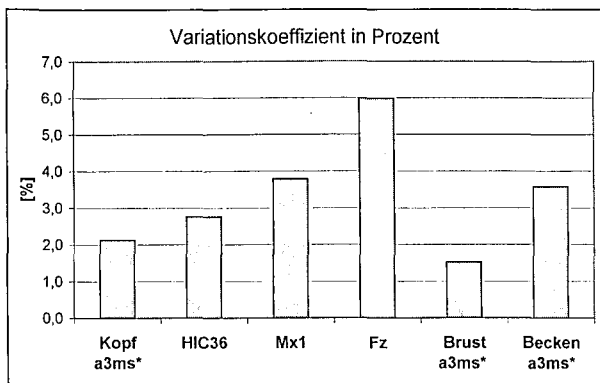


Abbildung 46: Gemittelte Variationskoeffizienten der Dummyantworten (*: resultierende Beschleunigung)

5.4.1 Versuch Eurokids Star 1-3

Die Versuchsserie zeigt, dass der Testaufbau sehr gut in der Lage ist, einen solchen KSS-Typ zu analysieren. Die Wiederholbarkeit ist ausgezeichnet. Lediglich treten im 1. Wiederholungsversuch deutlich geringere Nackenzugkräfte auf. Der 2.

Wiederholungsversuch bestätigt aber das Resultat des Erstversuchs.

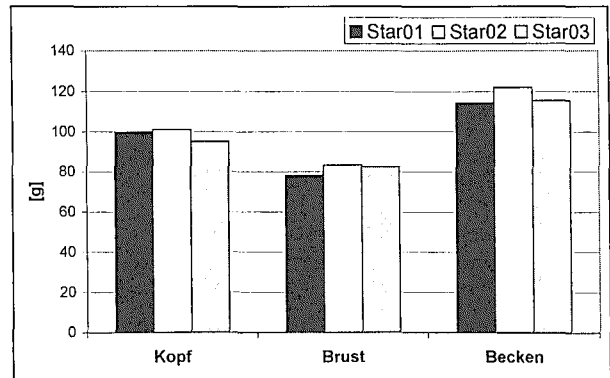


Abbildung 47: Beschleunigungsergebnisse (a3ms) beim Q3-Dummy im vorwärtsgerichteten KSS einfacher Bauart (Gruppe 1-3)

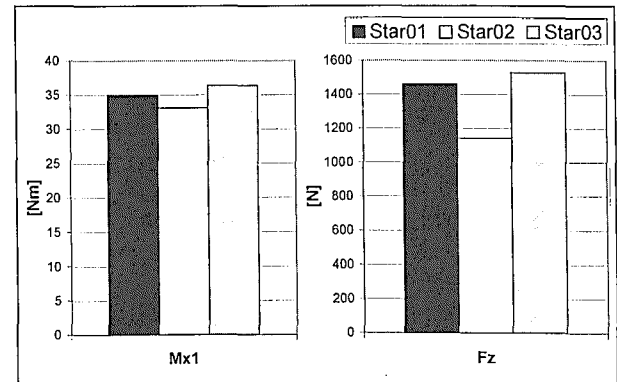


Abbildung 48: Obere Nackenbelastungen (Maxima) beim Q3-Dummy im vorwärtsgerichteten KSS einfacher Bauart (Gruppe 1-3)

5.4.2 Versuch Römer Duofix 2-3

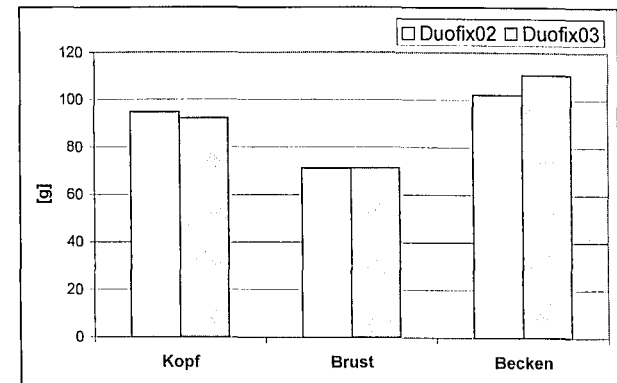


Abbildung 49: Beschleunigungsergebnisse (a3ms) beim Q3-Dummy im vorwärtsgerichteten ISOFIX-KSS (Gruppe 1)

Diese Versuchsserie zeigt ebenfalls, dass die Wiederholung nahezu identische Ergebnisse erzeugt. Wiederum ist eine deutliche Abweichung bei den Nackenzugkräften zu erkennen. Zusätzlich ist eine erkennbare Abweichung bei den Beckenbeschleunigungen zu verzeichnen.

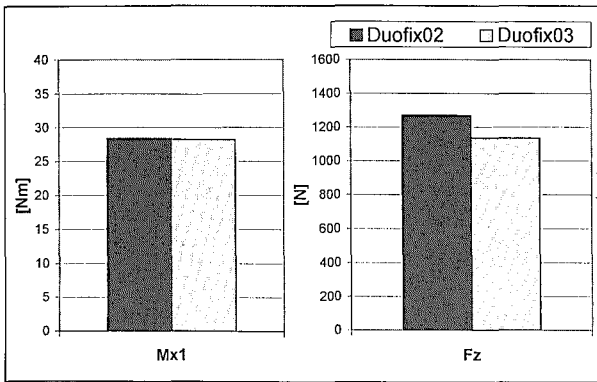


Abbildung 50: Obere Nackenbelastungen (Maxima) beim Q3-Dummy im vorwärtsgerichteten ISOFIX-KSS (Gruppe 1)

5.4.3 Versuch Römer Quickfix 1-3

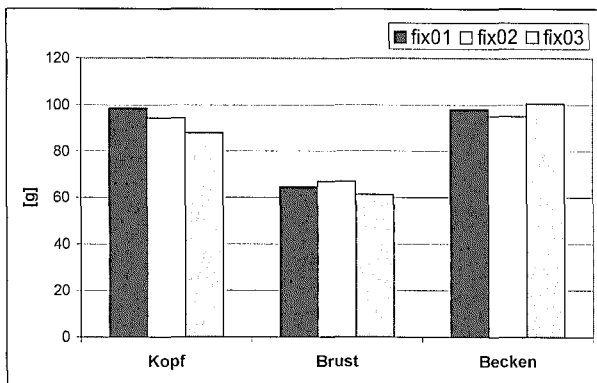


Abbildung 51: Beschleunigungsergebnisse (a3ms) beim Q3-Dummy im vorwärtsgerichteten „vorgespannten“ KSS (Gruppe 1)

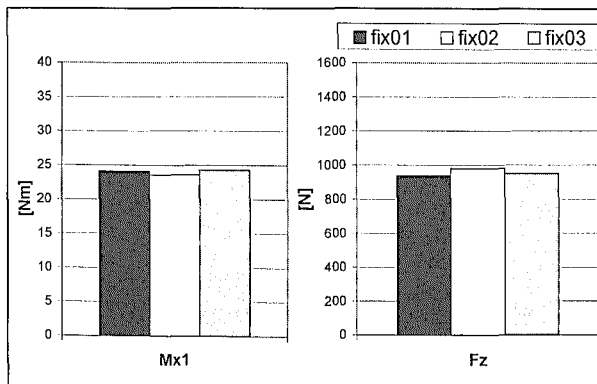


Abbildung 52: Obere Nackenbelastungen (Maxima) beim Q3-Dummy im vorwärtsgerichteten „vorgespannten“ KSS (Gruppe 1)

Die Ergebnisse dieser Testserie ergeben eher einen umgekehrten Eindruck. Erkennbar ist eine nahezu optimale Wiederholbarkeit im Nackenbereich. Ohne erkennbaren Grund ist die Differenz zwischen den Kopfbelastungswerten hingegen im Vergleich zu den anderen Testreihen relativ hoch.

5.4.4 Versuch Römer Babystar 2-3

Auch bei einem rückwärtsgerichteten KSS der Gruppe 0+ ist die Wiederholbarkeit gut. Wiederum ist die Messqualität im Bereich des Kopfes und der Brust deutlich höher als im Nackenbereich.

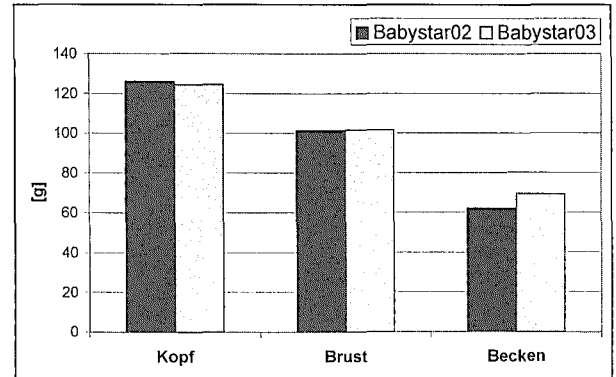


Abbildung 53: Beschleunigungsergebnisse (a3ms) beim P18-Dummy im rückwärtsgerichteten Standard-KSS (Gruppe 0+)

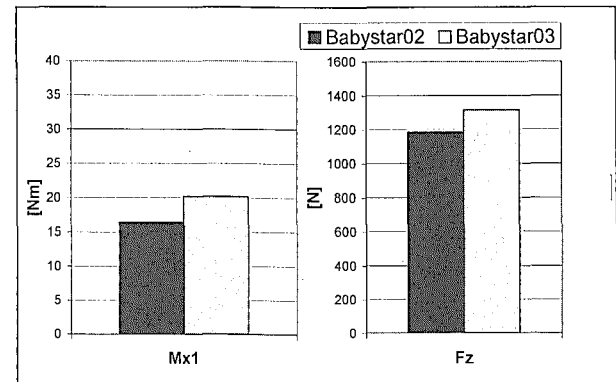


Abbildung 54: Obere Nackenbelastungen (Maxima) beim P18-Dummy im rückwärtsgerichteten Standard-KSS (Gruppe 0+)

5.5 Diskriminierung zwischen KSS

Die High-Speed Filmanalyse zeigt, dass das KSS im Versuch Quickfix02 und auch im Wiederholungstest den Kopf innerhalb der Schale hält („head containment“-Kriterium). Die Kopffrotation um die x-Achse ist gering; der Kopf wird flächig abgestützt (Abbildung 55 links).



Abbildung 55: Vergleich der Kopfbewegung in High-Speed Sequenz (bei 50ms)

Das KSS des Tests Klippan01 (Abbildung 55 rechts) mit geringer Seitenführung führt zu einer starken Nackeninklination, so dass der Kopf nicht mehr in der Schale gehalten werden kann. Interessant ist, dass die Kopfbeschleunigungen im Fall Klippan01 im Vergleich sehr klein sind. Gleichzeitig sind die Nackenbelastungen aber vergleichsweise hoch. Es ist also darauf zu achten, dass zur Bewertung von KSS beim Seitenaufprall ein Schutzkriterium am Kopf alleine nicht ausreicht und unter Umständen sogar kontraproduktiv sein kann. Gleichzeitig erscheint die visuelle Beurteilung, ob der Dummykopf innerhalb der Schale gehalten wird, sehr schwierig. Die Grenzen sind fließend, so dass in schwierigen Fällen die Beurteilung rein subjektiv ist. Mindestens ein Schutzkriterium für den Nacken muss hinzugezogen werden. Die Belastung des oberen Nackens ist bei allen KSS, bei denen der Kopf eindeutig innerhalb der Schale gehalten werden konnte, unterhalb von 30Nm (Mx). Zwei Sitze mit geringer Kopfabstützung führten zu Nackenbelastungen, die deutlich oberhalb von 30Nm liegen (Eurokids Star, Klippan Suprema). Auch bei den Nackenzugkräften ist qualitativ ein entsprechender Unterschied zu erkennen. Eine mögliche Grenze scheint hier bei 1500N (Fz) zu liegen. Diese Nackenschutzkriterien basieren auf den mit diesen Tests gewonnenen Erkenntnissen und dienen der Objektivierung des „head containment“-Kriteriums. Sie basieren nicht auf biomechanischen Grenzwerten.

5.6 Abbildungsgüte

Die maßgeblichen Parameterwerte des Testverfahrens basieren auf den Ergebnissen der bestehenden Seitenaufprallnorm für Pkw in Europa (ECE-R95). Ein Testverfahren, welches die in Kapitel 4.1 beschriebenen Bedingungen einhält, sollte demnach auch in der Lage sein, möglichst korrelierende Lasten am Dummy zu erzeugen. So ist abschließend ein KSS-Test in einem Pkw (VW Vento, Baujahr 1995) nach ECE-R95 Bedingungen durchgeführt worden, um die Belastungswerte direkt mit diesem Testverfahren vergleichen zu können.

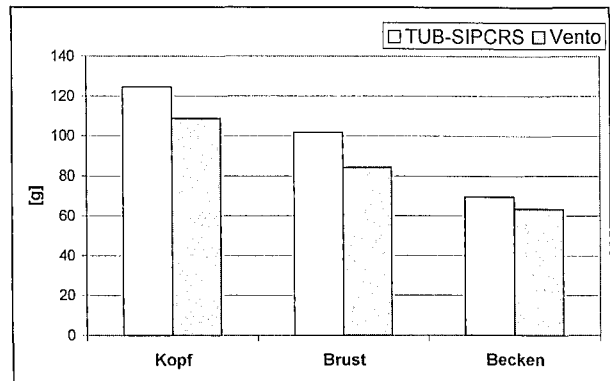


Abbildung 56: Resultierende Beschleunigungen (a_{3ms}) beim P18-Dummy im rückwärtsgerichteten Standard-KSS

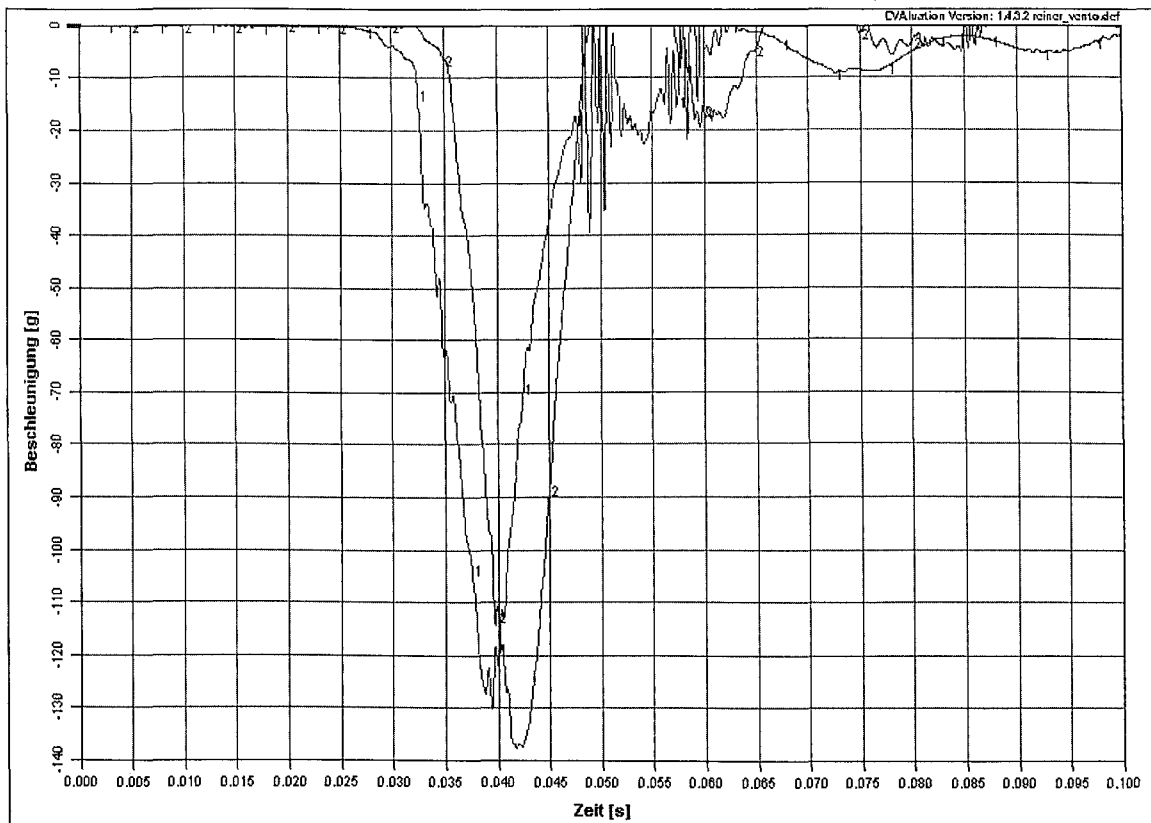


Abbildung 57: Vergleich Resultierende Kopfbeschleunigungen (VW Vento: Graph 1, TUB-SIPCRS: Graph 2)

Ein identischer KSS-Typ mit identischem Dummy wurde in beiden Tests genutzt. Abbildung 56 zeigt die gemessenen Belastungen an Kopf, Brust und Becken. Diese sind durchgängig im Testverfahren (Rf03) 10-15% oberhalb der Belastungen, die im ECE-R95 Test (VW Vento) auftraten. Identische Werte sind nicht zu erwarten, da im Testverfahren alle Eingangsgrößen gemittelt umgesetzt sind.

Betrachtet man daher zusätzlich die zeitliche Zuordnung und die dynamische Charakteristik der Maxima, so wird erkennbar, dass die Belastung am Dummy gut abgebildet ist. Abbildung 57 zeigt den Beschleunigungs-Zeit-Verlauf der Kopffresultierenden im direkten Vergleich. Der funktionale Verlauf ist fast identisch und die zeitliche Abweichung (<3ms) minimal.

5.7 „non worst case“-Versuche

Seitdem Seitenaufpralltestverfahren für KSS diskutiert werden, ist die Frage nach der ungünstigsten Pkw-Sitzposition für Kinder in KSS immer wieder Gegenstand von Diskussionen. Die Unfallstatistiken belegen, dass die stoßzugewandte Seite schwerere Verletzungen induziert als die stoßabgewandte Seite (Kapitel 2). Außerdem ist zu unterscheiden zwischen Sitzposition vorne (auf Beifahrersitz) oder hinten (2. Sitzreihe). Entsprechend ist abhängig vom KSS-Typ die maximale Intrusion kopfnah oder eher im Bereich der unteren Extremitäten zu erwarten. Das mit dieser Arbeit präferierte „worst case“-Szenario steht immer wieder in der Kritik, inwieweit es überhaupt die schwerwiegendste Anordnung für das jeweilige KSS sei. Daher sind in Abbildung 58 zwei Tests dargestellt, in denen je ein vorwärts- bzw. ein rückwärtsgerichtetes KSS in der invertierten Anordnung („non worst case“) untersucht wurden. Erwartungsgemäß sind die Belastungen nahezu an allen Messstellen deutlich unterhalb der Ergebnisse der „worst case“-Anordnung.

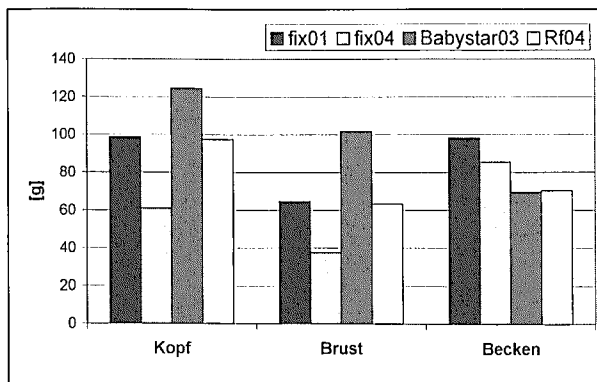


Abbildung 58: Vergleich „worst case“-Szenario (1. bzw. 3. Säule) gegenüber „non worst case“-Szenario (2. bzw. 4. Säule)

5.8 Modifizierte KSS

5.8.1 Theoretische Betrachtungen

Die Ergebnisse der experimentellen Analyse zeigen, dass beim Seitenaufprall Dummies in KSS sehr hohe Belastungswerte am Kopf aufweisen. Weiterhin ist auffällig, dass die Beschleunigungswerte bei dem getesteten rückwärtsgerichteten KSS ca. 30% größer sind (vgl. Ergebnisse Abbildungen 53 mit 47, 49, 51). Die Filmanalyse zeigt, dass vorwärtsgerichtete KSS-Schalen lateral deutlich weniger deformiert werden und gleichzeitig der Dummykopf oberhalb des intrudierenden Panels positioniert ist. Dadurch zeigen diese KSS ein deutliches Aufbiegen der Seitenwangen durch den Kopfaufprall. Folgend sind daher rückwärtsgerichtete und vorwärtsgerichtete KSS getrennt betrachtet.

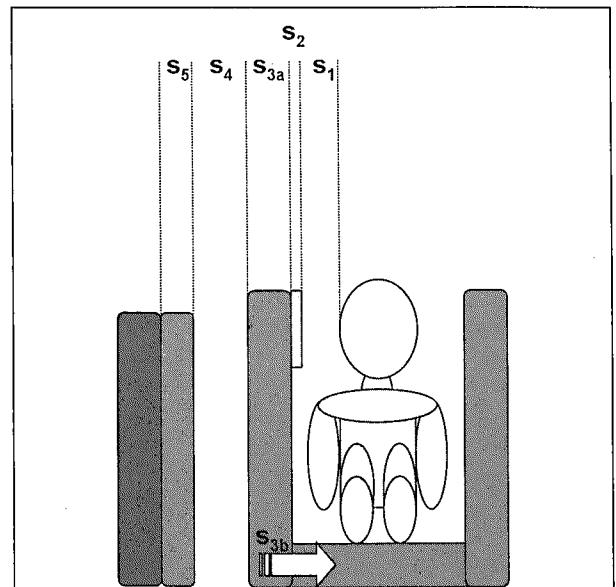


Abbildung 59: Prinzipdarstellung der lateralen Deformationswege bei rückwärtsgerichtetem KSS

Es gilt näherungsweise:

$$a_{\text{Kopf}} = v_{\text{Kontakt}}^2 / 2s_{\text{Def}}$$

wobei:

$$s_{\text{Def}} = s_1 + s_2 + s_{3a} + s_{3b} + s_{3c} + s_5$$

mit:

- s₁: freier Raum zwischen Kopf und Schalenpolsterung innen
- s₂: Schalenpolsterdicke innen
- s_{3a}: Kompressionsweg der Schalenwange
- s_{3b}: Kompressionsweg der Gesamtschale
- s_{3c}: Flexionsweg der Schalenwange
- s₄: freier Raum zwischen KSS und Panelauflage
- s₅: Deformationsweg der Panelauflage

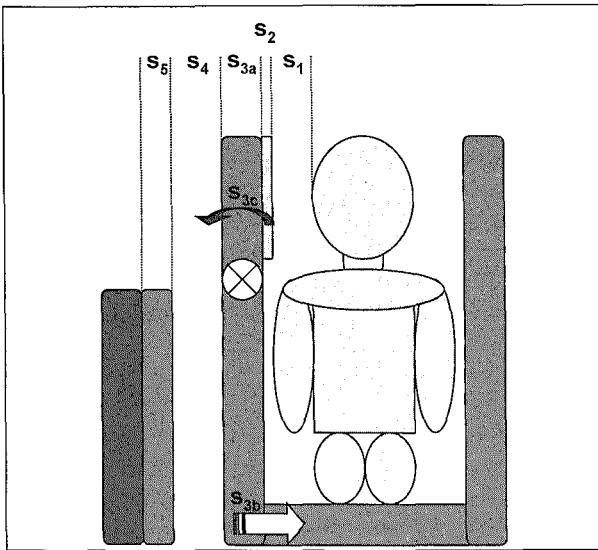


Abbildung 60: Prinzipdarstellung der lateralen Deformationswege bei vorwärtsgerichtetem KSS

Bei vorwärtsgerichteten KSS muss ein weiterer Deformationsweg berücksichtigt werden. Dieser ist in Abbildung 60 integriert. Das Panel trifft nicht die gesamte Bauhöhe des KSS, so dass die Seitenwangen unter der Last des auftreffenden Kopfes nachgeben können (s_{3c}).

Aus diesen Vorüberlegungen und mit den experimentellen Erkenntnissen über das TUB-SIPCRS können folgende Aussagen zur Reduktion der Kopfbeschleunigungen getroffen werden:

- Die Kontaktgeschwindigkeit kann nur durch die Vergrößerung des freien Raums (Abbildung 59,60: s_4) zwischen KSS und Panelauflage reduziert werden. Das Panel trifft später auf das KSS und hat hierbei bereits eine geringere Geschwindigkeit, sofern der Kontaktzeitpunkt $>30\text{ms}$ nach t_0 ist (Abbildung 61). Der Freiraum zwischen KSS und Panel ist abhängig von der Schalenbreite des KSS sowie von der Befestigung des KSS. Standard-KSS, die mit dem Gurt befestigt werden, bewegen sich beim Seitenaufprall (ca. 1-3cm) relativ zum Sitz und zum Panel, so dass der Freiraum entsprechend geringer wird. Bei ISOFIX-KSS tritt diese Relativbewegung im Bereich der definierten Toleranzen (ISO13216-1) in Höhe von 0,5-1,5cm ebenfalls auf. Deutliche Reduktionen bei der Kontaktgeschwindigkeit zwischen Panel und ISOFIX-KSS sind daher nicht realisierbar. So könnte eine Reduzierung der Kontaktgeschwindigkeit beim TUB-SIPCRS nur über eine entsprechend schmale Bauart des KSS realisiert werden. Hier sind aber enge Grenzen gesetzt, da die Schalenbreite primär durch die Abmessungen des Kindes festgelegt ist. Eine Reduktion der Kontaktgeschwindigkeit und folglich der Kopfbeschleunigungen ist somit kaum möglich (Anm.: In Pkw ist dieser Parameter (s_4) durchaus relevant. Eine KSS-Position mit erhöhtem Abstand zur Innenverkleidung kann positiven Einfluss haben,

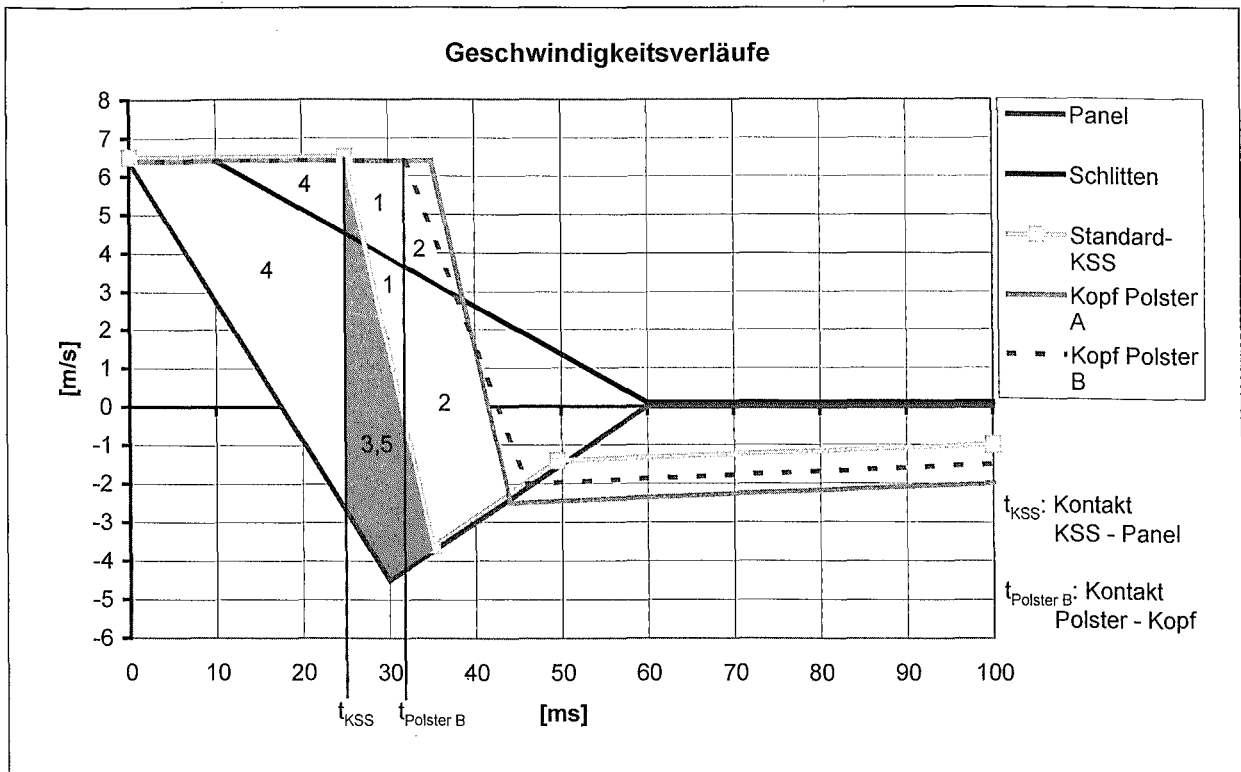


Abbildung 61: Beispielhafte Geschwindigkeitsverläufe für ein Standard-KSS mit einfacher Polsterung (Polster A) und modifizierter Polsterung (Polster B); laterale Deformationswege (1-5) nach Abbildung 59 und 60 für modifizierte Polsterung B

sofern die Verbindung des KSS zum Pkw ausreichend steif ist.)

2. Eine Einflussnahme kann also nur über die sinnvolle Ausnutzung der potentiellen Deformationswege (s_{Def}) des KSS stattfinden.
3. Die Parameter s_1 und s_2 sind in ihrer Summe über die halbe KSS-Breite abzüglich der Schalendicke s_{3a} festgelegt. Der Wert s_2 sollte maximal ausgeführt werden, wobei s_1 allein aus Komfortgründen aber nicht zu vernachlässigen ist. Die Vergrößerung von s_2 bei gleichzeitiger Verringerung von s_1 führt zu einem früheren Kontakt zwischen Kopf und Polsterung. Bei energieaufnehmender Gestaltung des Polsters kann die Kopfbeschleunigung deutlich reduziert werden. In Abbildung 61 ist ein Vergleich zwischen Standard-KSS Polsterung (Polster A) und modifizierter Polsterung (Polster B) für die Geschwindigkeitsänderung des Dummykopfs dargestellt.
4. Die KSS-Schalenwanne kann genutzt werden, indem diese in sich einen plastischen Deformationsweg s_{3a} zur Verfügung stellt.
5. Die Gesamtkompression von KSS (s_{3b}) sollte derart gestaltet werden, dass ein Überlebensraum für das Kind erhalten bleibt. Daher ist eine KSS-Schale insgesamt möglichst steif zu gestalten. [15] Eine sehr weiche Schale nimmt nur wenig Energie auf und leitet die Lasten unmittelbar weiter.
6. Bei vorwärtsgerichteten KSS kann das Aufbiegen der Seitenwangen (s_{3c}) oberhalb des Panels genutzt werden, um zusätzlichen Deformationsweg zu erhalten. Dies ist aber mit großer Vorsicht zu gestalten, da das Kopfkriterium „head containment“ berücksichtigt bleiben muss.

Starre Befestigungen zwischen KSS und Sitzbank (ISOFIX-KSS) sind demnach nicht besonders geeignet die Belastungen am Dummy beim stoßzugewandten Seitenaufprall nach TUB-SIPCRS zu reduzieren. Eine signifikante Verschlechterung ist mit den experimentellen Ergebnissen (Kap. 5.4.2) ebenfalls nicht belegbar (siehe auch [27]). Es ist jedoch anzumerken, dass ein ISOFIX-KSS beim stoßabgewandten Seitenaufprall die Relativbewegung minimiert und somit die Belastungen gegenüber einem Standard-KSS erheblich reduzieren kann.

5.8.2 Experimenteller Nachweis

Zum Abschluss der experimentellen Untersuchungen sind zwei ausgewählte KSS-Typen exemplarisch mit einfachen Mitteln modifiziert worden. Auffallend ist bei allen getesteten KSS, dass die Polsterung für das Kind auf der Innenschalenseite nur andeutungsweise vorhanden ist (Kap. 2.3.1). Daher wurde ein vorwärtsgerichtetes sowie ein rückwärtsgerichtetes KSS auf der stoßzugewand-

ten Innenschale mit modifizierter Kopfpolsterung ausgestattet. Vorversuche mit einfachem, rein elastischem Schaum führten zu keinerlei Reduktion im Kopfbereich. Erst die Verwendung eines technischen Schaums mit starker Dämpfung und dementsprechend hohem Energieaufnahmevermögen führte zu messbaren Reduktionen. So reduzierte sich die resultierende Kopfbeschleunigung um ca. 6%, und der HIC-Wert um fast 20% beim vorwärtsgerichteten KSS. Beim rückwärtsgerichteten KSS betrug die Beschleunigungsreduktion sogar ca. 20% und die HIC-Reduktion 40% (Abbildung 63). Hierbei wurde zusätzlich die gesamte Schale im Kopfbereich durch eine Aluminiumrahmenkonstruktion derart verstärkt, dass die elastische Kompression der Schale deutlich reduziert ist (Abbildung 62). Diese Modifikation an der Schale führt zu einem geringen Mehrgewicht von ca. 220g. Es ist aber festzustellen, dass die Belastungen am Becken für das rückwärtsgerichtete KSS gleichzeitig signifikant um 40% anstiegen. Dies macht deutlich, dass Modifikationen wohlbedacht durchgeführt werden müssen und Optimierungen an KSS nicht trivial sind. Trotzdem zeigen diese abschließenden Versuche, dass Optimierungen notwendig und mit diesem Verfahren auch möglich sind.

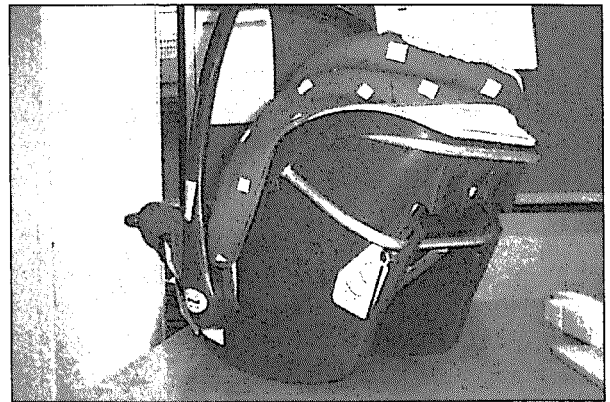


Abbildung 62: Aluminiumrahmen zur Schalenversteifung

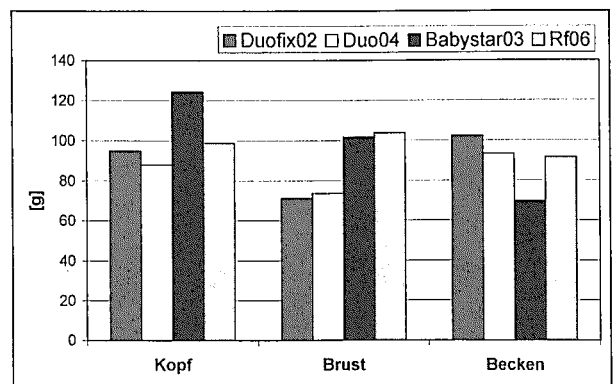


Abbildung 63: Vergleich der resultierenden Beschleunigungen herkömmlicher KSS (1. bzw. 3. Säule) gegenüber modifizierten KSS (2. bzw. 4. Säule)

6 Diskussion & Ausblick

6.1 Diskussion

Der mit dieser Arbeit vorliegende Vorschlag zum Seitenaufprall-Testverfahren für KSS gibt die Parameter des typischen realen Seitenaufpralls wie:

- Beschleunigungsniveau von gestoßenen Pkw,
- Delta-v von gestoßenen Pkw,
- Maximalintrusion von gestoßenen Pkw sowie
- die maximale Intrusionsgeschwindigkeit im Kopf-Nackengebiet

gut wieder. Entsprechend ist die Abbildungsgüte, die durch direkten Vergleich der Dummyantworten überprüft wurde, soweit sehr zufriedenstellend. Weitere Pkw-Versuche nach ECE-R95 mit KSS sind aber notwendig, um die bisherigen Ergebnisse abzusichern.

Eine genaue Einhaltung des dynamischen Intrusionskorridors konnte nicht erreicht werden. Trotzdem ist die Wiederholbarkeit der Messergebnisse sehr gut. Leichte Einschränkungen müssen bei den Nackenzugkräften konstatiert werden. Die Abweichungen waren im Gegensatz zu allen anderen Messstellen der beiden genutzten Dummytypen so groß, dass die Gründe für die Abweichungen dummyseitig zu suchen sind.

Die Aufrüst- und Umrüstzeiten des Testaufbaus sind kurz und daher als praxistauglich zu bewerten. Der Gesamtaufwand zur technischen Realisierung ist klein, sofern auf ein bestehendes Schlittensystem aufgebaut werden kann. Die Materialverbrauchskosten sind gering, so dass ein insgesamt kostengünstiges Komponententestverfahren zur Verfügung steht. Der Testaufbau ist derart gestaltet, dass auch unterschiedliche Parameterwerte von Pkw einstellbar und somit überprüfbar sind. Die Zuverlässigkeit ist hoch; es kam zu keinerlei Schäden während des Versuchablaufs.

Der Einsatz von P- und Q-Dummys zeigte, dass der P-18 Monate im Schulterbereich unter lateraler Last nicht nachgeben kann. Dies führte nach mehreren Tests zum Bruch des Schultergelenks. Der Q-Dummy hingegen zeigte eine große Flexibilität im Schulterbereich, die das Verhalten eines menschlichen Schultergelenks prinzipiell besser abbildet. Folglich ist die Gesamtkinematik besonders für den Kopf-Nackengebiet deutlich anders und auch eher als realitätsnah anzusehen. Die Messmöglichkeiten am Q-Dummy sind relativ vielfältig, jedoch wären Möglichkeiten zur Erfassung von lateralen Kontaktkräften an Kopf, Schulter, Rippenbogen und Becken wünschenswert. Für eine Bewertung von KSS sind Schutzkriterien notwendig, die einerseits durch die Ergebnisse aus dem EU-Projekt CREST bekannt sind, andererseits sich aus den Erkenntnissen dieser Arbeit wie folgt ergeben:

1. maximale resultierende Kopfbeschleunigung $<85g$ (ideal $<70g$),
2. visuelle Kontrolle des *Head containment*,
3. objektivierte Kontrolle des *Head containment*:
 - ⇒ maximales oberes Nacken-Biegemoment $M_x <30-35Nm$
 - ⇒ maximale obere Nacken-Zugkraft $F_z <1500N$

Zukünftige Untersuchungen mit dem TUB-SIPCRS sollten zur Prüfung, Absicherung und Detaillierung der Kriterien dienen. Eine Diskriminierung zwischen guten und schlechten Seitenaufprallschutzeigenschaften von KSS wird somit erstmalig in einem Komponententest ermöglicht. Die präsentierten Ergebnisse der Testserien zeigen, dass es möglich ist, dass Schutzpotential von verschiedenen KSS-Typen mit dieser Prozedur zu analysieren. Dies umfasst:

- vorwärtsgerichtete KSS,
- rückwärtsgerichtete KSS und
- ISOFIX-KSS

der Gruppen 0, 0+ und 1.

Kein getestetes KSS konnte alle Kriterien erfüllen. Einfache KSS, die keine ausreichend großen Seitenwangen aufweisen, konnten den Dummykopf nicht innerhalb der Schale halten (2. Kriterium) und führten zu hohen Belastungen am Nacken (3. Kriterium). Die aufwändigeren KSS scheiterten jedoch ausschließlich am 1. Kriterium. Dies verwundert nicht, denn die Maßnahmen an allen getesteten KSS bzgl. des Kopfschutzes beim Seitenaufprall sind wenig ausgeprägt (siehe Kap. 2.3.1). Exemplarische Maßnahmen sowie theoretische Betrachtungen zur Verbesserung wurden aufgezeigt, so dass eine Reduktion der Belastungen am Dummy seitens der KSS-Hersteller möglich ist. Das geprüfte ISOFIX-KSS zeigte keinerlei Vor- oder Nachteile beim TUB-SIPCRS. Da jedoch ISOFIX-KSS in der Lage sind, unter allen Crashbedingungen in Position zu bleiben, ist die weitere Verbreitung der ISOFIX-Befestigungen notwendig.

Entsprechend ausgeführte KSS, die die Kopfbeschleunigung eines Kindes um 20% reduzieren, würden die Wahrscheinlichkeit einer AIS 3+ Verletzung (schwere bis tödliche Verletzung) beim typischen Seitenaufprall um mindestens 30% reduzieren. Unter der Annahme:

- einer 100%-igen Marktdurchdringung von solchen KSS,
- dass 45% aller in Pkw verunglückten Kinder beim Seitenaufprall verletzt werden und
- einer Abdeckung von 70% dieser Unfälle durch das TUB-SIPCRS hinsichtlich der Unfallschwere

ergibt sich eine ca. 10%-ige Reduktion der schwer- und tödlich verletzten Kinder. Dies entspricht einer Verringerung der Anzahl der getöteten Kinder um

ca. 10 sowie der schwerverletzten Kinder um ca. 200 pro Jahr in Deutschland.

6.2 Ausblick

Nach mehrjähriger intensiver Arbeit an diesem Thema sind die wesentlichen Meilensteine gesetzt. Folgende Aktivitäten sind im Weiteren notwendig, damit die Testprozedur erfolgreich Eingang in die Gesetzgebung und in die Produktentwicklung finden kann:

- Weitere Validierung der Abbildungsgüte durch Vergleich mit Fahrzeug-Versuchen nach ECE-R95
- Fortführung der Präsentation und Diskussion dieser Arbeitsinhalte in allen relevanten Gremien, wie z.B. EEVC-WG18 oder ISO-WG1, in aktuellen Forschungsgruppierungen wie z.B. CHILD sowie auf Fachtagungen und Kongressen. Hierzu ist mit dem Kapitel 7.4 (*Brief summary & FAQ*) eine kurze englische Zusammenfassung des TUB-SIPCRS gegeben, in der die wesentlichen Entscheidungen begründet dargestellt sind.
- Detailmodifizierung des Testaufbaus insbesondere im Bereich des Panelrastmechanismus zur verbesserten Einhaltung des Maximalwinkels (Kap. 5.3.3) sowie im Bereich des elastischen Kniegelenks zur verbesserten Einhaltung des Winkelgeschwindigkeitskorridors (Kap. 5.3.4)
- Applikation der Prozedur auf andere Schlittenversuchsanlagen
- Kooperation mit KSS-Herstellern in der Produktentwicklung
- Fortführung der Forschungsvorhaben zur Ermittlung von biomechanischen Schutzkriterien insbesondere für laterale Belastungen (⇒ CHILD)
- Einführung der Q-Dummyfamilie in alle relevanten Tests (E-NCAP, ECE-R44)

7 Messergebnisse

7.1 Ergebnisse aus Geometrieuntersuchungen

Typ	Messpunkte hinten rechts [mm]						
	WSB	TH 1	TH 2	ABST 1	ABST 2	ABST 3	ABST 4
Opel Corsa	12,3	430	332	368	346	390	322
VW Polo	10,4	460	365	362	290	302	292
Ford Ka	18,4	482	358	363	358	388	360
VW Golf	15,7	448	332	380	312	402	355
Opel Astra	5,6	453	389	352	305	348	327
Ford Fiesta	15,8	430	308	413	310	417	347
Audi A3	14,2	493	379	369	328	385	373
VW Passat	13,6	496	396	385	303	413	316
Opel Vectra	11	452	355	397	354	411	309
DC C-Klasse	15,4	469	354	401	374	413	378
BMW 3-er	14,4	482	382	421	392	433	416
DC E-Klasse	16,6	500	376	403	340	409	360
BMW 5-er	6,2	445	403	372	345	380	360
Ford Mondeo	18,1	468	324	381	302	402	341
Audi A6	11,6	487	394	414	353	426	393

Tabelle 14: Ermittelte Rohdaten Pkw hinten

Typ	Messpunkte vorne rechts [mm]						
	WSB	TH 1	TH 2	ABST 1	ABST 2	ABST 3	ABST 4
Opel Corsa	13	429	326	365	270	362	330
VW Polo	19,7	480	330	384	292	385	284
Ford Ka	13,7	466	363	364	285	365	341
VW Golf	16,9	484	365	412	325	424	315
Opel Astra	12,6	459	352	405	317	402	293
Ford Fiesta	12,9	443	345	385	282	378	335
Audi A3	13,8	521	408	390	388	330	294
VW Passat	16,6	525	401	393	320	378	372
Opel Vectra	12,8	442	340	407	329	407	294
MB C-Klasse	13,6	480	375	375	335	373	332
BMW 3-er	15,5	489	377	384	343	383	357
MB E-Klasse	15,1	495	383	388	300	381	340
BMW 5-er	13,6	499	404	376	335	380	353
Ford Mondeo	10,6	436	345	404	360	406	315
Audi A6	15,2	502	385	404	343	397	381

Tabelle 15: Ermittelte Rohdaten Pkw vorne

Typ	Messpunkte hinten rechts		Messpunkte vorne rechts	
	min. Abstand [mm]	Fensterwinkel [°]	min. Abstand [mm]	Fensterwinkel [°]
Opel Corsa	280	76.9	293	76.5
VW Polo	298	68.4	300	71.4
Ford Ka	260	69.2	282	71.9
VW Golf	283	73.3	318	73.5
Opel Astra	304	72.8	310	74.3
Ford Fiesta	256	73.7	274	74.5
Audi A3	315	68.5	308	71.1
VW Passat	309	70	315	70.5
Opel Vectra	300	73.1	300	74.1
DC C-Klasse	317	71.7	273	73.6
BMW 3-er	340	71.1	295	72.5
DC E-Klasse	322	71	295	71
BMW 5-er	325	72.1	290	71.5
Ford Mondeo	285	73.1	287	74.4
Audi A6	315	71	317	70.7
Mittelwerte:	301	71.73	297	72.77

Tabelle 16: Ermittelte Rohdaten: Minimaler Lateralabstand Innentrim; Fensterwinkel

Typ	Messpunkte hinten rechts [mm]				
	KO	TH 1 KO	AMP	HAW	TH 2 KO
Opel Corsa	41	471	391	85	458
VW Polo	40	500	393	72	477
Ford Ka	43	525	380	126	527
VW Golf	42	490	385	108	482
Opel Astra	39	492	398	39	467
Ford Fiesta	42	472	385	109	459
Audi A3	42	535	388	98	519
VW Passat	42	538	389	94	532
Opel Vectra	41	493	393	76	472
DC C-Klasse	42	511	386	106	502
BMW 3-er	42	524	387	99	523
DC E-Klasse	43	543	383	114	533
BMW 5-er	39	484	398	43	485
Ford Mondeo	43	511	380	124	491
Audi A6	41	528	392	80	515

Tabelle 17: Berechnete Abstände: Fenster – Innentrim Pkw hinten

Typ	Messpunkte vorne rechts				
	KO	TH 1 KO	AMP	HAW	TH 2 KO
Opel Corsa	41	470	390	90	457
VW Polo	44	524	377	135	509
Ford Ka	42	508	389	95	500
VW Golf	43	527	383	116	524
Opel Astra	41	500	390	87	480
Ford Fiesta	41	484	390	89	475
Audi A3	42	563	388	95	545
VW Passat	43	568	383	114	558
Opel Vectra	41	483	390	89	470
DC C-Klasse	42	522	389	94	511
BMW 3-er	42	531	385	107	526
MB E-Klasse	42	537	386	104	529
BMW 5-er	42	541	389	94	540
Ford Mondeo	41	477	393	74	460
Audi A6	42	544	386	105	532

Tabelle 18: Berechnete Abstände: Fensterunterkantenhöhe Pkw vorne

Typ	Messpunkte hinten rechts [mm]			
	AST 1 K	AST 2 K	AST 3 K	AST 4 K
Opel Corsa	369	347	391	323
VW Polo	363	291	303	293
Ford Ka	364	359	389	361
VW Golf	381	313	403	356
Opel Astra	353	306	349	328
Ford Fiesta	414	311	418	348
Audi A3	370	329	386	374
VW Passat	386	304	414	317
Opel Vectra	398	355	412	310
DC C-Klasse	402	375	414	379
BMW 3-er	422	393	434	417
DC E-Klasse	404	341	410	361
BMW 5-er	373	346	381	361
Ford Mondeo	382	303	403	342
Audi A6	415	354	427	394

Tabelle 19: Lateralabstand Fensterunterkante Pkw hinten

Typ	Messpunkte vorne rechts			
	AST 1 K	AST 2 K	AST 3 K	AST 4 K
Opel Corsa	366	271	363	331
VW Polo	385	293	386	285
Ford Ka	365	286	366	342
VW Golf	413	326	425	316
Opel Astra	406	318	403	294
Ford Fiesta	386	283	379	336
Audi A3	391	389	331	295
VW Passat	394	321	379	373
Opel Vectra	408	330	408	295
DC C-Klasse	376	336	374	333
BMW 3-er	385	344	384	358
DC E-Klasse	389	301	382	341
BMW 5-er	377	336	381	354
Ford Mondeo	405	361	407	316
Audi A6	405	344	398	382

Tabelle 20: Lateralabstand Fensterunterkante Pkw vorne

Abkürzungen

Um die aufgestellten Merkmale zu ermitteln, wurden am Beifahrersitz und rechtem Sitz der hinteren Sitzbank die folgenden Werte gemessen:

- WSB: die Neigung der Sitzfläche
Dieser Wert dient zur Berechnung der Höhe der Fensterunterkante bezüglich einer Horizontalen durch die CR-Achse.

