

Forschungszentrum Karlsruhe

Technik und Umwelt

Wissenschaftliche Berichte

FZKA 6451

FE-Analyse einer Patientinauflage

H. Fischer, A. Grünhagen

Institut für Medizintechnik und Biophysik

Arbeitsschwerpunkt Medizintechnik und Biophysik

Forschungszentrum Karlsruhe GmbH, Karlsruhe

2000

FE-Analyse einer Patientinauflage

Zusammenfassung:

Patientenauflagen, die für die Mammographie im geschlossenen Magnet-Resonanz-Tomographen (MRT) benötigt werden, sind mit der Hilfe der Finit-Element-Methode (FEM) analysiert worden. Es hat sich gezeigt, daß die Auflagen im mechanischen Sinne sicher konstruierbar sind. Eine Designoptimierung (in Bezug auf Spannungen) ist noch möglich.

FE-Analysis of a supporting surface for female patients

Abstract:

Supporting surfaces for female patients being utilized for the mammography in a closed magnet-resonance-tomograph (MRT) have been analysed by means of the finite-element-method (FEM). It has turned out that the supporting surfaces can be safely constructed in the mechanical sense. An optimization of design (concerning the stresses) is still possible.

1. Einleitung	1
2. Berechnung der Schale	2
2.1 Modellbeschreibung	2
2.1.1 Geometrie und Elementwahl	2
2.1.2 Randbedingungen	4
2.1.3 Lastfall	5
2.1.4 Materialeigenschaften	6
2.2 Ergebnisse und Auswertung	8
2.2.1 Allgemeines	8
2.2.2 Auswertung der Verformungs- und Spannungsdaten	9
3. Schlussbemerkung	21
4. Literaturverzeichnis	23

1. Einleitung

Bei der Durchführung von MRT-Mammographie können Patientin-
auflagen eingesetzt werden, die im Mammabereich zwischen dem
Brustkorb und der MRT-Liege einen Handhabungsraum schaffen,
der für diagnostisch/therapeutische Zwecke genutzt werden
kann. Die Auflagen sind im Prinzip zwei unter einem bestimmten
Winkel gebogene Platten (Schalen), die zueinander parallel
bzw. leicht geneigt angeordnet sind und mit Hilfe von Stegen
und Abstandshaltern formschlüssig zusammengehalten werden.
Hergestellt werden die Auflagen aus Kunststoff, vorzugsweise
aus PVC. Im folgenden werden die Verschiebungs- und
Spannungsverhältnisse an der oberen Schale (Abb. 1), die aus
PVC gefertigt ist und gleichmäßig mit $K=500\text{ N}$ belastet wird,
mit Hilfe der FE-Methode analysiert. Die Festigkeitsrechnungen
erfolgen mit dem FEM-Programmsystem ABAQUS /1/.

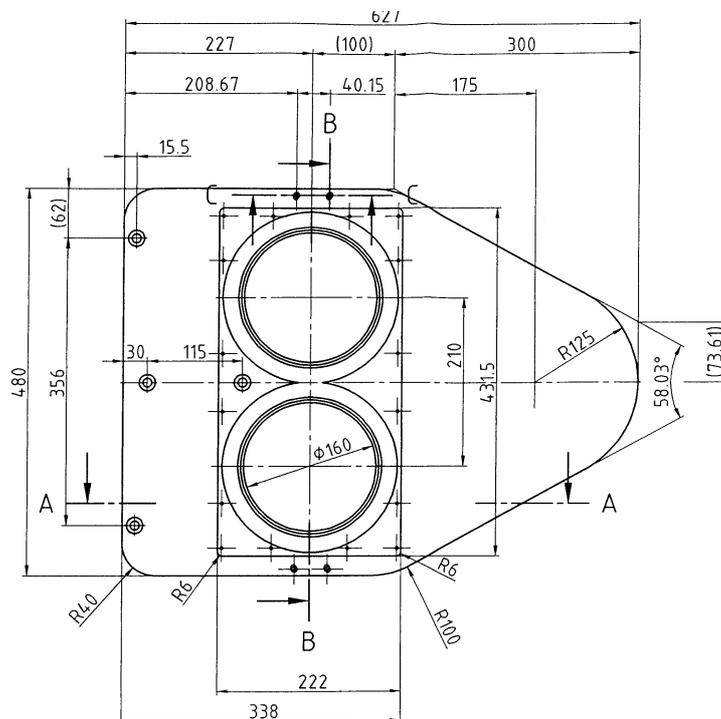


Abb.: 1 - Konstruktionszeichnung der Schale

2. Berechnung der Schale

2.1 Modellbeschreibung

2.1.1 Geometrie und Elementwahl

Da die Schale eine symmetrische Struktur aufweist, wird ein halbes, 3-dimensionales Modell (Abb. 2) nach der Konstruktionszeichnung (Abb. 1) mit dem Schalenelement **S4** (Abb. 3) erstellt.

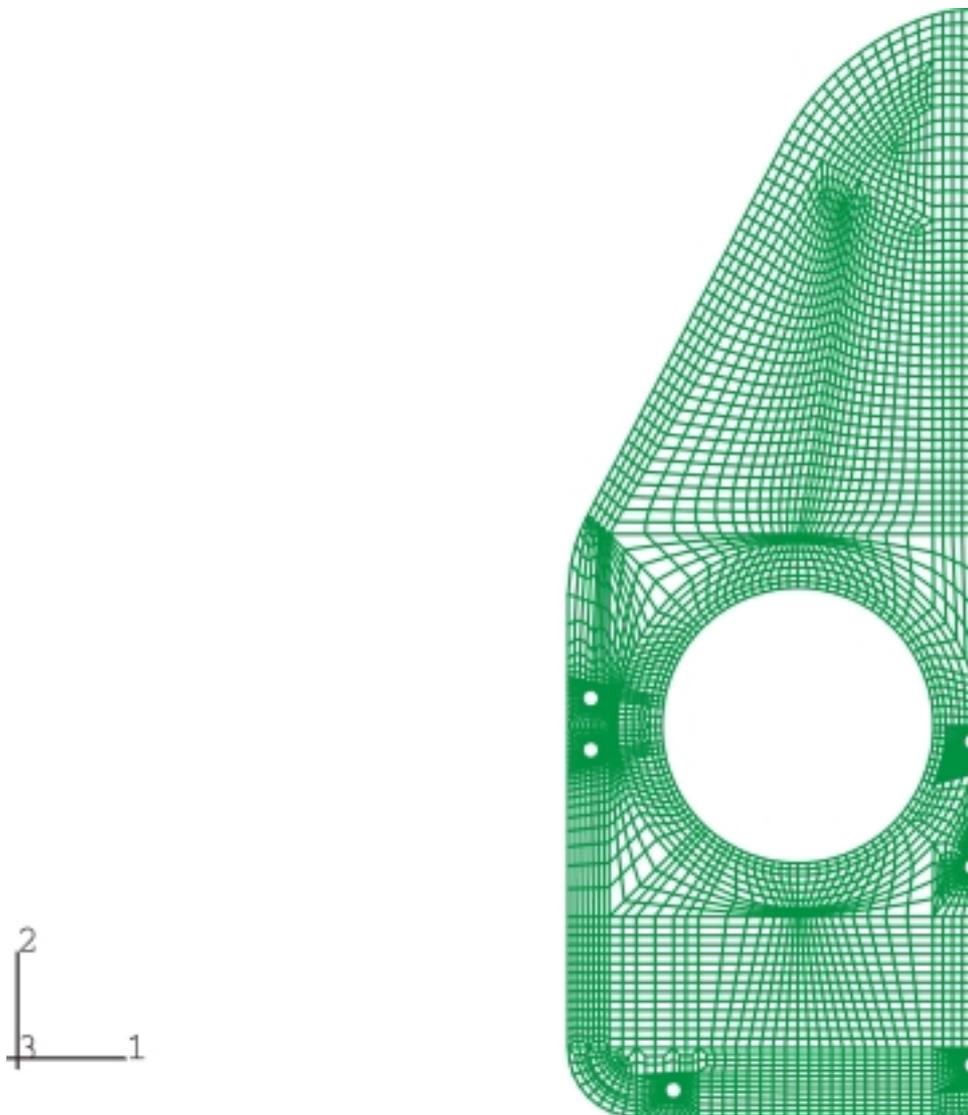
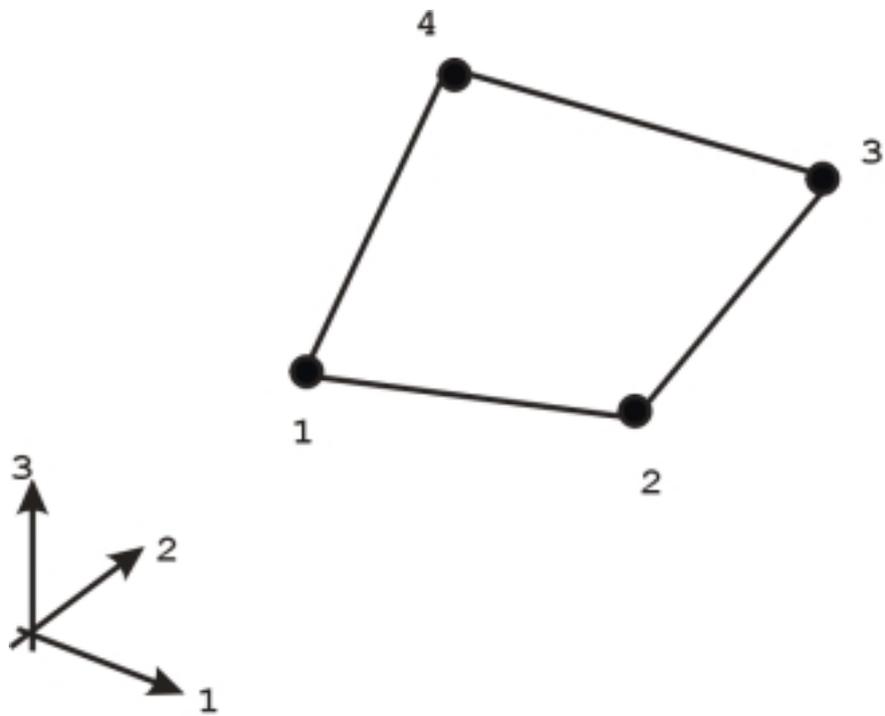


