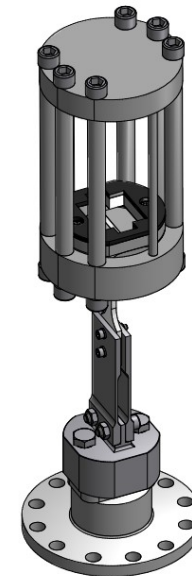


Hochgeschwindigkeitszugversuch - Anwendungen und Besonderheiten

K. Treutler

Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren (ISAF)
Clausthaler Zentrum für Materialtechnik (CZM)

Technische Universität Clausthal



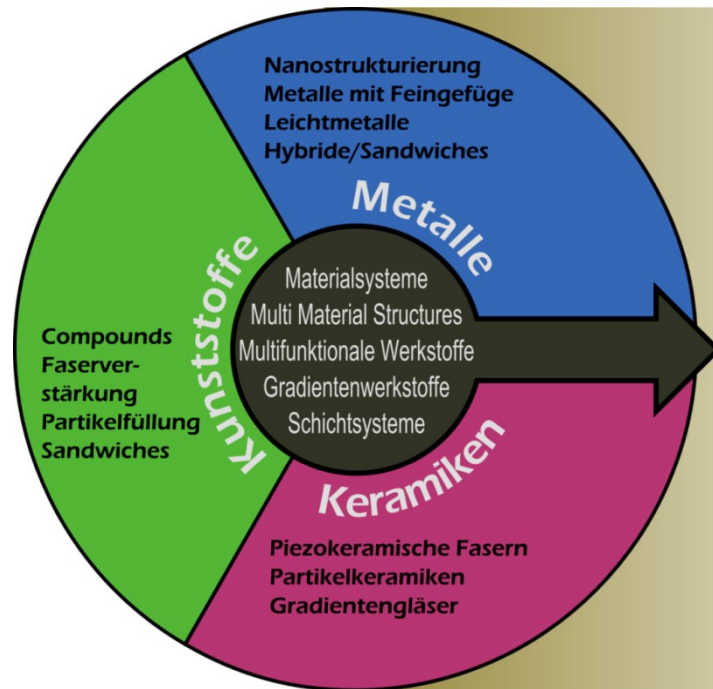


Eckdaten des Clausthaler Zentrums für Materialtechnik



- Formale Zentrumsgründung: 2006
- Forschungsinfrastruktur
 - Einweihung Forschungsbau: Dez. 2013
(Hauptnutzfläche: 1600 m²)
 - Kosten Forschungsneubau: 13,6 Mio. EUR
- Mitarbeiter: 33
- Grundfinanzierung 2017: 630.000 EUR
- Drittmittel: aktuell 30 Projekte mit einem Gesamtvolumen von ~ 7,15 Mio. EUR
→ 2,1 Mio. EUR in 2017

Multifunktionale Werkstoffsysteme als Leitbild



Lösungsmatrix:

- Realisierung von Strukturanforderungen
- Implementierung von Funktionalitäten durch Materialsysteme
- Integration von Sensorik / Aktorik (aktive Strukturen)
- Koppelmechanismen für Strukturkonzepte (Stoff-, Form-, Kraftschluss)
- Neue Schichtsysteme für erhöhte Beanspruchung

Ziele

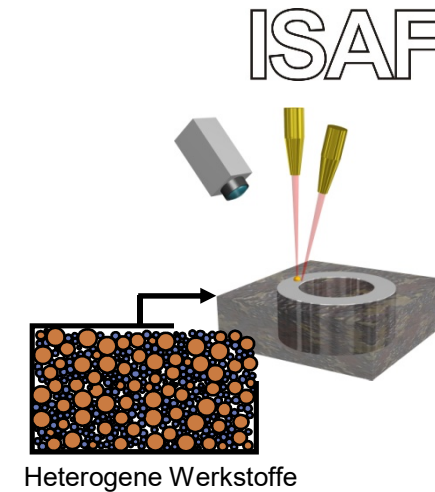
- Anwendungsorientierte Grundlagenforschung zur Material- und Werkstoffentwicklung
- Transformation der Werkstoffe und Materialien in Bauteile (z. B. durch Umform-, Füge-, Beschichtungsprozesse, etc.)
- Entwicklung bzw. Verbesserung von Prozessen bzw. Prozessketten zur Herstellung von Strukturen aus Einzelkomponenten



Die Arbeitskreise des CZM

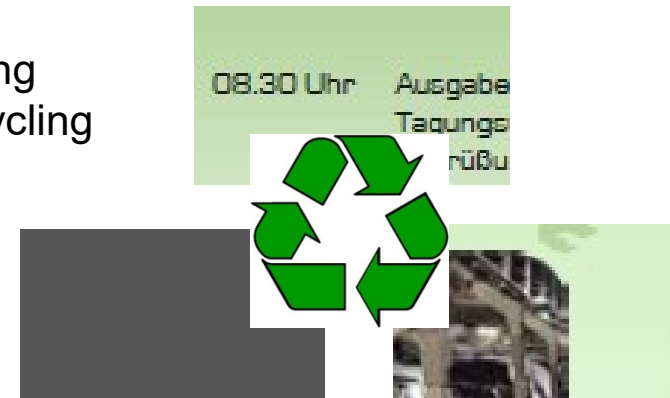
■ AK1: Herstellung von Materialkombinationen für adaptive Anwendungen mittels Methoden der Pulvermetallurgie

- Werkstoff- und Pulverentwicklung
- Oberflächengüte, Abriebverhalten, Porositätseinstellung
- Übergangsschichten



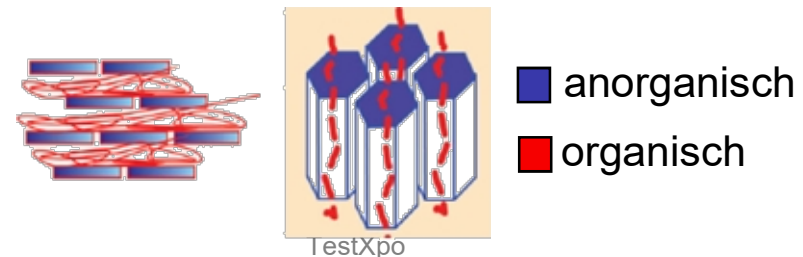
■ AK2: Ressourceneffizienz

- Mechanische Konditionierung zur Einstellung definierter Eigenschaften für das Metallrecycling
- Entgiftung von Metallrecyclingkreisläufen
- Trennverfahren von Composites als Grundlage für Kreislaufaufschließungen
- Prognosemodelle für stoffliches Alterungsverhalten



■ AK3: Anorganisch-organische Hybridmaterialien, Maßgeschneiderte Polymersysteme

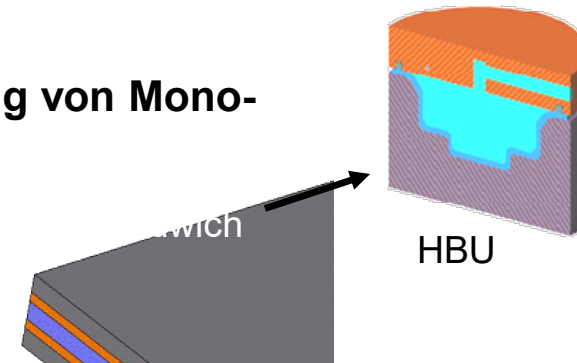
- Mikroheterogene Polymerkomposite
- Ultraschall-Emulsionspolymerisation
- Reaktive Nanopartikel



