



TECHNISCHE UNIVERSITÄT
CHEMNITZ

Simulation von Passfederverbindungen mittels elastisch-plastischer Materialmodelle



Professur Maschinenelemente und
Produktentwicklung (MP)

Institut für Konstruktions- und
Antriebstechnik (IKAT)

Benjamin Muhammedi, M. Sc.
Prof. Dr. sc. ETH A. Hasse

TU Chemnitz
Reichenhainer Straße 70
2/A305 (neu: C21.305)
09126 Chemnitz

Telefon:
+49 (371) 531 37774
E-Mail:
benjamin.muhammedi@mb.tu-
chemnitz.de



1 Motivation

2 Auslegung von Passfederverbindungen

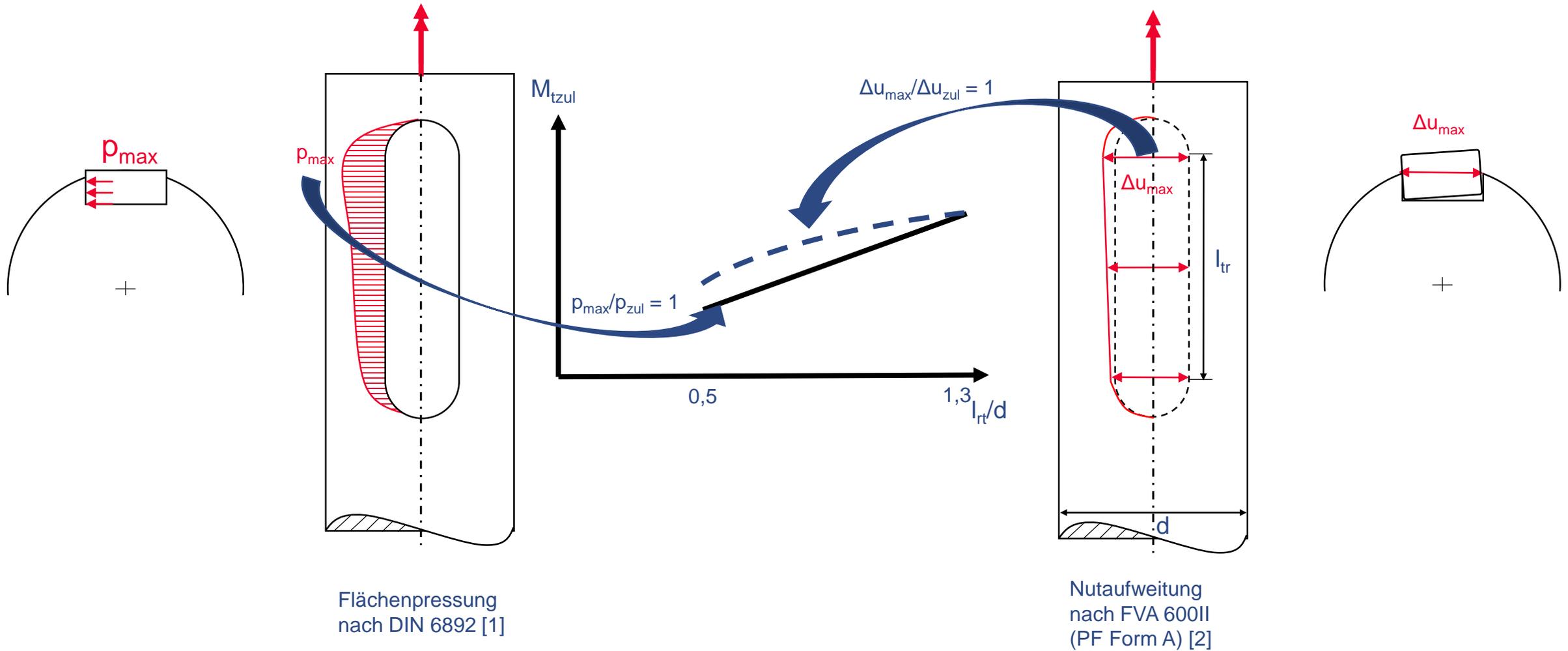
3 Tribologisches System Passfederverbindung und Materialmodellierung

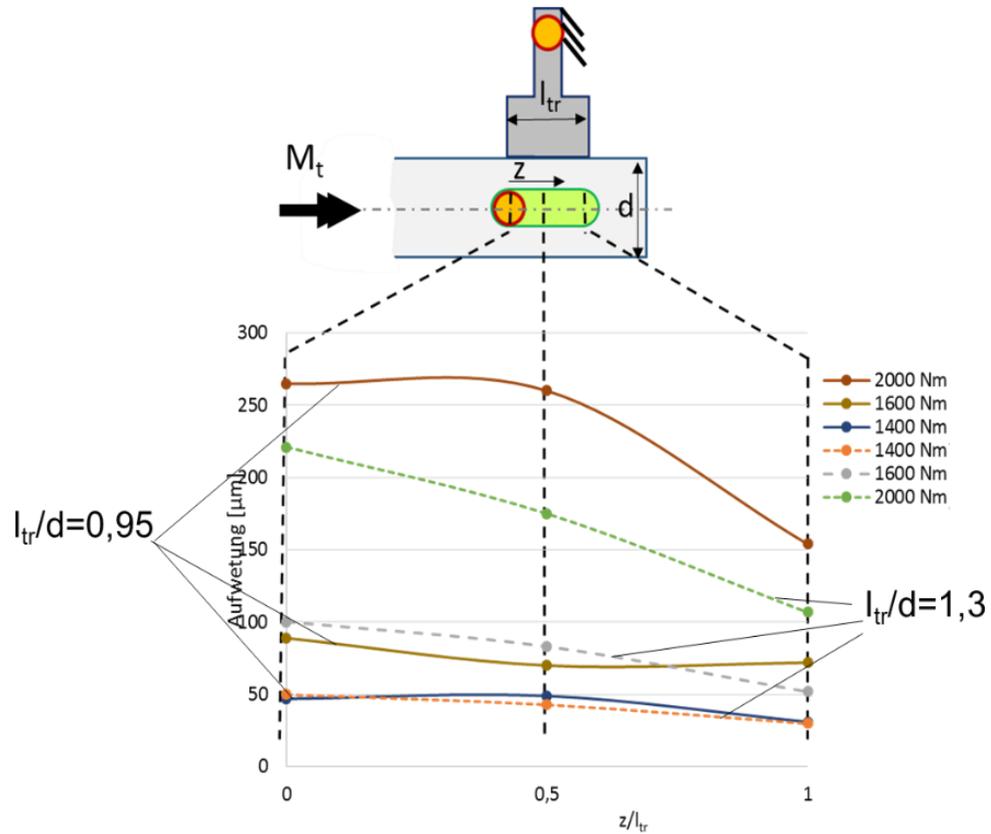
4 Simulation Passfederverbindung

5 Zusammenfassung und Ausblick

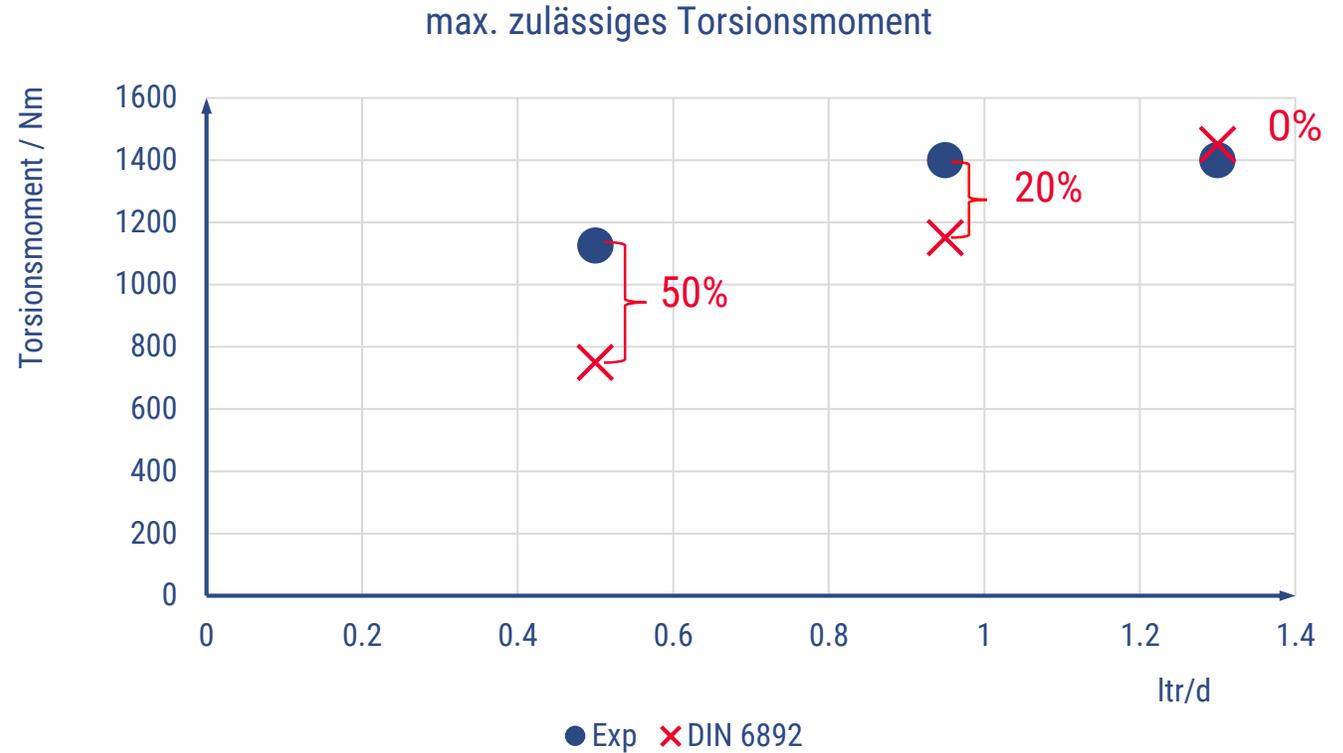
Literatur

Danksagung





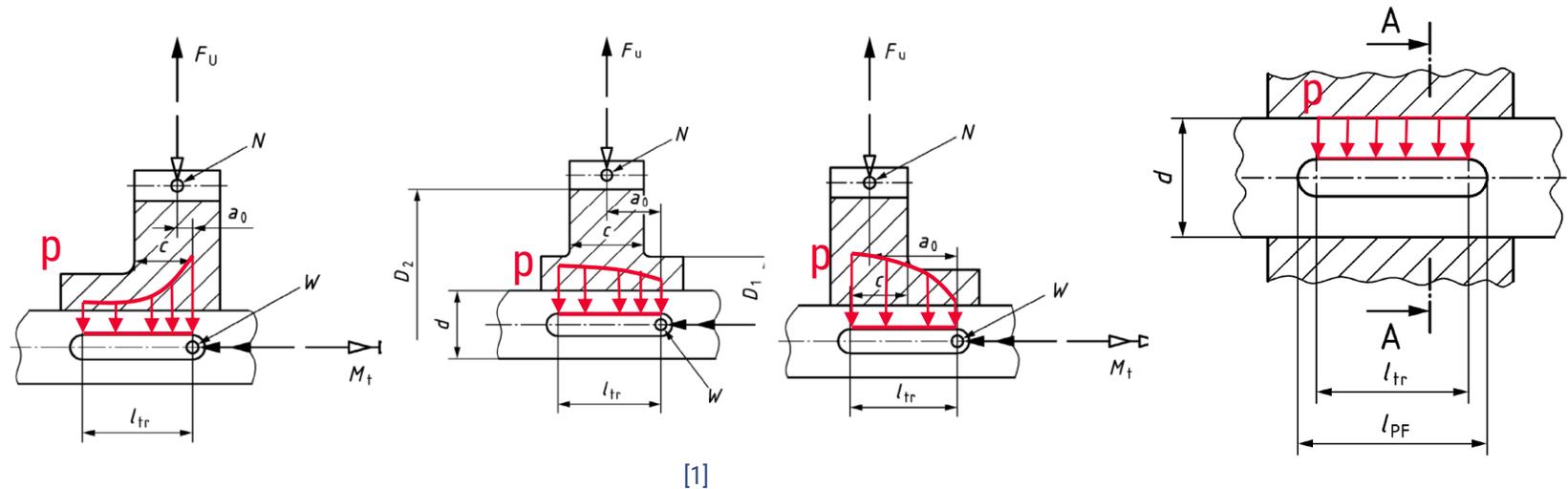
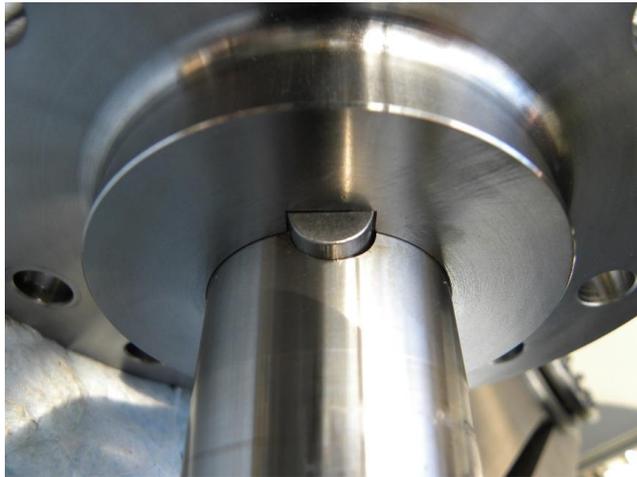
Nutaufweitungen in von l_{tr}/d für verschiedene Lastniveaus nach FVA 600 II [2]



