

medizin

Wirksamkeit von Kopfstützen in Kraftfahrzeugen

medizin

Wirksamkeit von Kopfstützen in Kraftfahrzeugen

D. ADOMEIT, H. APPEL, VIET VUHAN

Institut für Landverkehrsmittel
Technische Universität Berlin

Literaturstudie im Auftrag der
Kommission der Europäischen Gemeinschaften
Dienststelle für Umweltfragen und Verbraucherschutz

Veröffentlicht durch
KOMMISSION DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN
Generaldirektion Wissenschaftliche und technische
Information und Informationsmanagement
Bâtiment Jean Monnet
LUXEMBOURG

HINWEIS

Weder die Kommission der Europäischen Gemeinschaften noch Personen, die im Namen dieser Kommission handeln, sind für die etwaige Verwendung der nachstehenden Informationen verantwortlich

Bibliographische Daten befinden sich am Ende der Veröffentlichung

© EGKS-EWG-EAG, Brüssel-Luxemburg, 1978

Printed in Belgium

ISBN 92-825-0623-1

Katalognummer: CD-NJ-78-001-DE-C

INHALTSVERZEICHNIS

- 1.0 Zusammenstellung von gesetzlichen Vorschriften über Kopfstützen
- 2.0 Verletzungsmechanik, biomechanische Grenzwerte
 - 2.0.1 Allgemeine Grundlagen/Systematik
 - 2.0.2 Biomechanische Grenzwerte
- 2.1 Wirkung der Kopfstütze beim Heckaufprall
- 2.2 Wirkung von Kopfstützen für angeschnallte Frontinsassen beim Frontalaufprall
- 2.3 Kopfstützenwirkung auf den nichtangeschnallten hinteren Insassen beim Frontalaufprall
- 2.4 Wirkung der Kopfstütze beim Frontalaufprall, Einwirkung des nichtangeschnallten Fondinsassen auf den Frontinsassen (angeschnallt)
- 3.0 Unfall- und Verletzungsstatistiken zur möglichen und tatsächlichen Wirkung von KSt-Sitz-Systemen bei verschiedenen Unfallbedingungen
- 4.0 Ergebnisse bisher durchgeführter simulierter Aufprallversuche mit Nachrüstkopfstützen
- 5.0 Derzeit angebotene Kopfstützen
- 6.0 Vergleich von KSt-Sitz-Systemen mit anderen Sicherheitsmaßnahmen anhand von Nutzen/Kosten-Betrachtungen

BILDERVERZEICHNIS

- Bild 1.1 Statische Prüfung nach FMVSS 202 bzw. ECE 25
Bild 1.2 Gesetzliche Anforderungen an Fahrzeugsitze und
 Kopfstützen
- Bild 2.1 Prinzip der Kopf-Thorax-Relativbewegungen
Bild 2.2 Prinzip der Kopf-HWS-Beanspruchungen bei einer
 Rumpfbeschleunigung
Bild 2.3 Kritische Belastungsgrößen bei reiner Schleu-
 derbewegung (Typ 1) nach Rumpfbeschleunigung
Bild 2.4 Kritische Belastungsgrößen nach Schleuderbewe-
 gung mit Kopfaufprall
Bild 2.5 Kritische Belastungsgrößen nach Schleuderbewe-
 gung mit HWS-Kontakt
Bild 2.6 Wahrscheinlichkeit für mäßige Gehirnerschütte-
 rungen in Abhängigkeit von Zeitdauer und Verzö-
 gerung
Bild 2.7 Phasen der Retroflexion des Halses
Bild 2.8 Anteflexions-HWS-Verletzungen bei extremen
 Biege winkeln und -momenten
Bild 2.9 Prinzip des Kopf-HWS-Bewegungsablaufs beim
 Frontalaufprall eines angegurteten Insassen
Bild 2.10 Fondinsasse beim Aufprall auf Frontsitz nach
 Frontalaufprall
- Bild 4.1 Ergebnisse von simulierten Heckaufprallversu-
 chen mit Nachrüstkopfstützen
- Bild 5.1 Typ 1
Bild 5.2 Typ 2
Bild 5.3 Typ 3
Bild 5.4 Typ 4
Bild 5.5 Typ 5
Bild 5.6 Merkmale der Kopfstützentypen

- Bild 6.1A Anteil % der Kollisionsarten am Unfallgeschehen mit Personenschaden
- Bild 6.1B Anteil % der Kollisionsarten am Unfallgeschehen mit Personenschaden
- Bild 6.2 Anteil % der Leichtverletzten bei verschiedenen Kollisionsarten
- Bild 6.3 Anteil % der Schwerverletzten bei verschiedenen Kollisionsarten
- Bild 6.4 Anteil % der tödlich Verletzten bei verschiedenen Kollisionsarten
- Bild 6.5A Risikofaktoren für Verletzungen bei verschiedenen Kollisionsarten
- Bild 6.5B Risikofaktoren für Verletzungen bei verschiedenen Kollisionsarten
- Bild 6.6 Verringerung % des Risikos für HWS-Verletzungen bei heckgestoßenen PKW mit Kopfstützen
- Bild 6.7 Einzelverletzungen % des nichtangegurteten Fahrers nach Langwieder [6] bei den drei Grundkollisionsarten
- Bild 6.8 Verletzte PKW-Insassen/Jahr in der BRD nach Verletzungsschwere
- Bild 6.9 Verletzte/Jahr in heckgestoßenen PKW (BRD gesamt)
- Bild 6.10 Vermeidbare Verletzungen/Jahr bei 100% richtig eingestellten Kopfstützen (BRD, PKW mit Heckbeschädigung)
- Bild 6.11 PKW und Kombi - Bestand und Neuzulassungen in der BRD
- Bild 6.12 Nutzen/Kosten-Faktoren von Maßnahmen der aktiven Sicherheit und Sicherheit nach dem Unfall
- Bild 6.13A Nutzen/Kosten-Faktoren von Maßnahmen der passiven Sicherheit
- Bild 6.13B Nutzen/Kosten-Faktoren von Maßnahmen der passiven Sicherheit

KAPITEL 1

1.0 ZUSAMMENSTELLUNG VON GESETZLICHEN VORSCHRIFTEN ÜBER KOPFSTÜTZEN

Zur Erläuterung heute bereits existierender and angewendeter gesetzlicher Vorschriften über Anforderungen an die Konstruktion oder Funktion von Kopfstützen muß ausgegangen werden vom Basiselement, dem Sitz bzw. der Sitzlehne. Der Sitz mit Unterbau und Struktur bildet die Voraussetzung für die Funktion der Kopfstütze: in horizontaler Richtung Verzögerungskräfte aufzubauen und in die Struktur des Sitzes einzuleiten.

In den USA findet seit dem 1.1.1972 der Federal Motor Vehicle Safety Standard (FMVSS) 207 für Fahrzeugsitze Anwendung. Später folgte die Europäische Wirtschaftsgemeinschaft mit dem ECE-Reglement 17, das sich stark am FMVSS 207 orientierte. Im Folgenden nur die für die KSt-Problematik relevanten Hauptforderungen (s. Bild 1.1 und 1.2):

- I. Nach FMVSS 207 muß die Sitzverankerung bei horizontaler Sitzmassenkraftbelastung von $\pm 20 g$ standhalten. Nach ECE 17 existiert eine analoge Forderung, wobei statisch wie dynamisch geprüft werden kann.

- II. FMVSS 207 wie auch ECE 17 fordern eine Mindestfestigkeit des Sitzlehnenbeschlages, jedoch unterschiedliche Werte:
FMVSS 207: $M_{\min} = 38 \text{ mdaN} \quad (380 \text{ Nm})$
ECE 17 : $M_{\min} = 53 \text{ mdaN} \quad (530 \text{ Nm})$
gemessen als Moment um den Sitzbezugspunkt , statisch
In Richtung rückwärts.

Die Sitzfestigkeitswerte bilden die Basis für KSt-Regelungen, die im FMVSS 202 bzw. im ECE Reglement 25 festgelegt wurden.

Auch hier gibt es Parallelen:

In beiden Vorschriften wird gemäß Bild 1.1 ein statischer Biege- und Verformungsnachweis verlangt: Bei einem Moment von 380 Nm um den Sitzbezugspunkt H darf sich die KSt-Vorderfläche nicht mehr als 102 mm aus der neutralen Position verschieben.

Im FMVSS 202 besteht alternativ die Möglichkeit, dynamisch zu testen. Bei einem derartigen Test darf die maximale Winkelstellung zwischen Kopfbezugslinie und Rumpfbezugslinie bei einem 95% Mann-Dummy 45° nicht überschreiten, wenn der Sitz horizontal vorwärts mit einem ca. 8 g-Halbsinus-Puls beschleunigt wird.

Beide obigen Forderungen zielen auf eine Begrenzung der Biege- und Scherbelastungen der Halswirbelsäule (HWS).

Nur im ECE Reglement 25 ist auch eine Mindestforderung hinsichtlich der Energieabsorptionsfähigkeit der Kopfstützenstruktur beim Kopfaufprall enthalten: Das Reglement schreibt im Prinzip vor, daß ein kopfähnlicher starrer Kugelprüfkörper mit 165 mm \varnothing bei einem 24,1 km/h-Aufprall auf die Kopfstütze unter Einhaltung der oben erläuterten Grundbedingung eine Verzögerung von nicht mehr als 80 g über eine Dauer von nicht mehr als 3 ms erfährt. Diese Forderung hat zum Ziel, zu hohe resultierende Kopfbeschleunigungen zu vermeiden.

Wertung: In der Tendenz gehen die Anforderungen an Fahrzeugsitze und Kopfstützen in die richtige Richtung. Die Grenzwerte und der Umfang der Forderungen wird im Folgenden danach zu untersuchen sein, ob sie alle notwendigen konstruktiven und funktionellen Eigenarten von Kopfstützen abdecken.

Die genannten Regelungen finden z.Z. ausschließlich bei KSt in Erstausrüstung, also bei KSt-Integration in die Serien-Fahrzeugsitze Anwendung.

Insbesondere das ECE Reglement 25 mit seinem dynamischen Energieabsorptionstest kann z.Z. von keiner uns bekannten Nachrüstkopfstütze erfüllt werden.

KAPITEL 2

2.0 VERLETZUNGSMECHANIK, BIOMECHANISCHE GRENZWERTE

2.0.1 Allgemeine Grundlagen/Systematik

Die verschiedenen Belastungsarten des Systems

Kopf-Halswirbelsäule (HWS)-Thorax

lassen sich aus den Grundstellungen bzw. -bewegungen allgemein herleiten und beschreiben: Bild 2.1 zeigt die neutrale, unbelastete Ausgangsposition von Kopf-HWS-Thorax, die Vorwärtsdrehbewegung (Anteflexion) und die Rückwärtsdrehbewegung (Retroflexion). Um derartige Relativbewegungen handelt es sich im Prinzip bei den verschiedenen unfallbedingten Belastungsarten in Kraftfahrzeugen.

Betrachtet man den Belastungsablauf ohne Hochachsenrotation, muß man stets zwei Grundtypen der Belastung unterscheiden:

Typ I: Belastungen durch reine Schleuderbewegungen des Kopf-HWS-Thorax-Systems

Typ II: Belastungen durch direkten Kopf- oder HWS-Kontakt mit Fahrzeug-Innenraumteilen.

Diese Belastungstypen können in reiner Form, meist jedoch - wie im Folgenden erläutert - in Kombination miteinander auftreten.

Zur Bewertung der Belastungsschwere und der Verletzungsmechanik werden mit Bild 2.2 für beide Belastungstypen I und II Beanspruchungsgrößen definiert:

für den Kopf:

translatorische Beschleunigungen (a), bzw. Trägheitskräfte
($F_{KTr\ddot{a}gh.}$)

rotatorische Beschleunigungen (α), bzw. Trägheitsmomente
($M_{KTr\ddot{a}gh.}$)

direkte Krafteinleitung in den Schädel (F_{DK})

für die HWS:

Biegemomente (M_B)

Normalkräfte (F_N)

Scherkräfte (F_S)

direkte Krafteinleitung in die HWS (F_{DHWS})

Zur Erläuterung dienen im Folgenden exemplarisch 3 Konstellationen zum Belastungstyp I bzw. Belastungstyp I kombiniert mit II mit den zugehörigen Belastungsgrößen. Auf die jeweils typischen kritischen Belastungsgrößen wird hingewiesen:

Bild 2.3 stellt den Typ I, eine reine Kopf-HWS-Schleuderbelastung dar, bewirkt durch die induzierte Rumpfbeschleunigung $a_{ind.}$. Im wesentlichen treten ohne unmittelbare Kräfteeinwirkungen alle Belastungsgrößen nach Bild 2.2 auf. Da der Kopf (nur durch die Koppelkräfte der HWS beeinflusst) große Relativbewegungen zum Thorax ausführen kann, sind (abhängig von $a_{ind.}$) die Kopfbeschleunigungen meist unkritisch.

Dagegen treten bei Schleuderbelastungen erhebliche HWS-Beanspruchungen auf. Als kritisch sind dabei die Scherkräfte F_S auf die HWS, aber nach extremen Biegewinkeln (Wirbelanschlag) auch die aus der Biegebeanspruchung resultierenden Normalkräfte F_N anzusehen (siehe 2.0.2).

Bild 2.4 erläutert eine Konstellation eines aus Typ I und Typ II kombinierten Belastungsfalles, bei dem die direkte Krafteinleitung in den Kopf erfolgt.

Bis zum Kopfaufprall auf das Hindernis kann der Belastungsablauf als reine Schleuderbewegung angesehen werden. Setzt man kleine HWS-Biegewinkel voraus, kann dabei zunächst die oben erläuterte Scherbelastung F_S kritische Werte annehmen. Mit dem Kopfaufprall ergibt sich je nach Krafteinleitungsrichtungen in den Schädel eine Biegeentlastung im oberen Teil der HWS; die in HWS-Richtung (F_N -Richtung) resultierende Komponente ($F_{N(DK)}$) der direkten Krafteinwirkung (F_{DK}) kann jedoch zu einer kritischen Überhöhung der Normalkräfte F_N führen. Der Kopf schließlich wird durch eine "harte" direkte Krafteinleitung F_{DK} u.U. kritische Beschleunigungswerte $a_{Kres.}$ erreichen; der Schädel wird zusätzlich mechanisch hoch beansprucht.

Tritt eine direkte Krafteinwirkung nach und während des Schleudervorganges an der HWS auf, ergibt sich die Konstellation nach Bild 2.5, also wiederum Typ I kombiniert mit Typ II.

Im Prinzip sind alle Belastungsgrößen analog zum Typ I nach Bild 2.3 kritisch. Im Unterschied zur freien Schleuderbewegung tritt hier jedoch die kritische Scherbelastung F_S oberhalb der direkten Krafteinleitung (F_{DHWS}) auf. Als Folge der Verkürzung der wirksamen HWS bis zum Schädel kann eine peitschenschlagartige Verstärkung des Biegemomentes M_B mit den daraus resultierenden Normalkräften F_N die Folge sein. Auch kann die rotatorische Beschleunigung des Kopfes größere Werte als im Fall von Belastungstyp I erreichen. Schließlich muß auf die HWS-Gefährdung durch die direkte Krafteinleitung F_{DHWS} auf den betroffenen Wirbelkörper hingewiesen werden.

2.0.2 Biomechanische Grenzwerte

Aus den Belastungsfällen der Typen I und II lassen sich die hoch beanspruchten Stellen des Kopf-HWS-Thorax-Systems herleiten.

Unmittelbare Auswirkungen haben die dargestellten Belastungsfälle auf Kopf und HWS.

Schleuderbewegungen des Kopfes oder Kopfanprall (an die KSt oder andere Innenraumteile) führen zu resultierenden Kopfbeschleunigungen. Ein Kopfanprall führt zusätzlich zu mechanischen Belastungen (Flächenpressung und Verformung) des Schädels.

Zu hohe resultierende Kopfbeschleunigungen allein gefährden das Gehirn und die im Schädel verlaufenden Gefäße, weniger die Schädelstruktur. Bis heute gibt es aus der Biomechanik keine gesicherten Grenzwerte für maximal erträgliche Kopfbeschleunigungen.

Dennoch sind - auch ohne Nachweis durch die Biomechanik - in einigen Standards Grenzbelastungskriterien für den Kopf eingeführt. So wird in ECE 25, Konstruktions- und Prüfvorschriften für KSt, ein Kriterium für die Energieabsorptionsfähigkeit der Kopfstütze definiert. Ziel dieses einfachen Kopfbelastungskriteriums ist es, bei einem Aufprall des Kopfes mit ca. 24 km/h auf die Kopfstütze die resultierende Kopfbeschleunigung auf 80 g über eine Dauer von nicht mehr als 3 ms zu begrenzen (s. Kapitel 1).

Ferner existiert im USamerikanischen FMVSS 208 ein Standard zur Begrenzung der Insassenbelastung beim frontalen 30 mph-Wandaufprall, ein Verletzungskriterium für den Kopf, das "Head Injury Criterion" (HIC), definiert als

$$HIC = \left[\frac{1}{(T_1 - T_2)} \int_{T_1}^{T_2} \frac{a}{g} dt \right]^{2,5} (T_2 - T_1)$$

Der Standard fordert, daß beim Wandaufprall des Fahrzeugs die HIC-Werte während des direkten Kopfkontaktes unter dem Wert 1000 bleiben. Aus der Nebenbedingung folgt, daß die freie Anteflexion als unkritisch angesehen wird.

Beide Kriterien gehen von biomechanischen Untersuchungen Patricks [41] aus, wonach eine Verzögerung als um so gefährlicher anzusehen ist, je länger sie dauert, Bild 2.6; allerdings wird dieser Zusammenhang mit dem HIC stärker differenziert.

