DIE DREIDIMENSIONALEN ELASTISCHEN SPANNUNGSZUSTÄNDE IM BEREICH DER ÖFFNUNGEN DES THTR-SPANNBETONBEHÄLTERS EIN VERGLEICH ZWISCHEN NUMERISCHER BERECHNUNG UND MESSERGEBNISSEN EINES ELASTISCHEN MODELLS

V. HANSSON,

Institut für Konstruktiven Ingenieurbau, Ruhr-Universität, Bochum, Germany

Abstract

Today numerical calculations in three dimensions are carried out for complicated geometries. In consideration of assumptions for boundary conditions and the spacing of the computation net it was desirable to check, what accuracy is obtained with numerical results for stress states in regions of complicated geometry. Measured strains of concrete models are influenced by the material behaviour of concrete and the construction of certain parts, so the accuracy of a computation method can be better checked by results obtained with an elastic model made of epoxy resin. Stresses were determined at the surfaces and inside the wall and plates of a model of the THTR-vessel made of epoxy resin. With this experimental investigation results of three-dimensional calculations were checked. The region with large horizontal and vertical openings near the junction of wall and plate was of greatest interest with this work. The computation with the dynamic relaxation method and the model test are described. Both results show good agreement and are discussed.

1. Einleitung

Große Öffnungen in den Wandungen von Spannbeton-Reaktordruckbehältern bedingen dreidimensional veränderliche Spannungsverläufe. Während diese Spannungszustände vor einigen Jahren noch mit rotationssymmetrischen Berechnungen und Scheibenlösungen abgeschätzt wurden, werden inzwischen auch bei komplizierten geometrischen Verhältnissen dreidimensionale Berechnungen durchgeführt. Bei diesen Berechnungen sind das Verformungsverhalten des Betons sowie das Tragverhalten von Stahlauskleidungen mit realistischen Annahmen zu berücksichtigen. Voraussetzung für solche Berechnungen ist eine zutreffende elastische Berechnung des Kontinuums.

Im Hinblick auf die Rechenannahmen und den erforderlichen Rechenumfang erschien es wünschenswert, zu überprüfen, wie genau numerische Rechenergebnisse den Spannungszustand in Bereichen mit komplizierter Geometrie erfassen. Meßergebnisse an Betonmodellen sind durch Betonmaterialeigenschaften und die konstruktive Ausbildung beeinflußt. Für die Beurteilung der Genauigkeit eines Rechenverfahrens sind daher Meßwerte besser geeignet, die an einem elastischen Modell aus Gießharz bestimmt werden. Deshalb wurde für die Geometrie des THTR-Behälters der Spannungszustand sowohl auf den Oberflächen als auch in der Wandung durch Messungen an einem Gießharzmodell bestimmt und zur Beurteilung der Ergebnisse dreidimensionaler Berechnungen benutzt. Dabei wurde besonderer Wert auf die Bereiche mit großen horizontalen und vertikalen Öffnungen, die nahe am Übergang vom Zylinder zur Deckenplatte liegen, gelegt. Im folgenden werden der Modellversuch und die Berechnungen, die bislang ausgeführt sind, verglichen.

2. Modellversuch

2.1 Modellgeometrie

Die Geometrie des Modelles ist aus den Bildern 1 und 2 zu ersehen. Der Maßstab wurde durch das verwandte Formenmaterial beeinflußt und wurde zu ca. 1 : 47 gewählt, da bei diesen Modellabmessungen die interessierenden Größen mit guter Genauigkeit meßbar sind. Bei dieser Untersuchung galt das Interesse im wesentlichen den Spannungszuständen im Bereich der großen Öffnungen sowie den Eckbereichen. Auf eine Nachbildung der an der Hauptausführung vorgesehenen Lisenen wurde daher verzichtet. Der Einfluß der Lisenen auf den Spannungszustand kann durch entsprechende Berechnungen erfaßt werden [1] . Es wurde kein Wert auf die Nachbildung der Panzerrohre in den Öffnungen gelegt, da die Panzerrohre besser in einer Berechnung berücksichtigt werden, wobei die Zwischenreaktionen zwischen Panzerrohr und Beton mit realistischen Annahmen zum Verbund zu formulieren sind. Da die Panzerrohre einen Teil der Tragwirkung des fehlenden Betons übernehmen, stellen der rotationssymmetrische Fall, der schon seit längerem zuverlässig berechnet werden kann [2] [3], und der Fall ohne Berücksichtigung der Panzerrohre im allgemeinen zwei Grenzfälle dar, zwischen denen sich das wirkliche Verhalten einstellt. Die in den Bildern 1 und 2 dargestellten Lochabschlüsse wurden aus dem Modellmaterial gefertigt und bedingen nur eine geringe Beeinflussung der Spannungszustände. In einer Zusatzuntersuchung soll der Einfluß einer Vielzahl von kleinen Öffnungen in der oberen Platte auf das Gesamttragverhalten ermittelt werden, indem diese Öffnungen durch nachträgliche Bohrungen erstellt werden.

