



M KUNSTSTOFF
TECHNIK
LEOBEN

WERKSTOFFKUNDE UND
PRÜFUNG DER KUNSTSTOFFE



HiProtect Entwicklung eines neuartigen Leichtbau-Materialverbundes mit ballistischen und selbstheilenden Schutzeigenschaften

Ultra-leichte ballistische Schutzmodule aus Faserverbundkunststoff

Montanuniversität Leoben, Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe

carbon-solutions Hintsteiner GmbH

Bundesministerium für Landesverteidigung

Gerald Pilz, 29.04.2025

- **Hintergrund und Zielsetzung**

- Material- und Bauteil-Anforderungen
- Entwicklung effektiver Leichtbau-Schutzmodule

- **Ansatz**

- Anwendungsnahe Impact-Versuche im Prüflabor
- Werkstoff- und Bauteilentwicklung
- Evaluierung mittels realer Beschusstests

- **Ergebnisse und Ausblick**

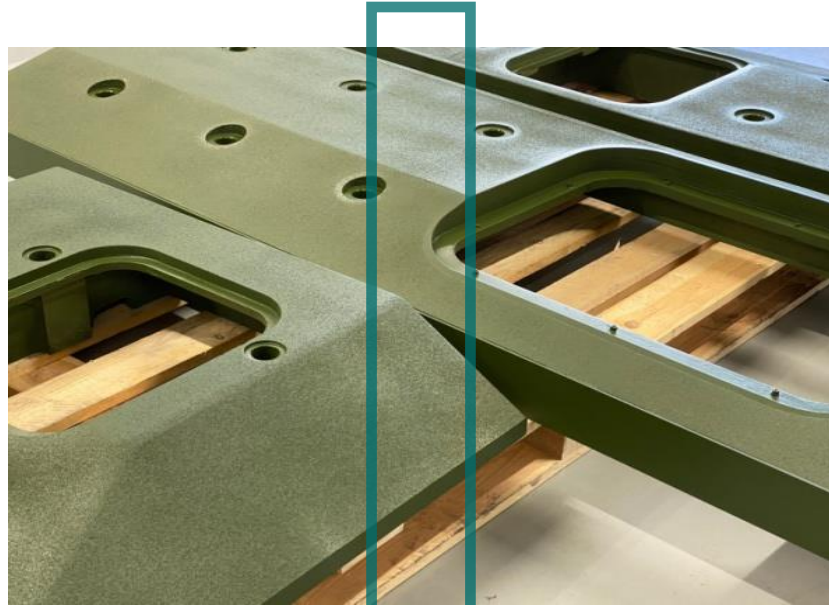
- Entwicklungsschritte zum erfolgreichen Werkstoff-/Bauteilkonzept
- Weiterführende Anwendungsmöglichkeiten

Hintergrund und Zielsetzung

Mobile Schutzkomponenten für den ballistischen Fahrzeug- und Ausrüstungsschutz erfordern:

Beschusssicherheit
(VPAM) und **Splitterschutz**
für mittlere Bedrohungsstufen

Beständigkeit
Feuchtigkeit, UV, Temperaturen
(-40 bis 70 °C)



Transportfähigkeit
Geringes Bauteilgewicht
Einfaches Handling

Funktionalität
Flexibles, modulares
Aufbauprinzip

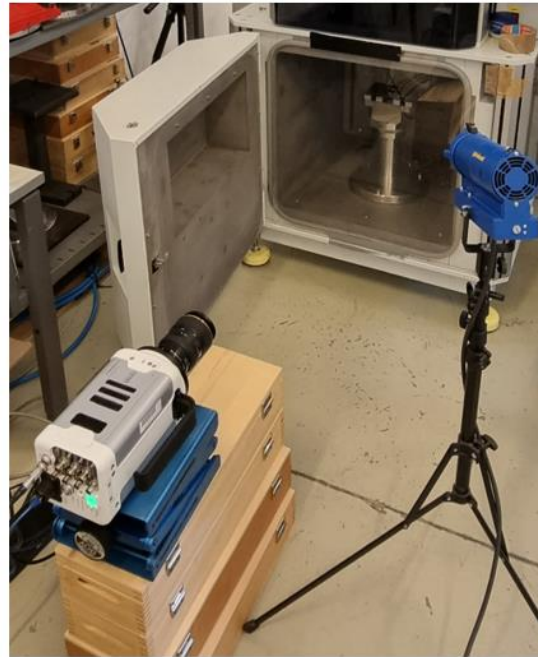
hoch-schlagzähe Faserverbund-Kunststoffe
+ werkstoffgerechtes Bauteilkonzept

