

Belastbarkeit gurtgeschützter menschlicher Körper bei simulierten Frontalaufprallen*

Dimitrios Kallieris und Georg Schmidt

Institut für gerichtliche Medizin der Universität Heidelberg (BRD)

Eingegangen am 9. November 1973

Strain of Safety-Belt Protected Human Bodies at Simulated Crash Accidents

Summary. Utilizing a drop weight installation, frontal crashes with occupants wearing safety belts were simulated, using various harness systems. 10 male and female cadavers from 12 to 78 years were tested. Shoulder-belt-forces of 340—1000 kp and lap-belt-forces of 430—750 kp were measured by using crash velocities ranging from 50 to 79 km/hr, and a sled deceleration of 18.5 up to 31 g. Autopsy of young cadavers did not show any or only slight injuries; cadavers in the middle and old age groups showed not dangerous or dangerous injuries respectively. For young cadavers tested the chance to survive can be considered as good; for cadavers tested in the middle and old age groups survival chances can be considered as good to bad.

Zusammenfassung. Unter Verwendung verschiedener Gurtsysteme wurden Frontalaufpralle eines gurtgeschützten Beifahrers mit der Fallgewichtsbeschleunigungsanlage simuliert. Zur Verfügung standen 10 Leichen männlichen und weiblichen Geschlechtes im Altersbereich von 12 bis 78 Jahren. Bei Aufprallgeschwindigkeiten von 50 bzw. 79 km/Std mit einer Schlittenverzögerung, die zwischen 18,5 und 31 g lag, wurden Schultergurtkräfte von 340 bis 1000 kp, Beckengurtkräfte von 430 bis 750 kp gemessen. Die Obduktion ergab bei jungen Testobjekten keine bis leichte Verletzungen, bei Testobjekten im mittleren und Greisenalter nicht gefährliche bis gefährliche Verletzungen. Die Überlebenschance für junge Testpersonen kann als gut, für Versuchsobjekte mittleren und Greisenalters als gut bis schlecht bezeichnet werden.

Key words: Verkehrsunfall, Simulation von Frontalaufprallen — Gurtverletzungen, Biomechanik.

Sicherheitsgurte wurden schon etwa 1885 den ersten Automobilisten angeboten (Reidelbach, 1965), damals vor allem aus Furcht davor, daß die Insassen aus den offenen Fahrzeugen schon bei normaler Fahrt herausfallen könnten. Als Schutz gegen Unfallverletzungen sind sie erst nach 1945 vorgeschlagen worden. Bei Nash in den USA konnte man bereits 1949 Sicherheitsgurte (Hüftgurte) als Standardausrüstung bekommen, doch wurden sie nicht nennenswert verwandt; Ford und Chrysler folgten im Jahre 1955. Die Volvowerke führten 1959 als erste Automobilfabrik die Sicherheitsgurte, zunächst Schulter-Schräg-Gurte, später Dreipunkt-Gurte, serienmäßig ein (Büttner u. Friedhoff, 1960; Meiswinkel, 1969).

Ab 1. 1. 1974 muß jedes neuverkaufte Fahrzeug (Pkw) in der BRD mit Dreipunkt-Gurten ausgerüstet sein.

* Vorgetragen von D. Kallieris auf der IV. Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für Medizinische Physik am 4. und 5. 10. 1973 in Homburg/Saar.

Ab Mitte der sechziger Jahre wurde der Autosicherheitsgurt aus biomechanischer Sicht mit freiwilligen Personen und Leichen erprobt (Zaborowski, 1964).

Trotz der bisher gewonnenen Erkenntnisse über die Belastbarkeit eines gurtgeschützten menschlichen Körpers sind diese für die heute in Frage kommenden Fahrgeschwindigkeiten nicht zufriedenstellend. Das genaue Wissen der Erträglichkeitsgrenzen des komplexen Systems „Mensch“ erfordert eine große Zahl von Versuchen mit den heute in Frage kommenden Geschwindigkeiten im Straßenverkehr.

Das Heidelberger gerichtsmedizinische Institut ist mit einem Verzögerungsschlitten ausgerüstet (Kallieris, 1973). Der Wagen mit der Versuchsperson wird bis zur gewünschten Aufprallgeschwindigkeit (max. 100 km/Std) durch ein Fallgewicht, bei 8facher Übersetzung, beschleunigt. Gezielt verzögert wird der Schlitten dadurch, daß seine kinetische Energie in Biegearbeit eines Bleches umgesetzt wird. Die in ihren Abmessungen definierten Blechstreifen werden plastisch deformiert. Die Schlittenverzögerung entspricht in ihrer Zeitcharakteristik einem Trapez.

