

Dienstleistungen
auf dem Gebiet
FEM

Exklusiver ANSYS® Support Distributor

Deutschland
Österreich
Schweiz

CAD-FEM GMBH

Gründung: 1985

**Gesellschafter
und Geschäftsführer:** Dr.-Ing. Günter Müller

Leitung der Fachbereiche

**ANSYS
LS-DYNA3D:
Strömungsmechanik
Projektbearbeitung**

**Dr.-Ing. Günter Müller
Prof. Dr.-Ing. Karl Schweizerhof
Dr. rer. nat. Uli Göhner
Dipl.-Ing. Matthias Jagfeld**

**Leitung Büro Hannover:
 Büro Stuttgart:**

**Dipl.-Ing. Clemens Groth
Dipl.-Ing. Ingolf Rehfeld**

Umsatz: 1986 1.2 Mio DM
 1991 ca. 7.6 Mio DM

Mitarbeiter: 20 Mitarbeiter;
 davon 14 fest angestellt

**Hochqualifiziertes Team:
1 Prof. Dr.-Ing.
4 Dr.-Ing., 1 Dr. rer. nat.
9 Dipl.-Ing., TU und FH**

Consultants: aus Industrie und Hochschule

Kooperation: Firmen in D, CH, A
 und Italien, Frankreich, Türkei,
 CSFR, Rußland, U.S.A.

Büros: Zentrale München / Ebersberg
 Büro Hannover / Burgdorf
 Büro Stuttgart / Leonberg

FIRMENPROFIL

CAD-FEM GMBH

UMFASSENDE DIENSTLEISTUNG AUF DEM GEBIET FEM

**Statik, Dynamik, Wärmeleitung,
elektrische und magnetische Felder,
gekoppelte Felder, (z. B. elektrisch, thermisch, mechanisch),
Piezoelektrizität, Akustik, Strömung**

- **PROJEKTBEARBEITUNG**

Vornehmlich mit eigenen Programmen,
Erfahrung mit allen gängigen FE-Programmen

- **gemeinsame Bearbeitung mit Kunden in der Einarbeitungsphase**
- **Komplettlösung**

- **SCHULUNG**

FEM Grundlagen und Vertiefung

- **bei CAD-FEM GmbH (siehe Infoplaner)**
- **in Technologiezentren**
- **bei Firmen vor Ort**

- **ANWENDUNGSUNTERSTÜTZUNG**

Betriebssystemkenntnisse: MS-DOS, UNIX, VMS, IBM (MVS)

- **Hot-line Support per Telefon, Telefax**
- **Kundenbesuche**
- **Installationshilfe**

- **ENTWICKLUNG**

Programmiersprachen: FORTRAN, PASCAL

- **kundenspezifische Routinen für ANSYS**
- **Crashverhalten von Verbundwerkstoffen für LS-DYNA3D**

- **VERTRIEB VON FE-PROGRAMMEN**

— ANSYS®	Exklusiv in D, CH, A, nicht exklusiv in Osteuropa
— LS-DYNA 3D	Exklusiv in D, CH, A, I, E, Osteuropa
— FLOTRAN®	D, CH, A
— KIT-MAS	Europa

DIENSTLEISTUNGEN

CAD-FEM GMBH

- **ZENTRALE EBERSBERG / MÜNCHEN**

HP 9000/720
DECStation 5000
SILICON GRAPHICS CRIMSON
μVAX 3100 mit TEKTRONIX 4207, RAMTEK 4225,
> 10 PC 386
PLOTTER, HP PaintJet, SEIKO Hardcopy
HP LaserJet

- **BÜRO HANNOVER / BURGDORF**

SILICON GRAPHICS 4D/35
HP 9000/730
μVAX II mit TEKTRONIX 4207
PC 386
HP PaintJet
HP LaserJet

- **BÜRO STUTTGART / LEONBERG**

IBM RS 6000/320
SILICON GRAPHICS 4D/25
μVAX 2000 mit TEKTRONIX 4107
PC 386
HP PaintJet
HP LaserJet

- **FÜR GROSSPROJEKTE**

Zugriff auf	CRAY II,	Rechenzentrum
	CONVEX,	Universität Stuttgart
		Universität Stuttgart
		Supercomputing Center

CAD-FEM GMBH

Dr.-Ing. G. Müller	Geschäftsführer
Dipl.-Ing. I. Rehfeld	Leitung Büro Stuttgart / Leonberg ANSYS Magnetfelder und gekoppelte Felder
Dipl.-Ing. C. Groth	Leitung Büro Hannover ANSYS Wärmefelder, User Routinen, Schnittstellen
Ing. (HTL Schweiz) M. Dutly	freier Mitarbeiter: Marketing, Öffentlichkeitsarbeit ANSYS Modellierung, Substrukturtechnik

FACHBEREICH ANSYS

Dipl.-Ing. M. Jagfeld	Leitung FEM-Projekte ANSYS Dynamik, KIT-MAS
Ing. MMEI E. Wang	Leitung ANSYS Support ANSYS Modellierung, Substrukturtechnik, Random Vibration
Dipl.-Ing. (FH) G. Wimmer	ANSYS FEM-Projekte, Modellierung
Dipl.-Ing. (FH) P. Tiefenthaler	Marketing ANSYS Optimierung
Dipl.-Ing. (FH) H. Richter	Hardware, Betriebssysteme ANSYS Composites

FACHBEREICH LS-DYNA3D

Prof. Dr.-Ing. K. Schweizerhof (Universität Karlsruhe)	Leitung Fachbereich Entwicklung, Theorie FEM
Dr.-Ing. K. Weimar	LS-DYNA3D Support Entwicklung, Theorie FEM
Dr.-Ing. U. Stelzmann	Projektbearbeitung LS-DYNA3D Crash-Simulation ANSYS/SYSNOISE® Akustik
Dr.-Ing. W. Rust	Projektbearbeitung LS-DYNA3D Metallumformung, Theorie FEM Airbag-Dummy-Interaktion
Dipl.-Ing. Kurt Schweizerhof	Projektbearbeitung LS-DYNA3D Pre- und Postprozessoren
Dr.-Ing. W. Matzenmiller	LS-DYNA3D Entwicklung, Composites

FACHBEREICH STRÖMUNGSMECHANIK

Dr. rer. nat. U. Göhner	Leitung Fachbereich FLOTRAN®, FIRE® Projektbearbeitung, Support, Entwicklung Theorie FEM: Boundary Elemente, adaptive Netzverfeinerung
-------------------------	---

Technische Mitarbeiter

CAD-FEM GMBH

ANSYS	SWANSON ANALYSIS SYSTEMS, INC., Houston, PA, USA ANSYS Support Distributoren in Europa
FLOTRAN	COMPUFLO, Charlottesville, VI, USA
LS-DYNA3D	LIVERMORE SOFTWARE TECHNOLOGY, INC., Livermore, CA, USA
KIT-MAS	KENSINGER INTEGRATED TECHNOLOGY, INC., St. Paul, MN, USA
VISION FORM	KINETIC VISUALS, Torrance, CA, USA
ICEM CFD/CAE	CONTROL DATA, Frankfurt, D

Dipl.-Ing. Ernst	MBB GmbH, München	Composites
Dipl.-Ing. Baur	FFT GmbH, Mengen	
Dipl.-Ing. Hoppe	Sigma GmbH, Hamburg	
Prof. Dr.-Ing. Maier	Universität Kaiserslautern	

Dr.-Ing. Pirro	John Deere Werke, Zweibrücken	Bruchmechanik
----------------	-------------------------------	---------------

Prof. Dr.-Ing. Zammert	FH Esslingen/Göppingen	Ermüdungsanalyse
Dipl.-Ing. Weber	L&C Steinmüller, Gummersbach	
Dipl.-Ing. (FH) Tumbrink	Lucas Automotive, Koblenz	

Prof. Dr.-Ing. Nordmann	Universität Kaiserslautern	Rotordynamik
-------------------------	----------------------------	--------------

Dr.-Ing. Burmeister	DELTA-X GmbH, Stuttgart	Akustik
Dr. rer. nat. v. Estorff	IABG, Ottobrunn	

Dr.-Ing. Baum	Vacuumschmelze, Hanau	Magnetfeldanalyse
Prof. Dr.-Ing. Mrozynski	Universität GH Paderborn	
Dipl.-Ing. Weigelt	Weigelt Engineers	
Dr.-Ing. Laa	Schrack Aerospace, Wien	

Dipl.-Ing. Eccard	Siemens AG, München	Piezoelektrizität
-------------------	---------------------	-------------------

Fachliche Kompetenz — Partnerbüros, Consultants

CAD-FEM GMBH

Prof. Dr.-Ing. Eschenauer	Universität Siegen	Optimierung
Prof. Dr. Schittkowski	Universität Bayreuth	
Dipl.-Ing. Sauter	Universität Karlsruhe	
Dipl.-Ing. (ETH) Diederich	Paul Wurth EU-BRAIN, Luxemburg	
Prof. Dr.-Ing. Bauer	Fachhochschule Aalen	Umformtechnik
Dr.-Ing. Schneider	Ingenieurbüro, Sauerlach	Strömungsmechanik
Prof. Dr.-Ing. Bauer	FH Aalen	
Dr.-Ing. Bakic	TransCAT Nord	Spritzgußsimulation
Dipl.-Ing. Korte	Lucas Automotive, Koblenz	Korrelation Versuch/Rechnung KIT-MAS
Dipl.-Ing. (FH) Tumbrink	Lucas Automotive, Koblenz	
Dr.-Ing. Burmeister	DELTA-X, Stuttgart	Konstruktiver Ingenieurbau
Dipl.-Ing. Hinkers	IHW, Dortmund	Offshoretechnik
Dr.-Ing. Hölling	IDV Systeme, Clausthal-Zellerfeld	Geomechanik
Dr.-Ing. Hanke	Berlin	Biomechanik
Dipl.-Ing. Goretzky	TU Hamburg Harburg	Mauerwerksbau (historische Gebäude)
Dipl.-Ing. Hoppe	SIGMA GmbH, Hamburg	Luft- und Raumfahrt- projekte
Dipl.-Ing. (ETH) Mandanis	Ing.-Büro Mandanis, Luzern	
Dipl.-Ing. Ernst	Ingenieurbüro Ernst, München	