Anwendungsnahe Werkstoff- und Bauteilprüfung

Prüfaufbau orientiert an realen Beanspruchungsbedingungen

=> Instrumentierter Fallturm

- Projektil-ähnlicher Fallkörper: 7,6 mm
- Impactbeanspruchung bis 1600 J und 22 m/s
- Kraft- und Verformungsmessung im ms-Bereich
- Dokumentation mittels Hochgeschwindigkeitskamera (20.000 fps)



High Speed Cam, ausgerichtet auf den Fallturm



Stoßkörper



Prüfaufbau am Fallturm

Anwendungsnahe Werkstoff- und Bauteilprüfung

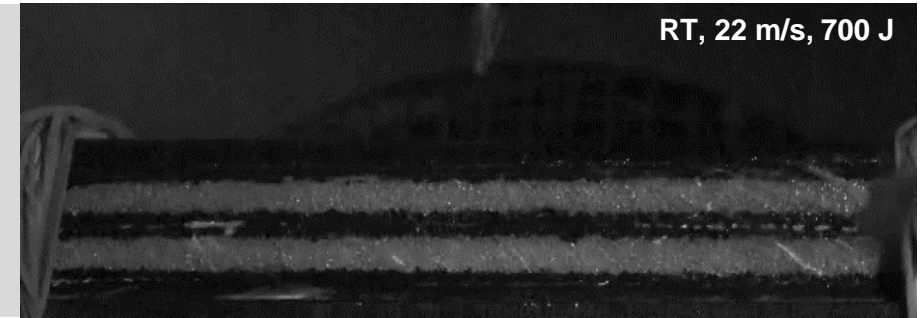
Impact-Versuche im Prüflabor

Dokumentation des
Verformungsverhaltens mittels
Hochgeschwindigkeitskamera

- => Rückschlüsse auf die
Versagensmechanismen
- => Erstellung entsprechender Struktur-
Eigenschaftskorrelationen
- => Grundlage für die weiterführende
Werkstoffentwicklung

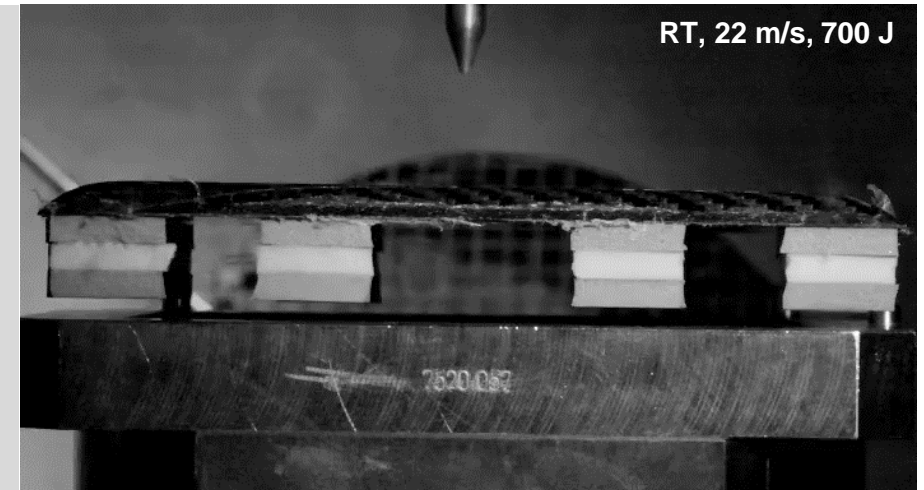
CFK-Laminat mit
Schaumstoffzwischen-
lagen

