



Biomechanik der traumatischen Hirnverletzung

Felix Walz

Arbeitsgruppe für Unfallmechanik AG

AGU Zürich

Prof. Dr. med. Felix Walz

1

Brucharten des Schädels

Rechtsmedizin 19. Jahrhundert:

„Die Richtung der Gewalt bestimmt die Richtung der Fractur“

Biegungsbruch = direkter Bruch durch geformte Kraft am Ort der Einwirkung.

Rückschluss auf „Werkzeug“ möglich. Formen: Impressionsfraktur mit Bruchzentrum, Lochbruch, Terrassenbruch.

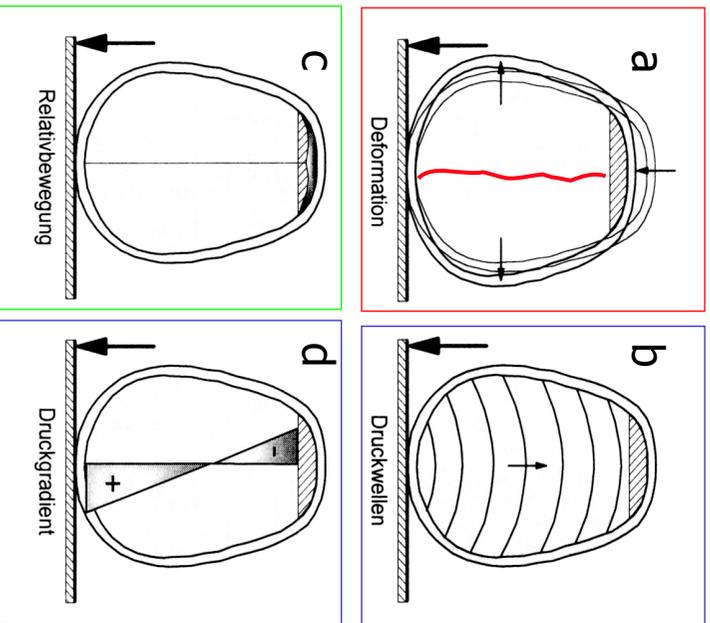
Berstungsbruch = indirekter Bruch. Flächige Kraffteinwirkung durch Verformung des gesamten Schädels (Zugspannung), z.B. Sturz auf Strasse aus dem Stand (20 km/h Aufprall).



Prof. Dr. med. Felix Walz

2

Verletzungsmechanismen breitflächig



a: Schädeldeformation ohne und mit Fraktur
 Falls Fraktur: **Kraftrichtung**

b und d: Positiver und negativer Druck sowie Druck-, Stosswellen

c: Relativbewegung des Gehirns gegenüber dem irregulär verformten Schädel

Was ist eine „schwere Hirnverletzung“ ????

Association of Automotive Medicine AAAM, Abbreviated Injury Scale, AIS

HEAD (cranium and brain)		⇒AIS98	⇐AIS98	FCI
AIS 2005	Injury Description			
WHOLE AREA				
Use one of the following two descriptors when such vague information, including traumatic brain injury or closed head injury, is the only information available. While these descriptors identify the occurrence of a head injury, they do not specify its severity.				
100099.9	Head Injury NFS	115099.9	115099.9	
100999.9	Head Injury NFS involving only headache or no autopsy confirmation of specific injuries.	115999.9	115999.9	
110009.1	Head Injury NFS involving only headache	160402.1	160402.1	
113000.6	Crush Injury Must involve massive destruction of skull, brain, and intracranial contents.	113000.6	113000.6	
Code a penetrating injury to a specific anatomical site (e.g., brain stem, cerebellum or cerebrum) if site is known. If site is unknown, use one of the following three descriptors. If the skull is not penetrated, code as scalp laceration. Code a single gunshot wound with both entry and exit wounds as one injury.				
116000.3	Penetrating Injury to Skull NFS ^a	116002.3	116002.3	
116002.3	superficial: ≤ 2cm beneath entrance	116002.3	116002.3	
116004.5	major: >2cm penetration	116004.5	116004.5	

