

OBJECTIVES OF SEISMIC TESTS IN THE HDR SAFEGUARDS RESEARCH PROGRAM

W. MÜLLER-DIETSCHÉ, P. JEHLICKA*

Gesellschaft für Kernforschung mbH, Postfach 3640, D-7500 Karlsruhe 1, Germany

** delegated from TÜV Baden*

H. STEINHILBER

Battelle Institut e.V., Postfach 900 160, D-6000 Frankfurt am Main, 90, Germany

SUMMARY

The studies being performed on the HDR are intended to verify and, if necessary, optimize with respect to earthquake effects the methods of computation for the dynamic analysis of reactor pressure vessel, piping systems, soil, equipment and fluids. The program is divided into two parts: phase I "low excitation level", and phase II "high excitation level".

Phase I is characterized by the fact that mainly a linear vibration behavior is investigated experimentally with the stresses in the structures largely remaining in the elastic range. The results of the experimental studies of phase I are available for comparison with the results of theoretical studies carried out by means of the usual linear models.

The linear computer models used in the theoretical investigations of phase I represent the multitude of variants of the present status of structural dynamic techniques now customarily applied in the licensing procedure. The individual studies have been planned so that one substructure each will be treated by different discretizations. The assessment of the boundary conditions and the influence of the mechanical-mathematical techniques are included.

The experimental studies were carried out at a low excitation level at the HDR in 1975. The test primarily serve for comparison between the calculated and the measured results. The scope, type and local range of experimental investigations are determined primarily by objectives pertaining to the theoretical studies.

In principle, three types of information are made available:

- accurate indication of the positions of the locations of measurement and excitation;
- information about the excitation;
- measured results for comparison between measurement and calculation.

Phase II relates mainly to the assessment of the non-linear vibration behavior of the structures. The experimental studies are planned to go beyond the range of purely elastic material behavior. For this reason, it may be necessary in these theoretical studies to use computer models, or to develop new ones, which allow the treatment of non-linear material behavior and non-linear geometric effects. This becomes particularly important if non-linear effects have such significant consequences that an approximate assessment of the vibration behavior by linear methods will be no longer meaningful.

The verification of methods and dynamic models by detailed comparison of calculated and experimental results is directed to

- the information about reliability of existing structural dynamic techniques and methods of measurement; the quantification of the influence of interactions between the soil and the containment structure and between the reactor pressure vessel or other circuit components and the pipes; the assignment of the techniques to their optimum fields of application;
- the quantification of the influence on the vibration behavior of the parameters of materials, soil and design structure;
- improved methods, especially for the assessment of non-linear effects.

It is expected at the end of this research program, that judgments can be made on both the most accurate and most costeffective methods to be used in seismic analysis and design.

1. Übersicht HDR-Sicherheitsprogramm

Die Erdbebenuntersuchungen werden an der HDR (Heißdampfreaktor)-Anlage im Rahmen des HDR-Sicherheitsprogrammes durchgeführt. Die HDR-Anlage ist ein 100 MW(th) Versuchsreaktor in der BRD im Raum Frankfurt. Dieser Reaktor entspricht als Typ weitgehend einem deutschen Leichtwasserreaktor Auslegungsstand 1967/68. Nach Auftreten von Brennelementschäden wurde der Reaktor stillgelegt und ist inzwischen von radioaktiven Stoffen weitgehend befreit. Das deutsche Bundesministerium für Forschung und Technologie entschied 1974 diese Anlage im Rahmen des Forschungsprogrammes "Reaktorsicherheit" zu Sicherheitsuntersuchungen heranzuziehen.

