TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

IMM
Institut für Mechanik
und Materialforschung

Charakterisierung und Modellierung von Polymeren zum Einsatz in ballistischen Schutzaufbauten

25.02.2016

Manuel Roth, S. Kolling (THM)
D. Thomas, G. Kellner (GST)

Inhalt

- Motivation und Projektziel
- Ballistische Versuche
  - Versuchsaufbau
  - Ergebnisse und Auswertung
- Biege- und Durchstoßversuche
- Modellierung und Simulation
- Ausblick
- Zusammenfassung

AMPV

Boxer GTK

Fenneck

Quellen: KMW, 2013

Quelle: http://www.flickr.com/photos/soldiersmediacenter/2583385889

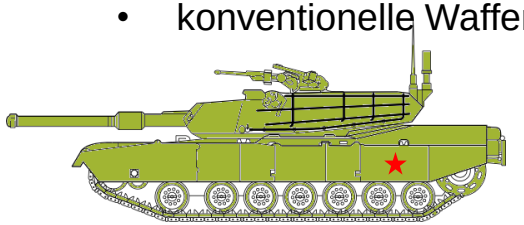
Asymmetrische Bedrohung

IMM
Institut für Mechanik und Materialforschung

im kalten Krieg:

- hohe Kampfentfernungen
- starke Bewaffnung
- hohes Schutzlevel

- Kampfpanzer
- Panzerabwehr
- konventionelle Waffen



aktuelle Szenarien:

- Kampf im urbanen Umfeld
- leichte Bewaffnung
- geringes Schutzlevel
- Radpanzer
- Erschwerte Feinderkennung
- unkonventionelle Waffen

Projektziel: Schutzaufbau für leichte Radfahrzeuge oder Zivilfahrzeuge verbessern

Einführung

- Kennzahlen zur Bewertung des Schutzaufbaus und zum Vergleichen verschiedener Werkstoffe
  - Flächengewicht
  - Dickenequivalenz & Massen-Effektivität
- Auswertung des Schutzaufbaus:
  - Energieaufnahme
  - Festigkeiten
  - Temperaturverhalten
  - Dehnratenabhängigkeit
- PC *Makrolon GP* (Fa. Bayer)
  - E-Modul 2350 MPa, hohe Schlagzähigkeit
  - breiter Temperaturbeständigkeitsbereich
  - Querkontraktionszahl nahe 0.5, plastisch inkompressibel

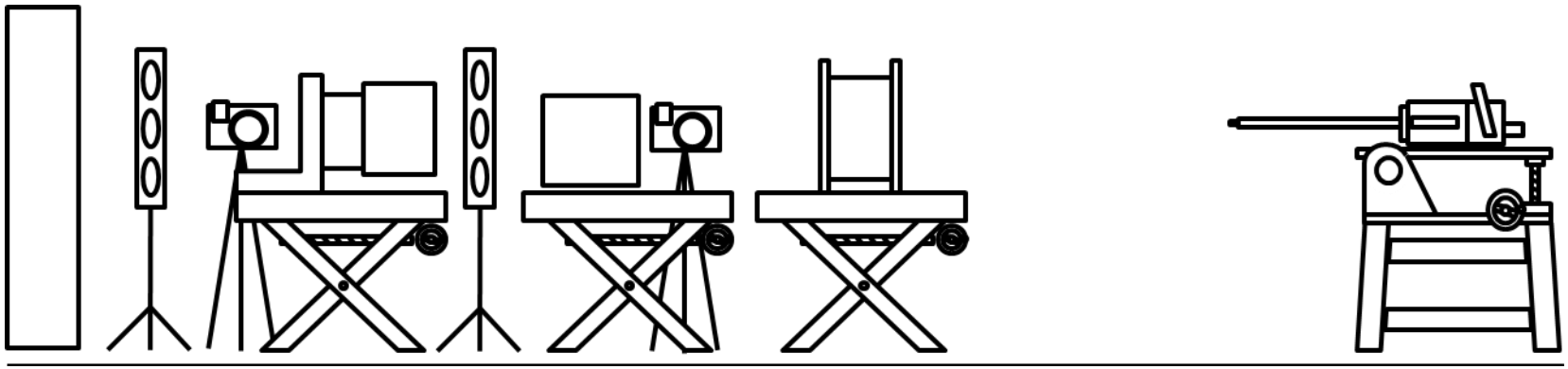
$$f_g = \frac{\mathrm{m}}{\mathrm{A}} = 54\ \frac{\mathrm{kg}}{\mathrm{m}^2}\ \text{für 20 mm Alu}$$

$$\mathrm{TE}_{\mathrm{Alu}} = \frac{\mathrm{RHA}}{t_{\mathrm{Alu}}} = \frac{100\ mm}{167\ mm} = 0.6$$

RHA: gewalzter homogener PZ-Stahl

$$\mathrm{E}_{\mathrm{M}} = \frac{\mathrm{RHA}}{t_{\mathrm{Alu}}\ \frac{\rho_{\mathrm{Alu}}}{\rho_{\mathrm{Stahl}}}} = \frac{100\ mm}{167\ mm\ 0.346} = 1.73$$

