

**KERNFORSCHUNGSZENTRUM
KARLSRUHE**

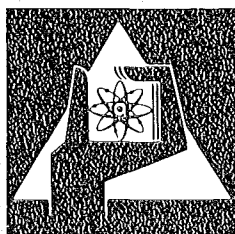
September 1975

KFK 2156

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Schneller Brüter

Akustische Messungen im KNK I-Reaktor

H.A. Rohrbacher, J. Aberle



**GESELLSCHAFT
FÜR
KERNFORSCHUNG M.B.H.**

KARLSRUHE

Als Manuskript vervielfältigt

Für diesen Bericht behalten wir uns alle Rechte vor

GESELLSCHAFT FÜR KERNFORSCHUNG M. B. H.
KARLSRUHE

KERNFORSCHUNGSZENTRUM KARLSRUHE

KFK 2156

Institut für Reaktorentwicklung
Projekt Schneller Brüter

Akustische Messungen im KNK I - Reaktor

H.A.Rohrbacher

J.Aberle

Gesellschaft für Kernforschung mbH., Karlsruhe

1. The first part of the document is a list of names and titles.

2. The second part of the document is a list of names and titles.

3. The third part of the document is a list of names and titles.

4. The fourth part of the document is a list of names and titles.

5. The fifth part of the document is a list of names and titles.

Kurzfassung

Zur Untersuchung der Einsatzmöglichkeit schallanalytischer Meßverfahren zur Siededetektion wurde der akustische Untergrund des KNK-Reaktors über einen Zeitraum von zwei Jahren gemessen, wobei die Geräuschspektren im Bereich des Reaktorplenums bei verschiedenen Betriebszuständen der Anlage ausgewertet wurden. Es konnte gezeigt werden, daß das Reaktorplenum ein ausreichendes Maß an Entkopplung gegenüber den akustischen Störquellen außerhalb des Tanks aufweist, wodurch gute Aussichten eröffnet werden, Siedegeräusche im Bereich des Cores mit Direktsensoren im Natrium-Plenum sicher aufzunehmen und in einem integralen akustischen Frühwarnsystem auszuwerten.

Zur Ermittlung des Übertragungsverhaltens von strukturgeleitetem Körperschall wurden die Resonanzgeräusche der Sekundär-Natrium-Pumpen herangezogen und mit der Signalantwort von in-pile-Sensoren verglichen. Es konnte festgestellt werden, daß der KNK-Reaktor ein ausgeprägtes akustisches Langzeitverhalten aufweist, das durch eine stetig ansteigende integrale Schallleistung gekennzeichnet ist, für die keine Beziehung, weder zur Reaktorleistung noch zur Kühlmitteltemperatur, gefunden werden konnte.

Abstract Acoustic Measurements At KNK-I Reactor

The acoustic background of the KNK reactor was measured over a two years' period in order to examine the possibilities of applying sound analytical measuring techniques in boiling detection. The noise spectra obtained within the reactor plenum were evaluated under different operating conditions. It was shown that the reactor plenum is sufficiently decoupled from the acoustic noise sources outside the vessel, which opens up good prospects for reliably recording boiling noises occurring in the core zone, using direct sensors placed in the sodium plenum, and for evaluating them in an integral early acoustic warning system.

The resonance noises of the secondary sodium pumps were used in the determination of the transfer function of sound conducted by solids and compared with the response of in-pile sensors. It was found that the KNK reactor shows a clear acoustic long-term behavior characterized by a continually rising integral acoustic intensity for which a relation could neither be found to reactor power nor to the coolant temperature.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
1. Allgemeines	1
2. Zielsetzung	1
3. Störquellen und Übertragungsfunktion	2
3.1 Akustischer Untergrund	2
3.2 Elektrischer Untergrund	4
4. Instrumentierung	4
4.1 Meßort und Sensoren	4
4.2 Datenerfassung	9
4.3 Auswertung der Signale	10
5. Meßergebnisse	11
5.1 Schall-Leistungsdichte der Natrium-Pumpen	11
5.2 Schall-Leistungsdichte am Tankauflager und im Natrium-Plenum	17
5.3 Körperschallkopplung zwischen Sekundär-Pumpen und Reaktortank	29
5.4 Übertragungsfunktion zwischen Tankauflager und Natrium-Plenum	31
6. Schlußfolgerungen und zukünftige Arbeiten	35

1. Allgemeines

Für akustische Meßverfahren bietet sich im Bereich der Reaktortechnik ein weites Einsatzfeld, das sich von der Komponentenüberwachung bis hin zur Detektion von Kühlungsstörungen erstreckt. Hierbei gewinnt die Vorstellung, ein mit einer begrenzten Anzahl von Schallsensoren ausgerüstetes, integrales akustisches Überwachungsverfahren zur Früherkennung von Kühlungsstörungen einzusetzen, immer mehr an Bedeutung. Es ist dabei denkbar, daß der Einsatz schallanalytischer, globaler Meßmethoden den Umfang der konventionellen Individual-Instrumentierung des Primärsystems zu reduzieren erlaubt. Das akustische Meßverfahren arbeitet prompt, d.h., die Zeitdifferenz zwischen dem Auftreten einer Störung und der Signalaufnahme bewegt sich im Bereich weniger Millisekunden, es zählt somit zu den schnellen Meßverfahren in einem Reaktor.

2. Zielsetzung

Zweck der am Reaktor KNK I durchgeführten akustischen Messungen war es, den typischen Schalluntergrund bei unterschiedlichen Betriebszuständen des Reaktors zu analysieren und prominente Störquellen und deren Signal-Übertragungsverhalten zu den Meßstellen kennen zu lernen.