Auch ohne endgültige Absicherung durch Forschungsergebnisse aus der Biomechanik ist es sinnvoll, derartige Kopfbelastungskriterien zu verwenden. Es sollte jedoch stets überprüft werden, ob diese Belastungskriterien im Laufe der Entwicklung nach den prinzipiell schwer greifbar bleibenden biomechanischen Erkenntnissen unter Berücksichtigung von statistischen Toleranzbreiten oder nach den sich verbessernden technischen Möglichkeiten modifiziert und fortgeschrieben werden sollen.

Die Belastungsverhältnisse im Bereich der HWS stellt am Beispiel einer reinen Schleuderbelastung (Typ I) Bild 2.7 [42] dar.

Nach Beginn der Beschleunigung des Oberkörpers durch a_{ind} bewegt sich anfangs der Kopf translatorisch relativ zum Thorax. Die Halswirbel gleiten in dieser Phase aufeinander. Es baut sich zunächst am 7. Halswirbel und dann nach oben durchlaufend bis zum Schädelgelenk die Scherkraft F_S auf und leitet eine HWS-Verformung in der dargestellten Form ein (Phase b). Die direkte Abhängigkeit der Größe der Scherbelastung F_S vom Verzögerungsanstieg und Verzögerungsniveau, von der Masse des Kopfes und der HWS und von der Kraft-Weg-Charakteristik der Verbindungselemente der Halswirbel untereinander ist hier deutlich.

Nach Clemens und Burow [43, 44] sollen diese Scherkräfte während der anfänglichen Translation von entscheidendem Einfluß auf HWS-Verletzungen und Folgeverletzungen sein.

Portnoy u.a. [45] sehen die nach der Translation folgende Phase der Flexion c) und d) (nach Bild 2.7: Retroflexion) als Hauptursache für HWS-Verletzungen an. Dabei gehen sie wie Mertz und Patrick [46] von extremen Biegewinkeln aus, unter denen die Halswirbelkörper auf der Kompressionsseite anliegen und die Bänder auf der Extensionsseite des Halses stark überdehnt werden (Phase d). Nach Portnoy führt dieses Kompressions-Extensions-Kräftepaar zu Arten von HWS-Verletzungen, wie in Bild 2.8 dargestellt.

Aus keiner der biomechanischen Studien sind Grenzwerte für Scherbelastungen oder Biegebelastungen der HWS bekannt. Es wird auch aufgrund der Komplexität des Vorganges, der zeitlichen Folge und zeitlichen Überlagerung von Scher- und Biegebeanspruchungen kaum möglich sein, ein Belastungskriterium zu definieren.

Dennoch zeigen die vorliegenden Forschungsergebnisse (Patrick [46] Möglichkeiten einer pragmatischen Lösung auf:

Um die Scherbelastung klein zu halten, ist die Translation des Kopfes relativ zum Thorax zu begrenzen - dies wird erreicht durch einen möglichst geringen Abstand zwischen Kopf und energieabsorbierendem Element (KSt) in neutraler Position.

Zur Reduzierung und Begrenzung der HWS-Biegebelastung müssen extreme Biegewinkel vermieden werden. Dies wird möglich, wenn die Verformungseigenschaften der Kopfstütze und der Sitzrückenlehne aufeinander abgestimmt werden [42].

2.1 WIRKUNG DER KST BEIM HECKAUFPRALL

Für den Heckaufprall können die drei Konstellationen nach Bild 2.3, 2.4 und 2.5 als beispielhaft herangezogen werden. Bild 2.3 stellt dabei den Bewegungs- und Belastungsablauf für den Insas-

sen ohne Kopfrückhaltesystem dar, eine reine Schleuderbelastung Typ I mit den schon erläuterten hohen Belastungen der HWS.

Bild 2.4 macht das Prinzip des Bewegungsablaufes für Kopf und HWS bei der Verwendung einer Kopfstütze deutlich. Unter Berücksichtigung von 2.0.2 wird an dieser Darstellung 2.4 klar, welche Einstellbedingungen für eine optimale Kopfstützenwirkung notwendig sind:

Die direkte Rückhaltekräfteinleitung der Kopfstütze (F_{DK}) muß in Kopfschwerpunktshöhe in tangentialer Richtung zur Kopfdrehbewegung erfolgen. Dadurch wird die zusätzliche Normalkraft F_{DKN} minimiert.

Zur Vermeidung von Scherkräften und Biegebelastungen der HWS sind Abschnitt 2.0.2 folgend der Abstand Kopf-KSt klein zu halten und die Deformation des energieabsorbierenden Elements auf kleine Biegewinkel wie auch auf kleine resultierende Kopfbeschleunigungen auszulegen (Kapitel 1, ECE 25).

Bild 2.5 erläutert die ungünstigen Belastungsverhältnisse für den Fall einer falsch (zu niedrig) eingestellten Kopfstütze. Da bei einer zu niedrig eingestellten Kopfstütze die Kopfdrehbewegung durch die Oberseite der Kopfstütze beim Aufprall der hinteren Schädelwölbung begrenzt werden kann - jedoch mit daraus resultierenden Reaktionskräften (Zugkräften) in der HWS - kann nicht ohne entsprechende Differenzierung festgestellt werden, ob in einem derartigen Fall die falsch eingestellte KSt größere Belastungen verursacht als der Belastungstyp I ohne KSt. Der Nutzen einer derart falsch eingestellten KSt ist auch für den günstigen Fall sehr gering, im ungünstigen Fall sogar negativ.

2.2 WIRKUNG VON KST FÜR ANGESCHNALLTE FRONTINSASSEN BEIM FRONTALAUFPBALL

Der Bewegungsablauf des angeschnallten Insassen beim Frontalaufprall führt zunächst zu einer hohen Anteflexionsbelastung der HWS während der durch die Rückhaltewirkung des Gurtsystems eingeleiteten Kopf-Translation und -Rotation relativ zum Thorax (Bild 2.9). In der Endphase c) der Vorverlagerung tritt häufig Kontakt zwischen Kopf (Kinn) und Sternum auf. Nach Abbau der Vorverlagerungsenergie wird durch den elastischen Anteil der Kraft-Weg-Charakteristik des Gurtbandes der Thorax und damit Kopf und HWS zurückbeschleunigt.

Bis heute konnten weder biomechanische Untersuchungen noch Einzelfalluntersuchungen von realen Gurtunfällen klären, in welcher Phase - ob während der Anteflexion oder bei der Richtungsumkehr von der Anteflexion zur Retroflexion - HWS-Verletzungen bei gurtgesicherten Insassen erzeugt werden. Einleuchtend ist allerdings, daß bei dieser Verletzungsmechanik eine KSt ohne Einfluß auf das Verletzungsgeschehen ist.

Betrachtet man die im Gurtband gespeicherte Rückprall-Restenergie, so wird erkennbar - und Crashtesterfahrungen belegen dies - daß deren Einfluß nur gering sein kann. Der zu beobachtende Thorax - HWS - Kopf Rückprall auf die Sitzlehnen-KSt-Struktur erfolgt bei den heute verwendeten Gurtbändern mit 12 ... 19% bleibender Dehnung nach ECE 16 bzw. FMVSS 209 mit so geringer Aufprallgeschwindigkeit, daß ein nennenswerter zusätzlicher Nutzen der KSt nicht zu erwarten ist. Für einen möglicherweise nachfolgenden Heckstoß muß allerdings gewährleistet sein, daß die KSt noch positioniert ist.

2.3 KOPFSTÜTZENWIRKUNG AUF DEN NICHTANGESCHNALLTEN HINTEREN INSASSEN BEIM FRONTALAUFPRALL

Der nichtangeschnallte hintere Insasse bewegt sich aus seiner Sitzposition mit zunehmender Relativgeschwindigkeit zum FahrzeugInnenraum von Crashbeginn an translatorisch vorwärts. Auf die Vordersitzlehne trifft er zunächst mit den Knien und danach folgend mit Kopf und Thorax auf die Kopfstütze bzw. die Lehne auf.

Setzt man voraus, daß eine Insassenmasse von ca. 70 kg im Stoßmittelpunkt M (Bild 2.10) auf einer Höhe a von 600 mm über dem Lehnengelenk A an der Sitzlehne angreift, so ergeben sich unter der Voraussetzung eines Gesamtverzögerungsniveaus für den Insassen von nicht mehr als 50 g folgende vom Sitz aufzubringenden Festigkeitswerte:

$$\begin{array}{ll} \text{Verzögerungskraft in M} & F_V = 35.000 \text{ N} \\ \text{Moment um Lehnengelenk} & M_A = 21.000 \text{ Nm} \end{array}$$

Die gesetzlichen Mindestfestigkeitsforderungen für Fahrzeugsitze nach FMVSS 207 (USA) bzw. ECE 17 (siehe Kapitel 1) fordern, daß die Sitzverankerung 20 g Sitzmassenbeschleunigung ertragen soll, d.h. in erster Näherung

$$20 \text{ g Sitz} \hat{=} F_V = \text{ca. } 4000 \text{ N} ;$$

das zu ertragende Biegemoment um den Sitzbezugspunkt (nicht identisch mit dem Lehnengelenk A, jedoch für diese Grobrechnung als gleich angenommen) soll nicht kleiner sein als:

$$\begin{array}{ll} \text{nach FMVSS 207} & M_A = 380 \text{ Nm} \\ \text{bzw.nach ECE 17} & M_A = 530 \text{ Nm} \end{array}$$

Damit ist eine nennenswerte Fondinsassenverzögerung durch die Frontsitzstruktur, also auch durch die KSt nicht zu erreichen.

Die Ausbildung der KSt und der KSt-Verankerung in oder auf der Sitzlehne hat somit lediglich zu garantieren, daß nicht zusätzliche Fondinsassen-Verletzungen durch harte, vorstehende Teile der Konstruktion verursacht werden.

Eine wirksame Rückhaltung von Fondpassagieren (abgesehen von Kindern) dürfte kaum durch den Sitz, sondern nur durch ein entsprechendes Rückhaltesystem zu gewährleisten sein.

2.4 WIRKUNG DER KST BEIM FRONTALAUFPBALL, EINWIRKUNG DES NICHTANGESCHNALLTEN FONDINSASSEN AUF DEN FRONTINSASSEN (ANGESCHNALLT)

Im vorangegangenen Abschnitt 2.3 ist gezeigt worden, daß die Sitzlehne und KSt keine ausreichenden Rückhaltekräfte für den Fondinsassen aufbauen können. Beim Frontalaufprall ist daher in der Regel eine zusätzliche Belastung des Frontinsassen durch die Massenkräfte des Fondinsassen und der betreffenden Sitzstruktur zu erwarten. Man nennt den Vorgang "Overload" [47] und bezieht diese Überbelastung auf den Frontinsassen, da die auf den Frontinsassen einwirkenden Gurtkräfte extrem hoch werden können.

Ein Aufprall des Fondinsassen auf den Frontinsassen erfolgt jedoch selten synchron zum Zeitpunkt der maximalen Gurtkräfte ($\hat{=}$ max. Vorverlagerung des Frontinsassen), so daß sich die Frontinsassenbelastungen nicht zwangsläufig verdoppeln müssen. Die zeitliche Folge des Bewegungsablaufes ist jedoch noch nicht voll geklärt und wird von einer Anzahl zusätzlicher Einflußgrößen abhängen.

Dennoch wird eine KSt in einem solchen Fall von "Overload" für Front- wie Fondinsassen Nutzen bringen können: während ohne KSt folgenschwere Kollisionen der Schädel von Fond- und Frontinsasse nicht zu vermeiden wären, ist eine KSt in der Lage, dies zu verhindern. Dabei gelten die in den vorangegangenen Kapiteln bereits diskutierten Bedingungen:

Die KSt darf nicht durch "harte" Teile zusätzliche Verletzungen erzeugen, sie muß ausreichend energieabsorbierend ohne hohe Kraftspitzen für den auf sie auftreffenden Insassen ausgelegt

sein und darf durch die nach vorn gerichteten Kräfte nicht aus der Verankerung gelöst werden. Für den angeschnallten Fondspassagier kann die Kopfstütze zudem den Kopfaufprall auf die Sitzlehnenoberkante mildern bzw. vermeiden.

KAPITEL 3

3.0 UNFALL- UND VERLETZUNGSSTATISTIKEN ZUR MÖGLICHEN UND TATSÄCHLICHEN WIRKUNG VON KST-SITZ-SYSTEMEN BEI VERSCHIEDENEN UNFALLBEDINGUNGEN

Diese Fragestellung wird eingehend in Kapitel 6 im Zusammenhang mit dem Tabellenteil und der Nutzen/Kosten-Analyse diskutiert. Hier sollen daher nur wenige auffällige Aspekte im voraus angesprochen werden.

Allgemein kann festgestellt werden, daß aus dem statistischen Zahlenmaterial keine zuverlässigen Vergleiche von Unfällen mit bzw. ohne KSt möglich sind. Ursachen und Maßnahmen, um zu Aussagen zu kommen, werden in Kapitel 6 angedeutet.

Einen interessanten Aspekt lieferte Mackay [8], der den möglichen Nutzen der Kopfstütze für den Frontinsassen bei Heckaufprall ins Verhältnis setzt zum Nutzen (Schaden) der KSt für den Fondinsassen:

Vergleicht man (nach Mackay) die absolute Häufigkeit heckgestoßener Fahrzeuge mit 8% [48] und die Anwesenheit von Fondspassagieren mit einer Häufigkeit von 25% bei den mit ca. 55% auftretenden Frontalunfällen, so erkennt man, daß absolut mehr Fondinsassen (14%) mit der KSt "in Berührung kommen" als Frontinsassen (8%). Daher sind präventive Maßnahmen zum Schutz des Fondinsassen vor Schaden durch die KSt (Sicherheitsgurte auf den Fondsitzen) Voraussetzung für einen günstigen absoluten Nutzen/Kosten-Faktor.

Laufende Unfalluntersuchungen werden in den nächsten Jahren weiteres Zahlenmaterial zur Klärung dieser Frage zu liefern haben.

KAPITEL 4

4.0 ERGEBNISSE BISHER DURCHGEFÜHRTER SIMULIRTER AUFPRALLVERSUCHE MIT NACHRÜSTKOPFSTÜTZEN

Am Institut für Landverkehrsmittel der Technischen Universität Berlin wurden in Firmenaufträgen Heckaufprallversuche zur Untersuchung der Wirkung einzelner KSt-Typen durchgeführt. Einige Ergebnisse solcher Versuche sind in Bild 4.1 exemplarisch zusammengefaßt.

In den ersten Spalten der Tabelle sind die Versuchsbedingungen abzulesen. Die jeweils aufgegebene maximale Schlittenbeschleunigung war der Spitzenwert eines angenähert halbsinusförmigen Beschleunigungspulses, der die angegebene Geschwindigkeitsdifferenz ΔV vor und nach dem Stoß erzeugte.

Die zu testende Nachrüstkopfstütze war mit ihrem serienmäßigen Unterbau auf einem Serienfahrzeugsitz befestigt. Die Testpuppe war ein 50%-Mann-Dummy mit definierten Kopf- und Rumpfbezugslinien, deren Relativwinkelverlauf von einem High-Speed-Film mit ca. 1000 B/s ausgewertet wurde. Gemessen bzw. aus Messungen berechnet wurden ferner die resultierende Kopfbeschleunigung a_{Kres} , der maximale Kopfdrehwinkel α_K , vereinzelt die resultierende Brustbeschleunigung des Dummy (nicht in die Tabelle aufgenommen), die Schlittenbeschleunigung, die Schlittengeschwindigkeit.

Trotz deutlich höherer Schlittenbeschleunigungen von etwa 16 - 23 g statt 8 g nach FMVSS 202 wurden als Bewertungskriterien die Grenzbedingungen nach FMVSS 202 bzw. ECE 25, d.h.

$$\begin{array}{ll} \text{Kopfdrehwinkel} & \alpha_{K\max} = 45^\circ \\ \text{Kopfbeschleunigung} & a_{Kres\max} = 80 \text{ g/3 ms} \end{array}$$

herangezogen.

Ferner wurde die konstruktive Ausführung im Hinblick auf zusätzliche Verletzungsursachen durch vorstehende oder zu wenig bzw. zu weich gepolsterte Kanten und Strukturen untersucht. Da dieser letztere Aspekt ausführlicher an Beispielen ausgeführter KSt-Grundtypen in Kapitel 5 angesprochen wird, erfolgt dazu im Abschluß dieses Kapitels lediglich eine Auflistung.

Die in Bild 4.1 aufgelisteten Test-KSt entsprechen den in Kapitel 5 beschriebenen Grundtypen. Sie sind in Spalte 1 von Bild 4.1 ausgewiesen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß in der Tendenz die seinerzeit getesteten KSt "zu weich" waren. Das begründet, daß die gemessenen resultierenden Kopfbeschleunigungen deutlich unter dem geforderten Maximum (ECE 25) lagen. Die zum Teil weit oberhalb biomechanisch wie gesetzlich zulässiger HWS-Biegewinkel liegenden Kopfdrehwinkel zeigen, daß diese niedrigen Kopfverzögerungen mit extremen HWS-Belastungen erkaufte wurden, hauptsächlich Biegebelastungen. Bei den zu weichen KSt-Grundkonstruktionen (insbesondere den Typen 1, 3 und 5) muß außerdem eine hohe HWS-Scherbelastung angenommen werden, da große translatorische Relativbewegungen zwischen Kopf und Thorax vor der Kopfdrehung auftreten (siehe Kapitel 2).

An konstruktiven Mängeln wurden zudem beobachtet:

- Arretierstreben oft zu schwach
- Gefährdung der Fondpassagiere durch harte und scharfe Konstr.-Teile
- Zu kleine Abstützfläche der KSt führt zum Abrutschen des Kopfes, insbesondere bei Schrägstoß
- Bei unverstellbarer KSt u.U. Abstand von Kopf - KSt zu groß.