Fachliche Kompetenz — Partnerbüros, Consultants

- **Nichtlineare Statik und Dynamik:**
Kontaktprobleme, große Verformungen, Plastizität
- **Bruchmechanik ***
- **Rotordynamik ***
- **Ermüdungsanalyse ***
- **Hyperelastische Strukturen**
- **Composites**
- **Crashanalysen**
- **Airbag-Dummy-Interaktion**
- **Metallumformung**
- **Akustik:**
Innenraum, Fluid-Struktur-Interaktion, Schallabstrahlung
- **Kinematik ***
- **Wärmeleitung:**
Strahlung, freie Konvektion, Phasenwechsel
- **Elektrostatische Feldprobleme**
- **Magnetfeld:**
2-d und 3-d, statisch und transient
- **Piezoelektrizität ***
- **Strömung:**
3-d turbulente Strömung, Kopplung mit Wärmeleitung
- **Spritzgußsimulation ***
- **FEM-Theorie:**
Elementformulierungen, Lösungsstrategien
- **BEM-Theorie:**
Elementformulierungen, Lösungsstrategien
- **Submodell- und Substrukturtechnik**
- **Optimierung von Strukturen:**
Gewicht, Form, Spannung, Frequenz, Wärmeverlust, ...
- **User Routinen für ANSYS®**
- **Hardware und Betriebssysteme**
- **Σ > 100 Mannjahre FEM-Erfahrung**

CAD-FEM GMBH

☐ Finite Elemente Analysen

Junior-Ingenieur

DM 1 100.— / Tag
DM 5 000.— / Woche
DM 19 000.— / Monat

Senior-Ingenieur

DM 1 400.— / Tag
DM 6 400.— / Woche
DM 25 000.— / Monat

Consultants

DM 1 900.— / Tag
DM 2 200.— / Tag (auswertige Consultants)

Preise verstehen sich inklusive Rechnerbenutzungs- und Programm-nutzungsgebühren

☐ Seminare/Schulungen

CAD-FEM Seminare

DM 520.— / Tag und Teilnehmer

Firmenseminare

Standardthemen

DM 1 600.— / Tag und Referent

Spezialthemen

DM 1 900.— bis 2 400.— / Tag und Referent
jeweils zuzüglich Reisekosten.

Aufträge und Schulungen werden auch nach Fixpreisen durchgeführt.

Reisekosten werden nach den vom Finanzamt anerkannten Sätzen berechnet.
Für Consultants aus dem Ausland werden die anfallenden Reisekosten berechnet.

Alle Preise zuzügl. ges. MwSt., Preisbindung 3 Monate.

Rabatte:

- bei Abschluß langfristiger Rahmenverträge, nach Vereinbarung,
- bei Seminaren der CAD-FEM GmbH für Hochschulen und Studenten.

CAD-FEM GMBH

- **LUFT- UND RAUMFAHRT**

DEUTSCHE AEROSPACE
DORNIER COMPOSITE AIRCRAFT

- **KUNSTSTOFFINDUSTRIE**

BASF
BAYER
HOECHST

CIBA GEIGY
DU PONT
EMS- CHEMIE

- **ANLAGENBAU**

SULZER AG
NOELL
STEINMÜLLER

MANNESMANN
LURGI
SIEMENS / KWU

- **FAHRZEUGBAU**

THYSSEN
LUCAS AUTOMOTIVE
MAN NUTZFAHRZEUGE

PORSCHE
MERCEDES BENZ
VOLKSWAGEN AG

- **ELEKTRONIK**

SIEMENS
PHILIPS
MOTOROLA

BOSCH ANT
SEL AG
NOKIA

- **FORSCHUNGSINSTITUTE**

ESO
MPI
HAHN-SCHICKARD-GESELLSCHAFT

BESSY
CERN

- **MASCHINENBAU / MESSTECHNIK**

SKF
FESTO
LIEBHERR

EMAG
DANFOSS
ENDRESS + HAUSE

- **HOCHSCHULEN**

BERUFSAKADEMIEN
UNIVERSITÄTEN
WEITERBILDUNGSINSTITUTE (TAE)

FACHHOCHSCHULEN
TECHNOLOGIEZENTREN

CAD-FEM GMBH

● MASCHINENBAU

Nichtlineare Berechnungen von Kranzkopfverbindungen
Statische Berechnung von Pressen
Schadensfalluntersuchungen an einer Mischkammer

● FAHRZEUGBAU

Nichtlineare Wärmefeld- und Festigkeitsuntersuchungen von
Kolben, Zündkerzen und Glühkerzen

Crash-Simulation
Crash-Verhalten von Verbundwerkstoffen (EUREKA Projekt)

● ANLAGENBAU

Festigkeitsuntersuchung an Spulen für Fusionsreaktoren
(Projekt der Europäischen Gemeinschaft)

Nachweis der Erdbebensicherheit von Klimaschränken und Wartetafeln
Fallstudien für Kernkraftwerk

● BAUWESEN

Grundsatzuntersuchung für die Schnellbahntrasse der Deutschen
Bundesbahn: Schiene-Schotterbett-Interaktion

● KONSUMGÜTERINDUSTRIE

Optimierung eines Schreibmaschinentypenrades
Vibration der Lochmaske eines Fernsehers

● ELEKTRONIK, MESSTECHNIK

Magnetische Feldberechnung eines Hubmagneten
Wärmefeldberechnungen für Chips

● BIOMECHANIK

Statische Untersuchung eines Hüftgelenkimplantats

AUSWAHL BEARBEITETER PROJEKTE

Ermittlung maximaler Verschiebungen für das ESO Very Large Telescope

Analysetyp

Lineare statische Strukturmechanik,
Modalanalyse, Substrukturtechnik.

Beschreibung der Struktur

Das ESO Very Large Telescope besteht aus einer linearen Anordnung von 4 Einzelteleskopen mit jeweils 8 m Spiegeldurchmesser. Diese können zusammengeschaltet werden, so daß die Auflösung des Teleskopes der Auflösung eines 16 m Teleskopes entspricht. Jedes Einzelteleskop besteht aus zwei Hauptkomponenten: Die Röhre stellt die Tragstruktur der Spiegel und der anderen optischen Bauteile dar, die Gabel trägt die Röhre und gewährleistet gleichzeitig die vertikale und horizontale Verdrehbarkeit des Teleskopes. Die Auflösung eines Einzelteleskopes hängt sehr von der genauen Einhaltung der Position der optischen Elemente zueinander ab.

Aufgabenstellung

Im Vorfeld der Entwicklung sollte durch eine Finite Elemente Analyse überprüft werden, ob in der geplanten Konstruktion die zulässigen Maximalwerte für die Verschiebung (2 mm bei 8 m Spiegeldurchmesser) überschritten werden. Dazu sollte für den Lastfall Eigengewicht eine lineare statische Berechnung durchgeführt werden. Desweiteren sollte mit einer Modalanalyse untersucht werden, ob die niedrigsten Eigenfrequenzen außerhalb eines kritischen Bereiches liegen.

Finite Elemente Modell

Die fachwerkartigen Tragstrukturen der Röhre und der Gabel wurden mit Balkenelementen modelliert. Im Verbindungsbereich von Röhre und Gabel wurden Schalenelemente verwendet. Spiegel und andere optische Elemente tragen wenig zur Steifigkeit der Struktur bei und wurden daher nur mit Ihrer Masse berücksichtigt. Das Finite Elemente Modell der Gesamtstruktur erreichte einen so großen Umfang, daß die Berechnung auf der zur Verfügung stehenden Hardware (MICROVAX 3400) nicht möglich war. Deshalb wurde das Gesamtmodell mit Hilfe der Substrukturtechnik in insgesamt 8 Superelemente zerlegt. Die Berechnung konnte nun auf der Workstation erfolgen — ein Ausweichen auf Großrechner war nicht erforderlich.

Ergebnisse

Für die statische Berechnung wurden die Verschiebungen in der Struktur sowohl graphisch als auch numerisch ausgewertet. Die Eigenschwingungsformen wurden mit den dazugehörigen Eigenfrequenzen graphisch dargestellt. Die gelieferten Berechnungsergebnisse führten Konstruktionsänderungen.

Aufwand

ca. 10 Wochen

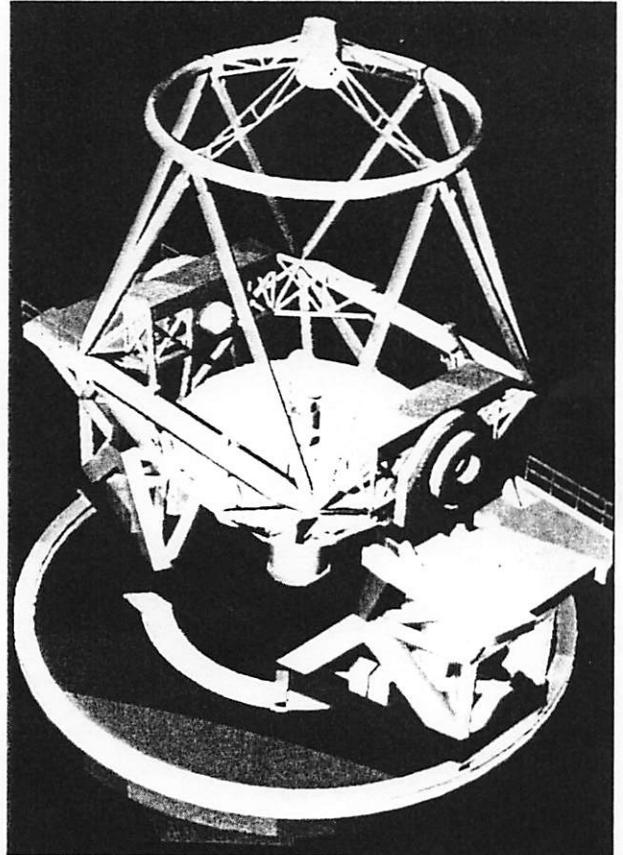


Abb. 1 ESO Very Large Telescope

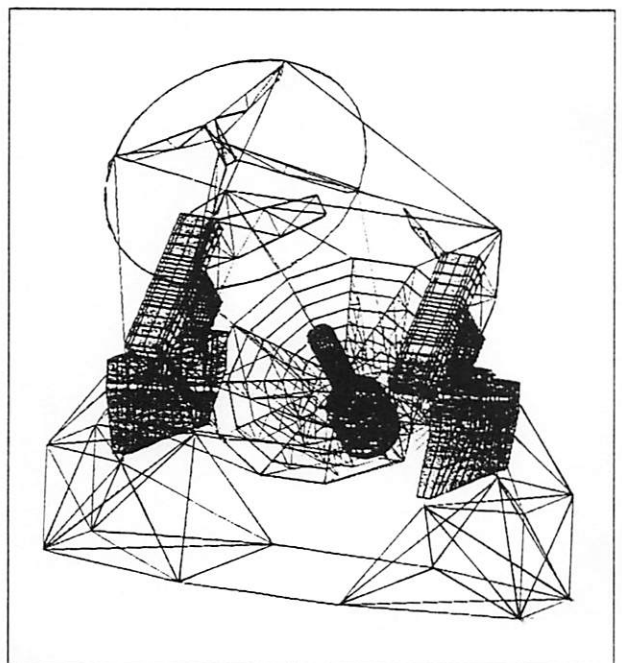


Abb. 2 Finite Elemente Modell

Verfügbare Hardware

MICROVAX 3400,
20 MB Hauptspeicher (8 MB für jeden ANSYS User),
400 MB verfügbarer Plattenplatz

