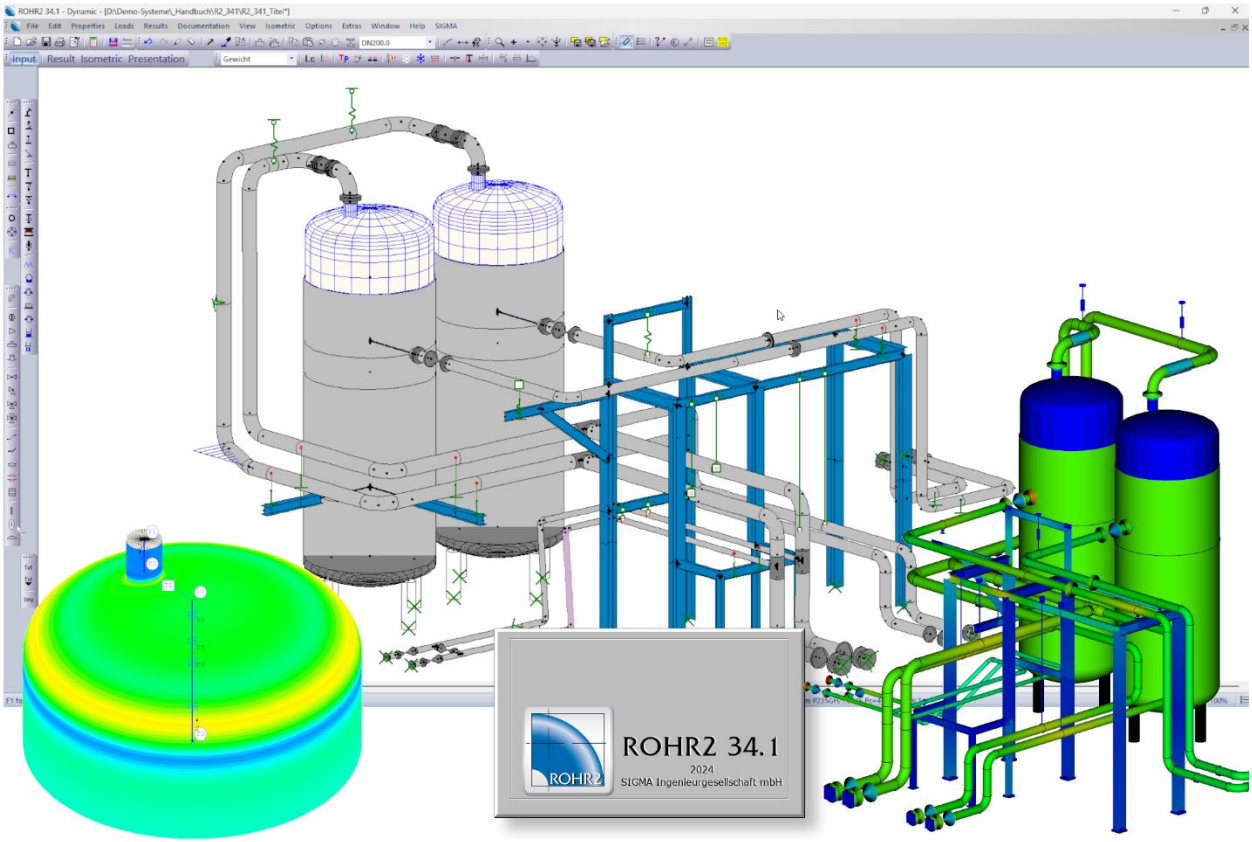


FE-Analyse mit dem ROHR2 Zusatzmodul

ROHR2fesu

im Programmsystem ROHR2

SIGMA Ingenieurgesellschaft mbH

Inhalt

1 ROHR2fesu Übersicht ... 1

2 Aufgabe ... 2

3 Leistungsmerkmale ... 3

3.1 Integration in das Programmsystem ROHR2 ... 5

4 Bibliothek der zur Verfügung stehenden Superelemente ... 6

4.1 Übersicht Superelemente ... 6
4.2 Kopplung mit dem Stabwerk ... 9
4.3 Verschneidungen ... 10
4.4 Belastungen ... 11
4.5 Einschränkungen bei der Modellgenerierung ... 11
4.6 Spannungsbewertung1 ... 12
4.7 Ergebnisdarstellung ... 12
4.8 Dokumentation der Ergebnisse ... 13

5 Anwendungsbeispiele ... 14

6 Lizenz und Systemvoraussetzungen ... 18

7 Entwicklung, Vertrieb und Support ... 18

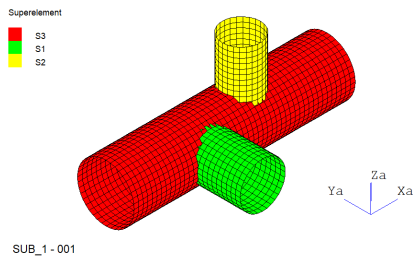
Stand 25.06

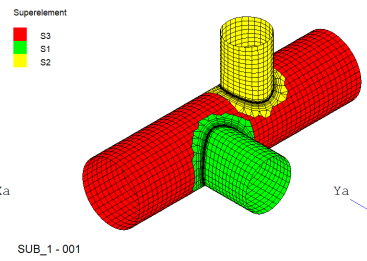
1 ROHR2fesu Übersicht

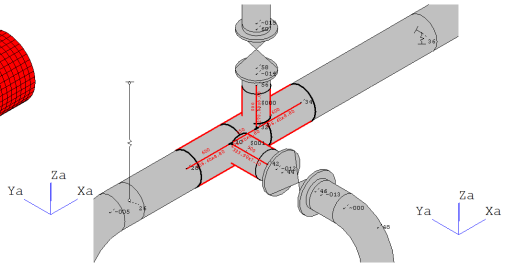
ROHR2fesu ist ein Zusatzmodul zum Programm ROHR2 zur Detailuntersuchung von lokalen Bereichen in Rohrleitungen und Behältern.
Mit ROHR2fesu lassen sich auf einfache Weise fast beliebige kreisförmige und elliptische Geometrien als Substrukturen aus Schalenelementen modellieren, die voll in das ROHR2-Stabwerk integriert sind. Damit ist es möglich, unter Beibehaltung des Stabwerkmodells für das Gesamtsystem, Detailuntersuchungen für problematische Bereiche durchzuführen. Die Schalenberechnung erfolgt nach der FE-Methode.
In dem Netzgenerator von ROHR2fesu werden Verschneidungszonen von Abzweigen, Stutzen, Nocken ohne und mit Verstärkungsscheiben automatisch vernetzt. Der ROHR2fesu-Anwender hat die Möglichkeit, die Netzauflösung auf sehr einfache Art zu steuern.
ROHR2fesu ist umfassend nach dem Stand der Technik verifiziert.

ROHR2fesu bietet:

- komplette Integration der FE-Struktur(en) in das anschließende Stabwerk mit Übernahme der Belastung aus ROHR2
- einfache parametergesteuerte Modellgenerierung und Vernetzung
- kurze Rechenzeiten
- automatisierte Spannungsbewertung und Dokumentation
- Spannungsanalyse in Anlehnung an EN 13445, Anhang C, ASME Section VIII, Div. 2, Part 5 sowie AD S4