Simuliert werden Wandaufprallunfälle eines gurtgeschützten Beifahrers (Abb. 1) unter Verwendung folgender Rückhaltesysteme:

1. Schrägschulter-Beckengurt mit Aufrollautomat. Dieses Dreipunkt-Gurtsystem wird heute in den meisten Serienfahrzeugen eingesetzt (Gurtdehnung 17% bei 1000 kp Belastung).

2. Schrägschultergurt-Beckengurt mit Aufrollautomat, Gurtkraftbegrenzer und Vorspanneinrichtung. Der Kraftbegrenzer verhindert, daß bestimmte Gurtkräfte überschritten werden (Gurtdehnung 6% bei 1000 kp Belastung).

3. Schrägschultergurt-Kniepolster mit Aufrollautomat. An Stelle des Beckengurtes wird hier ein Kniepolster verwandt. Die Abstützkräfte werden über die Oberschenkel auf das Becken übertragen, wobei durch die definierte Deformationscharakteristik des Kniepolsters die Oberschenkel- bzw. Beckengrenzwerte nicht überschritten werden (Gurtdehnung 17% bei 1000 kp Belastung).

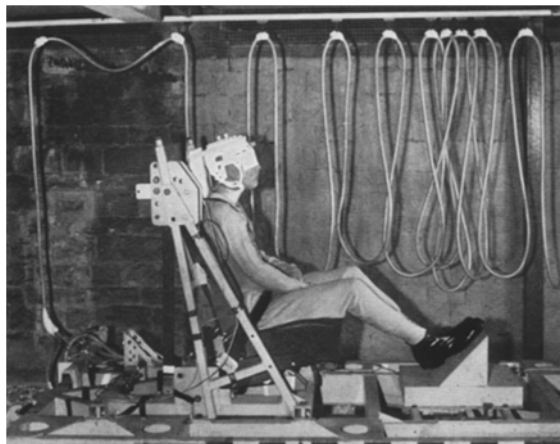


Abb. 1. Versuchswagen mit Testperson



Abb. 2. Testperson mit Meßstellen

SGK Schultergurtkraftmesser,
BGK Beckengurtkraftmesser,
Kz Kopfbeschleunigungsmesser in z -Richtung
Kx Kopfbeschleunigungsmesser in x -Richtung

4. Schrägschultergurt-Kniegurt mit Gurtkraftbegrenzer und Vorspanneinrichtung. Schrägschulter- bzw. Kniegurt werden bei Aufprallbeginn fest am Körper angezogen, so daß die Gurtlose eliminiert wird (Gurtdehnung 6% bei 1000 kp Belastung).

Für die Versuche werden Seriensitze, Seriensitze mit verstärktem Federkern und Seriensitze mit vollhartem Sitzkern (vom VW-Werk) verwendet.

Als Versuchsobjekte dienten frische, d. h. keine formalinfixierte, menschliche Leichen beiderlei Geschlechts.

Die Zeit zwischen Eintritt des Todes und Versuch betrug 20 bis 120 Std. Falls die Totenstarre noch nicht gelöst war, wurden die Leichen so behandelt, daß sie in Sitzposition gebracht werden konnten. Die Starre am Genick wird wahlweise gelöst; die der oberen Extremitäten durch das Ankleiden der Leiche. Zur Zeit des Versuchs lag die Körpertemperatur zwischen 15 und 20°C.

Bei den Versuchen werden außer der Aufprallgeschwindigkeit auch die Schlittenverzögerung, die Gurtkräfte und die Kopfbeschleunigung an der Stirn bzw. dem Scheitel (x -, z -Richtung) (Abb. 2) in Abhängigkeit der Zeit von einem Lichtstrahloszillograph (UV-Schreiber) aufgezeichnet und gleichzeitig mit einem Magnetbandgerät gespeichert.

Die Aufprallphase wird von vorn und seitlich mit Hochgeschwindigkeitskameras gefilmt.

Die bei der Sektion festgestellten Verletzungen werden den gemessenen Daten zugeordnet.

