

Modellierung mit FEM

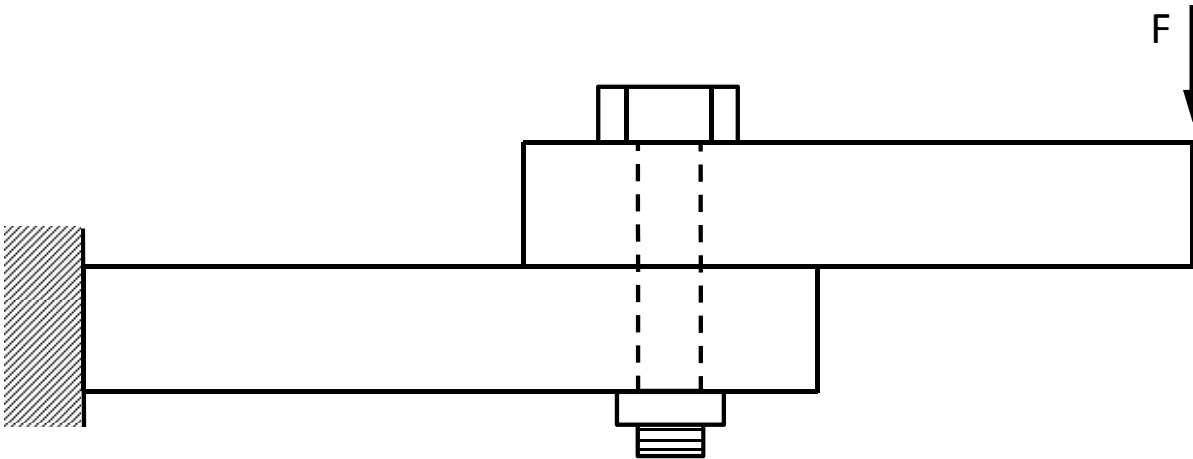
Kapitel 8: Schraub- und Schweißverbindungen

Prof. Dr.-Ing. Thomas Grätsch
Department Maschinenbau und Produktion
Fakultät Technik und Informatik
Hochschule für Angewandte Wissenschaften Hamburg

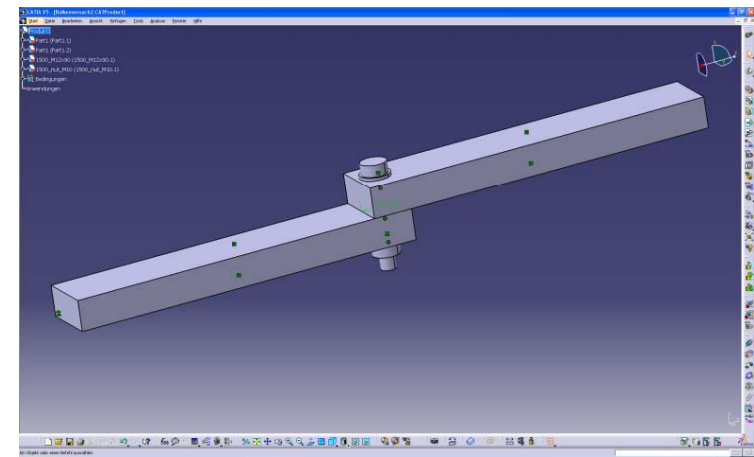
thomas.graetsch@haw-hamburg.de

Schraubverbindungen

Modellbeispiel



CAD-Modell



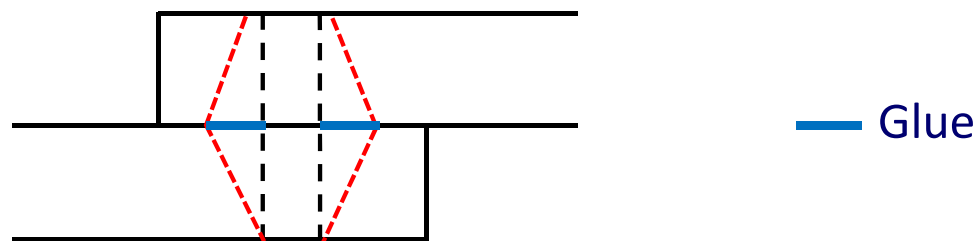
Schraubverbindungen

Verschiedene FE-Modellierungsarten der Schraubverbindung:
(vgl. auch sog. Modellklassen I-IV, VDI 2230 Blatt2)

1. Bauteile mit Glue-Funktion (s. Kap. 7) im Bereich des Druckkegels der Vorspannkraft koppeln
2. Schraube als vorgespanntes Balkenelement modellieren
3. Schraube als nicht vorgespanntes Balkenelement modellieren
4. Schraube als 3D-Körper mit Volumenelementen vernetzen, allerdings ohne Gewindemodellierung
5. Schraube als 3D-Körper mit Volumenelementen vernetzen, einschließlich Gewindemodellierung