- TH 1: Höhe der Fensterunterkante senkrecht über der CR-Achse
- TH 2: Höhe der Fensterunterkante in ca. 400 mm Entfernung vor der CR-Achse (in x-Richtung des Fahrzeugs)

Diese Werte werden benötigt, um einen möglichen Anstieg oder Abfall der Fensterkante zu bestimmen.

- ABST 1: Abstand der Fensterunterkante zur Mitte der Sitzfläche am Punkt TH 1
- ABST 2: Abstand der Fensterunterkante zur Mitte der Sitzfläche am Punkt TH 2

Durch diese Werte lässt sich eine eventuelle Neigung der Fensterkante um die Fahrzeughochachse nachweisen.

- ABST 3: Abstand der Tür zur Mitte der Sitzfläche bei der Hälfte des für TH 1 gemessenen Wertes
- ABST 4: Abstand der Tür zur Mitte der Sitzfläche bei der Hälfte des für TH 2 gemessenen Wertes
- KO: Korrekturlänge, die sich aus der Messapparatur ergibt
- TH 1 KO Türhöhe an CR-Achse inkl. KO
- AMP Abstand der Messpunkte (in Fzg. x-Richtung)
- HAW Höhendifferenz aufgrund des Winkels WSB
- TH 2 KO Türhöhe incl. KO und HAW
- AST 1 K Abstand der Fensterunterkante zur Sitzmitte an CR-Achse
- AST 2 K Abstand der Türverkleidung zur Sitzmitte an CR-Achse (auf halber Türhöhe)
- AST 3 K Abstand der Fensterunterkante zur Sitzmitte an CR-Achse – AMP
- AST 4 K Abstand der Türverkleidung zur Sitzmitte an CR-Achse – AMP (auf halber Türhöhe)

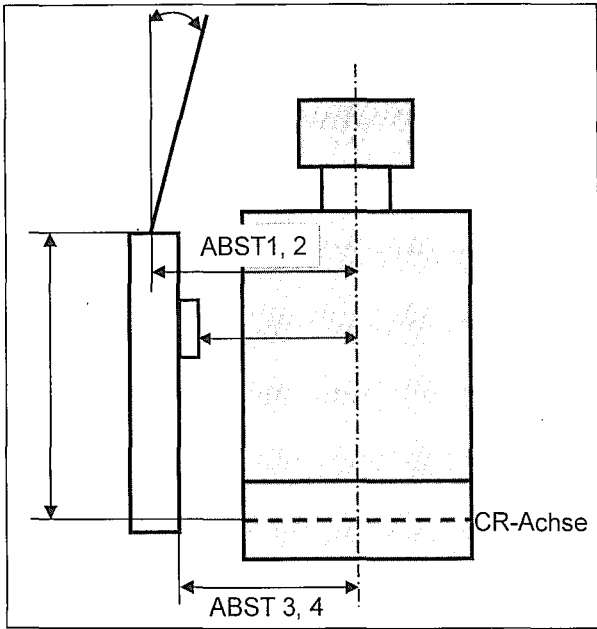


Abbildung 64: Frontale Prinzipdarstellung einer Pkw-Sitzumgebung

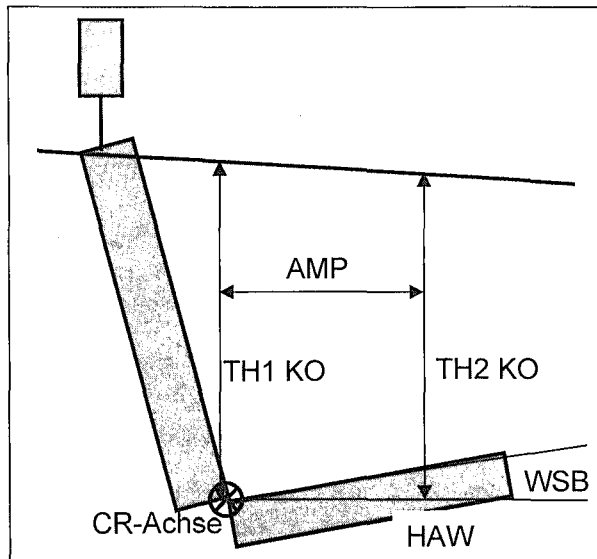


Abbildung 65: Seitliche Prinzipdarstellung einer Pkw-Sitzumgebung

7.2 Ergebnisse zu Pkw-Massen

Pkw-Segment	Marktanteil	Pkw-Typ*	Pkw-Masse	anteilige Masse**
Mini	5,9%	Ford Ka	965kg	57kg
Klein	18,3%	VW Polo	1083kg	198kg
Untere Mittelklasse	27,2%	VW Golf	1110kg	302kg
Mittelklasse	24,5%	BMW 3-er	1360kg	333kg
Obere Mittelklasse	7,9%	DC E-Klasse	1610kg	127kg
Oberklasse	0,9%	DC S-Klasse	1905kg	17kg
Gelände	3,7%	Toyota RAV4	1310kg	48kg
Cabrio	2,8%	Peugeot 206	1227kg	34kg
Van	6,0%	Opel Zafira	1390kg	83kg
				1198kg

Tabelle 21: Ermittlung einer durchschnittlichen Pkw-Masse aus Pkw-Zulassungen in Deutschland 2001
 (*: absatzstärkster Pkw-Typ pro Segment)
 (**: aus Marktanteil und jeweiliger Pkw-Masse)

7.3 Ergebnisse aus Pendelschlagversuchen

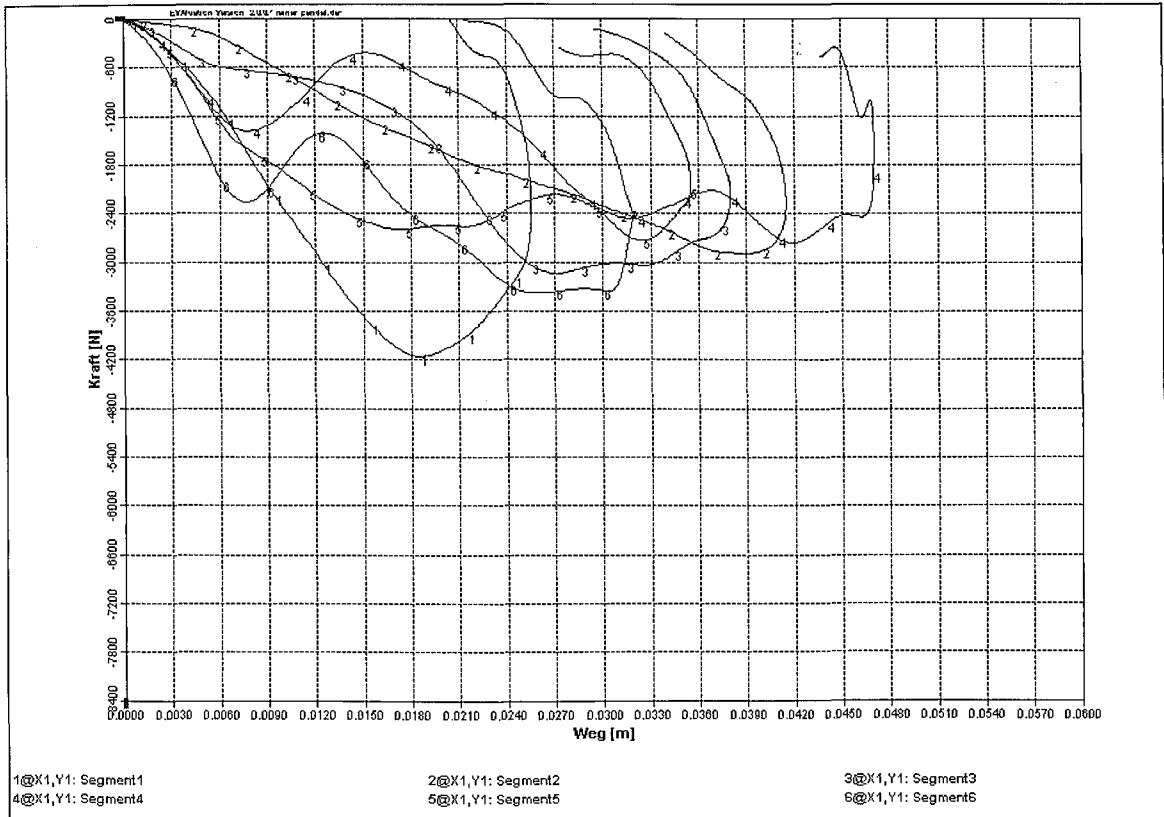


Abbildung 66: Kraft-Weg Kennungen BMW-Türinnenverkleidung

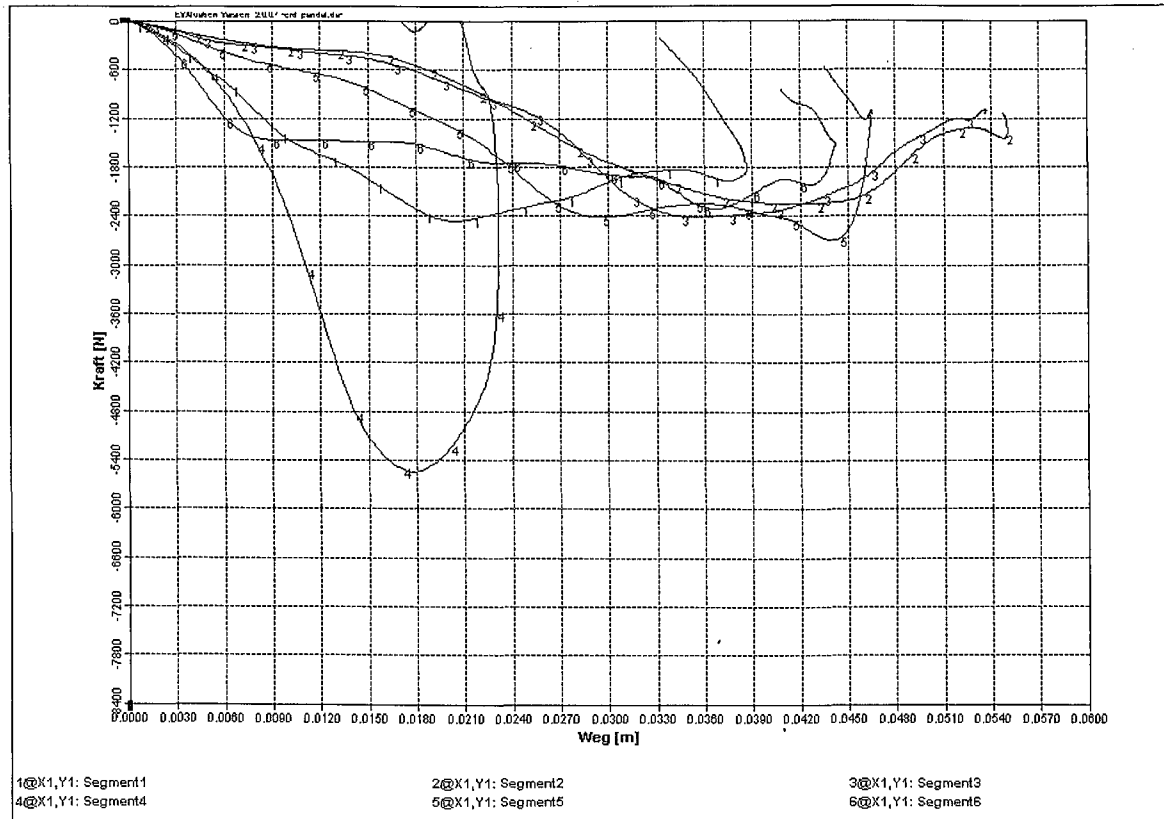


Abbildung 67: Kraft-Weg Kennungen Ford-Türinnenverkleidung

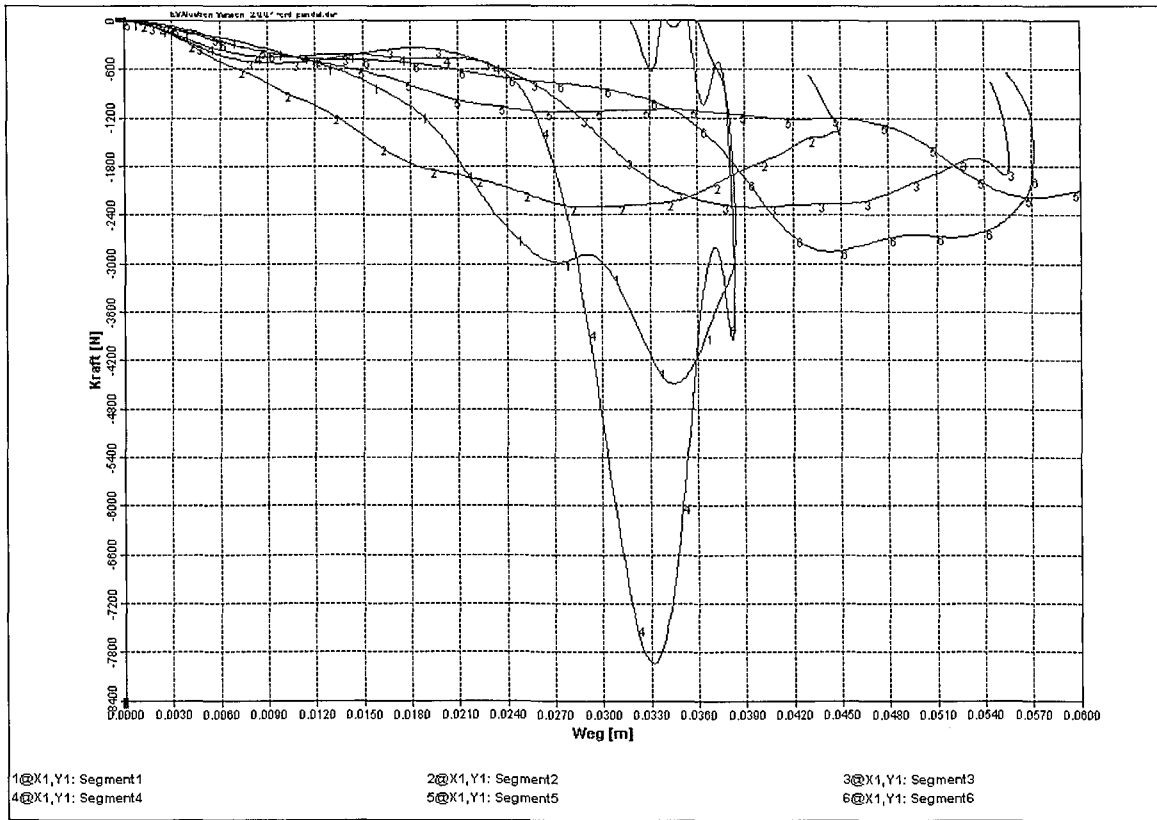


Abbildung 68: Kraft-Weg Kennungen VW-Türinnenverkleidung

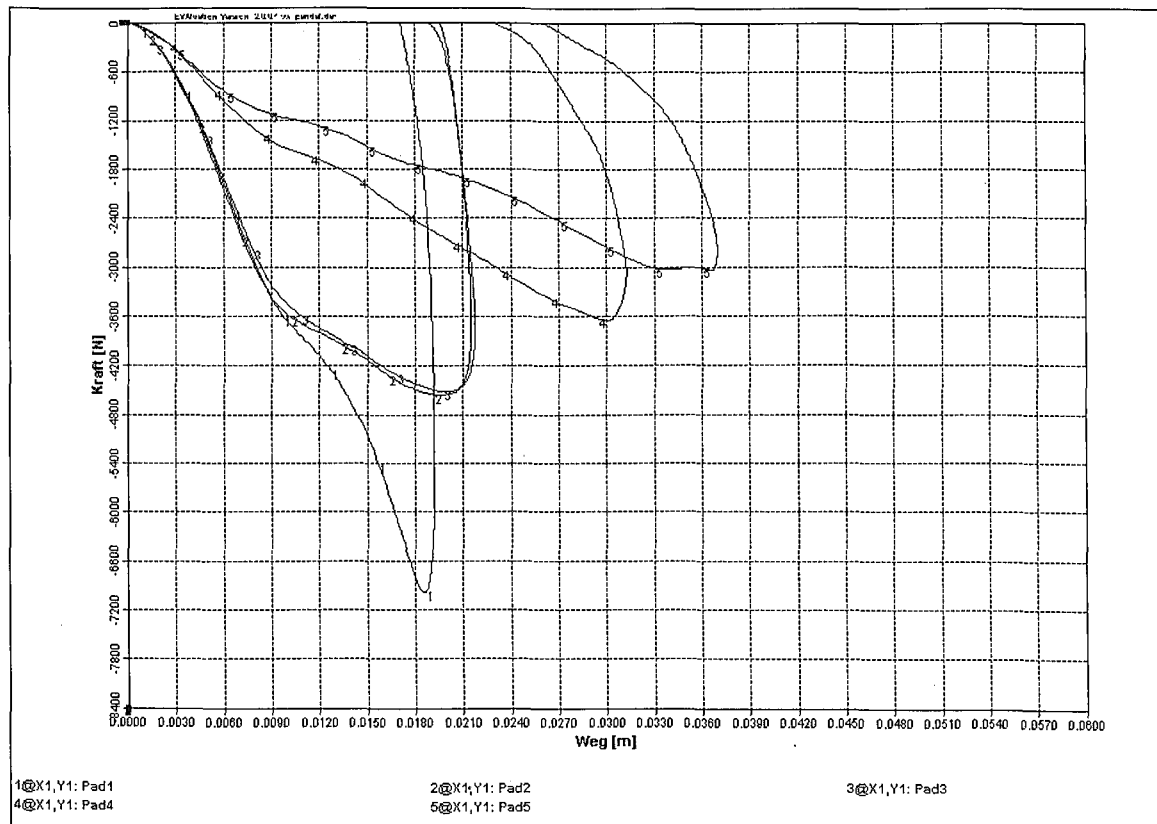


Abbildung 69: Kraft-Weg Kennungen von technische Schäumen (Pad 1: 20mm Styrodur; Pad 2: 40mm Styrodur; Pad 3: 60mm Styrodur; Pad 4: 20mm Styrodur & 30mm Zellkautschuk; Pad 5: 20mm Styrodur & 45mm Zellkautschuk)

7.4 Brief summary & FAQ

TUB-SIPCRS

The TUB-Side-Impact-Procedure for CRS has been developed in the frame of a BAST project that aims to set up a standardised test methodology reflecting both the average characteristics of real-world side impacts and the needs of test facilities covering test aspects like reliability, repeatability, reproducibility and costs.

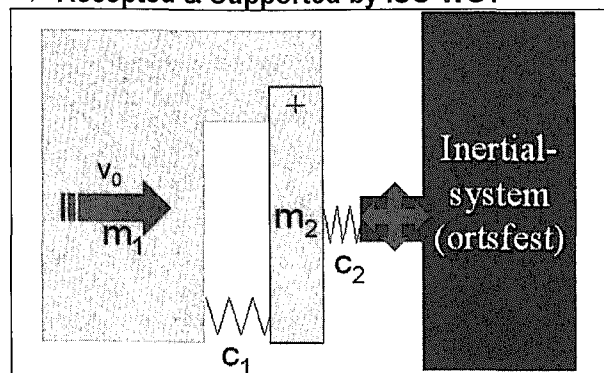
All descriptive parameters listed below are based on research results of TUB & BAST and ISO. The preliminary results were frequently presented at ISO/TC22/SC12/WG1 and intensely discussed by all involved parties.

TUB-SIPCRS follows the hinged-door-concept (TRL) using a sled system that is decelerated by a sheet metal brake (inverted impact). The hinged door-panel is activated by a fixed impactor.

FAQ 1: Why hinged-door-concept?

- Intrusion is reproducible
- Intrusion velocity & timing is adjustable by impactor position (y- and x- direction)

➤ Accepted & Supported by ISO-WG1



The initial velocity is set to 23,0 – 23,2km/h (tolerance range).

FAQ 2: Why 23km/h (and not 25km/h)?

- Average of delta-v (ECE-R95 barrier-to-car test) is at maximum 23km/h!
- Global severity of TUB-SIPCRS should not exceed the ECE-R95 conditions.

The initial distance between inner surface of panel and mid-plane of ECE-R44-03 bench is 300mm.

FAQ 3: Why 300mm initial distance?

- Mean value of measurements on 15 cars (all classes)

➤ Accepted & Supported by ISO-WG1

The height of the Panel is set to 500mm above CR-point.

FAQ 4: Why 500mm panel height?

- Average of measurements on 15 cars (all classes)

➤ Accepted & Supported by ISO-WG1

The padding should be at least 55mm thick.

FAQ 5: Why 55mm padding thickness (and not 15mm)?

- Proposal based on multiple Pendulum tests on three door trims
- 15mm-padding leads to unrealistic high loads on dummy and CRS

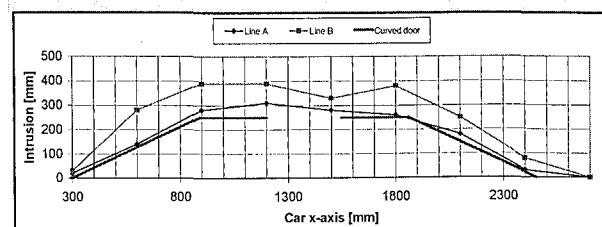
The maximum intrusion is limited to 25° and 250mm.

FAQ 6: Why 25° intrusion angle and 250mm intrusion depth?

- Reasonable compromise between results of ECE-R95 tests and car-to-car tests

➤ Accepted & Supported by ISO-WG1

The panel is angled like demonstrated in figure



FAQ 7: Why angled panel (and not flat)?

- Angled panel represents the intrusion profile of laterally struck cars
- Angled panel allows to limit & measure the maximum intrusion of 250mm.

➤ Under discussion at ISO-WG1 in 2002

All CRS-types are tested according to the worst-case scenario.

FAQ 8: Why worst-case-scenario & what is the worst case for Children in cars?

- Experimental results (ECE-R95 & TUB-SIPCRS) are showing that a child dummy's head located close to the maximum intrusion (B-pillar) leads to higher load measurements than a non-worst-case-position (C-pillar or A-pillar)

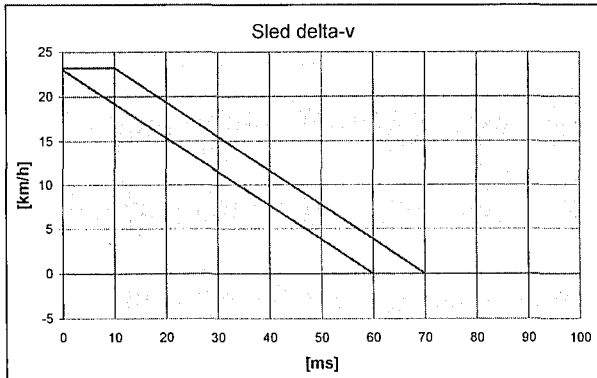
- Rearward-facing and forward-facing-CRS need to be tested under comparable conditions

➤ Accepted & Supported by ISO-WG1

FAQ 9: Which CRS-types can be tested with this procedure?

- All CRS of group 0/0+ independent of the car attachment (ISOFIX, 3-pt-belt)
- All CRS of group 1 independent of the car attachment (ISOFIX, 3-pt-belt)
- **Accepted & Supported & by ISO-WG1**

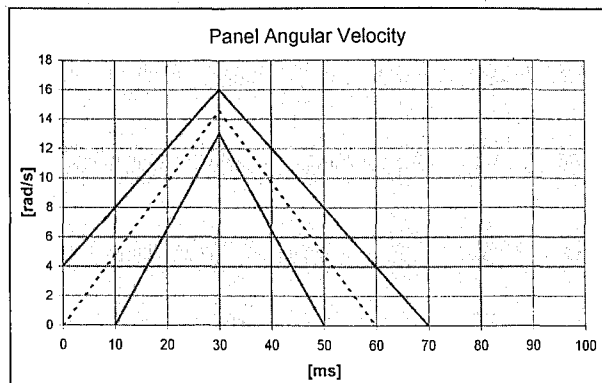
The average sled deceleration is prescribed by



FAQ 10: Why using a delta-v corridor (and not a deceleration corridor)?

- The formerly proposed deceleration corridor (ISO-draft) is quite wide. There is large criticism that this corridor may lead to spreading results in different test houses.
- This delta-v corridor permits small exceeding deceleration peaks which may occur during experimental testing. These peaks have no influence on the dummy response, but they would lead to a failed test.
- **Under discussion at ISO-WG1 in 2002**

The dynamic behaviour of the panel is prescribed by following narrowed angular velocity vs. time



FAQ 11: Why using a narrowed angular velocity corridor?

- The former corridor led to a large range of contact velocities.

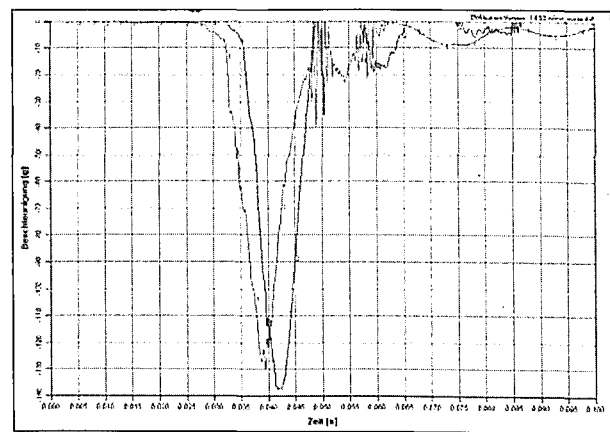
- It is important that a comparable contact velocity is ensured during a time frame of 25-50ms.
- The maximum panel velocity at the head location should not exceed 10m/s.
- The minimum panel velocity at the head location should not be below 8m/s.
- **Under discussion at ISO-WG1 in 2002**

During extensive tests at TUB the procedure is showing a very high reliability and repeatability.

- 22 tests were performed without any failure.
- Dummy response level within 5-10% for all body segments with almost exact timing

The reproducibility of ECE-R95 conditions is at a high-quality level. Test results with identical dummy and CRS using a VW Vento in comparison to TUB-SIPCRS are proving the reproducibility of this procedure.

	ECE-R95	TUB-SIPCRS
Head Res. a _{3ms}	109g (38-41ms)	125g (41-44ms)
HIC 36	933	1089
Chest Res. a _{3ms}	84g (33-36ms)	102g(37-40ms)
Pelvis Res. a _{3ms}	64g (37-40ms)	70g(38-41ms)

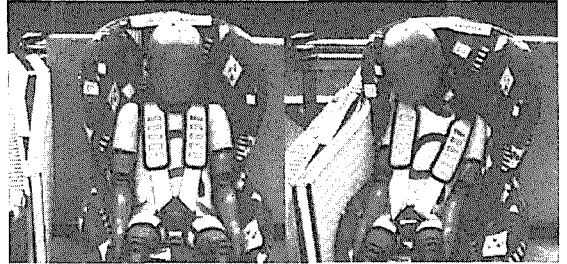


Dynamic head response ECE-R95 (red) – TUB-SIPCRS (blue)

7.5 Messergebnisse Römer Duofix (tabellarische Maxima)

7.5.1 Struktur

	v_0	Winkel	Winkel-t	v_{ang}	$v_{ang} \cdot t$
	[km/h]	[rad]	[ms]	[rad/s]	[ms]
Duo01	25,01	0,433	69	16,09	29
Duo02	23,13	0,397	71	14,36	30
Duo03	23,01	0,402	68	14,66	30
Duo04	23,06	0,402	69	14,6	31



7.5.2 Dummy

	Head a_{3ms}^*	HIC36	Mx_1	Mx_2	Fz	Chest a_{3ms}^*	Pelvis a_{3ms}^*	Kommentar
	[g]		[Nm]	[Nm]	[N]	[g]	[g]	
Duo01	98,2	1091	31,5	-2	913	75,6	126,5	$v_0=25km/h$
Duo02	94,8	921	28,4	-4,9	1270	71,1	102,2	
Duo03	92,3	979	28,2	-5,7	1135	71,3	110,7	
Duo04	87,9	772	24,6	-3,8	905	73,6	93,2	KSS modifiziert

* Resultierende

7.6 Messergebnisse Römer Duofix (graphische Zeitverläufe)

7.6.1 Römer Duofix 01

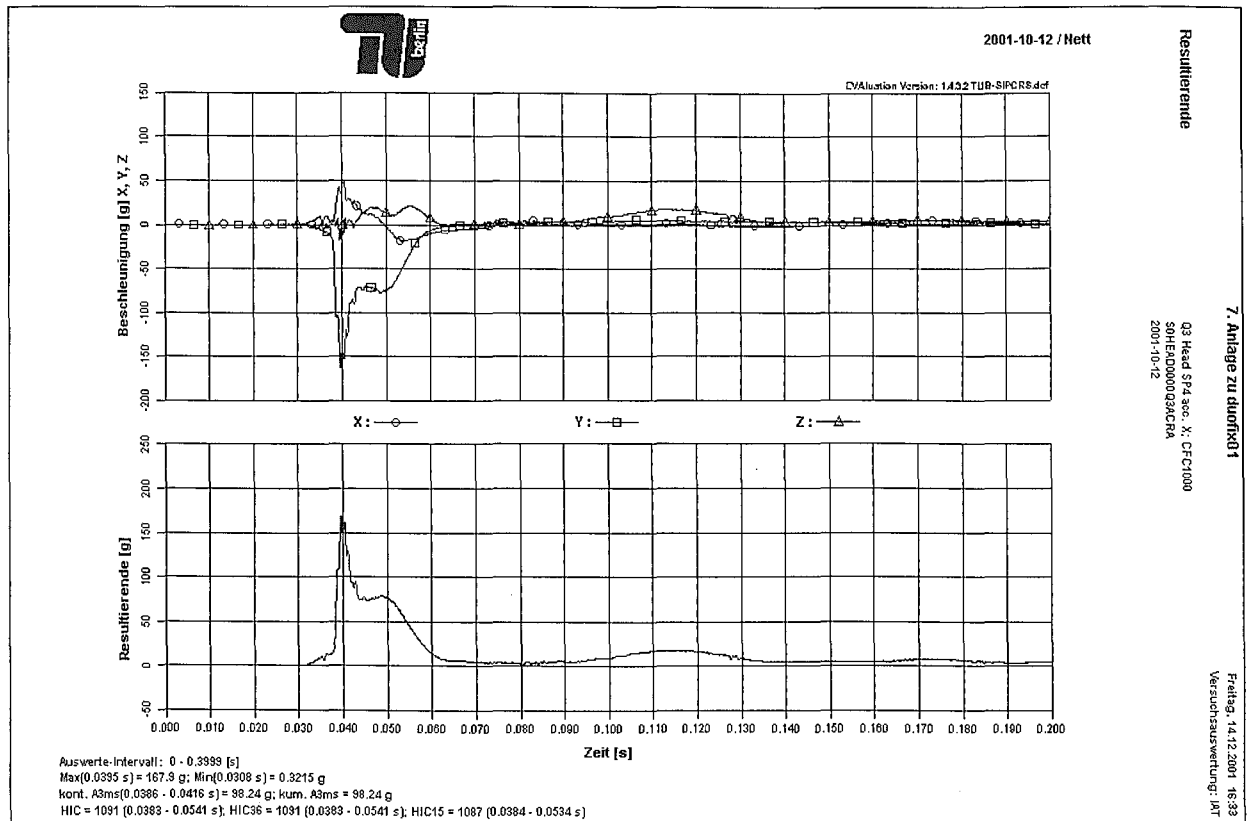


Abbildung 70: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

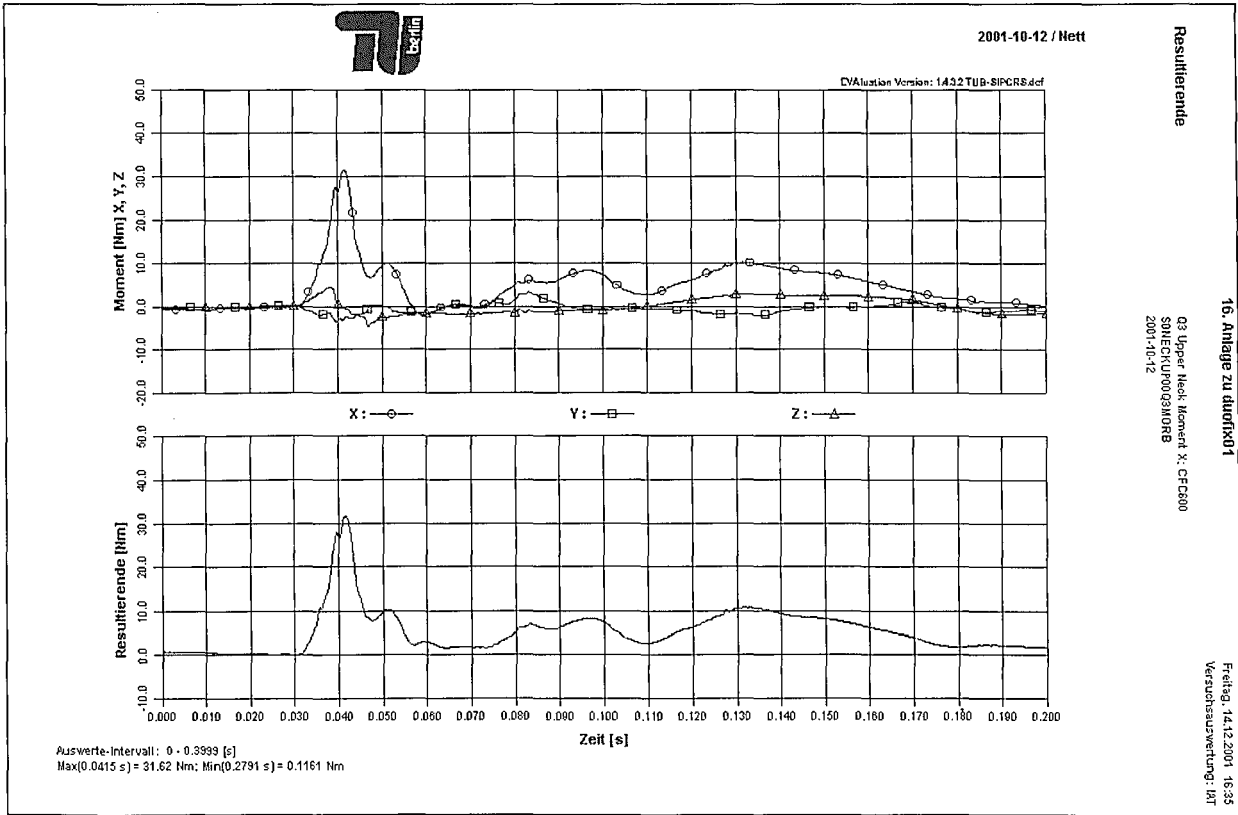


Abbildung 71: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

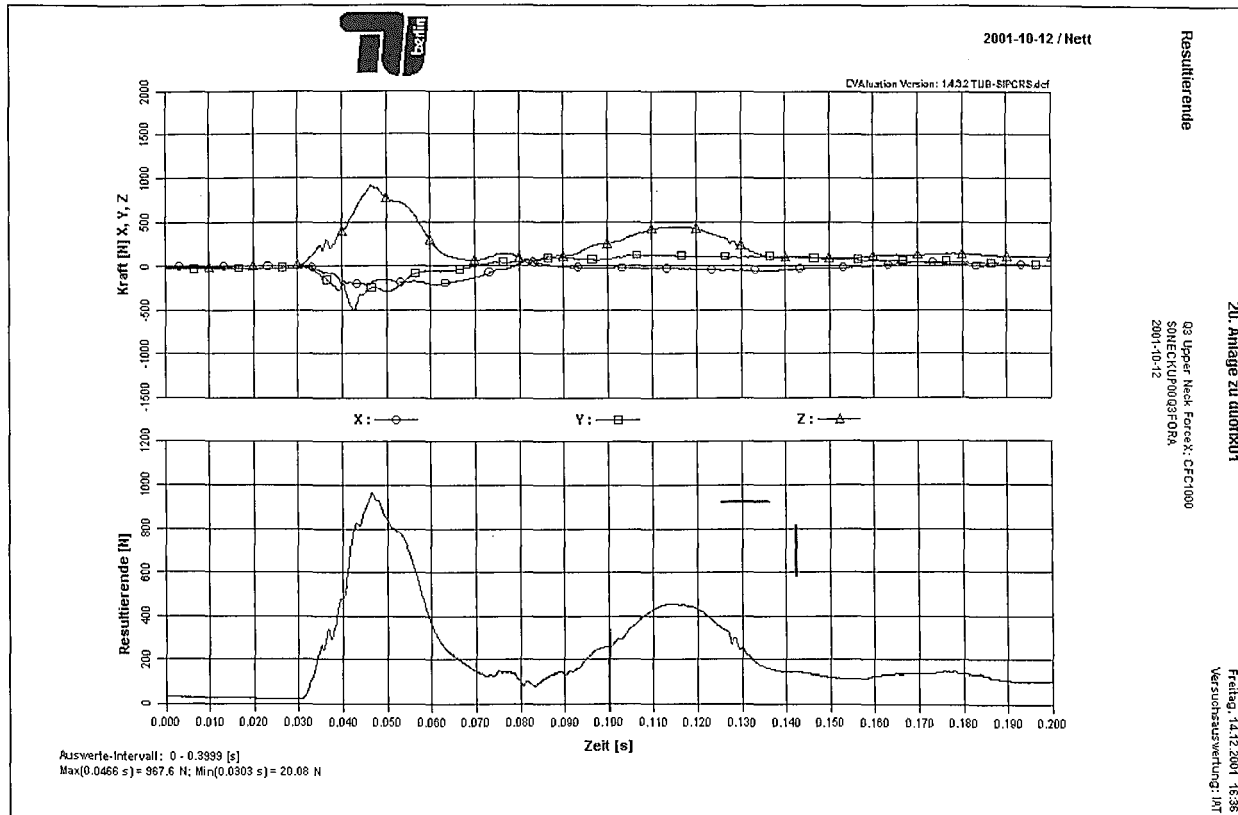


Abbildung 72: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

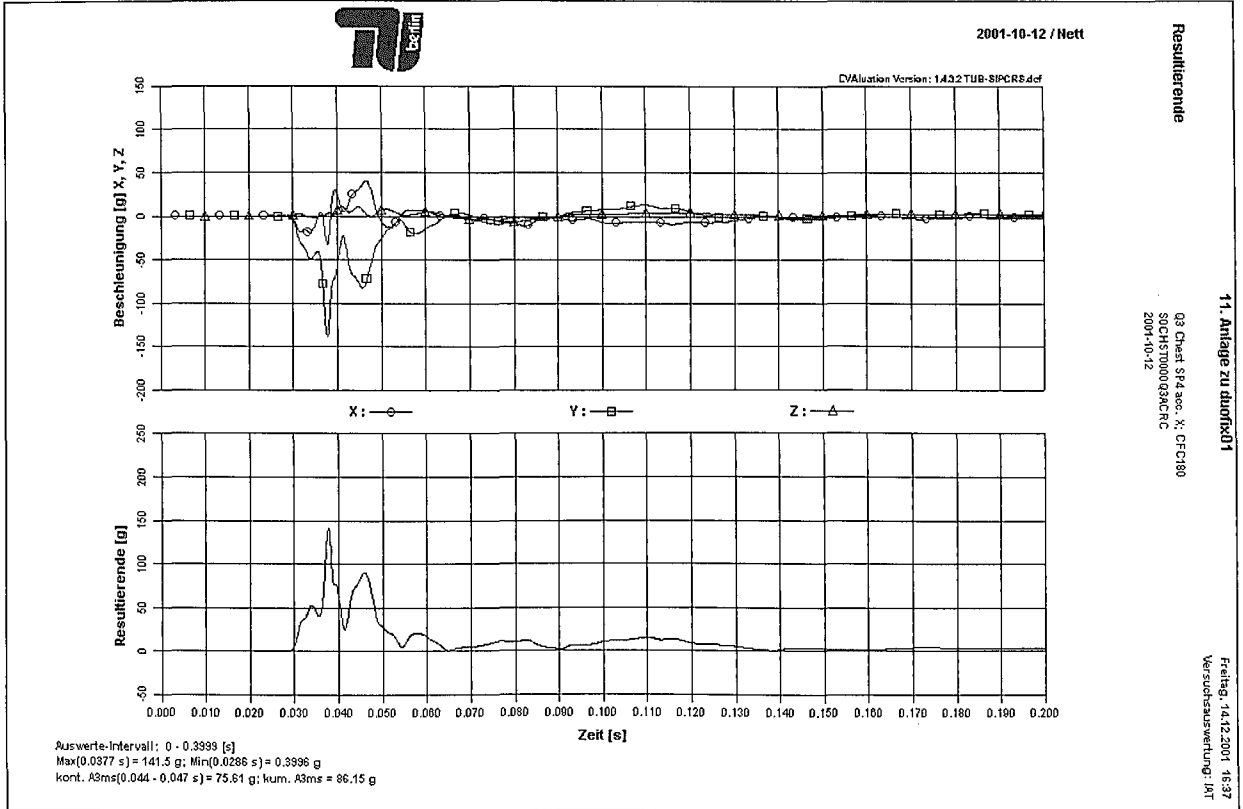


Abbildung 73: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

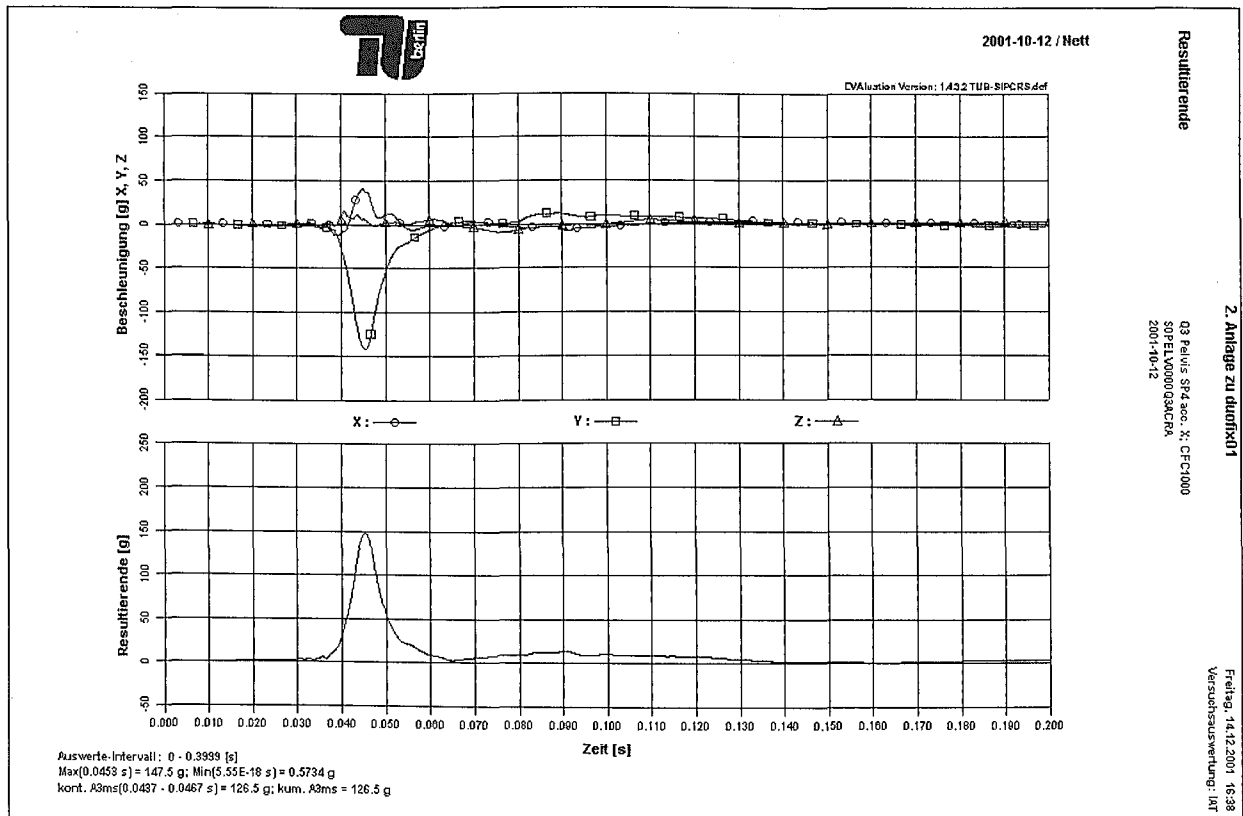


Abbildung 74: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.6.2 Römer Duofix 02