Aus den bisherigen 10 Versuchen mit Leichen jugendlichen, mittleren und greisen Alters bei Aufprallgeschwindigkeiten von 50 bzw. 80 km/Std gegen eine starre Wand und mittlere Verzögerungen zwischen 18,5 und 31 g wurden Schulter-

gurtkräfte von 340 bis 1000 kp, Beckengurtkräfte von 430 bis 750 kp und Kniegurtkräfte von 420 bis 450 kp je nach verwendetem Gurtsystem gemessen. Die Kopfbeschleunigungsspitzen in z -Richtung betragen 54—136 g, in x -Richtung 40—144 g. Die Auswertung der Hochgeschwindigkeitsfilme ergaben Kopfbeugewinkel, die zwischen 79 und 132° lagen. Bei den Todesursachen der Versuchsleichen handelt es sich um 3mal Ertrinken, 2mal Herzinfarkt, 2mal Vergiftung, 1mal Erhängen, 1mal Elektrotod, 1mal Hirnmassenblutung.

Die Versuche mit Leichen von jungen Personen (12, 17, 21 Jahre) bei Aufprallgeschwindigkeiten von 50 km/Std führten in 2 Fällen zu Blutunterlaufungen der Nackenmuskulatur und einzelnen Rippenbrüchen; in 1 weiteren Fall zu keinen erkennbaren Verletzungen. Das Ausbleiben der Verletzungen bei dem 17jährigen Leichenkörper ist nicht nur auf die Elastizität und volle Festigkeit des jungen Menschen, sondern auch auf sein verhältnismäßig kleines Gewicht von 60 kg und auf das verwendete Gurtsystem (Dreipunkt-Gurt mit Kraftbegrenzer) zurückzuführen.

In diesen 3 Fällen hätte eine gute Überlebenschance bestanden.

Die Aufprallversuche mit Testpersonen mittleren Alters (33, 47 und 49 Jahre) bei Geschwindigkeiten von 50 und 79 km/Std zeigten: Bandscheibenriß zwischen dem 4. und 5. Halswirbelkörper, Abriß des Dornfortsatzes des 7. Halswirbels, Rippenserienbrüche, links stärker als rechts — entlang dem Gurtverlauf, Brustbeinbrüche, Blutunterlaufungen in der Wirbelsäulenmuskulatur oder leichtere Verletzungen, zarte Einrisse an den Brust- und Bauchorganen. Ähnliche Verletzungen stellten Dotzauer *et al.* (1973) fest.

Der 79 km/Std Aufprallversuch ließ auch Relativbewegungen zwischen Schädel und Gehirn an den Brückenveneneinrisen erkennen. Die Überlebenschancen für die vorhergenannten Versuchsobjekte sind mit gut bis fraglich zu bezeichnen.

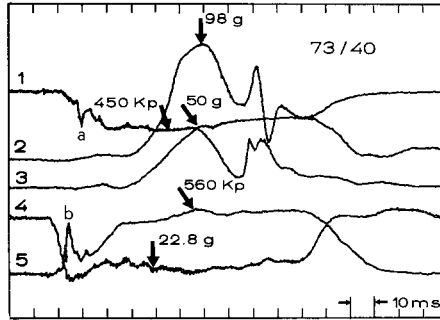
Die Leichenversuche mit Objekten im Greisenalter (60, 70, 72, 78 Jahre) mit Aufprallgeschwindigkeiten von 50 km/Std ergaben starke (postmortale) Blutunterlaufungen der Nackenmuskulatur, Halswirbelsäulenbrüche, Brustwirbelsäulenbrüche, Lendenwirbelsäulenbruch, zwei- bis dreifache Rippenserienbrüche links, einzelne Rippenbrüche rechts, ein- bis zweimaliger Bruch des Brustbeines, Einrisse des Bauchfells und Organrisse.

Die Überlebenschancen sind bei diesen Verletzungen mit fraglich bis schlecht zu bezeichnen.

Bei allen Versuchen, die mit Verletzungen der Halswirbelsäule bzw. der oberen Brustwirbelsäule verbunden waren, wurde ein Kopfbeugewinkel über 85° gemessen. Davon waren vorwiegend Versuchsobjekte im Greisenalter betroffen.

Abb. 3 und 4 zeigen Aufzeichnungen von 2 Versuchen mit dem UV-Schreiber. Die Peaks *a*, *b* werden durch das Straffziehen des Gurtes kurz vor dem Aufprall erzeugt. Die Zeitverschiebung dieser Kräftemaxima (*a*, *b*) ist auf die unterschiedliche Länge der Gurtlose zurückzuführen.