Es folgen 19 Seiten der detaillierten Definition



Suva Studie 2009, CH-Kliniken (Johannes et al. 2009)

Befragung von Universitäts- und Kantonsspitalern im Hinblick auf die *leichte traumatische Hirnverletzung* („MTBI, LTHV, Comotio cerebri, SHT Grad I“):

50% sehen cut off zu schwerer Hirnverletzung bei GCS 14
30% sehen cut off zu schwerer Hirnverletzung bei GCS 13
15% sehen cut off zu schwerer Hirnverletzung bei GCS 11

Zusammenfassung:

„Die Versorgungsqualität der Verunfallten nach einer leichten MTBI ist in der Schweiz sehr inhomogen“ (Euphemismus !)

Johannes S et al.: Leichte traumatische Hirnverletzung: Akutversorgung und Verlauf.
Suva Medizin Mitteil 79, 8-19 (2009)



Prof. Dr. med. Felix Walz

5

Suva Studie 2009, CH-Kliniken (Johannes et al. 2009)

„Nicht mehr leichte Hirnverletzung“:

45% sehen den cut off bei > 10 Min. Bewusstlosigkeit
15% sehen den cut off bei > 30 Min. Bewusstlosigkeit
20% sehen den cut off bei > 60 Min. Bewusstlosigkeit
5% sehen den cut off bei > 360 Min. (sic) Bewusstlosigkeit.

„Besonders eindrücklich ist, wie häufig Kopfschmerzen, Übelkeit und Erbrechen als hinreichende Diagnosekriterien für eine MTBI genannt wurden; diese Symptome treten zwar häufig nach einer MTBI auf, sind aber unspezifische Symptome und für sich alleine genommen nicht beweisend für das Vorliegen einer MTBI“.

Dies entspricht nicht den Richtlinien der EFNS

(Vos PE et al: EFNS guideline on mild traumatic brain injury: report of an EFNS task force. Eur J Neurol 9, 207-19 (2002))

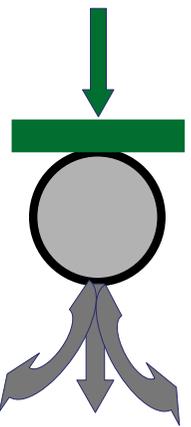
Also bitte: „Was ist eine schwere Hirnverletzung in der Schweiz ??“



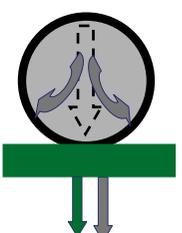
Prof. Dr. med. Felix Walz

6

Verletzungsmechanismen breitflächig



oder



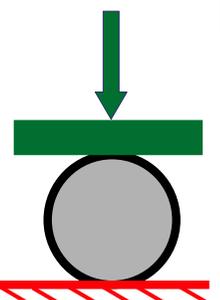
**Breitflächig (stumpf, Objekt schwer),
Kopf-Beschleunigung**

**Bewegter Kopf,
Kopf-Verzögerung**

Mit wesentlicher Geschwindigkeitsänderung des Kopfes, „**freier Kopf**“:

- Kopftranslation, Kopffotation, morphologische Elemente des Beschleunigungs- bzw. Rotationstraumas, Scherkräfte, Druckgradienten
- Ev. Diffuse Axonal Injury DAI, Contre-Coup, gliding contusions, Brückenvenenabrisse, initial eher Bewusstlosigkeit
- Eventuell mit Hautbefund, **eher Berstungsfraktur**

