

Entwicklung eines Dummys für die Bewertung von Schutz- oder Bedrohungsszenarien im Kontext von Explosionen

Nachstellung der Verletzungsentstehung von Lungenverletzungen



- Merkmale von Explosionen
- Entstehung von Explosionsverletzungen
- Lungenverletzungen
 - Aufbau der Lunge
 - Lungenverletzungen
- Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell
 - Anforderungen
 - Nachbildung der Alveolen Eigenschaften
 - Nachbildung des Pleuraspaltes
 - aktueller Stand Lungenersatzmodell im Biofidel Dummy
- Anwendungsbeispiel

Crashtest-Dummys Anwendung



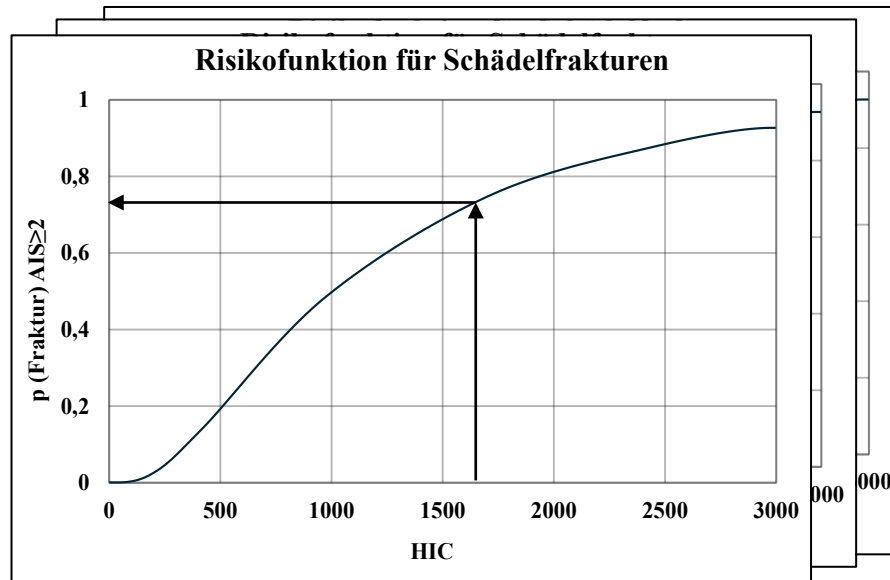
Quelle: ADAC



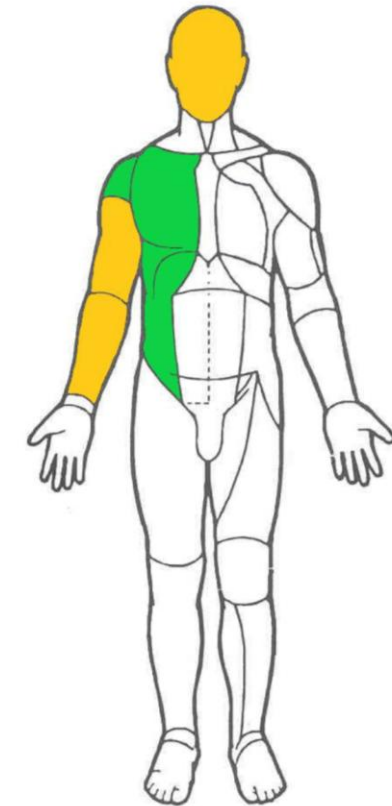
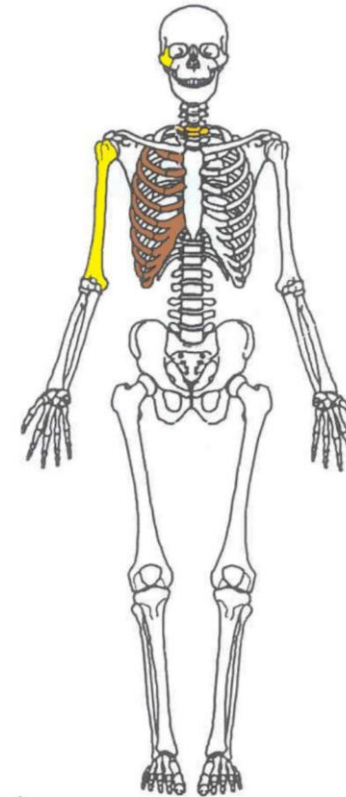
Quelle: Mercedes Benz

