



# Schweißnahtnachweis mit dem Kerbspannungskonzept in Ansys

20.06.2024

Dipl.-Ing. (FH) Tim Kirchhoff

ihf Ingenieurgesellschaft mbH

## FEM-Simulation

- Implizite und explizite FEM-Simulation
- Strömungssimulation (CFD)
- Betriebsfestigkeit (z.B. nach FKM-Richtlinie)
- Schweißnahtnachweis (z.B. nach IIW oder FKM-Richtlinie)

## Softwareentwicklung

- Produkte im Simulationsumfeld, z.B.:
  - Automatisierter FKM-Nachweis (FKM inside Ansys / Weld inside Ansys / ...)
- Entwicklung individueller Programme / FEM-Erweiterungen im Kundenauftrag



## Engagement bei der Weiterentwicklung von Richtlinien

- Mitarbeit im FKM-Redaktionskreis
- Begleitung von Forschungsprojekten
- Eigene Forschungs- und Entwicklungsprojekte

# Agenda



- Spannungskonzepte für einen Schweißnahtnachweis
- Herausforderungen im Kerbspannungsnachweis
- Automatisierter Kerbspannungsnachweis

# Spannungskonzepte

für einen Schweißnahtnachweis

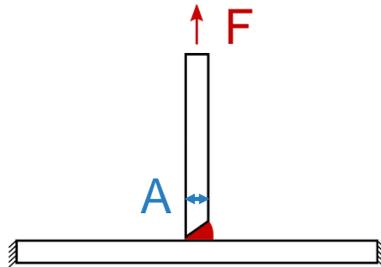
# Spannungsermittlung an der Schweißnaht

- Eine Herausforderung im Schweißnahtnachweis ist die Ermittlung der Spannungen
  - Immer Abweichungen zur theoretisch idealen Geometrie, auch bei fachgerechter Fertigung

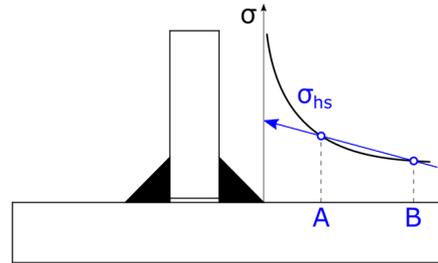


- Spannungsermittlung auf Basis einer idealisierten Abbildung der Naht

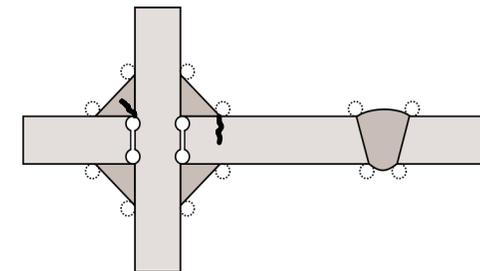
**Nennspannungen**



**Strukturspannungen**

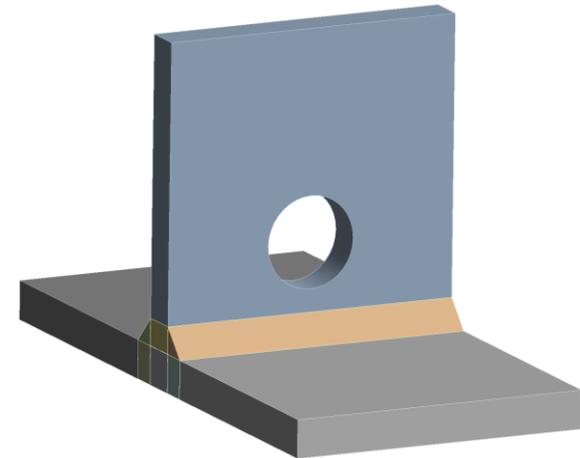
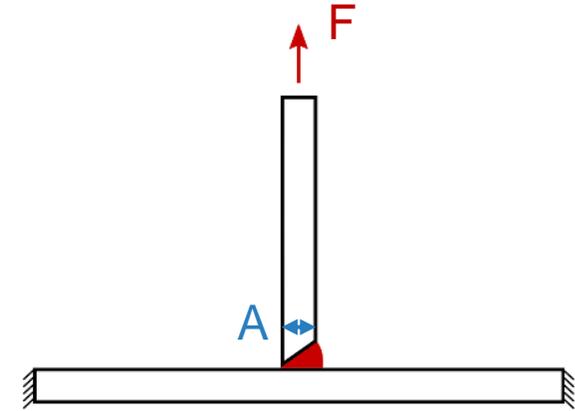


**Kerbspannungen**



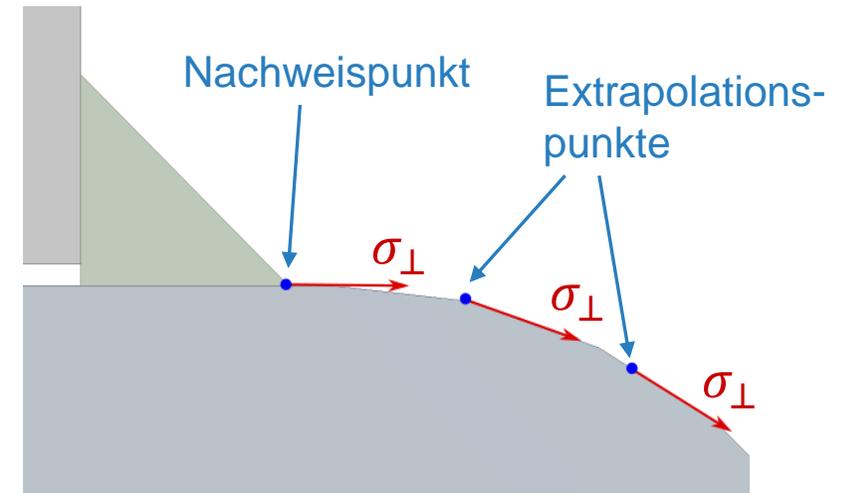
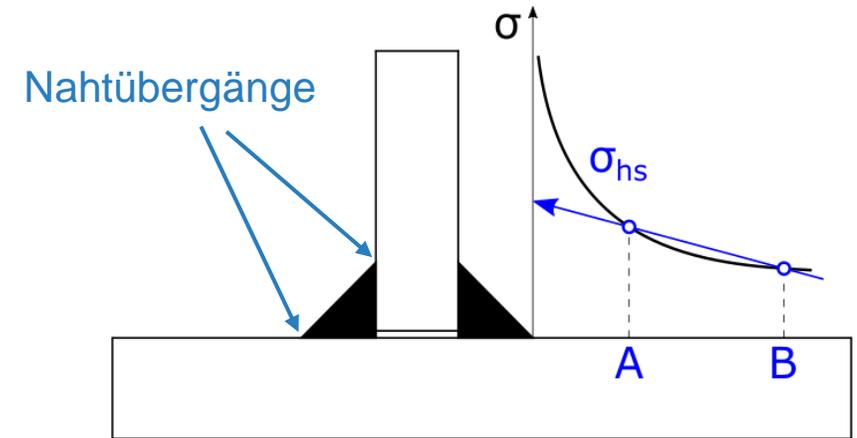
# Nennspannungskonzept