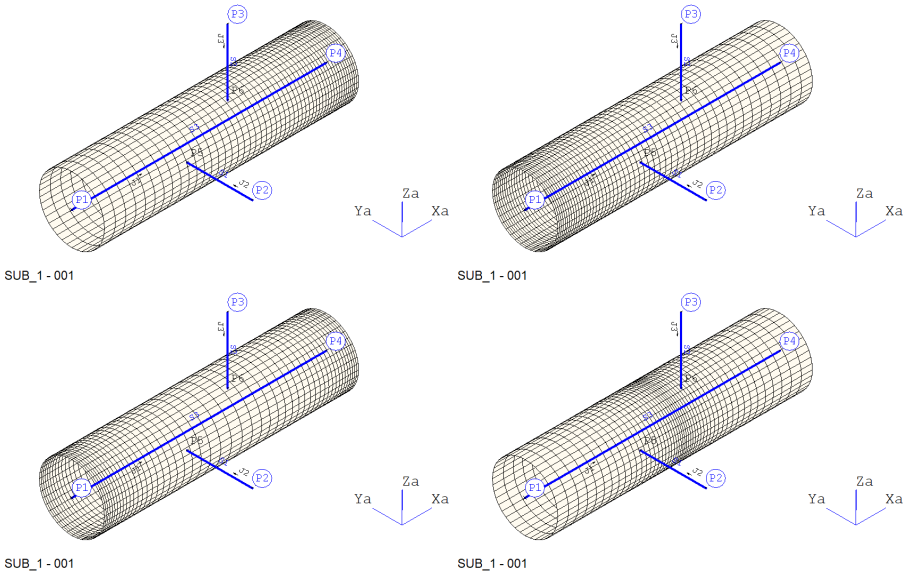
2 Aufgabe

Aufgabe von ROHR2fesu ist die Modellierung und Berechnung von Schalen-Substrukturen zur genaueren Untersuchung von Steifigkeit und Spannungskonzentration in Störstellenbereichen von Rohrstrukturen.
Zur Berücksichtigung der Substruktur im Stabwerk wird eine Steifigkeitsmatrix ermittelt.
Für die im ROHR2-Stabwerkmodell berechneten Lastfälle und Lastfallkombinationen werden auf den Schalenstrukturen Elementspannungen ausgewertet.

Schwerpunkt der Anwendung sind die Problemfälle der Stabwerkmodellierung bezüglich Steifigkeits- und Spannungsberechnung wie z. B.

- Verschneidungen von Rohrleitungselementen allgemein
- Sonderausführungen, für die Regelwerke nur zur Innendruckauslegung, nicht aber zur Berechnung äußerer Kräfte und Momente vorhanden sind
- Bauteile mit Überschreitung des Gültigkeitsbereiches der k- und i-Faktoren
- Sonderausführungen, für die k- und i-Faktoren in den Regelwerken fehlen
- Ermittlung der lokalen Spannungsverteilung
- Optimierung von Details in Rohrleitungs- und Behälterkonstruktionen
- Behälterstutzen und -nocken ohne und mit Verstärkungsscheiben
- Großrohre mit Segmentbögen
- Berechnungen nach Istmaßprotokollen, z.B. Bögen
- Schädigungsuntersuchungen an korrodierten oder erodierten Rohren
- Detailuntersuchung der Innendruckaufbiegung bzw. Zubiegung an ovalisierten Bögen

Selbstverständlich können auch Standardausführungen von Rohrbauteilen (z.B. nach EN 13480) mit ROHR2fesu modelliert und berechnet werden.
Es können Spannungsauswertungen in Anlehnung an EN 13445, Anhang C, ASME Section VIII, Div. 2, Part 5 sowie AD S4 durchgeführt werden.



3 Leistungsmerkmale

Integration in ROHR2

- Volle Integration des Schalenmodells als Substruktur in das Stabwerkmodell des gesamten Rohrleitungssystems
- Exakte Berücksichtigung der Steifigkeit des Schalenmodells im Stabwerk über dessen Steifigkeitsmatrix
- Berücksichtigung der sich aus der Substruktur ergebenden Belastungen am Übergang zum Stabwerkmodell
- Einfache Modellierung des Schalenmodells durch Kombinationen von einfach zu beschreibenden Grundbausteinen (Superelementen)
- Das grobe Modell wird auf Grundlage des Stabwerkmodells automatisch erzeugt
- Automatische Erzeugung von Übergangselementen (Übergangssternen) für die Kopplung von Stabwerk und Schalenelementen an den Übergangsknoten

Superelemente/Bauteile

Die Substruktur wird aus Superelementen zusammengesetzt.
Superelemente (SE) sind in ROHR2fesu wie folgt in Gruppen zusammengefasst:

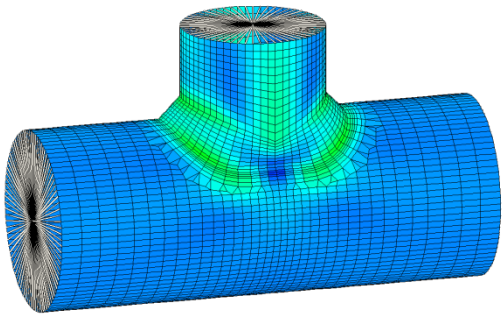
- SE-Bauteile Rohr: Konus , zentrisch, exzentrisch , elliptisch
  Bogen, Rundbogen, Segmentbogen, Istbogen, Faltrohrbogen
- SE-Bauteil Rechteckkanal, Sattel
- SE-Bauteile Boden Kugelscheibe,
  Torusscheibe Konkav, konvex
  Ellipsoidscheibe
- SE-Bauteile Punkt Übergangsstern

Superelemente/Mäntel

- Definition der Superelemente über Systemlinie mit Anfangs- und Endpunkt und Abmessungen an den Endpunkten bzw. über Abmessungen an verschiedenen Querschnittsflächen innerhalb des Superelementes
- Einfache Verfeinerung des Modells durch Einfügen von konischen oder elliptischen Übergängen
- Ungleiche Wanddickenverteilungen über den Umfang sowie elliptische Querschnitte sind modellierbar
- aufeinanderfolgende Superelemente werden als Mantel zusammengefasst

Verschneidungen

- Alle Superelemente außer dem Übergangselement zum Stabwerk können verschnitten werden
- Ausrundungen an Übergängen können berücksichtigt werden
- Verschneidungen zur Modellierungen von Stutzen und Nocken mit oder ohne Verstärkungsscheibe und innerem Überstand, Zwickel, Rechtecknocken
- Modellierung eingesetzter (Blockflansch) und aufgeschweißter Verstärkungsscheiben

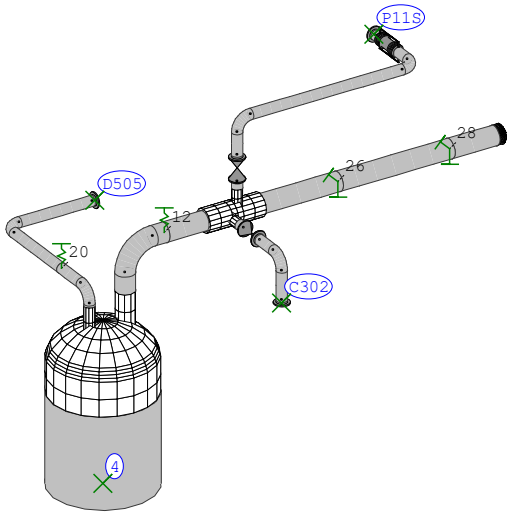


Vernetzung

- Einfache Vernetzung des Schalenmodells durch Vorgabe von Axial- und Umfangsteilung.
- Progressive bzw. degressive Teilung in axialer Richtung zur Optimierung der Modellgröße und Rechenzeit
- Separate Vorgabe der Netzteilung für Teilbereiche im Verschneidungsbereich
- Einfache Änderung der Netzteilung möglich

Belastungen

- Automatische Übernahme der Lasten aus Lastfällen und Lastfallkombinationen des Stabwerkmodells an den Übergangsknoten zwischen Schalenmodell und Stabwerksmodell für das Schalenmodell
- Zuordnung der Betriebsdaten (Druck, Temperatur, Mediumdichte) für jeden Lastfall im Stabwerk analog zu den Stabwerksbauteilen in ROHR2
- Berücksichtigung von Wind-, Schnee- und Eislast für jeden Lastfall im Stabwerk
- Berücksichtigung von beliebigen Zusatzmassen, Kräften und Flächenlasten auf die Substruktur für jeden Lastfall im Stabwerk in ROHR2
- Berücksichtigung der Axialkraft aus Innendruck an den Übergangsknoten
- ROHR2fesu bietet eine einfache Option zur Prüfung zulässiger Belastungen z. B. an Behälterstutzen



