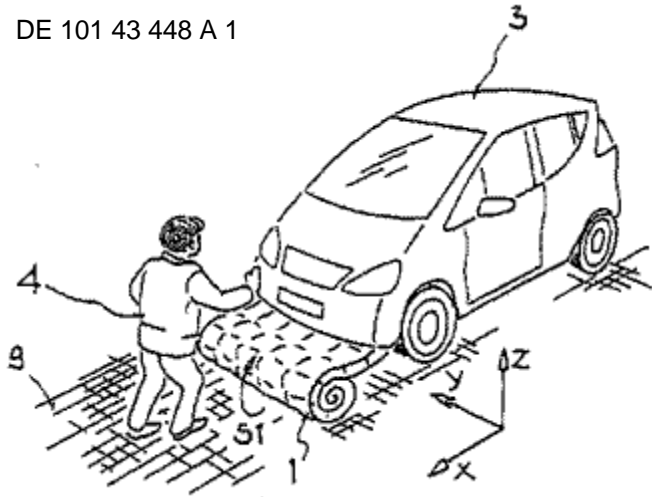


DE 101 43 448 A 1



# Fahrzeugtechnische Konzepte zum Fußgängerschutz bei Verkehrsunfällen

Promotionsvortrag  
Christian Jungbluth

RWTH Aachen, 09. Mai 2006

# Warum Fußgängerschutz ?

---

- These 1: Fußgänger haben gegenüber Pkw-Fahrern ...
  - ein geringeres Unfallrisiko
  - ein ungleich höheres Verletzungsrisiko
- Verletzungen sind IMMER durch den Kollisionspartner verursacht
- These 2:
  - der Fahrzeug-Insassenschutz ist auf technisch hohem Niveau
  - Vergleichbare fahrzeugtechnische Schutzkonzepte für Fußgänger (und Fahrradfahrer) fehlen
  - Diese könnten in Zukunft einen wesentlichen Beitrag zur Verringerung des Verletzungsrisikos leisten
- Fußgängerschutz ist im Gegensatz zum Insassenschutz kein Verkaufsargument für Fahrzeuge. Gesetzliche Anforderungen spielen die treibende Rolle im fahrzeugtechnischen Fußgängerschutz.

# Überblick

---

## 1. Kurze Einleitung

- Status Quo der Fußgängerunfälle
- Historische Entwicklung Unfälle und Maßnahmen

## 2. Welche Gefahren bergen Fußgänger-Fahrzeug-Kollisionen?

- Unfall-/ Verletzungsanalyse
- Biomechanische Grenzwerte

## 3. Was geschieht bei der Fußgänger-Fahrzeug-Kollision?

- Theorie und einfache Rechnungen
- Unfallsimulationsmodelle

## 4. Welche Schutzkonzepte gibt es?

- Gesetzliche Vorgaben: EU-Richtlinie
- Status Quo & Ausblick Schutzkonzepte: passive und aktive Maßnahmen

## 5. Zusammenfassung und Fazit

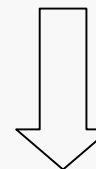
# Warum Fußgängerschutz ?

- Worüber reden wir? Aktuelle Zahlen: Unfälle im Straßenverkehr

Pro Jahr	Fußgänger		
	Schwer verletzt	Getötet	
	Anzahl	Anzahl	Anteil an allen Getöteten %
EU 25 <sup>1)</sup>	176.385	9.024	15,0%
Deutschland <sup>2)</sup>	10.295	851	14,6%

In Deutschland hatten Fußgänger 2004 einen Anteil an... <sup>2)</sup> :

- Verunfallten insgesamt 8,9 %
- Leichtverletzten 8,0 %
- Schwerverletzten 12,7 %
- Getöteten 14,6 %

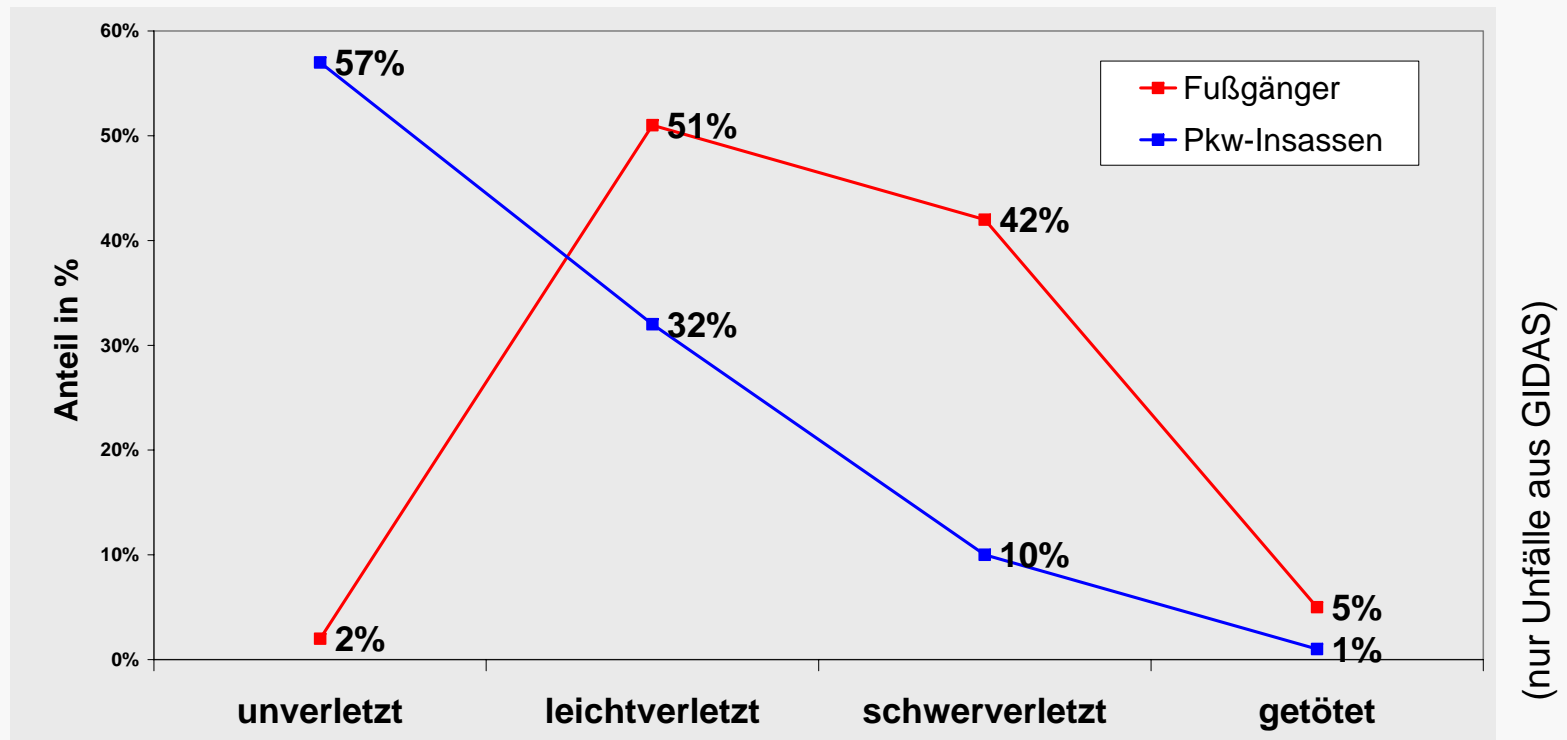


1) G.J.L. Lawrence et al.: A study on the feasibility of measures relating to the protection of pedestrians and vulnerable road users – Final report. O.O. (2004).

2) Statistisches Bundesamt (Hrsg.): Zeitreihen Verkehrsunfälle 2004. Wiesbaden (2005). Im folgenden: StatBA

## 1 Einleitung: Warum Fußgängerschutz ?

# Verletzungsschwere bei Fußgängern und Pkw-Insassen <sup>1)</sup>



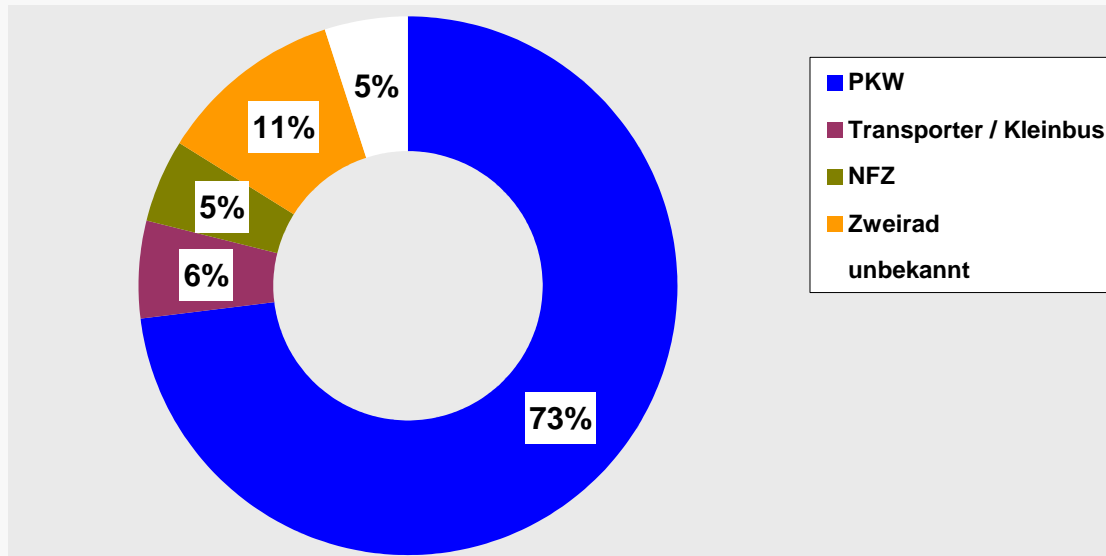
Verletzungsschwere - Gefährdungspotenzial:

- Nahezu 50% der verunfallten Fußgänger werden schwer verletzt oder getötet
  - Nahezu kein verunfallter Fußgänger bleibt unverletzt
- ⇒ **Fazit: These 1 trifft zu**

1) Th. Unselt: Fußgängerschutz: Beitrag durch Bremsassistenzsysteme. In: Workshop „Fußgängerschutz“. TÜV Rheinland, Köln, 08. September 2005. Im folgenden: Unselt. Datenbasis GIDAS (German In-Depth Accident Study; 20.486 Unfallbeteiligte).

