

Festigkeitsberechnung von Maschinen aus der Hütten- und Walzwerkstechnik mit Pro/Mechanica

SAXSIM – Saxon Simulation Meeting
28.4.2009
TU Chemnitz

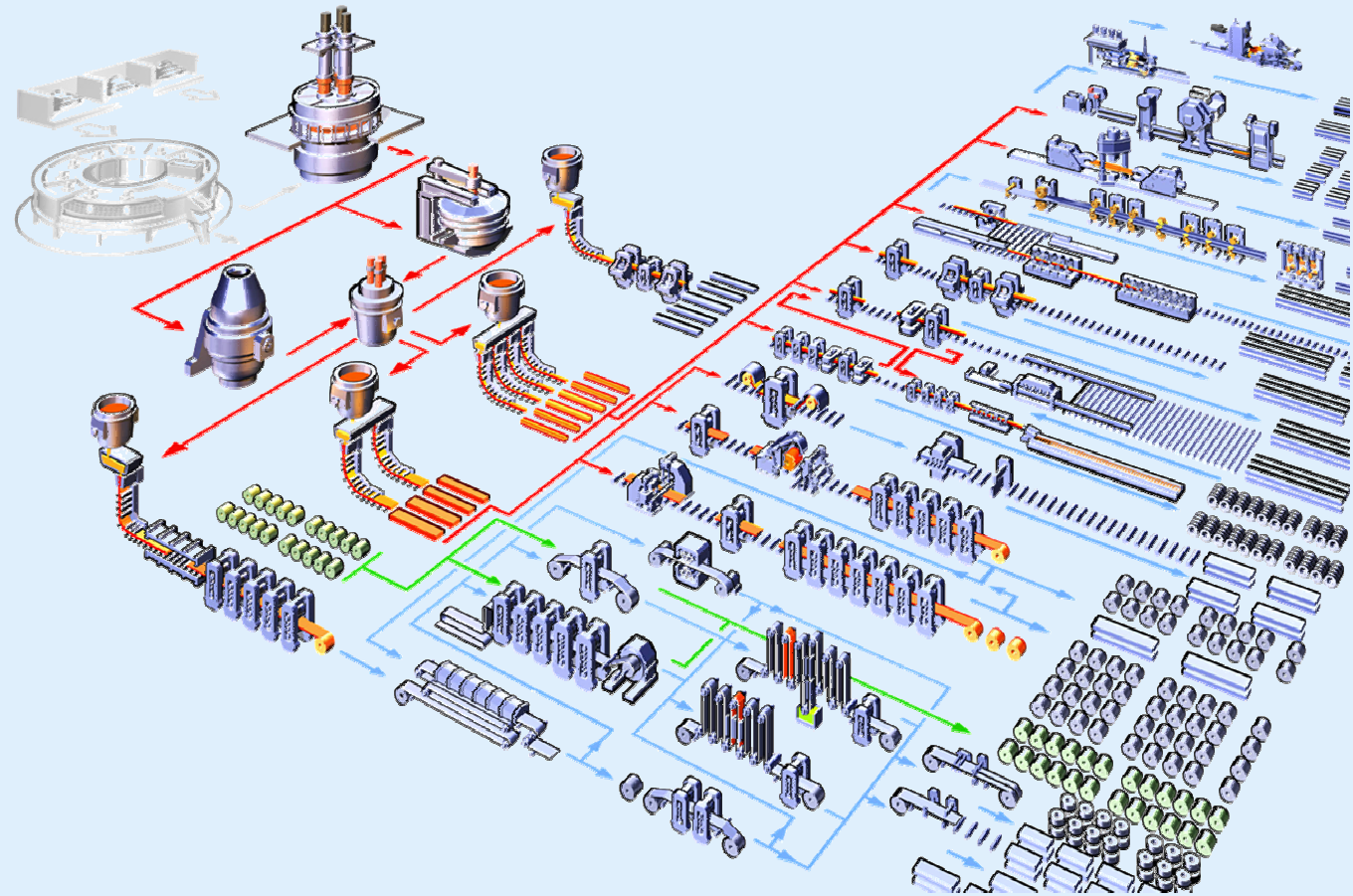
Überblick

- Kurzportrait SMS-Siemag
- Strukturanalysen/FEM bei SMS
- Arbeitstechniken mit Pro/Mechanica
- Festigkeitsnachweis
- Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken
- Beispiele für konstruktive Maßnahmen im Bedarfsfall
- Arbeitsumgebung bei SMS Siemag

▶ **Kurzportrait SMS-Siemag**

- Kompletthanbieter für die gesamte Prozesskette der Stahl- und Aluminiumerzeugung, Teil der SMS-group
- Wesentliche Unternehmensbereiche (nach Umsatz):
 - Warm- u. Kaltwalzwerke
 - Stahlwerke u. Stranggießtechnik
 - Bandanlagen
 - Service
- Auftragseingang ca. 3870 Mio. € (Stand 2008)
- Anzahl der Mitarbeiter ca. 6000 weltweit (Stand 2008)