Crashtest-Dummys Bewertung

unidirektionale Belastungswerte



Verletzungsprognose



Crashtest-Dummys Herausforderungen

Biofidelität und Biomechanik

Nutzungseinschränkungen

Kosten und Zertifizierungsaufwand

Schutzkriterien und Verletzungsrisikofunktionen

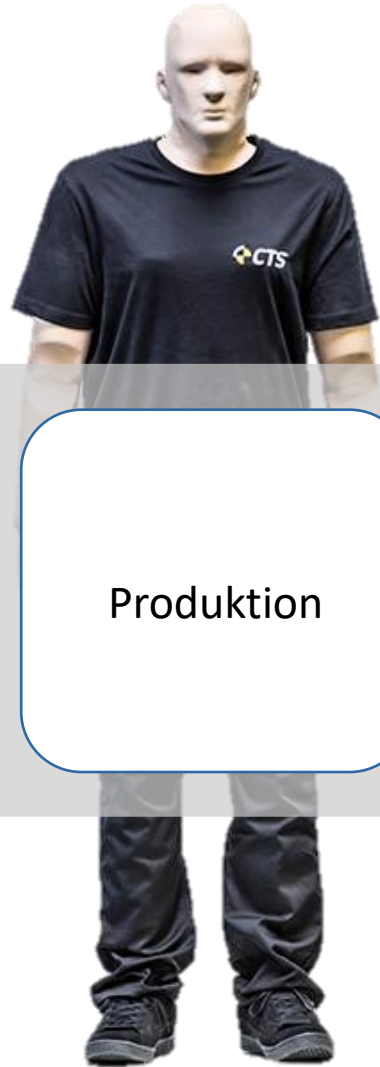
Muskeltonus

Organschäden

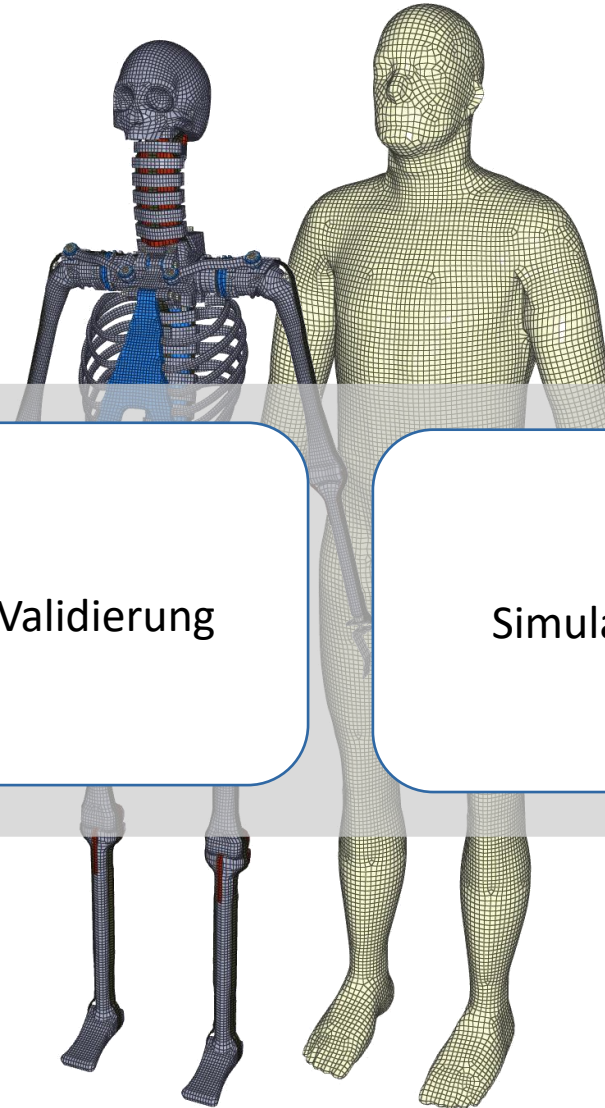
Biofidel-Dummys Entwicklungsstufen



Entwicklung

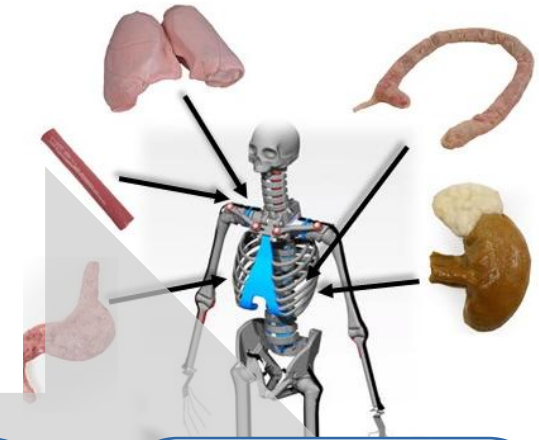


Produktion



Validierung

Simulation

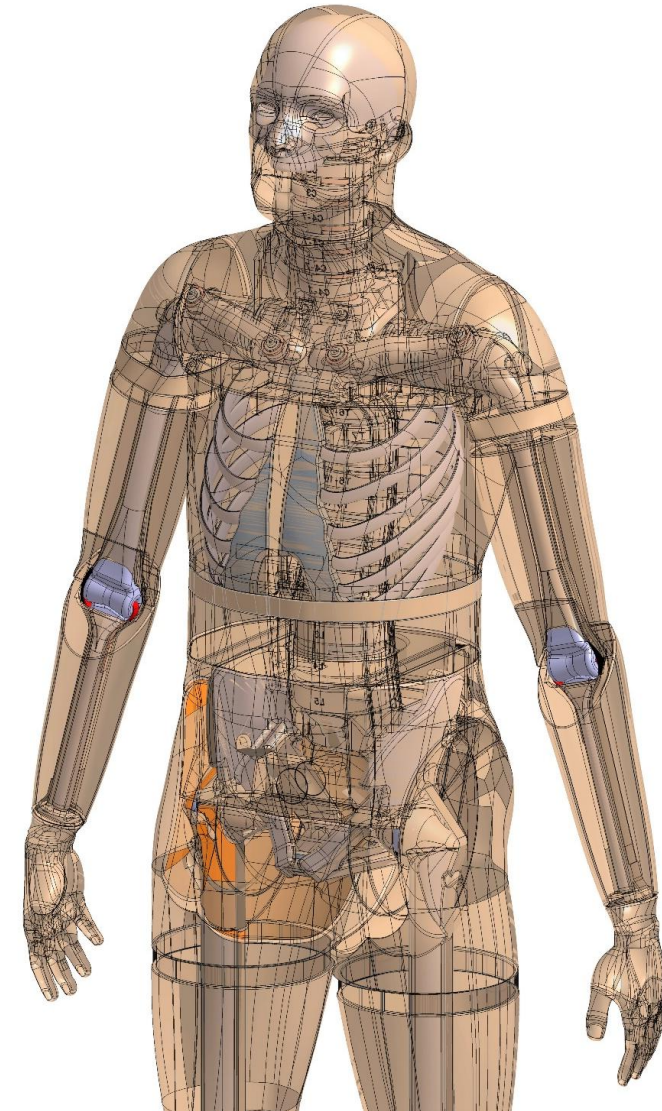


Organimple-
mentierung

Biofidel-Dummys Entwicklungsstufen

Version PRIMUS breakable

- Knochenbestandteile
- Bänder und Sehnen
- Weichteilgewebe
- anthropomorphe Geometrie
- realer Bewegungsumfang
- Alter, Gewicht, Größe und Massenverteilung entspricht 50-Perzentil Mann
- 1,75 m / 79 kg
- Inertiale Messeinheit im Kopf, Becken und Thorax
- ISO 9001 zertifiziert

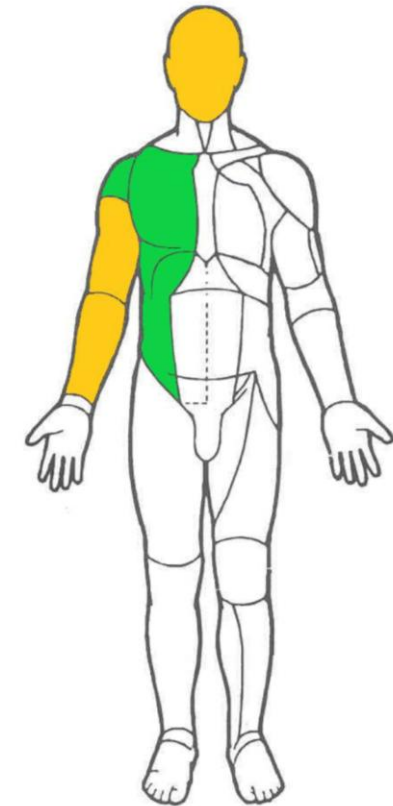
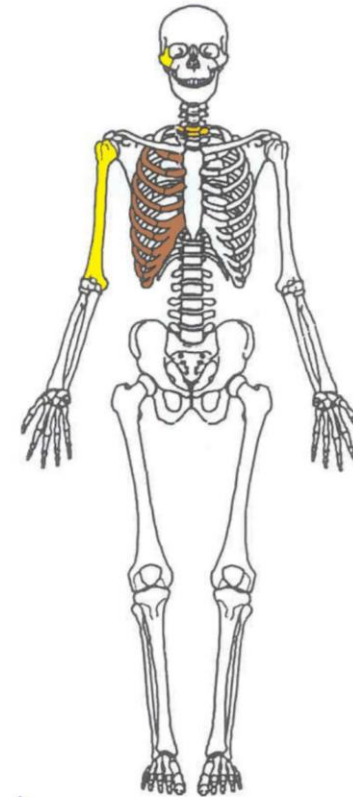


Biofidel-Dummys Bewertung

Beschädigungen am Dummy

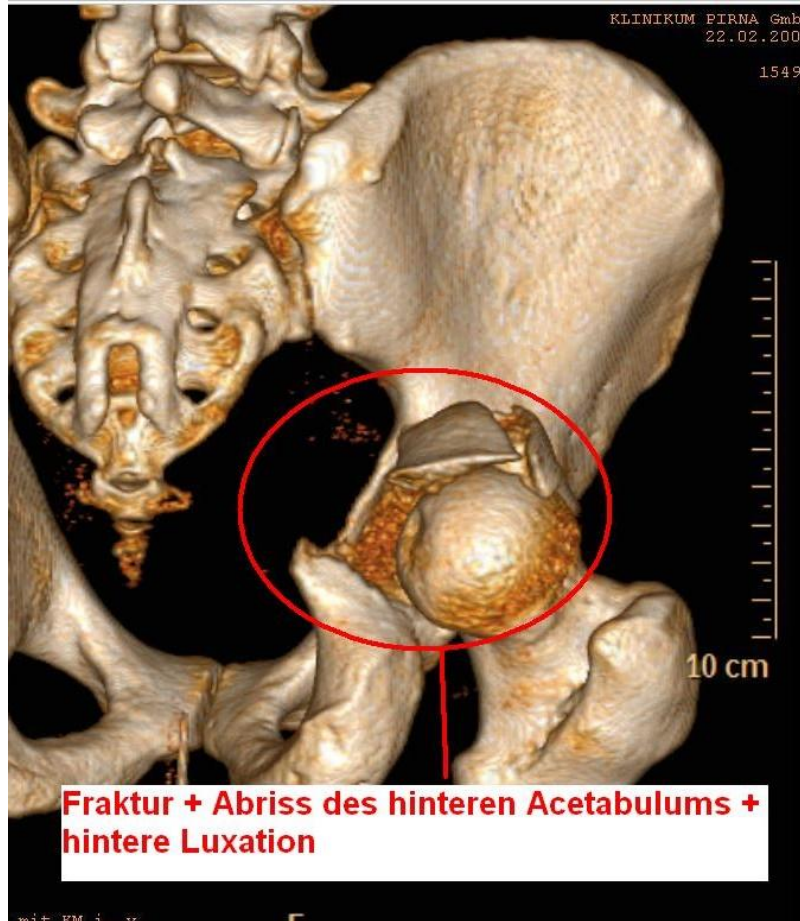


Verletzungsprognose



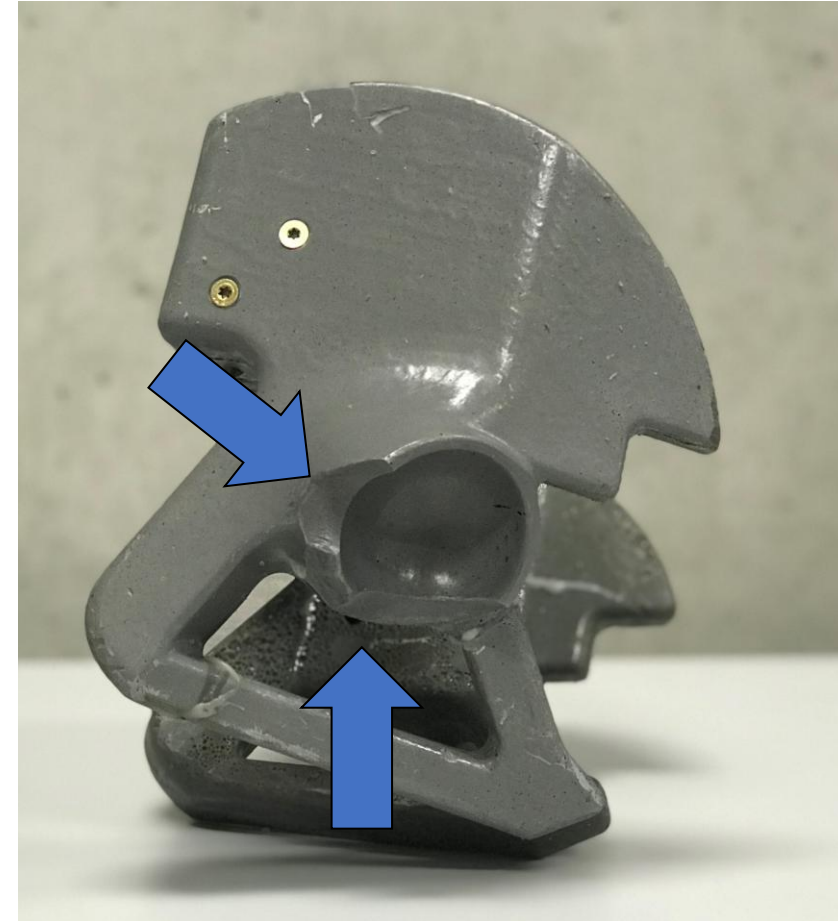
Biofidel-Dummys Bewertung

Acetabulumfraktur Mensch



Quelle: Klinikum Pirna

Materialbruch Becken Biofidel-Dummy



Quelle: HTW Dresden

Biofidel-Dummys Validierung



realer Unfall (GIDAS)



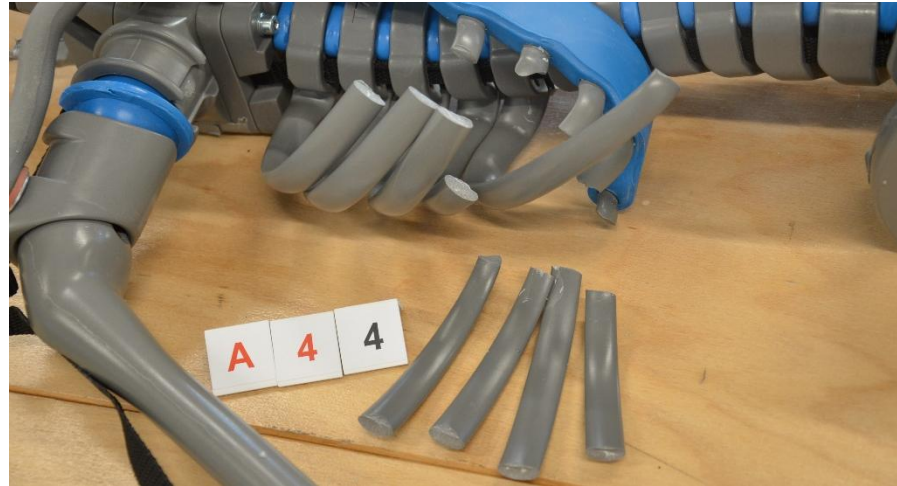
nachgestellter Unfall (Crashtest)