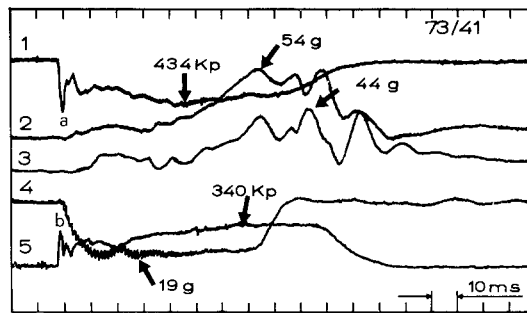
Aus der bisherigen Anzahl simulierter Unfälle eines gurtgeschützten Beifahrers mit Aufprallgeschwindigkeiten von 50 und 79 km/Std frontal gegen eine starre Wand — dies entspricht, bezogen auf die Insassenbelastung, einem Frontalaufprall (Front-Front) mit Aufprallgeschwindigkeiten von 100 bzw. 158 km/Std gegen ein vollkommen gleiches, stehendes Fahrzeug (Kallieris *et al.*, 1973) und mittleren Wagenverzögerungen, die zwischen 18,5 und 31 g lagen — kann die Überlebens-



Mann: 47 Jahre, 62 kg, 174 cm, Aufprallgeschwindigkeit 79 km/Std Zweipunkt-Gurt und Kniegurt

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1. Gurt Knie 38 mm = 1000 kp, | 2. Kopf z 50 mm = 100 g |
| 3. Kopf x 50 mm = 100 g, | 4. Schlitten 40 mm = 40 g |
| 5. Gurt Schulter 50 mm = 1000 kp | Papiervorschub 1 m/s |

Abb. 3. Kraft-Zeit- und Beschleunigung-Zeit-Diagramme



Mann: 17 Jahre, 60 kg, 169 cm, Aufprallgeschwindigkeit 50,5 km/Std, Dreipunkt-Gurt mit Kraftbegrenzer

- | | |
|----------------------------------|---------------------------|
| 1. Gurt Becken 38 mm = 1000 kp, | 2. Kopf z 50 mm = 100 g |
| 3. Kopf x 50 mm = 100 g, | 4. Schlitten 10 mm = 10 g |
| 5. Gurt Schulter 50 mm = 1000 kp | Papiervorschub 1 m/s |

Abb. 4. Kraft-Zeit- und Beschleunigungs-Zeit-Diagramme

chance für junge Personen als *gut*, für Versuchsobjekte mittleren und Greisenalters als *gut bis schlecht* bezeichnet werden (Tabelle 1).

Die ausführlichen Daten der einzelnen Aufprallversuche mit Verletzungen sind aus Tabelle 2—11 zu entnehmen.

Um das Verletzungsrisiko der Halswirbel- bzw. der oberen Brustwirbelsäule bei verschiedenen Gurtsystemen zu mindern, wäre eine Begrenzung der Kopfbeugung bis etwa 80° notwendig.

Die vom Schultergurt hervorgerufenen Verletzungen könnten unter Verwendung von steifen und breiteren Auflagen bei niedrigen Geschwindigkeiten verhindert, bei höheren Geschwindigkeiten gemildert werden; ein Einbeziehen beider Schultern ist vorteilhaft.

Tabelle 1. Zusammengefaßte Versuchsbedingungen, Meßergebnisse und Überlebenschance

Versuchsnummer	Alter (Jahre)	Gewicht (kg)	Aufprallgeschw. (km/Std)	Bremsverzögerung (g)	Rückhaltesystem	Max. Gurtkraft		Max. Kopfverzögerung		Überlebenschance
						Schulter (kp)	Becken, Knie (kp)	Scheitel (g)	Stirn (g)	
73/46	12	52	49,0	24,8	3-Pkt.-Serie	450	—	115	124	gut
73/36	33	65	49,9	28,4	3-Pkt.-Serie	735	755	100	40	gut
73/47	60	73	48,9	28,5	3-Pkt.-Serie	530	—	111	126	fraglich
73/41	17	60	50,5	20,2	3-Pkt. mit Kraftbegrenzer	340	434	54	44	gut
73/11	78	62	50,1	25,7	2-Pkt.-Gurt mit Kniepolster	855	—	—	—	fraglich
73/37	49	79	50,2	31,4	2-Pkt.-Gurt mit Kniepolster	1012	—	86	—	gegeben
73/48	21	73	49,1	27,4	2-Pkt.-Gurt mit Kniepolster	580	—	136	111	gut
73/49	72	69	50,5	20,2	2-Pkt.-Gurt mit Kniepolster	572	—	116	115	gegeben
73/43	70	63	49,7	18,5	2-Pkt.-Gurt mit Kniegurt	460	421	120	144	gegeben
73/40	47	62	79	22,8	2-Pkt.-Gurt mit Kniegurt	560	450	98	50	fraglich