KAPITEL 5 DERZEIT ANGEBOTENE KOPFSTÜTZEN

KLASSIFIZIERUNG VON NACHRÜSTBAREN KOPFSTÜTZEN:

Zur Zeit sind zwei prinzipielle technische Lösungen zur KSt-Nachrüstung üblich:

1. die aufsteckbare KSt
2. die angeschnallte KSt

Von den in den Bildern 5.1 bis 5.5 skizzierten fünf Grundtypen sind die Grundtypen 1 - 4 aufsteckbare KSt mit oder ohne Zusatzbefestigungsgurt, der Grundtyp 5 ist eine angeschnallte KSt. Bei den aufsteckbaren KSt wird die Stahlblechkonstruktion der Einspannvorrichtung in der Regel durch eine folienartige Kunstlederverkleidung abgedeckt. Sie können dadurch zu einer zusätzlichen Gefährdung für die Insassen führen. Grundsätzlich soll die KSt zwei Aufgaben erfüllen:

1. HWS-Biegewinkelbegrenzung
2. Energieabsorption bei Kopfaufprall

Besonders wichtig erscheint dabei die Gewährleistung der richtigen Höheneinstellung der KSt und die Einhaltung eines möglichst kleinen Abstandes zwischen Kopf und KSt für die unterschiedlichen Körpergrößen - Bild 5.6.

Aus diesen Forderungen ergeben sich für die einzelnen Typen folgende Probleme:

Typ 1 (Bild 5.1)

- Das Kunststoffspritzteil im Kopfpolster wie die zu weiche Polsterung können nicht ausreichend Energie absorbieren.
- Das Kunststoffspritzteil kann bei Kopfaufprall zersplittern und dadurch scharfe Teile, d.h. zusätzliche Verletzungsquellen verursachen.
- Das Haltegestänge für die Höheneinstellung kann bei Schrägaufprall eine zusätzliche Verletzungsursache für die Front- wie Fondinsassen sein.

Typ 2 (Bild 5.2)

- Die scharfen, nur durch eine dünne weiche Kunststoffabdeckung verkleideten Blechteile stellen eine Gefahr für die Fondinsassen und für die Frontinsassen bei Schrägaufprall dar.
- Das Reibglied und seine Befestigungsvorrichtung liegt zu hoch auf der Lehnenoberseite.

Typ 3 (Bild 5.3)

- Der Rundstahlbügel wie seine Weichschaumpolsterung des Kopfteiltes haben nur geringe Energieabsorptions-Wirkung bei großem Verformungsweg (HWS-Drehwinkel)
- Die Feststelleinrichtungen können sich leicht lockern.
- Die Feststelleinrichtung selbst ist unverkleidet und scharfkantig.

Typ 4 (Bild 5.4)

- Die KSt bietet keinen Schutz für verschiedene Sitz- und Größenkonstellationen, da nicht einstellbar.
- Das Netz im Kopfteil kann nur geringe Energie absorbieren.
- Der Rahmen des Kopfteilts stellt eine mögliche Verletzungsquelle für die Fondinsassen dar.

Typ 5 (Bild 5.5)

- Die KSt ist zu weich und kann daher nur geringe Energie absorbieren; die HWS-Drehwinkel werden zu groß.
- Die ABS-Rückenplatte stellt an ihrer Oberkante für Fondinsassen eine zusätzliche Verletzungsmöglichkeit dar.
- Die KSt kann in nur geringem Maß höhenverstellt werden.

ZUSAMMENFASSUNG:

Alle hier dargestellten Nachrüst-KSt-Typen haben Mängel. Die Mängelliste muß in zwei Arten von Mängeln eingeteilt werden:

- a) Prinzipielle Funktionsmängel (gemessen an der prinzipiellen Aufgabe einer Kopfstütze, s.o.)

- b) Konstruktive Ausführungsmängel, die zu einer von der Hauptfunktion unabhängigen zusätzlichen Gefährdung der Fahrzeuginsassen führen (scharfe Kanten, zu weiche Verkleidungen und Polsterungen und dadurch hohe Flächenpressungen bei Kontakt mit harten Strukturen).

Die Konstruktion der KSt-Befestigung an der Sitzlehne ist bei keinem der skizzierten Typen 1 - 5 in der Lage, ECE-Reglement 25 zu erfüllen. Eine KSt-Belastung durch den Front- bzw. Fondinsassen ist nur möglich, wenn der Frontinsasse mit seinem Rücken die KSt-Einspannung durch Anpresskräfte (z.B. Verzögerungskräfte bei Heckaufprall) unterstützt und damit in der Montagelage fixiert.

Unter diesem Gesichtspunkt muß es zunächst unklar bleiben - unabhängig von den Kosten der Nachrüstkopfstützen -, ob solche KSt Nutzen bringen oder zusätzlichen Schaden verursachen [Mackay], der Nutzen/Kosten-Faktor also positiv oder gar negativ ist.

KAPITEL 6 VERGLEICH VON KST-SITZ-SYSTEMEN MIT ANDEREN SICHERHEITSMASSNAHMEN ANHAND VON NUTZEN/KOSTEN-BETRACHTUNGEN

Die Hauptaufgabe der KSt ist es, Kopf und HWS bei einer Heckkollision vor Verletzungen zu schützen. Untersuchungen haben gezeigt, daß bei der Frontalkollision der Rückprall des Insassen, bedingt durch den elastischen Anteil der F-s-Kennung des Sicherheitsgurtes oder anderer energieabsorbierender Fahrzeuginnenraumteile, keine schweren Kopf-HWS-Belastungen hervorruft, wenn die betreffenden Teile entsprechend ausgelegt sind. Für die Nutzen/Kosten-Betrachtung von KSt sind daher die Daten von Heckkollisionen solange allein ausschlaggebend, wie zur Beeinflussung der Verletzungsschwere von Fondinsassen beim Frontalaufprall entsprechende Untersuchungen fehlen (siehe auch 3.0).

In den Bildern 6.1 bis 6.11 wird der Heckaufprall in den Gesamtzusammenhang der Aufprallarten gestellt und der Nutzen, dargestellt durch vermeidbare Leicht-, Schwer- und tödlich Verletzte, abgeleitet. Der angegebene Nutzen bezieht sich auf das Unfallgeschehen in der BRD.

In den Bildern 6.1A/B werden die Prozentzahlen der Hauptkollisionsarten aus verschiedenen Quellen zusammengestellt. Je nach Untersuchung schwanken die Einzelwerte stark. Von besonderer Bedeutung ist der Anteil der Kollisionsart Heckaufprall mit den Mittelwerten 19,2% ([1] - [11]) bzw. 22,2% ([1] - [23]).

In den Bildern 6.2 - 6.4 sind die Unfallverletzten nach Verletzungsschwere und nach Kollisionsart differenziert, wobei die Verletzungsschwere wie folgt definiert ist:

LV = AIS 1 - 2 (leicht verletzt)
SV = AIS 3 - 5 (schwer verletzt)
TV = AIS 6 (tödlich verletzt)

Man erkennt, daß beim Heckaufprall leichte Verletzungen häufiger als schwere auftreten.

Mit den Bildern 6.5A/B wird das Verletzungsrisiko der verschiedenen Kollisionsarten dargestellt. Die Verletzungshäufigkeitswerte je nach Verletzungsschwere aus den Bildern 6.2 - 6.4 werden auf den Mittelwert der Kollisionsart Häufigkeit der Bilder 6.1A/B bezogen. Daraus wird ersichtlich, daß die Verletzungsrisikofaktoren über der Verletzungsschwere bei

1. Frontalkollision sehr hoch und nahezu gleichbleibend sind
2. Seitenkollision eine steigende Tendenz des Risikofaktors mit der Verletzungsschwere zeigen
3. Heckkollision dagegen eine abfallende Tendenz haben, d.h. daß man bei einem Auffahrunfall eher leicht verletzt als tödlich verletzt wird.

Die Frage nach der Wirksamkeit der KSt ist durch das Bild 6.6 beantwortet.

In verschiedenen Untersuchungen hat man festgestellt, daß 70 - 90% der KSt in Ihrer untersten Stellung also falsch Justiert waren [6] [15] [26]. Der Mittelwert der Wirksamkeit liegt dann bei 16,2%. Garrett und Morris [25] haben bei schweren Unfällen eine KSt-Wirksamkeit von nur 6,2% gefunden. Nach unserer Hochrechnung kann die Wirksamkeit bei 100% richtig eingestellter KSt um 54% liegen.

Das Bild 6.7 zeigt die Häufigkeit der Verletzung verschiedener Körperteile bei den verschiedenen Kollisionsarten. Auffallend und erklärlich ist, daß bei Heckkollision in 75% der Fälle HWS-Verletzungen auftreten.

Aus den Bildern 6.2 - 6.4 können wir entnehmen, daß 17,7% der LV, 7,4% der SV und 4,7% der TV Frontinsassen nach einer Heckkollision verletzt sind. Dadurch kommen wir zu der Anzahl der Verletzten Insassen abhängig von der Verletzungsschwere für die Jahre 1973/74 bei Heckkollision. Wir nehmen an, daß sich jeweils 50% der verletzten Insassen in den heckgestoßenen und 50% in den auffahrenden PKW befunden haben. Mit der Untersuchung von Langwieder [6], nach der 87% der Insassen die Vordersitze besetzt haben, wird eine Hochrechnung der absoluten Anzahl der verletzten Frontinsassen bei Heckkollisionen pro Jahr möglich, von der die folgende Nutzen/Kosten-Analyse ausgeht.

Aus den nachvollziehbaren Bildern 6.8 - 6.10 folgt, daß pro Jahr durch eine generelle Ausrüstung von PKW mit Kopfstützen folgende Einsparungen pro Jahr in der BRD möglich sind:

| | |
|-----|-------|
| LV: | 7.772 |
| SV: | 222 |
| TV: | 2 |

Dabei ist die Wirksamkeit der Kopfstützen bei LV anhand der Literaturangaben zu 54% ermittelt worden, bei SV zu 10% und bei TV zu 1% als untere Grenzwerte geschätzt worden.

Nutzen und Kosten werden für ein Jahr berechnet, wobei auf eine Diskontlierung auf einen Stichtag wegen des gleichmäßigen Anfalls von Nutzen und Kosten (Anschaffungs- und Ersatzkosten) verzichtet werden kann.

Nutzen pro Jahr, BRD

Für den monetären Gegenwert von Verletzungen werden die von Niklas [29] angegebenen Werte zugrundegelegt, wobei über einen Zeitraum von fünf Jahren eine Steigerungsrate im ärztlichen Bereich von je 20% angesetzt wird. Es ergibt sich dann:

$$N_{LV} = 120 \times (1 + 0,2)^5 = 300 \text{ DM}$$

$$N_{SV} = 4000 \times (1 + 0,2)^5 = 10000 \text{ DM}$$

$$N_{TV} = 120000 \times (1 + 0,2)^5 = 300000 \text{ DM}$$

Damit folgt als Nutzen pro Jahr:

$$\begin{aligned} N/a &= 300 \times 7772 + 10000 \times 222 + 300000 \times 2 \\ &= 5,15 \text{ Mill DM/a} \end{aligned}$$

Anschaffungskosten pro Jahr bei 2,1 Mill Neuzulassungen und einem Kopfstützenstückpreis von DM 40,--:

$$KA/a = 2,1 \cdot 10^6 \times 2 \times 40 = 168 \text{ Mill DM/a}$$

Ersatzkosten pro Jahr:

$$KE/a = (7772 + 222 + 2) \times 40 = 0,3 \text{ Mill DM/a}$$

Damit ergibt sich für die Einführung von Kopfstützen in der BRD unter alleiniger Berücksichtigung des Heckaufpralls ein Nutzen/Kosten-Faktor von

$$N/K = 0,031$$

Falls in Bild 6.11 als oberer Grenzwert auch bei SV und TV eine Reduktion von 54% angesetzt wird, erhöht sich der Nutzen/Kosten-Faktor auf etwa 0,3.

Der starke Einfluß der geschätzten Reduktionsfaktoren (Faktor 1:10) sollte bei Schlußfolgerungen berücksichtigt werden.

Mit einem N/K-Faktor von 0,03 - 0,3 liegt die gesetzliche Einführung von KSt nach den Bildern 6.12 und 6.13 A/B auf der N/K-Ebene von

- BAB-Beleuchtung
- BAB-Heizung
- Sauberhalten von Scheinwerfern
- Automatische Scheinwerfereinstellung
- Blockierregler
- Air-Bag-Systeme
- zwei Sicherheitsgurte/Fahrzeug mit geringer (< 15%) Anlegequote
- Fußgängerschutz (untere Grenze)

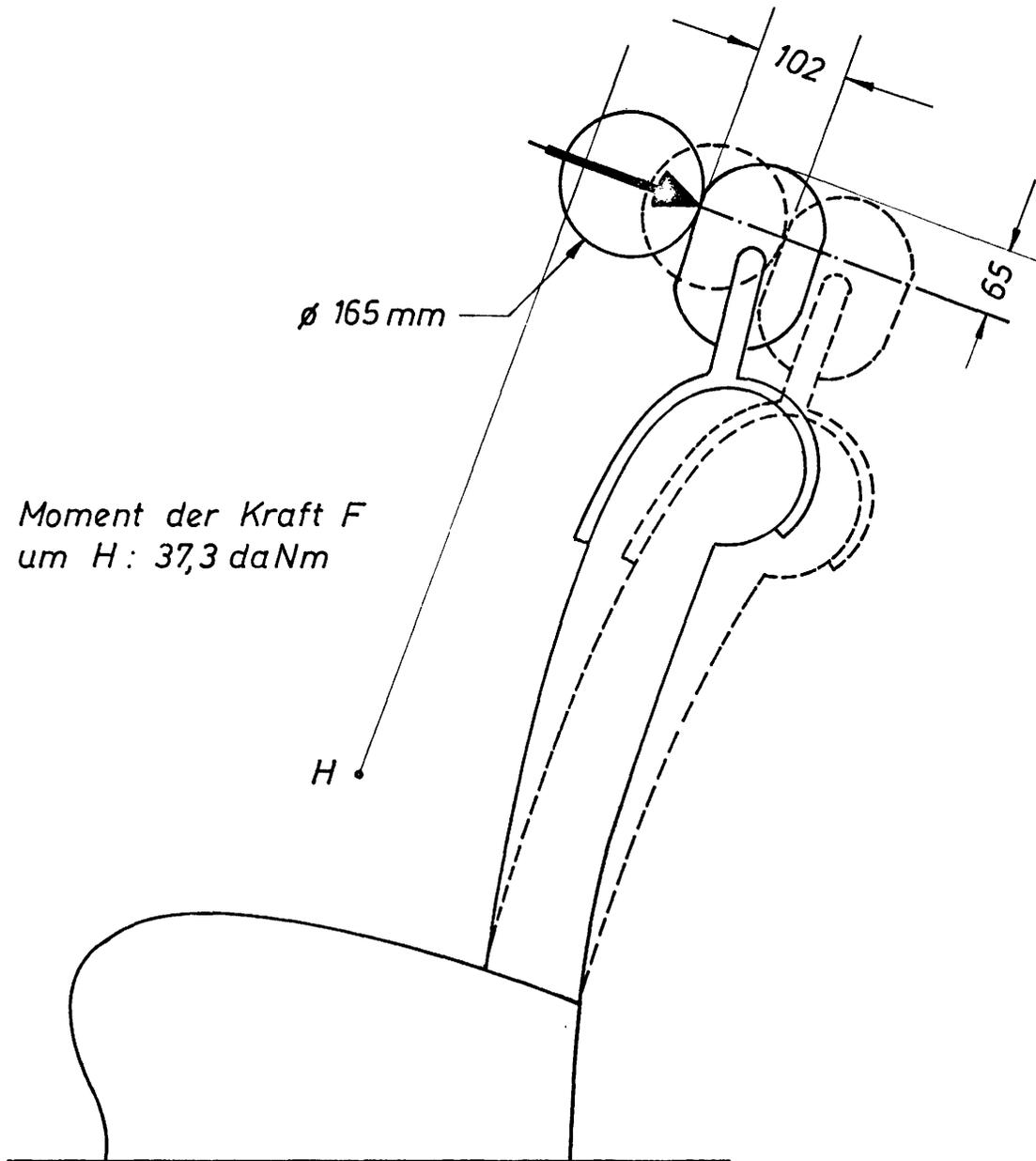
Der Nutzen dürfte sich bei günstiger Auslegung der KSt für die Fondpassagiere im Frontalstoß um einen derzeit schwer abschätzbaren Betrag erhöhen. Eine Verdoppelung der angegebenen N/K-Faktoren scheint nicht ausgeschlossen.

Bei der Auslegung des Systems Kopfstütze-Sitz kann die KSt zu N/K-Faktoren führen, die zwischen 0,1 und 0,5 und damit im Bereich von Sicherheitsmaßnahmen wie Airbags und verbesserte Gurtsysteme liegen. Voraussetzung für einen hohen N/K-Faktor ist eine konsequente Entwicklung von KSt mit den Zielen:

- optimale Einstellbarkeit
- optimale Steifigkeit/Energieabsorptionsfähigkeit
- Aufbau ohne scharfe, harte Teile
- abgestimmte Energieabsorption auch für den Fondinsassen.

Weiterhin muß eine korrekte Handhabung (Einstellung) durch den Benutzer garantiert sein und schließlich sollen die Einflüsse auf die aktive Fahrsicherheit (Sichtbehinderung) durch entsprechende Konstruktion so gering wie möglich gehalten werden.

