

## Biomechanik von HWS-Beschwerden bei leichten Pkw-Kollisionen

PD Dr. Kai-Uwe Schmitt / Prof. Dr. med. Felix Walz

AGU Zürich  
Institut für Biomedizinische Technik, Universität/ETH Zürich

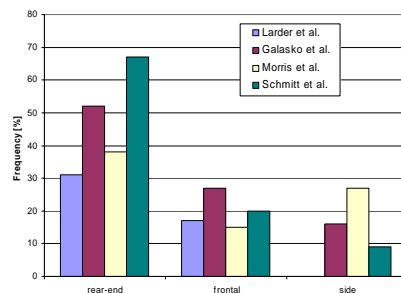
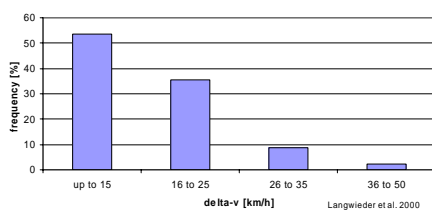


### Hintergrund

- AGU: ca. 800 interdisziplinäre Gutachten zu Fällen mit HWS-Beschwerden
  - technische, medizinische und biomechanische Aspekte
- AGU-Datenbank:
  - Ca. 6'500 Fälle

## Hintergrund

- Heckkollisionen (AGU Datenbank: rund 70%)
- Geringes delta-v

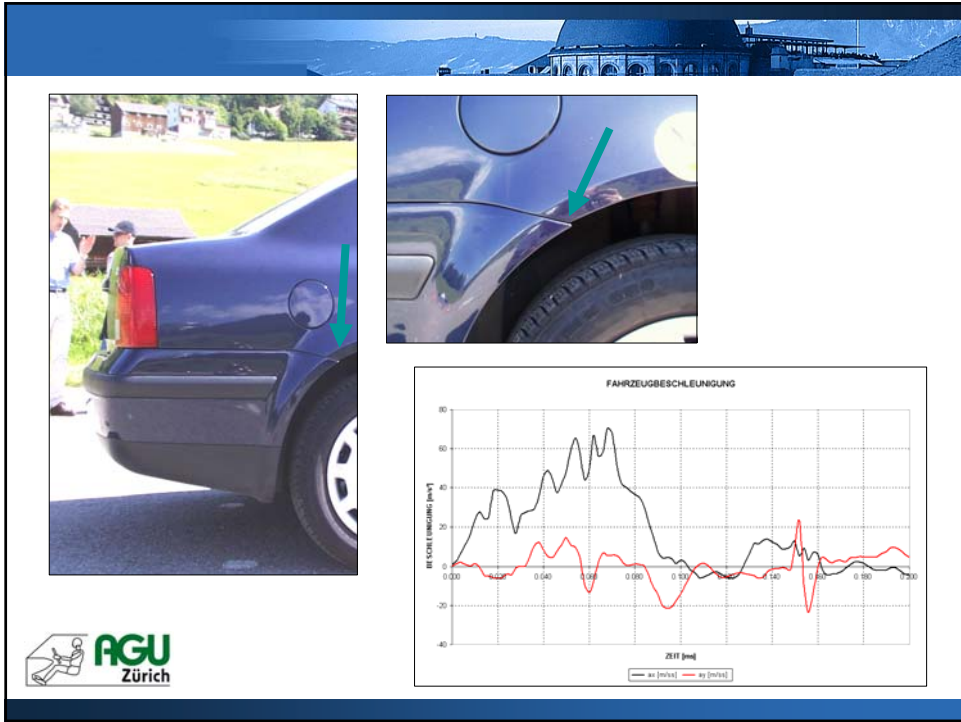


## Technische Charakterisierung

- Analyse der Fahrzeugschäden
  - bei leichten Kollisionen oftmals schwierig
- Möglichkeiten die Kollisionsschwere zu beschreiben:
  - Kollisionsbedingte Geschwindigkeitsänderung (delta-v)
  - EES („energy equivalent speed“)
  - Fahrzeug-Beschleunigung