Abb.: 2 - FE-Modell der Schale



4-Knotenpunktselement "S4"

Abb. 3 - Elementwahl

2.1.2 Randbedingungen

Das Modell der Schale wird in der Symmetrieebene A-B (Abb. 4) symmetrisch fixiert, d.h. Verschiebungen in 1-Richtung und Rotationen um die 2- und 3-Achse werden unterdrückt. An den Positionen L1 bis L6 werden Verschiebungen in 2- und 3-Richtung unterbunden. Da die Schale in der Symmetrieebene zwischen Position A und L1 noch zusätzlich abgestützt wird, werden die Verschiebungen dieses Bereiches in 3-Richtung unterdrückt.

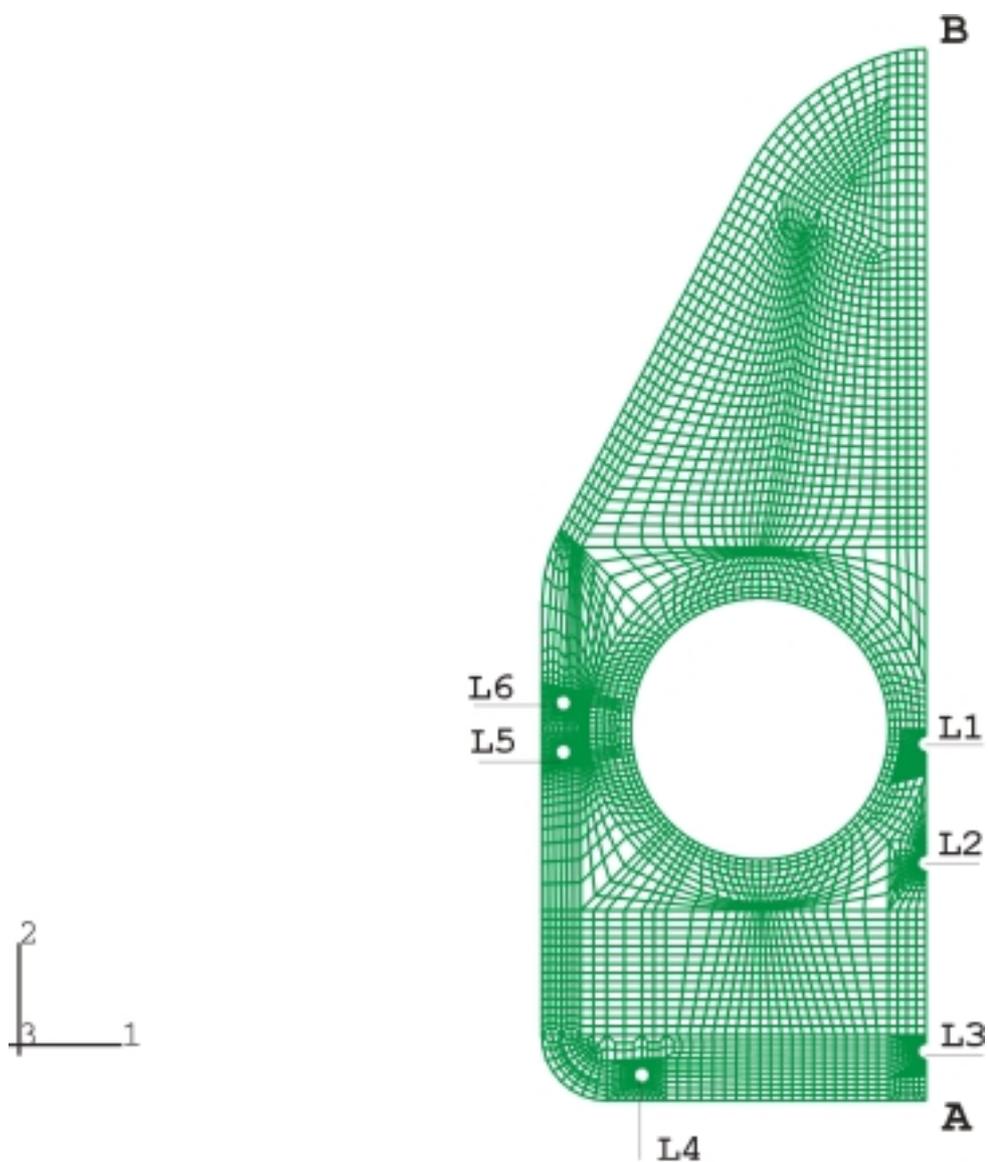


Abb. 4 - Modell mit den Positionen für die Randbedingungen

2.1.3 Lastfall

Die gesamte Schalenfläche ($F=208087.5 \text{ mm}^2$) wird mit einem Druck von $p=0.0024 \text{ N/mm}^2$ ($K=500 \text{ N}$) belastet. In der Abbildung 5 wird das FEM-Modell in Seitenansicht mit den Lastvektoren, die senkrecht auf der Schalenoberfläche stehen, dargestellt.

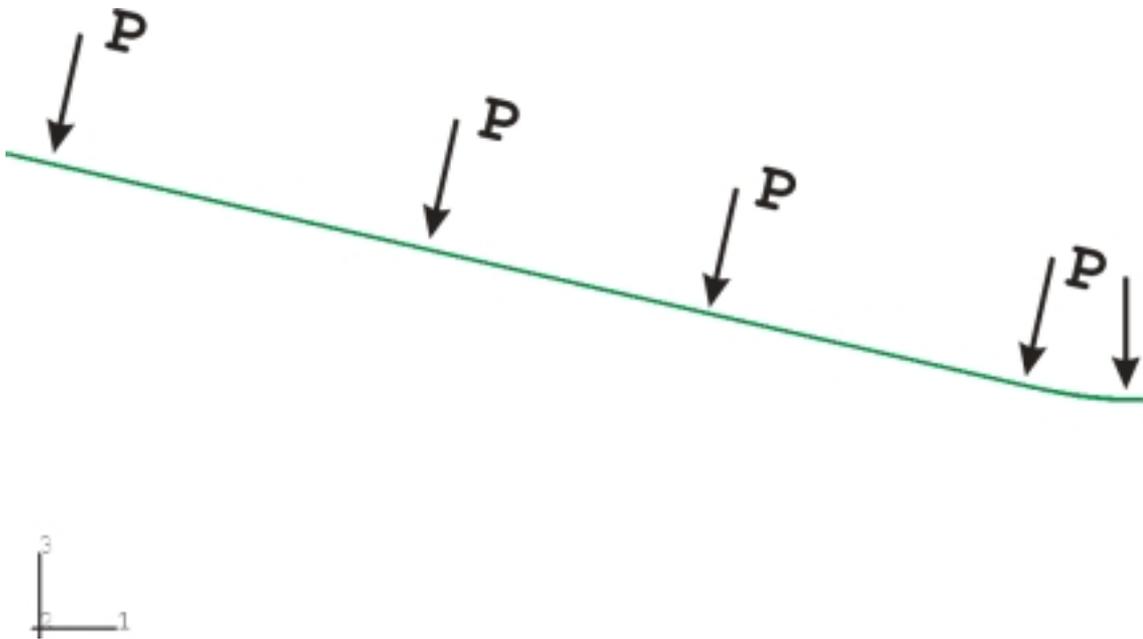


Abb. 5 - Darstellung der Lastvektoren auf der Schalenoberfläche in der Seitenansicht

2.1.4 Materialeigenschaften

Für die Schale wird isotropes Materialverhalten angenommen.