## 1 Einleitung: Warum fahrzeugtechnische Konzepte ?

# Kollisionspartner von Fußgängern<sup>1)</sup>



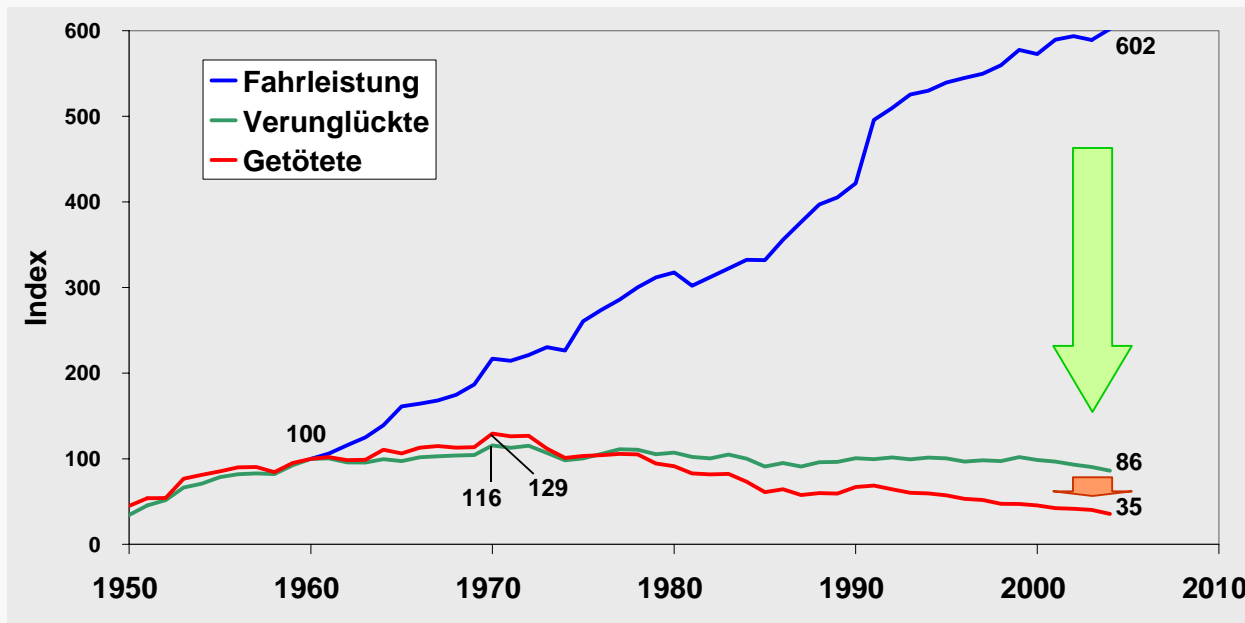
- In 73% der Fälle ist der Kollisionspartner ein Pkw
- In ca. 11% der Fälle ist der Kollisionspartner größer als ein Pkw (2,5 t)
- 71% der Fußgänger werden von der Fahrzeugfront erfasst <sup>2)</sup>
- 92% der Fußgänger werden dabei in seitlicher Position erfasst <sup>2)</sup>

1) Unselt (GIDAS, 20.486 Unfallbeteiligte)

2) Matthias Kühn: Die Bewertung des fahrzeugseitigen Fußgängerschutzes. TÜV-Fachkonferenz „Fußgängerschutz“ 08.-09.September 2005, Köln. Im folgenden: Kühn, Köln

# 1 Einleitung: Historie der Unfallvermeidung und -folgenminderung

## Historie der Unfallentwicklung in Deutschland 1)



- Verkehrspolitik
- Verkehrstechnik
- Unfallvermeidungstechnik Kfz (v.a. Bremstechnik)

- Unfallfolgenminderung Kfz: passive und aktive Sicherheitstechnik
- Medizinische Versorgung

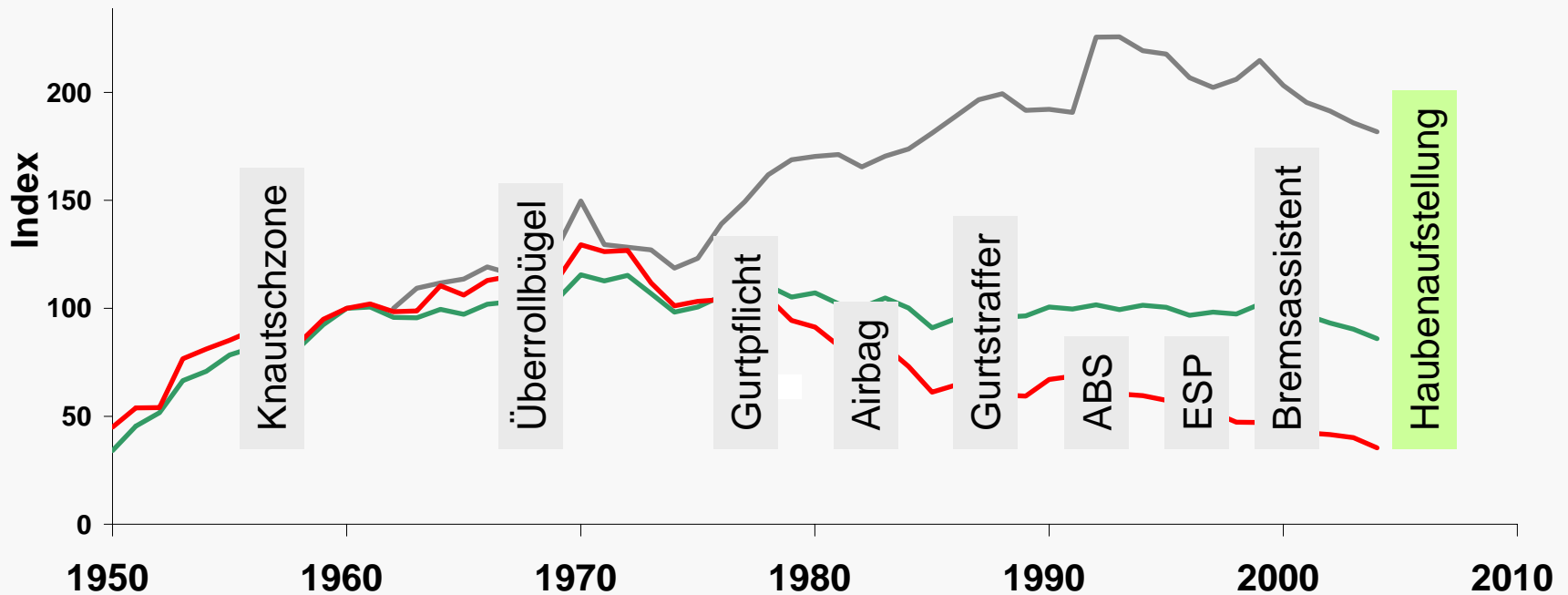
Jahr	Verunglückte	davon tödlich verletzt		Fahrleistung
	Tsd.	n	%	Mrd. km
1960	Ca. 520	16.500	3,2%	Ca. 116
1970	Ca. 600	21.300	3,6%	Ca. 251
2004	Ca. 446	5.800	1,3%	Ca. 697

In den letzten 30 Jahren:

- Leichter Rückgang der Verunglücktenzahlen
- Starker Rückgang der Getötetenzahlen
- Sehr starker Rückgang jeweils relativ zur Fahrleistung

1) StatBA

## Meilensteine der Fahrzeugsicherheit 1)



- Maßnahmen zur Fahrzeugsicherheit betrafen bis 2005 ausschließlich den Insassenschutz
- Fehlende Anreizstruktur für Hersteller:
  - Käufer = Insasse  $\neq$  Unfallpartner
  - bis 2003 fehlende gesetzliche Vorgabe

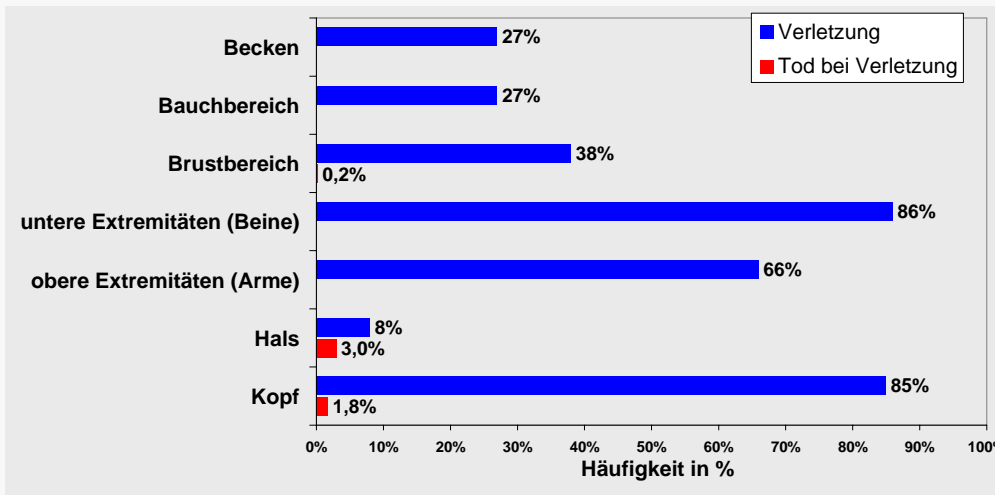


---

## **2. Welche Gefahren bergen Fußgänger-Fahrzeug-Kollisionen?**

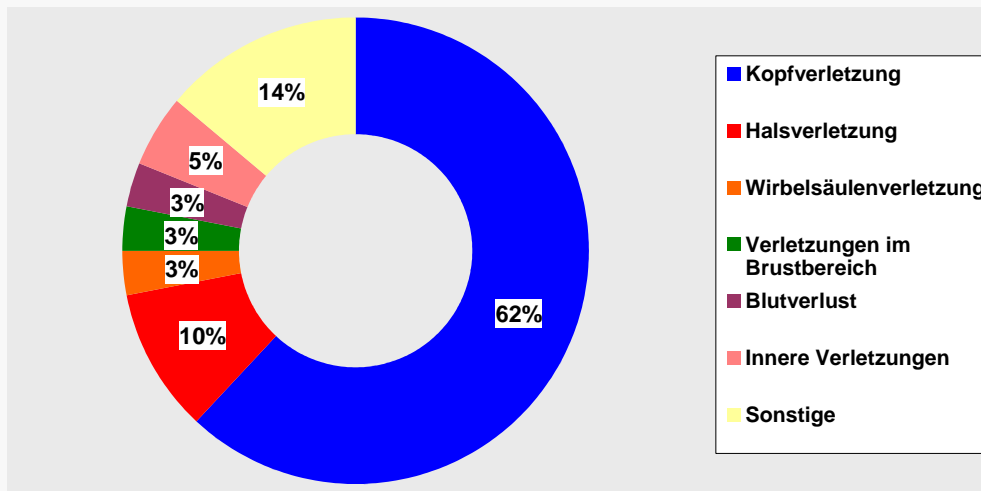
## 2 Unfallanalyse: Verletzungen und deren Ursachen

