Exzentrisch belastete Führungsschienen

Beat Schmied, Schmied Engineering GmbH, CH-4564 Obergerlafingen
www.schmied-engineering.ch

Kurzfassung

Der Vortrag beinhaltet zwei Hauptthemen.

1. Schraubenmodellierung in ANSYS Workbench und die Wirkung der exzentrischen Belastung auf die Schrauben-verbindung.
2. Schweissnahtnachweis mit örtlichen Spannungen mittels Submodelltechnik und FKM. Dies in Ergänzung zum Vortrag 2007 „Schweissnahtbewertung".

Die Ausführungen basieren auf den Untersuchungen für die linearen Führungseinheiten der Firma Güdel AG. Sie decken sich jedoch nicht in allen Belangen mit den letztlich gewählten Parametern.

Inhaltsverzeichnis

- Einleitung
- Frühere Situation
- Heutige Situation
- FE-Modell
- FE-Ergebnisse
- Schraubenbelastungen
- Nachweis für Kehlnahtwurzel nahe der Schraube

Schmied Engineering GmbH

Einleitung

Einleitung

Produkte

GÜDEL

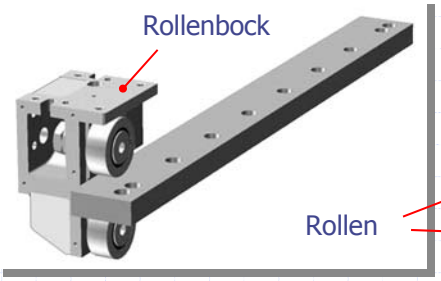
1-, 2-,3-Achsen-Portale

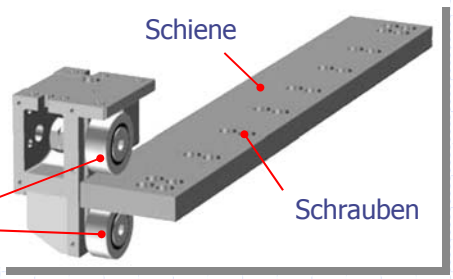
Roboter-Portale

Einleitung

Linearführungen schwere Baureihe

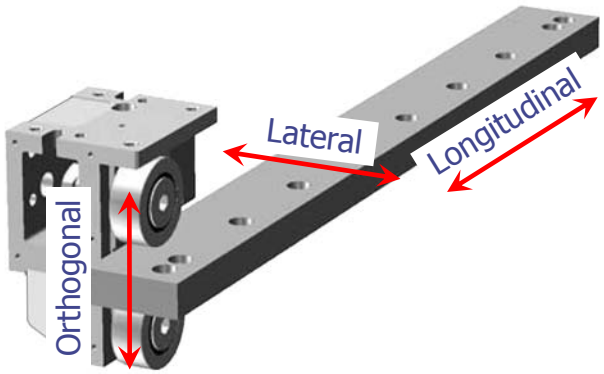
- Hersteller: Güdel AG, Langenthal www.gudel.com
- Flachführungen mit Rollenlager
- Kleinere Typen mit 1 Schraubenreihe, die grösseren mit 2





Einleitung

Koordinatenbezeichnungen



Einleitung

Auslegungsphilosophie

Normale Betriebslastfälle

- Rollenlast entsprechend Rollenlebensdauer $\geq 10^6$ m
- Schiene darf NICHT klaffen
- Ermüdungsnachweis für alle sicherheitsrelevanten Bauteile

Notaus und andere Ausnahmefälle

- Rollenlast $\leq$ statische Tragzahl der Rolle
- Schiene DARF klaffen
- Statischer Nachweis für alle sicherheitsrelevanten Bauteile