Die Arbeitskreise des CZM

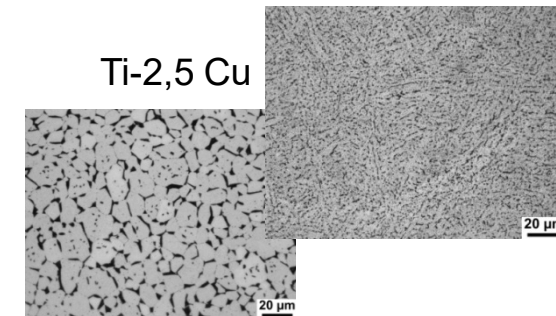
- **AK4: Umformtechnik – Verhalten und Verarbeitung von Mono- und Hybridsystemen**

- Band-, Blech-, Draht- und Rohrherstellung
- Umformprozesse und Prozessketten
- Umformtechnik für Werkstoffkombinationen



- **AK5: Materialsysteme mit Leichtmetallwerkstoffen**

- Legierungen mit verbesserten Eigenschaften
- Feinkörnigkeit und Nanostrukturierung
- Hybridstrukturen



- **AK6: Lebensdauerabschätzung von Multimaterialsystemen**

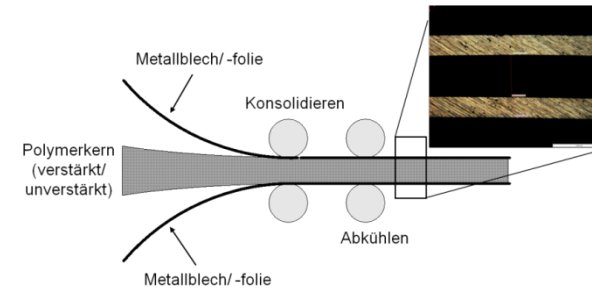
- Geometrieoptimierung von Bauteilen
- Betriebsfestigkeit
- Beanspruchungsreduzierung



Die Arbeitskreise des CZM

- AK7: Herstellungs- und Verarbeitungsprozesse für polymere Faserverbunde**

- Schichtförmig eingearbeitete Strukturelemente
- Eigenschaftseinstellung durch Faser- und Füllstoffkombinationen
- Optimierte Faseroberfläche



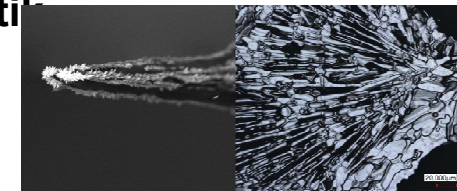
- AK8: Werkstoff- und Funktionsoptimierung durch Prozessfolgen**

- Prozessfolgen für Multi Material Structures
- Korrosions-, Oxidations- und Verschleißschutzschichten
- Virtuelle Prozessketten



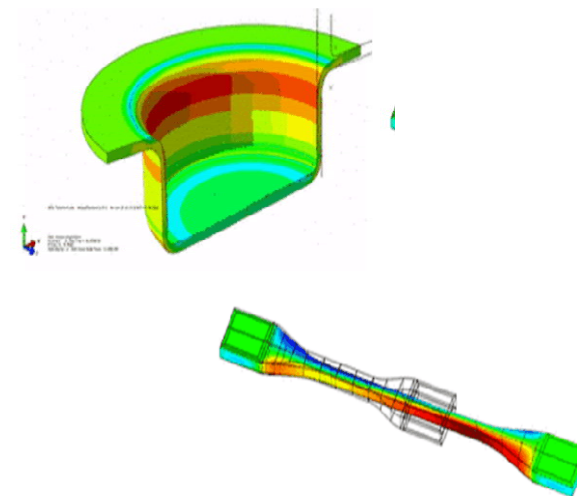
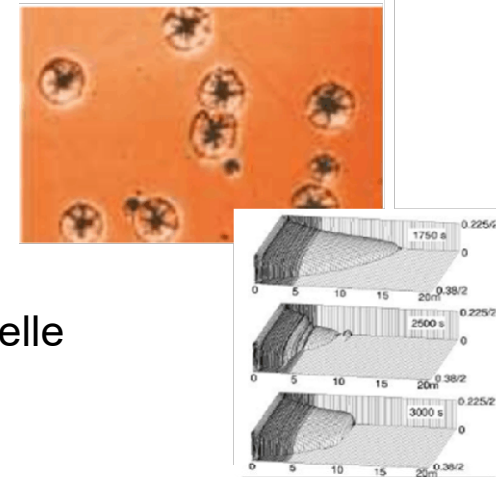
- AK9: Oberflächenfunktionalisierung und Oberflächenanalytik**

- Oberflächenreaktionen, Korrosion
- Plasma-Modifikation von Oberflächen



Die Arbeitskreise des CZM

- **AK10: Hochtemperaturprozesse**
 - Kinetische Prozesse und Diffusion in Festkörpern
 - Energieeinsparung, CO₂-Emissionsvermeidung
 - Senkung der CO₂-Last von mineralischen Baustoffen
 - Entwicklung einer Brennstoffdatenbank für konventionelle und Oxyfuel-Feuerungssysteme
- **Übergeordneter Arbeitskreis:
Modellbildung, Identifikation und Simulation**
 - Entwicklung von Materialmodellen
 - Modellgleichungen der Elastizität, Plastizität, Viskoelastizität
 - Materialparameteridentifikation
 - Implementierung der Modellgleichungen in kommerzielle Finite-Elemente Programme

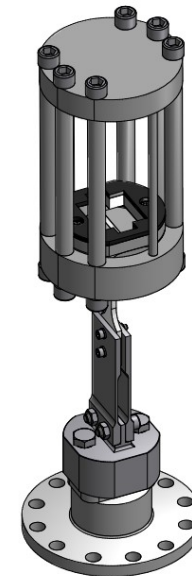


Hochgeschwindigkeitszugversuch - Anwendungen und Besonderheiten

K. Treutler

Institut für Schweißtechnik und Trennende Fertigungsverfahren (ISAF)
Clausthaler Zentrum für Materialtechnik (CZM)

Technische Universität Clausthal



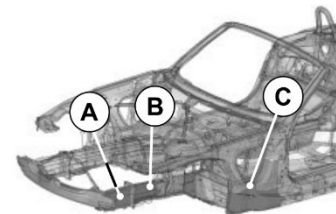
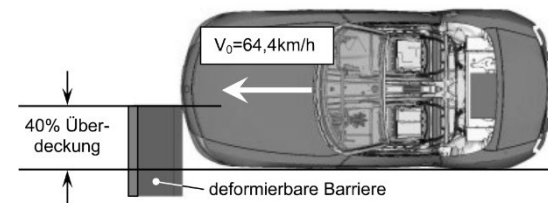
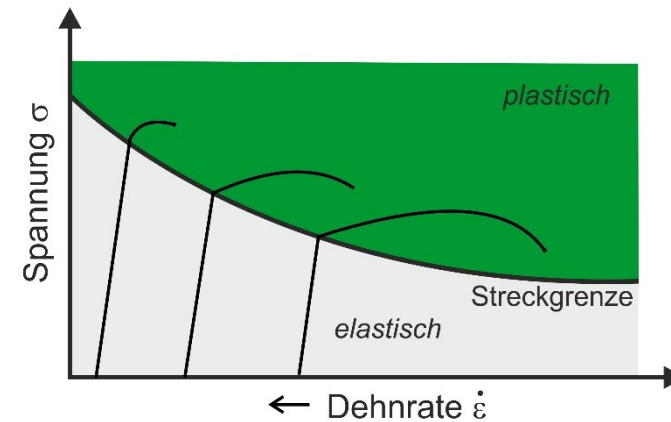
Motivation für Hochgeschwindigkeitsprüfungen