Modellgröße	statische Berechnung	Modalanalyse
Anzahl Elemente	6400	
Anzahl Freiheitsgrade	36000	
maximale Wavefront	1800	2160
R.M.S. Wavefront	1180	> 1180
erforderlicher Hauptspeicher [MB]	13	19
erforderlicher Plattenplatz [MB]	340	> 500

*Gegenüberstellung:
vorhandene - erforderliche Hardware*

CPU-Zeit	statische Berechnung	Modalanalyse
Generation Pass (Steifigkeits- und Massenmatrizen) [h]	9	
Use Pass [h]	0.6	1
Stress Pass [h]	4	
Gesamte CPU-Zeit (erster Lastfall) [h]	14.6	15
Gesamte CPU-Zeit (weitere Lastfälle) [h]	4.6	5

Benötigte Rechenzeit

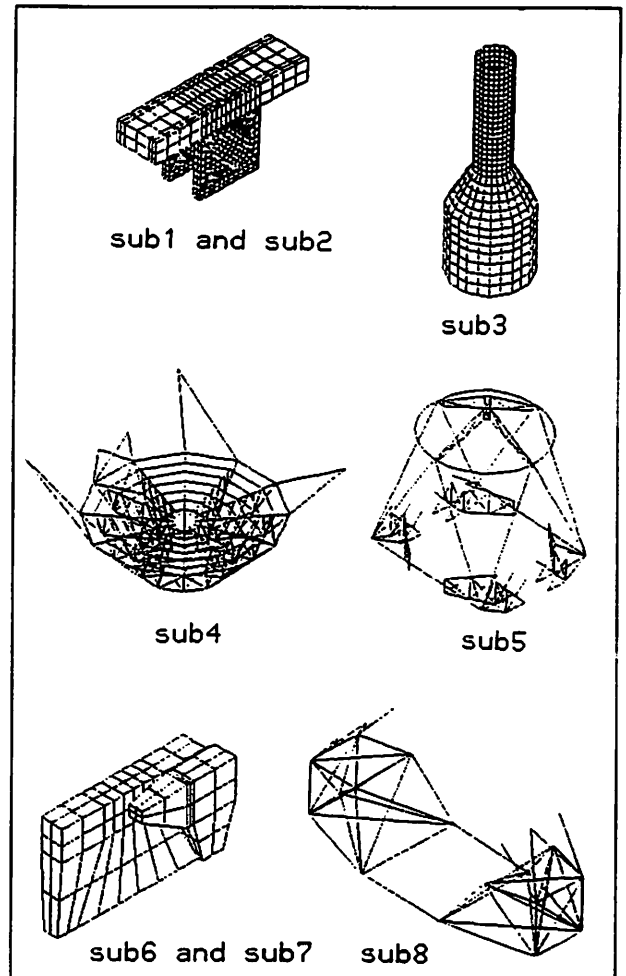


Abb. 3 Superelemente

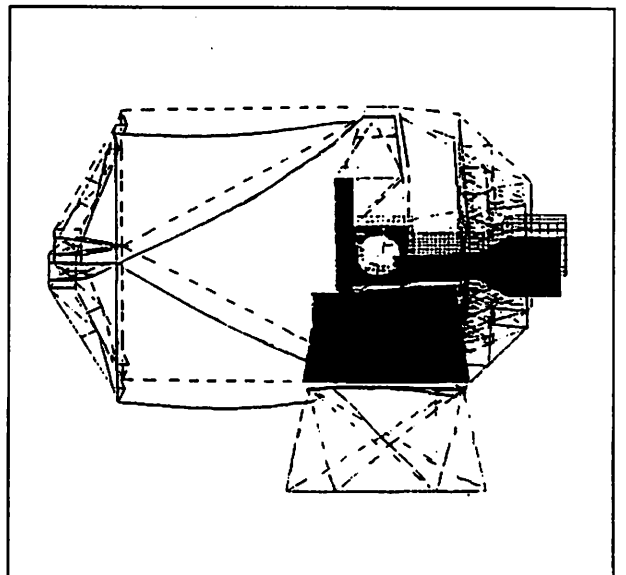


Abb. 4 Verformungsfigur

Nichtlineare Berechnung einer Titan-Pleuelstange für einen Formel-1 Rennwagen

Analysetyp

Lineare, statische Strukturmechanik, Strukturnichtlinearität.

Im Formel-1-Rennsport zählt jedes Gramm. Bei Pleuelbeschleunigungen von 70000 m/s (7000 fache Erdbeschleunigung!!) wirken sich 10 Gramm Gewichtseinsparung in siebringenden 10-20 PS aus — dies bei einer Pleuelmasse von nur 300 Gramm.

Aufgabenstellung

Ermittlung der Spannungsverteilung.

Finite Elemente Modell

Unter Berücksichtigung der Symmetrie von Last und Geometrie wurde nur 1/4 des Pleuels modelliert. Dreidimensionale 8-Knoten Volumenelemente mit Extraformfunktionen bildeten die Grundlage des FE-Netzes. Über 700 nichtlineare Kontaktelemente stellten die Verbindung zwischen Pleuel, Büchse, Kolbenbolzen und Kurbelwelle her. Diese Elemente übertragen Druckkräfte, nehmen aber keine Zugkräfte auf. Vorgedehnte Stabelemente nehmen die Kräfte der Dehnschrauben auf. Das gesamte Modell beinhaltet 12400 Freiheitsgrade. Für ein nichtlineares Kontaktproblem eine sehr große Zahl. Drei extreme Lastfälle wurden analysiert:

- * Büchsenpressung
- * Linear ansteigende Beschleunigung entlang der Längsachse (dies konnte durch Überlagerung von Längsbeschleunigung und einer konstanten Umfangsbeschleunigung um die kleine Pleuelbohrung erzielt werden).
- * Gegendruck auf den Kolbenbolzen.

Das gesamte nichtlineare Problem mit drei Lastfällen und maximal acht Iterationen lief drei CPU-Stunden auf einer DECstation 5000/200 mit 32 MB Hauptspeicher.

Ergebnisse

Den FE-Ergebnisse standen Auswertungen von Dehnmeßstreifen gegenüber. An einem Pulsator (dynamisches Prüfgerät) der TU Graz simulierte man die real auftretenden Lasten. Die größte Abweichung befand sich im Bereich der vereinfachten Schraube. Zieht man Ungenauigkeiten der Messung in Betracht, so wurden Abweichungen von 5 - 20 % erzielt. Entsprechend dem relativ groben Netz sind diese Werte gut. In einer Submodellanalyse mit feinerer Elementierung, wurde die Genauigkeit in kritischen Regionen gesteigert. Die Ingenieure gewannen Gewissheit über Spannungsverteilung und Steifigkeit des Pleuels. Die neuen Erkenntnisse lassen sich damit für zukünftige Entwicklungen umsetzen. Bereiche mit Spannungsmaxima werden entlastet und in spannungsarmen Regionen sind Gewichtseinsparungen durch konstruktive Eingriffe realisierbar.

Aufwand

4 Wochen



Abb. 1
Geometrie-
modell

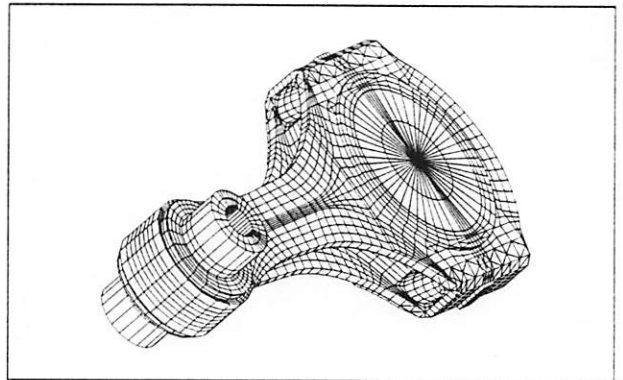


Abb. 2 Finite Elemente Modell

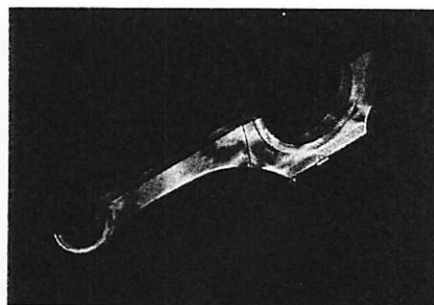


Abb. 3
Spannungs-
verteilung

Berechnung eines Composite-Biegeträgers

Analysotyp

Statische Berechnung, linear-elastisch mit orthotropen Materialeigenschaften.

Beschreibung des Bauteils

Abbildung 1 zeigt eine schematische Zeichnung des berechneten Biegeträgers und der Belastung. Der Träger, aus Glasfaserkunststoff (GFK) gefertigt, ist aus zwei U-Profil-förmigen Längsträgern aufgebaut - eine Frontplatte und eine Schließplatte. Durch Verkleben beider Platten miteinander entsteht ein geschlossenes Kastenprofil. Der Biegeträger ist an beiden Seiten gelenkig gelagert und wird mit einer statischen Flächenlast von insgesamt 100 kN im mittleren Bereich der Frontplatte beaufschlagt.

Aufgabenstellung

Bei der Belastung des Trägers, wie in Abbildung 1 dargestellt, versagt das Bauteil durch Aufschälen an der Klebeschicht der Schließplatte. Die Steifigkeit der Schließplatte kann durch Veränderung der Abmessungen reduziert werden. Die Rechnung soll zeigen, ob dadurch die Spannungen an den Ecken der Klebeschicht soweit reduziert werden können, daß ein Aufschälen der Klebeschicht vermieden wird.

