Zylinderschalen — Stutzenlasten (FEM)

Stutzen in Zylinderschale

Spannungsbewertung nach	AD				
Globale Belastung					
Berechnungstemperatur		Temp		200	°C
Innerer Überdruck		p		1	MPa
Stutzenspezifikation verwenden? (NozzleSpec App 2007-1)		J/N	N		
Geometrische Daten					
Nennweite der Stutzen		DN		200	
Grundkörper					
äußerer Grundkörperdurchmesser		D_a		610	mm
Grundkörperwanddicke		s_a		7.1	mm
Betrachtete Grundkörperlänge		l		1000	mm
Stutzen					
Stutzenspezifikation verwenden? (NozzleSpec App 2007-1)		J/N	N		
Nennweite der Stutzen		DN		200	
äußerer Stutzendurchmesser		d_1		219.1	mm
Stutzenwanddicke		s_1		7.1	mm
Stutzenlänge		h		200	mm
Stutzenabstand vom Zylinderanfang		a		500	mm
Stutzenoffset in Y		x_1		100	mm
Kippwinkel um Z		x_2		**19.13**	°
Kipprichtung in der YZ Ebene (+Y=0°)		x_3		0	°
Verstärkungsscheibe Stutzen					
Durchmesser Verstärkungsscheibe		d_v			mm
Dicke der Verstärkungsscheibe		s_v			mm

Werkstoffe

Grundkörper					
Werkstoff		1.4571(P)			
Sicherheitsbeiwert		S		1.5	
Festigkeitskennwert		K		196	N/mm²
Spannungsvergleichswert		S_m		**130.7**	N/mm²
Wanddickenzuschlag		c_1		0.3	mm
Korrosionszuschlag		c_2		0	mm
E-Modul		E		186000	N/mm²
Querkontraktionszahl		v		0.3	
Wärmeausdehnungskoeffizient	(1E-6)	α		17.2	1/K
Stutzen					
Werkstoff		1.0305			
Sicherheitsbeiwert		S		1.5	
Festigkeitskennwert		K		185	N/mm²
Spannungsvergleichswert		S_m		**123.3**	N/mm²
Wanddickenzuschlag		c_1		0.639	mm
Korrosionszuschlag		c_2		1	mm
E-Modul		E		199000	N/mm²
Querkontraktionszahl		v		0.3	
Wärmeausdehnungskoeffizient	(1E-6)	α		13	1/K

Lokale Belastung

Wandtemperaturen (innen/außen)

Grundkörper	t_i	200	°C	t_a	200	°C
Stutzen	t_i	200	°C	t_a	200	°C

Kräfte und Momente

F_x	-2000	N	M_x	20000	N·mm
F_y	0	N	M_y	0	Nmm
F_z	0	N	M_z	3000	Nmm

FEM-Parameter

Anzahl Berechnungskreise um den Stutzen	n_1	10	
Abstand der Berechnungskreise	Δ	7.1	mm
Schweißnahtgröße			mm
Anzahl Knoten auf den Kreisen	n_2	40	
Eingepasster Stutzen	J/N	J	
Schweißnahtelemente ignorieren		Nein	

Einstellungen

Längsspannung im Mantel berücksichtigt	J/N	J
Längsspannung im Stutzen berücksichtigt	J/N	J
Steifer Stutzenrand (Flansch)	J/N	N
Lastangriff		S