**Ermittlung des
Werkstoffverhaltens
bei hohen Dehnraten**

- Dehnratenabhängigkeit vieler Werkstoffe
 - Streckgrenze nimmt zu
 - Duktilität wird geringer

- numerische Simulation crashartiger Belastungen
 - Dehnraten bis 500 s^{-1}
 - Reduzierung von Entwicklungszeiten

- Anwendungsgebiete:
 - Bauwesen (Presslufthammerschlag)
 - Automobilbau (Crash)
 - Ballistik (Geschosseindringung)
 - Fertigungstechnik (Zerspanung)
 - Raumfahrt (Meteoriteneinschlag)



Position	$\dot{\epsilon}_{\max}$ [1/s]
A	200
B	100
C	70

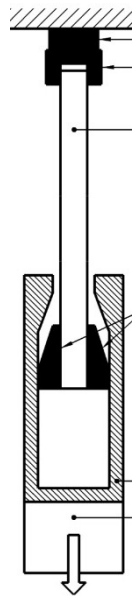
Quellen: (1, 2)

TestXpo

Hochgeschwindigkeitsprüfungen

- servohydraulische Antriebe mit Vorlaufstrecke (Schnellzerreiprfmaschinen)

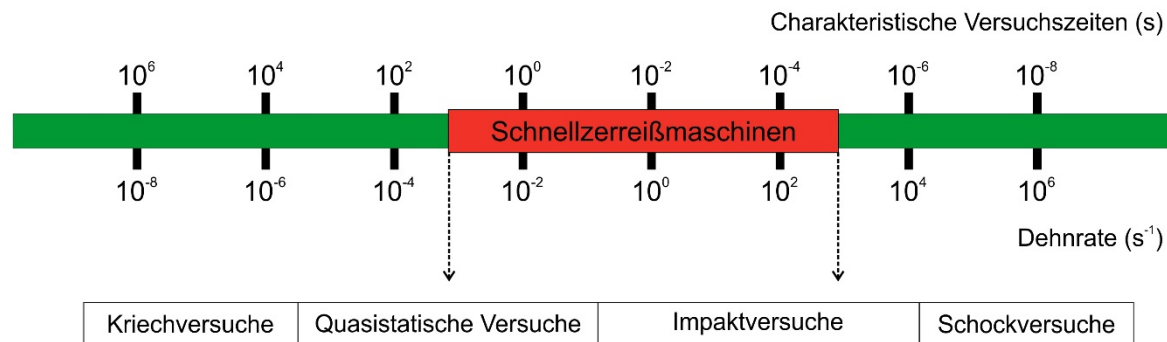
$$\text{Dehnrate } \dot{\epsilon} \text{ (1/s)} = \frac{\text{Geschwindigkeit } v \text{ (m/s)}}{\text{parallele Probenlnge (m)}}$$



Legende:

- 1 Kraftmessdose
- 2 feste Einspannung
- 3 Probe
- 4 Klemmkeile
- 5 Vorspanneinrichtung
- 6 Vorlaufadapter
- 7 Kolbenstange

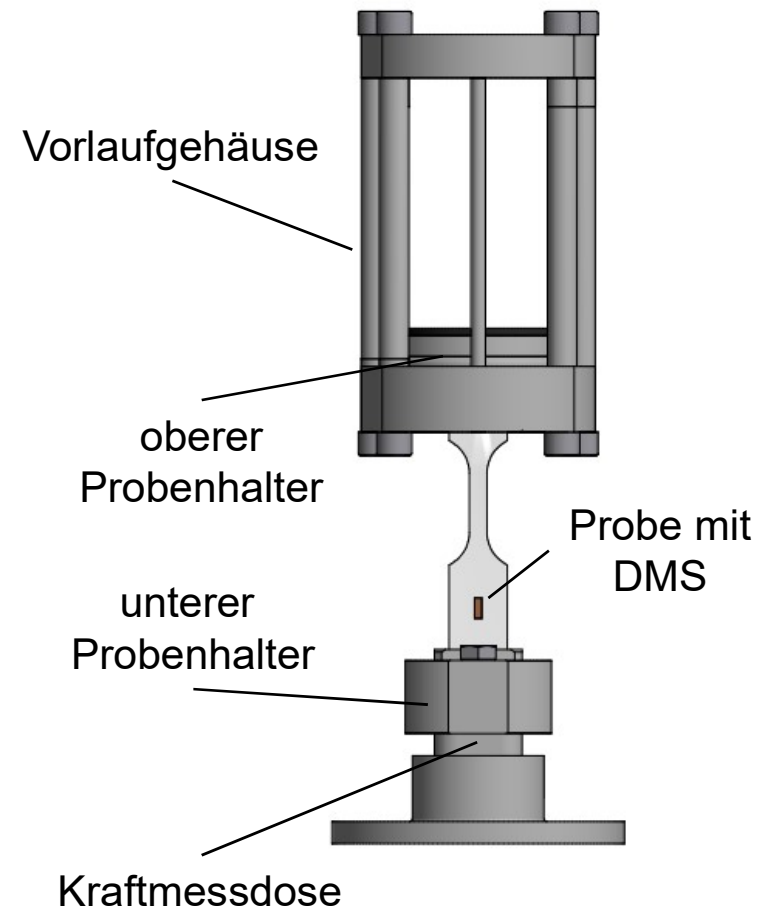
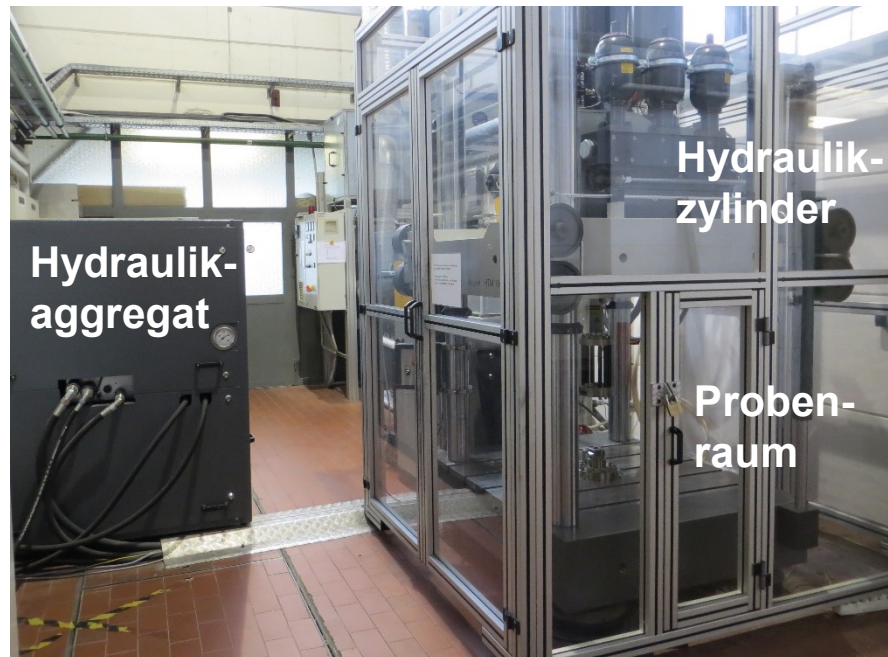
Schnellzerreiprfmaschinen sind die einzigen Prfeinrichtungen, mit denen Aussagen ber das Spannungs-Dehnungs-Verhalten getroffen werden knnen.