Das HDR-Sicherheitsprogramm weist folgende fünf Schwerpunkte auf:

- Zerstörungsfreie Prüfungen
- Reaktordruckbehälter- und Rohrleitungsuntersuchungen
- Blowdown-Untersuchungen
- Erdbebenuntersuchungen
- Leckratenuntersuchungen

Die besondere Bedeutung des HDR-Sicherheitsprogrammes liegt in der Möglichkeit, im Rahmen von experimentellen Untersuchungen, Anlagen, Komponenten und Systeme im Maßstab 1:1 unter den Umgebungsbedingungen eines ausgeführten Kernkraftwerkes Belastungen aussetzen zu können, wie sie der sicherheitstechnischen Auslegung dieser Strukturen zugrundegelegt werden. Dabei bietet die uneingeschränkte Freigabe dieser Anlage für sicherheitstechnische Untersuchungen die seltene Gelegenheit, diese Experimente auch bis zu den tatsächlichen Grenzen der Belastbarkeit einzelner Reaktorkomponenten durchzuführen und so die vorhandenen Sicherheiten auszuloten.

2. Erdbebenuntersuchungen

2.1 Problematik

Im Rahmen des Genehmigungsverfahrens von Kernkraftwerksanlagen ergibt sich die Notwendigkeit, sicherheitstechnisch relevante Anlagenteile und Systeme gegen Erdbebeneinwirkungen auszulegen. Das bedeutet im Detail, daß die genannten Anlagenteile bzw. Systeme konstruktiv so gestaltet bzw. eingebaut sein müssen, daß sie neben den Haupt- und Zusatzlasten und den festgelegten Störfallfolgelasten auch Lasten aufnehmen können, die aus Erdbebeneinwirkungen resultieren. Während die Belastungen der Strukturen aus Haupt- und Zusatzlasten im Normalfall mit Methoden der Statik und Elastomechanik ermittelt werden können, sind für die Erfassung des Strukturverhaltens nach Schwingungsanregungen (seismische Einwirkungen, Flugzeugabsturz, Blowdown, Betriebsschwingungen usw.) dynamische Verfahren erforderlich.

Für die Berechnung des dynamischen Verhaltens idealisierter Schwingungssysteme (Balken, Mehrmassensysteme, Schalenstrukturen usw.) steht eine große Anzahl von Computerprogrammen zur Verfügung. Dies gilt besonders für lineare Probleme.

Um die realen Bauteile eines Kernkraftwerkes einer solchen Berechnung zugänglich zu machen, müssen diese idealisiert, d.h. auf rechentechnisch er-

faßbare Schwingungssysteme (Modelle) abgebildet werden. Diese Modellabbildung und Diskretisierung beeinflussen entscheidend die Rechenergebnisse.

Bei so komplizierten Strukturen wie Kernkraftwerken können Randbedingungen und Geltungsbereiche, wie z.B. Einspannungen, Spiele, Reibungen, Elastizitäten, Dämpfungen, Nichtlinearitäten usw., nur schwer im vollen Umfang richtig erfaßt werden. Außerdem ist es wegen der begrenzten Kapazität von Großrechenanlagen und aus Kostengründen zwangsläufig notwendig, die zu betrachtenden Strukturen zu vereinfachen.

Wichtig ist daher eine sachgerechte Optimierung von Modellabbildungen, die einerseits den Erfordernissen der Beschreibung des dynamischen Verhaltens entsprechen, andererseits aber auch eine unnötig feine Auflösung der Strukturen (Überdiskretisierung) unter dem Aspekt der Fehlerfortpflanzung und der Kosten vermeiden soll.

2.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Die "Erdbebenuntersuchungen" am HDR dienen der Überprüfung und gegebenenfalls der Optimierung eingeführter Rechenverfahren zur dynamischen Analyse des Schwingungsverhaltens von Kernkraftwerksanlagen im Hinblick auf Erdbebeneinwirkungen.

In diesem Zusammenhang werden folgende Strukturen des HDR rechnerisch und experimentell auf ihr Eigenschwingungsverhalten und ihr Schwingungsverhalten bei Fremdanregung hin untersucht.