Gegenüberstellung der experimentell bestimmten ertragbaren Torsionsmomente mit den nach DIN 6892 bestimmten Torsionsmomenten nach FVA 600 II [2]

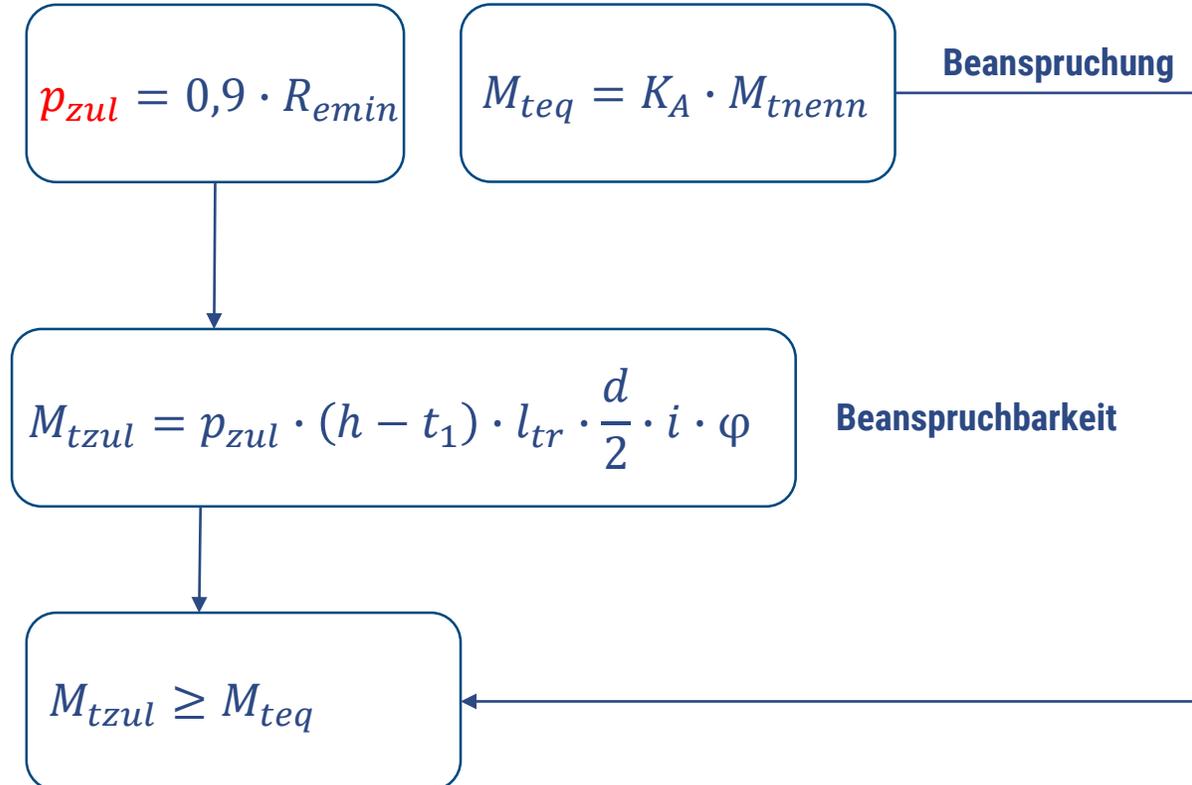
- DIN 6885 bestimmt die Geometrie der Passfedernuten –und Passfedern
- Berechnung findet mittels DIN 6892 statt
 - Methode A
 - Methode B
 - Methode C

Komplexität

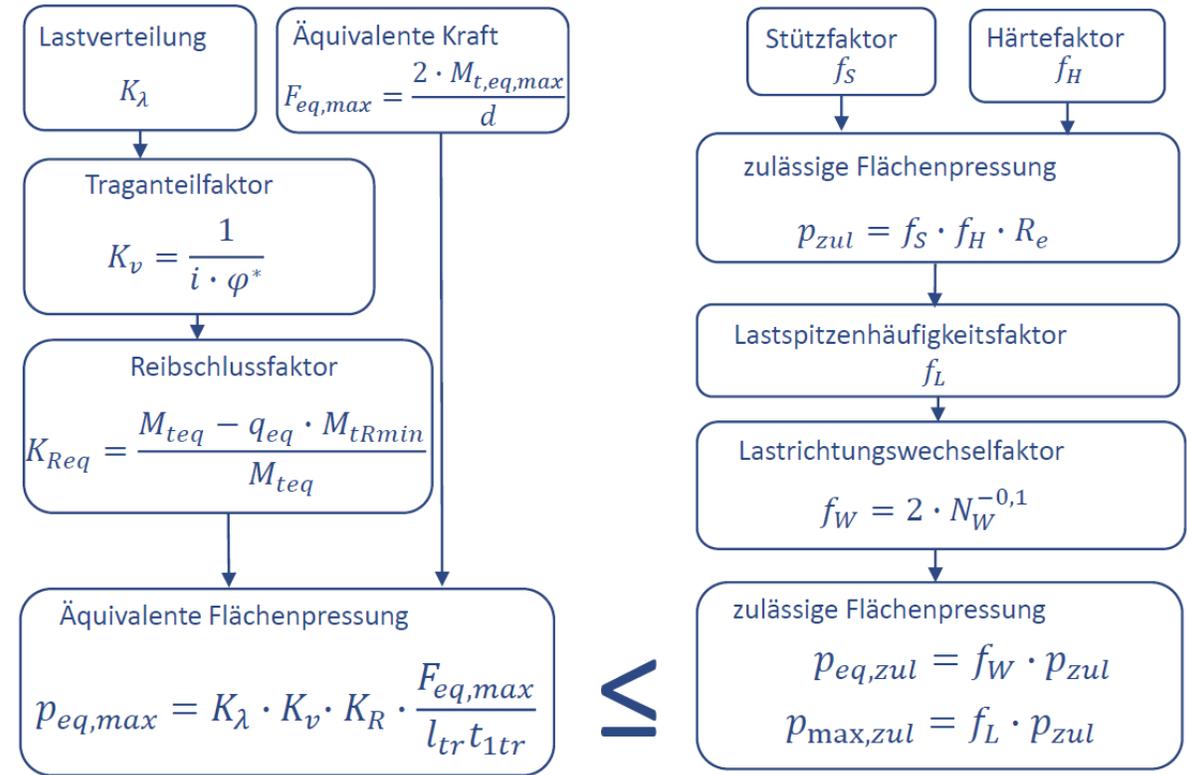


DIN 6892

Methode C und Methode B



Berechnung nach Methode C



Berechnung nach Methode B

+ Sicherheitsnachweis nach DIN 743 erforderlich [3]

DIN 6892

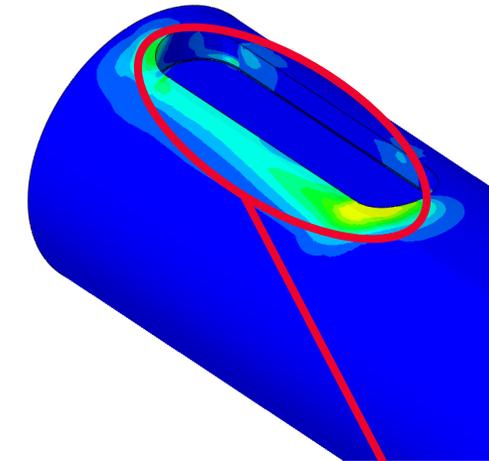
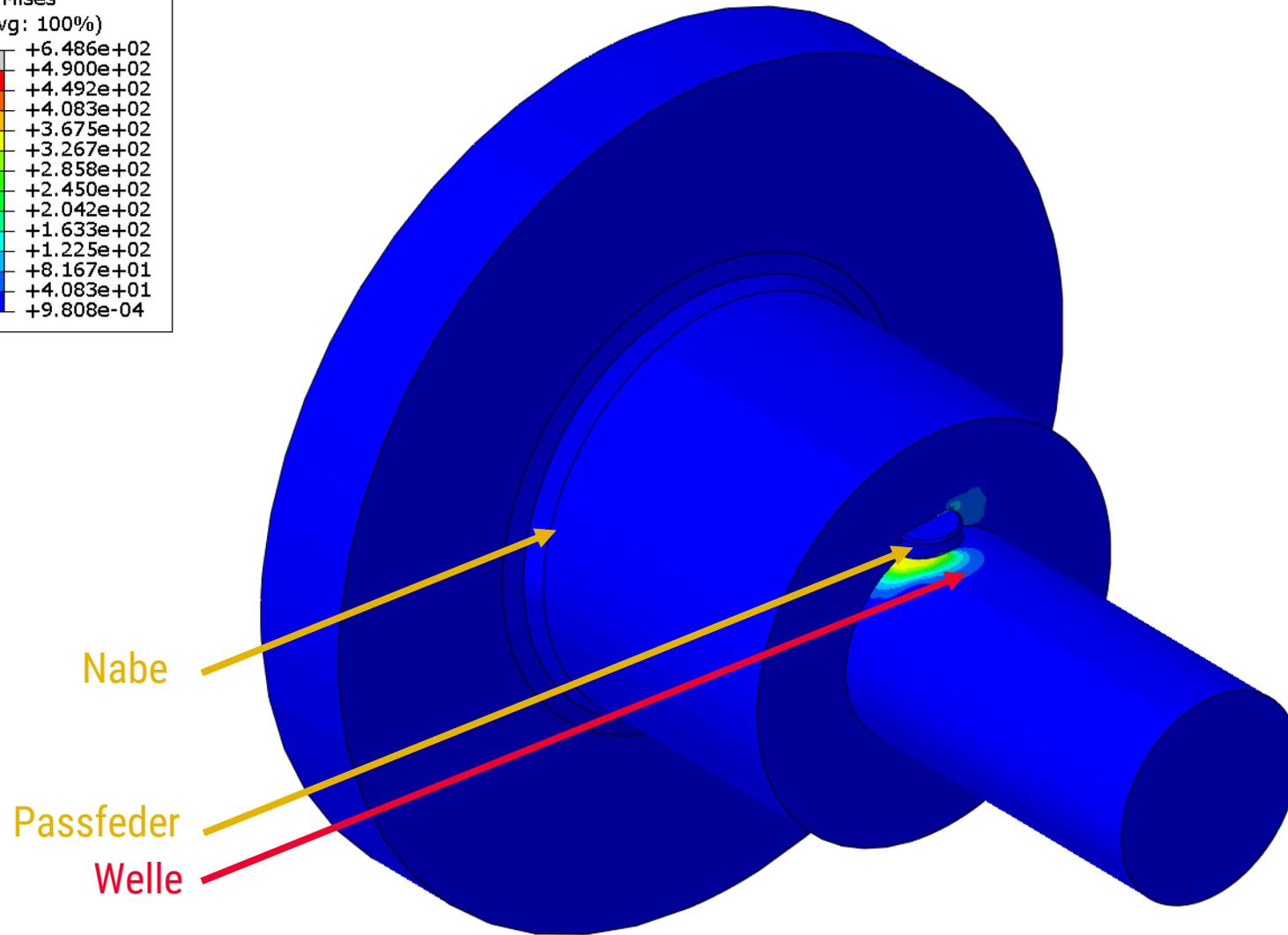
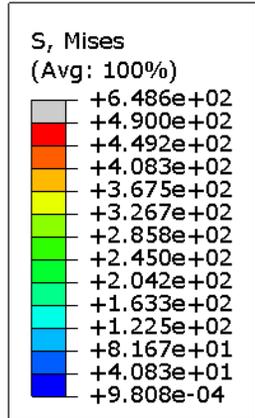
Methode A