Quelle: (3)

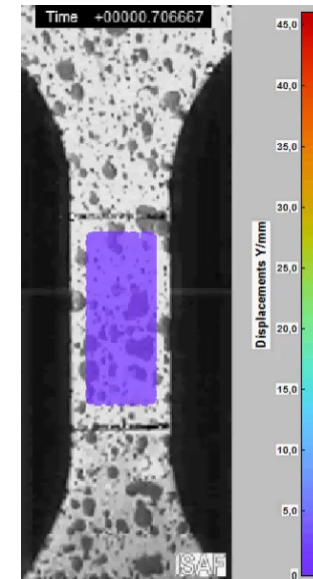
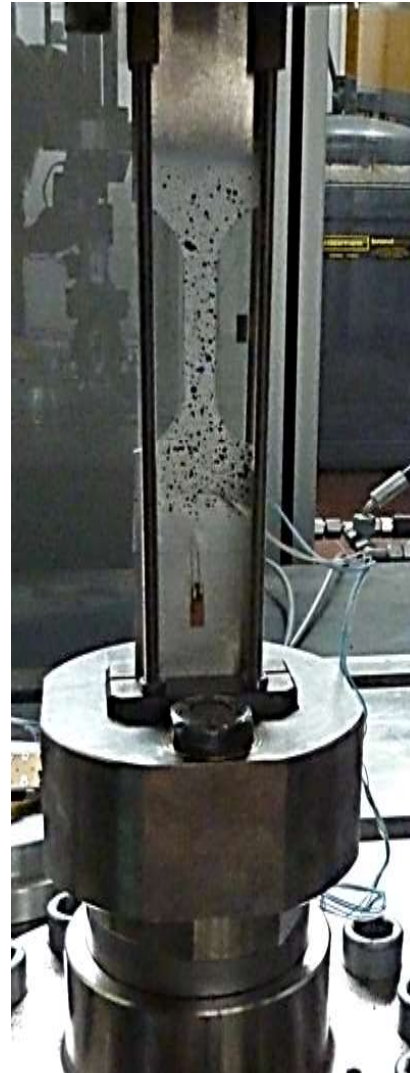
Hochgeschwindigkeitszugprüfmaschine HTM 16020

- max. Prüfkraft: 160 kN
- max. Geschwindigkeit: 20 m/s
- min. Geschwindigkeit: 0,1 mm/s





Versuchsaufbau





Zielsetzung am CZM

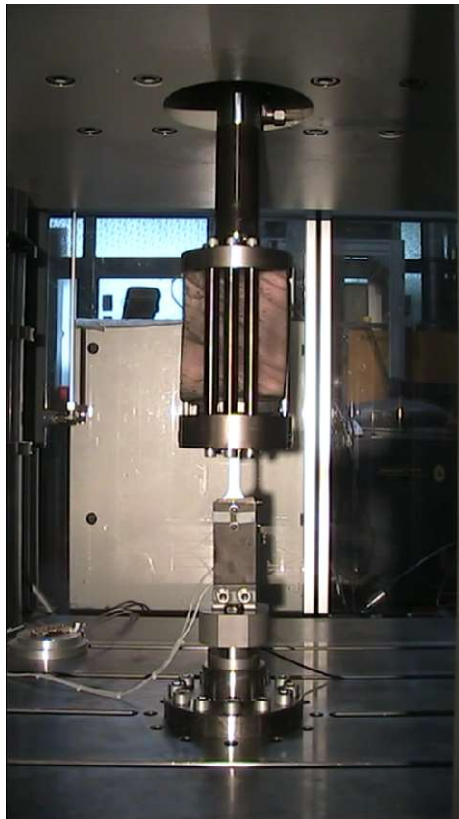
- Bildung einer einheitlichen Theorie über die Zusammenhänge zwischen Bauteilzustand und den charakteristischen statischen, zyklischen und dynamischen Werkstoffkenngrößen



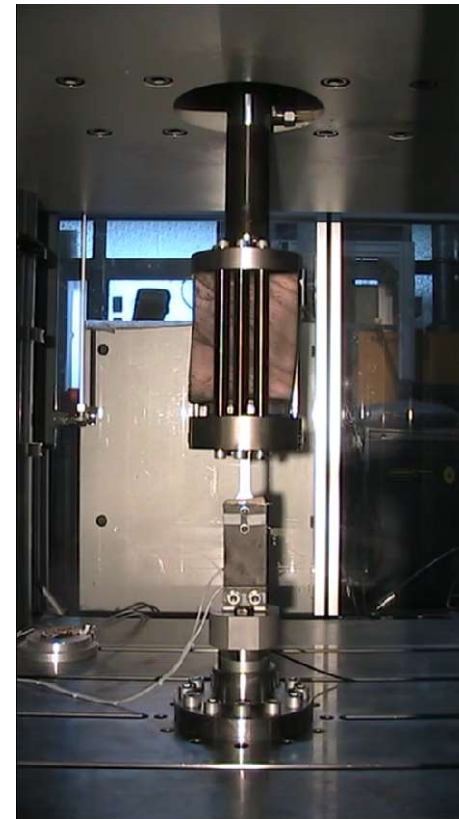
- Determinierung der Einflussgrößen auf die durch den Zugversuch bei hohen Dehnraten ermittelten charakteristischen Werkstoff- und Verbindungseigenschaften:
 - Oberflächenbeschaffenheit der Probe
 - Probenform für Bauteilnahe Prüfung
- Grenzen der Prüftechnik aufzeigen und Messtechnik entsprechend anpassen