- Materialdaten vom PVC:

Elastizitätsmodul $E = 3.0 \cdot 10^3$ MPa

Poisson-Zahl $\nu = 0.42$

Streckspannung $\sigma_S = 50$ MPa

Die Schale wird in der Abbildung 6 in 4 Regionen (A, B, C und D), die unterschiedliche Schalendicken (s. Tabelle 1) ausweisen, in einem Explosionbild dargestellt.

Teil	Dicke [mm]
A	10.0
B	2.0
C	8.0
D	10.0

Tabelle 1

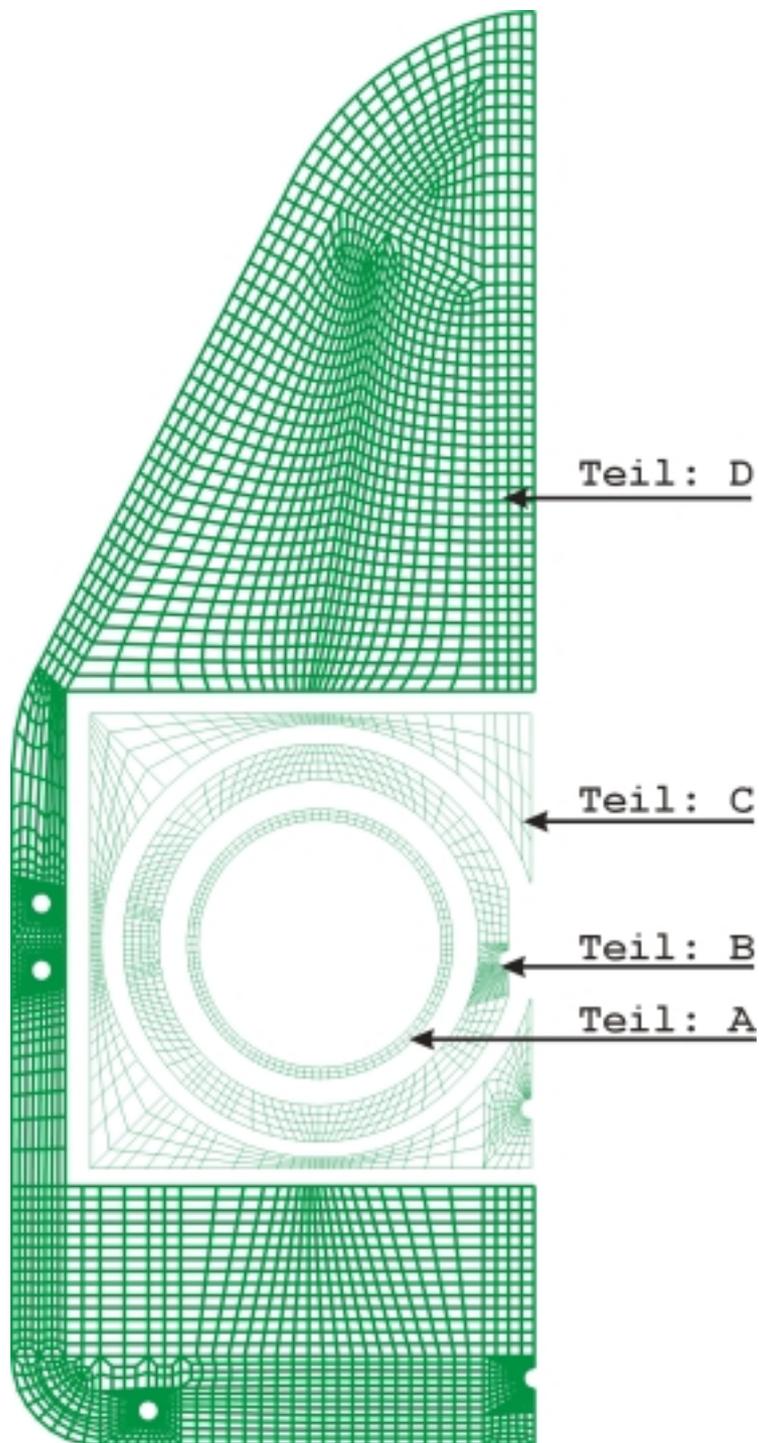


Abb. 6 - Explosionsbild der 4 Regionen unterschiedlicher Schalendicke

2.2 Ergebnisse und Auswertung

2.2.1 Allgemeines

Das Finite-Element-Programm ABAQUS /1/ wurde für die linear statische Berechnung der Verschiebungen und Spannungen verwendet. Für die Modellierung und für die Auswertung wurde der Pre- und Post-Prozessor ABAQUS /1/ benutzt.

Die Knotenanzahl, die Gesamtanzahl der Elemente sowie die Anzahl der Freiheitsgrade des Modells kann aus der folgenden Tabelle 2 entnommen werden.

Version	Knotenanzahl	Elementanzahl	Freiheitsgrade
Modell	4462	4216	26772

Tabelle 2

2.2.2 Auswertung der Verformungs- und Spannungsdaten

In der Abbildung 7 wird die globale Verformung der Schale mit der maximalen Verschiebung in 3-Richtung $d_3 = -3.08 \text{ mm}$ an der Spitze (Position B) der Schale dargestellt.

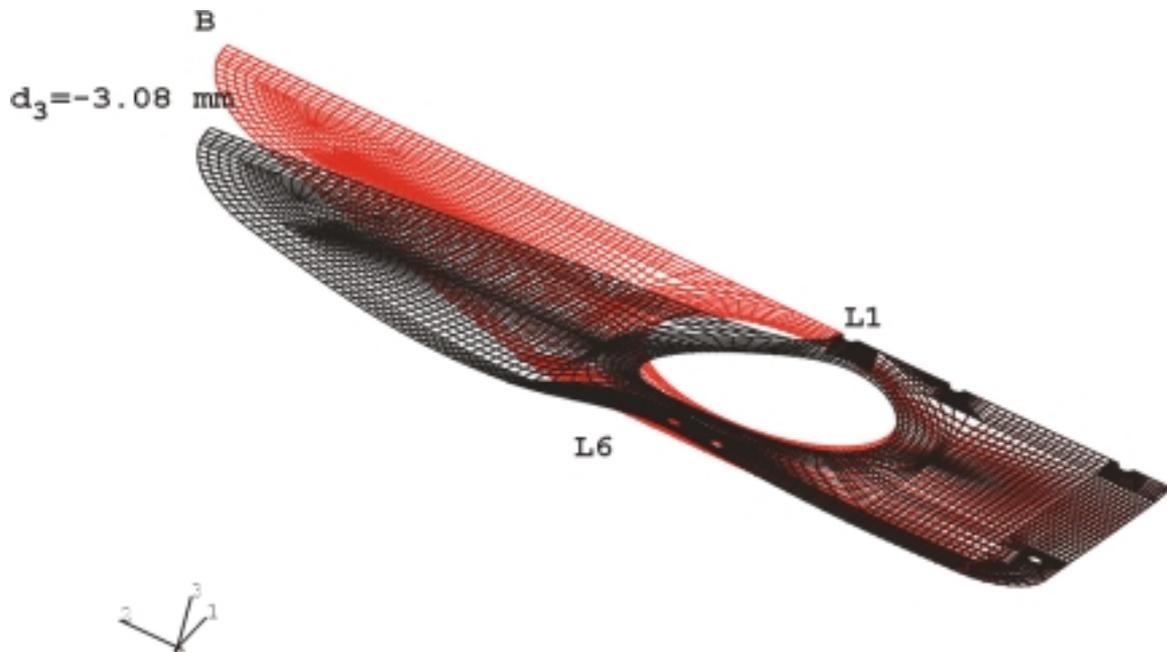


Abb. 7 - Verformungsbild der Schale in isometrischer Darstellung (Überhöhungsfaktor $D=20$)

Die maximale Verformung in 1-Richtung (Position L6) zeigt den Wert $d_1 = 0.24 \text{ mm}$ sowie in 2-Richtung (Position B) den Wert $d_2 = -0.17 \text{ mm}$.