▶ **Kurzportrait SMS-Siemag**



Produktpalette der SMS-group

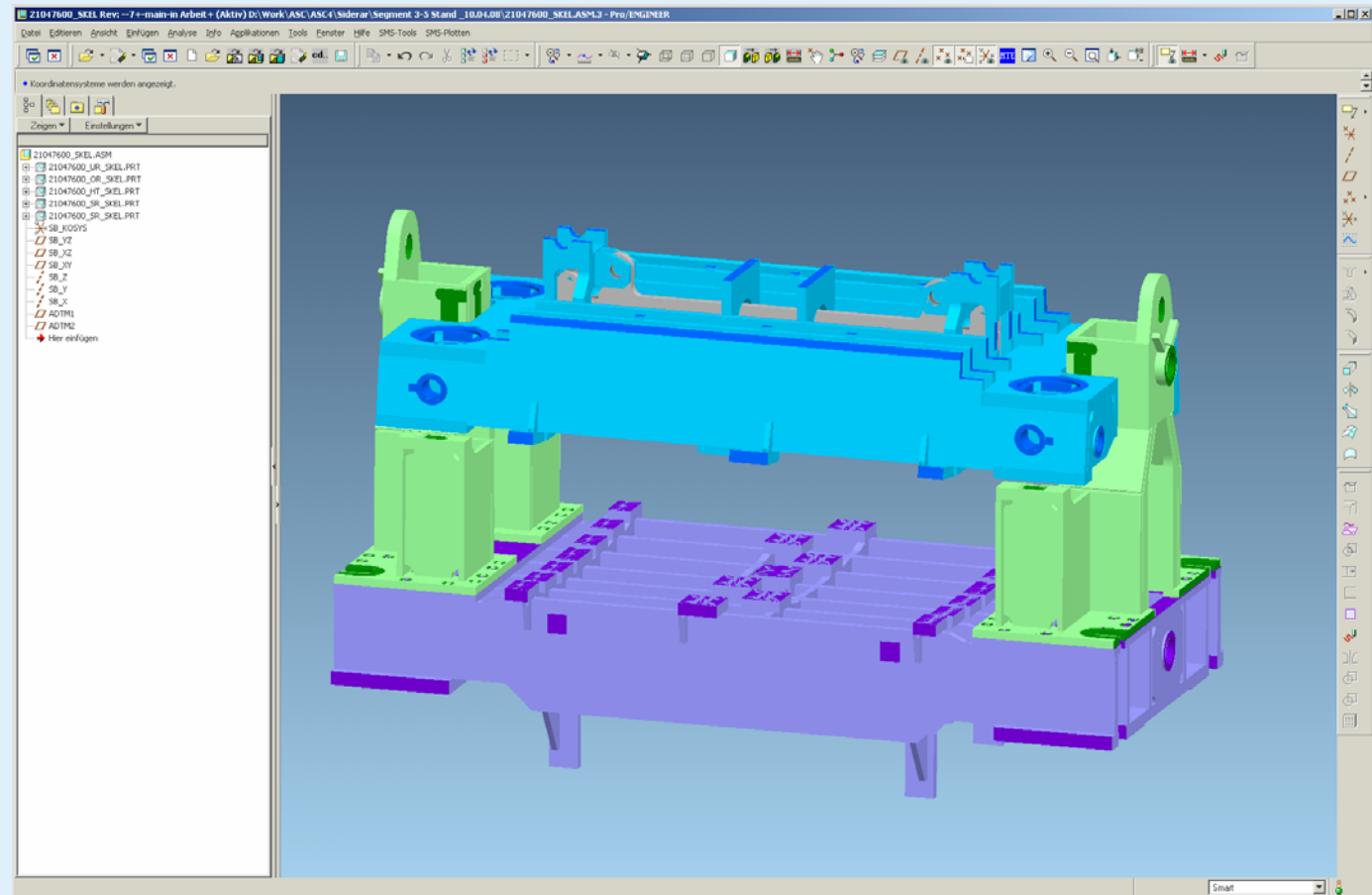
▶ **Strukturanalysen/FEM bei SMS**

- Teil des Zentralbereichs Entwicklung mit Sitz in Düsseldorf
- Aufgaben: Festigkeitsnachweise, Konstruktionsberatung, technologische Simulationen hauptsächlich für die Bereiche Stahl/Strang und Bandanlagen
- Softwareausstattung: Pro/Engineer, Pro/Mechanica, Ideas, MSC/Marc
- Anzahl der Mitarbeiter: 4

Arbeitstechniken mit Pro/Mechanica

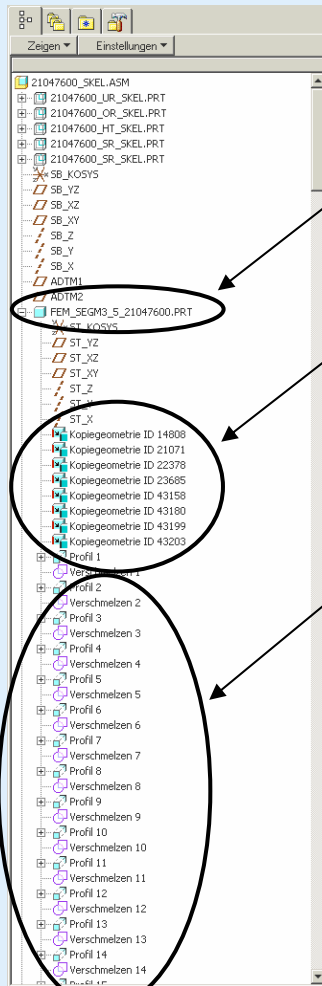
- Ausgangspunkt: Übernahme eines Modells aus einer Konstruktionsabteilung in Form einer
 - Skelettbaugruppe (Pro/E)
 - Detaillierte Baugruppe (Pro/E)
 - Zeichnung (AutoCad / auf Papier)
- Aufbereitung oder Neuaufbau des Modells in Pro/Engineer
- Weiterverarbeitung in Pro/Mechanica, Aufgabe der Lasten und Materialeigenschaften
- Rechenlauf mit Bewertung der Ergebnisse (Festigkeitsnachweis)

Arbeitstechniken mit Pro/Mechanica



Segment einer Stranggussanlage - Skelettbaugruppe

Arbeitstechniken mit Pro/Mechanica

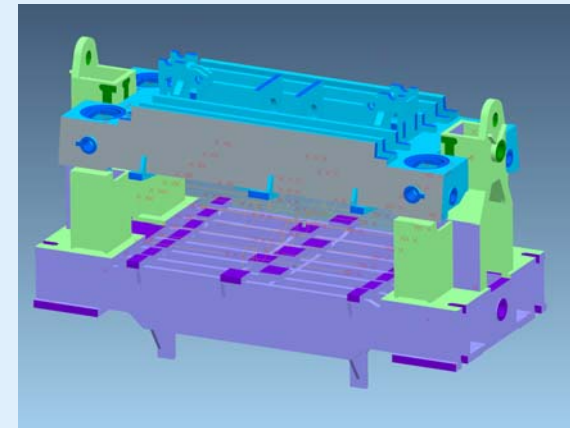


Einfügen eines FE-Parts

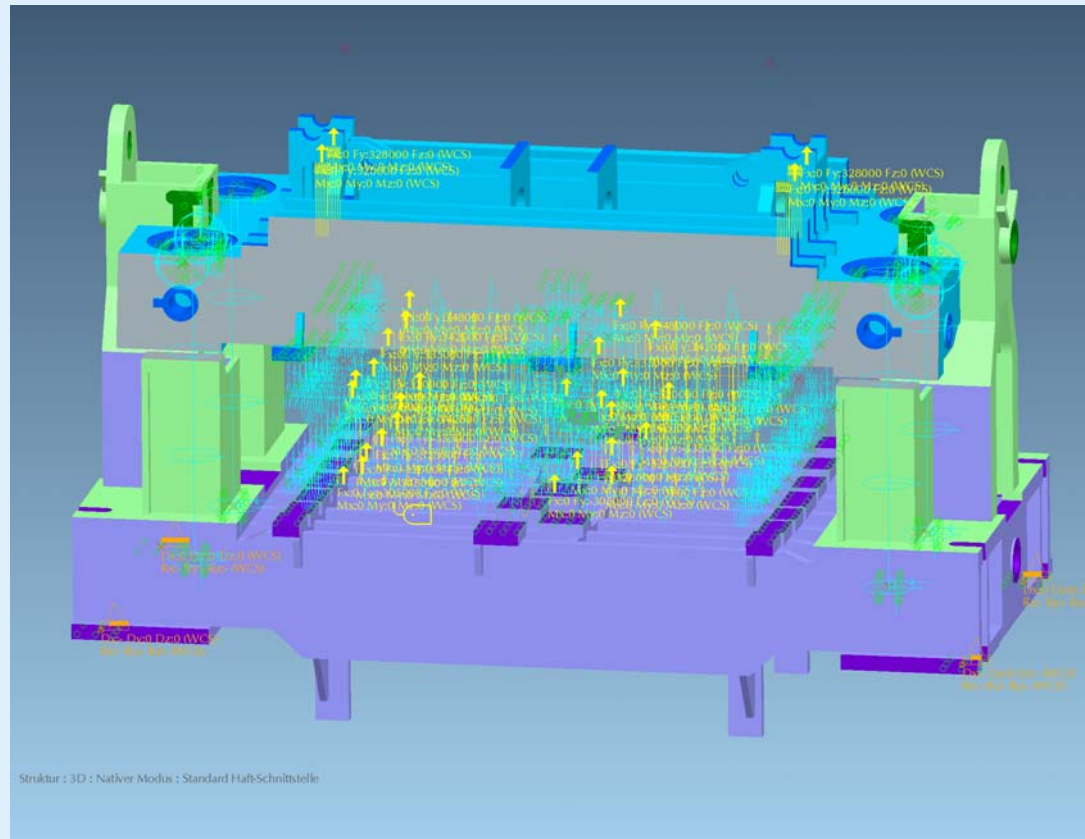
Abkopieren der relevanten Bleche/
Unterbaugruppen (Kopiergeom.)