Ablauf des Hochgeschwindigkeitszugversuchs

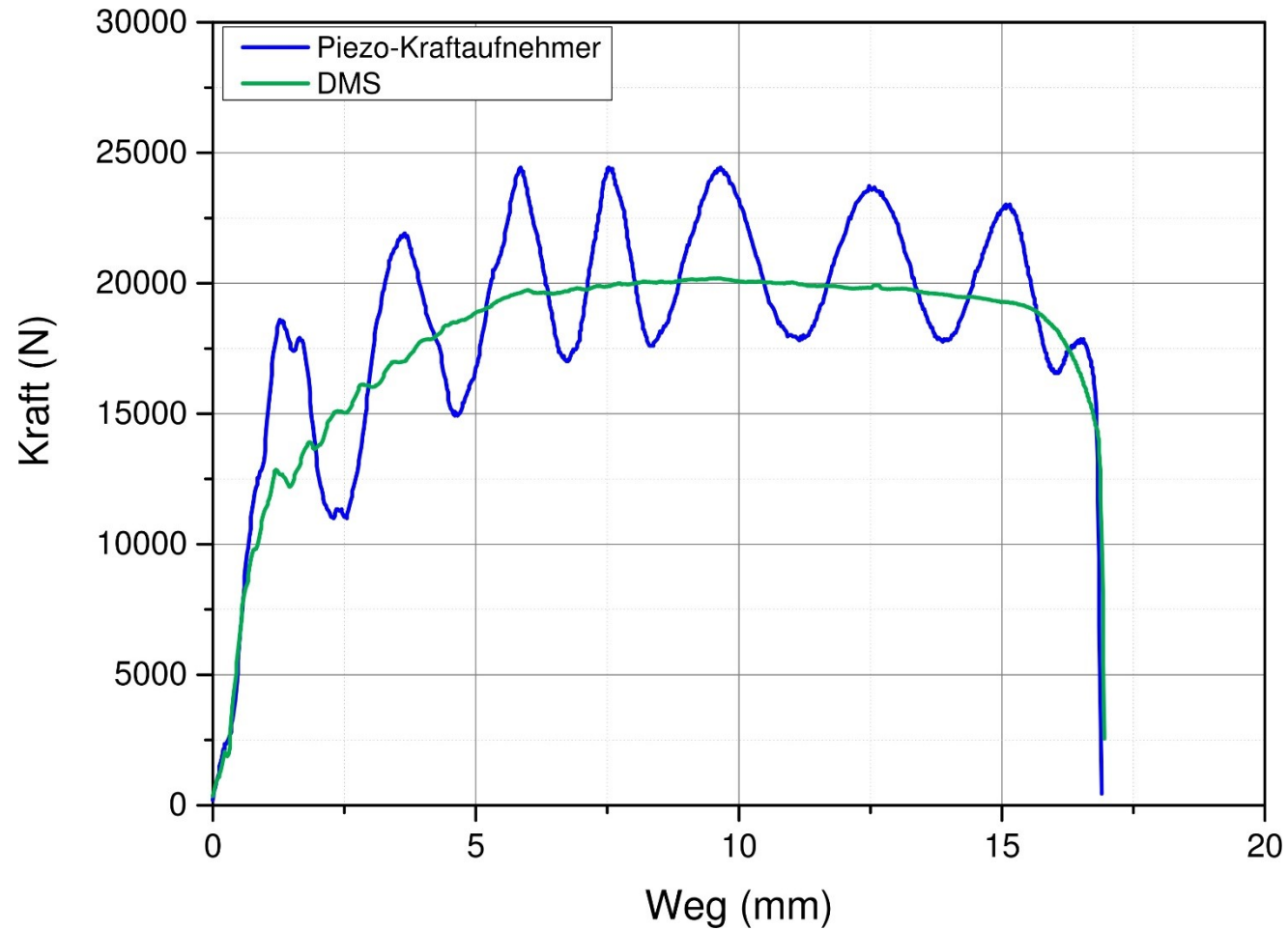
Dehnrate 1 1/s



Dehnrate 450 1/s

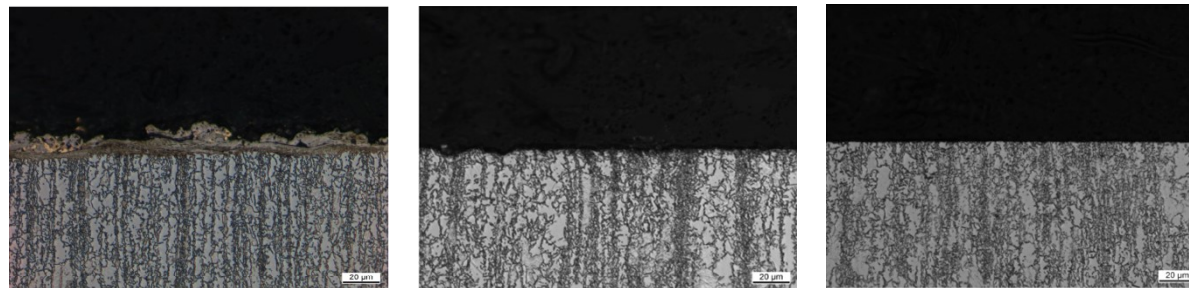


Kraft-Weg-Diagramm des Schnellzerreiversuchs



Oberflächeneinfluss auf die charakteristischen Werte des Hochgeschwindigkeitszugversuchs

- Werkstoff HCT 780 XD



erodiert

gefräst

poliert

	erodiert	gefräst	poliert
Oberflächenrauheit R_z in μm	23,6	7,8	2,8

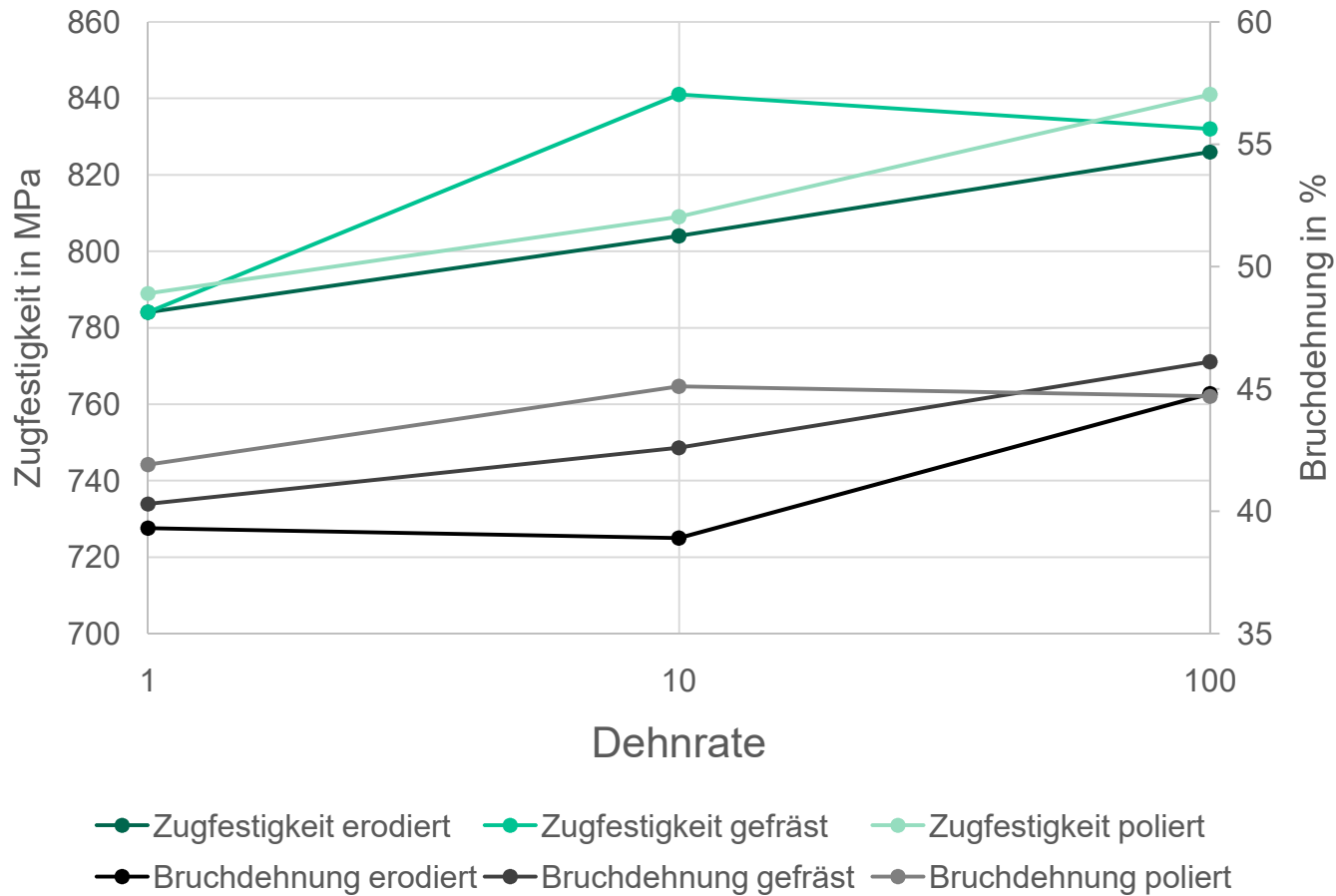


- Prüfparameter:

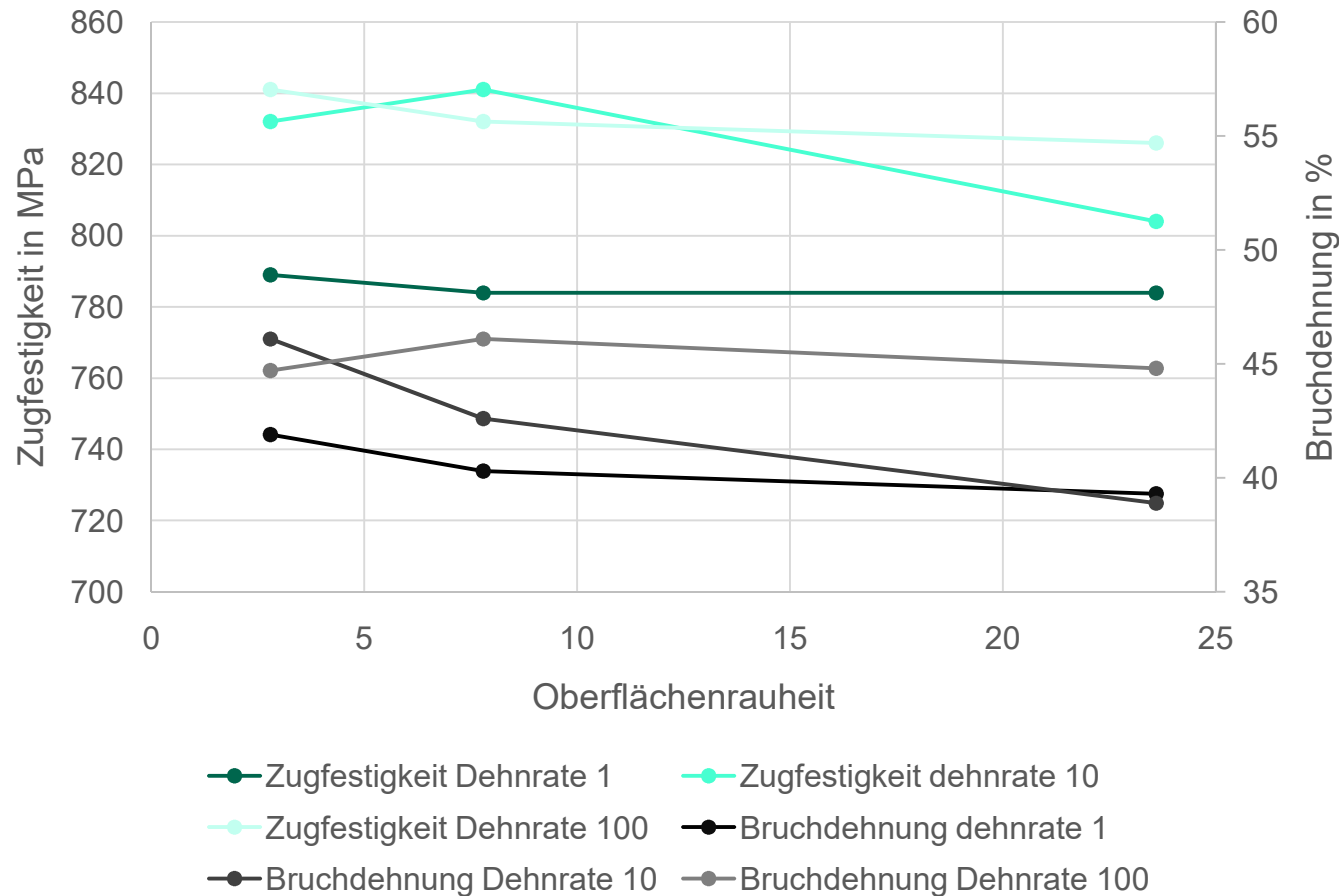
- Dehnraten: 1, 10, 100

- Anzahl Proben: je Oberflächenbeschaffenheit und Dehnrates 3 Proben

Oberflächeneinfluss auf die charakteristischen Werte des Hochgeschwindigkeitszugversuchs

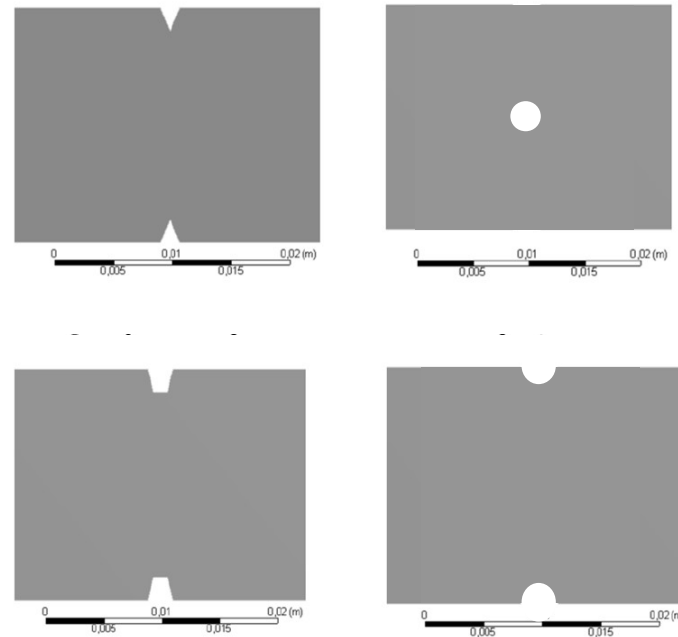


Oberflächeneinfluss auf die charakteristischen Werte des Hochgeschwindigkeitszugversuchs



Detallierte Betrachtung von Kerben unter erhöhten Belastungsgeschwindigkeiten

- Vorgehen:
 - Auswahl verschiedener Kerbgeometrien
 - FEM-Simulation der Spannungs-/Dehnungsverhältnisse bei statischer Last
 - Durchführen der Hochgeschwindigkeitszugversuche bei Dehnrate 1, 10, 100
 - Auswertung des Dehnungsverhaltens und der charakteristischen Größen
 - Vergleich mit Simulation
 - Vergleich mit dem Stand der Forschung

