

**VIBRATION TESTS ON REACTOR INTERNALS AND COMPARISON
OF THE MEASUREMENTS
WITH SIMPLIFIED ANALYTICAL INVESTIGATIONS**

W. PINK,

Siemens AG, Reaktortechnik, Erlangen, Germany

A B S T R A C T

Elaborate and expensive analytical work by making use of modern computing techniques is required for investigating the dynamic behaviour of such complex structures as reactor internals.

The reliability of such calculations as needed for the analysis of the response of such components due to flow induced vibrations, earthquakes and maximum credible accidents depends on the models, especially how the actual structure is simplified and which uncertainties are connected with this procedure.

Vibration tests were therefore performed at the manufacturer's plant to ensure the accuracy demanded for the above mentioned studies and to prevent unnecessary refinements of the analytical techniques. A summary of such typical measurements on PWR internals is given.

As an special example the analytical determination of the dominant eigenfrequencies for a system of a core-support plate is discussed and referred to the analysis of a homogeneous circular plate the boundary of which is supported on massless elastic springs. Comparison of the calculated with the measured frequencies is made.

In addition to this it is shown that the dominant natural frequencies due to the mode shapes of bending waves on the core barrel shell can be calculated according to the Timoshenko theory of transverse beam vibrations by taking into account the effect of shear. Some of the calculated frequencies could also be compared with measured frequencies. The influence of concentrating the distributed masses into lumps on the calculation of eigenfrequencies is also discussed.

1. Einleitung

Den Untersuchungen der Reaktoreinbauten auf ihr dynamisches Verhalten kommt sowohl analytisch als auch experimentell eine große Bedeutung zu. Sie werden insbesondere für die Beurteilung und Auslegung der Kerneinbauten auf ihre Betriebsfestigkeit zufolge der strömungsinduzierten Schwingungen, für den größten anzunehmenden Unfall (Auslegungsunfall) sowie gegen Erdbeben benötigt.

Bevor auf ein konkretes analytisches Problem eingegangen wird, soll ein allgemeiner Überblick eine Vorstellung vermitteln, welche Überlegungen den derzeit durchgeführten Untersuchungen der Reaktoreinbauten hinsichtlich ihres dynamischen Verhaltens zugrunde gelegt worden sind.

Es werden Schwingungsmessungen an den Einbauten sowohl bei den Herstellerfirmen, an kleineren Komponenten auch in den Laboratorien, an der Baustelle als auch während des Probebetriebes im Reaktor selbst durchgeführt.

Bei den Vorprobetriebsmessungen geht es im wesentlichen um die experimentelle Bestimmung der Eigenfrequenzen der wichtigsten Schwingungsformen, der diesen Frequenzen entsprechenden Dämpfungswerte sowie der Vergrößerungsfunktion bzw. Übergangsfunktion des jeweiligen Bauteiles. Hierbei wird in den meisten Fällen auch dessen Steifigkeit gemessen.

Bei den großen Komponenten, den Kerntragstrukturen, handelt es sich vorwiegend um zylindrische Behälter mit Stützenöffnungen, welche an ihren Aufhängeflanschen elastisch eingespannt sind, sowie um geschweißte Gitterplatten - oder Doppelplattenkonstruktionen mit kreisförmiger Berandung (Bild 1 und 2).