Zitat aus DIN 6892 zur Methode A

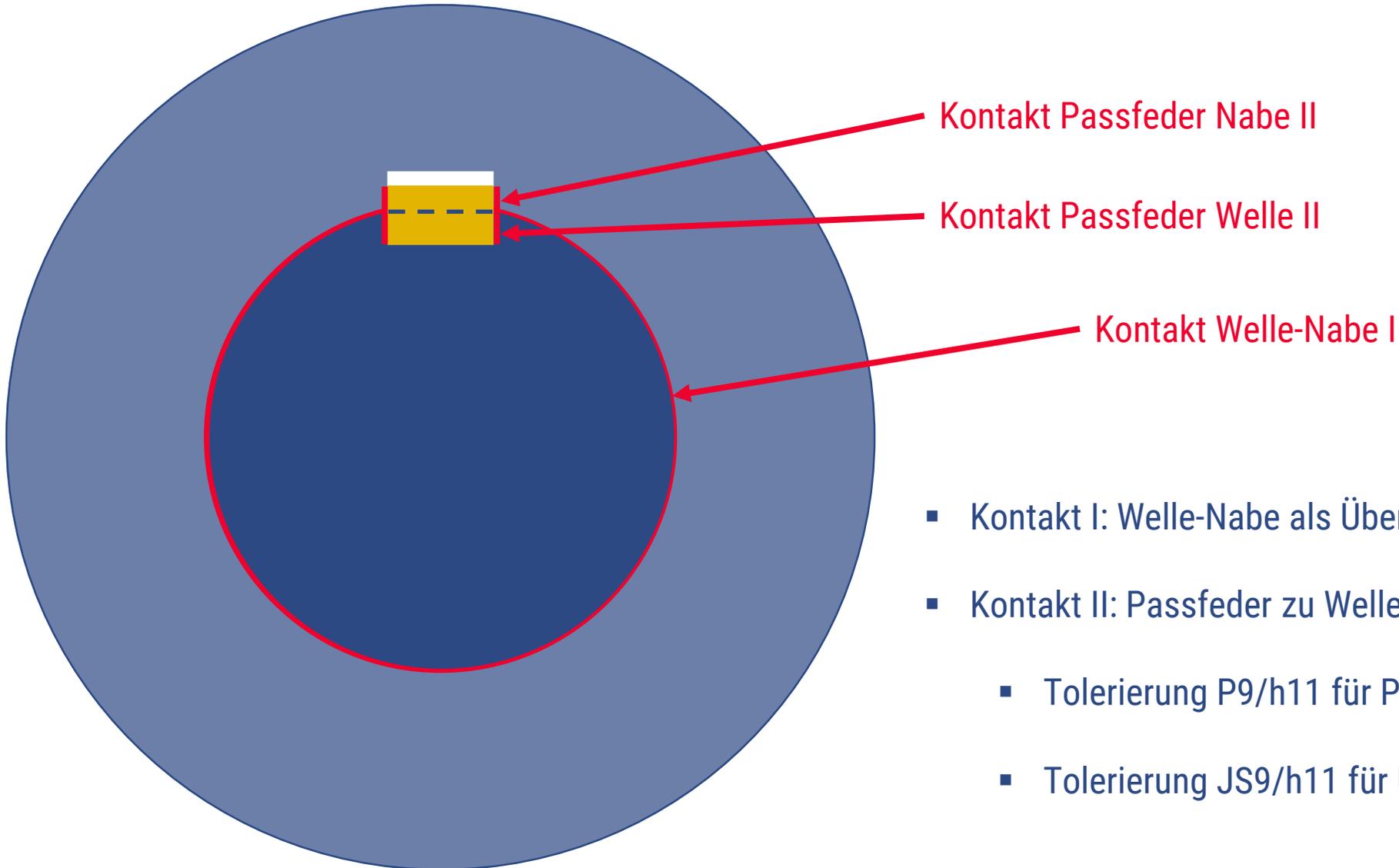
„Der nach dieser Methode zu führende Festigkeitsnachweis orientiert sich an experimentellen Untersuchungen, die das Auftreten von Schwingungsverschleiß in der Passfederverbindung berücksichtigen. Ersatzweise ist auch eine umfassende rechnerische Beanspruchungsanalyse der kompletten Passfederverbindung bestehend aus Welle, Passfeder und Nabe vorstellbar...“

„...Eine allgemeingültige Vorgehensweise zur Berechnungsmethode kann zurzeit noch nicht angegeben werden.“

[1]

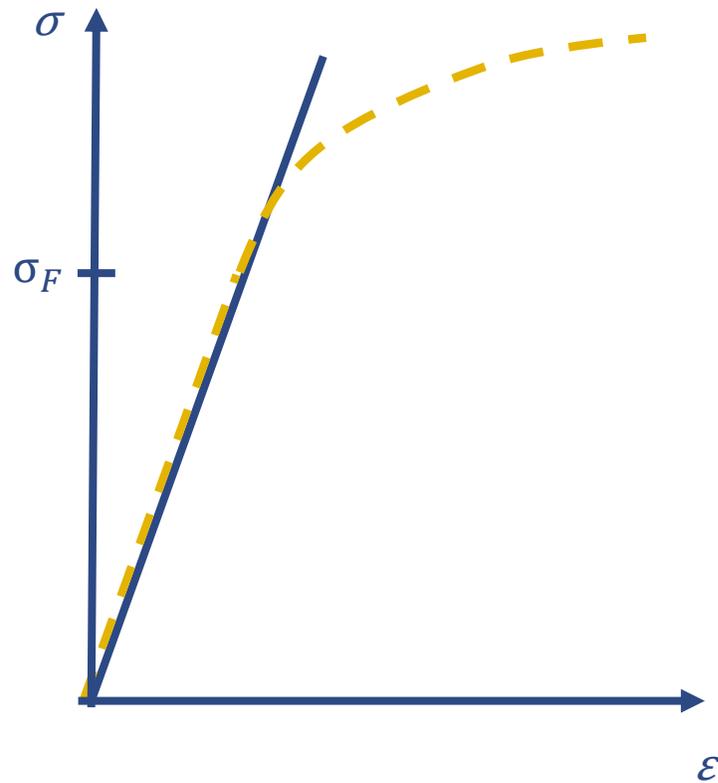


Wellennut als
Untersuchungsbereich



- Kontakt I: Welle-Nabe als Übergangs- oder Presspassung
- Kontakt II: Passfeder zu Wellen- und Nabennut
 - Tolerierung P9/h11 für Presssitz
 - Tolerierung JS9/h11 für Übergangspassung

[4]

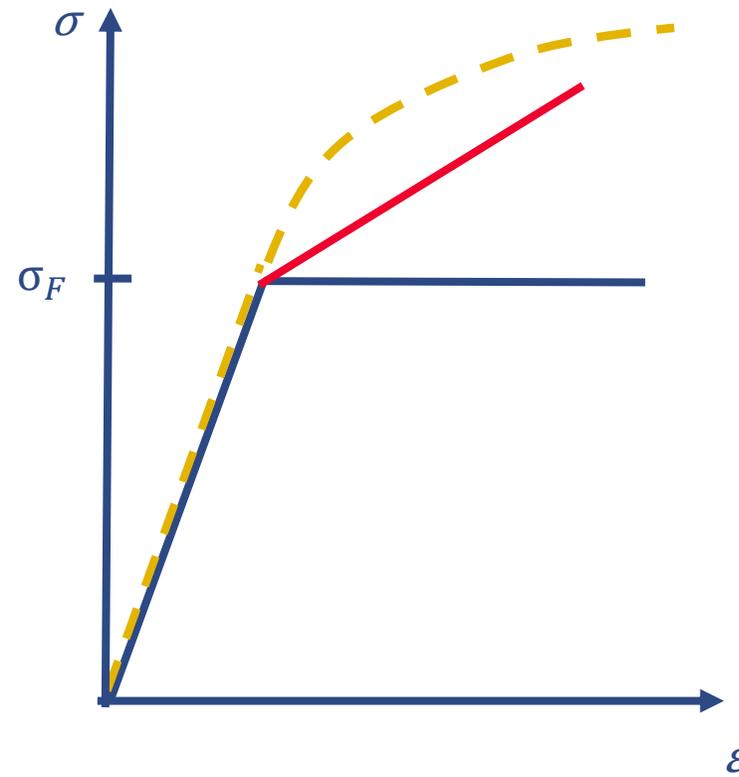


Linear-Elastische Materialmodelle

- Hooke'sches Gesetz

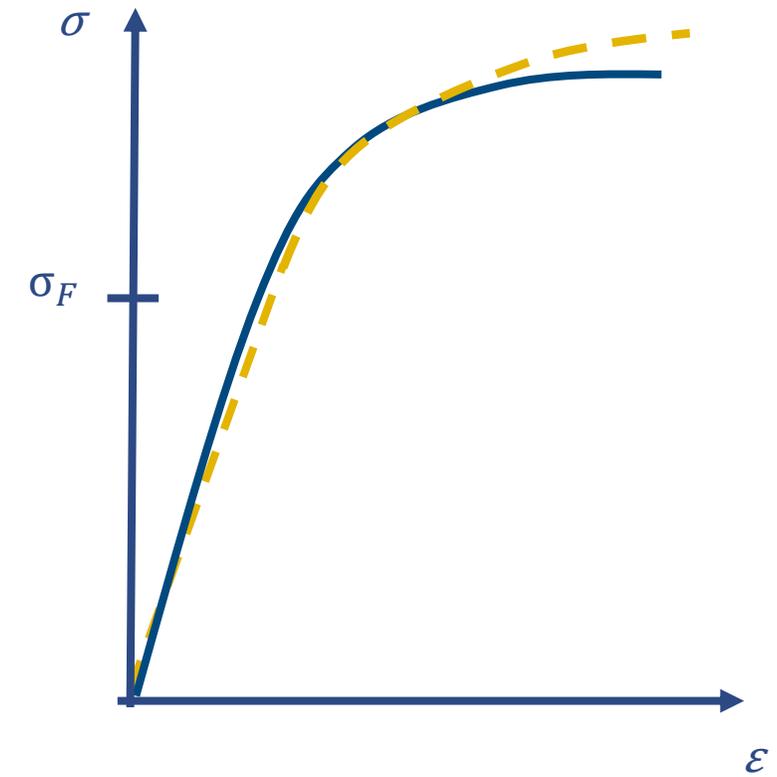
— „reales“ Materialverhalten

— modelliertes Materialverhalten



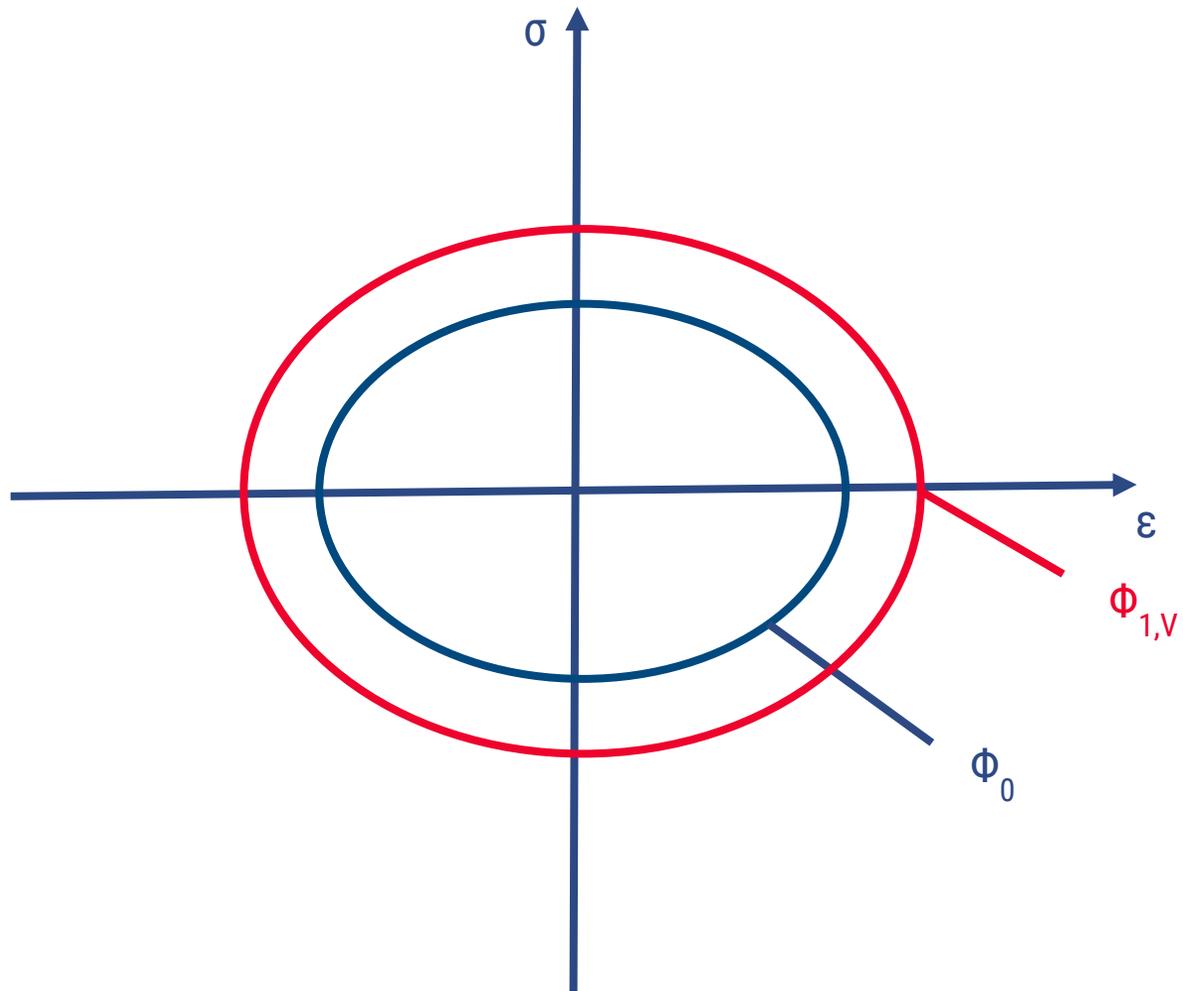
Linear-Elastoplastische Materialmodelle

- Idealplastisches Verhalten
- **Bilineares Verhalten**
- ...