2.2 Anordnung der Meßstellen

Der Modellversuch sollte nicht nur Meßwerte für einzelne Bereiche zur Kontrolle von Rechenergebnissen, sondern auch einen Überblick über das Gesamttragverhalten liefern. Daher wurden auf den Oberflächen des Modelles Meßstellenanordnungen, für die in Bild 3 für die Zylinderinnenfläche ein Beispiel dargestellt ist, vorgesehen. Wegen der Symmetrie des Modelles ist es ausreichend, einen Sektor von 30° zu untersuchen. In zwei weiteren Sektoren wurden Kontrollmeßpunkte angeordnet, um die Symmetrieeigenschaften des Modelles zu überprüfen. An der unteren rotationssymmetrischen Modellhälfte wurde im wesentlichen nur auf einem Meridian gemessen. Alle Messungen wurden mit Foliendehnungsmeßstreifen (DMS), die eine Meßgitterlänge von 3 [mm] besaßen, durchgeführt.

Im Eckbereich zwischen den großen Öffnungen im Zylinder und in der Platte wurden die Meßstellen auf der inneren Oberfläche und auf der Rundung konzentriert, und weiter wurden hier eingebettete Meßstellen vorgesehen, um den räumlichen Spannungszustand zu erfassen. Da für einen allgemeinen Spannungszustand sechs voneinander unabhängige Größen in einem Punkt in drei Ebenen gemessen werden müssen, sind die Meßgeber am Modell in einander entsprechenden Meßachsen angeordnet worden, die in Bild 1 dargestellt sind. Eingebettete Meßstellen sind bislang nur wenig ausgeführt worden. Es ist eine Ausführungstechnik für eingebettete DMS entwickelt worden, bei der eine gute Meßgenauigkeit und eine vernachlässigbar kleine Beeinflussung des Spannungszustandes erzielt werden. Die Ausführung der eingebetteten Meßgeberträger, die aus dem Modellmaterial gefertigt sind, ist aus Bild 5 zu ersehen und Bild 6 zeigt den Kern der Gießform mit den einjustierten Meßgeberträgern.

2.3 Modellherstellung

Zur Erstellung von elastischen Modellen eignet sich auf grund seiner Materialeigenschaften besonders Epoxydharz. Da die Lochabschlüsse eingeklebt werden müssen, da das Modell durch eine Klebung geschlossen werden muß und da eine optische Überprüfung der eingebetteten Meßgeber wünschenswert ist, ist ein durchsichtiges Modellmaterial vorteilhaft. Bei der Herstellung solch großvolumiger Gießlinge erfordern die exotherme Reaktion und das Schrumpfen besondere Maßnahmen. Durch eine geeignete Gießharzkombination mit einem entsprechenden Härtungsprozess und einem angepaßten Formenbau gelingt es, großvolumige Gießlinge mit sehr gleichmäßigen und günstigen Materialeigenschaften herzustellen [2] [4]. Sämtliche verwendeten DMS-Typen wurden auf verschiedene gleichzeitig mit den Gießlingen gegossene Probebalken geklebt und eingebettet und

und zeigten Ergebnisse mit sehr guter Übereinstimmung. Der Elastizitätsmodul wurde zu 34 000 [kp/cm^2] und die Querdehnzahl zu 0,37 bestimmt. Die Kriechneigung des Materials ist äußerst gering, und die Dehnungen sind linear abhängig von den Spannungen.

Das Modell wurde in zwei Hälften gegossen, wobei die Fuge in Behältermitte vorgesehen wurde, da bei dieser Untersuchung dieser Bereich von geringerem Interesse war. Durch Ausgießen mit Epoxydharz wird eine Klebung erzielt, die praktisch gleiche Eigenschaften wie das sonstige Modellmaterial besitzt. Für die genaue Lage der eingebetteten Meßstellen wurden die Modellinnenflächen als Referenzflächen benutzt. Die äußeren Oberflächen wurden auf die Sollmaße abgedreht, und die Öffnungen wurden gefräst. Einen Blick in die obere Modellhälfte zeigt Bild 7. Die erzielte Maßhaltigkeit ist sehr gut, denn die maximale Maßabweichung am Modell beträgt 0, 3 [mm] .

2.4 Versuchsdurchführung

Am Modell wurde nur der Lastfall Innendruck untersucht, da er sich genau realisieren läßt und für die Überprüfung von Berechnungen am besten geeignet ist. Der Lastfall Innendruck stellt einen Eigenspannungszustand dar, so daß das Modell beliebig statisch bestimmt gelagert werden kann. Es wurden hohe Pendellager vorgesehen, damit genaue Verschiebungsmessungen an der Modelloberseite möglich waren. Die Lastaufbringung erfolgte mit Öldruck. Es wurde in einem klimatisierten Meßlabor gemessen, um Temperaturdehnungen und -spannungen auszuschließen. Der Modellaufbau ist aus Bild 8 zu ersehen.