S=Stutzenende E=Schnittebene A=Achsenschnittpunkt R=Schnittebene starr

Ergebnis

Stutzenbewegungen

Absolute Verschiebungen am Stutzenende

X	=	0.4002	mm	Y =	0.3388	mm	Z =	0.2786 mm

Drehungen

X	=	0	°	Y =	0	°	Z =	-0.4483 °

Max. Auslastung: Schweißnaht mit 87.1%

Ausnutzung U **0.871**

Spannungen und Auslastungen

Grundkörper		Spannung		Zulässige Spannung		Auslastung		
Lokale Membranspannung	P_l	**138**	N/mm²	**196**	N/mm²	U_{G1}	**70.23**	%
Globale Membranspannung	P_m	**56.5**	N/mm²	**130.7**	N/mm²	U_{G2}	**43.13**	%
Sekundäre Spannung	Q	**13.9**	N/mm²	**196**	N/mm²	U_{G3}	**7.074**	%
Biegespannung	P_b	**28**	N/mm²	**196**	N/mm²	U_{G4}	**14.25**	%
Lokale Membranspannung + Biegespannung	P_l+P_b	**138**	N/mm²	**196**	N/mm²	U_{G5}	**70.23**	%
Globale Membranspannung + Biegespannung	P_m+P_b	**67.1**	N/mm²	**196**	N/mm²	U_{G6}	**34.15**	%
Lokale Membranspannung + Biegespannung + Sekundärspannung	P_l+P_b+Q	**140.2**	N/mm²	**392**	N/mm²	U_{G7}	**35.67**	%
Globale Membranspannung + Biegespannung + Sekundärspannung	P_m+P_b+Q	**82.8**	N/mm²	**392**	N/mm²	U_{G8}	**21.07**	%
Maximale Auslastung						U_G	**70.2**	%

Stutzen		Spannung		Zulässige Spannung		Auslastung		
Lokale Membranspannung	P_l	**146.5**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{St1}	**79.4**	%
Globale Membranspannung	P_m	**43.6**	N/mm²	**123.3**	N/mm²	U_{St2}	**35.45**	%
Sekundäre Spannung	Q	**65.3**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{St3}	**35.39**	%
Biegespannung	P_b	**64.1**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{St4}	**34.74**	%
Lokale Membranspannung + Biegespannung	P_l+P_b	**146.5**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{St5}	**79.4**	%
Globale Membranspannung + Biegespannung	P_m+P_b	**73.1**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{St6}	**39.62**	%
Lokale Membranspannung + Biegespannung + Sekundärspannung	P_l+P_b+Q	**150.5**	N/mm²	**370**	N/mm²	U_{St7}	**40.79**	%
Globale Membranspannung + Biegespannung + Sekundärspannung	P_m+P_b+Q	**95.2**	N/mm²	**370**	N/mm²	U_{St8}	**25.8**	%
Maximale Auslastung						U_{St}	**79.4**	%

Schweißnaht		Spannung		Zulässige Spannung		Auslastung		
Lokale Membranspannung	P_l	**160.7**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{Sch1}	**87.1**	%
Sekundäre Spannung	Q	**29.7**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{Sch3}	**16.1**	%
Lokale Membranspannung + Biegespannung	P_l+P_b	**160.7**	N/mm²	**185**	N/mm²	U_{Sch5}	**87.1**	%
Lokale Membranspannung + Biegespannung + Sekundärspannung	P_l+P_b+Q	**167.5**	N/mm²	**370**	N/mm²	U_{Sch7}	**45.39**	%
Maximale Auslastung						U_{Sch}	**87.1**	%

Maximale Auslastung aller Komponenten	**Max (U_G, U_{St}, U_{Sch}, U_V)**	**U**	**87.1**	%

Spannungsberechnung für Projekt

Die Spannungsverteilung in Stutzen und Grundkörper infolge äußerer Zusatzlasten, innerem Überdruck und Behinderung thermischer Dehnung (soweit vorhanden) wurde unter Anwendung der Finite Element Methode ermittelt.

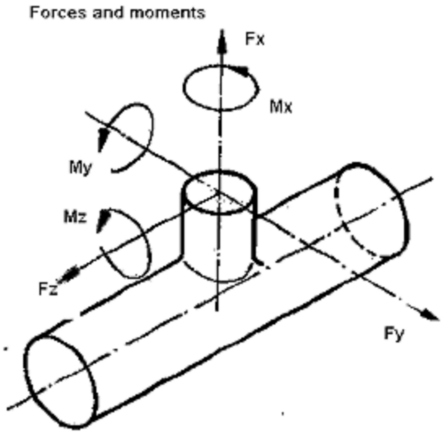
Elementbeschreibung

Verwendet werden Hexaeder Elemente. Diese Elemente berechnen die Verschiebungen und die Spannungen im 3 Dimensionalen. Die Elemente können verformt, keilförmig und schiefwinkelig sein. Jedes Element wird numerisch nach dem Gauss-Legendre Verfahren entlang der drei lokalen Koordinatenachsen integriert. Das Hexaeder Element ist besonders gut geeignet, um typische Probleme des Apparatebaus zu lösen und die Verbindung Stutzen-Grundkörper mit der Schweißnaht abzubilden.
Das Element wird durch eine Steifigkeitsmatrix der Größe 24x24 beschrieben.

