

**STRESS AND DISPLACEMENT ANALYSIS OF A CORE PLATE,  
I. E. GRID-PERFORATED PLATE COMPOUND,  
MODELLED AS AN EQUIVALENT BEAM SYSTEM  
(Spannungs- und Steifigkeitsbeurteilung eines Kerngitters,  
d.h. eines Gitter-Lochplatte-Verbundsystems, mittels Ersatzbalken)**

**R. FRANK, R. ENGEL**

*Kraftwerk Union AG, Reaktortechnik/R 223, Postfach 3220, D-8520 Erlangen, Germany*

The core support plate is a very important component of the reactor pressure vessel internals. Therefore, an exact stress analysis is desired. This analysis will cause high computer costs with a detailed FEM-model because of the complexity of this compound system. In this paper, a method is suggested to solve the problem with a much cheaper beam element model.

The main problem is to establish an equivalent beam system with nearly the same stiffness property as the perforated circular plate stiffened by a grid. Furthermore, the system must allow to determine the maximum stresses with sufficient accuracy.

The calculation of the equivalent beam stiffness is based on the analysis of perforated plates by T. SLOT and W. J. O'DONNELL. This analysis method utilizes the concept of the equivalent solid plate. In this method, the perforated plate is replaced by a solid one which is geometrically similar to the perforated plate but has modified values of the elastic constants.

The simple equivalent beam system of one half of the core support plate (symmetry!) was loaded with a pressure difference and stresses and displacements were analysed.

After that, these results were compared with the stress and displacement analysis of a part of the real structure. This substructure was discretized by three-dimensional 20-node brick-elements.

The comparison of the results of the two models shows that the stresses and displacements, calculated with the simple beam model, are in good agreement with those of the real structure.

## 1. EINLEITUNG

Im Rahmen der Strukturanalyse der Reaktordruckbehältereinbauten eines Siedewasserreaktors mußte das durch Druckpulsationen belastete Untere Kerngitter untersucht werden (Fig. 1).

Die detaillierte Abbildung der relativ komplexen Struktur in einem Finite-Element-Modell wäre sehr arbeits- und kostenintensiv, so daß versucht wurde, ein vereinfachtes Ersatzsystem zu finden.

Es wurde ein Ersatz-Balkenmodell erstellt, mit dem die Steifigkeit des Unteren Kerngitters und die Spannungsverteilung in diesem Bauteil genügend genau und kostengünstig ermittelt werden können.

## 2. ERSATZ-BALKENMODELL

### 2.1 MODELLABBILDUNG

Das Untere Kerngitter ist ein einfach symmetrischer Verbund aus einer kreisrunden Lochplatte mit angeschweißtem Versteifungsgitter und Randzylinder (Fig. 1).

Wegen der Symmetrieeigenschaft wird die Hälfte des Bauteils durch ein Netz von Balken ("Elastic-Beam-Element" aus der STARDYNE-Elementenbibliothek [1]) abgebildet. Der Randzylinder setzt sich aus einem Balken-Polygonzug zusammen. Das innere Balkennetz ist durch den Verlauf der Gitterstege vorgegeben (Fig. 2).

### 2.2 STEIFIGKEITEN

Die Steifigkeit der Randbalken wird aus dem Zylinderquerschnitt ermittelt.

Bei der Steifigkeitsermittlung der übrigen Ersatzbalken werden der Gittersteg und ein Lochplattenstreifen der Breite  $P$  über eine äquivalente mittragende Breite  $h_{gq}$  berücksichtigt (Fig. 2). Der verbleibende Lochplattenanteil wird vernachlässigt, da er nur einen unbedeutenden Steifigkeitsbeitrag liefert.

Die Ermittlung der äquivalenten mittragenden Breite des Lochplattenstreifens erfolgt nach T.SLOT und W.J.O'DONNELL [1]. Die Autoren gehen von einer ungelochten Platte aus und berücksichtigen die Verminderung der Steifigkeit infolge der Löcher durch eine Änderung der elastischen Materialkonstanten Elastizitätsmodul  $E$  und Querkontraktionszahl  $\nu$ .

Mit Hilfe des Verminderungsfaktors für den  $E$ -Modul aus [1] wird nun die äquivalente mittragende Breite  $h_{gq}$  berechnet (Fig. 3). Wegen der unbedeutenden Schubaufnahme des Lochplattenanteils im  $T$ -Träger wird die Änderung von  $\nu$  vernachlässigt.