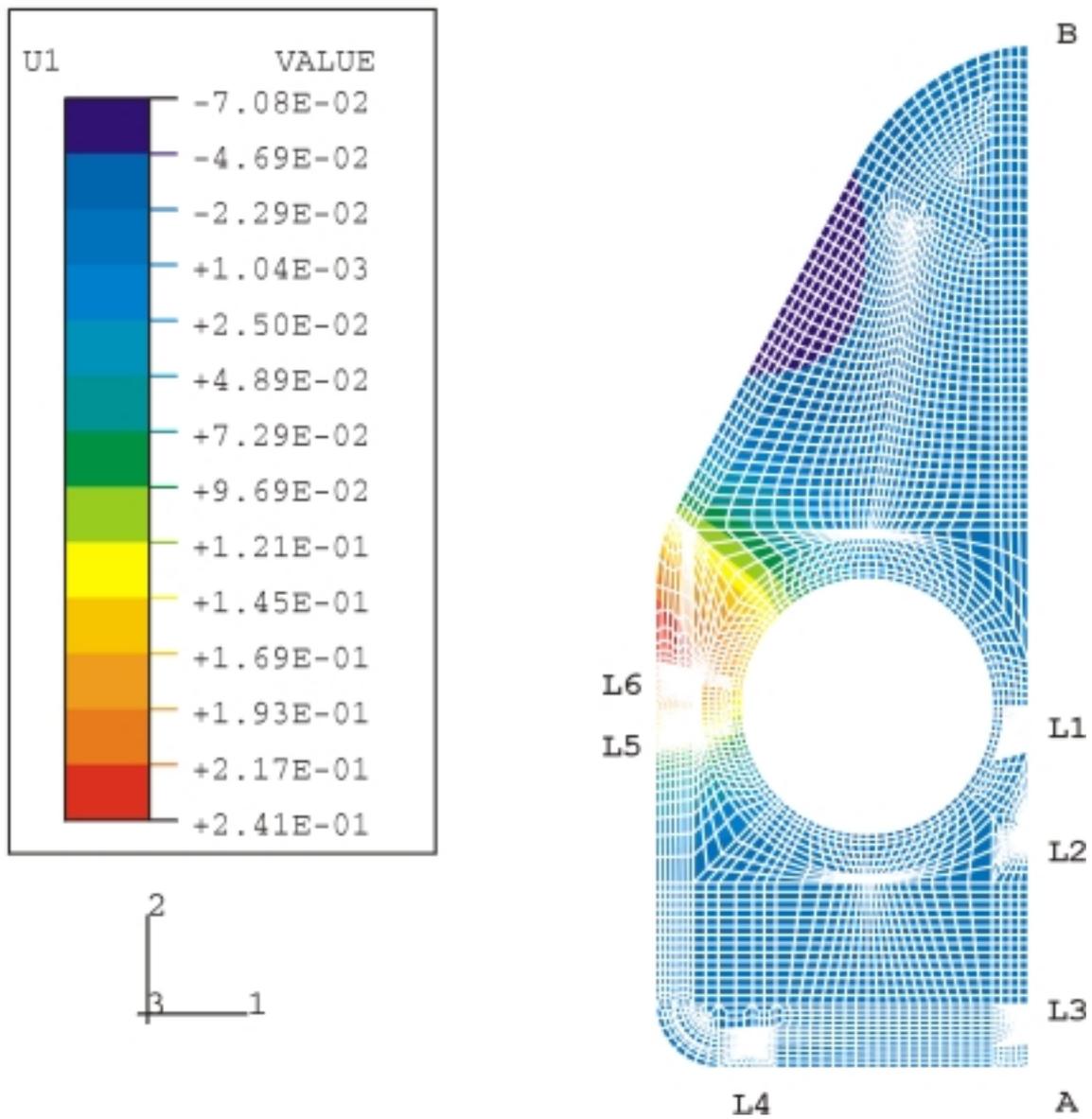


Abb. 8 - Kontur-Plot der Verschiebungen U1
in 1-Richtung

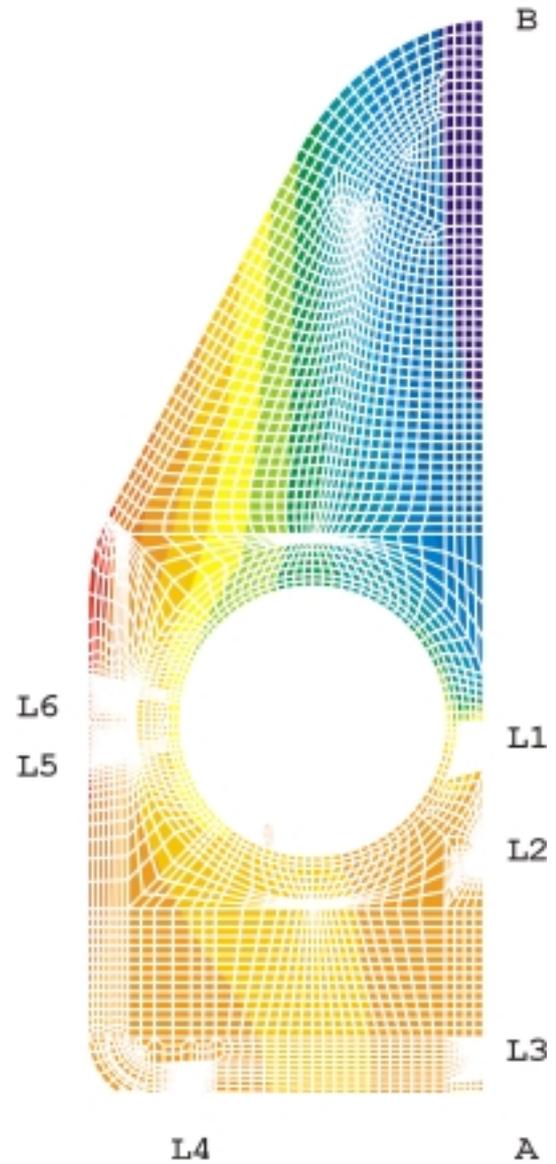
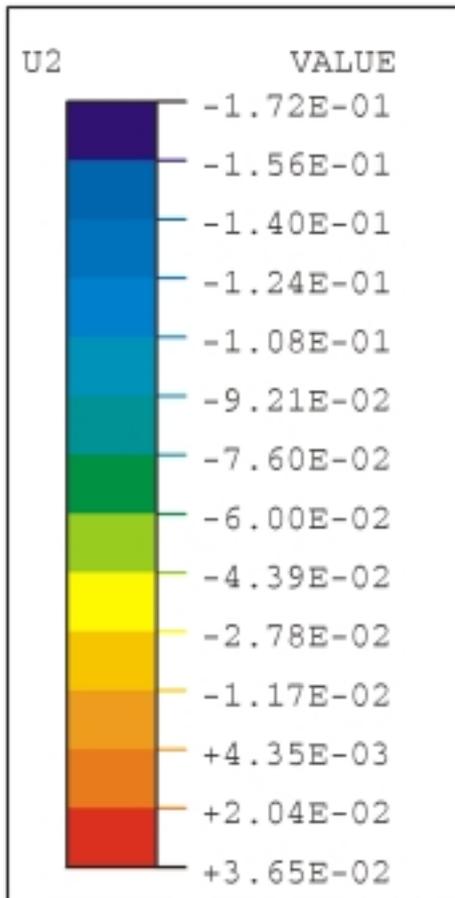