Schraubverbindungen

1. Bauteile mit Glue-Funktion im Bereich des Druckkegels koppeln



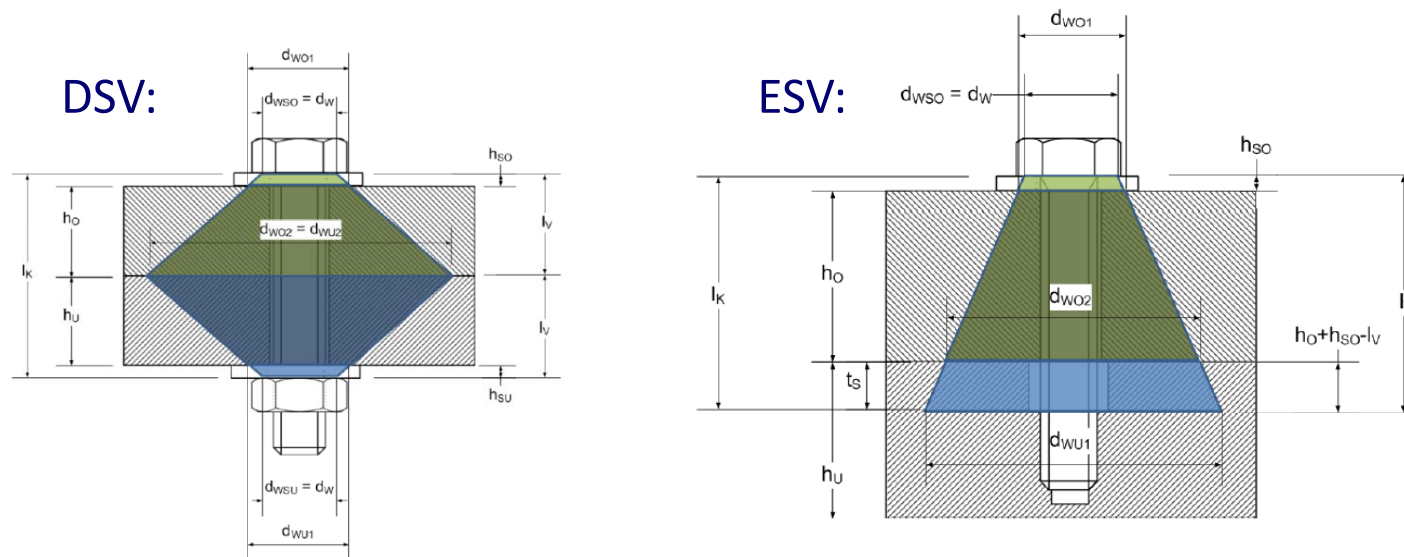
- Einfachste Modellierungsart, geringer Aufwand
- Nur anzuwenden, wenn globale Größen bzw. Größen im Fernfeld von primärem Interesse sind
- Keine Aussage über Spannungen in der Schraube möglich
- Gilt heutzutage nicht als „state-of-the-art“ in der FE-Technologie

Schraubverbindungen

1. Bauteile mit Glue-Funktion im Bereich des Druckkegels koppeln

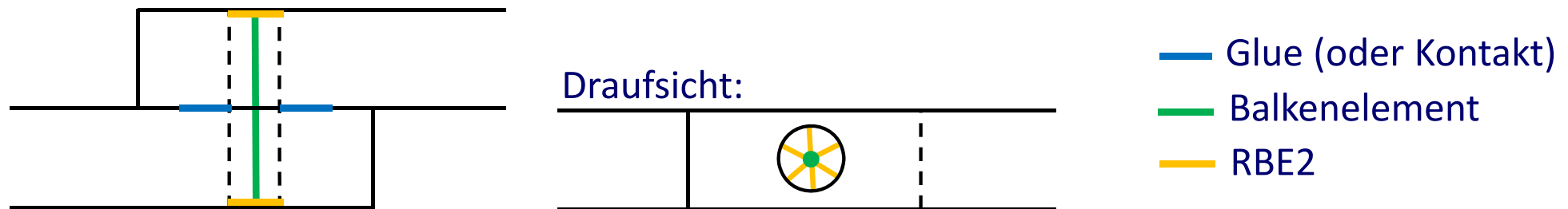
Berechnung des Druckkegels:

- Aus einschlägiger Literatur, z.B. Roloff/Matek: Maschinenelemente
- Nach VDI-Richtlinie 2230