Von zentraler Bedeutung ist dabei der akustische Störuntergrund. Daher war es das Ziel der Untersuchungen, das Geräuschkpektrum im Bereich des Reaktorplenums bei verschiedenen Lastzuständen der Pumpen und über die gesamte Aufwärmspanne des Reaktors aufzunehmen, die dabei festgestellten Störungen zu identifizieren und aus den so gewonnenen Ergebnissen eine Aussage herbeizuführen, inwieweit Siedegeräusche, resultierend aus lokalen Siedevorgängen in einem Brennelement, unter diesen Bedingungen noch sicher detektiert werden können. Hierbei wird davon ausgegangen, daß die Geräuschkpekturen bei unterschiedlichem Sieden aus out-of-pile-Experimenten hinsichtlich Intensität und spektraler Verteilung weitgehend bekannt sind, jedoch noch keine Aussagen über den akustischen Leitungsmechanismus und dessen Übergangsfunktion in einem schallphysikalisch komplexen Reaktor gemacht werden können. Insbesondere bleibt zunächst offen, welches akustische

Transfer-Verhalten das Core mit seinen Komponenten aufweist. Hierzu sind in-pile-Siedeexperimente in der KNK II nötig, deren Ergebnisse zusammen mit denen der Untergrundmessungen eine Entscheidung über die Realisierbarkeit des akustischen Siededetektions-Systems ermöglichen.

Da erwartet werden mußte, daß sich das akustische Rauschen nicht nur mit der Reaktorleistung, sondern auch langfristig verändert, wurden die Schalluntergrundmessungen über zwei Jahre durchgeführt.

3. Störquellen und Übertragungsfunktion

3.1 Akustischer Untergrund

Die Detektion von Siedegeräuschen aus dem Corebereich wird durch eine Vielzahl von akustischen Störquellen erschwert. Ursachen dieser Störungen sind Laufgeräusche von rotierenden Massen, wie Pumpen, Kompressoren oder Motorantriebe, weiterhin Strömungs- und Wirbelgeräusche des Kühlmittels in Rohren, Krümmern, Ventilen, und in Querschnittsverengungen der Pumpenein- und -auslaßöffnungen. Darüber hinaus ist das Untergrundrauschen durch stochastische Kurzzeitstörungen gekennzeichnet, wie sie beispielsweise beim Öffnen und Schließen der Schleuse entstehen. Die Störquellen sind untereinander verkoppelt und regen passive Systeme zu Schwingungen an. Der vorwiegende Schalleistungsaustausch geschieht über die Körperschalleitung. Insbesondere tragen die Stütztraversen und Querträger der Sekundärpumpen zur Schalleitung in den Sicherheitsbehälter bei. Messungen, die sowohl an den Sekundärpumpen als auch auf der Fahrbahnebene und am Tank vorgenommen wurden, bestätigen das breitbandige Übertragungsverhalten der Baukonstruktionen. Die Frage, inwieweit Siedegeräusche im Core unter diesen Bedingungen noch sicher detektiert werden können, wird letztlich von der Intensität der in das Siedespektrum fallenden Störungen, der Entkopplung der Störquellen vom Aufnehmersystem und der Übertragungsfunktion von diesem zur Siedegeräuschquelle selbst beantwortet.

Die Verhältnisse werden anhand einer schematischen Darstellung in Bild 1 wiedergegeben.

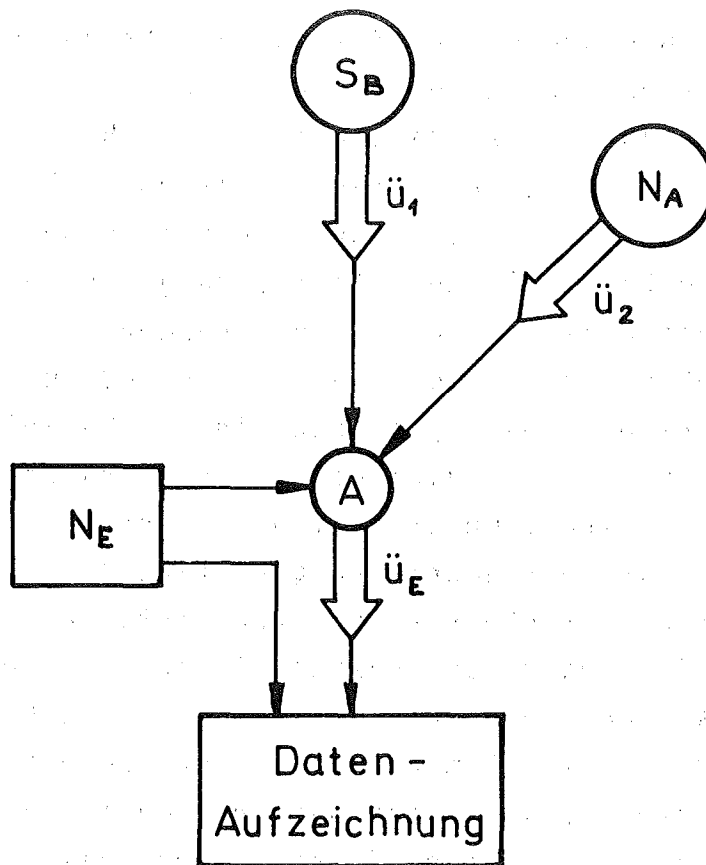


Bild 1: Signal- und Störgrößen und ihre Übertragungswege

Hierin bedeuten:

S_B = Siedegeräuschquelle, deren Schallspektrum über die bisher nicht bekannte Übertragungsfunktion \ddot{u}_1 des schallleitenden Coreverbands und Kühlmittels zu dem akustischen Sensor A gelangt.

N_A = Akustisches Untergrundrauschen, das der Aufnehmer A ebenfalls aufnimmt. Mit \ddot{u}_2 wird die Übertragungsfunktion der Störungen bezeichnet.

