



Universität Stuttgart

AK-Studie: Faserverstärkte Armierungen

AK-Sitzung am 30.10.2023

Nikola Nežić, M.Sc.



Auslegung eines CFK-Armierungsringes

Institut für Umformtechnik

IFU

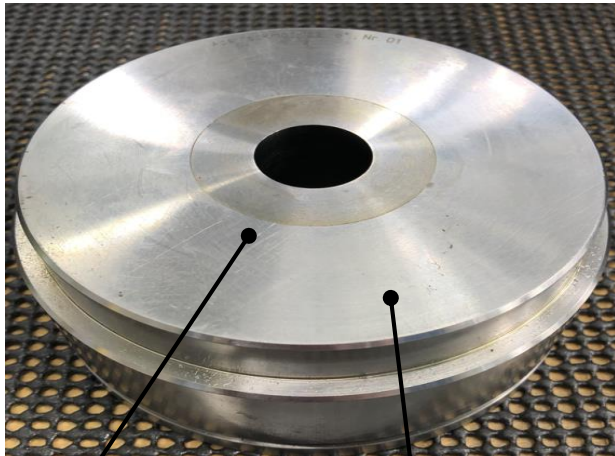
Agenda



Motivation CFK-Armierung

Stand der Technik

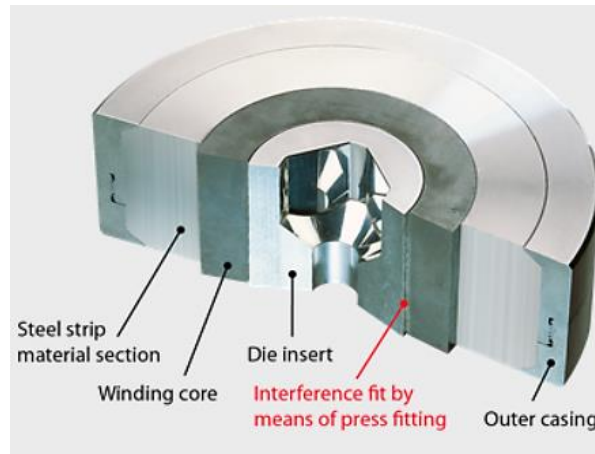
Konventioneller Armierungsring



Matrize Armierungsring

- Erhöhtes Volumen und Gewicht
- Steifigkeit

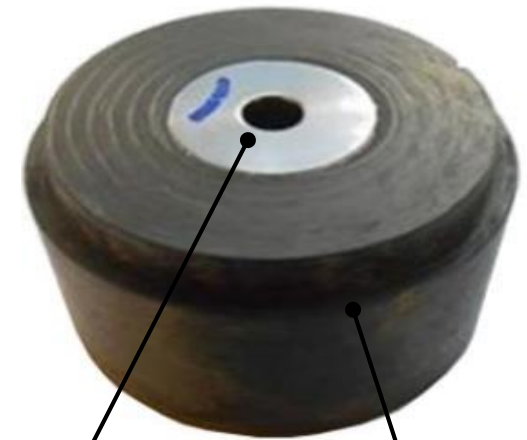
Bandarmierung (STRECON)



- + Kompakte Bauweise
- + Größere Belastbarkeit

AK-Studie

Faserverstärkte Armierung



Matrize CFK-Armierungsring

Quelle: Ege Universität Izmir

Übertragbarkeit?

Vorarbeiten auf diesem Bereich

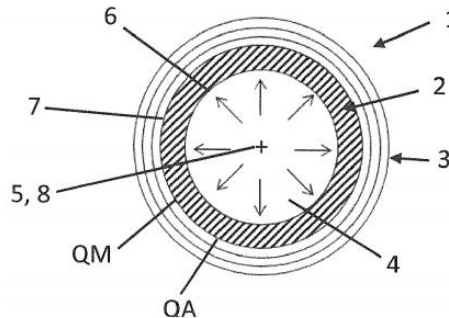
Vorarbeit durch Sieber Forming



- CFK-Halbzeug mit anschließender spanender Bearbeitung
- Aufpumpen der Matrize führt im Kantenbereich zu Faserrissen
- Kein Lieferant für die Umwicklung des Matrizenkerns gefunden

Quelle: Sieber Forming Solutions

Patent der Firma Felss



- Verstärkungsfasern mit Matrixsystem auf die Außenseite des Matrizenkerns (bzw. des Dorns) aufgebracht. Faserverbund wird anschließend getempert.
- Keine Informationen über eine simulative Auslegung