Regelwerke

- Spannungsbewertung nach EN 13445-3, Anhang C nach der Methode Spannungskategorien
- Spannungsbewertung nach AD_2000 Merkblatt S4
- Spannungsbewertung nach ASME VIII Div 2 Part 5
- Einfaches Ausmessen, ob ein lokaler Bereich gemäß EN 13445 vorliegt, für den die Membranspannungen als lokal betrachtet und damit als Pl abgesichert werden können

Optimierung

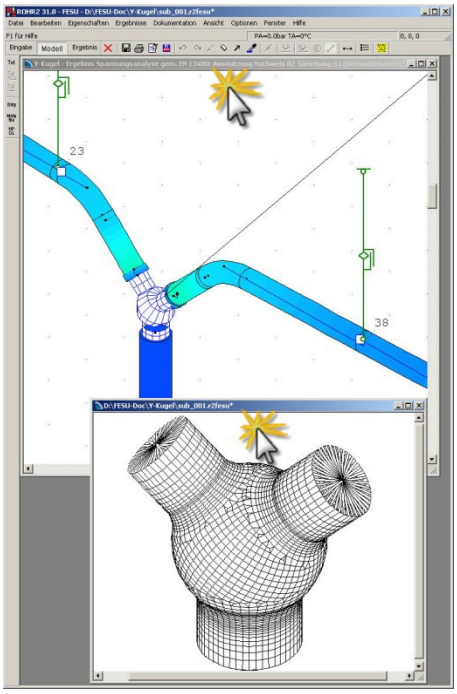
- Einfache Anpassung des Systems für Teilbereiche, z.B. durch Ausrundungen, Übergänge
- Substrukturen können unabhängig voneinander optimiert werden
- Änderung einzelner Substrukturen erfordert keine erneute Berechnung anderer Substrukturen

Dokumentation

- Farbdarstellung der Elementparameter wie Wanddicke oder Werkstoff
- Grafische Darstellung von Ausnutzungsgrad und errechneten Spannungen
- Grafische Darstellung der Verformung
- Automatische Berichtsgenerierung, vom Benutzer individuell anpassbar

3.1 Integration in das Programmsystem ROHR2

ROHR2fesu ist voll in die Benutzeroberfläche von ROHR2 integriert.
Der detailliert zu untersuchende Bereich wird im Stabwerkmodell markiert. Für den markierten Bereich wird aus den Informationen des Stabwerks (Geometrie, Abmessungen, Bauteiltyp wie Rohr, Bogen, Boden) ein grobes Modell der Substruktur erstellt welches in ROHR2fesu dann vom Benutzer durch Angaben ergänzt werden muss, die im Stabwerk nicht vorhanden sind. Die Substruktur wird über deren Systemlinien oder als vereinfachtes Schalenmodell im Stabwerk dargestellt. Durch einen Doppelklick auf die Substruktur im Stabwerkmodell wird ROHR2fesu für diese Substruktur gestartet um dieses zu bearbeiten bzw. die Ergebnisse dieser Substruktur zu analysieren und zu dokumentieren.



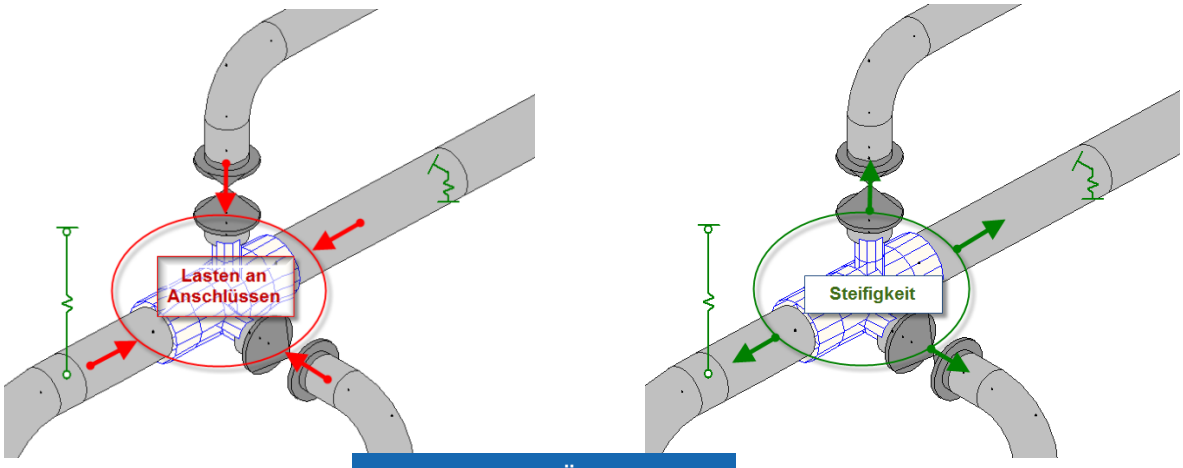
Die Zuordnung von Belastungen (Wind, Schnee, ..) und Betriebsdaten zu den Superelementen geschieht analog zu der Zuordnung der Daten zu den Stabelementen in ROHR2WIN

ROHR2 Berechnung des anschließenden Stabwerks

Die Steifigkeit der Substruktur wird im Stabwerk durch eine sich aus der FE-Berechnung ergebenden Steifigkeitsmatrix korrekt berücksichtigt.

ROHR2fesu-Berechnung der Substruktur

Die Lasten, die sich an den Übergangsknoten im Stabwerk ergeben werden automatisch für die Berechnung der Substruktur übernommen, Lasten aus der Substruktur werden für das Stabwerk übernommen.



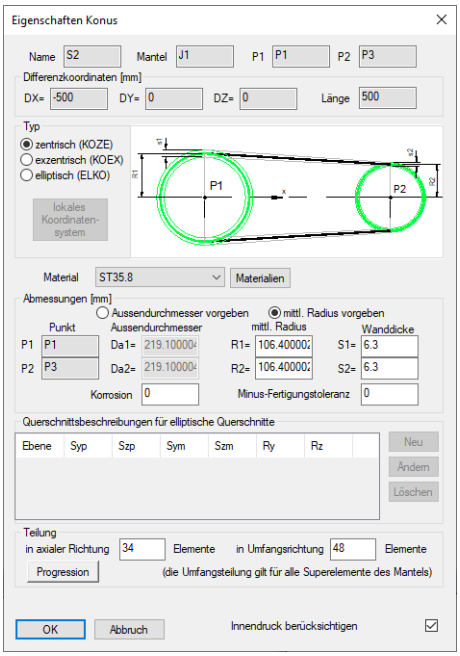
DIE MANUELLE ÜBERTRAGUNG VON DATEN IST NICHT ERFORDERLICH!

4 Bibliothek der zur Verfügung stehenden Superelemente

4.1 Übersicht Superelemente

Die FE-Strukturen lassen sich durch fast beliebige Kombination und Verschneidung von Grundbausteinen (Superelemente) erzeugen. Folgende Superelemente stehen zur Verfügung:

Konus, zentrisch, exzentrisch oder elliptisch / Zylinder (Sonderform des Konus)



Für den Konus können u. a. folgende Parameter vorgegeben werden:

- Typ
- Werkstoff
- Außendurchmesser / Radius am Anfangs- und Endpunkt
- Wanddicke
- Minus-Fertigungstoleranz
- Elementteilung in axialer und in Umfangsrichtung

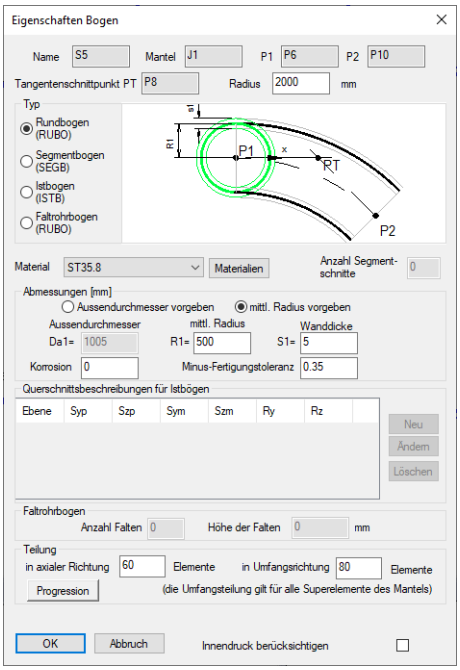
Mit Hilfe des Superelementes Konus kann auch eine nahezu ebene Platte modelliert werden.