### 2.3 SPANNUNGSERMITTLUNG

Das Ersatz-Balkenmodell des Unteren Kerngitters liefert mit einer vorgegebenen Druckdifferenzbelastung den maximal belasteten Balken in Gittermitte. Dieser Balken unterliegt einer reinen Momentenbelastung.

Die maximale Druckspannung  $\sigma_B$  in der untersten Randfaser B des Gitters ergibt sich aus dem maximal auftretenden Moment M und dem Widerstandsmoment  $W_B$  des äquivalenten T-Trägers (Fig. 2 + 6).

$$\begin{aligned}\sigma_B &= M/W_B & I &= \text{Flächenträgheitsmoment} \\ & & & \text{um neutrale Achse N.A.} \\ W_B &= I/n_B\end{aligned}$$

Die maximale Zugspannung  $\sigma_A$  in der obersten Randfaser wird analog  $\sigma_B$  gebildet und zur Berücksichtigung der wahren Geometrie im Verhältnis  $h_{\text{äq}}/h$  erhöht (Fig. 2 + 3).

$$\sigma_A = (M/W_A) \cdot (h_{\text{äq}}/h)$$

### 3. FINITE-ELEMENT-AUSSCHNITTSMODELL

Die in 2.3 beschriebene Spannungsermittlung wird mit einem FEM-Ausschnittsmodell kontrolliert (Fig. 4). Der Ausschnitt wird mit 24 dreidimensionalen Quaderelementen mit je 20 Knotenpunkten (Element 21 aus der MARC-Elementen-Bibliothek [3]) idealisiert.

Die Momentenbelastung wird durch einen linearen Dehnungsverlauf über die Modellhöhe aufgegeben. Dieser Dehnungsverlauf entsteht durch Überlagerung eines konstanten (Lastfall K) mit einem linearen Dehnungsverlauf (Lastfall L) (Fig. 5).

Für jeden der beiden Belastungsfälle wird die resultierende Kraft F und das resultierende Moment M durch Integration über den Querschnitt ermittelt.

$$\begin{aligned}F_L &= \int \sigma_L \cdot dA & M_L &= \int \sigma_L \cdot z \cdot dA \\ F_K &= \int \sigma_K \cdot dA & M_K &= \int \sigma_K \cdot z \cdot dA\end{aligned}$$

$$A = \text{Fläche} \quad z = \text{Hebelarm}$$

Bei reiner Momentenbelastung gilt:

$$F_L + x \cdot F_K = 0 \implies x = -F_L/F_K$$

Das zugehörige Moment M beträgt:

$$M = M_L + x \cdot M_K$$

Das äquivalente Trägheitsmoment für den Ausschnitt wird aus dem Moment M und dem Verdrehwinkel  $\varphi$  aus Lastfall L gebildet.

$$\varphi = M (H_S + H)/(E \cdot I) \implies I = M (H_S + H)/(E \cdot \varphi)$$

Die Spannungen infolge M ergeben sich als Summe der Teilspannungen aus beiden Lastfällen (Fig. 7).

$$\sigma_M = \sigma_L + x \cdot \sigma_K$$

#### 4. VERGLEICH BELKENMODELL-FEM-AUSSCHNITTSMODELL

Der Vergleich zeigt eine um 6 % geringere Steifigkeit für das Ersatz-Balkenmodell. Die in der Lochplatte mittels äquivalentem T-Balken ermittelten maximalen Zugspannungen in der obersten Randfaser A sind gegenüber dem Ausschnittsmodell um 21 % höher. Die maximalen Druckspannungen in der untersten Gitterfaser B, die auch laut FEM-Ausschnittsmodell über die ganze Modelllänge konstant bleiben, liegen beim Ersatz-Balkenmodell um 1 % höher.

	$\bar{I}$	Schnitt I		Schnitt II	
		$\bar{\sigma}_A$	$\bar{\sigma}_B$	$\bar{\sigma}_A$	$\bar{\sigma}_B$
Äquivalenter T-Balken	0,94	2,70	1,01	1,21	1,01
FEM-Ausschnittsmodell	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Siehe Fig. 6 + 7

#### 5. ZUSAMMENFASSUNG

Für Gitterkonstruktionen mit ähnlichen Abmessungen können mittels der vereinfachten Äquivalenzbildung die Steifigkeit und die maximal auftretenden Spannungen genügend genau und mit geringem Aufwand ermittelt werden.