Modellbeschreibung

Das Finite Element Modell des Stutzens auf zylindrischer Schale besteht aus 4360 Knoten und 2120 Hexaeder-Elementen.

Alle Knoten am Zylinderanfang sind gegen alle Bewegungen fixiert. Die Knoten am Zylinderende sind axial verschieblich .



Angaben zur Belastung

Querkräfte in Y- und Z-Richtung sowie Stutzenlängskräfte in X-Richtung und Momente um alle drei Koordinatenrichtungen greifen Stutzenende an.

Das Vorzeichen ist entscheidend für die Kraftrichtung bzw. den Drehsinn der Momente.

Kraft in x-Richtung:	N	-2000
Kraft in y-Richtung:	N	0
Kraft in z-Richtung:	N	0
Zusätzliche Axialkraft durch Innendruck:	N	34038
Moment um x-Achse:	Nmm	20000
Moment um y-Achse:	Nmm	0
Moment um z-Achse:	Nmm	3000
Innerer Überdruck:	MPa	1

Die Berechnung erfolgte für duktile Werkstoffe gemäß folgender Spezifikation:

<u>Stutzen</u>

Elastizitätsmodul:	N/mm^2	199000
Querkontraktionszahl:		.3
Werkstoffbezeichnung:		1.0305 = St 35.8: DIN 17175; AD W-4; Nahtloses Rohr ;Ferrit

Zulässige Spannung nach AD-Merkblatt S3/0:	N/mm^2	123

Grundkörper

Elastizitätsmodul:	N/mm^2	186000
Querkontraktionszahl:		.3
Werkstoffbezeichnung:		1.4571(P) = X 6 CrNiMoTi 17-12-2: EN 10028-7; AD W-2; warmgewalztes Blech ;Austenit
Zulässige Spannung nach AD-Merkblatt S3/0:	N/mm^2	131

Verstärkungsscheibe (falls vorhanden)

Elastizitätsmodul:	N/mm^2	186000
Querkontraktionszahl:		.3
Werkstoffbezeichnung:		1.0305 = St 35.8: DIN 17175; AD W-4; Nahtloses Rohr ;Ferrit
Zulässige Spannung nach AD-Merkblatt S3/0:	N/mm^2	123

Folgende geometrische Daten wurden der Berechnung zugrunde gelegt:

Stutzendurchmesser außen	mm	219.1
Grundkörperdurchmesser außen	mm	610
Stutzenwanddicke ohne Zuschläge	mm	5.461
Grundkörperwanddicke ohne Zuschläge	mm	6.8
Stutzenhöhe	mm	200
Grundkörperlänge	mm	1000
Winkel zwischen Stutzen und Grundkörper	°	19.13

Verstärkungsscheibe (falls vorhanden):

Breite	mm	0
Höhe	mm	0

Berechnungsprogramm:
LV-modifiziertes Z 88
A Finite Elements Analysis Program in ANSI C for the UNIX OS and WINDOWS.
Composed and edited and copyright by
Professor Dr.-Ing. Frank Rieg, University of Bayreuth, Germany
EMail: frank.rieg@uni-bayreuth.de
dr.frank.rieg@t-online.de
V10.0 December 12, 2001
Die installierte Version ist nicht veränderbar und wird durch das LV Qualitätsmanagement-System überwacht.
Zertifiziert nach DIN EN ISO 9001:2008

Spannungskategorisierung nach AD2000-Merkblatt S4 für den Stutzen

(Alle Spannungen in N/mm^2, Vergleichsspannungen nach GEH)

Zulässige Spannung nach AD-Merkblatt S3/0
f = 123

Maximale primäre und sekundäre Vergleichsspannungsschwingbreite:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
(Pl + Pb + Q) = 150.5
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
(Pm + Pb + Q) = 95.2

Maximale primäre Vergleichsspannung
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
(Pl + Pb) = 146.5
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt

(Pm + Pb) = 73.1

Maximale Membranspannung:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
Pl = 146.5
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
Pm = 43.6

Maximale primäre Biegespannung:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
Pb = 0
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
Pb = 64.1

