

## Druckänderungen bei leichten HWS-Traumen

PD Dr. Kai-Uwe Schmitt

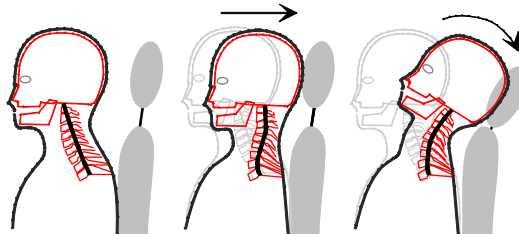
AGU Zürich  
Institut für Biomedizinische Technik, Universität/ETH Zürich



## Hypothesen zu Verletzungsmechanismen

- 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

## S-Shape



- 0 - 100 ms; S-shape
- 100 - 150 ms; max. head rotation
- 150 - 250 ms; max. neck extension

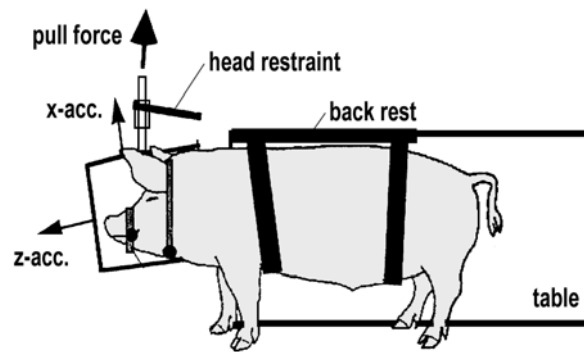


## Hypothese

- S-Verformung: Extension der unteren HWS, Flexion der oberen HWS
- >> Volumenänderung des Spinalkanals in kurzer Zeit: kleineres Vol. bei Extension, grösseres Vol. bei Flexion
- >> Blutfluss vom unterer zu oberer HWS möglich
- >> rasche Änderung der Flussrichtung führt zur Entstehung einer Druckwelle

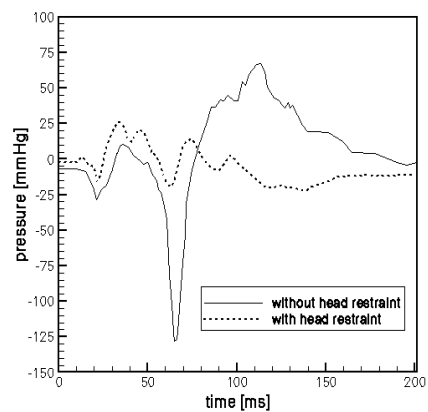


## Tierversuche (Svensson et al. 1993)



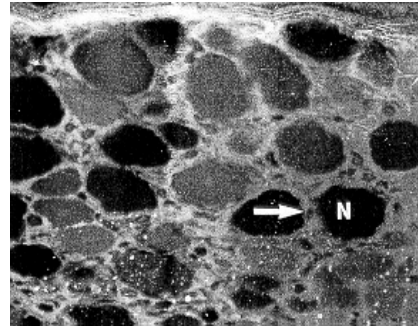
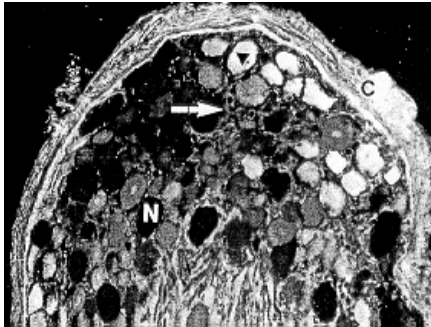
## Tierversuche

- Druckänderung im Spinalkanal
- Max. Peak bei C4
- Kein Peak bei Verwendung einer Kopfstütze



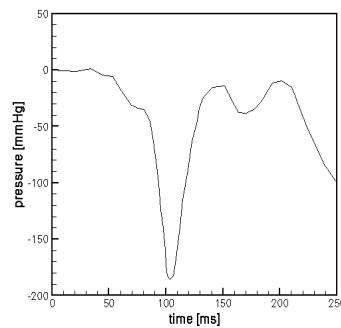
## Tierversuche

- Histologische Untersuchung lässt Beschädigung der Zellmembrane in Ganglien vermuten (Örtengren et al. 1996)