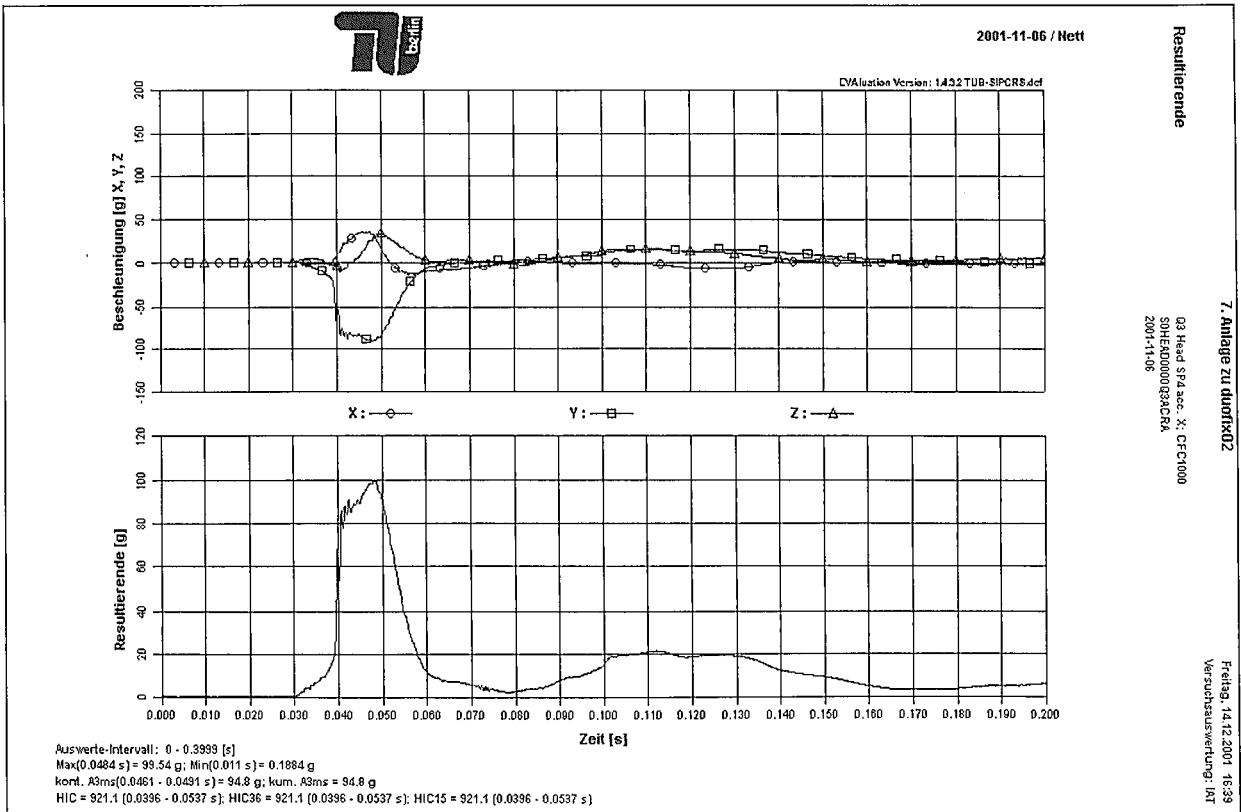


Abbildung 75: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

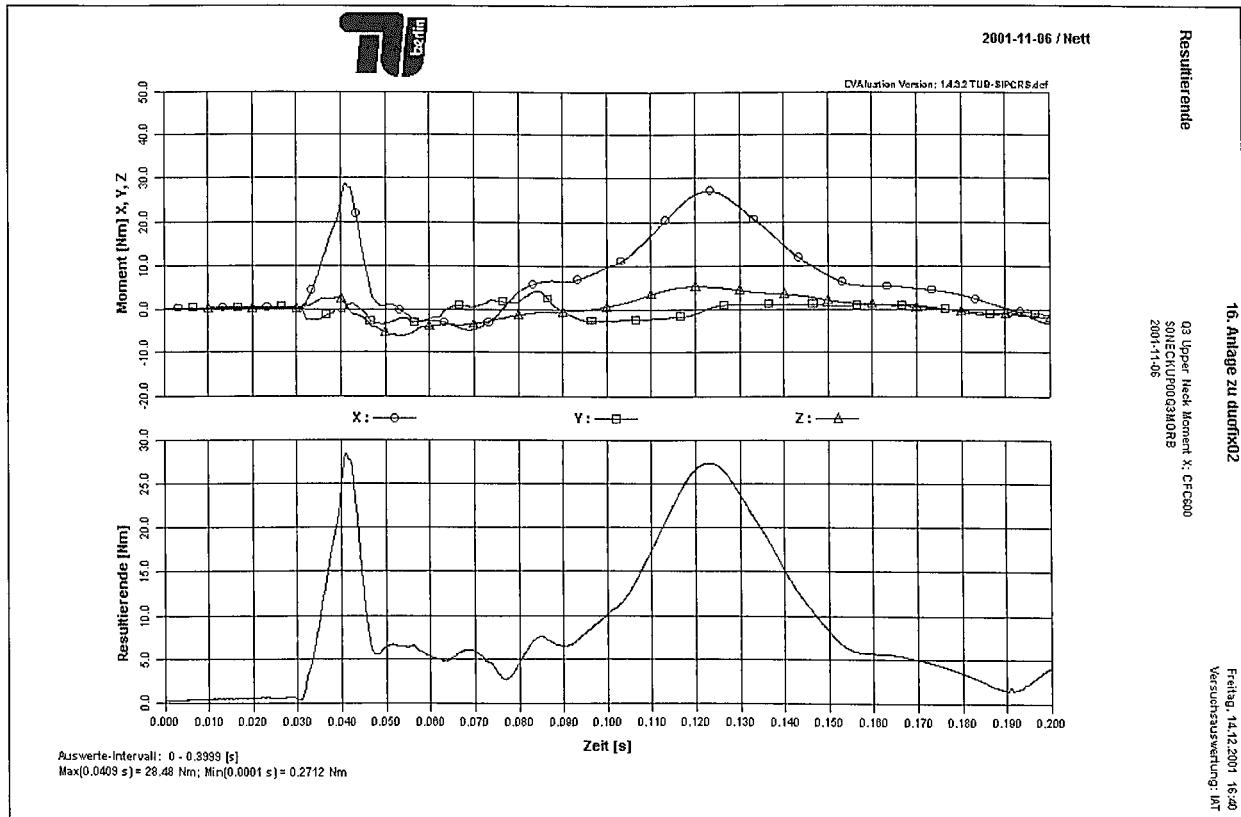


Abbildung 76: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

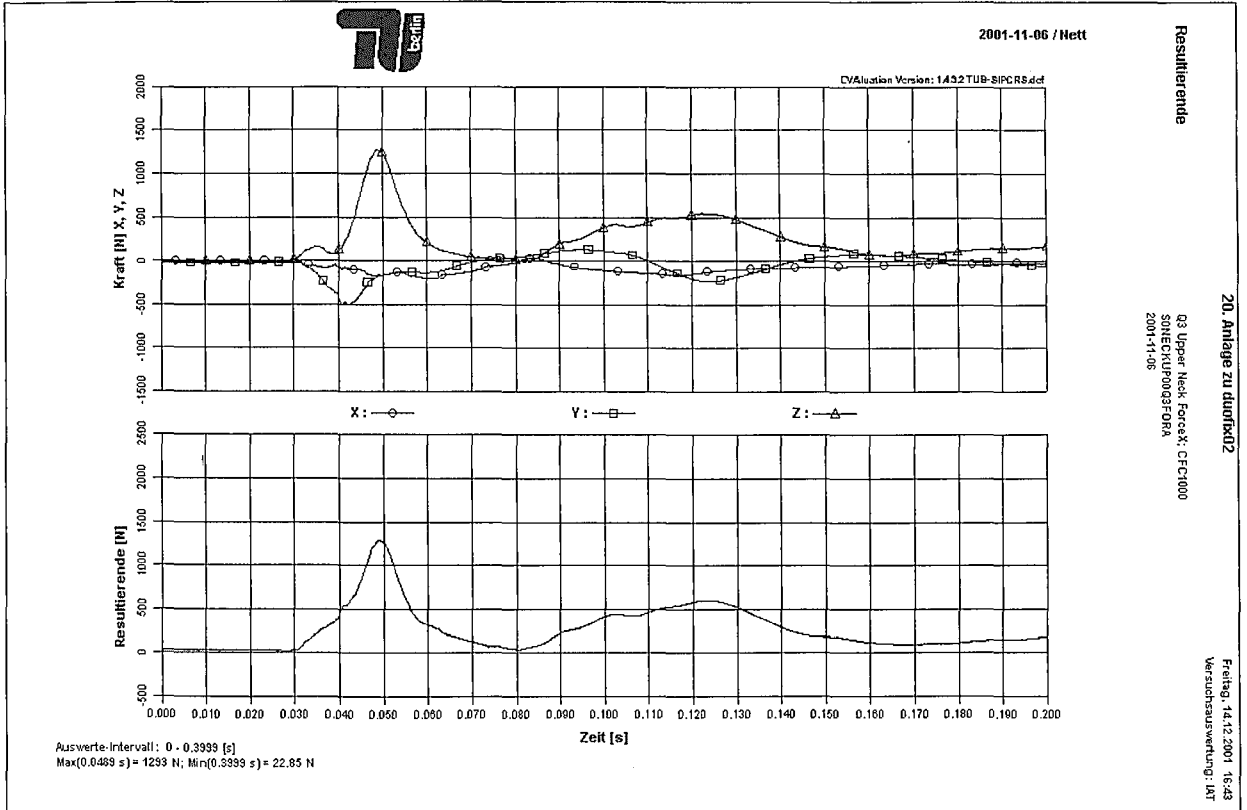


Abbildung 77: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

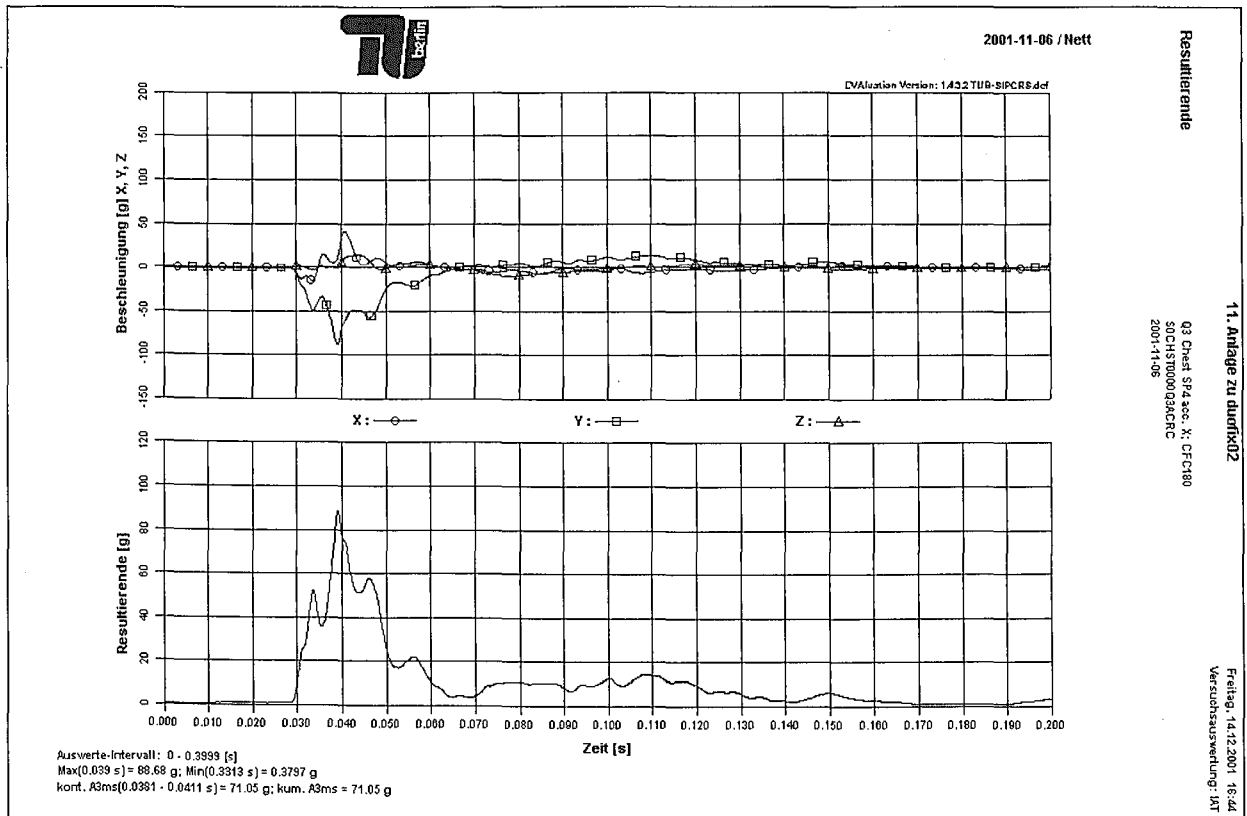


Abbildung 78: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

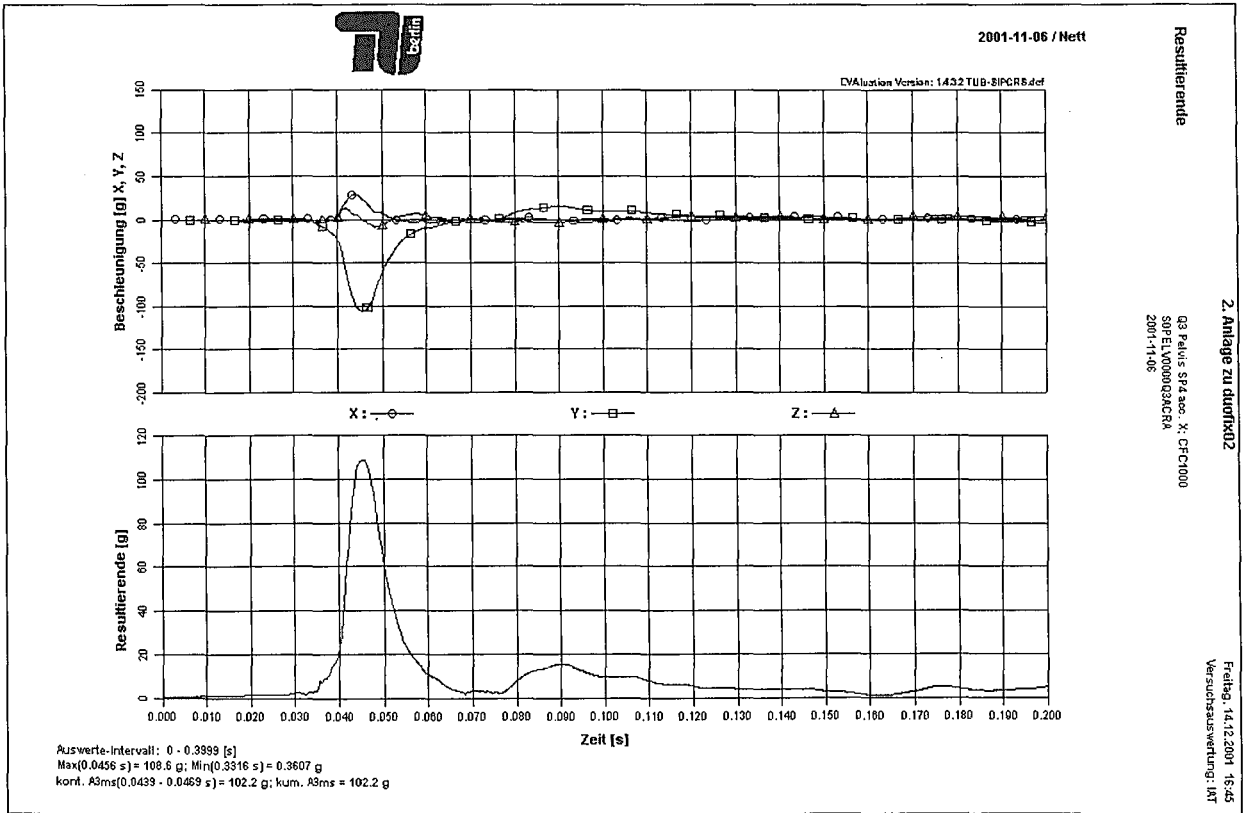


Abbildung 79: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.6.3 Römer Duofix 03

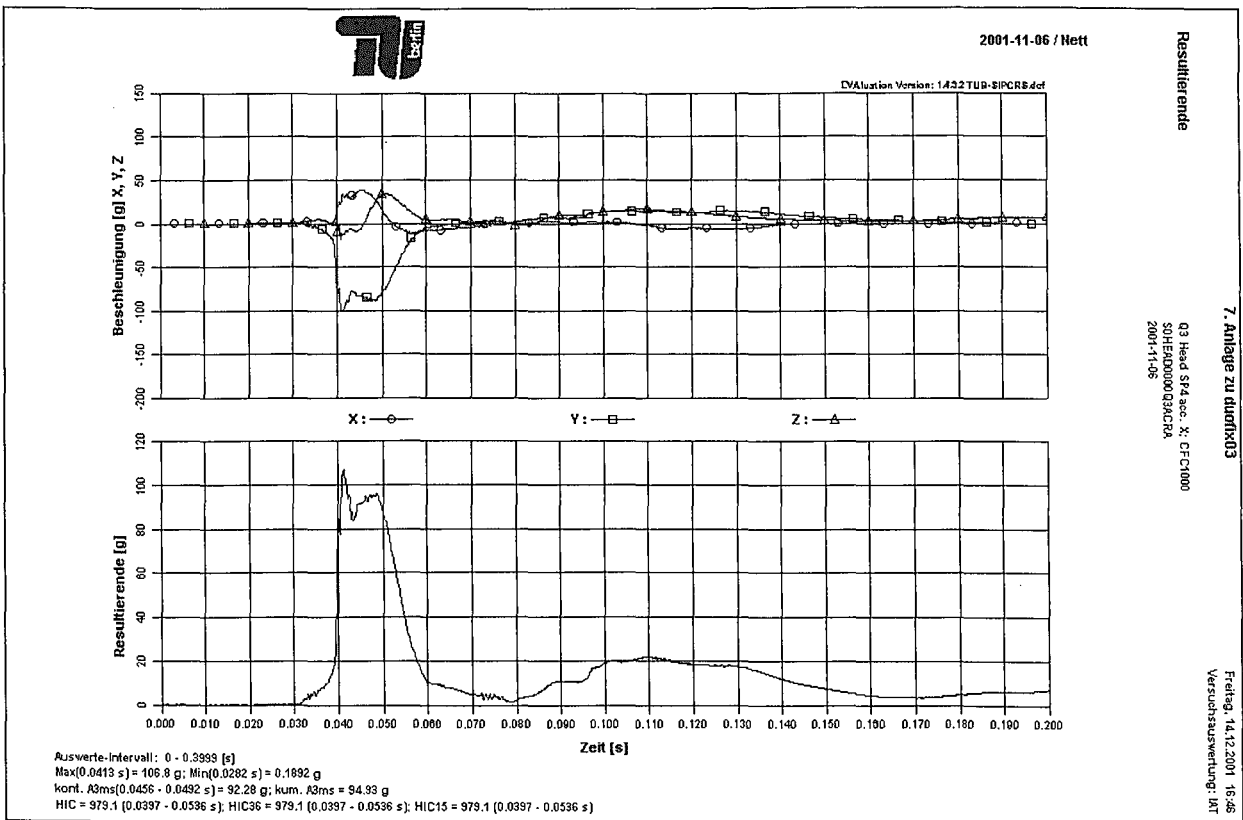


Abbildung 80: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

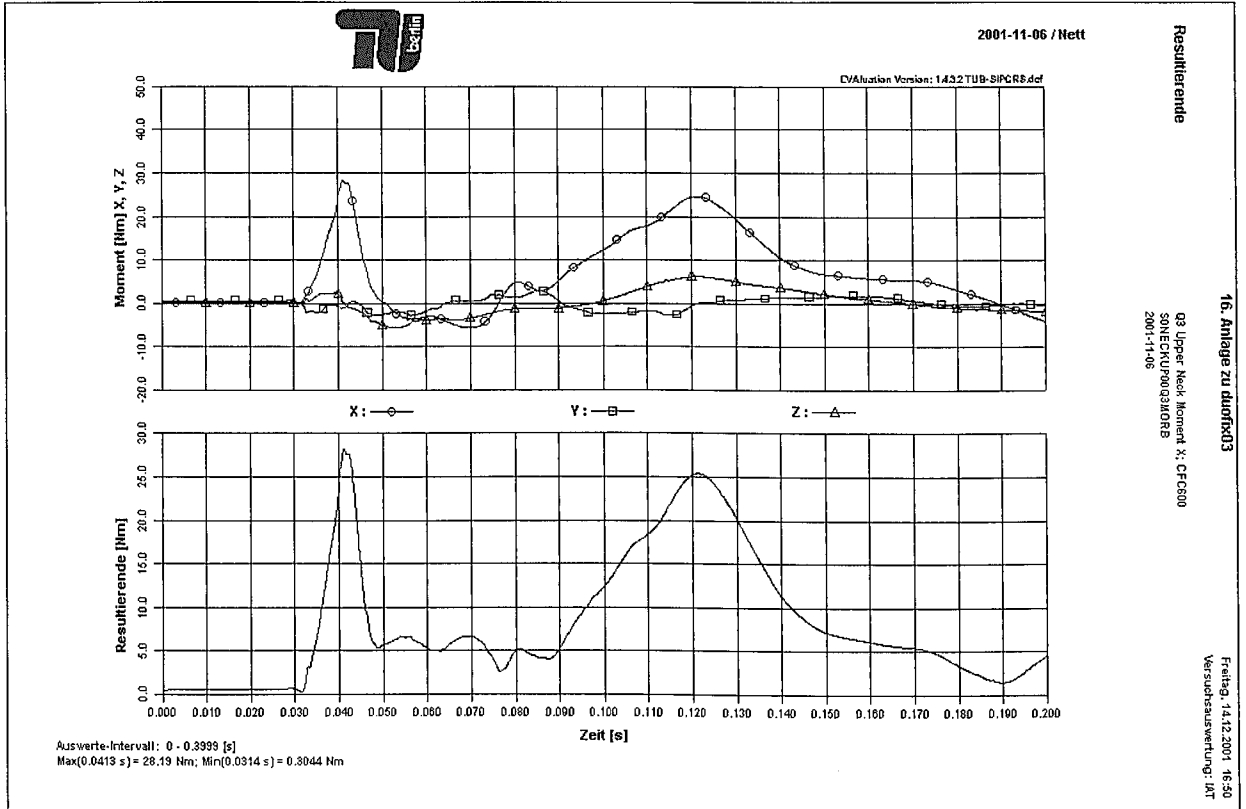


Abbildung 81: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

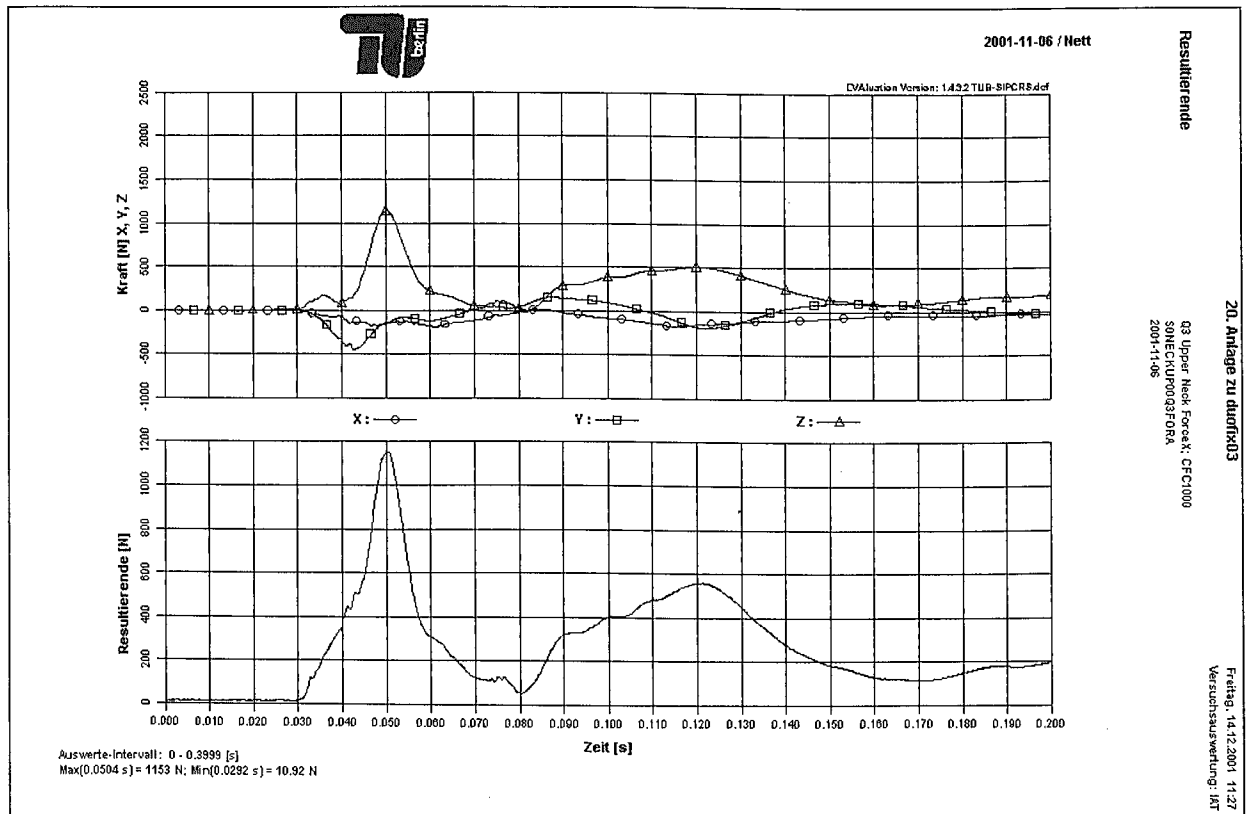


Abbildung 82: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

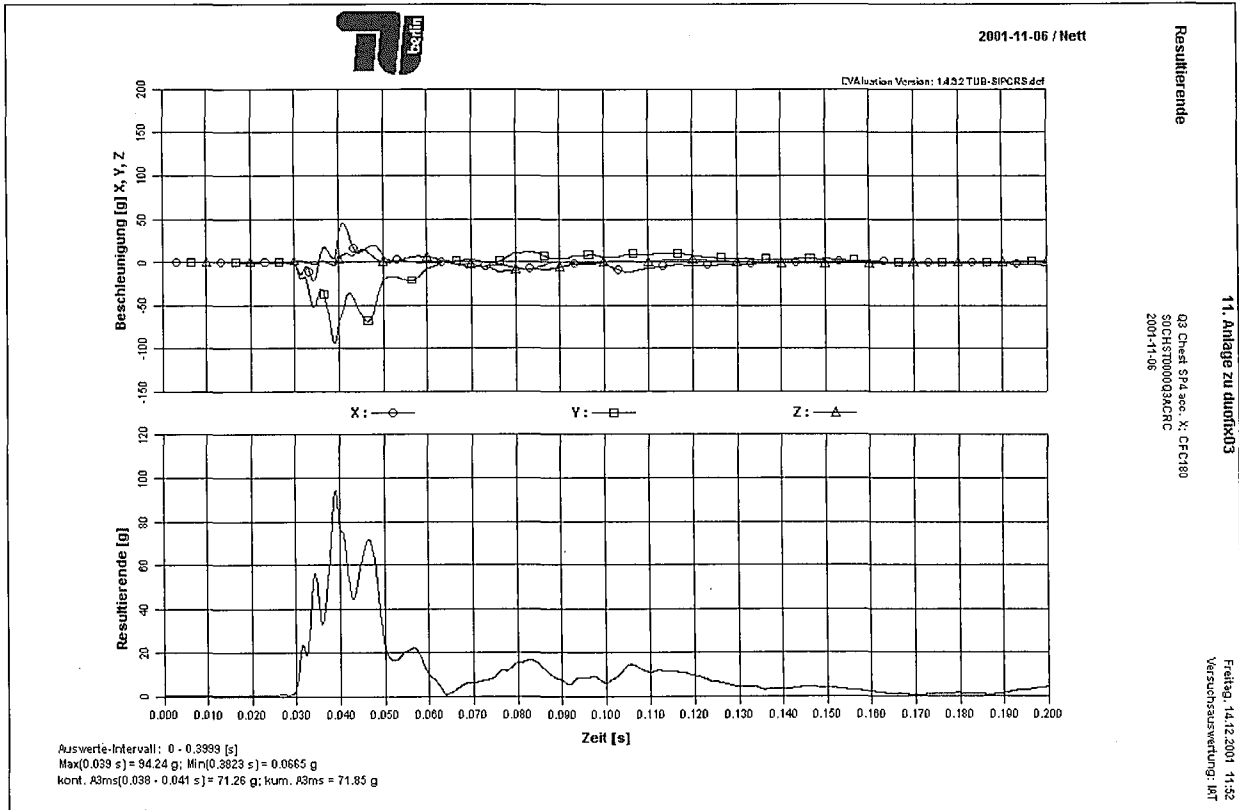


Abbildung 83: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

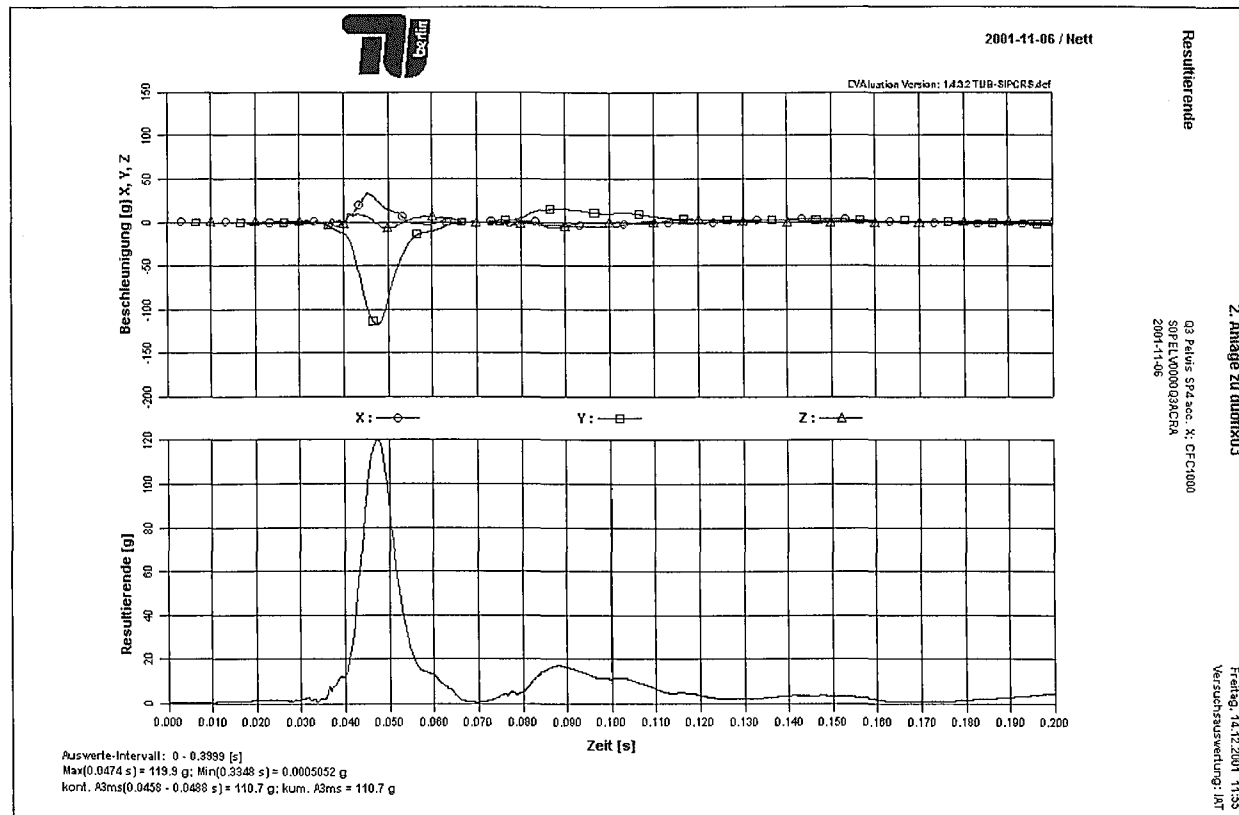


Abbildung 84: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.6.4 Römer Duofix 04

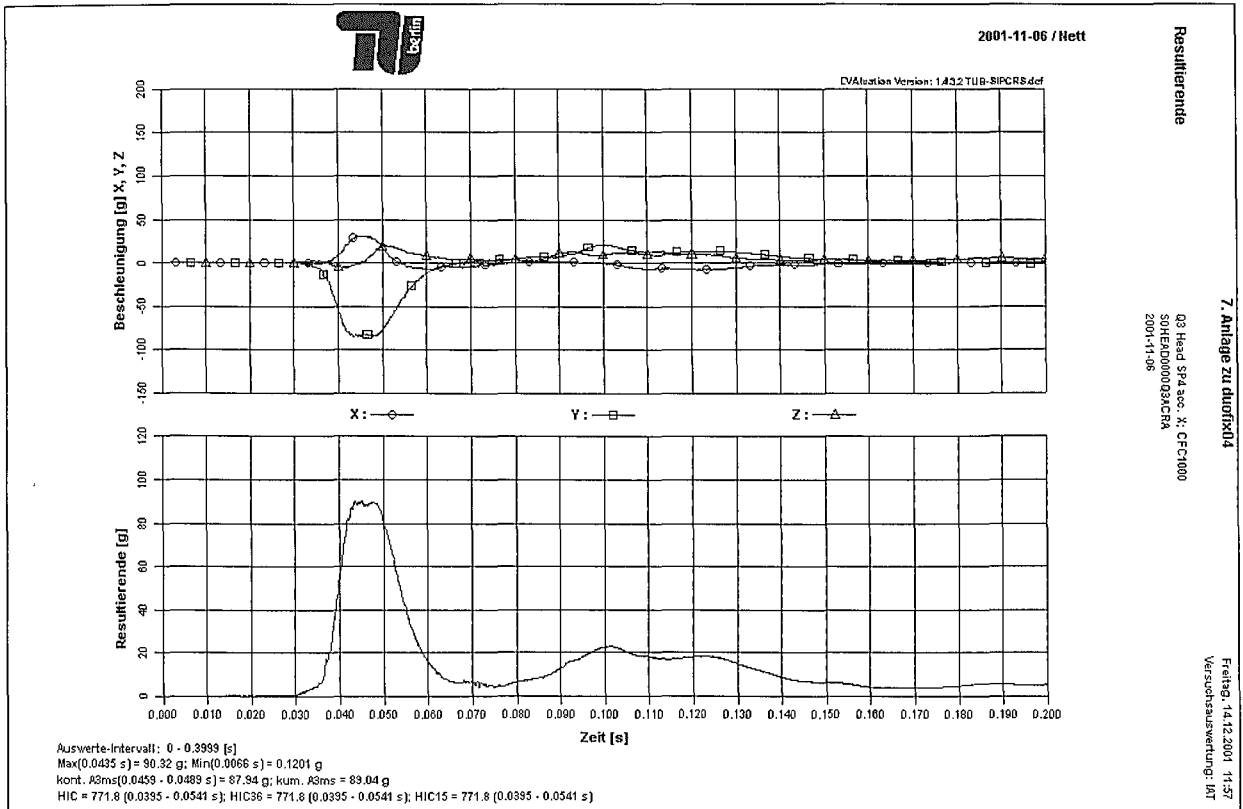


Abbildung 85: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

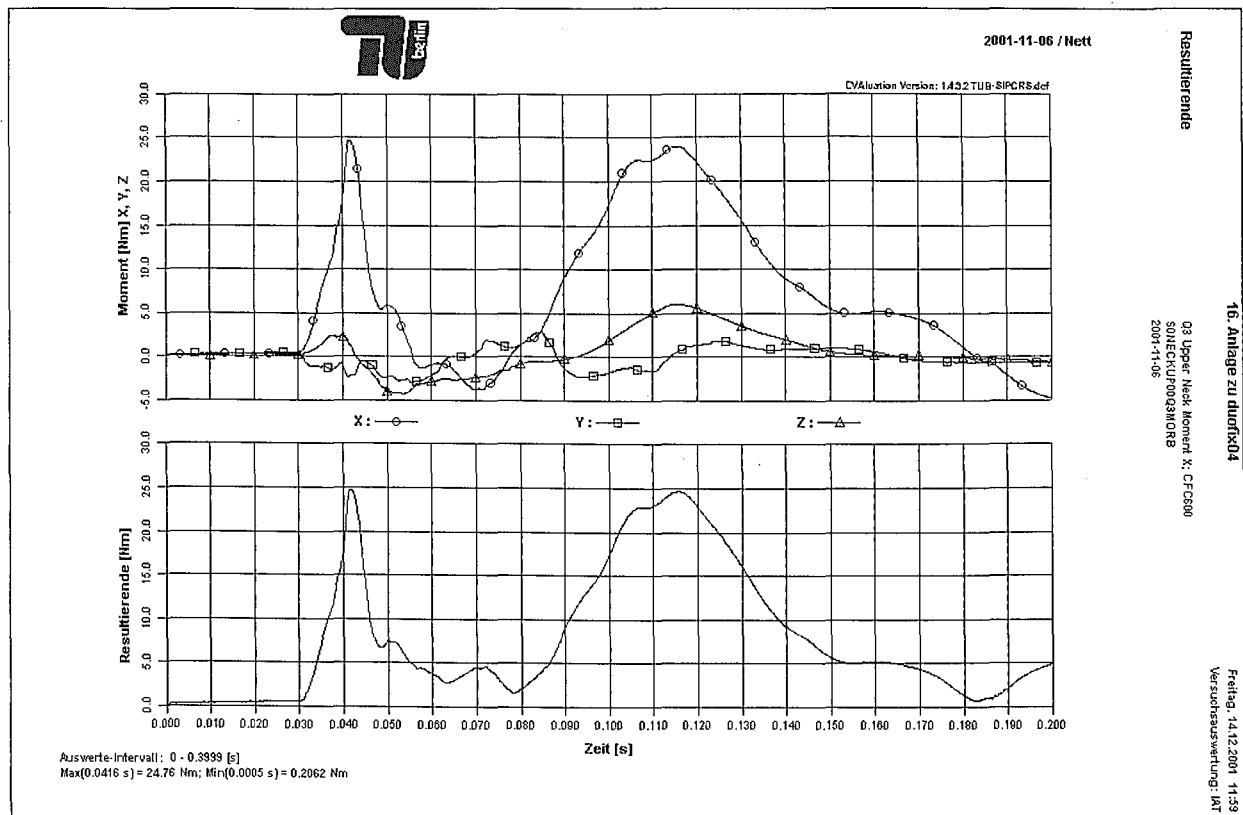


Abbildung 86: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

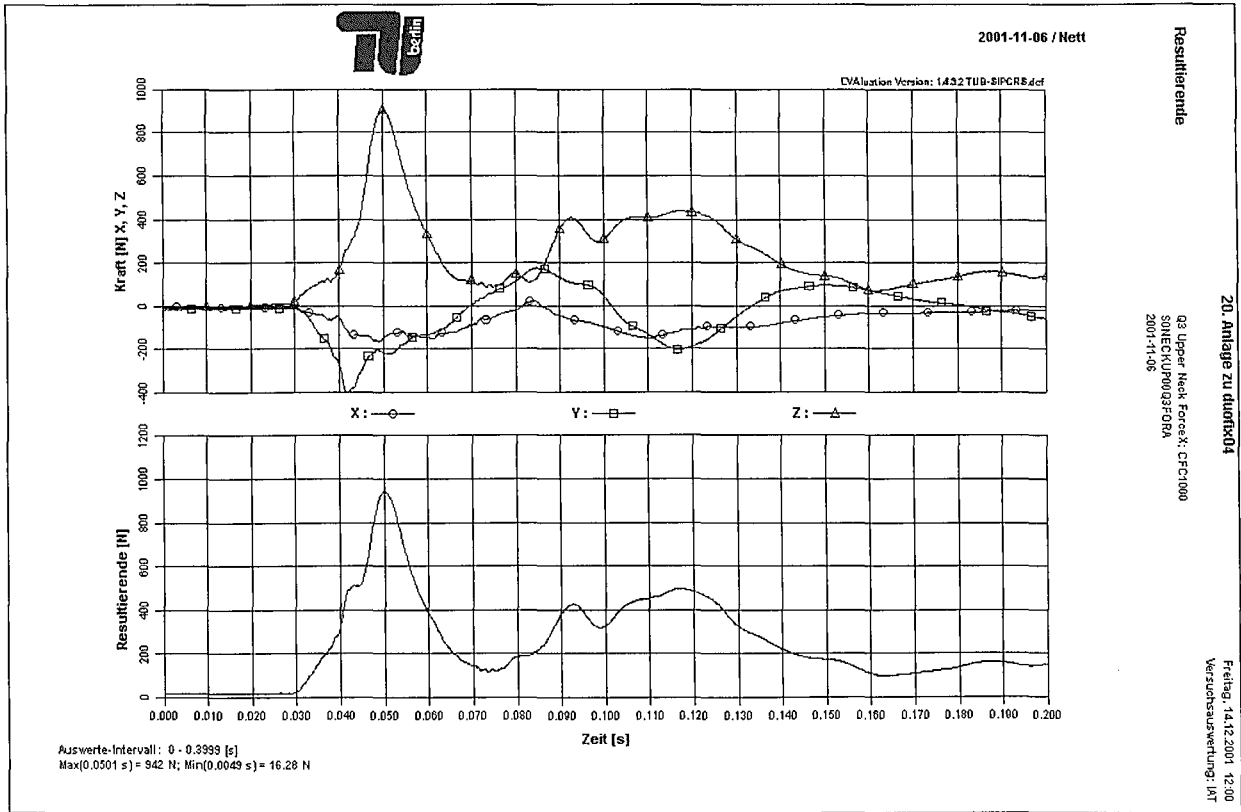


Abbildung 87: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

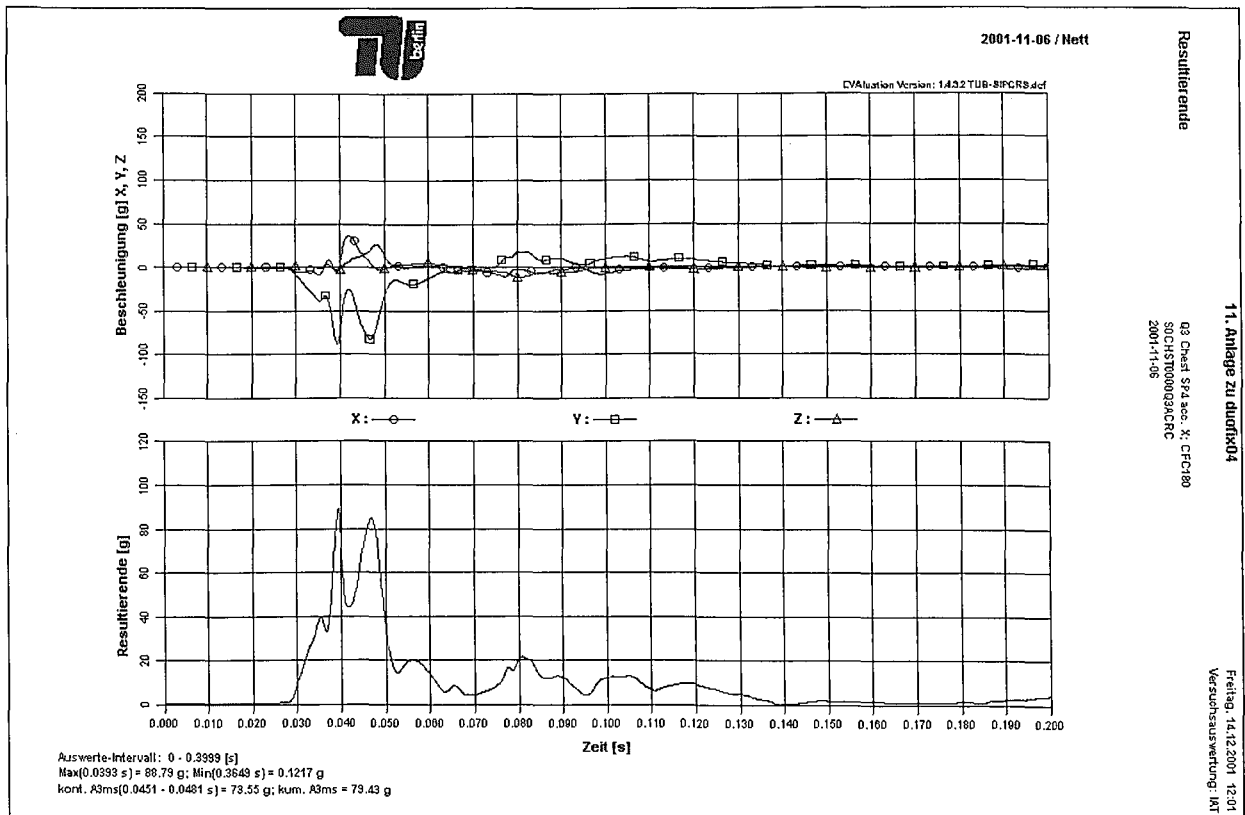


Abbildung 88: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

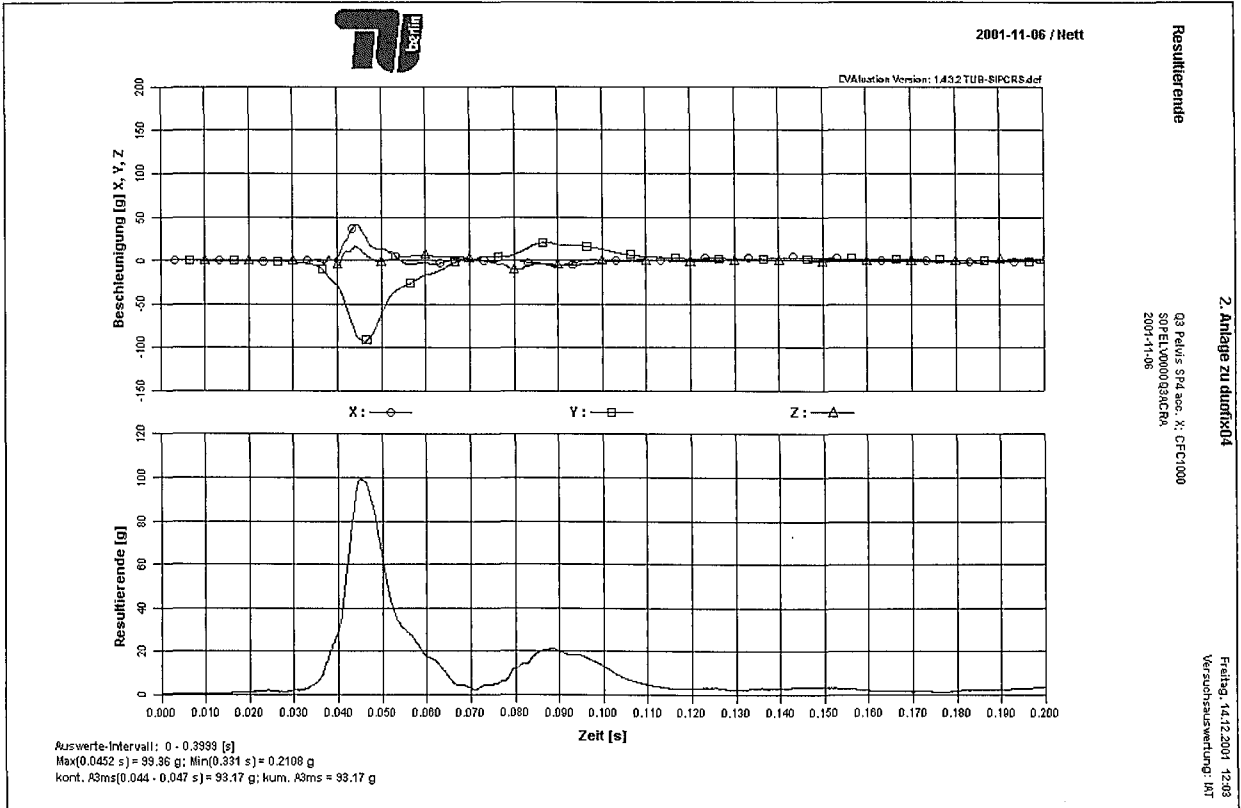
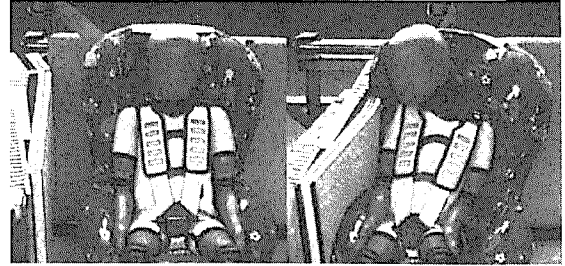