Schraubverbindungen

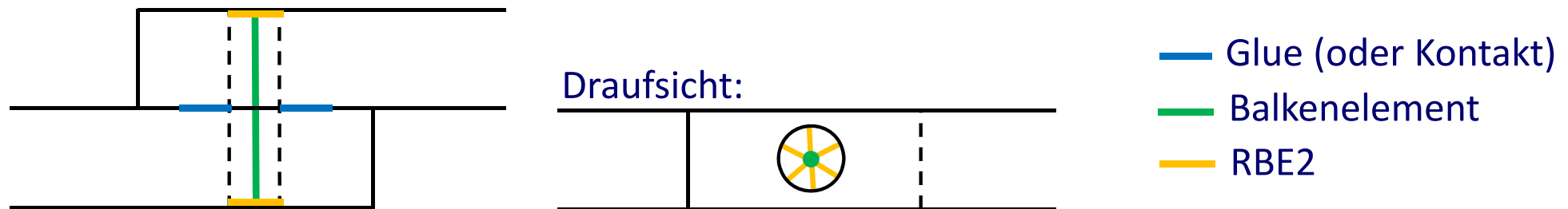
2. Schraube als vorgespanntes Balkenelement modellieren



- Relativ einfache und effektive Modellierung
- Berechnung der Schraubenkräfte im Model enthalten
- Gutes Modell, wenn Globalverhalten von Interesse
- FE-Programme verwenden interne „Tricks“ zur Berechnung der Vorspannung, z.B. über thermische Abkühlung

Schraubverbindungen

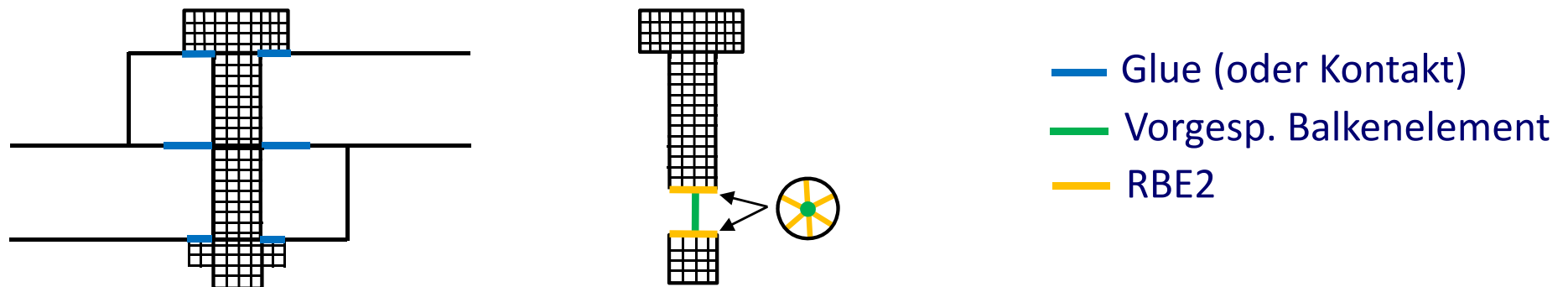
3. Schraube als nicht vorgespanntes Balkenelement modellieren



- Entspricht Kombination von Modell 1 und 2: Verwendung der Glue-Funktion und Wahl des Balkenquerschnitts entsprechend des Querschnitts des Druckkegels nach VDI 2230
- Schraubennachweis mit Betriebslasten aus FEM wieder mit VDI 2230
- Rückkopplung mit VDI 2230 somit in jedem Fall nötig

Schraubverbindungen

4. Schraube als 3D-Körper mit Volumenelementen vernetzen (ohne Gewinde)

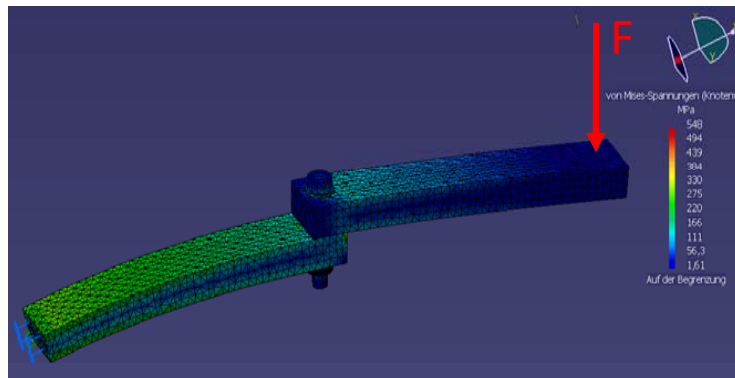


- Aufwendige Modellierung, allerdings Automatisierung möglich
- Berechnung der Schraubenkräfte im Modell enthalten
- Auswertung der Spannung im Nahbereich der Schraube möglich, z.B. detaillierte Analyse der Spannungen unter Schraubenkopf
- Gilt als „state-of-the-art“ bei 3D FEM-Berechnungen