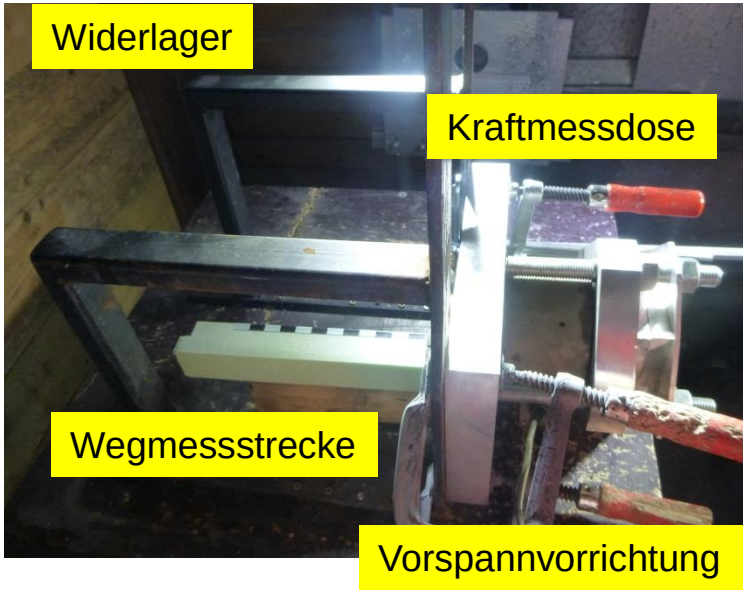
Versuchsaufbau



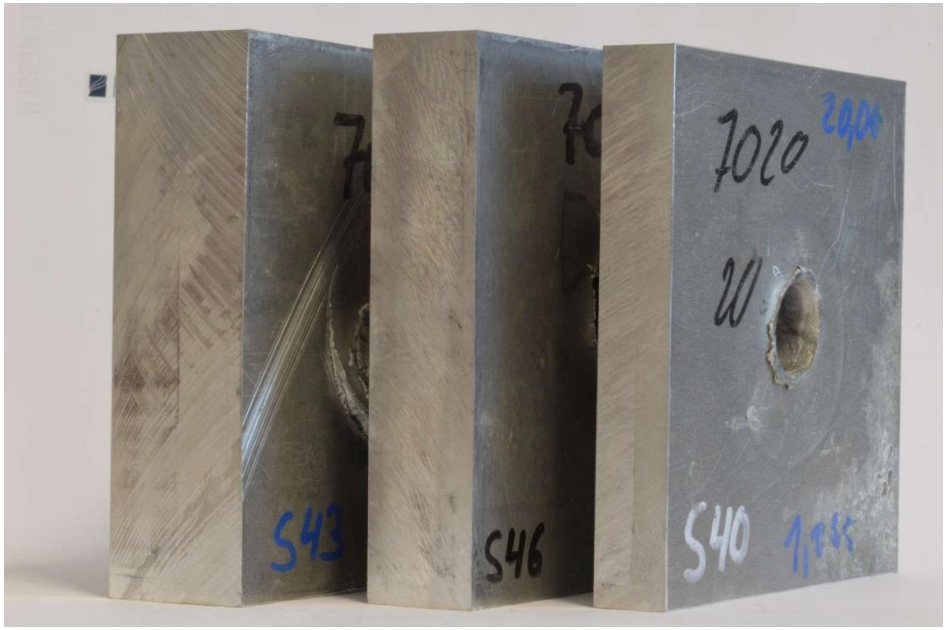
- Maschinenkanone von Rheinmetall im Kaliber 20 x 139 mm
- Im Einsatz als Feldgeschütz, im Schützen- und Spähpanzer und bei der Marine auf Fregatten
- Verschossen wird Splitterdarstellungsgeschoss (FSP) nach NATO STANAG 4569 mit Gewicht von 54 gramm.
- Geschwindigkeit über Laborierung einstellbar: 300 – 1500 m/s

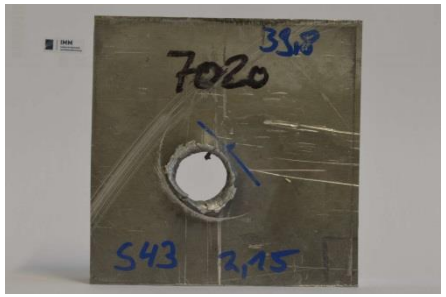
Versuchsaufbau

- Versuchsmuster nach hinten über Kraftmessdose abgestützt
- Fixierung des Versuchsmusters und Vorspannung der K-Dose
- Rest-Geschwindigkeitsauswertung des FSP über Wegmessung mit Hilfe der High-Speed-Kamera