Maximale sekundäre Spannungen:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
Q = 29.9
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
Q = 65.3

Maximale Hauptsspannungsschwingbreiten:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
$(\Delta\sigma)_1$ = 48 $(\Delta\sigma)_2$ = 136.3 $(\Delta\sigma)_3$= 78
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
$(\Delta\sigma)_1$ = 36.3 $(\Delta\sigma)_2$ = 45.2 $(\Delta\sigma)_3$= 40.2

Begrenzung der primären Vergleichsspannungen nach AD2000-M. S4 6.2:

Pm ≤ f	43.6	≤ 123
Pl ≤ 1,5 f	146.5	≤ 184.5
(Pm + Pb) ≤ 1,5 f	73.1	≤ 184.5
(Pl + Pb) ≤ 1,5 f	146.5	≤ 184.5

Begrenzung der primären u. sekundären Vergleichsspannungsschwingbreite nach AD2000-M. S4 6.3:

(Pm + Pb + Q)≤ 3 f	95.2	≤ 369
(Pl + Pb + Q) ≤ 3 f	150.5	≤ 369

Die Spannungen im Stutzen sind nach AD2000-M. S4 6.3 zulässig

Spannungskategorisierung nach AD2000-Merkblatt S4 für den Grundkörper
(Alle Spannungen in N/mm^2 ,Vergleichsspannungen nach GEH)

Zulässige Spannung nach AD2000-Merkblatt S3/0
f = 131

Maximale primäre und sekundäre Vergleichsspannungsschwingbreite:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
(Pl + Pb + Q) = 140.2
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
(Pm + Pb + Q) = 82.8

Maximale primäre Vergleichsspannung:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
(Pl + Pb) = 138
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
(Pm + Pb) = 67.1

Maximale Membranspannung:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
Pl = 138

Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
Pm = 56.5

Maximale primäre Biegespannung:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
Pb = 0
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
Pb = 28

Maximale sekundäre Spannungen:
In der Nähe der Verbindung Stutzen-Grundkörper
Q = 8.6
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
Q = 13.9

Maximale Hauptsspannungsschwingbreiten:
$(\Delta\sigma)_1$ = 41.3 $(\Delta\sigma)_2$ = 144.4 $(\Delta\sigma)_3$= 46
Von der Verbindung Stutzen-Grundkörper entfernt
$(\Delta\sigma)_1$ = 0 $(\Delta\sigma)_2$ = 41.3 $(\Delta\sigma)_3$= 42.1

Begrenzung der primären Vergleichsspannungen nach AD-M. S4 6.2:

Pm ≤ f	56.5	≤ 131
Pl ≤ 1,5 f	138	≤ 196.5
(Pm + Pb) ≤ 1,5 f	67.1	≤ 196.5
(Pl + Pb) ≤ 1,5 f	138	≤ 196.5

Begrenzung der primären u. sekundären Vergleichsspannungsschwingbreite AD2000-M. S4 6.3:

(Pm + Pb + Q) ≤ 3 f	82.8	≤ 393
(Pl + Pb + Q) ≤ 3 f	140.2	≤ 393

Die Spannungen im Grundkörper sind nach AD2000-M. S4 6.3 zulässig

Spannungskategorisierung nach AD2000-Merkblatt S4 für den Schweißnahtbereich

In dieser Berechnung wird gleiches mechanisches Verhalten von Stutzen- und Grundkörperwerkstoff vorausgesetzt. Falls die Spannungsauswertung nahezu gleiche Spannungen in Stutzen und Grundkörper ergibt, ist davon auszugehen, dass die maximale Spannung in der Verbindungsstelle zwischen Stutzen und Grundkörper auftritt.
Die Spannungen im Bereich der Schweißnaht werden hier separat ausgewiesen. Die Schweißnaht wird als zum Stutzen gehörig betrachtet.