Biofidel-Dummys Validierung

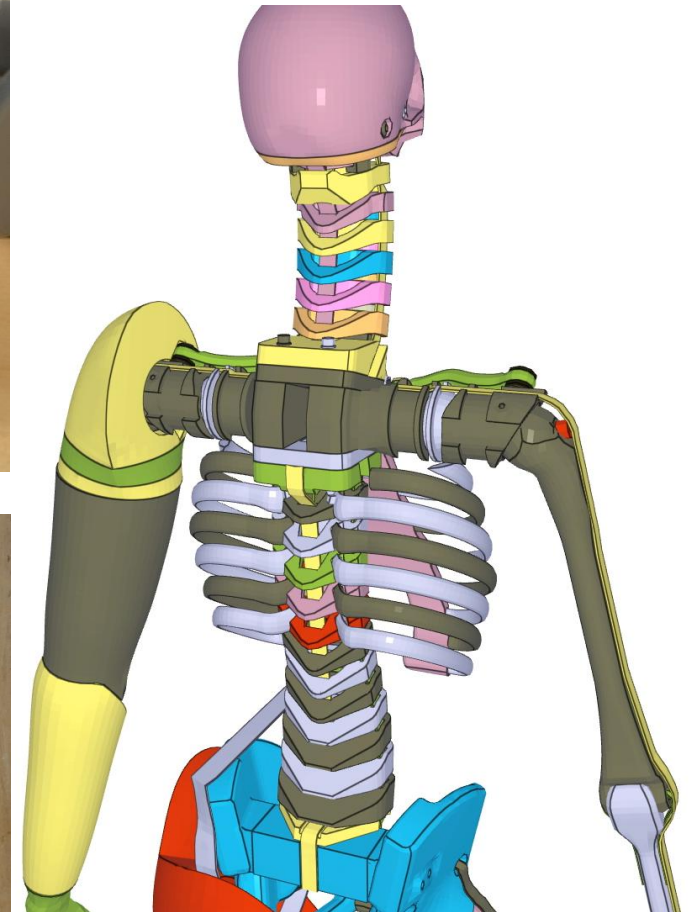
Realer Unfall (GIDAS)



nachgestellter Unfall (Crashtest)



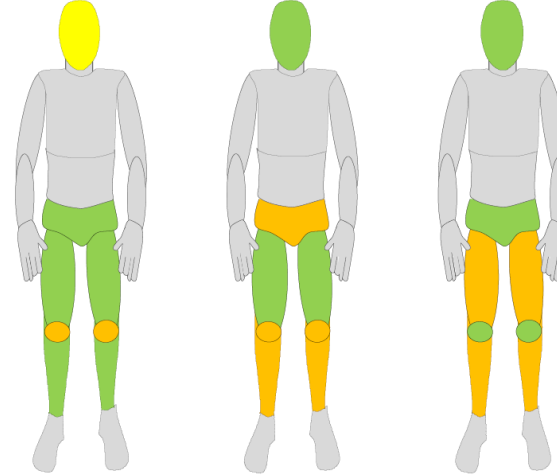
Simulation



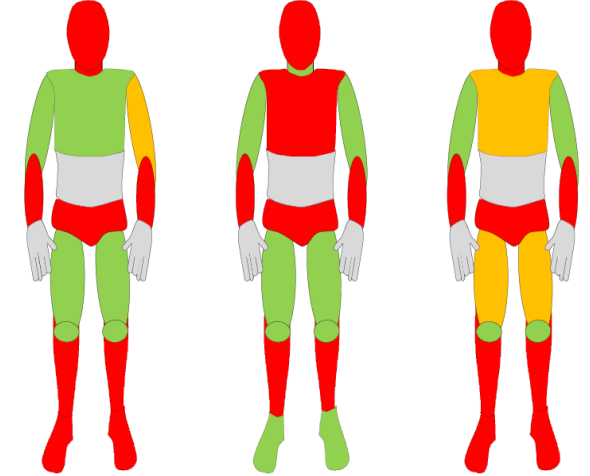
Biofidel-Dummys Anwendung



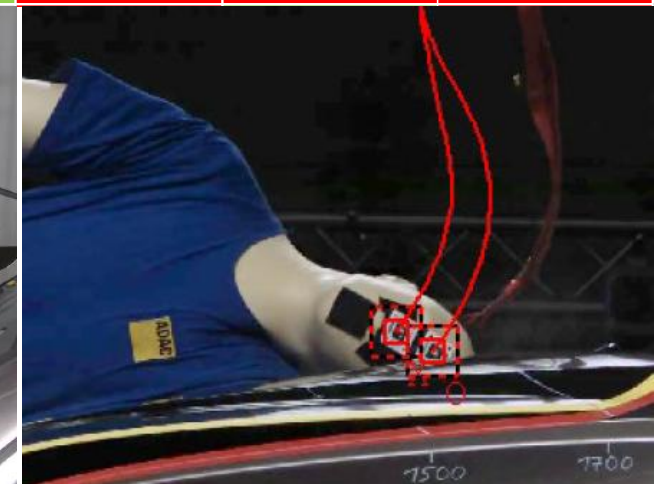
component-tests



full-scale-tests

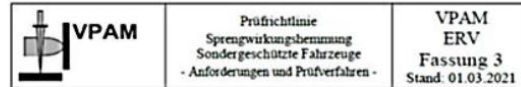


reference	state of the art	front deployed	reference	state of the art	front deployed
698	267	428	3.707	4.037	5.688



Biofidel-Dummys Anwendung

Civil VPAM ERV Ed. 3



PRÜFRICHTLINIE

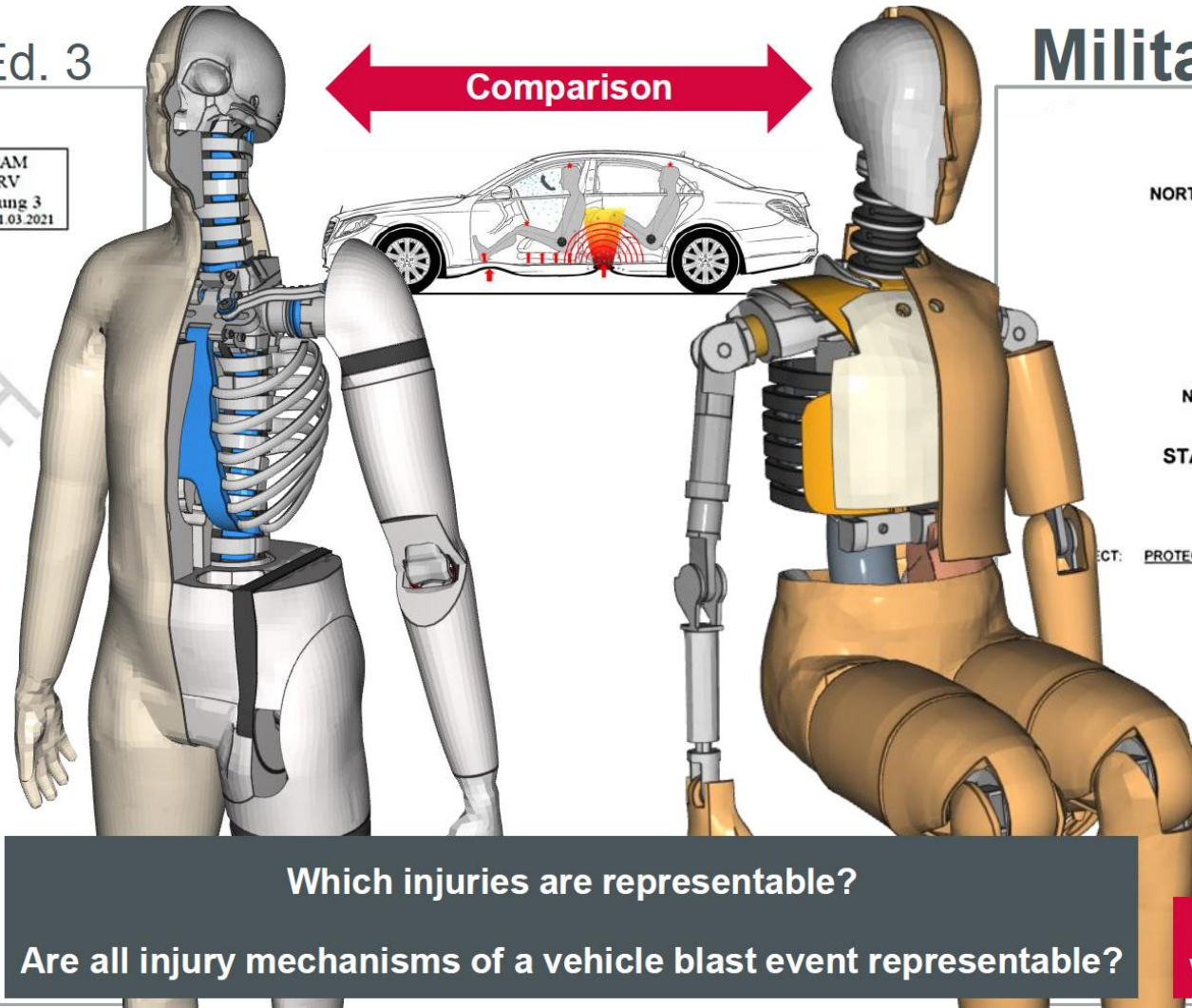
Sprengwirkungshemmung
"Sondergeschützte Fahrzeuge"

VPAM-ERV
Fassung 3
Stand: 01.03.2021

Ausfertigung für die Fahrzeughersteller
Bezugsquelle ist das PTI - Münster

Herausgeber:
Vereinigung der Prüfstellen für angriffshemmende
Materialien und Konstruktionen (VPAM)

CTS Primus Breakable®
with biofidelic approach



Military STANAG 4569

NATO/PFP UNCLASSIFIED

STANAG 4569
(Edition 2)

NORTH ATLANTIC TREATY ORGANISATION
(NATO)



NATO STANDARDIZATION AGENCY
(NSA)

STANDARDIZATION AGREEMENT
(STANAG)

