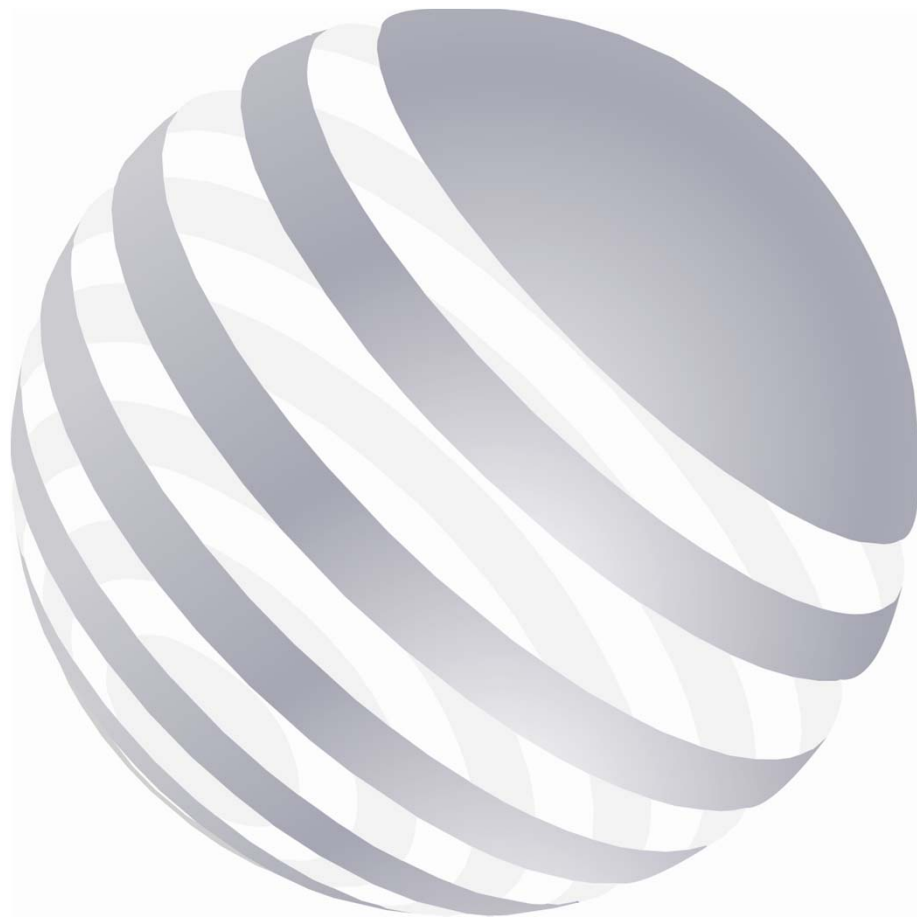


# ***Das Ultem 9085<sup>®</sup> als luftfahrtgeeignetes FDM-Material***

***Agnes Bagsik  
Volker Schöppner***

18.11.2011

*16. Fachtagung Rapid Prototyping  
Hochschule Ostwestfalen-Lippe*



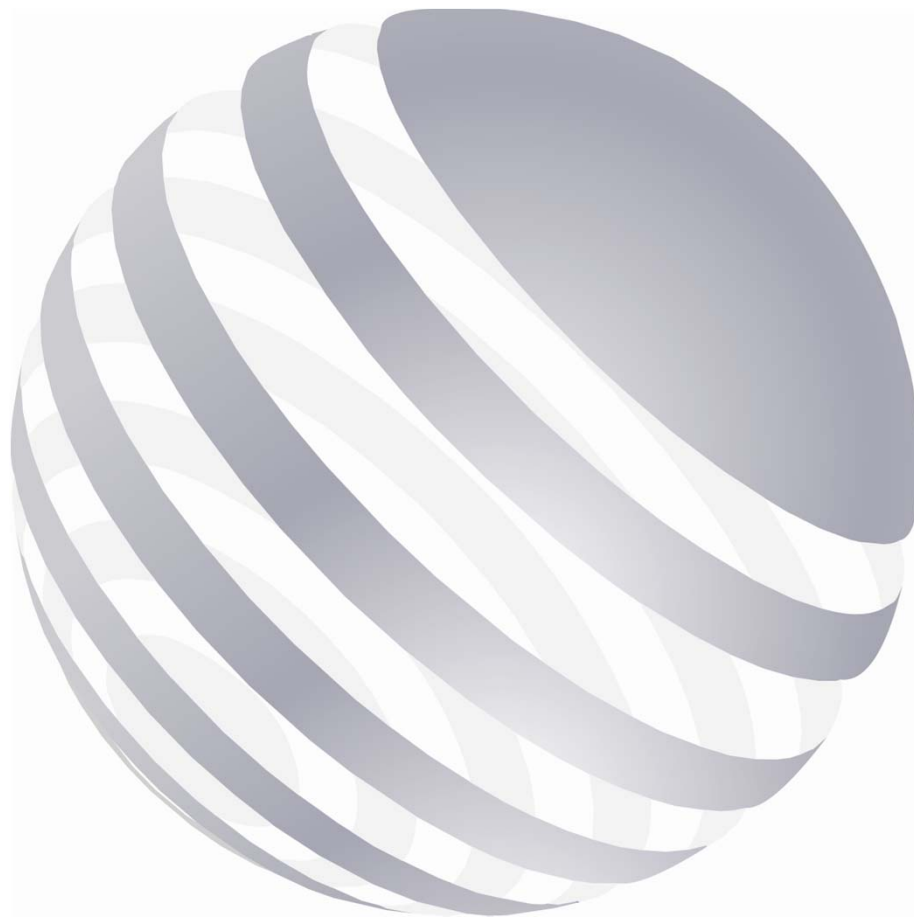
Einleitung

Materialeigenschaften

Mechanische Eigenschaften

Thermische Beständigkeit

Zusammenfassung und Ausblick



## Einleitung

Materialeigenschaften

Mechanische Eigenschaften

Thermische Beständigkeit

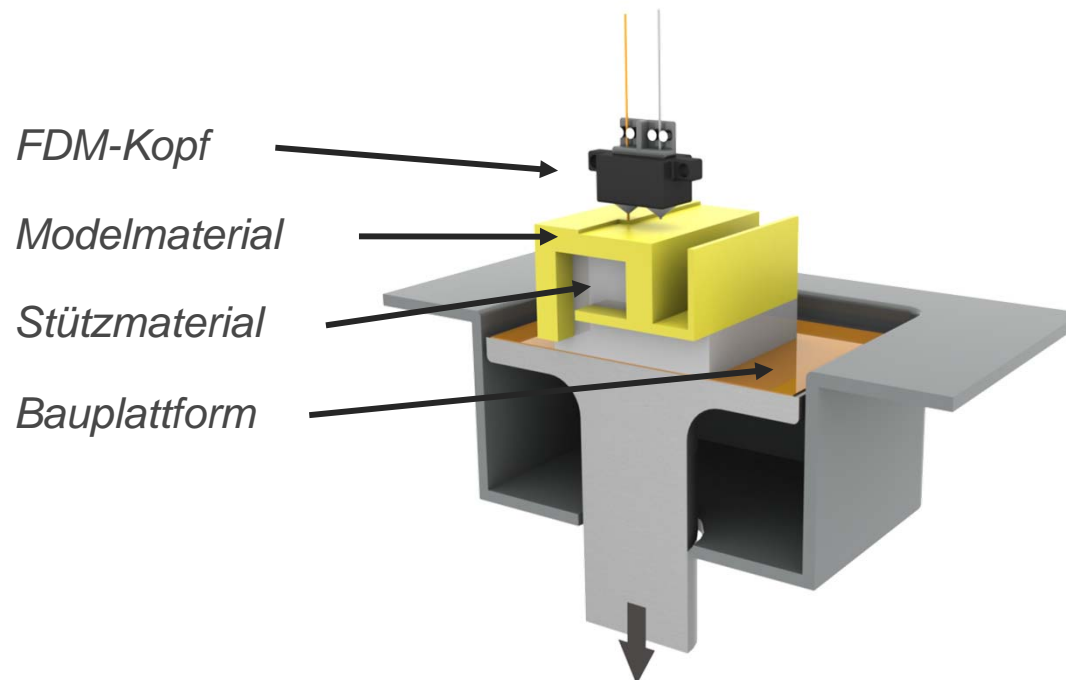
Zusammenfassung und Ausblick

## DMRC - Direct Manufacturing Research Center

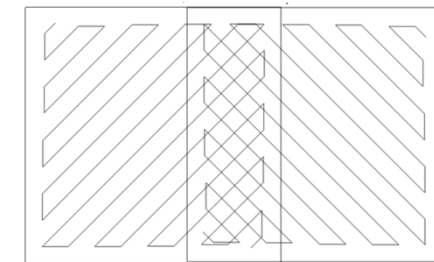
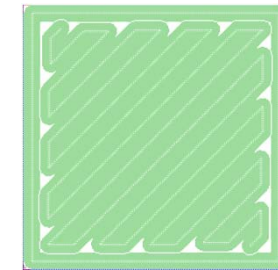
- Enge Zusammenarbeit der Industrie mit der Universität Paderborn
- Ziele des DMRC
  - Potentiellen Anwendern Vorteile aufzeigen
  - Anwender unterstützen
  - Wissen schaffen und veröffentlichen