Rohrbogen als Rundbogen, Segmentbogen oder Istbogen

Für den Rohrbogen können u. a. folgende Parameter vorgegeben werden:

- Typ
- Werkstoff
- Außendurchmesser / Radius
- Wanddicke
- Minus-Fertigungstoleranz
- Elementteilung in axialer und in Umfangsrichtung

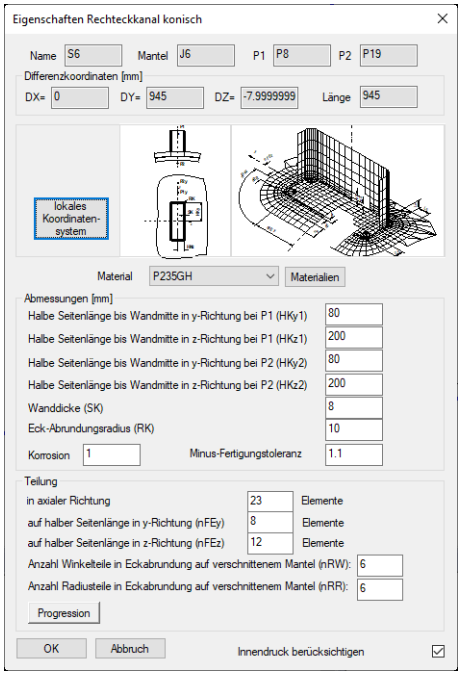
Für Istbögen können zusätzlich je Querschnitt Radien und Wanddicken über den Umfang definiert werden.



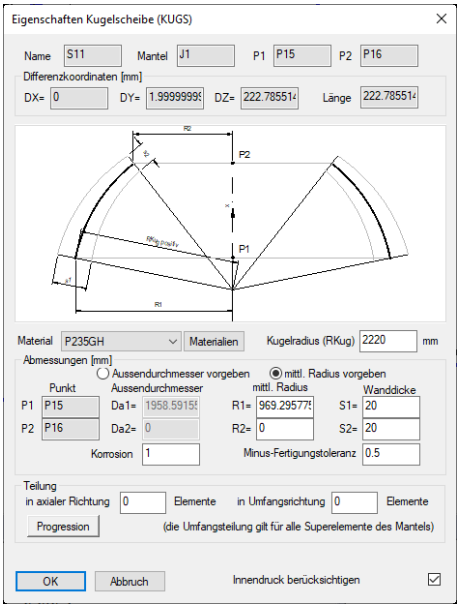
Rechteckkanal

Für den Rechteckkanal können u. a. folgende Parameter vorgegeben werden:

- Typ
- Werkstoff
- Länge/Breite, Eckabrundung
- Wanddicke
- Minus-Fertigungstoleranz
- Elementteilung in axialer Richtung und für Länge und Breite



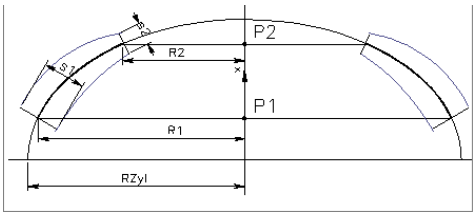
Kugelscheibe /Ellipsoidscheibe



Für die Kugelscheibe u. a. folgende Parameter vorgegeben werden:

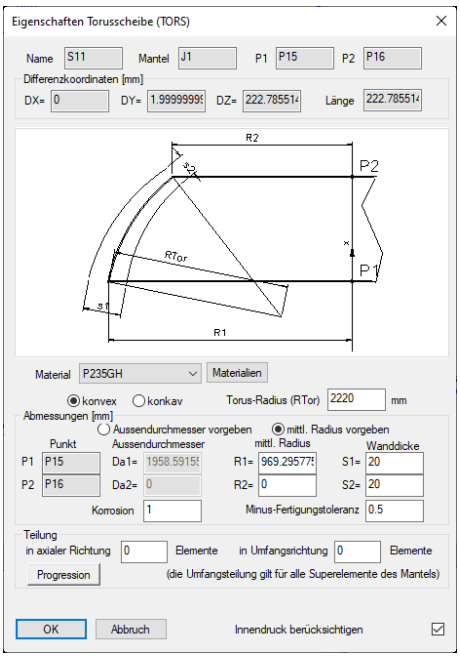
- Werkstoff
- Außendurchmesser / Radius am Anfangs- und Endpunkt
- Wanddicke
- Korrosionszuschlag
- Minus-Fertigungstoleranz
- Elementteilung in axialer und in Umfangsrichtung

Alternativ bietet ROHR2fesu die Möglichkeit eine Ellipsoidscheibe zu definieren.



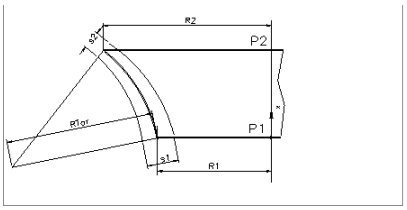
Aus diesen Superelementen lassen sich nahezu alle in der Praxis vorkommenden Bauteile modellieren. Mögliche Anwendungsbeispiele unter 5

Torus, konvex oder konkav

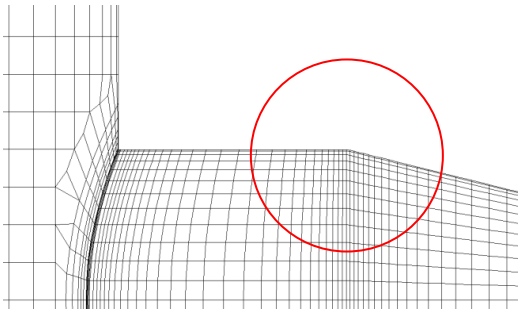


Für den Torus können u. a. folgende Parameter vorgegeben werden:

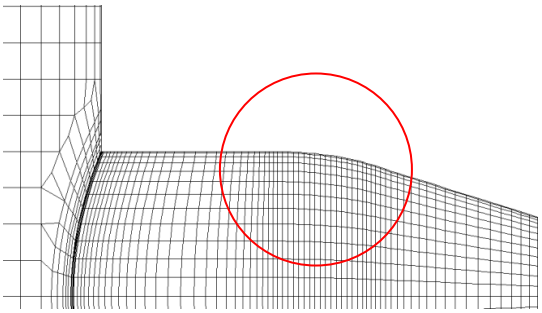
- Werkstoff
- Ausführung konvex / konkav
- Außendurchmesser / Radius am Anfangs- und Endpunkt
- Wanddicke
- Korrosionszuschlag
- Minus-Fertigungstoleranz
- Elementteilung in axialer und in Umfangsrichtung



Konkaver Torus, Darstellung im Dialogfenster



Ohne Ausrundung

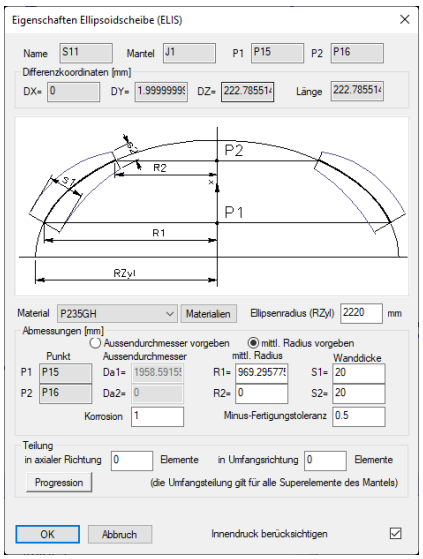


mit Ausrundung

Ellipsoidscheibe

Für die Ellipsoidscheibe können u. a. folgende Parameter vorgegeben werden:

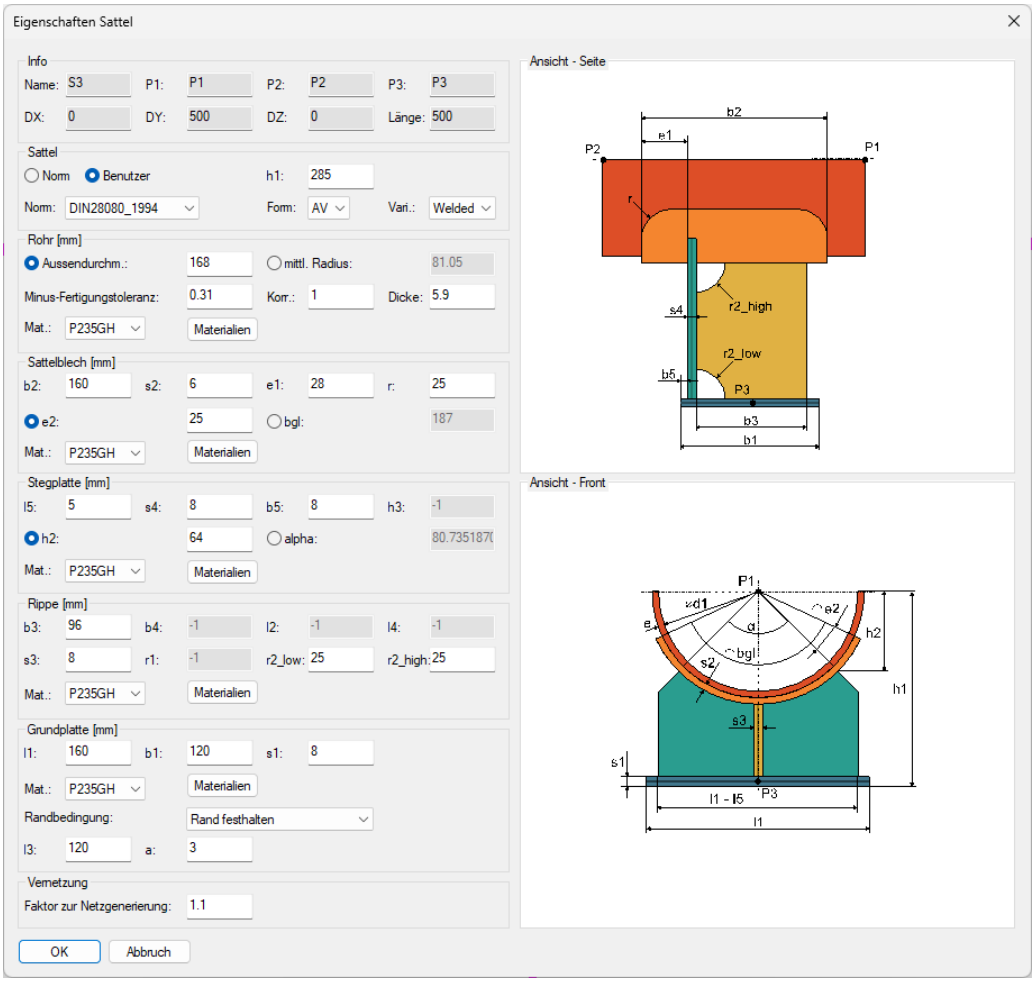
- Werkstoff
- Ausführung konvex / konkav
- Außendurchmesser / Radius am Anfangs- und Endpunkt
- Wanddicke
- Korrosionszuschlag
- Minus-Fertigungstoleranz
- Elementteilung in axialer und in Umfangsrichtung



Sattel

Es sind Sattelformen in Anlehnung an DIN EN 28080:1994-07 und DIN EN 28080:2015-06 implementiert.

Dazu gehören die Formen A, AV, B, BV, C, D, E und F für die Revision 1994 in den Varianten geschweißt und gebogen und für die Revision 2015 die Formen AV, BV, CV und D. Die Werte der Eingabeparameter werden nach Möglichkeit aus der Norm übernommen oder vom Anwender individuell gewählt.

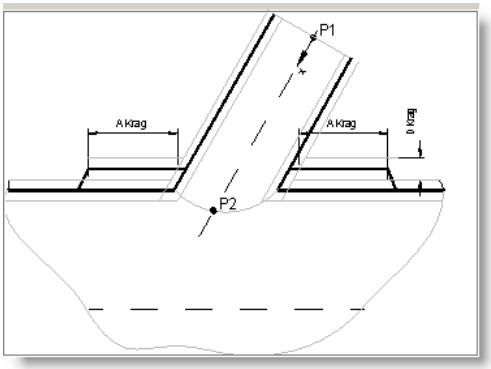


4.2 Kopplung mit dem Stabwerk

An den Übergangsknoten zum Stabwerk werden Übergangselemente eingesetzt. Das Übergangselement sorgt auf dem Schalenrand für das Ebenbleiben des Querschnittes gem. der Bernoullischen Hypothese der Stabstatik.
Die Freiheitsgrade der Kopplungen zu der Schale können bei Bedarf angepasst werden.

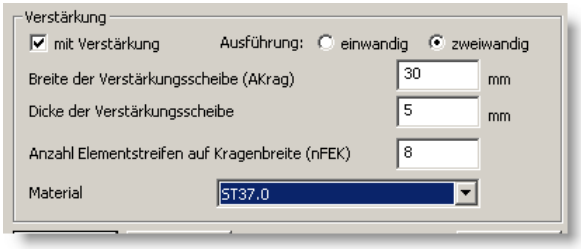
4.3 Verschneidungen

Verschneidungen zur Modellierungen von Stutzen und Nocken mit oder ohne Verstärkungsscheibe und innerem Überstand können definiert werden. Die Verstärkungsscheibe kann ein- oder zweiwandig modelliert werden, es kann ein eigenes Material für die Verstärkungsscheibe ausgewählt werden.



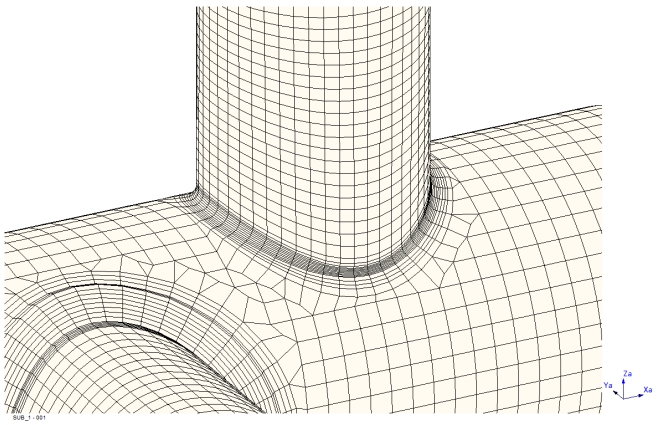
Für den Verschneidungsbereich wird die Netzteilung separat für Teilbereiche innerhalb des Verschneidungsbereiches definiert.
Die einzugebenden Parameter werden über vergrösserbare Detailzeichnungen erklärt.