Die Messungen wurden mit einer Vielstellenmeßanlage mit automatischer Datenregistrierung auf Lochstreifen durchgeführt. Hierbei wurden jeweils fünf Lastzyklen mit abschließender Nullmessung vorgenommen, um eine eventuelle Nullpunktdrift eliminieren zu können. Die Auswertung erfolgte auf einer elektronischen Rechenanlage, wobei zunächst Differenzen, Mittelwerte, mittlere Fehler und Dehnungen ermittelt wurden. Mit diesen Dehnungen und den an den einzelnen Oberflächen- bzw. inneren Meßpunkten geltenden Bedingungen wurden die Spannungen und Hauptspannungen berechnet. Messungen wurden bei zwei Druckstufen durchgeführt, wobei sich eine lineare Abhängigkeit der Meßwerte von der Belastung ergab. Die Verschiebungen wurden mit Meßuhren, die eine Anzeigengenauigkeit von 0,001 [mm] besitzen, ermittelt.

Die Ergebnisse wurden für die einzelnen Meßachsen aufgetragen, wobei eine modellunabhängige Darstellungsform gewählt wurde. Eine Diskussion erfolgt im Zusammenhang mit den Berechnungsergebnissen.

3. Berechnung

3.1 Rechenverfahren

Die Berechnungen wurden mit dem Verfahren der dynamischen Relaxation durchgeführt. Auf das Rechenverfahren soll an dieser Stelle nicht im einzelnen eingegangen werden. Es ist in [5] beschrieben, und in [3] ist das Verfahren für den dreidimensionalen Fall bei koordinatenparallelen Berandungen des Kontinuums untersucht worden. Ergebnisse, die mit diesem Verfahren bei gebietsweise nichtkoordinatenparallelen Berandungen des Kontinuums erzielt wurden, sind z.B. in [1] und [6] angegeben. Bei der Formulierung dieser Randbedingungen werden zwei Möglichkeiten verfolgt. Bei der ersten werden Nebenpunkte eingeführt, wobei diese Nebenpunkte zur Erfüllung der Randbedingungen herangezogen werden. Die Größen der Nebenpunkte sind mit einem Rechenraster entsprechend [3] und [5] alle miteinander verknüpft. In einer anderen verallgemeinerten Formulierung des Berechnungsverfahrens erfolgt die Erfüllung der Randbedingungen nur mit Rand- und Innenpunkten. Hier besteht keine Verknüpfung zwischen den einzelnen Größen am Rande, so daß eine allgemeinere und flexiblere Programmierung vorgenommen werden kann.

3.2 Berechnungen und Ergebnisse

Für das Modell wurden zum Vergleich rotationssymmetrische Berechnungen und dreidimensionale Berechnungen ausgeführt. Den Berechnungen lagen die Modellabmessungen und die Kennwerte des Modellmaterials zugrunde. Bei dem numerischen Berechnungsverfahren verbessert sich die Genauigkeit der Ergebnisse mit feiner werdendem Berechnungsraster, wobei allerdings der Berechnungsaufwand auch schnell ansteigt. Für die Ermittlung des Gesamttragverhaltens wurden hier Berechnungen mit verhältnismäßig groben Rastern ausgeführt, um zu zeigen, daß das Gesamttragverhalten auch damit schon sehr gut beschrieben wird und daß Spannungskonzentrationen integral erfaßt werden.

Es wurde eine dreidimensionale Berechnung ausgeführt, bei der die Öffnungen in der Platte und im Zylinder genau berücksichtigt sind. Hierbei wurde ein verhältnismäßig grober Berechnungsraster angenommen, der in Bild 9 in der Draufsicht dargestellt ist. Wie schon beim Modellversuch braucht hier nur ein Segment von 30° untersucht zu werden. Im Behältermittelschnitt wurde eine Symmetrieachse angenommen. Diese Annahme ist gerechtfertigt, wie die Übereinstimmung mit den rotationssymmetrischen Ergebnissen zeigt. Die horizontalen und vertikalen Öffnungen wurden durch Polygonzüge mit 12 Eckpunkten angenähert.
Der Innendruck in den Öffnungen und die Reaktionskräfte der Lochabschlüsse wurden berücksichtigt.

Der Berechnungsraster war zunächst in Hinblick darauf festgelegt worden, daß das Gesamttragverhalten des Behälters erfaßt wird, so daß, von den gewonnenen Werten ausgehend, Detailuntersuchungen zur genauen Ermittlung einzelner Spannungskonzentrationen durchgeführt werden können. Der Vergleich mit den Modellergebnissen hat aber gezeigt, daß nicht nur das Gesamttragverhalten, sondern auch die Spannungskonzentration an den Öffnungen bereits bei diesem Berechnungsraster gut beschrieben werden, so daß auf genauere Berechnungen mit feinerem Raster verzichtet wurde.