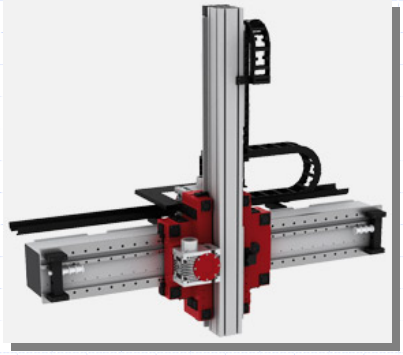
Schmied Engineering GmbH

Frühere Situation

Früher

Gegebenheiten

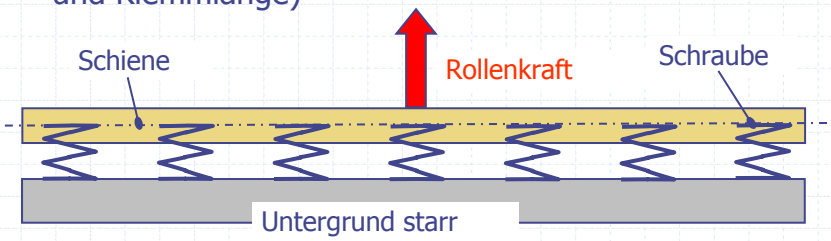
- Beschränkung auf 1-, 2- und 3-Achsenportale
- Belastungen primär durch Portal selber bestimmt
- In erster Linie limitiert die Rollenlebensdauer die Last
- Einbaulage immer gleich, dadurch Orthogonalbelastung auf Schienen eher gering
- Profile aus 4kt-Rohren gefertigt



Früher

Überprüfung Schienenbefestigung

- Analytische Überprüfung der Schrauben mit KISSsoft
- Abschätzung der Rollenkraftaufteilung auf mehrere Schrauben durch simples FE-Balkenmodell in Mathcad:
  - Schiene (nur Biegesteifigkeit)
  - Schrauben (Axialsteifigkeit mit Spannungsquerschnitt und Klemmlänge)



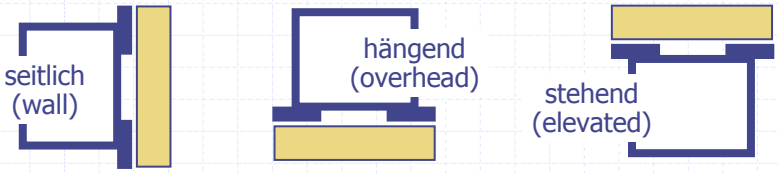
Schmied Engineering GmbH

Heutige Situation

Heute

Gegebenheiten

- An die Portale werden immer häufiger Roboter angebaut
- Anwendungen mit 2 oder mehr Robotern nicht selten
- Belastungen primär von den Robotern dominiert
- Anbau kann nun auf 3 Arten erfolgen:



- Neuer Rollenbocktyp mit 2 Orthogonalrollen
- Massgeschneiderte, geschweisste Träger

Heute

Belastungen generell

- Roboterhersteller nennen oft nur maximale Belastungen (Notaus). Werte für Ermüdungsnachweis selten erhältlich.
- Die vom Hersteller gelieferten, je drei Kraft- und Momenten-Komponenten treten nie gleichzeitig auf, da sie für unterschiedliche Armstellungen gelten.
- Die Roboterbewegung und das Verfahren der Portalachse überlagern sich in der Regel.
- Bei stillstehender Linearachse können die Roboterlasten die statische Tragzahl der Führungsrollen ausschöpfen ohne deren Lebensdauer gross zu beeinflussen → der frühere Zusammenhang zwischen Rollenlebensdauer und Ermüdung ist damit nicht mehr gegeben.

Heute

Belastungen auf Schiene

- Die Nachweise sind für den Doppelrollenbock zu erbringen. Beide Orthogonalrollen sind dabei maximal belastet.
- An der bisherigen Auslegungsphilosophie wird festgehalten.
- Für den Ermüdungsnachweis wird weiterhin die dynamische Tragzahl der Rollenlebensdauer 10^6 m verwendet. Diese Annahme ist eher pessimistisch.