SUBJECT: PROTECTION LEVELS FOR OCCUPANTS OF ARMoured VEHICLES

Promulgated on 18 December 2012

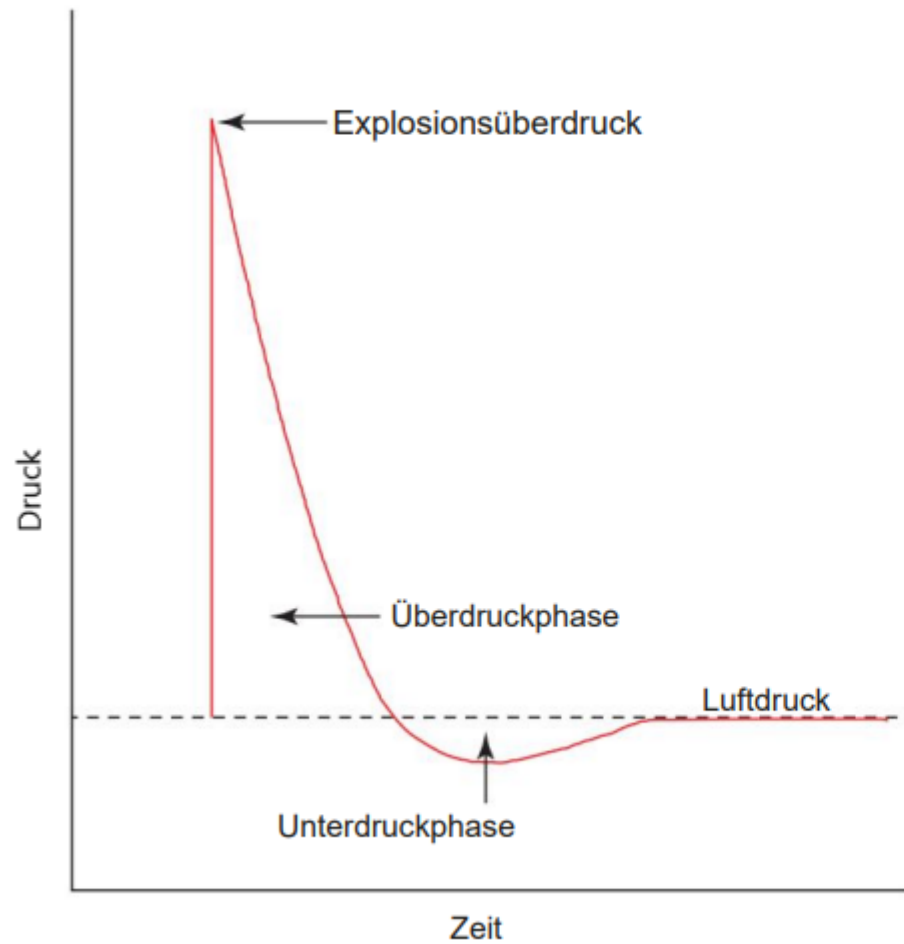
Dr. Cihangir AKSIT, TUR Civ
Director, NATO Standardization Agency

Humanetics Hybrid III®
with measuring approach

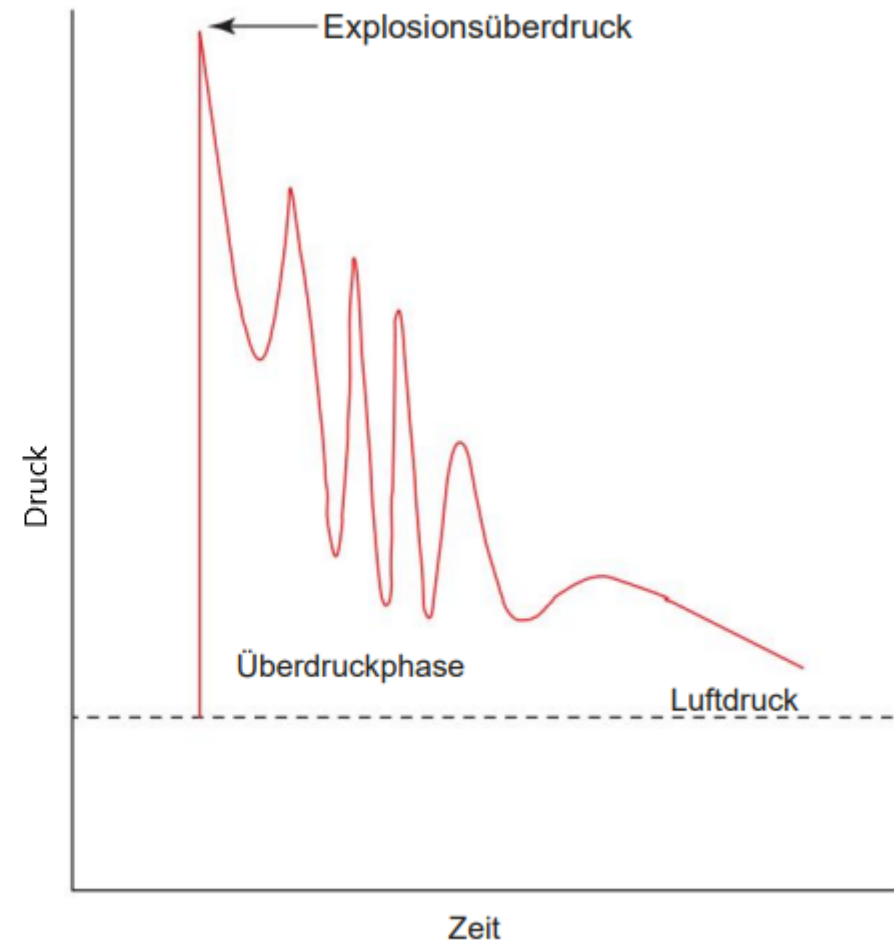
Merkmale von Explosionen



a Explosionsdruck-Zeit-Kurve im Freien



b Druck-Zeit-Kurve der Explosion in geschlossenen Räumen



Überdruckphase

- plötzliche Freisetzung großer Energiemengen
- kurzzeitig hohe Druckspitzen (>100.000 bar innerhalb von wenigen Millisekunden)
- aufgrund der hohen Druckamplitude das höchste Zerstörungspotenzial
- Explosionswind treibt Splitter weiter vor sich her mit Geschwindigkeiten von bis zu 1500 m/s

Unterdruckphase

- Druckabfall bis unterhalb des Atmosphärendrucks
- Umkehrung der Luftströmung
- Unterdruck saugt Splitter an
- danach langsame Anpassung an Umgebungsdruckniveau
- geringere Druckamplitude, aber längere Dauer als Überdruckphase

Mortalität

- bis zu 30% der Opfer von Explosionen versterben vor Ort
- Anteil erhöht sich in geschlossenen Räumen durch Reflexionen, abhängig von:
 - Höhe der Druckamplitude
 - Dauer der Überdruckphase
 - Abstand zum Detonationsort
- Verletzungen der Lunge weisen höchste Mortalität auf

Ziel ist die modellhafte Abbildung der Lunge zur Bewertung von explosionsbedingten Lungenverletzungen!

Entstehung von Explosionsverletzungen



primäre Explosionsverletzungen

vor allem bei luftgefüllten Organen auf (Lunge, Magen-Darm-Trakt)

Verletzungen durch Druckwelle der Detonation

sekundäre Explosionsverletzungen

Verletzungen durch Splitter, die von der Detonation beschleunigt werden

Verletzungen durch umherfliegende Trümmer

Splitter besitzen eine wesentlich größere Reichweite als die Druckwelle

tertiäre Explosionsverletzungen

Verletzungen werden hervorgerufen durch

- Aufprall auf ein Hindernis
- Umfallen des Explosionsopfers
- Einstürzen von Gebäuden oder Gebäudeteilen

Lungenverletzungen



Lungenverletzungen

Aufbau der Lunge

Hohlorgan

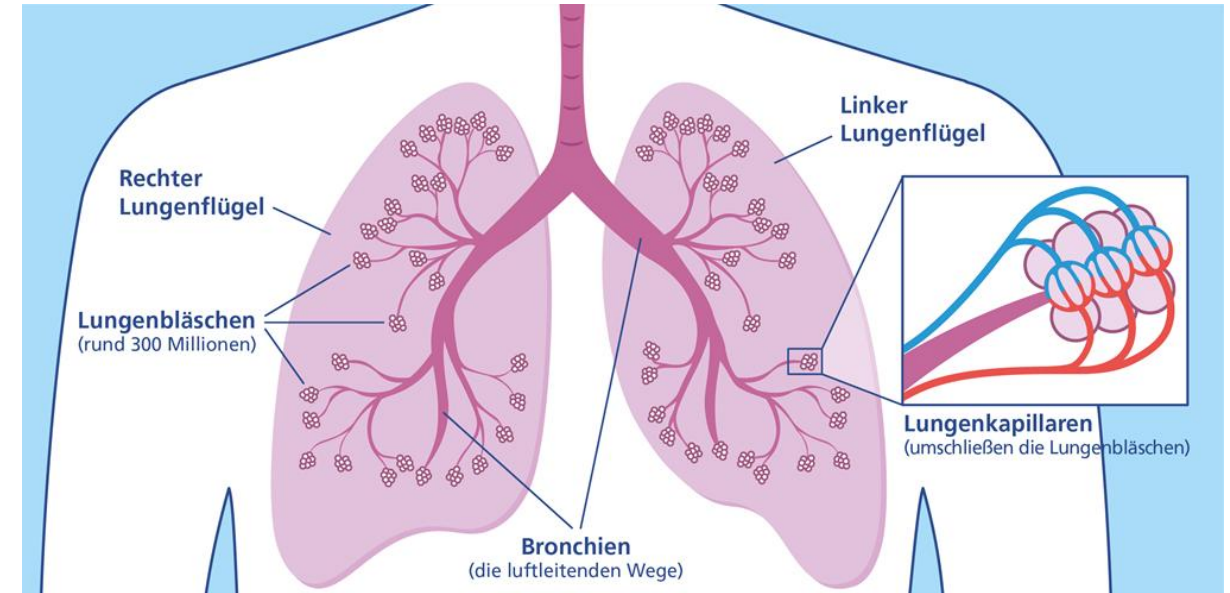
Lunge besteht aus zwei Lungenflügeln

linker Lungenflügel aufgrund der Lage des Herzens etwas kleiner

Luftröhre → zwei Hauptbronchien → Bronchien und Bronchiolen → Lungenbläschen (Alveolen)