  - Kontinuierliche Weiterentwicklung von DM Technologien
- Additive Fertigungsanlagen
  - Zuverlässigkeit
  - Reproduzierbarkeit
  - Produktfähigkeit

## Fused Deposition Modeling (FDM)

### Prozess



### Strangablage



Schicht x

Schicht x+1

### Materialien

ABS / PC-ABS / PC / PPSU (PPSF) / PEI - Ultem\*9085

## Fused Deposition Modeling (FDM)



**FDM Dimension  
Fortus 400 mc**



Einleitung

## **Materialeigenschaften**

Mechanische Eigenschaften

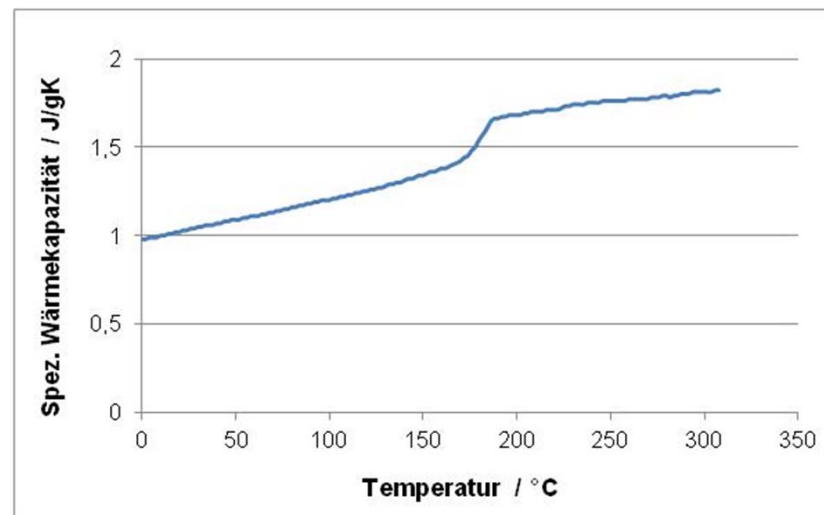
Thermische Beständigkeit

Zusammenfassung und Ausblick

## Polyetherimid (PEI): Handelsname Ultem 9085

- Amorpher Thermoplast
- Hochleistungskunststoff

- Dichte  $1,26 \text{ g/cm}^3$
- Glasübergangstemperatur  $181 \text{ C}$
- Formbeständigkeitstemperatur  $153 \text{ C}$



*DSC-Analyse*

## Luftfahrtanforderung:

- Inhärente Flammwidrigkeit mit geringer Rauchentwicklung

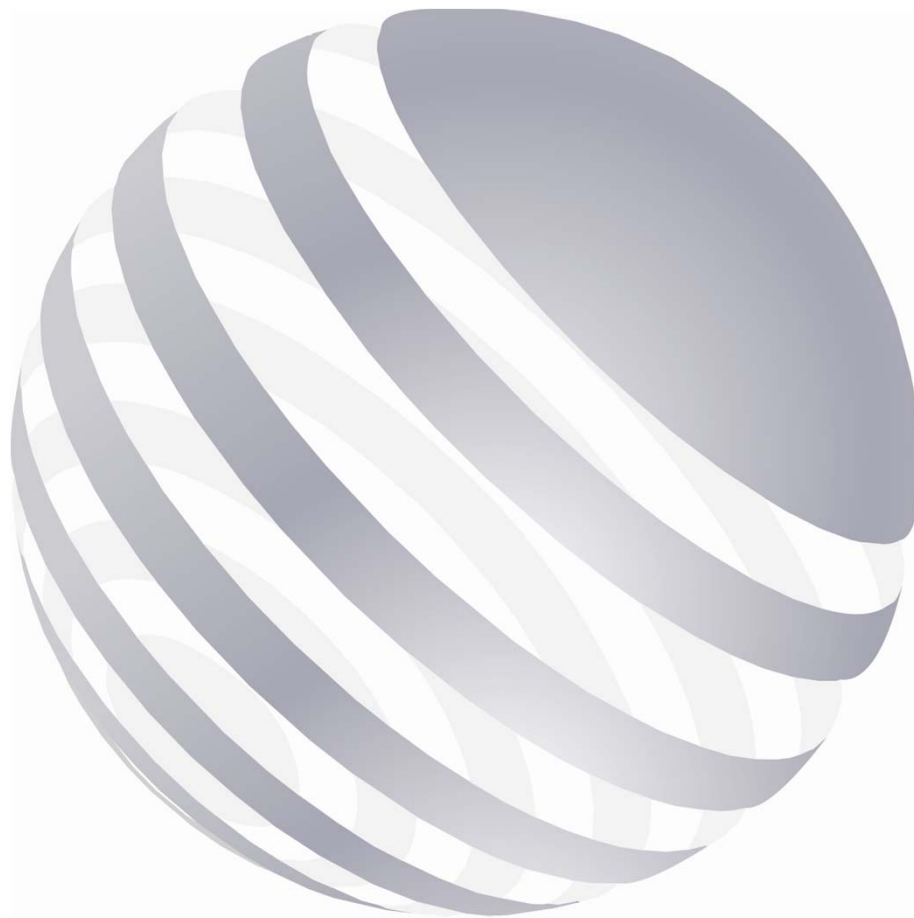
Untersuchung von:

- Brandverhalten (Brandlänge und Nachbrennzeit)
- Rauchgasdichte
- Wärmefreisetzung
- Freisetzung toxischer Verbrennungsprodukte

➤ *Material Ultem 9085 hat Tests bestanden!*



Quelle:  
Stükerjürgen Aerospace Composites GmbH & Co. KG



Einleitung

Materialeigenschaften

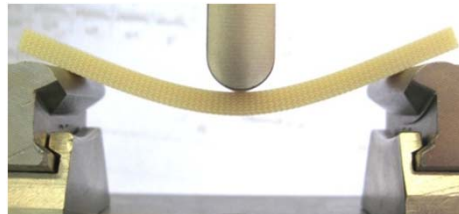
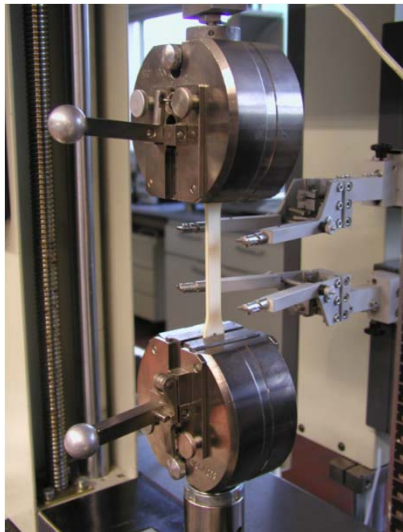
**Mechanische Eigenschaften**

Thermische Beständigkeit

Zusammenfassung und Ausblick

## Untersuchungen am DMRC

- Zugversuch
  - 3-Punkt-Biegeversuch
  - Druckversuch
  - Kerbschlagzähigkeits-Versuch nach Izod
- ASTM D638 + DIN EN ISO 527  
ASTM 790 + DIN EN ISO 178  
ASTM D695  
ASTM 256 + DIN EN ISO 179

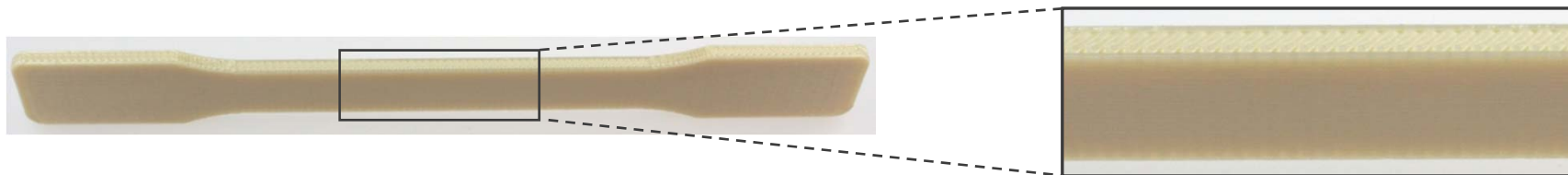


Beispiel: Zugversuch nach ASTM D638

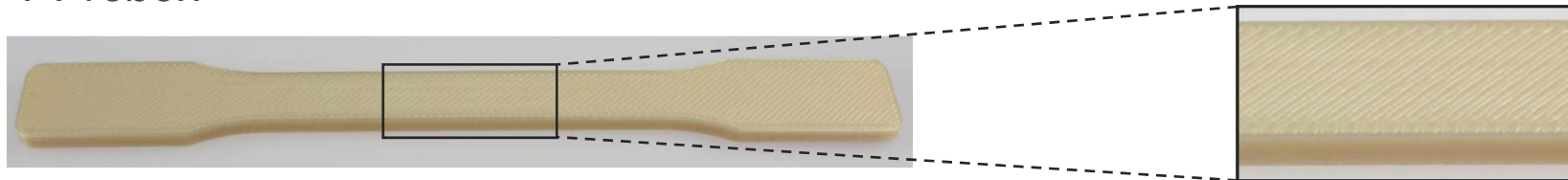
Baurichtung	X	Y	Z
Anzahl der Schichten	75	13	650