Verhältnis der Rollenbelastungen

$$\frac{\text{dynamische Tragzahl } 10^6 \text{ m}}{0.7 \cdot \text{statische Tragzahl}} \approx 0.75$$

Verhältnis der Roboter-Lastfälle

$$\frac{\text{max. Roboterlast im Normalbetrieb}}{\text{max. Roboterlast bei Notaus}} \leq 0.75$$

Schmied Engineering GmbH

FE-Modell

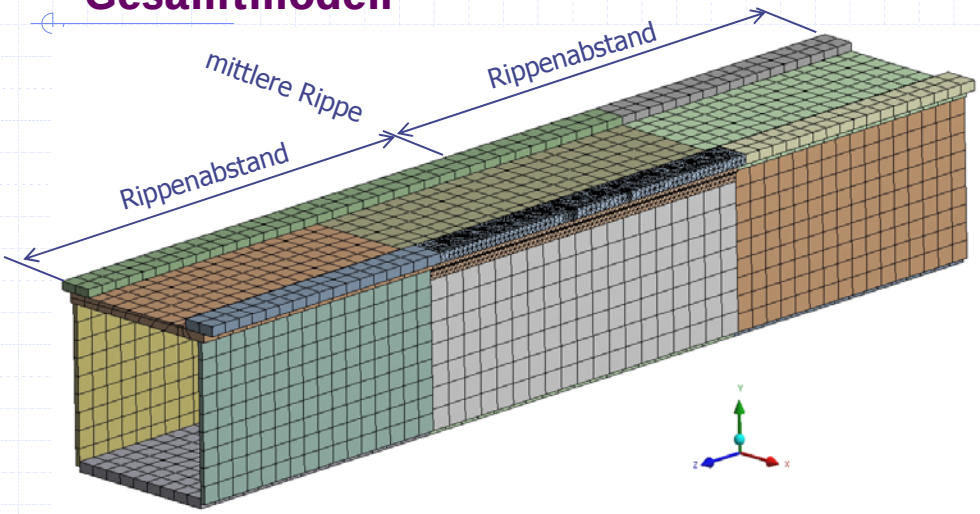
FE-Modell

Gesuchte Ergebnisse

- **Maximale Belastung der Schraube**
  - inklusive der Biegebeanspruchung beim Klaffen
  - Vorspannungen FM_{min} und FM_{max} mit α_A=1.6 (Anziehen mit Drehmomentschlüssel)
  - Einfluss der Schraubenteilung 50 mm und 100 mm
- **Maximale Beanspruchung der Längskehlnaht**
  - da Wurzel auch beurteilt werden muss, steht nur das örtliche Konzept (R1MS) zur Verfügung (siehe Beitrag Users' Meeting 2007)
- **Ungünstigste Position der Rolle**
  relativ zur Rippe