# Häufigkeit von Verletzungen und Todesursachen bei Fußgängern



### Verletzungshäufigkeit <sup>1)</sup>

- Arm-, Bein- und Kopfverletzungen scheinbar maßgeblich
- Andere Verletzungen mit hohen Anteilen (Gefährdungspotenzial beachten !)
- Halsverletzungen bergen größtes Todesrisiko



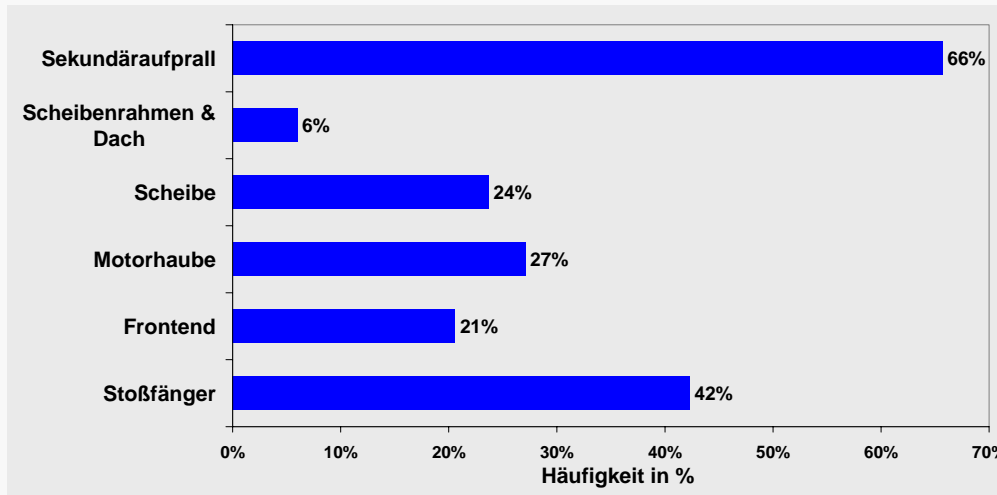
### Todesursachen <sup>2)</sup>

- Kopfverletzungen maßgeblich
- Halsverletzungen relevant
- Häufig Mehrfachverletzungen (Polytraumen)

1) Nach T. Röth: Konstruktive und versuchstechnische Entwicklungswerkzeuge zur Gestaltung „fußgängerfreundlicher“ Pkw-Vorderwagen, Univ. Essen 2001. Zitiert in: Bröckerhoff.

2) A. Berg et al.: Personenkraftwagen / Fußgänger-Unfälle. In: Verkehrsunfall und Fahrzeugtechnik, 1997. Zitiert in: Bachem.

## Ursache von Verletzungen bei Fußgängern



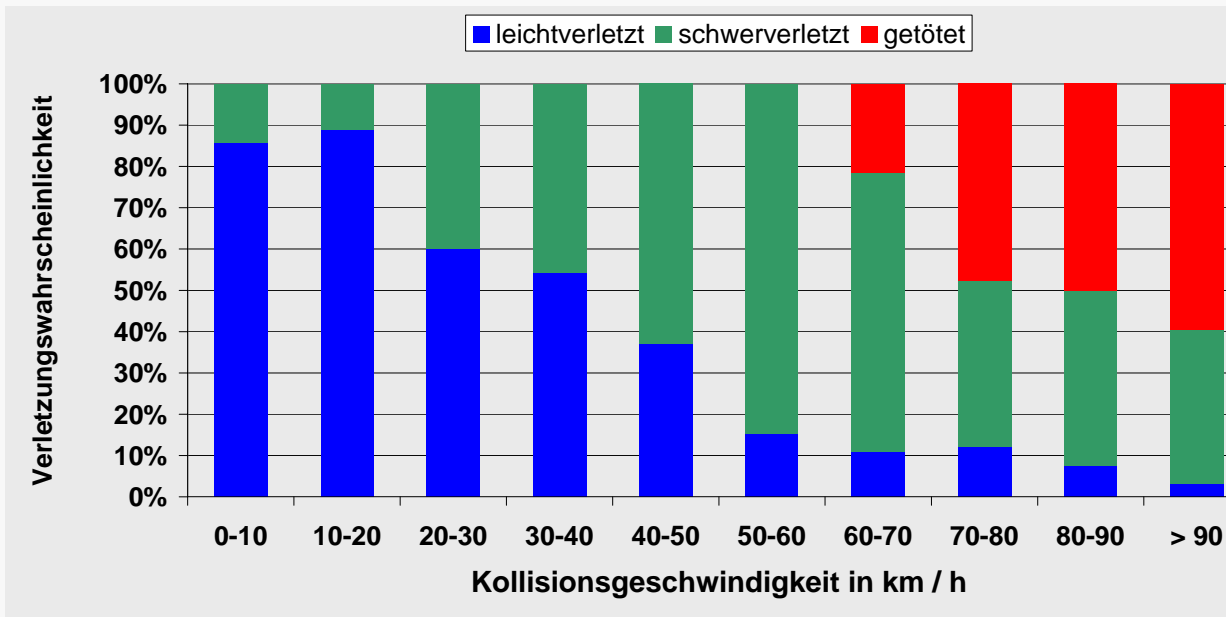
### Verletzungsursache (Pkw-Kollision) <sup>1)</sup>

- Stoßfänger, Frontend ⇒ Bein-, Hüftverletzungen
- Motorhaube, Scheibe ⇒ Thorax-, Hals-, Kopfverletzungen
- Scheibe, Scheibenrahmen, Dach ⇒ Hals-, Kopfverletzungen
- Sekundäraufprall ⇒ alle Verletzungen

- Verletzungen sind bedingt durch Unfallkinematik mit den wesentlichen Parameter:
  - **Fahrzeuggeschwindigkeit**
  - Fahrzeuggeometrie und -masse
  - Fußgängergeometrie und -masse
  - Aufprallsituation

1) Nach J. Bovenkerk et al.: Aktuelle Entwicklungen zum Fußgängerschutz. SafetyExpo, Aschaffenburg, 06. April 2006. Basis: Daten von 293 Unfällen. Im folgenden: Bovenkerk.

## Relevanz der Kollisionsgeschwindigkeit



Wahrscheinlichkeit der Verletzungsschwere <sup>2)</sup> <sup>1)</sup>

(Experten: nahezu exponentieller Zusammenhang)

- Wahrscheinlichkeit einer schweren Verletzung nimmt quasi-linear bis auf 85% zu bei 50-60 km/h

- Wahrscheinlichkeit einer tödlichen Verletzung erst ab 60 km/h

⇒ Unplausibel ? Datenbasis gering

Kollisionsgeschwindigkeiten <sup>1)</sup>

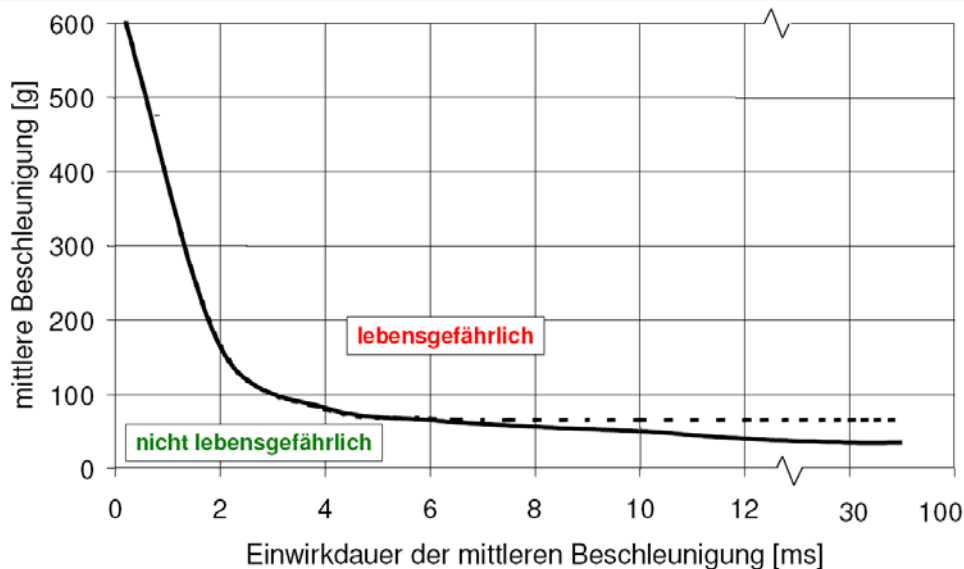
- Ca. 56% der Kollisionen bis 50 km/h. Andere Quelle: ca. 90% <sup>2)</sup>

1) Nach Unselt. Daten aus GIDAS. N= 27.

2) M. Kühn: Weiterentwicklung von Fußgänger-Komponententests. Diss TU-Berlin (2004). Im folgenden: Kühn, Diss. N = 364.