FDM Probekörpern aus Ultem 9085 aufgebaut mit Standardprozessparametern

X-Proben



Y-Proben



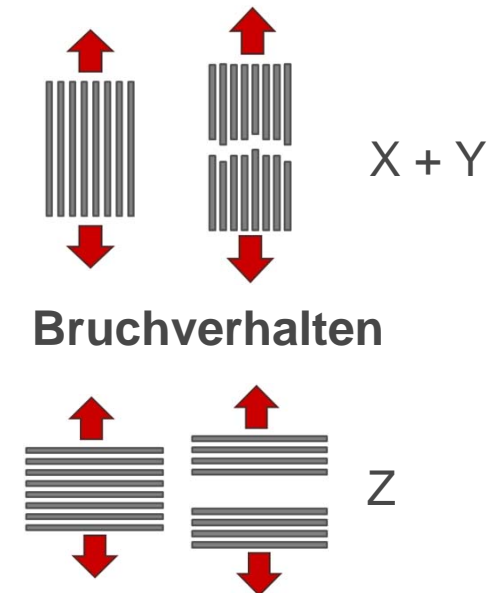
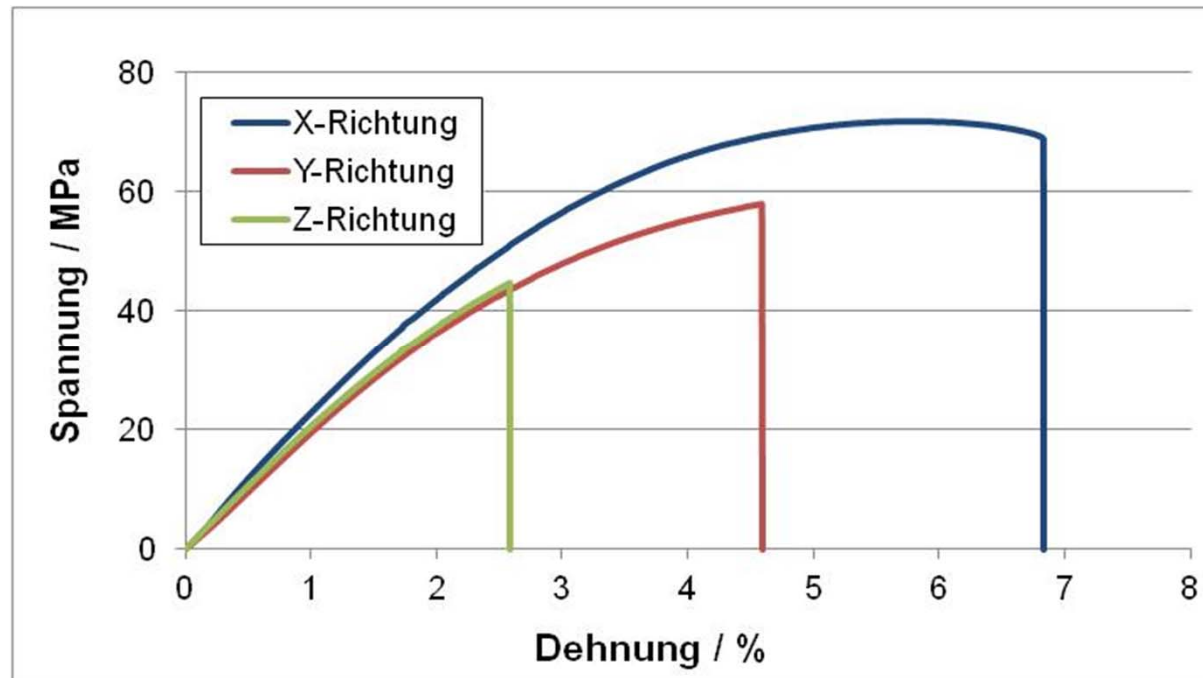
Z-Proben



➤ Unterschiedliche „Strukturen“ aufgrund unterschiedlicher Bauorientierungen

## Zugfestigkeiten

FDM Probekörpern aus Ultem 9085 aufgebaut mit Standardprozessparametern



- Höchste Festigkeitswerte für X-Proben, geringste Festigkeiten für Z-Proben
- Ergebnis aus den Materialeigenschaften UND der inneren Aufbaustruktur

## Bruchbilder

FDM Probekörpern aus Ultem 9085 aufgebaut mit Standardprozessparametern

X-Richtung



Y-Richtung



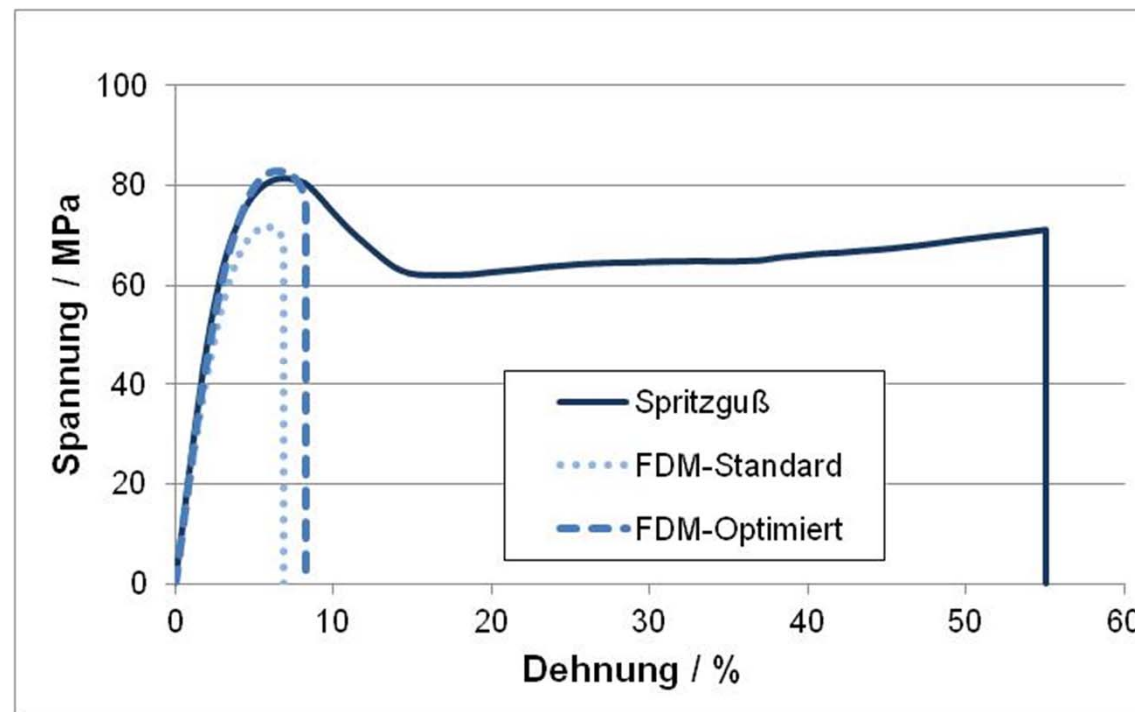
Z-Richtung



- Sprödbrech bei X und Y aufgrund von Kerbwirkung bedingt durch das Innenraster
- Glatter Bruch bei Z aufgrund von geringer Fügefestigkeit zwischen den Schichten

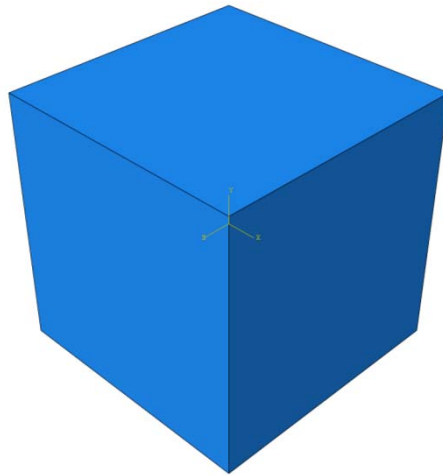
## Parameteroptimierung

Beispiel: X-Richtung Festigkeiten im Vergleich zum Spritzguss

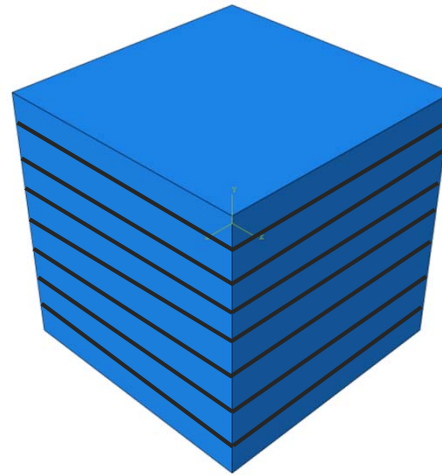


- FDM Probekörper erreichen gleiche Festigkeitswerte wie Spritzgussprobekörper
- Bedingt durch die innere Aufbaustruktur werden aber kleinere Dehnungen erreicht