=> Geringe
Energieaufnahme,
zu steif



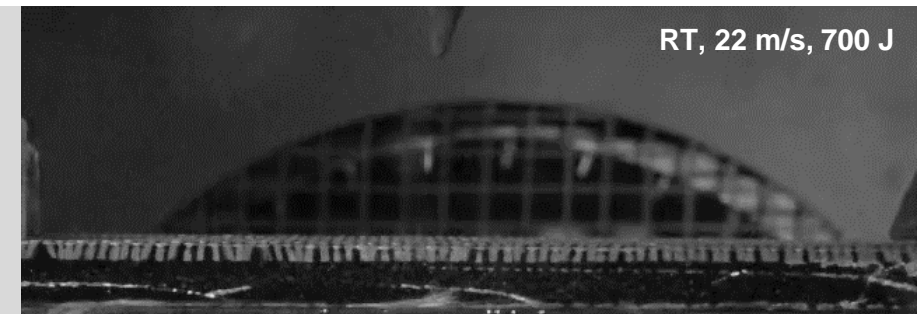
CFK-Laminat, mit
Schaumstoffdämpfung

=> Verbesserte
Energieaufnahme
aber sprödes
Durchschlagverhalten



AFK-Laminat mit
Elastomereinbettung

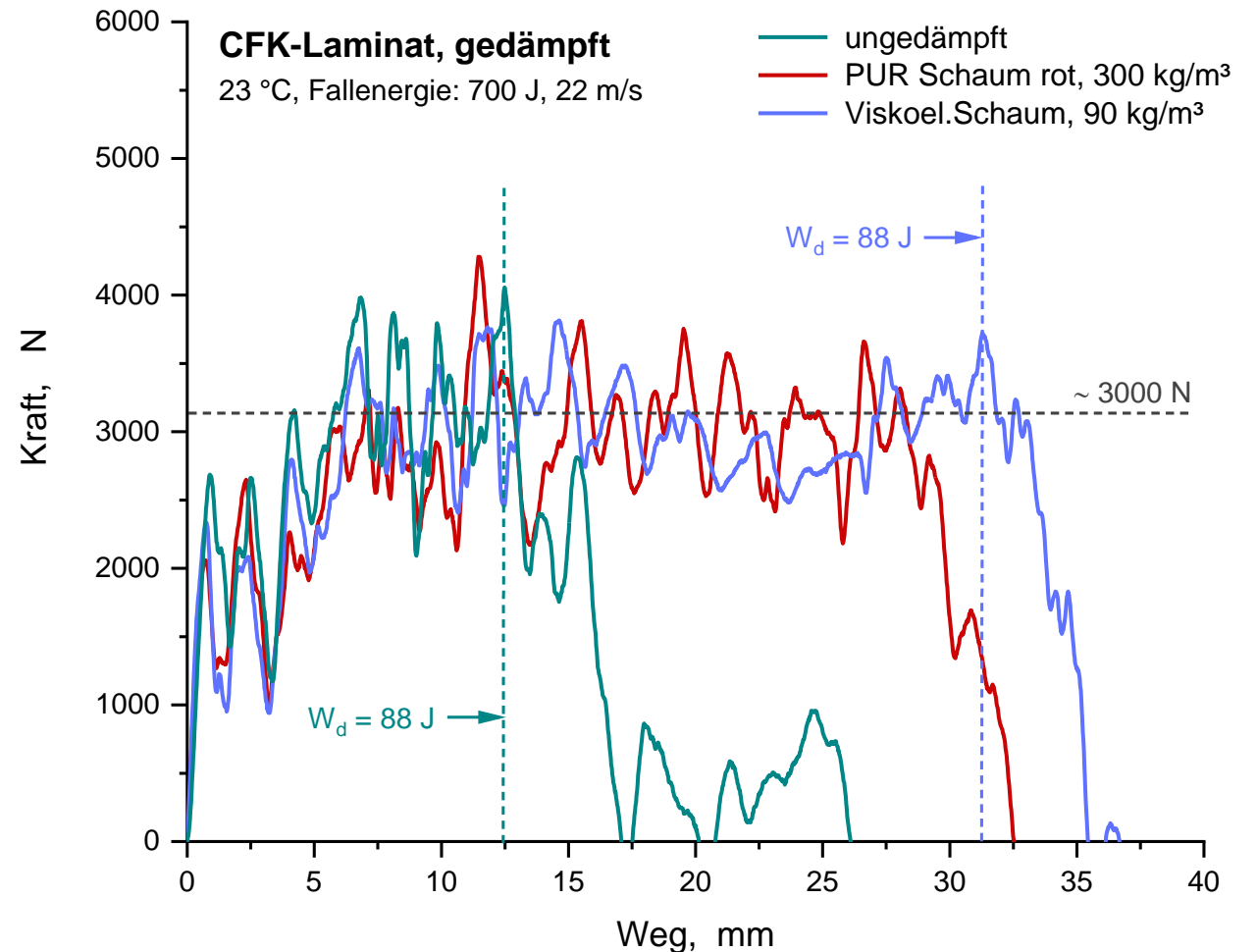
=> Hohe
Energieaufnahme,
kein Durchschlag