- Fiktive Nennspannung aus Schnittkräften und Querschnittfläche
  - Keine Modellierung der Naht
  - Keine speziellen Anforderungen an das Netz
  - Ein Nachweis für gesamten Querschnitt
  - FAT-Klassen für spezifische Stoßformen
- Nur für einfache Querschnitte
- Nur für bestimmte Stoßformen mit bekannter FAT-Klasse
- Praxisproblem: Makrogeometrische Effekte



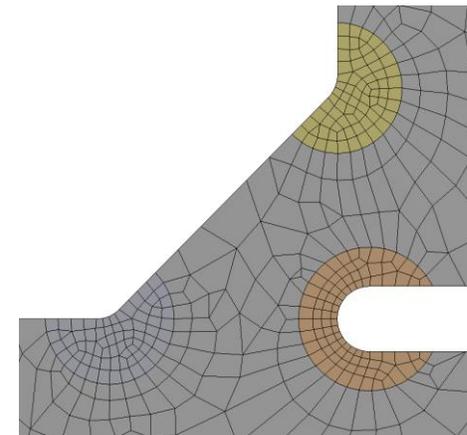
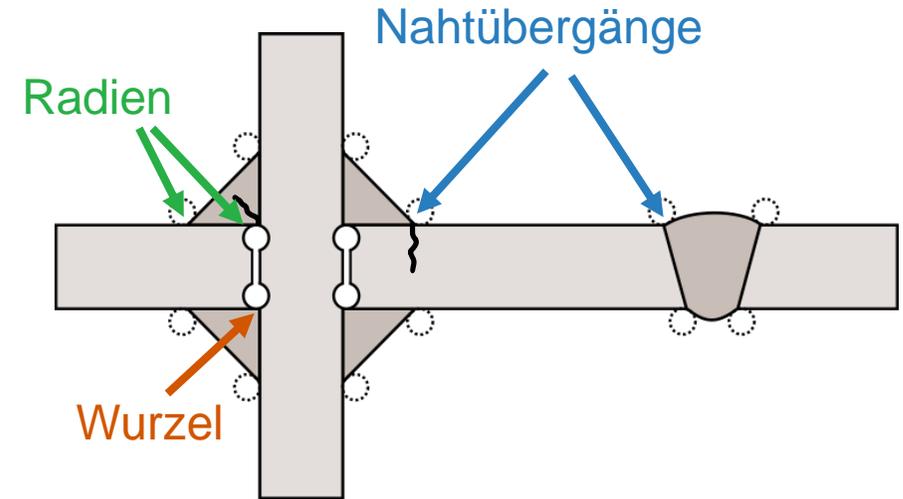
# Strukturspannungskonzept

- Vereinfachte Abbildung der Naht
- Mehrere etablierte Ansätze zur Berechnung
  - Hot-Spot-Konzept nach IIW
  - Haibach
  - Innenlinearisierung
- Nachweis an **Nahtübergängen**, nicht an der Nahtwurzel



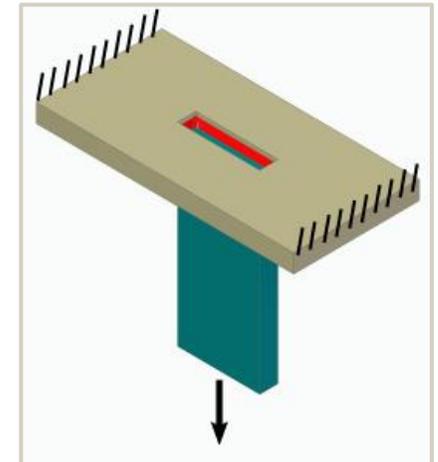
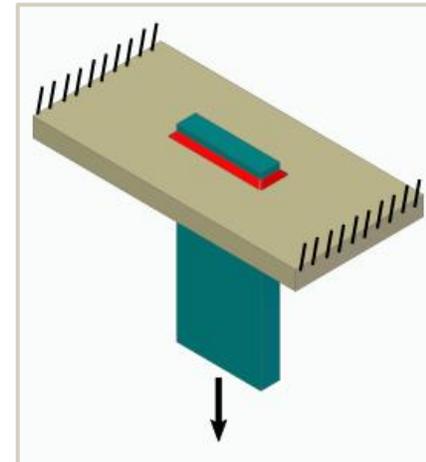
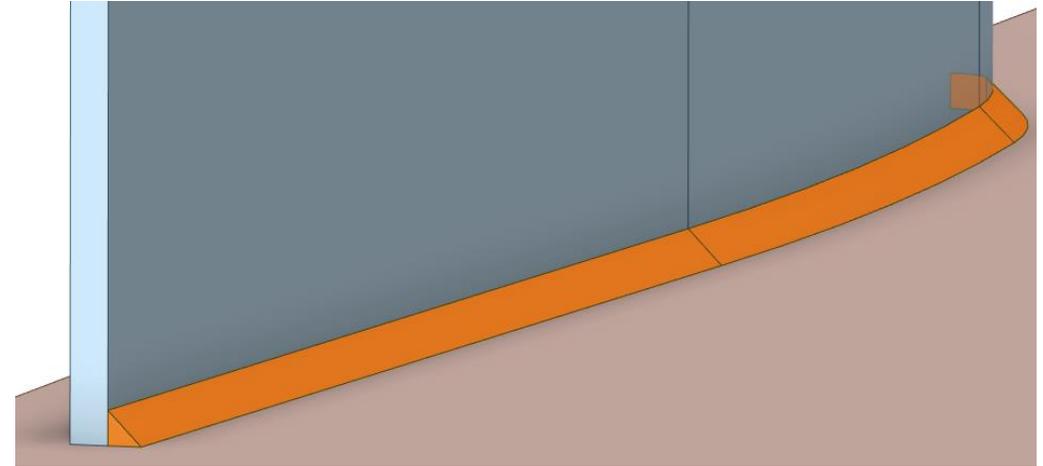
# Kerbspannungskonzept

- Nachweis von **Nahtübergang** und **Nahtwurzel**
- Modellierung eines fiktiven **Radius  $r$**  am Nahtübergang bzw. an der Nahtwurzel
  - Übliche Radien: 1,0 mm, 0,3 mm, 0,05 mm
  - FAT-Klassen abhängig vom Radius definiert
- Vergleichsweise feines FE-Netz erforderlich
  - Hinweise in DVS Merkblatt 0905
  - Quadratische Hexaeder: Kantenlänge  $\leq \frac{r_{ref}}{4}$
- Berechnung komplexer Stoßformen möglich