Finite Elemente Modell

Aus Symmetriegründen des Trägers genügt es, die Hälfte des Bauteils zu modellieren. Abbildungen 2 und 3 zeigen das verwendete FE-Modell, es ist aus ca. 1700 3-d Volumelementen mit zusätzlichen rotatorischen Freiheitsgraden aufgebaut. Durch Anwendung dieser Elemente ist es möglich, nur ein Element über die Wanddicke zu verwenden, den Träger somit wie ein Schalenmodell zu berechnen und die Klebeschicht dennoch physikalisch sinnvoll zu simulieren. Die Lagerung des Trägers erfolgt über Balkenelemente, die an zwei Punkten angebunden werden. Die Belastung wird als diskrete Knotenkraft aufgebracht. Es sind orthotrope Materialeigenschaften in den Trägerplatten zu berücksichtigen, die Klebeschicht wird als isotropes Material angenommen.

Ergebnisse

Die Schubspannungen in der Klebeschicht sind in Abbildung 4 dargestellt. Man erkennt eine sehr lokale Spannungsspitze an der Ecke der Klebeschicht, die bei der aufgetragenen Belastung zum Versagen im Kleber führt. Um genaue Ergebnisse an der Ecke zu erhalten, ist dort eine Netzverfeinerung erforderlich. An dieser Stelle konnte auch im Versuch ein Aufschälen der Klebeschicht beobachtet werden. Durch Optimierung der Schließplattengeometrie können Maßnahmen zur Reduzierung der Schälspannungen an den Ecken untersucht werden.

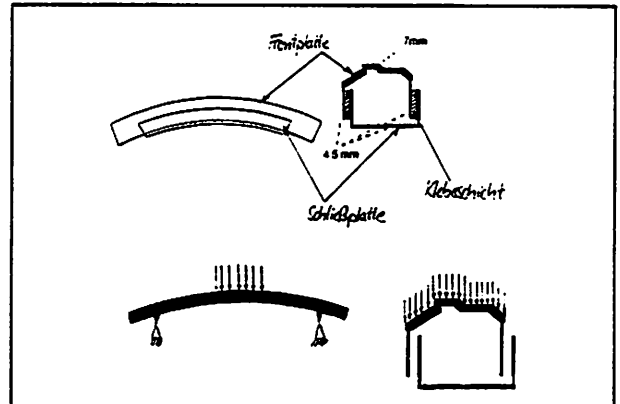


Abb. 1 Composite-Biegeträger

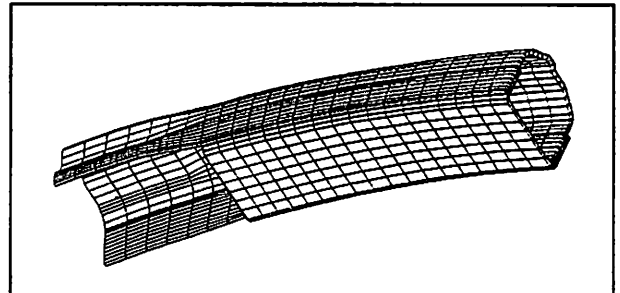


Abb. 2 FE-Modell Composite-Biegeträger

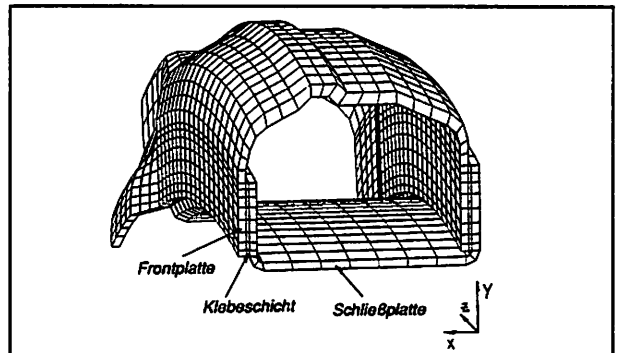


Abb. 3 FE-Modell Composite Biegeträger

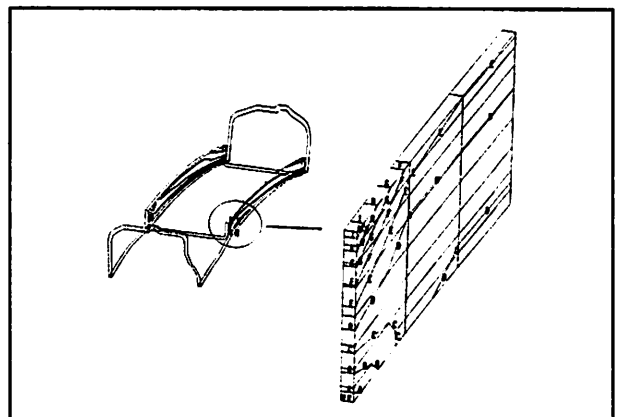


Abb. 4 Schälspannung in der Klebeschicht. Es zeigt sich ein lokales Maximum an der oberen Ecke.

Aufprallsimulation des Kofferrauminhalts auf Rücksitzlehne

Analysetyp

Nichtlineare, transiente Crashesimulation mit LS-DYNA3D.

Beschreibung des Bauteils

Die Rücksitzlehne aus glasmattenverstärktem Thermoplast bildet den Abschluß zum Kofferraum. Sie wird durch Rippen versteift und von einem Randwulst eingefäßt. An drei Punkten ist sie durch Halterungen aus Stahlblech mit der Karosserie verbunden. Die Belastung erfolgt über ein im Kofferraum befindliches Gepäckstück ("Bierkiste"), das bei einem plötzlichen Abbremsen des Fahrzeuges auf die Rücksitzlehne prallt.

Aufgabenstellung

Die Berechnung soll durch Vergleich mit Versuchen Aufschluß über die Genauigkeit der Computersimulation geben. Dabei soll besonderer Wert auf die Erfassung der Materialeigenschaften gelegt werden. Desweiteren sollen die Ergebnisse Möglichkeiten zur Optimierung der Lehne aufzeigen.

Finite Elemente Modell

Die Rücksitzlehne und die Halterungen wurden mit Schalenelementen abgebildet. An den Enden der Halterungen sind in allen drei Raumrichtungen keine Verschiebungen möglich. Die Modellierung der Bierkiste erfolgte durch Volumenelemente. Die Bierkiste ist in vertikaler Richtung gehalten. In horizontaler Richtung wurde von einer reibungsfreien Bewegung ausgegangen. Zwischen Bierkiste und Membran wurden Kontaktelemente eingebaut, um den Kontakt zu überprüfen. Die Simulation erfolgte für die ersten 40 ms des Aufprallvorgangs.

Ergebnisse

Die maximalen Auslenkungen des Quaders traten nach 25 ms auf. Es ergaben sich gute Übereinstimmungen zwischen Berechnung und Versuch. Die im Versuch festgestellten Schädigungsbereiche erscheinen auch in der Berechnung als höchstbeanspruchte Zonen. In der Lehnenmembran treten zu keiner Zeit so hohe Spannungen auf, daß auf ein Versagen geschlossen werden kann. Die zusätzliche Anordnung einer weiteren Diagonalrippe erweist sich für dynamische Beanspruchungen als vorteilhaft.

Aufwand

ca. 4 Wochen

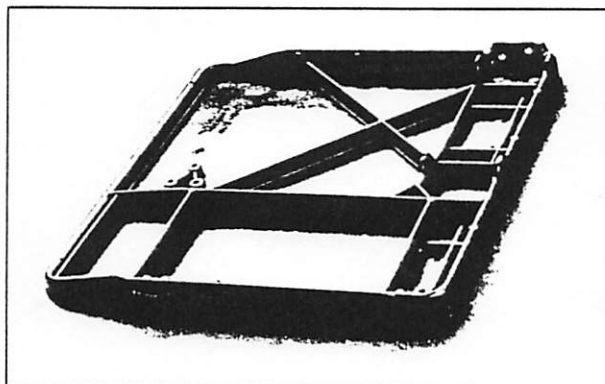


Abb. 1 Ausgangsstruktur Rücksitzlehne

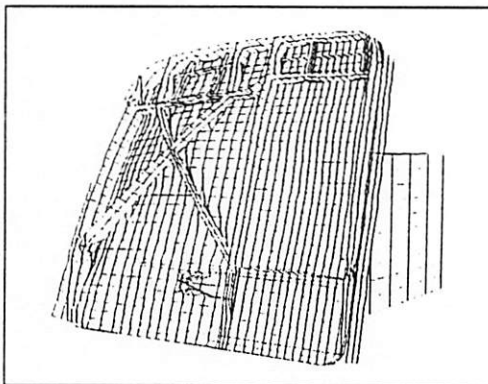


Abb. 2 Feinmodell Lehne, Zeit 0.80000E-02

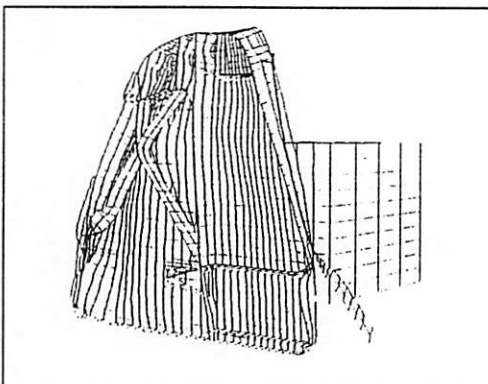


Abb. 3 Feinmodell Lehne, Zeit 0.24000E-01

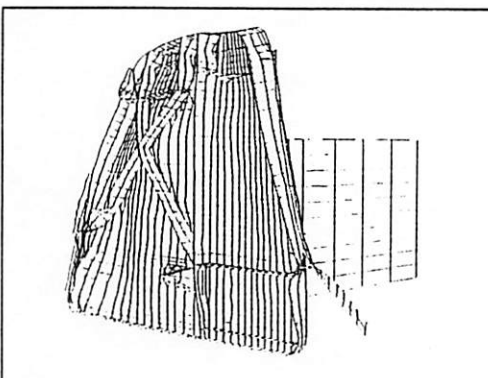


Abb. 4 Feinmodell Lehne, Zeit 0.40000E-01

Programmierung eines nichtlinearen Federelementes zur Simulation des dynamischen Verhaltens eines Hülsenpuffers

Analysetyp

Strukturmechanik, nichtlineare transiente Zeitintegration, User Elemente.

Beschreibung des Bauteils

Eisenbahnpuffer mit Reibkonusfedern sind konstruktiv so ausgeführt, daß sich ein nichtlineares Kraft-Verformungs-Verhalten ergibt. Beim Einfedern verspannen sich die konischen Federn. Durch Reibung zwischen den Federn entsteht zwischen Be- und Entlastungsverlauf eine eingeschlossene Hysteresese. Die Skizzen zeigen eine Konstruktion und eine typische Kraft-Verformungs-Funktion.