Abbildung 89: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.7 Messergebnisse Römer Quickfix (tabellarische Maxima)

7.7.1 Struktur

	v_0	Winkel	Winkel-t	v_{ang}	$v_{ang} \cdot t$
	[km/h]	[rad]	[ms]	[rad/s]	[ms]
fix01	23,01	0,436	68	15,04	30
fix02	23,01	0,432	70	15,11	31
fix03	23,07	0,423	73	14,61	30
fix04	23,04	0,374	71	13,8	30



7.7.2 Dummy

	Head a_{3ms}^*	HIC36	Mx_1	Mx_2	Fz	Chest a_{3ms}^*	Pelvis a_{3ms}^*	Kommentar
	[g]		[Nm]	[Nm]	[N]	[g]	[g]	
fix01	98,7	911	24,1	-11,1	937	64,6	98,1	
fix02	94,4	883	23,6	-9,4	979	66,9	95	
fix03	87,9	796	24,3	-9,2	951	61,3	100,6	
fix04	61	229	-12,9	12,3	430	37,7	85,6	"non-worst-case"

* Resultierende

7.8 Messergebnisse Römer Quickfix (graphische Zeitverläufe)

7.8.1 Römer Quickfix 01

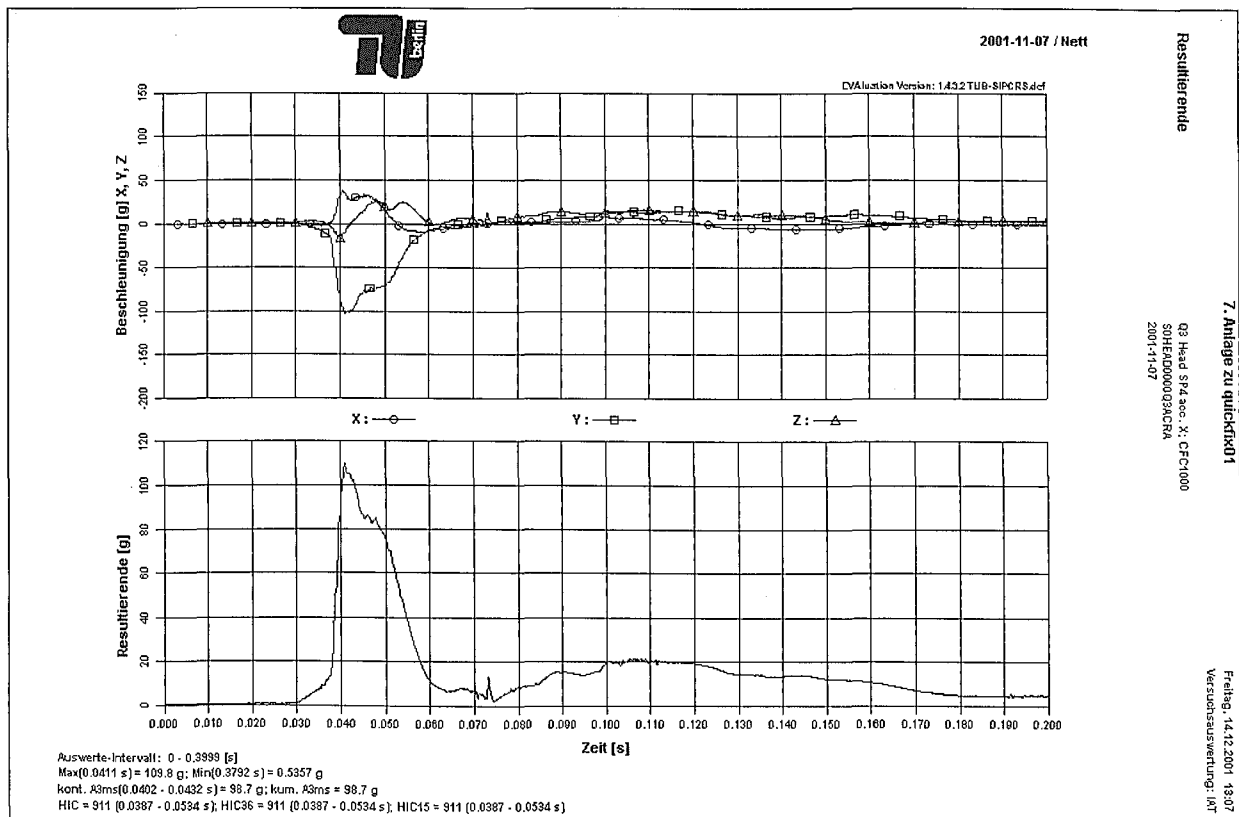


Abbildung 90: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

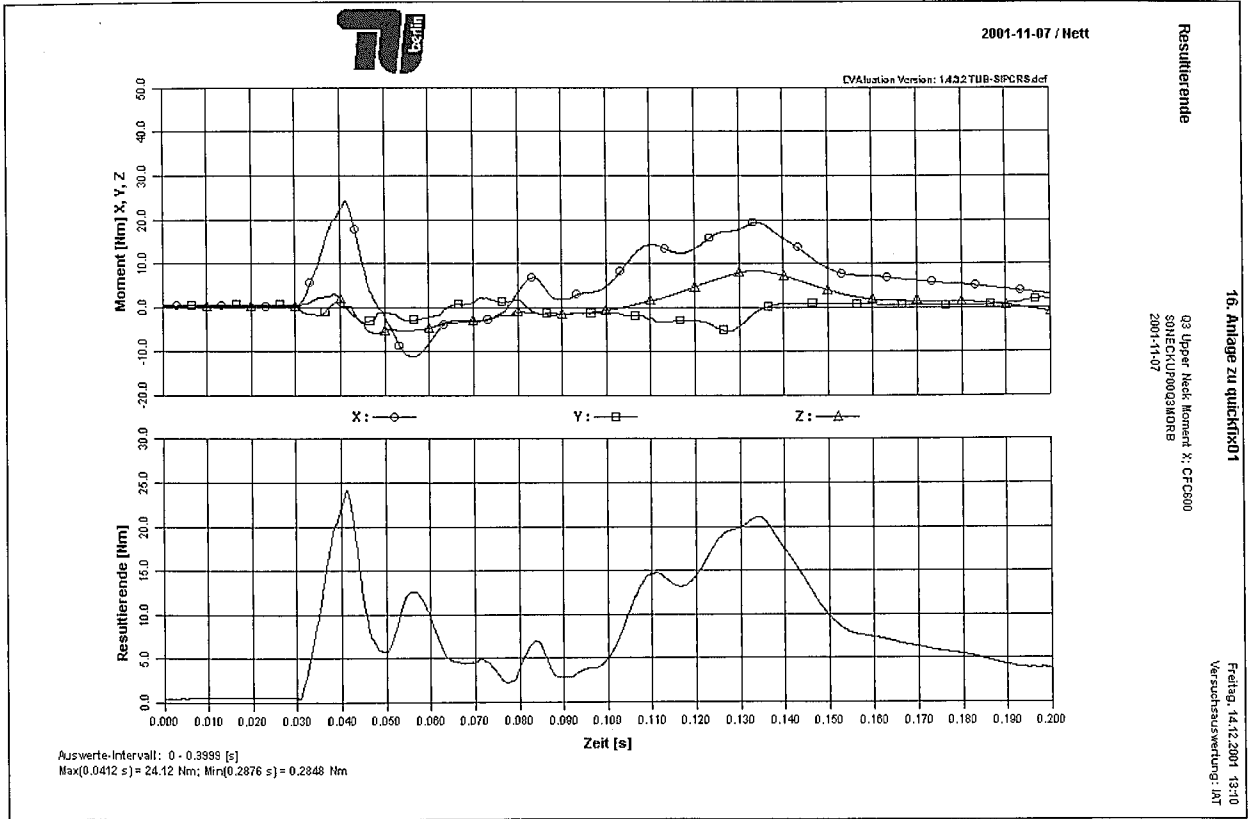


Abbildung 91: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

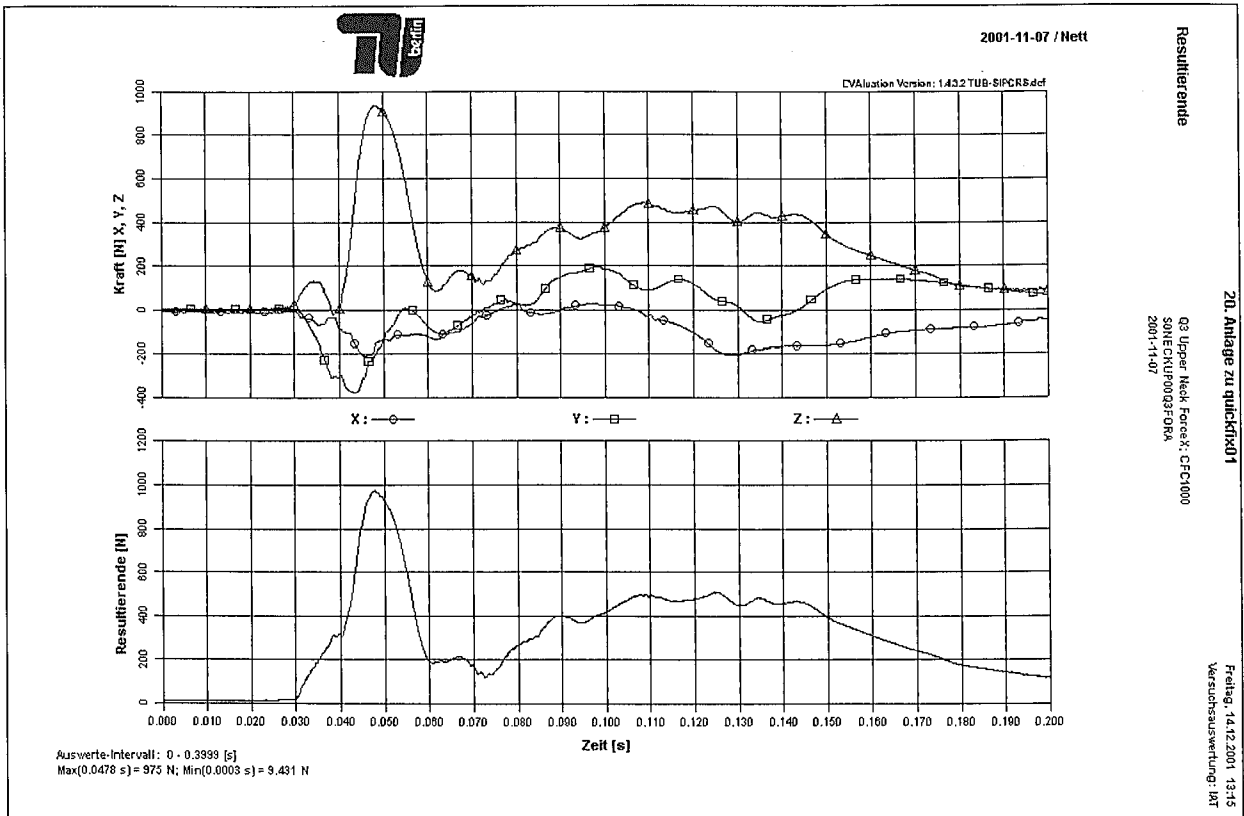


Abbildung 92: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

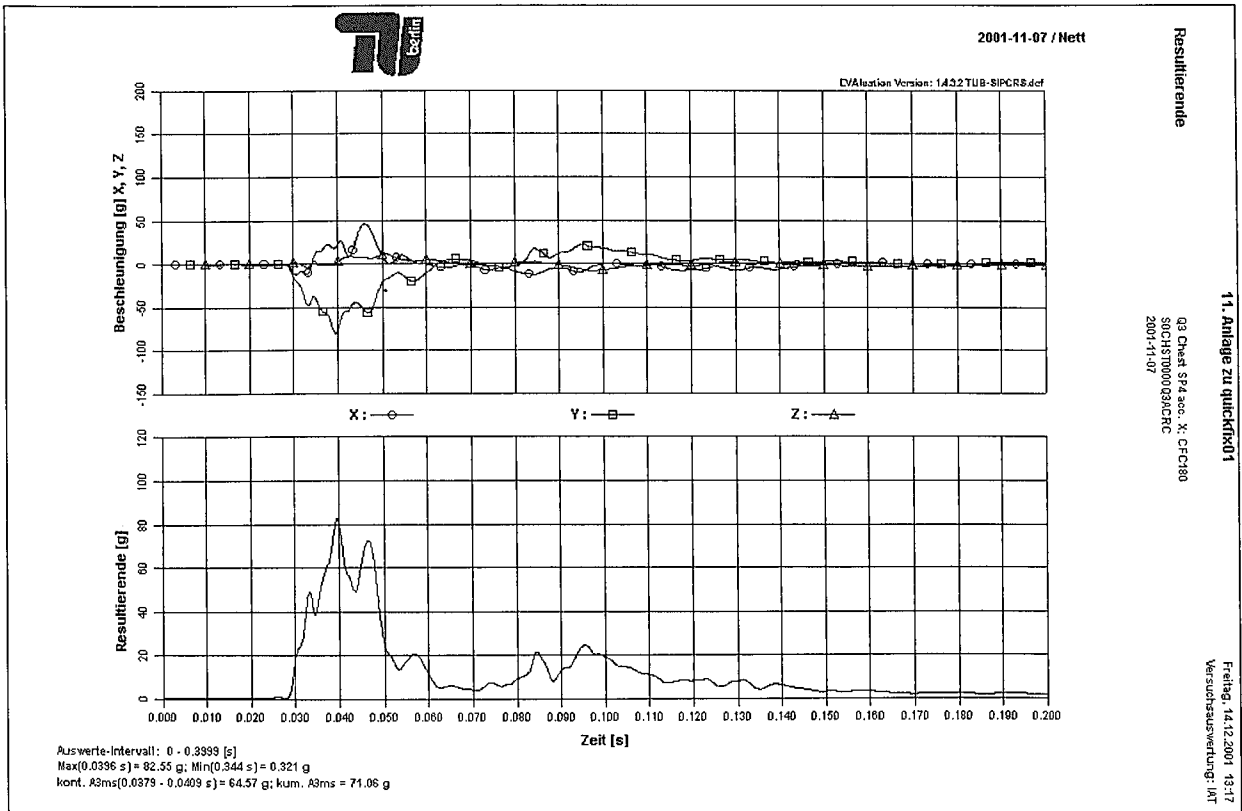


Abbildung 93: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

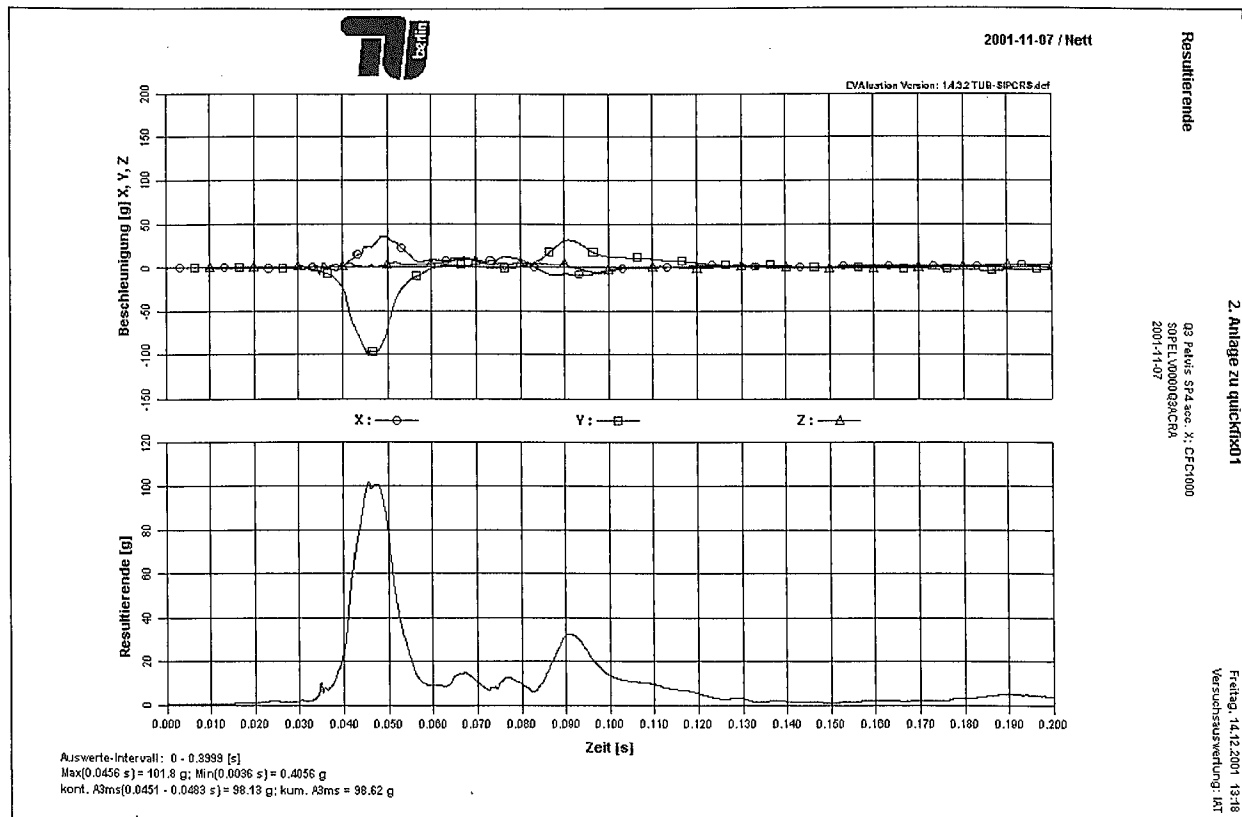


Abbildung 94: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.8.2 Römer Quickfix 02

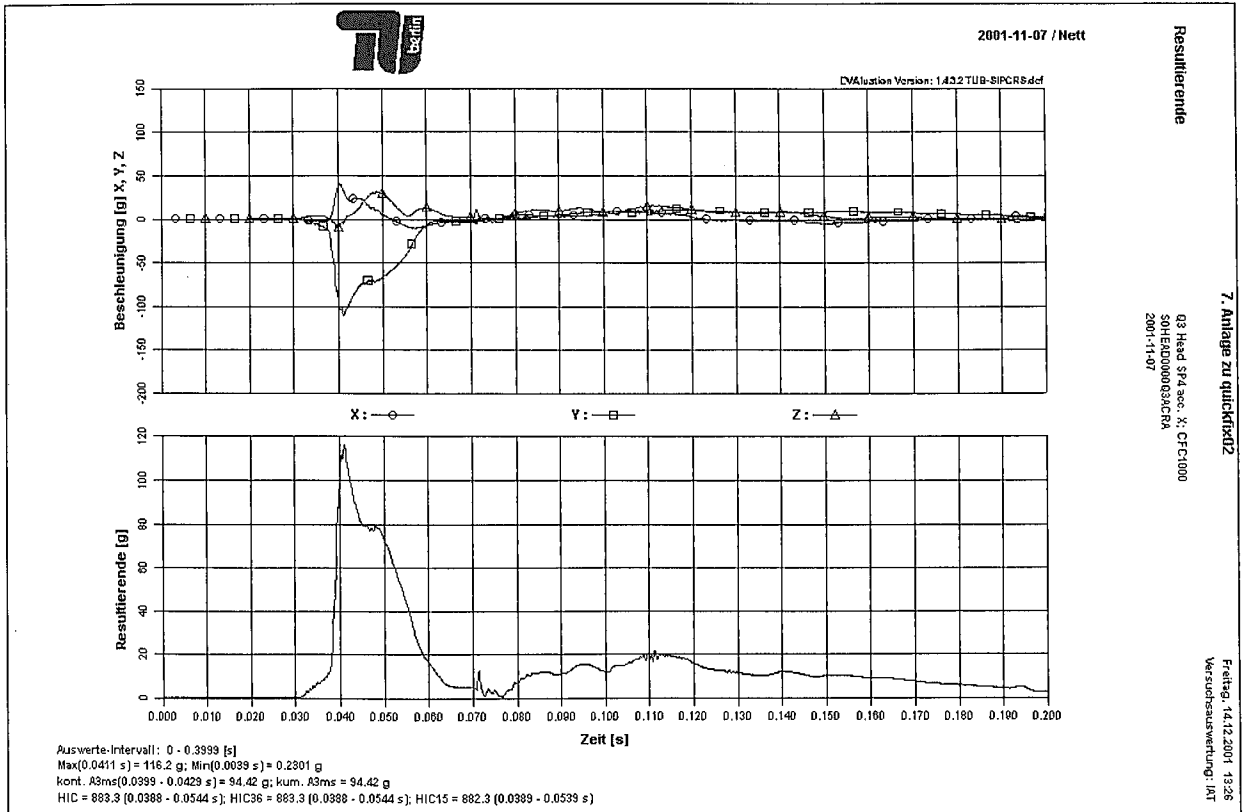


Abbildung 95: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

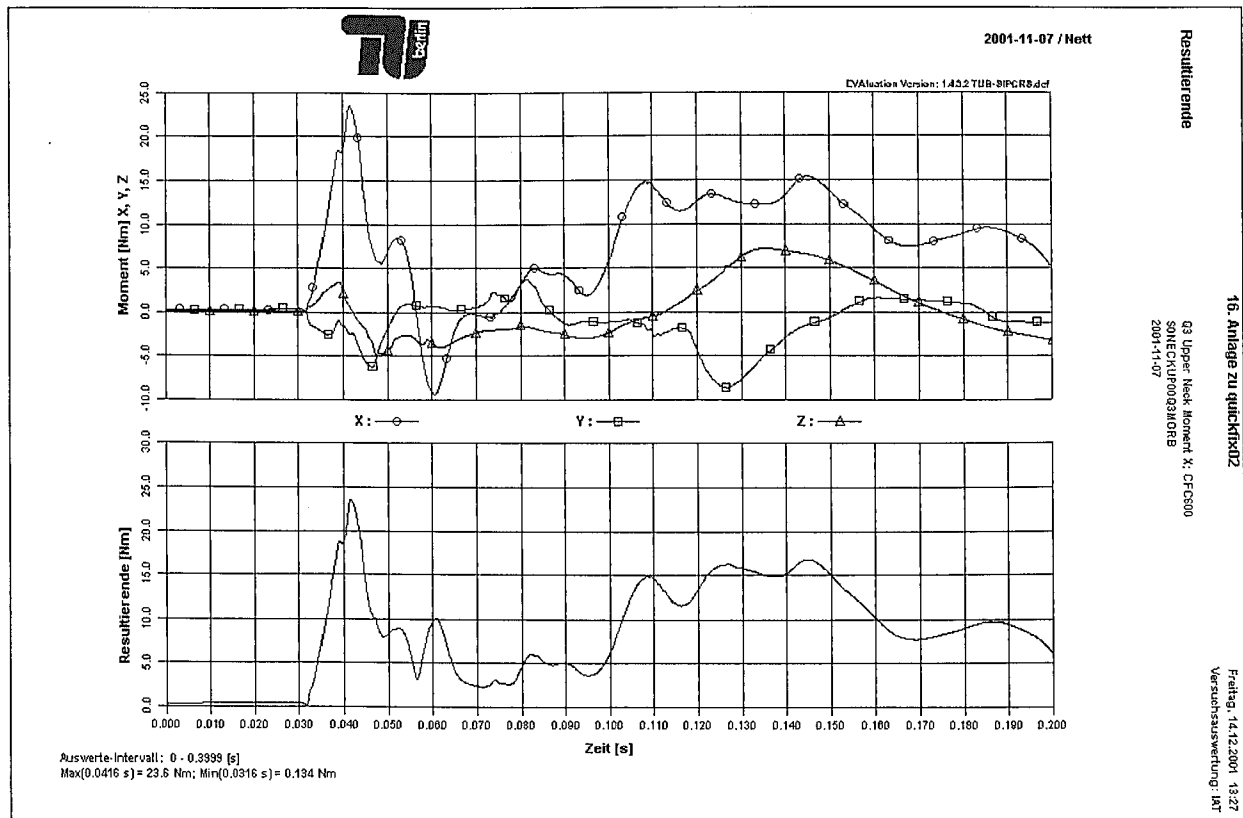


Abbildung 96: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

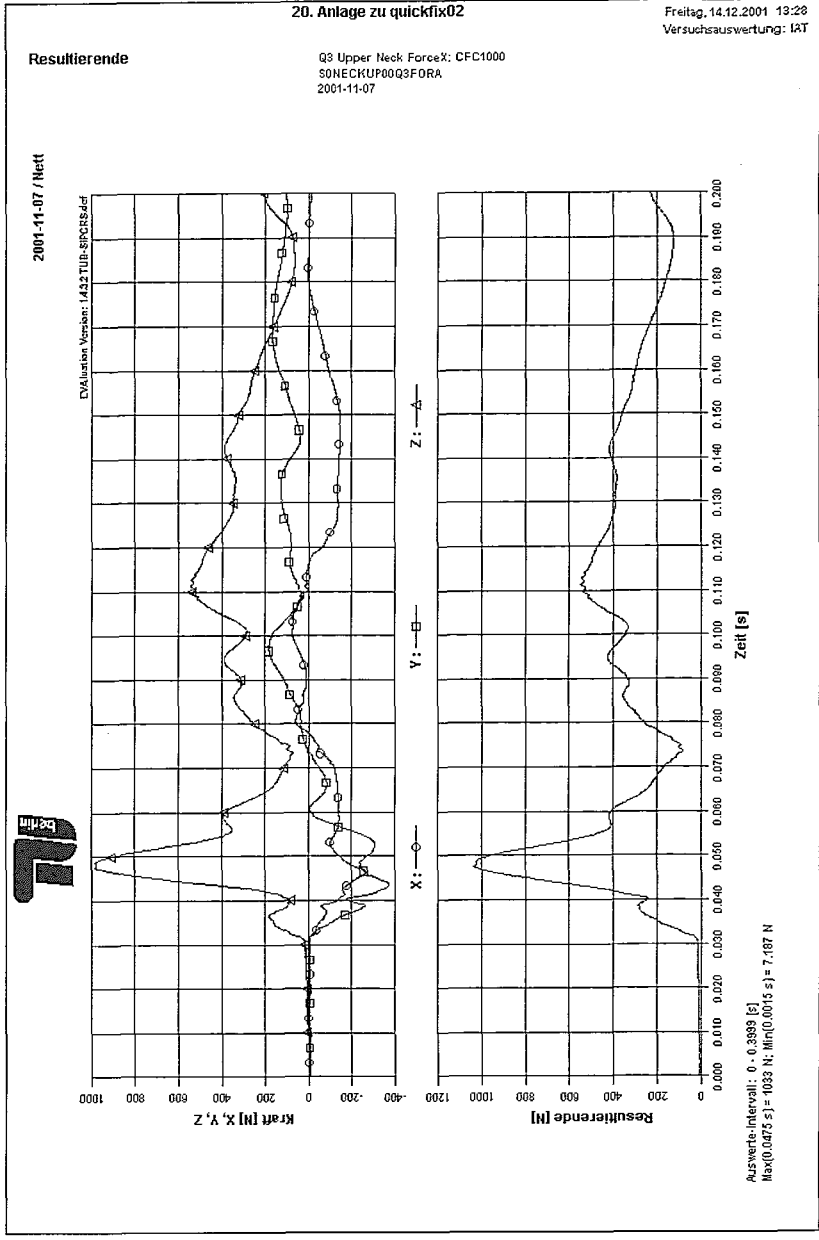


Abbildung 97: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

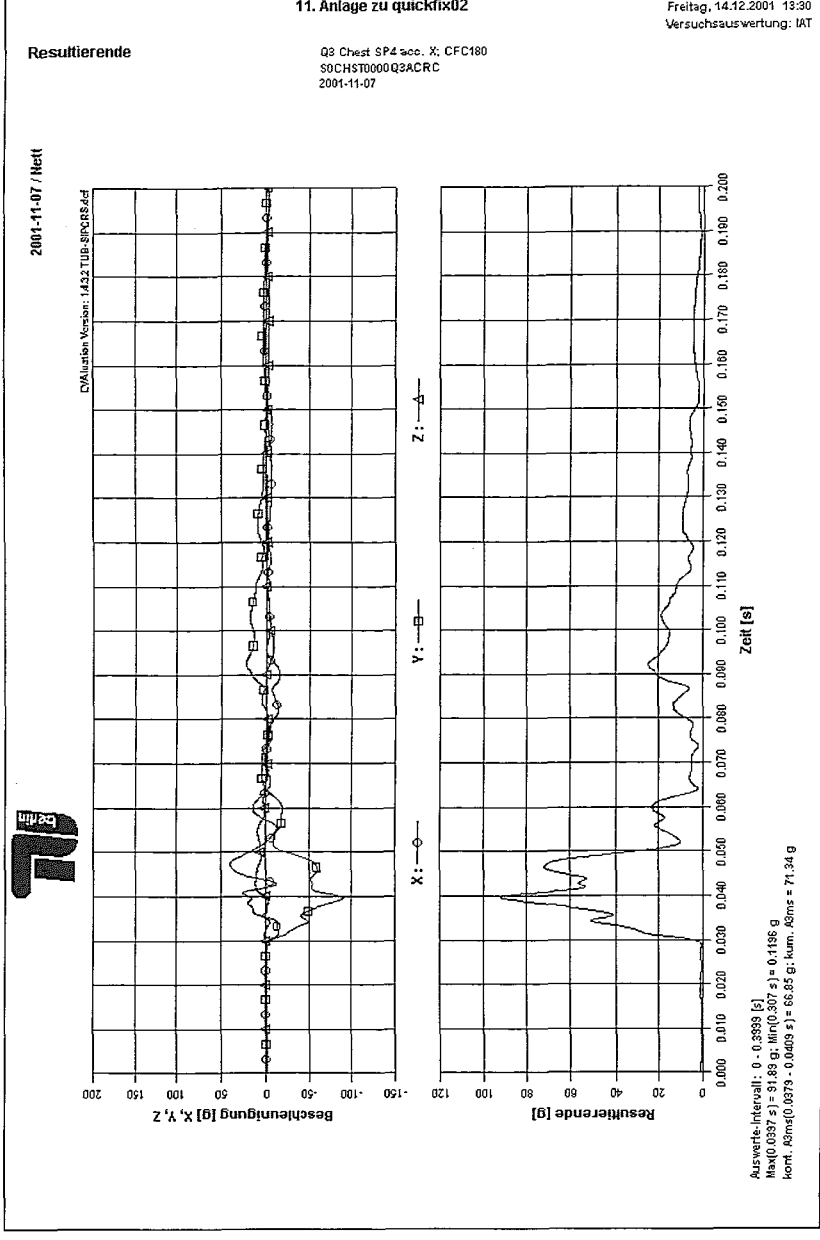


Abbildung 98: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

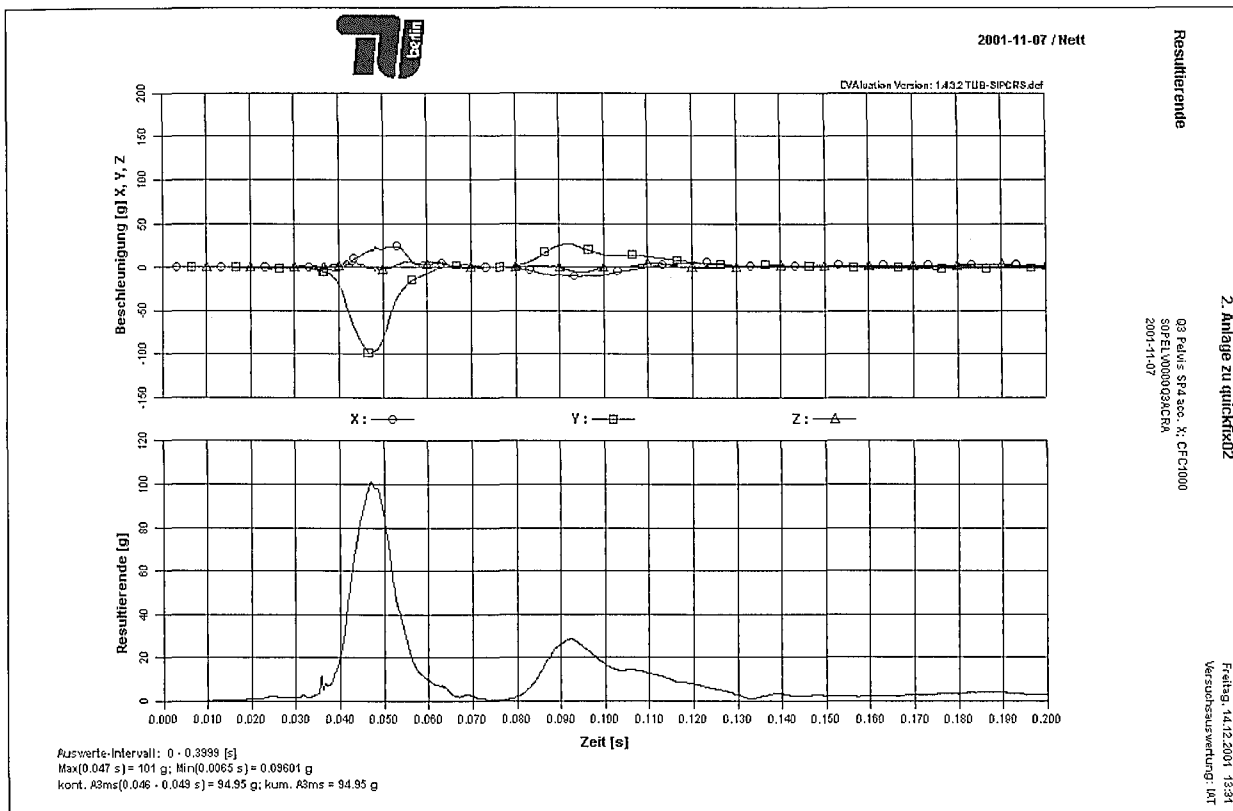


Abbildung 99: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.8.3 Römer Quickfix 03