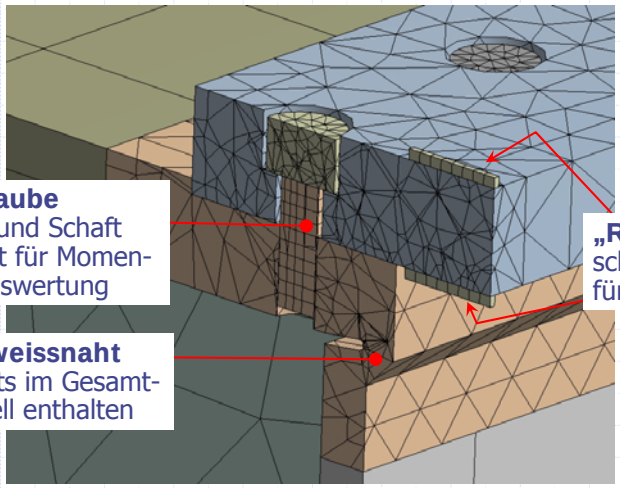
FE-Modell

Gesamtmodell



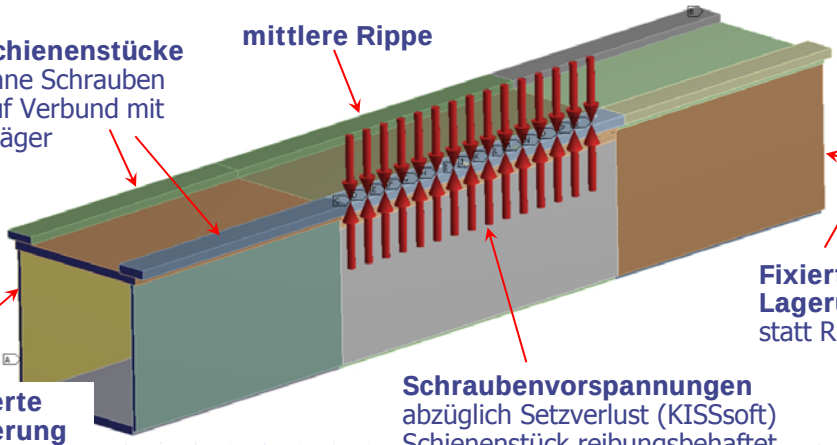
FE-Modell

Ausschnitt aus Gesamtmodell



FE-Modell

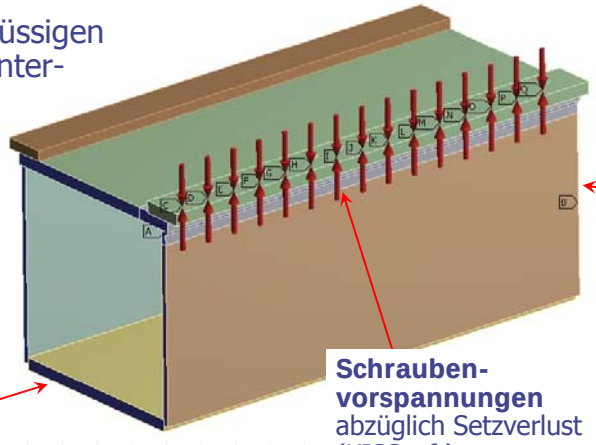
Lastfall A: Rollen bei mittlerer Rippe



FE-Modell

Lastfall B: Rollen zwischen den Rippen

Alle überflüssigen Bauteile unter-drückt



Fixierte Lagerung statt Rippe

Schrauben-vorspannungen abzüglich Setzverlust (KISSsoft)

Fixierte Lagerung statt Rippe

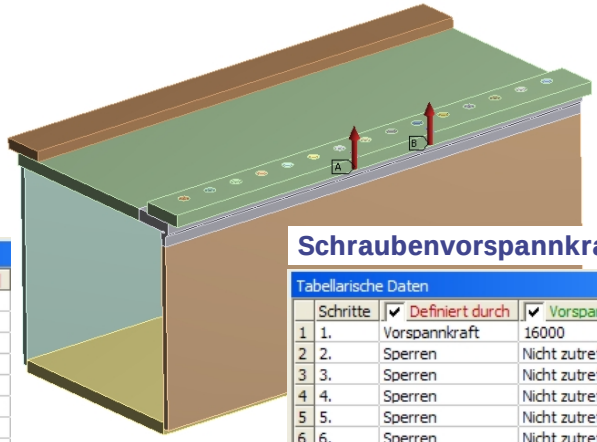
FE-Modell

Rollenbelastung in Lastschritten

Rollenkraft von 0 N bis statische Tragzahl

Tabellarische Daten

	Schritte	Time [s]	Kraft [N]
1	1	0.	0.
2	1	1.	0.
3	2	2.	5000.
4	3	3.	10000
5	4	4.	15000
6	5	5.	20000
7	6	6.	30000
8	7	7.	40000
*			



Schraubenvorspannkraft

Tabellarische Daten

	Schritte	Definiert durch	Vorspannkraft [N]
1	1.	Vorspannkraft	16000
2	2.	Sperren	Nicht zutreffend
3	3.	Sperren	Nicht zutreffend
4	4.	Sperren	Nicht zutreffend
5	5.	Sperren	Nicht zutreffend
6	6.	Sperren	Nicht zutreffend
7	7.	Sperren	Nicht zutreffend
*			