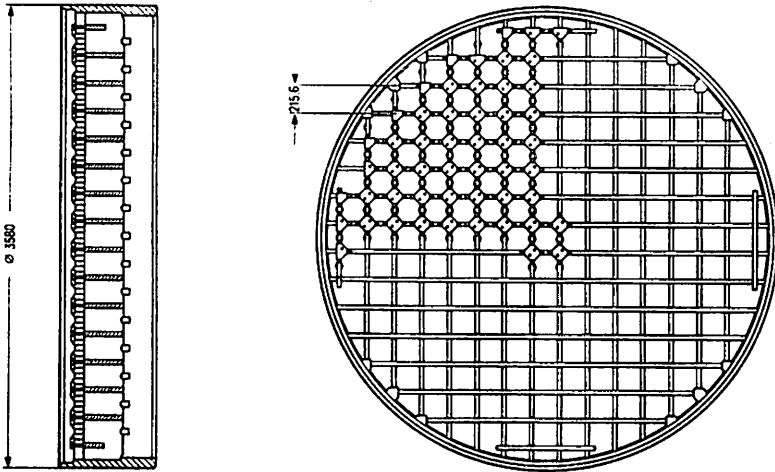


Abb. 1 : Untere Tragplatte
Kerngerüst Stadi

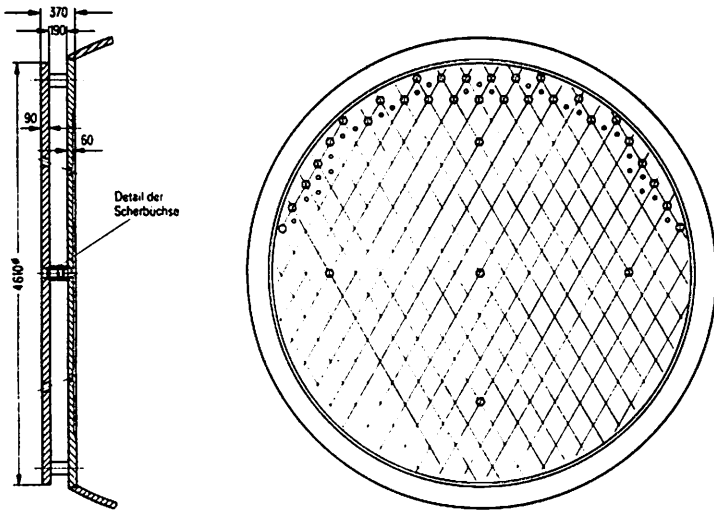


Abb. 2 : Moderatorbehälter Atucha
Unterer Boden

Während des Probetriebes ist die Relativ- und Absolutmessung von Amplituden-Zeitverläufen und auch von Dehnungen sowohl mit als auch ohne beladenen Kern an ausgezeichneten Positionen der Reaktoreinbauten bei verschiedenen Betriebszuständen vorgesehen. Es werden außerdem an verschiedenen Stellen des Primärsystems Druckschwankungen mittels Piezodruckaufnehmern ge-

messen. Ein Beispiel für eine solche Schwingungsinstrumentierung kann dem folgenden Bild (Bild Nr.3) entnommen werden.

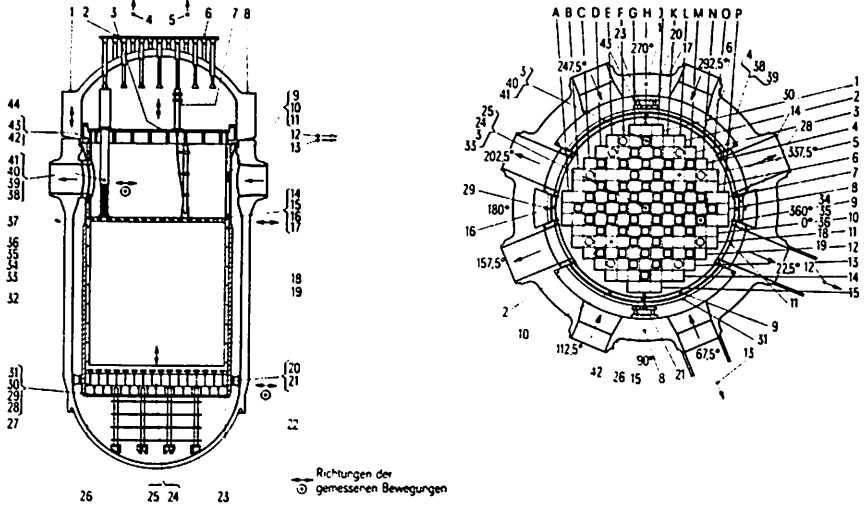


Abb. 3 : Inbetriebnahme KKS
Anordnung der Meßstellen
Probetrieb ohne Kern

Die Signale dieser Schwingungsaufzeichnungen werden auf Tonband gespeichert, so daß eine Weiterverarbeitung der Meßwerte - analog oder digital - zu jedem beliebigen Zeitpunkt für

Frequenzanalysen (nachträgliche Anfertigung von Frequenzspektren),

Ermittlung von Amplitudenverteilungen,

Bestimmung von Dämpfungsgrößen verschiedener Schwingungsformen sowie für

korrelationsanalytische Untersuchungen der Signale verschiedener Aufnehmer, auch mit den Signalen der Neutronenflußinstrumentierung sowie von Körperschallaufnehmern, sichergestellt ist.

Sinn und Zweck der Schwingungsversuche vor dem Probetrieb des Reaktors ist neben der experimentellen Ermittlung der dynamischen Systemkenngrößen der einzelnen Bauteile, auch die versuchsmäßige Bestätigung der Verlässlichkeit der den eingangs erwähnten dynamischen Festigkeitsbeurteilungen zugrundegelegten vereinfachten Ersatzsysteme für die an und für sich komplexen Kerneinbautenkonstruktionen.

Dagegen sollen die Schwingungsmessungen während des Probebetriebes sicherstellen, daß die Einbauteile in keiner Betriebsphase unzulässige Beanspruchungen erleiden, Referenzzustände über das dynamische Verhalten dieser Teile festgehalten werden und vor allem die Möglichkeit geschaffen wird, den Anregungsmechanismus für die strömungsinduzierten Bewegungszustände der Einbauten interpretieren zu können.