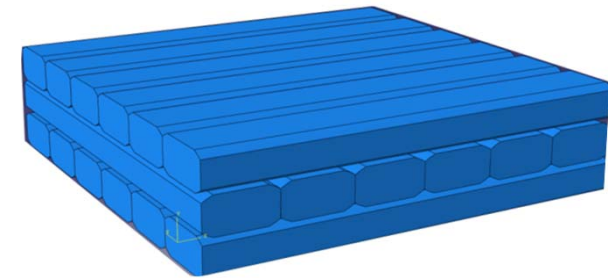
## Simulation der Festigkeitswerte mittels FEM



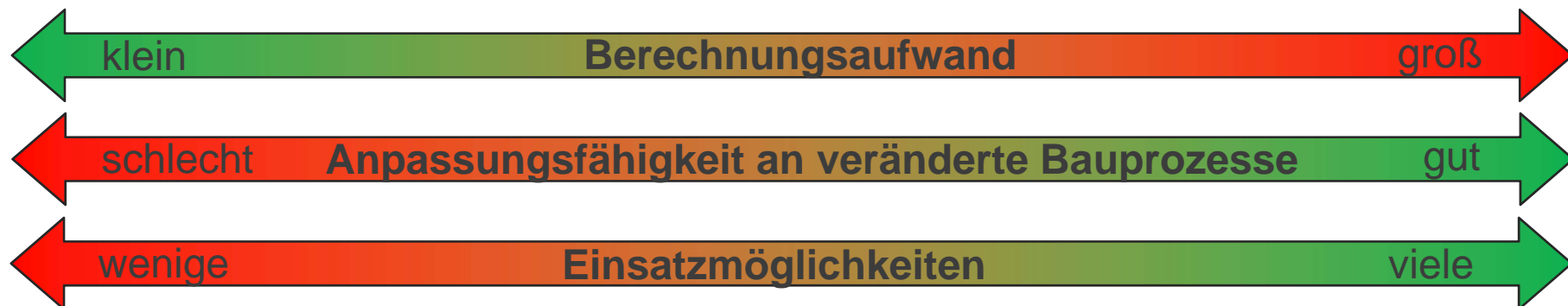
Blockmodell



Schichtmodell



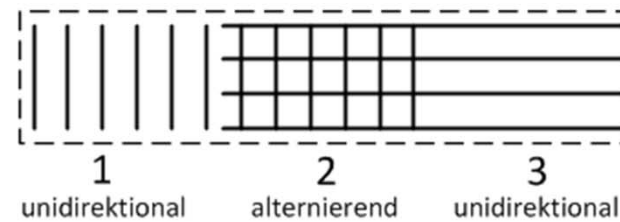
Strangmodell



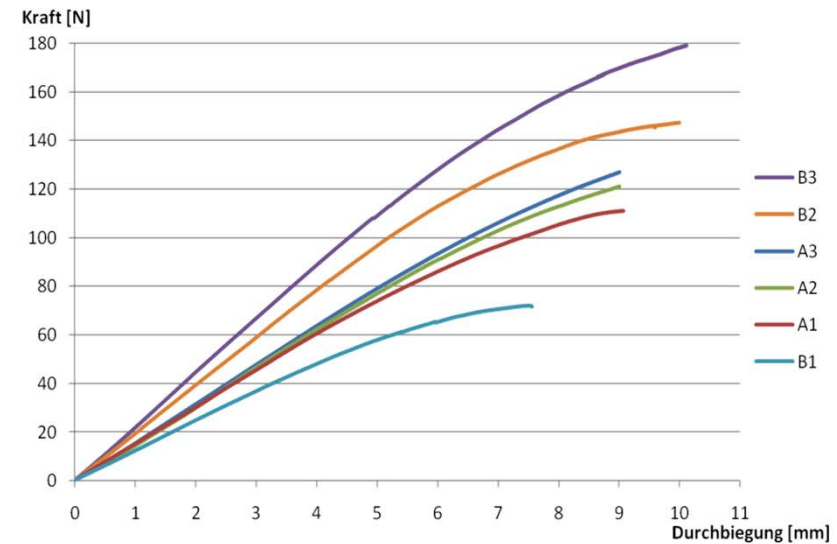
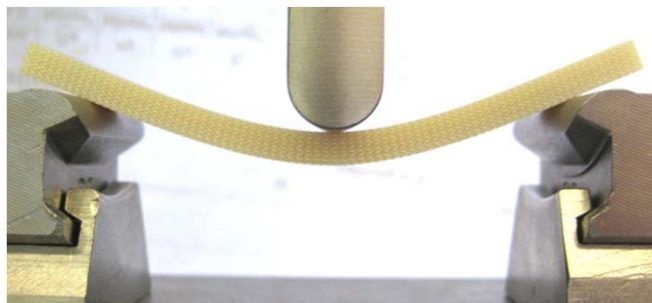
## Simulation der Festigkeitswerte mittels FEM