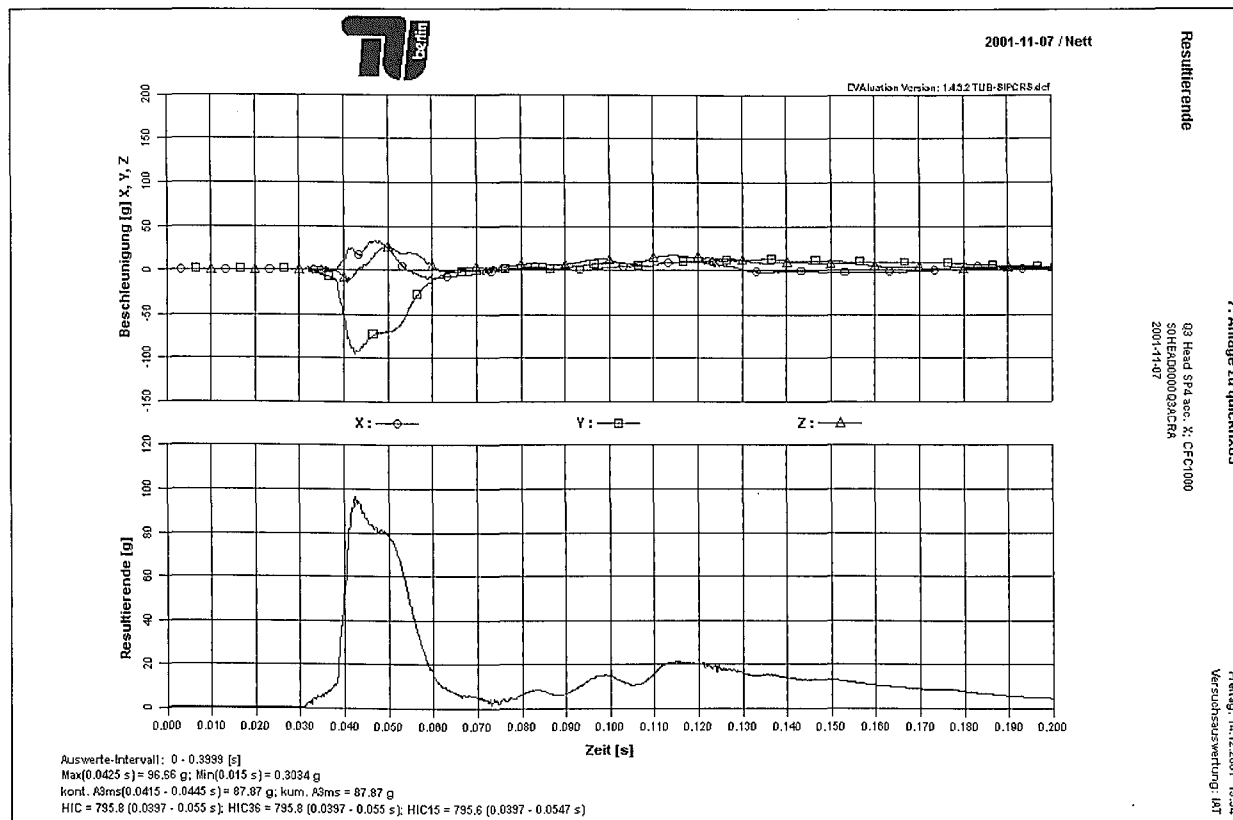


Abbildung 100: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

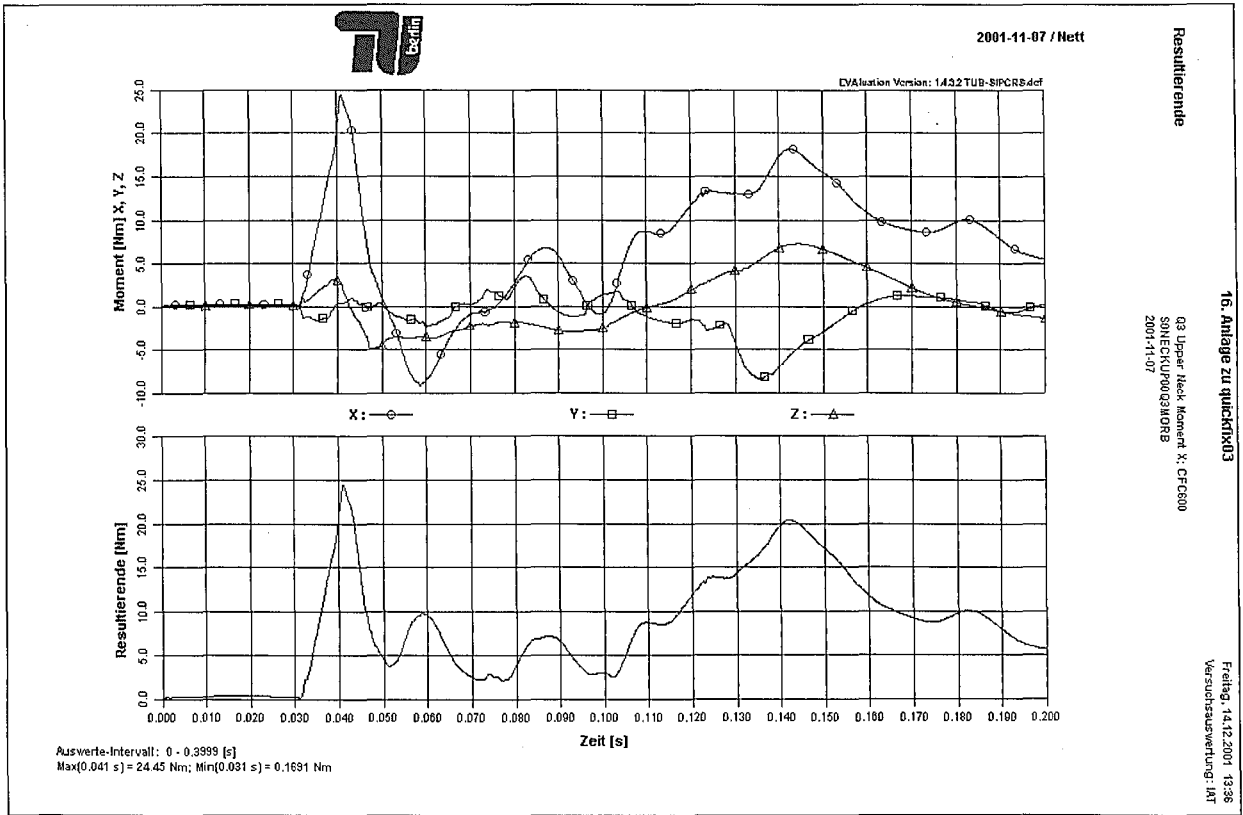


Abbildung 101: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

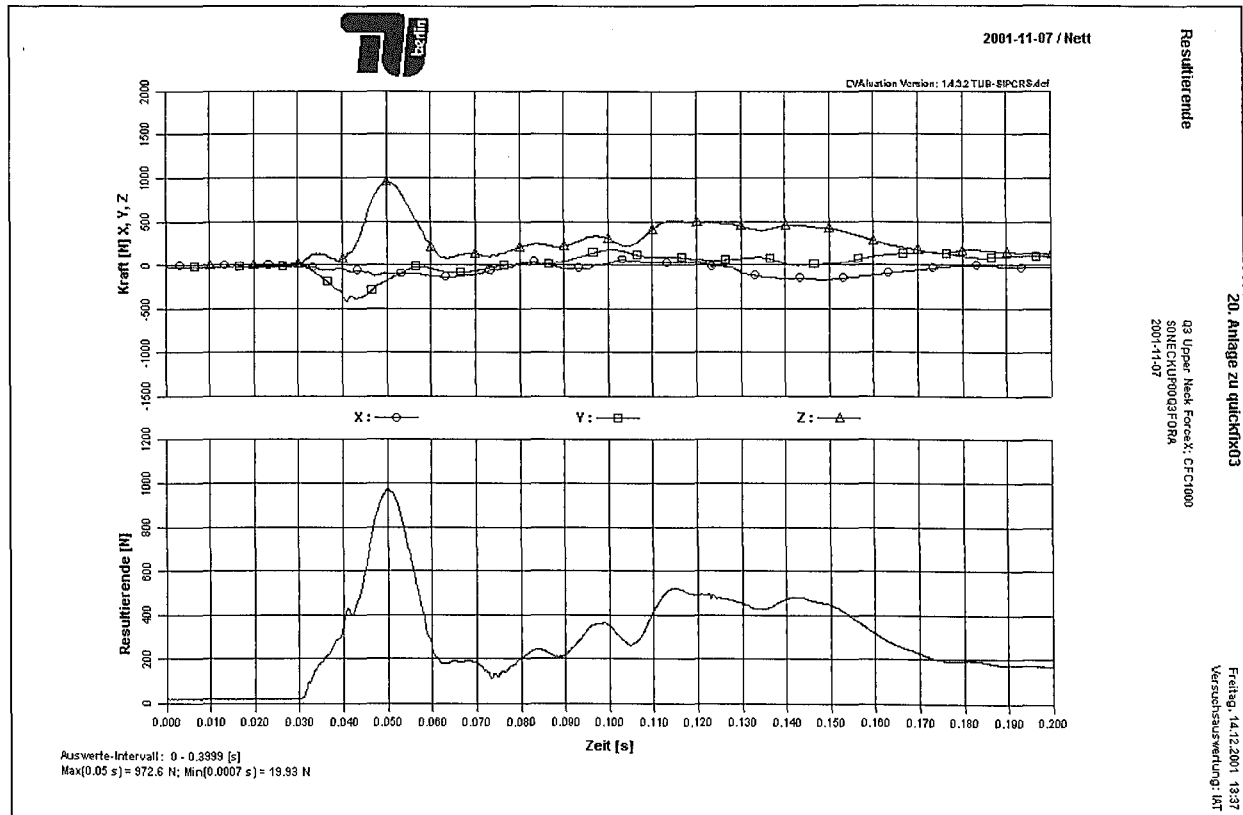


Abbildung 102: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

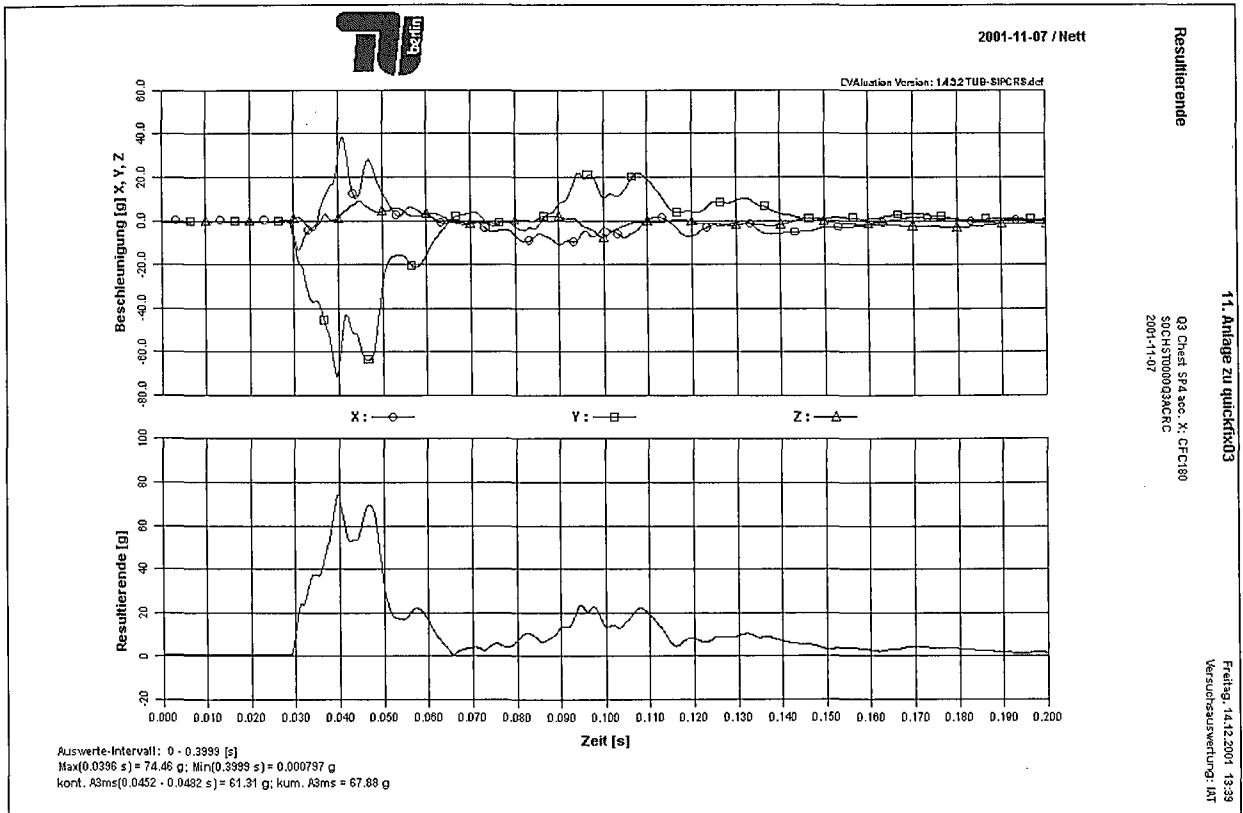


Abbildung 103: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

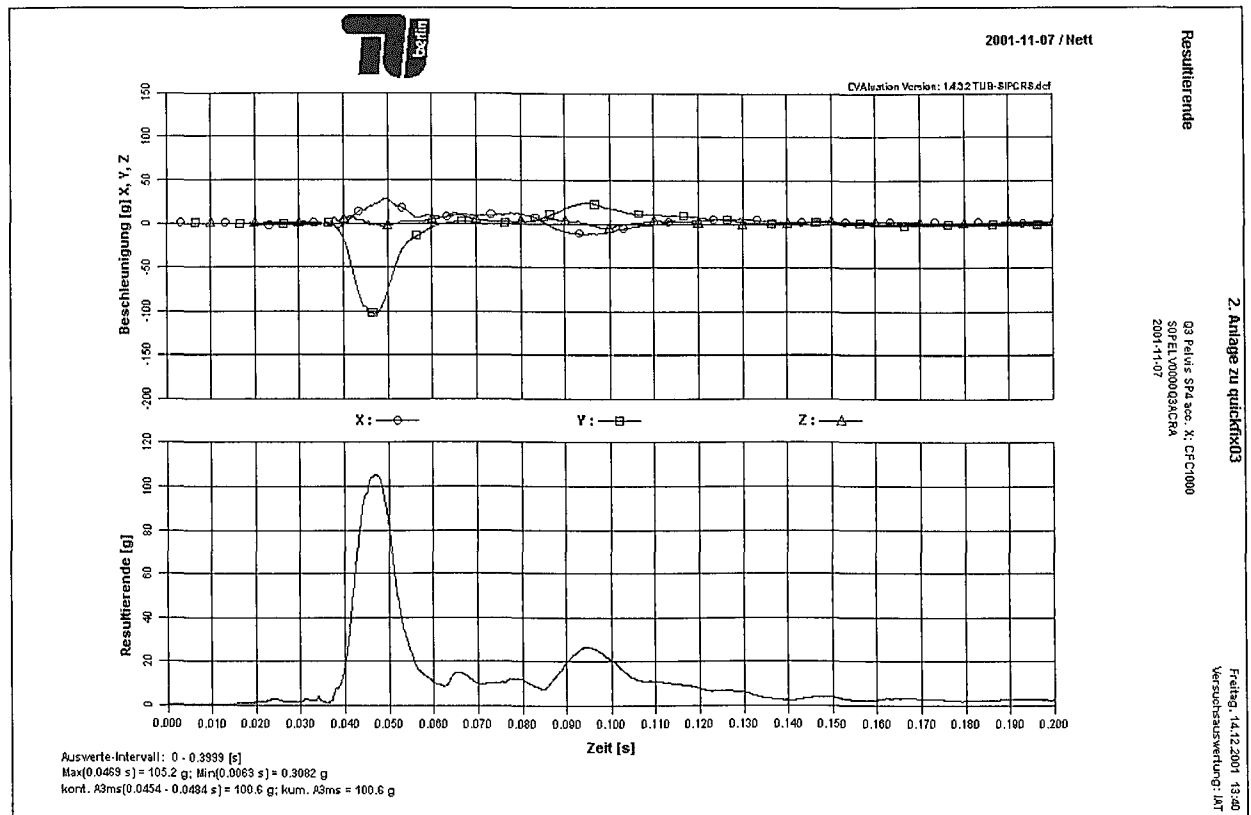


Abbildung 104: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.8.4 Römer Quickfix 04

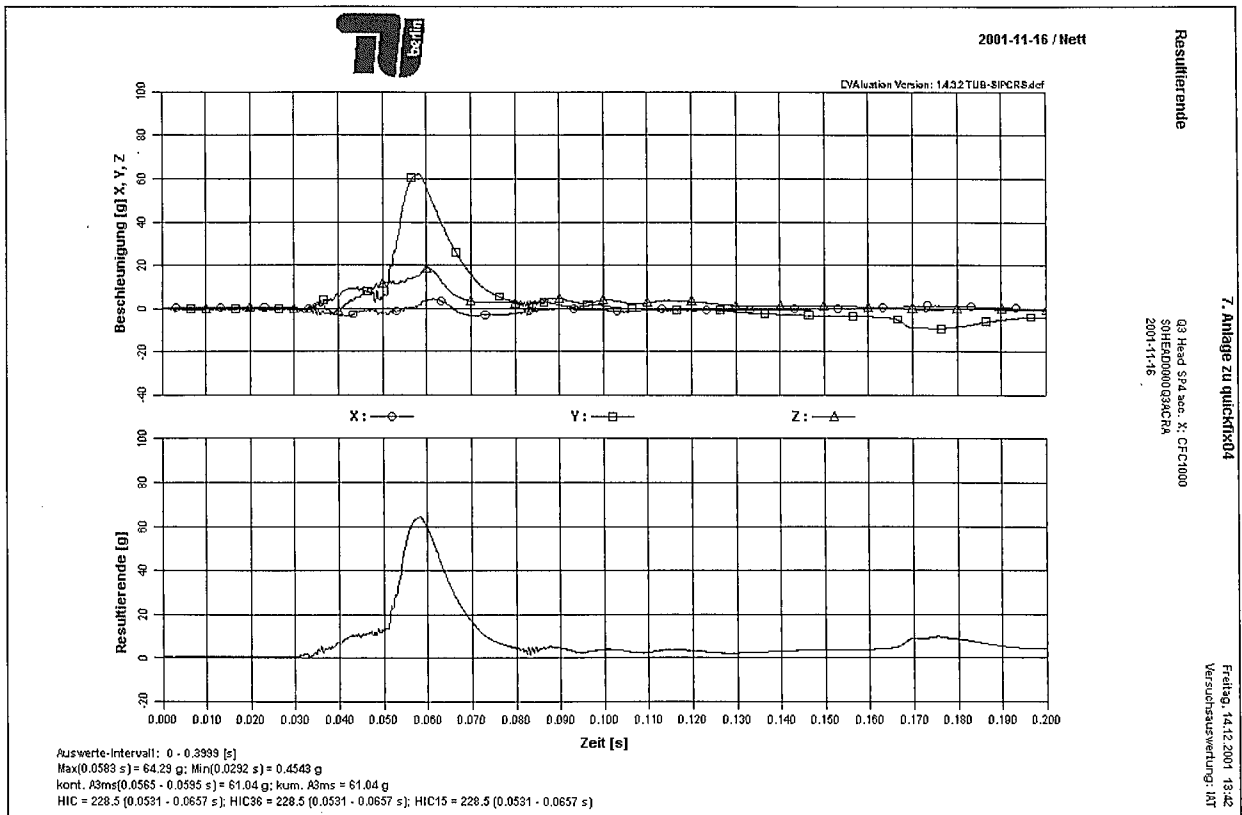


Abbildung 105: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

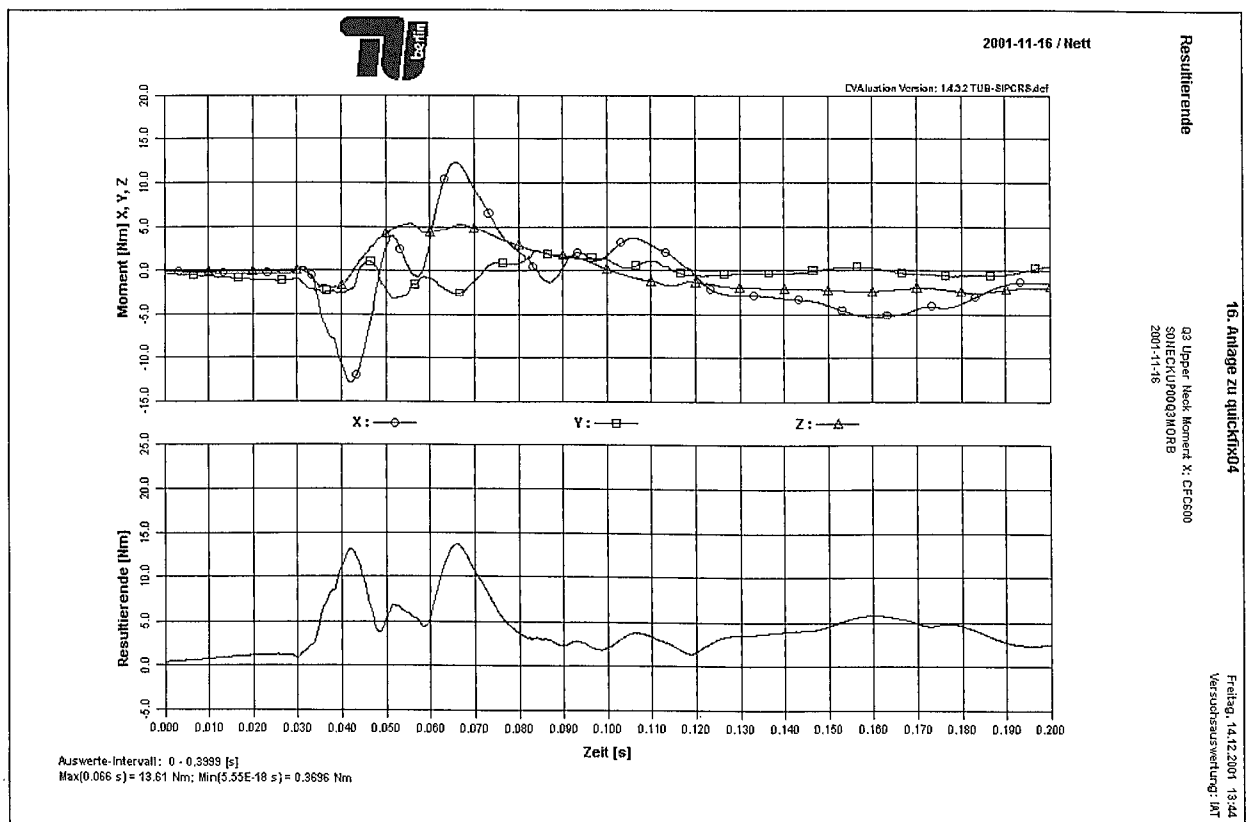


Abbildung 106: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

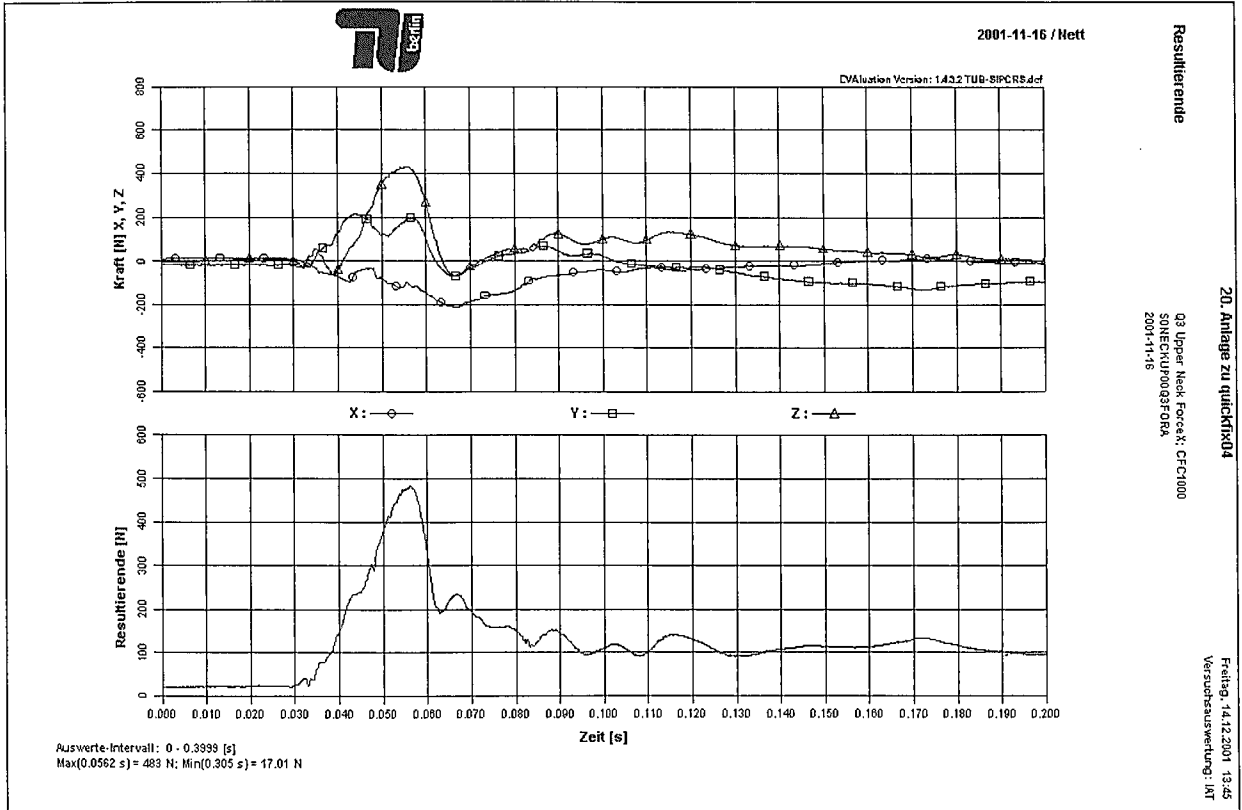


Abbildung 107: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

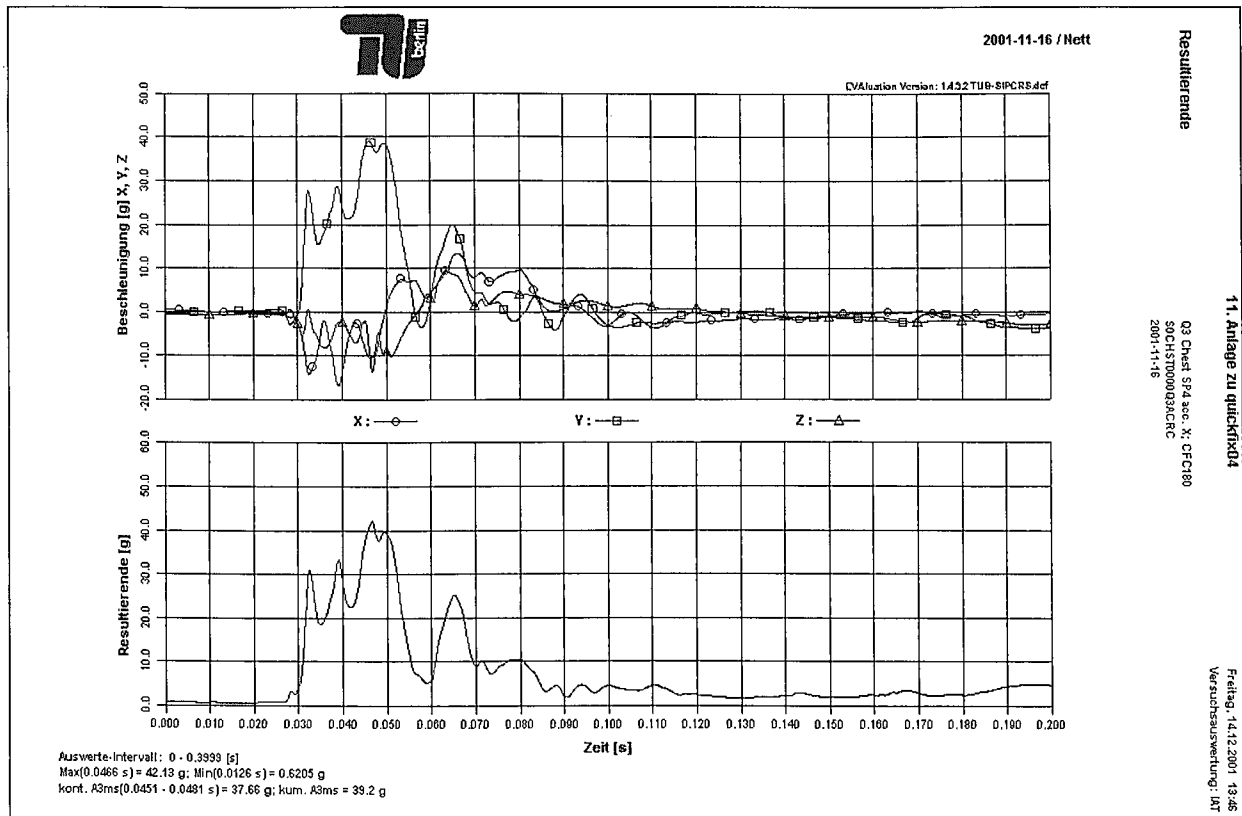


Abbildung 108: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

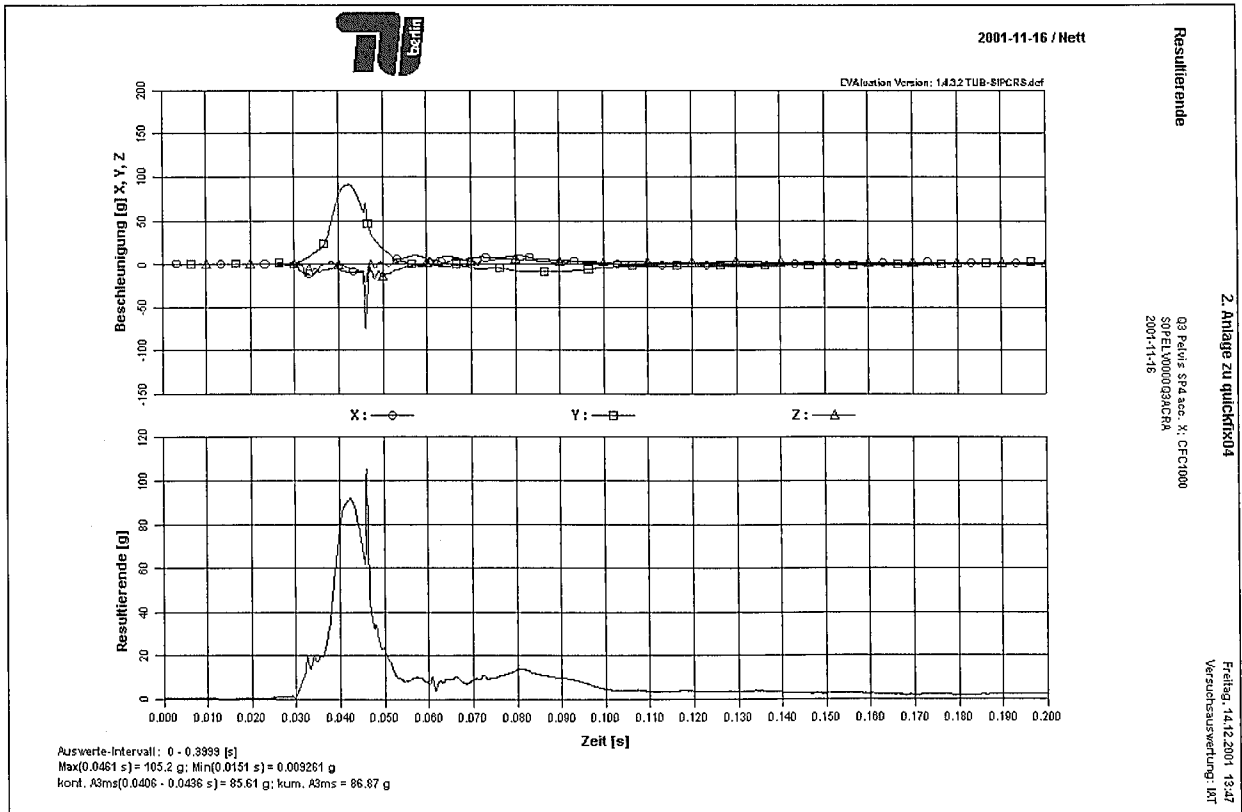


Abbildung 109: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

Resultierende

03 Pelvis SP4 acc. X: CFC1000
 S0PELV000009ACFRK
 2001-11-16

Z: Anlage zu quickfix04

Freitag, 14.12.2001 13:47
 Versuchsauswertung: IRT

2001-11-16 / Nett

EVALUATION Version: 1.422TUB-SIPCRS.dcf



7.9 Messergebnisse Eurokids Star (tabellarische Maxima)

7.9.1 Struktur

	v_0	Winkel	Winkel-t	v_{ang}	v_{ang-t}
	[km/h]	[rad]	[ms]	[rad/s]	[ms]
Star01	24,94	0,43	59	15,64	29
Star02	25,06	0,42	65	16,37	30
Star03	25,08	0,431	66	15,63	29



7.9.2 Dummy

	Head a_{3ms}^*	HIC36	Mx_1	Mx_2	Fz	Chest a_{3ms}^*	Pelvis a_{3ms}^*	Kommentar
	[g]		[Nm]	[Nm]	[N]	[g]	[g]	
Star01	99,7	863	35	-13,3	1463	78	114,3	$v_0=25\text{km/h}$
Star02	100,9	826	33,1	-11	1141	83,3	121,9	$v_0=25\text{km/h}$
Star03	95	809	36,4	-23,1	1529	82,5	115,5	$v_0=25\text{km/h}$

*: Resultierende

7.10 Messergebnisse Eurokids Star (graphische Zeitverläufe)

7.10.1 Eurokids Star 01

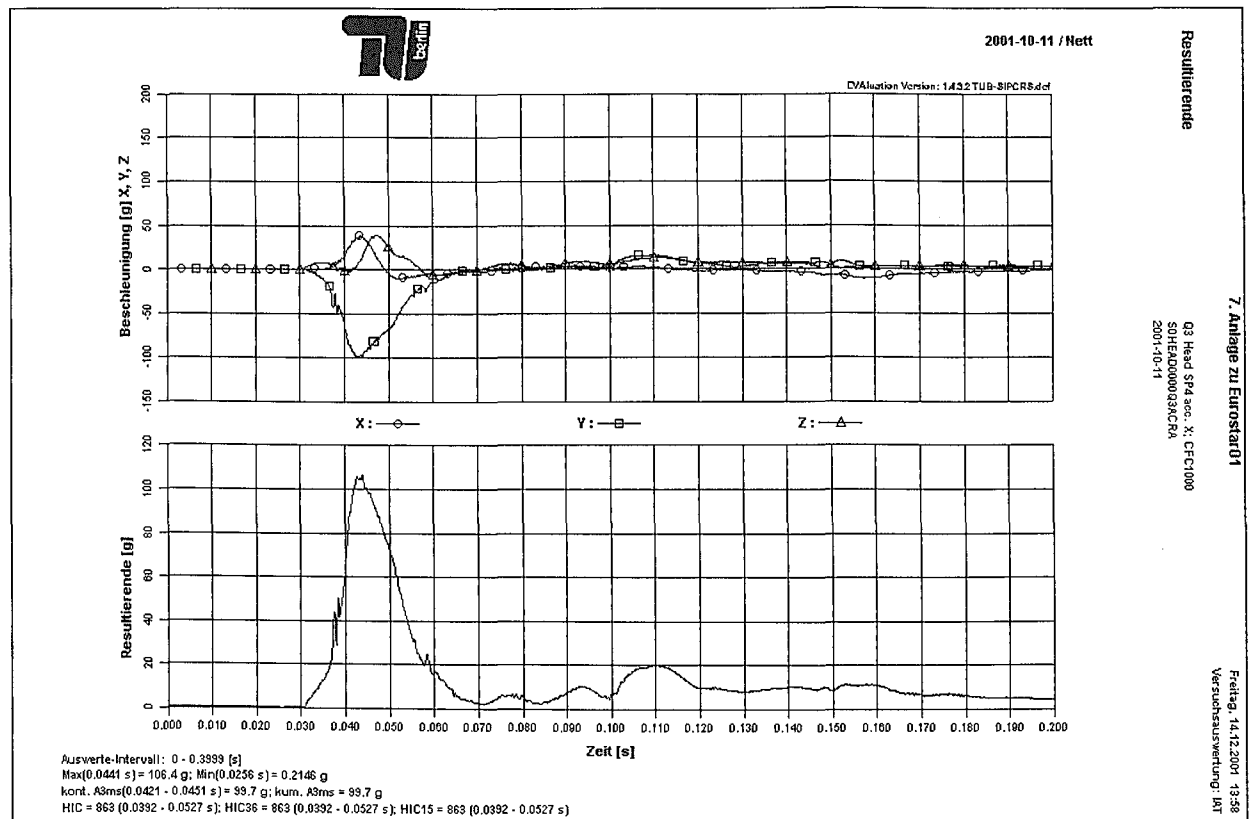


Abbildung 110: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

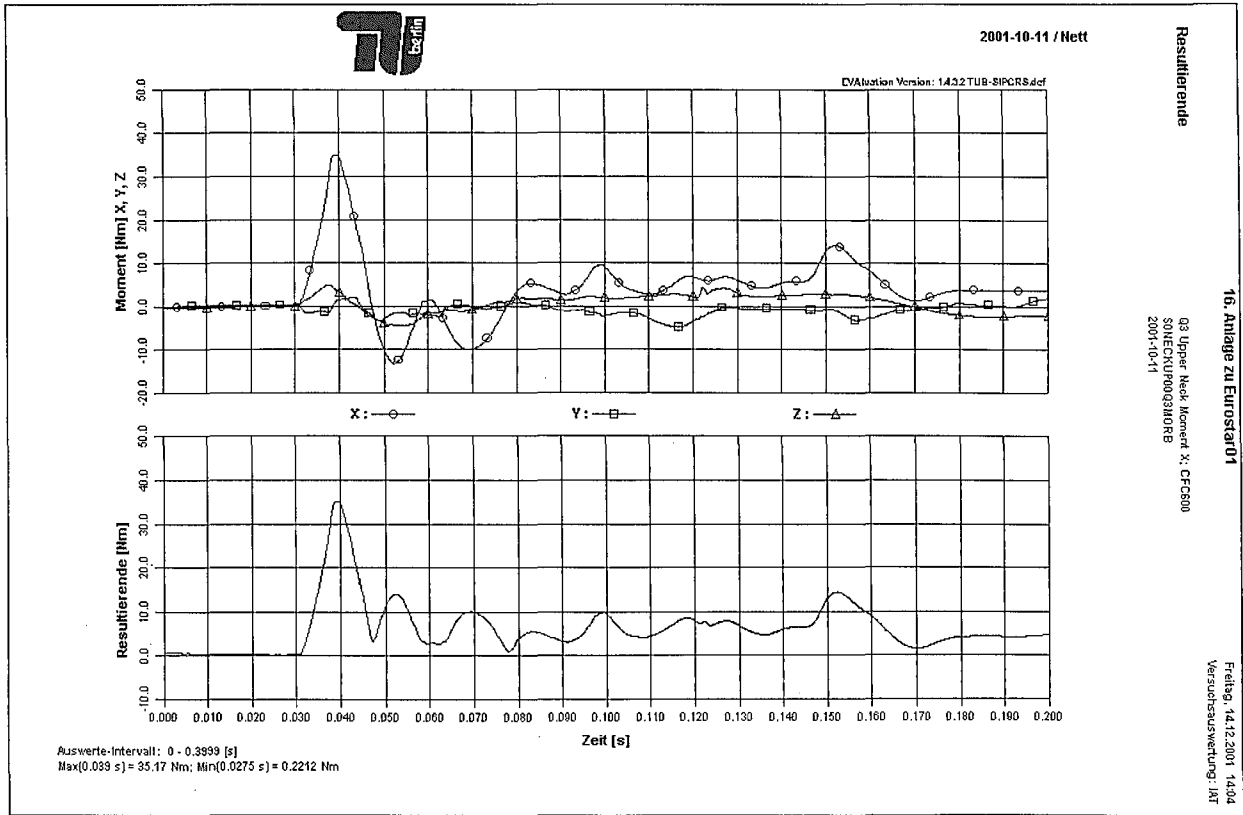


Abbildung 111: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

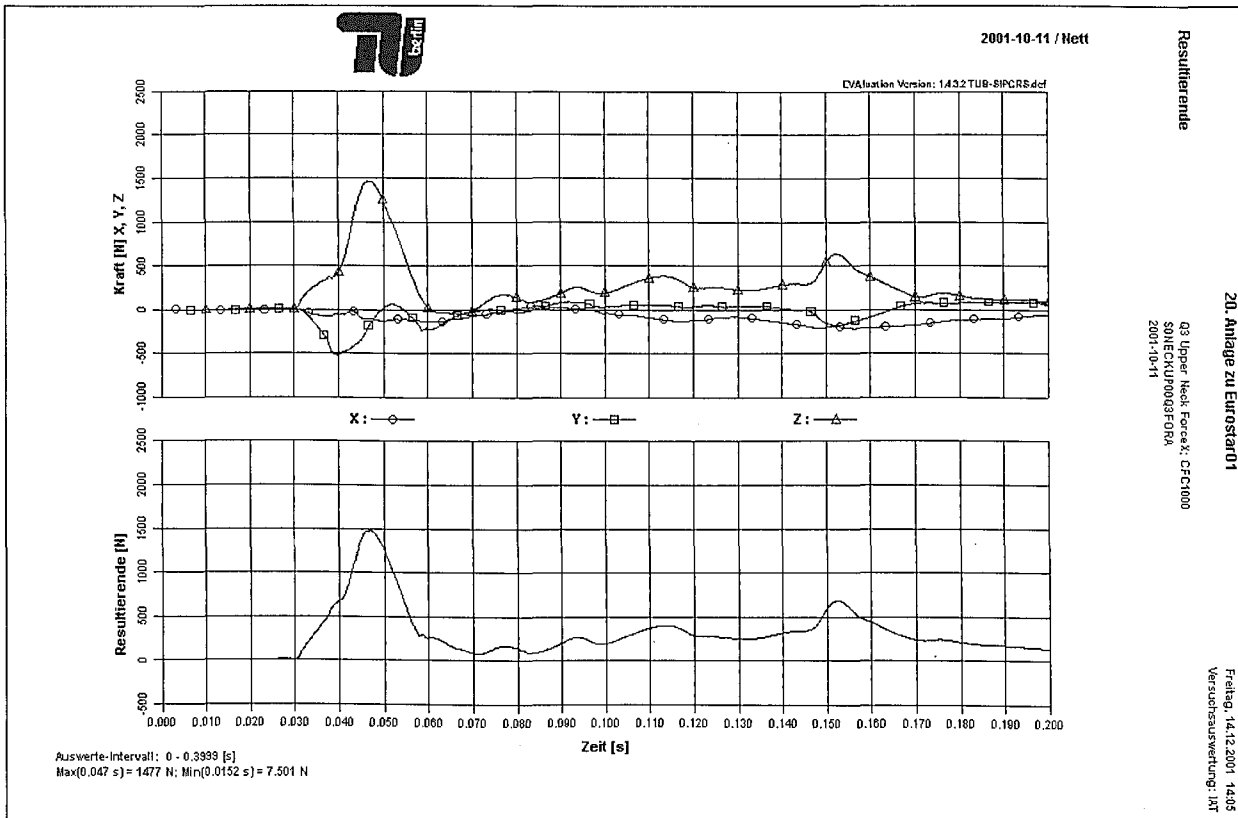


Abbildung 112: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

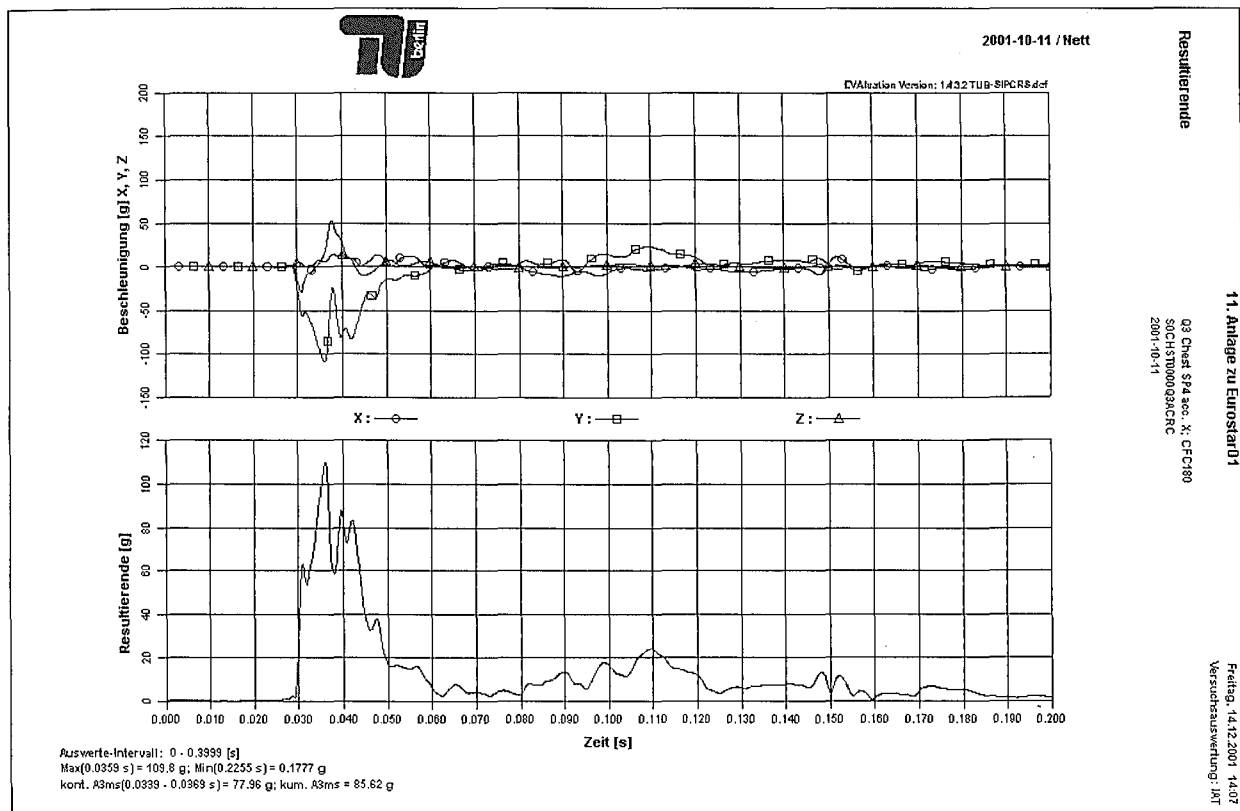


Abbildung 113: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

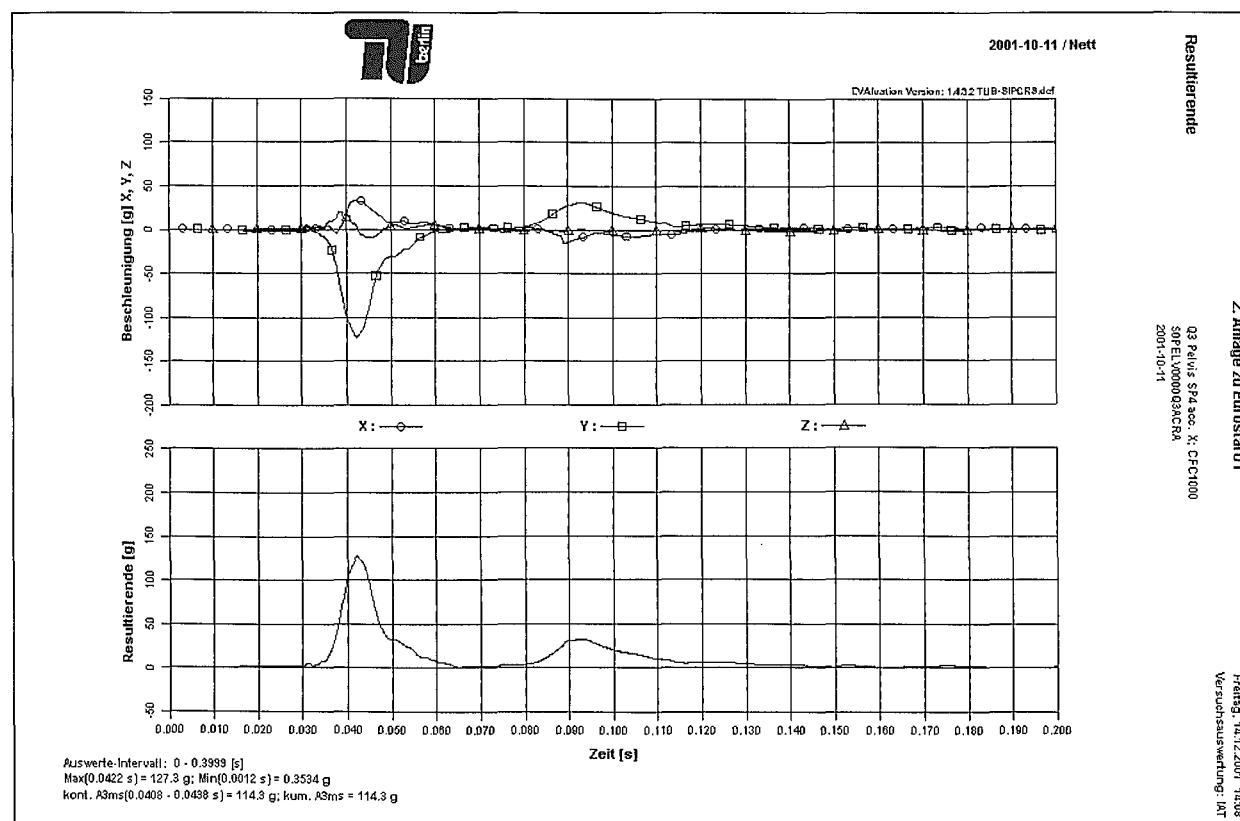


Abbildung 114: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.10.2 Eurokids Star 02