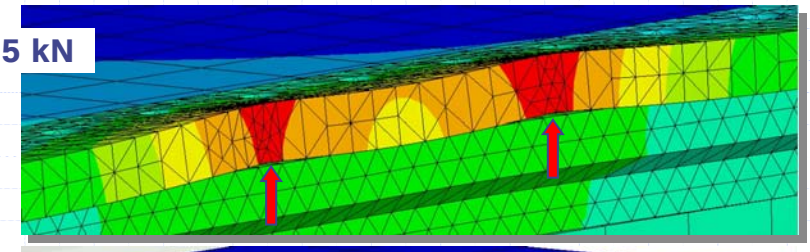
Schmied Engineering GmbH

FE-Ergebnisse

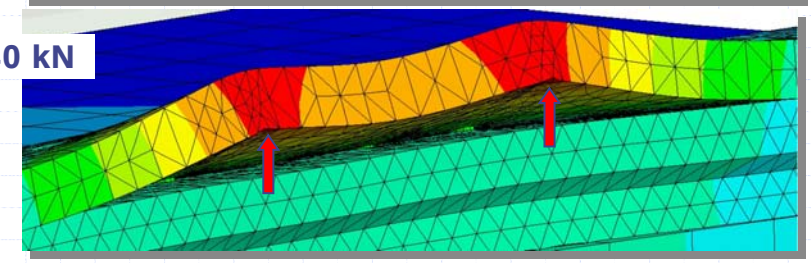
FE-Ergebnisse

Rollenlast orthogonal positiv

15 kN

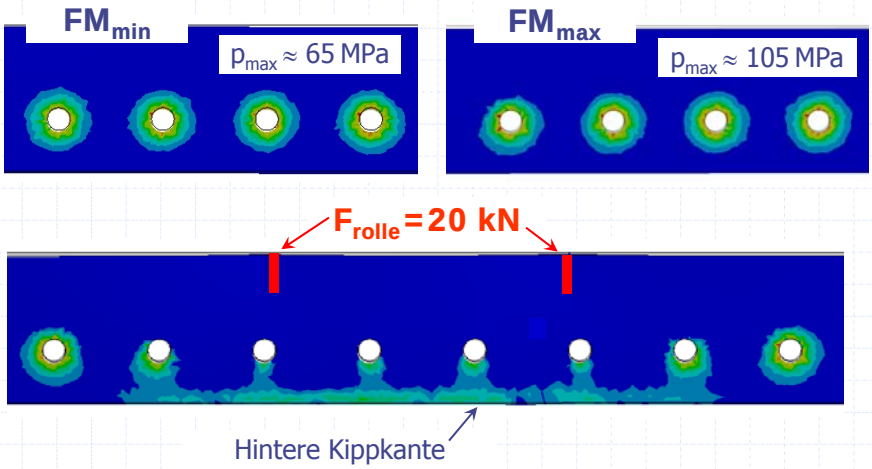


40 kN



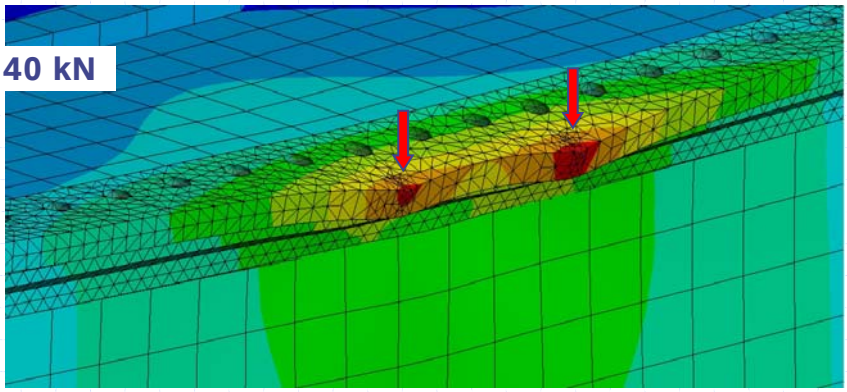
FE-Ergebnisse

Flächenpressung unter Schiene



FE-Ergebnisse

Rollenlast orthogonal negativ



FE-Ergebnisse

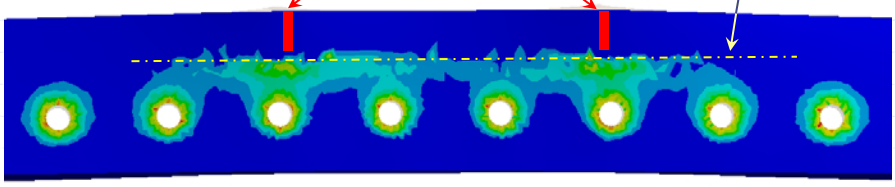
Flächenpressung unter Schiene

FM_{max}

$p_{max} \approx 105$ MPa

$F_{rolle} = 20$ kN

Vordere Kippkante



Im Gegensatz zu positiven Rollenkraft bleibt rund um die Schrauben immer eine Restvorspannung. Ein vollständiges Abheben tritt nicht auf.

Schmied Engineering GmbH