Beispiel: Drei-Punkt-Biegeversuch - experimentell

Probenaufbau

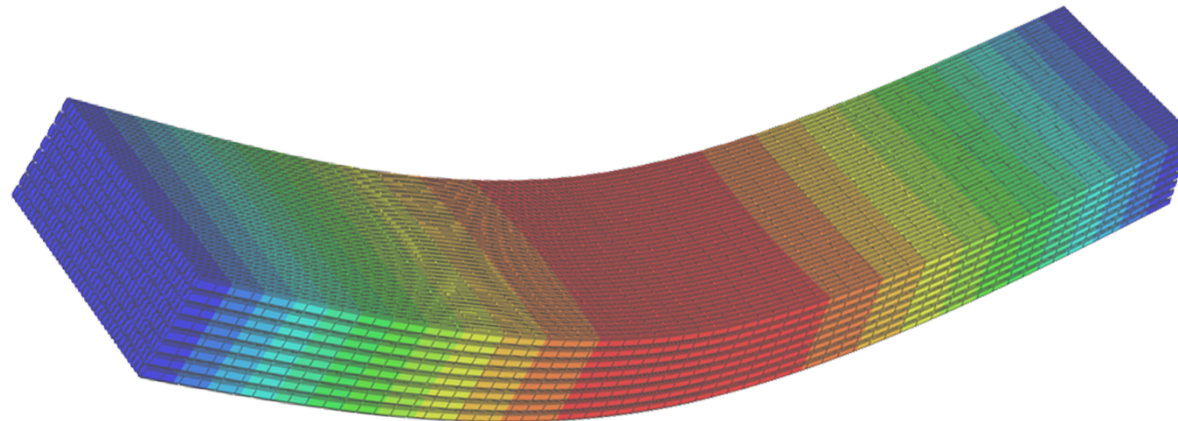


Versuchsdurchführung und Ergebnisse

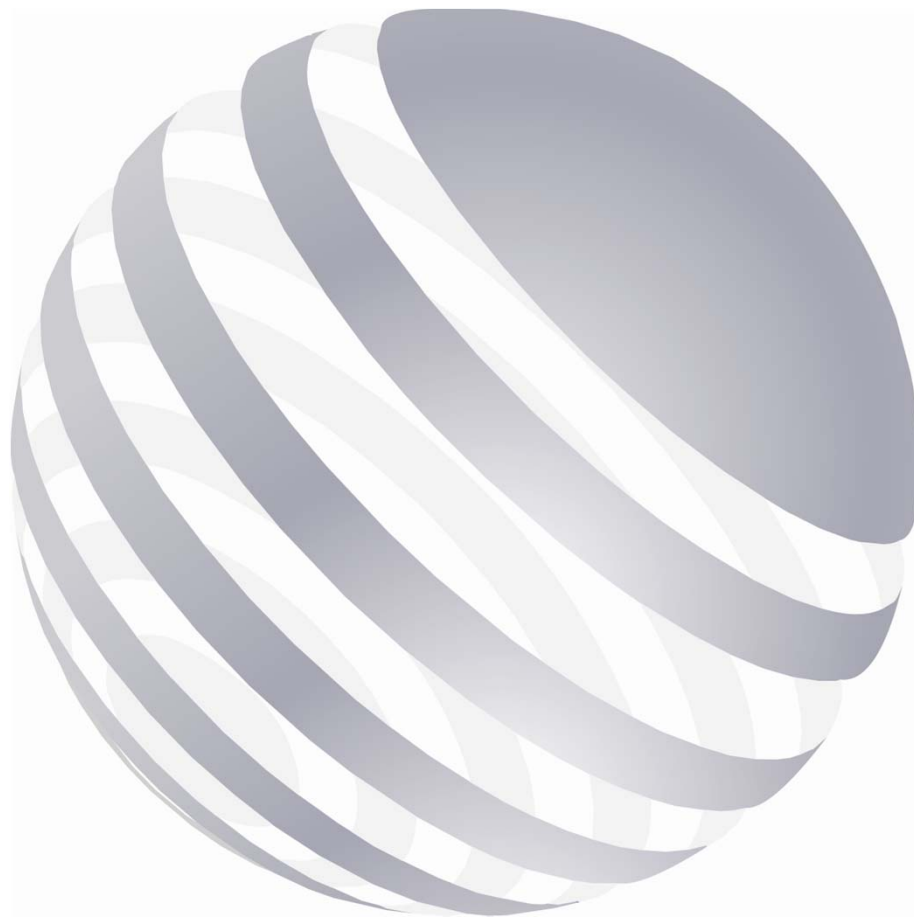


## Simulation der Festigkeitswerte mittels FEM

Beispiel: Drei-Punkt-Biegeversuch – Vergleich Simulation mit experimentellen Daten



- Schichtmodell liefert gleiche Ergebnisse wie Blockmodell
- Strangmodell aufgrund des teilweise komplexen Aufbaus der FDM Proben nur mit Einschränkungen anwendbar
- Annähernd gute Übereinstimmung zwischen experimentellen und berechneten Daten
- Weitere Modellanpassungen werden noch ausgearbeitet



Einleitung

Materialeigenschaften

Mechanische Eigenschaften

**Thermische Beständigkeit**

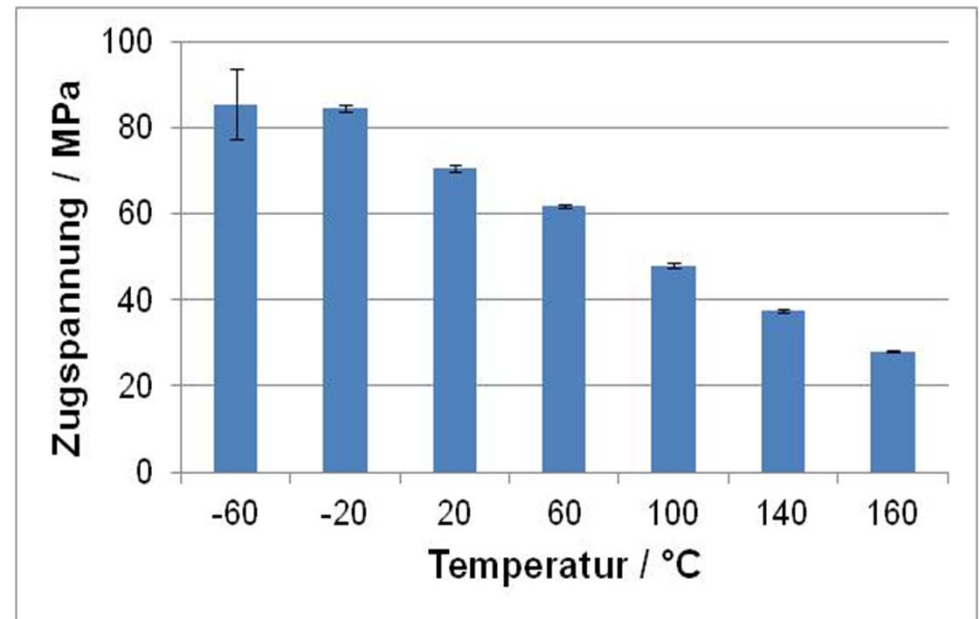
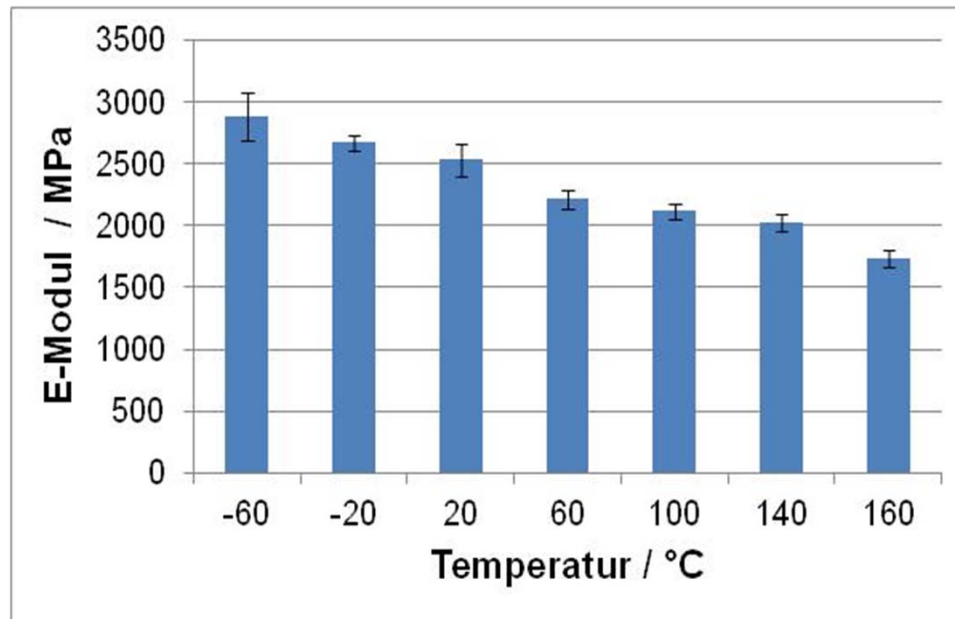
Zusammenfassung und Ausblick