- Gesamtkonstruktion (GK)
(Gebäude mit Einbauten und Boden)
- Reaktordruckbehälter (RDB)
- Rohrleitungen (RL)

Die Meßergebnisse und Rechenergebnisse werden dann einander gegenübergestellt. Als Ziel dieser Vergleiche werden folgende Ergebnisse erwartet:

- Aussage über die Zuverlässigkeit der vorhandenen strukturdynamischen Verfahren und Meßmethoden zur Erfassung des Schwingungsverhaltens von Strukturen in Kernkraftwerken, Quantifizierung des Einflusses von Wechselwirkungen zwischen Boden- und Gesamtkonstruktion sowie zwischen RDB oder anderen Kreislaufkomponenten und Rohrleitungen; Zuordnung der Verfahren zu ihrem optimalen Aussagebereich
 - Quantifizierung des Einflusses der Kenngrößen von Material, Boden und Konstruktion auf das Schwingungsverhalten
 - verbesserte Verfahren, insbesondere zur Erfassung nichtlinearer Effekte
- Zielsetzung und Vorgehensweise sind in Abbildung 1 schematisch dargestellt.

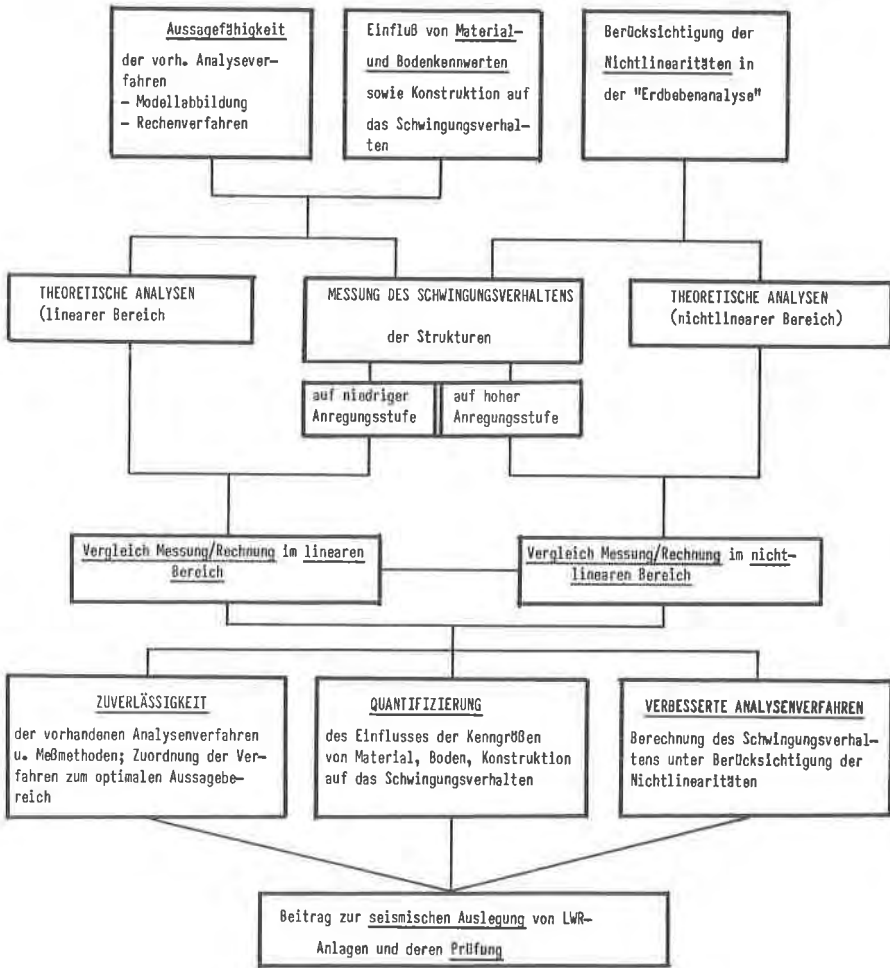


Abb. 1 Programmschema des Forschungsvorhabens "Erdbebenuntersuchungen"

Sowohl aus strukturdynamischen Überlegungen heraus, als auch aus planungstechnischen Gründen wurden die Untersuchungen in eine Phase I mit niedrigen Schwingungsanregungen und in eine Phase II mit hoher Anregung unterteilt.

Phase I ist dadurch gekennzeichnet, daß bei den experimentellen Untersuchungen vornehmlich ein lineares Schwingungsverhalten untersucht wird, wobei naturgemäß die Beanspruchung der Strukturen weitgehend im elastischen Bereich bleiben. Die Ergebnisse dieser experimentellen Untersuchungen der Phase I sollen für den Vergleich mit den Ergebnissen der theoretischen Untersuchungen bereitgestellt werden, welche unter Benutzung der üblichen linearen Modelle durchgeführt werden.