Verletzungsmechanismen breitflächig

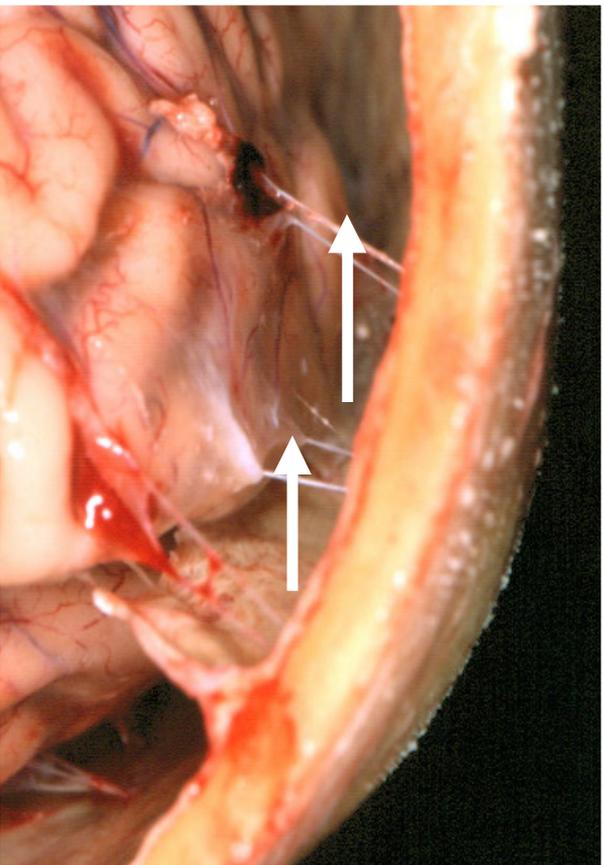


Breitflächig (stumpf, Kopf an **festem Objekt** anliegend)

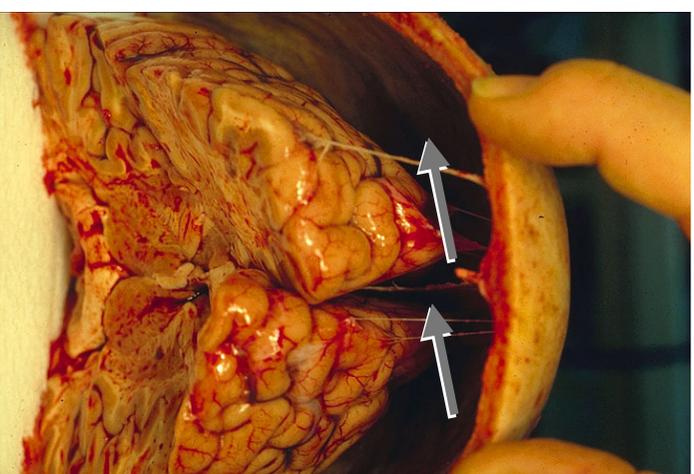
Ohne Geschwindigkeitsänderung des Kopfes, da „**fixierter Kopf**“:

- Es fehlen die morphologischen Elemente des Beschleunigungs- Rotationstraumas, „nur“ Kompression
- **Keine** DAI, kein Contre-Coup, keine gliding contusions, keine Brückenvenenabrisse, initial eher **keine** Bewusstlosigkeit (ausser bei massiver Kompression)
- Eventuell mit Hautbefund, **eher Berstungsfraktur**