(Alle Spannungen in N/mm^2)
Zulässige Spannung nach AD-Merkblatt S3/0
f = 123

Maximale primäre und sekundäre Vergleichsspannungsschwingbreite:
(Pl + Pb + Q) = 167.5

Maximale primäre Vergleichsspannung:
(Pl + Pb) = 160.7

Maximale Membranspannung:
Pl = 160.7

Maximale primäre Biegespannung:
Pb = 0

Maximale sekundäre Spannung:
Q = 29.7

Maximale Hauptsspannungsschwingbreiten:

$(\Delta\sigma)_1$ = 48.5 $(\Delta\sigma)_2$ = 164.7 $(\Delta\sigma)_3$= 77.5

Begrenzung der primären Vergleichsspannungen nach AD-M. S4 6.2:

Pl ≤ 1,5 f	160.7	≤ 184.5
(Pl + Pb) ≤ 1,5 f	160.7	≤ 184.5

Begrenzung der primären u. sekundären Vergleichsspannungsschwingbreite AD2000-M. S4 6.3:

(Pl + Pb + Q) ≤ 3 f	167.5	≤ 369

Die Spannungen in der Schweißnaht sind zulässig

Berechnung der zulässigen Lastwechsel

Bereich: Grundkörper von der Schweissnaht entfernt

Kritisches Element = 70

Hauptspannungsdifferenzen

Max dS12: 0	Max dS23: 144.37	Max dS31: 0
Min dS12: -135.66	Min dS23: 0	Min dS31: -8.71

Max. Hauptspannungssumme = 154.14
Min. Hauptspannungssumme = 0

Bereich: Stutzen von der Schweissnaht entfernt

Kritisches Element = 452

Hauptspannungsdifferenzen

Max dS12: 0	Max dS23: 112.42	Max dS31: 20.36
Min dS12: -132.78	Min dS23: 0	Min dS31: 0

Max. Hauptspannungssumme = 160.18
Min. Hauptspannungssumme = 0

Bereich: Schweissnaht

Nahtklasse =

Kritisches Element = 30

Hauptspannungsdifferenzen

Max dS12: 0	Max dS23: 164.73	Max dS31: 5.28
Min dS12: -170.01	Min dS23: 0	Min dS31: 0