In Phase II soll vornehmlich die Erfassung des nichtlinearen Schwingungsverhaltens der Strukturen untersucht werden, wobei bei den experimentellen Untersuchungen auch der Bereich des rein elastischen Materialverhaltens überschritten werden wird. Gegebenenfalls müssen daher bei den theoretischen Untersuchungen Rechenmodelle eingesetzt und zum Teil neu entwickelt werden, die nichtlineares Materialverhalten und nichtlineare geometrische Effekte zu behandeln gestatten. Dies wird besonders dann notwendig, wenn sich die nichtlinearen Effekte so signifikant auswirken, daß eine näherungsweise Beurteilung des Schwingungsverhaltens über lineare Methoden nicht mehr sinnvoll ist.

Sowohl die Zielsetzung als auch die Planungen zur Vorgehensweise wurden, ausgehend von einem Untersuchungsprogramm des IRS [2] von GfK und Battelle Frankfurt, in mehreren Ausarbeitungen [1], [3] spezifiziert.

3. Durchführung der Untersuchungen

3.1 Schwingungsmessungen in Phase I

Kernpunkt der Untersuchungen sowohl in Phase I als auch in Phase II sind die Vergleiche des gemessenen und errechneten Schwingungsverhaltens der HDR-Anlage. Über diese Vergleiche sollen die vorgesehenen Ziele erreicht werden, die wichtige Teilprobleme im Rahmen der seismischen Auslegung von Kernkraftwerken darstellen. Voraussetzung sowohl für die Vergleiche als auch für eine koordinierte rechnerische Verfolgung des Schwingungsverhaltens der Anlage ist die Planung und Durchführung von Sicherheitsmessungen. Da bei diesen Experimenten nicht von Erdbebenanregungen ausgegangen werden kann, wurden sinnvolle künstliche Schwingungsanregungen und zugehörige Schwingungsmessungen innerhalb und außerhalb des HDR vorgesehen [4]. Hierbei wurde darauf geachtet, daß bei diesen Versuchen sowohl die bei Erdbeben typischen Frequenzbereiche, als auch die für das strukturdynamische Verhalten charakteristischen Größen der untersuchten Anlage erfaßt werden. Die Anregung erfolgt in Phase I und II durch Unwuchterreger (Shaker), Rückschnellversuche (Snap back) und verdämmte Explosionen im Boden.

Um die lineare Charakteristik, die den Berechnungen der Phase I zugrundeliegt, soweit möglich auch in den Meßergebnissen zu erhalten, erfolgten die zugehörigen experimentellen Untersuchungen bei möglichst niedriger Anregungshöhe. Obwohl diese Anregungen nicht unmittelbar mit Erdbebenanregungen vergleichbar sind, ermöglichen sie in besonders guter Weise die bei der seismi-

schen Auslegung von Kernkraftwerken zur Zeit üblichen Analysemethoden (lineare Schwingungsmodelle) zu verifizieren.

Hierbei bildeten die Messungen mit Shakeranregung den Schwerpunkt der experimentellen Untersuchungen, da sie sowohl eine vollständige Übersicht über das Eigenschwingungsverhalten als auch Lastfälle für die Berechnung des Schwingungsverhaltens bei Fremdanregung liefern. Mit Shakeranregung wurden untersucht: Gesamtkonstruktion, Reaktordruckbehälter, Umwälzschleife und Primärkreis einschließlich Heißdampf- und Satteldampfumformer sowie die Kopplungen zwischen den genannten Substrukturen. Rückschnellversuche wurden an beiden Rohrleitungssystemen durchgeführt. Sie ermöglichen einen schnellen Überblick über die Lage der Eigenfrequenzen und die Dämpfungswerte und liefern zum Vergleich mit der Rechnung einen Lastfall mit unperiodischer Anregung und großem Spektralgehalt.