>> Angabe von Bereichen, immer toleranzbehaftet





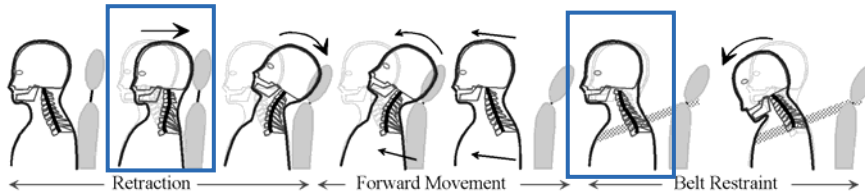
## AGU-Crashdatenbank

- Datenbank mit Versuchsergebnissen zu Fahrzeugbelastungen im niedrigen Geschwindigkeitsbereich
- [www.agu.ch](http://www.agu.ch)



## Biomechanik

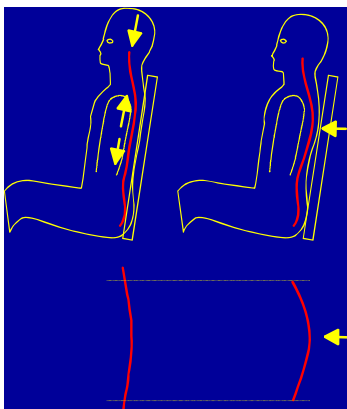
### ■ Insassenbewegung



S-Verformung



## Aufrichten der BWS



- Die Sitzlehne drückt auf die BWS-Kyphose und zwingt die WS, sich aufzurichten
- Dadurch entstehen in der HWS Kompressionskräfte
- Diese führen zu einer Lockerung der die HWS stabilisierenden Bänder und begünstigen so Scher-Bewegungen der Wirbelkörper



## Hypothesen

- Hyperextension mit folgender Bänder/HWK-Verletzungen (heute selten) (Mertz and Patrick 1971)
- Druckgradienten in flüssigkeitsgefüllten Räumen, Schädigung von Nervenzellen als Folge (Aldman 1986)
- Scherbewegung, Überreizung von Gelenkflächen (Yang et al. 1997)
- Überdehnung der Muskulatur
- Auslösung von bereits vorhandenen Bandscheiben-Problemen



## Experimente zur Bestimmung von Belastungsgrenzen

- Freiwilligenversuche (z.B. Mertz et al. 1967, Goldsmith and Ommaya 1983, Ono et al. 1997, Ivancic et al. 2010)

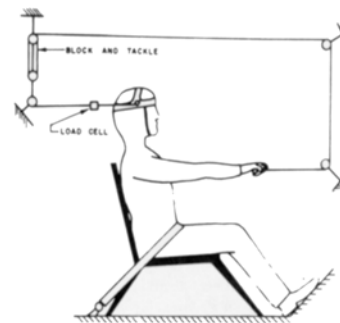


Fig. 2 - Setup for applying static head loads



## Experimente zur Bestimmung von Belastungsgrenzen

- Freiwilligenversuche  
(z.B. Mertz et al. 1967, Goldsmith and Ommaya 1983, Ono et al. 1997, Ivancic et al. 2010)

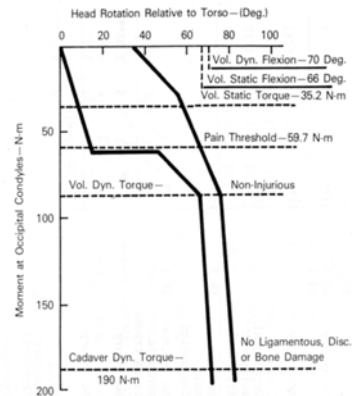
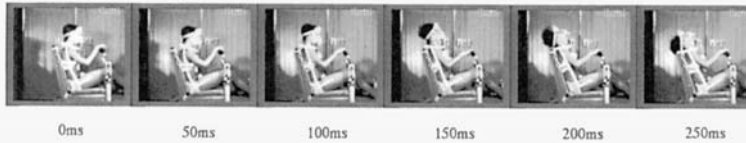


Fig. 28 Head-Neck Response Envelope for Flexion and Various Tolerance Levels. Ref. (198)

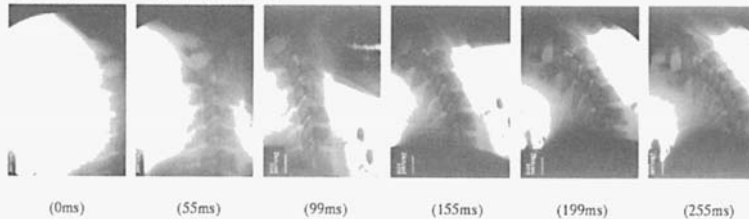


## Experimente zur Bestimmung von Belastungsgrenzen

a) High-speed Video (500 f/s)



b) X-ray Cineradiography (90 f/s)