Anwendungsnahe Werkstoff- und Bauteilprüfung

Impact-Versuche im Prüflabor

- Präzise Datenaufnahme mit Kraft- und Wegmessung im Millisekundenbereich
- Auswertung der absorbierten Schlagenergie W_d als Maß für die Schlagzähigkeit
- Kriterium für weitere Werkstoffentwicklung



Kraft-Verformungsdiagramm für Impactversuche an verschiedenen Faserverbundlaminate mit unterschiedlicher Schaumstoffdämpfung

Werkstoff- und Bauteilentwicklung

Verbundwerkstoffentwicklung

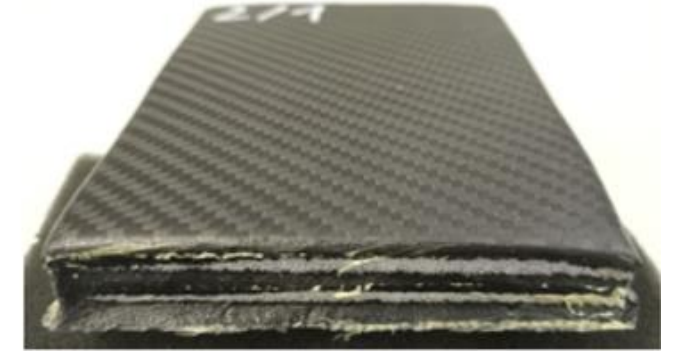
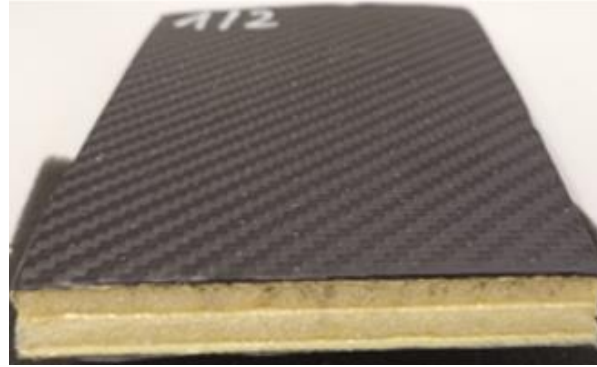
Systematische Variation der Einsatzstoffe und Aufbauprinzipien:

=> **Variation der Verstärkungsmaterialien:**

Endlosfasern aus Kohlenstoff (CF),
Aramid (AF), Polyethylen (UHMWPE)

=> **Variation der Matrixmaterialien:**

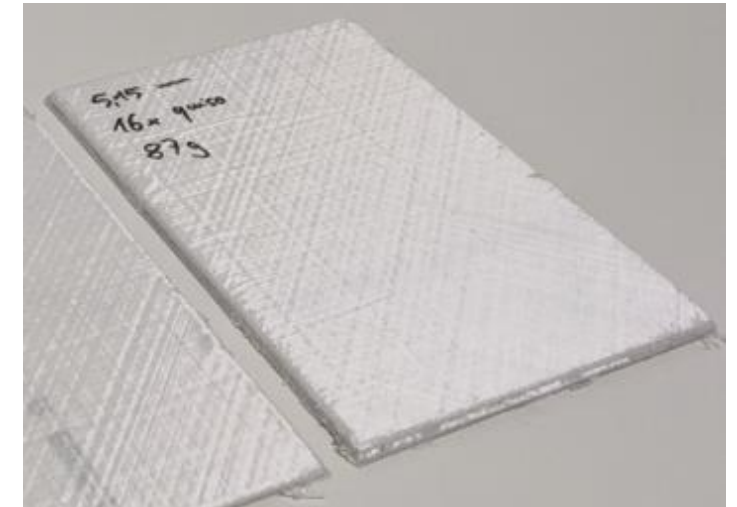
Epoxidharz (EP), Elastomer (EPDM)
Polyamid (PA),
Polyurethanschaumstoff (PUR)