Quelle: Felss, Patent EP 3 441 156 B1

Ege Universität Izmir



- Lebensdaueruntersuchung einer faserverstärkten Matrize
- Versagen nach 625.000 Teilen (25 % höhere Lebensdauer)
- Glasübergangstemperatur des Harzes wurde überschritten

Quelle: Ege Universität Izmir
S. Yurtdas; U. Ince; C. Kilicaslan; H. Yildiz: A case study for improving tool life in cold forging

Konzeption des CFK-Armierungssystems

Konzepte zur Aufbringung einer Vorspannung

Wickeln auf Dorn und anschließendes Fügen

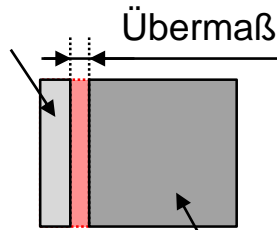
- Vorspannung durch konstruktiv vorgesehenes Übermaß und anschließendes thermisches oder mechanisches Fügen



Quelle: Sieber

Thermisches Fügen (Konzept 1)

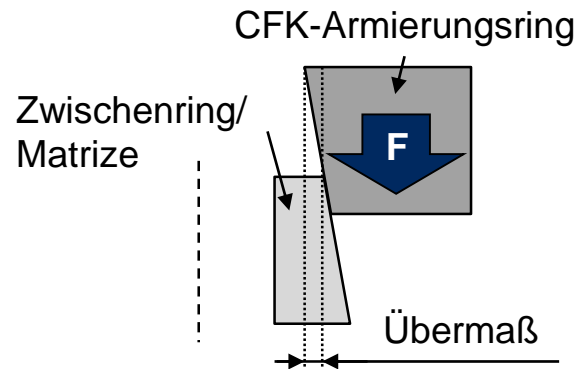
Zwischenring
(-196 °C)



CFK-Armierungsring

- Nur begrenztes Übermaß
→ Eingeschränkte Vorspannung realisierbar
- Zylindrische Innenkontur

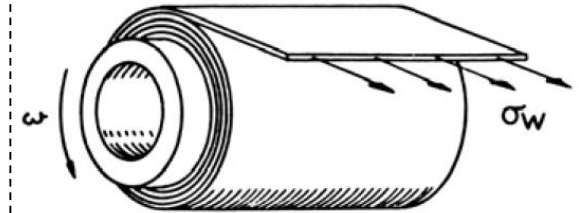
Mechanisches Fügen (Konzept 2)



- Kegelige Innenkontur notwendig
→ Herstellung aufwändiger
- Evtl. Schädigung der Fasern durch Einpressen

→ Beide Konzepte werden am IFU verfolgt

Zwischenring umwickeln



Quelle: Lange

- Wickeln unter Zugspannung und ohne Matrixwerkstoff

Theoretische Potentiale

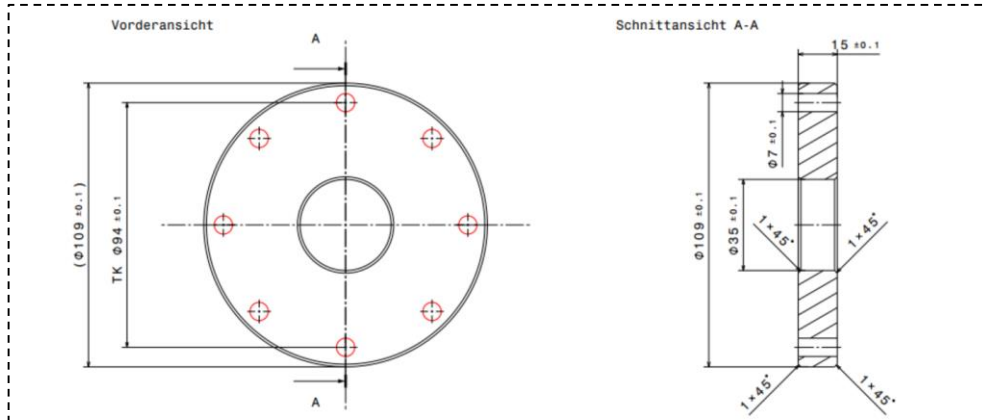
- Kompaktere Wicklung
→ Höherer Faservolumengehalt
- Große Vorspannung