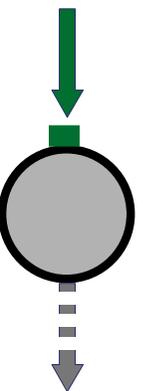
Verletzungsmechanismen: Brückenvenen



=> Subduralhämatom

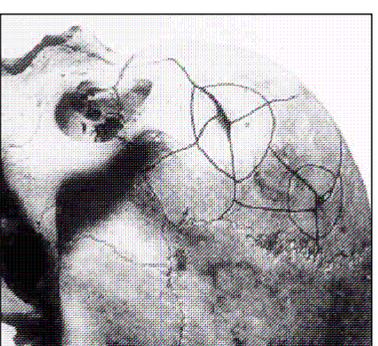


Verletzungsmechanismen kleinflächig

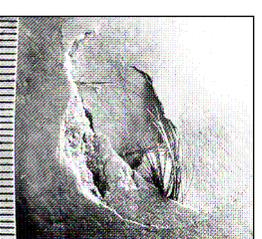


Lokal konzentriert (scharf/halbscharf)
Biegungsfraktursystem

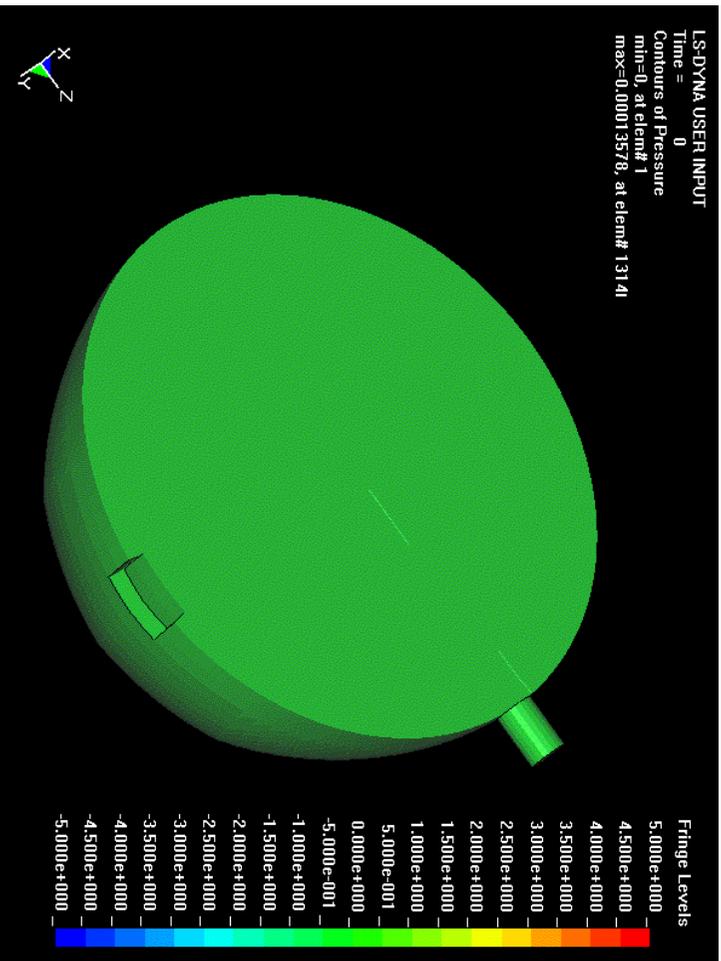
Ohne wesentliche Geschwindigkeitsänderung des Kopfes



- Hautbefund, ev. **lokale Biegungsfraktur**, direkte (lokale) Gehirnverletzung
- Kaum Kopftranslation, kaum morphologische Elemente des Beschleunigungs- bzw. Rotationstraumas, kaum Scherkräfte, kaum Druckgradienten
- Keine DAI, kein Contre-Coup etc.
- Sekundärbefunde (Ödem, Hämatom etc.), ev. Penetration
- Spezialfall Schuss mit generalisierten Sekundärbefunden