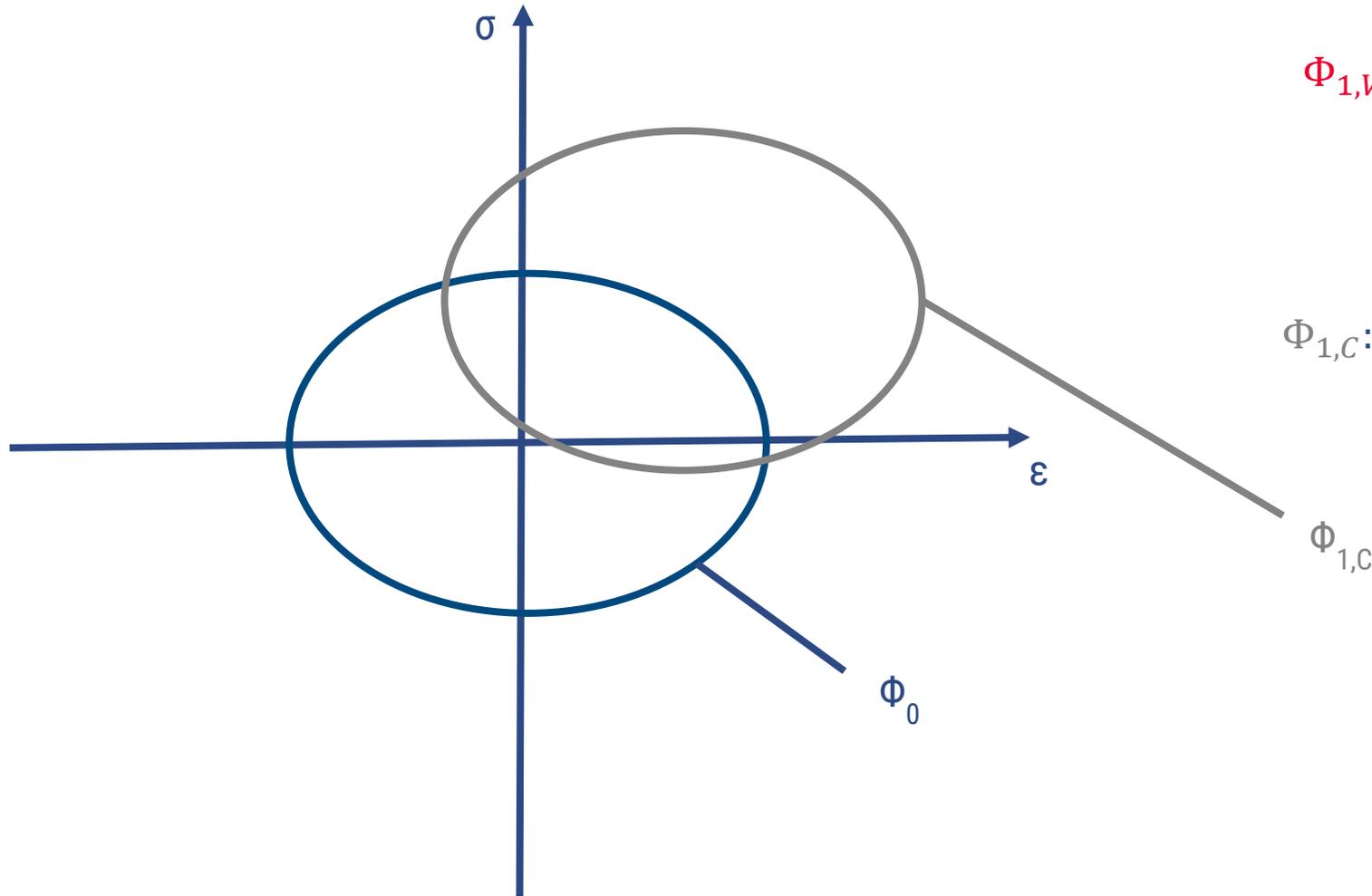


Nichtlinear-Elastoplastische Materialmodelle

- Ramberg-Osgood Kurve
- LUDWIK Ansatz
- ...

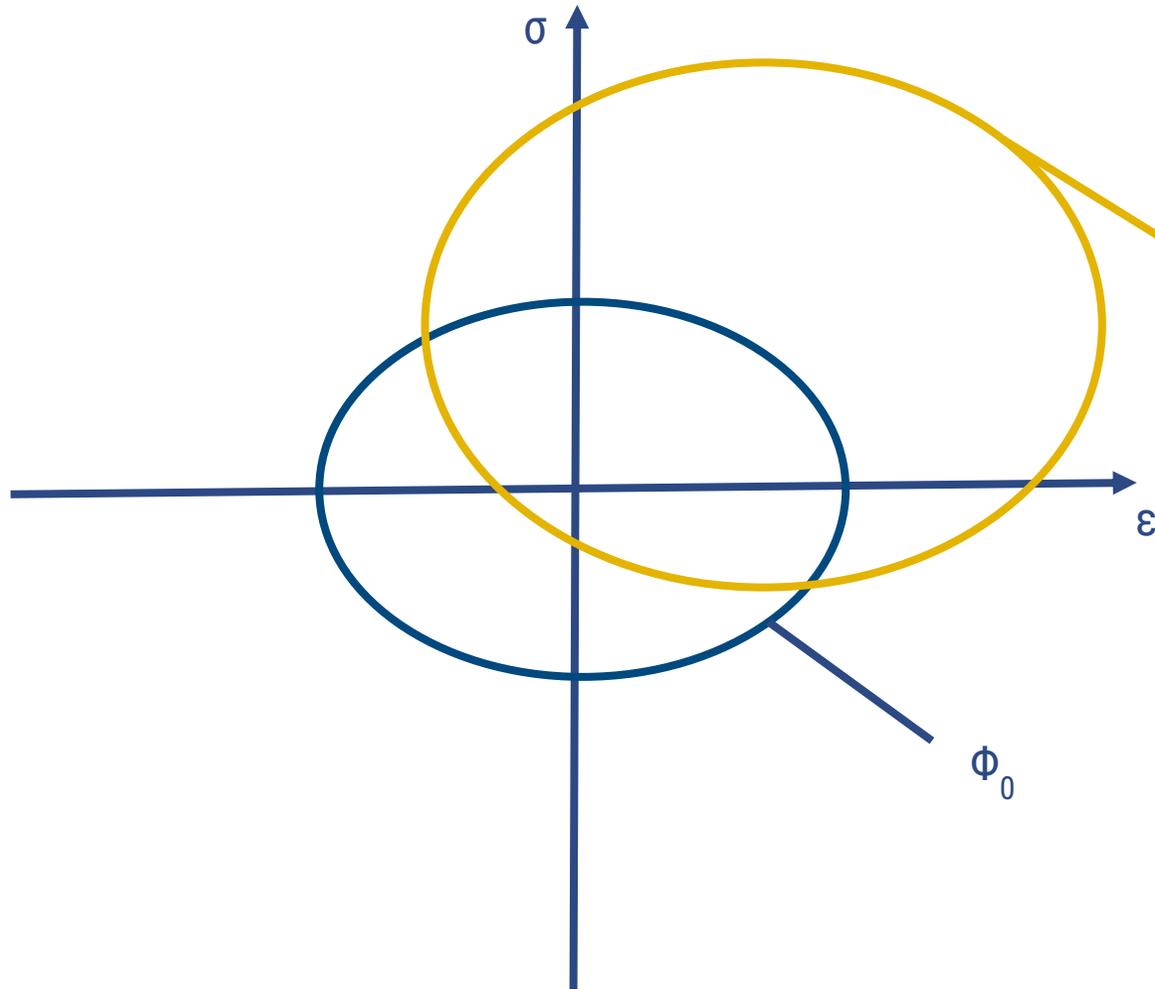


$$\Phi_{1,V}: \sigma_0 = \sigma_F + Q_{inf} \cdot (1 - e^{-b \cdot \epsilon_{pl}})$$



$$\Phi_{1,V}: \sigma_0 = \sigma_F + Q_{inf} \cdot (1 - e^{-b \cdot \epsilon_{pl}})$$

$$\Phi_{1,C}: \alpha_k = \frac{C_k}{\gamma_k} \cdot (1 - e^{-\gamma_k \cdot \epsilon_{pl}}) + \alpha_{k,1} \cdot e^{-\gamma_k \cdot \epsilon_{pl}} \quad [5]$$



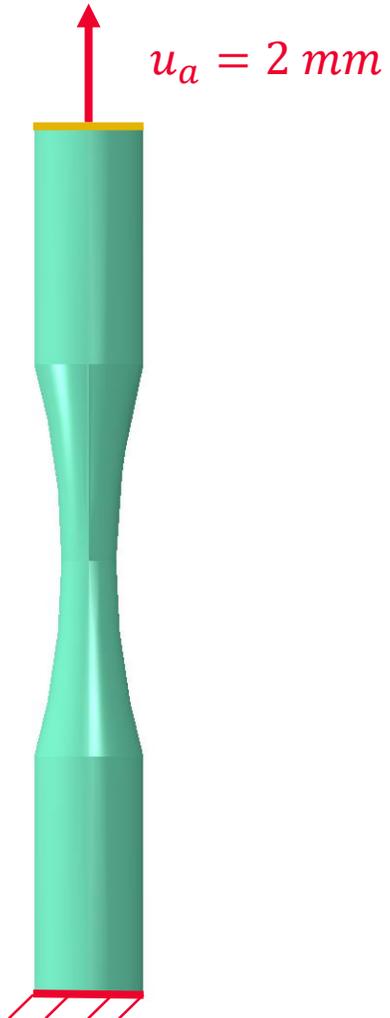
$$\Phi_{1,V}: \sigma_0 = \sigma_F + Q_{inf} \cdot (1 - e^{-b \cdot \epsilon_{pl}})$$

$$\Phi_{1,C}: \alpha_k = \frac{C_k}{\gamma_k} \cdot (1 - e^{-\gamma_k \cdot \epsilon_{pl}}) + \alpha_{k,1} \cdot e^{-\gamma_k \cdot \epsilon_{pl}}$$

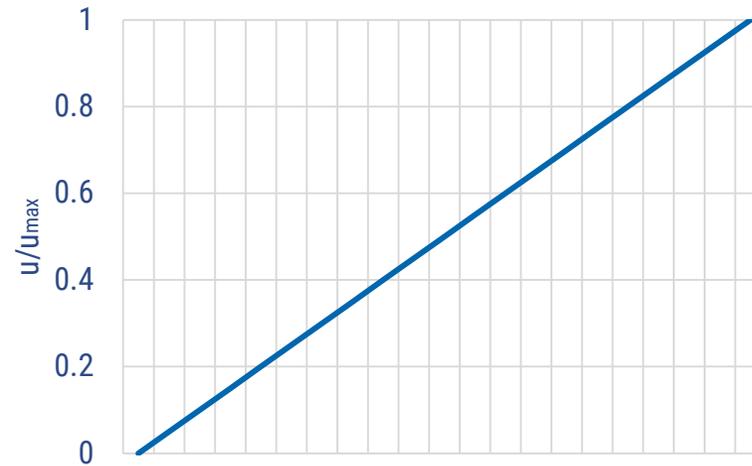
[5]