Die Explosionsversuche sind vom Typ der Anregung her erdbebenähnlich, ihr Spektrum ist jedoch gegenüber einem natürlichen Beben zu höheren Frequenzen verschoben. Sie liefern wesentliche Aussagen über die Kopplungen Boden - Bauwerk und Bauwerk - Komponenten. Als Lastfall eignen sie sich insbesondere für den Vergleich der verschiedenen mechanisch-mathematischen Modelle.

Gemessen wurden Beschleunigungen an der Gesamtkonstruktion (bei den Explosionsversuchen auch im Boden), den Rohrleitungen und den Komponenten sowie Dehnungen an Rohrleitungen und Komponenten.

3.2 Untersuchungen zur Erfassung des Schwingungsverhaltens mit linearen Rechenmodellen in Phase I

Die bei den theoretischen Untersuchungen der Phase I verwendeten linearen Rechenmodelle repräsentieren den derzeitigen Stand der strukturdynamischen Verfahren, wie sie im Genehmigungsverfahren in Deutschland üblich sind. Innerhalb dieses Rahmens existiert jedoch in Bezug auf den Lösungsweg eine Vielzahl von Variationsmöglichkeiten, die teils bedingt sind durch die in den einzelnen Rechenprogrammen für die Diskretisierung einer Struktur zur Verfügung stehenden Elementtypen und die Art der numerischen Lösungsverfahren, teils durch die vom bearbeitenden Ingenieur zu treffenden Entscheidungen über die Art der Modellabbildung und den Auflösungsgrad der Diskretisierung. Die Einzeluntersuchungen sind so angelegt, daß jeweils eine Substruktur mit unterschiedlicher Diskretisierung zu behandeln ist, wobei die Erfassung der Randbedingungen mit einbezogen ist. Außerdem wird der Einfluß des mechanisch-mathematischen Verfahrens erfaßt.

Rechnerisch wird das Eigenschwingungsverhalten und das Schwingungsverhalten bei Fremdanregung ermittelt. Die Anregungsgrößen für die Berechnung der erzwungenen Schwingungen werden i. a. als experimentell ermittelte Werte eingegeben, um rechnerische Fehler auf dem Übertragungsweg von der Anregungsstelle bis zum Anfang der zu untersuchenden Substruktur auszuschalten. Die geforderten Berechnungsgrößen (Bewegungsgrößen und Spannungen) sind so festgelegt, daß die rechnerischen mit den experimentellen Ergebnissen verglichen werden können.

Die theoretischen Untersuchungen werden unabhängig von den experimentellen Untersuchungen durchgeführt, d.h. teilweise als Vorausberechnungen der Experimente und teilweise in Unkenntnis der Versuchsergebnisse.

Auf dieser Basis wird ein Vergleich der Ergebnisse der experimentellen und analytischen Untersuchungen durchgeführt. Er stellt das Kernstück der Verifizierung der analytischen Methoden zur seismischen Auslegung dar.

Folgende Untersuchungen sind in diesem Zusammenhang vorgesehen:

1. Vergleich Messung/Rechnung bezüglich Eigenschwingungsverhaltens:
Da bei den Untersuchungen der niedrigen Anregungsstufe von linearen Modellen ausgegangen werden kann, ist eine experimentelle und theoretische Ermittlung des Eigenschwingungsverhalten sinnvoll. Außerdem stellt die Berechnung der Eigenschwingungen die Grundlage zur Ermittlung des Schwingungsverhaltens bei Fremdanregung mittels modal analysis dar. Der Vergleich Messung/Rechnung bezüglich des Eigenschwingungsverhaltens ermöglicht weitgehende Rückschlüsse auf die Güte des benutzten Analysemodells und auf die Übereinstimmung verschiedener der Rechnung zugrunde gelegter Kenngrößen mit der Wirklichkeit.
2. Vergleich Messung/Rechnung bezüglich Schwingungsverhalten bei Fremdanregung: Die Fremdanregung der betrachteten Systeme auf verschiedene Art und von unterschiedlichen Orten aus ermöglicht durch die Beurteilung des jeweiligen Schwingungs- und Spannungsverhaltens der untersuchten Substrukturen eine Beurteilung und Wertung von Kopplungen, Analyseverfahren und speziellen Diskretisierungen.
3. Rechnungen mit Parametervariationen: Durch spezielle Parameterrechnungen bzw. Rückrechnungen aus Versuchsergebnissen sind weitere Aussagen zur Quantifizierung von Kenngrößen möglich.
4. Vergleich Messung/Rechnung der resultierenden örtlichen Spannungen: Zusätzlich zu den Problemen der Dynamik soll - ebenfalls durch Vergleich Messung/Rechnung - die Ermittlung der Auswirkungen der Schwingungen in "ungestörten" Querschnitten und Querschnittsübergängen bis hin zur resultierenden örtlichen Spannung überprüft werden.