Es resultieren jedoch hohe Anforderungen an die Wickeltechnik

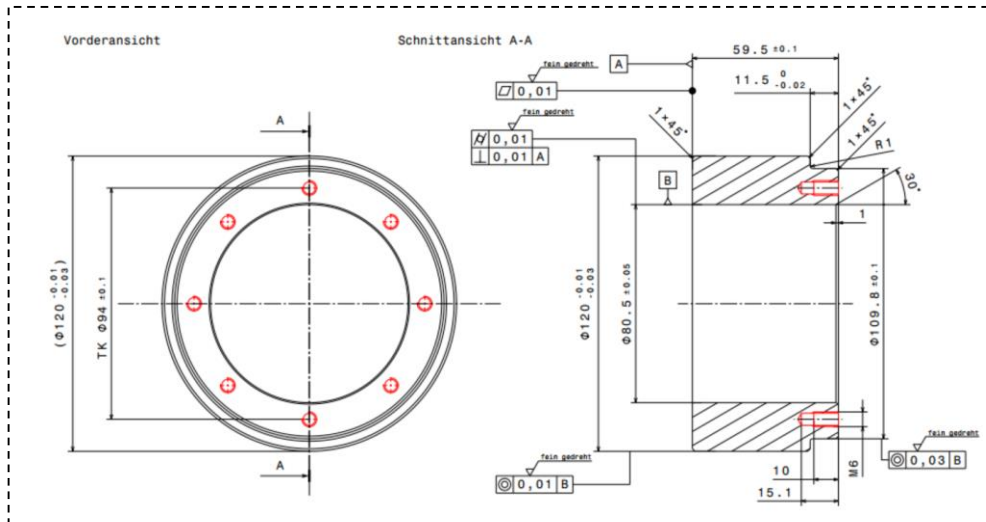
→ Wird durch STRECON A/S verfolgt

Konzeption Montagevorrichtung zur Fixierung der armierten Matrice

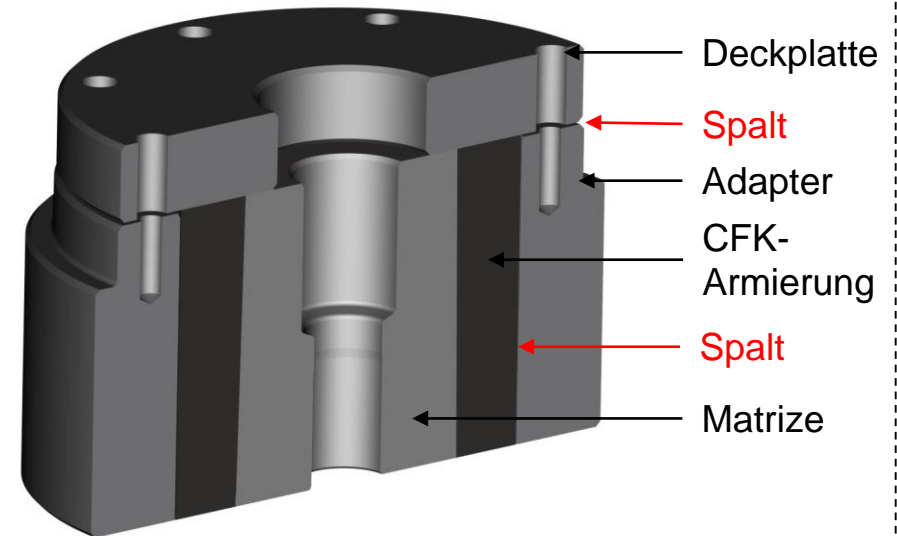
Technische Zeichnung der Deckplatte



Technische Zeichnung des Adapters



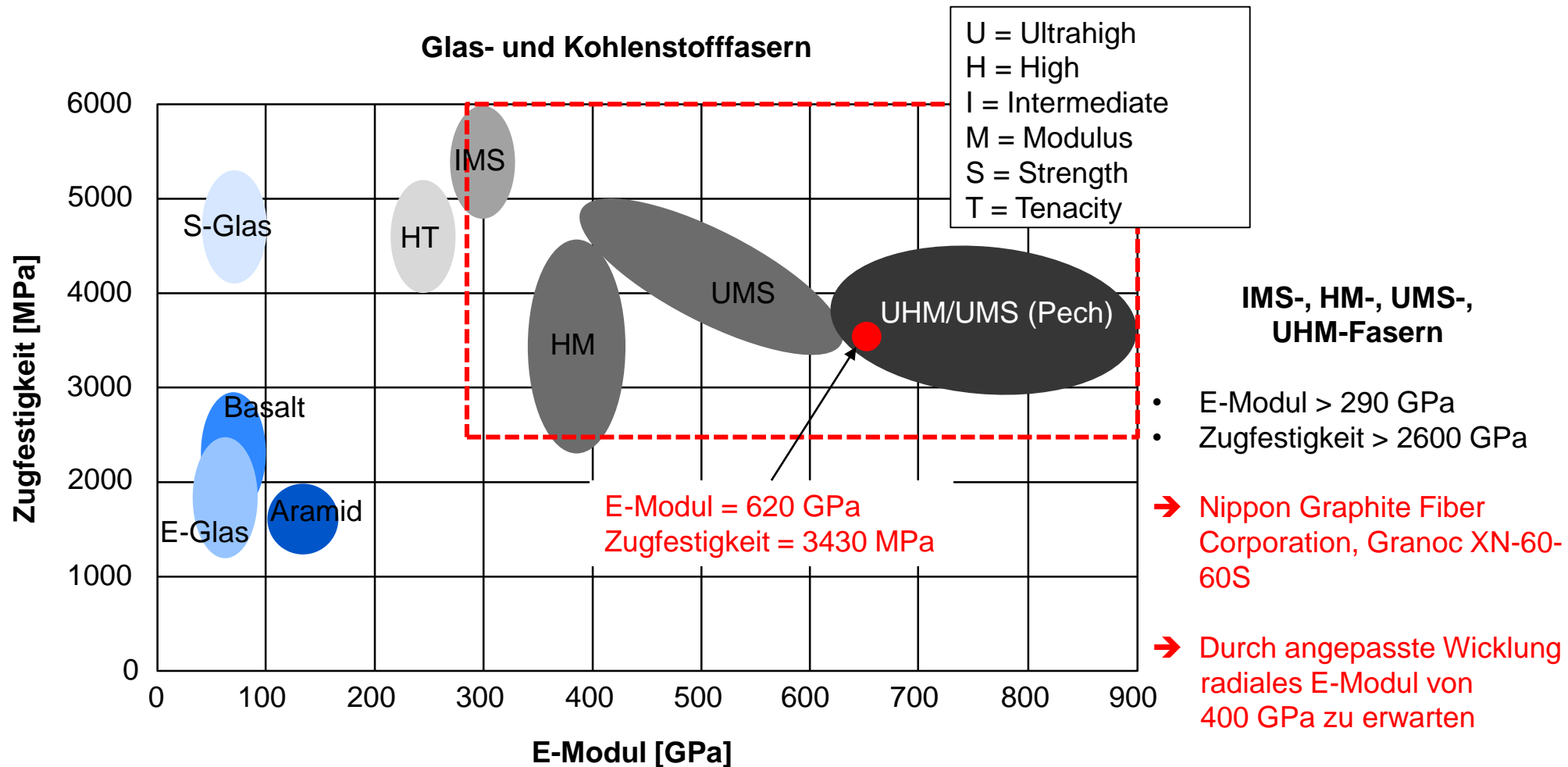
Armierter Matrice im eingebauten Zustand



- Montagevorrichtung (Deckplatte + Adapter) zum Einbau der armierten Matrice im Pressengestell
➔ Pressengestell ist ausgelegt für $\Phi 120$ mm
- Spalt zwischen Deckplatte und Adapter erlaubt Verspannen und Fixierung der armierten Matrice
- Spalt zwischen armierter Matrice und Adapter um ein Auffedern im Prozess zu ermöglichen