Bisher durchgeführte Untersuchungen lassen die Vermutung zu, daß Korrelationen zwischen den Bewegungen der Kerneinbauten und den Neutronenfluß- und Körperschallsignalen bestehen. Durch wiederholte Kontrollen mit den während den Probebetriebmessungen erhaltenen Referenzzuständen könnte - falls es diese überhaupt zulassen - eine Langzeit-Beobachtung der Kerneinbauten verwirklicht bzw. eine Veränderung ihres dynamischen Verhaltens frühzeitig erkannt werden.

2. Beispiel: Bestimmung der Eigenfrequenzen eines Behälterbodens

Im folgenden wird als Beispiel einer analytischen Untersuchung die näherungsweise Bestimmung der Eigenfrequenzen der Bodenplatte des Moderatorbehälters für das Kernkraftwerk Atucha (Argentinien), einem D_2O moderierten Natururan-Druckwasserreaktor, erörtert und mit den experimentell ermittelten Frequenzen verglichen.

Die Bodenplattenkonstruktion stellt einen Verband zweier Kreisplatten mit von Hand zwischengeschweißten Büchsen dar (vgl. Bild 2).

Dieses System wurde näherungsweise als homogene isotrope Kreisplatte äquivalenter Biegesteifigkeit behandelt, deren Rand auf einer Anzahl elastisch federnder Unterlagen (entweder Gummipuffer oder hydraulische Lagerung) aufliegt. Der Abstand dieser Abstützungen war bei der Messung so eng gewählt, daß die Lagerung in der Rechnung kontinuierlich angenommen werden konnte.

Außerdem wurde diese Berechnung für eine bestimmte Randbedingung durch ein zweites Rechenmodell kontrolliert. Mittels einem auf dem Übertragungsmatrizenverfahren beruhenden Rechenprogramm, welches das Doppelplattensystem in Ringplatten und in konzentrisch angeordnete Stützrohrkreise aufgliedert, wurde die kontinuierlich verteilte Masse der Bodenplatte gleichförmig in 6 Kreisen konzentriert, die Einflußzahlen dieser Massenringe bestimmt und die Eigenwertmatrix der freien Plattenschwingung gelöst.

Das zuerst beschriebene Rechenmodell wurde insbesondere deswegen bevorzugt, weil es auch die Bestimmung solcher Eigenfrequenzen zuläßt, deren Schwingungsformen nicht nur Knotenkreise sondern auch Knotendurchmesser enthalten. Diese Analyse wird nun im folgenden näher erörtert.

Die Bewegungsgleichung für die freie Biegeschwingung einer Kreisplatte in Abhängigkeit ihrer Verschiebungen w lautet:

$$\frac{\partial^2 w}{\partial t^2} + c^4 \Delta \Delta w = 0$$

worin $\Delta = \frac{\partial^2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2}$, (1)

$$w = w(r, \varphi),$$

$$c = 4 \sqrt{\frac{N}{q}}$$

N = äquivalente Biegesteifigkeit der Platte und

q = durchschnittliche Plattenmasse pro Flächeneinheit.

Ihre allgemeine Lösung ist aus der Literatur (Lord Rayleigh, F.Söchting [1], [2]) hinreichend bekannt und läßt sich in folgender Form schreiben:

$$w(r, \varphi, t) = C \{ J_n(\alpha r) + \lambda J_n(i\alpha r) \} \cdot \cos(n\varphi - \alpha) \cdot \cos(pt - \xi) \quad (2)$$

worin $J_n(\alpha r)$ bzw. $J_n(i\alpha r)$ Bessel'sche Funktionen erster Art,

$$\alpha^4 = \frac{p^2}{4c},$$

p die jeweilige Eigenfrequenz der Platte, rad/sec

n die Anzahl der Knotendurchmesser,

ξ bzw. α Phasenwinkel zur Festlegung der Anfangsbedingungen und φ und

C bzw. λ Integrationskonstanten sind.

Im vorliegenden Fall lassen sich diese Konstanten durch folgende beiden Randbedingungen bestimmen:

1. das Biegemoment am Plattenrand ist Null, da dieser frei verdrehbar gelagert ist und
2. die Querkraft am Plattenrand muß gleich der von den elastischen Unterlagen aufgenommenen Federkraft sein. Ein Ab-

heben von den in der Analyse als masselosen Federn dargestellten Abstützungen, kann ausgeschlossen werden.

Die Momenten- und Querkraftbedingung für den Plattenrand lautet in Abhängigkeit der Plattenverschiebungen w:

$$\left\{ \frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \gamma \left(\frac{1}{a} \cdot \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{a^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right) \right\}_{r=a} = 0 \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \text{bzw. } k \cdot w_{r=a} = & -N \left\{ \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{\partial^2 w}{\partial r^2} + \frac{1}{a} \frac{\partial w}{\partial r} + \frac{1}{a^2} \cdot \frac{\partial^2 w}{\partial \varphi^2} \right] + \right. \\ & \left. + (1-\gamma) \frac{\partial^2}{\partial \varphi^2} \left[\frac{\partial w}{\partial r} - \frac{w}{a} \right] \right\}_{r=a} \quad (4) \end{aligned}$$

worin a = der Plattenradius

k = die auf den Plattenumfang bezogene Federkonstante der Auflagefedern und

γ = die Poisson'sche Zahl.