Abb. 9 - Kontur-Plot der Verschiebungen U2
in 2-Richtung

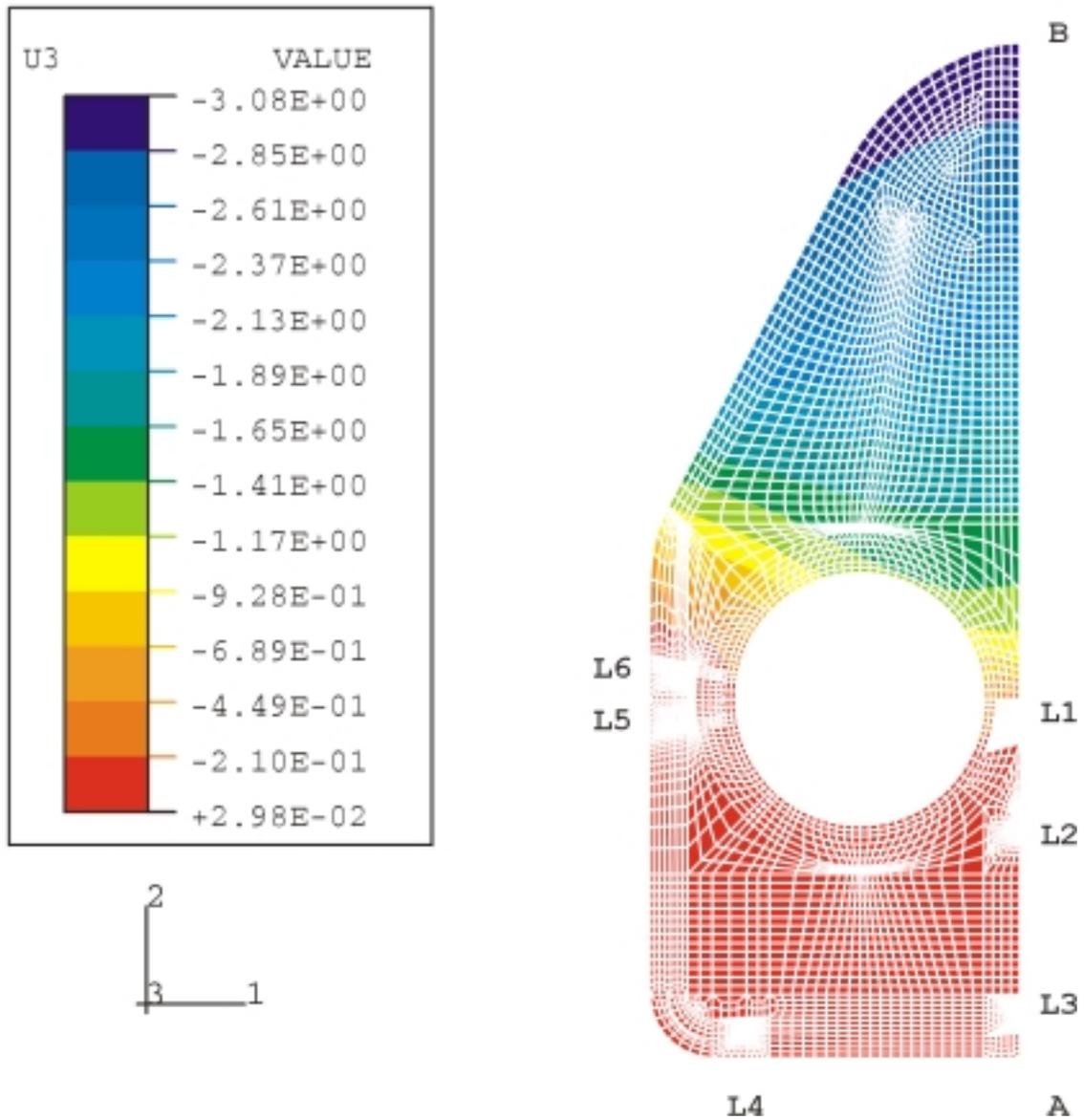


Abb. 10 - Kontur-Plot der Verschiebungen U3
in 3-Richtung

In den Abbildungen 8 bis 10 werden die Verformungen der Schale in 1-, 2- und 3-Richtung als Kontur-Plots wiedergegeben. In der Tabelle 3 sind die maximalen Verformungen zusammengefaßt.

	Position	max. Verformung [mm]
d ₁ 1-Richtung	L6	+0.24
d ₂ 2-Richtung	B	-0.17
d ₃ 3-Richtung	B	-3.08

Tabelle 3

Die von Mises Vergleichspannungen σ_v , die Spannungen σ_1 in 1-Richtung und die σ_2 in 2-Richtung zeigen eine fast gleichmäßige Verteilung über die gesamte Schale (s. Abbildungen 11 bis 13). Das mittlere Spannungsniveau der von Mises Vergleichspannungen liegt bei $\sigma_v=5.0$ MPa, das der Spannungen in 1-Richtung bei $\sigma_1=-6.0$ MPa und das der Spannungen in 2-Richtung bei $\sigma_2=-3.0$ MPa. Da der Schalenbereich zwischen den Positionen L1-L6 und B ohne Abstützung ist, wird die Struktur durch Biegung in der Umgebung der Positionen L1 und L6 am höchsten belastet.

Die maximale Vergleichspannung an der Abstützung der Position L6 steigt auf den unkritischen Wert von $\sigma_v=15.0$ MPa. Die Spannungen σ_1 und σ_2 zeigen dort auch leicht erhöhte Werte. Die Vergleichsspannungen an der Abstützung der Position L1 wachsen dagegen auf den maximalen Wert von **$\sigma_v=43.9$ MPa**. Das Maximum liegt nur um 12.2% unterhalb der Streckspannung von **$\sigma_s=50$ MPa**.

Im Abschnitt Materialeigenschaften (2.1.4) ist zu entnehmen, daß die Schalendicke in der Region B (Abb. 6), in dem sich diese Abstützung an der Position L1 befindet, nur 2.0 mm beträgt und somit für die hohen Spannungen mitverantwortlich ist. Sie treten jedoch nur in einem schmalen Bereich um die radiale Abstützung auf und fallen innerhalb von zwei Elementschichten auf Spannungen von ungefähr $\sigma_v=20.0$ MPa schnell ab. Diese Spannungsspitzen können als lokale Spannungsüberhöhungen nach dem sog. Prinzip von de Saint-Venant gedeutet werden. Die Verhältnisse der Spannungen σ_1 und σ_2 ergeben ein ähnliches Bild. In den Abbildungen 14 bis 16 werden in einem Ausschnitt um die Position L1 die Spannungen σ_v , σ_1 und σ_2 als Kontur-Plot dargestellt und in der Tabelle 4 nochmals zusammengefaßt.

	Max. Spannung [MPa]	Spannung Prinzip von de Saint Venant [MPa]
von Mises Vergleichsspannung σ_v	43.9	~ +20.0
Spannung in 1-Richtung σ_1	-42.1	~ -10.0
Spannung in 2-Richtung σ_2	-36.0	~ -10.0