Schluss: Simulation Projektil in Gehirn

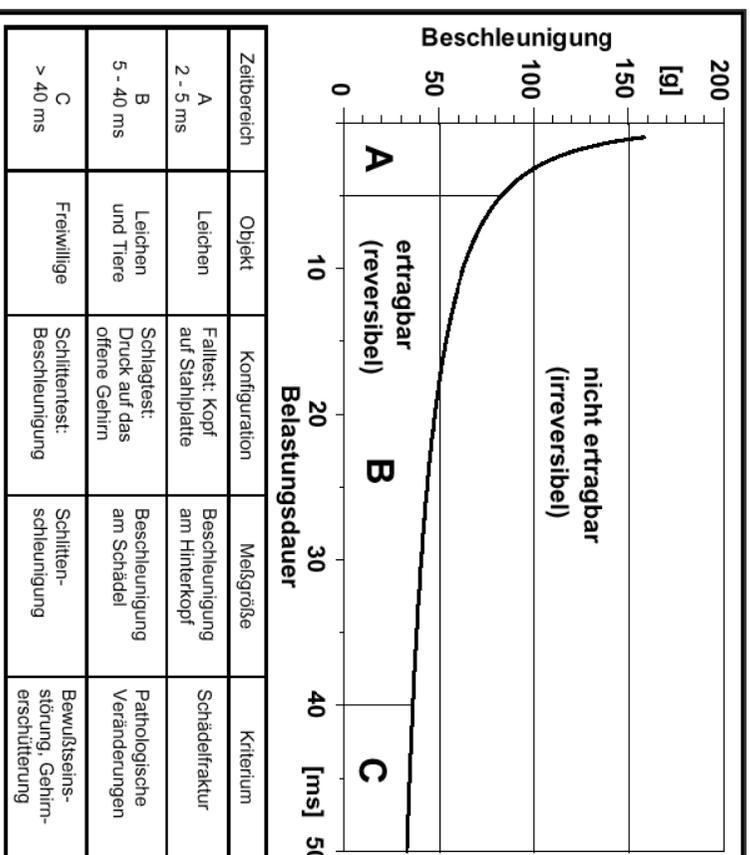


**Hoher
Druck**

**Tiefer
Druck**

Film: T. Gennarelli

Wayne State Kurve ("WSTC", "WSU-Curve")

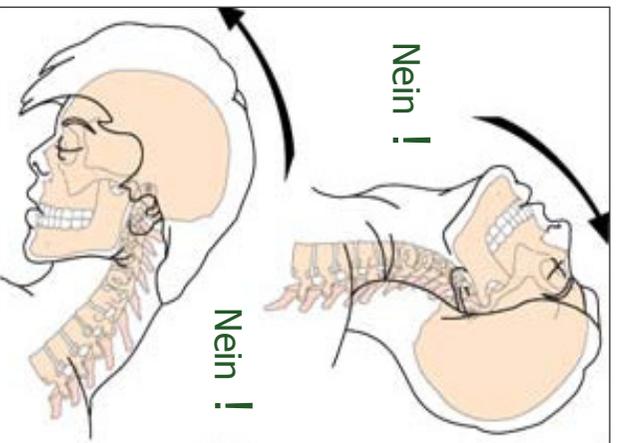


John P. Stapp, "Frontalaufprall" 1956



Abbremsung aus 1000 km/h in 1.4 Sek., Schlitten 22 g,
Körper 45 g: Retinablutung

Gehirnverletzung OHNE Kopfaufprall ??



Bei Heckkollisionen im Bereich bis ca. Delta-
v des Fahrzeuges von 20 km/h ist auch der
Kopfaufprall an die Kopfstütze bzgl. *Gehirn-
beschleunigung* unerheblich (nicht HWSI)

Ohne Kopfaufprall, also beim Schleuder-
mechanismus, können selbst bei relativ
heftigen **Frontalkollisionen** keine erheblichen
Gehirnbeschleunigungen entstehen.