Tabelle 2. Aufprallversuch (73/11)

Geschlecht/Alter (Jahre)	weiblich/78
Länge (cm)/Gewicht (kg)	150/62
Rückhaltesystem	2-Pkt.-Gurt + Kniepolster
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	50,14
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	25
Schultergurtkraft (kp)	830
Kopfbeugewinkel (°)	123
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	Bandscheibenriß zwischen 4. und 5. Halswirbelkörper, Blutaustritte im Bereich der Wirbelbogengelenke zwischen 4. und 5. Halswirbel. Blutaustritte zwischen den Dornfortsätzen des 7. Halswirbels und 1. Brustwirbels.
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	<i>links:</i> Rippenreihenbrüche 2.—9. Rippe in der vorderen Achsellinie, Knickbrüche 2.—7. Rippe in einer dem Schräggurt folgenden Linie. Schräger Bruch des Brustbeins. <i>rechts:</i> Bruch der 3.—6. Rippe in der Brustwarzenlinie.
Becken	keine
Gliedmaßen	keine
Verletzungsgrad ^a	0 1 2 3 4
Überlebenschance	fraglich

^a ACIR-Verletzungsskala: 0 nicht verletzt, 1 leicht verletzt, 2 nicht gefährlich verletzt, 3 gefährlich verletzt, 4 tödlich verletzt (Gögler, 1968).

Tabelle 3. Aufprallversuch (73/36)

Geschlecht/Alter (Jahre)	männlich/33
Länge (cm)/Gewicht (kg)	177/65
Rückhaltesystem	3-Pkt.-Gurt-Serie
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	49,94
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	28
Kopf-z-Beschleunigung (g)	100
Schultergurtkraft (kp)	735
Beckengurtkraft (kp)	755
Kopfbeugewinkel (°)	119
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	Bandscheibenriß zwischen 4. und 5. Halswirbelkörper.
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	Rippenknickbrüche der 2.—5. Rippe links entlang dem Gurtverlauf, Rippenbrüche der 2. und 3. Rippe links seitlich vor der Achselfalte mit Ausspießung nach außen.
Weichteile	Blutaustritte in der tiefen Rückenmuskulatur neben den Dornfortsätzen des 2. bis 4. Brustwirbels.
Becken	keine
Gliedmaßen	keine
Verletzungsgrad	0 1 2 3 4
Überlebenschance	gut

Tabelle 4. Aufprallversuch (73/37)

Geschlecht/Alter (Jahre)	männlich/49
Länge (cm)/Gewicht (kg)	177/79
Rückhaltesystem	2-Pkt.-Gurt + Kniepolster
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	50, 18
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	31
Kopf-z-Beschleunigung (g)	86
Schultergurtkraft (kp)	1012
Kopfbeugewinkel (°)	97
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	keine
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	Brustbein quer eingeknickt. <i>links:</i> Knickbruch der 3. und 7. Rippe, Brüche der 4., 5., und 6. Rippe seitlich. <i>rechts:</i> Knickbruch der 2., 3. und 4. Rippe seitlich, Bruch der 1. Rippe.
Weichteile	Zarte Einrisse an der vorderen Lungenwurzel links. Rippenfell im Bereich der 5. Rippe durchgestoßen, Blutaustritte am rechten Kopfnickermuskel und über den Dornfortsätzen der Halswirbelsäule, in der Bauchspeicheldrüse und in der Nierenkapsel links.
Becken	keine
Gliedmaßen	Blutunterlaufung an der Innenseite des linken Knies und in den Kniegelenken. Einriß des vorderen Kreuzbandes am rechten Knie.
Verletzungsgrad	0 1 2 3 4
Überlebenschance	gegeben

Tabelle 5. Aufprallversuch (73/40)