## Beständigkeit gegen (wechselnde) klimatische Bedingungen und Medien

- Untersuchungen der mechanischen Bauteilalterung (Zugproben)
  - X- und Z-Proben aufgebaut mit Standardparametern
  - Lagerung bis zu 52 Wochen
    - RT + 50% bzw. 100% relative Luftfeuchte
    - Prüfbedingungen (-60...+160 C)
  - Thermische Wechselbeanspruchung
- Medienbeständigkeit (alkalischer Reiniger, Schmier- und Getriebeöl, etc.)
- Freibewitterung und künstliche Bewitterung bzw. Bestrahlung

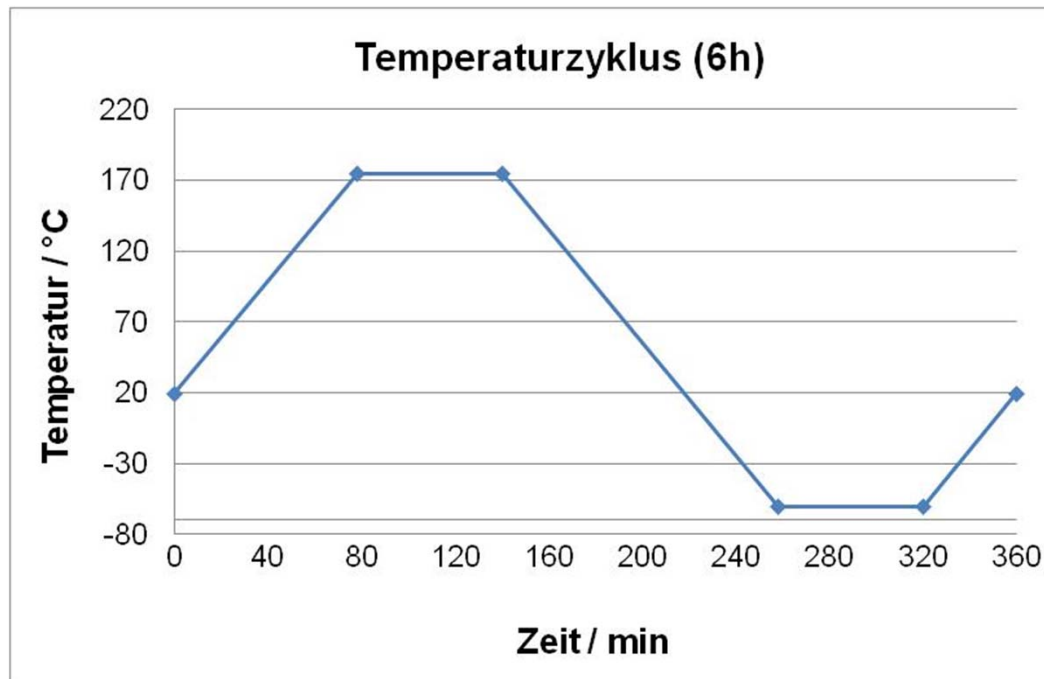
## Beispiel: Temperaturbeständigkeit

X-Richtung Festigkeiten, Mittelwert von je 10 Proben



- Höhere Festigkeitswerte bei niedrigeren Temperaturen
- Abnahme der Zugfestigkeiten mit steigender Temperatur

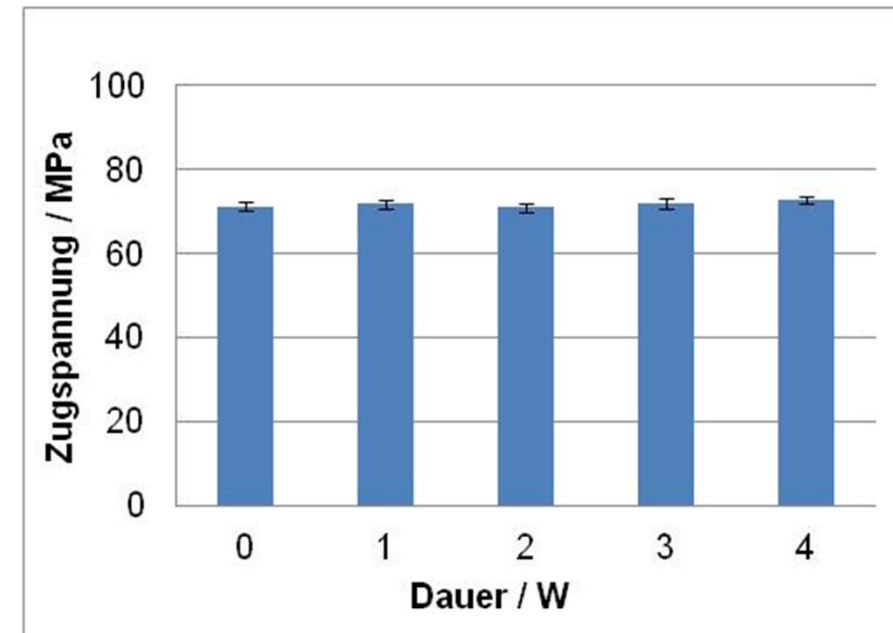
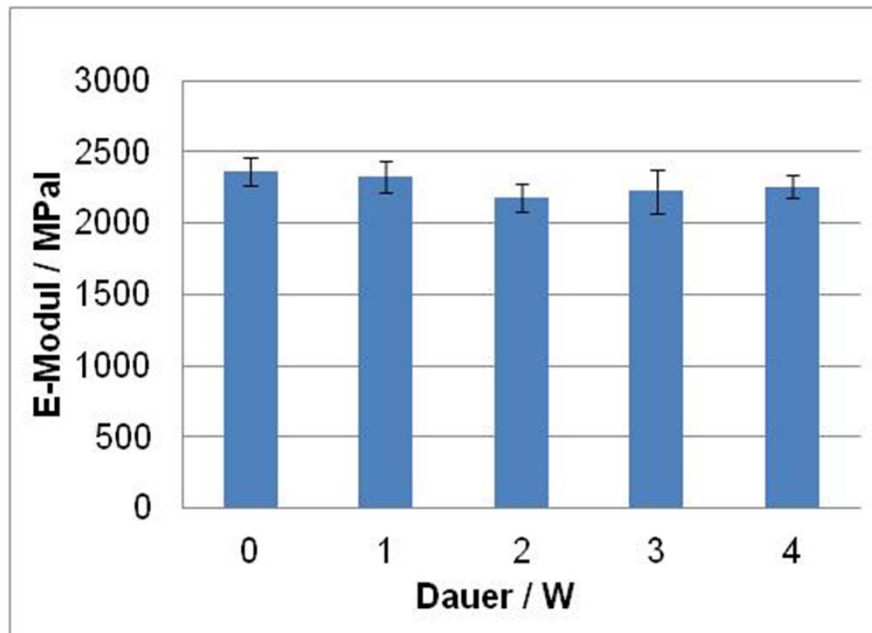
## Beispiel: Wechsel-Temperaturbeständigkeit