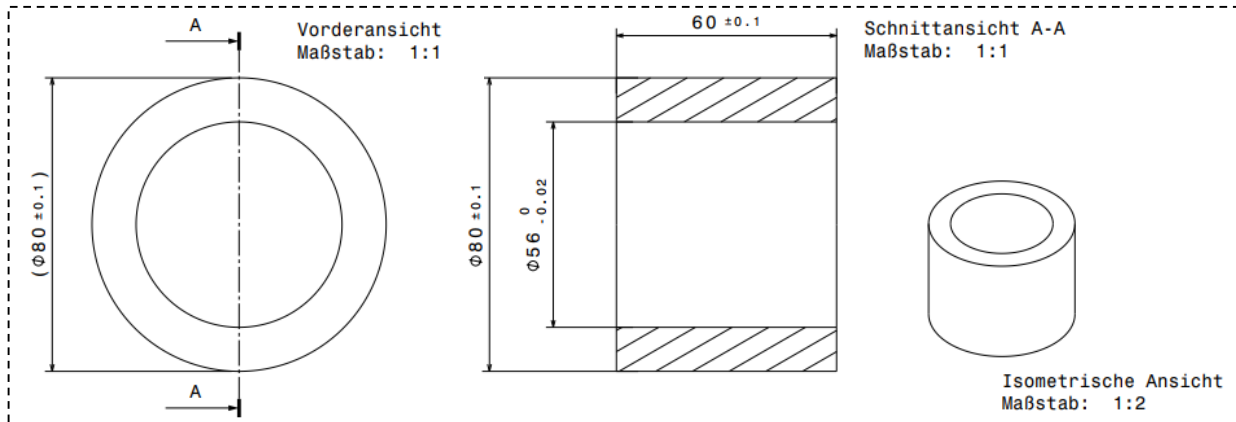
Konzeption des CFK-Armierungssystems

Wahl der zum Einsatz kommenden Armierungsfaser

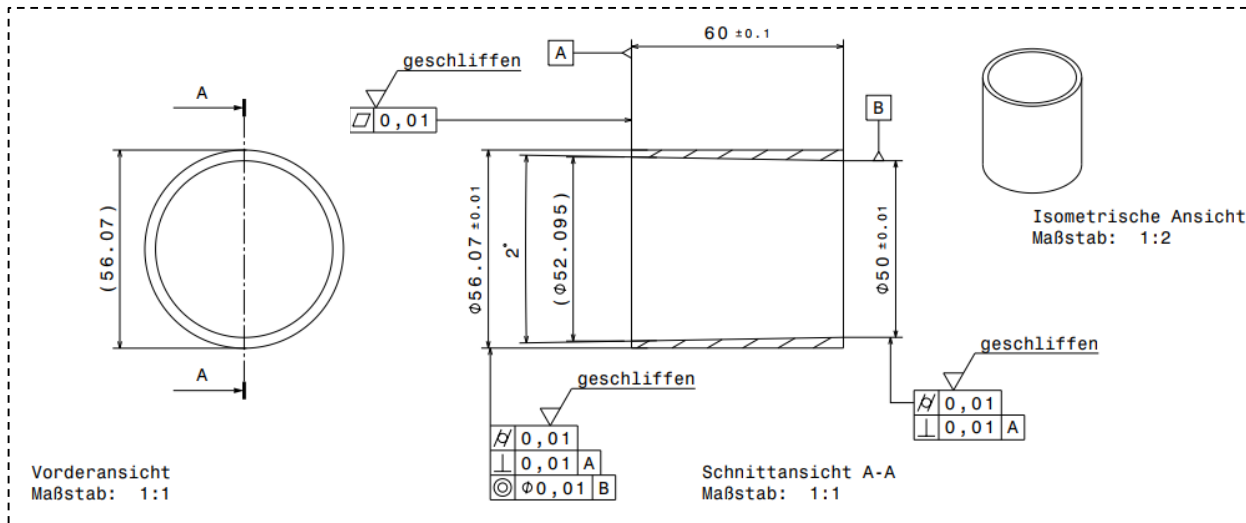


Ergebnisse Konzept 1 (thermisch gefügter Armierungsring)

Technische Zeichnung des CFK-Armierungsringes

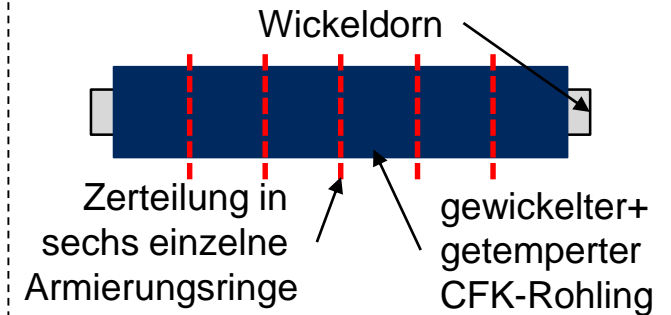


Technische Zeichnung des Zwischenrings aus 1.2343



Herstellung

- Herstellung des CFK-Armierungsringes durch die **Crosslink-Murtfeldt Composites GmbH & Co. KG**



Ein Wickelvorgang auf Dorn ergibt sechs Armierungsringe

Anfallende Kosten:

- Wickeldorn = einmalig 483 €
 - CFK-Armierungsring = 96 €
- (Eine Marge = 6 Stk. entsprechen folglich 576 €)

Ergebnisse Konzept 1 (thermisch gefügter Armierungsring)

Einschrumpfen des Zwischenrings

- Konstruktiv vorgesehenes **Übermaß** des einzupressenden Zwischenrings von **0,07mm**
- Abkühlen des Zwischenrings durch flüssigen Stickstoff (-196°C)
- Anschließendes Fügen (unterstützt durch Handpresse)