Tabelle 4

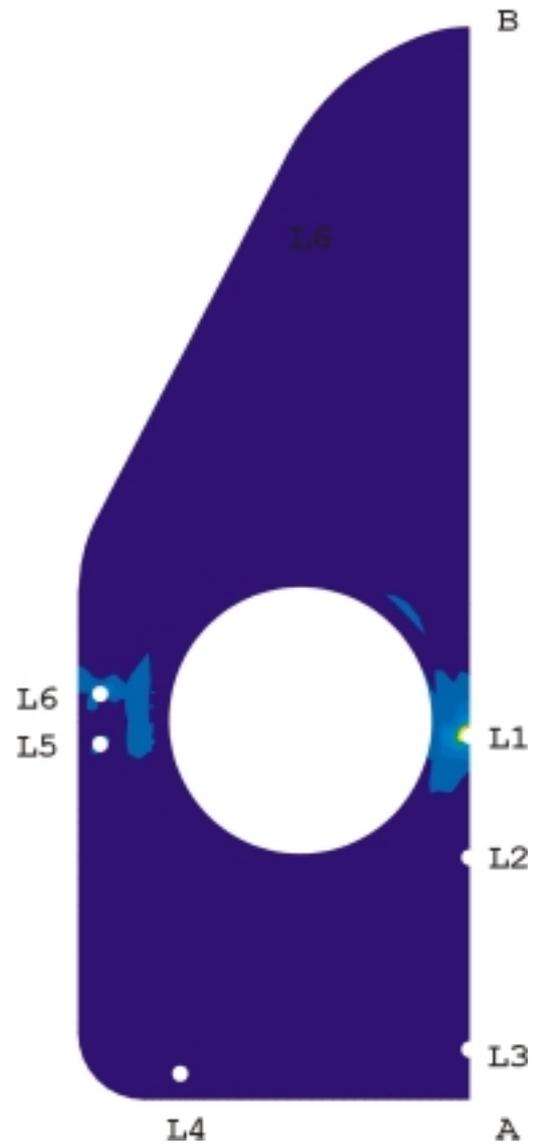
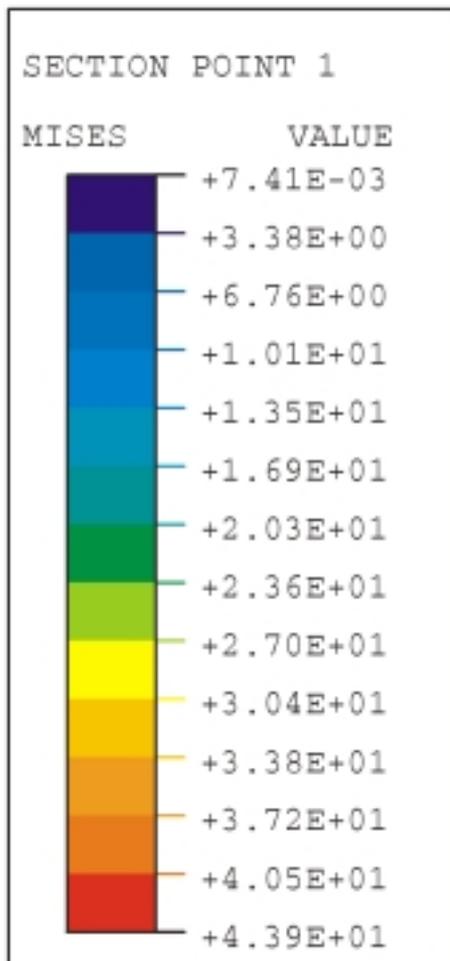


Abb. 11 - Kontur-Plot der von Mises Vergleichsspannung σ_v

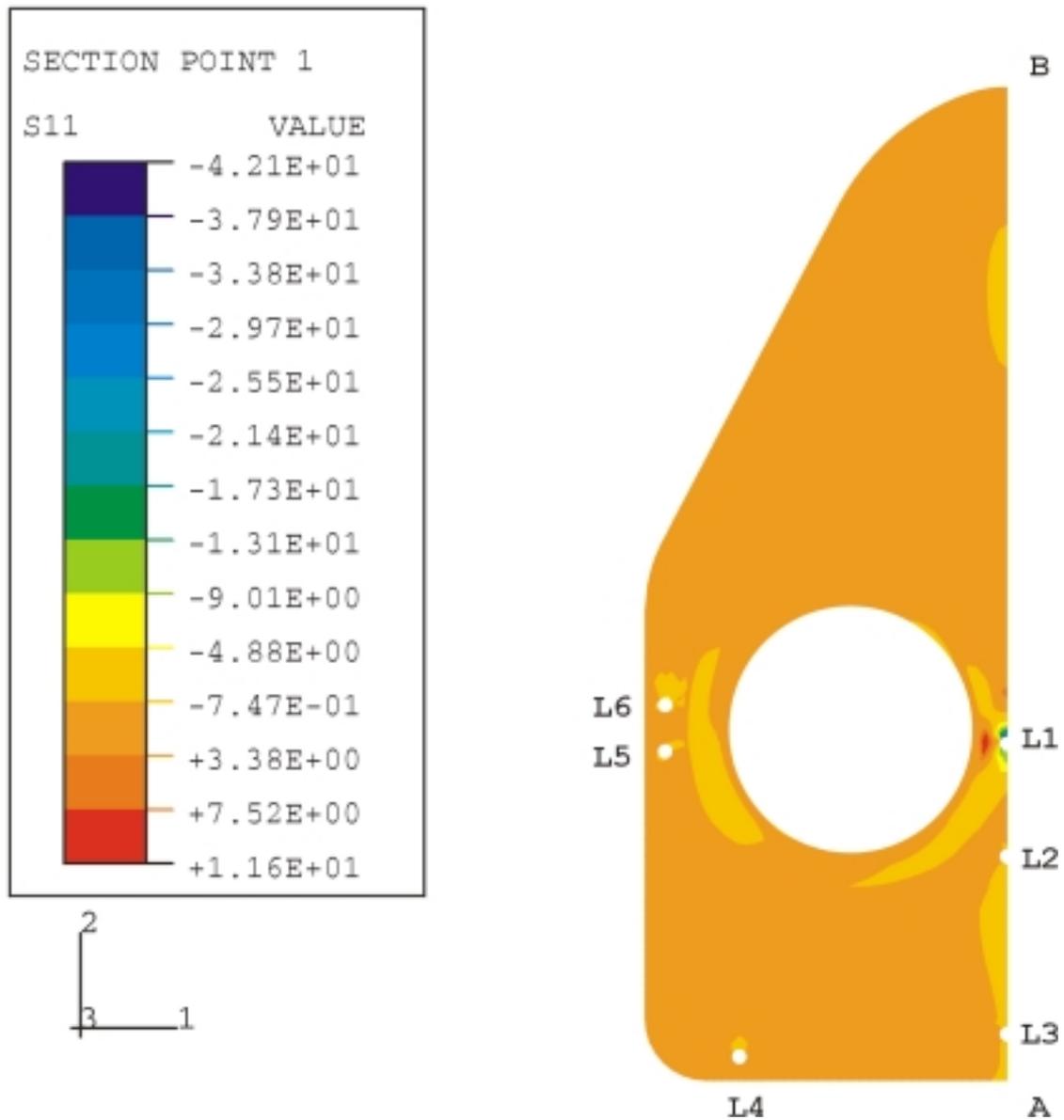


Abb. 12 - Kontur-Plot der Spannung σ_1

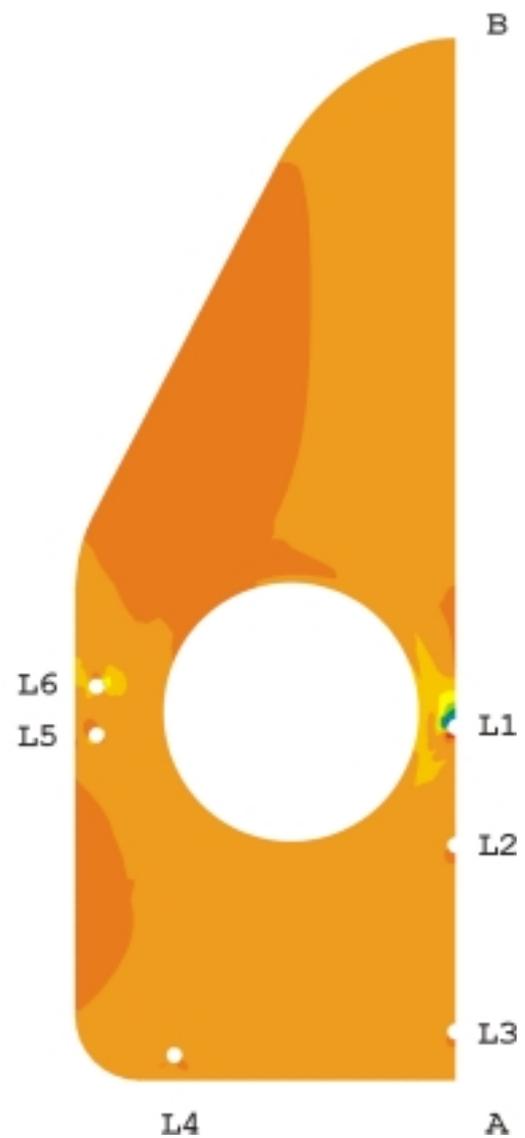
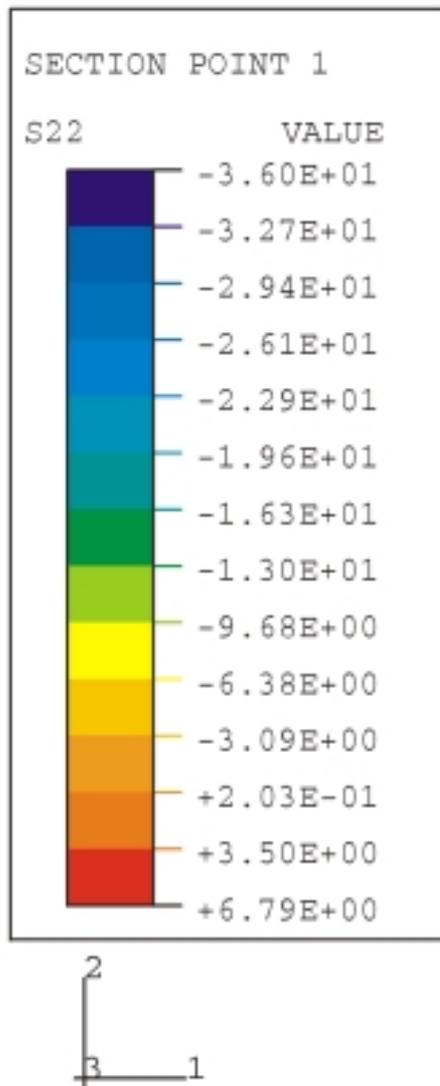