Max. Hauptspannungssumme = 144.27
Min. Hauptspannungssumme = -25.74

Bereich: Kragenrand

Nahtklasse =

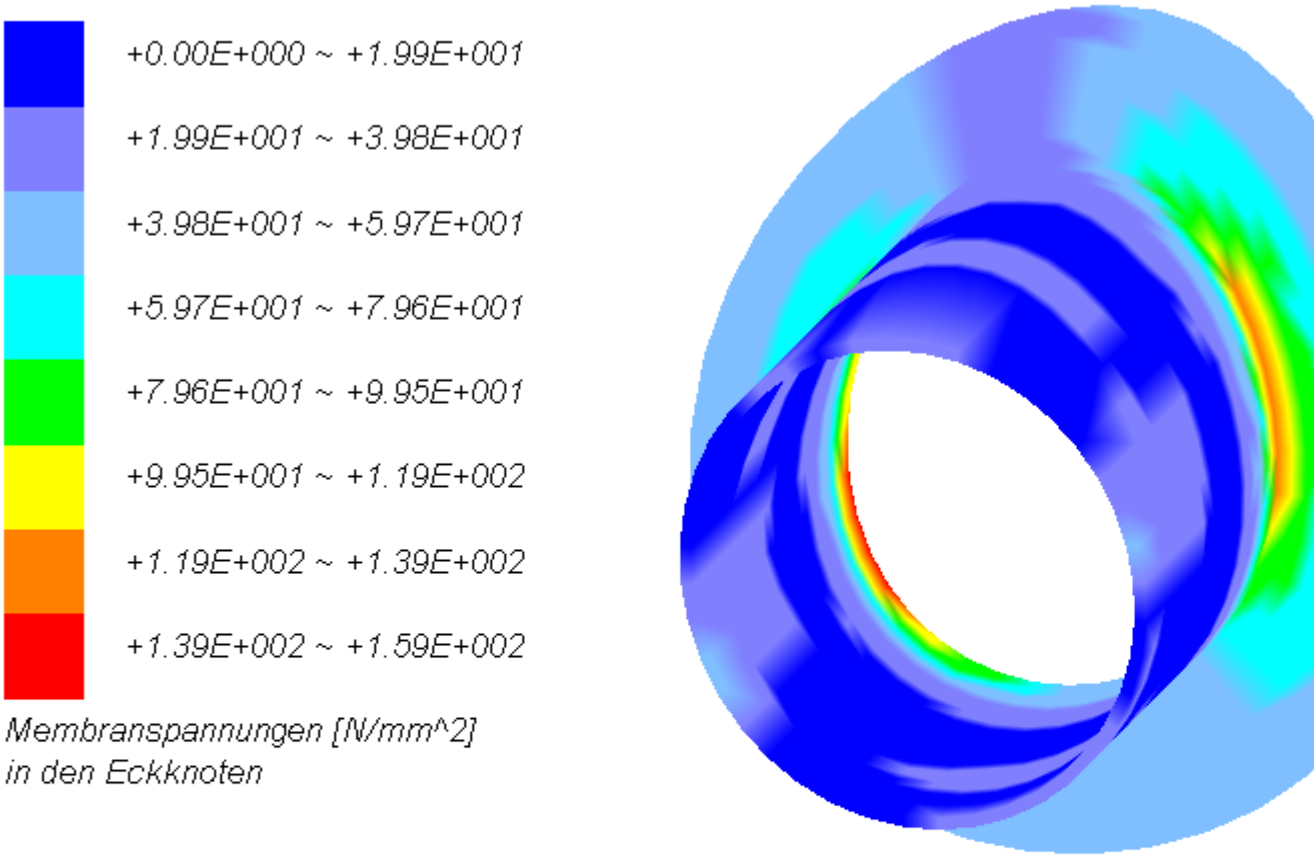
Kritisches Element = 0

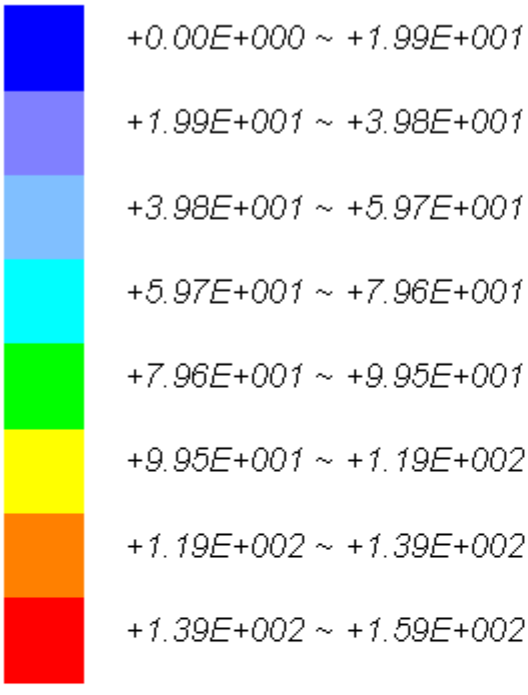
Hauptspannungsdifferenzen

Max dS12: 0 Max dS23: 0 Max dS31: 0
Min dS12: 0 Min dS23: 0 Min dS31: 0

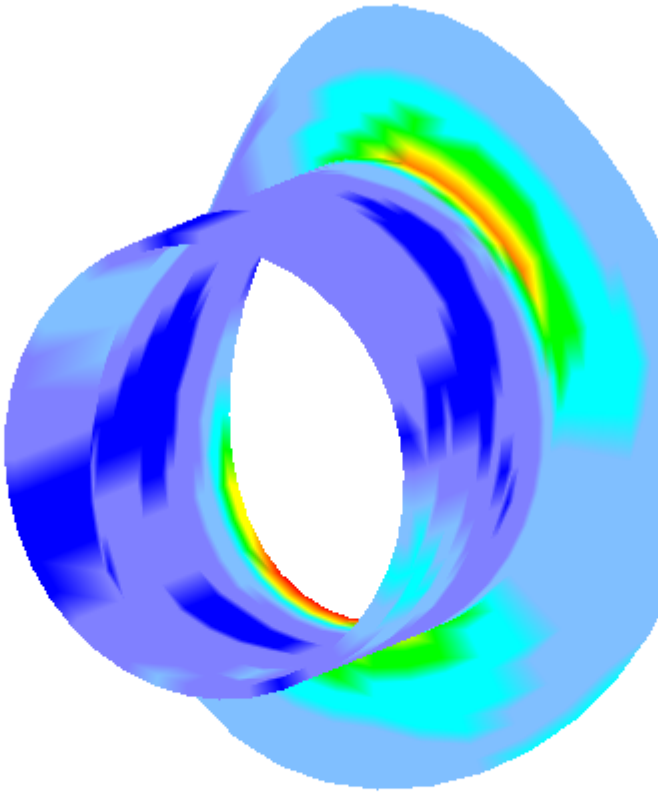
Max. Hauptspannungssumme = 0
Min. Hauptspannungssumme = 0