$\Phi_{1,VC}$

$$\Phi_{1,VC} = \text{superposition}(\Phi_{1,V} | \Phi_{1,C})$$



$$u(t) = u_a(t)$$

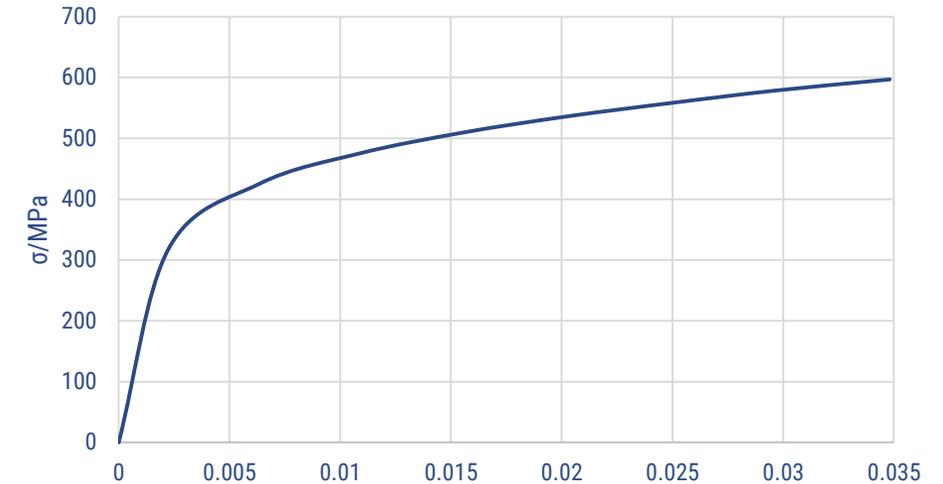


Verlauf der Beanspruchungs-Zeit-Funktion

$$K' = 984 \text{ MPa}$$

$$n' = 0,15$$

$$\epsilon_{ges} = \frac{\sigma}{E} + \left(\frac{\sigma}{K'}\right)^{n'}$$

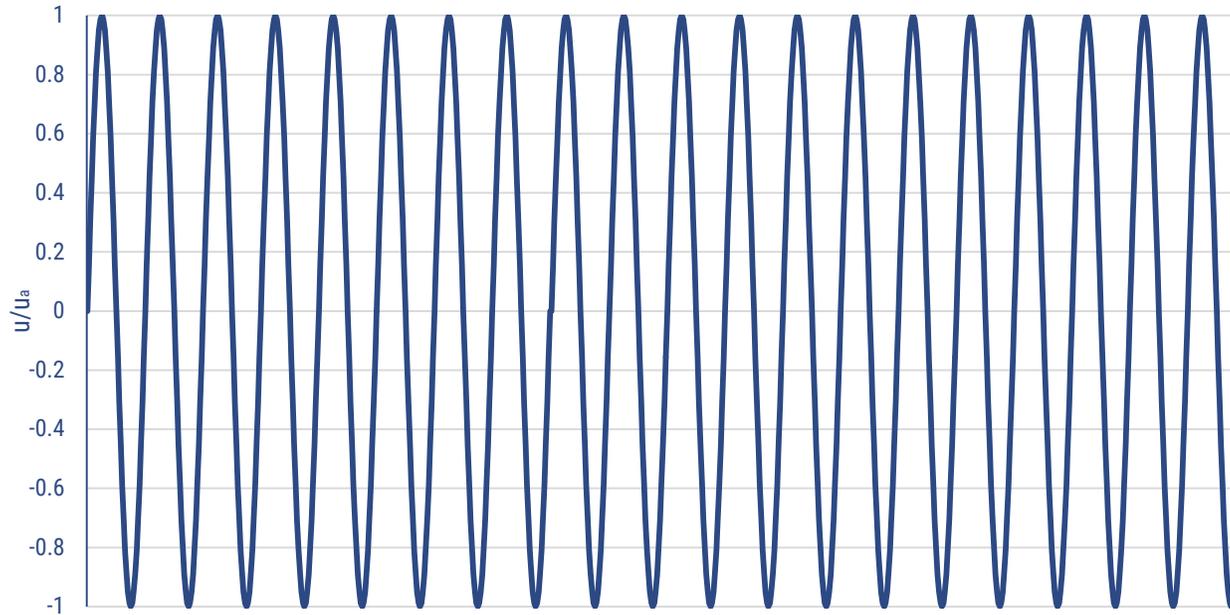


Spannung-Dehnungskurve mittels UML



$u_a = 1 \text{ mm}$

$$u(t) = u_a \cdot \sin(t)$$



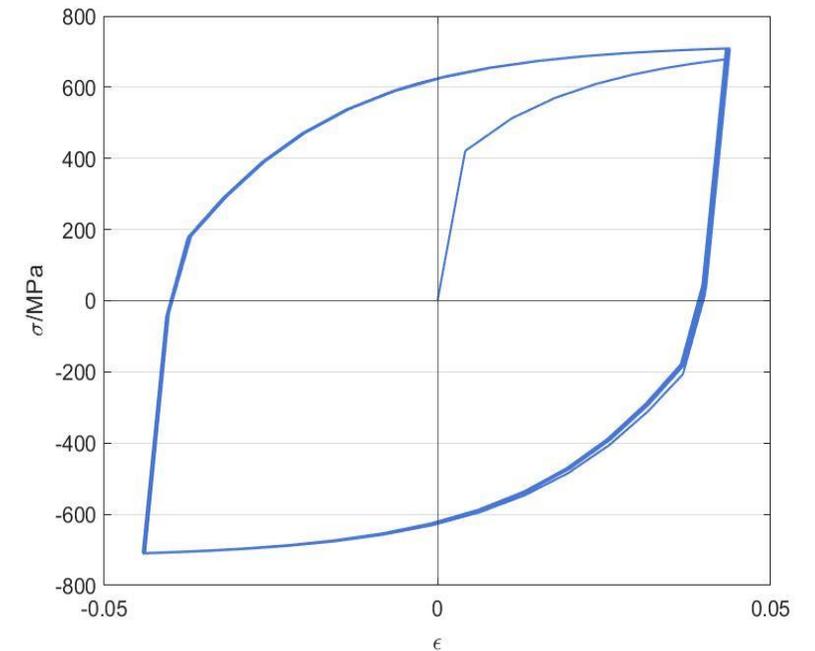
Verlauf der Beanspruchungs-Zeit-Funktion

$$Q_{inf} = 32,74 \text{ MPa}$$

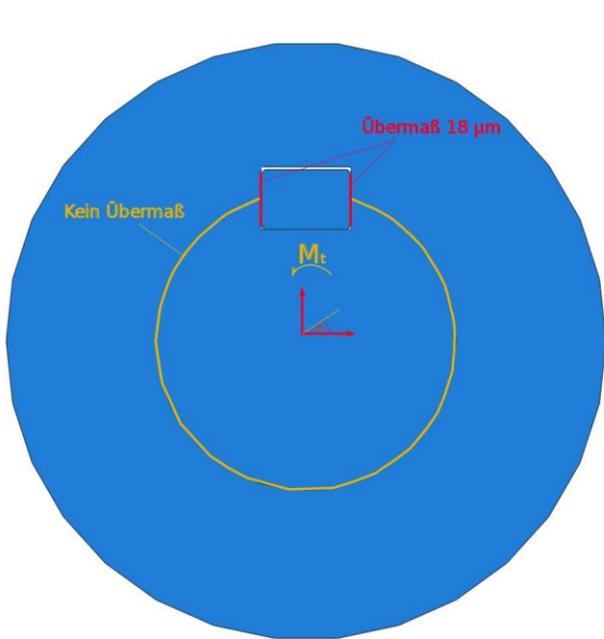
$$b = 249,8$$

$$C_k = 15260 \text{ MPa}$$

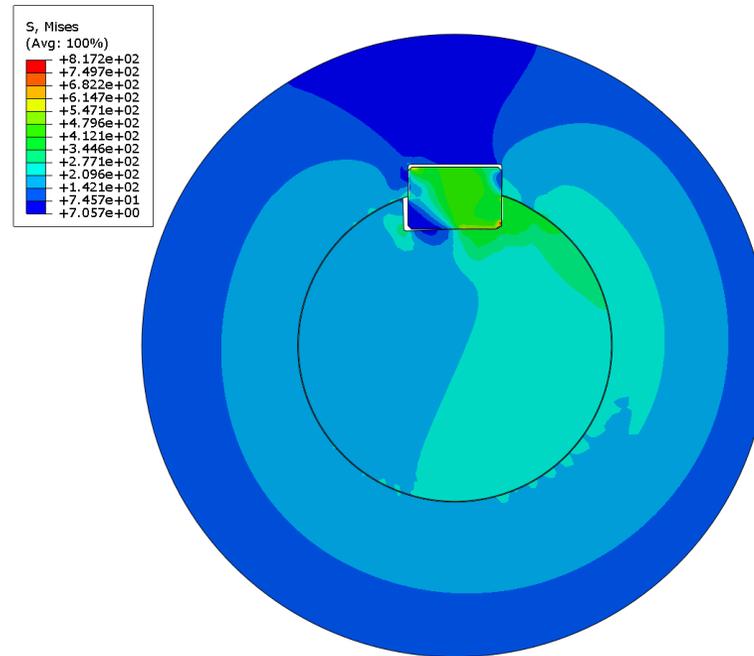
$$\gamma_k = 50,8 \quad [6]$$



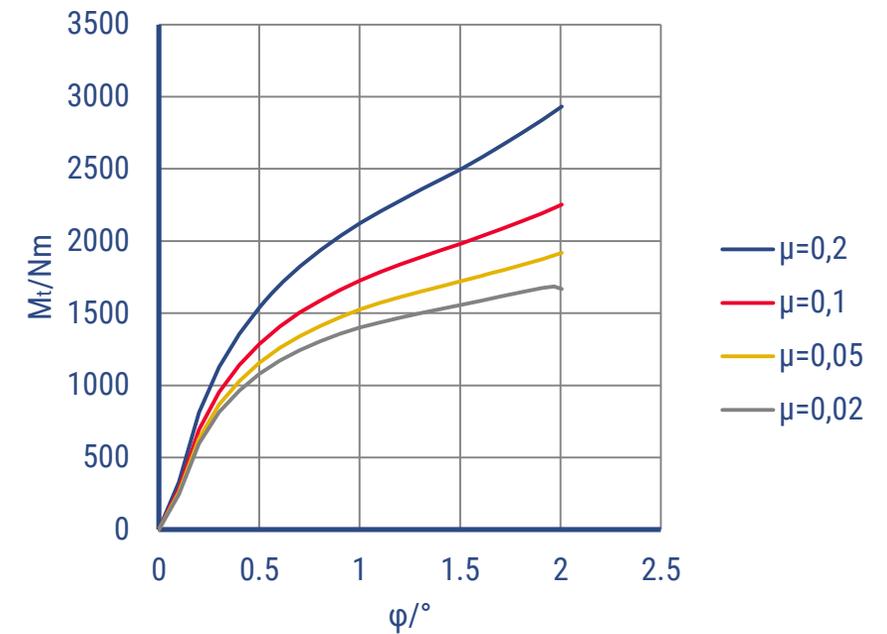
Entwicklung der Hysteresekurve über 100 simulierte Lastwechsel für den Werkstoff C45+N an einer Zug-Druck-Wechselfestigkeitsprobe



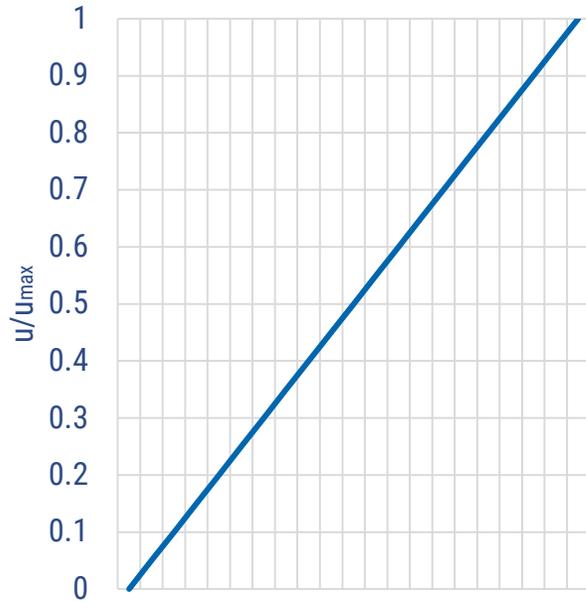
2 D Grundmodell zur Beschreibung des Verkippverhaltens der PF, Modell aufbau, $d = 40 \text{ mm}$, $U_{PF} = 18 \text{ µm}$, $\xi = 0 \text{ ‰}$, $Q_A = 0,5$, drehwinkelgesteuert, elastisch-idealplastisches Materialverhalten



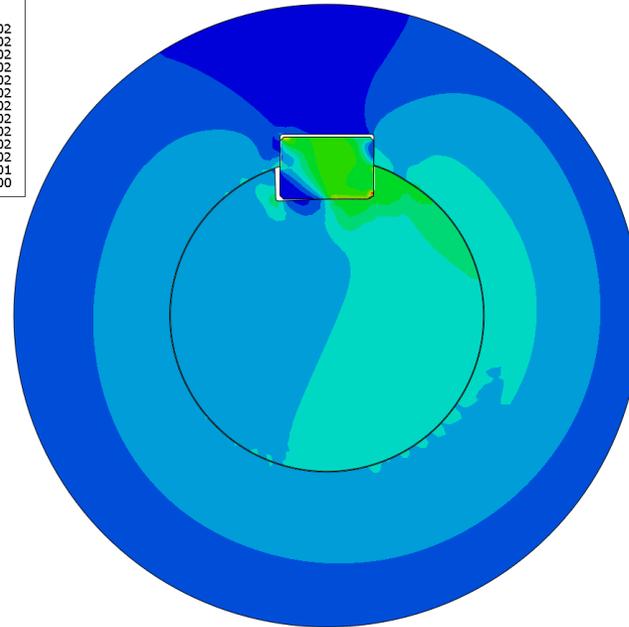
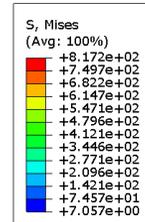
2 D Grundmodell zur Beschreibung des Verkippverhaltens der Passfeder; Darstellung der v. Mises Vergleichsspannung, Scheibendicke 5 mm



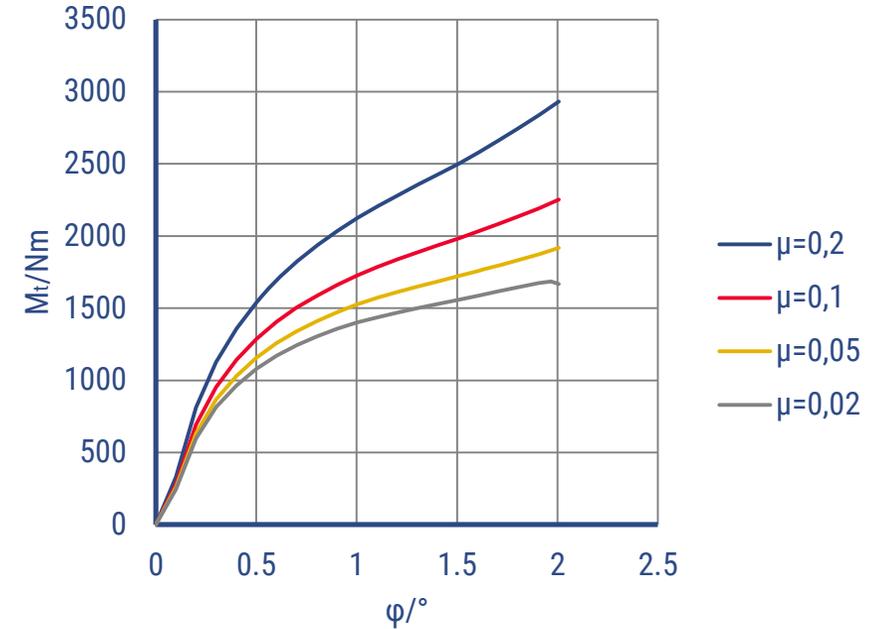
Variation des Reibwerts in der Fuge zwischen Welle und Nabe zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens der Verbindung