## Menschliche Belastungsgrenzen: Beispiel Kopf

- Verletzungen entstehen durch Überschreiten menschlicher Belastungsgrenzen:



⇒ HIC-Grenzwert 1.000

### Wayne / State-Toleranzkurve <sup>1)</sup>

- Experimentelle Untersuchung zu Schädelbrüchen (Mensch, Tier)
- Exponentialfunktion mit Exponent 2,5 (1960)
- Daraus: *Head Injury Criterion* (HIC; 1972)
  - a gemessen in g
  - $\Delta t \leq 36$  ms (15 ms), so dass HIC maximal

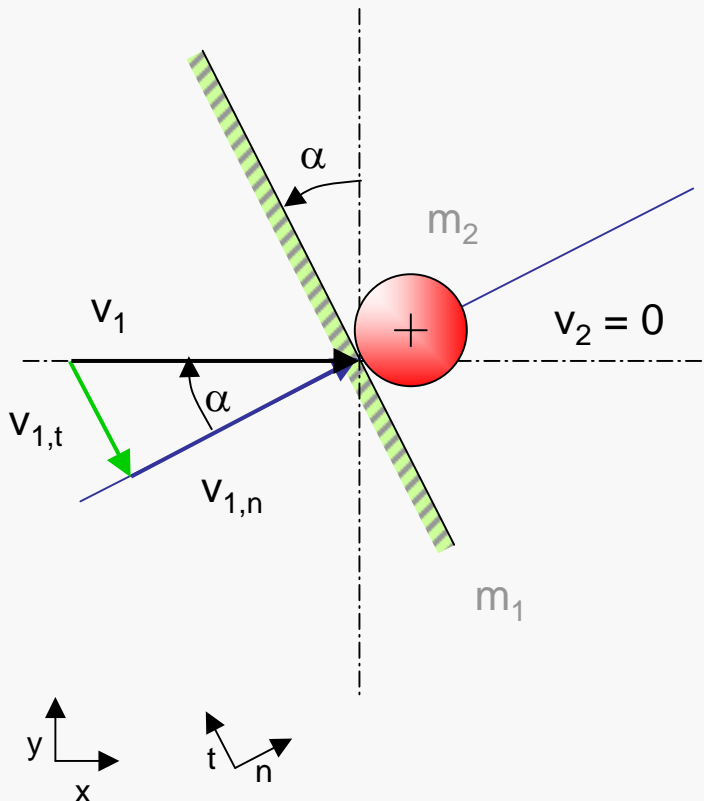
$$HIC = \left( \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} a dt \right)^{2,5} (t_2 - t_1)$$

1) K.-U. Schmitt: Trauma Biomechanics, Introduction to Accidental Injury. Berlin (2004). Zitiert in: Bröckerhoff.

---

### **3. Was geschieht bei Fußgänger- Fahrzeug-Kollisionen?**

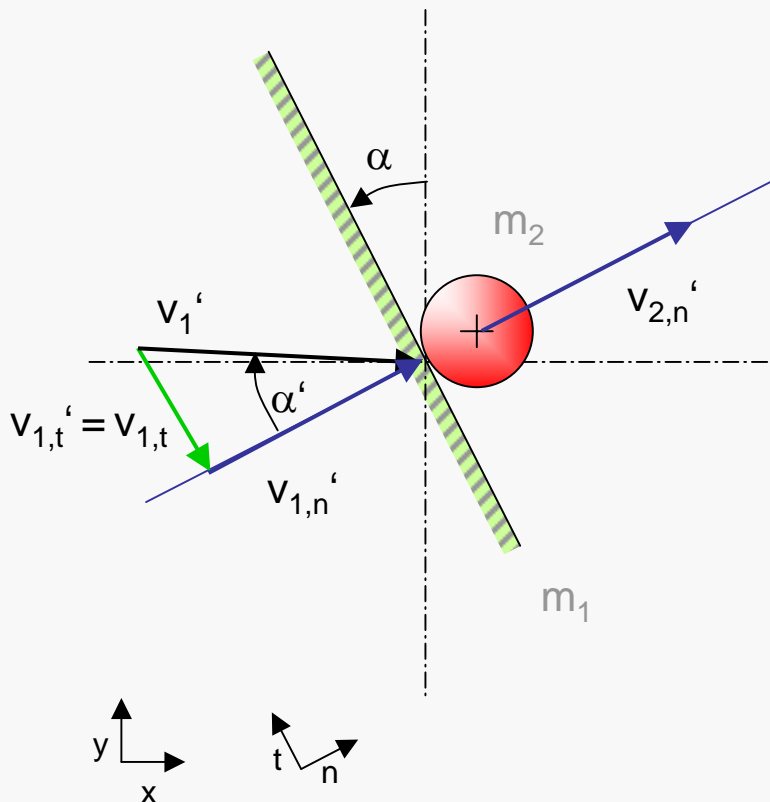
## Grundlagen der Kollisionskinematik: vereinfachtes Modell



Ausgangssituation bei Kollision:

- Fahrzeug der Masse  $m_1$  mit Geschwindigkeit  $v_1$  in x-Richtung
- Personenmodell der Masse  $m_2$  ohne Geschwindigkeit in x-, y-Richtung ( $v_2 = 0$ )
- um  $\alpha$  aus der Horizontalen geneigte Fahrzeugfront
- ⇒ Normalengeschwindigkeit des Fahrzeugs  $v_{1,n} = v_1 \cos(\alpha)$  (in Stoßrichtung)

## Grundlagen der Kollisionskinematik: nach Kollision



- Impulserhaltungssatz:

$$m_1 v_{1,n} + m_2 v_{2,n} = m_1 v_{1,n}' + m_2 v_{2,n}'$$

- Vollkommen plastischer Stoß:

verbleibende Deformation, gleiche

Endgeschwindigkeit in Normalenrichtung:

$$v_{1,n}' = v_{2,n}' = v_n'$$

$$\Rightarrow v_n' = (m_1 v_{1,n} + m_2 v_{2,n}) / (m_1 + m_2)$$

- Reibungsfrei, keine Kräfte in tangentialer Richtung:

$$v_{1,t}' = v_{1,t} = v_1 \sin(\alpha)$$

$$\Rightarrow \alpha' = \arctan(v_{1,t}' / v_{1,n}')$$

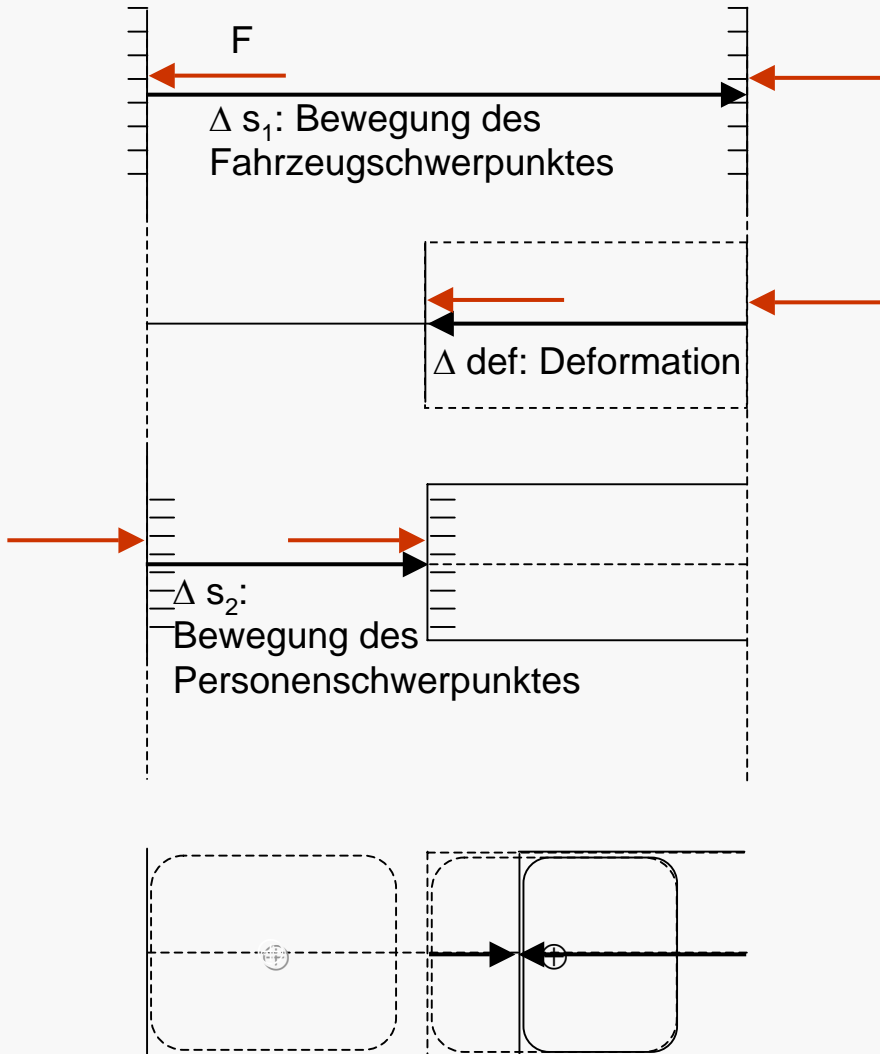
$$\Rightarrow v_1' = v_{1,t}' / \sin(\alpha')$$

- ⇒ Geschwindigkeit des Fahrzeugs in x-Richtung nach Stoß:

$$v_{1,x}' = v_1' \cos(\alpha' - \alpha)$$



## Modellrechnungen: Bestimmung Deformationsweg



$$\Delta E_{\text{kin},1} = \frac{1}{2} m_1 (v_{1,n}'^2 - v_{1,n}^2) = -F \Delta s_1$$

$$\Rightarrow \Delta s_1$$

$$W_{\text{def}} + \Delta E_{\text{kin},1} + \Delta E_{\text{kin},2} = 0$$

$$\Leftrightarrow W_{\text{def}} = -\frac{1}{2} m_1 (v_n'^2 - v_{1,n}^2) - \frac{1}{2} m_2 v_n'^2$$

$$= F \Delta \text{def}$$

$$\Rightarrow \Delta \text{def}$$

$$\Delta E_{\text{kin},2} = \frac{1}{2} m_2 v_{2,n}'^2 = F \Delta s_2$$

$$\Rightarrow \Delta s_2$$

Erfüllt Energieerhaltung:

$$\Delta E_{\text{kin},1} + \Delta E_{\text{kin},2} + W_{\text{def}} = 0$$

$$\Leftrightarrow \Delta s_1 - \Delta s_2 = \Delta \text{def}$$

Deformationsweg kann sich auf beide Kollisionspartner auswirken (gemäß Stoffeigenschaft)