N_E = Elektrische Störungen, die sich den akustischen Signalen nach deren Umwandlung in analoge elektrische Größen überlagern. Durch Filter und geeignete Maßnahmen bei der Leitungsführung und Erdung kann die Übertragungsfunktion \ddot{u}_E auf der Signalseite in weitem Maße beeinflusst und für die Datenaufzeichnung optimiert werden.

3.2 Elektrischer Störuntergrund

Von besonderer Bedeutung sind die in der KNK gemessenen elektrischen Störungen N_E . Bei einer ganzen Reihe von Meßstellen lag der elektrische Anteil des Rauschens deutlich über dem des akustischen. Die beobachteten Störungen lassen sich fast ausnahmslos auf erdverschleifte Störspannungen der Pumpenantriebe zurückführen. Die Phasen-Anschnittsteuerungen haben - bei absoluten Wirkleistungen im Bereich einiger hundert Kilowatt - ein 50Hz-Impulsspektrum zur Folge, das bis zu 500 kHz nachweisbar ist. Hierbei treten Impulsspannungen in den Meßleitungen von mehreren Volt an 50Ω bei gleichzeitig vorhandenen Anstiegszeiten von wenigen Mikrosekunden auf. Der wesentliche Teil der Vorbereitungen zur Instrumentierung bestand daher darin, die Meßstellen mit batteriebetriebenen Vorverstärkern und erdungsfreien Kabelzuführungen auszurüsten. Da bereits zwischen den Kabelanschlüssen an den Schottbuchsen des Sicherheitsbehälters und der Erdung im etwa 30 m entfernten und außerhalb gelegenen Meßraum eine Potentialdifferenz bestand, mußten zusätzlich galvanische Trennverstärker eingeführt werden, die jedoch zunächst die höher frequenten Gleichtaktspannungen nicht mehr ausreichend unterdrückten. Erst eine neue Leitungsführung, die Wahl neuer Erdungspunkte sowie der Einsatz von Filtern brachten eine tragbare Ausgangsbasis für die Messungen.

4. Instrumentierung

4.1 Meßort und Sensoren

An den Primär- und Sekundär-Natriumpumpen waren teilweise mehrere Schallaufnehmer mit und ohne Koppelstäben montiert und für Einzelmessungen während der Versuchszeit mehrfach ausgetauscht oder modifiziert worden. Seit Beginn der akustischen Background-Untersuchungen waren an jeder der vier Pumpen je eine Körperschallmeßstelle mit einem Piezoaufnehmer und einer Massivkoppelstange eingerichtet worden. Bild 2 zeigt eine derartige Meßstelle an einer der beiden Sekundärpumpen.

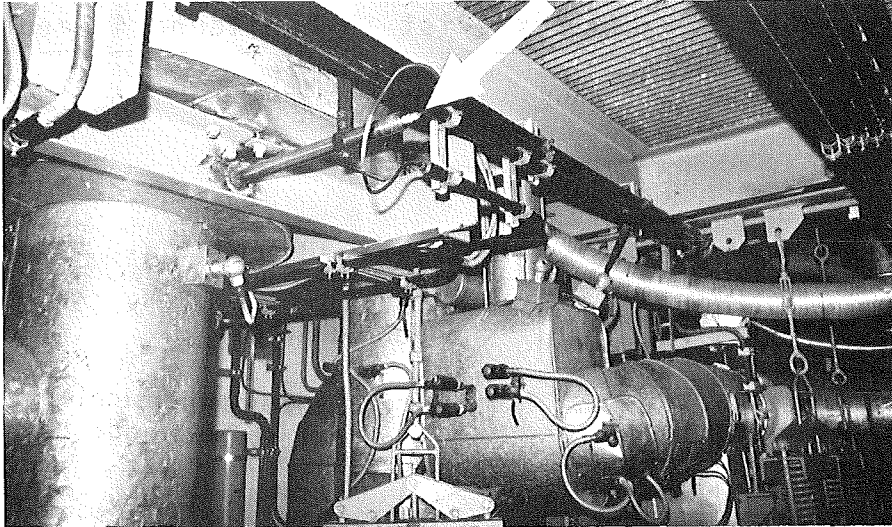


Bild 2: Körperschall-Meßstelle an der Sekundärpumpe QS2 der KNK I.
Als Aufnehmer dient ein Piezo-Beschleunigungsaufnehmer mit einer Massivkoppelstange, der für einen Frequenzumfang von 400 kHz ausgelegt ist.

An beiden Sekundärpumpen wurden weitere Meßstellen angebracht. Hierbei handelte es sich um beschleunigungskompensierte Breitband-Piezomikrofone für einen Bereich 5 Hz bis 140 kHz, Bild 3.



Bild 3: Piezo-Schallaufnehmer am oberen Stützflansch der Sekundärpumpe QS1. Mit Hilfe des Schalldruckaufnehmers wurde das akustische Pumpenspektrum mit einer Bandbreite von 140 kHz und mit einem Dynamikumfang von 56 db aufgezeichnet.

Die Anordnung und Verteilung der Meßpunkte der akustischen Untergrundmessungen in der KNK I ist in Abbildung 4 wiedergegeben.