Beschreibung der Benutzer-Schnittstellen

ANSYS steht für den Anwender als schlüsselfertiges Software-Werkzeug zur Verfügung. Durch die laufende Programmpflege und Weiterentwicklung des Programms durch Swanson Analysis Systems, Inc., USA, ergibt sich ein fortwährend an den aktuellen Stand der Anwendererfordernisse angepaßtes Programm. Für Spezialanwendungen stehen darüberhinaus Benutzerschnittstellen zur Verfügung, die in FORTRAN programmierbar sind und in das Programm eingebunden werden können. Damit ergeben sich weitere Anwendungsbereiche für ANSYS. Die Programmierung kann entweder selbständig vom Anwender, mit Beratung durch CAD-FEM GmbH, oder vom Programmhersteller durchgeführt werden.

Die Benutzerschnittstellen können dazu verwendet werden, um unter anderem besondere Elementansätze, besondere nichtlineare Materialgesetze (Fließ- oder Verfestigungsgesetze, Kriechen) oder besondere Versagensgrenzen für Faserverbundmaterial zu implementieren.

Aufgabenstellung

Für strukturdynamische Anwendungen soll ein Element programmiert werden, das zwischen zwei Knoten die Reibung und die Hysteresese des Puffers abbildet. Die Kraft-Verformungs-Funktion für Be- und Entlastung wird linear vereinfacht.

Finite Elemente Modell, Ergebnisse

Für ein Anwendungsbeispiel wird ein Puffer-Element vertikal angeordnet. In einem Abstand von 0.5 m darüber befindet sich eine Punktmasse. Im freien Fall prallt diese Masse auf den Puffer und führt zum Ein- und Ausfedern. Durch die nach dem Rückfedern erreichte geringere Höhe wird die Energiedissipation durch die Pufferdämpfung erkennbar. Die Skizzen zeigen die Zeitfunktion der Vertikalverschiebung der Masse (die Berührung mit dem Puffer findet bei $UY = -0.5$ m statt) und die Vertikalverschiebung sowie das Kraft-Verformungs-Diagramm des Puffers.

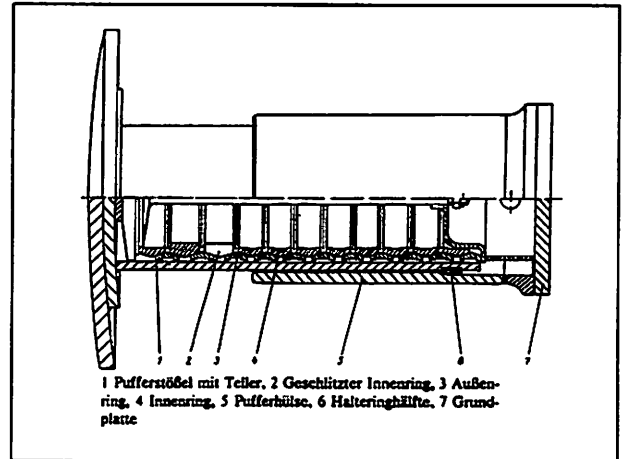


Abb. 1 Darstellung des Federelements

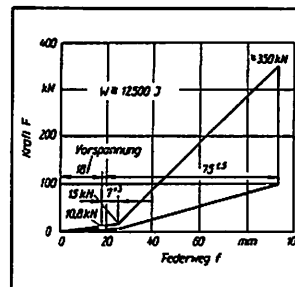


Abb. 2 Hülsenpuffer mit Reibkonusfeder

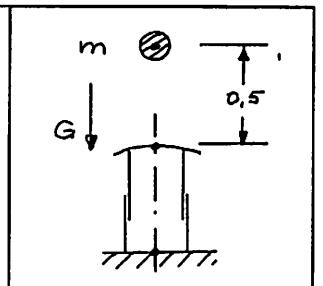


Abb. 3 Skizze des Anwendungsbeispiels

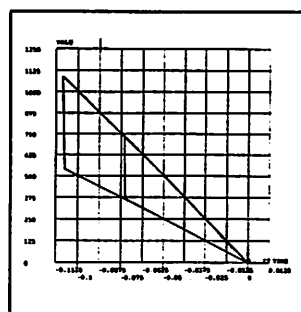


Abb. 4 Kraft-Verformungs-Diagramm des Puffers

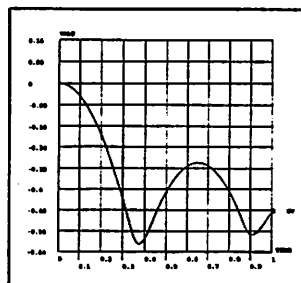


Abb. 5 Vertikalverschiebung der Punktmasse

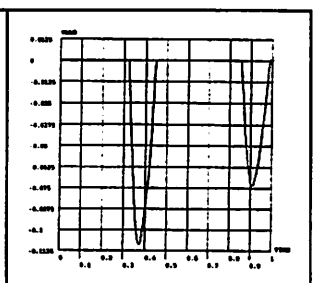


Abb. 6 Vertikalverschiebung des Puffers

Berechnung der Steifigkeit eines Hydrolagerkörpers

Analysotyp

Statische Strukturmechanik, nichtlineares Material.

Beschreibung der Struktur

Der Lagerkörper wird als Befestigungsteil zwischen dem Motor und der Karosserie verwendet und dient dazu, die Vibrationen des Motors soweit wie möglich vom Fahrzeugaufbau fernzuhalten. Das zylindrische Innenteil aus Aluminium ist am Motor befestigt und in einen Elastomertragkörper mit Aluminiumzwischenringen evulkaniert. Über das umschließende Außenmetallteil werden die Lagerlasten an das angrenzende Bauteil weitergeleitet.

Aufgabenstellung

Der Elastomerkörper ist nicht rotationssymmetrisch. Die unterschiedlichen Steifigkeiten in den horizontalen Richtungen sollten ermittelt werden.

Finite Elemente Modell

Aus Symmetriegründen wurde eine Hälfte des Lagerkörpers idealisiert. Für die Vernetzung wurde der Netzgenerator von ANSYS verwendet. Mit relativ geringem Aufwand konnte die Geometrie mit Quader- und Tetraederelementen mit Seitenmittelknoten abgebildet werden. Das Modell des halben Lagerkörpers besitzt 7018 Knoten mit je 3 Freiheitsgraden und 7644 Elementen. Die Elemente können für große Dehnungen (mehr als 10 %) verwendet werden. Das Material wurde mit einem Neo-Hooke-Modell beschrieben. Dieses Gesetz stellt einen Sonderfall des Mooney-Rivlin-Verhaltens dar, das in ANSYS neben dem Blatz-Ko-Gesetz standardmäßig verfügbar ist. Für besondere Anwendungen stehen andere Materialbeschreibungen zur Verfügung wie z. B. Power Law Energy, Poly-Convex Energy oder Ogden Formulierung.

Ergebnisse

Durch die Finite Elemente Berechnung wurden die Steifigkeiten des Hydrolagerkörpers in horizontalen Richtungen bestimmt. Es ergaben sich mit anderen numerischen Verfahren vergleichbare Resultate. Die gegebene Horizontalverschiebung wurde in 10 Lastschritten mit bis zu 10 Iterationen aufgebracht. Auf einer Workstation erforderte die Berechnung ca. 40 Stunden Rechenzeit.

Aufwand

ca. 5 Tage

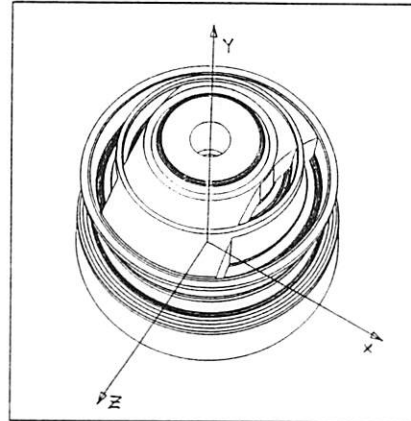


Abb. 1
Darstellung des
Hydrolagers

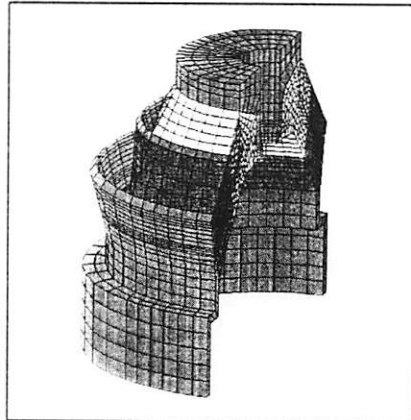


Abb. 2
Finite Elemente
Modell

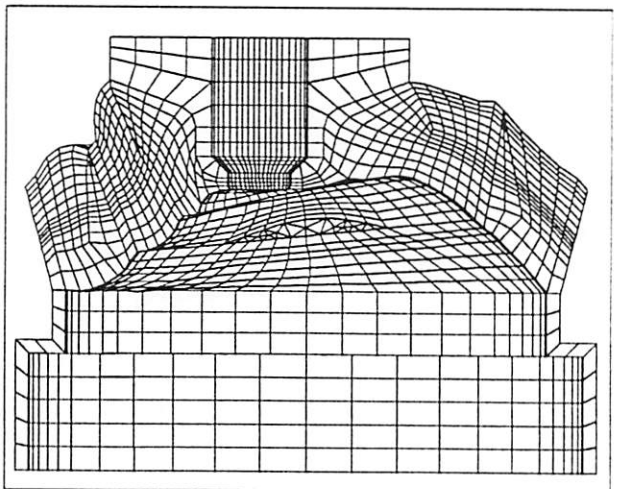


Abb. 3 Verformungsfigur

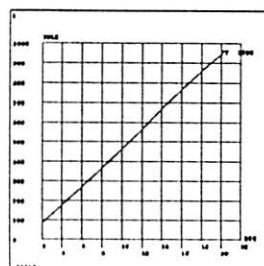


Abb. 4
Kraft-Verformungskurve

Ermittlung der Spannungsverteilung in einem Wärmetauscher

Analysetyp

Lineare, statische Spannungsanalyse, Substrukturtechnik.