Schraubenbelastung

Schraubenbelastung

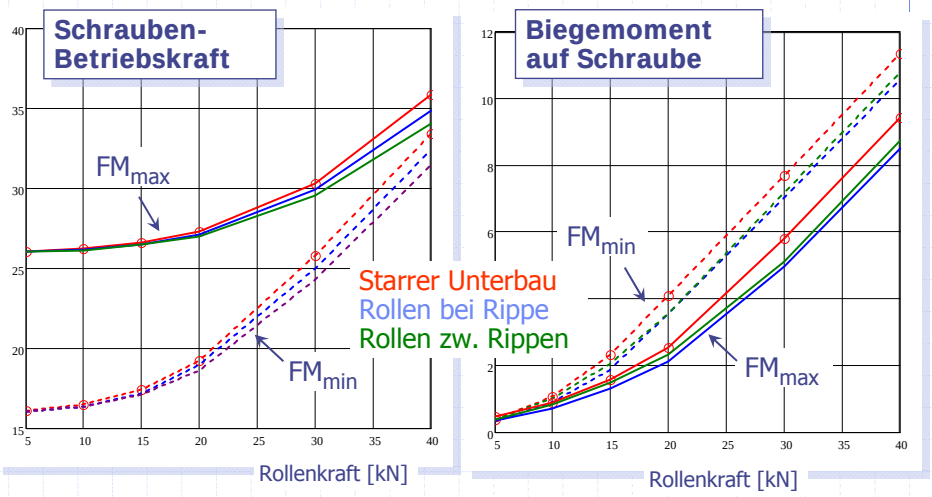
Auswertungen

Es wird nur die positive Rollenkraft näher betrachtet, da die negative bloss einen geringen Einfluss auf die Schrauben hat.

- **Einzelspannungen in höchstbelasteter Schraube**
  - Zugkraft → ANSYS: Stichprobe / Betriebslast
  - Biegemoment → ANSYS: Stichprobe / Momentenreaktion
  - Torsionsmoment → VDI 2230
  - Flächenkennwerte entsprechend Spannungsquerschnitt
- **Zulässige Maximalspannung** (Statisch)
  - Vergleichsspannung nach Mises
  - Ausnutzung der Streckgrenze zu 90%
- **Zulässige Spannungsamplitude** (Ermüdung)
  - Grenzwert nach VDI 2230
  - Sicherheit 1.5 (in Anlehnung an FKM)