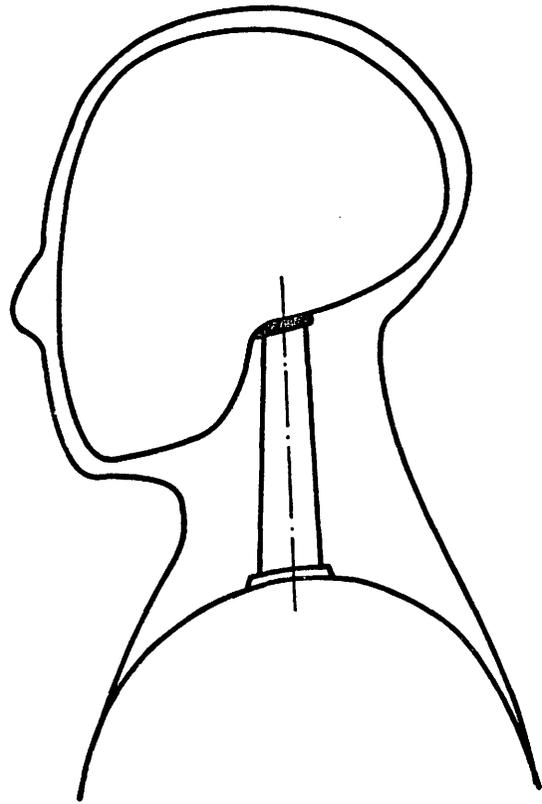
— Ausgangsstellung
- - - Stellung bei Prüfungsende



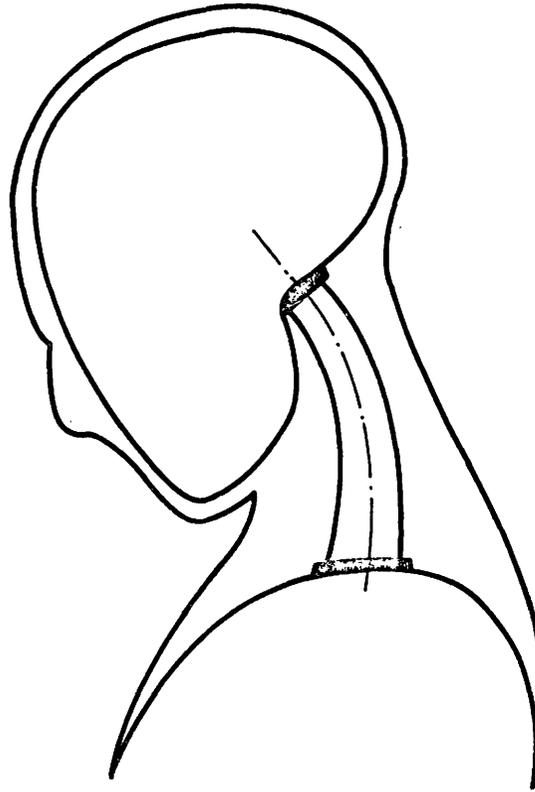
| | |
|--|-----------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Kopfstützen EG - 1 |
| Statische Prüfung nach FMVSS 202 bzw. ECE 25 | Bild 1.1 |

| STANDARD | GRUNDFORDERUNGEN IN DEN STANDARDS FÜR SITZE UND KOPFSTÜTZEN | |
|------------------------------------|--|--|
| USA FMVSS 207 (FZG-SITZE) | 1) STANDFESTIGKEIT DER VERANKERUNG BIS $\pm 20g$ HORIZONTALER SITZBESCHLEUNIGUNG PRÜFUNG: STATISCH ODER DYNAMISCH | 2) STANDFESTIGKEIT DER LEHNENBESCHLÄGE BIS ZU EINEM PRÜFMOMENT UM DEN SITZ- BEZUGSPUNKT VON $M_{RÜCKWÄRTS} = 38 \text{ daNm}$ |
| EUROPA ECE R17 (FZG-SITZE) | 1) WIE FMVSS 207 | 2) WIE FMVSS 207 JEDOCH $M_{RÜCKWÄRTS} = 53 \text{ daNm}$ |
| USA FMVSS 202 (KOPFSTÜTZEN) | 1) MAX. ZULASSIGER WINKEL ZWISCHEN KOPFBEZUGS- LINIE UND RUMPFBEZUGSLINIE EINES 95%-MANN- DUMMY BEI 8g HORIZONTALER RÜCKWÄRTSBESCHLEUNI- GUNG DES SITZES $\alpha = 45^\circ$ PRÜFUNG: DYNAMISCH (ALTERNATIV ZU 2)) | 2) MAX. KS-VERBIEGUNG VON 102 mm BEI EINEM PRÜFMOMENT VON $M_{RÜCKWÄRTS} = 38 \text{ daNm}$ UM DEN SITZBEZUGSPUNKT H PRÜFUNG: STATISCH (ALTERNATIV ZU 1)) (BILD 1.1) |
| EUROPA ECE R25 (KOPFSTÜTZEN) | 1) ENERGIEABSORPTIONSTEST DURCH EINEN 165 mm DURCHMESSER TEST-STAHLKOPF BEI AUFPRALL VON 24,1 KM/H KOPFVERZÖGERUNG $\leq 80g/3 \text{ ms}$ | 2) WIE FMVSS 202 |

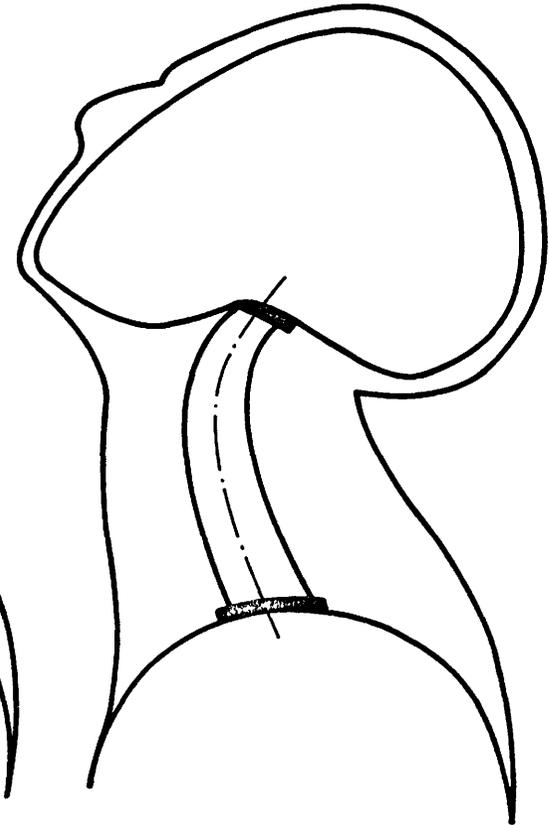
| | | | |
|--|---|-----------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | GESETZLICHE ANFORDERUNGEN AN FAHRZEUGSITZE UND KOPFSTÜTZEN | KOPFSTÜTZEN EG - 1 | BILD 1.2 |
|--|---|-----------------------|-------------|



Neutral

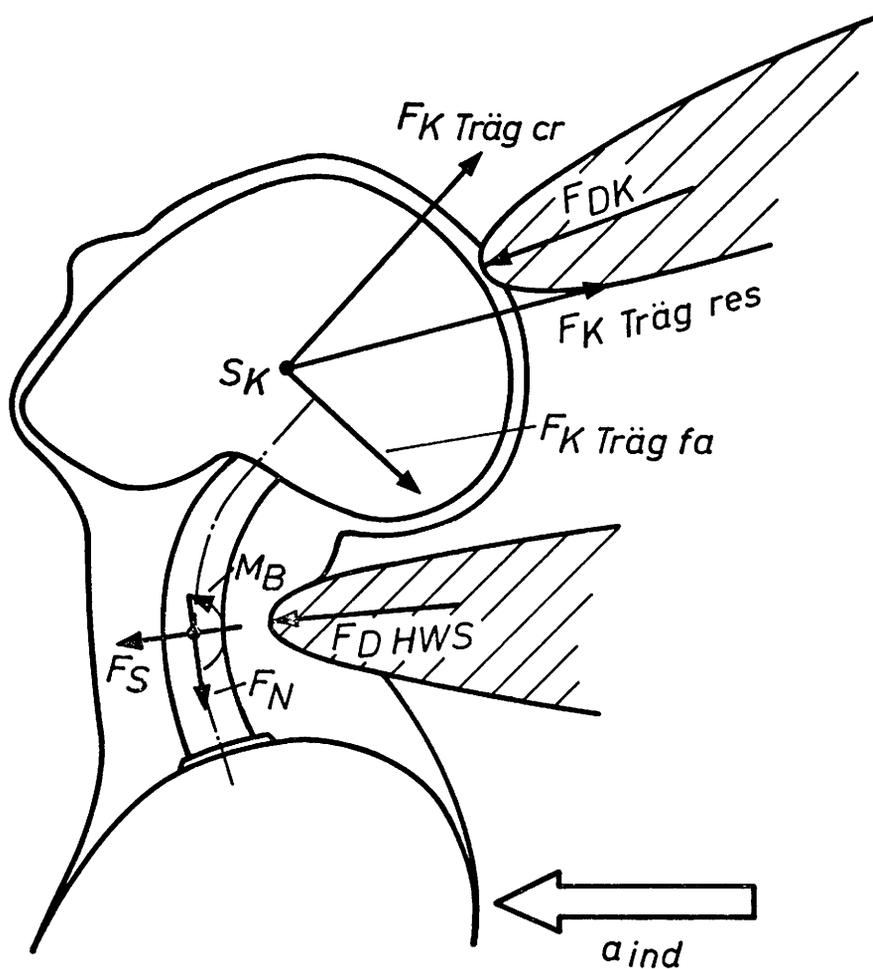


Anteflexion

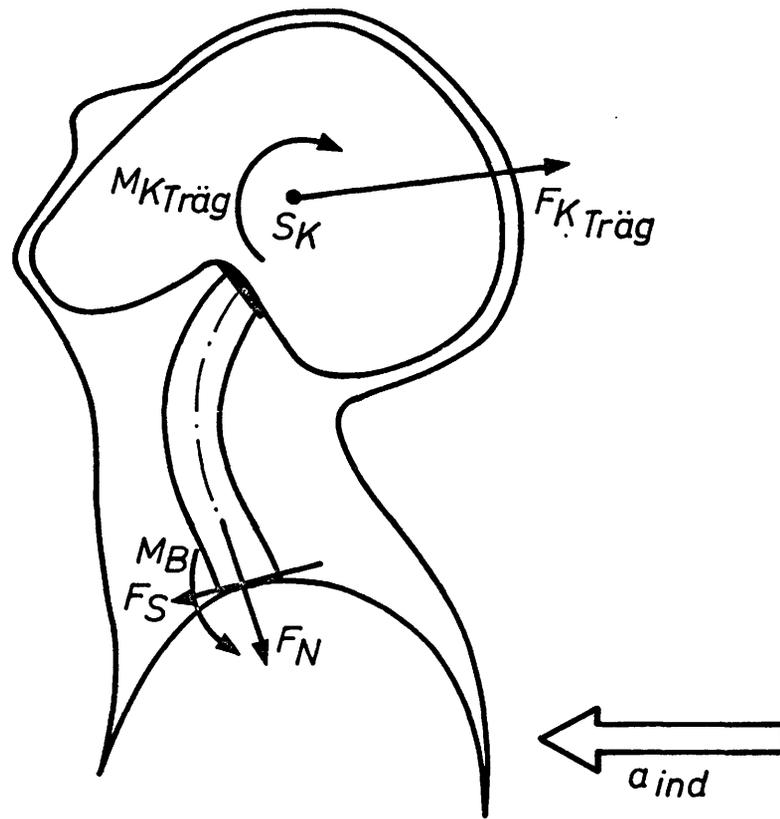


Retroflexion

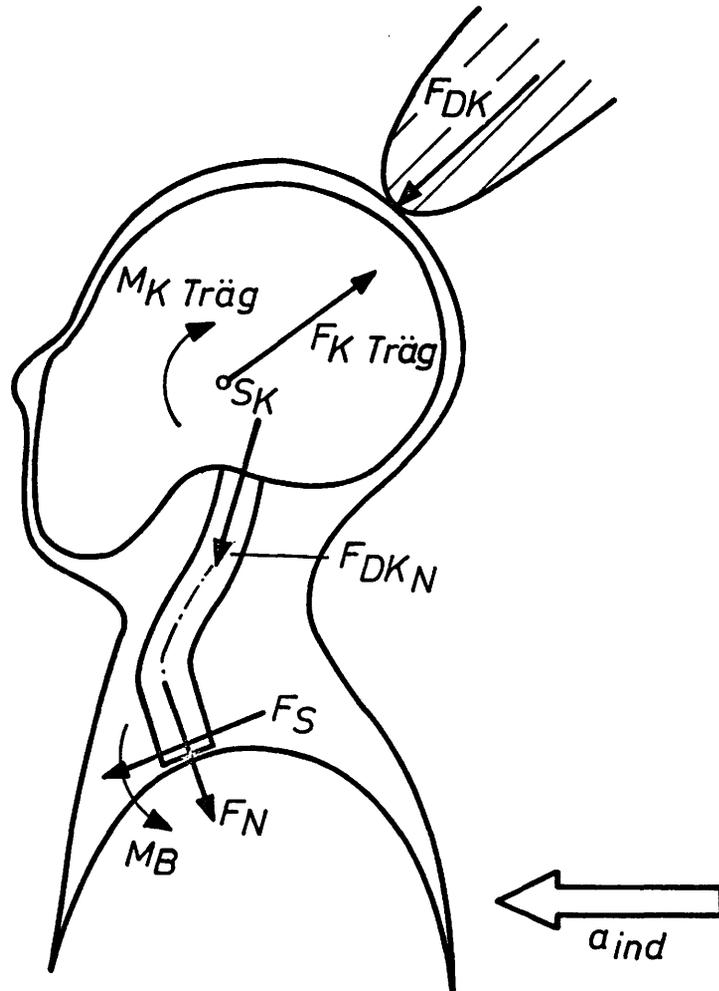
| | | | |
|--|--|--------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | <i>Prinzip der Kopf - Thorax - Relativbewegungen</i> | <i>Kopfstützen</i> | <i>Bild</i> |
| | | <i>EG-1</i> | <i>2.1</i> |



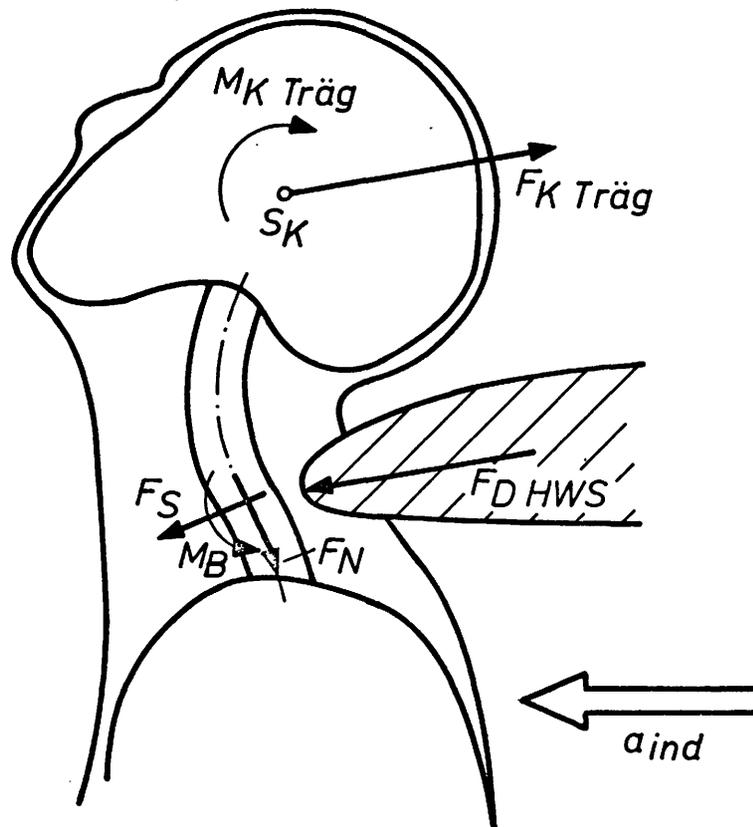
| | |
|---|---------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Kopfstützen EG-1 |
| Prinzip der Kopf-HWS-Beanspruchungen bei einer Rumpfbeschleunigung | Bild |
| | 2.2 |



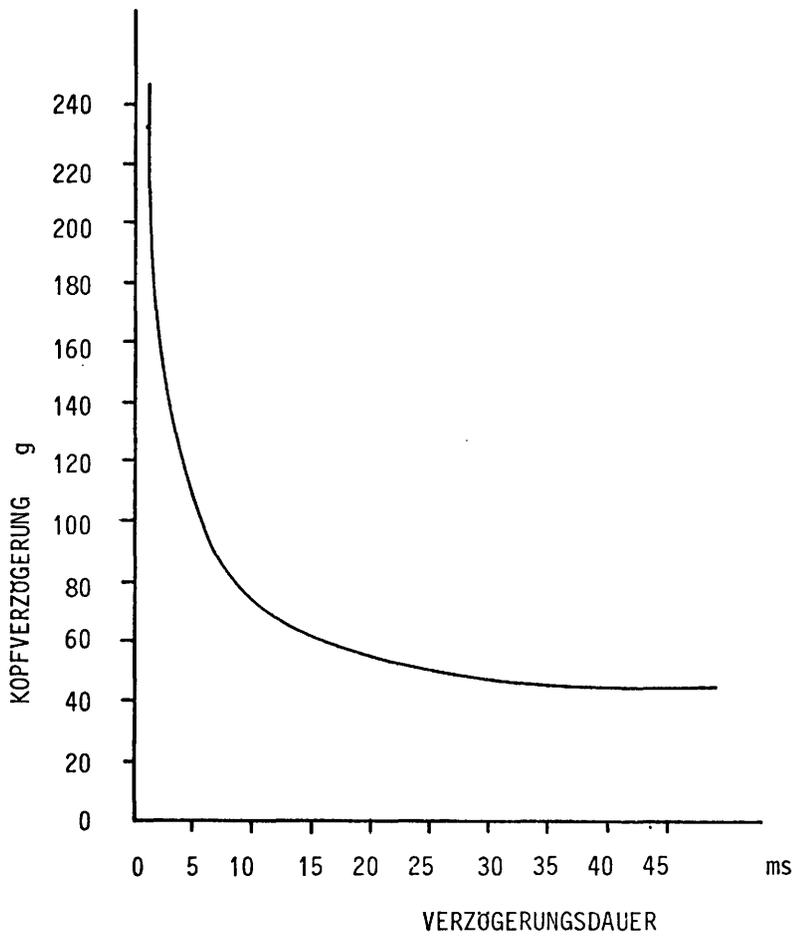
| | |
|---|---------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Kopfstützen EG-1 |
| Kritische Belastungsgrößen bei reiner Schleuder- bewegung (Typ 1) nach Rumpfbeschleunigung | Bild |
| | 2.3 |



| | |
|---|---------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Kopfstützen EG-1 |
| Kritische Belastungsgrößen nach Schleuder- bewegung mit Kopfaufprall | Bild |
| | 2.4 |

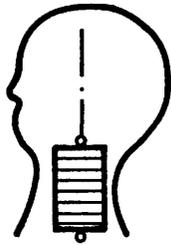


| | |
|--|---------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Kopfstützen EG-1 |
| Kritische Belastungsgrößen nach Schleuder- bewegung mit HWS-Kontakt | Bild |
| | 2.5 |

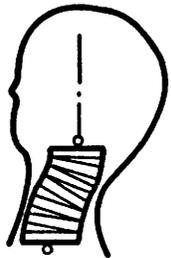


NACH L. M. PATRICK [41]

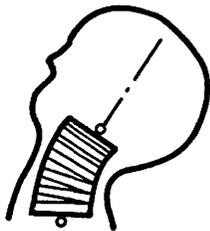
| | |
|---|-----------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | KOPFSTÜTZEN EG - 1 |
| WAHRSCHEINLICHKEIT FÜR MASSIGE GEHIRNERSCHÜTTERUNGEN IN ABHÄNGIGKEIT VON ZEITDAUER UND VERZÖGERUNG | BILD 2.6 |



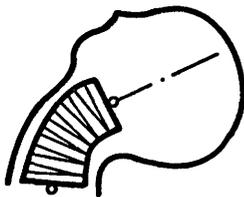
a) Stellung vor dem Stoß



b) Der Körper des Insassen ist nach vorne beschleunigt, der Kopf jedoch noch unbewegt. Die Scherkräfte F_s am 7. Halswirbel leiten die Biegeverformung der HWS ein.