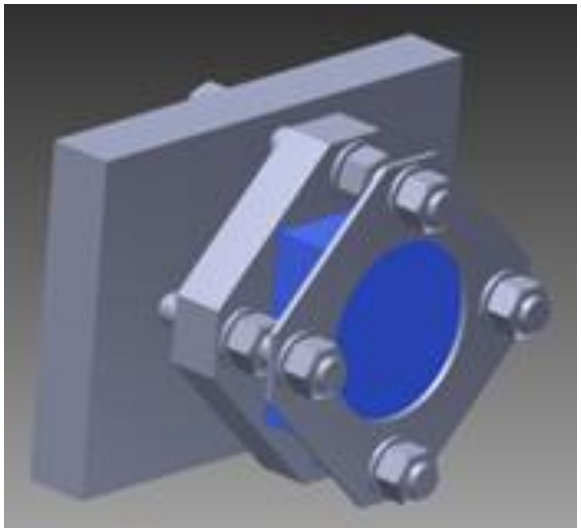


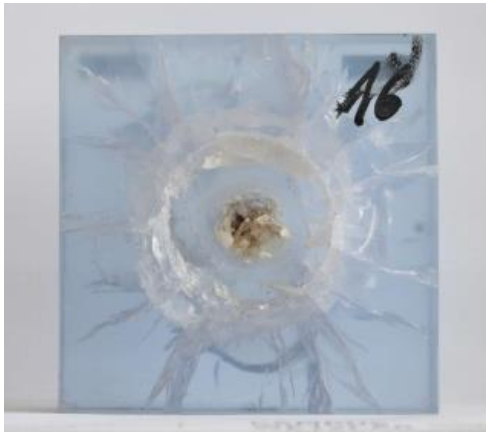
Referenzwerkstoff: Aluminium 7020-T651





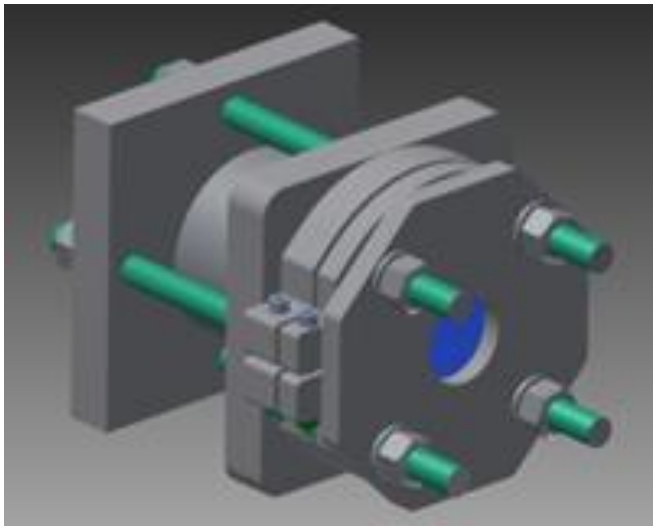
Einzelschichtaufbau: PC/Makrolon GP

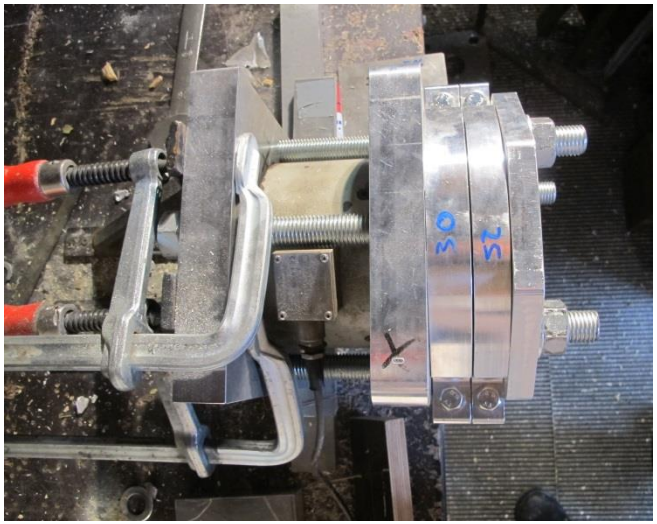


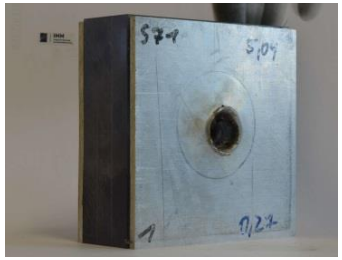


Mehrschichtaufbau: PC/Makrolon GP + Aluminium

IMM
Institut für Mechanik
und Materialforschung

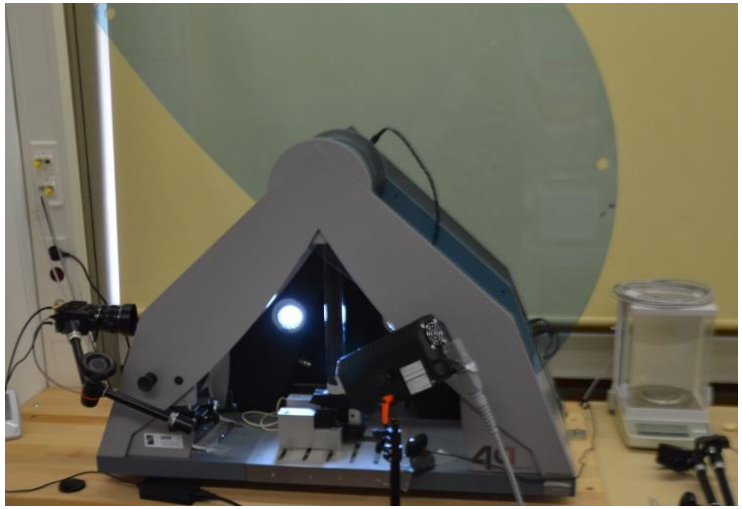




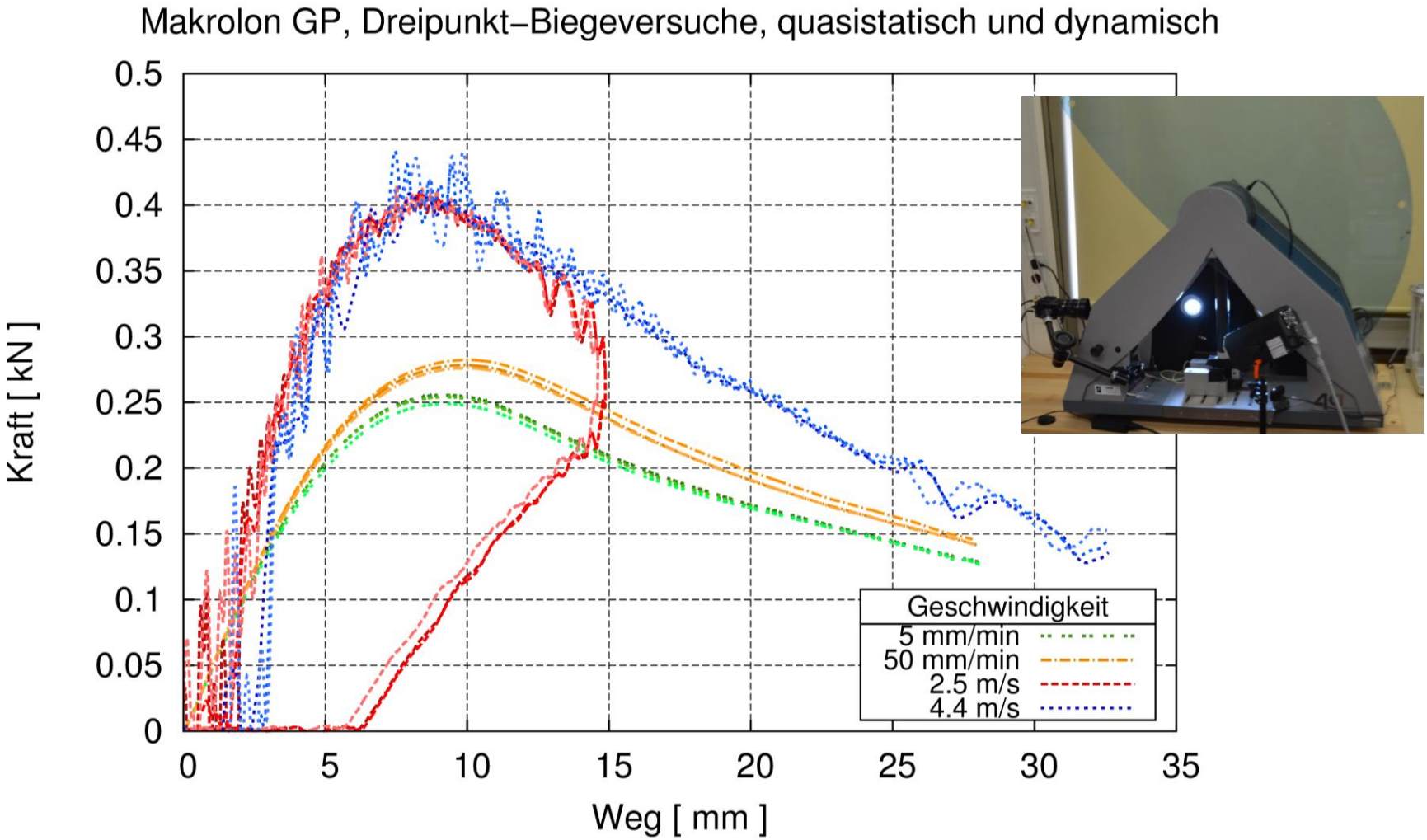


Labor-Versuche

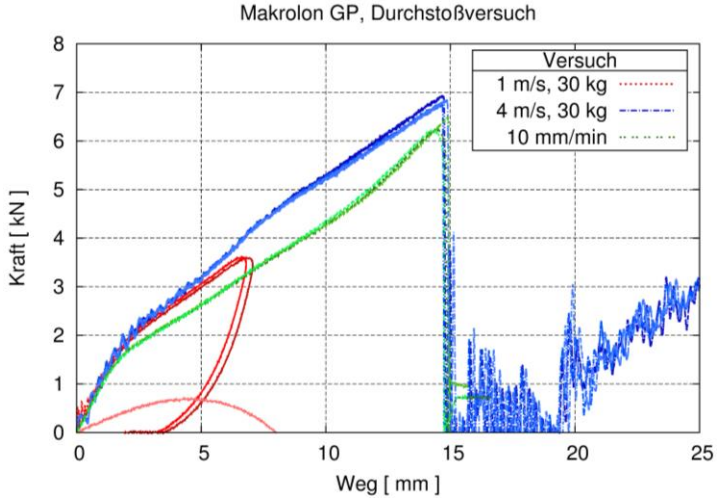