## Ergebnisse einfacher Modellrechnungen: Primäraufprall

- Pkw,  $m = 1.250 \text{ kg}$ ,  $\alpha = 40^\circ$
- Person,  $m = 75 \text{ kg}$
- Annahme:  
Beschleunigung während Primärstoß konstant =  $85 \text{ g}$ . Res. Kraft =  $62,5 \text{ kN}$  <sup>1)</sup>

$V_{0, \text{ Fahrzeug}}$	km/h	30	50	70
<b><i>Nach Kollision</i></b>				
$V'_{x, \text{ Fahrzeug}}$	km/h	29,0	48,3	67,7
$V'_{n, \text{ Person}}$	km/h	21,7	36,1	50,6
<b><i>Belastung Person</i></b>				
Aufgenommene kin. Energie	J	1.360	3.778	7.405
Entspricht Fallhöhe	m	1,8	5,1	10,1
Res. Stoßzeit	ms	7,2	12,0	16,9
Theoretischer Deformationsraum	cm	2,3	6,4	12,6

1) Entspricht Gewicht von ca. 6,4 t

## Vergleich unterschiedlicher Fahrzeugtypen

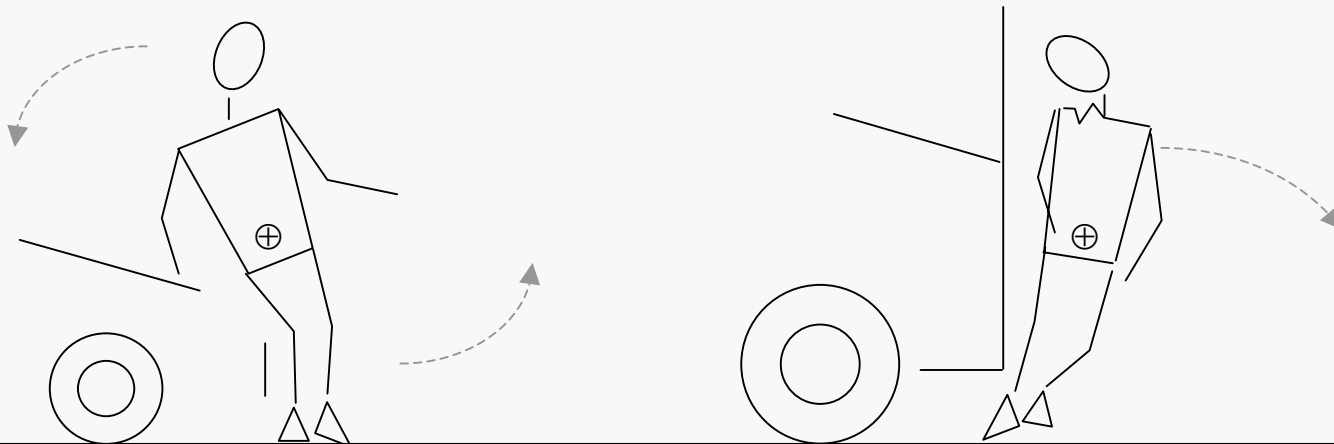
- Annahmen s.o. Kollisionsgeschwindigkeit 50 km/h
- ⇒ Überrollgefahr bei steilen Fahrzeugfronten (Flacher Wurf; Anhalteweg > Weite)

Fahrzeugmasse	kg	1.250	1.250	3.000	15.000
Frontwinkel $\alpha$	Grad	60	40	10	0
Fahrzeugtyp		Pkw flach	Pkw steil	Klein-Lkw	Bus
<b>Belastung Person</b>					
Kin. Energie Primär-	J	1.610	3.778	6.678	7.162
Entspricht Fallhöhe	m	2,2	5,1	9,1	9,7
Aufteilung Primär- / Sekundär-	-	0,8	1,6	7,1	9,7
Theor. Deformationsraum Primär-	cm	2,7	6,4	10,9	11,5
Res. Körperstauchung Sekundär-	cm	6,2	6,8	4,3	3,8
<b>Überrollgefahr</b>					
Gesamthöhe maximal	m	2,6	3,1	1,3	1,0
Wurf- + Rutschweite	m	4,3	12,7	21,4	20,0
Anhalteweg (optimale Reaktion) <sup>1)</sup>	m	11,7	11,3	13,1	15,9
Anhalteweg (Reaktion bei Koll.)	m	24,9	24,2	26,2	29,3

1) Reaktionsbeginn Fahrer 1,15 s vor Kollision; Bremschwellzeit 0,35 s; Reaktionszeit 0,8 s; Verzögerung nach Fahrzeugtyp zwischen 6,0 und 8,0 m/s<sup>2</sup>

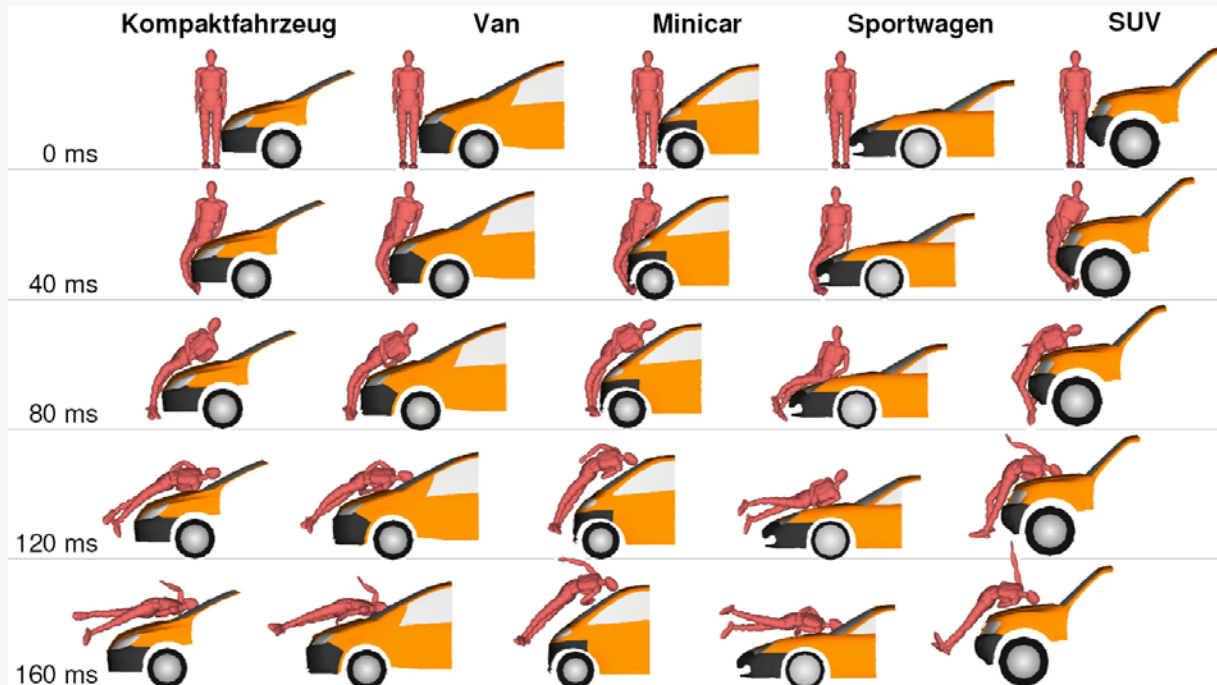
## Von einfachen zu realistischen Modellen

- Modellrechnungen hier auf Basis vereinfachter Annahmen (nur Kräfte in Normalenrichtung)
- Reales Unfallgeschehen: Unterschiedlicher Stoßpunkt
  - Flache Fahrzeugfronten: Stoß an unteren Extremitäten  $\Rightarrow$  Drehimpuls, Drehung zum Fahrzeug, Kopfaufprall auf Haube, Scheibe, Dach  $\Rightarrow$  v.a. hohe Kopfbelastung (Peitscheneffekt)
  - Steile Fahrzeugfronten: zentraler Stoß, evtl. Drehimpuls zum Boden  $\Rightarrow$  v.a. hohe Thorax- und Halsbelastung (Kopfträgheit)
- Aufgabe für Simulationsmodelle auf FEM-Basis



### 3 Unfallsimulationsmodelle

## Realistische Simulationsmodelle



- Simulation mit Menschmodell (MADYMO), IKA Aachen <sup>1)</sup>

- 50%-Mann (1,74 m groß, 75,7 kg schwer), Aufprall mittig, 40 km / h

Einsatzbereich der Simulationsmodelle:

- Berechnung der menschlichen Belastungen für unterschiedliche Fahrzeuggeometrien und Menschmodelle („Dummy“)
- Simulation konstruktiver Optimierung von Fahrzeugbauteilen

1) M. Bröckerhoff, Reale Unfälle – Aufprallstelle und Kinematik. In: Aktuelle Entwicklungen zum Fußgängerschutz. Euromotor Seminar, März 2005, IKA Aachen. Im folgenden: Bröckerhoff.

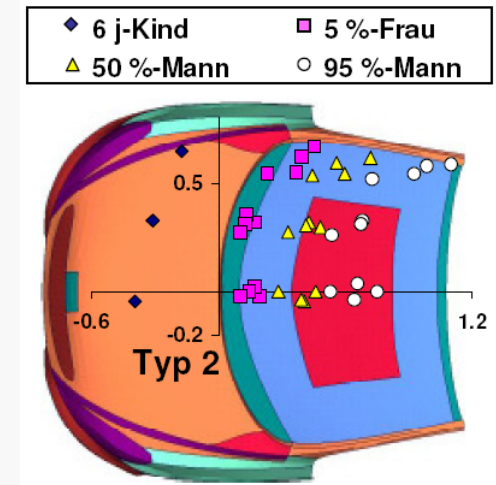
## Kopfaufschlagorte aus Simulationsrechnungen <sup>1)</sup>

### ■ Simuliert:

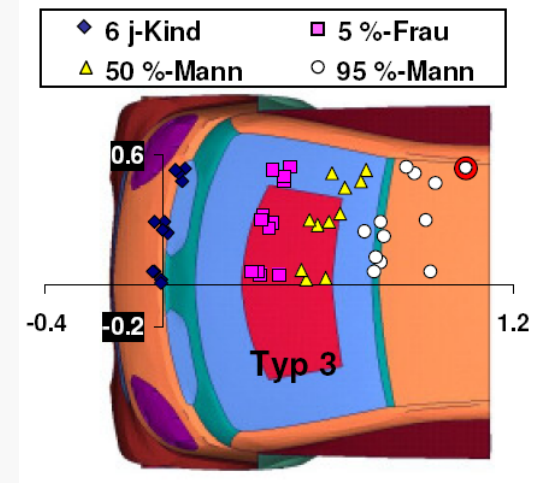
- Kollisionsgeschwindigkeit **40 km / h**
- Verschiedene Kollisionspunkte: Fahrzeugmitte,  $\frac{3}{4}$  Fahrzeug, Außenkante
- Verschiedene Menschmodelle: 6-Jahre-Kind, 5%-Frau, 50%-Mann, 95%-Mann
- Verschiedene Fahrzeugtypen