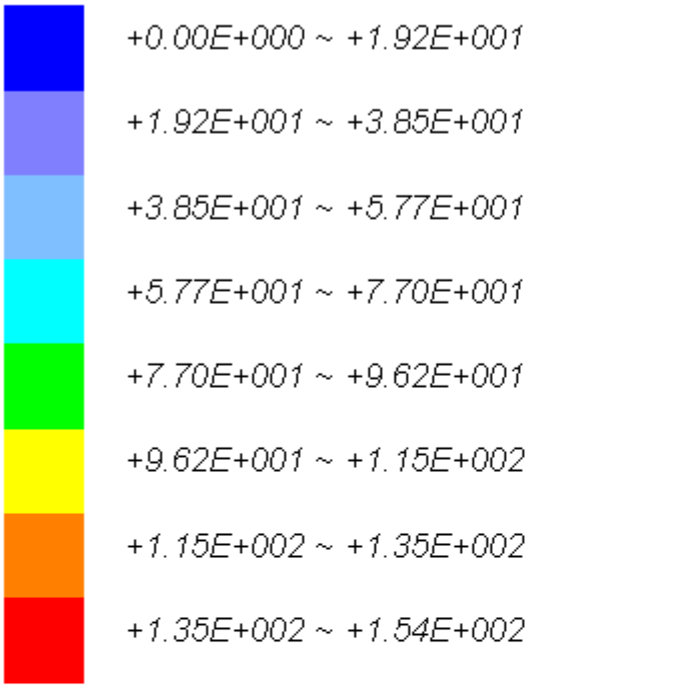
Grafische Darstellungen



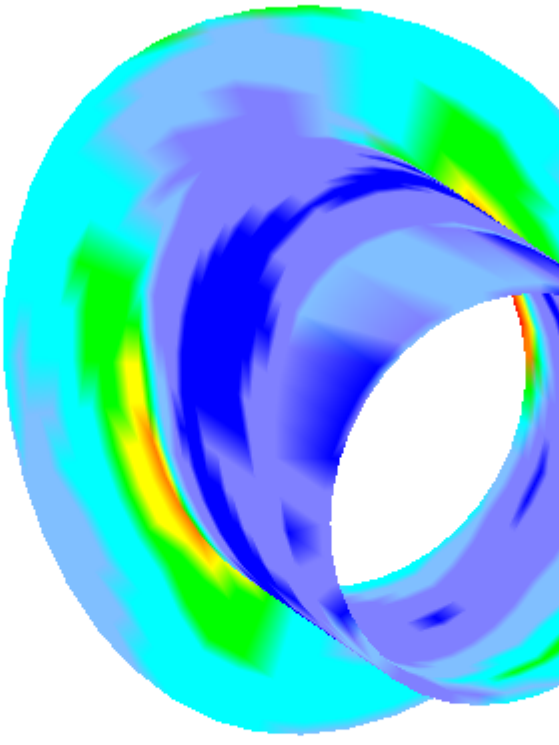


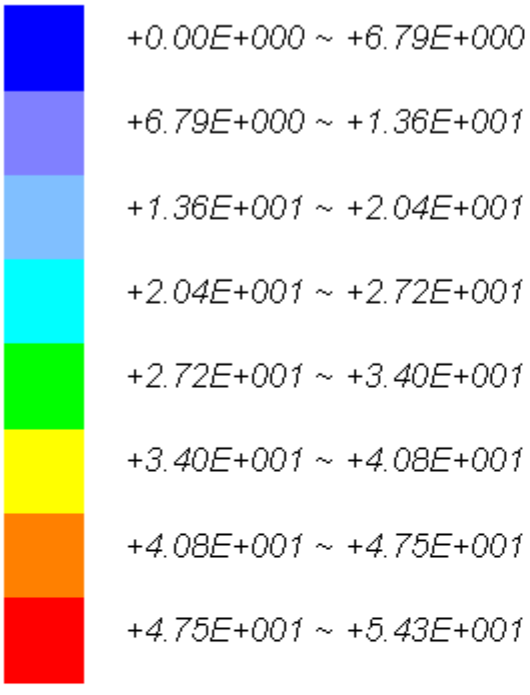
Primärspannungen [N/mm^2]
in den Eckknoten