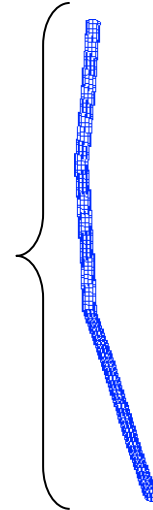
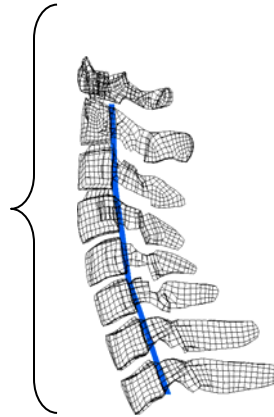
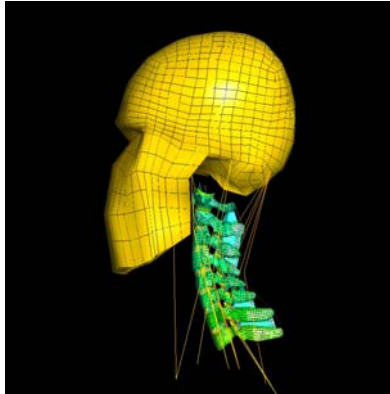


## PMHS Versuche (Eichberger et al. 1999)

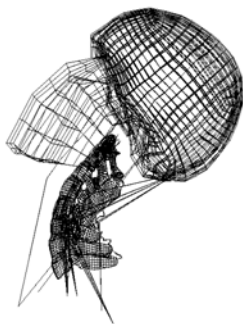
- Druckmessung im Spinalkanal



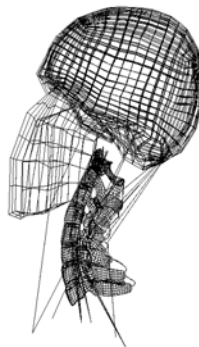
## Computersimulation (Schmitt et al. 2001)



## Computersimulation (Schmitt et al. 2001)



Extension ←



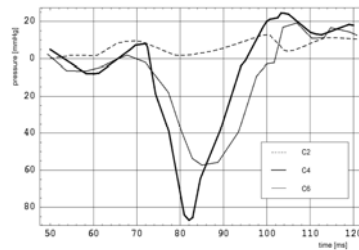
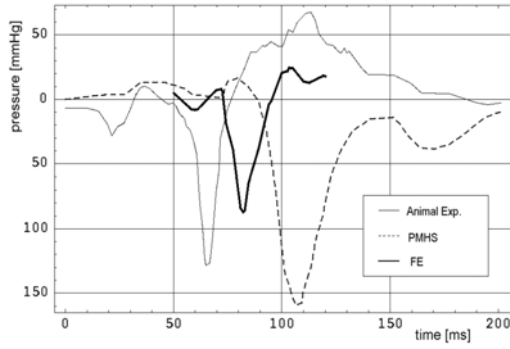
S-shape ←



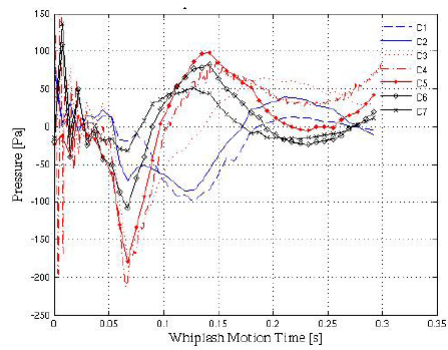
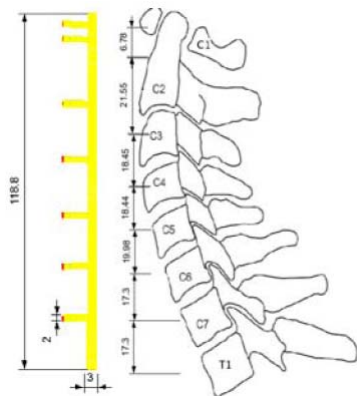
Initial position



## Computersimulation (Schmitt et al. 2001)



## Computersimulation (Svensson et al. 2009)



## Implikationen

- Entwicklung Verletzungskriterien (v.a. NIC, Nkm)
- Entwicklung Crashtest-Dummy (BioRID)
- Einfluss Sitz-/Kopfstützen-Design
- Eingang in Testverfahren (EuroNCAP)