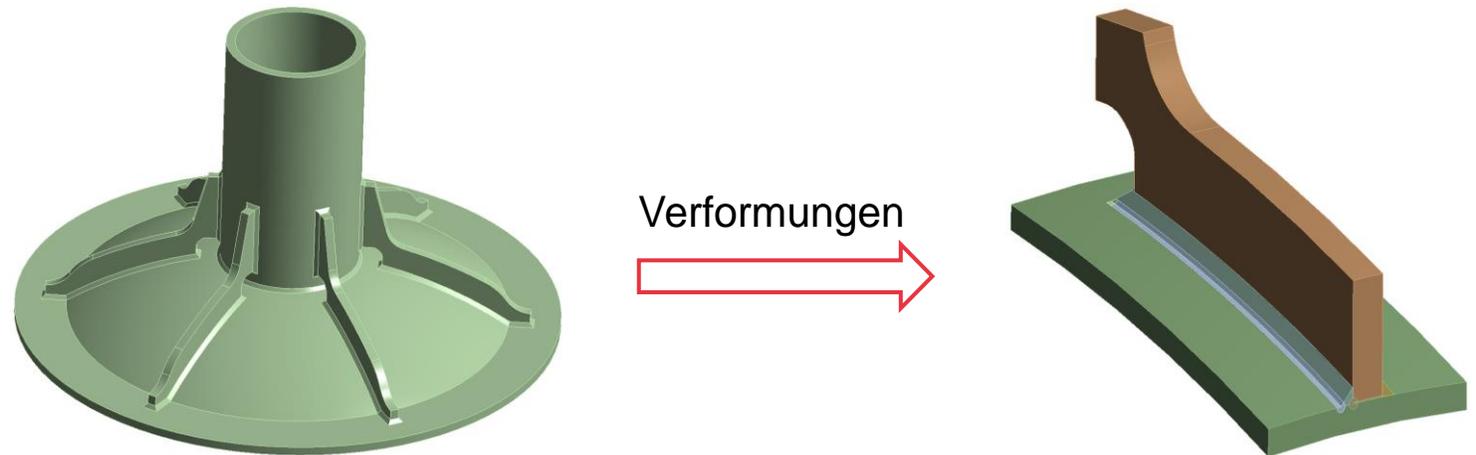
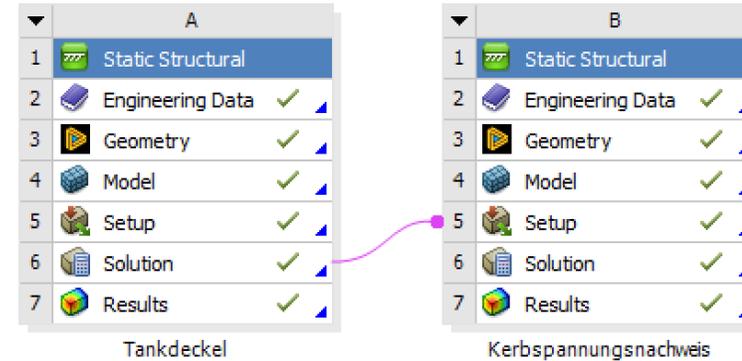
# Kerbspannungskonzept

- Warum Nachweis mit Kerbspannungen?
  - Nachweis Nahtwurzel
  - Komplexe Stoßformen
  - Nachweis von Schweißnähten, für die es keine FAT-Klassen gibt, z.B.:
    - Einseitige Kehlnähte
    - Durchgesteckte Nähte
  - Vergleich / Absicherung der anderen Methoden



# Workflow mit Submodellen

- Globalmodell
  - Nachweis mit Strukturspannungen
  - Auswahl von kritischen Bereichen
- Submodelle von kritischen Bereichen
  - Übertragung Verformungen an Schnittflächen
  - Modellierung Kerbradien
  - Detailnachweis mit Kerbspannungskonzept

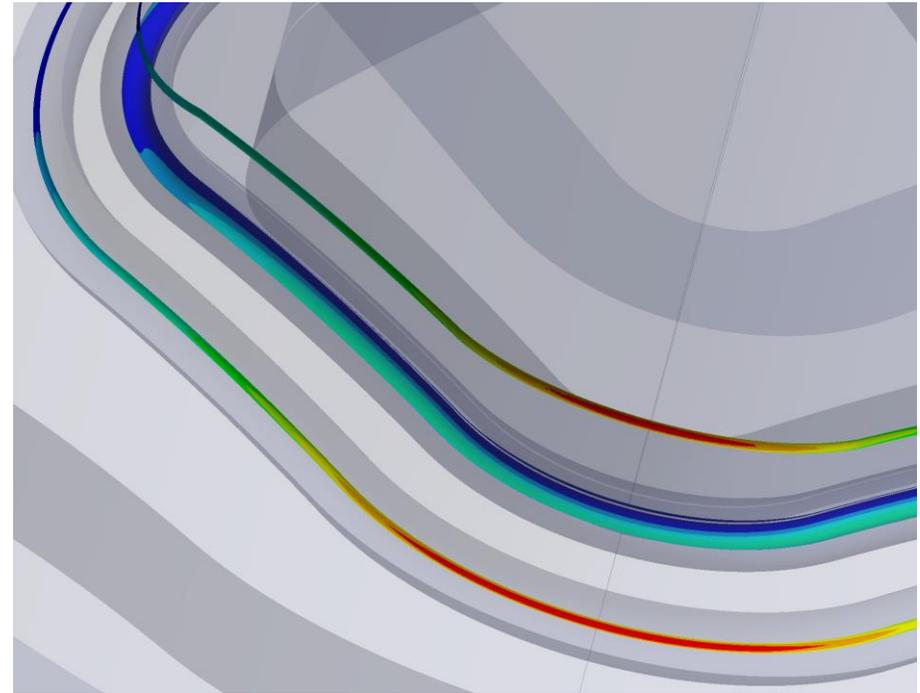
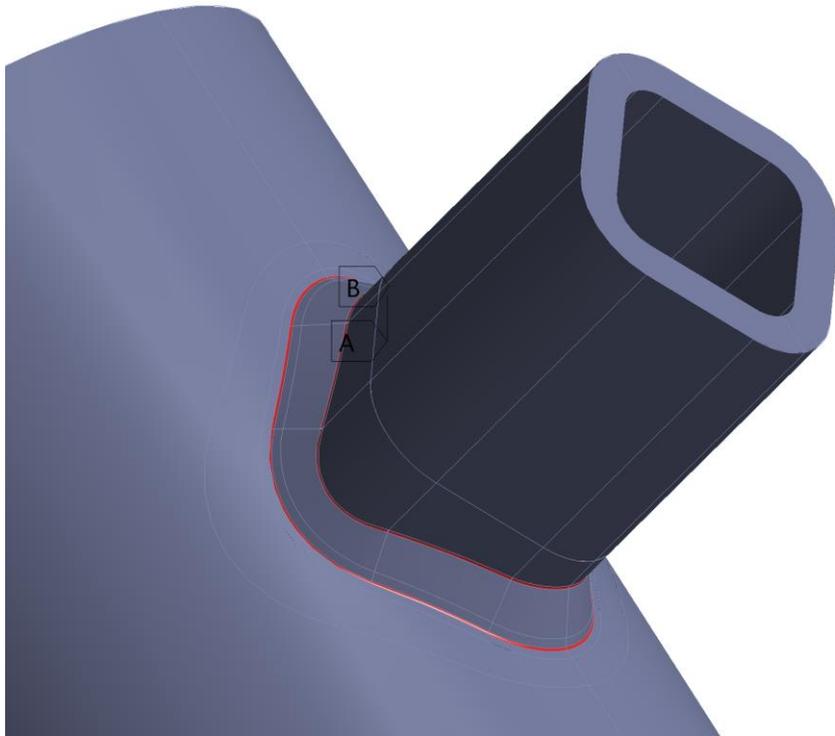