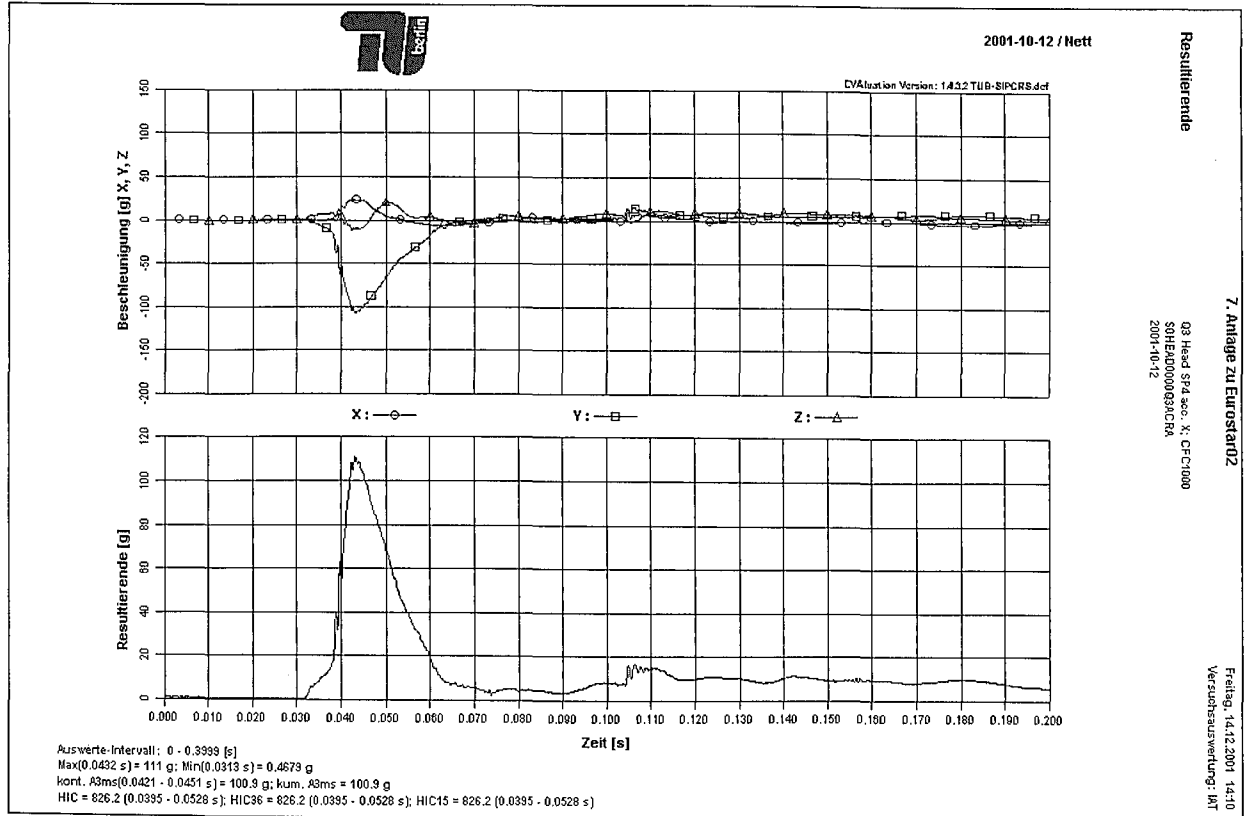


Abbildung 115: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

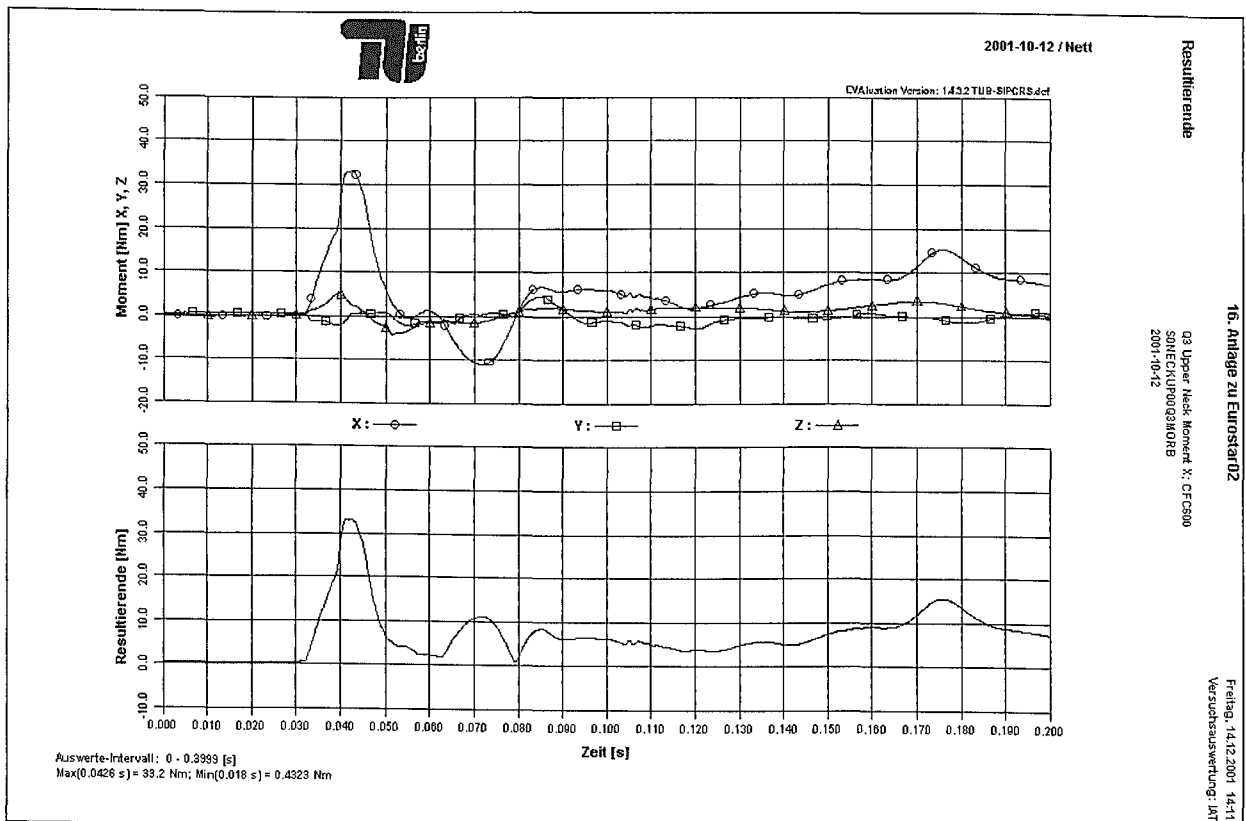


Abbildung 116: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

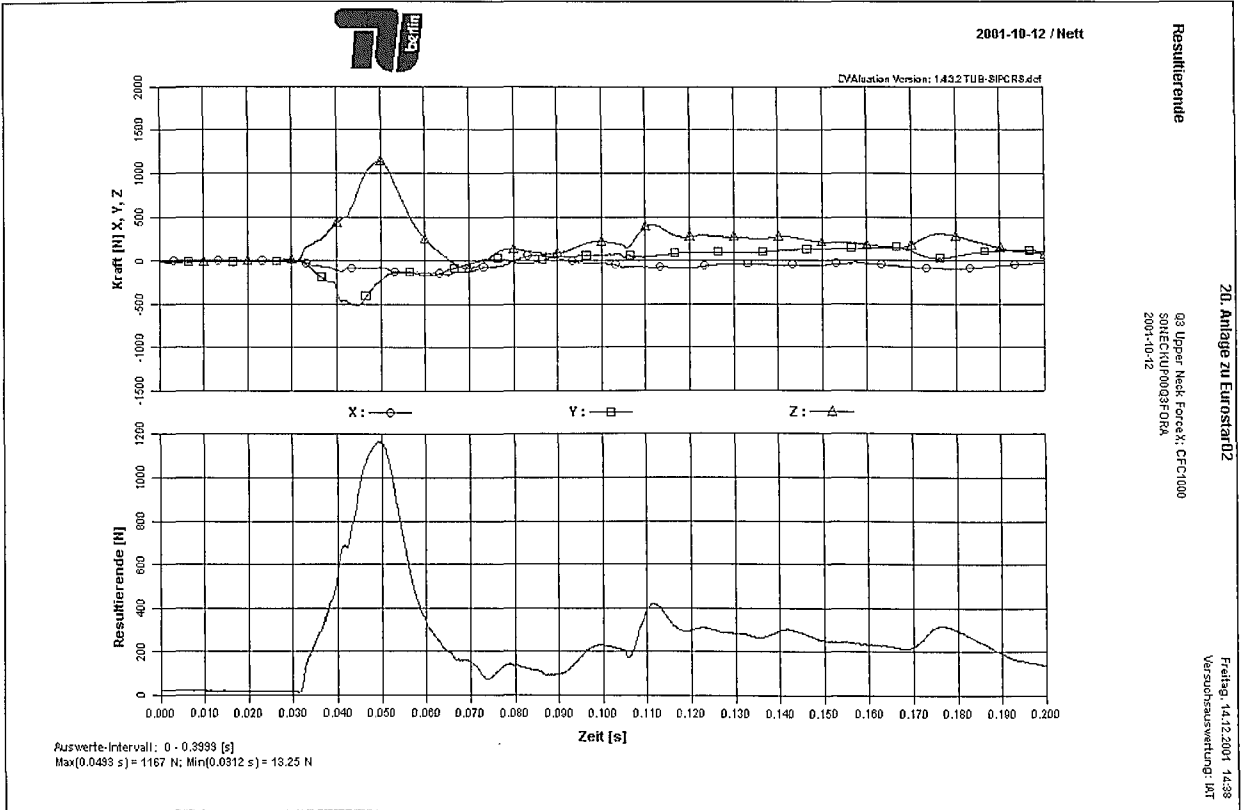


Abbildung 117: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

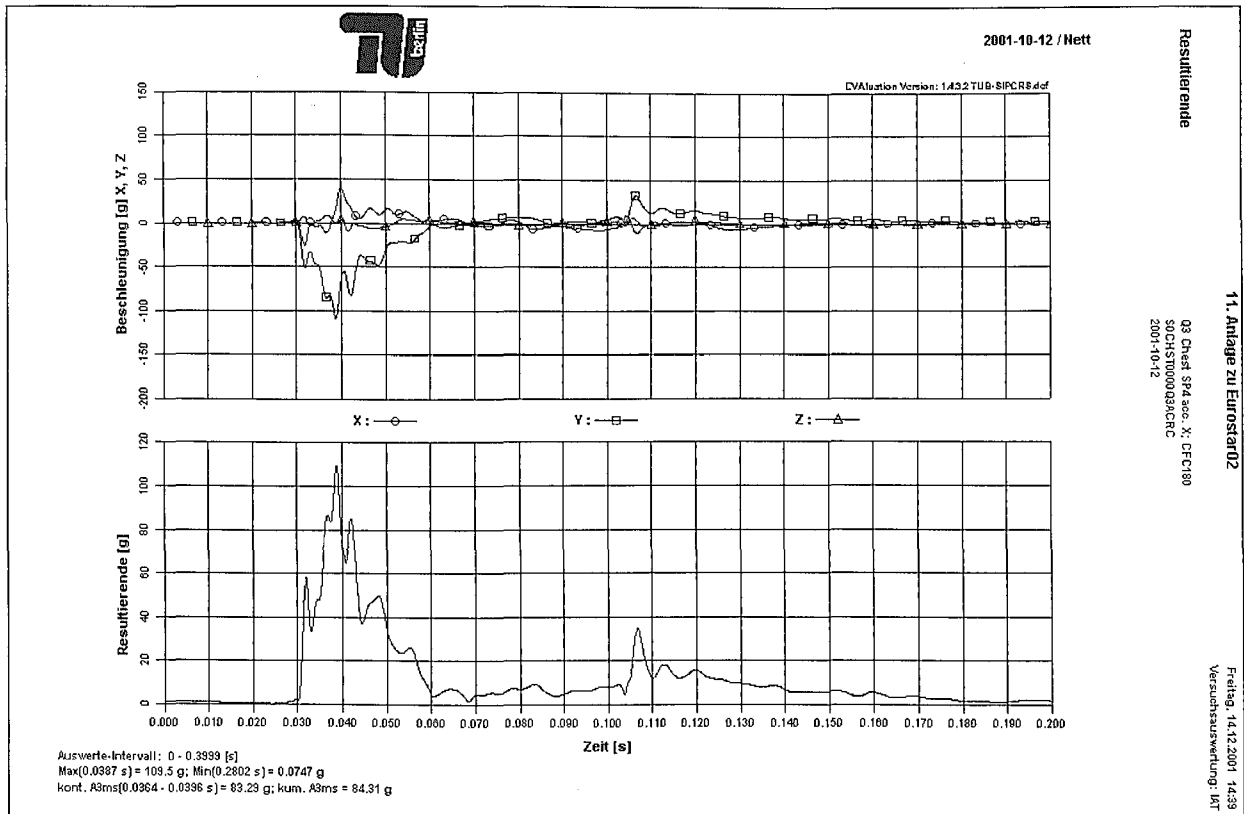


Abbildung 118: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

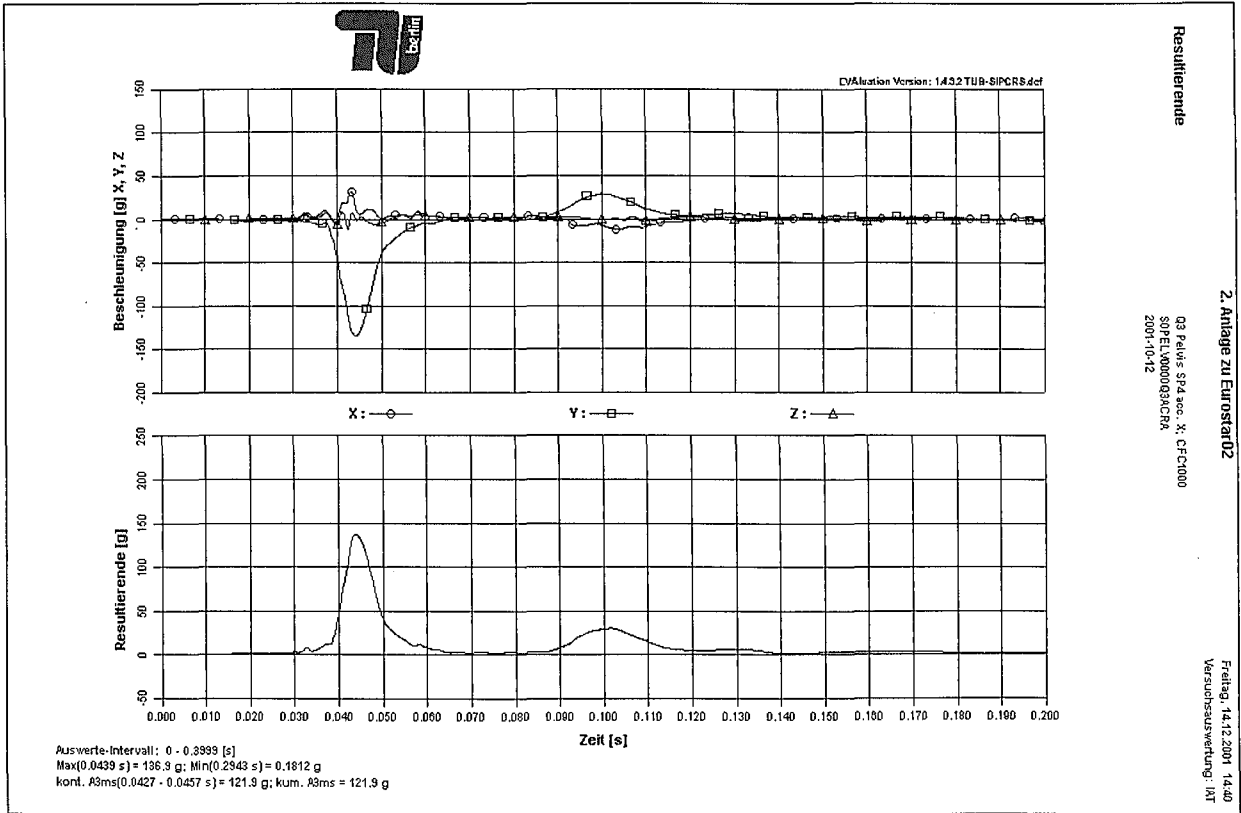


Abbildung 119: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.10.3 Eurokids Star 03

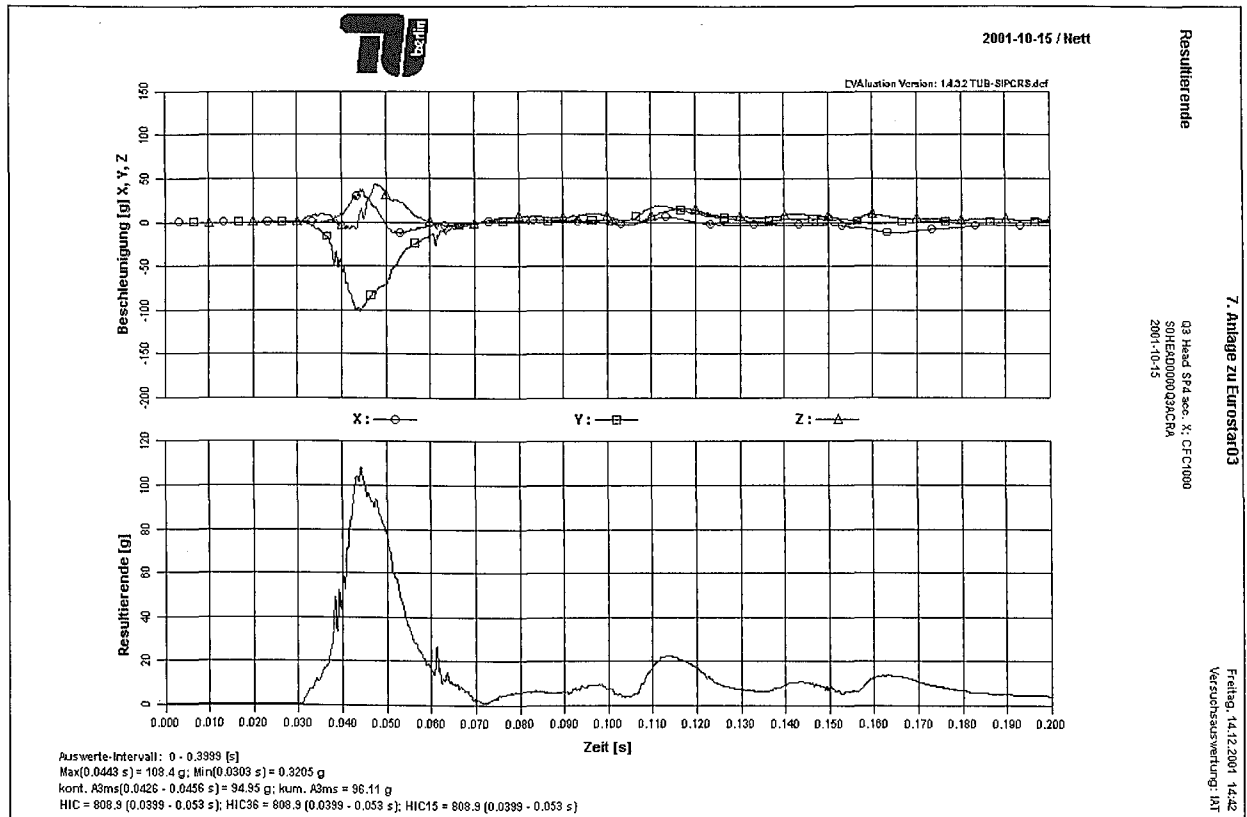


Abbildung 120: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

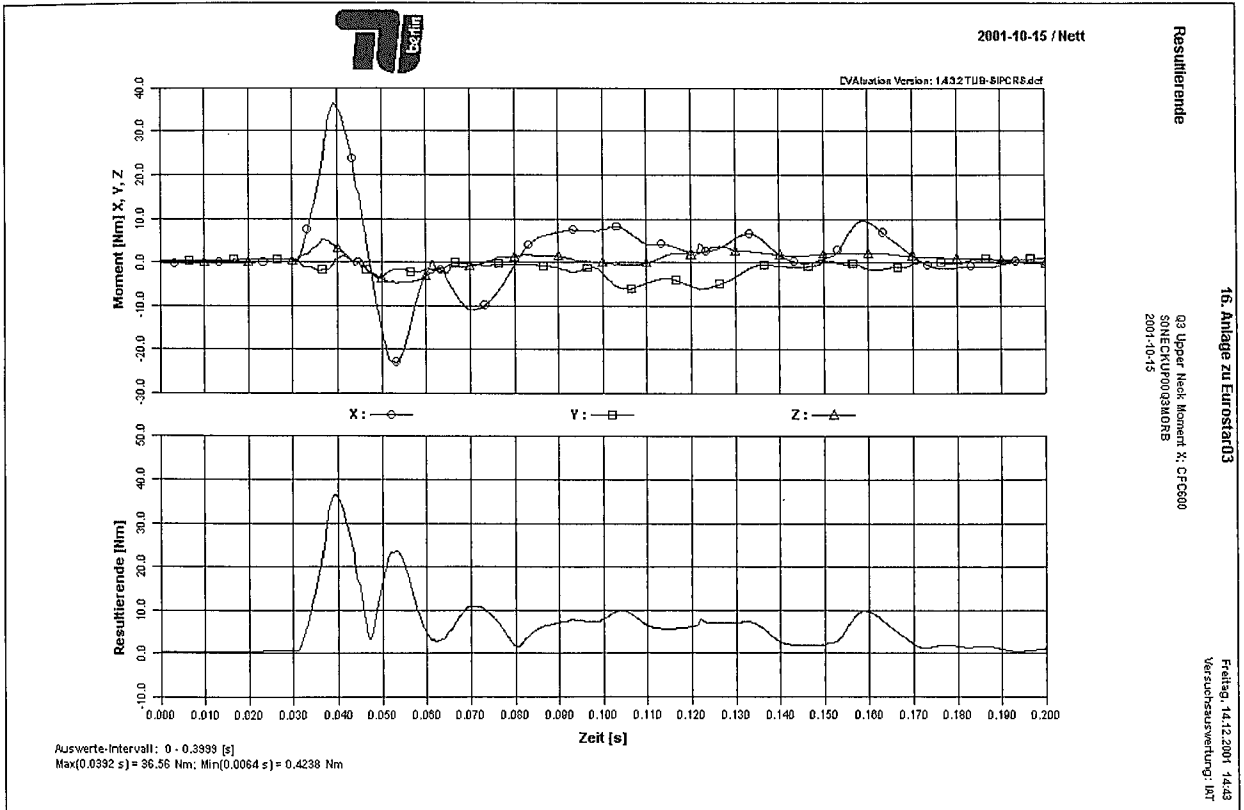


Abbildung 121: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

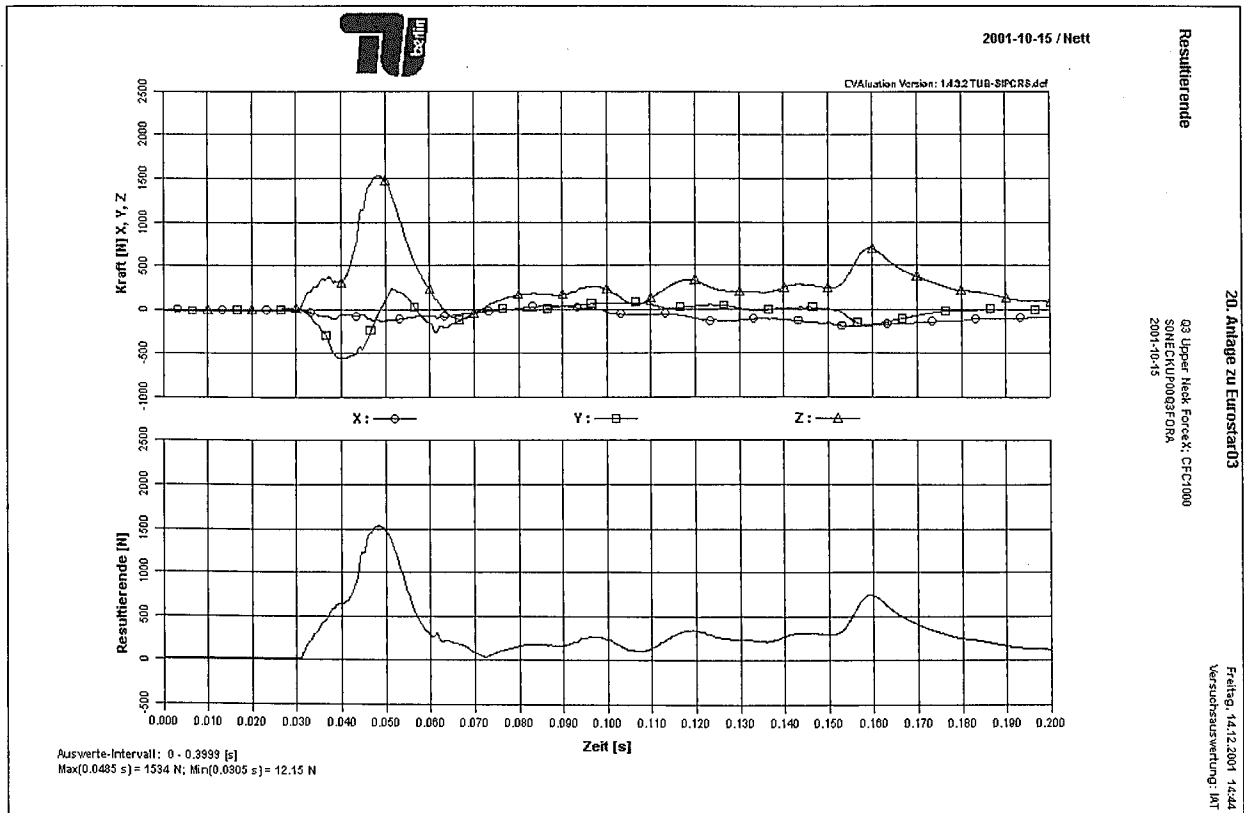


Abbildung 122: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

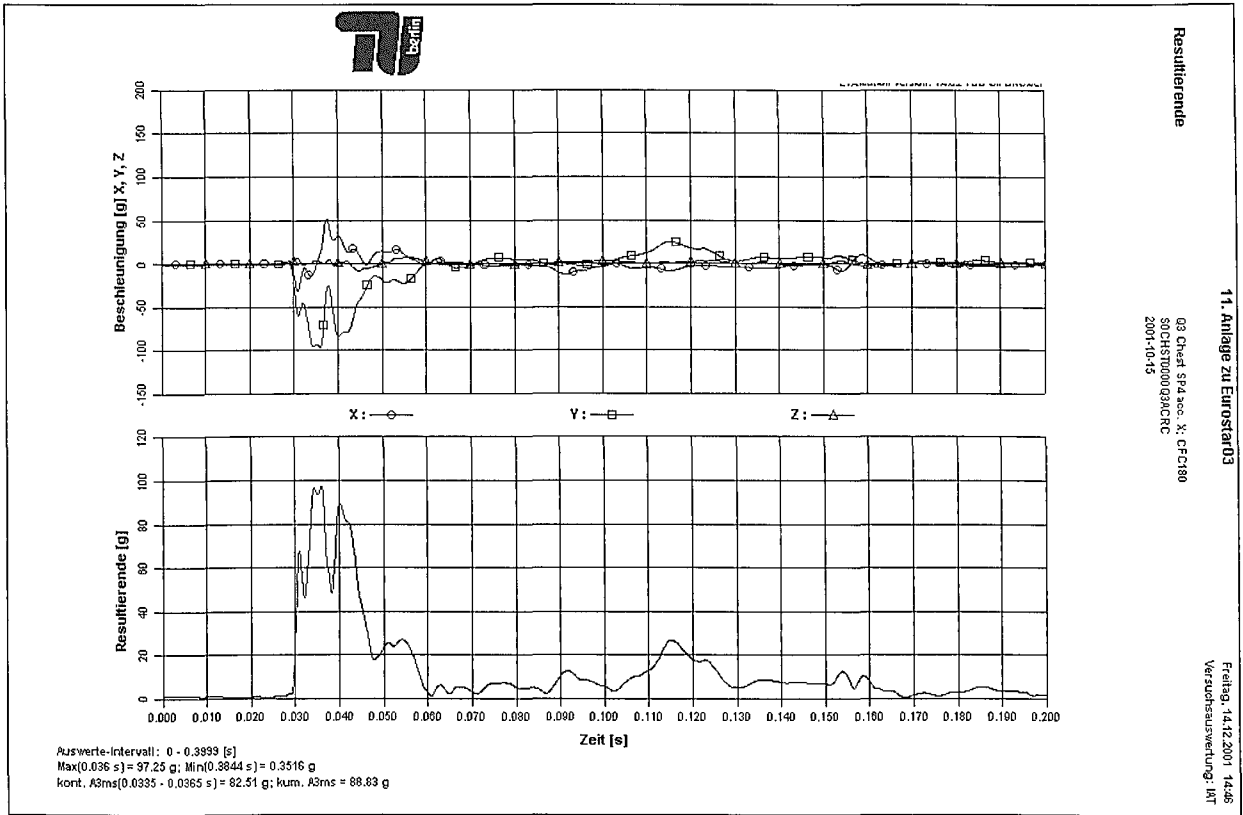


Abbildung 123: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

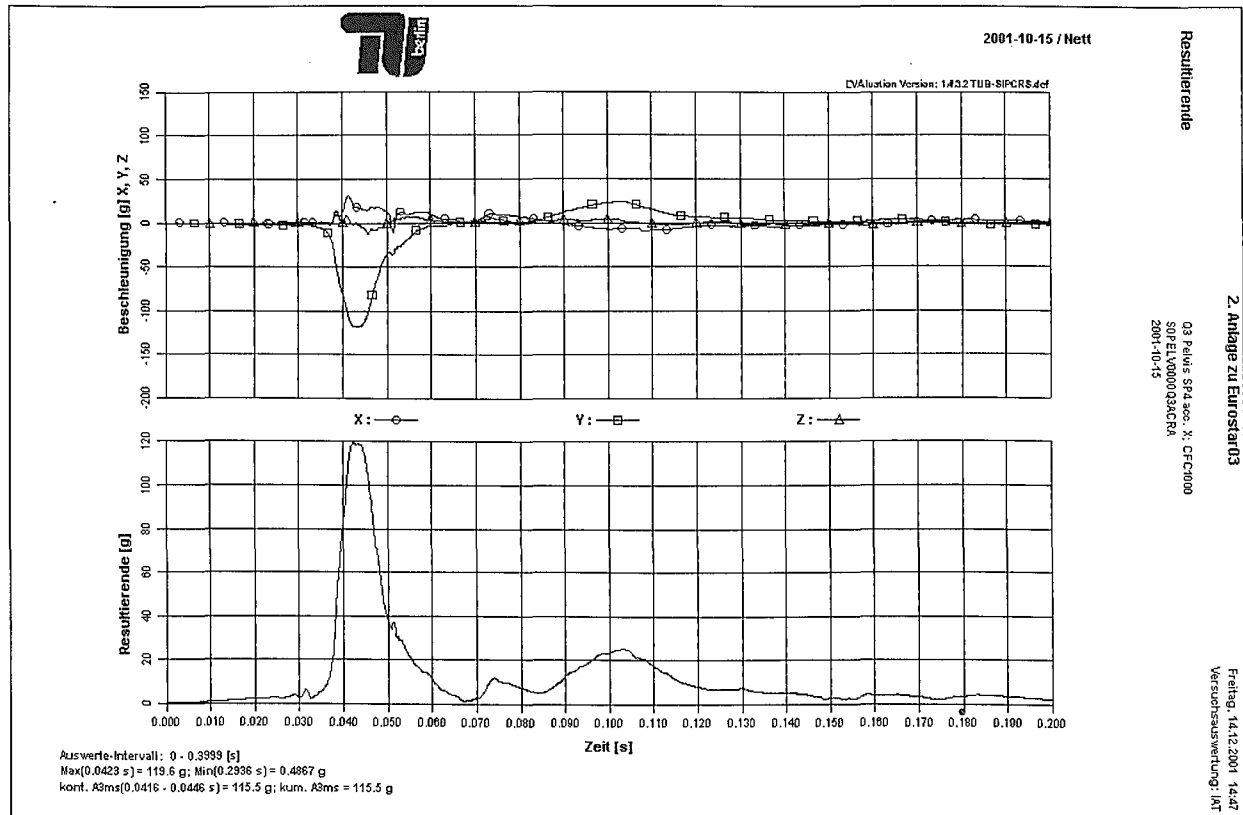


Abbildung 124: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.11 Messergebnisse Klippan Suprema (tabellarische Maxima)

7.11.1 Struktur

	v_0	Winkel	Winkel-t	v_{ang}	$v_{ang} \cdot t$
	[km/h]	[rad]	[ms]	[rad/s]	[ms]
klip01	23,03	0,431	75	12,9	27



7.11.2 Dummy

	Head a_{3ms}^*	HIC36	Mx_1	Mx_2	Fz	Chest a_{3ms}^*	Pelvis a_{3ms}^*	Kommentar
	[g]		[Nm]	[Nm]	[N]	[g]	[g]	
klip01	67,8	515	40,6	-37,2	1750	117,9	118	

* Resultierende

7.12 Messergebnisse Klippan Suprema (graphische Zeitverläufe)

7.12.1 Klippan Suprema 01

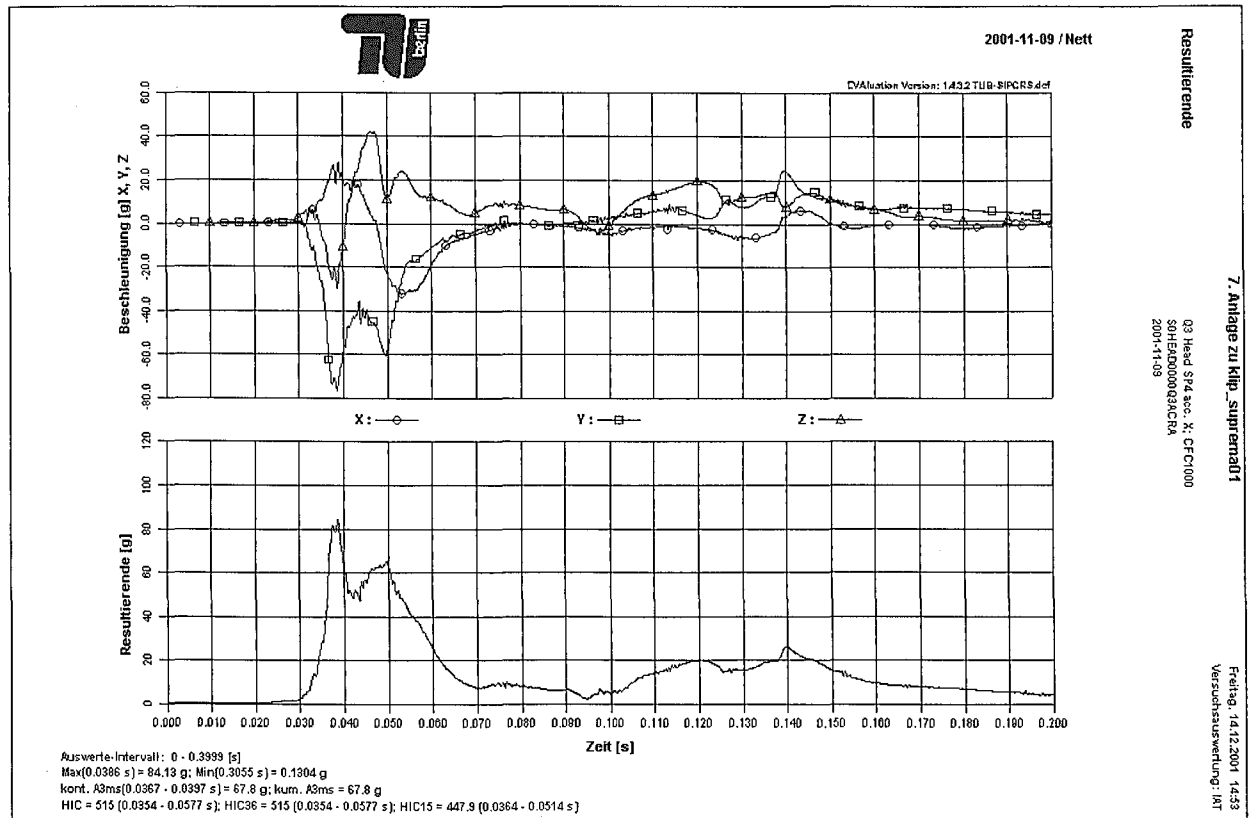


Abbildung 125: Q3-Dummy Kopfbeschleunigungen

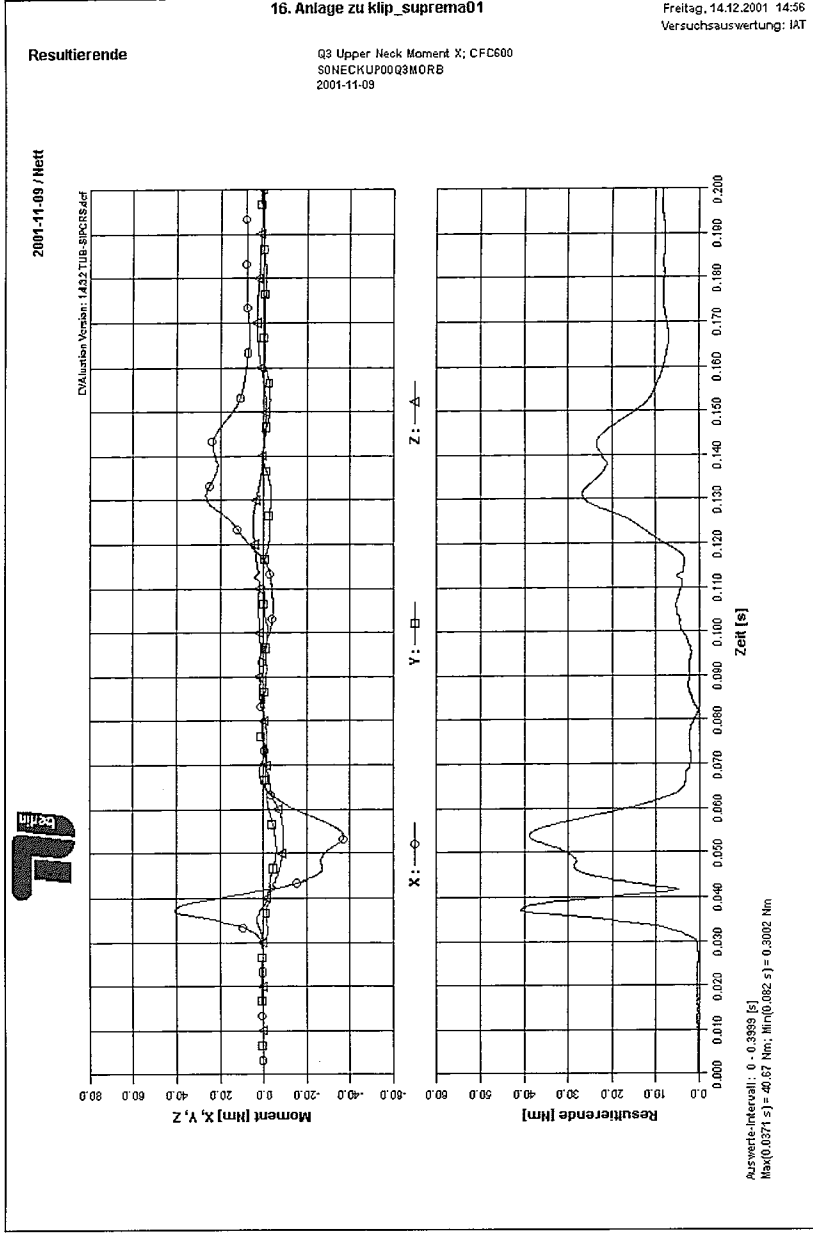


Abbildung 126: Q3-Dummy Obere Nackenmomente

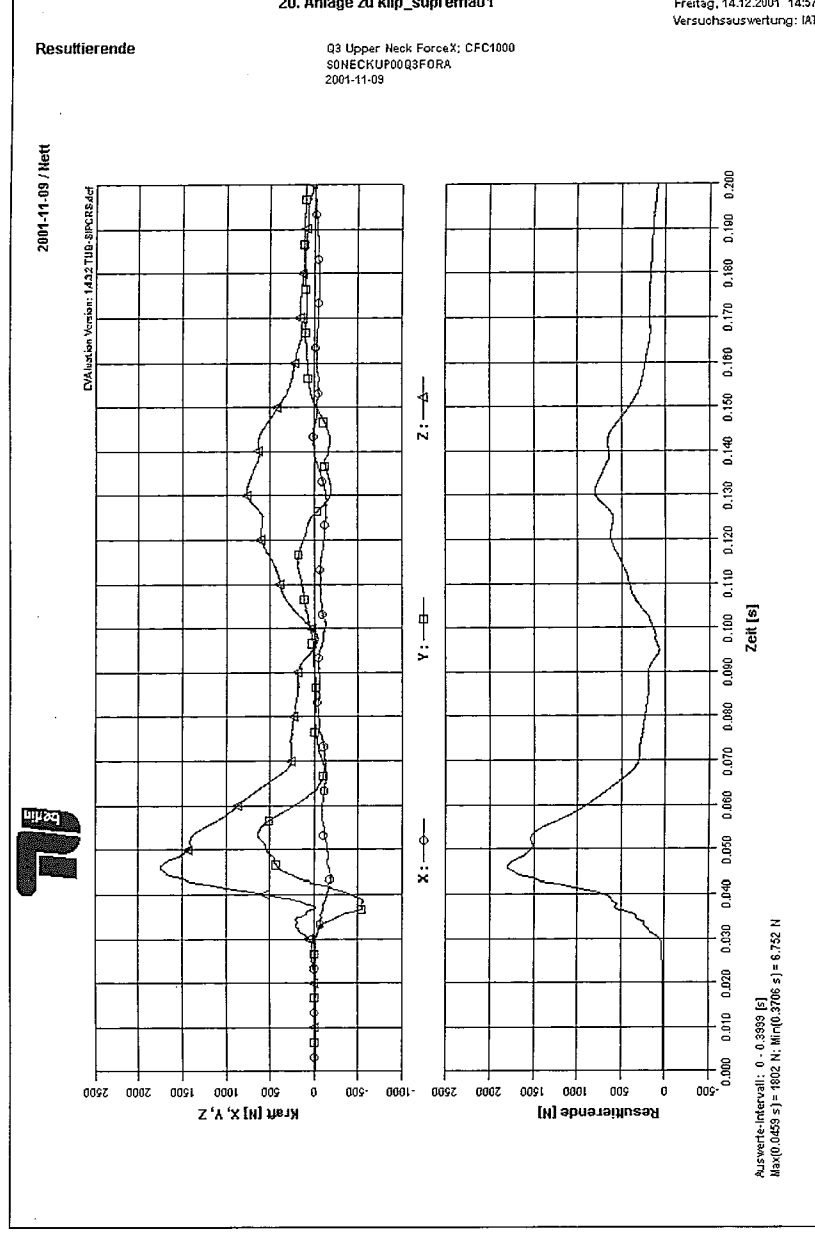


Abbildung 127: Q3-Dummy Obere Nackenkräfte

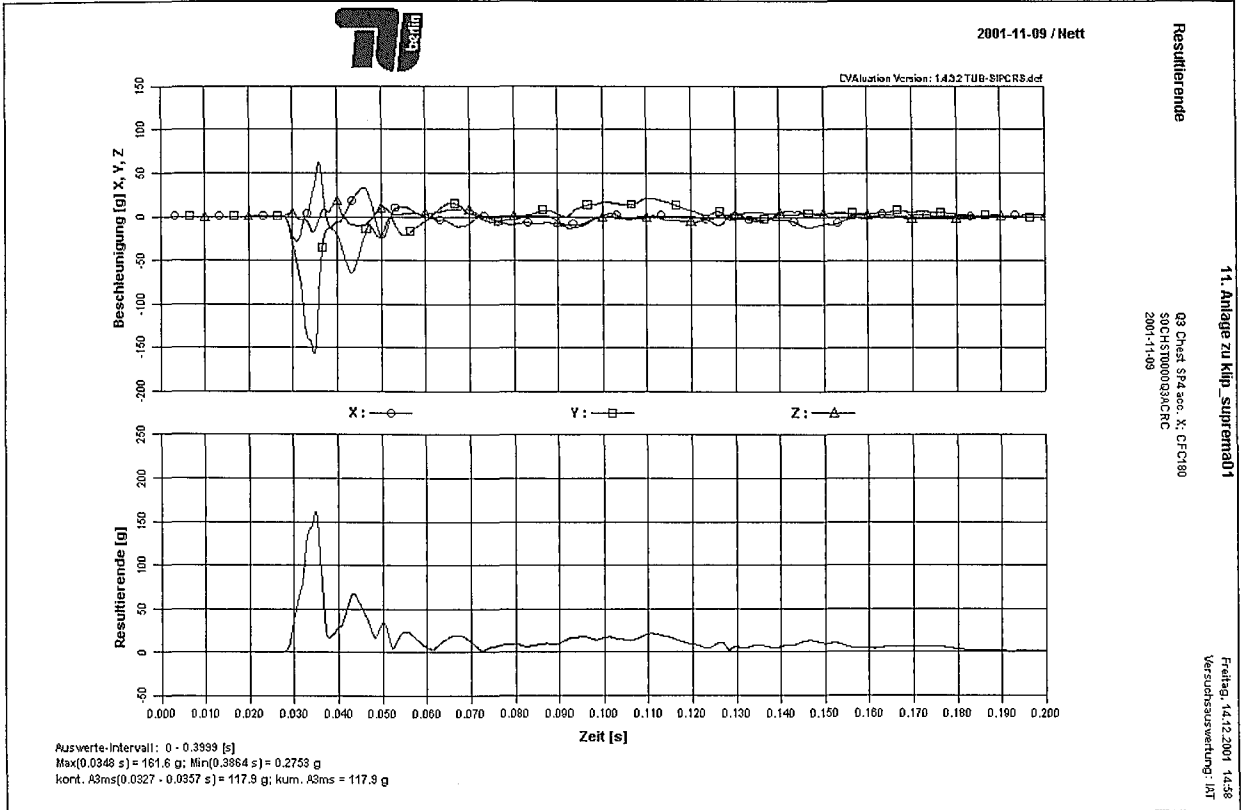


Abbildung 128: Q3-Dummy Brustbeschleunigungen

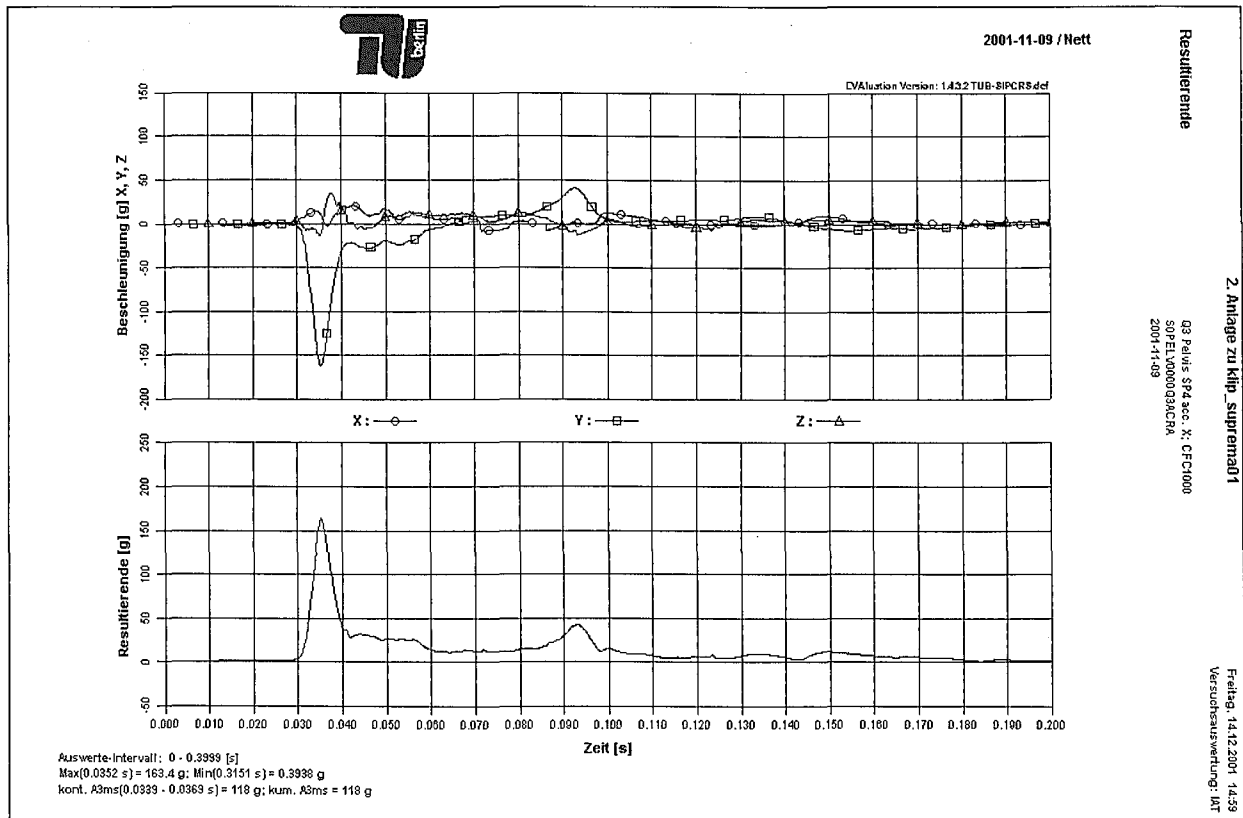
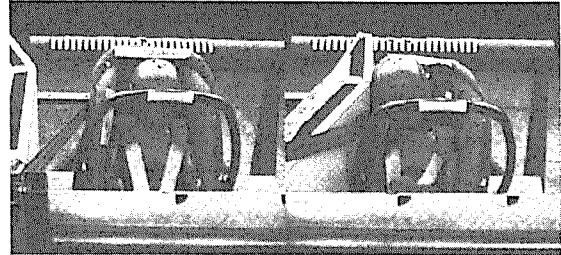


Abbildung 129: Q3-Dummy Beckenbeschleunigungen

7.13 Messergebnisse Römer Babystar (tabellarische Maxima)

7.13.1 Struktur

	v_0	Winkel	Winkel-t	v_{ang}	$v_{ang} \cdot t$
	[km/h]	[rad]	[ms]	[rad/s]	[ms]
Rf01	25,08	0,41	77	16,67	29
Rf02	23,07	0,375	97	13,2	31
Rf03	23,16	0,385	73	14,3	29
Rf04	23,22	0,463	62	15,01	31
Rf06	23,04	0,375	87	14,1	30



7.13.2 Dummy

	Head a_{3ms}^*	HIC36	Mx_1	Mx_2	Fz	Chest a_{3ms}^*	Pelvis a_{3ms}^*	Kommentar
	[g]		[Nm]	[Nm]	[N]	[g]	[g]	
Rf01	171,1	2239	9,1	-17,5	1130	115,7	74,2	$v_0=25\text{km/h}$
Rf02	126,2	1081	16,4	-13,7	1185	101,3	62	
Rf03	124,5	1089	20,2	-13,6	1316	101,7	69,5	
Rf04	97,4	541	-14,7	1,6	626	63,3	70,3	"non-worst-case"
Rf06	98,8	663	-19,5	7,2	1025	103,8	91,6	KSS modifiziert