### ■ Fazit

- 6 jähriges Kind trifft nahezu immer den Fronthaubenbereich. Ausnahme Kleinstfahrzeuge.
- Andere **Menschmodelle treffen** bei den meisten Fahrzeugtypen bereits den **Scheibenbereich**.
- Beim SUV trifft nur der 95%-Mann den Scheibenbereich
- Kopfaufprallgeschwindigkeit  $\approx$  Fahrzeuggeschwindigkeit



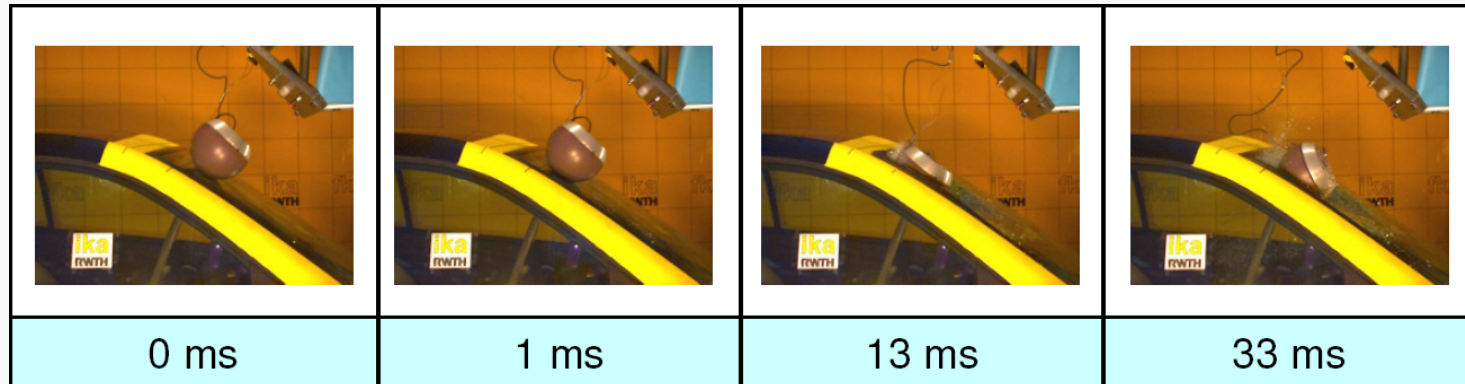
Kompaktklasse  
(z.B. Peugeot 307)



Kleinstfahrzeug  
(z.B. Smart)

1) Bachem et al.: Untersuchungen zur Kinematik des Fußgängerunfalls mit Hinblick auf den Kopfaufprall im Windschutzscheibenbereich. 4. Internationales CTI Fachforum Fußgängerschutz, Frankfurt, 31. Mai / 01. Juni 2005. Im folgenden: Bachem.

## Ergebnisse aus Simulationsrechnungen und Impaktortests 1)



- Ergänzung der Simulationsmodelle durch Aufpralltest mit Impaktorkörpern
- Testergebnisse Kopfaufprall
  - HIC-Werte im Windlaufbereich deutlich über geforderten Grenzwerten
  - Aufprall im seitlichen und oberen Windschutzscheibenbereich liefern ebenfalls deutlich höhere HIC-Werte, obschon keine harten Komponenten direkt getroffen werden
- **Fazit gefährliche Fahrzeugzonen:**
  - Steife, tragende Strukturen: A-Säulen, Dachrahmen, Windlauf, Seitenbereich der Windschutzscheibe, Kotflügelkanten;  
z.T. Zielkonflikt Fußgängerschutz ↔ Insassenschutz
  - Außerdem: Bauteile mit wenig Abstand unter der Motorhaube

---

## 4. Welche Schutzkonzepte gibt es?



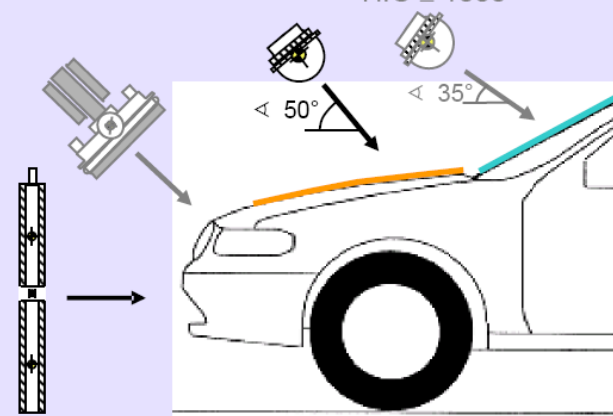


## Inhalte der EU-Richtlinie 2003/102/EG (2004/90/EG): Phase 1

- Gesetzliche Anforderung:
  - Crash-Tests mit Prüfkörpern (Impaktoren) für Kopf und Bein im Frontbereich des Fahrzeugs
  - Definierte Testsituation (Geschwindigkeit)
  - Einige Tests: nur Monitoring
- Für Pkw bis 2,5 t
- Vorerst ab 2005 nur neue Modelle (neue Front)
- Ab 2013 alle Neuzulassungen
- Bestehen ist Voraussetzung für EU-Zulassung
- Geplant ab 2010: Verschärfung der Anforderungen, Ausweitung der Tests

**Phase 1: NT\*) 1. Okt. 2005 (Neue Front)**  
**NR\*) 31. Dez. 2012**

<b>Oberschenkel (Monitoring)</b> E = 200...700 J	<b>ISO-Kopf Kind</b> m = 3,5 kg v = 35 km/h	<b>EEVC-Kopf Erwachsener (Monitoring)</b> m = 4,8 kg v = 35 km/h
<u>Grenzwerte</u> F ≤ 5 kN M ≤ 300Nm	<u>Grenzwerte</u> 1/3: HIC ≤ 2000 2/3: HIC ≤ 1000	<u>Grenzwert</u> HIC ≤ 1000
<b>Bein</b> v = 40 km/h		
<u>Grenzwerte</u> a ≤ 200 g α ≤ 21° s ≤ 6 mm		

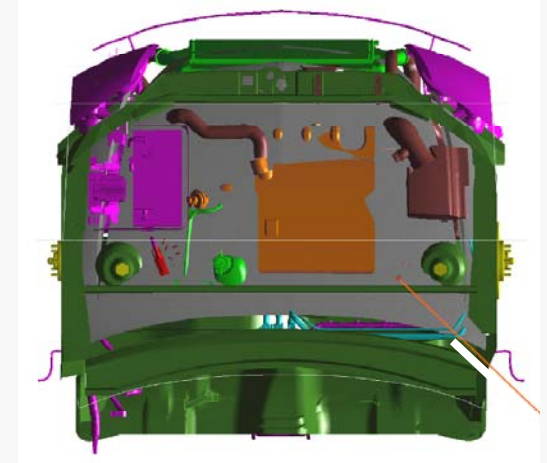


1) T. Kinsky: Entwicklungen und rechtliche Rahmenbedingungen im Fußgängerschutz. TÜV-Fachkonferenz „Fußgängerschutz“ 08.-09. September 2005, Köln. Im folgenden: Kinsky.

## Was nützt die Richtlinie?

- Abgedeckt von der Richtlinie sind
  - Frontbereich (Stoßfänger, Kotflügel, Haube)
  - Bauteile unter Motorhaube !
- ⇒ **Z.T. enormer konstruktiver Aufwand bei neuen Modellen !**
- Nicht abgedeckt sind:
  - **Bereich Windschutzscheibe / Dach / A-Säule**
  - **Sekundäraufprall** (vgl. Bild)
  - **Überrollschutz**
  - **Fahrzeuge > 2,5 t**

Schnitt 8 cm unter Motorhaube<sup>1)</sup>



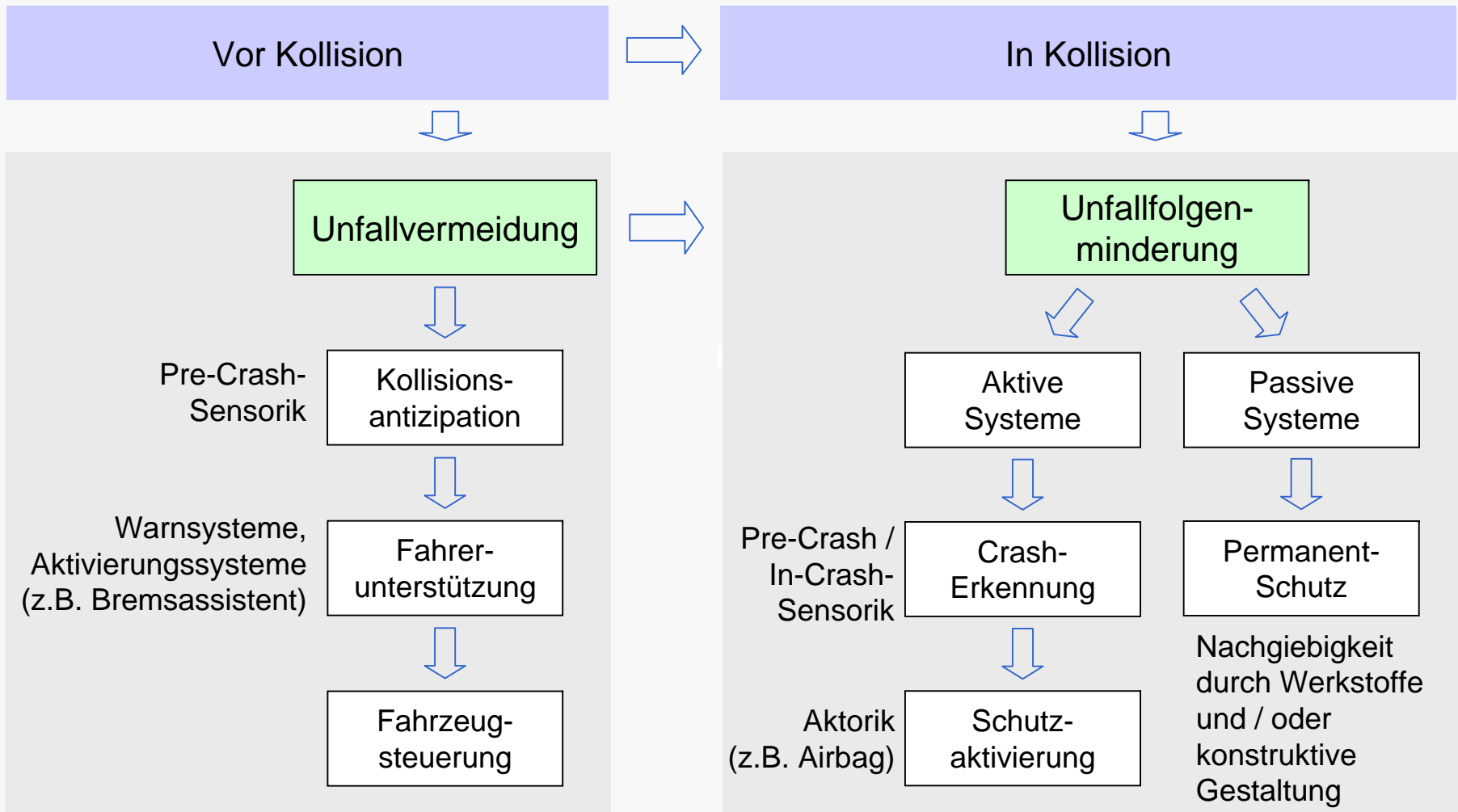
Full-Scale Test mit 40 km / h <sup>2)</sup> :  
Halsmoment Sekundäraufprall 162 Nm (3-fach über Grenzwert)