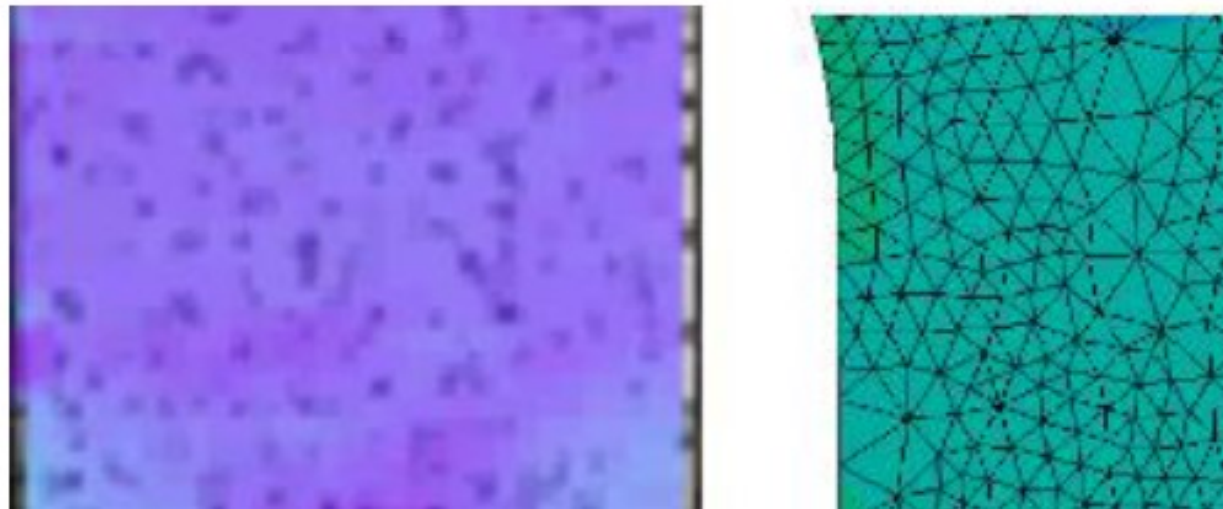


Ausgewählte Kerbgeometrien

Werkstoff 1.4301



Detallierte Betrachtung von Kerben unter erhöhten Belastungsgeschwindigkeiten



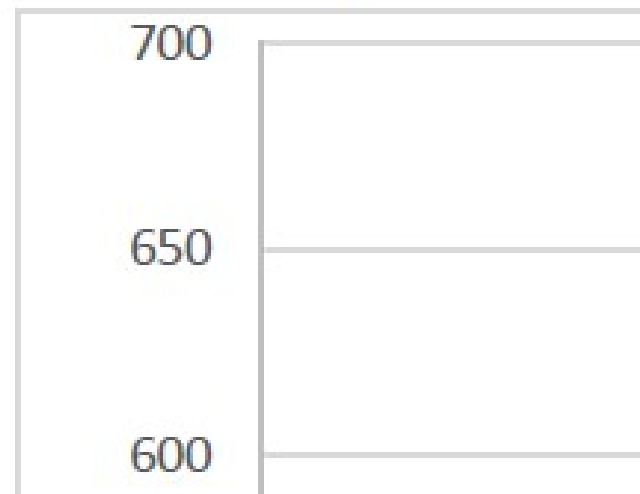
- Vergleich zwischen gemessener Dehnung und der FEM-Simulation



Detaillierte Betrachtung von Kerben unter erhöhten Belastungsgeschwindigkeiten



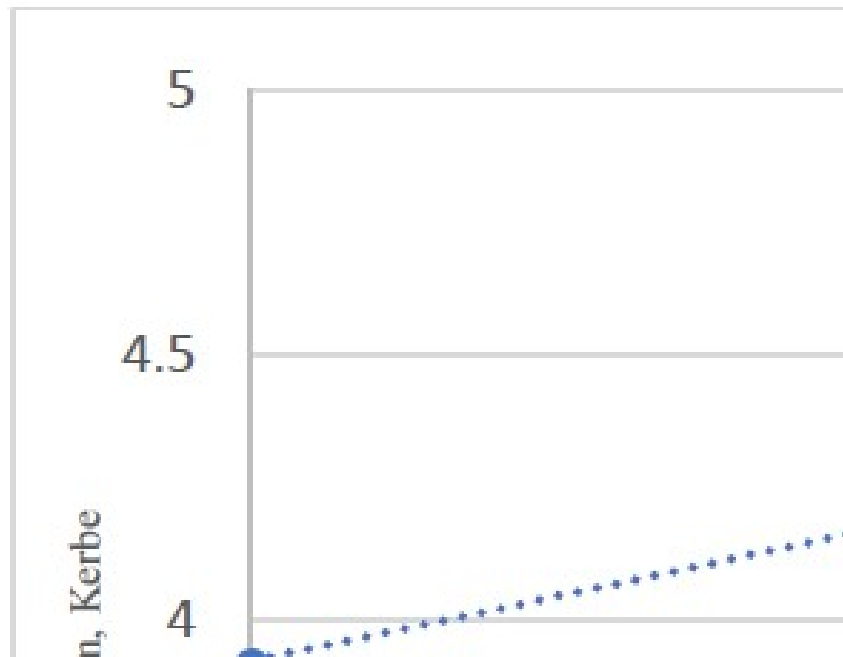
4.6.3.2 R_{p3}



- Betrachtung einer 3%-Dehngrenze in Abhängigkeit der Dehnrage



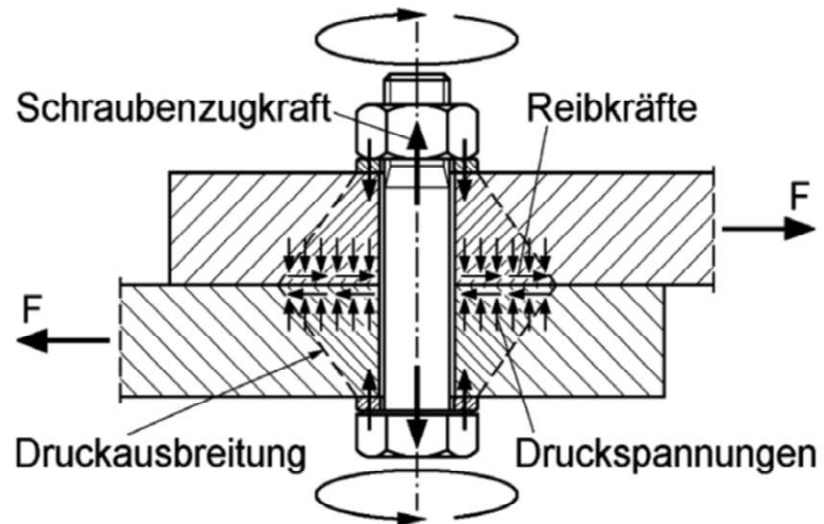
Detaillierte Betrachtung von Kerben unter erhöhten Belastungsgeschwindigkeiten