KEs: Auffüllen von Löchern,
Flächenversätze, Stützpunkte für
Balken usw.

In Pro/E fertig
bearbeitetes
Modell

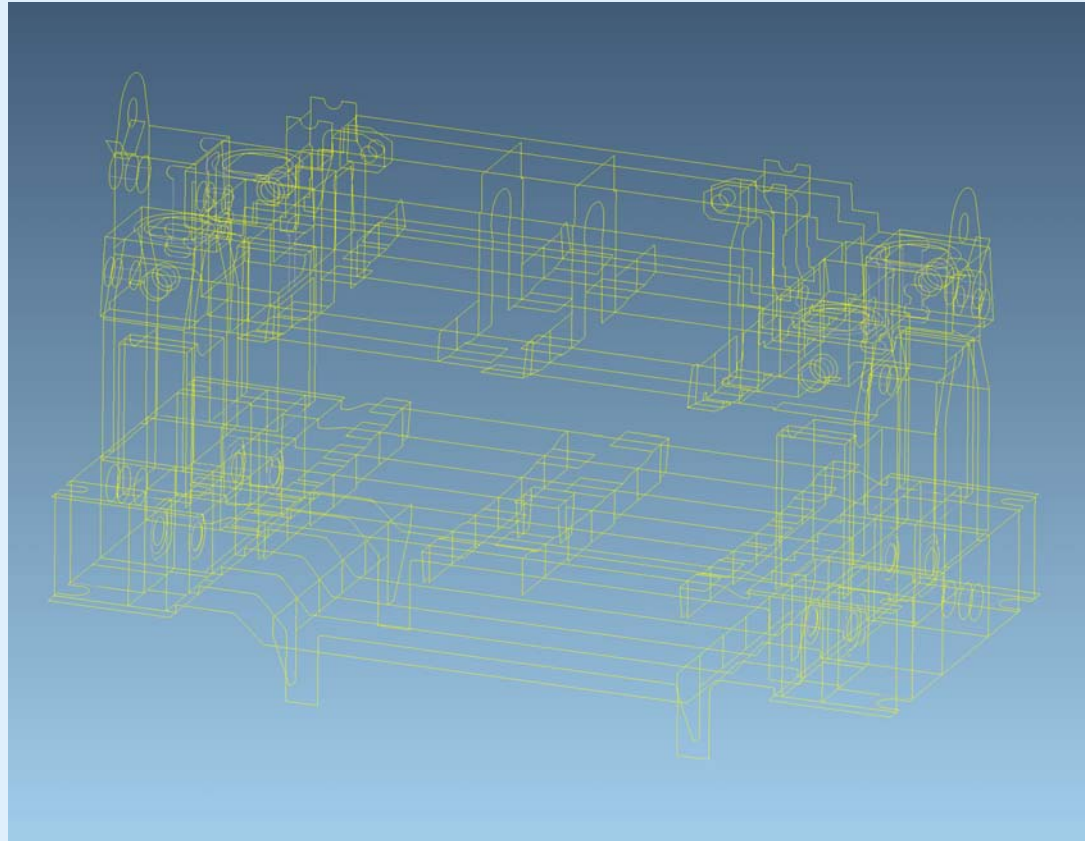


Arbeitstechniken mit Pro/Mechanica



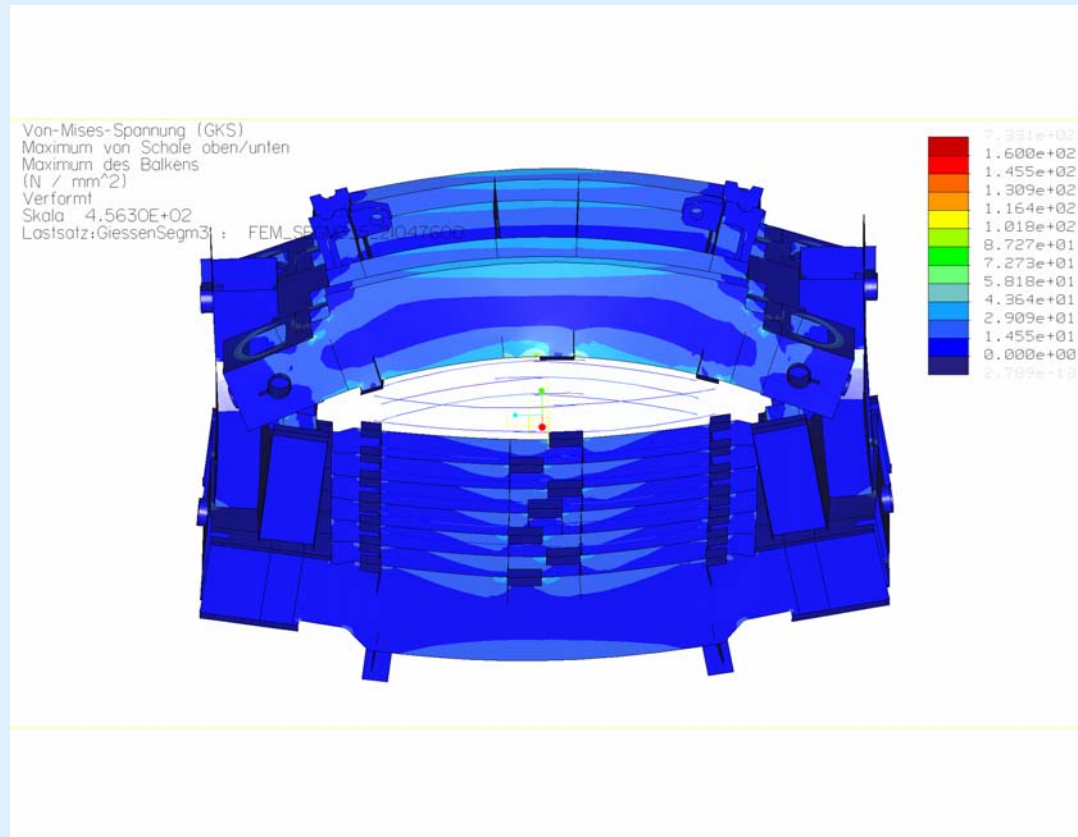
Mechanica-Modell mit Lasten u. Balken für Stranggussrollen

▶ Arbeitstechniken mit Pro/Mechanica



Komprimiertes Schalenmodell
ohne Netz

Arbeitstechniken mit Pro/Mechanica



Vergleichsspannungen (Maximum Schalenober- u. Unterseite), Lastfall Giessen [N/mm²]

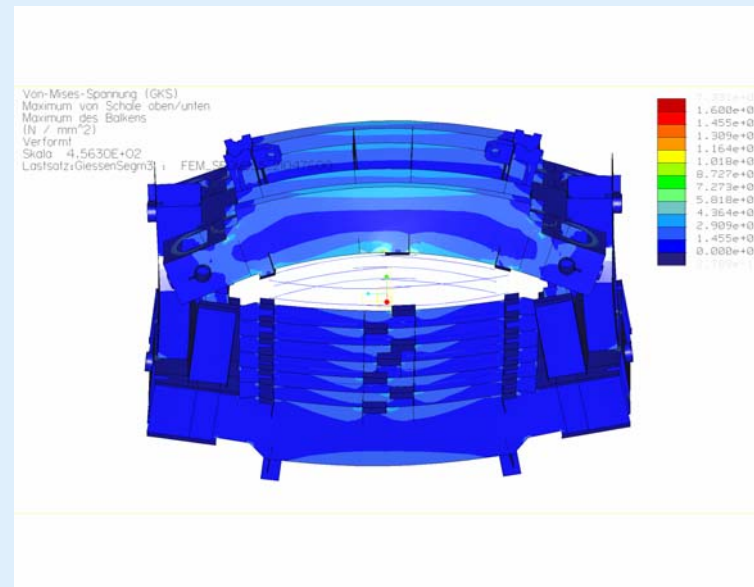
▶ Festigkeitsnachweis

Regelwerke:

- DIN 15018, 4132 für Schweißkonstruktionen
- DAST-Richtlinie 11 für hochfeste schweißgeeignete Feinkornbaustähle (StE 460 u. StE 690)
- FKM-Richtlinie für Maschinenbauteile, Schmiede- und Gussstücke, Vergütungsstähle
- VDI 2230 bzw. Hausnorm für Schraubverbindungen und genormte Maschinenelemente

Anwendung der FKM-Richtlinie indirekt über das Computerprogramm Rifest Plus (IMA GmbH, Dresden)

Festigkeitsnachweis



Beispiel Segment:
Schweißteil, daher
Nachweis nach
DIN 15018

- Spannungsverhältnis $\kappa = \sigma_u / \sigma_o \approx 0.8 \dots 0.9$
 - Wenige und langsame Lastwechsel
→ Statischer Nachweis ausreichend
 - Werkstoff S355 (St 37): zul $\sigma = 160 \text{ N/mm}^2$ (v. Mises-Spg.)
- => Im vorliegenden Fall Nachweis erfüllt

► Festigkeitsnachweis

Bewertung eines Bauteils nach DIN 15018, 4132, DASt 11:

- Berechnung der Vergleichsspannungen, Unterscheidung Zug/Druck anhand der Hauptspannungen
- Berechnung des Spannungsverhältnisses $\kappa = \sigma_u / \sigma_o$
Grenzfälle: $\kappa = 1$: rein statisch, $\kappa = 0$: rein schwellend, $\kappa = -1$: rein wechselnd
- Bestimmung einer Beanspruchungsgruppe B1-B6 aus Zahl der Lastspiele (N1-N4: $2e4 - 2e6$) und Spannungskollektiv (S0-S3) (sehr leicht – schwer)
- Weniger als 20000 Lastspiele: statischer Nachweis ausreichend; $K > 0.8$: i.d.R. statischer Nachweis ausreichend; Dauerfestigkeit: B6 erforderlich

▶ Festigkeitsnachweis

Bewertung eines Bauteils nach DIN 15018, 4132, DASt 11 (Fortsetzung):

- Statischer Nachweis: Vergleich der lokal auftretenden Spannung mit der **statisch** zulässigen Spannung (**gleich** für Grundmaterial und Schweißnähte)
- Berechnung/tabellarische Bestimmung der **dynamisch** zulässigen Spannung in Abhängigkeit d. Beanspruchungsgruppe, Werkstoff, Kerbfall (Schweißnahtform und –Güte), Spannungsverhältnis κ
- Kerbfälle: z.B. K1 (mäßige Kerbwirkung) für Stumpfnähte, K3 (starke Kerbwirkung) für K-Naht Normalgüte u. T-Stoß, K4 (besonders starke Kerbwirkung) für reine Kehlnähte
=> i.d.R. wesentlich weniger belastbar als Grundwerkstoff

▶ Festigkeitsnachweis

Bewertung eines Bauteils nach FKM-Richtlinie

- Berechnung der Mittelspannung und Amplituden (Hauptspannungen)
- Bestimmung des Werkstoffes und ggf. des Wärmebehandlungszustandes (vergütet/normalisiert usw.)
- Festlegung der Sicherheiten
- Spannungskollektive und Zahl der Lastspiele
- Spannungsgradient normal zur Oberfläche, Größeneinfluss, Oberflächenkennwerte

▶ Festigkeitsnachweis

Bewertung eines Bauteils nach FKM-Richtlinie (Forts.)

Die FKM-Richtlinie berücksichtigt u.a.:

- Kerbwirkungszahl β (Kerbformzahl α implizit gegeben durch FE-Berechnung) statisch/dynamisch
- Temperatureinfluss bis ca. 300-400°C
- Wöhlerlinien und Miner-Regel integriert

Die FKM-Richtlinie ist sehr umfangreich, jedoch gut automatisierbar z.B. durch das Programm Rifest.

Jedoch: Schweißnahtbewertungen sind nicht in Rifest enthalten, daher bedingte Eignung für Schweißteile

Festigkeitsnachweis

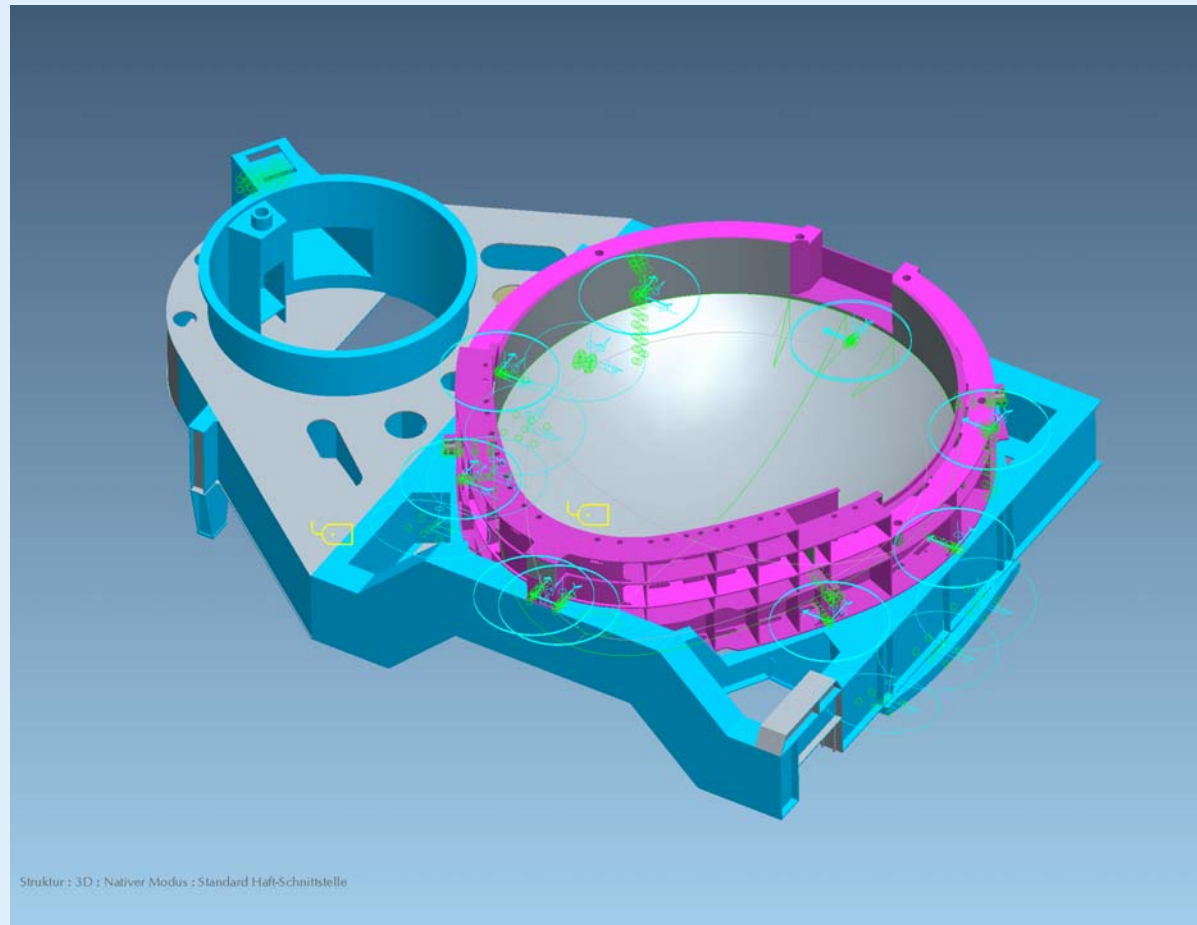
The screenshot displays the RifestPlus software interface for a tensile strength proof. It consists of three main windows:

- Werkstoffkennwerte (Material Properties):**
 - Werkstoffgruppe: unlegierter Baustahl DIN-EN 10025
 - Werkstoffsorte: St 60-2
 - Normwert (selected): Normzugfestigkeit $R_{m,N}$ [MPa] = 590, Elastizitätsmodul E [MPa] = 210000, Normstreckgrenze $R_{e,N}$ [MPa] = 335, Zugfestigkeit im Bauteil R_m [MPa] = 590, Fließgrenze im Bauteil R_p [MPa] = 335.
 - eff. Durchmesser d_{eff} [mm] = 40,0
- Spannungskennwerte (Stress Characteristics):**
 - Bauteilart: Spannungen σ_x, σ_y, τ
 - Kollektivart: Mittelspannung konst.
 - Spannungswirkung: unbekannt
 - Table of stress values for collective level 1:

	Spannungen der Kollektivstufe 1 im Nachweispunkt			Zyklenzahl N_{quer}	Kollektivform	plastische Formzahl K_p
	Mittelwert	größte Amplitude	größte Amplitude			
σ_x	0	0	0	1,000E06	B, p=1	
σ_y	0	0	0	1,000E06	B, p=1	
τ	0	0	0	1,000E06	B, p=1	
- RifestPlus (Main Calculation Window):**
 - Bezeichnung: (empty)
 - Berechnungsverfahren: Dauerfestigkeit, Minersumme D_M
 - Spannungen: Fenster Spannungskennwerte
 - Umgebung: Betriebstemperatur T [°C] = 20
 - Werkstoff: St 60-2 ($R_{m,N} = 590$ MPa, $R_{e,N} = 335$ MPa)
 - Konstruktion: mittl. Rauheit R_z [mym] = 200, Randschichtfaktor K_V = 1,00, ohne Verfestigung
 - Sicherheit: $i_m = 2,00$; $i_p = 1,50$; $i_{mt} = 1,50$; $i_{pt} = 1,00$; $i_D = 1,50$; F2 - konstantes Spannungsverhältnis