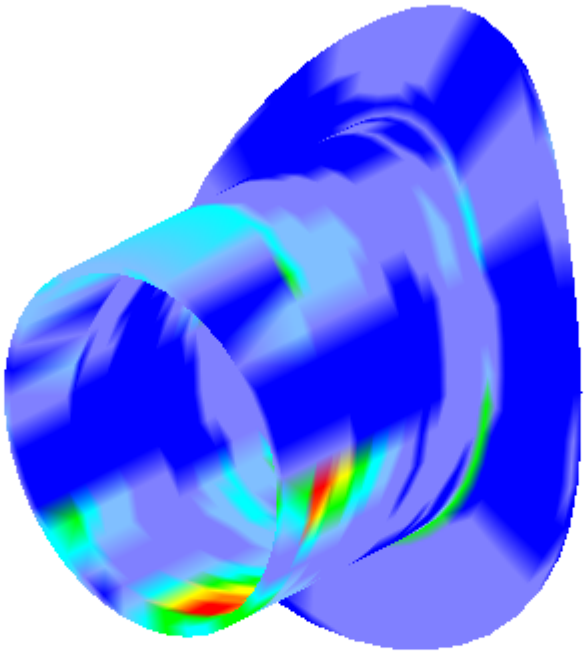


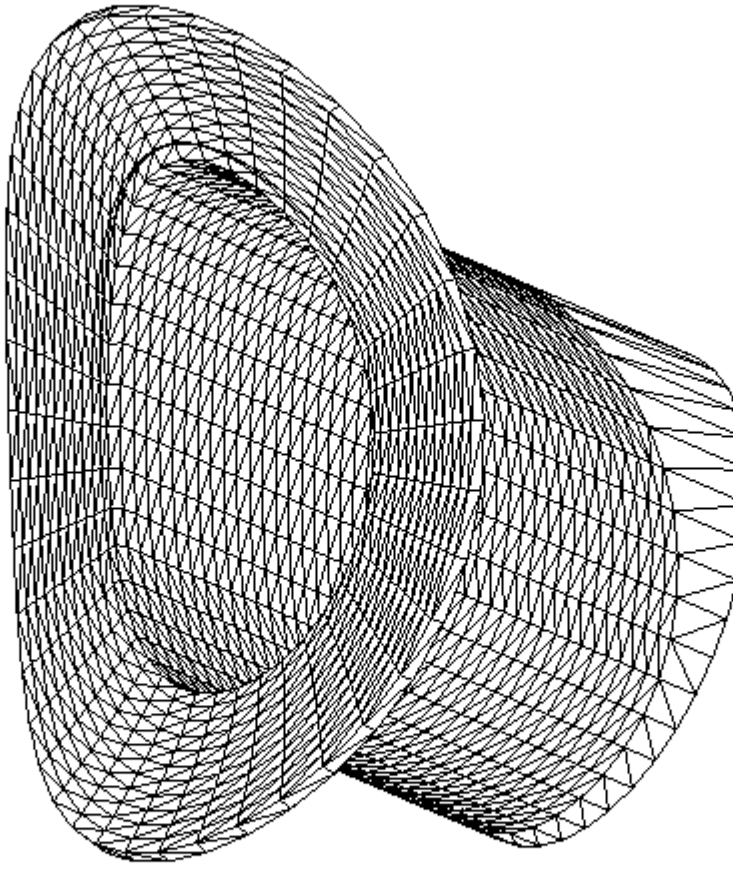
Vergleichsspannungs Schwingbreite [N/mm^2]
in den Eckknoten





Biegespannungen [N/mm^2]
in den Eckknoten





Anhang

Literatur:

[1] Pressure Vessel Technology 1992
Design , Analysis,
Materials(1)Verband der Technischen Überwachungsvereine e.V.(VdTüV)
POBox 10 38 34D-W 4300
Essen

[2] AD2000 -Merkblatt S4
Beuth Verlag GmbH
Burggrafenstraße 6

10787 Berlin