#### 6. REFERENZEN

- [1] T. SLOT, W.J. O'DONNELL, "Effective Elastic Constants for Thick Perforated Plates With Square and Triangular Penetration Patterns", Journal of Engineering for Industry, Nov. 1971, pp. 935-942
- [2] "MRI/STARDYNE User Information Manual" Control Data
- [3] "MARC-CDC Volume I User Information Manual" Control Data

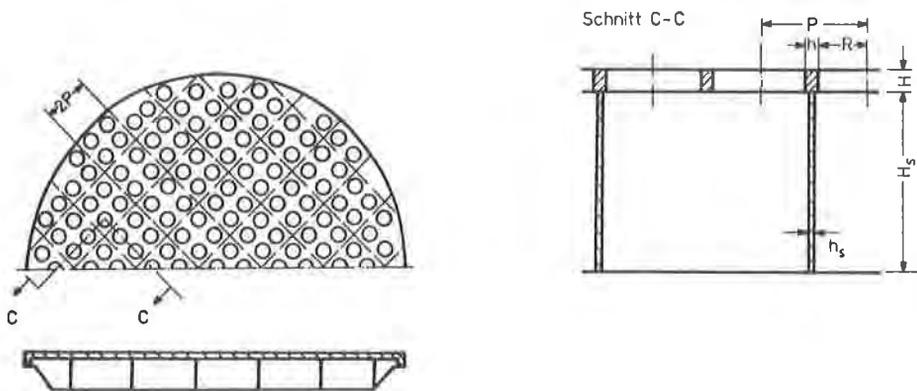


Fig. 1 Unteres Kerngitter eines Siedewasserreaktors

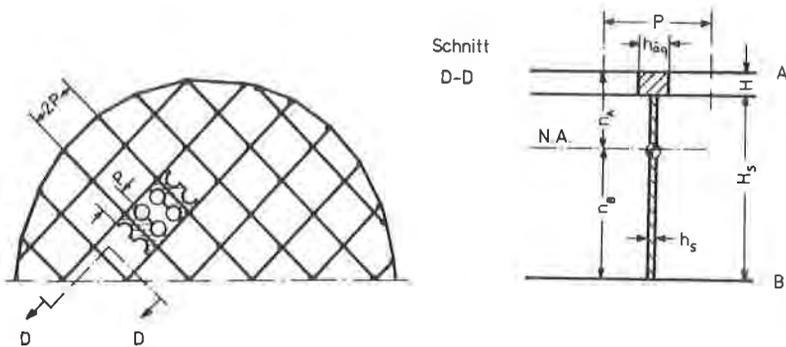
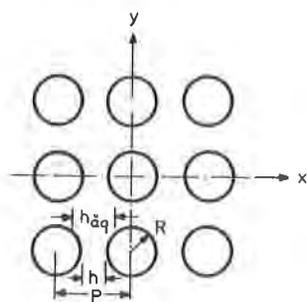


Fig. 2 Ersatz-Balkenmodell



nach T. Slot / W. J. O'Donnell [1]

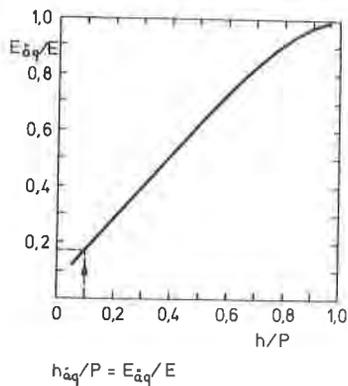
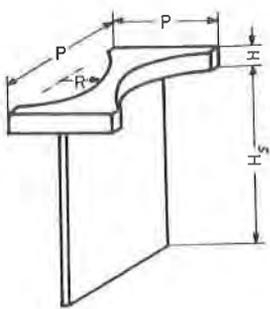
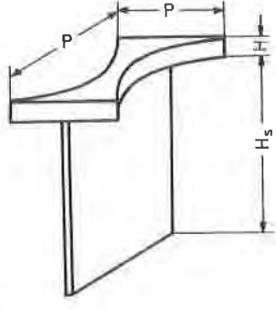