Durch Einsetzen der allgemeinen Lösung (1) in die Randbedingungen (3) und (4) und durch Elimination von C und λ erhält man die Frequenzgleichung (Eigenwertgleichung) in komplexer Form:

$$\begin{aligned} \frac{(\gamma-1) \{ x J'_n(x) - n^2 J_n(x) \} - x^2 J_n(x)}{(\gamma-1) \{ ix J'_n(ix) - n^2 J_n(ix) \} + x^2 J_n(ix)} = \\ \frac{n^2(\gamma-1) \{ x J'_n(x) - J_n(x) \} - x^3 J'_n(x) + \frac{ka^3}{N} J_n(x)}{n^2(\gamma-1) \{ ix J'_n(ix) - J_n(ix) \} + ix^3 J'_n(ix) + \frac{ka^3}{N} J_n(ix)} \quad (5) \end{aligned}$$

worin $x = \alpha \cdot a$ und akzente Differentiationen in Bezug auf x zu verstehen sind.

Diese Gleichung läßt sich auch in reeller Form darstellen und lautet:

$$\begin{aligned} \frac{\{ (1-\gamma)n(n-1) - x^2 \} J_n(x) + (1-\gamma)x J_{n+1}(x)}{\{ (1-\gamma)n(n-1) + x^2 \} I_n(x) - (1-\gamma)x I_{n+1}(x)} = \\ - \frac{\{ (1-\gamma)n^2(n-1) + nx^2 - \frac{ka^3}{N} \} J_n(x) + x \{ x^2 + (1-\gamma)n^2 \} J_{n+1}(x)}{\{ (1-\gamma)n^2(n-1) - nx^2 - \frac{ka^3}{N} \} I_n(x) + x \{ x^2 - (1-\gamma)n^2 \} I_{n+1}(x)} \quad (6) \end{aligned}$$

darin sind $I_n(x)$ bzw. $I_{n+1}(x)$ ebenfalls Bessel'sche Funktionen erster Art.

Die Knotenkreisgleichung lautet

$$J_n(\alpha r) + \lambda J_n(i\alpha r) = 0 \quad (7)$$

worin sich λ aus Gleichung (3) in analoger Weise bestimmen

läßt und man erhält schließlich die Knotenkreisgleichung in reeller Schreibweise

$$J_n\left(x\frac{r}{a}\right) - \frac{\{(1-\gamma)n(n-1) - x^2\} J_n(x) + (1-\gamma)x J_{n+1}(x)}{\{(1-\gamma)n(n-1) + x^2\} I_n(x) - (1-\gamma)x I_{n+1}(x)} I_n\left(x\frac{r}{a}\right) = 0 \quad (8)$$

In den Abb. 4 bis 7 ist die graphische Lösung der Eigenwertgleichung (6) für $n = 0, 1, 2$ und 3 für die niedrigsten Frequenzen dargestellt.

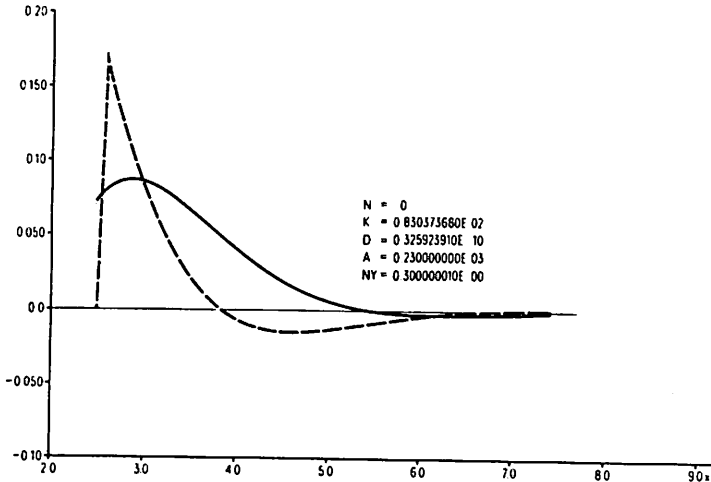


Abb. 4 : KKW CNA Schwingungsmessung an der Bodenplatte
Eigenwerte X der transversalen Kreisplatten-
biegeschwingung