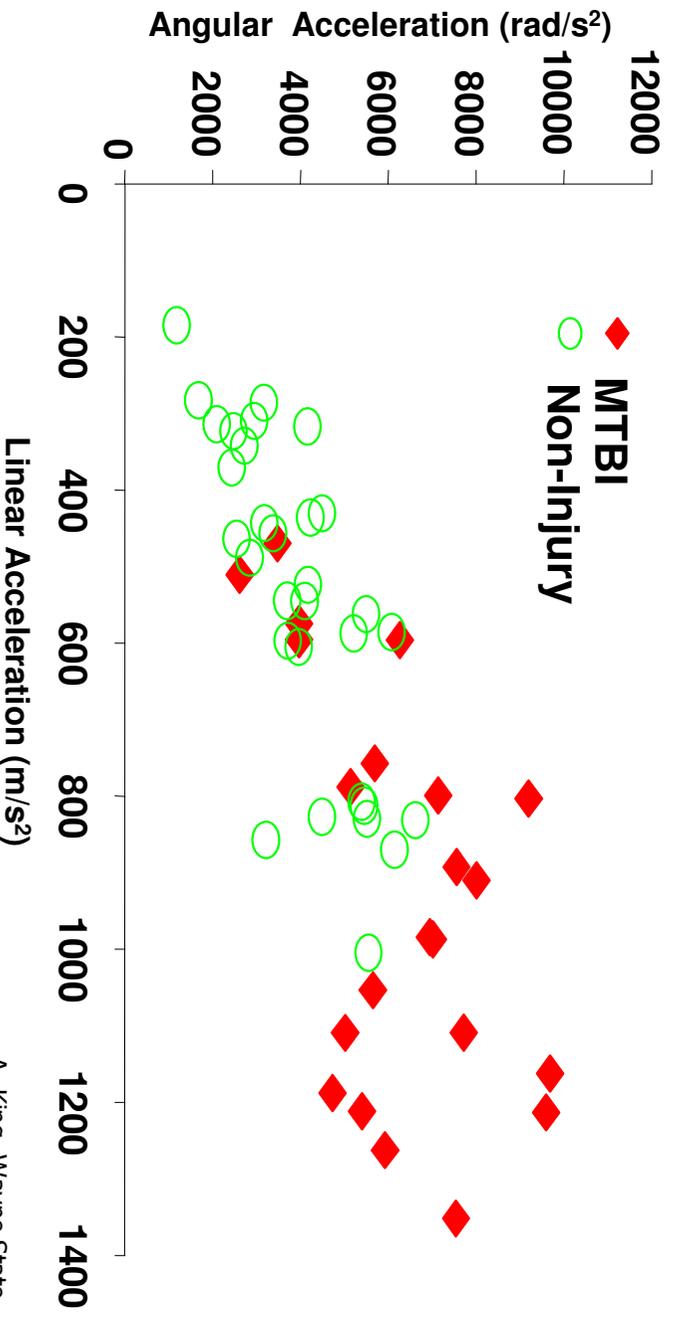
Rotationsbeschleunigung: Missverständnisse

Die *gefährlichen* Rotationsmechanismen ergeben sich beim Kopfaufprall, nicht aber bei frei schwingendem, um die y-Achse (Kopf-Querachse) „rotierenden“ Kopf.

Publikationen (Tierversuche von Ommaya, Hirsch) aus den 70er Jahren mit schweren Gehirnverletzungen ohne Kopfaufprall werden meist falsch interpretiert.

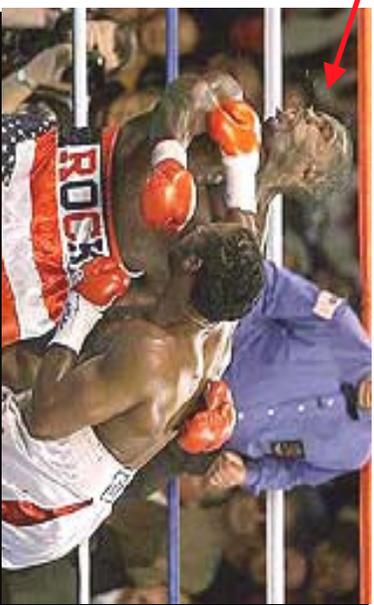
Ausnahme: shaken baby (mehrphasig, komplex, rotatorisch, Abriss von Brückenvenen (Subduralhämatom), intracerebrale Blutung, Retinablutung).

Biomechanische Toleranz für MTBI (Beschleunigung)



Wenn es beim Boxen schief geht

- Treffer
- Ohne Kompensation
- Rotation Kopf
- Scher- und Zugkräfte
- Rotationsbeschleunigung
- Knock-out
- **Gefährlich für Gehirn**



Prof. Dr. med. Felix Walz

17

Kopf- und Gehirnrotation



Prof. Dr. med. Felix Walz

18

Warum fällt der Specht nicht bewusstlos vom Baum?