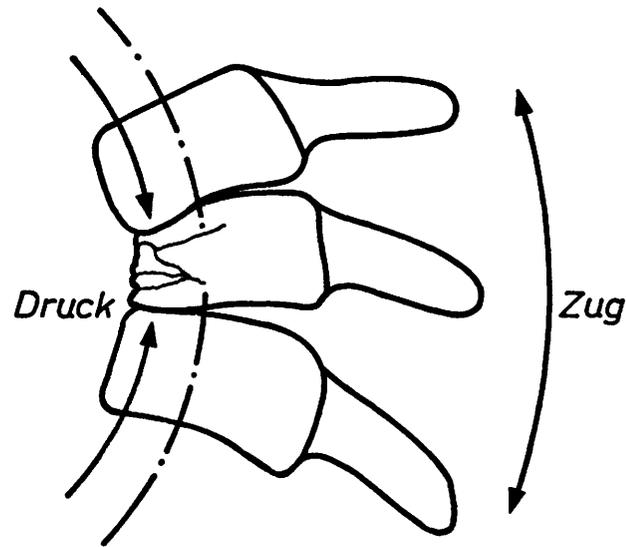


c) Der Kopf beginnt sich nach hinten zu drehen, der obere Teil der HWS ist kurzzeitig entlastet.

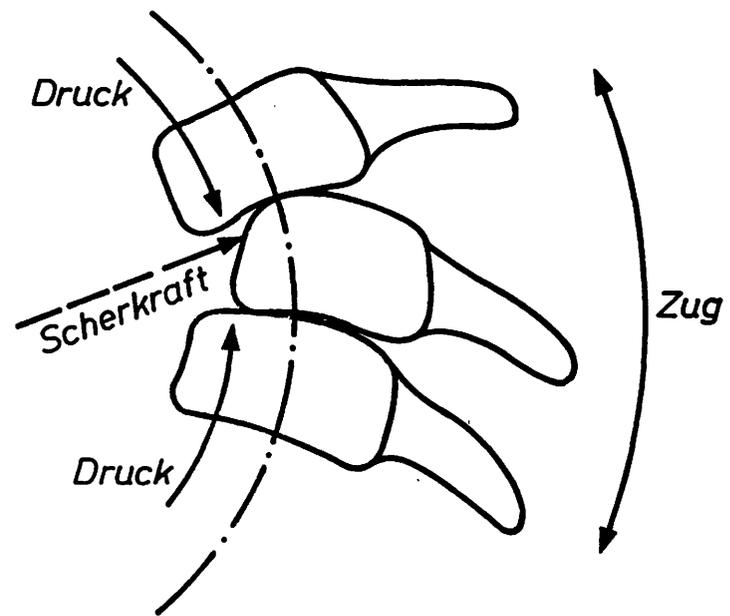


d) Die Drehbewegung des Kopfes wird durch Extension (vorn) und HWS-Kompression (hinten) verzögert. Der Kopf hat nun die Geschwindigkeit des Fahrzeugs.

| | |
|--|-----------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Kopfstützen EG - 1 |
| Phasen der Retroflexion des Halses [42] | Bild |
| | 2.7 |



Kompressionsbruch eines Wirbelkörpers



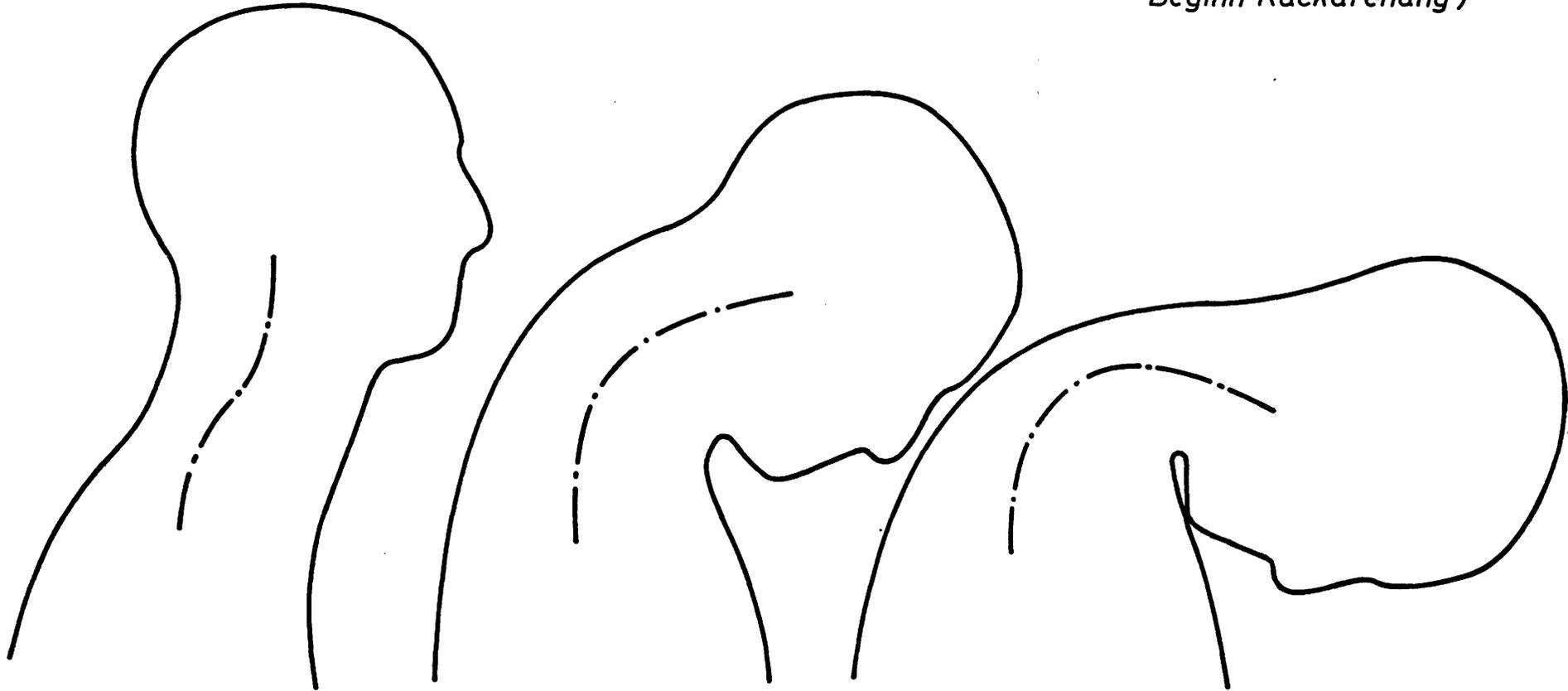
Querverschiebung eines Wirbelkörpers durch Druckscherkraft

| | | | |
|--|---|---------------------------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | <i>Anteflexions-HWS-Verletzungen bei extremen Biegewinkeln und -momenten</i> | <i>Kopfstützen EG -1</i> | <i>Bild</i> |
| | | | 2.8 |

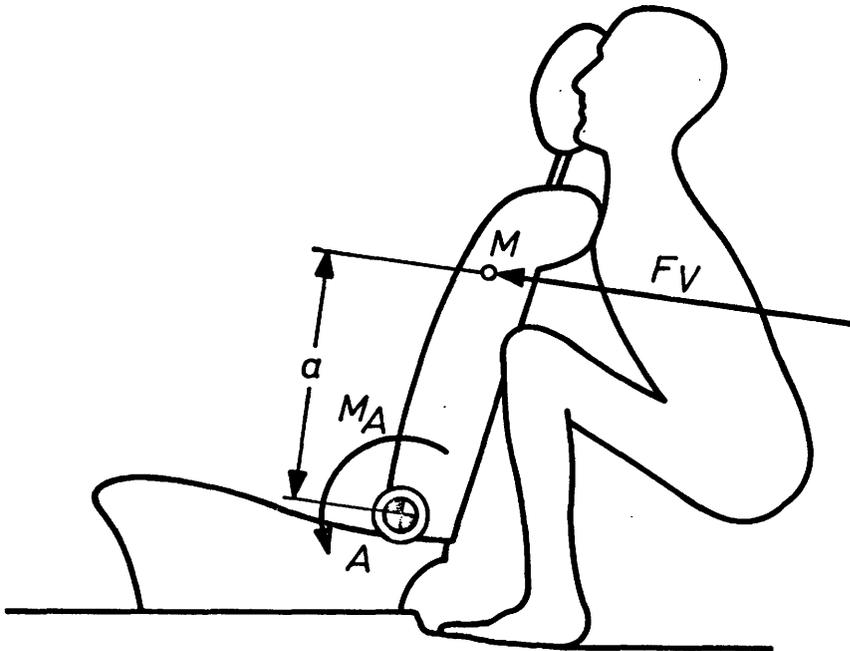
*Translation zwischen Kopf
und Thorax*

*Kopfrotation
(Anteflexion)*

*Kopf-Sternum-Kontakt
(Ende Anteflexion,
Beginn Rückdrehung)*



| | | | |
|--|---|-----------------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | <i>Prinzip des Kopf - HWS - Bewegungsablaufs beim Frontalaufprall eines angegurteten Insassen</i> | <i>Kopfstützen EG-1</i> | <i>Bild</i> |
| | | | 2.9 |



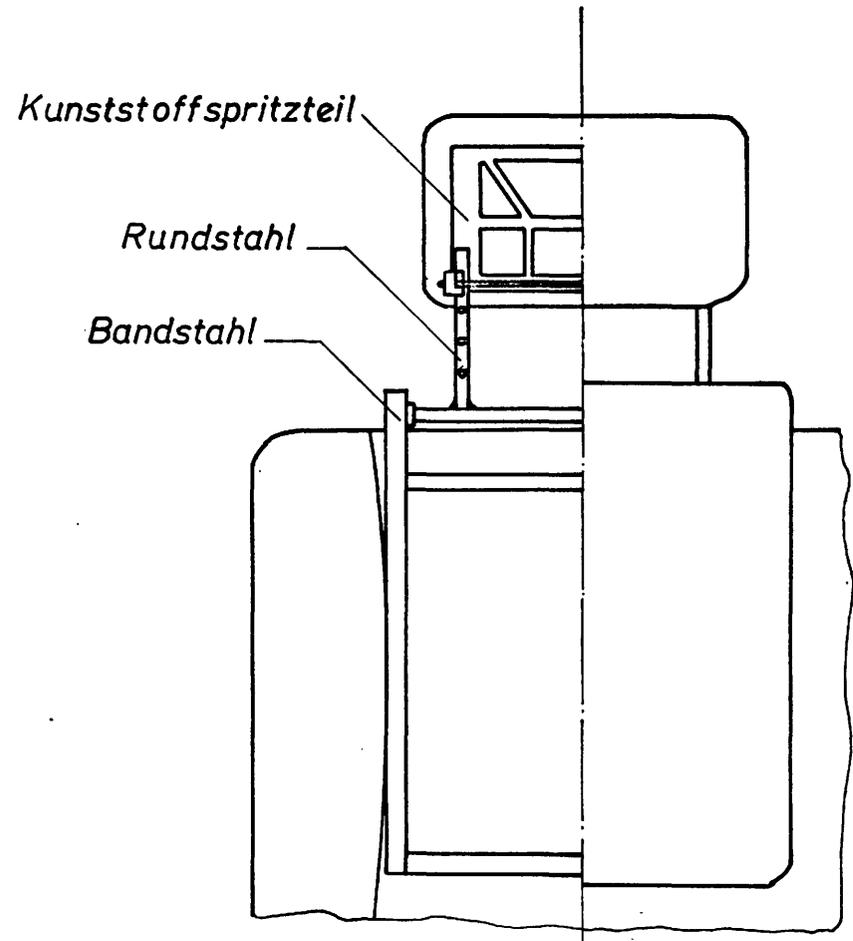
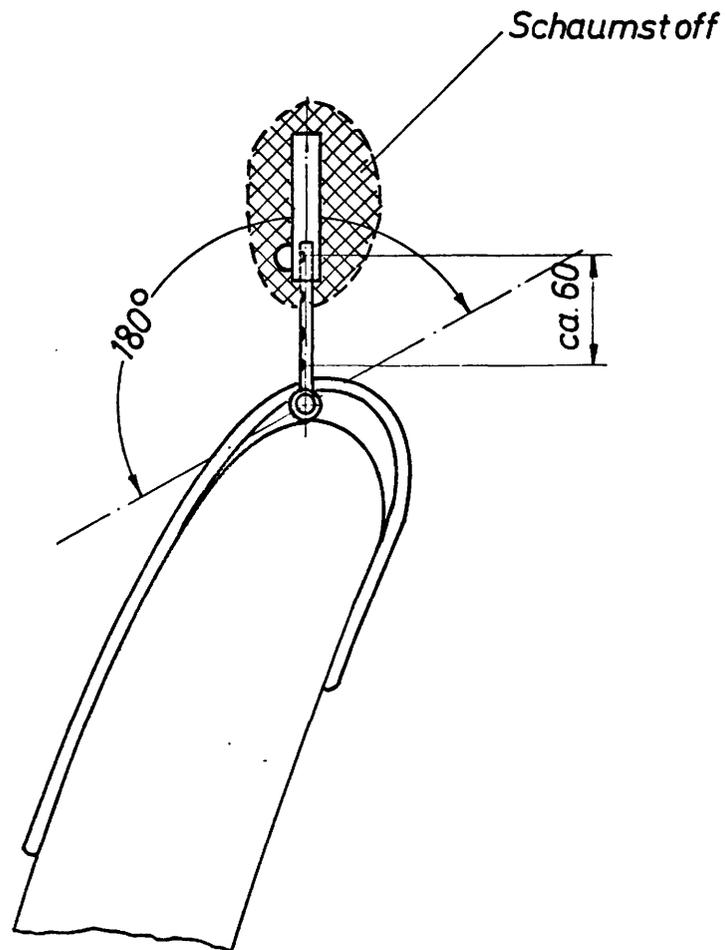
Verzögerungskraft $F_V = 35\,000\text{ N}$
in Angriffshöhe $a = 600\text{ mm}$

Lehnenmoment
 $M = 2100\text{ m}\cdot\text{da N}$

| | |
|--|---------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Kopfstützen EG-1 |
| Fondinsasse beim Aufprall auf Frontsitz nach Frontalaufprall | Bild |
| | 2.10 |

| TYP/ VERSUCHSNR. | GESCHWINDIGKEITS DIFFERENZ Δv [KM/H] | SCHLITTEN- BESCHLEUNIGUNG a_{smax} [g] | RESULTIERENDE KOPFBESCHL. $a_{Kres. max}$ [g] | MAXIMALER KOPFDREHWINKEL α_{max} [°] | LEHNENWINKEL β [°] | |
|---------------------|--|--|---|---|-----------------------------|------|
| | | | | | VOR | NACH |
| 1/1 | 18,7 | 16,0 | 26,4 | 28 | - | - |
| 1/2 | 27,0 | 23,5 | 35,5 | 45 | - | - |
| 1/3 | 18,3 | 16,0 | 26,8 | 43 | - | - |
| 1/4 | 27,7 | 23,0 | 24,7 | 60 | - | - |
| 2/1 | 20,2 | - | 22,0 | 20 | 17 | 27 |
| 2/2 | 27,4 | - | 33,0 | 45 | 24 | 32 |
| 3/1 | 21,2 | 16,0 | 26,8 | 35 | - | - |
| 3/2 | 26,3 | 20,0 | 34,0 | 61 | - | - |
| 4/1 | 20,4 | 16,0 | 33,2 | 18 | - | - |
| 4/2 | 27,0 | 22,0 | 42,2 | 54 | - | - |
| 5/1 | 21,9 | - | 29,0 | 48 | 18 | 25 |
| 5/2 | 29,1 | - | 39,0 | 46 | 15 | 25 |

| | | | |
|--|---|-----------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | ERGEBNISSE VON SIMULIERTEN HECKAUFPRALLVERSUCHEN MIT NACHRÜSTKOPFSTÜTZEN | KOPFSTÜTZEN EG - 1 | BILD 4.1 |
|--|---|-----------------------|-------------|