- Durchgeführte Versuche:
  - Durchstoß am Fallwerk mit 30 kg, Geschwindigkeiten 1 m/s und 4 m/s
  - 3-Punkt-Biegung am 4a Impetus, Masse 1.4 kg, Geschwindigkeit 4.4 m/s, sowie quastistatisch
- Dokumentation mit HighSpeed-Kamera

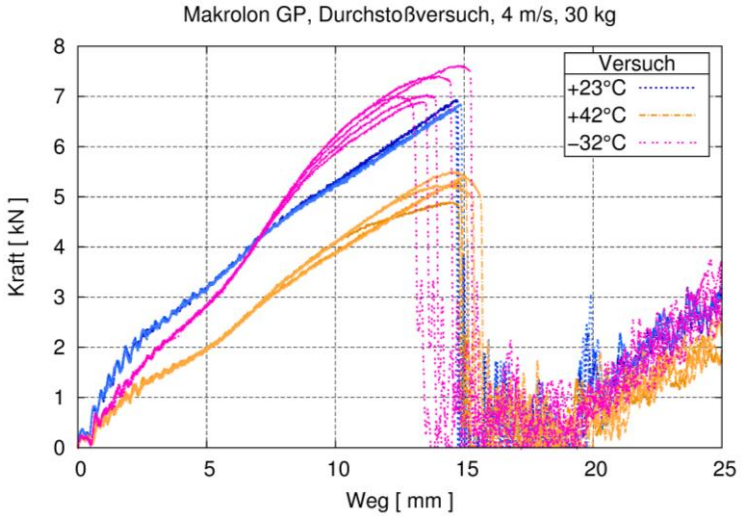


Drei-Punkt-Biegeversuche



Durchstoßversuche

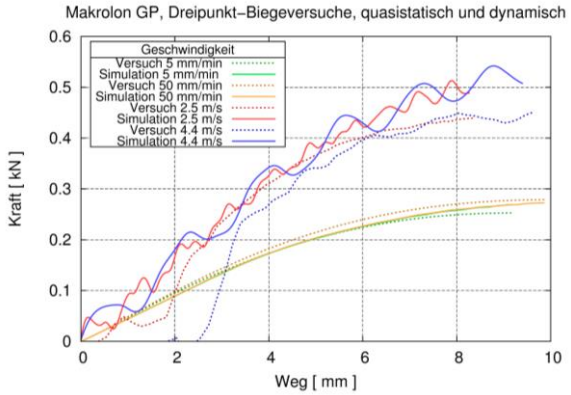


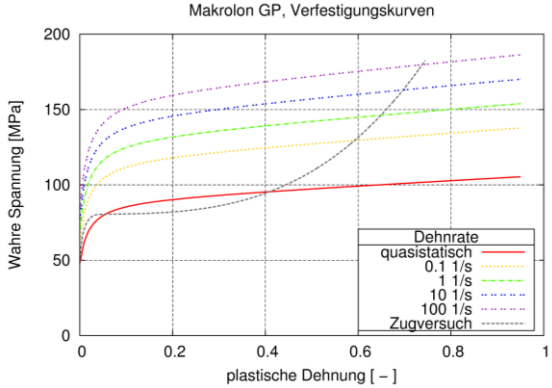


Modellierung mit von-Mises-Plastizität

IMM
Institut für Mechanik und Materialforschung

- Quasistatische und dynamische Dreipunkt-Biegeversuche:



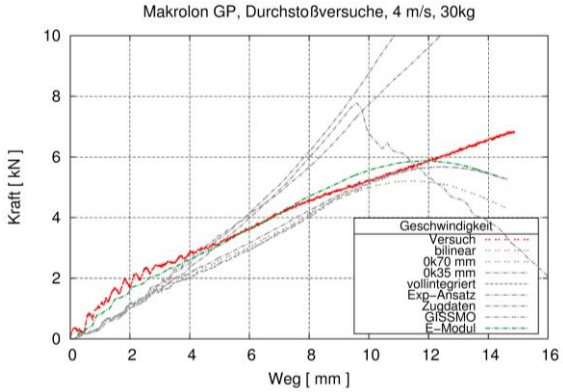


Datenblatt:
- E = 2350 MPa

3PB:
- E = 2230 MPa
- sY = 48 MPa
- sET = 850 MPa
- sh = 43 MPa
- vp = 15

Zug (DIC):
- E = 2230 MPa
- nu = 0.38

- Dynamische Durchstoßversuche



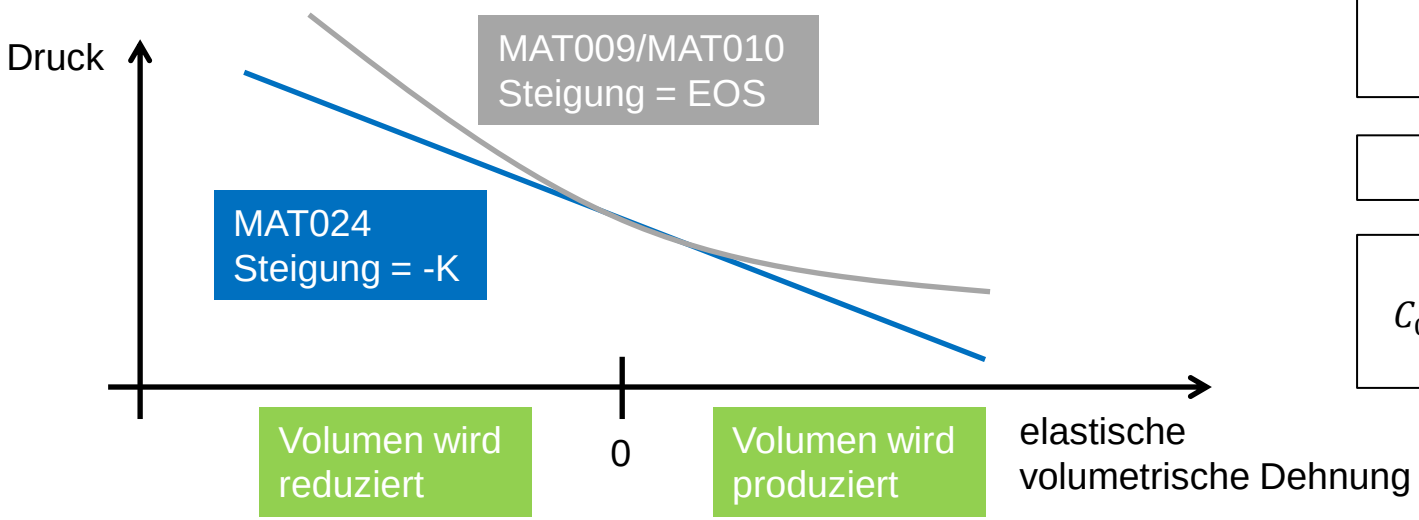
Mit quasistatischem E-Modul kann der Durchstoßversuch nicht abgebildet werden. (Visko-Elastizität?)
E = 4500 MPa

IMM Institut für Mechanik und Materialforschung

➢ Vergleich der Materialmodelle

von-Mises Plastizität (MAT024):
- Elastisch
- Visko-Plastisch
- Schädigung mit MAE/GISSMO
- p(V/V0) = f(K), lineare Druckabhängigkeit
- Gilt nur für kleine Drücke und Defos
- Keine Shockphänomene abbildbar

hydro Materialmodell (MAT009/MAT010):
- p(V/V0) = nicht-linear
- Steuerung über Zustandsgleichung (EOS)
- Auch für große Drücke gültig
- Geeignet für Shockphänomene und Überschallereignisse
- EOS-Parameter notwendig



$$K = \frac{E}{3(1-2\upsilon)}$$

$$p = -K\,\varepsilon_v$$

$$C_0 = \sqrt{\frac{K}{\rho}}\ (1\mathrm{D},\ \mathrm{EVZ})$$

Quelle: Hiermaier, 2008
Quelle: Marsh, LASL Shock Hugoniot Data, 1980

Parameter für Zustandsgleichung

IMM Institut für Mechanik und Materialforschung

- Grüneisen-EOS:

$$p(\mu) = \frac{\rho_0 C^2 \mu \left[1 + \left(1 - \frac{\gamma_0}{2}\right)\mu - \frac{a}{2}\mu^2\right]}{\left[1 - (S_1 - 1)\mu - S_2 \frac{\mu^2}{\mu + 1} - S_3 \frac{\mu^3}{(\mu + 1)^2}\right]^2} + (\gamma_0 + a\mu)E$$

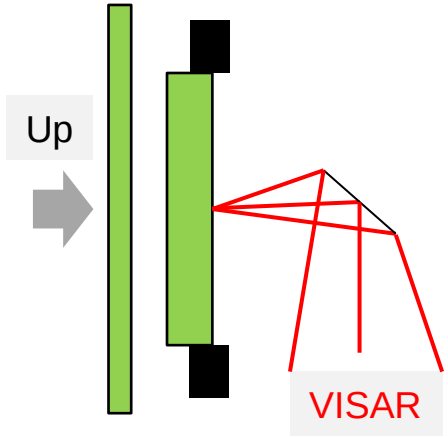
Grüneisen−Gamma: $\gamma_0 = \frac{\alpha_v K}{c_v \rho} = 0.325$

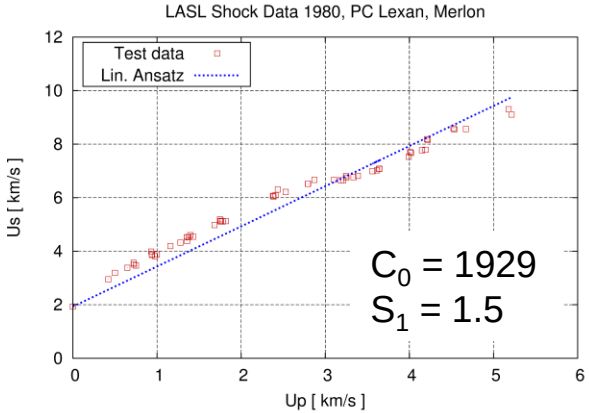
Relavites Volumen: $v_r = \frac{V}{V_0} = \frac{\rho_0}{\rho}$

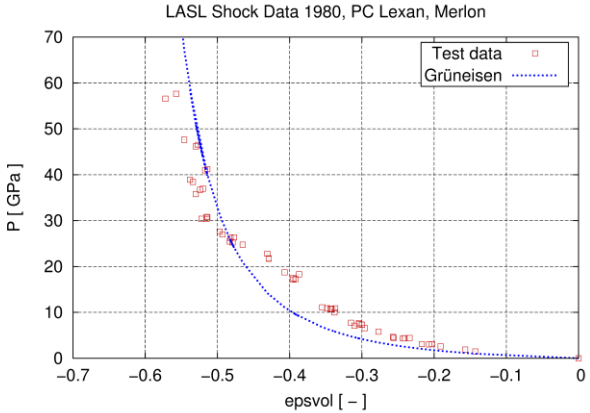
Vol. Parameter: $\mu = \frac{1}{v_r} - 1 = \frac{\rho}{\rho_0} - 1$