Geschlecht/Alter (Jahre)	männlich/47
Länge (cm)/Gewicht (kg)	174/62
Rückhaltesystem	2-Pkt.-Gurt + Kniegurt
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	79,9
Schlittenverzögerung (g)	22
Kopf-x-Beschleunigung (g)	50
Kopf-z-Beschleunigung (g)	98
Schultergurtkraft (kp)	560
Kniegurtkraft (kp)	450
Kopfbeugewinkel (°)	90
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	Abriß des Dornfortsatzes des 7. Halswirbels.
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	Schräg-Knickbruch des Brustbeins. Knickbrüche der 5., 6. und 8. Rippe links vorn. Abriß der 1. Rippe vom Brustbein rechts. Knickbrüche der 2., 3., 4., 6., und 7. Rippe vorne rechts.
Weichteile	Zarte Einrisse an den Brückenvenen des Gehirns. Oberflächliche Gewebs- einrisse am Ansatz des Aortenbogens und der unteren Hohlvene. Einzelne kleine Kapselrisse an der Unterseite des linken Leberlappens. Lungen- wurzelrisse. Blutaustritte in der tiefen Rückenmuskulatur im Bereich der oberen Brustwirbelsäule.
Becken	keine
Gliedmaßen	keine
Verletzungsgrad	0 1 2 3 4
Überlebenschance	fraglich

Tabelle 6. Aufprallversuch (73/41)

Geschlecht/Alter (Jahre)	männlich/17
Länge (cm)/Gewicht (kg)	169/60
Rückhaltesystem	3-Pkt.-Gurt mit Kraftbegrenzer
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	50, 55
Schlittenverzögerung (g)	20, 22
Kopf-x-Beschleunigung (g)	44
Kopf-z-Beschleunigung (g)	54
Schultergurtkraft (kp)	340
Beckengurtkraft (kp)	434
Kopfbeugewinkel (°)	79
<i>Verletzungen</i>	keine
Halswirbelsäule	keine
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	keine
Becken	keine
Gliedmaßen	keine
Verletzungsgrad	0 1 2 3 4
Überlebenschance	sehr gut

Tabelle 7. Aufprallversuch (73/43)

Geschlecht/Alter (Jahre)	weiblich/70
Länge (cm)/Gewicht (kg)	155/63
Rückhaltesystem	2-Pkt.-Gurt + Kniegurt
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	49,7
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	18,5
Kopf-z-Beschleunigung (g)	120
Kopf-x-Beschleunigung (g)	144
Schultergurtkraft (kp)	460
Kniegurtkraft (kp)	421
Kopfbeugewinkel (°)	129
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	Kleine Blutunterlaufung über dem Dornfortsatz des 6. Halswirbels.
Brustwirbelsäule	Querbruch des 5. Brustwirbelkörpers mit Zerreißung des vorderen Längsbandes auf der rechten Seite.
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	Schräger Bruch der 1. Rippe links, seitlich. Bruch der 9. Rippe links, in der hinteren Achsellinie. Das Brustbein quer nach innen geknickt in Höhe der 3. Rippe. Rippenknickbrüche der 1. bis 4. Rippe links im Knorpelbereich. Die 5. bis 11. Rippe links in einer bogenförmigen Linie von oben nach außen nahe der Knorpelgrenze im Knochenbereich geknickt. Bruch der 3. und 4. Rippe links, 8 cm bzw. 10 cm seitlich des Brustbeines. Zersplitterung der 1. und 2. Rippe rechts, etwa 3 cm von der Wirbelsäule entfernt. Die 1. Rippe rechts aus dem Brustbeingelenk gerissen. Die 2. Rippe im Knorpelbereich, die 3. Rippe 8 cm seitlich vom Brustbein geknickt. Die 4. bis 6. Rippe knapp hinter der Knorpelgrenze im Knorpelbereich geknickt. Die Milz mehrfach zerrissen.
Becken	keine
Gliedmaßen	keine
Verletzungsgrad	0 1 2 3 4
Überlebenschance	gegeben

Tabelle 8. Aufprallversuch (73/46)

Geschlecht/Alter (Jahre)	weiblich/12
Länge (cm)/Gewicht (kg)	145/52
Rückhaltesystem	3-Pkt.-Gurt-Serie
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	49
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	24,8
Kopf-z-Beschleunigung (g)	115
Kopf-x-Beschleunigung (g)	124
Schultergurtkraft (kp)	450
Kopfbeugewinkel (°)	70
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	keine
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	Abdruck des Gurtes vom Vorderrand des rechten Kopfnickermuskels, schräg nach links unten bis zum Brustbeinhandgriff. Knickbruch der 2. Rippe links, 6 cm außerhalb der Ansatzstelle am Brustbein. Teilweise Aussprengung der Verbindung zwischen 1. Rippe rechts und Brustbein.
Becken	Abdruck des Beckengurtes am rechten bzw. am linken Oberbauch.
Gliedmaßen	keine
Verletzungsgrad	0 <input type="checkbox"/> 2 <input type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Überlebenschance	gut