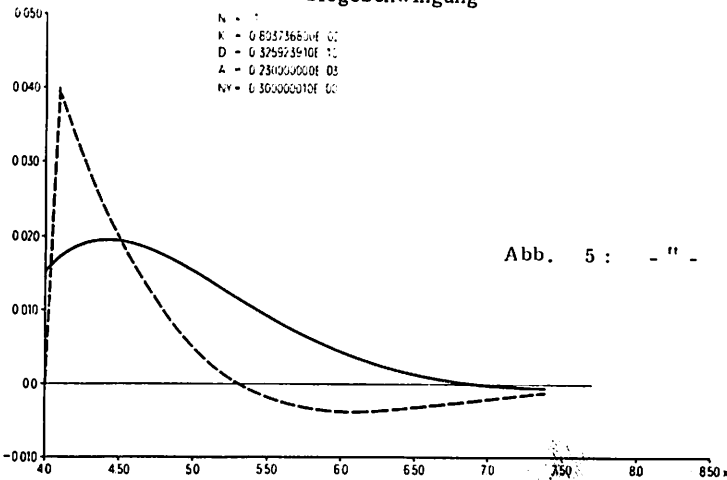


Abb. 5 : - " -

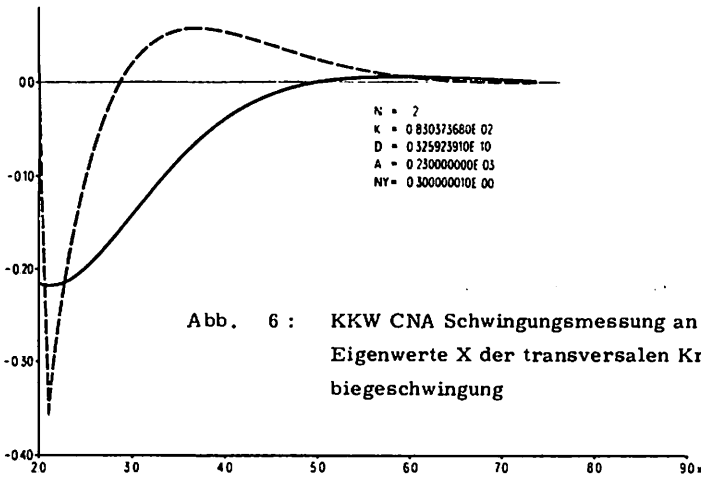


Abb. 6 : KKW CNA Schwingungsmessung an der Bodenplatte
Eigenwerte X der transversalen Kreisplatten-
biegeschwingung

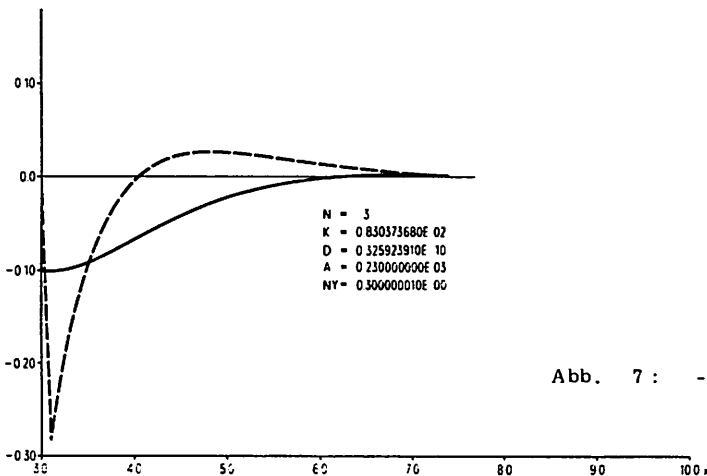


Abb. 7 : - " -

Bevor auf einen Vergleich der gemessenen mit den gerechneten Werten eingegangen wird, soll die Frequenzmessung kurz erläutert werden.

Die Bodenplatte wurde zwölfmal gleichmäßig am Umfang unterstützt und auf in einem Fundament einbetonierten Trägern aufgestellt. Die Messung wurde einmal für eine hydraulische Lagerung, welche aus 12 in 3 Gruppen zu je 4 zusammengefaßten Hydraulikkolben bestand und zum anderen für eine Lagerung auf Gummipuffern, die an denselben Stützpunkten angeordnet waren, durchgeführt.

Mangels geeigneter Umwuchterreger erfolgte die Schwingungserregung durch eine einmalige Auslenkung in Plattenmitte und

plötzliche Entlastung infolge Reißens eines spröden Bolzens. Die Kraft wurde mittels einer hydraulischen Hohlkolbenpresse über einen am Betonfundament befestigten Zuganker erzeugt, zwischen denen der Reißbolzen eingesetzt war. Außerdem wurden auch Stoßerregungen mit einem Holzbalken vorgenommen, insbesondere für außermittige Anregungen.

Der Aufbau dieser Schwingungsmessung einschließlich deren Instrumentierung sind der Abb.8 zu entnehmen.