Abb. 13 - Kontur-Plot der Spannung σ_2

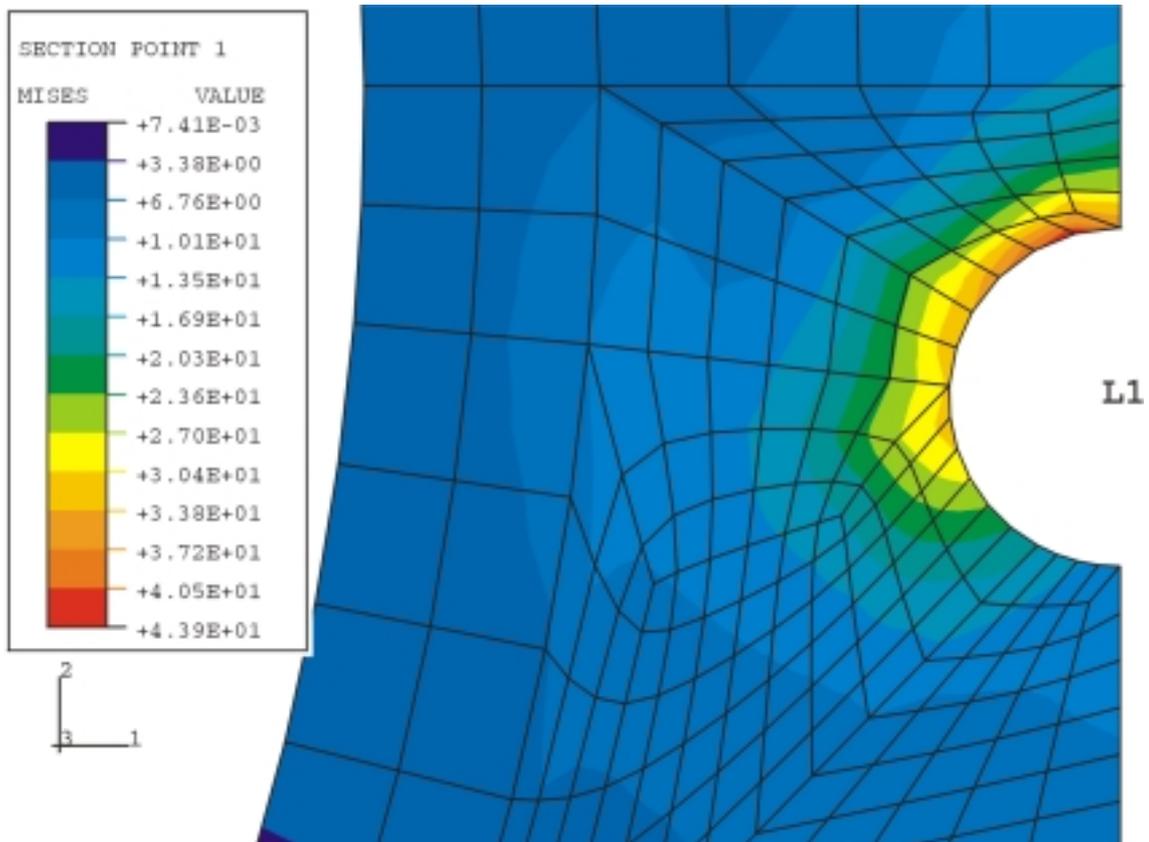


Abb. 14 - Kontur-Plot im Detail der von Mises Vergleichsspannung σ_v

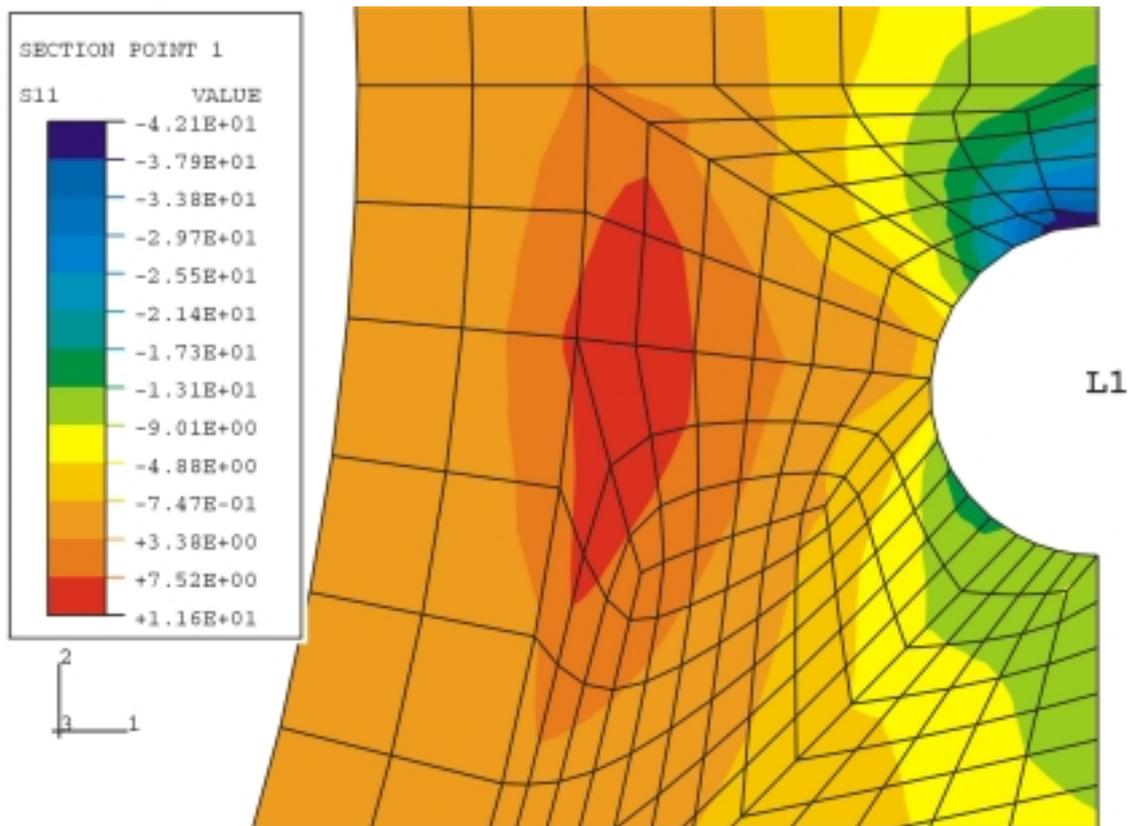


Abb. 15 - Kontur-Plot im Detail der Spannung σ_1

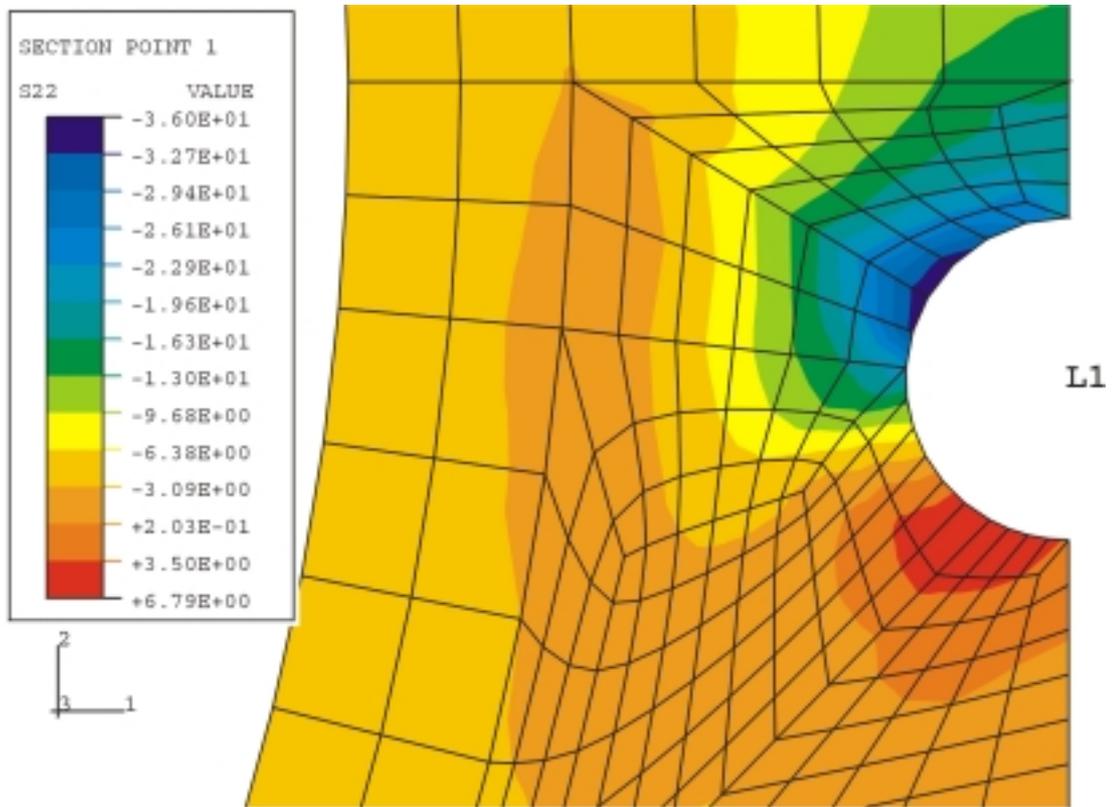


Abb. 16 - Kontur-Plot im Detail der Spannung σ_2

3. Schlussbemerkung

Die FEM-Analyse der Schale zeigt, daß die mechanischen Spannungen mit der Ausnahme eines sehr kleinen Bereiches an der Abstützung der Position L1 um den Faktor 5 niedriger liegen als die Streckspannung σ_s , d.h. die Materialgrenzen werden bei der angenommenen Belastung nicht erreicht. Sicher ist auch zu bedenken, daß PVC unter hoher Belastung in diesem Gebiet um Position L1 in einen visko-elastischen Zustand übergeht. Zusätzliche FE-Analysen haben ergeben, daß bei Zunahme der Schalendicke der Region B um 1 mm sich die maximale von Mises Vergleichsspannung