Tabelle 9. Aufprallversuch (73/47)

Geschlecht/Alter (Jahre)	weiblich/60
Länge (cm)/Gewicht (kg)	170/73
Rückhaltesystem	3-Pkt.-Gurt-Serie
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	48,9
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	28,5
Kopf-z-Beschleunigung (g)	111
Kopf-x-Beschleunigung (g)	126
Schultergurtkraft (kp)	530
Kopfbeugewinkel (°)	83
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	Starke Blutunterlaufungen in der Nackenmuskulatur, unmittelbar unter dem Kopfansatz.
Brustwirbelsäule	4. Brustwirbel quer gebrochen.
Lendenwirbelsäule	3. Lendenwirbel schräg von hinten unten nach vorne oben gebrochen.
Thorax	Schürfung entlang der Gurtlinie. Rippenserienbrüche links der 2. bis 10. Rippe, teils 2- bis 3fache Brüche; paravertebral links 6. bis 8. und 9. bis 11. Rippe gebrochen. Rechts einzelne Brüche der 2. bis 4. Rippe. Brustbein zwischen 1. und 2. sowie in der Höhe der 4. Rippe gebrochen.
Becken	Querquetschung des Bauches in die Höhe der oberen Beckenkämme mit Durchquetschung des Unterhautfettgewebes über dem rechten Beckenkamm. Einrisse im Bauchfell, an dieser Stelle stärkere Dünndarmgekröse-Einrisse in gleicher Höhe. Der mittlere Dünndarm ist über der Wirbelsäule durchtrennt, ebenso ist das hintere Bauchfell an dieser Stelle eingerissen. Im Dünndarmgekröse klaffen Zerreißen bis Handflächengröße, dazwischen Gefäße als Gewebsbrücken. Drei Risse an der Vorder-Unterseite der Milz.
Gliedmaßen	keine
Verletzungsgrad	0 <input type="checkbox"/> 1 <input type="checkbox"/> 2 <input checked="" type="checkbox"/> 3 <input type="checkbox"/> 4
Überlebenschance	fraglich

Tabelle 10. Aufprallversuch (73/48)

Geschlecht/Alter (Jahre)	männlich/21
Länge (cm)/Gewicht (kg)	172/73
Rückhaltesystem	2-Pkt.-Gurt + Kniepolster
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	49,1
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	27,4
Kopf-z-Beschleunigung (g)	136
Kopf-x-Beschleunigung (g)	111
Schultergurtkraft (kp)	580
Kopfbeugewinkel (°)	116
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	Blutunterlaufungen der tiefen Nackenmuskulatur im Bereich der Halswirbelsäule nach unten bis zum 2. Brustwirbel.
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	Hautvertrocknung von rechts oben nach links unten im Gurtverlauf. Knickbruch der 1. bis 3. Rippe links am Brustbeinansatz.
Becken	keine
Gliedmaßen	Mehrere Hautvertrocknungen, teilweise Hautdurchtrennungen über der Schienbeinvorderkante beiderseits.
Verletzungsgrad	0 1 2 3 4
Überlebenschance	gut

Tabelle 11. Aufprallversuch (73/49)

Geschlecht/Alter (Jahre)	männlich/72
Länge (cm)/Gewicht (kg)	169/69
Rückhaltesystem	2-Pkt.-Gurt + Kniepolster
Anstoßrichtung	frontal
Aufprallgeschwindigkeit (km/Std)	50,5
Mittlere Schlittenverzögerung (g)	20,2
Kopf-z-Beschleunigung (g)	116
Kopf-x-Beschleunigung (g)	115
Schultergurtkraft (kp)	572
Kopfbeugewinkel (°)	111
<i>Verletzungen</i>	
Halswirbelsäule	Ausgedehnte Blutunterlaufung der Halshaut rechts bis an die obere Brustkorböffnung heranreichend. Aufsprennung der Halswirbelsäule zwischen dem 6. und 7. Halswirbelkörper.
Brustwirbelsäule	keine
Lendenwirbelsäule	keine
Thorax	Hautabschürfung im Gurtverlauf. Knickbruch der 2.—4. Rippe rechts in der inneren Schulterblattlinie. Bruch der 1. Rippe rechts unmittelbar am Brustbeinansatz. Bruch der 2. und 3. Rippe rechts in der Brustwarzenlinie. Schräg verlaufende Bruchlinie im Brustbein in Höhe der 4. Rippe. Bruch der 3.—6. Rippe links in der Brustwarzenlinie. Bruch der 3.—6. Rippe links 2 cm neben dem Brustbein, Bruch der 6.—8. Rippe links in der Mitte zwischen Brustbein und Brustwarzenlinie. Zahlreiche Durchspießungen des Rippenfells im Bereich der Rippenbrüche links.
Becken	keine
Gliedmaßen	Mehrere kleine bis zu 2 × 2 cm große Hautabschürfungen über den Schlüsselbeinköpfen beiderseits.
Verletzungsgrad	0 1 2 3 4
Überlebenschance	gegeben