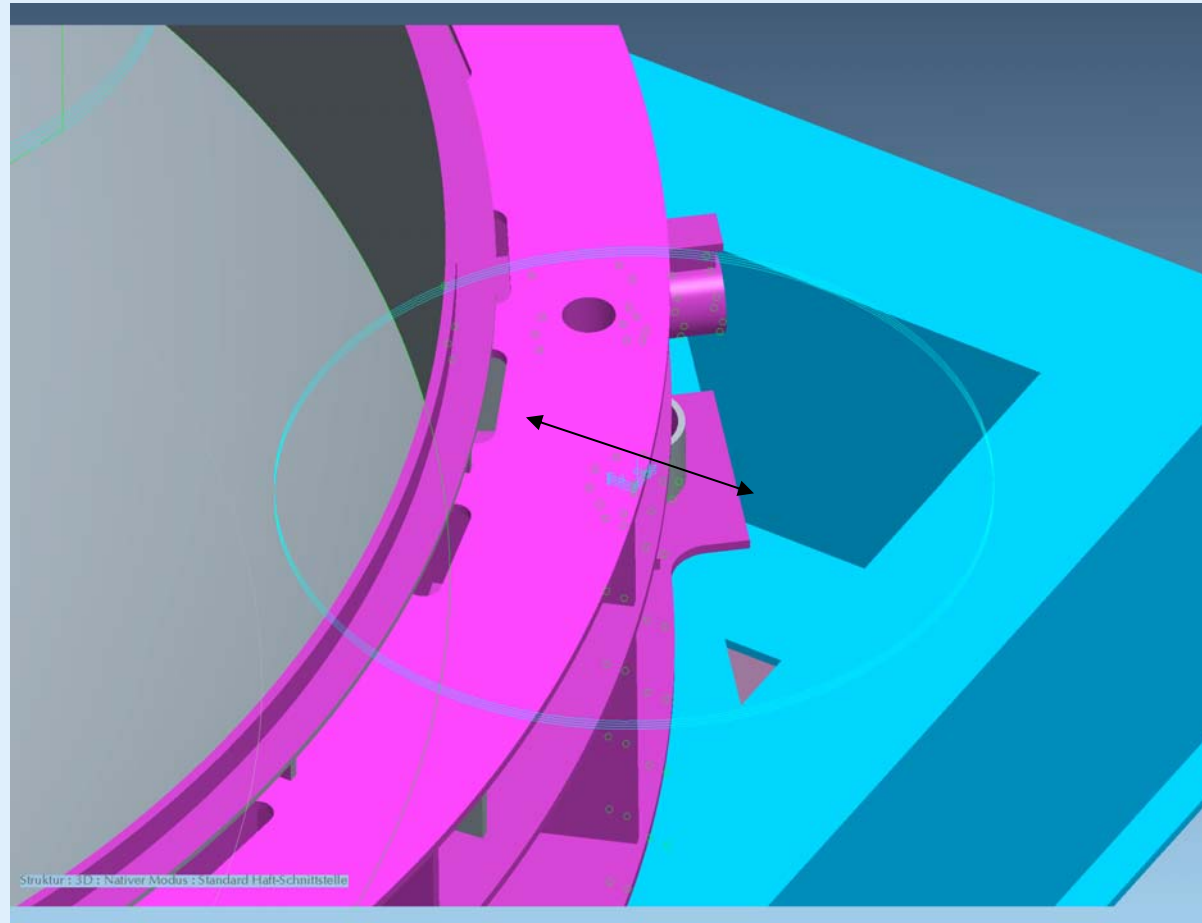
Benutzeroberfläche von Rifest Plus

▶ **Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken**



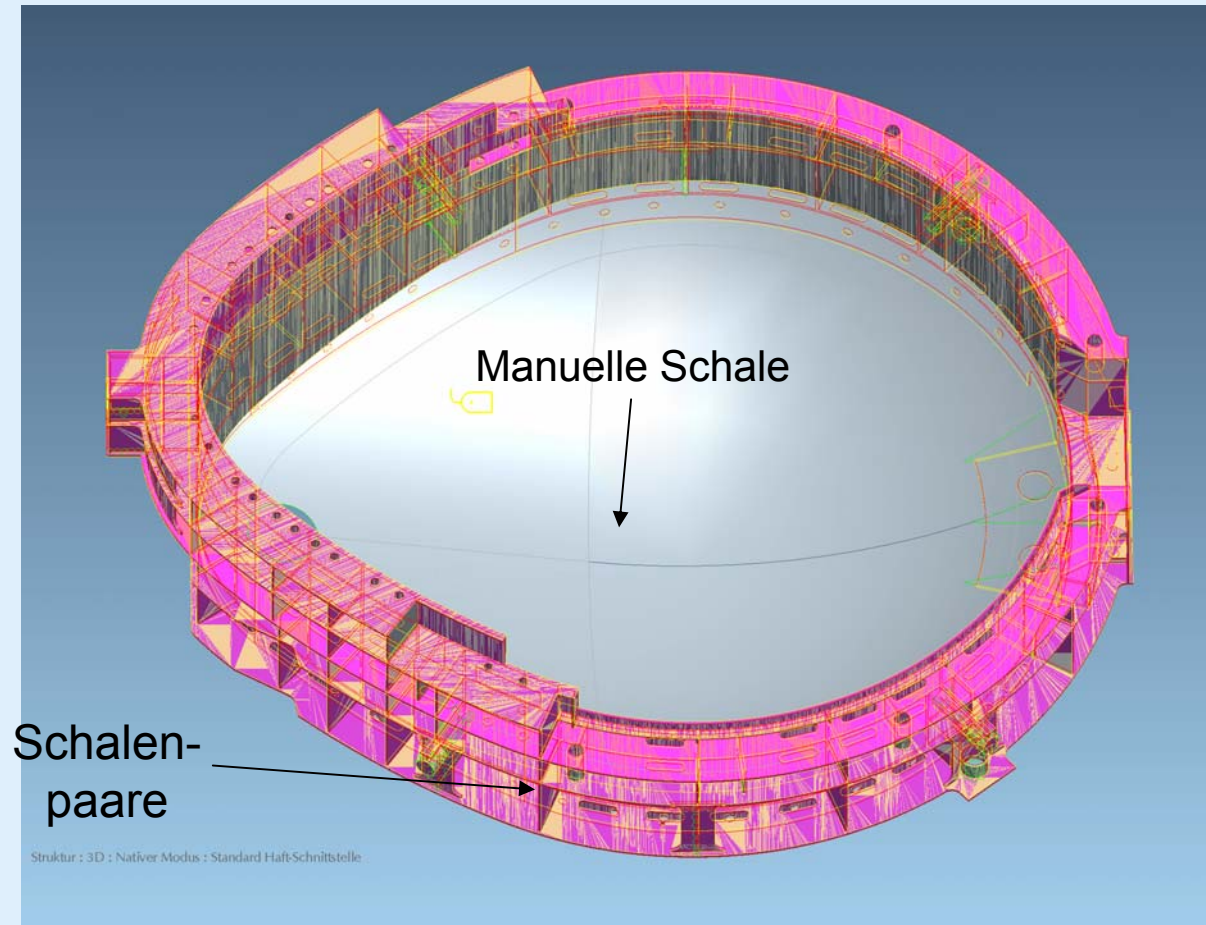
Modell EAF-Kippbühne und Untergefäß

▶ **Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken**



Detail Gefäßbefestigung: Balkengelenk zur Vermeidung von Zwängung

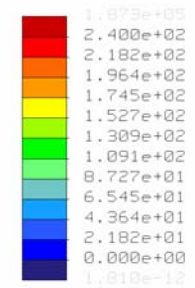
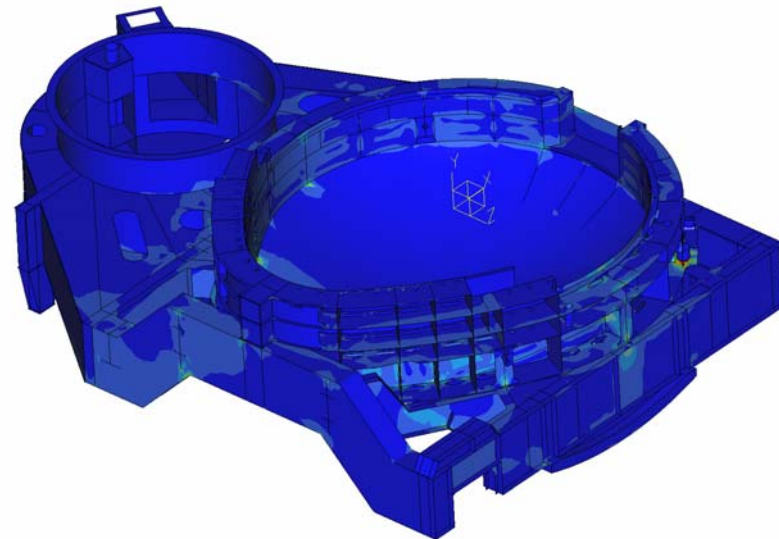
▶ **Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken**



Schalendefinitionen Ofengefäß

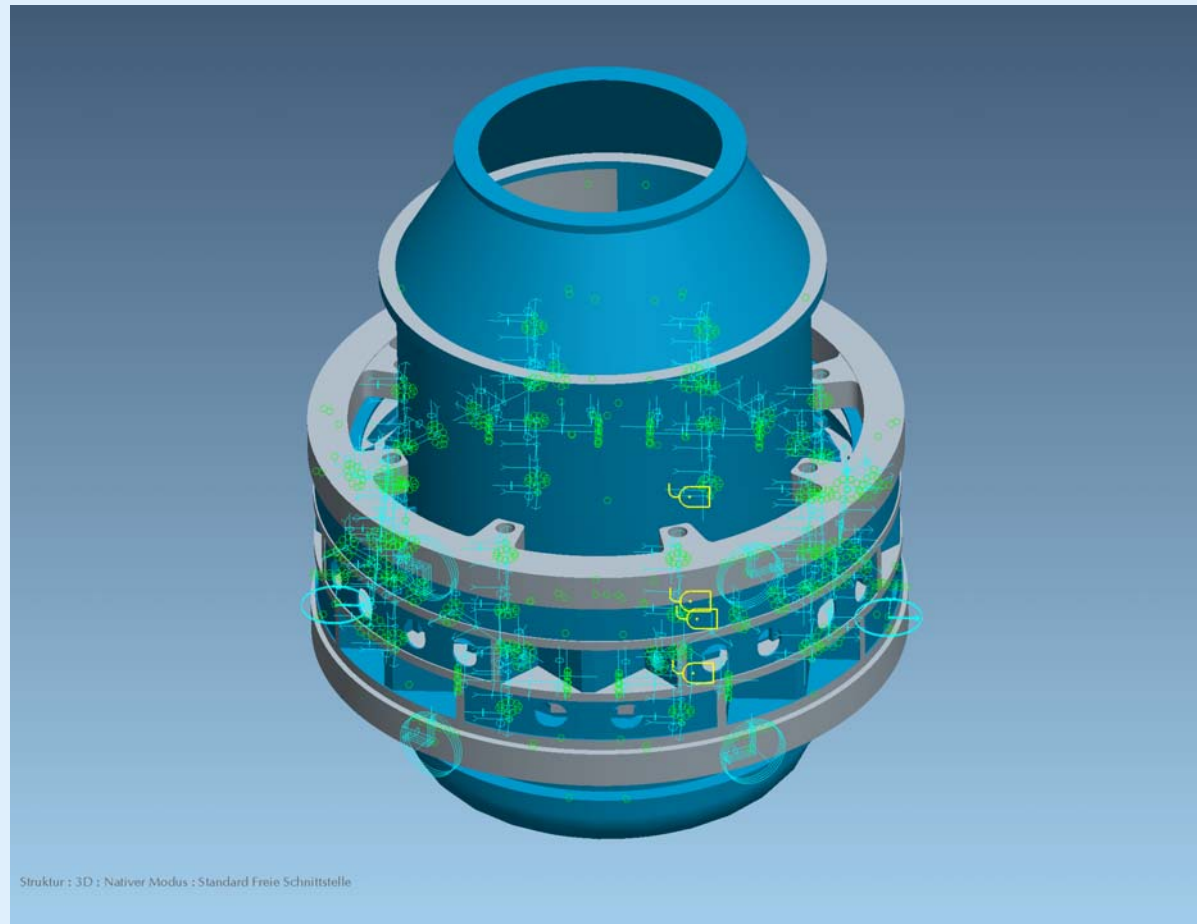
Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken

Von-Mises-Spannung (GKS)
Maximum von Schale oben/unten
Maximum des Balkens
(N / mm²)
Kombination



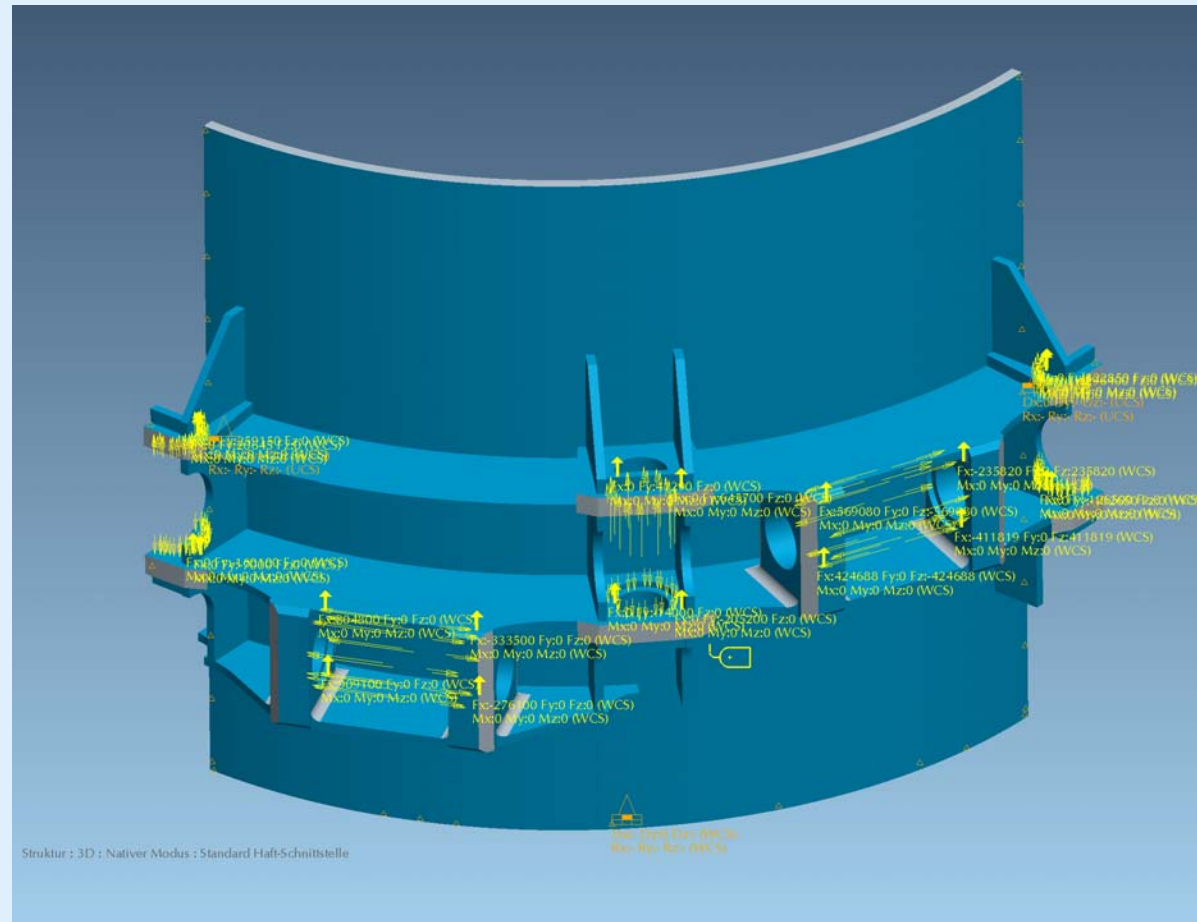
Vergleichsspannungen eines Lastfalles [N/mm²]

▶ **Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken**



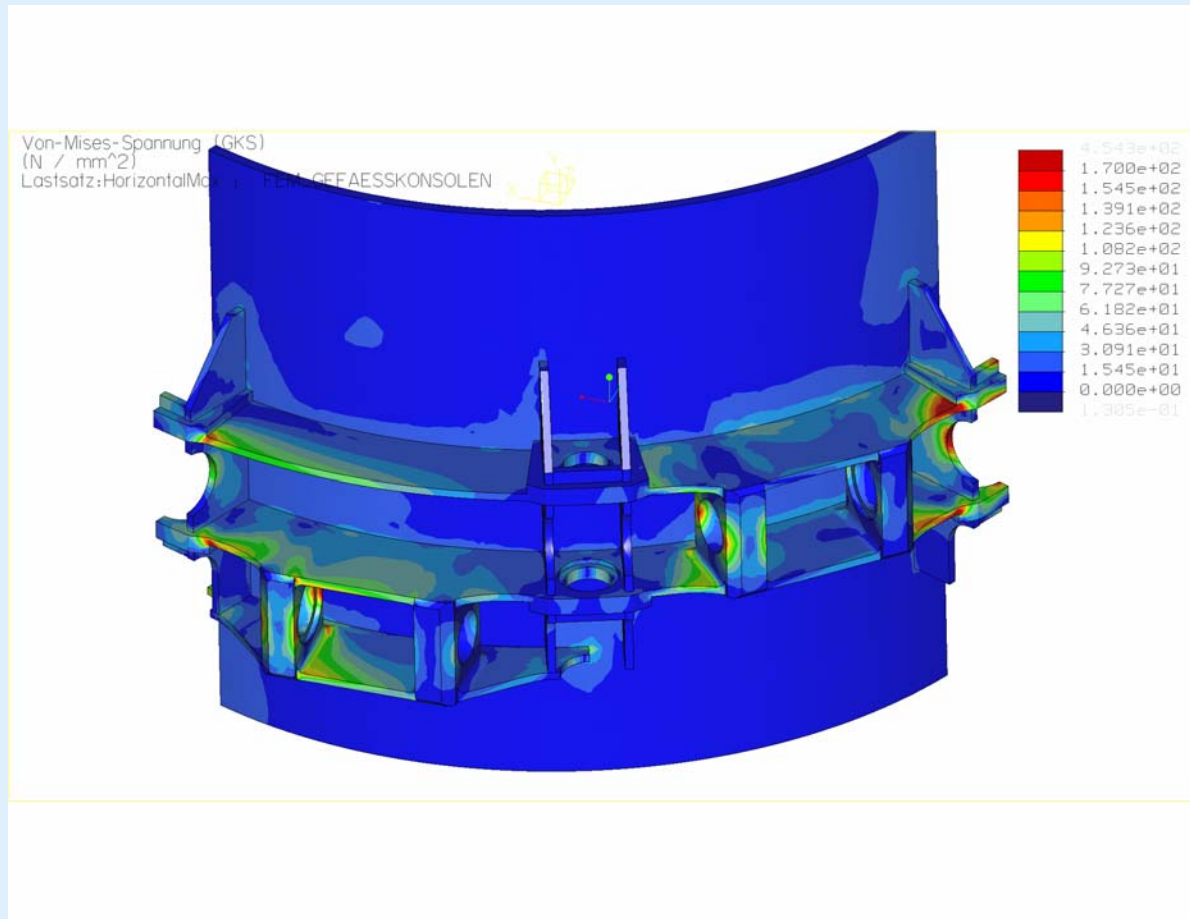
Rotationskonverter mit modellierten Spannelementen