Für die Verschneidung können u. a. folgende Parameter vorgegeben werden:

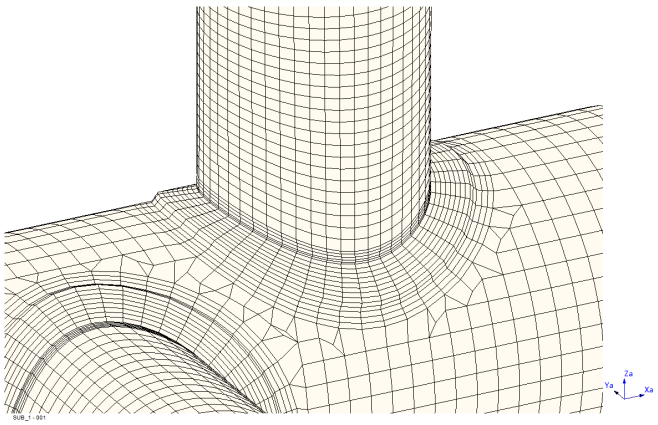


- Typ Stutzen oder Nocken
- Ausrundungsradius auf Oberfläche
- Elementteilungen
- Innerer Überstand
- Verstärkungsscheibe mit Informationen zu
  - Ausführung ein- / zweiwandig
  - Breite
  - Dicke
  - Werkstoff

Beispiel für Ausrundungsradius bzw. Verstärkungsscheibe



Verschneidung mit Ausrundungsradius



Verschneidung mit Verstärkungsscheibe

4.4 Belastungen

Das anschließende Stabwerk wirkt auf die Substruktur mit Belastungen ein. Diese werden über die Übergangsknoten in die Substruktur eingeleitet.
Dafür sind innerhalb des FE-Modells keine besonderen Lasteingaben erforderlich. Die sich aus dem Stabwerk an den Übergangsknoten ergebenden Belastungen aus Lastfällen und Lastfallkombinationen werden automatisch für das FE-Modell übernommen.

Die auf die Substruktur wirkenden Belastungen werden im Stabwerksmodell zugeordnet.
Dazu gehören:

- Betriebsdaten (Druck, Temperatur, Mediumdichte)
- Windlasten (automatisch ermittelt oder vom Benutzer vorgegeben)
- Schneelasten
- Eislasten
- Zusatzmassen
- Beliebige Zusatzkräfte
- Beliebige Flächenlasten

Bei den automatisch ermittelten Lasten wie Wind, Schnee, Eis werden Informationen über eine Isolierung von den anschließenden Abschnitten im Stabwerk ermittelt und bei der Berechnung der Lasten für die Substruktur näherungsweise berücksichtigt.

Die sich aus der Berechnung der Substruktur ergebenden Belastungen an den Übergangsknoten auf das Gesamtsystem (Stabwerkmodell) werden im Stabwerkmodell berücksichtigt.

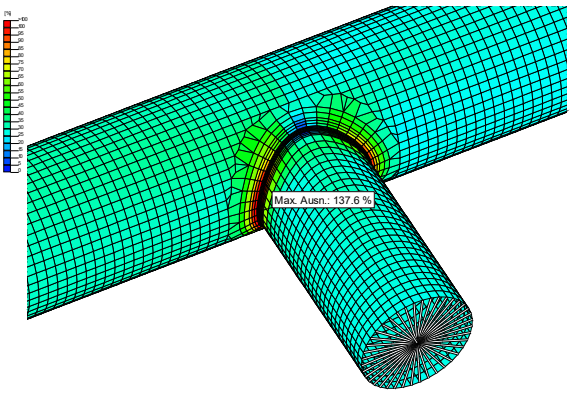
4.5 Einschränkungen bei der Modellgenerierung

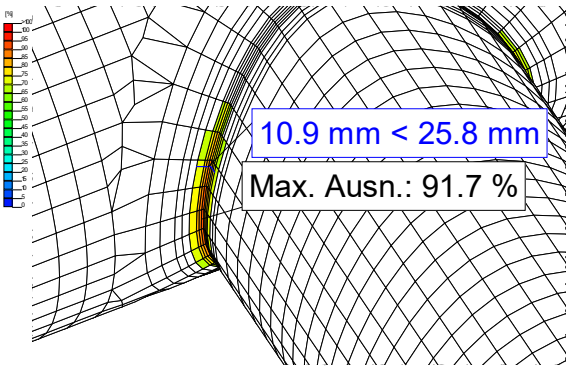
Trotz der vielseitigen Möglichkeiten zur Modellgenerierung ergeben sich speziell bei der Verschneidung von Superelementen einige Einschränkungen.

- Werkstoffe können nur je Superelement zugeordnet werden
- Stutzen können sich nicht gegenseitig durchdringen
- In einer Verschneidungszone darf nur ein Superelement beteiligt sein
- Eine Verschneidung muss immer über den ganzen Stutzenquerschnittsumfang gehen
- Verschneidung an Verbindungspunkten mehrerer Mäntel (z. B. Mantelverzweigung an Standzarge) oder Übergangssternen sind nicht zulässig
- Ein Superelement kann nur mit einem Ende verschneiden, das andere muss einen Querschnitt senkrecht zur Achse haben (ggf. muss das Superelement durch einen Zwischenpunkt geteilt werden)
- Verschneidende Superelemente dürfen nicht verschnitten werden

4.6 Spannungsbewertung

Für die Substruktur wird ein Spannungsnachweis in Anlehnung an EN 13445, Anhang C, ASME Section VIII, Div. 2, Part 5 oder AD S4 durchgeführt. Die Generierung von Lastfallüberlagerung und erforderlichen Nachweisen erfolgt innerhalb von ROHR2win mit den dort definierten Lastfällen automatisch oder kann vom Benutzer manuell vorgegeben werden. Lastfälle und Ausnutzungsgrade sowie die errechneten Spannungen an den Schalenelementen werden grafisch dargestellt.

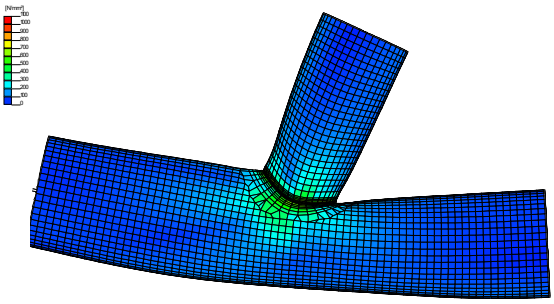


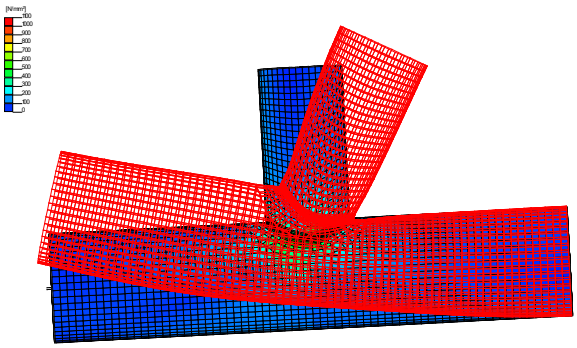


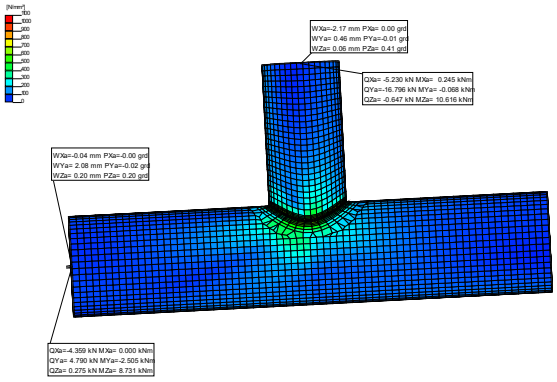
Für den Nachweis der lokalen Membranspannungen (Pl) wird nur der Bereich angezeigt, dessen errechnete Spannung größer als1.0 x f ist und damit u. U. als lokal einzustufen ist. Für die Beurteilung, ob es sich tatsächlich um einen lokalen Bereich gemäß EN 13445 handelt stehen einfache Messmöglichkeiten zur Verfügung. Im Verschneidungsbereich wird die gemessene Breite in meridionaler Richtung automatisch mit dem Maximalwert ls+ln gemäß EN13445 verglichen.