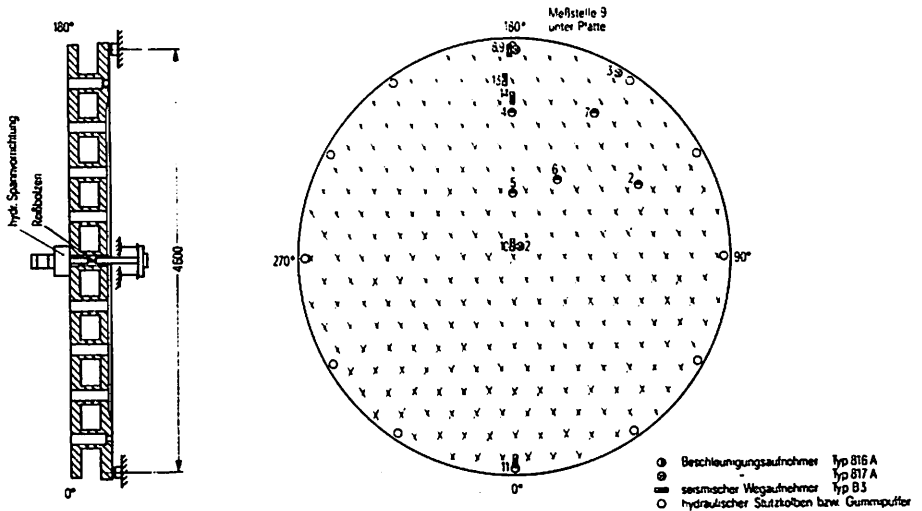


Abb. 8 : CNA Bodenplatte
Meßanordnung : Eigenfrequenz

Es wurden sowohl Schwingwege als auch Beschleunigungen gemessen, insgesamt wurden 23 Messungen durchgeführt, die Registrierung der Signale erfolgte wahlweise auf Magnetband - insbesondere für die Anfertigung von Frequenzspektren bzw. für die Bestimmung der Dämpfung - oder mittels Lichtstrahloszillographen.

In Abb. 9 sind die gemessenen Schwingungsformen zusammengestellt

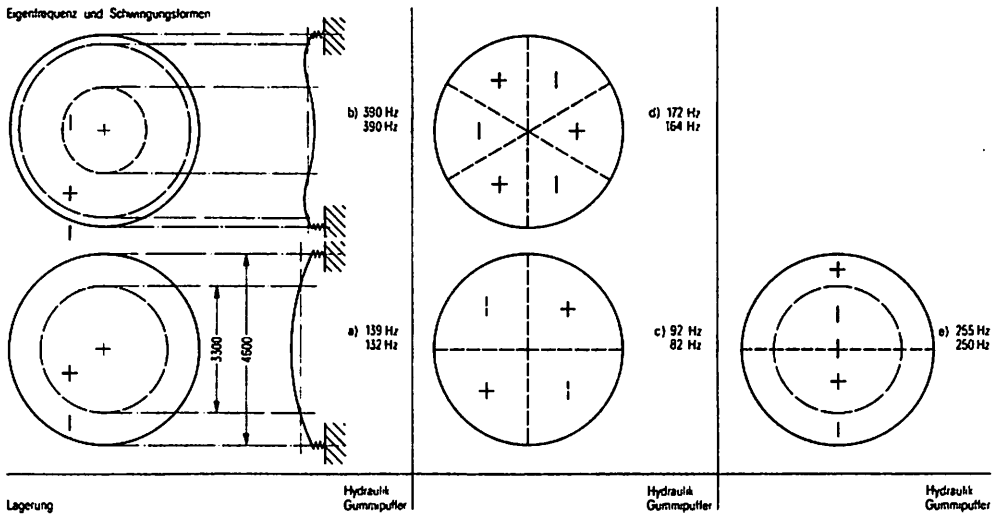


Abb. 9 : CNA Bodenplatte
Schwingungsformen

und in Tabelle Nr.I sind die durch Messung erhaltenen Eigenfrequenzen den entsprechend gerechneten Frequenzen für die Lagerung auf Gummipuffer gegenübergestellt.

Die bei der Messung erhaltenen höheren Frequenzwerte beziehen sich vorwiegend auf die Hydrauliklagerung, die niedrigeren auf die Gummipufferlagerung. Da die Federkonstante der Gummipuffer höher als die der Hydrauliklagerung ist, entspricht diese Tendenz auch der Theorie. Wie man aus den gemessenen Werten sieht, war der Einfluß der Lagerung je nach der Höhe der gemessenen Frequenzen unterschiedlich u.zw. waren die Unterschiede bei den höheren Frequenzen geringer. Allerdings müssen bei der Messung gewisse Umgebungseinflüsse auch geringe Schwankungen bewirkt haben, da die von der Lagerung aufgetretenen Abweichungen der Frequenzen nicht vollständig durch die Rechnung erklärt werden können.