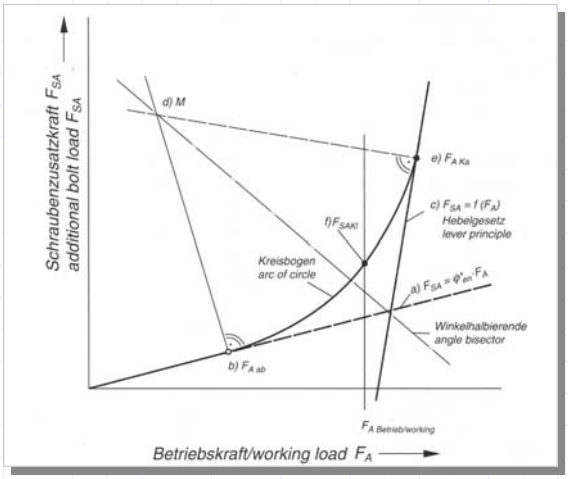
Schraubenbelastung

Maximale Schraubenbelastungen



Schraubenbelastung

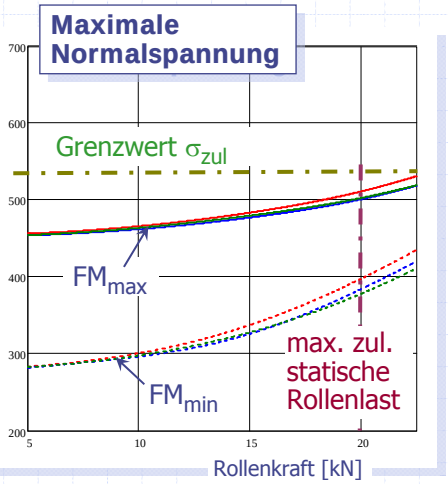
Schraubenzusatzkraft nach VDI 2230

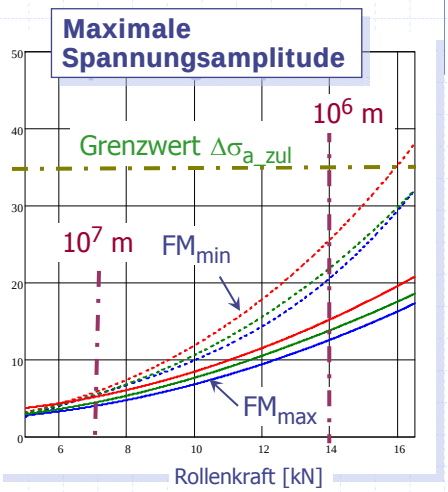


Grafische Ermittlung der Schrauben-zusatzkraft bei klaffender Verbindung

Schraubenbelastung

Resultierende Schrauben-Nennspannung

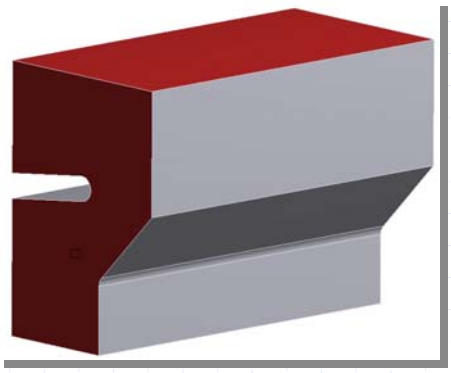




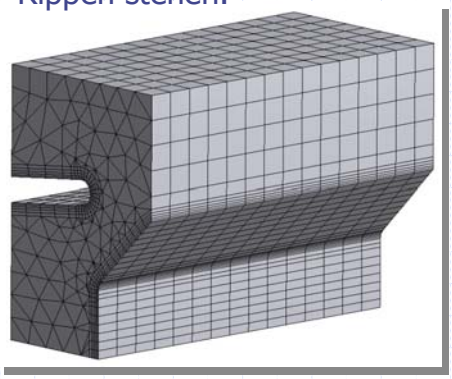
Nachweis für Schweissnahtwurzel

Schweissnaht-Nachweis

Submodell



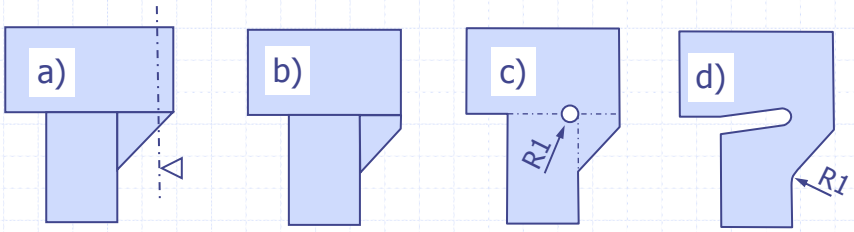
Die grösste Vergleichs-spannung folgt aus dem Gesamtmodell, für den Fall, dass die Rollen zwischen zwei Rippen stehen.