Schraubverbindungen

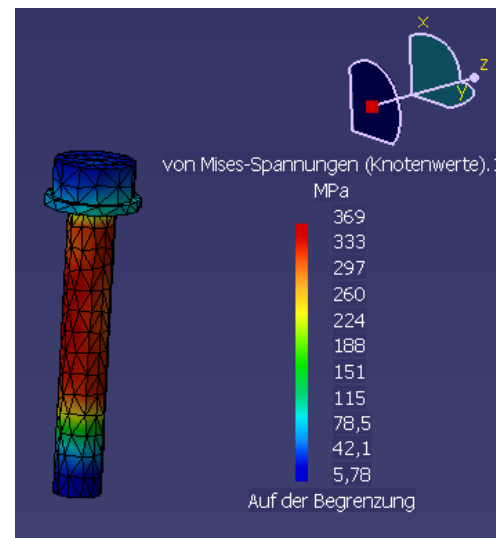
4. Schraube als 3D-Körper mit Volumenelementen vernetzen (ohne Gewinde)

Einfaches Beispiel:

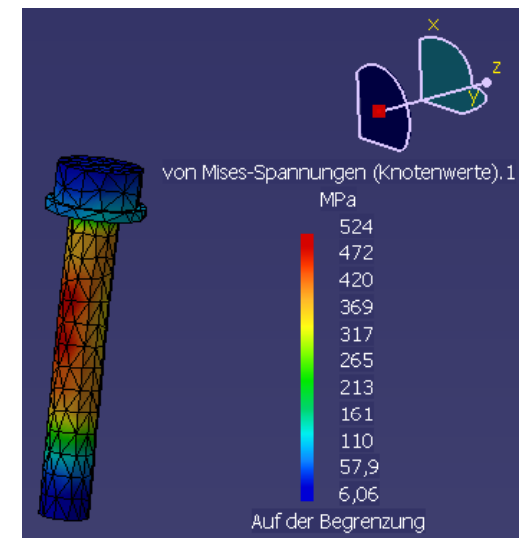


Schraube: M10x60, 8.8, $F_v = 28,8 \text{ kN}$

$$\text{Spannung: } \sigma = F_v / A = 28800 \text{ N} / (\pi 5^2 \text{ mm}^2) \\ = 366,7 \text{ N/mm}^2$$



LF Vorspannung

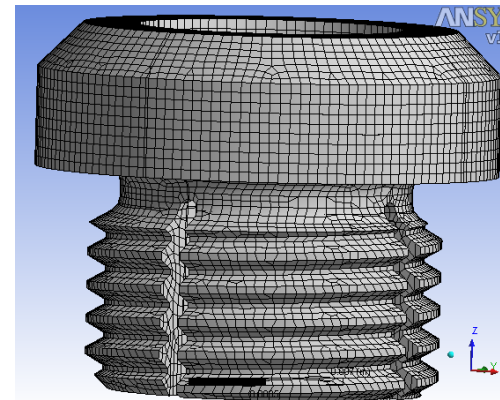
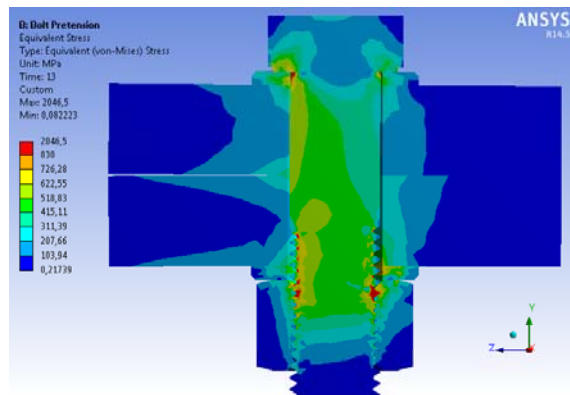


LF Vorspannung + F

⇒ Weitere Praxisbeispiele in der Vorlesung

Schraubverbindungen

5. Schraube als 3D-Körper mit Volumenelementen vernetzen (mit Gewinde)



- Wie Modell 4, allerdings mit voll ausmodellierten Gewindegängen
- Sehr aufwendige Modellierung, sehr rechenintensiv
- Spannungsaussagen im Gewindegang möglich, wichtig z.B. bei Schrauben-Neuentwicklungen