Weiter wurden rotationssymmetrische Berechnungen ausgeführt, um zu überprüfen, in welchem Umfange das Gesamttragverhalten durch die Öffnungen beeinflußt wird. In Bild 4 ist der Berechnungsraster für die obere Modellhälfte dargestellt, wobei für den inneren Eckbereich am Übergang von der Platte in den Zylinder ein Raster mit feiner Teilung für eine Detailberechnung angegeben ist. Bei dem groberen Berechnungsraster wird die Spannungskonzentration nur durch ein Integral über den wirklichen Verlauf erfaßt, da die Mittelwertbildung über Rasterweiten bzw. lineare Interpolationen bei grobem Raster eine Glättung des wirklichen Verlaufes bedingen. Da eine Spannungskonzentration nur von örtlichem Einfluß ist, kann der genaue Wert der Spannungsspitze in einer Detailberechnung bestimmt werden, indem man einen feinen Raster für einen Teilbereich wählt und an den Rändern dieses Bereiches die Ergebnisse der Gesamtberechnung vorgibt. Der Detailbereich wird so groß gewählt, daß an seinem Rand Interpolationen zwischen den Stützstellen der Gesamtberechnung genau möglich sind. Für die Detailberechnung des Eckbereiches wurde die Ausrundung mit einem Polygonzug mit 9 Eckpunkten angenähert. Diese Berechnung wurde auf den rotationssymmetrischen Fall beschränkt, da der Vergleich der Ergebnisse in den Bildern 10 bis 16 zeigt, daß auf der Achse zwischen den Öffnungen die Verläufe durch die rotationssymmetrische Berechnung bereits verhältnismäßig gut beschrieben werden. Der Vergleich mit Meßergebnissen hat ergeben, daß mit Detailberechnungen auch für die Maximalwerte in Spannungskonzentrationen Ergebnisse mit sehr guter Genauigkeit gewonnen werden. Eine Gesamtberechnung mit einem entsprechend feinen Raster erfordert dagegen einen erheblich größeren Berechnungsumfang. Ein solches Vorgehen ist besonders bei dreidimensionalen Berechnungen wirtschaftlich, da die aufwendige Berechnung mit kleinen Rasterweiten meist auf kleine Teilgebiete beschränkt werden kann.

Für die untere Modellhälfte zeigte sich, daß hier praktisch Rotationssymmetrie gilt. Die Ergebnisse der rotationssymmetrischen Berechnung zeigten hier, daß die Ausbildung des Lochabschlusses, der in Bild 2 zu erkennen ist, von größerem Einfluß auf die Spannungen ist, da sich hier

hohe Spannungen mit starken Gradienten ergeben. Eine Berechnung, die den Lochabschluß mit umfaßt, liefert hier die gleichen Ergebnisse wie die Messung.

In den Bildern 10 bis 16 sind die Ergebnisse des Modellversuches, dreidimensionaler und rotationssymmetrischer Berechnungen einander gegenübergestellt. Die aufgetragenen Werte sind auf den Innendruck bezogen. Zur Erläuterung sind in den Bildern der Maßstab und die positiven Ordinatenrichtungen eingetragen. Der Vergleich in den Bildern ergibt eine zufriedenstellende Übereinstimmung von Meßergebnissen und dreidimensionalen Berechnungsergebnissen. Auch die Spannungskonzentrationen an den Öffnungen werden bereits gut erfaßt. Die Verformungsmessung wurde wahrscheinlich durch Anzeigeungenauigkeiten am oberen und unteren Umkehrpunkt der Meßuhren beeinflußt. Die Bilder 15 und 16 zeigen, daß die Hauptspannungen auf den Oberflächen um die Öffnungen herum sowohl für die Berechnung als auch für die Messung gut übereinstimmen.

Wie die rotationssymmetrischen Ergebnisse erkennen lassen, wird das Gesamttragverhalten durch die rotationssymmetrische Berechnung verhältnismäßig gut erfaßt. Außer auf die unmittelbare Umgebung erstreckt sich der Einfluß der Öffnungen auf die Bereiche zwischen den Öffnungen und noch auf den inneren Eckbereich, wie aus dem Modellversuch und der dreidimensionalen Berechnung zu ersehen ist. Für die Spannungen und Verformungen in Plattenmitte, in Zylindermitte und im äußeren Eckbereich ergeben sich nur geringe Abweichungen von den rotationssymmetrischen Berechnungsergebnissen. In den Bildern 13 und 14 sind Berechnungsergebnisse der Detailuntersuchung für den Eckbereich für die Achsen der eingebetteten DMS aufgetragen. Es ergab sich eine deutliche Erhöhung der Randspannungen gegenüber der Berechnung mit dem groben Raster und eine zufriedenstellende Übereinstimmung mit den Meßergebnissen an der unteren rotationssymmetrischen Modellhälfte und an der oberen Ecke auf der Achse zwischen den Öffnungen.