# Herausforderungen im Kerbspannungsnachweis

Koordinatensystem am Nachweispunkt und  
lokale Spannungsspitzen

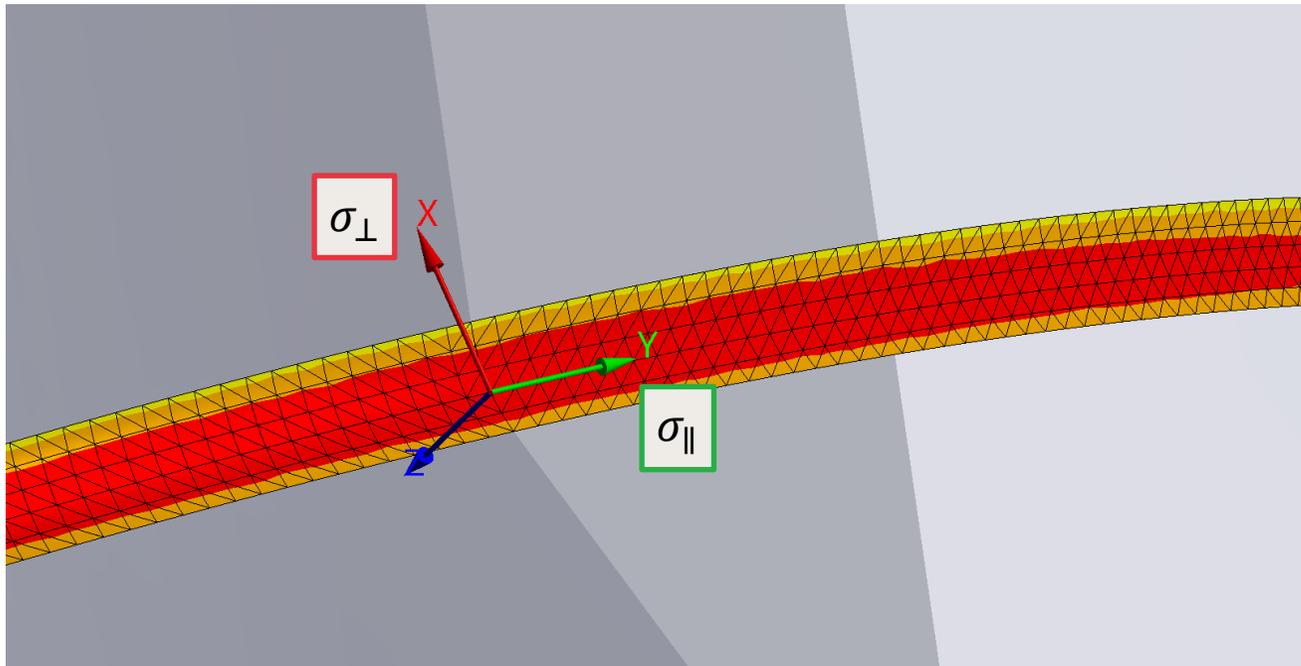
# Kerbspannungsnachweis nach FKM

- Der Kerbspannungsnachweis wird oft verwendet, wenn andere Nachweismethoden nicht zulässig sind
  - Mehrfach gekrümmte Flächen im Kerbradius eher die Regel als die Ausnahme
  - Herausforderung sowohl für einen manuellen als auch einen automatisierten Nachweis



# Kerbspannungsnachweis nach FKM

- Nahtübergänge und -wurzeln werden mit einem definierten Kerbradius im FE-Modell abgebildet
- Der Ermüdungsnachweis muss für drei Spannungskomponenten  $\sigma_{\perp}$ ,  $\sigma_{\parallel}$ ,  $\tau$  geführt werden
  - FAT-Klassen sind spezifisch für die einzelnen Komponenten festgelegt



Spannungsverlauf im Kerbradius am Nahtübergang einer Kehlnaht

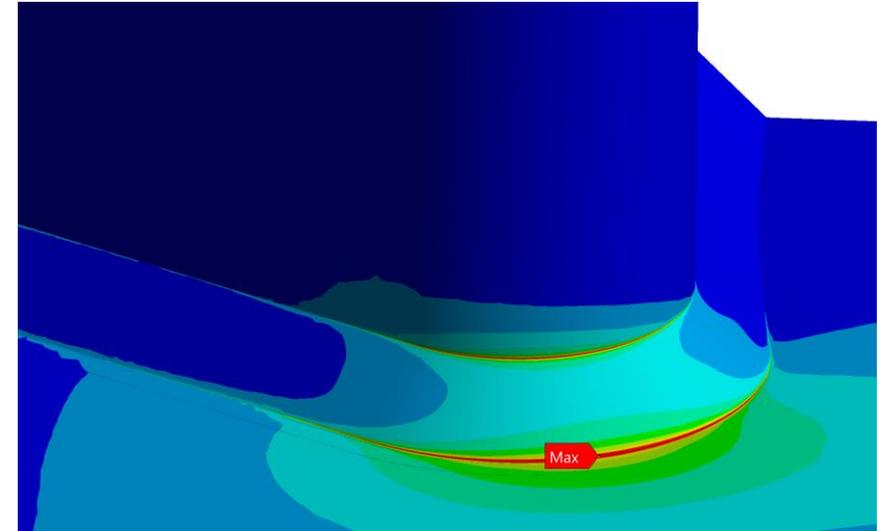
## Praxisproblem:

Individuelles Koordinatensystem an den Nachweispunkten erforderlich

- Bei manueller Definition hoher Zeitaufwand
- Vorauswahl von Nachweispunkten schwierig
  - $\sigma_{\perp}$ ,  $\sigma_{\parallel}$ ,  $\tau$  sind im Nachweis unterschiedlich kritisch

# Statistische Stützzahl

- Praxisproblem: Oft lokale Stellen mit hohen Spannungsspitzen
- Konzept der statistischen Stützzahl
  - Basiert auf Fehlstellenmodell nach Weibull
  - Zufällige Verteilung von fertigungsbedingten Fehlstellen in Kerbradius
  - Fehlstelle in hochbelastetem Bereich begünstigt Rissbildung
  - In Versuchen mit kleinerer hochbeanspruchte Fläche weniger Ausfälle bei gleicher Maximalspannung
- Neu für Kerbspannungen in 7. Ausgabe der FKM-Richtlinie