Schweißverbindungen

Zum Nachweis einer Schweißnaht im Rahmen einer FE-Berechnung existieren im Wesentlichen drei Konzepte:

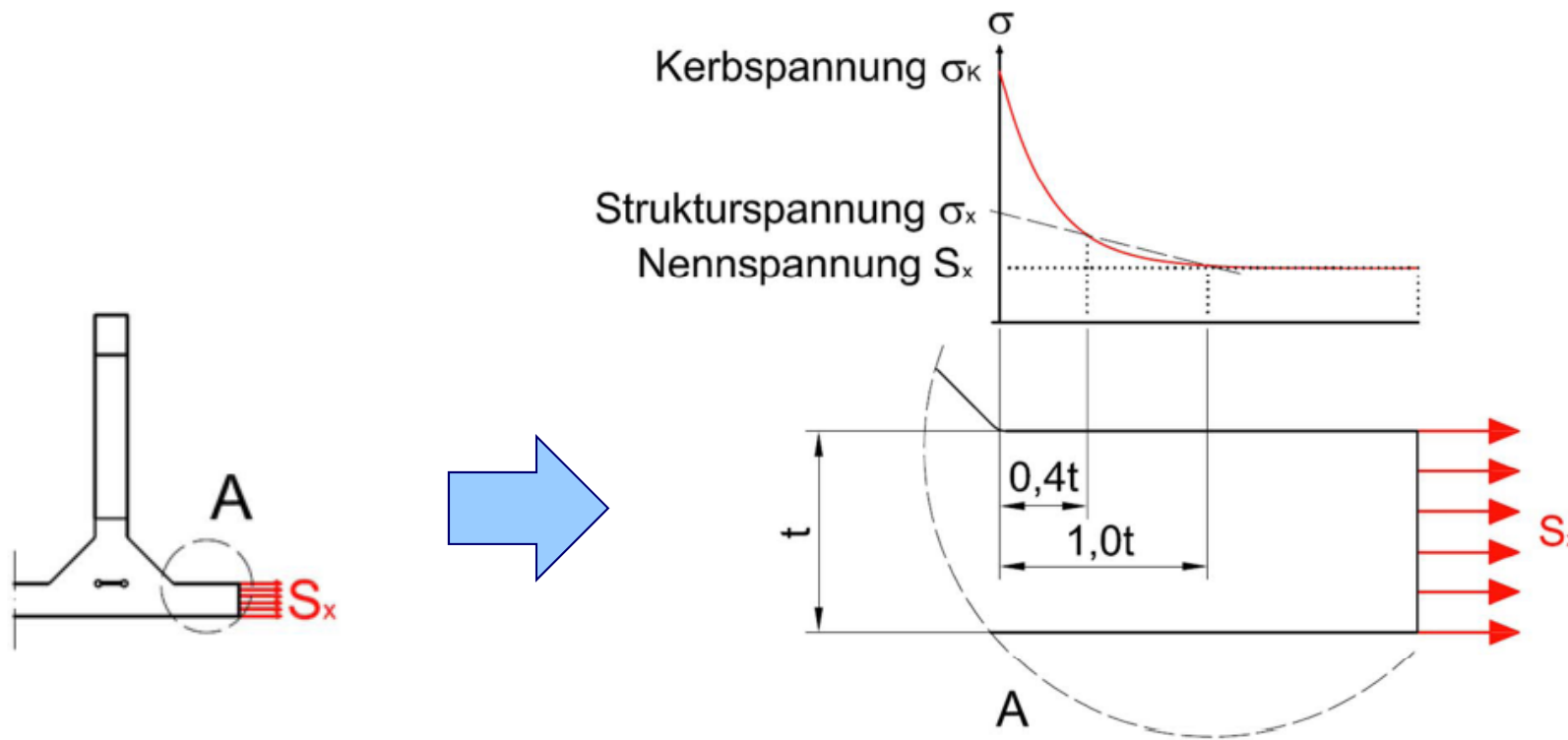
1. Nennspannungskonzept
2. Strukturspannungskonzept
3. Kerbspannungskonzept

Literatur:

- Forschungskuratorium Maschinenbau (FKM): Rechnerischer Festigkeitsnachweis für Maschinenbauteile. VDMA Verlag, Frankfurt am Main, 2003
- Radaj D, Vormwald M: Ermüdungsfestigkeit. Springer-Verlag, Berlin, 2007

Schweißverbindungen

Maßgebender Unterschied zwischen den Konzepten auf einen Blick:



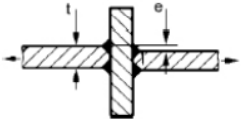
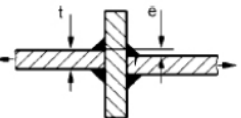