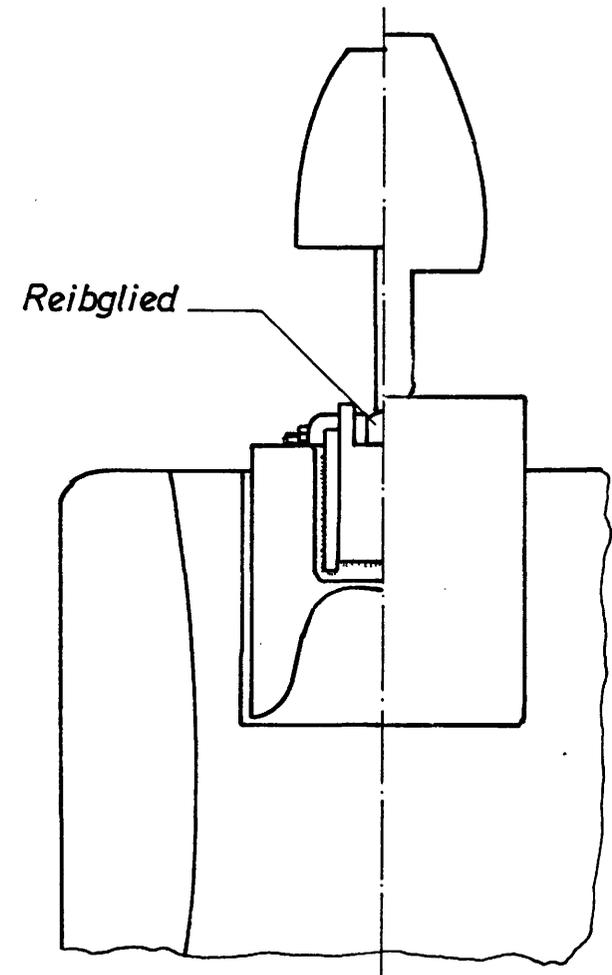
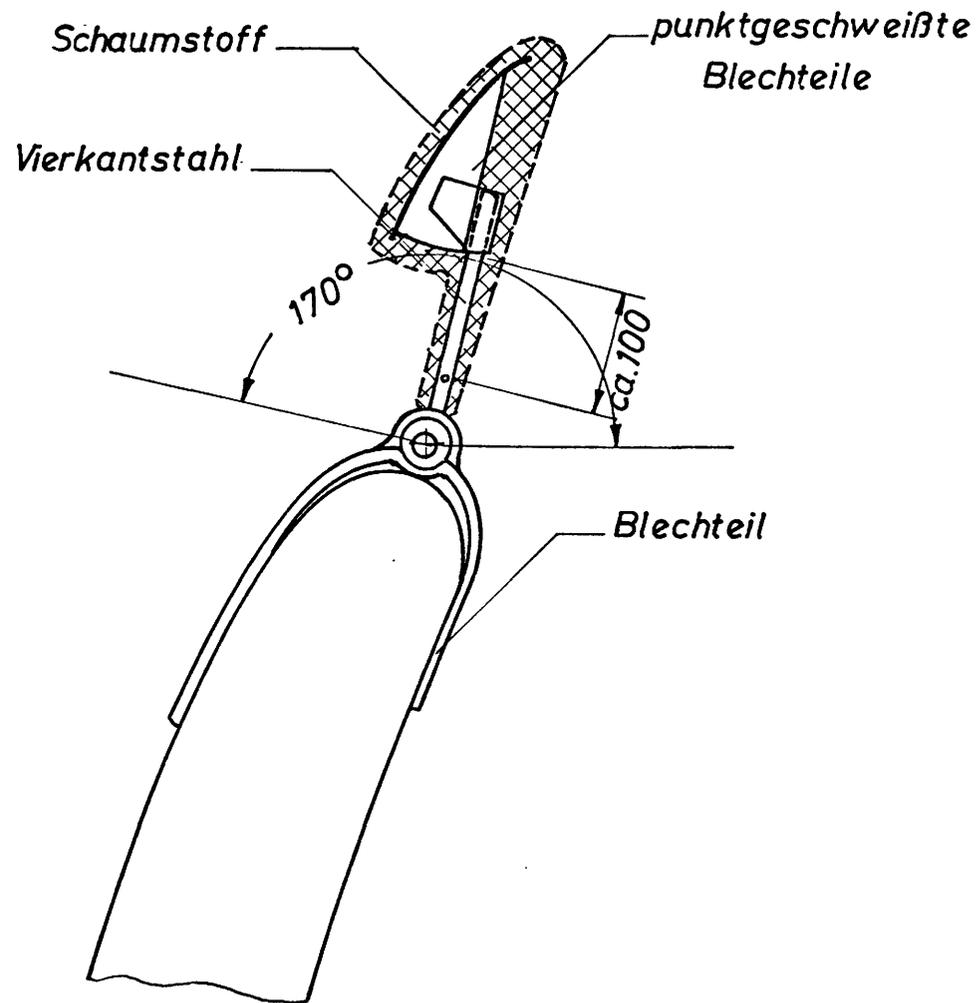


INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Typ 1

Kopfstütze
EG-1

Bild
5.1

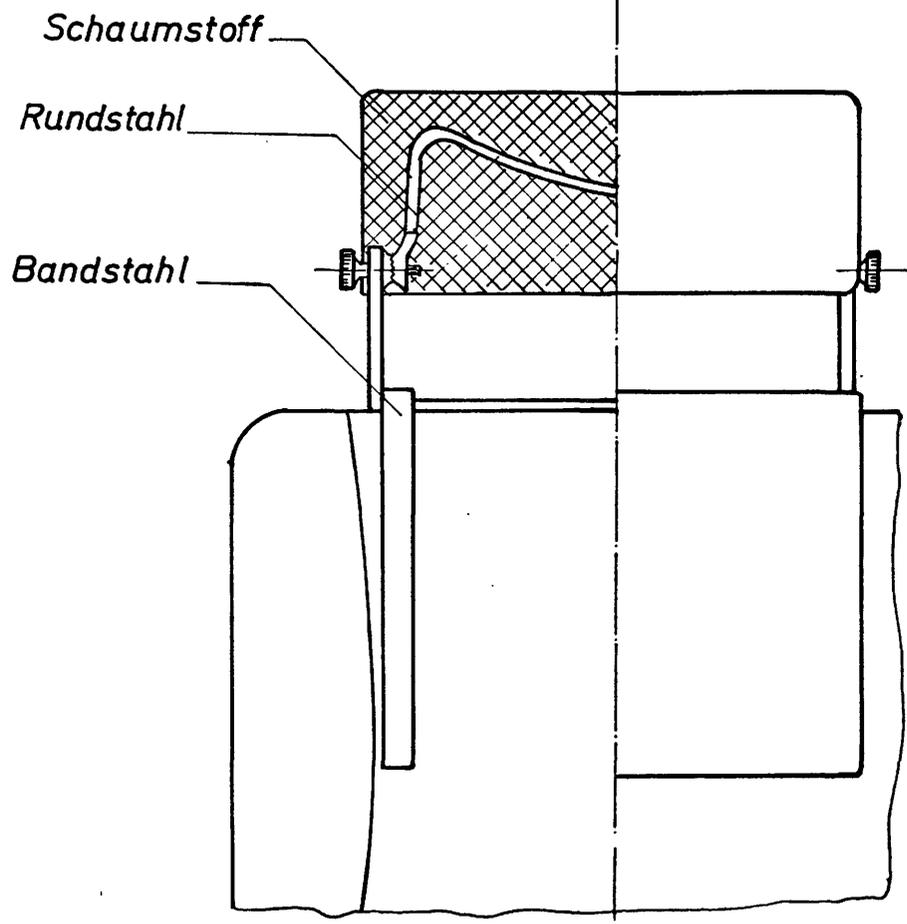
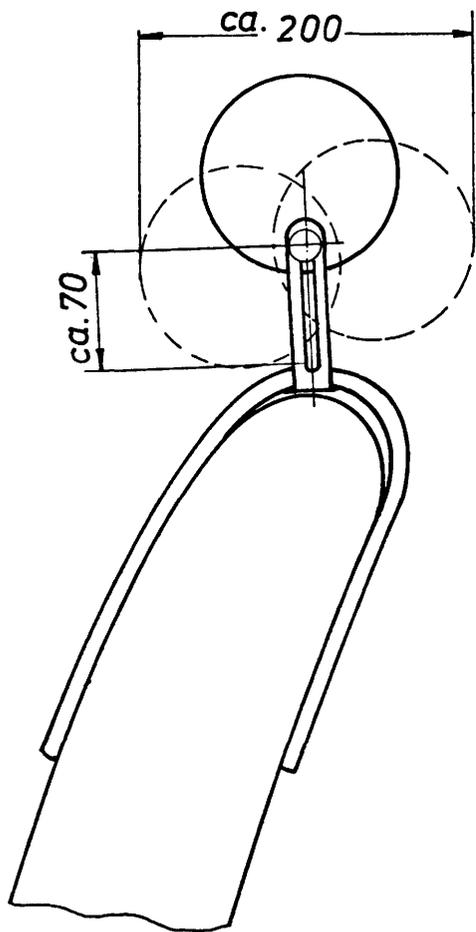


INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL
TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN

Typ 2

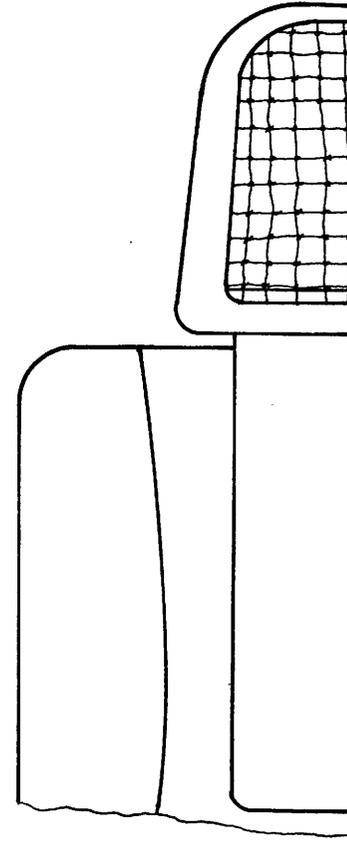
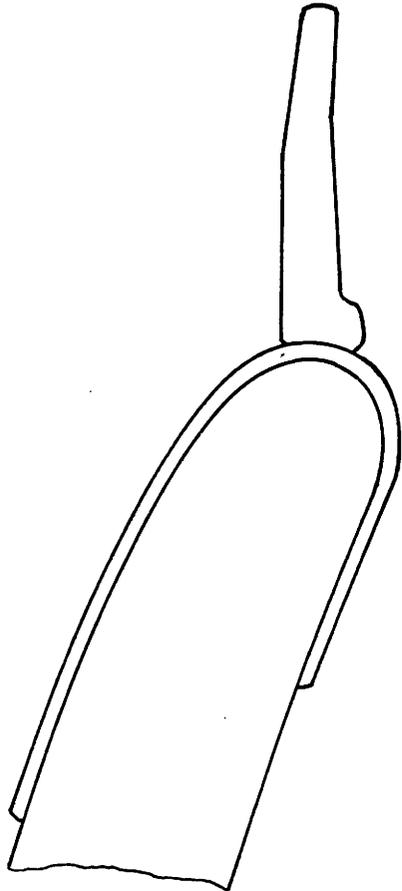
Kopfstütze
EG - 1

Bild
5.2

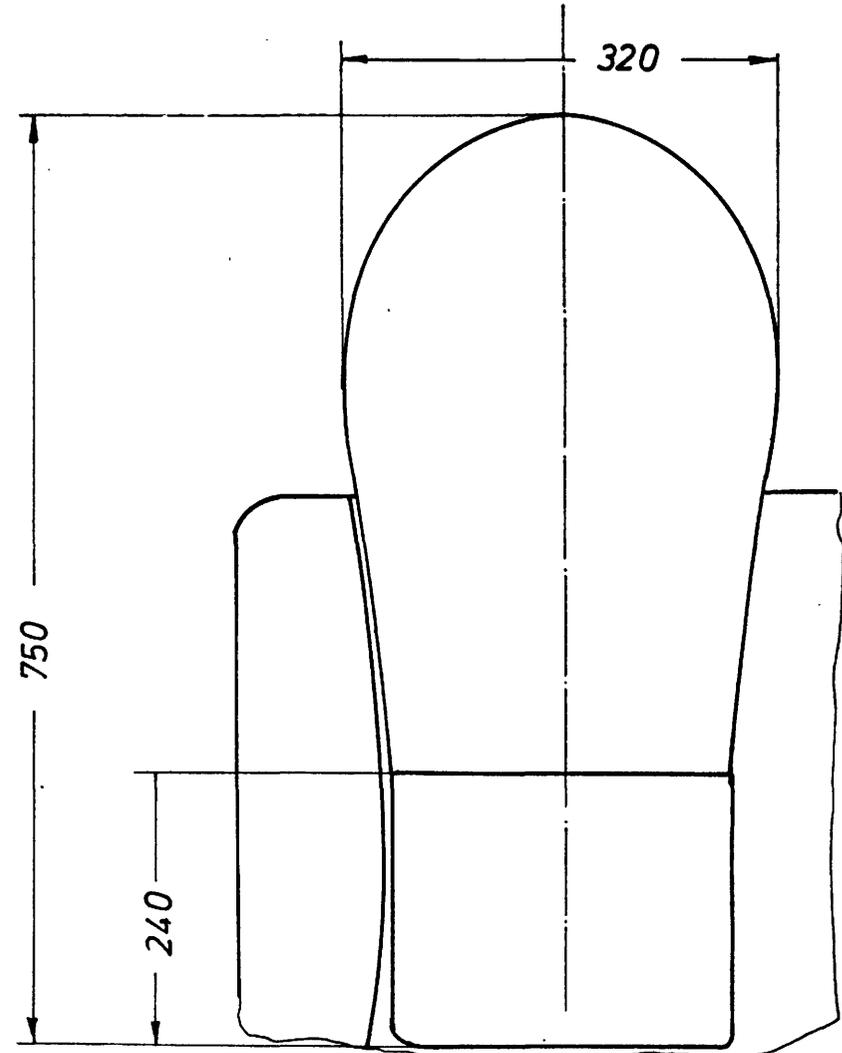
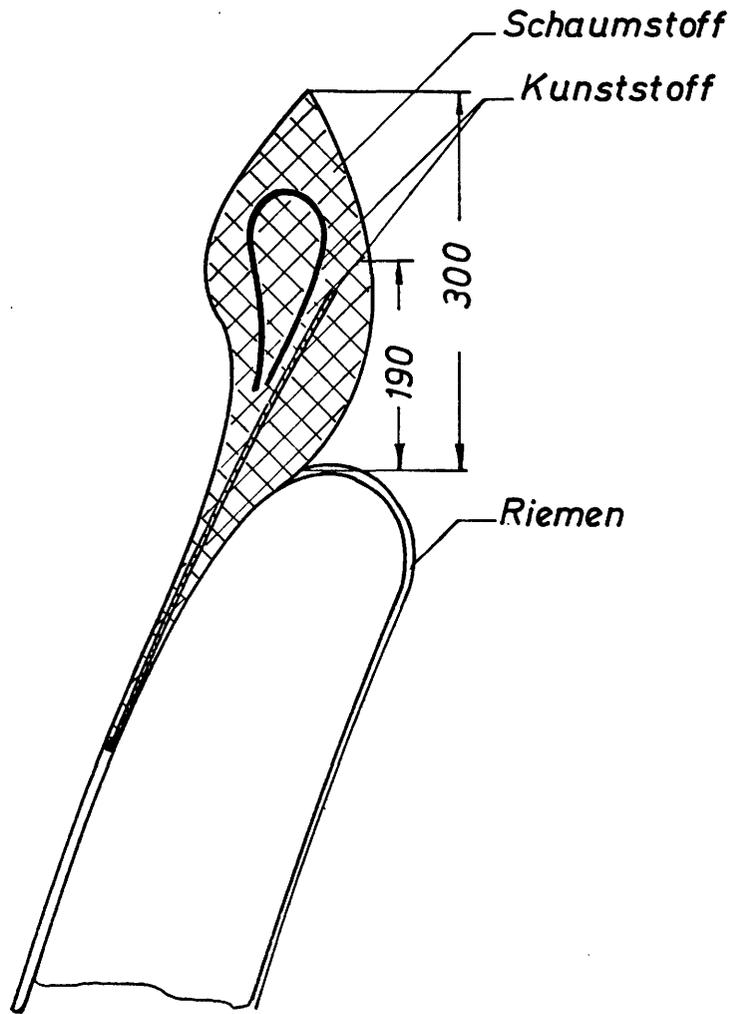


| | | | |
|--|--------------|------------------------------------|---------------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | <i>Typ 3</i> | <i>Kopfstütze</i> <i>EG - 1</i> | <i>Bild</i> <i>5.3</i> |
|--|--------------|------------------------------------|---------------------------|