Gewickelter CFK-Armierungsring



Gefügter CFK-Verbund



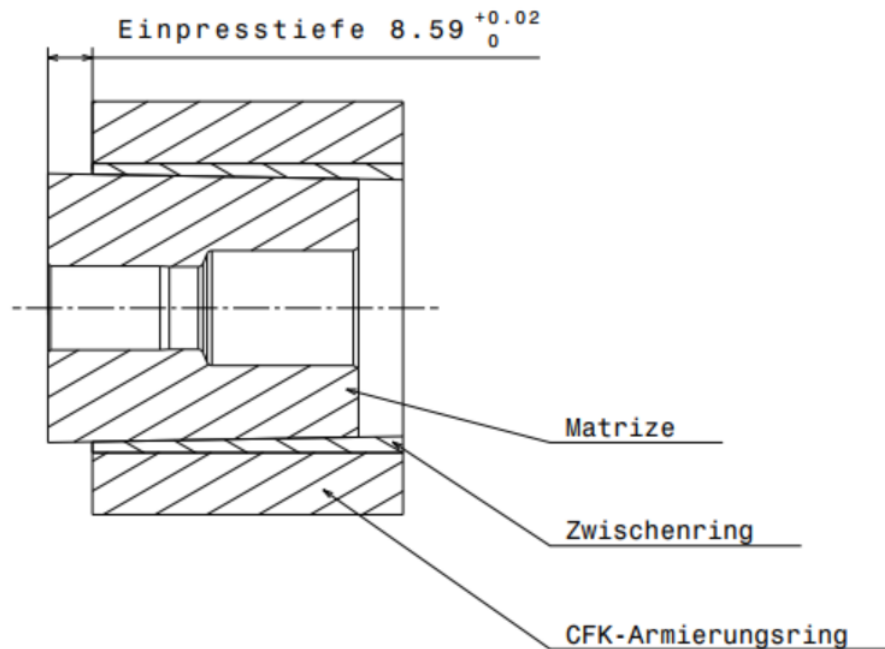
Einschrumpfen



Ergebnisse Konzept 1 (thermisch gefügter Armierungsring)

Mechanisches Fügen von Matrize und dem CFK-Verbund

- Konstruktiv vorgesehenes **Übermaß** der einzupressenden Matrize von **0,3mm** (auf den Durchmesser bezogen)
- Resultierende **Einpresstiefe** von **8.59mm**



→ Versagen des CFK-Armierungsringes durch Rissbildung über die gesamte Wandstärke