1) Kinsky. 6-Zyl.-Diesel (Opel).

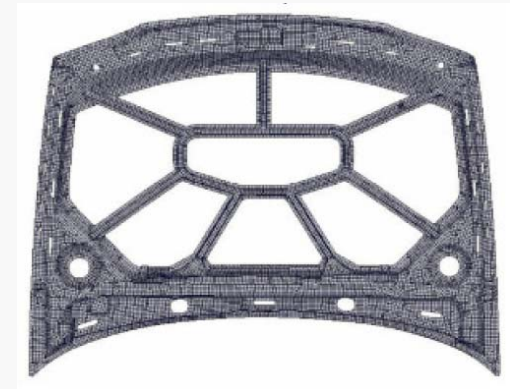
2) F. Walz et al.: Fußgängerschutz bei Kleinfahrzeugen. Zürich, November 1998.

# Klassifikation von Fußgängerschutz-Maßnahmen

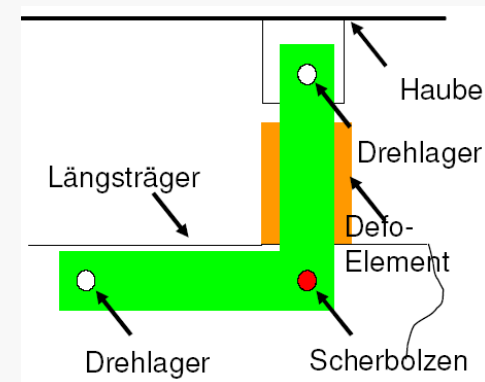


## Passive, konstruktive Maßnahmen: Beispiele Frontfläche

- Geometrische und konstruktive Veränderung der Haubenträger
- Konstruktive Veränderung der Haubenscharniere und -schlösser (z.B. Deformationselemente, Drehlager)
- Veränderung der Haubengeometrie (Bauchung)
- Veränderung der Bauteilanordnung unter der Haube
- Geometrische und konstruktive Veränderung der Kotflügelbänke
- ...



Numerisch optimierte Haubenstruktur <sup>1)</sup>



Konstruktiv verbessertes Haubenschloss <sup>2)</sup>

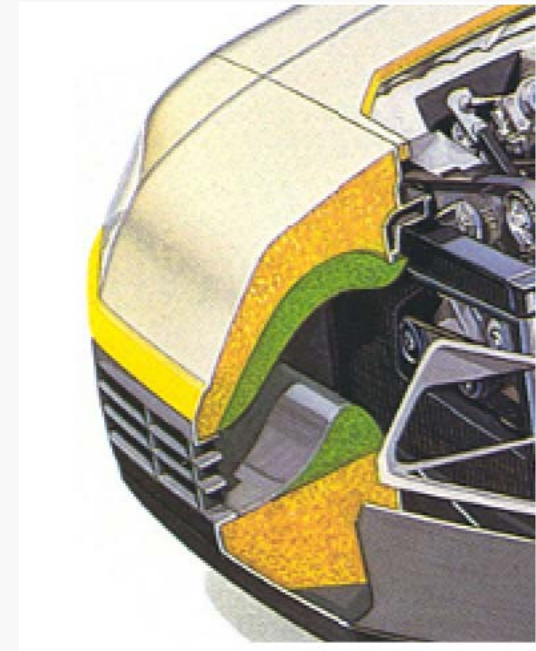
1) Bovenkerk

2) H. Bachem: Praxisteil. In: Aktuelle Entwicklungen zum Fußgängerschutz. Euromotor Seminar, März 2005, IKA Aachen. Im folgenden: Bachem, Aachen.

## Passive, konstruktive Maßnahmen: Beispiele Stoßfänger / Frontend

### ■ Stoßfänger

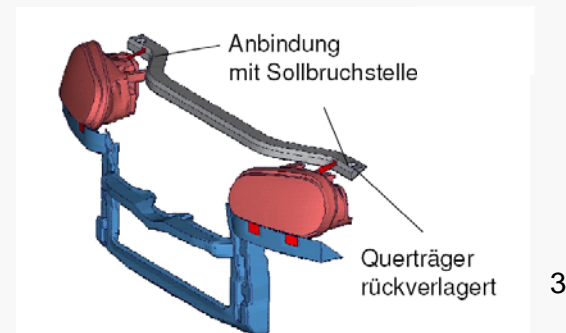
- Energieabsorbierender Kern, großflächige Krafteinleitung
- Z.B. faserverstärkte PUR-Haut (1,5 mm) mit energieabsorbierendem Hinterkörper aus Halbhartschaum
- Elastisch bei kleinen Belastungen ⇔ plastische Verformung bei größeren Belastungen
- Gesamtkonzept, z.B. Unicar (vgl. Bild) <sup>1)</sup>



Ausschnitt Unicar (1981) <sup>1)</sup>

### ■ Scheinwerfer (vgl. Bild) <sup>3)</sup>

- Aufhängung mit Sollbruchstellen
- Verlagerung Querträgerposition



1) Unicar 1981. Zit. in: Bovenkerk.

3) Bachem, Aachen.

## Aktive Maßnahmen: Haubenaufstellung

- Zielsetzung:
  - Vergrößerung des Deformationsraums
  - Dämpfung des Aufpralls
- Anforderung
  - Aufstellung in spätestens 50-60 ms nach Beianprall
  - Sichere Detektion (Sensorik)
  - Wenn möglich reversibel
- Mögliche Auslösemechanismen (Aktorik) <sup>1)</sup>:

Mechanismus	Vorteile	Nachteile
<b>Spiral-, Torsionsfeder</b>	Einfach, schnell, reversibel	Größe
<b>Elektro-mechanisch</b>	Erprobte Technik, reversibel	Zu langsam
<b>Hydraulisch, Pneumatisch</b>	Erprobte Technik, reversibel	Benötigt Arbeitsmedium
<b>Pyrotechnisch</b>	Einfach, schnell	irreversibel

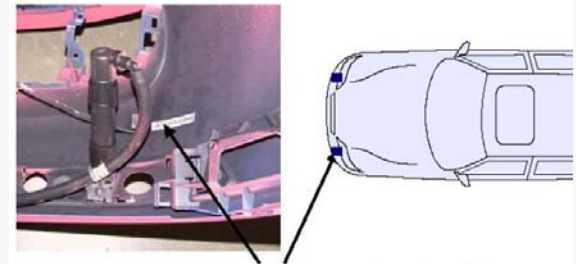


Citroen C6 <sup>2)</sup>

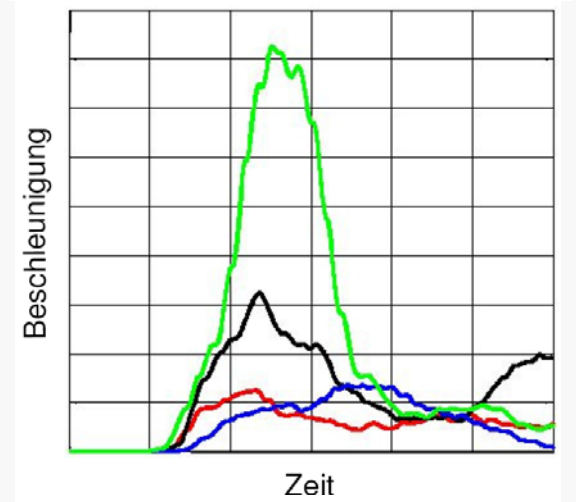
1) J. Hoffmann et al., Siemens Restraint Systems: Aktiv-reversible Schutzkonzepte zur Erfüllung der Fußgängerschutzanforderungen nach EEVC WG 17. In: VDI-Kongress Innovativer Kfz-Insassen und Partnerschutz, Berlin, September 2001. Im folgenden: Hoffmann. 2) Bildnachweis: [www.euroncap.com](http://www.euroncap.com)

## Aktive Maßnahmen: In-Crash-Sensorik

- Zielsetzung
  - Sichere Detektion eines Fußgängeranpralls
  - Im ms-Bereich
- Mögliche Mechanismen
  - Beschleunigungssensoren
  - Piezoelektrische Foliensensoren
  - Piezoresistive Drucksensoren
  - Faseroptische Dehnungssensoren
  - Dehnungsmessstreifen u.a.
- Leistungsfähigkeit <sup>1)</sup>
  - Z.B. Foliensensoren: Kontaktdetektion nach 2 ms
  - Bestimmung m, v Kollisionspartner durch Steuereinheit nach ca. 8 ms
- Herausforderung (vgl. Bilder <sup>2)</sup>):
  - Unterscheidung relevante (Fußgänger) / nicht relevante (z.B. Straßenschild) Kollision