In Abbildung 2 sind Details der vorgesehenen Verifizierungen in Phase I systematisch dargestellt.

In den einzelnen Spalten ist in Zuordnung zu den vorgesehenen Analysen gekennzeichnet:

- Die für die Vergleiche zur Verfügung stehenden Meßorte ("Meßbereiche")
- Die im Einzelfall besonders hervorzuhebenden Schwerpunkte ("Untersuchungsschwerpunkte")

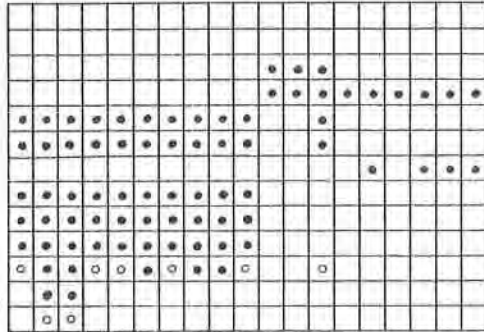
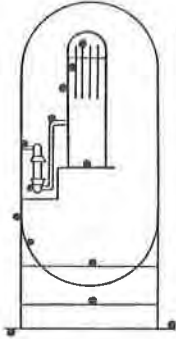
Zu den einzelnen Abschnitten dieser Darstellung gelten folgende Gesichtspunkte:

Meßbereich

In Zuordnung zu der Skizze sind im Prinzip diejenigen Bereiche gekennzeichnet, an denen Meßergebnisse für die vorgesehenen Vergleiche Messung/Rechnung vorliegen. Die eingetragenen Kreise bedeuten das Vorhandensein von Meß-

Meßbereiche

- Brennelem. Brennelemente
- fluide fluide
- RDB + RL RDB
- Rohrleitungen Rohrleitungen
- RL Aufl.pkte RL Aufl.pkte
- RDB Stanzarge RDB Stanzarge
- Komponenten
- Außenschale Außenschale
- Bauwerk innen
- Zwischendecke
- Sohlplatte
- Boden freifeld
- Sprengert



Untersuchungsschwerpunkte

Vergleich Einzelrechnung - Messung

- Feder-Masse-Systeme
- Ebene Finite Elemente
- Räuml. Finite Elemente
- Math. kond. RFE
- Balkenelemente
- Membranelem., Schubwände
- Rot.-symm. Schalelem.
- Schalen-, Vol.-Elem.
- Schalen-, Vol.-El.sehr fein
- Math. kond. RFE
- Stark math. kond. RFE
- Balkenelemente
- Schalelemente
- Balkenelemente grob
- Balkenelemente fein
- Starrkörper
- Feder-Masse-Systeme
- Balkenelemente
- Abstrahlung Boden
- Boden - Bauwerk
- Bauwerk - RDB
- RDB - RL
- Bauwerk - RL
- RL - Komp.
- Bauwerk - Komp.
- Leistungsfähigkeit des Rechenverfahrens
- FFT
- Dir.Integr.