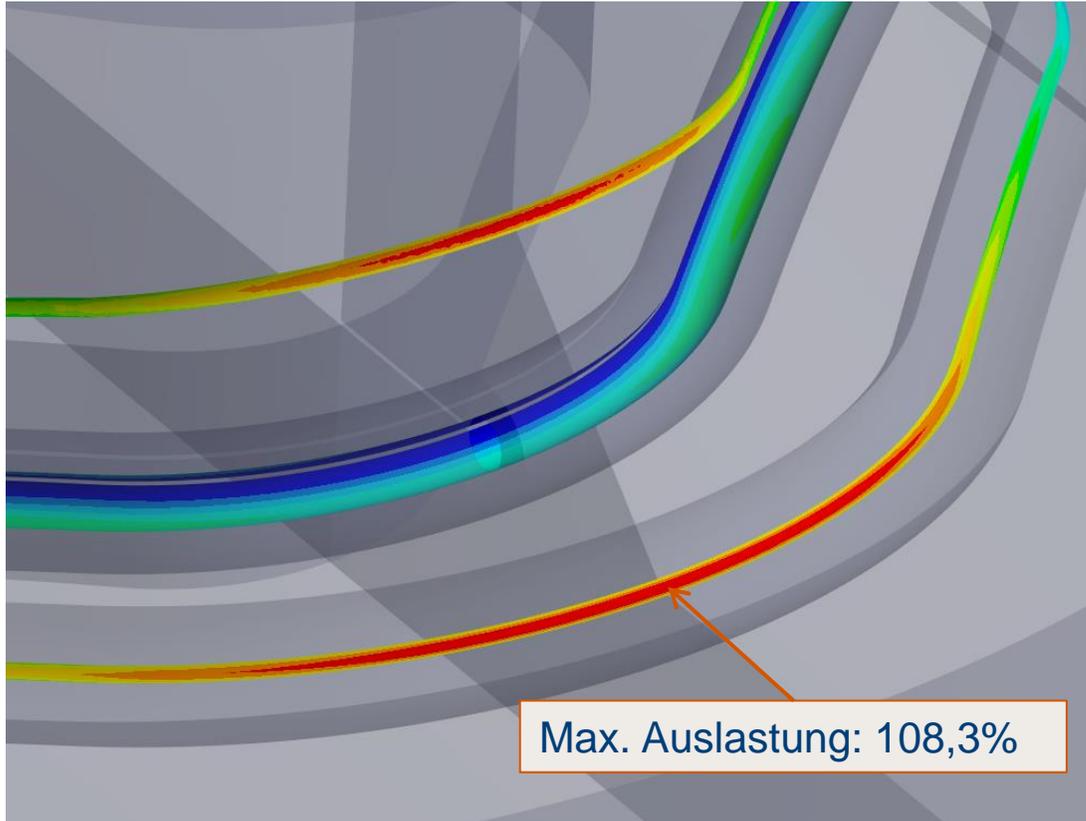
$$n_{st} = \left( \frac{A_{ref,st}}{A_{\sigma,st}} \right)^{\frac{1}{k_{st}}}$$