## NIC - “neck injury criterion” (Boström et al. 1996)

- aus Tierversuchen hergeleitet

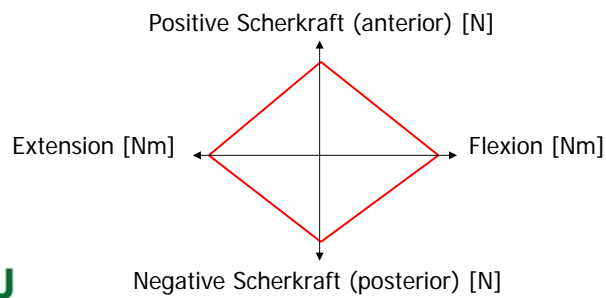
- $NIC_{\max}$ : 
$$NIC_{\max}(t) = \text{Max} (0.2 \cdot a_{\text{rel}}(t) + v_{\text{rel}}(t)^2)$$

- Grenzwert:  $15\text{m}^2/\text{s}^2$



$N_{km}$  (Schmitt et al. 2001)

- Linearkombination aus Scherkräften und sagittalem Biegemoment



$N_{km}$  (Schmitt et al. 2001)

$$N_{km} = \frac{F_x}{F_{int}} + \frac{M_y}{M_{int}}$$

↳  $N_{ep}, N_{fa}, N_{ea}, N_{fp}$

↳ Grenzwert: 1.0

Referenzwerte ( $F_{int}, M_{int}$ ):

Extension	47.5 Nm
Flexion	88.1 Nm
Neg. Scherkraft /	845 N
Pos. Scherkraft	

(Goldsmith & Ommaya  
1984)



## Sitzentwicklung

- pro-tech device (Wiklund et al. 1998)



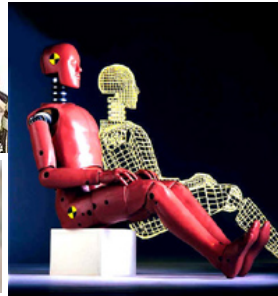
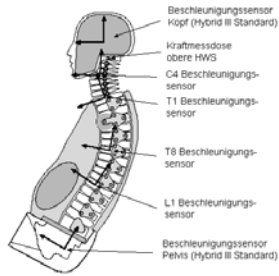
## Sitzentwicklung

- WHIPS (Lundell et al. 1998)



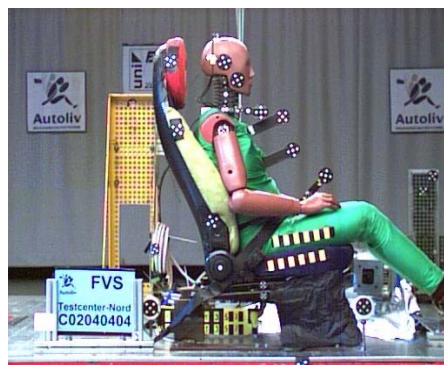
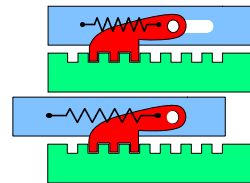
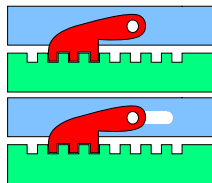
## Crashtest-Dummy

- Hybrid III > BioRID



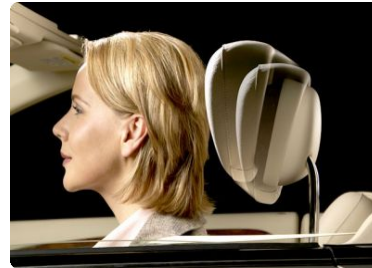
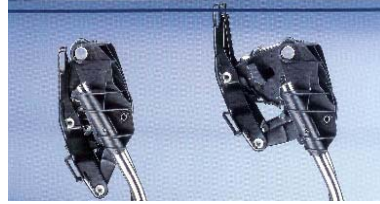
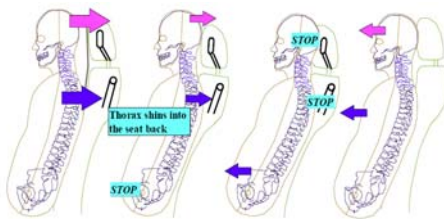
## Sitzentwicklung

- Sitzschiene  
(Schmitt & Muser, 2002)

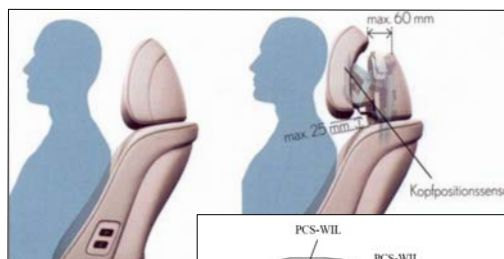


## Sitzentwicklung

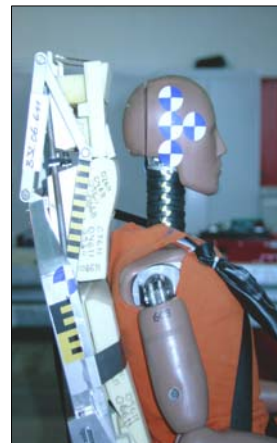
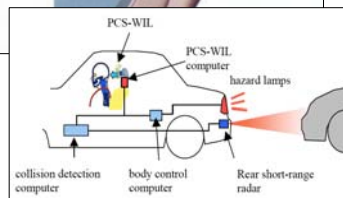
- CAK/Securest (Keiper-Recaro)
- WIL
- ...