Leistungsfähigkeit der Modellabbildung
Art der Auflösung in Elemente
RDB
Bauwerk
EP
Rand- und Kopplungsbedingungen

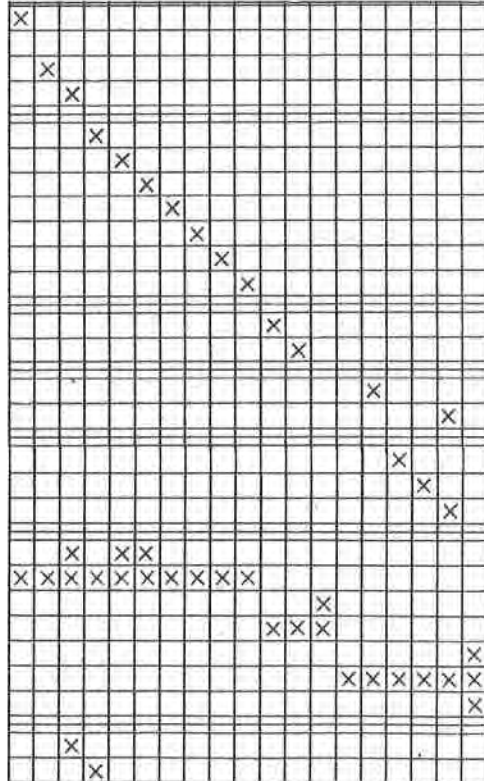


Abb. 2 Meßbereiche und Untersuchungsschwerpunkte in Phase I

ergebnissen bei Sprenganregung, die zur Eingabe als Anregungsfunktion bei den theoretischen Untersuchungen vorgesehen sind.

Untersuchungsschwerpunkte

Jede Einzeluntersuchung (d.h. jede Spalte) hat unterschiedliche Untersuchungsschwerpunkte, die hier gekennzeichnet sind. Im Rahmen der Vergleiche von Einzeluntersuchungen und Meßergebnissen erstrecken sich diese Schwerpunkte einerseits auf die unerschiedlichen Möglichkeiten der Auflösung von Strukturen in Elemente und andererseits auf die Anwendung von sinnvollen Rand- und Kopplungsbedingungen. Ebenso werden unterschiedliche Rechenmethoden benutzt. Insgesamt ergeben sich hieraus Aussagen über die Leistungsfähigkeit der gebräuchlichen Analysemethoden.

Die in diesem Rahmen durchgeführten Untersuchungen ermöglichen es sowohl die Modellabbildungen zur strukturdynamischen Analyse zu optimieren, als auch den Einsatz unterschiedlicher Rechenmethoden zu bewerten. Außerdem stellt die Verifizierung in Phase I die Basis für die Untersuchungen der Phase II (Erfassung von nichtlinearen Schwingungsverhalten in Kernkraftwerksanlagen) dar.

3.3 Untersuchungen zur Erfassung des Schwingungsverhaltens unter Berücksichtigung nichtlinearer Effekte in Phase II

Die Untersuchungen auf hoher Anregungsstufe beziehen sich hauptsächlich auf nichtlineares Schwingungsverhalten. Aufgabe dieser Untersuchungen ist es, bestehende Nichtlinearitäten zu erfassen, in einem allgemein gültigen strukturdynamischen Verfahren sinnvoll zu berücksichtigen und die Art und die Abhängigkeit des nichtlinearen Verhaltens zu ermitteln.

Untersuchungsziele sind somit

- Ermittlung der Aussagefähigkeit linearer Verfahren im nichtlinearen Bereich
- Erfassung nichtlinearen Materialverhaltens von Boden, Baustoffen und Werkstoffen von Rohrleitungen und Komponenten
- Erfassung nichtlinearer Lagerungsbedingungen ("Klappereffekte" bei Rohrleitungen und Komponenten)
- Erfassung des Wasserschwappens
- Berücksichtigung von überlagerten Spannungen im Betriebszustand

Für die Ermittlung von Nichtlinearitäten im Zusammenhang mit dem Schwingungsverhalten der Strukturen werden experimentelle Untersuchungen auf hoher Anregungsstufe durchgeführt. Diese Untersuchungen bauen auf den Ergebnissen der niedrigen Anregungsstufe auf. Im Hinblick auf den Einfluß der Materialkennwerte bei hohen Beanspruchungen werden bei den Untersuchungen auf hoher Anregungsstufe im erweiterten Maße Spannungsmessungen durchgeführt. Ebenso wie bei der niedrigen Anregungsstufe sollen auch bei der hohen Anregungsstufe die Strukturen durch "Freifeldsprengungen" sowie durch Unwuchterreger (Shaker) oder gegebenenfalls durch andere Anregungsarten zu Schwingungen angeregt werden.