Aufprallgeschwindigkeit 25 km/h, 20 x pro Sekunde!
Der Specht ertägt während **0.5 ms** eine 10 x höhere Kopfbeschleunigung als der Mensch (5000 g statt 500g). Beim Hacken wirken maximal „nur“ **1500g**.

Ursachen

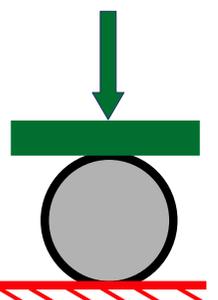
- Gehirn ist nur 2 Gramm schwer
- wenig Bewegungsfreiheit
- wenig Gehirnfüssigkeit CSF
- weniger Gyri, grosse Kontaktfläche
- nur lineare Beschleunigung
- keine Rotationen
- starke Halsmuskeln
- Hyoid und Zungenmuskulatur speziell geformt

(Toleranz menschliches Gehirn: 80 g während max. 3 ms)

Der Boxer mit ornithologischen Kenntnissen



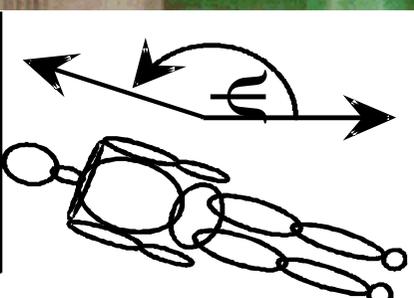
- Treffer, sieht „schlimm“ aus
- Aber: Kompensation mit Nackenmuskulatur
- Keine Kopf- und Gehirnrotation
- Nur axiale Beschleunigung
- Kein Knock-out
- **Ungefährlich für Gehirn**



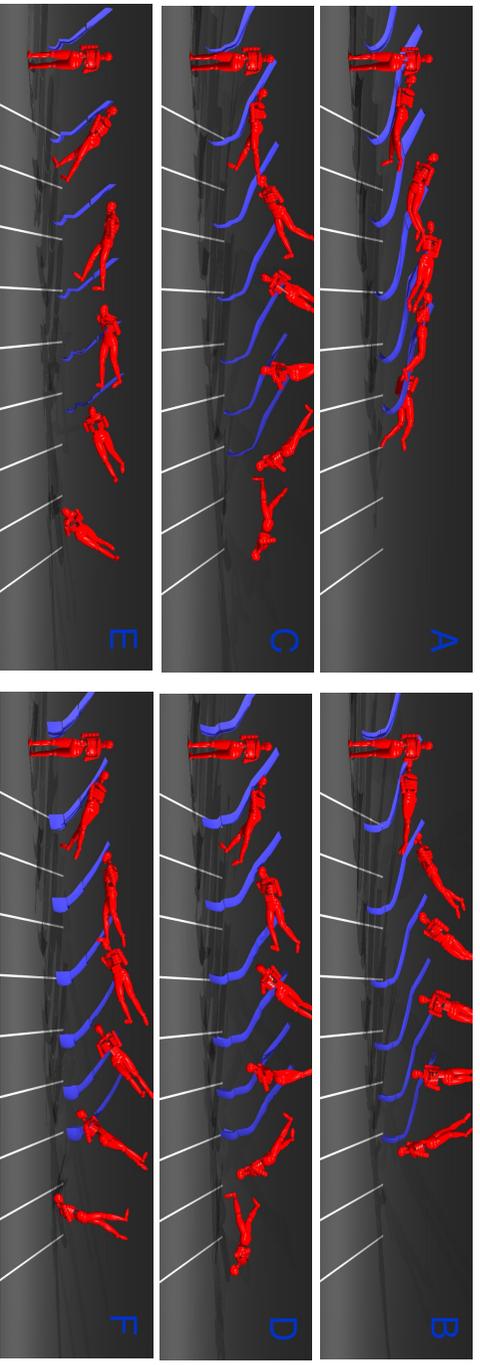
Tatsächliche Kollision Auto - Fussgänger