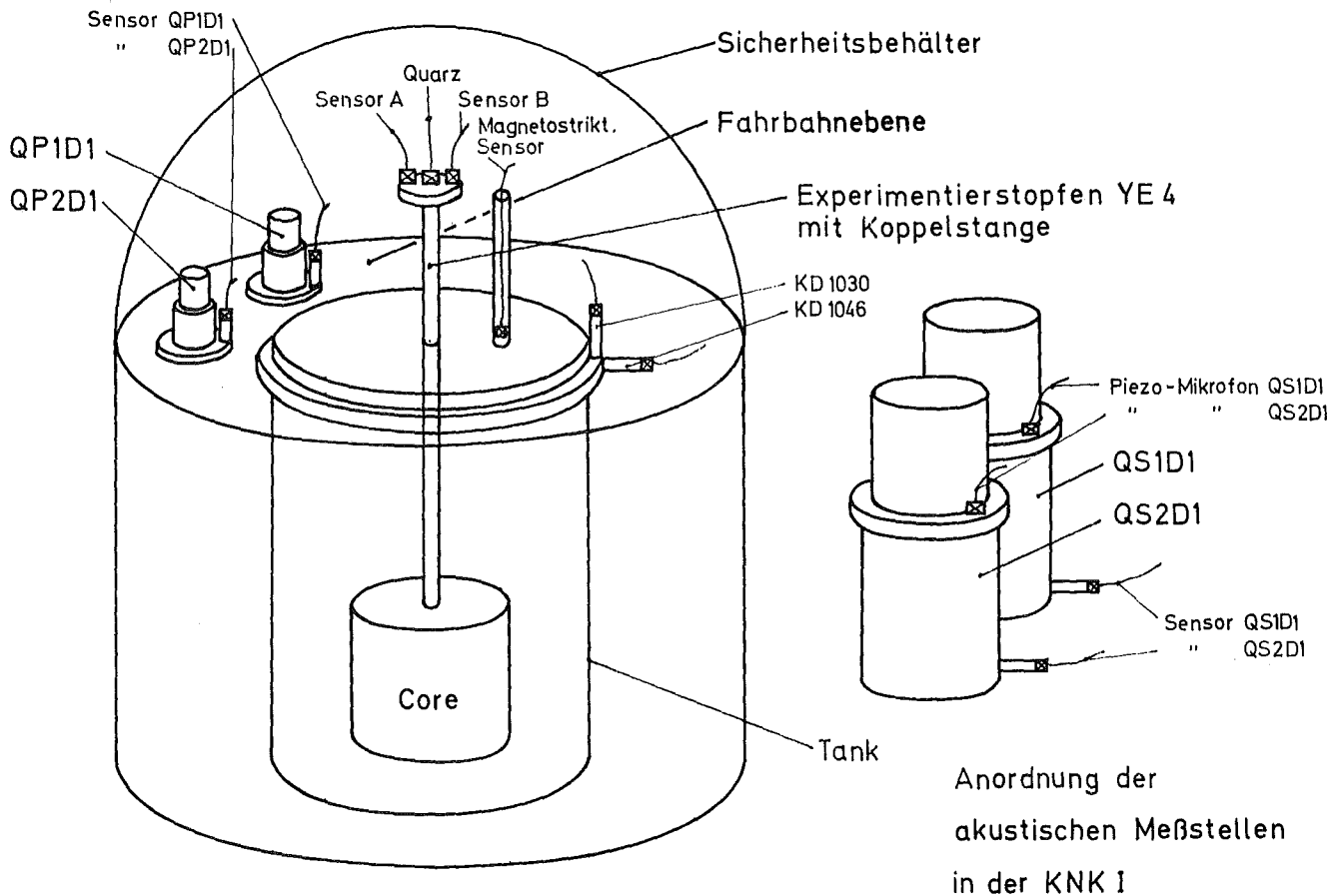


Abb. 4:

Folgende Sensoren wurden für diese Untersuchungen eingesetzt:

- Primärpumpen: je 1 Aufnehmer QP1 und QP2
- Sekundärpumpen: je 2 Aufnehmer, bestehend aus 2 Stück Beschleunigungsaufnehmer QS1 und QS2 und 2 Stück Piezo-Mikrofone QS1/Piezo-M. und QS2/Piezo-M.
- Tank: 2 Stück Beschleunigungsaufnehmer am Tankauflager KD 1030 und KD 1046 mit vertikaler bzw. horizontaler Orientierung

- Plenum: Schallkoppelstange im Stopfen YE4 mit 3 Piezosensoren, und ein im Nachbarstopfen YE3 enthaltener magnetostriktiver Aufnehmer.*

Bei der Auswahl der Sensoren für die Schallmessungen wurde davon ausgegangen, daß Schalldruckwellen zu messen waren, deren Ursache in zunächst partiellen Masse-Bewegungen mit teilweise erheblichen Bewegungsgrößen Δx zu suchen sind. Die Auslenkungen Δx an den Pumpengehäusen beträgt beispielsweise bis zu 0,2 mm, wenn Resonanzen durchlaufen werden.

Da die Schwingungsgrößen Auslenkung, Geschwindigkeit und Beschleunigung mathematisch verknüpft sind, spielt es keine Rolle, welche Größe tatsächlich gemessen wird. Die Auswahl erfolgt vielmehr nach den Gesichtspunkten der optimalen Empfindlichkeit, der Baugröße und der Bandbreite der Sensoren. Das zunehmende Interesse auch oberhalb von 10 kHz Harmonische der Resonanzen oder die Leistungsdichten von stochastischen Vorgängen erfassen zu können, führt zwangsweise zum Einsatz von sehr hoch abgestimmten Schallaufnehmern, also zu Systemen, die keine diskreten und massebehafteten Schwingungselemente aufweisen. Zu dieser Kategorie zählen die Piezowandler, die sich besonders einfach und zuverlässig zu Beschleunigungsaufnehmern großer Empfindlichkeit aufbauen lassen. Zu den besonderen Vorteilen der Piezo-Sensoren zählt, daß sie - je nach Verwendungszweck - richtungsempfindlich, also schallfeldorientiert, ausgebildet werden können. In fast allen Fällen der Siedeschall-Detektion wird mit "gerichteten" Mikrofonen zur Unterdrückung unerwünschter Störschallfelder gearbeitet werden müssen. Mit den zuvor genannten Kombinationen aus Koppelstab und Piezo-Element wurden Schallfeldöffnungswinkel von 30 Grad für -6 db ("Halbwertsbreite" = 50 % der Schallintensität) bei 1 kHz und in Stahl erreicht. Die so erzielte räumliche Entkopplung der beiden Aufnehmer KD 1030 und KD 1046 am Tankauflager beträgt 1:4 (= 12 db).