Referenzoberfläche

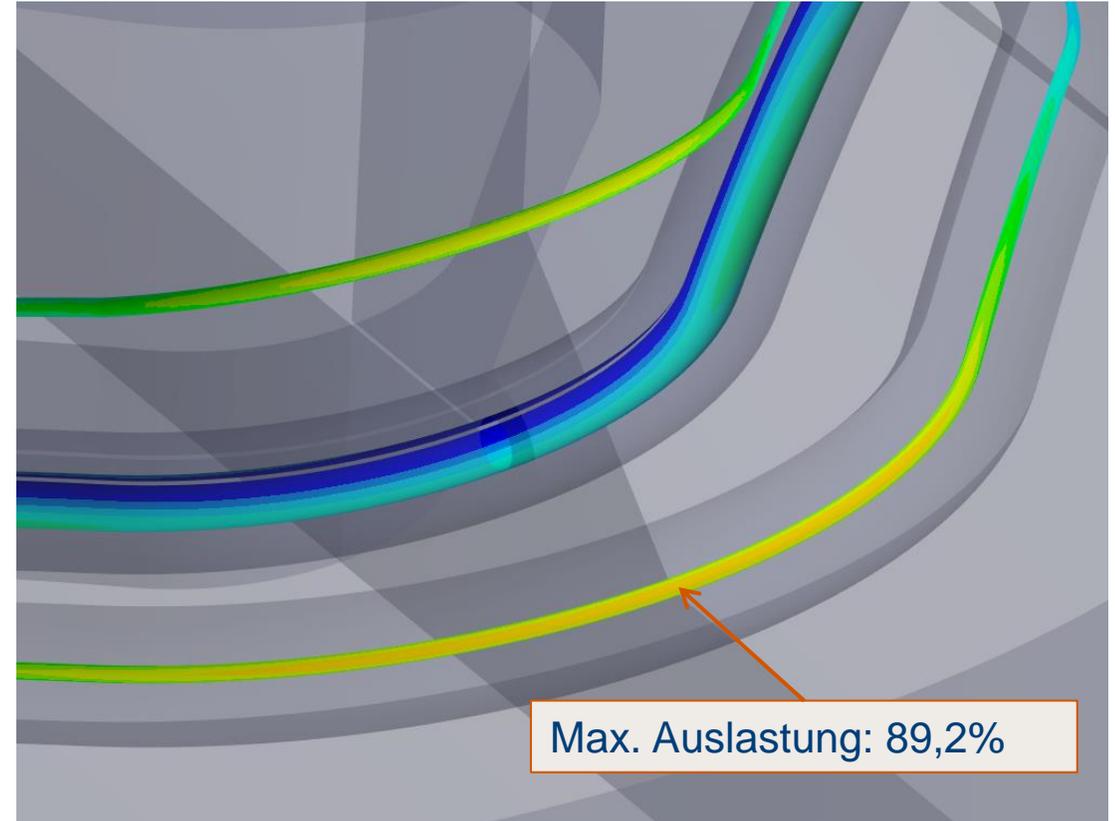
Weibull-Exponent

Hochbeanspruchte Oberfläche

# Statistische Stützzahl



Beispiel Rohrstoß: Auslastung ohne statistische Stützzahl



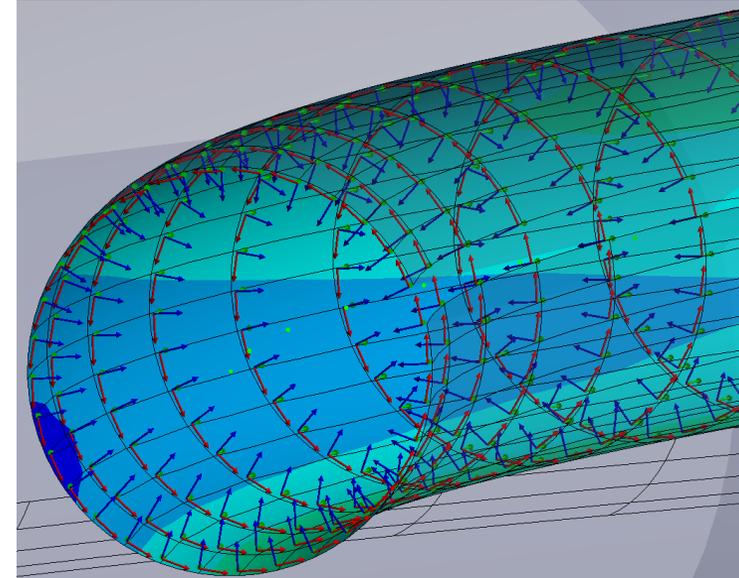
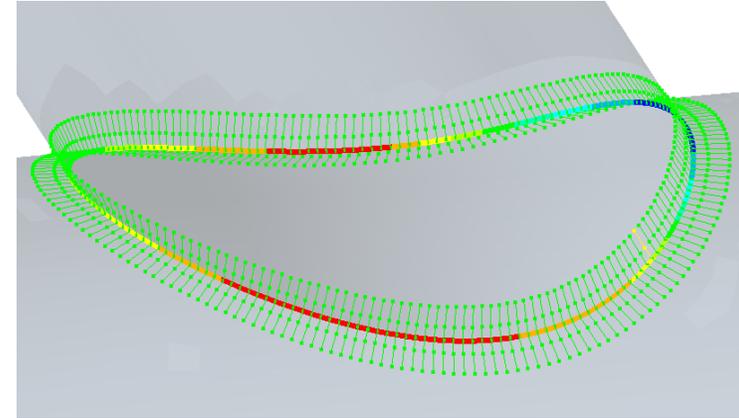
Beispiel Rohrstoß: Auslastung mit statistischer Stützzahl

# Automatisierter Kerbspannungsnachweis

mit Weld inside Ansys

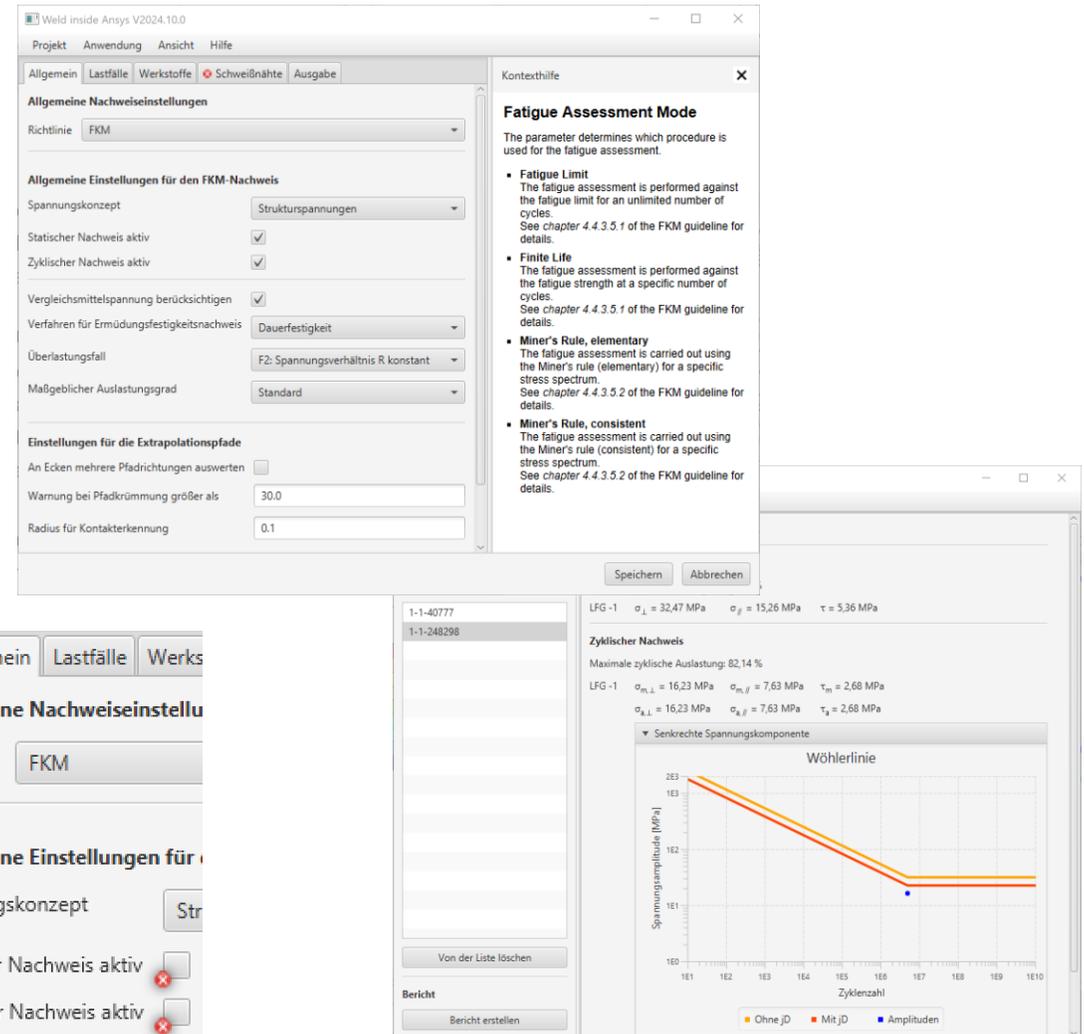
# Weld inside Ansys

- Festigkeitsnachweis von Schweißnähten nach
  - FKM-Richtlinie
  - IIW-Richtlinie
  - Eurocode 3
- Genaue Umsetzung der Richtlinien
  - Prüffähige Dokumentation
- Automatisierter Nachweis auf Basis von
  - Strukturspannungen
    - Schalenmodelle
    - Volumenmodelle
  - Kerbspannungen
    - Volumenmodelle



# Weld inside Ansys

- Nahtlose Integration in Ansys
  - Nachweis im Ansys-Modellbaum
  - Ergebnisdarstellung direkt in Ansys
  - Visualisierung von Pfaden und lokalen Koordinatensystemen
- Moderne Benutzeroberfläche
  - Dynamische Dialoge
  - Kontexthilfe
  - Erweiterte Eingabevalidierung
- Alternativ: Batch-Modus
  - Projektdefinition über Projektdatei
  - Start über Kommandozeile möglich



Weld inside Ansys V2024.10.0

Projekt Anwendung Ansicht Hilfe

Allgemein Lastfälle Werkstoffe Schweißnähte Ausgabe

Kontexthilfe

### Fatigue Assessment Mode

The parameter determines which procedure is used for the fatigue assessment.

- **Fatigue Limit**  
The fatigue assessment is performed against the fatigue limit for an unlimited number of cycles. See chapter 4.4.3.5.1 of the FKM guideline for details.
- **Finite Life**  
The fatigue assessment is performed against the fatigue strength at a specific number of cycles. See chapter 4.4.3.5.1 of the FKM guideline for details.
- **Miner's Rule, elementary**  
The fatigue assessment is carried out using the Miner's rule (elementary) for a specific stress spectrum. See chapter 4.4.3.5.2 of the FKM guideline for details.
- **Miner's Rule, consistent**  
The fatigue assessment is carried out using the Miner's rule (consistent) for a specific stress spectrum. See chapter 4.4.3.5.2 of the FKM guideline for details.