Mehrschichtlaminat mit CF-Decklagen und AF-Zwischenlagen,
mit Schaumstoff (links) und Elastomermatrix (rechts)



Mehrschichtlaminat mit Elastomer-
Einbettung und Randanbindung



Mehrschichtlaminat aus ultrahoch-
molekularen Polyethylenfasern (UHMWPE)

Werkstoff- und Bauteilentwicklung

Bauteilkonzepte

Aufgabenstellung:

=> Entwicklung eines geeigneten Anbindungskonzeptes für den zentralen Verstärkungsbereich an die Trägerkonstruktion

Trägerkonstruktion

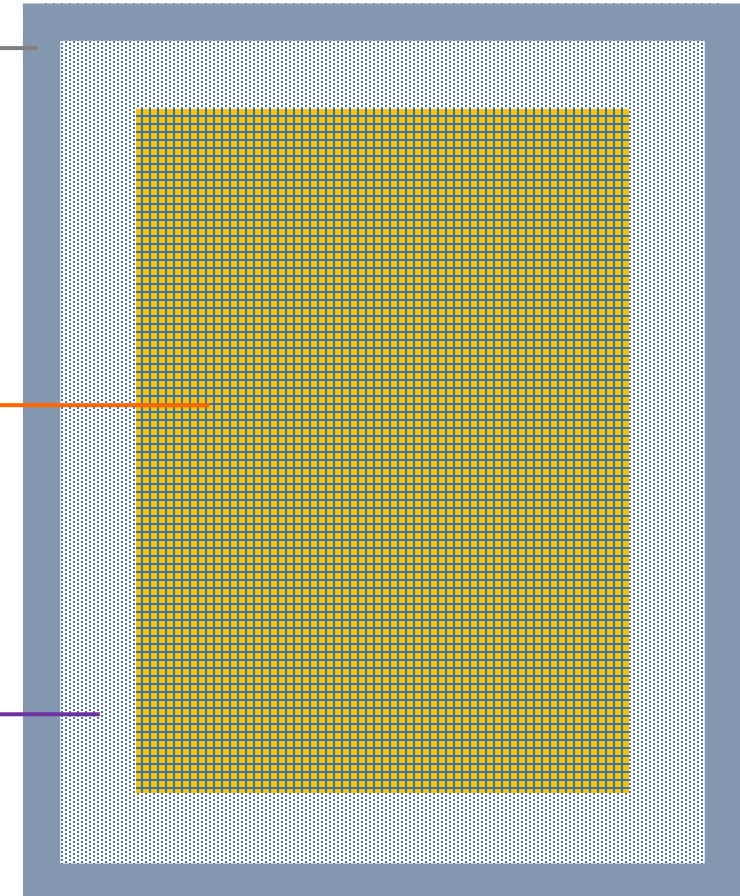
Aufspannung,
Tragfähigkeit,
Fügemöglichkeit