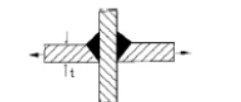
Schweißverbindungen

1. Nennspannungskonzept

- Älteste und einfachste der drei Konzepte
- Voraussetzung: Einfache Geometrie mit klar definiertem Querschnitt
- Nahtgeometrie wird beim Vernetzen nicht berücksichtigt
- Basis sind die Nennspannungen σ_{\perp} , τ_{\perp} und τ_{\parallel} im tragenden Querschnitt
- In der Regel hohe Sicherheiten notwendig (z.B. nach DIN 18800, EC 3), somit Überdimensionierung der Schweißnaht möglich
- Zur Bewertung der Lebensdauer existieren eine Reihe von experimentell ermittelte Grenzwerte für Standardverbindungen

Schweißverbindungen

Lebensdauerberechnung mit Nennspannungskonzept:

No.	Structural Detail	Description (St.= steel; Al.= aluminium)	FAT St.	FAT Al.	Requirements and Remarks
412		Cruciform joint or T-joint, K-butt welds, full penetration, no lamellar tearing, misalignment $e < 0.15 \cdot t$, toe crack	71	25	Material quality of intermediate plate has to be checked against susceptibility of lamellar tearing. Misalignment $< 15\%$ of loaded plate.
413		Cruciform joint or T-joint, fillet welds or partial penetration K-butt welds, no lamellar tearing, misalignment $e < 0.15 \cdot t$, toe crack	63	22	Material quality of intermediate plate has to be checked against susceptibility of lamellar tearing. Misalignment $< 15\%$ of loaded plate. Also to be assessed as 414
414		Cruciform joint or T-joint, fillet welds or partial penetration K-butt welds including toe ground joints, weld root crack. For $a/t \leq 1/3$	36 40	12 14	Analysis based on stress in weld throat Also to be assessed as 413. Ratio a/t is calculated from weld throat over wall thickness
415		Cruciform joint or T-joint, single-sided arc or laser beam welded V-butt weld, full penetration, no lamellar tearing, misalignment $e < 0.15 \cdot t$, toe crack. Root inspected. If root is not inspected, then root crack	71 36	25 12	

⇒ Angabe der sog. FAT-Klasse, z.B. FAT 71: Schweißnaht ist dauerfest, wenn Nennspannung ≤ 71 MPa

Schweißverbindungen

2. Strukturspannungskonzept

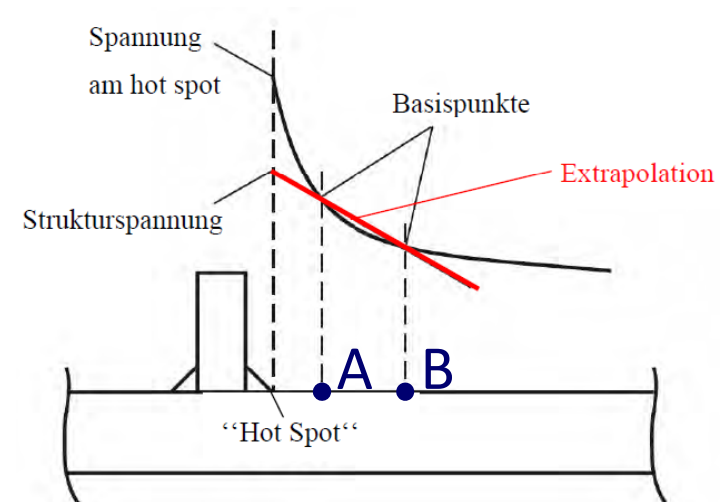
- Bauteil wird vernetzt, zum Teil auch vereinfacht die Nahtgeometrie
- Abschätzung der Spannung im „hot spot“ durch Extrapolation
- Verschiedene Vorschläge zur Wahl der Basispunkte und zum Polynomgrad der Extrapolierenden

- Gängiger Ansatz:

$A = 0,4 t$ und $B = 1,0 t$ (t = Dicke)

$$\Rightarrow \sigma_S = 5/3 \sigma_A - 2/3 \sigma_B$$

Übung: Verifizieren Sie die Formel



Schweißverbindungen

2. Strukturspannungskonzept

Vorteile:

- Genauer als Nennspannungskonzept
- Vertretbarer Modellierungsaufwand

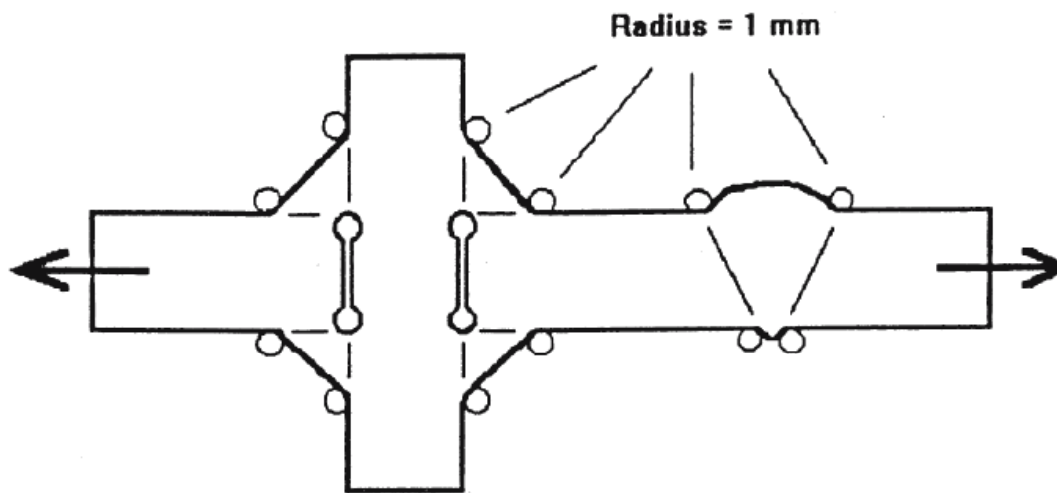
Nachteile:

- Stützstellen müssen bekannt sein
- Kerbwirkung in der Schweißnaht wird nicht exakt erfasst

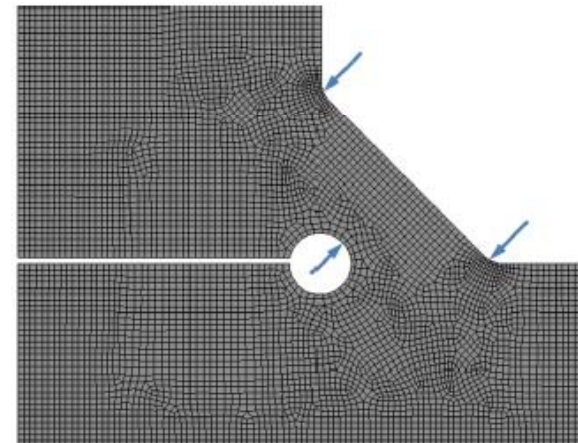
Schweißverbindungen

3. Kerbspannungskonzept

- Bauteil und Schweißnaht wird vollständig ausmodelliert
- Annahme für Kerbradius in der Regel 1,0 mm
- Sehr feines Netz nötig, mind. 10-12 Elemente entlang Radius



Netzdetail:



Schweißverbindungen

3. Kerbspannungskonzept

Vorteile:

- Sehr hohe Genauigkeit
- Exakte Erfassung der Kerbwirkung

Nachteile:

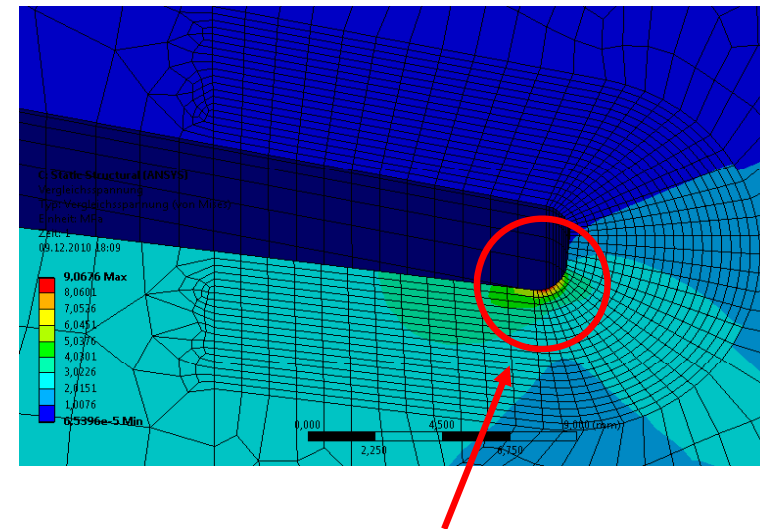
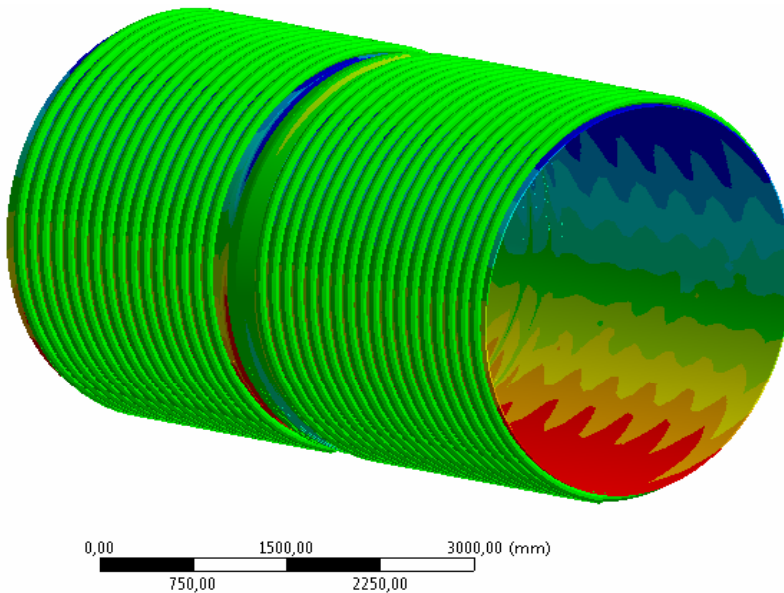
- Hoher Modellierungs- und Rechenaufwand
- Kerbradius nicht genau bekannt