Mit Hilfe von Referenzmikrofonen und Schallpegelmessern ist es möglich, die Signale der Beschleunigungsmesser in einen eichfähigen Zustand zu überführen und den Schalldruck (in Millibar)

* Schallaufnehmer der Firma INTERATOM, Bensberg

oder die Lautstärke (in Phon) anzugeben. Mit den ausgewählten Piezo-Sensoren wurde eine Grundempfindlichkeit von $< 1 \mu\text{bar}$ bei einem Signal-zu-Rauschverhältnis von $S+N/N = 10 \text{ db}$ und bei 1 kHz erreicht. Sie arbeiteten noch linear bei 30 mbar, also bei einem Schallpegel, der in der Praxis kaum angetroffen wurde.

Die Verwendung von Piezo-Aufnehmern ist andererseits der Einschränkung unterworfen, daß die extrem hochohmigen Ladungsgeber keine beliebigen Kabellängen zulassen und geräuscharme Kabel und ladungsempfindliche Verstärker erfordern. Unter den schon beschriebenen Störungsverhältnissen bei Leitungslängen von 40 m und mehr mußte auf die Ausnützung der optimalen Empfindlichkeit der Aufnehmer zugunsten eines besseren Störabstands verzichtet werden: Alle Piezowandlerleitungen wurden mit $100 \text{ k}\Omega$ abgeschlossen und an rauscharme, batteriebetriebene Vorverstärker geschaltet. Trotz einer Empfindlichkeitseinbuße von mehr als 90 % konnte das Signal-zu-Rauschverhältnis um den Faktor 10 verbessert werden. Die absoluten Signalpegel an den Pumpen lagen mit einigen Millivolt bereits ausreichend auf der störabstandssicheren Seite. Die Widerstandsbeschaltung verbesserte außerdem die Breitbandigkeit der Aufnehmer. Die Signale der Aufnehmer der Koppeltange lagen dagegen im Mikrovolt-Bereich und wurden bei kürzester Leitungslänge über Vorverstärker auf der Fahrbahnebene hochverstärkt und zur Aufzeichnung in den Meßraum außerhalb des Sicherheitsbehälters weitergeleitet. Besonders schwierig war die Signalerfassung der beiden Sensoren am Tankauflager. Als letztere im Jahre 1972 bei noch unterkritischem Reaktor instrumentiert worden waren, lagen die elektrischen Störungen um den Faktor 100 (!) unter denen des späteren Betriebs, so daß seinerzeit keine Maßnahmen zur Signalvorverstärkung unmittelbar am Meßort vorgesehen wurden. Ein späterer Zugriff zu den 10 m langen Signalleitungen von den Sensoren bis zu den Schottdurchführungen des Sicherheitsbehälters war aus bautechnischen Gründen nicht mehr möglich, so daß Vorverstärker erst nach dieser Leitungslänge einsetzbar waren.

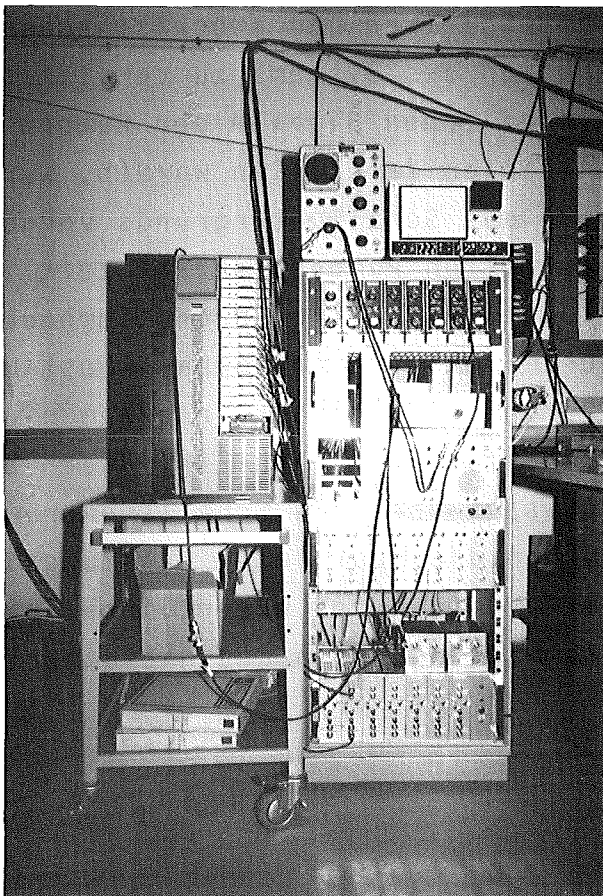
4.2 Datenerfassung

Die Aufzeichnung der elektrischen Signale erfolgte auf einem 14-Kanal-Analogbandgerät, das über eine gemischt bestückte Direktkanal-bzw.FM-Kanaleinrichtung verfügte. Das Direktkanalverfahren erlaubt, Signale mit einem Frequenzumfang von etwa 80 Hz bis 320 kHz bei einer Bandgeschwindigkeit von 60 ips aufzuzeichnen. Das FM-Verfahren gestattet dagegen Frequenzen von 0 bis 40 kHz bei einem Rauschabstand von ≥ 54 db aufzunehmen. Da einerseits nicht immer bekannt war, ob beim Durchfahren des gesamten Pumpendrehzahl-Bereichs das akustische Harmonischen-Spektrum der Laufgeräusche oder der Pumpenkavitationen 40 kHz übersteigt, andererseits der Dynamikbereich und der Störabstand beim Direktkanalbetrieb eingeschränkt waren, wurden die Signale über Trennverstärker auf beide Kanalsysteme parallel aufgezeichnet.