Verstärkungsbereich

Durchschusswiderstand,
Energieaufnahme-/Verteilung

Anbindung

Befestigung der
Verstärkungsplatte,
Energieaufnahme



Bauteilaufbau - schematisch

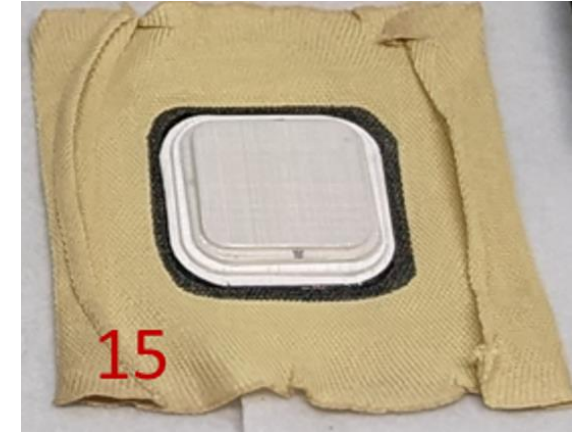
Werkstoff- und Bauteilentwicklung

Bauteilkonzepte

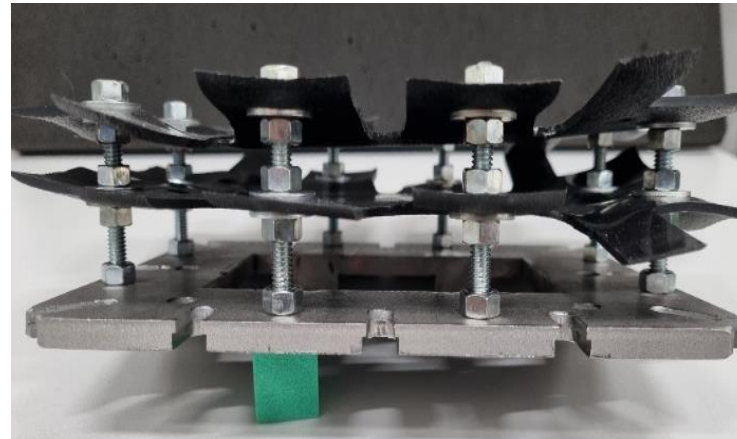
Verschiedene
Entwicklungsstufen



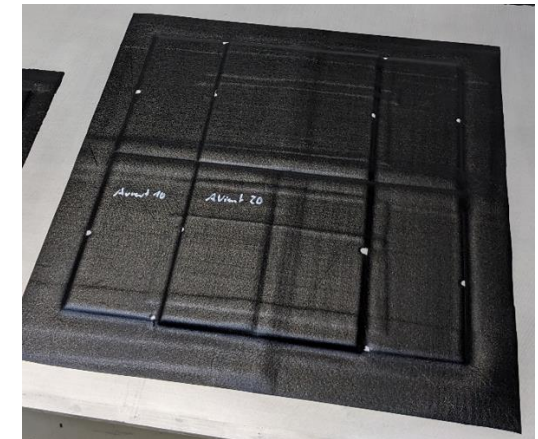
Elastomer-Anbindung mit
umlaufender Sicke



Anbindung mit gestricktem
Netz aus Polyamid (PA)



Mehrfachlagen mit punktueller
Elastomer-Anbindung



Kachelartige Anordnung der Verstärkungs-
platten mit Elastomereinbettung

Beschusstests

Schießkanal, Amt für Rüstung und Wehrtechnik (ARWT), Felixdorf

=> Prüfung des Durchschusswiderstandes an Demonstrator-Bauteilen

=> ballistischer Standard VPAM2 Kaliber 9 mm, 8 g mit variablen Energien ab 520 J