Keine Verstellmöglichkeit



| | | | |
|--|--------------|----------------------------------|---------------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | <i>Typ 4</i> | <i>Kopfstütze</i> <i>EG-1</i> | <i>Bild</i> <i>5.4</i> |
|--|--------------|----------------------------------|---------------------------|



| | | | |
|--|-------|--------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | Typ 5 | Kopfstütze EG-1 | Bild 5.5 |
|--|-------|--------------------|-------------|

| TYP | EINSPANN- KONSTRUKTION | ART DER | | VERSTELLMÖGLICHKEIT | |
|-----|---|--|---|--------------------------------------|--------------------------|
| | | HWS-BIEGEWINKEL- BEGRENZUNG | ENERGIEABSORPTION BEI KOPFAUFPRALL | VERTIKAL | HORIZONTAL |
| 1 | STAHLBLECHBANDKONSTR. (MIT & OHNE BEFESTI- GUNGSGURT) | RUNDSTAHLDEFORMATION | (GERING) WEICHSCHAUM KUNSTSTOFFRAHMEN | VORHANDEN (STUFIG) | VORHANDEN (STUFIG) |
| 2 | STAHLBLECHKONSTR. (MIT BEFESTIGUNGS- GURTEN) | REIBGLIED | (HOCH) WEICHSCHAUM BLECHDEFORMATION | VORHANDEN (STUFENLOS) | VORHANDEN (STUFENLOS) |
| 3 | WIE TYP 1 (OHNE BEFESTIGUNGS- GURT) | BANDSTAHLDEFORMATION | (GERING) WEICHSCHAUM STAHLBÜGELDEFORMATION | VORHANDEN (STUFENLOS) | VORHANDEN (STUFIG) |
| 4 | WIE TYP 1 (OHNE BEFESTIGUNGS- GURT) | DEFORMATION DER EINSPANNVORRICHTUNG | (GERING?) NETZ RAHMENSTRUKTUR | KEINE | KEINE |
| 5 | KUNSTSTOFF (ABS)- PLATTE MIT BEFESTI- GUNGSGURTEN | DEFORMATION DER ABS- KUNSTSTOFFSTRUKTUR | (GERING) DEFORMATION DER KUNSTSTOFFSTRUKTUR | VORHANDEN (GERING , STUFENLOS) | KEINE |

| | | | |
|--|-------------------------------|-----------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | MERKMALE DER KOPFSTÖTZENTYPEN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 | BILD 5.6 |
|--|-------------------------------|-----------------------|-------------|

| QUELLE | | [1] | [2] | [3] | [4] | [5] | [6] | [7] 1972 | [7] 1973 | [7] 1974 | [8] | [9] | [10] | [11] NC | [11] US | MITTELWERT [1] bis [11] |
|---------------|----------------|------|------|------|------|------|------|-------------|-------------|-------------|------|------|------|------------|------------|----------------------------|
| KOLLISIONSART | FRONT % | 64,0 | 35,7 | 49,0 | 60,7 | 31,3 | 66,0 | 67,9 | 71,5 | 66,8 | 57,1 | 17,9 | 28,5 | 50,4 | 50,3 | 46,4 |
| | SEITE % | 17,0 | 33,5 | 17,0 | 24,9 | 39,0 | 12,3 | | | | 28,6 | 42,8 | 41,3 | 28,2 | 25,7 | 28,2 |
| | HECK % | 16,0 | 8,7 | 29,0 | 14,4 | 29,7 | 13,7 | 32,1 | 28,5 | 33,2 | 8,2 | 21,8 | 30,2 | 17,5 | 21,5 | 19,2 |
| | OBERSCHL. % | - | 4,9 | 4,0 | - | - | 8,0 | - | - | - | 6,1 | - | - | - | - | 5,7 |
| | OBRIGE % | 3,0 | 17,2 | 1,0 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 3,9 | 2,5 | |

| | | | |
|--|--|-----------------------|--------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | ANTEIL % DER KOLLISIONSARTEN AM UNFALLGESCHEHEN MIT PERSONENSCHADEN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 | BILD 6.1A |
|--|--|-----------------------|--------------|

| QUELLE | | [12] | [13] | [14] | [14] | [15] | [16] | [17] | [18] | [19] | [20] | [21] | [22] | [23] | MITTELWERT [1] bis [23] |
|---------------|-----------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|----------------------------|
| KOLLISIONSART | FRONT % | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | SEITE % | 7,0 | - | - | - | - | 33,2 | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | HECK % | 20,0 | 24,0 | 29,0 | 31,0 | 40,1 | 38,4 | 11,2 | 18,0 | 17,6 | 11,0 | 18,0 | 24,0 | 23,0 | 22,2 |
| | OBERSCHLAG % | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| | OBRIGE % | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |

| | | | |
|--|--|-----------------------|--------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | ANTEIL % DER KOLLISIONSARTEN AM UNFALLGESCHEHEN MIT PERSONENSCHADEN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 | BILD 6.1B |
|--|--|-----------------------|--------------|

| QUELLE | | [6] FAHRER | [6] BEI- FAHRER | [6] FONDP: | [16] | [23] | [24] | MITTELWERT OHNE, MIT FONDP. [6] | |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------------|---------------|------|------|------|---------------------------------------|------|
| KOLLISIONSART | FRONT % | 65,8 | 69,0 | 69,4 | - | - | 69,6 | 68,1 | 68,4 |
| | SEITE % | 7,1 | 5,8 | 7,9 | - | - | 20,8 | 41,2 | 10,4 |
| | HECK % | 26,2 | 24,4 | 21,1 | 12,8 | 15,6 | 9,6 | 17,7 | 18,3 |
| | ÜBERSCHLAG % | 0,9 | 0,8 | 1,6 | - | - | - | 3,0* | 2,9* |

* KEIN MITTELWERT

| | | | |
|--|--|-----------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | ANTEIL % DER LEICHTVERLETZTEN BEI VERSCHIEDENEN KOLLISIONSARTEN | KOPFSTÜTZEN EG - 1 | BILD 6.2 |
|--|--|-----------------------|-------------|

| QUELLE | | [6] FAHRER | [6] BEI- FAHRER | [6] FONDP. | [16] | [23] | [24] | MITTELWERT OHNE MIT FONDP. [6] | |
|---------------|-----------------|---------------|-----------------------|---------------|------|------|------|--------------------------------------|------|
| KOLLISIONSART | FRONT % | 82,9 | 81,3 | 72,5 | - | - | 63,0 | 75,7 | 74,9 |
| | SEITE % | 7,1 | 8,1 | 12,6 | - | - | 32,9 | 16,0 | 16,9 |
| | HECK % | 9,0 | 8,5 | 11,3 | 7,2 | 8,0 | 4,1 | 7,4 | 8,0 |
| | ÜBERSCHLAG % | 1,0 | 2,1 | 3,6 | - | - | - | 0,9* | 0,2* |

* KEIN MITTELWERT

| | | | |
|--|--|-----------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | ANTEIL % DER SCHWERVERLETZTEN BEI VERSCHIEDENEN KOLLISIONSARTEN | KOPFSTOTZEN EG - 1 | BILD 6.3 |
|--|--|-----------------------|-------------|

| QUELLE | | [3] | [6] FAHRER | [6] BEI- FAHRER | [6] FONDP. | [16] | [21] | [23] | [24] | MITTELWERT OHNE MIT FONDP. [6] | |
|---------------|-----------------|------|---------------|-----------------------|---------------|------|------|------|------|--------------------------------------|------|
| KOLLISIONSART | FRONT % | 45,0 | 81,1 | 79,9 | 66,2 | - | - | - | 57,1 | 65,8 | 65,9 |
| | SEITE % | 26,0 | 9,4 | 12,2 | 18,8 | - | - | - | 42,9 | 22,6 | 21,9 |
| | HECK % | 2,0 | 4,1 | 5,8 | 12,5 | 5,5 | 4,7 | 6,3 | - | 4,7 | 5,1 |
| | OBERSCHLAG % | 27,0 | 5,4 | 2,1 | 2,5 | - | - | - | - | 6,9* | 7,1* |

* KEIN MITTELWERT

| | | | |
|--|--|-----------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | ANTEIL % DER TÖDLICHEN VERLETZTEN BEI VERSCHIEDENEN KOLLISIONSARTEN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 | BILD 6.4 |
|--|--|-----------------------|-------------|

| QUELLE | | [3] | | | [6] FAHRER | | | [6] BEIFAHNER | | | [6] FONDPASSAGIERE | | | [16] | | |
|---------------|---------------------|-----|----|------|---------------|------|------|------------------|------|------|-----------------------|------|------|------|------|------|
| | | LV | SV | TV | LV | SV | TV | LV | SV | TV | LV | SV | TV | LV | SV | TV |
| KOLLISIONSART | FRONT (46,4) | - | - | 0,97 | 1,43 | 1,79 | 1,75 | 1,49 | 1,75 | 1,72 | 1,50 | 1,56 | 1,43 | - | - | - |
| | SEITE (28,2) | - | - | 0,92 | 0,25 | 0,25 | 0,33 | 0,21 | 0,29 | 0,43 | 0,28 | 0,45 | 0,67 | - | - | - |
| | HECK (19,2) | - | - | 0,10 | 1,36 | 0,47 | 0,21 | 1,27 | 0,44 | 0,30 | 1,10 | 0,59 | 0,65 | 0,67 | 0,38 | 0,29 |
| | OBERSCHLAG (5,7) | - | - | 4,74 | 0,16 | 0,18 | 0,95 | 0,14 | 0,37 | 0,37 | 0,28 | 0,63 | 0,44 | - | - | - |

$$\text{VERLETZUNGSRIKOFAKTOR} = \frac{\text{VERLETZUNGSHAUFIGKEIT}}{\text{KOLLISIONSART-HAUFIGKEIT}}$$

| | | | |
|--|--|-----------------------|--------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | RISIKOFAKTOREN FÜR VERLETZUNGEN BEI VERSCHIEDENEN KOLLISIONSARTEN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 | BILD 6.5A |
|--|--|-----------------------|--------------|

| QUELLE | | [21] | | | [23] | | | [24] | | | MITTELWERT | | |
|---------------|---------------------|------|----|------|------|------|------|------|------|------|------------|------|------|
| | | LV | SV | TV | LV | SV | TV | LV | SV | TV | LV | SV | TV |
| KOLLISIONSART | FRONT (46,4) | - | - | - | - | - | - | 1,50 | 1,36 | 1,23 | 1,48 | 1,62 | 1,42 |
| | SEITE (28,2) | - | - | - | - | - | - | 0,74 | 1,17 | 1,52 | 0,37 | 0,54 | 0,77 |
| | HECK (19,2) | - | - | 0,24 | 0,81 | 0,42 | 0,33 | 0,50 | 0,21 | - | 0,95 | 0,42 | 0,30 |
| | OBERSCHLAG (5,7) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | 0,19 | 0,39 | 1,62 |

$$\text{VERLETZUNGSRIKOFAKTOR} = \frac{\text{VERLETZUNGSHÄUFIGKEIT}}{\text{KOLLISIONSART-HÄUFIGKEIT}}$$

| | | | |
|--|--|-----------------------|--------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | RISIKOFAKTOREN FÜR VERLETZUNGEN BEI VERSCHIEDENEN KOLLISIONSARTEN | KOPFSTÜTZEN EG - 1 | BILD 6.5B |
|--|--|-----------------------|--------------|

| QUELLE | MÄNNER | FRAUEN | ZUSAMMEN |
|--|--------|--------|----------|
| LANGWIEDER [6] | - | - | 16,5 |
| STATES ET AL. [15] | 12,5 | 25,5 | 14,0 |
| LAWSON [16] | - | - | 55,0 |
| UNFALLFORSCHUNGSPROGRAMM FRANZ. STUDIE [19] | - | - | 55,0 |
| RICHTIG BAST (KS 100% EINGESTELLT) [23] | - | - | 52,0 |
| GARRETT & MORRIS [25] | - | - | 6,2 |
| O' NEILL ET AL. [26] | 10,0 | 22,0 | 18,0 |
| RICHTIG HUK (KS 100% EINGESTELLT) [33] | - | - | 43,0 |
| MITTELWERT OHNE [16], [19], [23], [25], [33] | | | 16,2 |

| | |
|--|-----------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 |
| VERRINGERUNG % DES RISIKOS FÜR HWS-VERLETZUNGEN BEI HECKGESTOSSENEN PKW MIT KOPFSTÖTZEN | BILD 6.6 |

| VERLETZTE KÖRPERTEILE | KOLLISIONSART | | |
|--------------------------|---------------|-------|------|
| | FRONT | SEITE | HECK |
| KOPF | 71,0 | 62,9 | 39,2 |
| BRUSTKORB | 32,3 | 30,5 | 8,3 |
| UNTERLEIB | 9,7 | 12,4 | 5,8 |
| KNIE | 45,2 | 33,8 | 22,5 |
| FUSS | 3,5 | 6,2 | - |
| HWS | 9,4 | 6,2 | 75,0 |

| | |
|---|-----------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 |
| EINZELVERLETZUNGEN % DES NICHTANGEGURTETEN FAHRERS NACH LANGWIEDER [6] BEI DEN DREI GRUNDKOLLISIONSARTEN | BILD 6.7 |

| VERLETZUNGS- SCHWERE | ANZAHL/JAHR | |
|-------------------------|-------------|---------|
| | 1973 | 1974 |
| LV | 220 595 | 192 298 |
| SV | 93 318 | 69 577 |
| TV | 7 820 | 6 609 |

| | |
|--|-----------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 |
| VERLETZTE PKW-INSASSEN/JAHR IN DER BRD NACH VERLETZUNGSSCHWERE [27] | BILD 6.8 |

| VERLETZUNGS- SCHWERE | ANTEIL | VERLETZTE INSASSEN BEI HECKKOLLISIONEN | | VERLETZTE INSASSEN IN HECKGESTOSSENEN PKW (50%) | | VERLETZTE FRONTINSASSEN. IN HECKGESTOSSENEN PKW (87%) | |
|-------------------------|--------|---|--------|---|--------|---|--------|
| | % | 1973 | 1974 | 1973 | 1974 | 1973 | 1974 |
| LV | 17,7 | 39 046 | 34 037 | 19 523 | 17 019 | 16 985 | 14 807 |
| SV | 7,4 | 6 906 | 5 149 | 3 453 | 2 575 | 3 004 | 2 240 |
| TV | 4,7 | 368 | 311 | 184 | 156 | 160 | 139 |

| | | | |
|--|--|-----------------------|-------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | VERLETZTE/JAHR IN HECKGESTOSSENEN PKW (BRD GESAMT) | KOPFSTÜTZEN EG - 1 | BILD 6.9 |
|--|--|-----------------------|-------------|

| VERLETZUNGS- SCHWERE | ANZAHL/JAHR OHNE KS | REDUKTION % | REDUKTION EINZELN | ERHÖHUNG EINZELN | REDUKTION INSGESAMT |
|-------------------------|------------------------|----------------|----------------------|---------------------|------------------------|
| LV | 14 807 | 54 | 7 996 | 224 | 7 772 |
| SV | 2 240 | 10* | 224 | 2 | 222 |
| TV | 139 | 1* | 2 | - | 2 |

* GESCHÄTZT NACH LANGWIEDER

| | | | |
|--|---|-----------------------|--------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | VERMEIDBARE VERLETZUNGEN/JAHR BEI 100% RICHTIG EINGESTELLTEN KOPFSTÜTZEN (BRD, PKW MIT HECKBESCHÄDIGUNG) | KOPFSTÜTZEN EG - 1 | BILD 6.10 |
|--|---|-----------------------|--------------|

| PKW UND KOMBI IN 1 000 | ANZAHL/JAHR | | |
|---------------------------|-------------|--------|-------|
| | 1973 | 1974 | 1975 |
| BESTAND | 17 023 | 17 341 | - |
| NEUZULASSUNGEN | 2 031 | 1 693 | 2 106 |

| | |
|--|-----------------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | KOPFSTÖTZEN EG - 1 |
| PKW UND KOMBI - BESTAND UND - NEUZULASSUNGEN IN DER BRD [34] | BILD 6.11 |

| QUELLE | [3] | [11] | [29] | [30] |
|---|------|------|-----------|-----------|
| VERLETZTEN-BERGUNG DURCH HUBSCHRAUBER (KLINOMOBILE) | - | - | 3,4 (1,3) | - |
| BAB-WARNBLINKANLAGE | - | - | 1,9 | - |
| BAB-BELEUCHTUNG | - | - | 0,23 | - |
| BAB-HEIZUNG | - | - | 0,06 | - |
| GESCHWINDIGKEITSBEGRENZUNG 120 (100) KM/H | - | - | - | 1,5 (1,0) |
| FAHRUNTERRICHT | - | - | 0,7 | - |
| ABSTANDSWARNEINRICHTUNG | - | - | - | 0,6 |
| SAUBERHALTEN DER LICHTER | - | - | - | 0,2 -1,0 |
| AUTOMATISCHE SCHEINWERFEREINSTELLUNG | - | - | - | 0,19 |
| BLOCKIERREGLER | - | - | - | 0,1-0,2 |
| HIGHWAY IMPROVEMENT | 1,29 | - | - | - |
| INTERSTATE SYSTEM | 1,43 | - | - | - |
| ACTIVE RESTRAINTS (MANDAT. USAGE) | - | 7,65 | - | - |
| | | | | |