Vol. Dehnung: $\varepsilon_v = v_r - 1$

- Parameter aus Planar-Platten-Impakt-Test oder Literatur







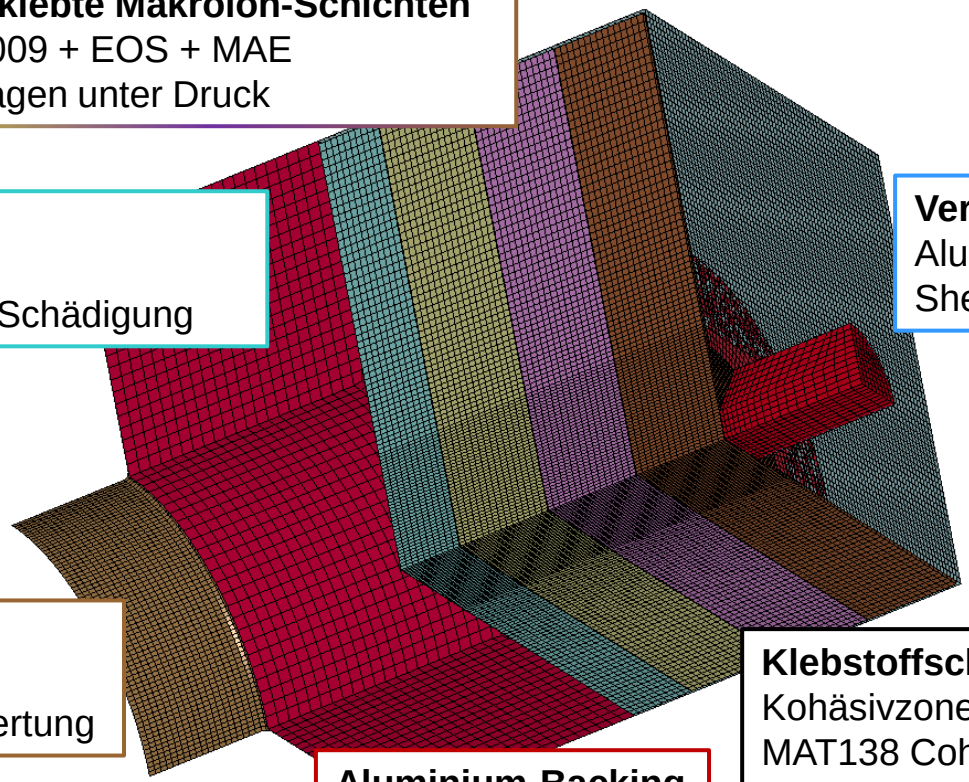
Vereinfachtes FE-Modell

IMM
Institut für Mechanik
und Materialforschung

Viertelmodell
Symmetrie
Elementkantenlänge
0.5 mm im Zentrum
1.3 mm außen

3 verklebte Makrolon-Schichten
MAT009 + EOS + MAE
Versagen unter Druck

Aluminium-Schicht
MAT010 + EOS + MAE
Versagen aufgrund von Schädigung



Verdämmung
Aluminium, MAT024
Shell

FSP, 54g
30CrNiMo8, MAT024
Solid

Kraftmessdose
Shell, Rigid, raumfest
Kontaktkraft zur Auswertung

Klebstoffschichten
Kohäsivzonenelemente etyp 19
MAT138 Cohesive Mixed Mode

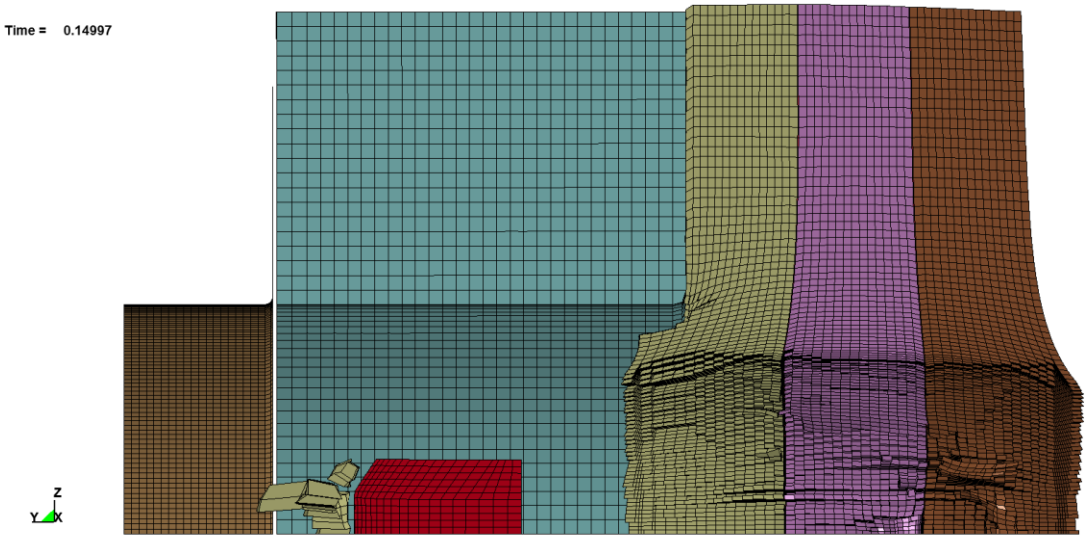
Aluminium-Backing
MAT024
wichtig für Trägheit
und Laufzeiten

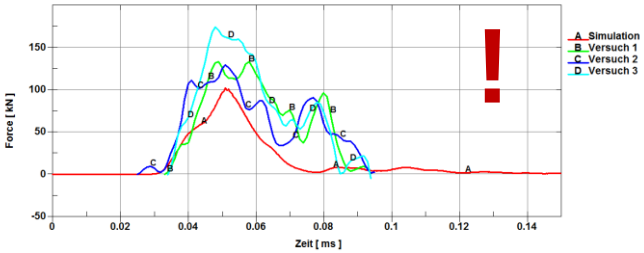
Ca. 450k Elemente/Knoten

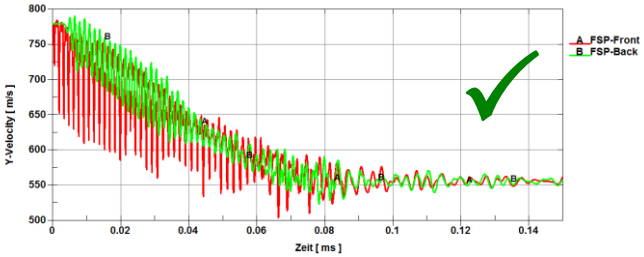
Single-Layer-Aufbau ohne Aluminium-Platte

IMM
Institut für Mechanik
und Materialforschung

- Effekte können gut abgebildet werden:
  - Kaverne bildet sich bei FSP-Durchschuss
  - Laterale Verschiebung ohne Verdämmung
  - Bilden eines Rings in der letzten Schicht