Der betreffende Bereich wird fürs Submodell zugeschnitten.

Schweissnaht-Nachweis

Nahtgeometrie



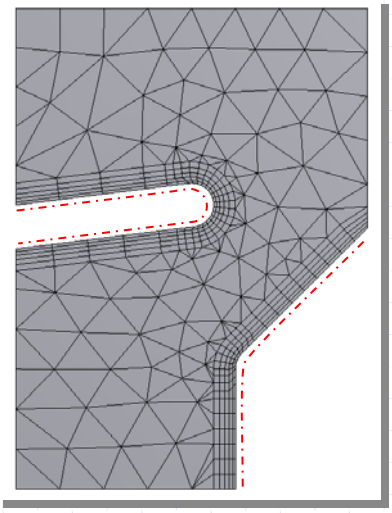
a) Geschweisst
b) Mechanisch bearbeitet
c) Wurzelmodellierung nach FKM
d) Vollständige Nahtmodellierung

Schweissnaht-Nachweis

Vernetzung

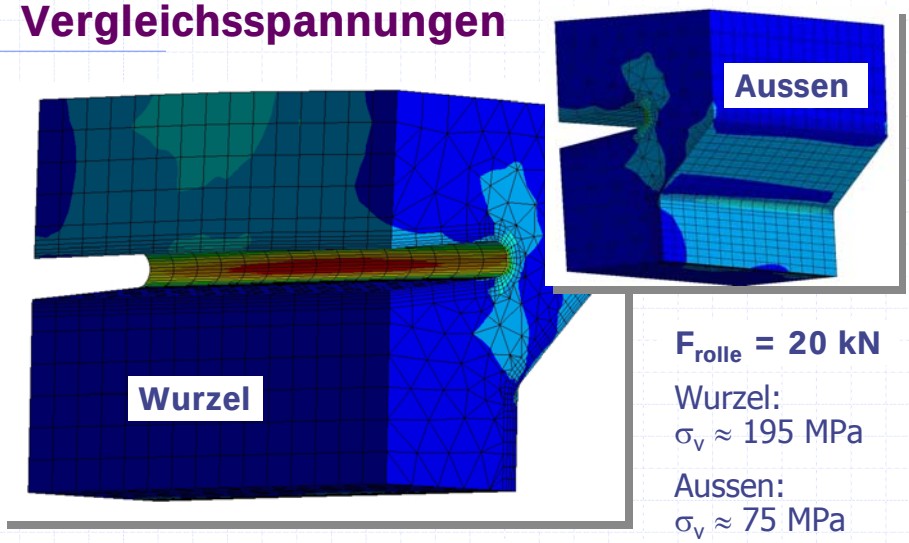
Dank dem sweepbaren Modell, sind Prismen-schichten möglich.

Begrenzungslinien der Prismenschichten mittels Linienteilung verfeinert (8 Teilungen in Radien für Winkel ≤ 90°)



Schweissnaht-Nachweis

Vergleichsspannungen



F_{rolle} = 20 kN

Wurzel:
$\sigma_v \approx$ 195 MPa

Aussen:
$\sigma_v \approx$ 75 MPa

Schweissnaht-Nachweis

Nachweis nach FKM für Wurzel

	Ermüdung	Statisch
max. Rollenkraft	14 kN	20 kN
max. Hauptspannung	65 ± 65 MPa (R=0)	185 MPa
Sicherheit	1.5	2 (Rm) / 1.5 (Re)
Auslastungsgrad	80 %	65 %

- Nachweis mit örtlichen Spannungen
- S355 mit hohen Eigenspannungen
- Vereinfachte Berücksichtigung des Mehrstufenkollektivs mittels Beanspruchungsgruppe B6