- 55 -

| | | | |
|--|--|-----------------------|--------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | NUTZEN/KOSTEN-FAKTOREN VON MASSNAHMEN DER AKTIVEN SICHERHEIT UND SICHERHEIT NACH DEM UNFALL | KOPFSTÖTZEN EG - 1 | BILD 6.12 |
|--|--|-----------------------|--------------|

| QUELLE | | [3] | [29] | [30] | [31] | [32] |
|--|-------------|-----------|-----------|------|---------|------|
| AIR BAG | | 0,44-1,04 | - | 1,3 | - | - |
| VERBESSERTES AIR BAG-SYSTEM UND INSASSENSCHUTZ | | | | | | |
| | MVSS 208 | 1. STUFE | - | - | - | 0,32 |
| | | 2. STUFE | - | - | - | 0,12 |
| | | 3. STUFE | - | - | - | 0,06 |
| 4 SICHERHEITSGURTE/FZ | ANLEGEQUOTE | 100% | 6,48-8,84 | 1,5 | - | - |
| | | 80% | 5,19-7,07 | - | - | - |
| | | 75% | - | - | 3,8 | - |
| | | 70% | - | 1,1 | - | - |
| | | 50% | 3,24-4,42 | - | 2,5 | - |
| | | 25% | 1,63-2,22 | - | 1,3 | - |
| 2 SICHERHEITSGURTE/FZ | ANLEGEQUOTE | 30% | - | 0,7 | - | - |
| PASSIVES SYSTEM (GURTSYSTEM) | | | | | | |
| VERBESSERTES GURTSYSTEME UND INSASSENSCHUTZ | | | | | | |
| | MVSS 208 | 1. STUFE | - | - | - | 0,6 |
| | | 2. STUFE | - | - | - | 0,9 |
| | | 3. STUFE | - | - | - | 0,09 |
| FUSSGÄNGERSCHUTZ | | | | | | |
| | | | - | - | 0,3-2,3 | - |

| | | | |
|--|--|-----------------------|---------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | NUTZEN/KOSTEN-FAKTOREN VON MASSNAHMEN DER PASSIVEN SICHERHEIT | KOPFSTÖTZEN EG - 1 | BILD 6.13A |
|--|--|-----------------------|---------------|

| QUELLE | [3] | [11] | [16] | [23] | [29] |
|---------------------------------|-----------|------|------------|------|------|
| 4 KOPFSTOTZEN/FZ | 0,95 | - | 0,025-0,35 | 1,77 | 0,04 |
| FUSSGÄNGERSCHUTZ | - | - | - | - | - |
| UNTERFAHRSCHUTZ | - | - | - | - | 0,13 |
| INTERIOR PADDING | 1,1 | - | - | - | - |
| COLLAPSIBLE STEERING COLUMN | 3,76 | - | - | - | - |
| DUAL BRAKING SYSTEM | 1,2 | - | - | - | - |
| MVSS 215 BUMPER STANDARDS | 1,47-2,98 | - | - | - | - |
| MVSS 302 FLAMMABILITY STANDARDS | 0,41-0,91 | - | - | - | - |
| PASSIVE RESTRAINTS VWRA | - | 4,91 | - | - | - |

| | | | |
|--|--|-----------------------|---------------|
| INSTITUT FÜR LANDVERKEHRSMITTEL TECHNISCHE UNIVERSITÄT BERLIN | NUTZEN/KOSTEN-FAKTOREN VON MASSNAHMEN DER PASSIVEN SICHERHEIT | KOPFSTOTZEN EG - 1 | BILD 6.13B |
|--|--|-----------------------|---------------|

Literaturverzeichnis

- [1] Volvo Reports on traffic accident research. Volvo März 1973; A. B. Volvo Car Division Gothenburg, Sweden.
- [2] N.J. Bohlin "A statistical Analysis of 28,000 Accident Cases with Emphasis on Occupant Restraint Value". Paper 670 925 -- 11. Stapp Car Crash Conference, S.A.E. 1967.
- [3] -- Cumulative Regulatory Effects on the Cost of Automobile Transportation (RECAT). Final Report of the Ad Hoc Committee, Februar 1972.
- [4] HUK-Verband Innere Sicherheit im Auto. Bericht 1 und 2. Eine Untersuchung des HUK-Verbandes über PKW-Unfälle mit Insassenverletzung (10271 Unfälle). Hamburg 1972.
- [5] HUK-Verband Innere Sicherheit im Auto. Bericht Nr. 3. Eine Untersuchung des HUK-Verbandes über PKW-Unfälle mit Insassenverletzung (28936 Unfälle). Hamburg 1975.
- [6] K. Langwieder Diss.: "Aspekte der Fahrzeugsicherheit anhand einer Untersuchung von realen Unfällen. Berlin 1975.
- [7] -- Bericht und Statistik über den Straßenverkehr in Berlin(West) 1973/74. Senator für Verkehr und Betriebe.

- [8] G.M. Mackay et al. The Effectiveness of Vehicle Safety Design Changes In Accident and Injury Reduction.
University of Birmingham, March 1973.
- [9] W. Reidelbach Die Sicherheit von Insassen von PKW.
Technische Überwachung Nr.9/1966.
- [10] K. Langwieder Car Crash Collision Types and Passenger Injuries in Dependency upon Car Construction.
16. Stapp Car Crash Conference.
- [11] VW-AG Research Safety Vehicle, Phase 1.
Wolfsburg Contract No DOT-HS-4-00843
April 1975
Final Report, Volume I, Section 1 & 2.
- [12] I. Lindsay Griffin III Analysis of the Benefits Derived from Certain Presently Existing Motor Vehicle Safety Devices: a Review of the Literature.
University of North Carolina
Highway Safety Research Center, Dec.1973.
- [13] -- Accident Facts 1970.
National Safety Council.
- [14] -- Annual Report 1970.
New York State Department of Motor Vehicles
- [15] J.D. States et al. Injury Frequency and Head Restraint Effectiveness in Rear-End Impact Accidents
Research Accident Investigation,
University of Rochester.
- [16] J.J. Lawson Report Presented by the British Delegation on Economic Evaluation of Head Restraints.
European Conference of Ministers of Transport, Paris Jan. 1974.

- [17] Saab-Scania Road Accident Investigation
Schweden 1971.
- [18] M. Danner The Frequency of Corresponding Vehicle
K. Langwieder Damage in Crash Tests and Actual Accidents.
5. ESV-Konferenz, London 1974.
- [19] -- Delegation de la Securite Routiere.
Note sur le Calcul du Cout-Efficacite
des Appuis-Tete dans les Voitures de
Tourisme.
Note über die Kosten-Wirksamkeitsrechnung
für Kopfstützen in PKW.
Übersetzung Bonn Feb. 1975.
- [20] T.H. Swiercinsky Injury Assessment from International
J.A. Ziegler Traffic Accident Data.
J.R. Cromack Accident Investigation Workshop,
Nato CCMS
Brüssel, Belgien, 1973.
- [21] W.L. Carlson AID Analysis of National Accident Summary
File
HIT Laboratory report, Oct. 1971.
- [22] -- A Statistical Research on the Effects
of Safety Belts and on Injury Causation
SWOW-Status Report
Accident Investigation Workshop of Nato
CCMS, Brüssel 1973.
- [23] BAST Expertengespräch über "Kopfstütze" vom
15.10.75 in der Bundesanstalt für Stra-
Benwesen.
- [24] Battelle- Beanspruchungsgrenzen des Menschen beim
Institut-eV. Inneren Aufprall.
Frankfurt April 1975.

- [25] J.W. Garrett Performance evaluation of automobile
D.F. Morris head restraints. Paper presented at Au-
tomotive Engineering Congress, Detroit,
January 1972. New York: Society of Auto-
motive Engineers, 1972.
- [26] B. O'Neill Preliminary Report:
W. Haddon Automobile head restraints: Frequency
A.B. Kelly of neck injury insurance claims in rela-
W.W. Sorenson tion to the presence of head restraints.
The American Journal of Public Health,
Dec. 1971, pre-press.
- [27] -- Straßenverkehrsunfälle 1974
Fachserie H Verkehr, Reihe 6
Statistisches Bundesamt Wiesbaden.
- [28] -- Neuzulassungen, Besitzumschreibungen, Lö-
schungen von Kraftfahrzeugen und Kraftfahr-
zeuganhängern 1974.
Kraftfahrt-Bundesamt Flensburg.
- [29] J. Niklas Nutzen/Kosten-Analysen von Sicherheits-
programmen im Bereich des Straßenverkehrs.
Schriftreihe des Verbandes der Automobil-
industrie e.V. (VDA) Nr. 7.
- [30] Schlegel, H. Wirtschaftlichkeitsanalyse von Sicher-
heitskomponenten im Personenwagenbau,
ATZ 1972.
- [31] Seiffert, U. Probleme der Automobilsicherheit,
Dissertation TU Berlin 1974.
- [32] H. Appel Nutzen/Kosten-Analyse für Rückhaltesysteme,
E. Fiala Sicherheitsnormen, und VW-Sicherheits-
G. Hesse wagen. Wolfsburg 1973.
ATZ 1973.

- [33] HUK-Verband Analyse des Sicherheitswertes von Kopf-
stützen bei realen Auffahrunfällen
- [34] -- Verkehr In Zahlen 1974
Bundesminister für Verkehr Bonn
Deutsches Institut für Wirtschaftsforschung
(DIW) Berlin
- [35] E. Faerber Biomechanische Belastungsgrenzen
H.-A. Gülich Literaturstudie über die Belastbarkeit des
A. Heger Menschen beim Aufprall
G. Rüter Im Auftrage der BAST, Köln, 1/1976
- [36] Haynes u.a. Experimental Head Impact Studies
Conference Proceedings 5th Stapp Car Crash Conf.
1961, NHTSA/USA
- [37] -- Mindestfestigkeit für Fahrzeugsitze
FMVSS 207, 4/1971, NHTSA/USA
- [38] -- Funktionsvorschriften für Kopfstützen
FMVSS 202, 1/1969 USA
- [39] -- Anforderung an die Festigkeit von Fahrzeug-
sitzen
ECE Reglement Nr. 17 = Amtsblatt der EG
17. Jahrgang Nr. L 221, Aug. 1974
- [40] -- Anforderungen an Kopfstützen
ECE Reglement Nr. 25
E/ece/324/E/ECE/TRANS/505 Rev. 1-Add. 4
- [41] L.M.Patrick Human Tolerance to Impact-Basis for Safety Design
SAE Paper 650 - 171
- [42] Fabricius Einfluß des Sitzlehnenmomentes auf die Bio-
mechanik der Kopf-HWS-Belastungen
Dissertation TU Berlin, 1969

- [43] Clemens Experimentelle Untersuchungen zur Verletzungs-
Burow mechanik der HWS beim Frontal- und Heckaufprall
Arch. orthop. Unfallchirurgie 74, S.116, 1972
- [44] K. Burow Zur Verletzungsmechanik der HWS
Dissertation TU Berlin, 1975
- [45] H.D. Portnoy Mechanism of Cervical Spine Injury in Auto
u.a. Accidents
15th Conference of the AAAM, 1971
- [46] Mertz und Strength and Response of Human Head
Patrick 15th Stapp Car Crash Conference, S. 207
- [47] F. Hartemann How to Further Improve the Protection of
C. Tarriere Occupants Wearing Seat Belts
G.M. Mackay Proc. of 19th Conference of AAAM, San Diego
et al 1975
- [48] Mackay Insassenschutz
Europäisches Symposium für Kraftfahrzeuge
Brüssel, Dezember 1975

Europäische Gemeinschaften — Kommission

EUR 6049 — Wirksamkeit von Kopfstützen in Kraftfahrzeugen

D. Adomeit, H. Appel, Viet VuHan

Institut für Landverkehrsmittel, Technische Universität Berlin

Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften

1978 — 70 p. — 21,0 × 29,7 cm

Serie : Medizin

DE

ISBN 92-825-0623-1

Katalognummer: CD-NJ-78-001-DE-C

| BFR | DKR | DM | FF | LIT | HFL | UKL | USD |
|-----|-------|-------|-------|--------|-------|------|-----|
| 500 | 87,40 | 31,70 | 70,50 | 13 400 | 34,50 | 8.20 | 16 |

Aufbauend auf Bewegungs- und Belastungsanalysen des Kopf-Hals-Wirbelsäulen-Systems unter verschiedenen Unfallkonstellationen wird mit Hilfe von Aussagen der Biomechanik-Forschung und mit Hilfe von Unfall-Forschungsergebnissen (Statistiken) der Versuch unternommen, zu einer Wertung der Wirksamkeit von Kopfstützen in Kraftfahrzeugen zu kommen.

Mit einem N/K-Faktor von 0,03 bis 0,3 liegt die gesetzliche Einführung von KSt auf der N/K-Ebene von

- BAB-Beleuchtung
- BAB-Heizung
- Sauberhalten von Scheinwerfern
- automatischer Scheinwerfereinstellung
- Blockierreglern
- Air-Bag-Systemen
- Zwei-Sicherheitsgurte/Fahrzeugen mit geringer (<15 %) Anlegequote
- Fußgängerschutz (untere Grenze).

Der Nutzen dürfte sich bei günstiger Auslegung der KSt für die Fondpassagiere im Frontalstoß um einen derzeit schwer abschätzbaren Betrag erhöhen. Eine Verdoppelung der angegebenen N/K-Faktoren scheint nicht ausgeschlossen.

Bei der Auslegung des Systems Kopfstütze—Sitz kann die KSt zu N/K-Faktoren führen, die zwischen 0,1 und 0,5 und damit im Bereich von Sicherheitsmaßnahmen wie Air-Bags und verbesserte Gurtsysteme liegen. Voraussetzung für einen hohen N/K-Faktor ist eine konsequente Entwicklung von KSt mit den Zielen:

- optimale Einstellbarkeit und korrekte Handhabung
- optimale Steifigkeit/Energieabsorptionsfähigkeit
- Aufbau ohne scharfe, harte Teile
- abgestimmte Energieabsorption auch für den Fondinsassen.

**Salgs- og abonnementskontorer · Vertriebsbüros · Sales Offices
Bureaux de vente · Uffici di vendita · Verkoopkantoren**

Belgique - België

Moniteur belge – *Belgisch Staatsblad*
Rue de Louvain 40-42 –
Leuvensestraat 40-42
1000 Bruxelles – 1000 Brussel
Tél. 512 00 26
CCP 000-2005502-27
Postrekening 000-2005502-27

Sous-dépôts – *Agentschappen*:

Librairie européenne – Europese
Boekhandel
Rue de la Loi 244 – Wetstraat 244
1040 Bruxelles – 1040 Brussel

CREDOC

Rue de la Montagne 34 - Bte 11 –
Bergstraat 34 - Bus 11
1000 Bruxelles – 1000 Brussel

Danmark

J.H. Schultz – *Boghandel*

Møntergade 19
1116 København K
Tlf. (01) 14 11 95
Girokonto 1195

Underagentur:

Europa Bøger
Gammel Torv 6
Postboks 137
1004 København K
Tlf. (01) 14 54 32

BR Deutschland

Verlag Bundesanzeiger

Breite Straße – Postfach 10 80 06
5000 Köln 1
Tel. (0221) 21 03 48
(Fernschreiber: Anzeiger Bonn
8 882 595)
Postscheckkonto 834 00 Köln

France

*Service de vente en France des publica-
tions des Communautés européennes*

Journal officiel
26, rue Desaix
75732 Paris Cedex 15
Tél. (1) 578 61 39 – CCP Paris 23-96

Ireland

Government Publications

Sales Office
G.P.O. Arcade
Dublin 1

or by post from

Stationery Office

Beggar's Bush
Dublin 4
Tel. 68 84 33

Italia

Libreria dello Stato

Piazza G. Verdi 10
00198 Roma – Tel. (6) 8508
Telex 62008
CCP 1/2640

Agenzia

Via XX Settembre
(Palazzo Ministero del tesoro)
00187 Roma

**Grand-Duché
de Luxembourg**

*Office des publications officielles
des Communautés européennes*

5, rue du Commerce
Boîte postale 1003 – Luxembourg
Tél. 49 00 81 – CCP 19190-81
Compte courant bancaire:
BIL 8-109/6003/300

Nederland

Staatsdrukkerij- en uitgeverijbedrijf

Christoffel Plantijnstraat, 's-Gravenhage
Tel. (070) 62 45 51
Postgiro 42 53 00

United Kingdom

H.M. Stationery Office

P.O. Box 569
London SE1 9NH
Tel. (01) 928 69 77, ext. 365
National Giro Account 582-1002

United States of America

*European Community Information
Service*

2100 M Street, N.W.
Suite 707
Washington, D.C. 20 037
Tel. (202) 862 95 00

Schweiz - Suisse - Svizzera

Librairie Payot

6, rue Grenus
1211 Genève
Tél. 31 89 50
CCP 12-236 Genève

Sverige

Librairie C.E. Fritze

2, Fredsgatan
Stockholm 16
Postgiro 193, Bankgiro 73/4015

España

Librería Mundi-Prensa

Castelló 37
Madrid 1
Tel. 275 46 55

Andre lande · Andere Länder · Other countries · Autres pays · Altri paesi · Andere landen

Kontoret for De europæiske Fællesskabers officielle Publikationer · Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaften · Office for Official Publications of the European Communities · Office des publications officielles des Communautés européennes · Ufficio delle pubblicazioni ufficiali delle Comunità europee · Bureau voor officiële publikaties der Europese Gemeenschappen

Luxembourg 5, rue du Commerce Boîte postale 1003 Tél. 49 00 81 · CCP 19 190-81 Compte courant bancaire BIL 8-109/6003/300

HINWEIS FÜR DEN LESER

Alle von der Kommission der Europäischen Gemeinschaften veröffentlichten wissenschaftlichen und technischen Berichte werden in der Monatszeitschrift „euro-abstracts“ angezeigt. Das Abonnement (1 Jahr : BFR 1460) ist bei der unten angegebenen Anschrift erhältlich.

BFR 500 DKR 87,40 DM 31,70 FF 70,50 LIT 13 400 HFL 34,50 UKL 8.20 USD 16



AMT FÜR AMTLICHE VERÖFFENTLICHUNGEN
DER EUROPÄISCHEN GEMEINSCHAFTEN

Boîte postale 1003 — Luxembourg

ISBN 92-825-0623-1

Katalognummer: CD-NJ-78-001-DE-C