Unabhängig von der Magnetbandaufzeichnung wurden alle Signale auf Bildschirmen überwacht und akustisch zu Kontrollzwecken über Lautsprecher wiedergegeben (Bild 5a und 5b).

Abb. 5a:

Akustische Datenerfassungseinheit in der KNK I



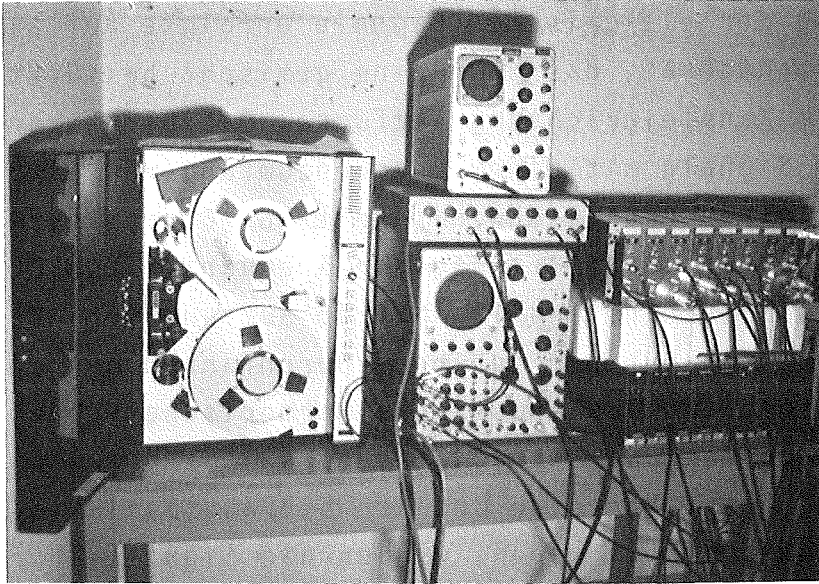


Abb. 5b: Akustische Datenerfassungseinheit in der KNK I

4.3 Auswertung der Signale

Die aufgezeichneten Daten repräsentieren das Summensignal aus Harmonischen-Spektren und stochastischen Signalen und sind als Antwortfunktion des Systems zu verstehen. Da zu erwarten war, daß die periodischen Signale der Pumpen im Rauschen herausragende Frequenzlinien darstellen würden, wurde zunächst eine Frequenzanalyse des Schalluntergrunds vorgenommen. Das bei einer fest eingestellten Pumpendrehzahl zeitlich unabhängige Frequenzspektrum konnte mit Hilfe durchstimmbarer Filter während der Messungen oder direkt vom Analogband bestimmt werden. Der akustische Untergrund wird jedoch in einem nicht zu vernachlässigenden Maße von stochastischen Einflüssen bestimmt, und um eine vollständige Aussage über das Schallspektrum des Untergrunds zu erhalten, wurden die spektralen Leistungsdichten der einzelnen Meßstellen gerechnet, deren wesentliche Ergebnisse in den folgenden Abschnitten wiedergegeben und diskutiert werden.

5. Meßergebnisse

5.1 Schalleistungsdichte der Natrium-Pumpen

Als Ausgangssignal zur Ermittlung des Übertragungsverhaltens der prominenten akustischen Störungen wurde das akustische Verhalten der Pumpen schon sehr früh (1972) untersucht und bis zur Abschaltung der KNK I im September 1974 bei praktisch allen Betriebszuständen des Reaktors verfolgt. Dabei konnte festgestellt werden, daß die Sekundärpumpen QS1 und QS2 ihr akustisches Bild mit fortschreitender Betriebsdauer änderten. Dem akustischen Langzeitverhalten dieser Pumpen wurde daher besondere Aufmerksamkeit gewidmet. Während der ersten sechs Betriebsmonate zeigte das Schall-Leistungsspektrum drehzahlabhängige und erst oberhalb der erwarteten technischen Frequenzen ausgeprägte Resonanz-Erscheinungen. Ein derartiges Verhalten konnte dagegen bei den beiden Primärpumpen QP1 und QP2 nie beobachtet werden.

Die Ergebnisse der Schallmessungen an den Sekundärpumpen aus dem Zeitraum 1972/73 wurden mit denen des Jahres 1974 verglichen und in den Abbildungen 6 bis 9 zusammengefaßt. Hierzu wurden die spektralen Leistungsdichten in logarithmischer Amplitudendarstellung bei verschiedenen Pumpendrehzahlen aufgetragen. Die Abbildungen 6 bis 9 zeigen die bis 20 kHz vorgenommene Auswertung zweier Messungen, die in einem vergleichsweise kurzen zeitlichen Abstand von nur 3 Monaten vorgenommen wurden. Die integrale Schalleistung nimmt nicht nur mit der Pumpendrehzahl zu, sondern zeigt bereits nach 100 Tagen eine Absolutzunahme von 30 % bei beiden Systemen. Im Drehzahlbereich $130 < n < 350$ U/min zeigt das Spektrum beider Pumpen die auch bei den Primärpumpen beobachtete Charakteristik eines Spektrums ohne Resonanzstellen. Die bei $n = 400$ U/min gemessene, scharfe Resonanz der QS1 bei 1,8 kHz, die sich Mitte 1974 als ein gut hörbares Pfeifen bemerkbar machte, war wenige Wochen später bei gleichen Temperatur-, Drehzahl- und Durchsatzbedingungen nicht mehr feststellbar. Eigenresonanzen traten erst bei viel höheren Drehzahlen wieder auf (Bild 10) und waren von etlichen Vielfachen (Harmonischen) bis in den Bereich 10 kHz begleitet.