⇒ Praxis: Kombination von Konzept 2 und 3

Schweißverbindungen

Praxisbeispiel zum Kerbspannungskonzept

Nachweis der Schweißnaht bei einem Kunststoffrohr:



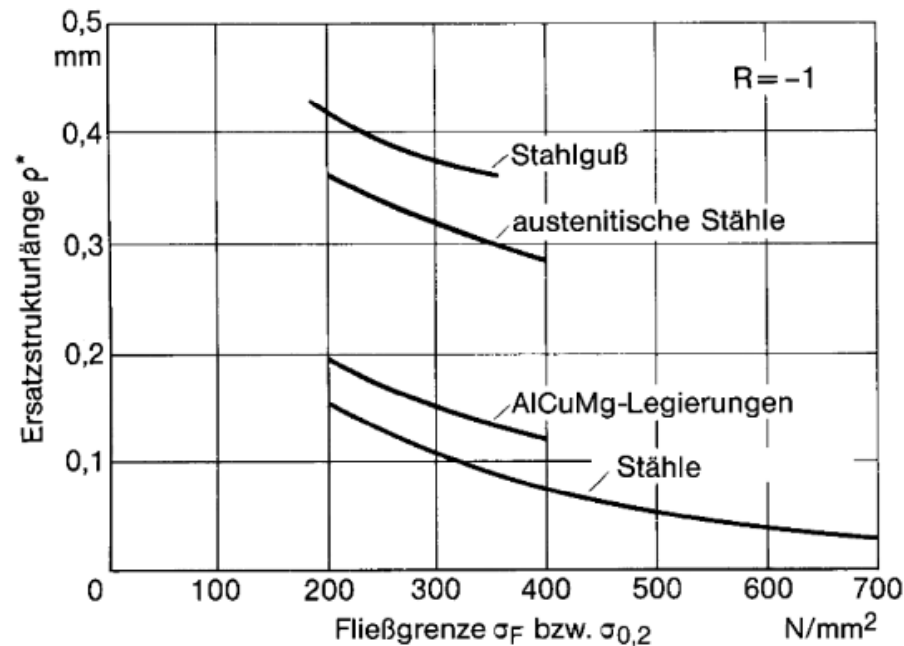
Radius 1,0 mm
(12 Elemente pro Radius)

Schweißverbindungen

Berechnung des Kerbradius beim Kerbspannungskonzept:

$$\rho_f = \rho + s \cdot \rho^*$$

ρ = realer Kerbradius,
 s = Faktor der Mikrostützwirkung,
 ρ^* = Ersatzstrukturlänge.



Faktor s der Mikrostützwirkung:

Festigkeithypothese	Zug / Druck / Biegung		Torsion
	Flachstäbe	Rundstäbe	
Normalspannungshypothese	2	2	0,5 bzw. 1
Schubspannungshypothese	2	$\frac{2-\nu}{1-\nu}$	0,5 bzw. 1
Oktaederschubspannungshypothese und Hypothese der Gestaltänderungsenergie	2,5	$\frac{5-2\nu+2\nu^2}{2-2\nu+2\nu^2}$	0,5 bzw. 1
Dehnungshypothese	$2 + \nu$	$\frac{2-\nu}{1-\nu}$	0,5 bzw. 1
Formänderungsenergiehypothese	$2 + \nu$	$\frac{2-\nu}{1-\nu}$	0,5 bzw. 1