- Betrachtung der Dehnungsformzahl bei unterschiedlichen Dehnraten

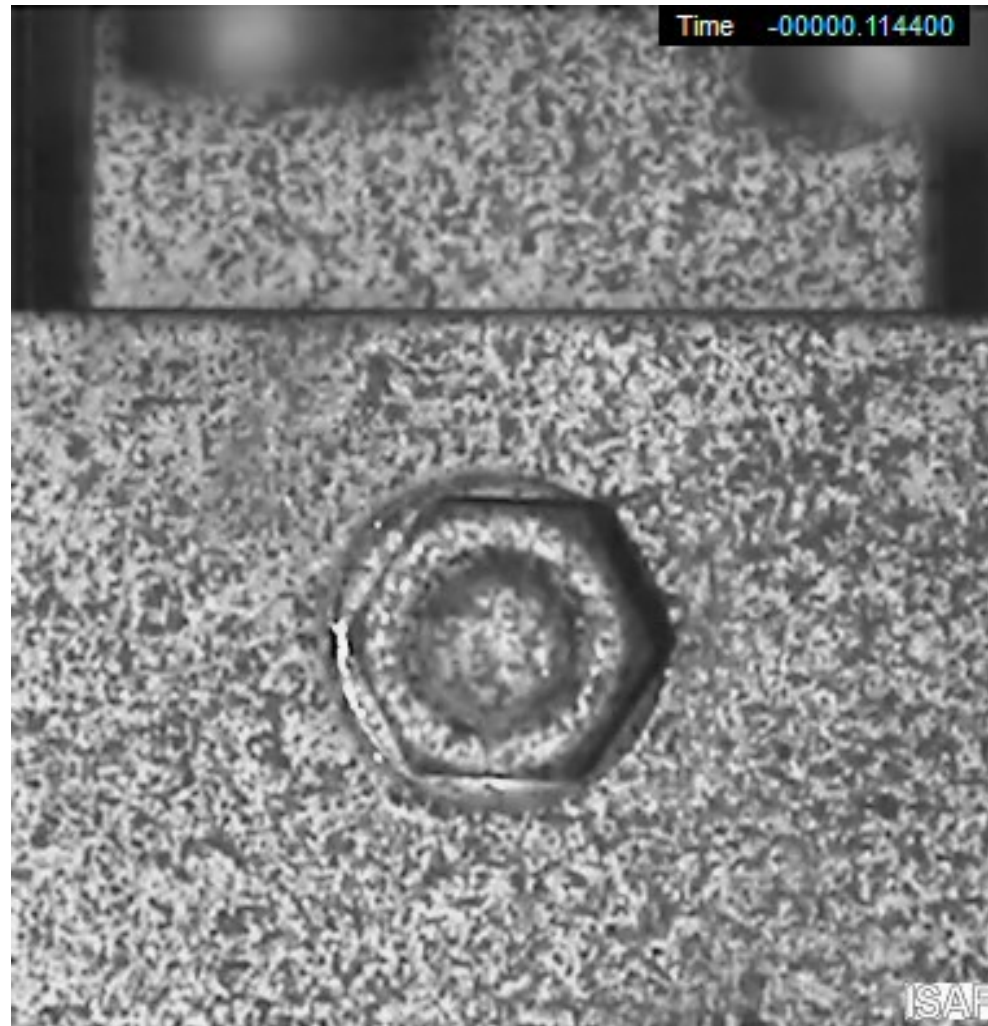
Beispiel Schraubenverbindung

- Themengebiete:
 - Mechanische Verbindungen
 - Verhalten von Schraubverbindungen

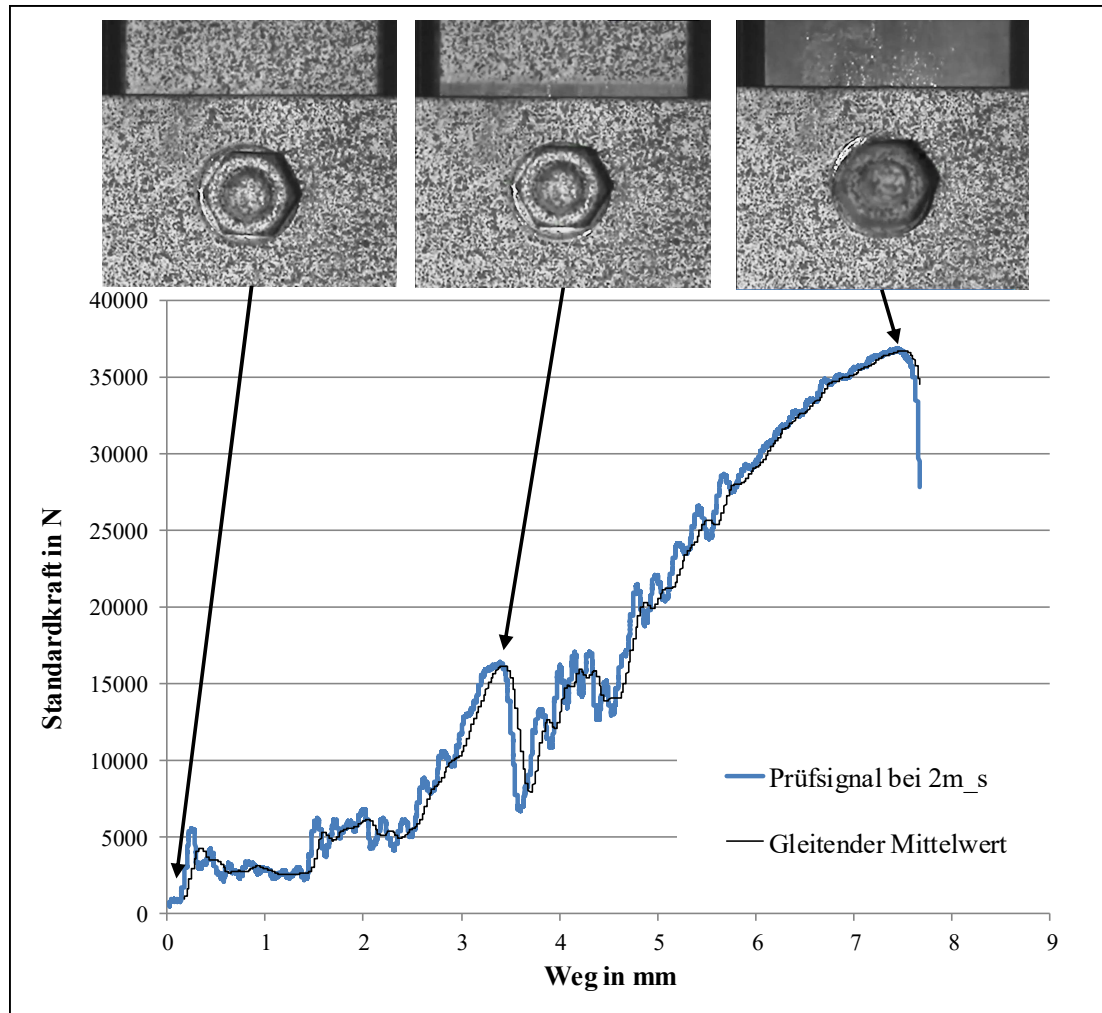




Beispiel Schraubenverbindung



Beispiel Schraubenverbindung



Werkstoff

S355 MC
t = 4 mm

Fügetechnologie

Gleitfest vorgespannte
Schraubverbindung

M 8

Anzugsdrehmoment 40 Nm

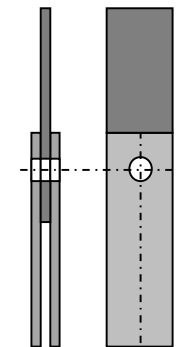
Prüfverfahren

Hochgeschwindigkeitszugversuch

Prüfparameter

Prüfgeschwindigkeit:
2m/s

Probengeometrie:
3-Blech-Verbindung



**Vielen Dank für Ihre
Aufmerksamkeit!**



Literaturverzeichnis

- (1) In Anlehnung an: Heine, B.: Werkstoffprüfung. Ermittlung von Werkstoffeigenschaften. 2. Auflage. München. Carl Hanser Verlag
- (2) Werner, H.; Gese, H.: Zur Bedeutung dehnratenabhängiger Werkstoffkennwerte in der Crashsimulation; Kennwertermittlung für die Praxis, 2003, S. 139-146
- (3) Børvik, T.; Clausen, A.H.; Eriksson, M.; Berstad, T.; Hopperstad, O.S.; Langseth, M.: Experimental and numerical study on the perforation of AA6005-T6 panels. Intern. J. Impact Engineering 32 (2005), S. 35–64
- (4) Borsutzki, M.: Hochgeschwindigkeitszugversuche an Stahl – Eine Übersicht von der Technik bis zur Normung; MP Materials Testing 51 (2009), S.761-766
- (5) Bleck, W.; Frehn, A.; Larour, P.: Berechnungsrelevante Kennwertermittlung für die Umform- und Crash-Simulation von Stahl-Feinblechen. Kennwertermittlung für die Praxis, 2003, S. 28-38