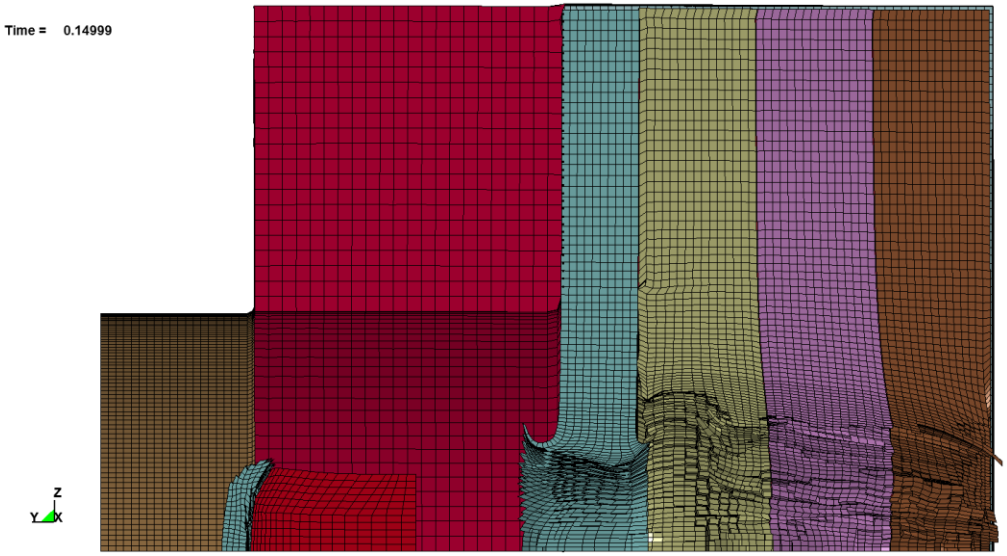


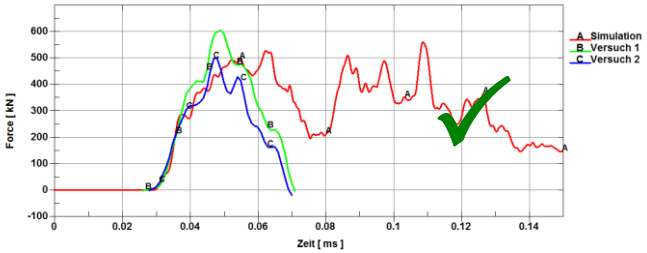
im Versuch: 550 – 570 m/s

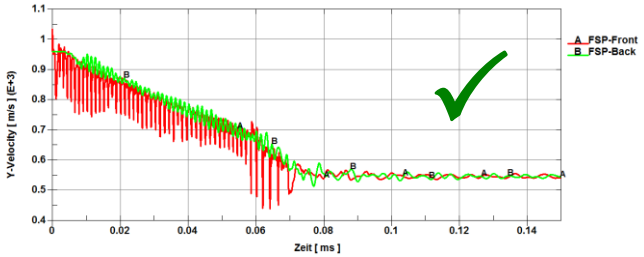
Hybrider Aufbau mit 10mm Aluminium-Backing

IMM
Institut für Mechanik und Materialforschung

- Effekte können gut abgebildet werden:
  - Kaverne bei FSP-Durchschuss
  - Geringe laterale Verschiebung aufgrund der Verdämmung
  - Herausdrücken eines Plugs aus Aluminium-Schicht





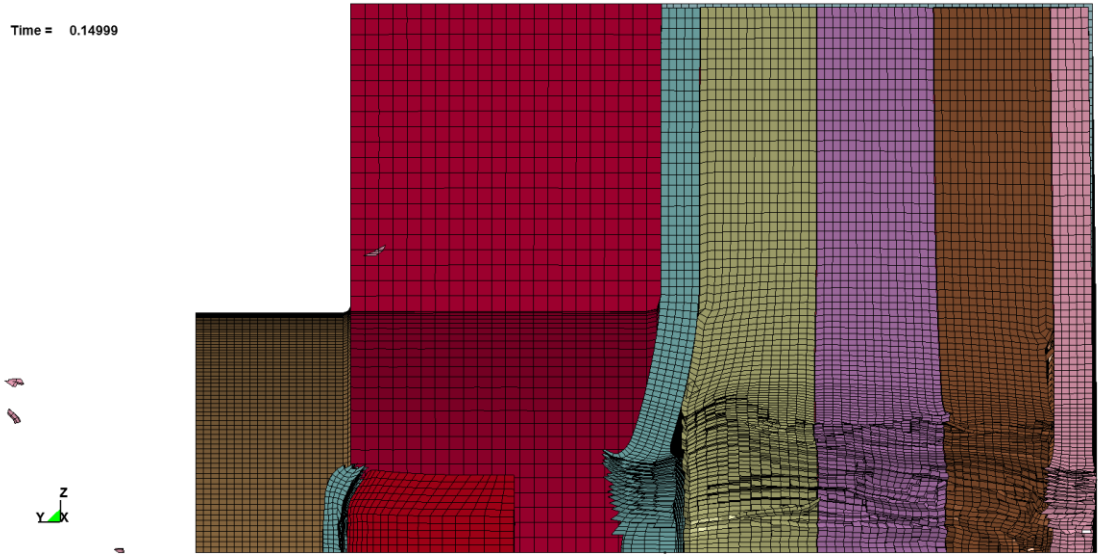


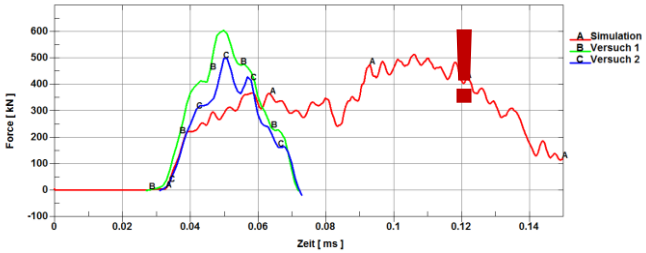
im Versuch: 580 - 590 m/s

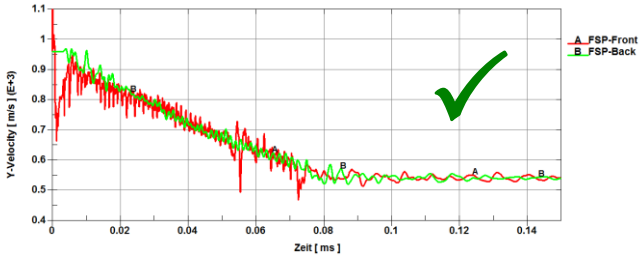
Hybrider Aufbau mit 2x 5mm-Aluminium-Backing