Fig. 3 Ermittlung der äquivalenten mittragenden Breite

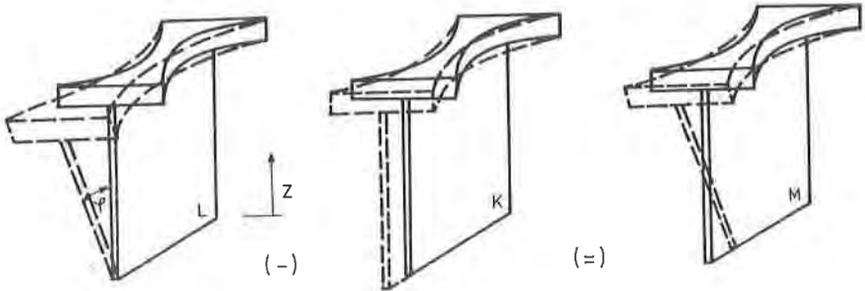


realer Ausschnitt



idealisiertes FEM-Ausschnittsmodell

Fig. 4 Idealisierung eines Kerngitterausschnittes



$$\begin{aligned} \Sigma F = 0 \quad \int \sigma_L \cdot dA \quad + \quad x \cdot \int \sigma_L \cdot dA \quad &= \quad 0 \\ \int \sigma_L \cdot z \cdot dA \quad + \quad x \cdot \int \sigma_L \cdot z \cdot dA \quad &= \quad M \end{aligned}$$

Fig. 5 Belastung des FEM-Ausschnittsmodelles

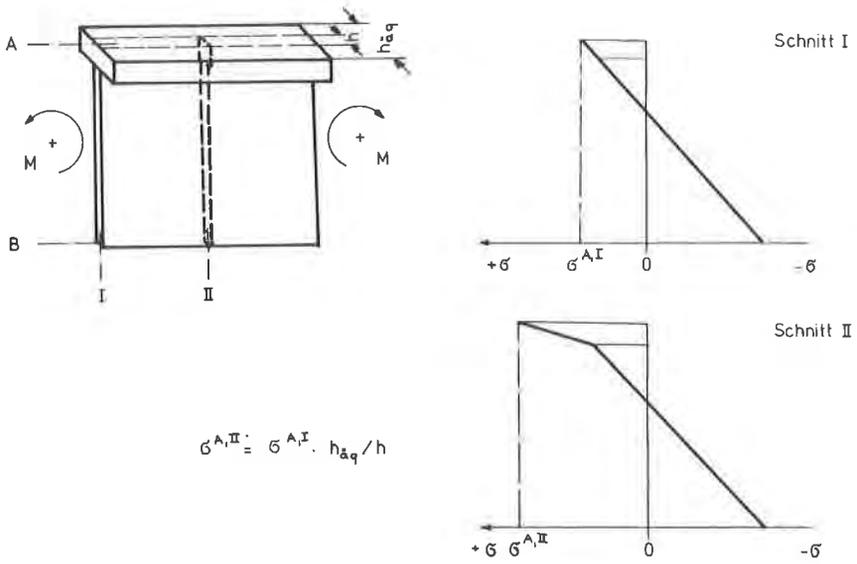


Fig. 6 Spannungsverlauf im Ersatzbalken

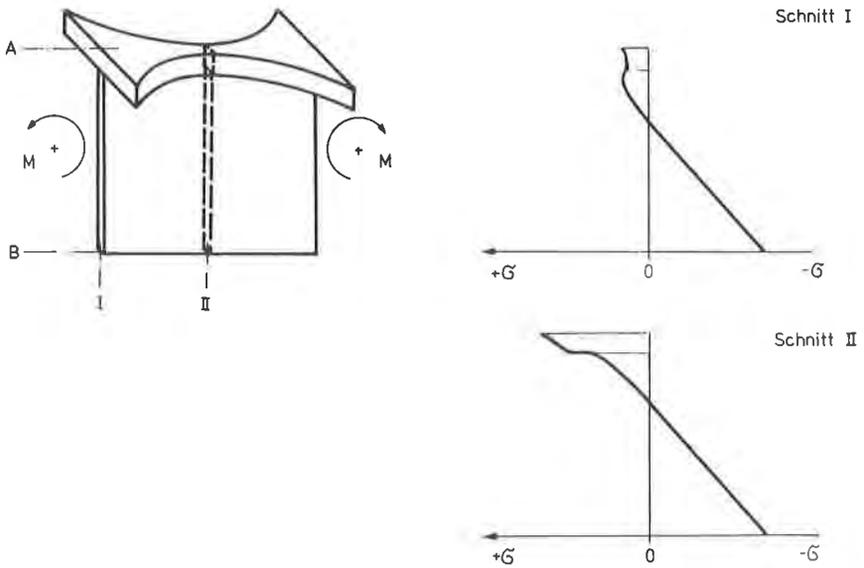


Fig. 7 Spannungsverlauf im FEM-Ausschnitt