Vergleicht man die gerechneten Frequenzen mit den Eigenwerten einer vollständig freien Kreisplatte (S. Timoschenko, R.V. Southwell [3], [4]), so zeigt sich, daß der Einfluß der federnden Abstützungen sehr gering und vernachlässigbar ist.

Außerdem wurde die statische Steifigkeit der Bodenplatte durch Messung kontrolliert. Mit der zufolge dieser Messung korrigierten Steifigkeit wurde die Grundfrequenz für den einfach gelagerten Fall (ein Knotenkreis, kein Knotendurch-

messer) nach demselben Rechenmodell bestimmt. Diese Frequenz wurde, wie bereits erwähnt, auch mit Hilfe eines digitalen Rechenprogrammes für ein Doppelplattensystem berechnet und es zeigte sich eine gute Übereinstimmung beider Rechenergebnisse. Die Abweichung betrug ca. 5,4 %.

3. Möglichkeiten zur Bestimmung der Eigenfrequenzen von Kernbehälterschalen

Weiters wird über die Berechnung der Eigenfrequenzen zufolge der Längsbiegeschwingung von Kernbehälterschalen und über die bei diesen Untersuchungen gemachten Erfahrungen kurz berichtet. Hierbei war die Frage zu klären, ob die Kernbehälterschale nach der Trägertheorie behandelt werden darf. Es wurde eine Parameterstudie durchgeführt, in welcher die ersten drei Eigenfrequenzen einer beidseitig einfach gelagerten Kernbehälterschale nach der Schalentheorie (W.Flügge [5_7], für Schubbiegebalken (C.M.Harris and C.E. Crede, Jacobsen Ayre [6_7], [7_7]) sowie für Biegebalken ermittelt wurden und außerdem der Einfluß einer Konzentration der gleichförmig verteilten Behältermasse an Hand eines digitalen Rechenprogrammes untersucht worden ist.

Als Parametergröße wurde außerdem die Länge des Behälters zur Veranschaulichung des für größere Längen abklingenden Schubeeinflusses auf die Bestimmung der Eigenfrequenzen variiert. In Tabelle II sind die Ergebnisse dieser Berechnungen zusammengestellt. Abb. 10 zeigt den Unterschied zwischen der Rechnung nach der Schalen- bzw. Trägertheorie in Abhängigkeit von der Anzahl der axialen Halbwellen und

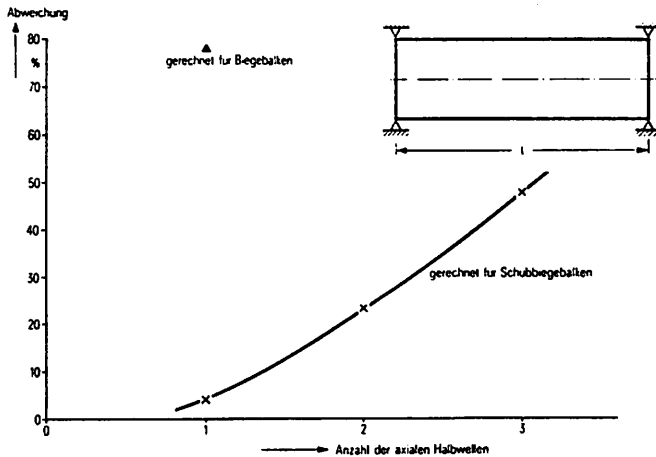


Abb. 10: Unterschied zwischen den Eigenfrequenzen der Längsbiegeschwingung gerechnet nach Träger- bzw. Schalentheorie für eine beiseitig einfach gelagerte Kernbehälterschale

Abb.11 den Einfluß von Massenkonzentrationen auf die zweite und dritte Eigenfrequenz je nachdem, in wieviel äquidistant angeordnete diskrete Massen die gleichmäßig verteilte Masse des als Schubbiegebalken in der Rechnung dargestellten Kernbehälters zusammengefaßt wurde.

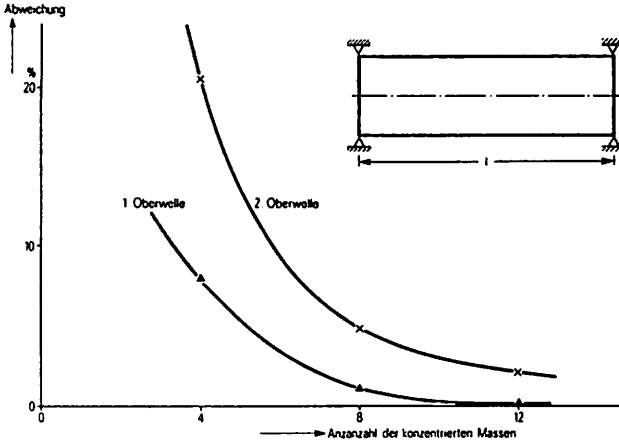


Abb. 11 : Einfluß von Massenkonzentrationen auf die Bestimmung der 1. und 2. Oberwelle der freien Langsbiegeschwingung einer beidseitig einfach gelagerten Kernbehälterschale.