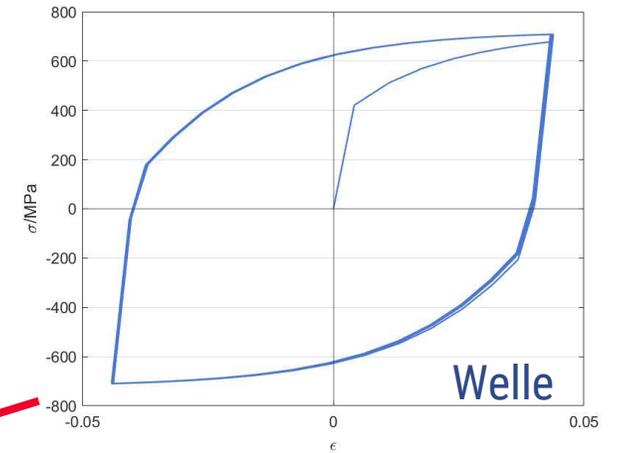
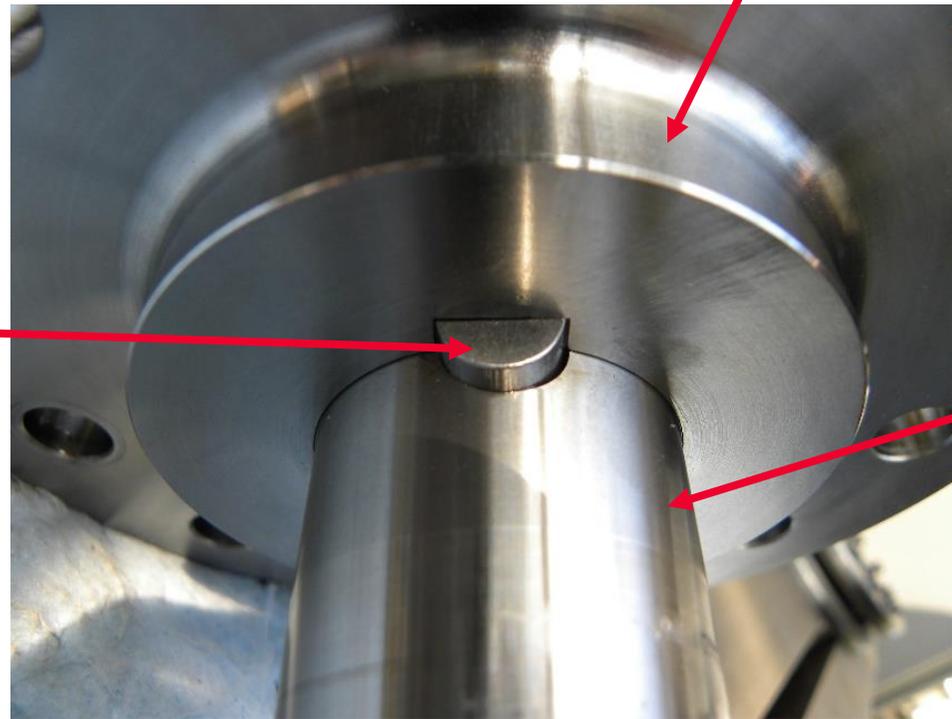
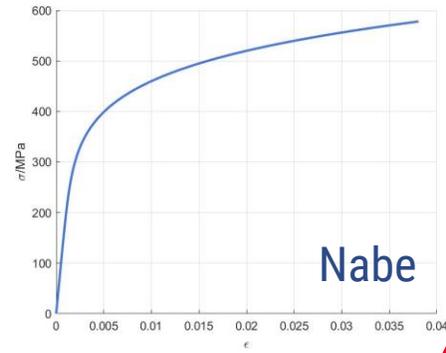
Beanspruchungs-Zeitfunktion: Linearer Lastanstieg



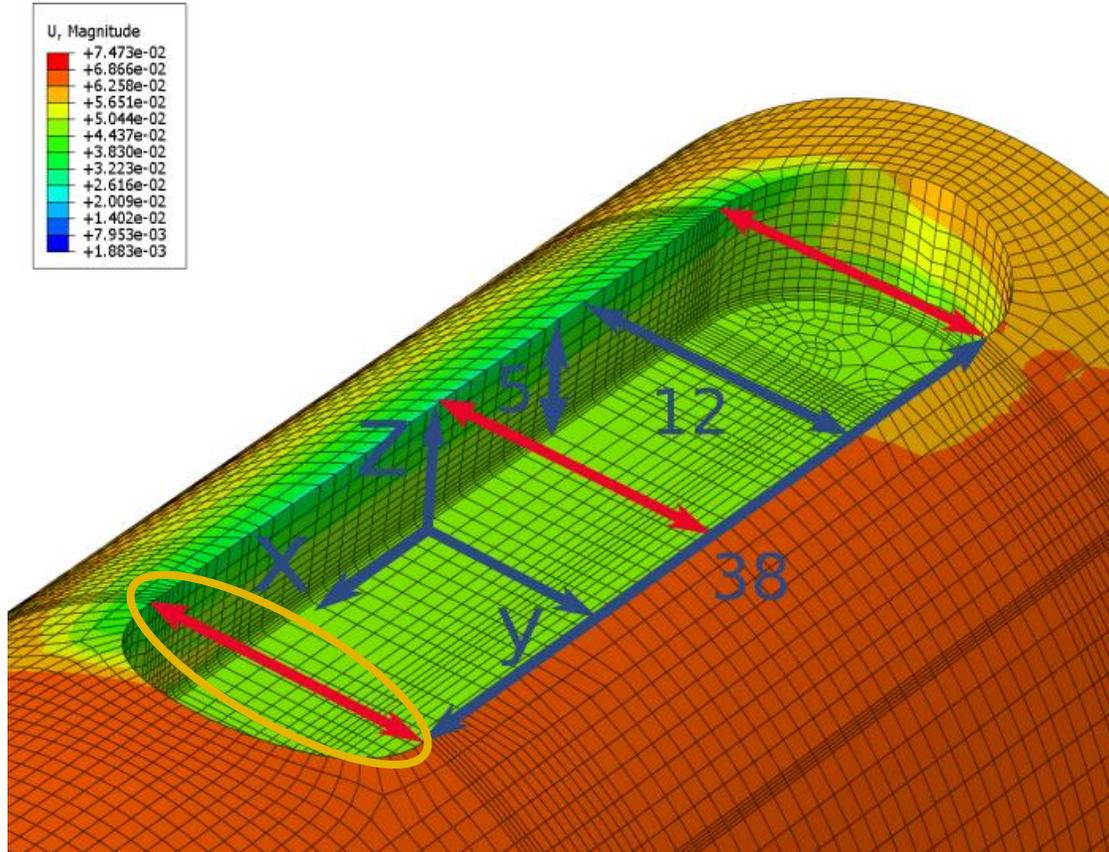
2 D Grundmodell zur Beschreibung des Verkipfverhaltens der Passfeder; Darstellung der v. Mises Vergleichsspannung, Scheibendicke 5 mm



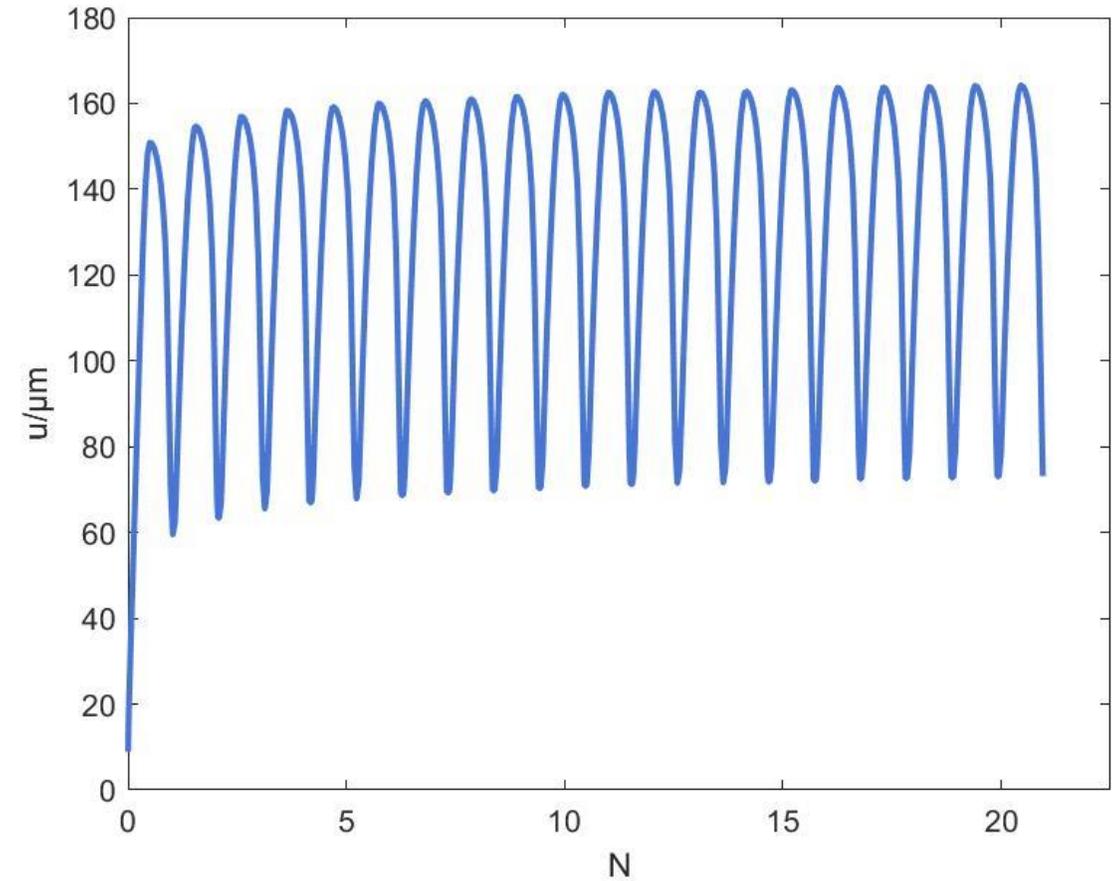
Variation des Reibwerts in der Fuge zwischen Welle und Nabe zur Beschreibung des Übertragungsverhaltens der Verbindung



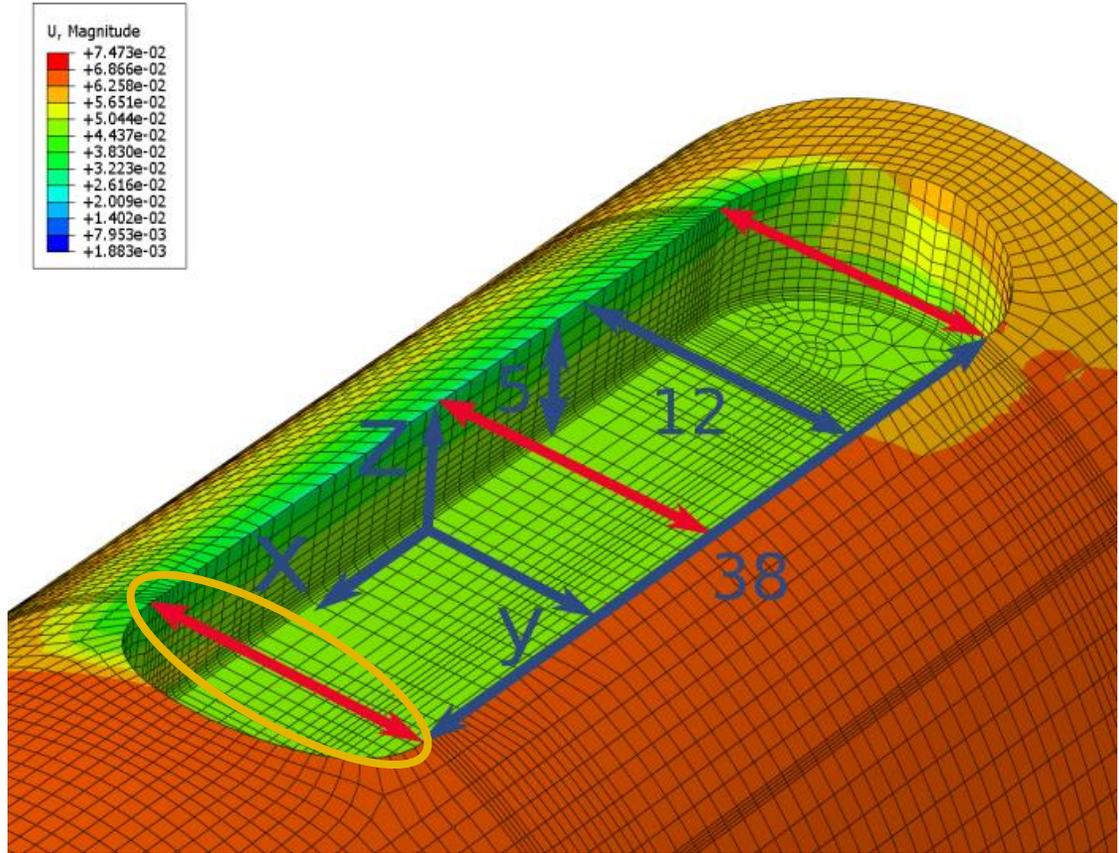
PFV aus FVA 600 II [2]