## Sitzentwicklung



(Lexus)



[AGU 1994]



## Sitzentwicklung

- erste „real-life“ Studien zeigen Benefit für Fahrzeuge mit HWS-Schutzsystemen

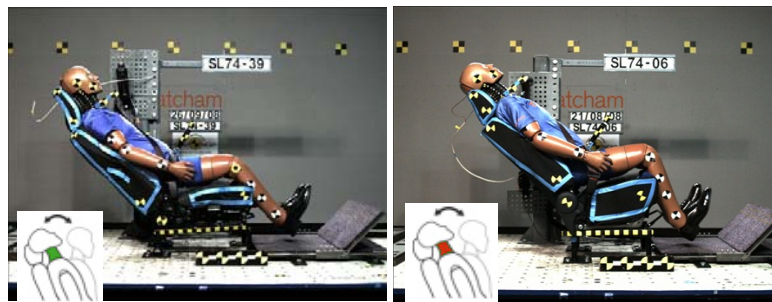
(Kullgren et al. 2007)

Type of study		Whiplash injuries leading to long-term symptoms			Relative injury risk in rear-end crashes		Relative risk of long-term symptoms
		Reported whiplash injuries (n)	Injuries leading to disability (n)	Proportion of injuries leading to disability (%)	Number of crashes	Relative injury risk (R)	Relative risk of disability (R <sub>D</sub> )
Special whiplash protection system	Cars with a system	534	40	7.5%	1216	0.977	0.073
	Standard seats 97-	1571	213	13.6%	2488	1.051	0.143
	Standard seats -97	4109	635	15.5%	11883	0.970	0.150
Kind of whiplash protection system (Car models from model year 1997)	RHR	165	10	6.1%	433	1.11	0.067
	Saab RHR	114	6	5.3%	341	0.98	0.052
	Other RHR	51	4	7.8%	92	1.04	0.081
	WhiPS	89	6	6.7%	631	0.95	0.064
	WIL	264	20	7.6%	125	1.10	0.083
	Std seats tested in consumer ratings	196	20	10.2%	368	1.06	0.108
IIWPG rating	Other std seats	1366	194	14.2%	2125	1.04	0.148
	Good	253	17	6.7%	1083	0.95	0.064
	Acceptable	52	3	5.8%	49	1.24	0.071
	Marginal	86	5	5.8%	105	1.21	0.070
	Poor	205	18	8.8%	235	1.04	0.092
Folksam/SRA rating	Not tested seats	5615	836	14.9%	14107	0.98	0.146
	Green+	140	8	5.7%	729	0.98	0.056
	Green	314	21	6.7%	1089	0.98	0.066
	Yellow	77	4	5.2%	60	1.30	0.068
	Red	23	2	8.7%	40	1.03	0.089
	Not tested seats	5798	857	14.9%	14392	0.99	0.147



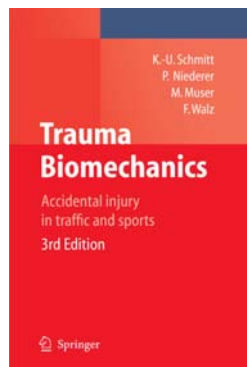
## EuroNCAP

- Heckaufprall-Tests (statisch und dynamisch), seit 2009
- Anwendung von NIC und Nkm



## Fazit

- Druckwellen-Hypothese
  - zeigt eine mögliche Hypothese auf
  - noch nicht vollständig nachgewiesen (Verletzung?)
  - Prävention der S-Verformung erscheint jedoch plausibel
  - vielfältige Implikationen
  - Verbesserungen im Fahrzeugbau zeigen Potential zur Prävention von HWS-Beschwerden



3rd Edition  
2009, Springer Verlag

Deutsche Ausgabe  
2010, Springer Verlag



AGU Zürich  
Winkelriedstrasse 27  
8006 Zürich, Schweiz

[www.agu.ch](http://www.agu.ch)