Speichern Abbrechen

1-1-40777  
1-1-248298

Von der Liste löschen

Bericht  
Bericht erstellen

LFG - 1  $\sigma_L = 32,47 \text{ MPa}$   $\sigma_H = 15,26 \text{ MPa}$   $\tau = 5,36 \text{ MPa}$

### Zyklischer Nachweis

Maximale zyklische Auslastung: 82,14 %

LFG - 1  $\sigma_{m,L} = 16,23 \text{ MPa}$   $\sigma_{m,H} = 7,63 \text{ MPa}$   $\tau_m = 2,68 \text{ MPa}$   
 $\sigma_{a,L} = 16,23 \text{ MPa}$   $\sigma_{a,H} = 7,63 \text{ MPa}$   $\tau_a = 2,68 \text{ MPa}$

Senkrechte Spannungskomponente

### Wöhlerlinie

Spannungsamplitude [MPa]

Zyklenzahl

Ohne jD Mit jD Amplituden

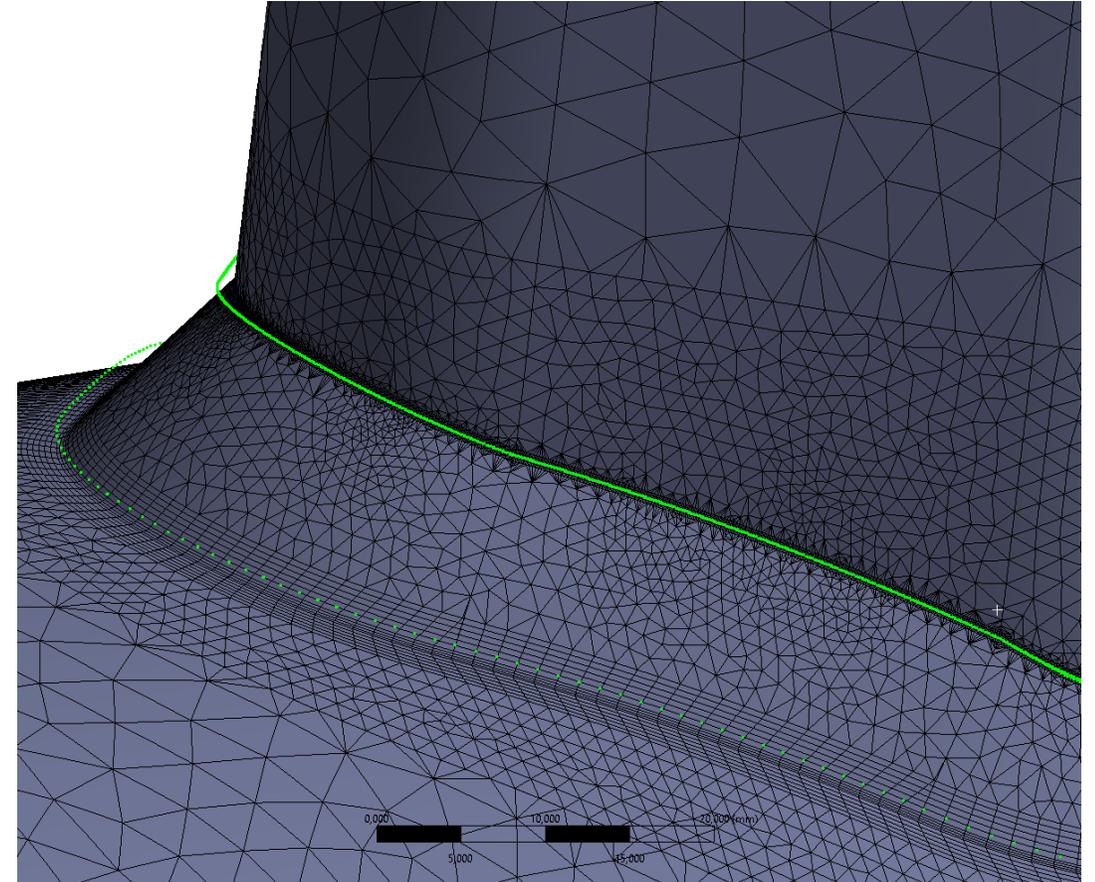
# FKM inside Ansys und Weld inside Ansys

- **Weld inside Ansys** verfügbar seit Q3/2023
  - Neue Software für den Nachweis von Schweißnähten mit erweitertem Anwendungsbereich
  - Überschneidungen mit bestehendem Schweißnahtmodul in FKM inside Ansys

<b>Funktion</b>	<b>FKM inside Ansys</b>	<b>Weld inside Ansys</b>
Richtlinien	FKM-Richtlinie	FKM-Richtlinie IIW-Richtlinie Eurocode 3
Strukturspannungsnachweis	Volumenelemente	Volumenelemente Schalenelemente
Kerbspannungsnachweis	-	Volumenelemente