Alveolen

- machen Großteil des Lungengewebes aus
- von Kapillarnetz umzogen
- sorgen für Gasaustausch
- Anzahl: ca. 300 Millionen
- Durchmesser: ca. 0,2 mm



[2]

Pleuraspalt

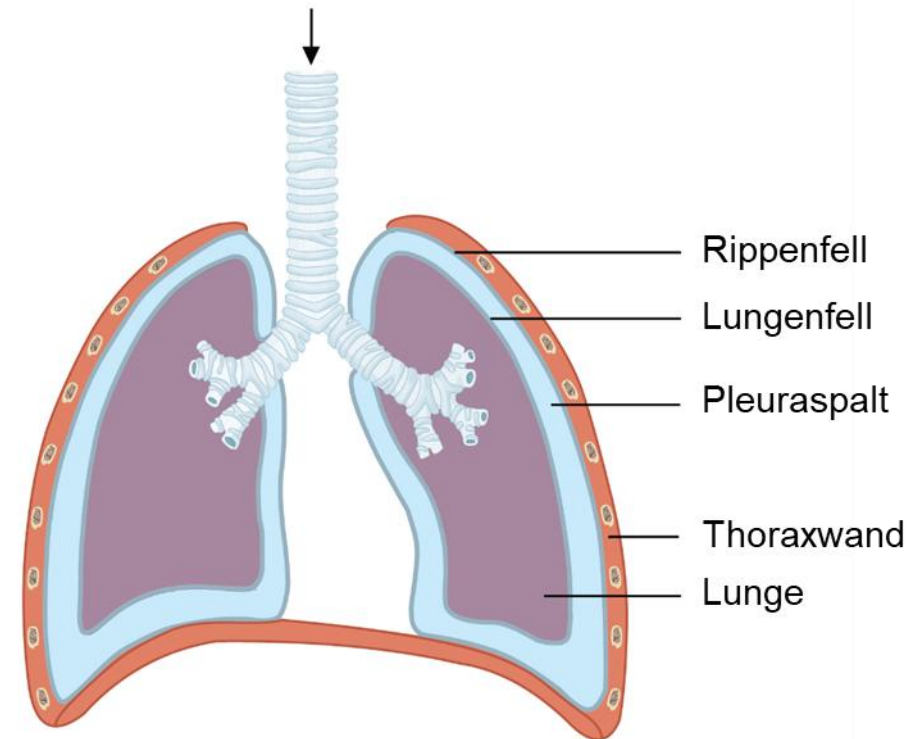
befindet sich zwischen den beiden Schichten des
Brustfells (Pleura)

Lungenfell: umhüllt Lungenflügel

Rippenfell: kleidet Innenwand des Brustkorbs aus

der hier herrschende Unterdruck spannt die Lunge in
der Brusthöhle auf

durch Flüssigkeitsfilm können sich die zwei Schichten
des Brustfells reibungsfrei gegeneinander verschieben



[3]

primäre Lungenverletzungen

Blast lung (Explosionslunge) durch Druckwelle

Pneumothorax, Spannungs-Hämatothorax

Zerreißen der Alveolen

Lungenödem

Luftembolie

Lungenkontusion → Lungenblutungen

geschlossener Pneumothorax

durch Verletzung des Lungenfells dringt Luft in den Pleuraspalt

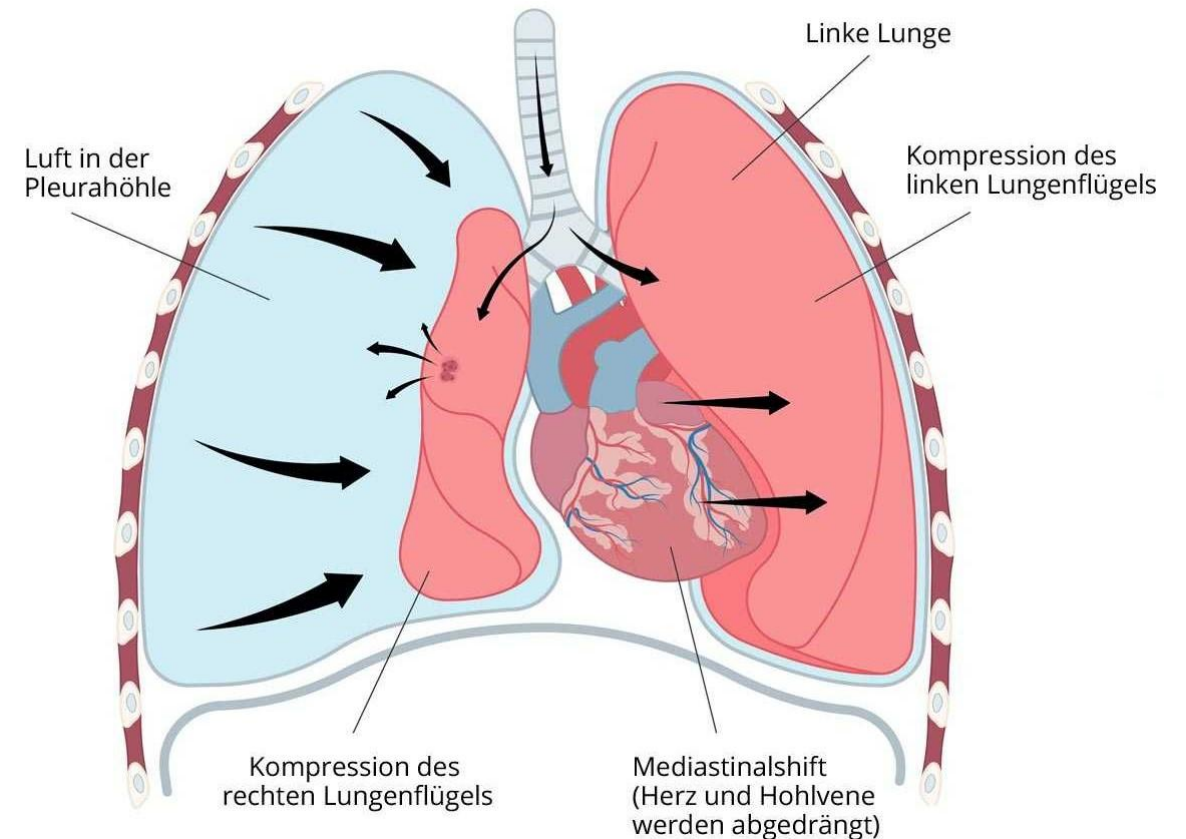
Unterdruck kann nicht aufrechterhalten werden → Druckausgleich

Lunge kollabiert teilweise oder komplett

offener Pneumothorax

durch offene Wunde im Thorax dringt Luft in den Pleuraspalt

Lunge kollabiert bei ausreichend großer Öffnung



Blut sammelt sich im Pleuraspalt

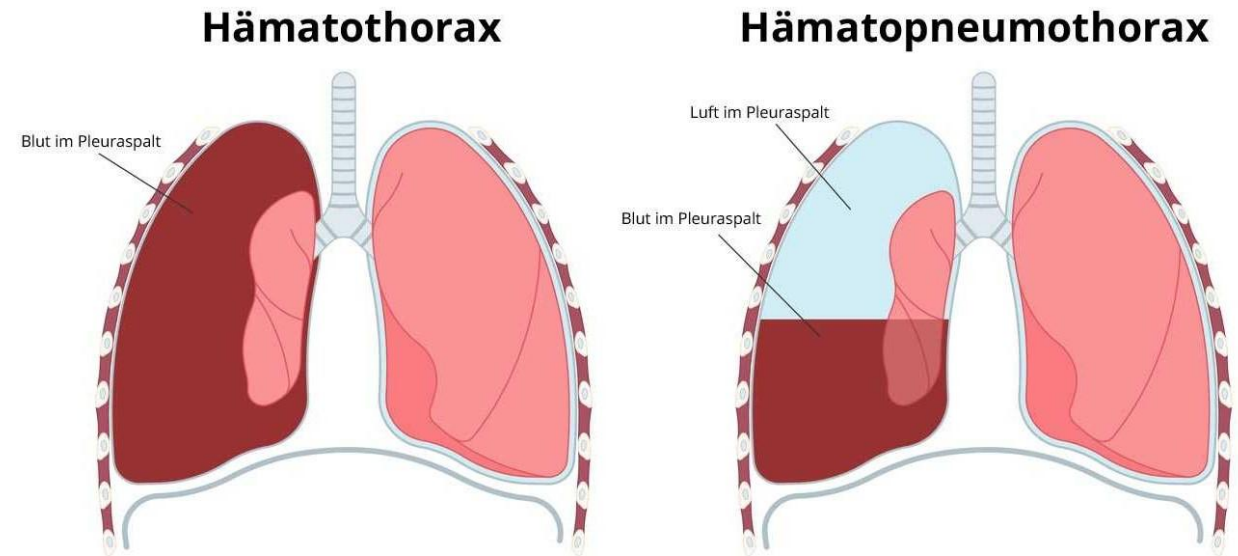
kann infolge stumpfer oder penetrierender
Thoraxtraumata auftreten (siehe
Pneumothorax)

Hämatopneumothorax: neben Blut auch Luft
im Pleuraspalt

Schwere der Verletzung

Blutungsvolumen reicht von minimal zu
massiv

massiver Hämatothorax: wird meistens als
schnelle Anhäufung von ≥ 1000 ml Blut
definiert



[6]

Lungenverletzungen

Zerreißen der Alveolen

Druckwelle führt zu einer massiven
Überdehnung der Alveolen mit Zerreißen der
alveolären Septen

sind aufgrund ihrer filigranen Struktur
besonders empfindlich für druckbedingte
Schädigungen