Beschreibung des Bauteils

Der untersuchte Rekuperativwärmetauscher ist Bestandteil des Kühlsystems im Kernkraftwerk Neckarwestheim II. Er kühlt das ca. 150°C heiße Wasser des Kühlkreislaufes auf Raumtemperatur, bevor es Reinigungsanlagen durchläuft. Das gereinigte Wasser strömt durch den Wärmetauscher zurück, wird aufgeheizt und in den Kühlkreislauf eingespeist. Der Wärmetauscher besteht aus einem äußeren Rohr 324/40 und einem Bündel innenliegender Rohre. Das heiße Wasser wird durch das Rohrbündel geleitet und gibt die Wärme an das im großen Rohr zurückströmende, gereinigte Wasser ab. Der Wärmetauscher ist durch die obere Halterung fest mit einer starren Wand verbunden, die untere Halterung unterdrückt Radialverschiebungen, läßt jedoch Vertikalverschiebungen zu. An den Wärmetauschern sind Rohrleitungen angeschlossen. Aufgrund von Temperaturdehnungen überträgt jede der Rohrleitungen Kräfte auf den Wärmetauscher. Weitere Belastungen ergeben sich aus Eigengewicht und Innendruck. Die kritischen Bereiche der Struktur sind die Rohrleitungsstutzen und die obere Halterung. Der Betreiber muß dem TÜV gegenüber die Lebensdauer des Wärmetauschers nachweisen.

Aufgabenstellung

Für insgesamt 14 Einheitslastfälle sollte die Spannungsverteilung in den Rohrleitungsstutzen und den Halterungen ermittelt werden.

Finite Elemente Modell

Die Stutzen sind um 30° gegen die Längsachse verdreht. Deswegen ist keine Symmetrie vorhanden und die gesamte Struktur mußte modelliert werden. Das innenliegende Rohrbündel leistet keinen Beitrag zur Steifigkeit. Es wird lediglich als Massenverteilung berücksichtigt. Unbedeutende Ausrundungsradien und Anphasungen wurden vernachlässigt. Der Wärmetauschermantel, die obere Halterung und die Stutzen wurden mit 3-d Volumenelementen modelliert, die untere Halterung mit Schalenelementen. Eine iterative Lösung war notwendig, weil der Kontakt zwischen der unteren Halterung und dem Wärmetauschermantel mit Kontaktelementen modelliert wurde. Aufgrund der Modellgröße war die Berechnung der Gesamtstruktur auf der vorhandenen Hardware (MICROVAX 3100) nicht möglich. Daher wurde die Substrukturtechnik angewandt. Das Finite Elemente Modell der Gesamtstruktur wurde in 8 Superelemente unterteilt. Die Berechnung erfolgte auf der Workstation — ein Ausweichen auf Großrechner war nicht erforderlich.

Ergebnisse

Für alle 14 berechneten Lastfälle und für eine vom Auftraggeber gegebene Lastfallkombination wurde die Spannungsverteilung in den kritischen Bereichen ausgewertet. Die Spannungsbewertung erfolgte durch den Auftraggeber.

Aufwand

7 Wochen

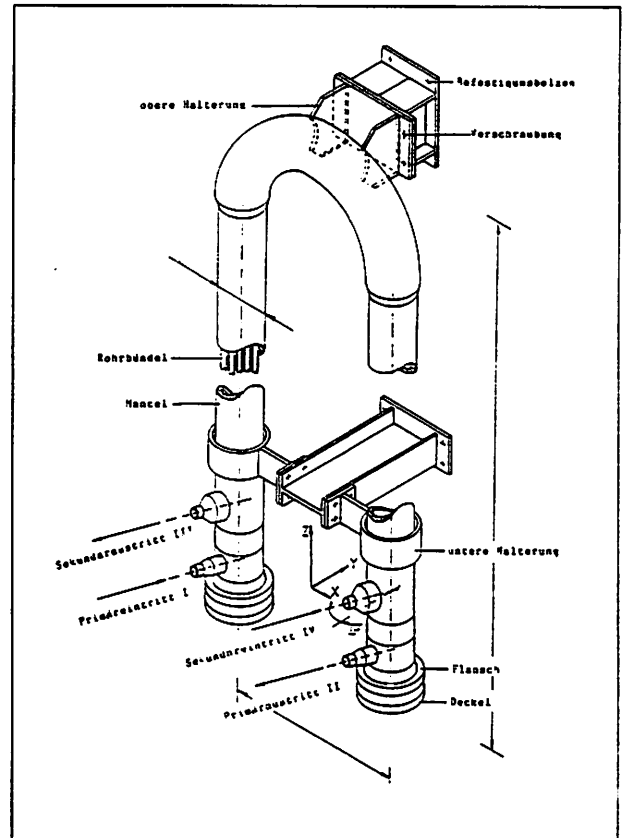


Abb. 1 Rekuperativwärmetauscher: Nichtmaßstäbliche Schemazeichnung mit Hauptabmessungen.

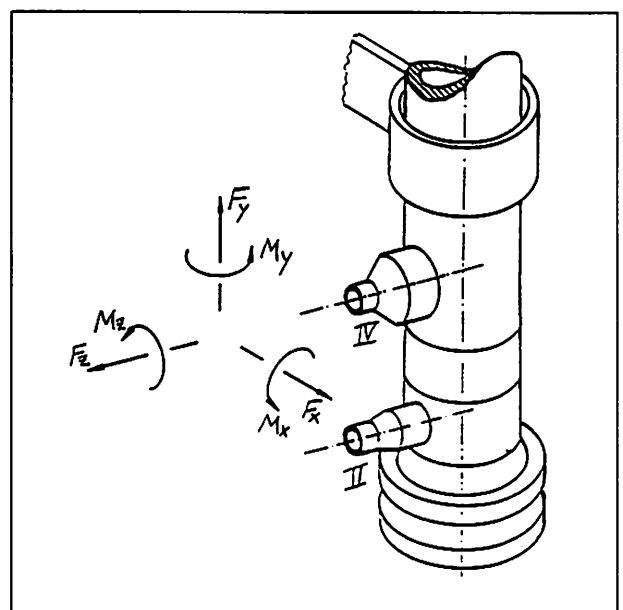


Abb. 2 Belastung der Struktur: Es werden sechs Einheitslastfälle pro Stutzen betrachtet.

Verfügbare Hardware

MICROVAX 3100,
12 MB Hauptspeicher,
450 MB verfügbarer Plattenplatz

Modellgröße	statische Berechnung
Anzahl der Elemente	12800
Anzahl der Freiheitsgrade	52500
maximale Wavefront	1900
R.M.S. Wavefront	1200
erforderlicher Hauptspeicher [MB]	15
erforderlicher Plattenplatz [MB]	1000

*Gegenüberstellung:
vorhandene - erforderliche Hardware*

CPU-Zeit	statische Berechnung
Generation Pass (Steifigkeits- und Massenmatrizen) [h]	26
Use Pass (eine Iteration) [h]	0.45
Use Pass (56 Iterationen; 14 Lastfälle a 4 Iterationen) [h]	25
Stress Pass (14 Lastfälle) [h]	6
Gesamte CPU-Zeit	57

Zum Vergleich wurde ein statischer Lastfall auf einer Convex C-210 durchgeführt. Für eine Iteration wurden ca. 40 CPU-Minuten benötigt. Für alle 56 Iterationen (14 Lastfälle a 4 Iterationen) entspricht das 22 CPU-Stunden.

Benötigte Rechenzeit

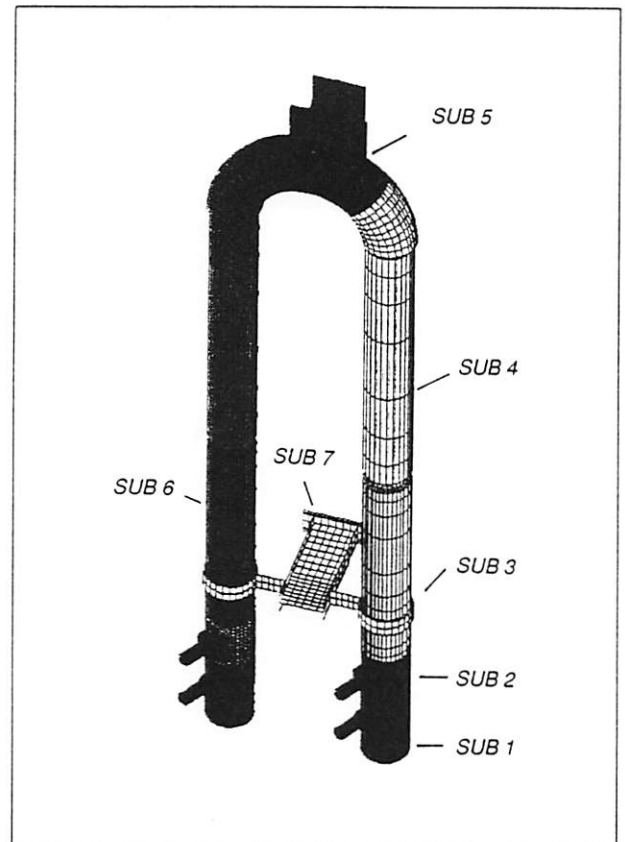


Abb. 3 Finite Elemente Modell, Substrukturen

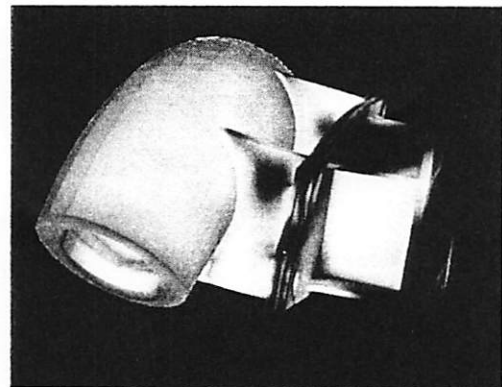


Abb. 4 Von Mises Spannungsverteilung in der Halterung

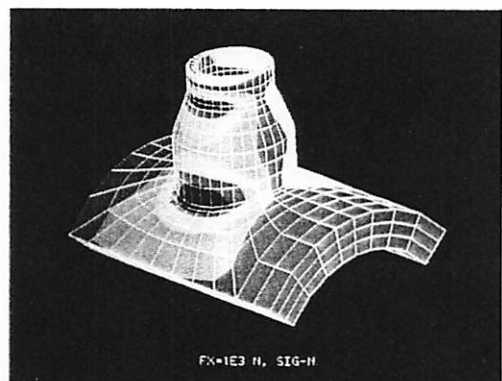


Abb. 5 Von Mises Spannungsverteilung im Stutzen

Ermittlung von Temperaturschockspannungen in einem Rohrleitungsflansch

Analysotyp

Transiente Temperaturfeldberechnung mit nachfolgender linearer statischer Spannungsermittlung.