4.7 Ergebnisdarstellung

Für jeden Nachweis kann das Modell komplett verformt dargestellt werden oder die Verformungen können als Drahtmodell zusätzlich zum Modell dargestellt werden



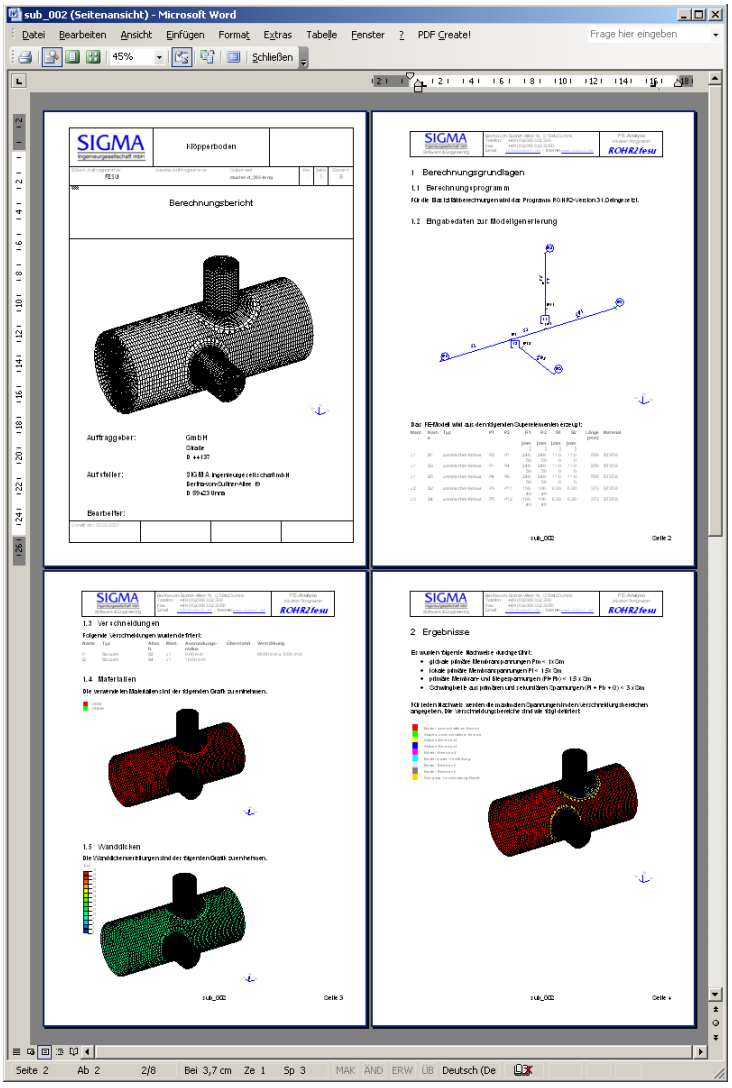




Anschlusslasten und die Verschiebungen an den Übergangsknoten können dargestellt werden.

4.8 Dokumentation der Ergebnisse

Für die Berechnung wird automatisch ein Bericht im RTF-Format mit den wesentlichen Ergebnissen erstellt. Die Berichtsgenerierung basiert auf einem Musterbericht. Musterberichte in deutscher und englischer Sprache werden mitgeliefert. Diese können vom Benutzer individuell angepasst werden.
Die Berichte werden nach erneuter Berechnung automatisch aktualisiert.

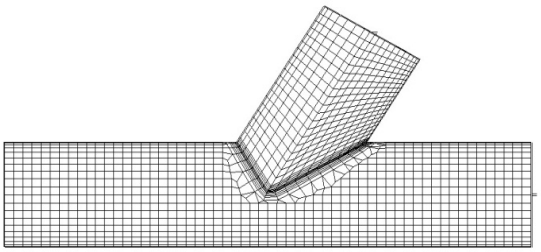


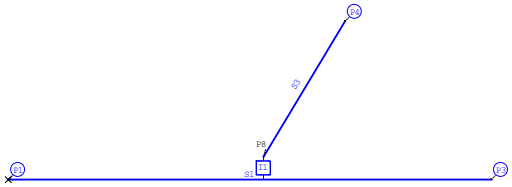
Auszug ROHR2fesu - Musterbericht

5 Anwendungsbeispiele

Die ROHR2fesu Anwendungsbeispiele sind hier verkleinert dargestellt.
Größere Grafiken und weitere Erläuterungen finden Sie auf www.rohr2.de im Bereich ROHR2fesu.

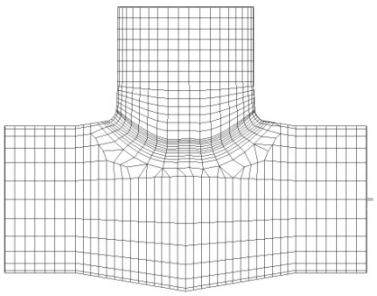
Einfacher schräger Abzweig

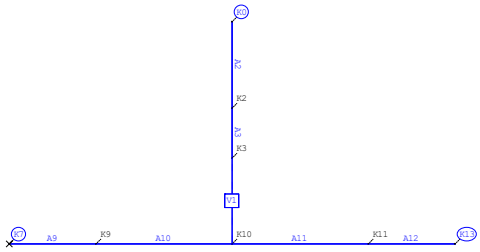




Ein einfacher (schräger) Abzweig wird durch zwei Superelemente des Typs zentrischer Konus erzeugt. Für den Verschneidungsbereich werden Eigenschaften wie Ausrundungsradius, Überstand oder Verstärkung definiert.

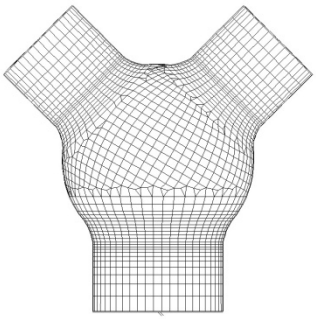
Norm-T-Stück mit konischen Übergängen

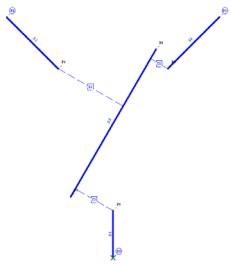




Die zylindrischen Ansätze des Norm-T-Stücks werden durch Superelemente des Typs Zylinder erzeugt. Die konischen Übergänge zur Mitte des T-Stücks sind Superelemente des Typs *zentrischer Konus,* jedoch mit unterschiedlichen Abmessungen am Anfang und Ende. Für die Verschneidung wird ein Ausrundungsradius angegeben.

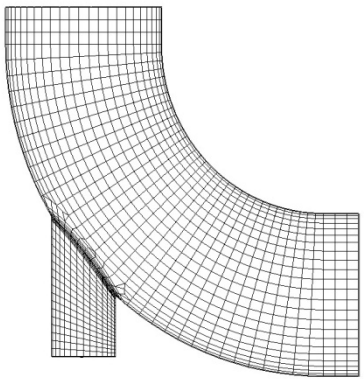
Kugelformstück

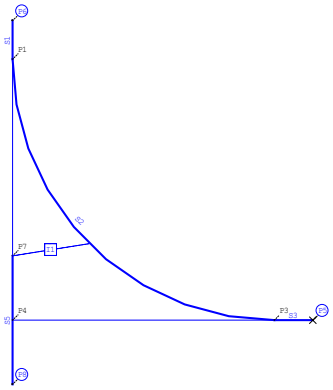




Die zylindrischen Ansätze sowie die konischen Übergänge werden durch Superelemente des Typs zentrischer Konus erzeugt. Die Kugel wird durch das Superelement Kugelscheibe (hier als Sonderfall: komplette Kugel) erzeugt.

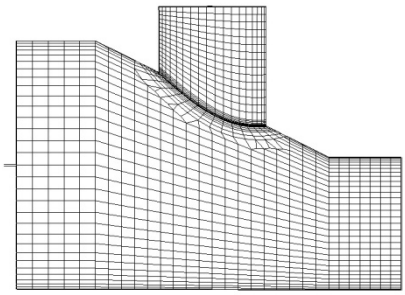
Stütze im Bogen

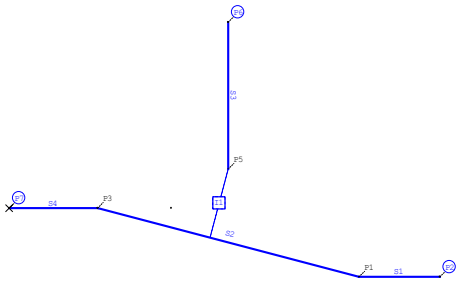




Die Stütze sowie die zylindrischen Ansätze werden durch Superelemente des Typs *zentrischer Konus* erzeugt. Der Bogen wird durch ein Superelement des Typs *Bogen* (hier als Rundbogen) erzeugt.