## Experimente zur Bestimmung von Belastungsgrenzen

- Freiwilligenversuche  
(z.B. Mertz et al. 1967, Goldsmith and Ommaya 1983, Ono et al. 1997, Ivancic et al. 2010)



150 ms



200 ms



## Belastungsgrenzen

Belastung	Test-objekte	Kriterium	Grenzwert	Referenzen
Extension	F	keine Verletzung (statisch) Schmerz	23.7 Nm 47.3 Nm	Goldsmith & Ommaya 1984 Mertz & Patrick 1971
	L	keine Verletzung AIS2 Verletzung der Ligamente	47.5 Nm 56.7 Nm	Goldsmith & Ommaya 1984 Goldsmith & Ommaya 1984
Flexion	F	Schmerz	59.4 Nm 59.7 Nm	Mertz & Patrick 1971 Goldsmith & Ommaya 1984
	L	maximal, freiwillig ertragene Belastung AIS2 (keine Frakturen)	87.8 Nm 88.1 Nm 189 Nm 190 Nm	Mertz & Patrick 1971 Goldsmith & Ommaya 1984 Mertz & Patrick 1971 Goldsmith & Ommaya 1984
Druck	L	bilaterale Dislokation der Facettengelenke Kompressionsverletzungen	1.72 kN 4.8 kN bis 5.9 kN	Myers et al. 1991 Maiman et al. 1983
	F	keine Verletzung (statisch)	1.1 kN	Mertz & Patrick 1971
Zug	L	Versagen	3.1 kN	Shea et al. 1991
	F	keine Verletzung	845 N	Mertz & Patrick 1971
Scherung (a-p)	L	irreversibler Schaden	2 kN	Goldsmith & Ommaya 1984
	FE	(odontoiide) Frakturen	1.5 kN	Doherty et al. 1993
	FE	Rupturen der Ligamente	824 N	Fielding et al. 1974



## Belastungsgrenzen im konkreten Fall?

- Individuelle Abweichungen?
  - Einfluss der Muskulatur?
  - Degeneration? (HWS-Tagung, TÜV Süd, 2008)



## Degeneration? - Schlussfolgerungen

„Für die Kausalitätsbegutachtung von HWS-Beschwerden bleibt bei erkennbaren *degenerativen aber nicht traumatischen* Veränderungen in der *HWS-Struktur* die wenig konkrete Schlussfolgerung:

- keine Pauschalbeurteilung
- in jedem Einzelfall muss versucht werden, etwaige *Brücken* zwischen der veränderten HWS-Struktur und dem spezifischen Beschwerde-Ursprung (Weichteile ?) zu finden.“

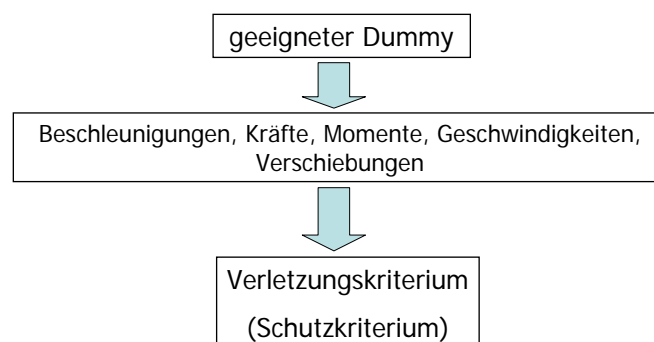


## Belastungsgrenzen im konkreten Fall?

- Individuelle Abweichungen?
  - Einfluss der Muskulatur?
  - Degeneration?
- Messungen der Belastungen am Pat. nicht möglich > Nachfahrversuch? Crashtest-Dummy?