4. Zusammenfassung und Schlußbetrachtung

Ein Vergleich zwischen einem elastischen Modellversuch und einer Berechnung hat ergeben, daß auf beiden Wegen die Spannungszustände auch bei komplizierter Geometrie zutreffend ermittelt werden können. Die Übereinstimmung der Ergebnisse spricht für die Genauigkeit beider Verfahren. Bei der Berechnung hat sich gezeigt, daß es ein wirtschaftlicher Weg ist, eine Berechnung zum Gesamttragverhalten auszuführen, und hiervon ausgehend mit einer Detailuntersuchung die Ermittlung der genauen Größe

von Spannungskonzentrationen vorzunehmen.

Der Modellversuch wurde im Institut für konstruktiven Ingenieurbau der Ruhr-Universität Bochum im Auftrag der Brown Boveri/Krupp Reaktorbau GmbH durchgeführt und mit Mitteln des Bundesministers für Bildung und Wissenschaft gefördert.

Literatur

1 W. ZERNA, G. SCHNELLENBACH: Zur Berechnung von Spannbeton-Reaktordruckbehältern. Beton- und Stahlbetonbau 1970

2 H. TWELMEIER, V. HANSSON: Ermittlung des räumlichen Spannungszustandes in einem dickwandigen Behälter mit einer Verbindung von Modellmessung und Rechnung, Der Bauingenieur 1970

3 G. SCHNELLENBACH: Beitrag zur numerischen Berechnung des räumlichen Spannungszustandes in Hohlzylindern mit Ausschnitten, Dissertation, Bochum 1969

4 V. HANSSON. R. STÖVER: Elastische Druckbehälter-Modelle zur Kontrolle von Rechenprogrammen, Kolloquium über bautechnische Aufgaben bei Kernkraftwerken, Haus der Technik e.V., Essen 1971

5 J.R.H. OTTER: Computations for prestressed concrete reactor pressure vessels using dynamic relaxation, Nuclear Structural Engineering 1965

6 G. SCHNELLENBACH: Die dynamische Relaxation als zweckmäßiges Verfahren zur räumlichen Berechnung von Spannbetondruckbehältern, Vortrag Nr. 24, Zweite Informationstagung über Reaktordruckbehälter aus Spannbeton und ihre Wärmeisolierung, Brüssel 1969

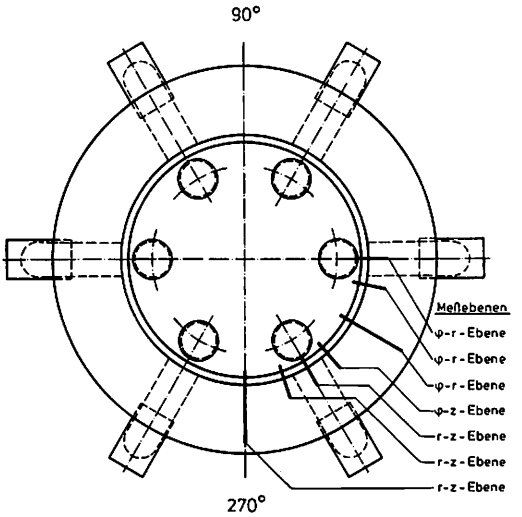


Bild 1 :

Draufsicht auf das Modell mit den Achsen der eingebetteten Meßstellen

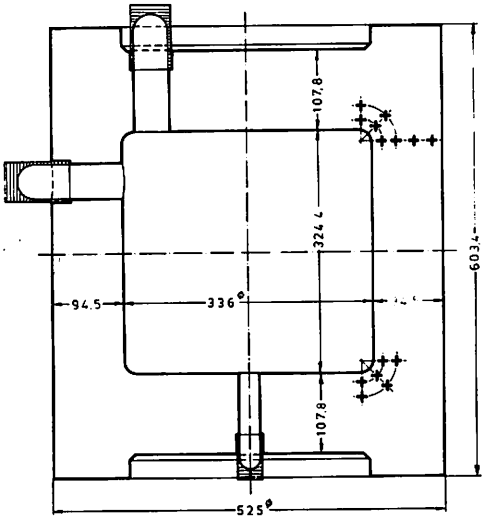


Bild 2 :

Schnitt durch das Modell mit Anordnung der eingebetteten Meßstellen

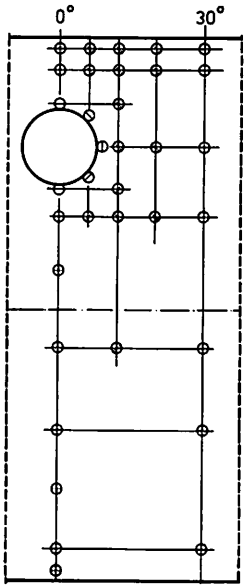


Bild 3 :