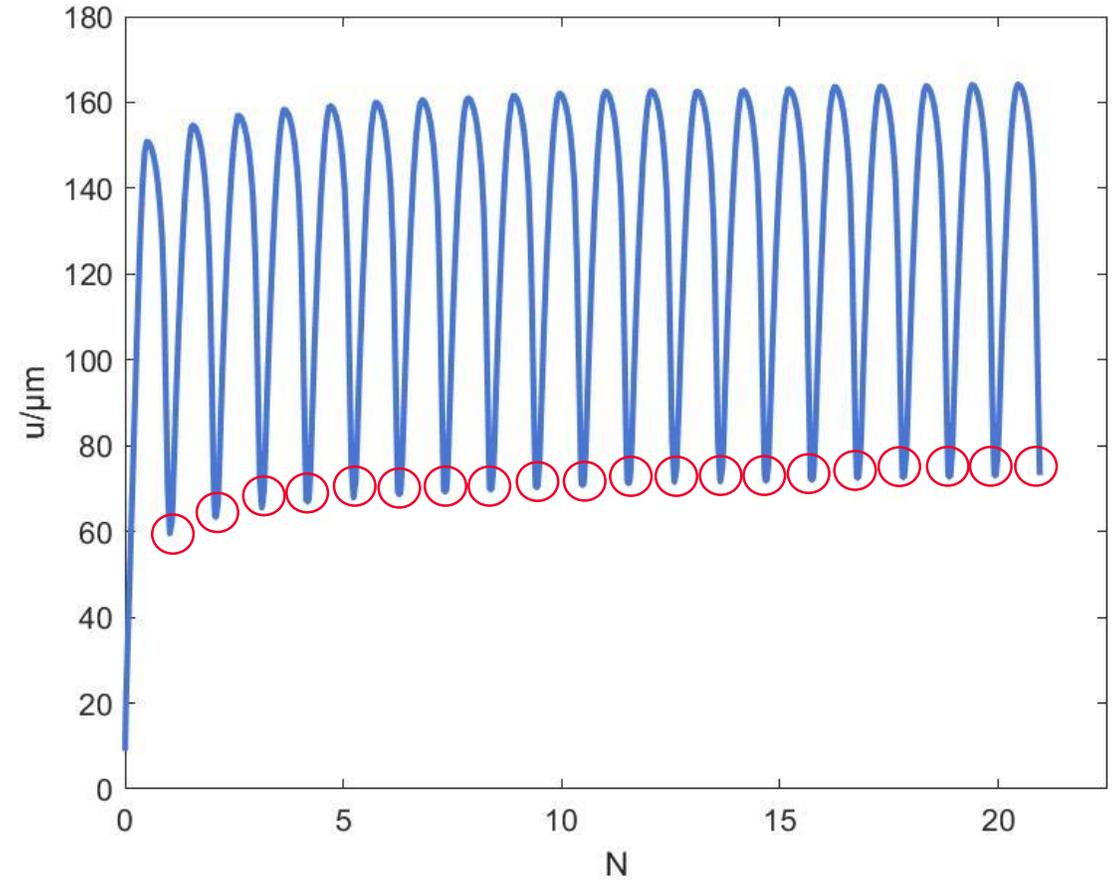
Darstellung des Verschiebungsfeldes im Grundmodell: $d = 40$ mm, PF-Form A, $l_t/d = 0,95$, $R = 0$, $\xi = 0 \%$, $U_{PF} = 20 \mu\text{m}$, $Q_A = 0,5$, $M_T = 2000$ Nm; Werkstoff C45+N Nabe und PF nicht dargestellt



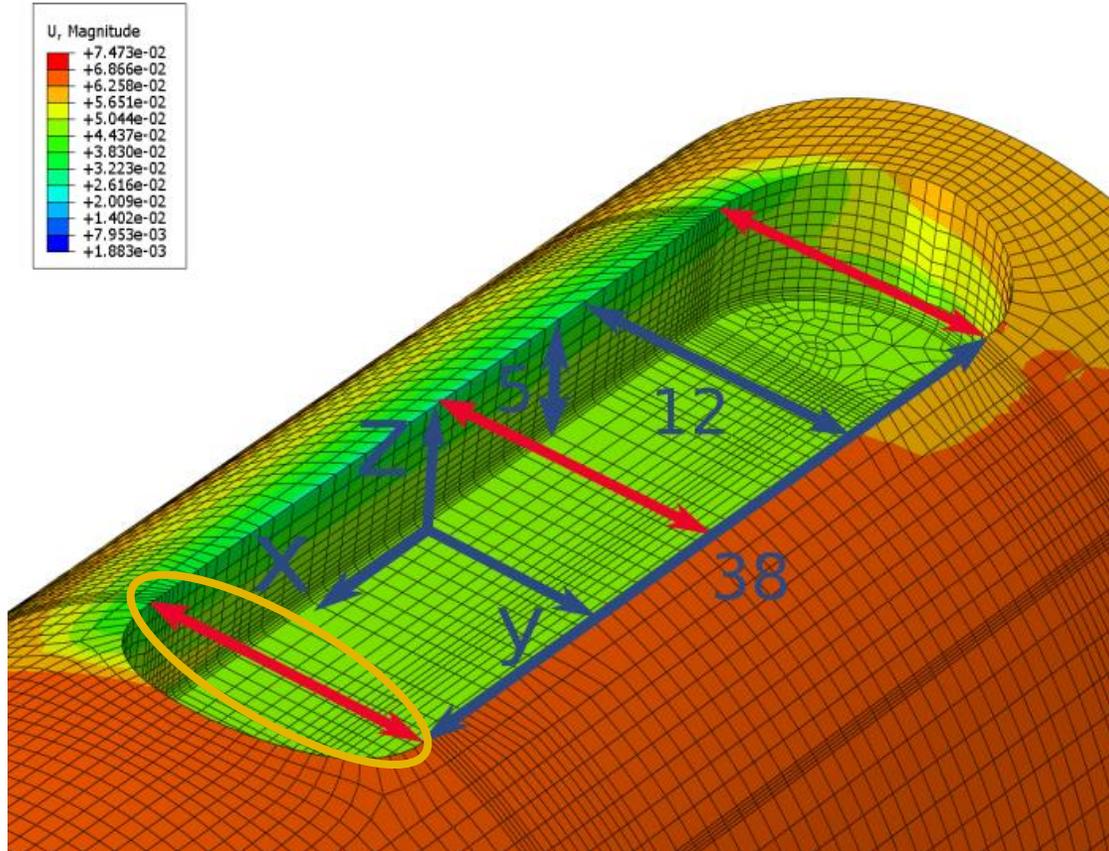
20 simulierte Lastwechsel gemessen an der Position $x = 19$, $y = (0|12)$, $z = 5$ unter Anwendung zyklisch verfestigender Materialmodelle für die Welle für den Werkstoff C45+N am Grundmodell



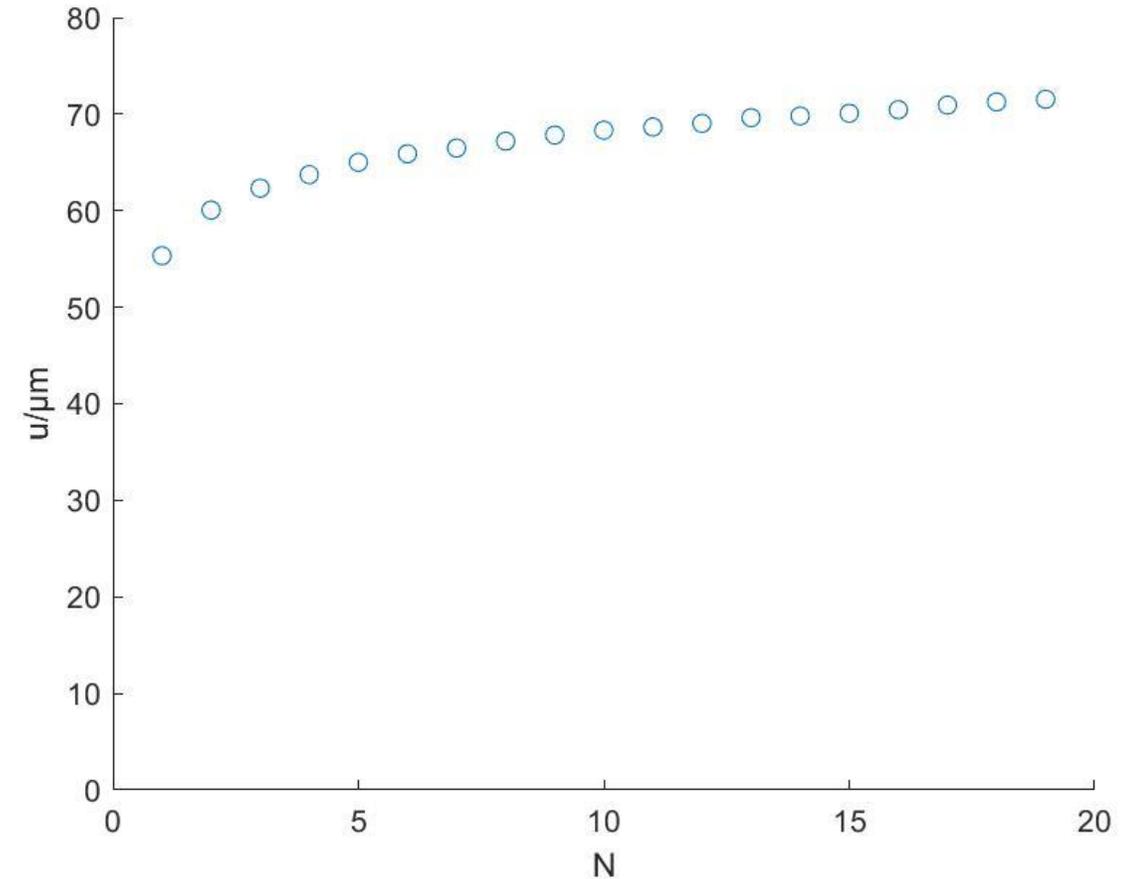
Darstellung des Verschiebungsfeldes im Grundmodell: $d = 40$ mm, PF-Form A, $l_t/d = 0,95$, $R = 0$, $\xi = 0 \%$, $U_{PF} = 20 \mu\text{m}$, $Q_A = 0,5$, $M_T = 2000$ Nm; Werkstoff C45+N Nabe und PF nicht dargestellt



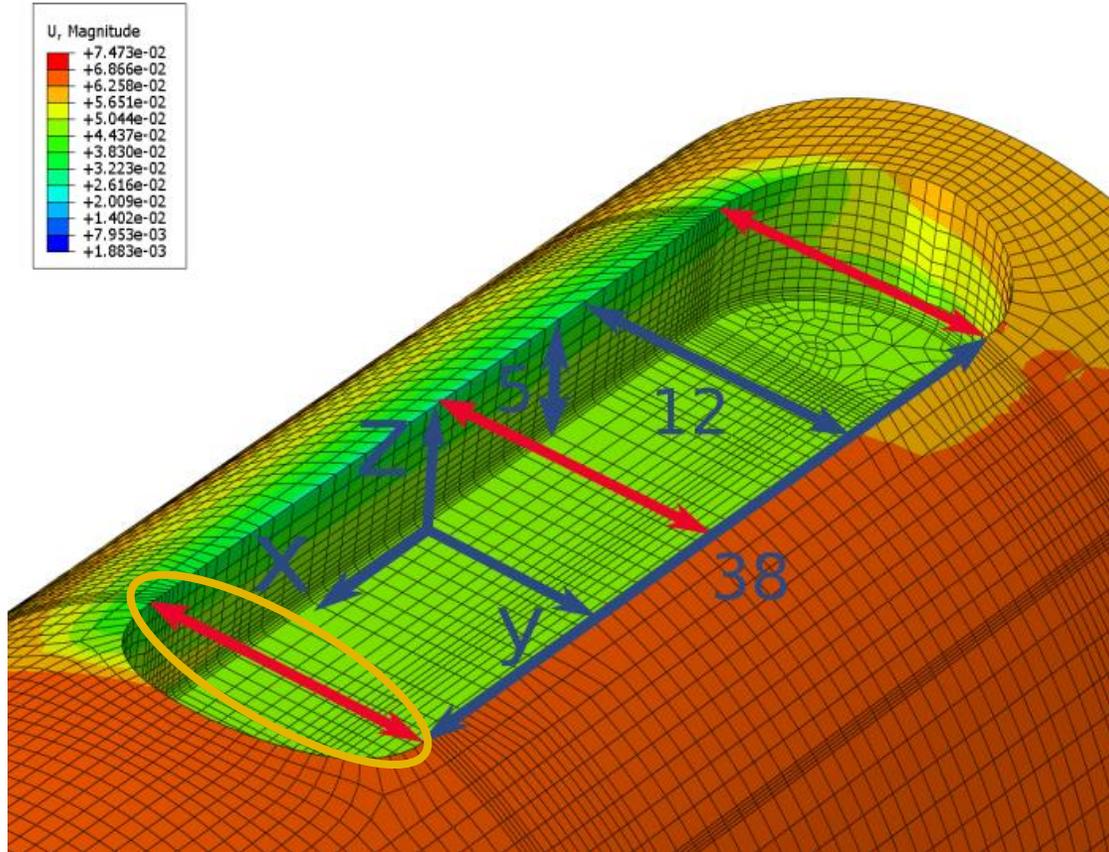
20 simulierte Lastwechsel gemessen an der Position $x = 19$, $y = (0|12)$, $z = 5$ unter Anwendung zyklisch verfestigender Materialmodelle für die Welle für den Werkstoff C45+N am Grundmodell