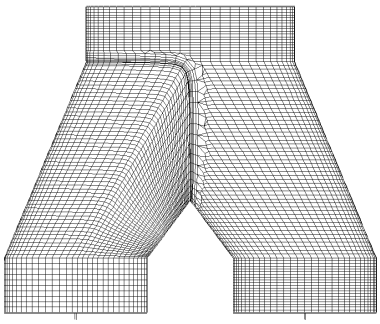
Abzweig in exzentrischer Reduzierung

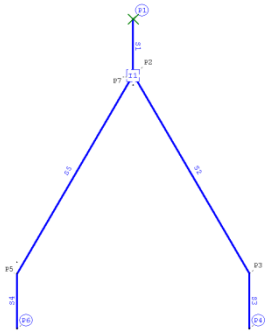




Der Stutzen sowie die zylindrischen Ansätze werden durch Superelemente des Typs *zentrischer Konus (Zylinder)* erzeugt. Die Reduzierung wird durch ein Superelement *exzentrischer Konus* erzeugt.

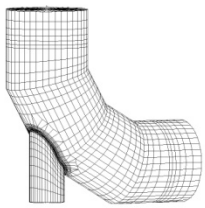
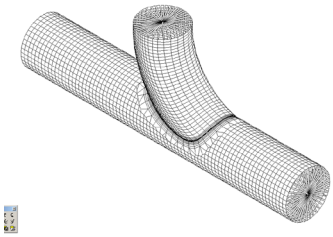
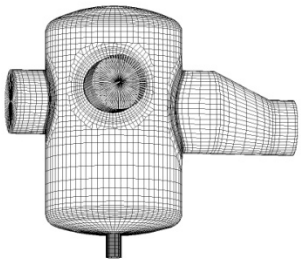
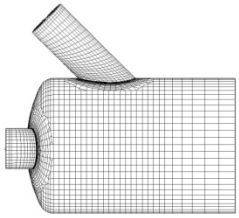
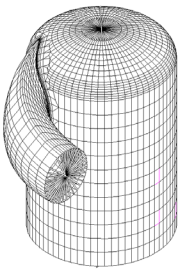
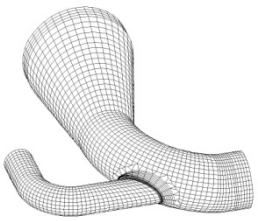
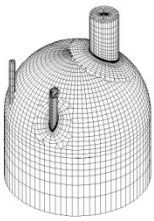
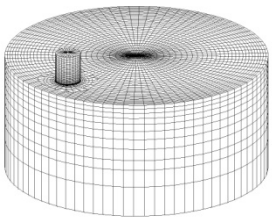
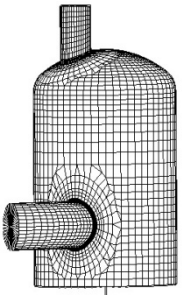
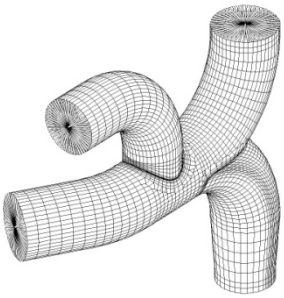
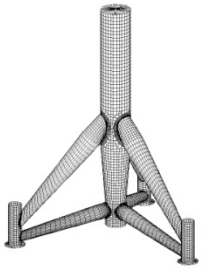
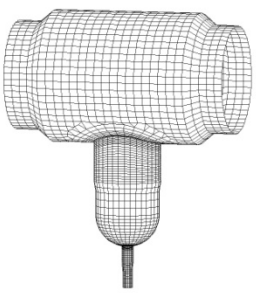
Hosenstück



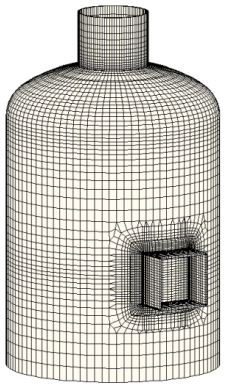
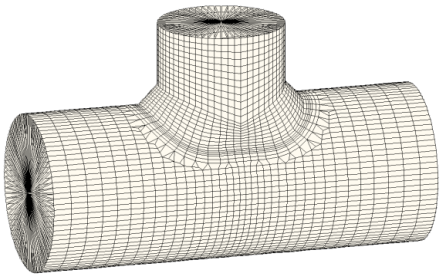
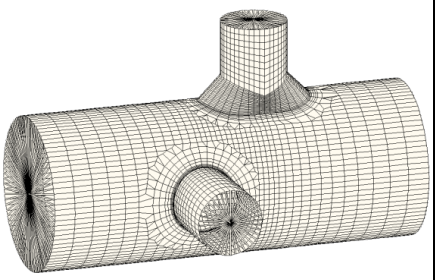


Die zylindrischen Ansätze werden durch Superelemente des Typs zentrischer Konus (Zylinder) erzeugt. Die zwei „Reduzierungen“ werden durch Superelemente des Typs exzentrischer Konus erzeugt.

Komplexe Systeme

		
Stütze im Segmentbogen	*eingeschweißtes Bogensegment*	*Behälter mit Stutzen*
		
Boden mit 2 Abzweigen	*Zyklon*	*Abzweig im Bogen*
		
Halbkugelboden	*ebene Platte*	*Klöpperboden*
		
Verschnittene Bogensegmente	*Fußpunkt als Tripod*	*Entwässerung*

Rechteck und Zwickel

		
Rechtecknocken	*Zwickel - Modell*	*Zwickel und T-Stück*

6 Lizenz und Systemvoraussetzungen

Programmversionen, Netzwerklizenz

ROHR2fesu ist erhältlich als Zusatzprogramm zur Einzelplatzlizenz und zur Netzwerklizenz ROHR2. In einer ROHR2 Netzwerklizenz kann die Anzahl der Zugriffe auf ein Zusatzmodul gleich oder kleiner der Anzahl der Programmzugriffe sein.
Die Systemvoraussetzungen entsprechen denen des Programms ROHR2.
Erforderlich zum Betrieb des Zusatzprogramms ROHR2fesu ist eine Programmlizenz **ROHR2.**

Lieferumfang und Lizenzschlüssel

Der Lieferumfang des Programms umfasst

- die Programmdaten
- eine Programm-Dokumentation im HTML Format
- die Freischaltung des Zusatzmoduls auf dem ROHR2 Lizenzschlüssel.

Die Installation und der Betrieb der Software sind ohne den Lizenzstecker nicht möglich.
Bei Updates und Upgrades erfolgt die Lieferung des Lizenzsteckers im Austausch oder durch Aktualisierung.

Dokumentation

Die Anwendungsdokumentation zum Programm ROHR2fesu ist in den Onlinehilfen zu ROHR2 (grafische Benutzeroberfläche ROHR2) enthalten.

Wartung und Software-Support

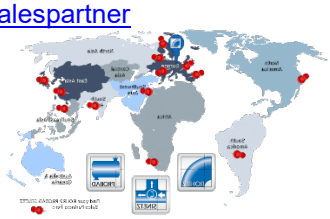
Bei über die Dokumentation hinausgehenden Fragen steht dem Anwender der Software-Support beratend zur Seite. Der Software-Support kann in Anspruch genommen werden innerhalb des Wartungszeitraums nach Erwerb des Programms, während der befristeten Nutzung sowie im Rahmen eines Wartungsvertrages. Die Wartung des Programms ROHR2fesu ist an die Wartung des Programmsystems ROHR2 gebunden.

7 Entwicklung, Vertrieb und Support

Kontakt:
SIGMA Ingenieurgesellschaft mbH
Bertha-von-Suttner-Allee 19
D-59423 Unna
Tel +49 2303 33233-0
vertrieb@rohr2.de

www.rohr2.de

Kontakt weltweit über unsere Salespartner



www.rohr2.com