Einpressen der Matrize

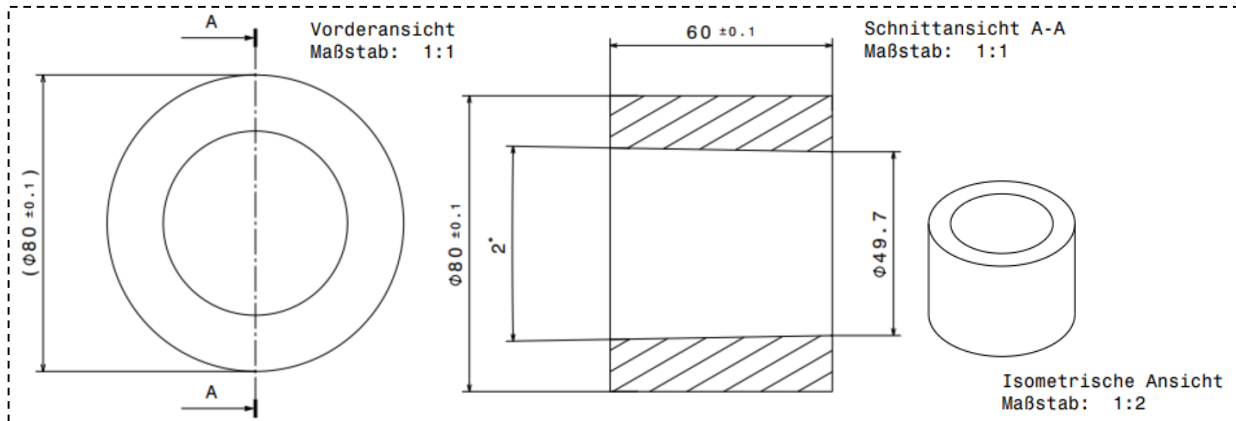


CFK-Verbund nach Fügen

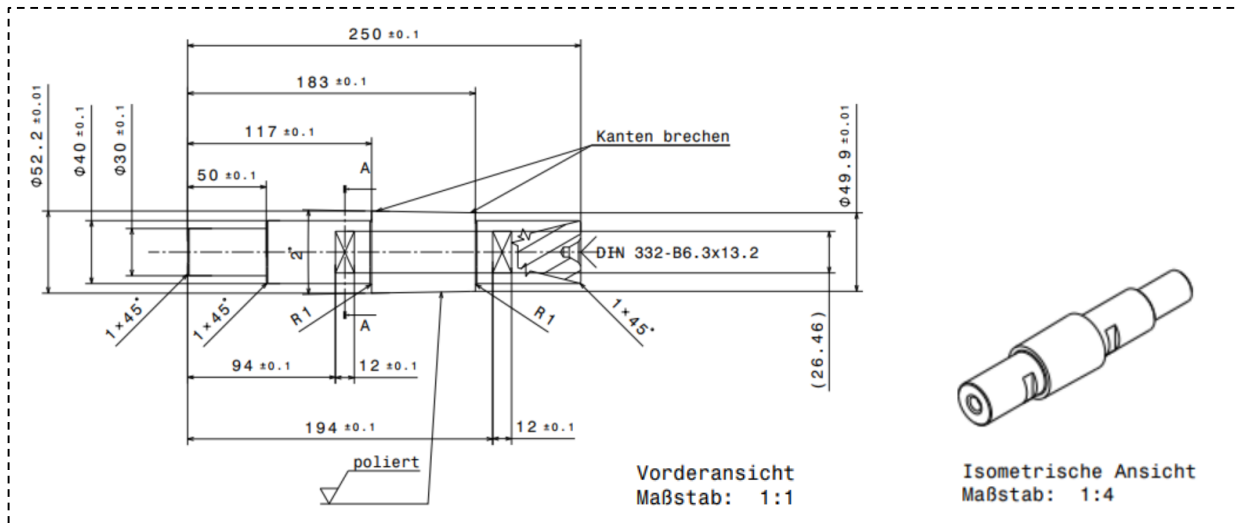


Ergebnisse Konzept 2 (kegeliger Armierungsring)

Technische Zeichnung des CFK-Armierungsringes

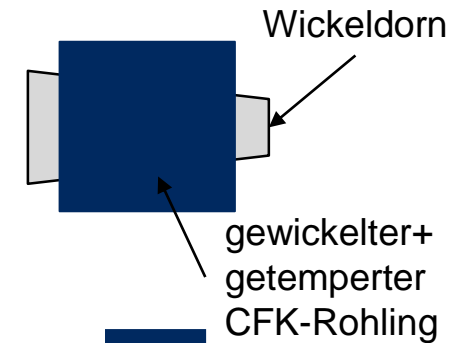


Technische Zeichnung des kegeligen Wickeldorns



Herstellung

- Herstellung des CFK-Armierungsringes durch das **Institut für Flugzeugbau (IFB) der Universität Stuttgart**



Ein Wickelvorgang auf Dorn ergibt einzelnen Armierungsring

Anfallende Kosten:

- CFK-Armierungsring = ~250 €
➔ Einsatz von imprägnierten Hochmodulfasern nach dem Verfahren der Universität Stuttgart (Innfa GmbH)

Ergebnisse Konzept 2 (kegeliger Armierungsring)

Wickeln des CFK-Armierungsringes mit kegler Innenkontur

- Vorbereiten und Eintrennen des Wickelkerns und der Faserfixierung
- Wickeln der CFK-Armierung mit vorimprägnierten hochmoduligen Kohlefasern (Tenax) nach dem TPrep Verfahren
- Thermische Nachbehandlung (Härten bei 60°C für 12h und Tempern bei 110°C für 12h) sowie spanende Nachbearbeitung

Wickeldorn mit Faserfixierung



Gewickelter CFK-Armierungsring



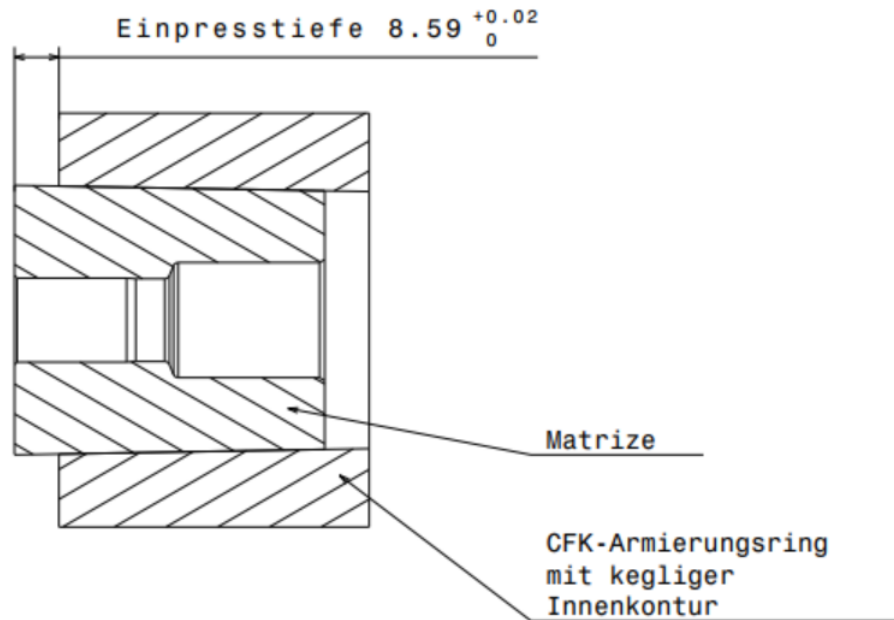
Wickeln der Armierung



Ergebnisse Konzept 2 (kegeliger Armierungsring)