auf $\sigma_v = 33.5 \text{ MPa}$ reduziert. Bei nochmaliger Zunahme der Dicke um 1 mm fällt die maximale Spannung auf $\sigma_v = 26.6 \text{ MPa}$ ab. Eine weitere Möglichkeit für eine Spannungsreduzierung im kritischen Bereich ist eine Spannungsoptimierung der Stützkonstruktion.

Die angenommene gleichmäßige Last über die gesamte Schalenoberfläche wird der tatsächlichen Lastverteilung nicht ganz entsprechen. Unter der Annahme, daß die gesamte Last auf den unteren Teil der Schale bis zu den Positionen C-D (s. Abb. 17) wirkt und der obere Teil somit lastfrei ist, wird die Schale nicht mehr auf Biegung so hoch belastet. Die maximale Vergleichsspannung an der Abstützung der Position L1 beträgt nur noch $\sigma_v = 15.2 \text{ MPa}$.

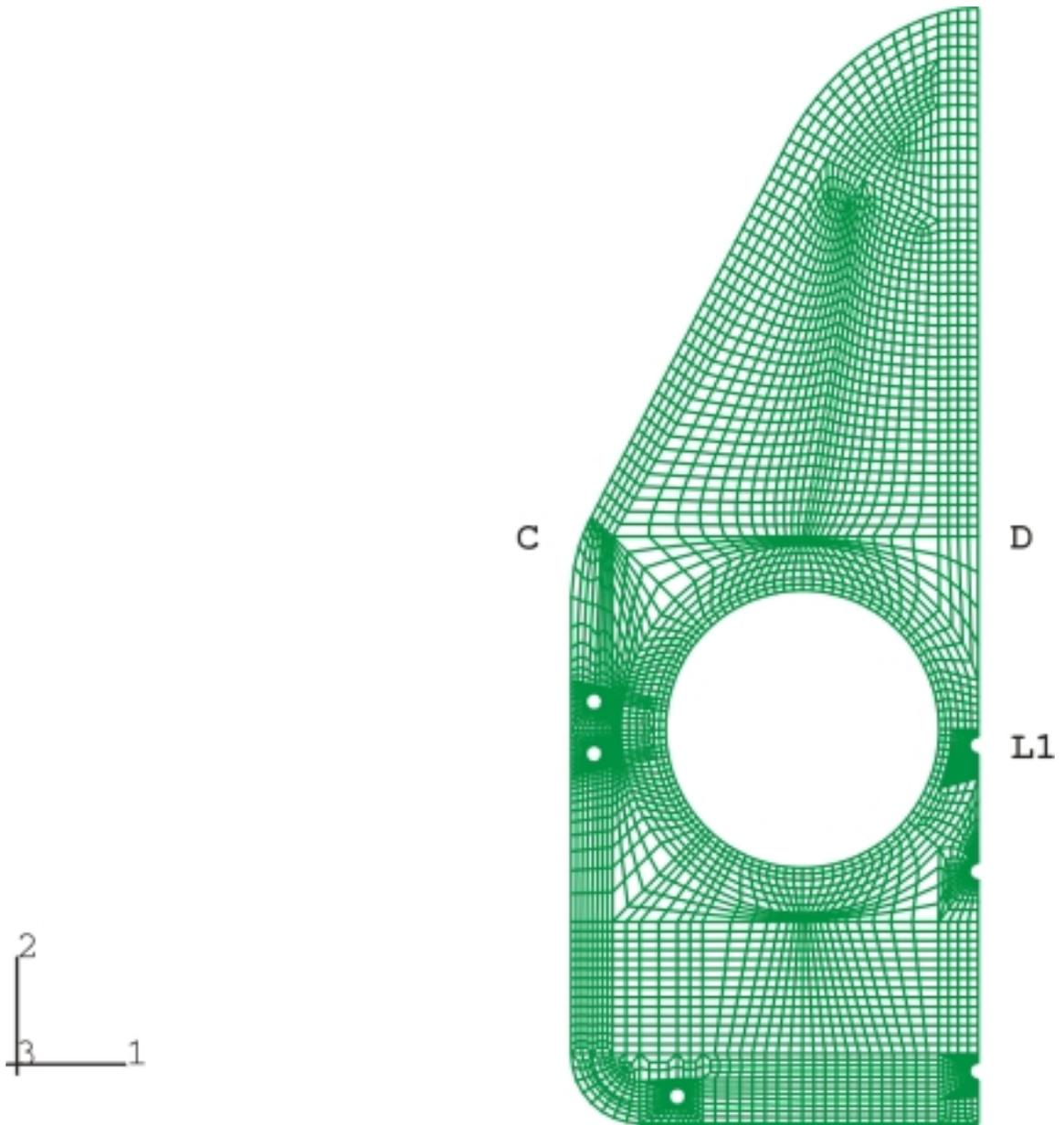


Abb. 17 - Modell mit den Positionen C-D

4. Literaturverzeichnis

/1/ - ABAQUS USER MANUAL, Version 5.7, Hibbitt, Karlson & Sorensen, Inc.