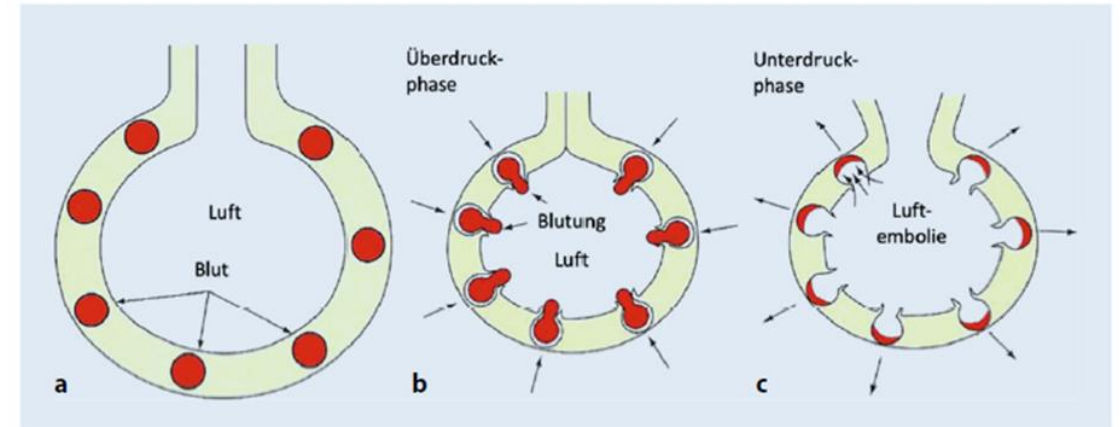
je höher die Spitze des Überdrucks und je
kürzer die Dekompressionszeit, desto stärker
die Lungenschädigung durch den
Überdehnungseffekt

führt zu

alveolären Blutung

Lungenödem

Luftembolie



a-Normalzustand b-Überdruckphase c-Unterdruckphase

Lungenquetschung oder Lungenprellung

Kompression des Thorax während der Überdruckphase führt zu

- Blutungen in der Lunge

 - zieht häufig Lungenödeme nach sich

- hohen intrathorakalen Druck

 - zerreißen der alveolären Septen

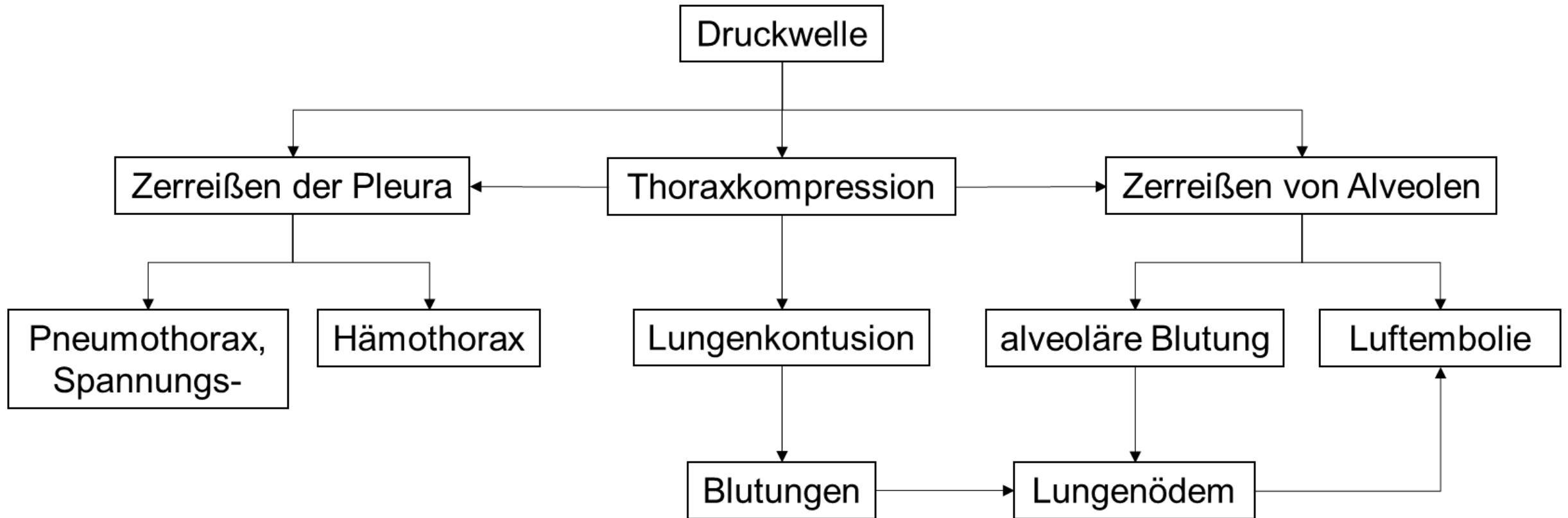
- stumpfen oder penetrierenden Thoraxtrauma

 - Pneumothorax und Hämothorax (z.B. durch Rippenbruch, Riss der Pleura)

Schwere der Verletzung

- von ernst bis kritisch (je nach Blutungsmenge): von kleinen, petechialen Einblutungen bis hin zu großflächigen Blutungen

- größere Quetschungen können die Sauerstoffversorgung beeinträchtigen



Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell



Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

Anforderungen

Darstellung der wichtigsten Verletzungsmechanismen

- Pneumo- und Hämatothorax

- Lungenödem

- Luftembolie

Gewicht einer menschlichen Lunge (ca. 1,3 kg)

Auswertung per CT-Scan

einfache Integration und Entnahme nach Explosion

Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

Anforderungen

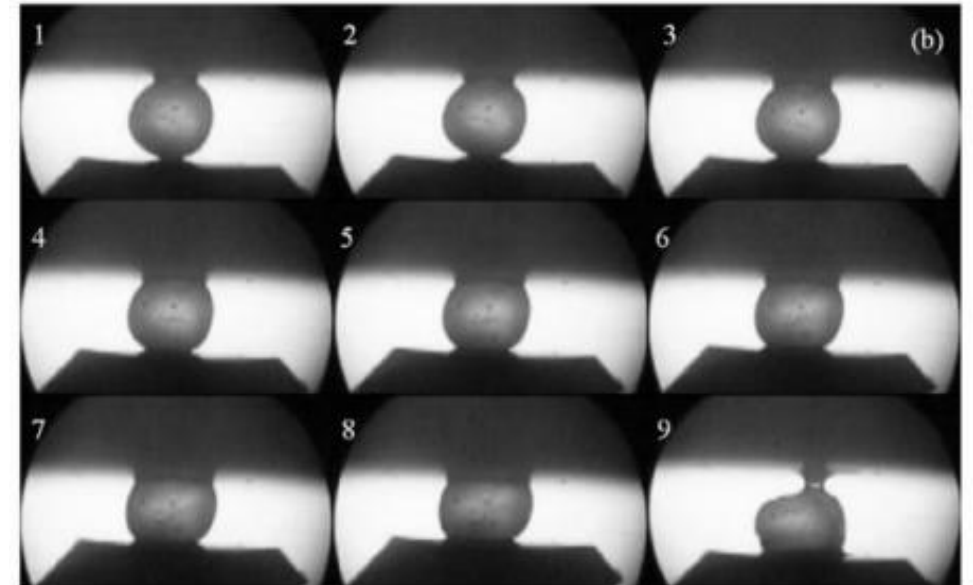
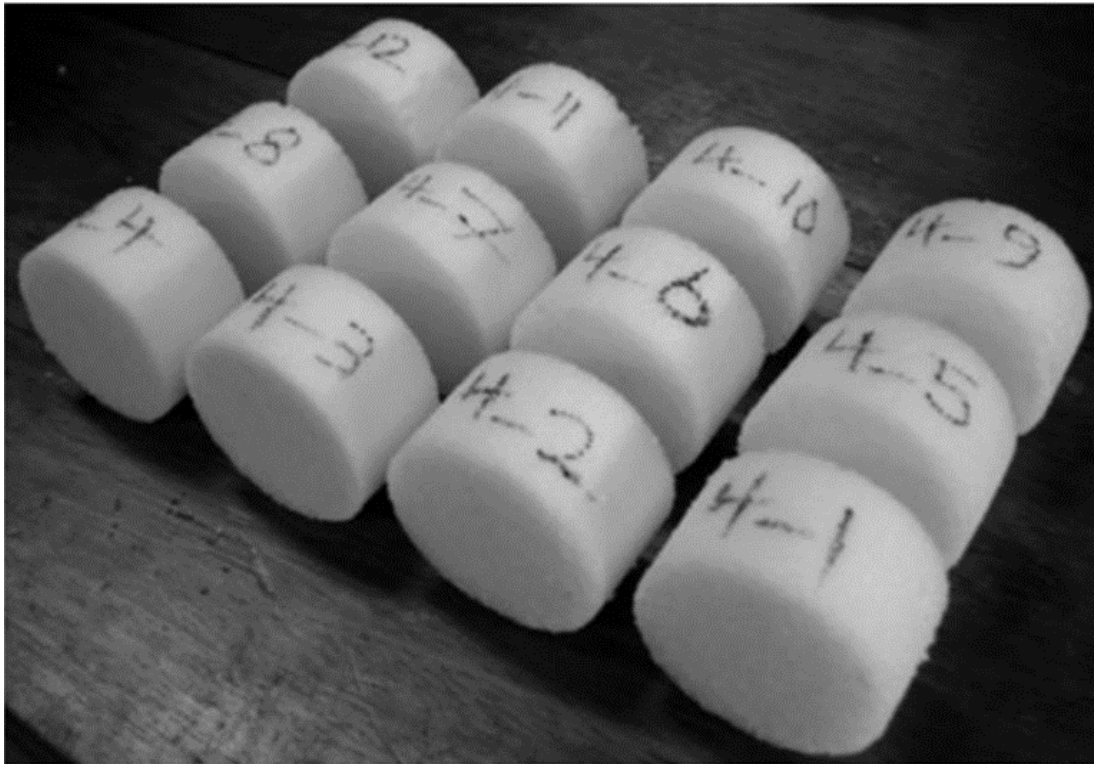
Integration in das Thoraxmodell



Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

Nachbildung der Alveolen Eigenschaften

Mikrokapsel-Schaum-Modell



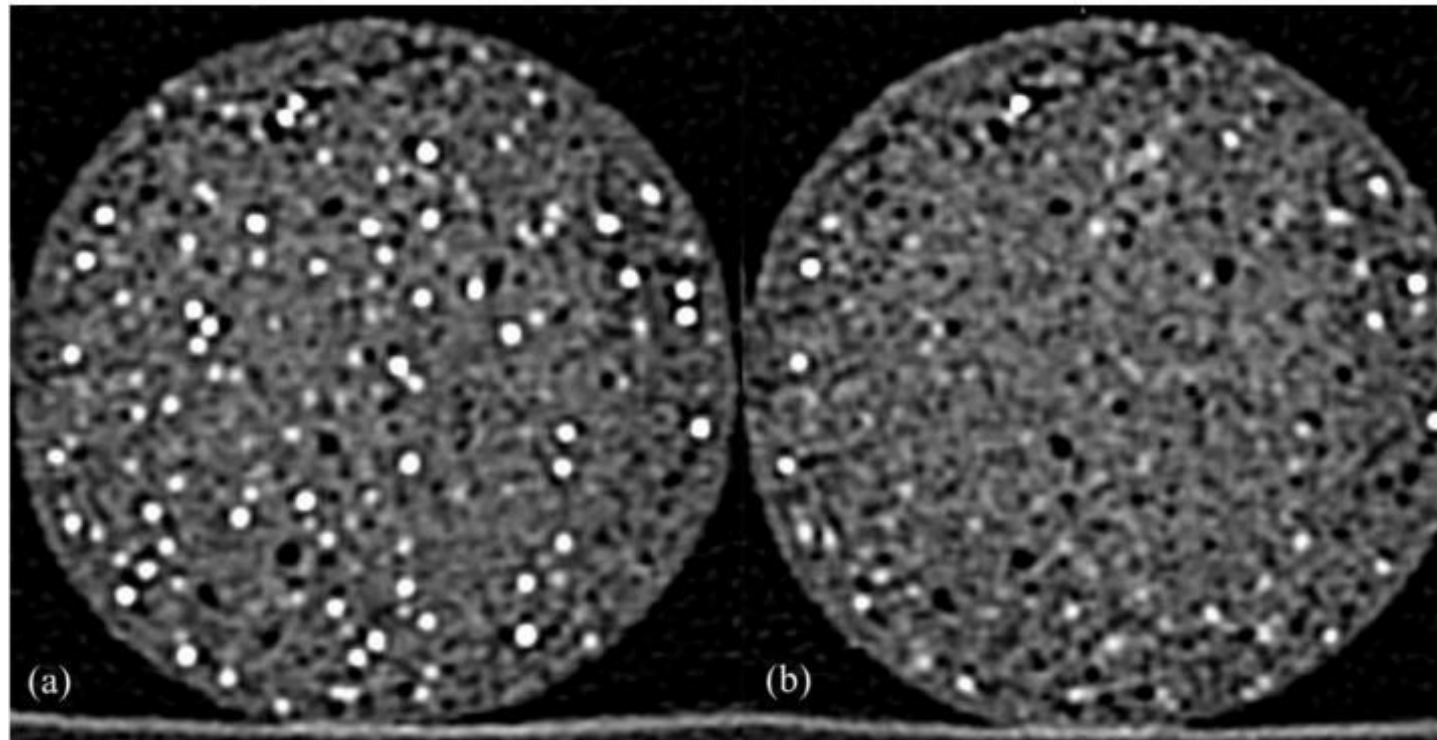
Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

Nachbildung der Alveolen Eigenschaften

Nachbildung der Alveolen Eigenschaften

Mikrokapsel-Schaum-Modell

Berechnung der Schadensrate als prozentuale Anzahl geplatzter Kapseln im Vergleich zur Ausgangszahl

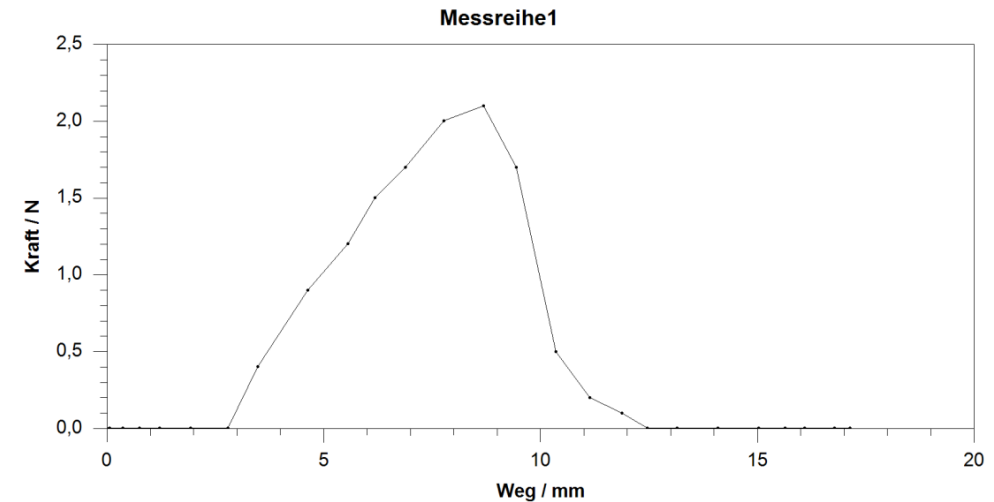
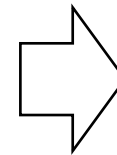
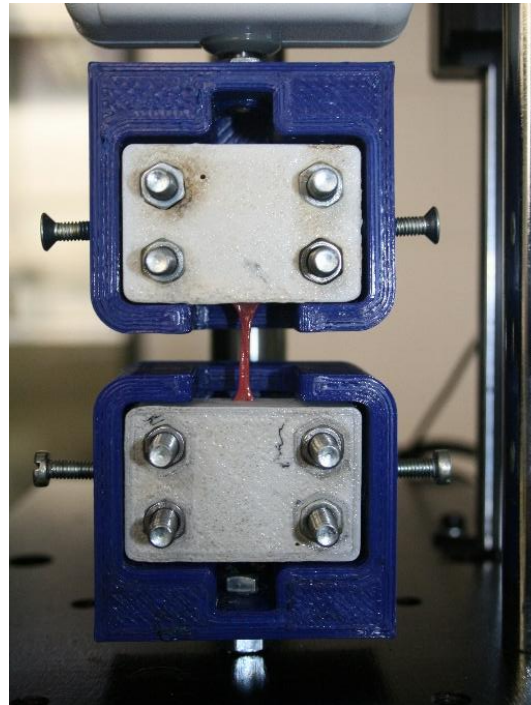
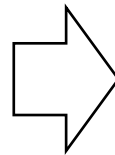


Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

Nachbildung des Pleuraspaltes

Bestimmung mechanischer Eigenschaften von menschlichen Lungengewebe (Lungen- und Rippenfell) und angrenzenden Gewebe (Zwerchfell) durch Zugversuch

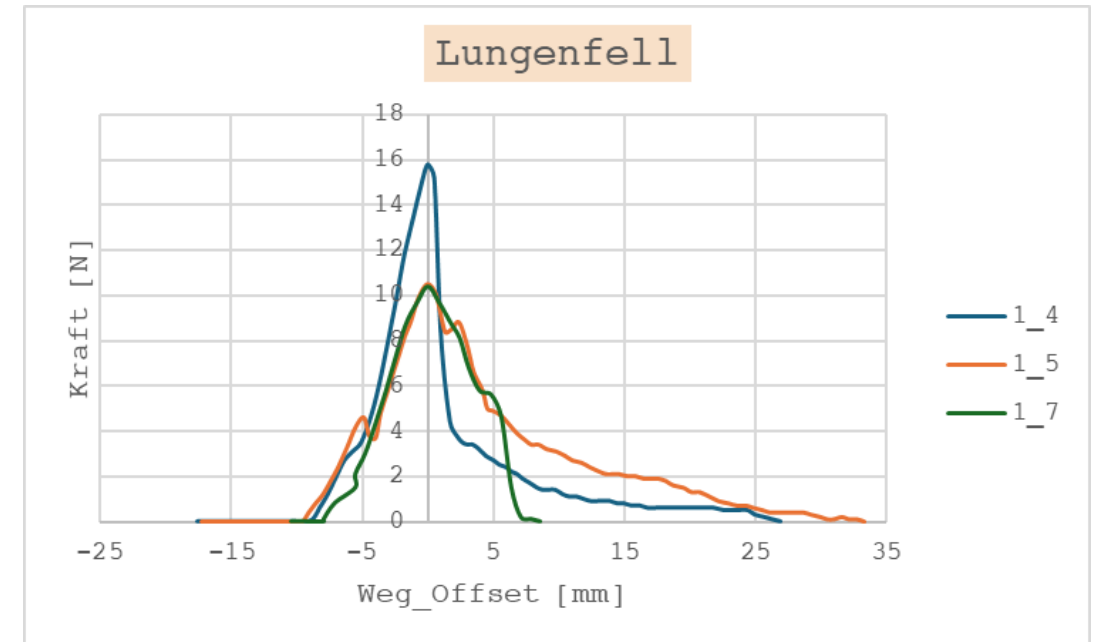
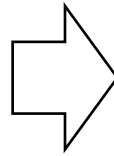
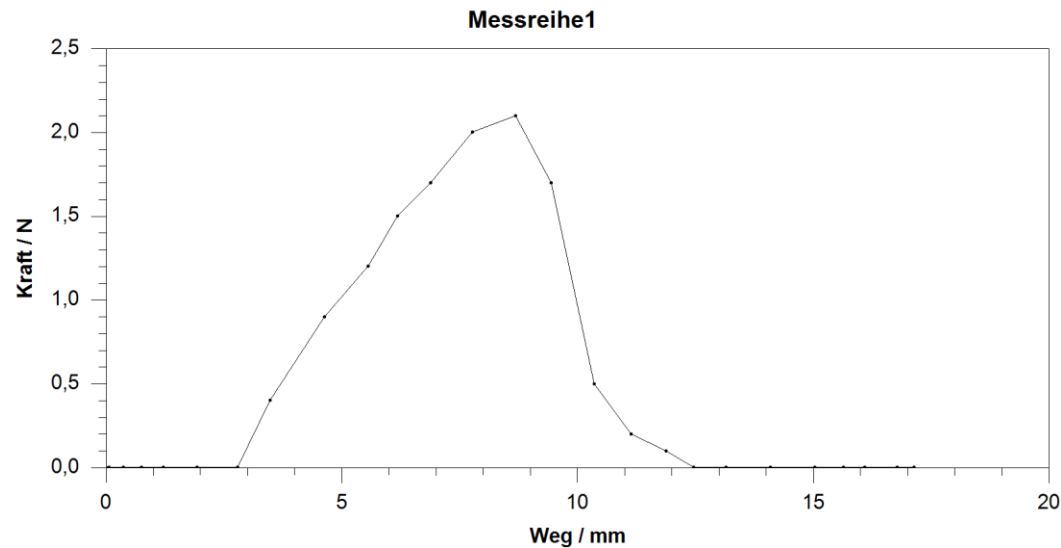
In Kooperation mit der Rechtsmedizin der Medizinischen Fakultät der TU Dresden



Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

Nachbildung des Pleuraspaltes

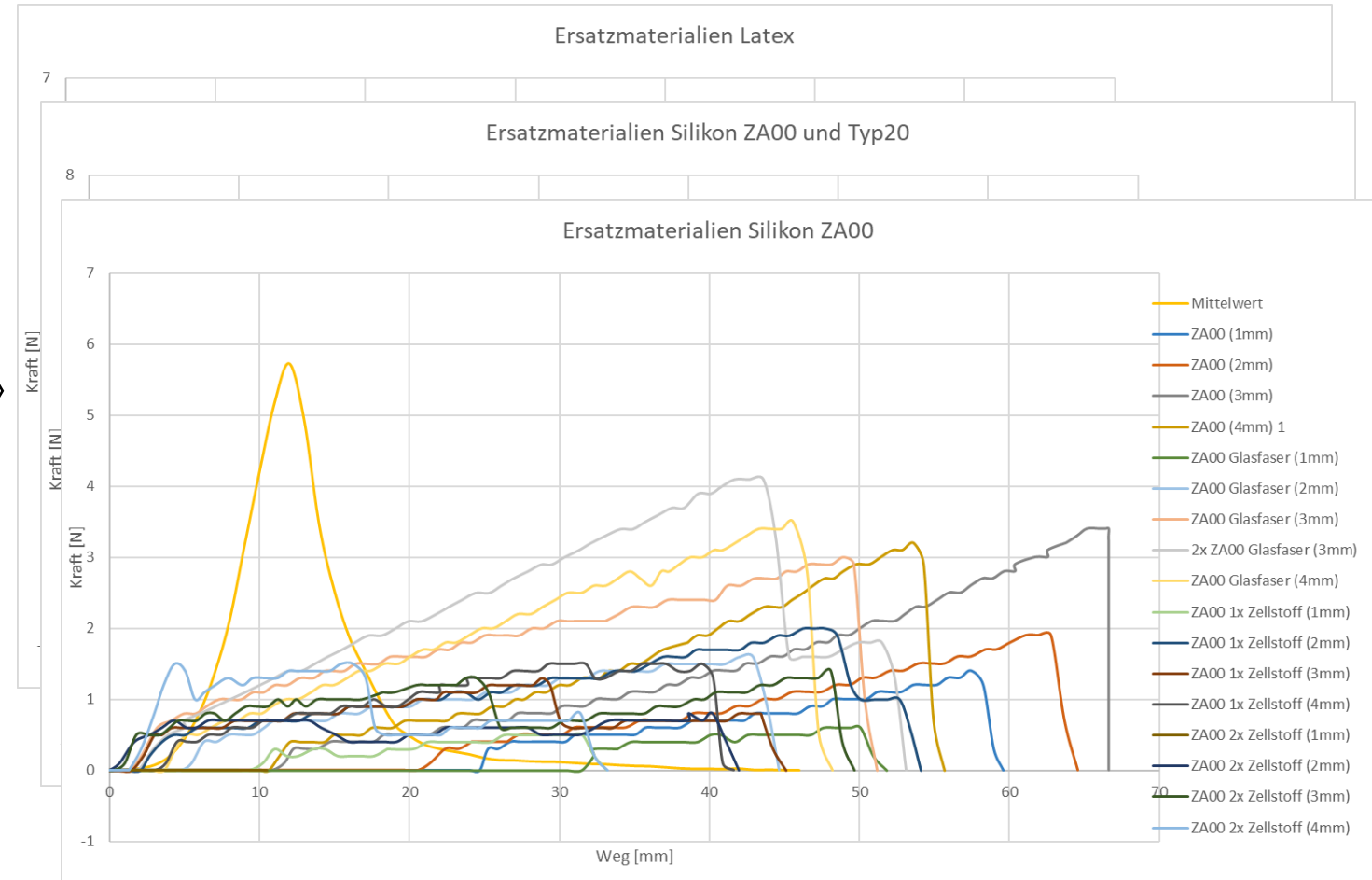
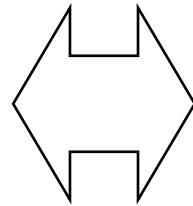
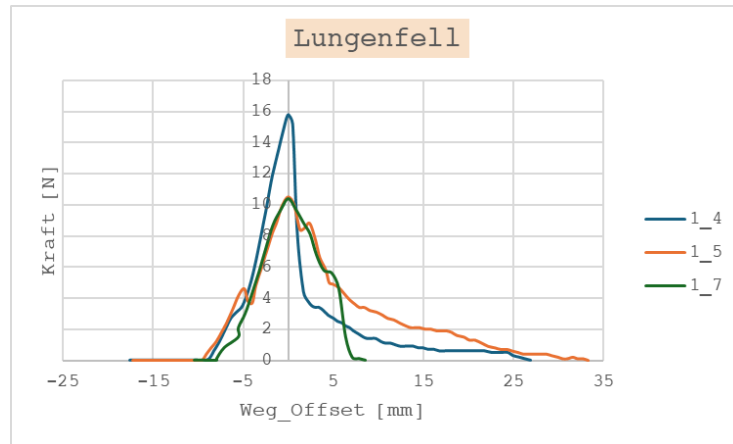
Ermittlung von Durchschnittswerten in Abhängigkeit von Alter und Zustand (n=180 Zugversuche)



Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

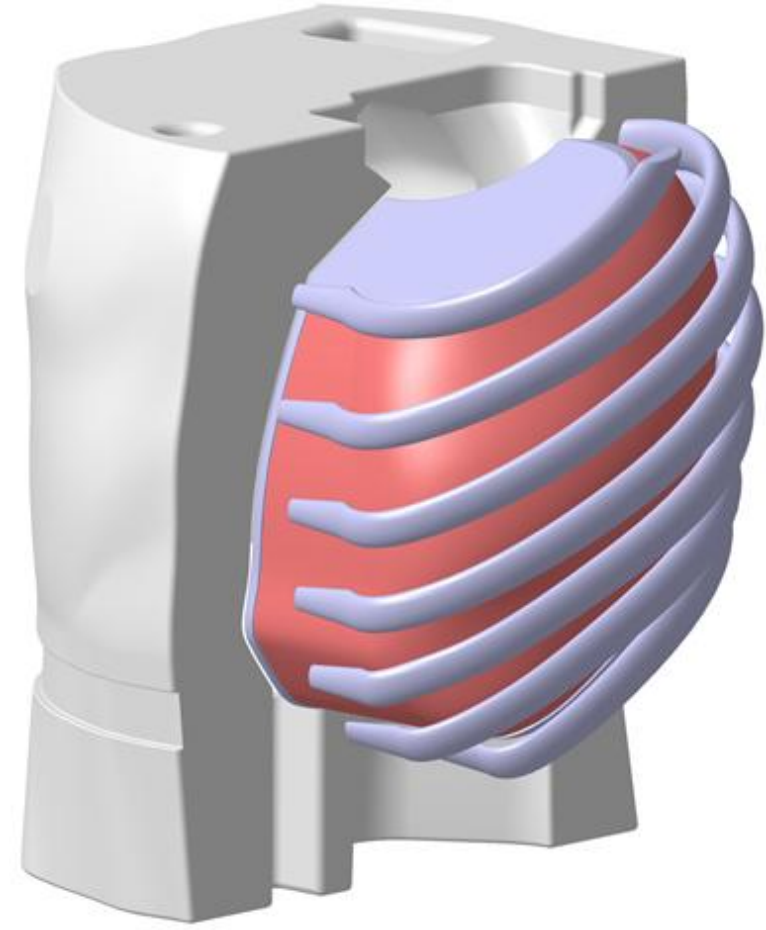
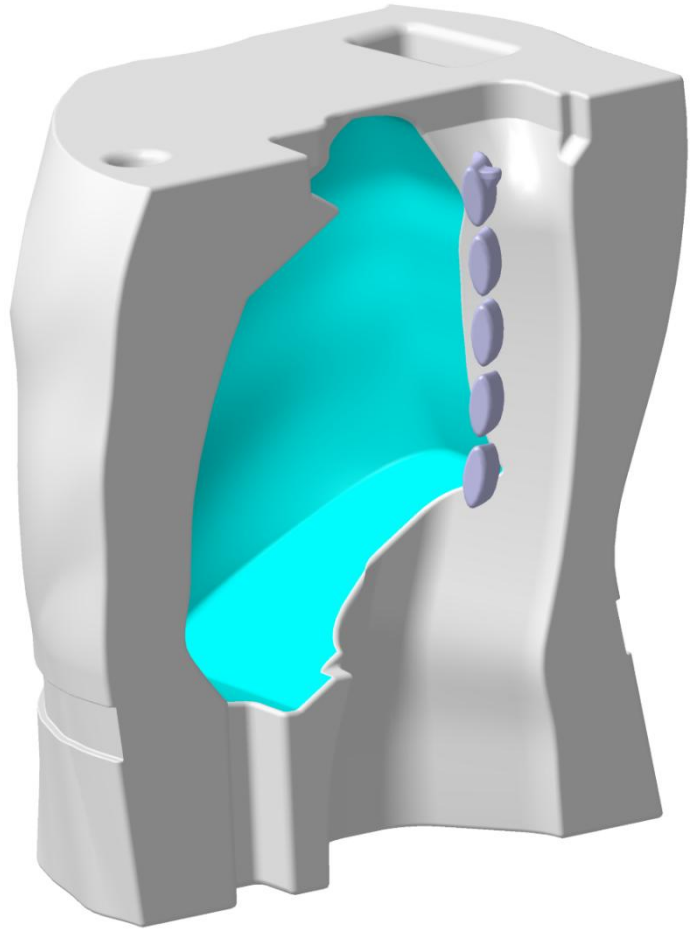
Nachbildung des Pleuraspaltes

Vergleich mit anorganischen Surrogat-Werkstoffen



Nachstellung von Verletzungen im Lungenersatzmodell

Aktueller Stand des Lungenersatzmodells im Biofidel Dummy



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Prof. Dr.-Ing. Lars Hannawald

Dr.-Ing. Benjamin Härtel

Dipl.-Ing. (FH) Sandra Beutin