Mechanisches Fügen von Matrize und dem CFK-Verbund

- Konstruktiv vorgesehenes **Übermaß** der einzupressenden Matrize von **0,3mm** (auf den Durchmesser bezogen)
- Resultierende **Einpresstiefe** von **8.59mm**



→ Versagen des CFK-Armierungsrings durch Rissbildung über die gesamte Wandstärke

Einpressen der Matrize



CFK-Verbund nach Fügen



Diskussion weitere Vorgehensweise

Gewonnene Erkenntnisse und Denkanstöße

- **Konzept 1** (thermisch gefügter Armierungsring) **versagt signifikant später** beim Einpressen **als Konzept 2** (kegeliger Armierungsring)
→ Bei beiden Varianten kam Schmierstoff zum Einsatz jedoch deutliche Unterschiede in der auftretenden Reibung (**Stahl/Stahl vs. Stahl/CFK**)
- Unterschiedliche numerische Approximationen der Armierung führen zu stark streuenden auftretenden Dehnungen im Material
→ **Dehnungen** von **0.36-0.56%** am Innendurchmesser des CFK-Armierungsrings wobei die **Dehngrenze** der Kohlenstofffaser bei **0.6%** liegt
- **Vergrößerung** des **Außendurchmessers** der Armierung resultiert nur in einer verhältnismäßig **geringen Reduktion** der maximal auftretenden **Dehnung** des CFK-Armierungsrings
→ Potentiale im Hinblick auf Reduktion des Außendurchmessers der Armierung sowie realisierbare Vorspannungen des Armierungssystems sehr eingeschränkt

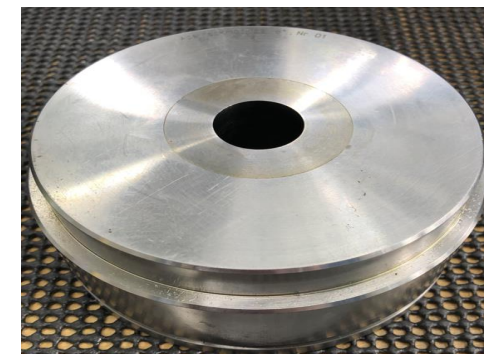
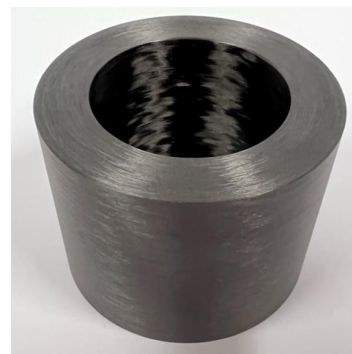
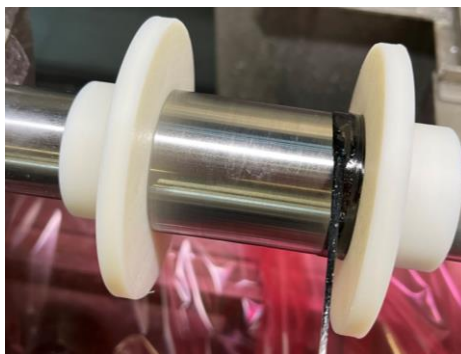
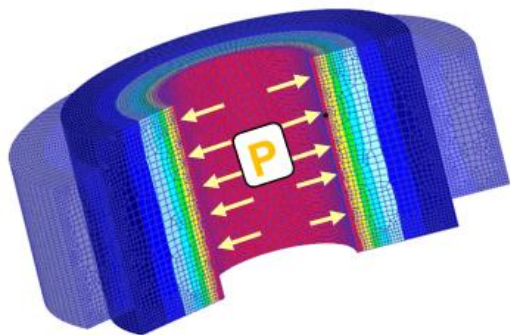
Mögliches weiteres Vorgehen

- **Vier CFK-Armierungsringe** von Konzept 1 noch **vorhanden**
→ Erprobung des maximal realisierbaren Übermaßes bzw. der maximalen Vorspannung



Möglicher Ausblick

- Konstruktive Überarbeitung des Armierungssystems mit Zwischenring



Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

Nikola Nezic

Wissenschaftlicher Mitarbeiter
Abteilung Formgebungsverfahren
Institut für Umformtechnik

Tel.: +49 (0) 711 685-82310
E-Mail: nikola.nezic@ifu.uni-stuttgart.de