Um die vom Beckengurt hervorgerufenen Verletzungen zu eliminieren, sollte man die Knie in die Rückhalteeinrichtung einbeziehen. Nach Patrick u. Mertz (1970) liegt die Grenzbelastung beider Knie in Sitzposition zwischen 700 und 1200 kp.

Unsere Versuche mit Aufprallgeschwindigkeiten von 50 und 79 km/Std unter Verwendung eines Kniegurtes oder eines Kniepolsters zeigten keine Kniescheiben- oder Oberschenkel- oder Beckenverletzungen.

In 2 Fällen wurden Einrisse der Kreuzbänder im Kniegelenk beobachtet. Die Zweipunkt-Gurte mit Kniegurt oder Kniepolsterrückhaltesysteme verhindern das Untertauchen. Patrick u. Trosien (1971) haben bei simulierten Frontaufprallen eines Beifahrers mit Dreipunkt-Gurt ein häufiges Untertauchen beobachtet. Bei unseren Versuchen kam es seltener vor.

Die bisherigen Versuchsergebnisse zeigen, daß unsere Gurtsysteme noch nicht als optimal bezeichnet werden können und daß es einer weiteren Entwicklung bedarf.

Für die Überlassung der Sitze und Gurtsysteme danken wir dem Volkswagen-Werk.

Dem VDA (Verband der Deutschen Automobilindustrie) wird für eine Sachmittelbeihilfe gedankt.

Literatur

- Büttner, G., Friedhoff, E.: Sicherheitsgurte für Kraftfahrzeuginsassen. Zbl. Verkehrs-Med. **6**, 152—163 (1960)
- Dotzauer, G., Hinz, P., Lange, W.: Das Verhalten menschlicher Körper und anthropometrischer Puppen im Sicherheitsgurt bei der Simulation von schweren Frontalzusammenstößen. Z. Rechtsmedizin **72**, 8—21 (1973)
- Gögler, E.: Chirurgie und Verkehrsmedizin, Handbuch der Verkehrsmedizin. Berlin-Heidelberg-New York: Springer 1968
- Kallieris, D.: Eine Fallgewichtsbeschleunigungsanlage zur Simulation von Aufprallunfällen — Prinzip und Arbeitsweise. Z. Rechtsmedizin (im Druck)
- Kallieris, D., Schmidt, G., Weissner, R., Hoffmann, G.: Biomechanik des Stoßes am menschlichen Körper bei simulierten Verkehrsunfällen. Zbl. für Unfalluntersuchung Baden-Baden 1973 (im Druck)
- Meiswinkel, G.: Sicherheitsgurte bei Pkw-Unfällen, Diss., Univ. Heidelberg 1969
- Patrick, L. M., Mertz, H. J.: Human tolerance to impact. SAE Heft-Nr. 700195 (1970)
- Patrick, L. M., Trosien, K. R.: Volunteer, anthropometric dummy and cadaver responses with three and four point restraints. SAE Heft-Nr. 710079 (1971)
- Reidelbach, W.: Der Sicherheitsgurt — eine Zwischenbilanz. Zbl. Verkehrs-Med. **11**, 145—149 (1965)
- Zaborowski, A. B.: Human tolerance to lateral impact with lap belt only. 8. Stapp Car Crash Conference (1964)

Prof. Dr. med. Georg Schmidt
 Dipl.-Phys. D. Kallieris
 Institut für gerichtliche Medizin
 der Universität
 D-6900 Heidelberg, Voßstraße 2
 Bundesrepublik Deutschland