## Kritische Belastungen der HWS?



## HWS-Verletzungskriterien

- $NIC_{max}$  (Boström et al. 1996)
  - $N_{km}$  (Schmitt et al. 2001)
  - IV-NIC (Panjabi et al. 1999)
  - NDC (Viano and Davidsson 2002)
  - LNL (Heitplatz et al. 2003)
  - $N_{ij}$  (Kleinberger et al. 1998)
  - $NIC_{protraction}$  (Boström et al. 2000)
  - WIC (Muonz et al. 2005)
  - Head-Torso-Rot. (Kuppa et al. 2005)
- Heckkollision
- Frontalkollision



## Kriterien/Grenzwerte: Probleme

- Die während einer Kollision tatsächlich wirkenden Kräfte/Momente etc. können an Versuchspersonen nicht gemessen werden. Auch die Bewegungsabläufe sind schwierig zu erfassen.
- Bei Leichenversuchen ergeben sich messtechnisch grosse Schwierigkeiten. Zudem sind die Verletzungen meist diagnostisch nicht nachweisbar.
- Es gibt eine grosse individuelle Variabilität.
- Derzeitige Dummies (BioRID, RID 2/3d), bilden die Realität nur relativ grob ab.
- Reproduzierbarkeit muss gewährleistet sein (Fertigungstoleranzen, „Einsatzprozedur“, Unterschiede zw. versch. Testhäusern...)



## Belastungsgrenzen im konkreten Fall?

- Individuelle Abweichungen?
  - Einfluss der Muskulatur?
  - Degeneration?
- Messungen der Belastungen am Pat. nicht möglich > Nachfahrversuch? Crashtest-Dummy?
- Korrelation mit realen Fahrzeugdaten



## Korrelation mit realen Daten

1. Verletzungsrisiko aus Versicherungsstatistik >> entsprechende Fahrzeugmodelle (Sitze) in Schlittenversuchen testen >> Grenzwerte der bestimmten Kriterien definieren
2. Fahrzeuge mit Mess-Sensoren ausstatten >> Fahrzeug-Belastungen bei Kollisionen messen >> mit medizinischen Unterlagen korrelieren



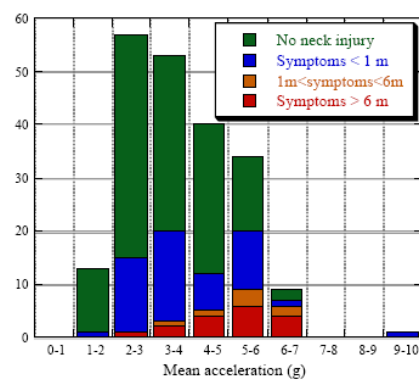
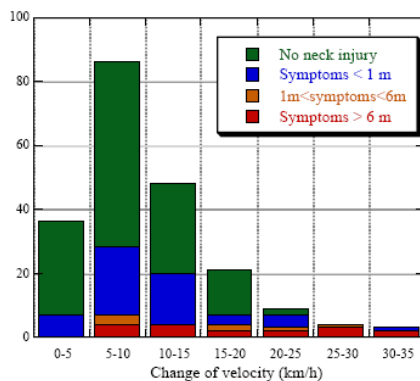
## Korrelation mit realen Daten

- Folksam (Schweden), Crashrecorder, seit 1995
- Untersuchung d. Zusammenhangs mit medizinischen Befunden
  - Vorteil: Verletzte und Nicht-Verletzte
- Untersuchungen zu fahrzeugspezifischer Eigenschaften (z.B. Sitze)



## Korrelation mit realen Daten

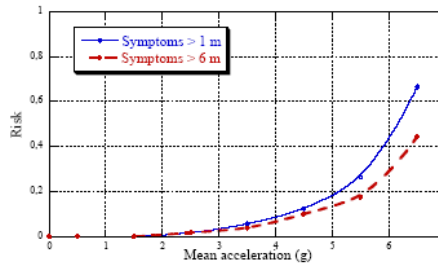
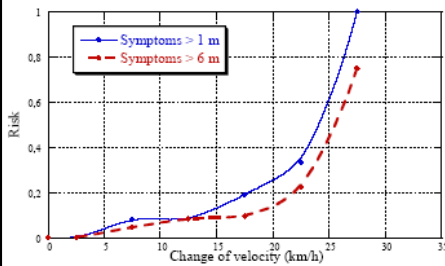
- Anzahl vs. delta-v/mittlere Beschleunigung



(Kullgren et al. 2009)

## Korrelation mit realen Daten

- Risikokurven



(Kullgren et al. 2009)

## Fazit

- Fahrzeugspezifische Parameter (delta-v, Beschleunigung) als Hilfsgrösse zur Beschreibung von Insassenbelastungen, statistische Korrelation möglich
- zur Einzelfall-Beurteilung technischer Hintergrund wichtig und entsprechend abzuklären, aber weitere (biomechanische) Faktoren berücksichtigen
- Einflussfaktoren ausserhalb der Biomechanik