Beschleunigungssensoren im Stoßfänger



- Unterschenkel Fzg-Mitte
- Unterschenkel Fzg-rechts
- Leitpfosten Fzg-Mitte
- Leitpfosten Fzg-rechts

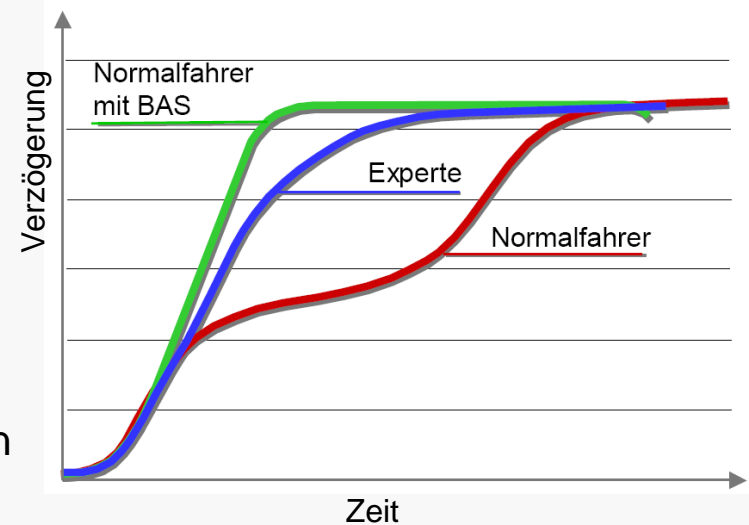
2)

1) Hoffmann.

2) ACTS, zit. in: Bovenkerk.

## Aktive Maßnahmen: Bremsassistent (BAS)

- Funktionsweise (vgl. Bild <sup>1)</sup>)
  - Erhöhung des Bremsdrucks, dadurch Steigerung der Verzögerung
  - Auslösung durch Pedalkraft und / oder Pedalgeschwindigkeit
- Hoffnung
  - Durch BAS kann Kollision vermieden werden oder zumindest Kollisionsgeschwindigkeit gesenkt werden
  - Verschärfung der Phase 2 Anforderungen (Richtlinie) können entfallen
- Herstellertest (Simulator, Fußgängerunfall)
  - Auslöseschwelle wird nur in 47% der Fälle überschritten <sup>1)</sup>
  - ⇒ In 53% der Fälle mit Bremseneinsatz nutzt BAS nichts



- Darüber hinaus: 45% der Kollisionen mit Fußgängern sind ungebremst <sup>2)</sup>
- ⇒ BAS-Relevanz ca. 25%

1) Unselt  
2) Kühn, Diss



## Aktive Maßnahmen: Außenairbags

- Zielsetzung
  - Aufprallschutz vor Windlauf und A-Säulen (vgl. Bild)
  - Großflächiger Aufprallschutz bei höheren Geschwindigkeiten (einzig wirksames Mittel)
- Herausforderung
  - Fehlersichere Sensorik (evtl. Pre-Crash nötig)
  - Bauraum, Anbringung
  - Evtl. Zielkonflikt mit Fahrersicht
- Problem
  - Keine Notwendigkeit nach derzeitiger Gesetzeslage  $\Rightarrow$  kein starker Anreiz zur Weiterentwicklung



1)

## Aktive Maßnahmen: Pre-Crash-Sensorik

- Insbesondere reversible aktive Schutzsystem haben eine längere Aktivierungszeit ( $\geq 100$  ms) und bedingen daher eine Identifizierung von Kollisionssituationen vor Kollision
- Beispiele für Pre-Crash-Sensoren <sup>1)</sup>

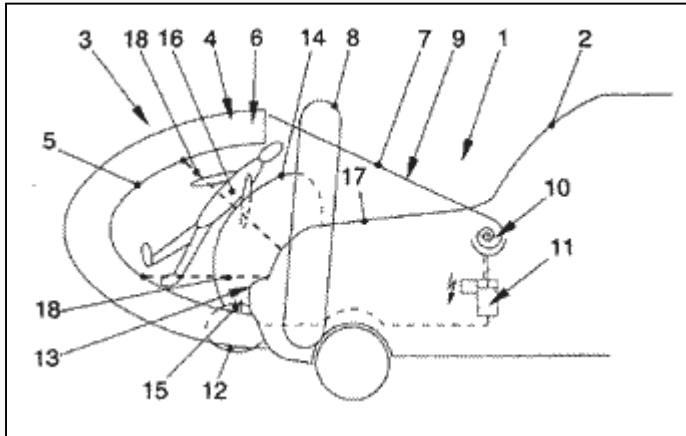
Laserscanner	Nahbereich bis 80 m, 180°-270°, Scan aus 360 Abstandsmessungen (10-40 Hz Tastrate)
Lidar (Light Detection & Ranging)	Pulslaser (Infrarot), Funktionsweise ähnlich Radar, Abstands- und Geschwindigkeitsmessung
Puls Radar	Mikrowelle, 76-77 GHz, Nah- und Fernbereich, Abstands- und Geschwindigkeitsmessung
Digitalkamera (CMOS, CCD)	Sichtbares Licht, Objekterkennung



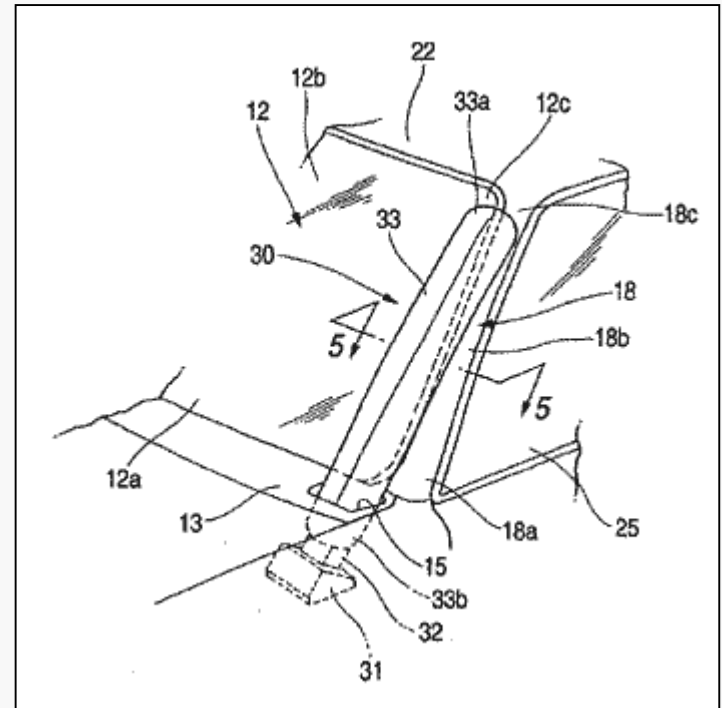
- Einsatz heute z.B. im Abstandsregeltempomat
- Problem / Herausforderung:
  - Fehlersichere Erkennung von Fußgängern und Fahrradfahrern ggü. anderen Kollisionspartnern

1) D. Neunzig: Vorausschauende, aktive Sicherheitssysteme und Partnerschutz. Euromotor Seminar, März 2005, IKA Aachen.  
Laserscanner: IBEO. Lidar: Continental.

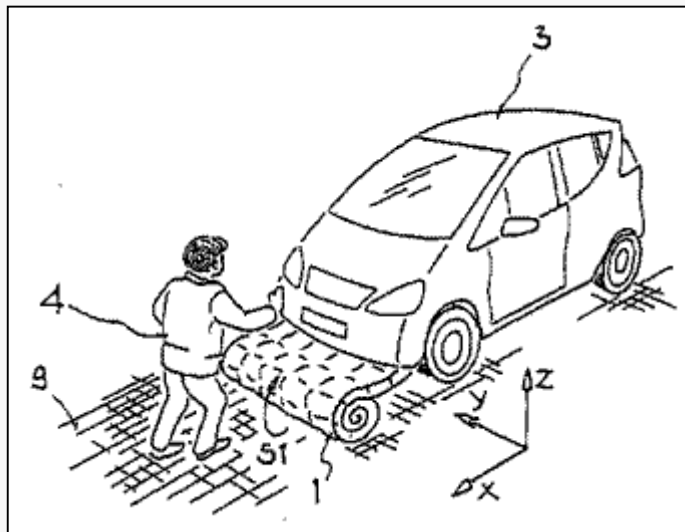
## Weitere patentierte Ideen ...



DE 102 13 178 A 1



DE 103 16 827 A 1



DE 101 43 448 A 1

# Zusammenfassung

---

- Fußgängerunfälle haben einen relevanten Anteil an Verkehrsunfällen
- Bisher gibt es wenige bis keine fahrzeugtechnischen Schutzmaßnahmen
- EU-Richtlinie:
  - Wesentliche Bereiche (Fahrzeuggbereiche, Fahrzeugklassen, Geschwindigkeiten) werden ausgeklammert
  - Unterschiedliche HPC-Werte machen Aufprall zur Lotterie
  - ⇒ Relevantes Schutzpotenzial, aber nur in beschränktem Bereich
- Z.T. sehr aufwendige Aktivitäten der Hersteller im Prüfbereich der EU-Richtlinie
- Mögliche zukünftige Maßnahmen mit Schutzpotenzial:
  - Ausweitung der Richtlinie auf Dach- / Scheibenbereich und alle Fahrzeuge
  - Außenairbags
  - Überrollschutz, Rotationsschutz
  - Kollisionswarnsysteme

# Fazit

---

- Serienlösungen von fahrzeugtechnischen Konzepten zum Fußgängerschutz stehen am Anfang ihrer Entwicklung. Die Beschäftigung mit ihnen ist vor allem durch gesetzliche Vorgaben motiviert.
- Ähnlich wie im Bereich des Insassenschutzes ist es vorstellbar, dass zukünftige Konzepte den Fußgängerschutz verbessern und die Anzahl und Schwere der Fußgängerverletzungen signifikant verringern können.
- Den größten Einfluss auf die Fußgängerverletzung hat die Kollisionsgeschwindigkeit. Neben technischen Konzepten ist daher eine verantwortungsbewusste Fahrweise ein wesentliches Element des Fußgängerschutzes.