Meßstellenanordnung auf der Zylinderinnenfläche

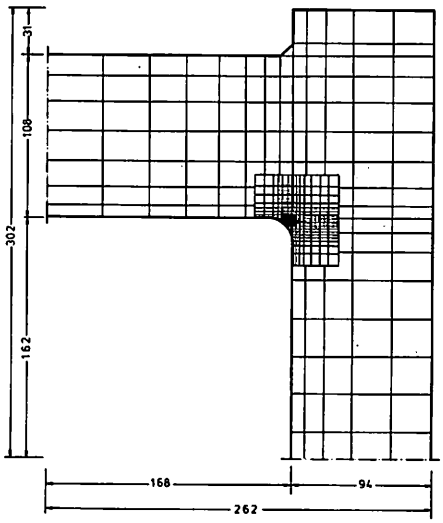


Bild 4 :

Raster für rotationssymmetrische Berechnungen

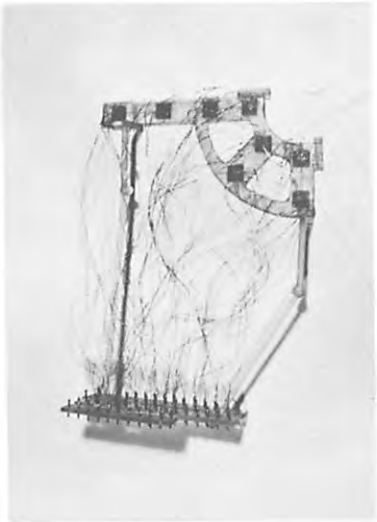


BILD 5

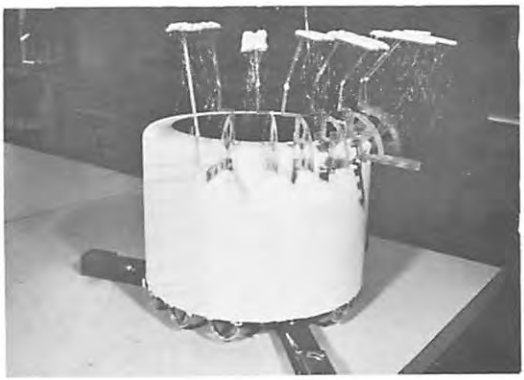


BILD 6

BILD 7

BILD 8

Bild 5 : Ausbildung der eingebetteten Meßgeber

Bild 6 : Kern der Gießform mit einjustierten Meßgebern

Bild 7 : Blick in die obere Modellhälfte

Bild 8 : Modellaufbau

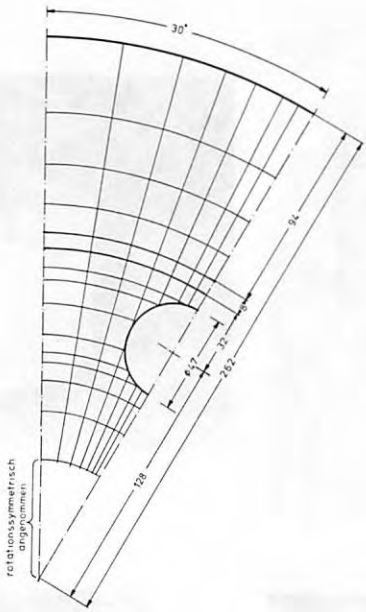


Bild 9 :

Draufsicht auf den räumlichen Berechnungsraster

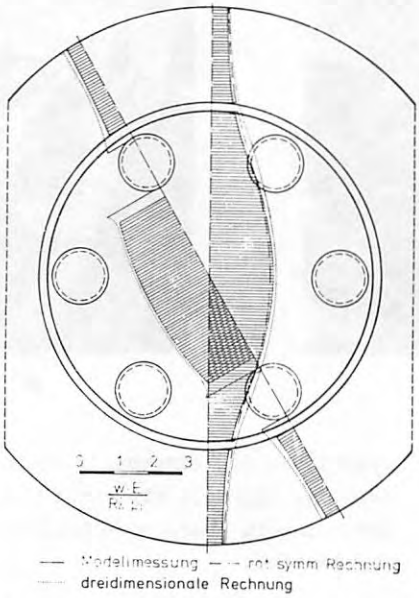


Bild 10: Verformungen der Behälteroberseite

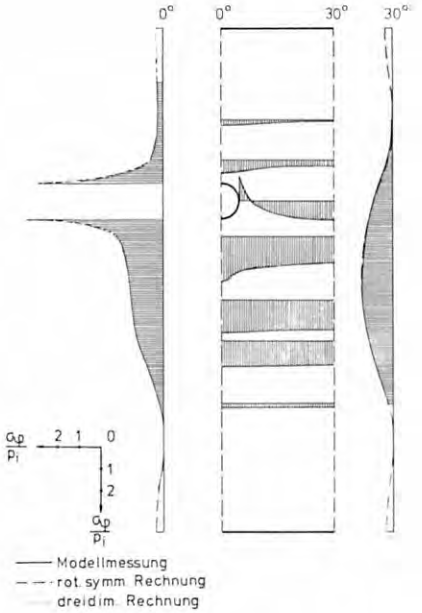


Bild 11:

Umfangsspannungen σ_φ der Zylinderaußenfläche

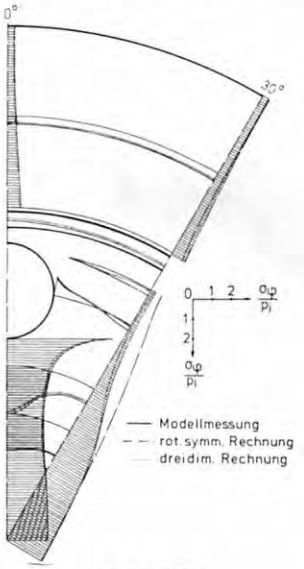
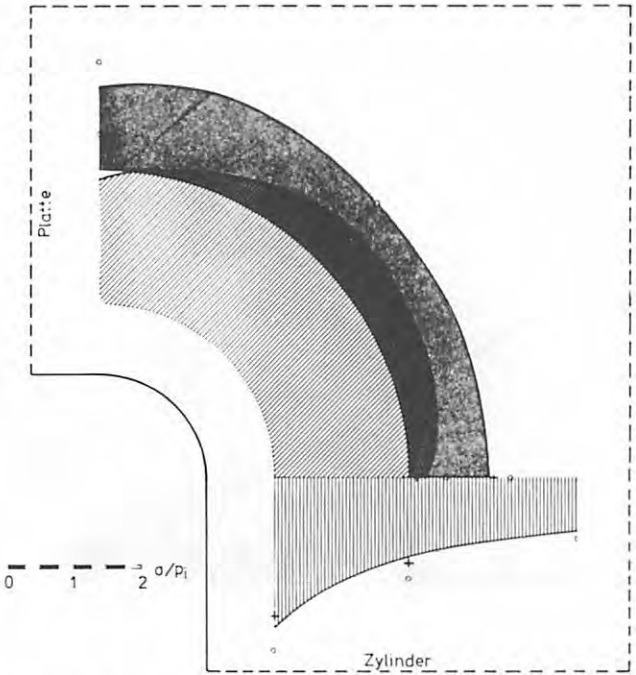


Bild 12:

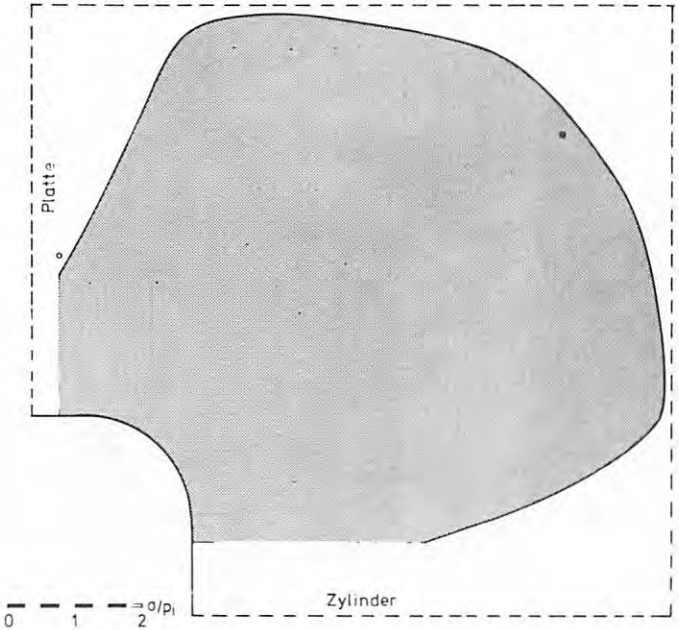
Umfangsspannungen σ_φ der Plattenoberseite



Meßergebnisse: ∘ Achse zwischen den Öffnungen
+ untere Modellhälfte

Bild 13:

Hauptspannungen der r-z-Ebene im Eckbereich



Meßergebnisse: ∘ Achse zwischen den Öffnungen

Bild 14:

Meridianspannungen auf der Eckausrundung

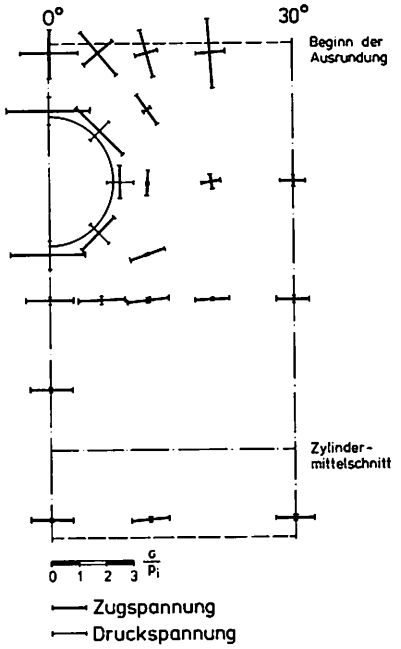


Bild 15: Modellmessung, Hauptspannung auf der Zylinderinnenfläche

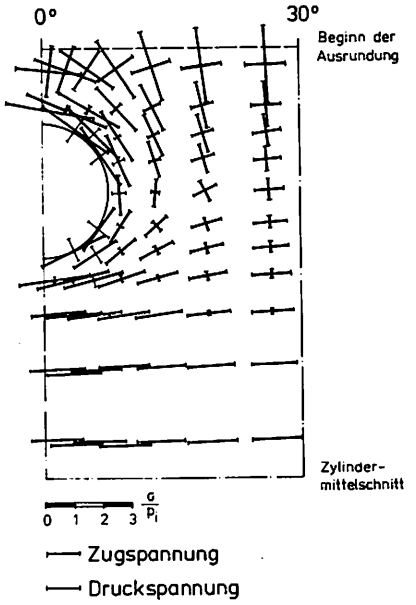


Bild 16: dreidimensionale Berechnung, Hauptspannungen auf der Zylinderinnenfläche

DISCUSSION

Q F. BREMER, Germany

The Poisson's ratio of the used epoxy is 0.37. This is relevant to photoelastic tests made by the questioner. It is found that the difference for real concrete is negligible as long as there are undisturbed zones of the vessel. But in disturbed zones, i. e., penetrations, the difference in Poission's ratio cannot be neglected. Has Mr. Hansson any experience in this field ?

A V. HANSSON, Germany

Bei dem hier durchgeführten Vergleich von Berechnung und Modellversuch sind für die Berechnung die Materialkennwerte des Modellwerkstoffes berücksichtigt worden, da diese Untersuchung im wesentlichen der Überprüfung der Genauigkeit des Berechnungsverfahrens dienen sollte. Bei einer früheren Untersuchung eines rotationssymmetrischen Modells ist der Einfluss der Querdehnzahl untersucht worden. Eine nennenswerte Änderung der Spannungen tritt nur dort auf, wo die Spannung im wesentlichen durch die Querdehnung bestimmt wird, wie z. B. die Umfangsspannungen σ_φ im inneren Eckbereich. Weiter besteht ein Einfluss auf die Verformungen.

Q D. G. HAVARD, Canada

Would the author please describe the techniques used for ensuring accurate readings from the embedded strain gauges. Generally use of conventional methods leads to problems of heat dissipation and associated drift of signal when epoxy model strains are studied.

A V. HANSSON, Germany

In Vorversuchen ist untersucht worden, dass mit der gewählten Ausbildung der eingebetteten Messgeber zuverlässige Messwerte erzielt werden. Diese Untersuchungen betrafen die Wahl des Dehnungsmesstreifentyps, die Klebetechnik, die Ausbildung des Trägermaterials und der Anschlusskabel sowie die Speisespannung. Probleme mit der Aufheizung und daraus resultierende Nullpunktdrift und Änderungen der Materialkonstanten können durch eine ausreichend geringe Speisespannung vernachlässigbar klein gehalten werden.

Q F. SCOTTO, Italy

You have shown a circular shaping as reference solution for the gusset area. Have we to understand that this represents, in your opinion, the best shaping ? Have you done investigations for different shapes ?

A

V. HANSSON, Germany

Bei dieser Untersuchung ist der Ausführungsentwurf für den THTR-Behälter zugrunde gelegt worden, und verschiedene Ausbildungen des Eckbereiches sind nicht untersucht worden. Allgemein lässt sich sagen, dass die Spannungskonzentrationen höhere Maximalwerte besitzen, wenn der Ausrundungsradius kleiner gewählt wird. Untersuchungen hierzu sind unter Berücksichtigung der konstruktiven Ausbildung und des Materialverhaltens durchzuführen.

C

A. J. WILLIAMS, U. K.

I believe that I know the design to which Dr. Scotto is referring: that is BNDG's design of the Hartlepool and Heysham vessels. Originally we intended that this design should have a rounder junction between the end caps and the vessel walls. We found difficulty, however, in determining the concrete stress situation around the corner, and hence had difficulties in determining an anchorages arrangement to ensure compatibility between the liner and the concrete. In addition, the intersection of the gas ducts came close to the toroidal surface and made stress analysis even more difficult. We therefore decided on a square junction, with a heavy corner forging which was capable of a simple and more reliable design justification.