* Resultierende

7.14 Messergebnisse Römer Babystar (graphische Zeitverläufe)

7.14.1 Römer Babystar 01

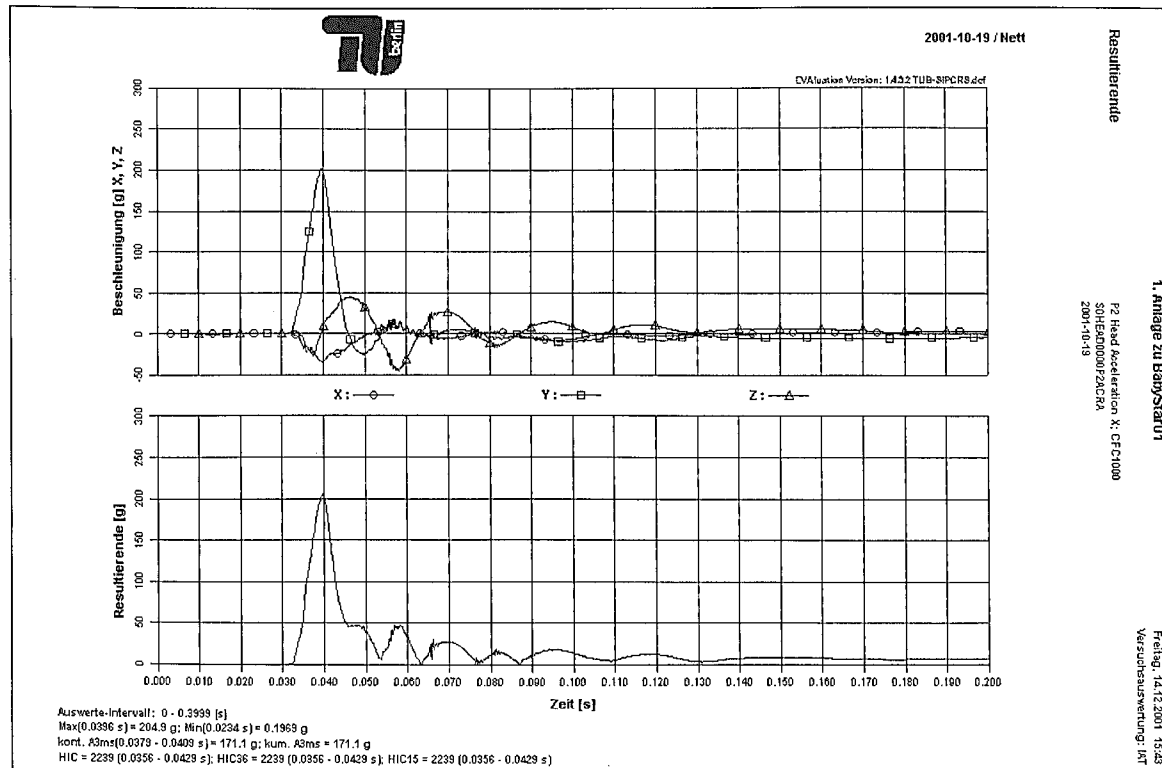


Abbildung 130: P-18 Monate Kopfbeschleunigungen

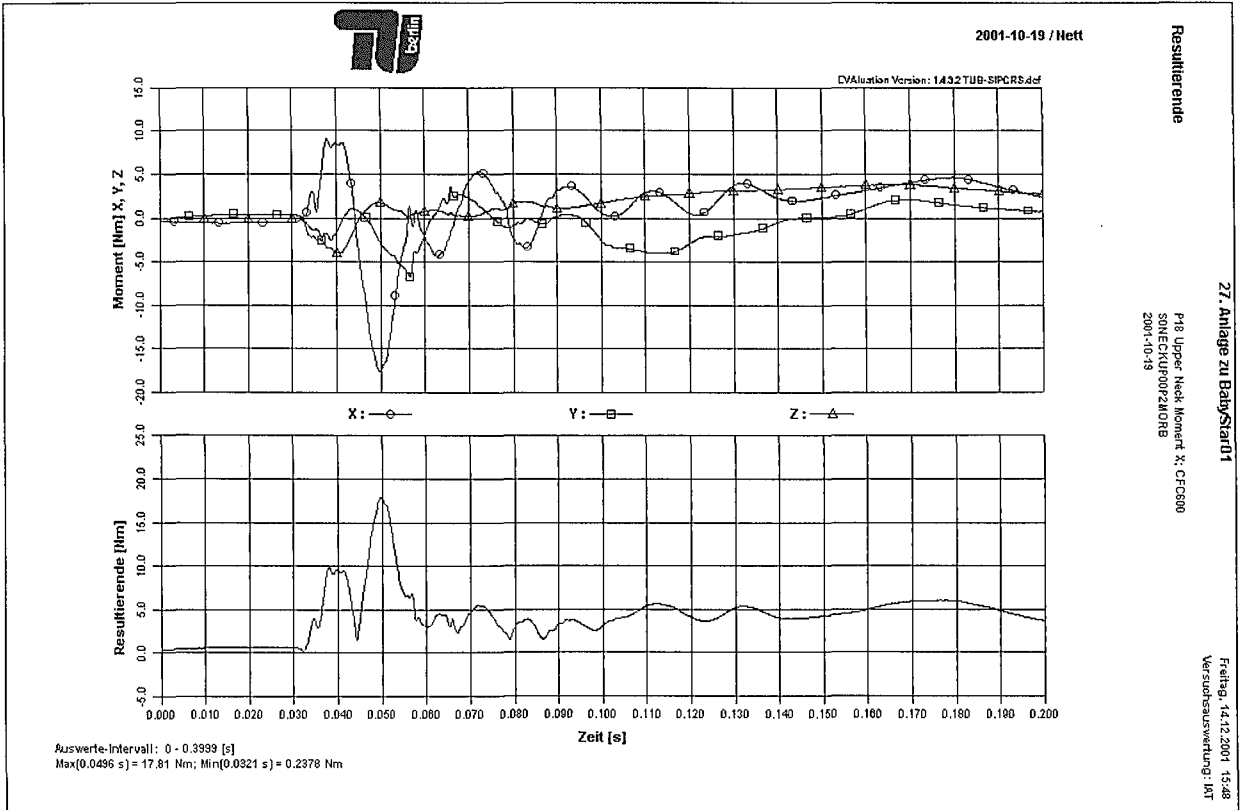


Abbildung 131: P-18 Monate Obere Nackenmomente

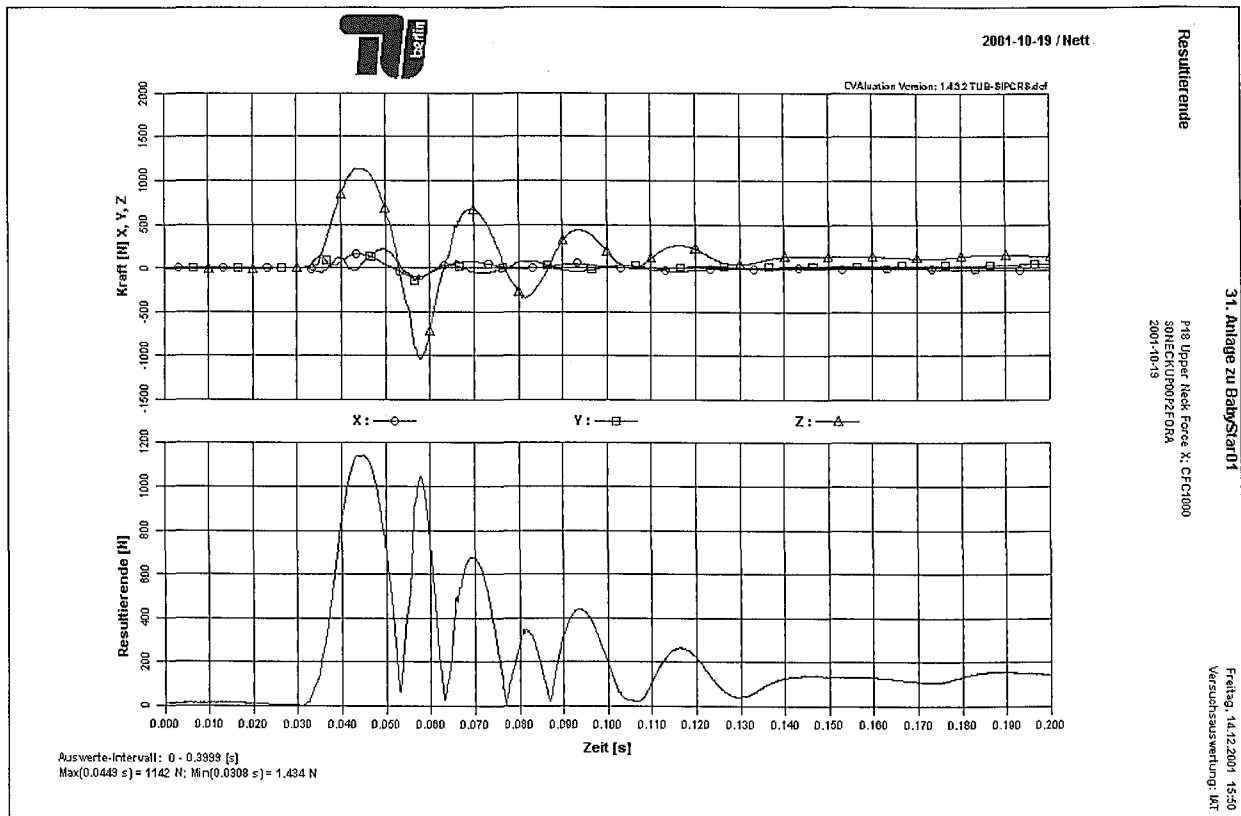


Abbildung 132: P-18 Monate Obere Nackenkräfte

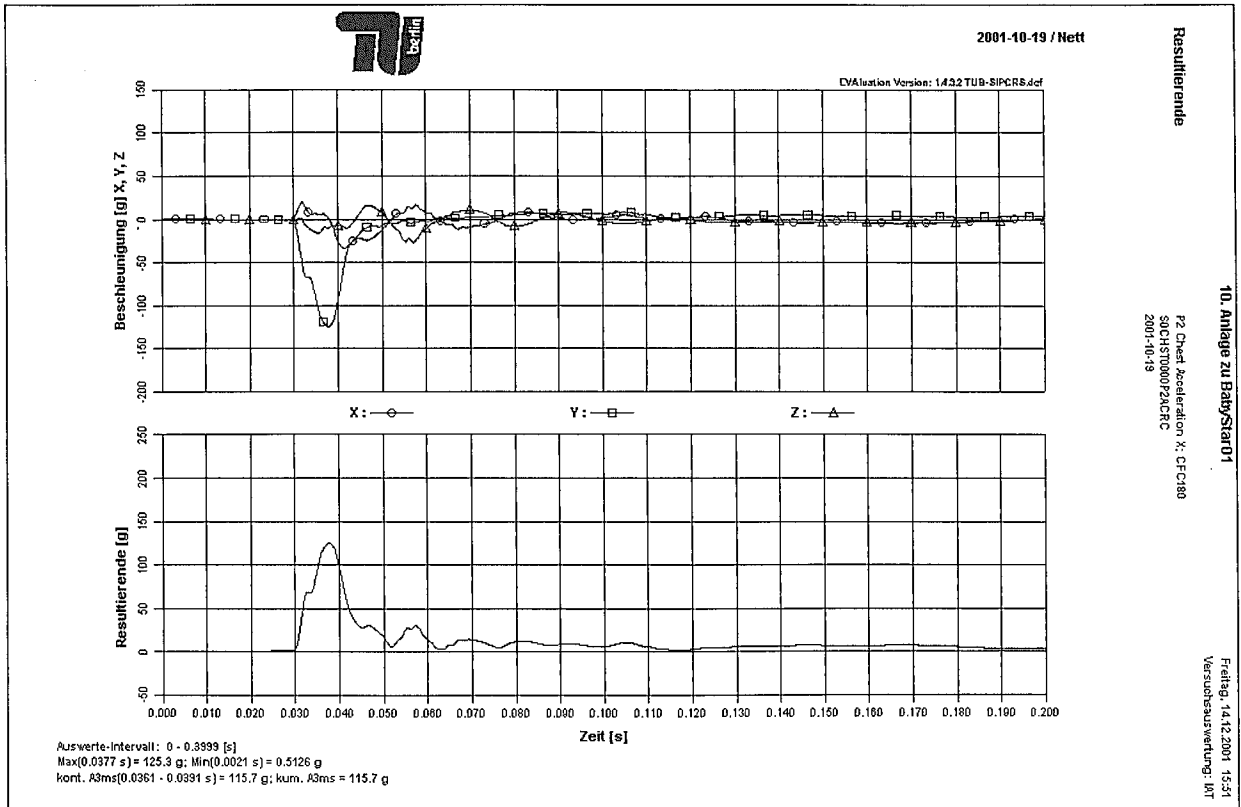


Abbildung 133: P-18 Monate Brustbeschleunigungen

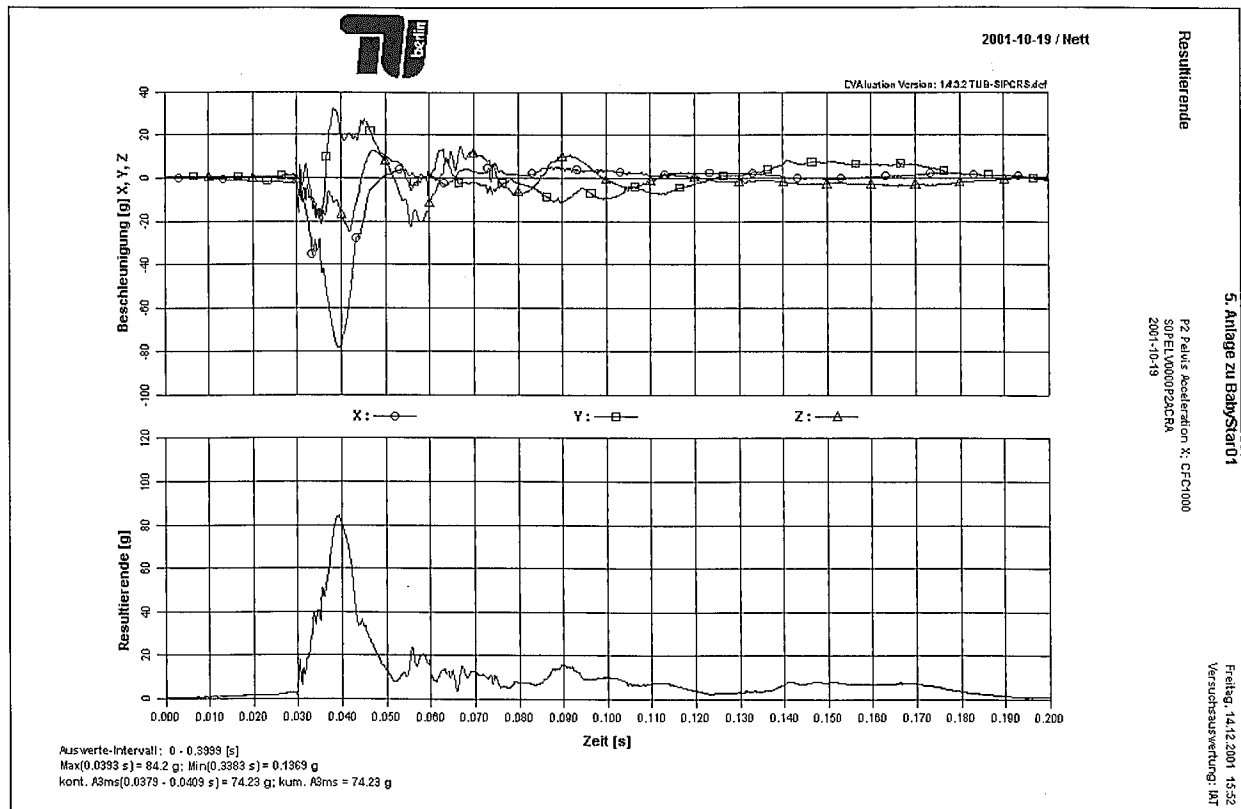


Abbildung 134: P-18 Monate Beckenbeschleunigungen

7.14.2 Römer Babystar 02

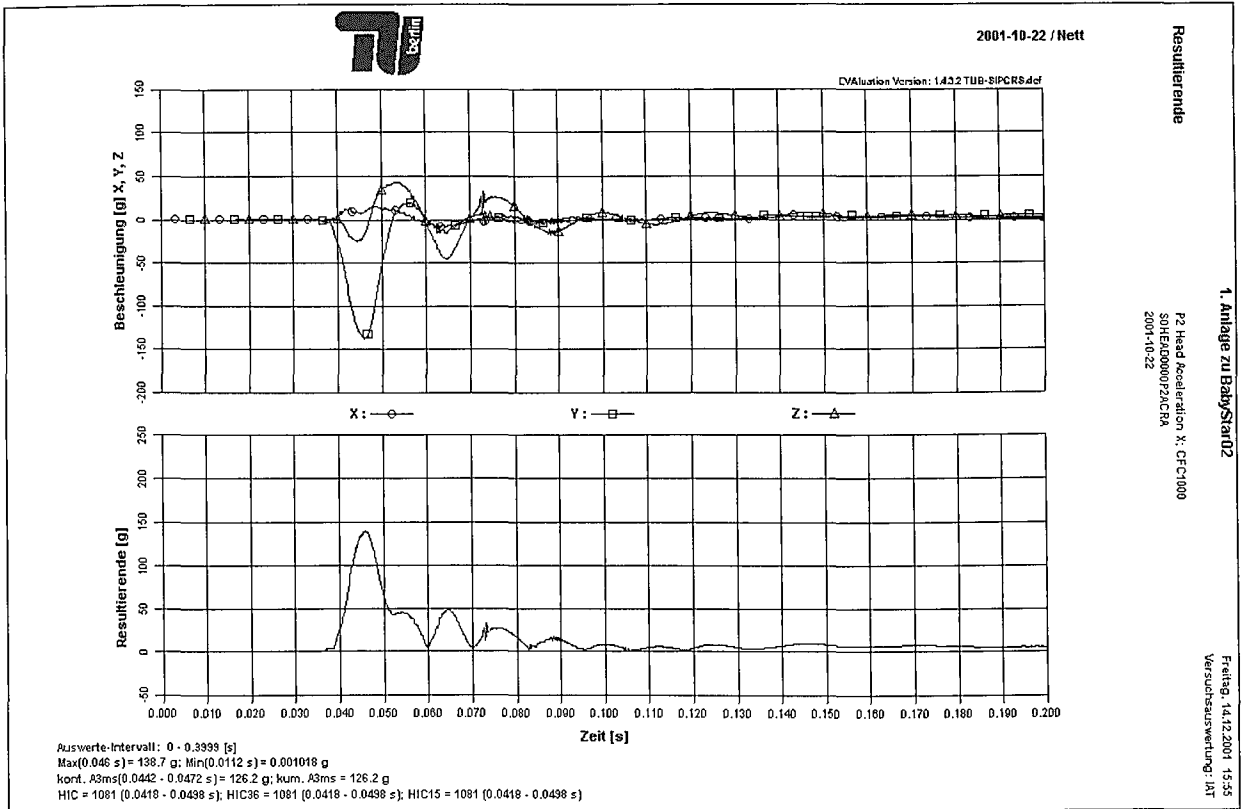


Abbildung 135: P-18 Monate Kopfbeschleunigungen

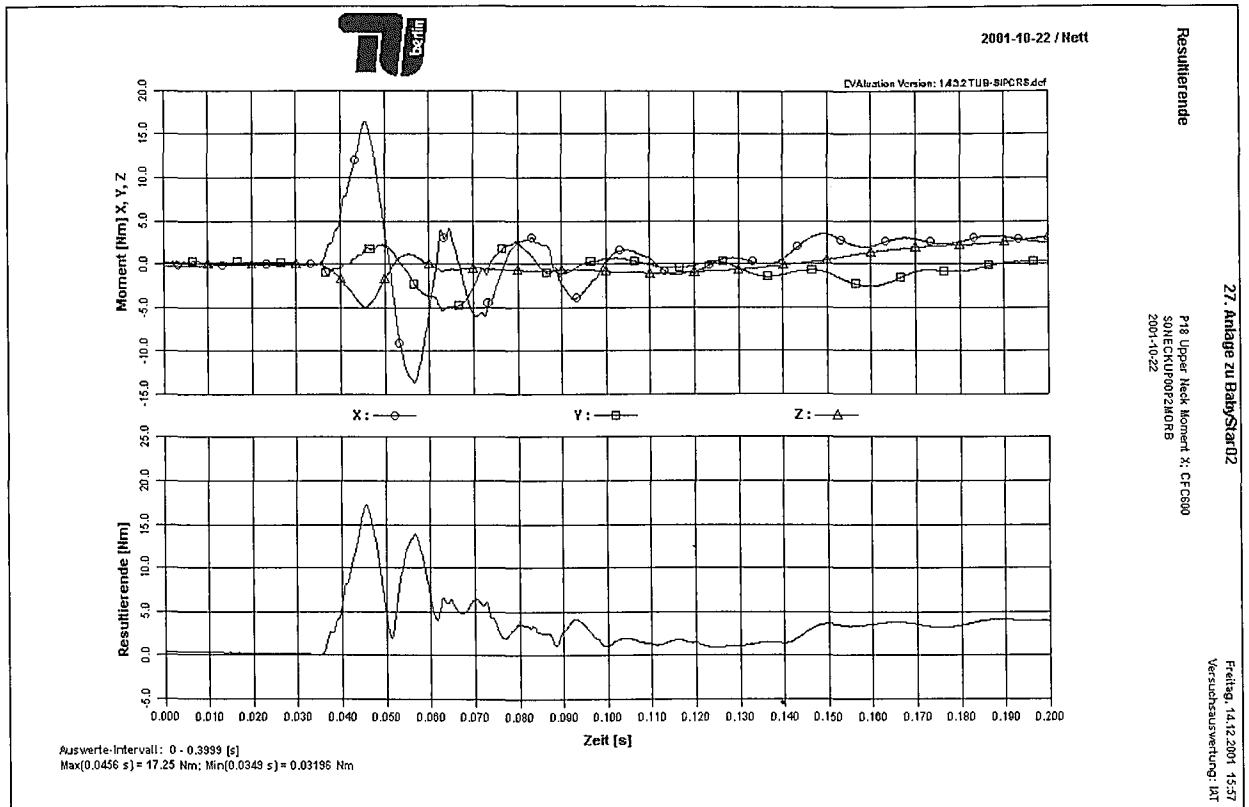


Abbildung 136: P-18 Monate Obere Nackenmomente

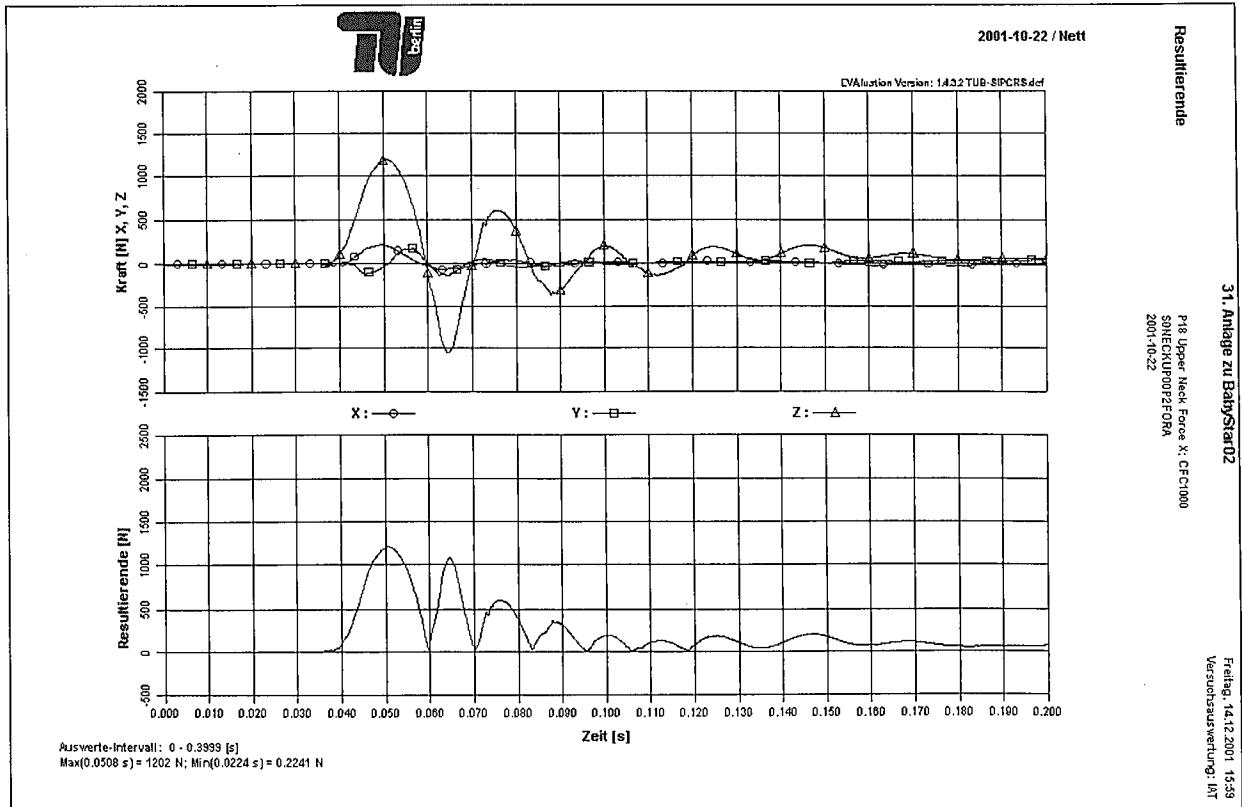


Abbildung 137: P-18 Monate Obere Nackenkräfte

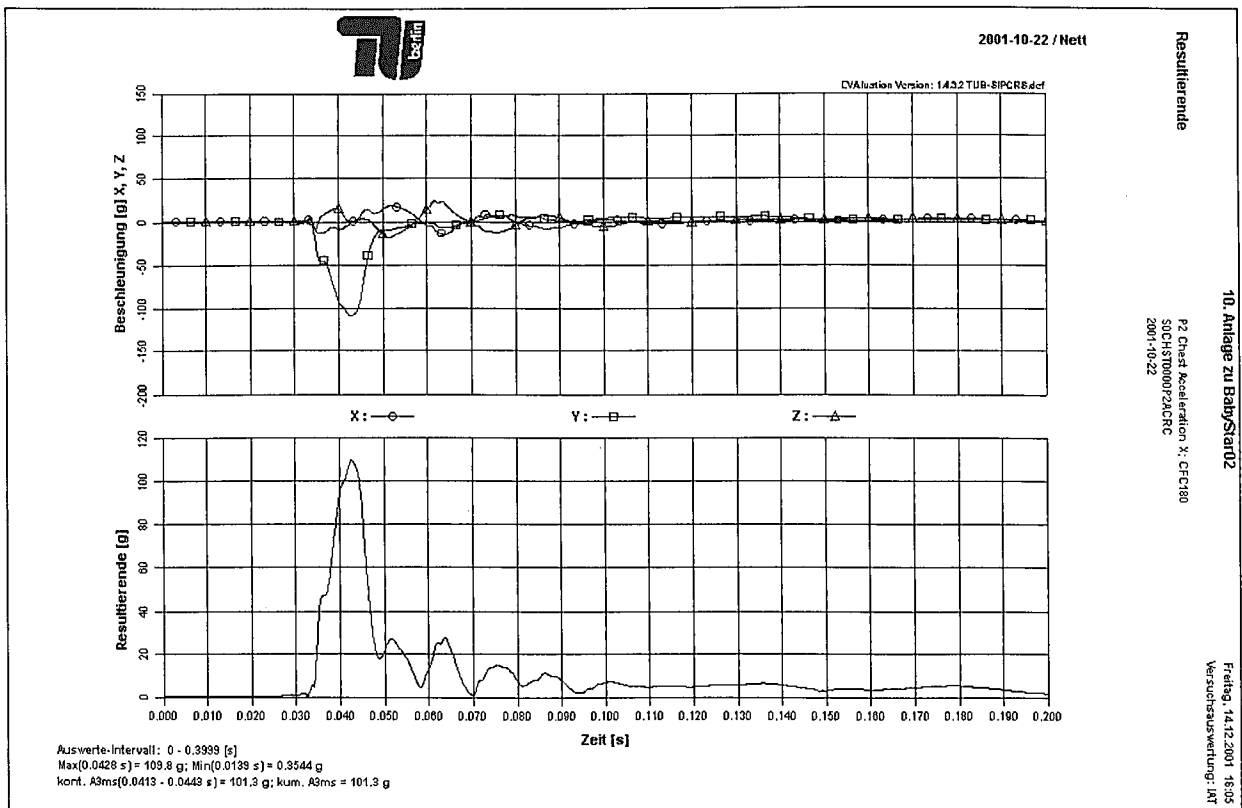


Abbildung 138: P-18 Monate Brustbeschleunigungen

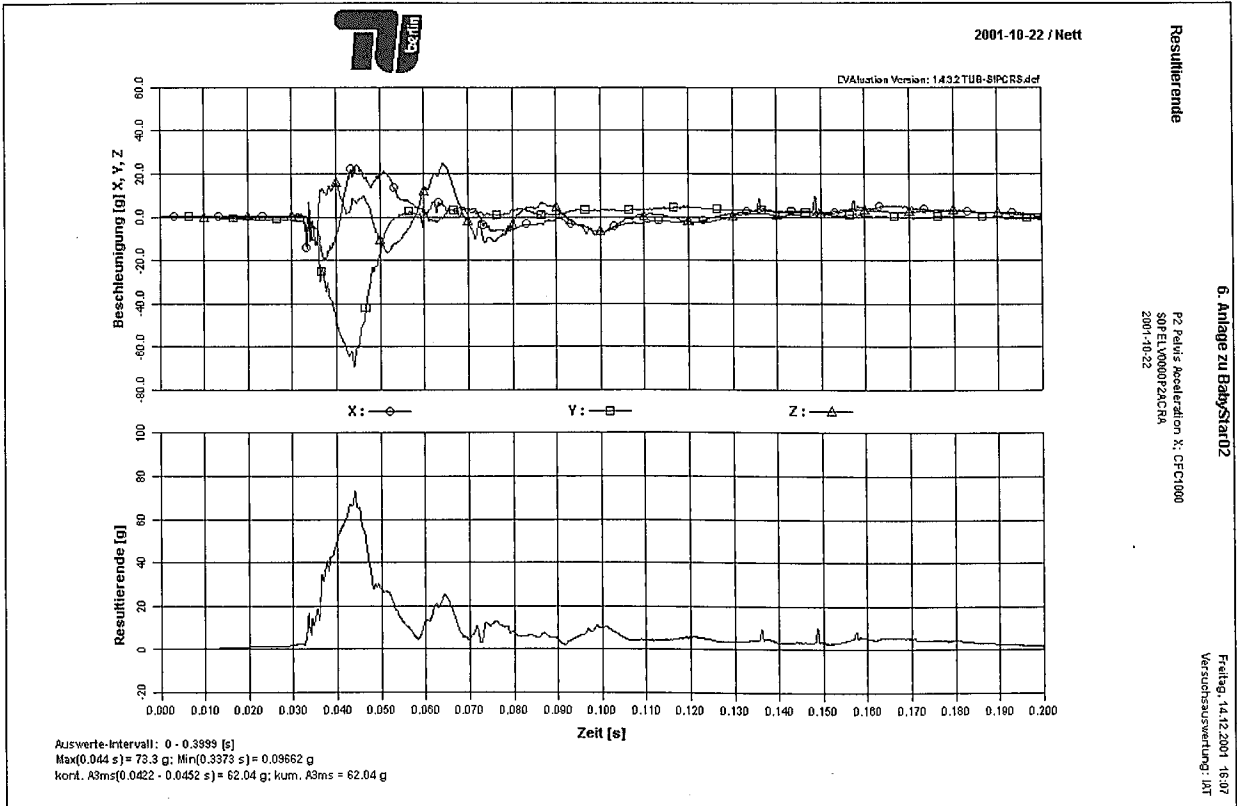


Abbildung 139: P-18 Monate Beckenbeschleunigungen

7.14.3 Römer Babystar 03

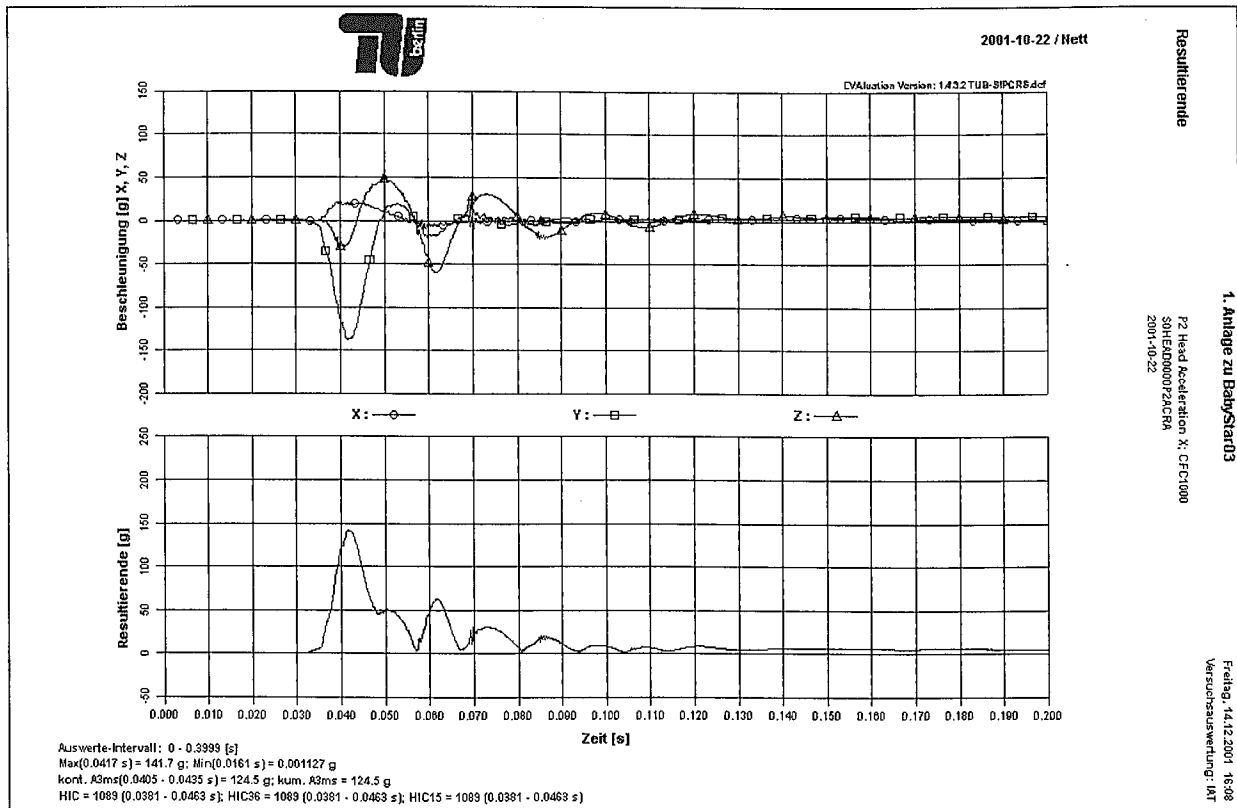


Abbildung 140: P-18 Monate Kopfbeschleunigungen

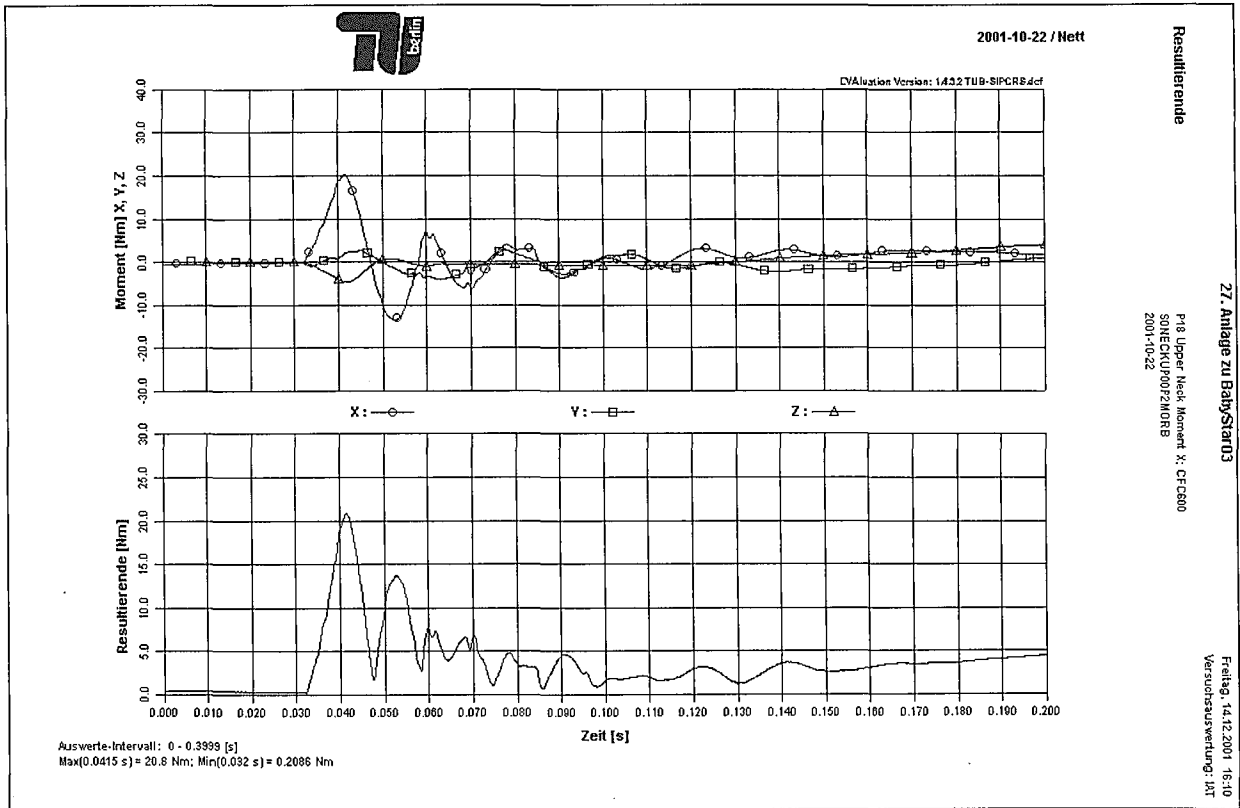


Abbildung 141: P-18 Monate Ober Nackenmomente

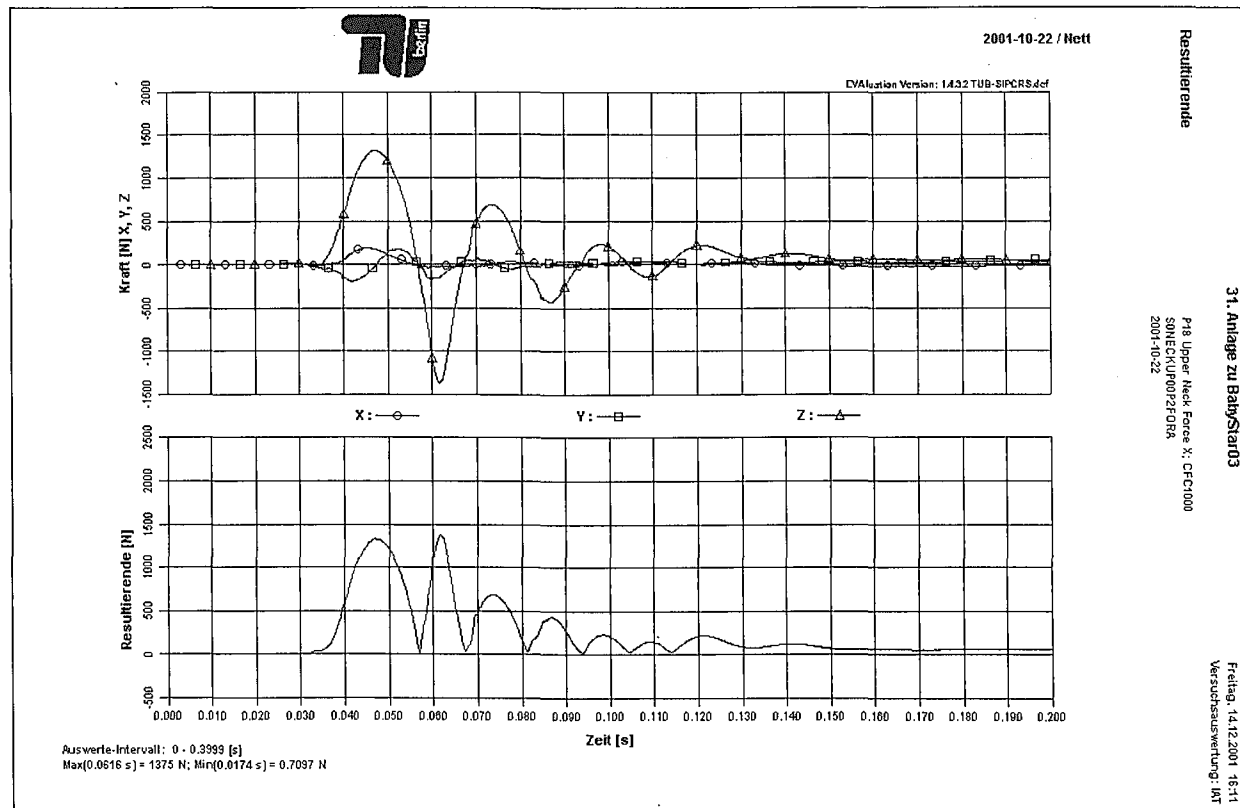


Abbildung 142: P-18 Monate Obere Nackenkräfte

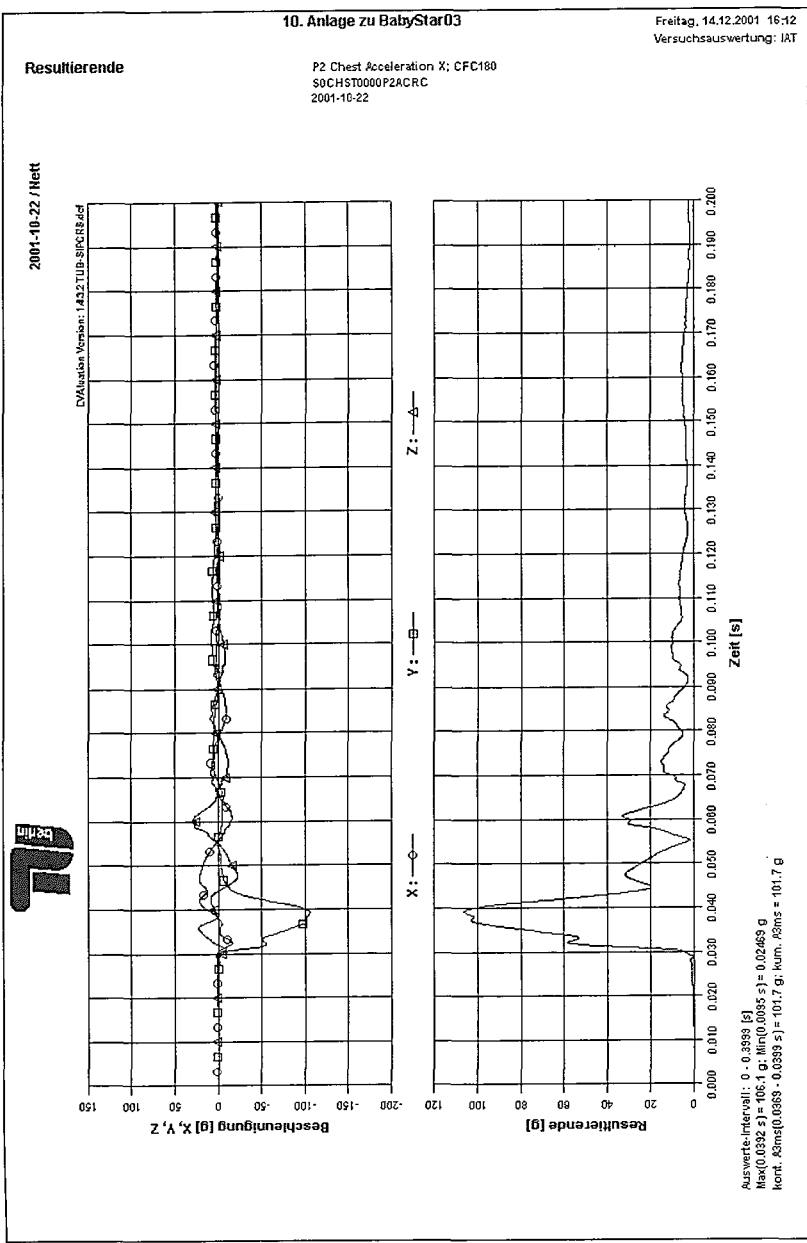


Abbildung 143: P-18 Monate Brustbeschleunigungen

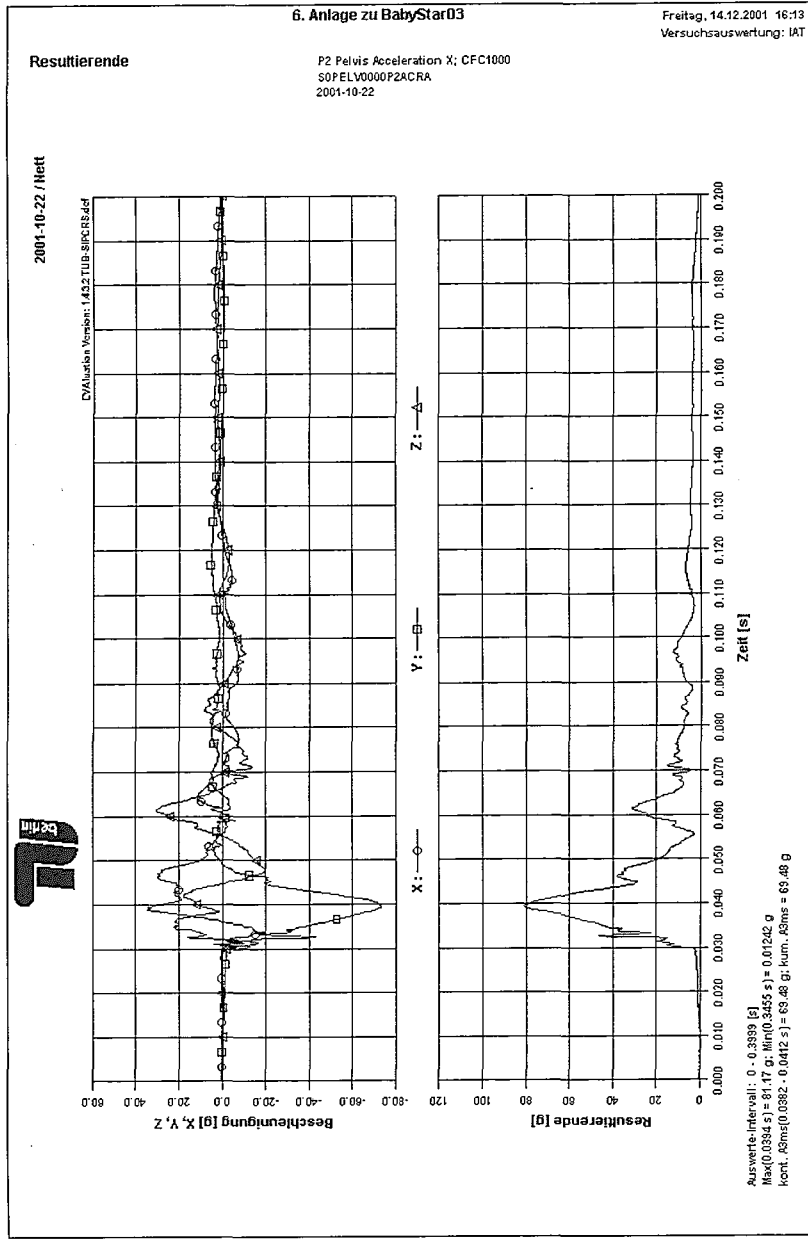


Abbildung 144: P-18 Monate

7.14.4 Römer Babystar 04

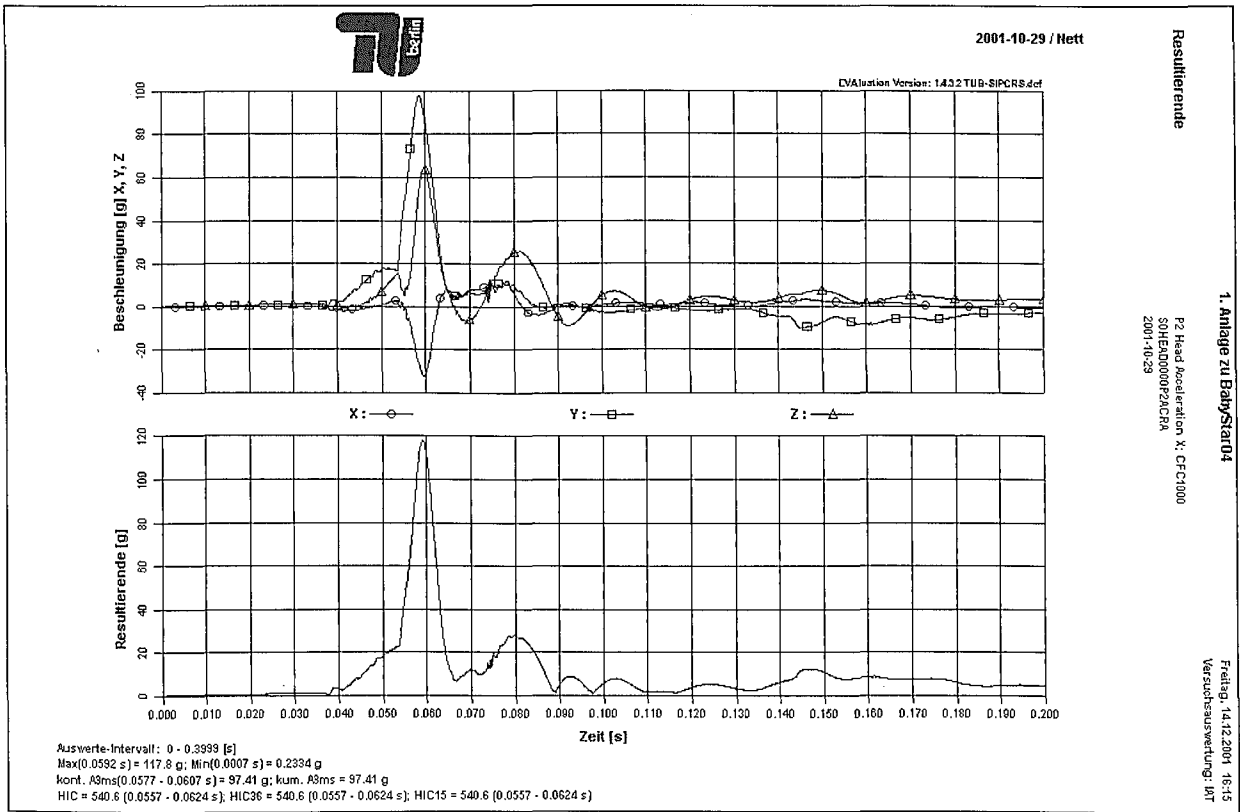


Abbildung 145: P-18 Monate Kopfbeschleunigungen

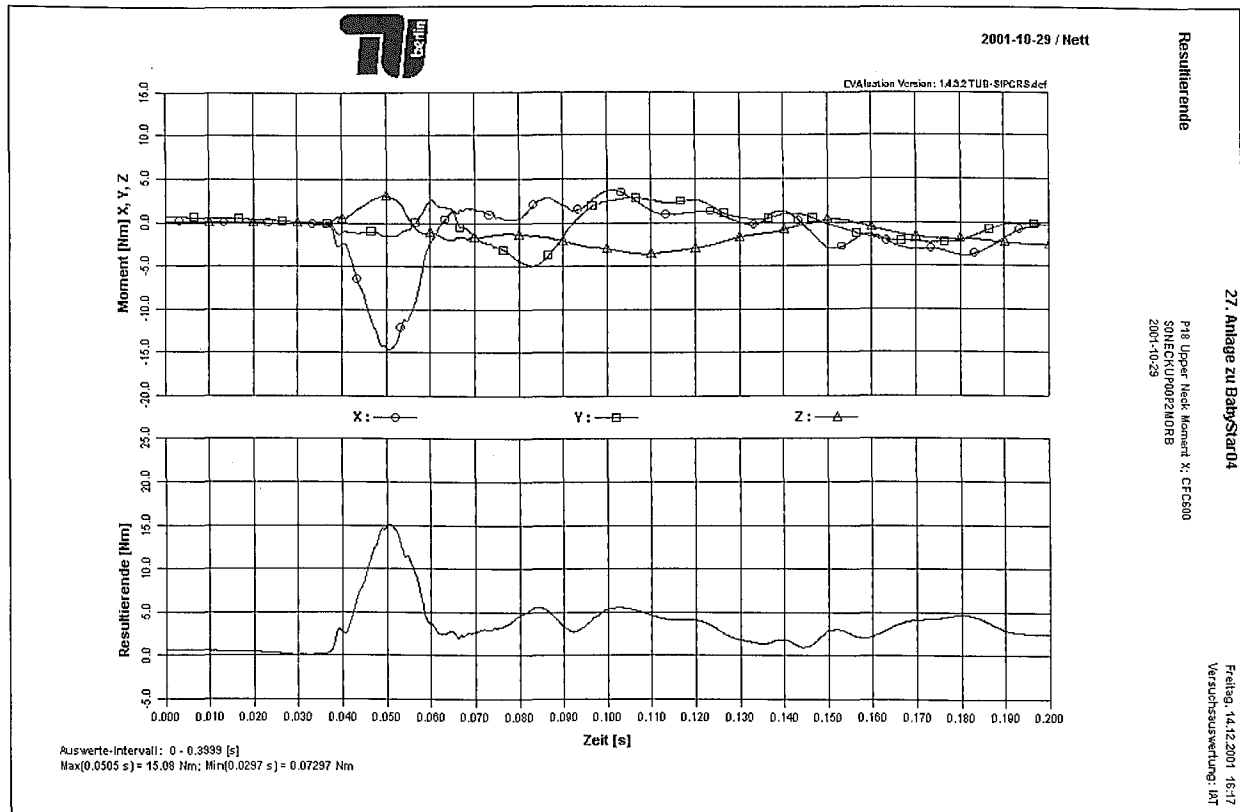


Abbildung 146: P-18 Monate Obere Nackenmomente

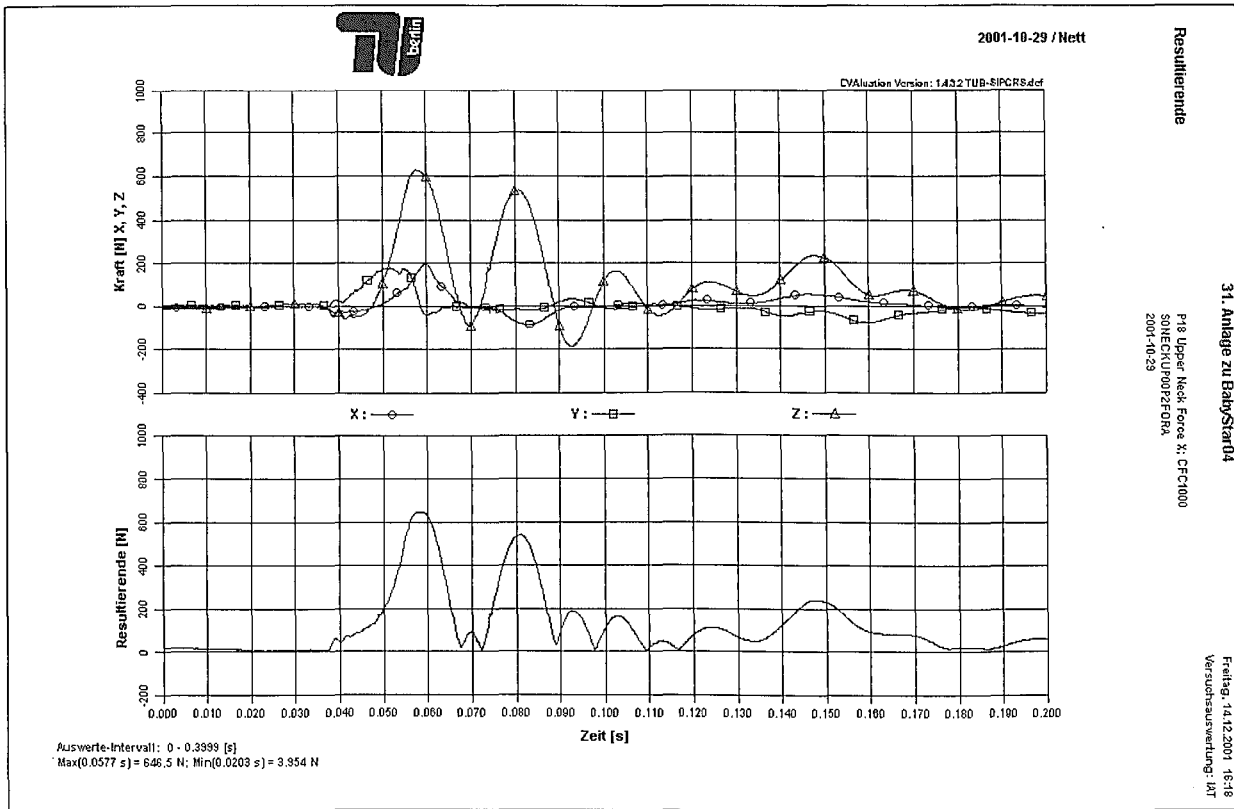


Abbildung 147: P-18 Monate Obere Nackenkräfte

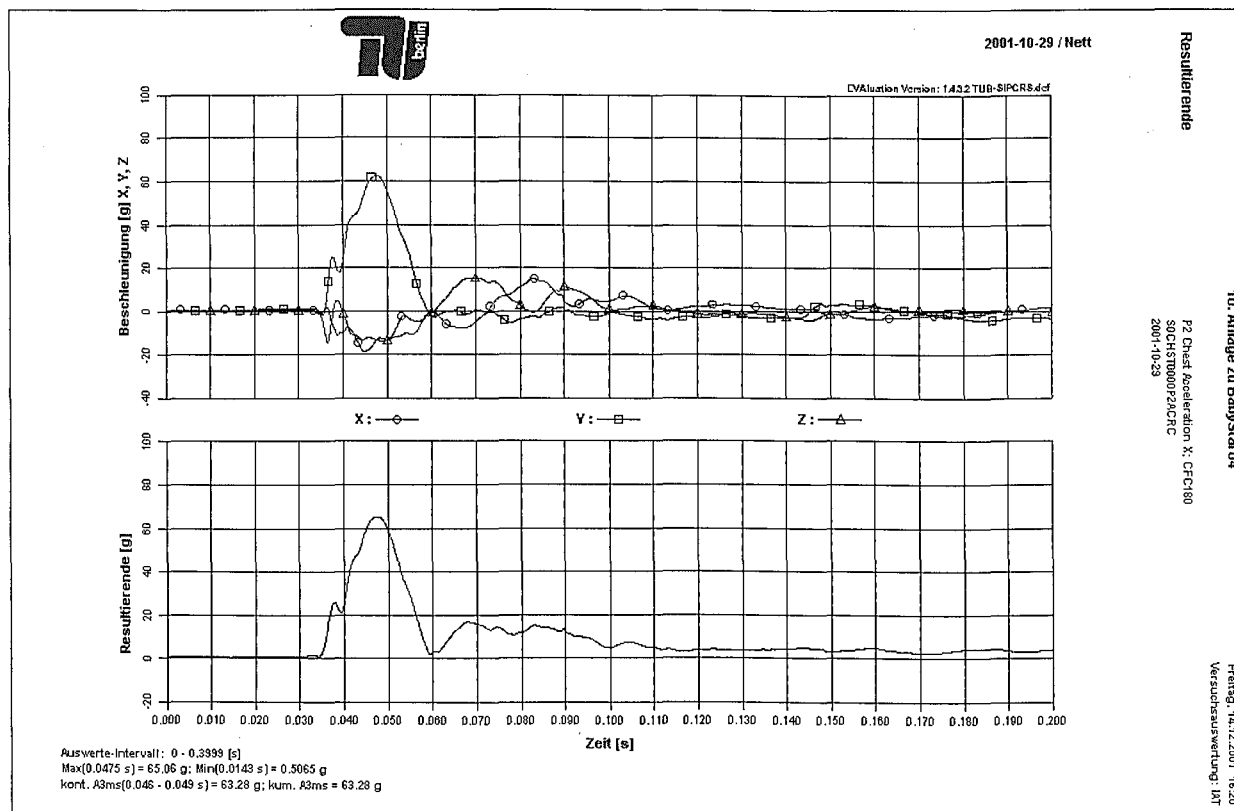


Abbildung 148: P-18 Monate Brustbeschleunigungen

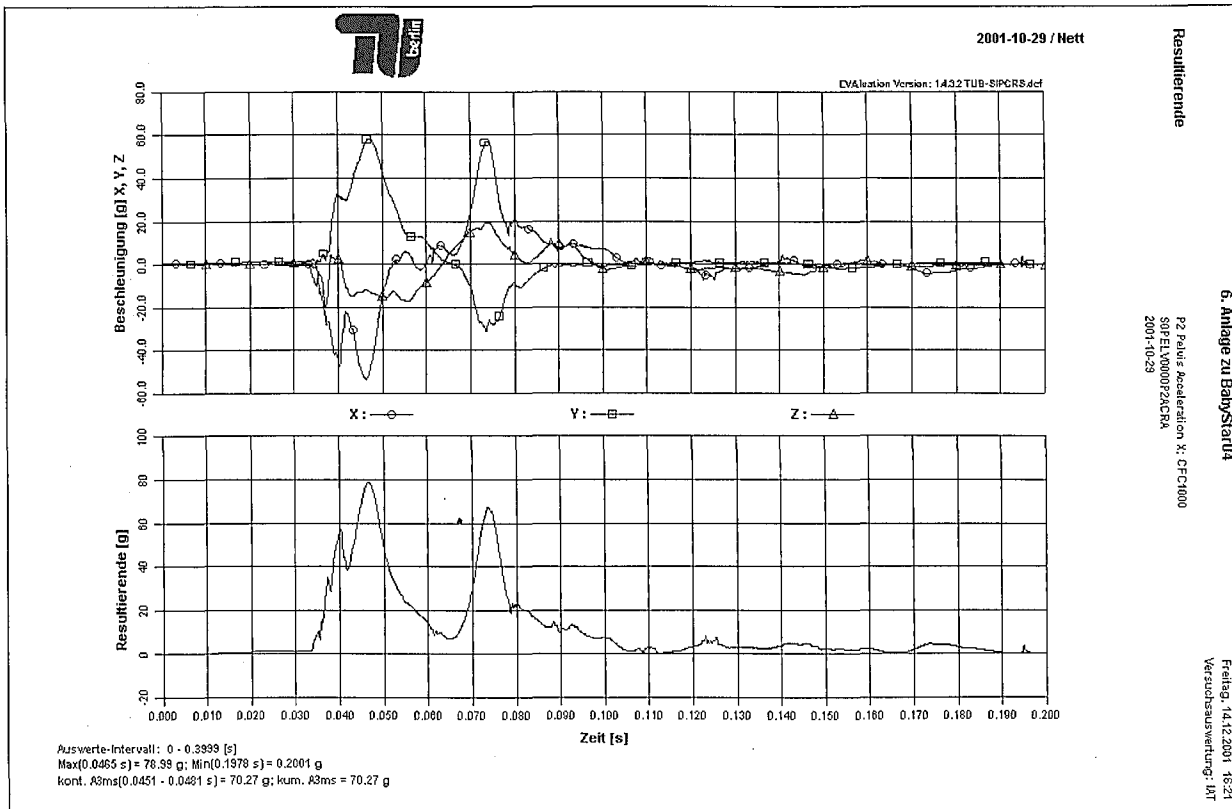


Abbildung 149: P-18 Monate Beckenbeschleunigungen

7.14.5 Römer Babystar 06

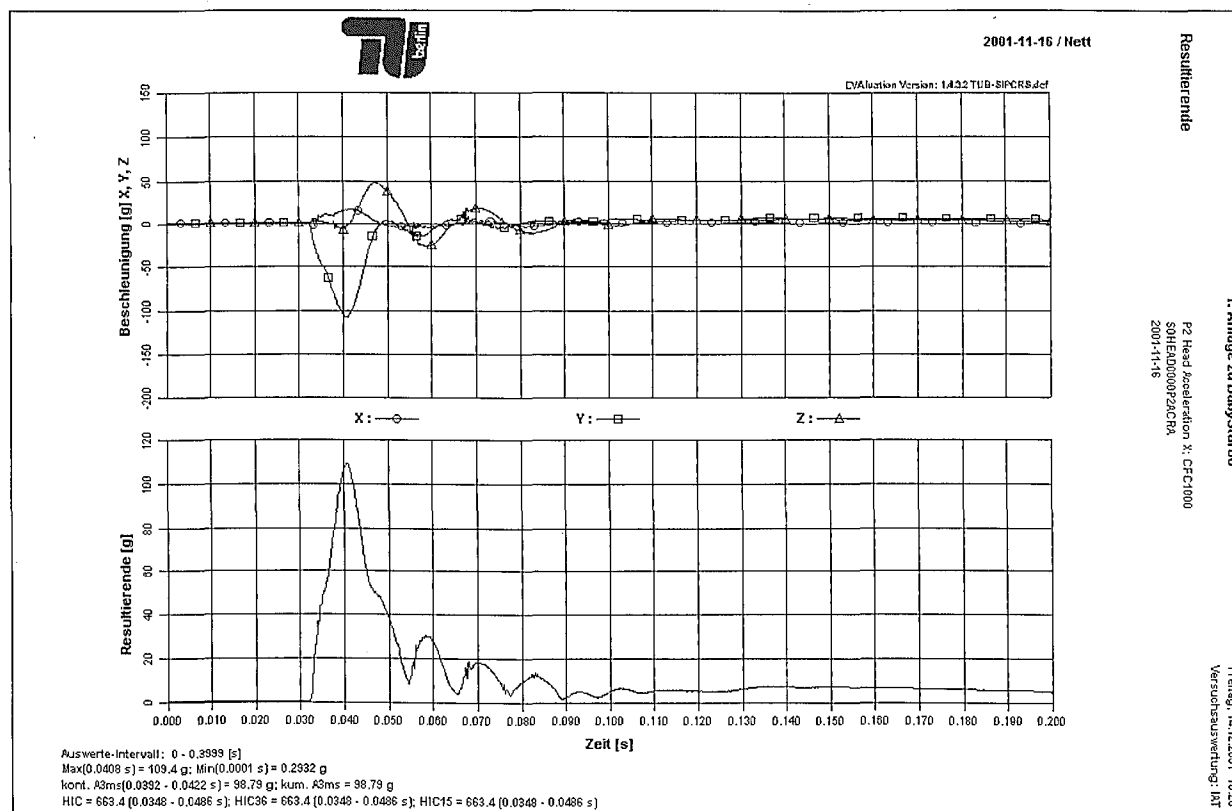


Abbildung 150: P-18 Monate Kopfbeschleunigungen

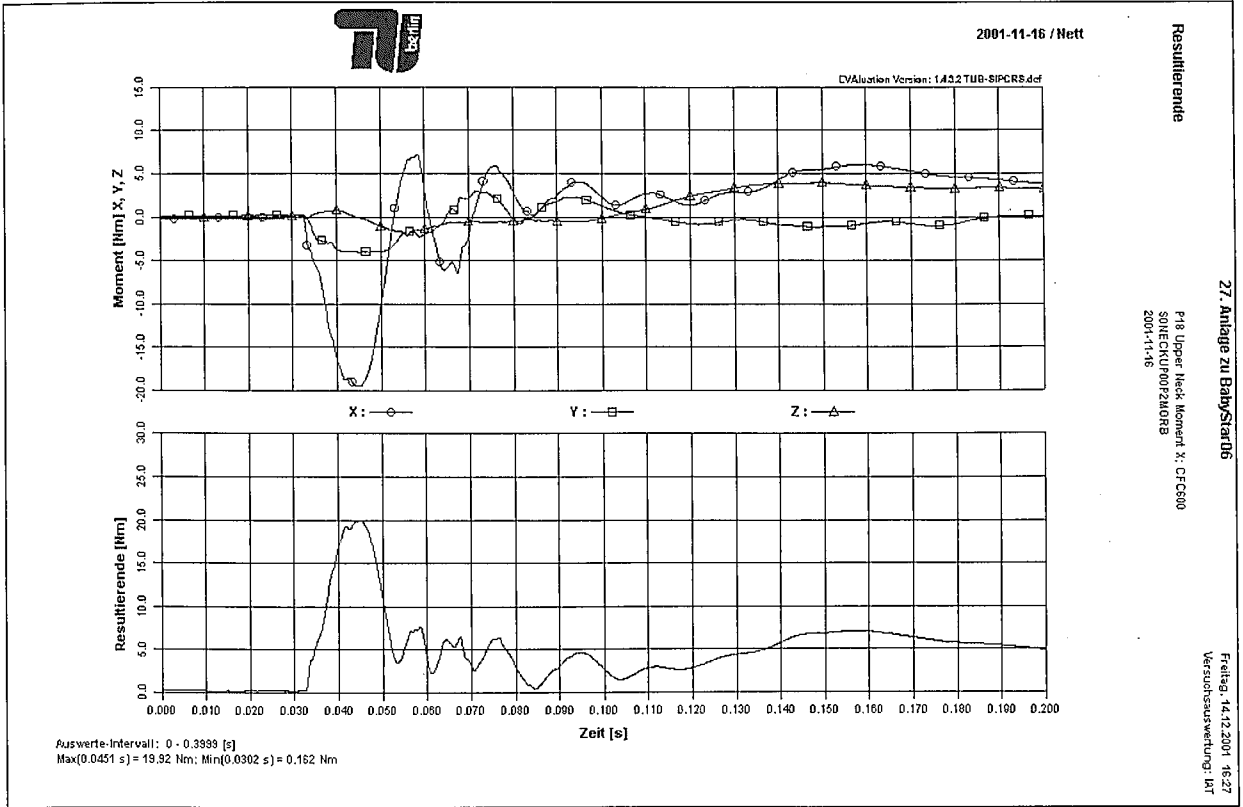


Abbildung 151: P-18 Monate Obere Nackenmomente

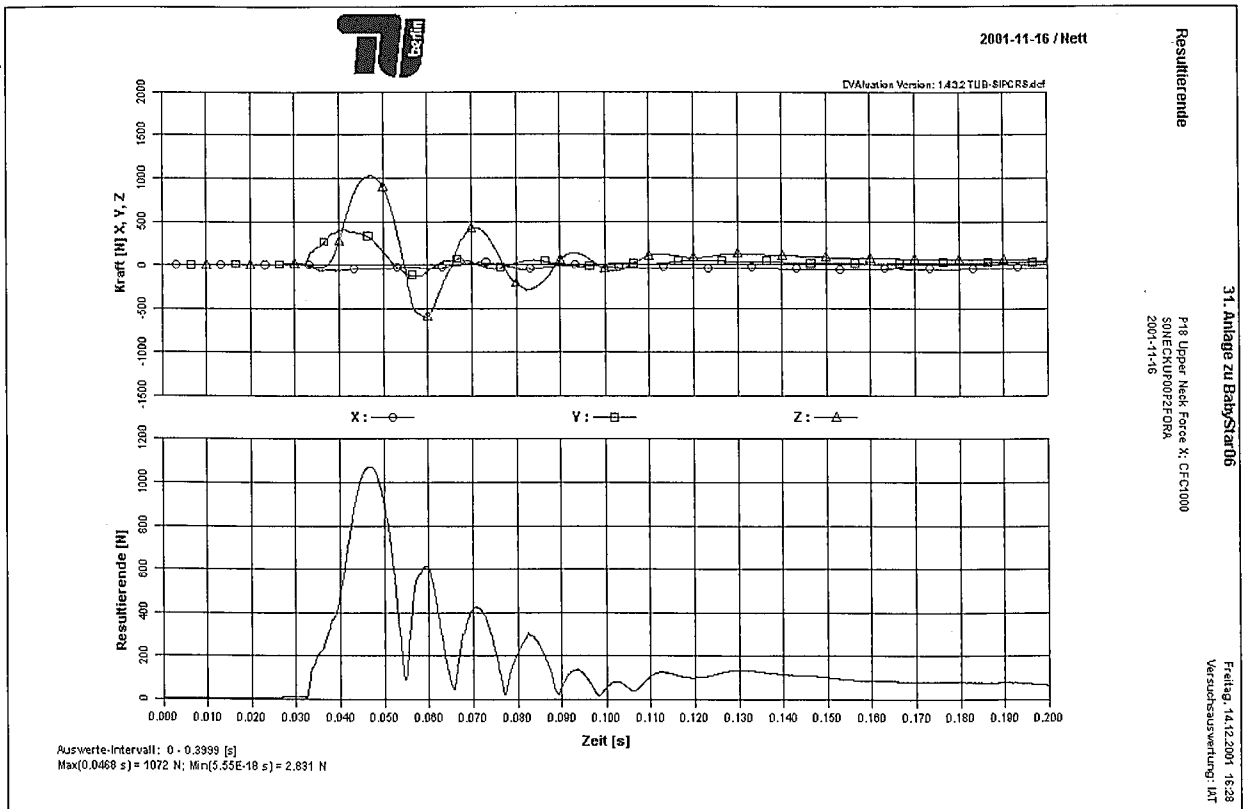


Abbildung 152: P-18 Monate Obere Nackenkräfte

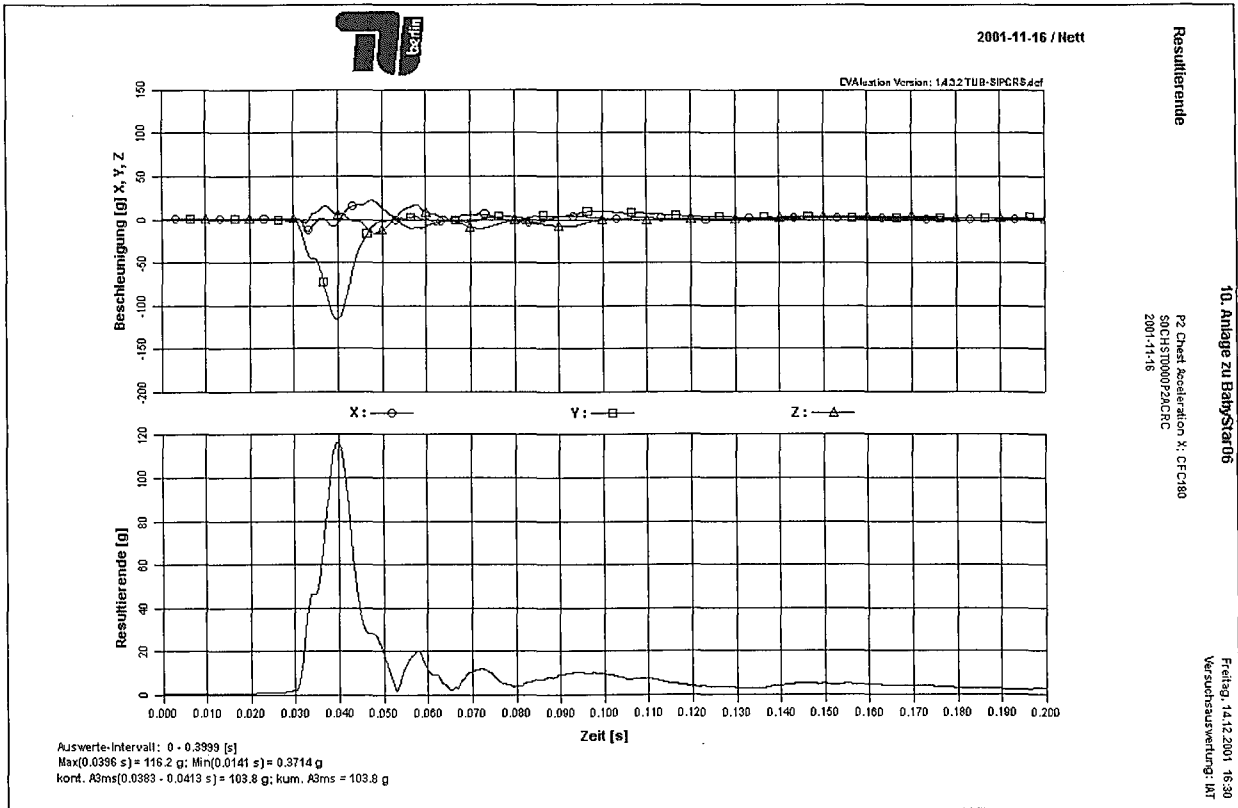


Abbildung 153: P-18 Monate Brustbeschleunigungen

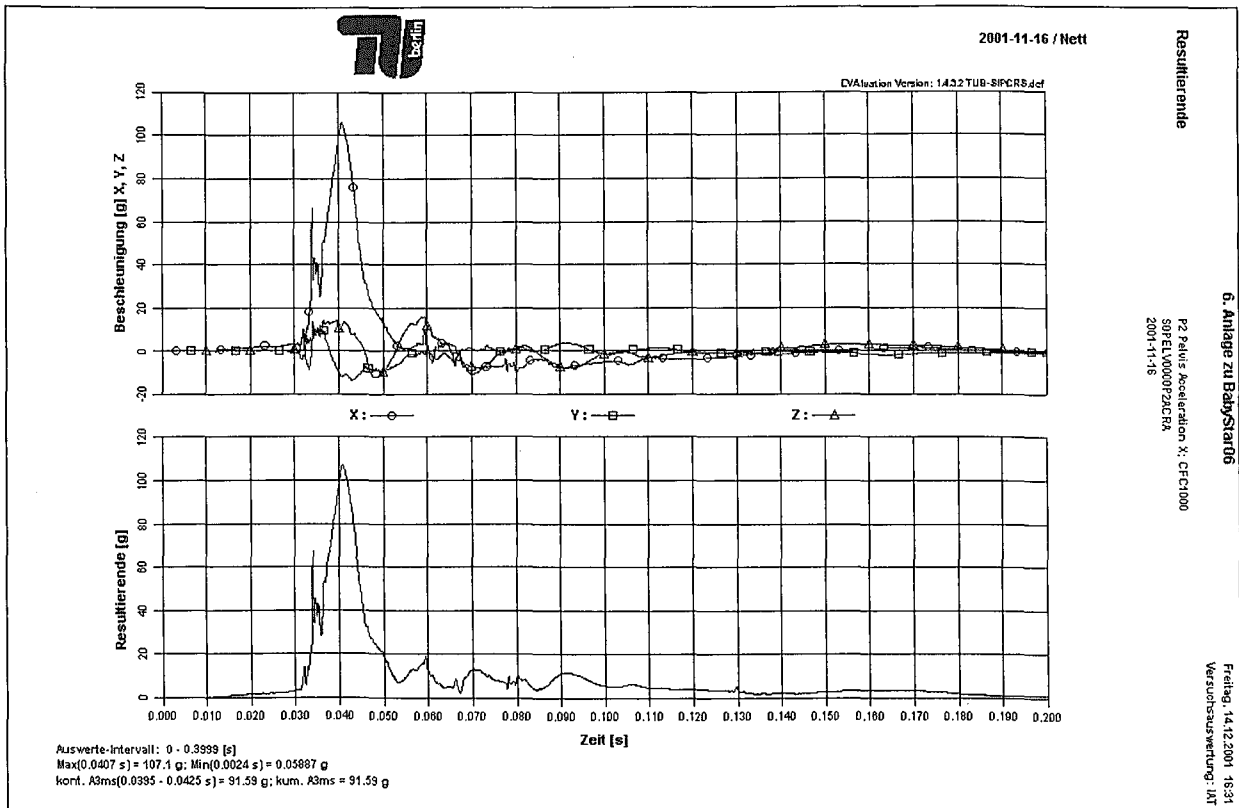


Abbildung 154: P-18 Monate Beckenbeschleunigungen

Danksagung

Die Inhalte dieser Arbeit wurden im Rahmen meiner Tätigkeit am Fachgebiet Kraftfahrzeuge der Technischen Universität erzielt. Allen beteiligten Personen möchte ich an dieser Stelle für ihre Unterstützung danken.

Erwähnen möchte ich dabei meine langjährigen engsten Kollegen Arne Schmiedeberg und Sven Kaufmann sowie Harald Morres, Klaus Brandt und Fred Frenzel, die alle Hochs und Tiefs experimenteller Forschung mitgetragen haben. Fachliche Unterstützung zu allen Zeiten erfuhr ich durch Thomas Deter und Dirk Vetter. Das positive Arbeitsklima, welches die Basis für die intensive Zusammenarbeit war, ermöglichten Peter Heger und Volker Middelhaue. Heiko Johannsen und Christian Gehre möchte ich für die engagierte Übernahme und Fortführung des Forschungsschwerpunkts Kindersicherheit danken.

Hervorheben möchte ich die Verantwortlichen der Bundesanstalt für Straßenwesen, die dem Fachgebiet und mir das Vertrauen für alle übertragenen Aufgaben zum Thema Kindersicherheit entgegen gebracht haben.

Mein besonderer Dank gilt Herrn Prof. Dr. Schindler, dem Leiter des Fachgebiets Kraftfahrzeuge, der durchgängig positive inhaltliche sowie mentale Unterstützung geleistet hat.

Aschaffenburg, im Dezember 2002 Reiner Nett

Abkürzungen

ADAC	Allgemeiner Deutscher Automobilclub e.V.	HPC:	Head Protection Criterion (siehe HIC, jedoch nur angewandt bei Kopfkontakt)
AIS:	Abbreviated Injury Scale (Skala des Verletzungsschweregrades von AIS 0 - AIS 6: Jeder einzelnen Verletzung kann ein Schweregrad der AIS-Skala zugeordnet werden) [20]	HWS:	Halswirbelsäule
ATD:	Anthropometric Test Device (anthropometrische Prüfpuppe, Crashtummy)	ISO:	International Standardization Organisation
BAST:	Bundesanstalt für Straßenwesen	ISOFIX:	Genormte Steckverbindung zur einheitlichen Befestigung von KSS in Pkw
CHILD:	Child Injury Led Design (EU-Forschungsprojekt, 5. Rahmenprogramm)	ISO-WG1:	International Standardization Organisation - Working Group 1
CR-Achse:	Schnitt der Lehnen- und der Sitzkissen-ebene	ISS:	Injury Severity Score (Codierung von Mehrfachverletzungen: Der ISS-Wert ist die Summe aus den Quadraten der jeweils höchsten AIS-Werte der drei am schwersten verletzten Körperregionen) [20]
CREST:	Child Restraint Standard (EU-Forschungsprojekt, 4. Rahmenprogramm)	KRS:	Kinderrückhaltesystem
CRS:	Child Restraint System (Kinderrückhaltesystem)	KSS:	Kinderschutzsystem
DVR:	Deutscher Verkehrssicherheitsrat	MADYMO:	Mathematical Dynamical Model (kommerziell weltweit vertriebenes Programmsystem zur Insassensimulation)
ECE:	Economic Commission of Europe	MAIS:	Maximum Abbreviated Injury Scale
EEVC:	European Enhanced Vehicle Safety Committee (Die EEVC initiiert Forschungsschwerpunkte, die durch Arbeitsgruppen bearbeitet werden. Die Ergebnisse dienen als Empfehlung für zukünftige Maßnahmen zur Erhöhung der Fahrzeugsicherheit)	MHH:	Medizinische Hochschule Hannover
E-NCAP:	Euro - New Car Assessment Program (Testprogramm zur Verbraucherinformation über die Sicherheitseigenschaften von Pkw)	MMEA:	Misuse Mode and Effect Analysis (Methodik zur Ermittlung potentieller Fehlbedienungen an KSS und deren Auswirkungen auf die Sicherheitseigenschaften von KSS)
ESV:	Enhanced Safety of Vehicles	NASS:	National Accident Statistic Sample
EU:	Europäische Union	NPACS:	New Program for Assessing Child Seats (Konsortium zur Verbraucherinformation über die Sicherheitseigenschaften von KSS)
FAQ:	Frequently Asked Questions	Pkw:	Personenkraftwagen
FTSS:	First Technology Safety Systems (US-Hersteller von Crashtummies)	StVO:	Straßenverkehrsordnung
GDV:	Gesamtverband der Deutschen Versicherungswirtschaft e.V.	TNO:	Netherlands Organisation of Applied Sciences
HIC:	Head Injury Criterion	TRL:	Transport and Research Laboratory (Great Britain)
		TUB-SIPCRS:	Technische Universität Berlin – Side Impact Procedure for CRS