Beschreibung des Bauteils

Der untersuchte Flansch NW65 nach DIN 2628 ist Bestandteil des Sprühleitungssystems im Kernkraftwerk Nekarwestheim I. Durch die Sprühleitungen wird im Bedarfsfall zusätzliches Kühlmittel in den Primärkühlkreis des Druckwasserreaktors eingeleitet. Im Betriebszustand steht die Leitung unter einem Innendruck von ca. 150 bar. Die Temperatur der Rohrleitung entspricht mit 150° C in etwa der Temperatur des Primärkühlkreises. In bestimmten Betriebszuständen wird die Leitung von Wasser mit Raumtemperatur durchströmt. Aufgrund der Abkühlung an der Rohrinneenseite entstehen Temperaturspannungen in den Rohrleitungen. Der Betreiber des Kraftwerkes muß dem TÜV gegenüber die Lebensdauer der Leitungen nachweisen.

Aufgabenstellung

Im Rahmen des durchgeführten Projektes sollten die Temperaturspannungen in einem Flansch nach DIN 2628 der Nennweite NW65 des Sprühleitungssystems ermittelt werden.

Finite Elemente Modell

Es wurde angenommen, daß die Abkühlung der Rohrinneenseite über den gesamten Umfang gleich erfolgt. Für die transiente Temperaturberechnung wurde der Flansch in der x-y-Ebene mit axialsymmetrischen Elementen vom Typ STIF55 abgebildet. Für die strukturelle Berechnung wurde das Element STIF42 verwendet. An der Rohrinneenseite wurde eine Abkühlung von 150° C auf 50° C mit einer Abkühlgeschwindigkeit von 8 K/s bzw. 5 K/s vorgegeben. Die Rohraußenseite wurde als adiabatisch betrachtet. Für die strukturelle Berechnung wurden die errechneten Temperaturfelder als Belastung übernommen. Außerdem wurde der Innendruck von 150 bar berücksichtigt. Die Rohrleitung wurde mit der Abklinglänge modelliert. Auf das Rohrende wirkt die Deckellast, die mit der Kesselformel errechnet wurde. Der Flansch ist am Ende fest eingespannt.

Ergebnisse

Ausgewertet wurde der zeitabhängige Verlauf der Temperaturen und Spannungen an Auswertungspunkten, sowie die Temperatur- und Spannungsverteilung für die Zeitpunkte, bei denen die maximalen Beanspruchungen auftraten. Die Spannungsbewertung erfolgte durch den Auftraggeber.

Aufwand

ca. 10 Arbeitstage

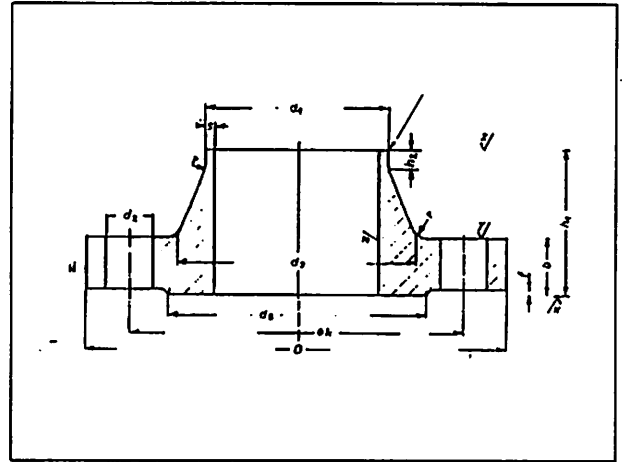


Abb. 1 Vorschweißflansch nach DIN 2628

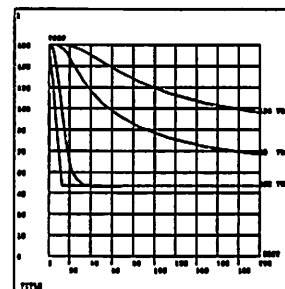


Abb. 2 Temperaturverlauf

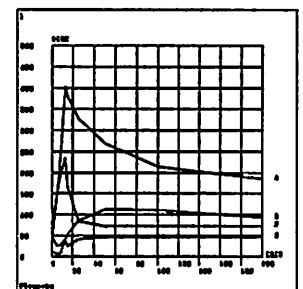


Abb. 3 Spannungsverlauf

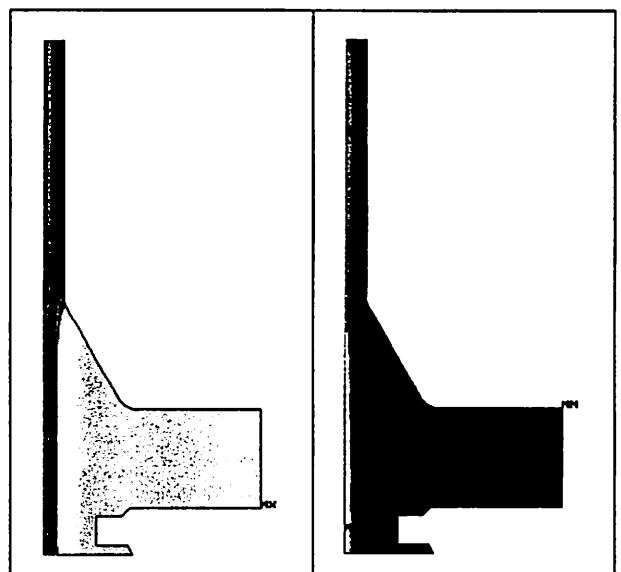


Abb. 4 Temperaturverteilung

Abb. 5 Spannungsverteilung

Simulation eines Wirbelstromring-Sensors

Analysetyp

Transiente elektromagnetische Feldberechnung.

Beschreibung des Bauteils

Abbildung 1 zeigt eine schematische Zeichnung des berechneten Wirbelstromring-Sensors. In der inneren Spule fließt ein hochfrequenter Wechselstrom, der im äußeren Kupferferring einen entgegengesetzt gerichteten Wirbelstrom induziert. Die Induktivität der Anordnung ist eine Funktion der Kupferferringstellung und kann somit zur Positionsbestimmung herangezogen werden.

Aufgabenstellung

Die Berechnung des Wirbelstromring-Sensors und der Vergleich mit Meßergebnissen soll zeigen, ob das Finite Elemente Programm ANSYS für die Simulation im Bereich der Sensortechnik geeignet ist.

Das Finite Elemente Modell

Aus Symmetriegründen der Anordnung genügt es, ein Viertel des Sensors zu modellieren. Abbildung 2 zeigt das Gesamtmodell mit der umgebenden Luft; in Abbildung 3 ist der Sensor dargestellt. Das FE-Modell besteht aus 5130 3-d Volumenelementen STIF96. Bei der gewählten Vektorpotentialformulierung, bekannt als A,V-A-Formulierung, liegen pro Knoten drei vektorielle Freiheitsgrade für das magnetische Feld und ein skalarer Freiheitsgrad für das elektrische Feld vor. Die Gesamtzahl der Freiheitsgrade beträgt 24000.

Als Randbedingung ist sowohl auf den Symmetrieflächen als auch auf den äußeren Rändern die Dirichlet-Bedingung zu berücksichtigen. Der felderregende Wechselstrom wird als Stromdichte in die Elemente der Spule eingeprägt (siehe Abbildung 4), die Frequenz beträgt 10000 Hz, die Stromdichte 5107 A/m^2 .

Die Möglichkeit, das ANSYS-Modell parametrisch erstellen zu können, erlaubt es, beliebige Stellungen des Kupferferrings mit einem ANSYS-Modell zu rechnen.

Ergebnisse

Der im Kupferferring induzierte Wirbelstrom ist in Abbildung 4 dargestellt. Man erkennt, daß er entgegengesetzt zum felderregenden Strom gerichtet ist. Abbildung 5 zeigt das H-Feld. Hier ist zu erkennen, wie es zwischen den beiden Ringen eingeschlossen ist. In Abbildung 6 ist die berechnete und gemessene Induktion der Anordnung aufgetragen. Der Vergleich zeigt eine gute Übereinstimmung für die mittlere Stellung des Kupferferrings. Für die Stellungen "hinten" und "vorne" könnten die Ergebnisse durch eine Anpassung des Netzes verbessert werden.

Aufwand

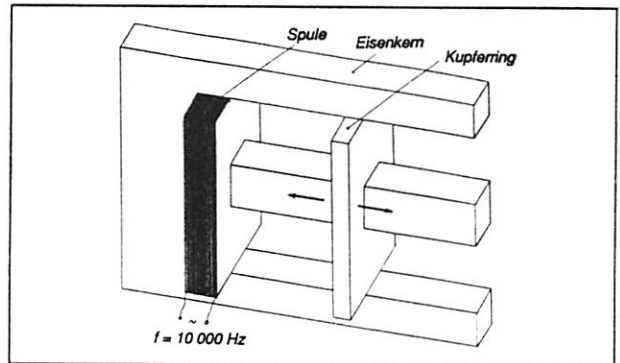


Abb. 1 Wirbelstromring-Sensor

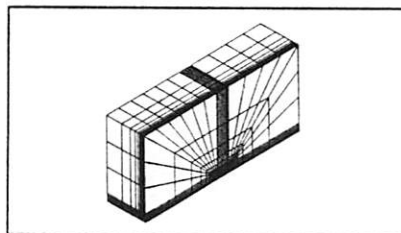


Abb. 2
Gesamtmodell

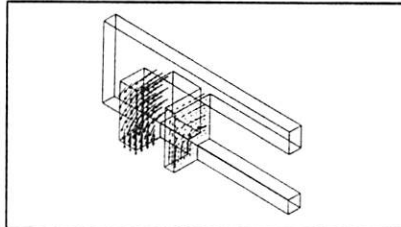


Abb. 3
FE-Modell
Wirbelstromring-
Sensor

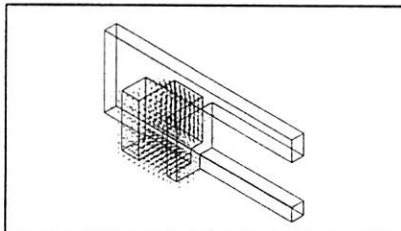


Abb. 4
Felderregender
und induzierter
Strom

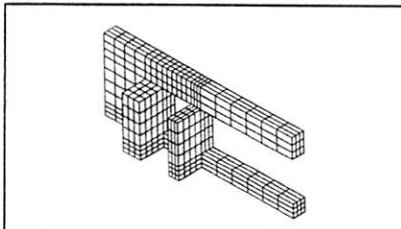


Abb. 5
H-Feld

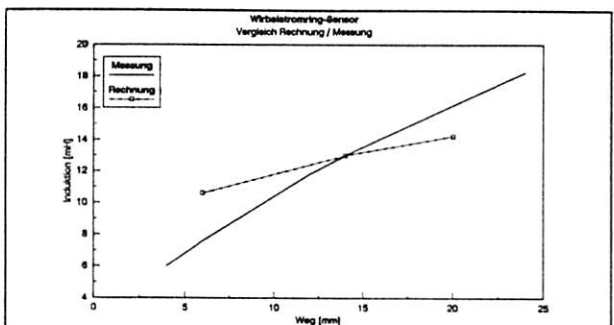


Abb. 6 Vergleich Messung/Rechnung

Optimierung eines Osteosyntheseimplantats

Analysetyp

Optimierung, lineare statische Spannungsberechnung.