IMM
Institut für Mechanik
und Materialforschung

- Effekte können gut abgebildet werden:
  - Kaverne bei FSP-Durchschuss
  - Geringe laterale Verschiebung aufgrund der Verdämmung
  - Herausdrücken eines Plugs aus Aluminium-Schicht





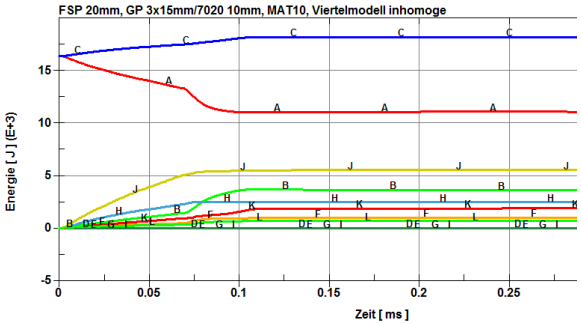


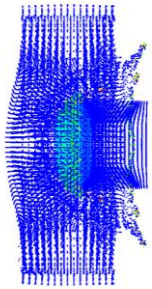
im Versuch: 580 - 590 m/s

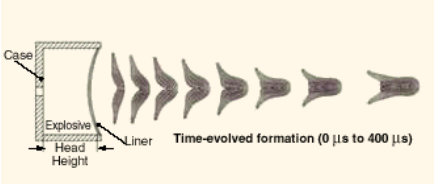
Ch. E. Anderson et. al in Computational Mechanics 15, 1994
Quelle: US Air Force - ENWP [1], Gemeinfrei

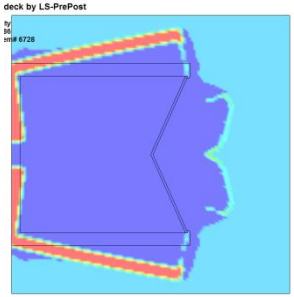
Ausblick

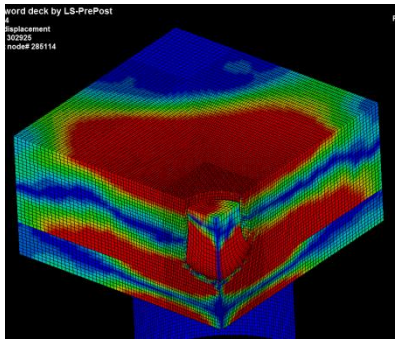
- Energiebilanz: große Anteile der im System enthaltenen Energie dissipieren durch Elementlöschen
  - Partikelmethoden
- FSP-Beschuss von HU-Zielen: Steigerung der Leistung im Steckschussszenario
- IED-EFP-Beschuss
- Modellierung von glasfaserverstärkten Duroplasten: Wie sieht die Zustandsgleichung für anisotrope Werkstoffe aus?

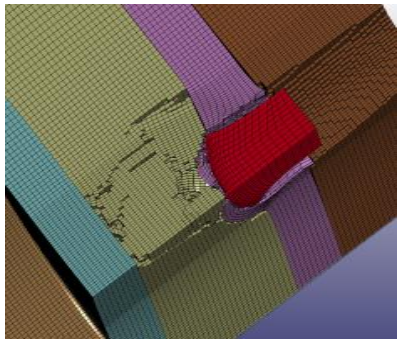












Zusammenfassung

- Die Anpassung eines Plastizitätsmodells für ballistische Belastungen ist nicht ausreichend.
- Für das Polycarbonat Makrolon GP ist ein Hydro-Materialmodell besser geeignet, welches Stoßbelastungen abbilden kann und eine Zustandsgleichung erforderlich macht.
- Die Modellierung erfolgte weitestgehend mit Datenblatt- und Literaturparametern plus einem Druck-Versagensparameter.
- FSP-Beschuss bezüglich Deformationsverhalten und Exit-Velocity im Einzel- und Mehrschichtaufbau mit guter Übereinstimmung.
- Das Kraft-Signals wird hinsichtlich erstem Anstieg und Kraftmaximum gut wiedergegeben. Dazu müssen die Trägheiten des Gesamtversuchsaufbaus berücksichtigt werden.

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

IMM
Institut für Mechanik
und Materialforschung

- Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Technologie

ZIM
Zentrales
Innovationsprogramm
Mittelstand

- Kontakt:

Technische Hochschule Mittelhessen
Fachbereich Maschinenbau und Energietechnik
Institut für Mechanik und Materialforschung
Wiesenstraße 14, 35390 Gießen
Prof. Dr.-Ing. habil. Stefan Kolling
Manuel Roth, M.Sc.
manuel.roth@me.thm.de, 0641/309-2157

THM
TECHNISCHE HOCHSCHULE MITTELHESSEN

GEKE
Schutztechnik GmbH

BAS
Bavaria Armor Solutions GmbH

RÖCHLING
Kompetenz in Kunststoff

Literatur

- M. Roth et. al: Charakterisierung von Aluminium mittels Split-Hopkinson-Pressure-Bar zur Berechnung von Beschussvorgängen, 13. LS-Dyna Forum, Bamberg, 2014
- T. Fras et. al at 10th European LS-Dyna Forum, Würzburg, 2015
- T. Fras et. al: Thick AA7020-T651 plates under ballistic impact of fragmentsimulating projectiles, IJImpEng, 86, 2015
- T. Fras et. al: Perforation of aluminum plates by fragment simulating projectiles (FSP), IJMultiphysics, 9, 2015
- Hobeika, Lokales Deformationsverhalten bei hohen Geschwindigkeiten, kunststoffe und Simulation, Filderstadt, 2007
- Marsh, LASL Shock Hugoniot Data, 1980
- Hiermeier, Structures under Crash and Impact, Springer, 2008
- Davison, Fundamentals of Shock Wave Propagation in Solids, Springer, 2008
- Carlucci, Ballistics, CRC, 2014
- Cooper, Explosives Engineering, Wiley, 1996
- Meyers, M., Dynamic Behavior of Materials, Wiley, 1994
- Ch. E. Anderson et. al in Computational Mechanics 15, 1994
- Rade Vignjevic, JApplPhy 104, 2008