		VC:	Viscous Criterion
			$VC = \max \left(\frac{s(t)}{\text{halbe Thorax-Breite}} \cdot \frac{d[s(t)]}{dt} \right)$
		VDA:	Verband der Automobilindustrie

$$HIC = \max \left\{ \left(\frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt \right)^{2,5} \cdot (t_2 - t_1) \right\}$$

8 Literatur

- [1] ADAC: Zeitschrift ADAC-Motorwelt 6/2001, 6/2002, ADAC-Verlag GmbH, München, 2001/2002
- [2] APPEL, H.: Skript Biomechanik, ISS-Kraftfahrzeuge, TU Berlin, 1998
- [3] BRIAN, M.: Sitzen geblieben, Zeitschrift Ökotoest, 1997 (7. Ausgabe)
- [4] DeSANTIS, K., SAUL, R. A.: Techniques for Developing Child Dummy Protection Reference Values, NHTSA Event Report, October 1996
- [5] DETER, Th., LUTTER, G.: Development of a new Side Impact Component Test Facility, 1st European MADYMO Users Meeting, 1996
- [6] DOLL, U., MAURER-BURKHARD, B.: Autokindersitze – Sicherheit für unsere Kinder, Verlag Hans Huber, Bern, 1998
- [7] DVR-Report 3/2002: Magazin für Verkehrssicherheit, 32. Jahrgang, Deutscher Verkehrssicherheitsrat e. V., Bonn, 2002
- [8] FERRER, I., HUGUET, J.: Testing of Child Restraint Systems to evaluate Side Impact Protection, IRCOBI Conference, Barcelona, 1999
- [9] FILDES, B.: Side Impact Crashes in Australia, 14th ESV Conference, München, 1994
- [10] GLAESER, K.-P.: New Test Conditions for Child Restraint Systems, Germany, Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 1992, SAE, Report No. SAE 922516, Nov 1992
- [11] IRTAD – International Road Traffic and Accident Database (OECD), Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach, 2001
- [12] ISO/DTR 13214 Road Vehicles-CRS-Compilation of Safety Regulations and Standards, ISO-WG1 N 475 R, 1999
- [13] ISO/TC22/SC12/WG1: Road Vehicles – Child Restraint Systems – Side Impact Test Method, N571 ISO/WD 14646 11/2001
- [14] JAKOB, B.: Untersuchungen zur geometrischen Position von KRS in Pkw beim Seitenaufprall, Essener Tagung Kollisionsschutz im Straßenverkehr, Essen, November 1997
- [15] KAMRÉN, B., KULLGREN, A.: Side Protection and Child Restraints – Accident Data and Laboratory Test including New Test Methods, 13th ESV Conference, Paris, 1991
- [16] KAUFMANN, S.: Konstruktion und Inbetriebnahme einer Testvorrichtung für Kinderschutzsysteme beim Seitenaufprall, Studienarbeit Nr. 2/01, Fachgebiet Kraftfahrzeuge, TU Berlin, November 2001
- [17] KELLY, P., BROWN, J.: Child Restraint Performance in Side Impacts with and without Rigid Attachments, International Task Force on Child Restraint Systems Report, Lyon, September 1994
- [18] KELLY, P.; GRIFFITHS, M.: Child Restraint Evaluation Program, 15th ESV Conference, Melbourne, 1996
- [19] KRABEL, G.: Ein rechnerisches Schädel-Hirn-Modell zur Untersuchung dynamischer Belastungen des Kopfes, Schriftenreihe B, Fachgebiet Kraftfahrzeuge, TU Berlin, 1998
- [20] KRAMER, F.: Passive Sicherheit von Kraftfahrzeugen, ATZ/MTZ-Fachbuch, Vieweg Verlag, Wiesbaden, 1998
- [21] LANGWIEDER, K., HELL, W., LOWNE, R., HUIJSKENS, C. G.: „Side Impact to Children in Cars“ Experience from International Accident Analysis and Safety Tests, 15th ESV Conference, Melbourne, Australien, Mai 1996
- [22] LANGWIEDER, K., HELL, W., WILLSON, H.: „Performance of Child Restraint Systems in Real-Life Lateral Collisions“, 40th STAPP Car Crash Conference, Albuquerque, November 1996
- [23] LANGWIEDER, K., HUMMEL, T.: „Children in Cars“, Their Injury Risks and the Influence of Child Protection Systems, 12th ESV Conference, Göteborg, Schweden, Mai-Juni 1989
- [24] LANGWIEDER, K., HUMMEL, T.: „New Aspects for Optimizing Child Restraint Systems“, Experiences from Accidents, Trolley Tests and Interviews, 13th ESV Conference, Paris, November 1991
- [25] LANGWIEDER, K., STADLER, P., HUMMEL, Th., FASTENMEIER, W., FINKBEINER, F.: Verbesserung des Schutzes von Kindern in Pkw,

- BASSt-Bericht, Heft M73, Bergisch Gladbach, 1997
- [26] LESIRE, Ph., GRANT, R., HUMMEL, Th.: The CREST Project Accident Database, 17th ESV-Conference, Amsterdam, 2001
- [27] LOWNE, R., ROBERTS, A.: Report on Full Scale Side Impact Tests with ISOFIX and Conventional Child Restraints, TRL, Great Britain, 1993
- [28] MERTZ, H. J., PRASAD, P.: Improved Neck Injury Risk Curves for Tension and Extension Moment Measurements of Crash Dummies, 44th STAPP-Conference, Atlanta, 2000
- [29] MERTZ, H. J., PRASAD, P., NUSHOLTZ, G.: Head Injury Risk Assessment for Forehead Impacts, SAE-Paper Nr. 960099, 1999
- [30] MILTNER, E.: Injury Criteria in Real and Simulated Side Collisions, 14th ESV Conference, München, 1994
- [31] NETT, R., KAUFMANN, S., SCHINDLER, V.: Testverfahren für KSS beim Seitenaufprall, Zwischenbericht Fachgebiet Kraftfahrzeuge, TU Berlin (BASSt), 2/2001
- [32] NETT, R., SCHINDLER, V.: Aktuelle Forschungsergebnisse zur Kindersicherheit im Pkw, VDI-Berichte 1637, Düsseldorf, 2001
- [33] Öko-Test: Zeitschrift Ökotest 9/1997, 4/2000, 6/2001, Sonderheft 25, 1998, Öko-Test-Verlag GmbH, Frankfurt am Main, 1997-2001
- [34] PANTON, R., LOWNE, R.: Development of a Sled Side Impact Test for CRS, 16th ESV Conference, Windsor, 1998
- [35] ROY, A. P.; HILL, K. J.: The Performance of Child Restraint Systems in Side Impacts, 12th ESV Conference, Göteborg, 1989
- [36] SEIFFERT, U.: Fahrzeugsicherheit Personenkraftwagen, VDI-Verlag GmbH, Düsseldorf, 1992
- [37] Side Impact Testings at Folksam: General Report FOLKSAM, August 1995
- [38] Statistisches Bundesamt: Fachserie 8 Verkehr, Reihe 7 Verkehrsunfälle, Wiesbaden, 1997-2001
- [39] Stiftung Warentest: Zeitschrift Stiftung Warentest 7/2000, 7/2001, 6/2002, Stiftung Warentest Verlag, Berlin, 2000 – 2002
- [40] STÜRTZ, G.: Das Kind im Verkehrsunfall: Biomechanik, Anforderungen an die äußere und innere Sicherheit von Kraftwagen, Fortschrittsbericht Reihe 17 Nr. 8, VDI Verlag GmbH, Düsseldorf, 1981
- [41] TROSEILLE, X.: Synthesis Report CREST, EC-Project SMT4-CT95-2019, Brussels, 2001
- [42] TROSEILLE, X., CASSAN, F., SCHROOTEN, M.: Child Restraint Systems in Cars – CREST Results, 17th ESV-Conference, Amsterdam, 2001

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 Antriebschlupf-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 Notausstiegsystems 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

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