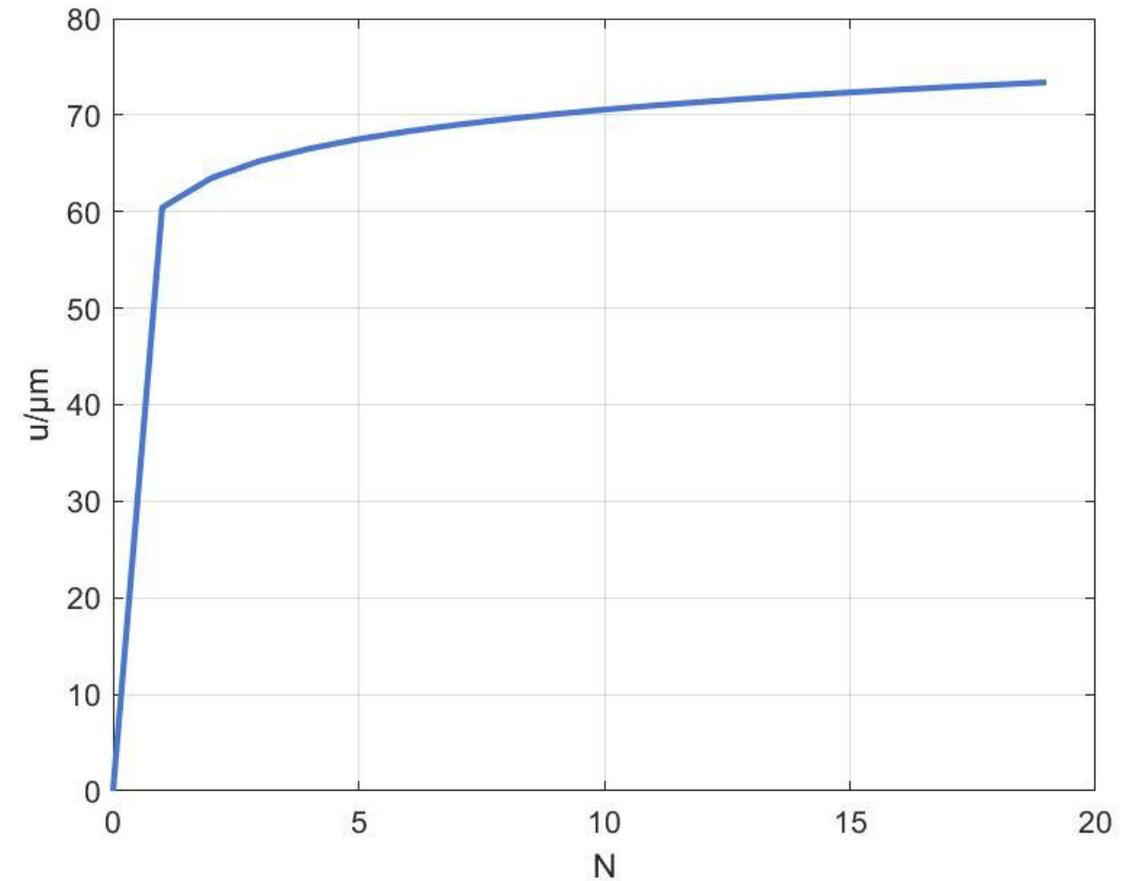
Darstellung des Verschiebungsfeldes im Grundmodell: $d = 40 \text{ mm}$, PF-Form A, $l_t/d = 0,95$, $R = 0$, $\xi = 0 \text{ ‰}$, $U_{PF} = 20 \text{ ‰}$, $Q_A = 0,5$, $M_T = 2000 \text{ Nm}$; Werkstoff C45+N Nabe und PF nicht dargestellt



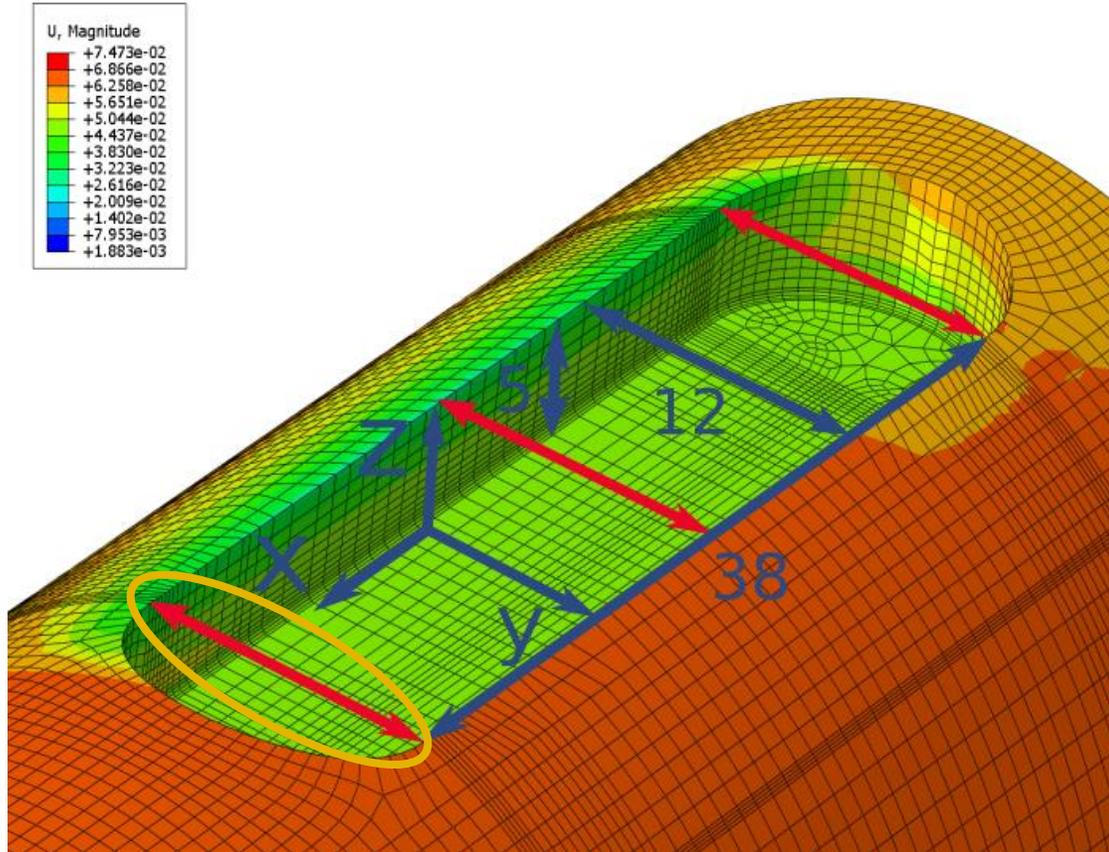
20 simulierte Lastwechsel gemessen an der Position $x = 19$, $y = (0|12)$, $z = 5$ unter Anwendung zyklisch verfestigender Materialmodelle für die Welle für den Werkstoff C45+N am Grundmodell



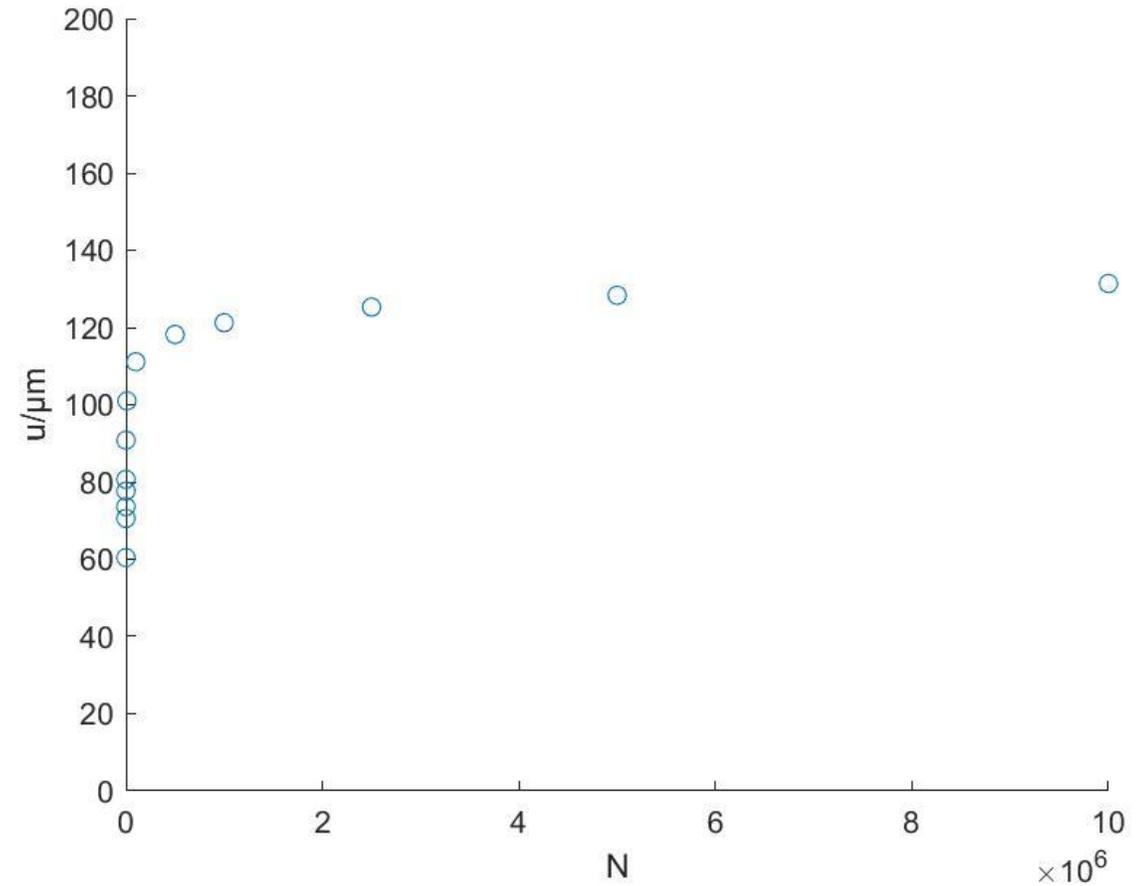
Darstellung des Verschiebungsfeldes im Grundmodell: $d = 40$ mm, PF-Form A, $l_r/d = 0,95$, $R = 0$, $\xi = 0 \%$, $U_{PF} = 20 \mu\text{m}$, $Q_A = 0,5$, $M_T = 2000$ Nm; Werkstoff C45+N Nabe und PF nicht dargestellt



20 simulierte Lastwechsel gemessen an der Position $x = 19$, $y = (0|12)$, $z = 5$ unter Anwendung zyklisch verfestigender Materialmodelle für die Welle für den Werkstoff C45+N am Grundmodell



Darstellung des Verschiebungsfeldes im Grundmodell: $d = 40$ mm, PF-Form A, $l_r/d = 0,95$, $R = 0$, $\xi = 0$ ‰, $U_{PF} = 20$ μm , $Q_A = 0,5$, $M_T = 2000$ Nm; Werkstoff C45+N Nabe und PF nicht dargestellt



Abschätzung der verbleibenden Nutaufweitung mittels Regressionsfunktion unter Anwendung verfestigender Materialmodelle für den Wellenwerkstoff C45+N

- Steigerungspotenzial von PFV in Abhängigkeit der Passfederlänge von 20 % bis 50 %
- Isotrope Verfestigung mittels UML und kombinierte Verfestigung mit Parametern nach Voce und Chaboche abgebildet
- Verkippen der Passfeder führt zu Versteifung des Systems und Nichtlinearität
- mittels Regression kann Nutaufweitung extrapoliert werden

Ausblick

- weitere Parameter wie Nabenwandstärke, Passfederform und -länge werden untersucht
- weitere Lastkombinationen wie Umlaufbiegung od. kombinierte Lasten untersuchen

- [1] DIN 6892, Mitnehmerverbindungen ohne Anzug - Passfedern - Berechnung und Gestaltung
- [2] LEIDICH, ERHARD ; KRESINSKY, FELIX: *Ermittlung der Grenzbelastungen von torsionsbeanspruchten Passfederverbindungen, FVA-Heft: (Abschlussbericht Nr. 1285)*. Frankfurt (Main) : Forschungsvereinigung Antriebstechnik, 2018
- [3] DIN 743, Tragfähigkeitsberechnung von Achsen und Wellen
- [4] DIN 6885, Passfedern
- [5] CHABOCHE, J. ; LEMAITRE, J.: *Mechanics of Materials*
- [6] PAYGOZAR, B.: *Combined hardening parameters of steel CK45 under cyclic strain-controlled loading: Calibration methodology and numerical validation*. TED University, Ankara, 2020



Danksagung

Die Autoren danken dem Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz für die Bereitstellung der finanziellen Mittel und Förderung des Projekts IGF 22073 BR aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages. Zudem danken die Autoren der FVA | Forschungsvereinigung Antriebstechnik e. V. und den FVA-Mitgliedsfirmen für die inhaltliche sowie organisatorische Unterstützung vor, während und nach der Projektlaufzeit.