Beschreibung des Bauteils

Verschiedene theoretische Überlegungen führten zu einem polymeradaptierten Osteosyntheseimplantat. Das von Dr. Dr. G. O. Hofmann patentierte Dübelssystem besteht aus drei Komponenten (Abb. 2), wobei dem zweiteiligen Sperrbolzen mit Außen- und Innenteil eine zentrale Bedeutung zukommt. Durch das Einführen des Innenteils des Sperrbolzens in das Außenteil werden die perforierten Längsrippen von der Mittelachse weg auseinandergeschoben. Dadurch wird das Außenteil bei vollständig eingedrücktem Innenteil im Knochen gesperrt. Auf diese Weise entsteht durch zusätzliche Quellung des Polymers eine stabile Osteosynthese — eine zuverlässige innere Schienung der Fraktur.

Aufgabenstellung

Die operative Stabilisierung von frakturierten Röhrenknochen durch Verbindungselemente (Osteosynthese) erfolgt derzeit nahezu ausschließlich mit Hilfe von Metallimplantaten, die jedoch eine Reihe von Nachteilen aufweisen (Abb. 1). Die notwendige, aber kostenintensive Metallentfernung kann durch den Einsatz eines biodegradierbaren, polymerspezifischen Osteosyntheseimplantats vermieden werden. Das zu optimierende Bauteil (Sperrbolzen) ist Teil eines aus mehreren Komponenten bestehenden Platten-Dübel-Konzepts. Aufbauend auf den experimentell gewonnenen charakteristischen Werkstoffeigenschaften verschiedener PLA/PGA-Copolymere muß eine Dübelform entwickelt werden, die auf der einen Seite die Forderung nach gesicherter Fixierung der Fraktur (Steifigkeit) und auf der anderen Seite ein Minimum an in den menschlichen Körper eingebrachter Fremdschubstanz (Volumen) verwirklicht.

Finite Elemente Modell

Die Struktur ist an den optimierungsrelevanten Stellen (Kerbgrund, Spreizfeder) parametrisiert modelliert. Die dreidimensionale Abbildung wird viertelsymmetrisch realisiert und für die strukturelle mechanische Berechnung mit ca. 5000 Elementen (STIF 45) diskretisiert. Die Simulation des konischen Innenteils wird durch einen variabel verlaufenden Innendruck realisiert.

Ergebnisse

Ausgewertet wurde die maximal mögliche Auslenkung der federnden Längsrippe unter Beachtung der auftretenden von Mises Vergleichsspannung im Kerbgrund. Die Optimierung ergab eine Reduzierung des Dübelvolumens von ca. 80 % gegenüber dem Ausgangsdesign bei gleichzeitiger Senkung der max. Spannung um ca. 400 % (Abb. 3).

Aufwand

10 Tage

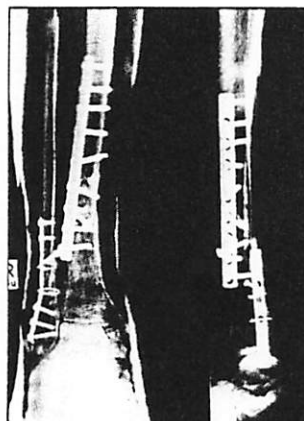


Abb. 1
Komplette Unterschenkel-
fraktur

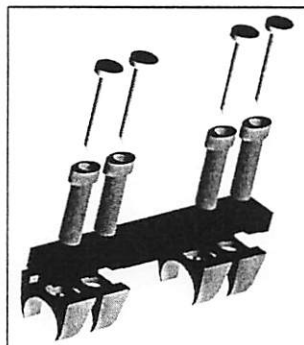


Abb. 2
Prinzipieller Aufbau eines
"Composite" Implantats:
Kraftträger Platte aus
SR-PLA, Spangen aus
PLA, zweiteiliger Bolzen-
dübel aus PLA und
PLA/PGA-Copolymer.

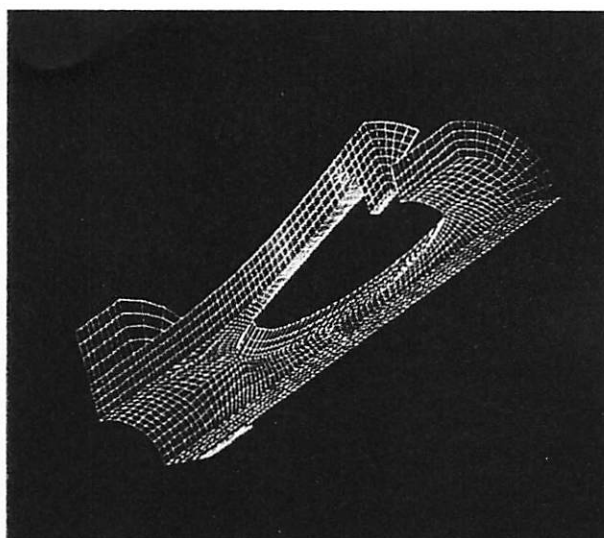


Abb. 3
Dübelssystem - Außenteil, FEM-Modell;
Darstellung der radialen Verschiebungen.

Berechnung der Strömung in einem Drehschieberventil

Analysetyp

stationäre, viskose, turbulente inkompressible Strömung.

Beschreibung der Struktur

Mit Drehschieberventilen werden in hydraulischen Lenkungssystemen Differenzdrücke in Abhängigkeit des Lenkradeinschlags erzeugt. Durch Verdrehen des Drehschiebers entsteht an der Steuerkante ein Druckabfall und somit eine Druckdifferenz zwischen den Ausgängen Hochdruck und Niederdruck.

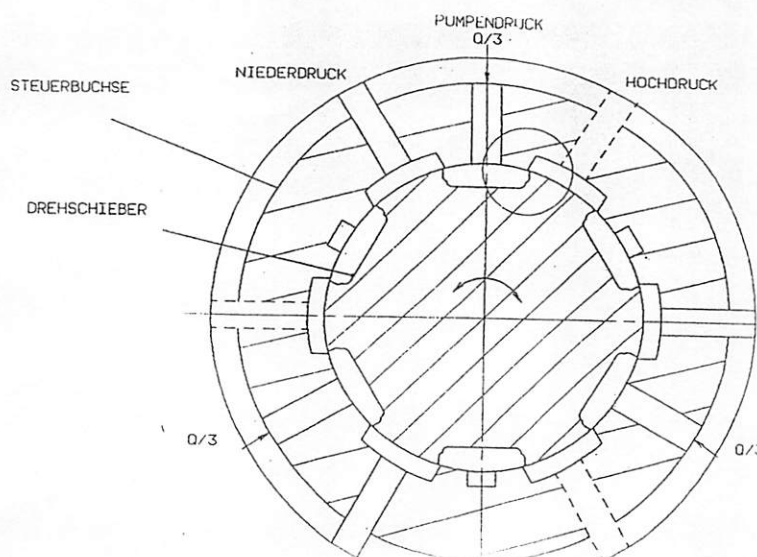


Abbildung 1: Darstellung des Drehschieberventils

Aufgabenstellung

Um den Rechenaufwand zu verringern, wurde zunächst ein zweidimensionales Rechenmodell erstellt.

Finite Elemente Modell

Da das Modell rotationssymmetrisch ist, wurde nur eine Sektion modelliert. Für die Modellierung wurde der Netzgenerator von ANSYS benutzt. Die in ANSYS erstellte Geometrie und Randbedingungen wurden an das Strömungsberechnungsprogramm FLOTRAN übergeben. Die Berechnung basiert auf den Reynolds-gemittelten vollen Navier-Stokes-Gleichungen mit K- ϵ -Turbulenzmodell. Die Auswertung der Resultate erfolgte wiederum in ANSYS.

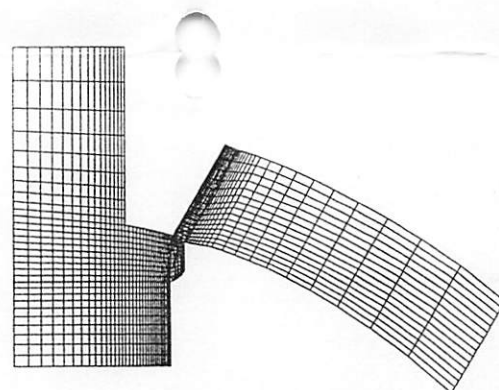


Abbildung 2: Finite Elemente Modell

Ergebnisse

Die Finite-Element-Berechnung liefert den Verlauf von Geschwindigkeit, Druck, Stromlinien, turbulenter kinetischer Energie und Dissipationsrate im Strömungsfeld. Die Berechnung erforderte ca. 3 Stunden auf einer Workstation.

Aufwand

ca. 3 Tage

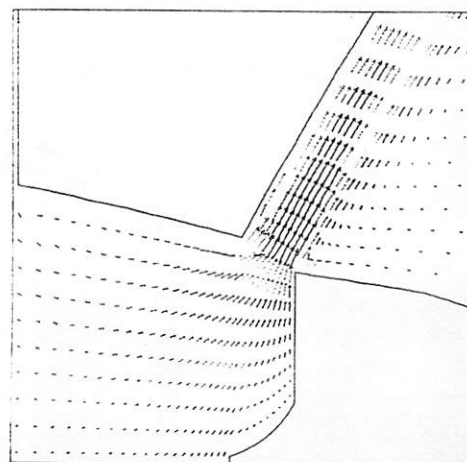


Abbildung 3: Geschwindigkeitsverteilung (Ausschnittvergrößerung)