Bei den geplanten Versuchen mit Schwingungsanregung durch Shaker soll die Anregungsstärke etwa zehnfach so groß werden wie die Werte bei Phase I.

Diese Untersuchungen mit kontinuierlicher Schwingungsanregung bei hoher Anregung dienen hauptsächlich der Erfassung des Schwingungsverhaltens der untersuchten Strukturen in Resonanzbereichen und der Ermittlung von Dämpfungswerten in Abhängigkeit von der Anregungshöhe. In einem Prozess der Parameteridentifikation sollen in einem sinnvollen Rahmen Steifigkeiten, Dämpfungswerte und Randbedingungen der Rechenmodelle für lineare bzw. gegebenenfalls quasilineare Rechnungen etabliert werden.

Bei den Schwingungsanregungen, die im Rahmen der "Freifeldsprengungen" auf hoher Anregungsstufe erzeugt werden sollen, ist geplant, die auftretenden Belastungen bzw. Beanspruchungen der untersuchten Strukturen zu registrieren und im Vergleich hierzu mit linearen, quasilinearen und echt nichtlinearen Methoden zu berechnen. Die vorgesehenen Vergleiche sollen die Grenzen und Sicherheitsmargen bzw. die Vertrauensbereiche der genannten Analysemethoden aufzeigen.

Um die Übertragbarkeit der so verifizierten Methoden auf den Lastfall Erdbeben in Kernkraftwerken zu gewährleisten, ist geplant, mit einem - aus der Literatur bekannten - gemessenen Erdbebenzeitverlauf bzw. Bodenspektrum die Strukturen der HDR-Anlage über die verifizierten Methoden zu berechnen. Hierdurch sollen auch bei den wirklichkeitsnahen Bedingungen der gemessenen seismischen Anregung die Unterschiede in der Einschätzung der Belastungen und Beanspruchungen mit vereinfachenden linearen bzw. quasilinearen und mit nichtlinearen Rechnungen quantifiziert und gewertet werden.

4. Schlußbemerkungen

Die Experimente zur Phase I (niedrige Anregungsstufe) der "Erdbebenuntersuchungen" fanden bereits im September 1975 statt. Die zugehörigen theoretischen Untersuchungen werden bis Ende 1977, die Phase II bis 1980 abgeschlossen sein.

Die Ergebnisse der im Rahmen dieses Forschungsvorhabens durchzuführenden Messungen und Rechnungen sind zunächst anlagenspezifisch. Die als Bestandteil des Vorhabens vorgesehene Auswertung der Messungen und Rechnungen und systematische Vergleiche werden es allerdings ermöglichen, allgemeingültige Hinweise für eine sachgerechte und optimale Erfassung des Schwingungsverhaltens von Großanlagen zu geben.

Literatur

- [1] HDR-Sicherheitsprogramm - Gesamtprogramm (1975)
Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe
Projekt HDR-Sicherheitsprogramm
- [2] Pfeiffer, A.: Spezifizierung eines sicherheitstechnischen Untersuchungsprogrammes für den HDR. Einzelvorhaben: Erschütterungsexperimente zur Erdbebensimulation am HDR
Inst. für Reaktorsicherheit der TÜV e.V. Abt. Forschungsbetreuung
(1974)

- [3] Schäpermeier, E., Geiger, W., Rischbieter, F.: Erstellung der Detailspezifikation für das Einzelvorhaben "Erdbebenuntersuchungen" des HDR-Sicherheitsprogrammes
Battelle-Institut e.V., Frankfurt, Bericht RS 123/1/Ba9 (1975)
- [4] Dynamic Analysis and Earthquake Simulation Studies at the Heißdampfreaktor (HDR)
Applied Nucleonics Company, Los Angeles, Report 1083-2 (1975)
- [5] Forced Vibration Tests at the Heißdampfreaktor (HDR) using Structural Vibrators and Explosives Vol. I, II
Applied Nucleonics Company, Los Angeles, Report 1083-3 (1976)