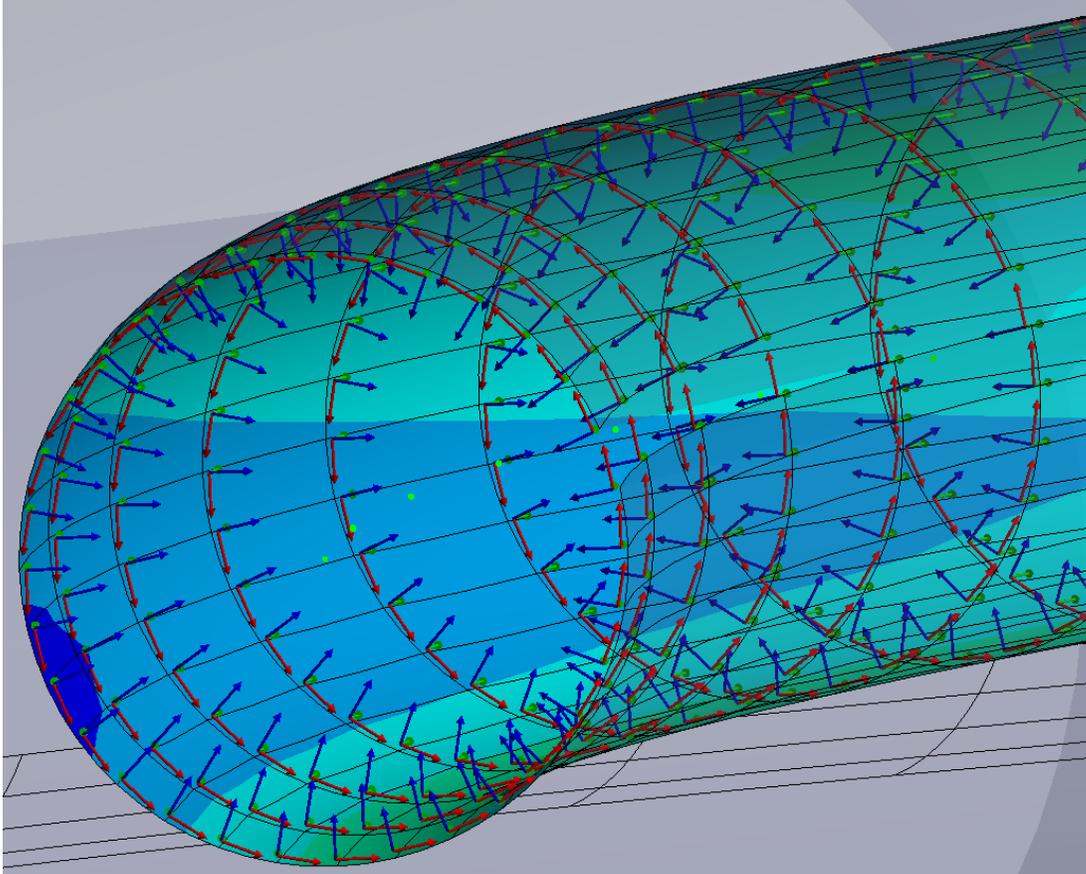
# Ermittlung lokaler Koordinatensysteme

- Knoten auf der Fläche des Kerbradius als Basis der Berechnung (Punktwolke)
- Für die Punkte wird eine gemeinsame Mittellinie bestimmt
- Über die Mittellinie lässt sich jedem Knoten die lokale Richtung entlang der Naht zuordnen
- Definition eines lokalen Koordinatensystems aus
  - Richtung entlang der Naht
  - Oberflächennormale am Nachweispunkt
- Ansatz funktioniert für
  - beliebig gekrümmte Flächen
  - ungleichmäßige Vernetzung

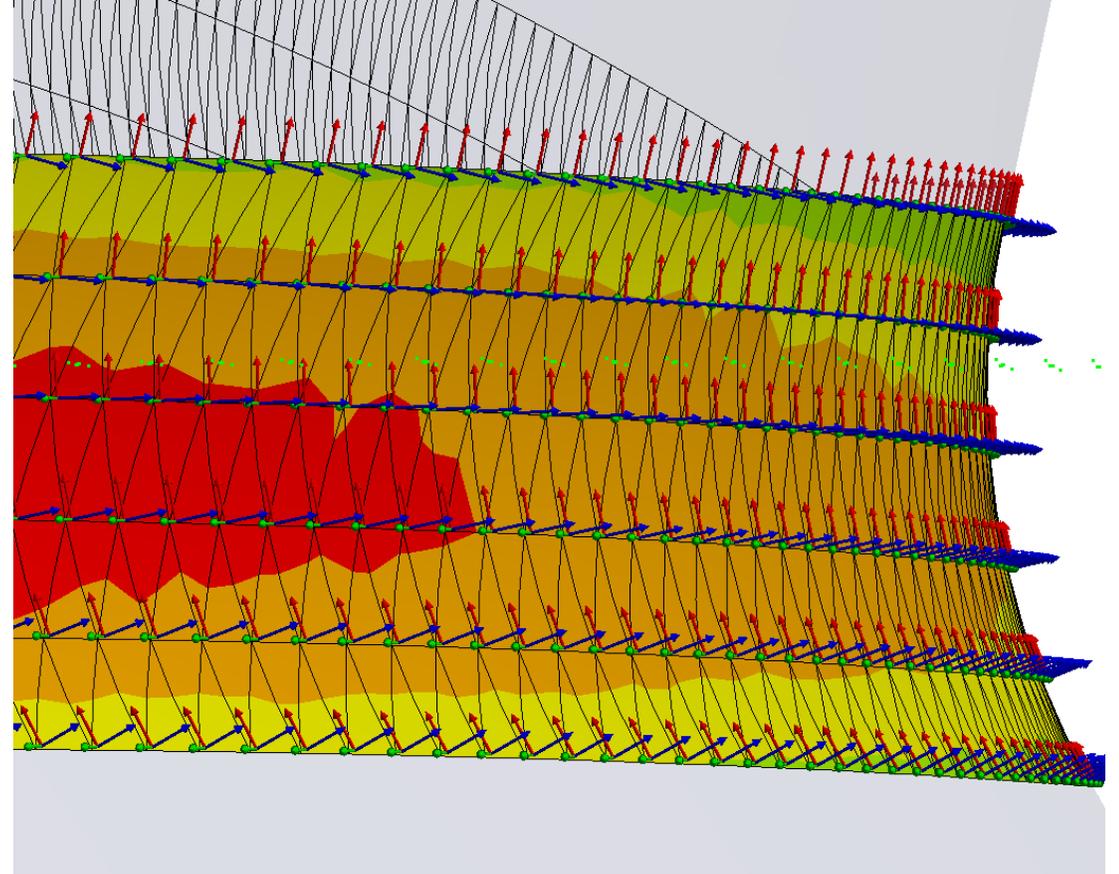


Mittellinien der Kerbradien an zwei Nahtübergängen

# Ermittlung lokaler Koordinatensysteme



Berechnete Koordinatensysteme in der Nahtwurzel

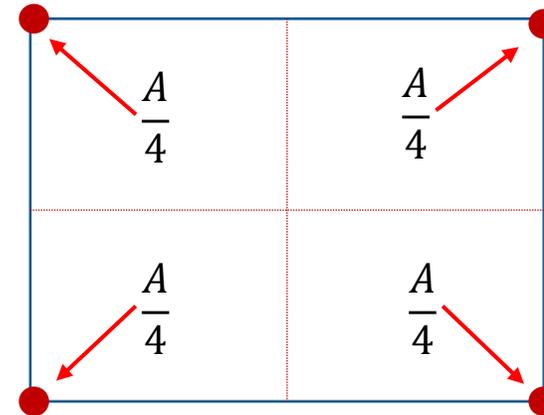


Berechnete Koordinatensysteme am Nahtübergang

# Ermittlung hochbeanspruchte Fläche

- Berechnung in Weld inside Ansys automatisiert
- Basis ist die Summenformel nach SPIEL
  - Statt Flächenintegral wird Summe über alle Knoten gebildet
- Die Fläche  $A_i$  für die Knoten wird direkt aus dem Netz abgeleitet
  - Jedem Knoten im Kerbradius wird pauschal ein Anteil der angrenzenden Elementflächen zugeordnet
  - Eine zusätzliche FE-Simulation, wie nach SPIEL vorgeschlagen, ist nicht notwendig

$$A_\sigma = \sum_{i=1}^m A_i \cdot \left( \frac{\sigma_i}{\sigma_{max}} \right)^{k_{st}}$$



# Fazit

- Alle Spannungskonzepte für Nahtnachweis mit Stärken und Schwächen
- Nachweis mit Kerbspannungen recht aufwändig, aber oft notwendig
- Üblicher Workflow
  - Strukturspannungsnachweis im Globalmodell
  - Kerbspannungsnachweis im Submodell
- Weld inside Ansys
  - Schweißnahtnachweis mit
    - Strukturspannungen
    - Kerbspannungen
  - Lokale Koordinatensysteme
  - Hochbeanspruchte Fläche