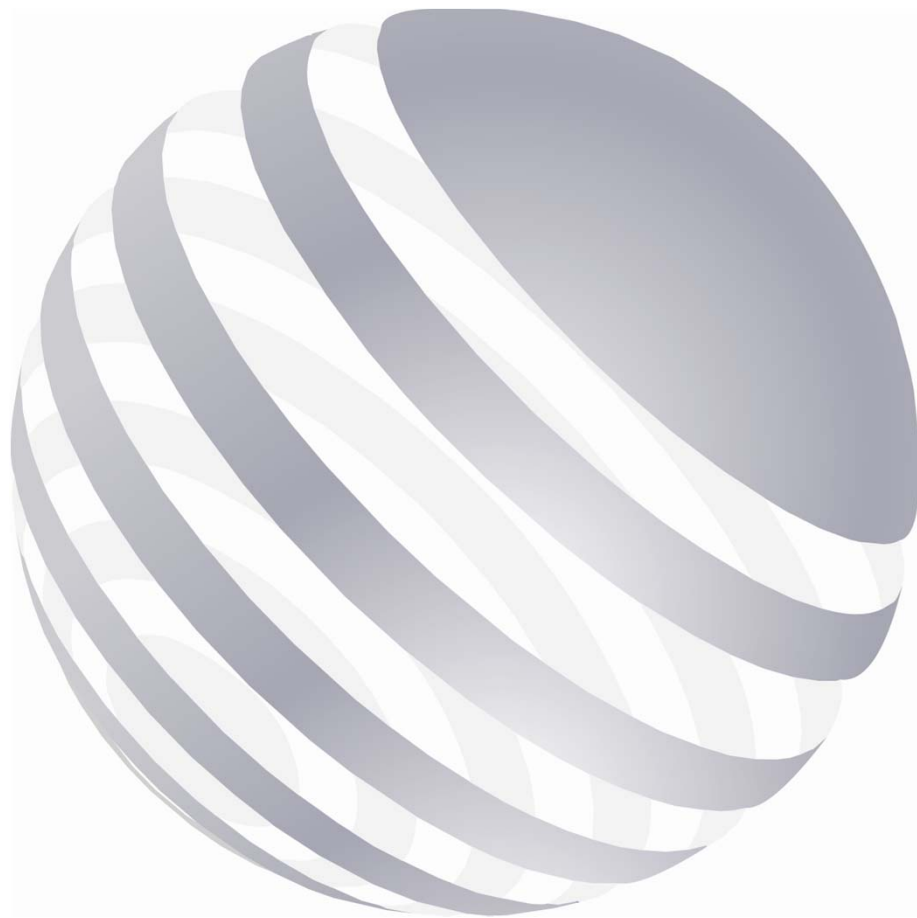
<b>Klimaschrank Typ</b>	<b>Vötsch VCL 7010</b>
Steuer- und Messsoftware	S!MPATI®
Temperaturbereich	-60 C bis +175 C
Zyklusdauer	360min / 6 Std
Zyklen / Tag	4
Zyklen / Woche	28
Zyklen gesamt	112

## Beispiel: Wechsel-Temperaturbeständigkeit

X-Richtung Festigkeiten, Mittelwert von je 5 Proben



- Zeitliche Stabilität der Festigkeitswerte
- FDM Probekörper sind wechseltemperaturbeständig



Einleitung

Materialeigenschaften

Mechanische Eigenschaften

Thermische Beständigkeit

**Zusammenfassung und Ausblick**

- Mechanische Festigkeitswerte von FDM Bauteilen
  - Baurichtungsabhängig
  - Ergebnis aus den Materialeigenschaften UND der inneren Aufbaustruktur
- Material Ultem erfüllt Anforderungen der Luftfahrt
  - Inhärente Flammwidrigkeit mit geringer Rauchentwicklung
  - hohe Wärmeformbeständigkeit
  - gute Festigkeit bei erhöhten Temperaturen
  - Beständigkeit gegen wechselnde klimatische Bedingungen

Für die Qualifikation des FDM Verfahrens für die Luftfahrt sind weiterhin folgende Aspekte zu erarbeiten:

- Erarbeitung einer breiten Wissensdatenbank der mechanischen Kennwerte
- Analyse der dynamischen Festigkeit
- Erhöhung der Festigkeitswerte in Z-Richtung
  
- Untersuchung der Prozessbeständigkeit
- Aufstellung einer Prozesskette für Qualitätssicherung
- Detaillierung von Konstruktionsrichtlinien

# Acknowledgements

Fakultät für Maschinenbau  
Kunststofftechnik Paderborn.



UNIVERSITÄT PADERBORN  
Die Universität der Informationsgesellschaft



Ministerium für Innovation,  
Wissenschaft und Forschung  
des Landes Nordrhein-Westfalen



Dipl.-Ing. Agnes Bagsik

28

16. Fachtagung Rapid Prototyping , Hochschule Ostwestfalen-Lippe

# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Dipl.-Ing. Agnes Bagsik

DMRC - Direct Manufacturing Research Center  
KTP – Kunststofftechnik Paderborn

[www.dmrc.de](http://www.dmrc.de)  
[www.ktpweb.de](http://www.ktpweb.de)

Tel.: +49 5251- 60 5420  
Fax: +49 5251- 60 5409  
E-Mail: [agnes.bagsik@dmrc.de](mailto:agnes.bagsik@dmrc.de)