=> Dokumentation des Prüfablaufes: Lichtschranken, Hochgeschwindigkeitskameras



HS-Kamera hinter Panzerglas



Gesamtübersicht der Prüfanordnung mit Lichtschranken



Abschussposition

Beschusstests

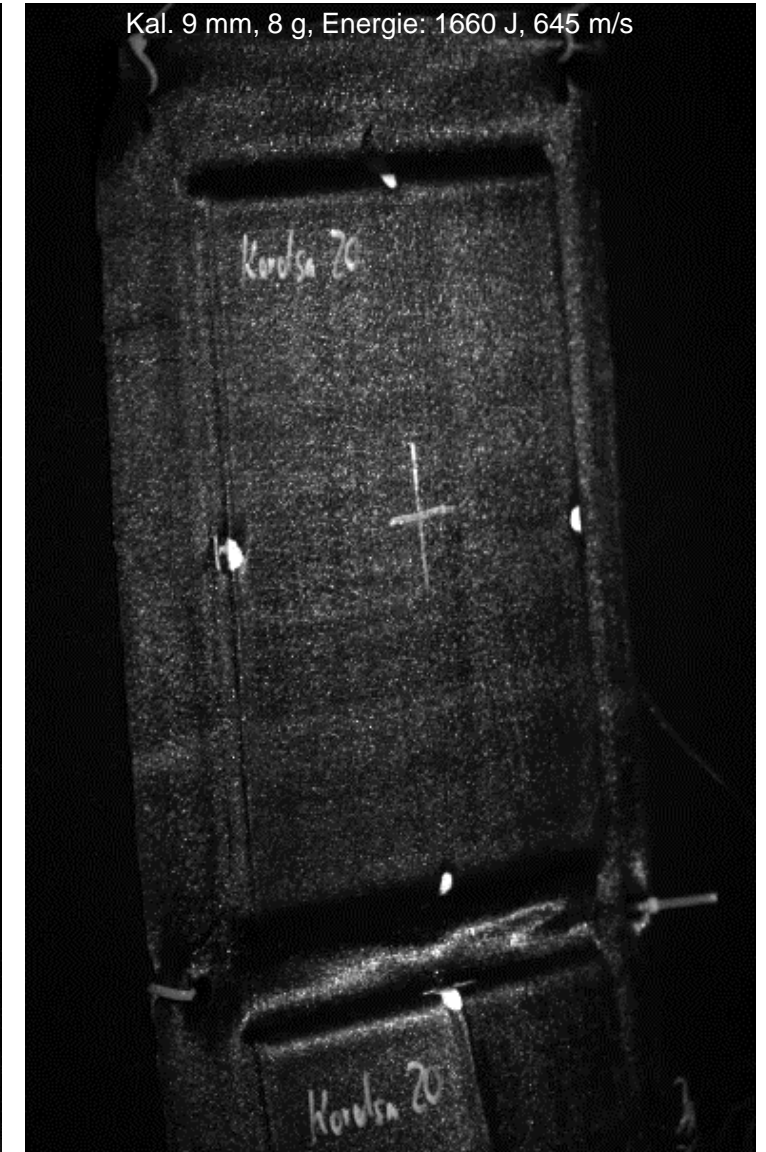
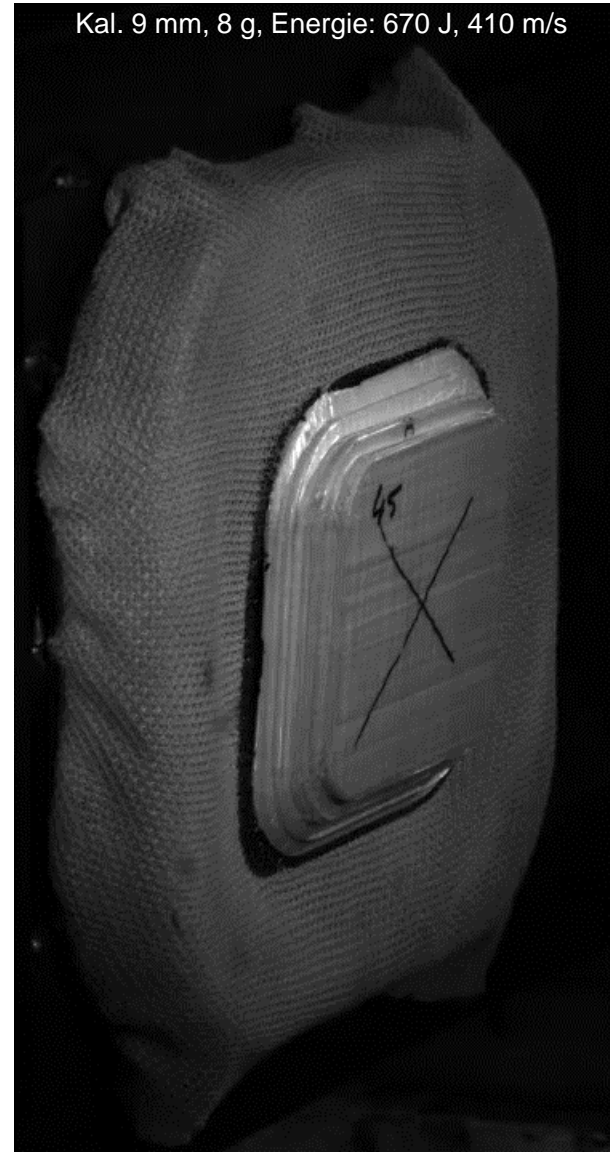
Evaluierung des optimierten Bauteilkonzeptes