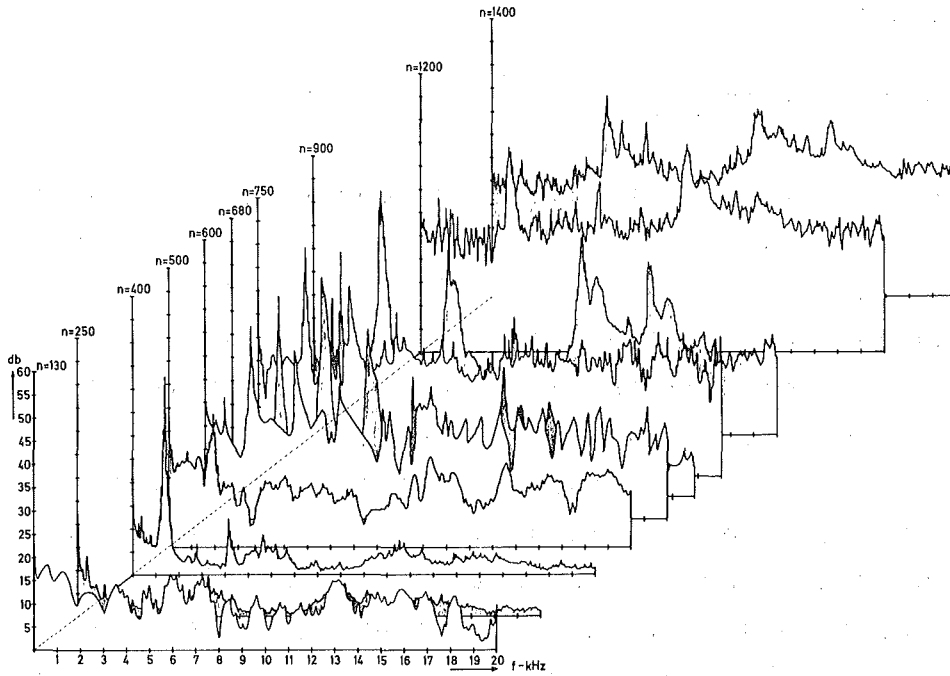


Abb.6: Akustisches Leistungsspektrum der Sekundärpumpe QS-1 im Juni 1973. Auffallend hohe Resonanzspitzen werden bei einer Drehzahl $n = 400$ U/min im Bereich 1,8 kHz mit 35 db über dem Mittelwert des Rauschens gemessen. Bei höheren Pumpenleistungen mit $n > 550$ U/min werden Vielfache von 2 kHz gemessen; gleichzeitig nimmt die integrale Schallleistung zu.

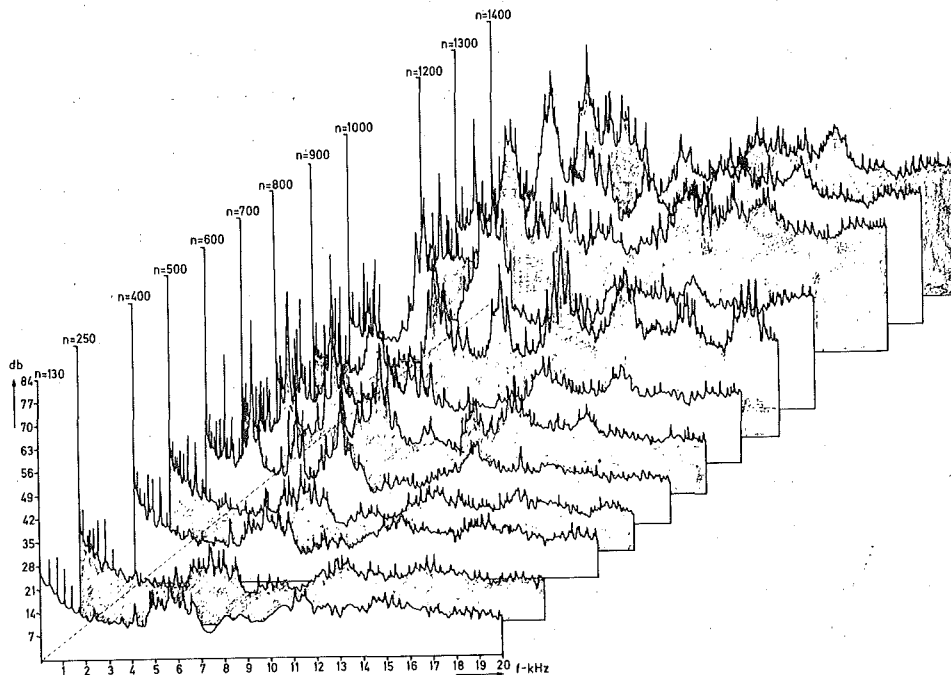


Abb.7: Akustisches Leistungsspektrum der Sekundärpumpe QS-1 im September 1973 unter vergleichbaren Betriebsbedingungen wie zu Bild 10, nach 3 Monaten erneut aufgezeichnet. Die integrale Schalleistung hat um 30 % zugenommen.