Für die Schalenfrequenzen der Ringbiegeschwingung von Kernbehältern liegen ebenfalls Messergebnisse vor, welche eine sehr gute Übereinstimmung mit den nach [5] durchgeführten Rechnungen zeigen.

In den Vortrag werden auch die nach Abfassung dieses Manuskriptes noch erhaltenen Meßergebnisse aufgenommen und mit durchgeführten Rechnungen verglichen.

Referenzen:

- 1 Lord Rayleigh, Theorie des Schalles, Braunschweig, 1879, Seite 396.
- 2 F. Söchtig, Berechnung mechanischer Schwingungen, Springer Verlag Wien, 1951, Seite 171.
- 3 S. Timoshenko, Schwingungsprobleme der Technik, Springer Verlag Berlin, 1932, Seite 343.
- 4 R. V. Southwell, Proc. Royal Soc. A 101, 1922, Seite 148.
- 5 W. Flügge, Statik und Dynamik der Schalen, 2. Auflage, Berlin 1957, Springer Verlag.
- 6 C.M. Harris and C.E. Crede, Shock and Vibration Handbook, Vol. I, Mc Graw Hill Co., Seite 7 - 16/17.
- 7 Jacobsen Ayre, Engineering Vibrations, Mc Graw Hill Co., 1958, Seite 500.

Tabelle I: KKW CNA Schwingungsmessung an Bodenplatte -
 Vergleich der gemessenen und gerechneten Eigenfrequenzen
 für die Lagerung auf Gummipuffer

Anzahl der Knotenkreise	Knotendurch- messer	Gemessene	Gerechnete	Gerechnete	Gerechnete	Frequenzen für freien	
		Frequenzen [Hz]	Frequenzen [Hz]	Frequenzen [Hz]	nach [3]	Rand [Hz]	nach [4]
1	0	132,0	125,6	127,7			126,6
2	0	390,0*	540,4	541,9			558,4
1	1	250,0	287,7	288,7			288,7
0	2	82,0	73,3	73,9			75,7
1	2	-	496,0	495,8			489,7
0	3	164,0	173,9	172,1			175,3
1	3	-	745,8	744,4			749,6

*) Dieser Frequenzwert kann aufgrund der Auswertung der Messung nicht eindeutig dieser Schwingungsform zugeordnet werden

Tabelle II: Parameteruntersuchung über die ersten drei Eigenfrequenzen zufolge der Längsbiegeschwingung einer beidseitig einfach gelegerten Kernbehälterschale, gerechnet nach Schalen- und Trägertheorie in Hz

Vielfaches der Original- Behälterlänge l	Zylinderschale			gerechnet als Schubbiegebalken			Biegebalken		
	Ref. [5]			Ref. [6] bzw. [7]					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.	1.	2.	3.
1	159,5	321,1	417,1	166,0	392,9	614,1	283,9	1136,2	2557,1
2	58,0	159,5	249,7	57,8	166,1	230,2	71,0	284,0	639,3
5	10,5	39,6	77,8	10,9	39,4	77,9	11,4	45,5	102,3
10	2,8	10,9	23,6	2,8	10,9	23,5	2,8	11,4	25,6

Anzahl der konzentr. Massen	Balken mit konzent. Massen u. original Behälterlänge l			gerechnet als		
	Schubbiegebalken			Biegebalken		
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
4	167,1	361,3	488,6	-	-	-
8	169,0	388,3	584,1	283,3	1136,4	2549,7
12	169,8	393,4	601,6	-	-	-

DISCUSSION

Q

J. KADLEC, Germany

How did you calculate the virtual mass of water for your prototype calculations ?

A

W. PINK, Germany

The influence of the virtual mass of water for prototype calculations will be evaluated by later measurements. In the case of free pendulum vibrations of the KKS-core barrel without loaded core the measurements showed a shifting of the fundamental natural frequency by this effect of 13.8%.

Q

E. OHLMER, JRC Ispra, Italy

Is the plate for which you have calculated the vibration behaviour, not charged also by other structures from the core internals ? In this case the calculations will be more complicated I suppose.

A

W. PINK, Germany

This is true. But this study was primarily done to find out how good the simplified analytical model is for the determination of the natural frequencies of the actual more complex plate structure.

Q

J. P. LAFAILLE, Belgium

How did you take into account the effect of the perforations in the plate ?

A

W. PINK, Germany

The effect of the perforations in the plate was considered by the application of equivalent Young modulus and Poisson ratio according to the theory of O'Donnell and the experiments made by Sampson. This procedure could be confirmed also for the present case by the measurement of the flexural stiffness of the actual plate system. A good agreement with our calculations was found.