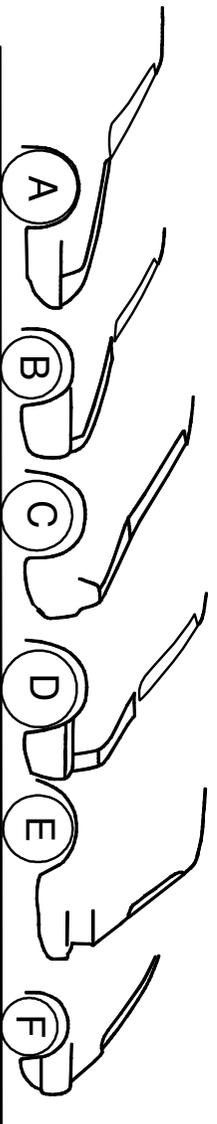
Fussgängerkollision, Sekundäraufprall



Fussgängerkollision 40 km/h, Sekundäraufprall

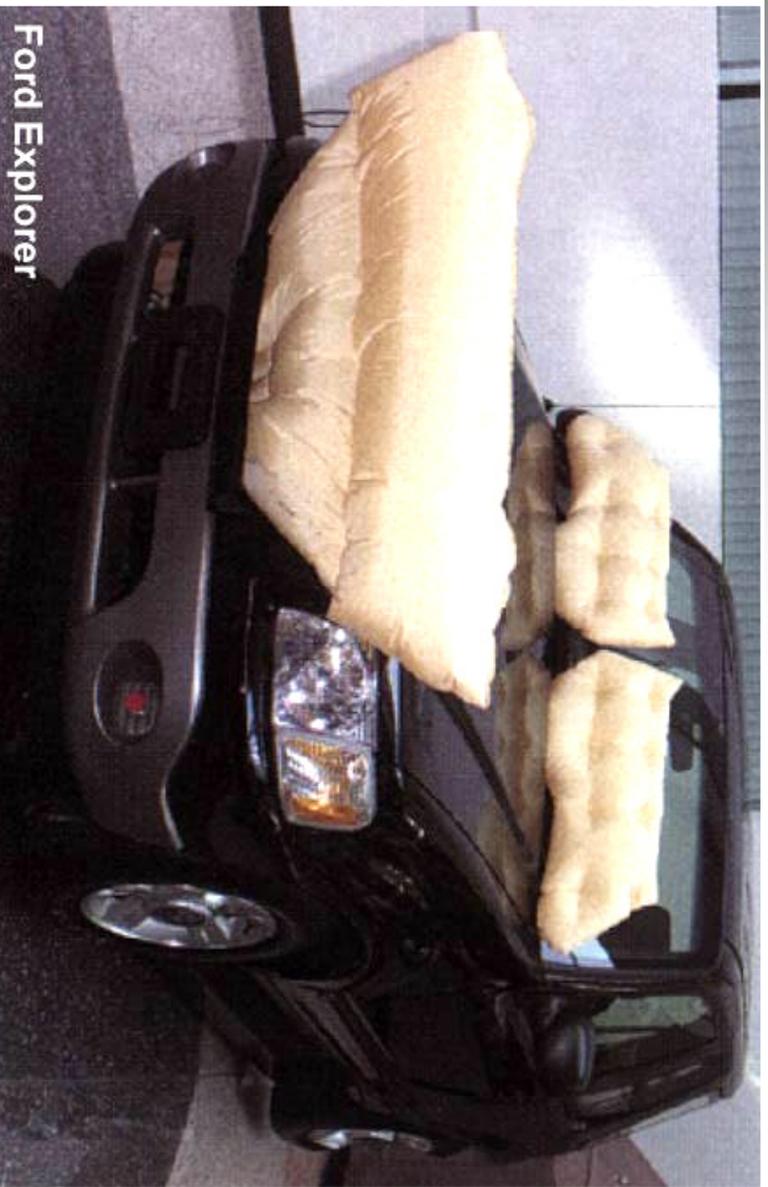


Muser, AGU



23

Airbags für Fussgänger ?



24