UHMWPE-Verstärkungsplatte mit PA-Gestricknetzanbindung (links)

=> Hohes Energieaufnahmevermögen ohne Durchschuss durch die hohe Schlagzähigkeit der Verstärkungsplatte aus UHMWPE und Nachgiebigkeit der Netzaufhängung

Zusätzliche Einbettung zwischen Elastomerdeckschichten (rechts)

=> Zusätzliche Schutzfunktion der Elastomerkomponente durch Kontraktion der Einschussöffnung und Verringerung der Gesamtverformung: „Selbsteheilungseffekt“



Ergebnisse und Ausblick

Finales Bauteilkonzept

**UHMWPE-Verstärkungsplatten
+ PA-Gestricknetzanbindung
+ CFK-Trägerkonstruktion („Spinne“)**

Wesentliche Merkmale:

- Geringes Gesamtgewicht durch Verwendung polymerer Leichtbaumaterialien: Modulgewicht < 3 kg / (1000 x 600 mm)
- Hohe ballistische Schutzwirkung, Durchschusssicherheit bis zumindest 645 m/s bzw. 1662 J (in etwa bis VPAM Prüfstufe 5 oder höher)
- Selbstheilungseffekt durch elastomere Zwischenlagen mit Rückverformung, Stabilisierung und Schutz bei Mehrfachbeschuss
- Praktikable Handhabung: Stapelbare Komponenten, durch eine Person einfach aufzuspannen
- Modulares Bauprinzip zur Errichtung übergeordneter Schutzstrukturen

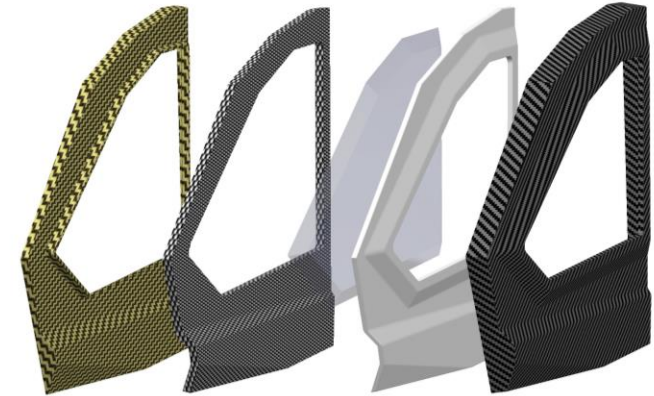


Flexibel aufbaubare Schutzstrukturen:
Rückansicht mit Trägerkonstruktion (oben),
verschiedene Aufbauvarianten (unten)

Ergebnisse und Ausblick

Anwendungsmöglichkeiten:

Modulares, nachrüstbares Schutzkonzept für mobile Arbeitsmaschinen



Der Schichtaufbau auf Basis der Projektergebnisse ermöglicht einen extrem leichten Addon-Schutz bis Level 2.

- Änderungen am Chassis sind auf Grund des geringen Zusatzgewichtes nicht notwendig.
- Das Handling der einzelnen Module ist einfach, sie können im Feld angebracht oder getauscht werden.

Danksagung

Mein besonderer Dank geht an alle Beteiligten am Lehrstuhl für Werkstoffkunde und Prüfung der Kunststoffe, insbesondere:

Dipl.-Ing. Daniel Zach (PhD student)

Dipl.-Ing. Maria Gfrerrer (PhD student)

Christian Kröpfl (Bachelorstudent)

Jürgen Grosser (Messtechnik)

sowie an die Projektpartner

Dr. Jochen Schmidt, Hintsteiner carbon-solutions GmbH

Dr. Ernst Klaps, Österreichisches Bundesheer

und an das gesamte Team des Amts für Rüstung und Wehrtechnik (ARWT), Felixdorf



Diese Arbeit wurde dankenswerter Weise von der Österreichischen Forschungsförderungsgesellschaft (FFG) im Rahmen des österreichischen Verteidigungsforschungsprogramms FORTE unterstützt.