▶ Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken



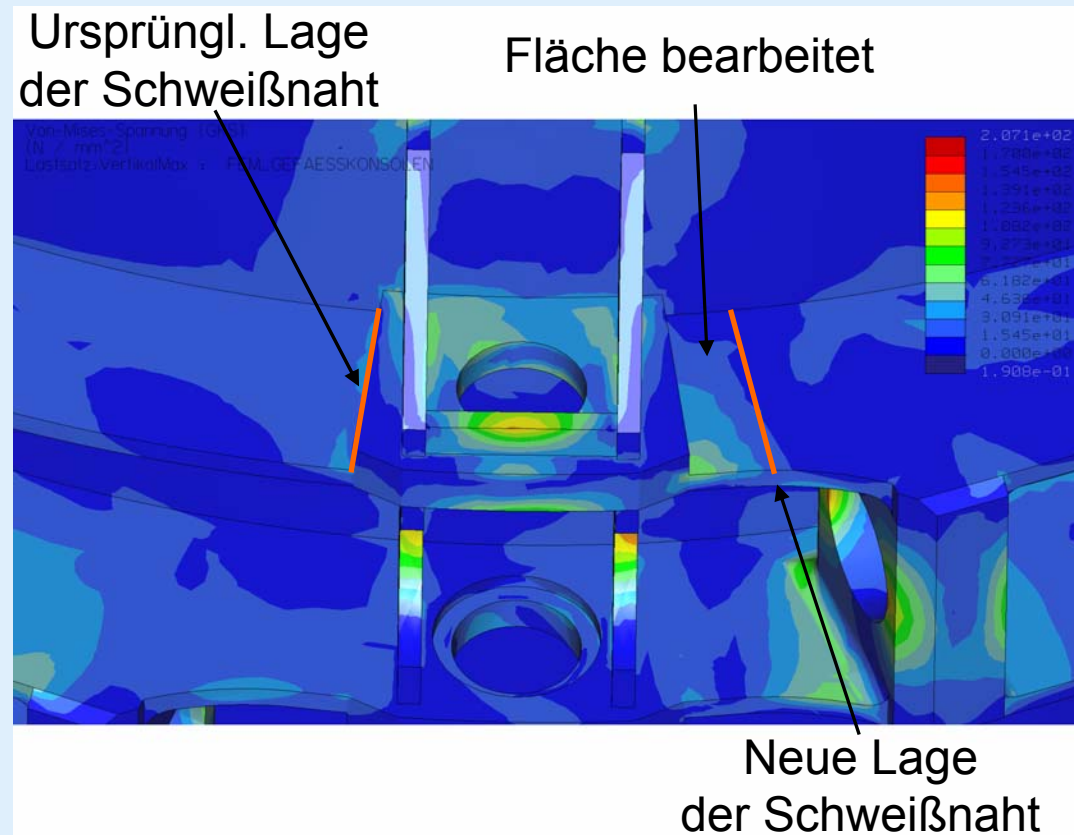
Detailmodell mit Schnittlasten

Beispiele für die Modellierung mit Schalen u. Balken



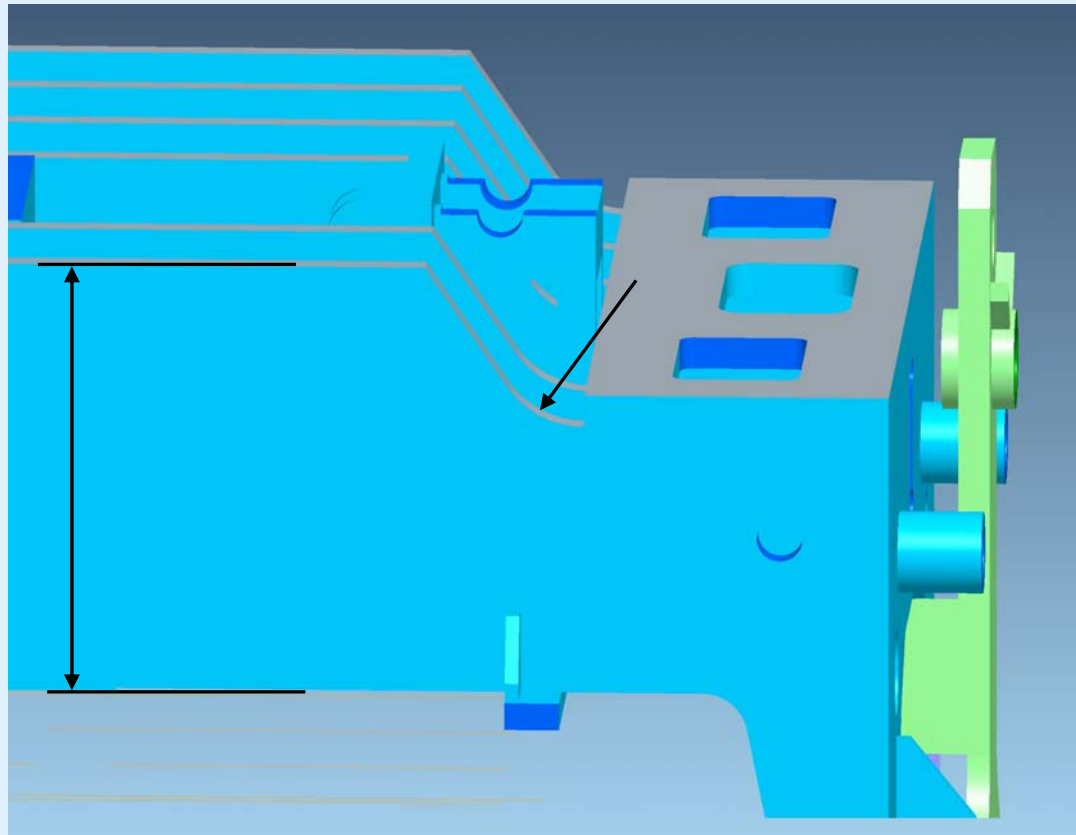
Vergleichsspannungen Detailmodell

▶ **Beispiele für konstruktive Maßnahmen im Bedarfsfall**



Beispiel: Versetzen einer Schweißnaht
Effekt: niedrigere Belastungen der Naht, günstigerer Kerbfall

▶ **Beispiele für konstruktive Maßnahmen im Bedarfsfall**



Beispiel: Anpassung von Traversenhöhe u. Radius
Effekt: Erzielung der max. zulässigen Durchbiegung

▶ **Arbeitsumgebung bei SMS Siemag**

Rechnerausstattung:

- Arbeitsplatz-PCs
- 3 Berechnungsserver (2x Linux für Berechnungen mit MSC/Marc, 1x Solaris für große Berechnungen mit Pro/Mechanica)
- Remote-Zugriff auf Server mit Exceed (X-Server für MS Windows), Datenaustausch mit SMB

Vielen Dank für
ihre Aufmerksamkeit!