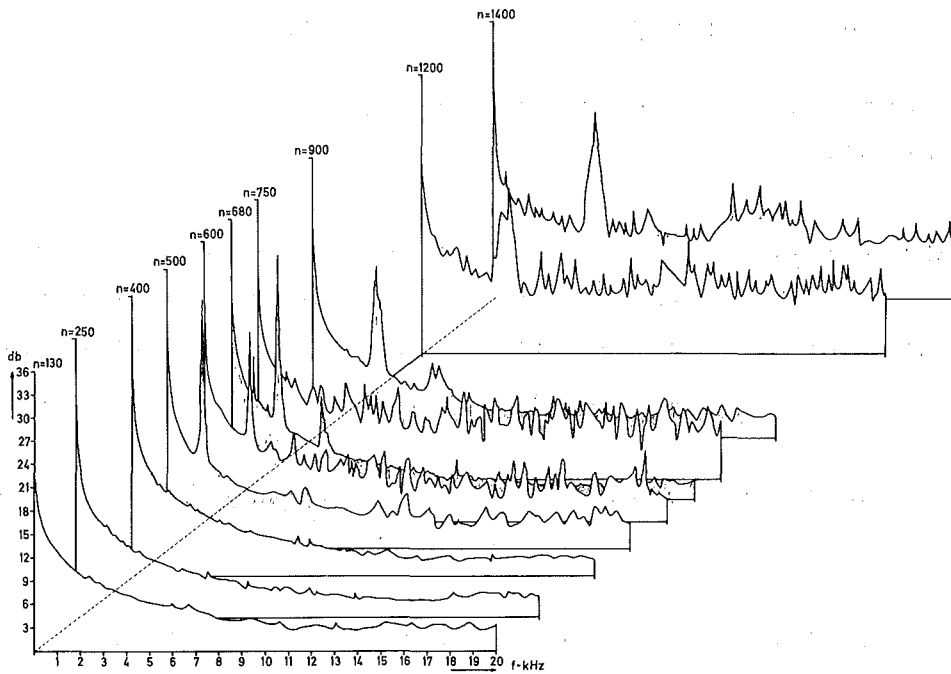


Abb.8: Schalleistungsspektrum der Sekundärpumpe QS-2 im Juni 1973. Ab 500 U/min treten scharfe Resonanzspitzen im akustischen Spektrum auf, die einem bis zu 100-fachen Schalldruck über dem Mittelwert des Rauschens entsprechen. Die Resonanzfrequenzen sind mit der Pumpendrehzahl verknüpft, treten jedoch erst im Bereich 1,8 kHz und darüber auf.

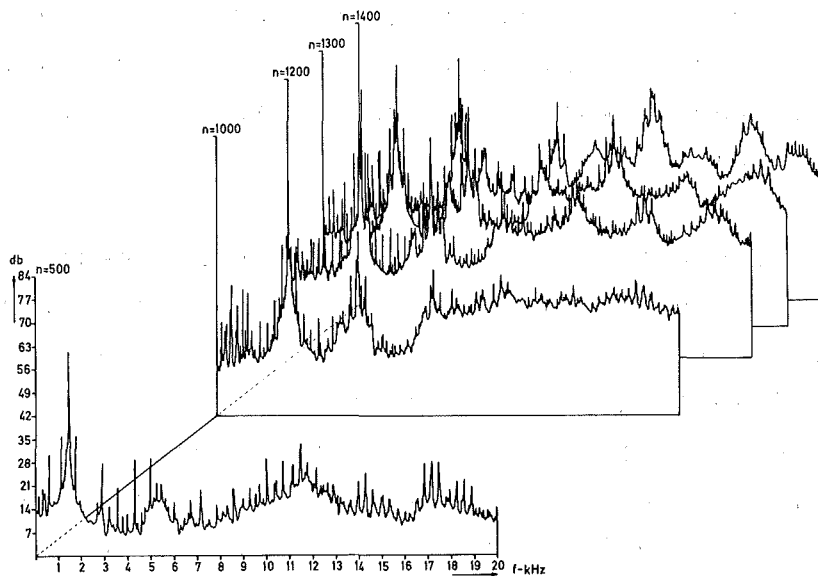


Abb.9: Akustisches Leistungsspektrum der Sekundärpumpe QS-2 im September 1973. Die Betriebsbedingungen der Pumpe entsprechen denen der Messungen zu Bild 8, doch hat die integrale Schalleistung nach 3 Monaten stark zugenommen - man beachte den Amplitudenmaßstab -, zusätzliche Veränderungen im Spektrum können ebenfalls beobachtet werden.

Die Untersuchungen zeigen ein wichtiges Ergebnis:

- Das Geräuschkpektrum aller Natriumpumpen ist nahezu unabhängig von der Kühlmitteltemperatur.
- Die integrale Schalleistung ist nur von der Pumpendrehzahl abhängig. Da den einzelnen Laststufen des Reaktors entsprechende Pumpendrehzahlen zuzuordnen sind, sind Geräuschkpektrum und integrale Schalleistung von der Reaktorleistung abhängige Größen.
- Das Störspektrum der Sekundärpumpen zeigt langzeitliche Veränderungen.
- Das Störspektrum der Primärpumpen ist ohne Zeitverhalten.

Die Ursache der Resonanzen und der Pfeifstellen ist weitgehend unbekannt. Da weder die mit der Anzahl der Flügel oder Blätter multiplizierten Laufzahlen, noch die Eigenschwingungen der großen Massen und Geometrien der Pumpenkomponenten zahlenmäßig in den Frequenzbereich der Resonanzstellen fallen, kann nur vermutet werden, daß es sich um Reibgerausche oder Schwingungen der Lager handelt. Für das in der zweiten Hälfte des Drehzahlbereichs beobachtete Ansteigen der Gesamtschalleistung im Ultraschallbereich, insbesondere zwischen 40 kHz und 90 kHz, tragen zusätzlich Kavitationsgerausche bei.

Während die QS-1 schon sehr früh als eine herausragende, breitbandige Störquelle identifiziert wurde, waren - trotz vergleichbarem Resonanzverhalten- die Störungen der QS-2 zunächst von untergeordneter Bedeutung. Zu Beginn des Jahres 1974 nahm die integrale Schalleistung der QS-2 mit etwa 4%/Monat zu; diese Pumpe wurde damit bis zum Ende der KNK-I-Betriebszeit zu einer prominenten, akustischen Störquelle des Reaktors. In Abb.10a bis d ist die autokorrelierte, akustische Leistungsdichte der QS-2 bei fünf verschiedenen Drehzahlen im oberen Leistungsbereich wiedergegeben. Die Frequenzen der Leistungsspitzen zeigen ein vorwiegend harmonisches Verhältnis, wobei die ungeraden Harmonischen die höhere Leistungsdichte aufweisen. Das Verhältnis der Leistungsdichten und die Aquidistanz der Resonanzstellen kommt

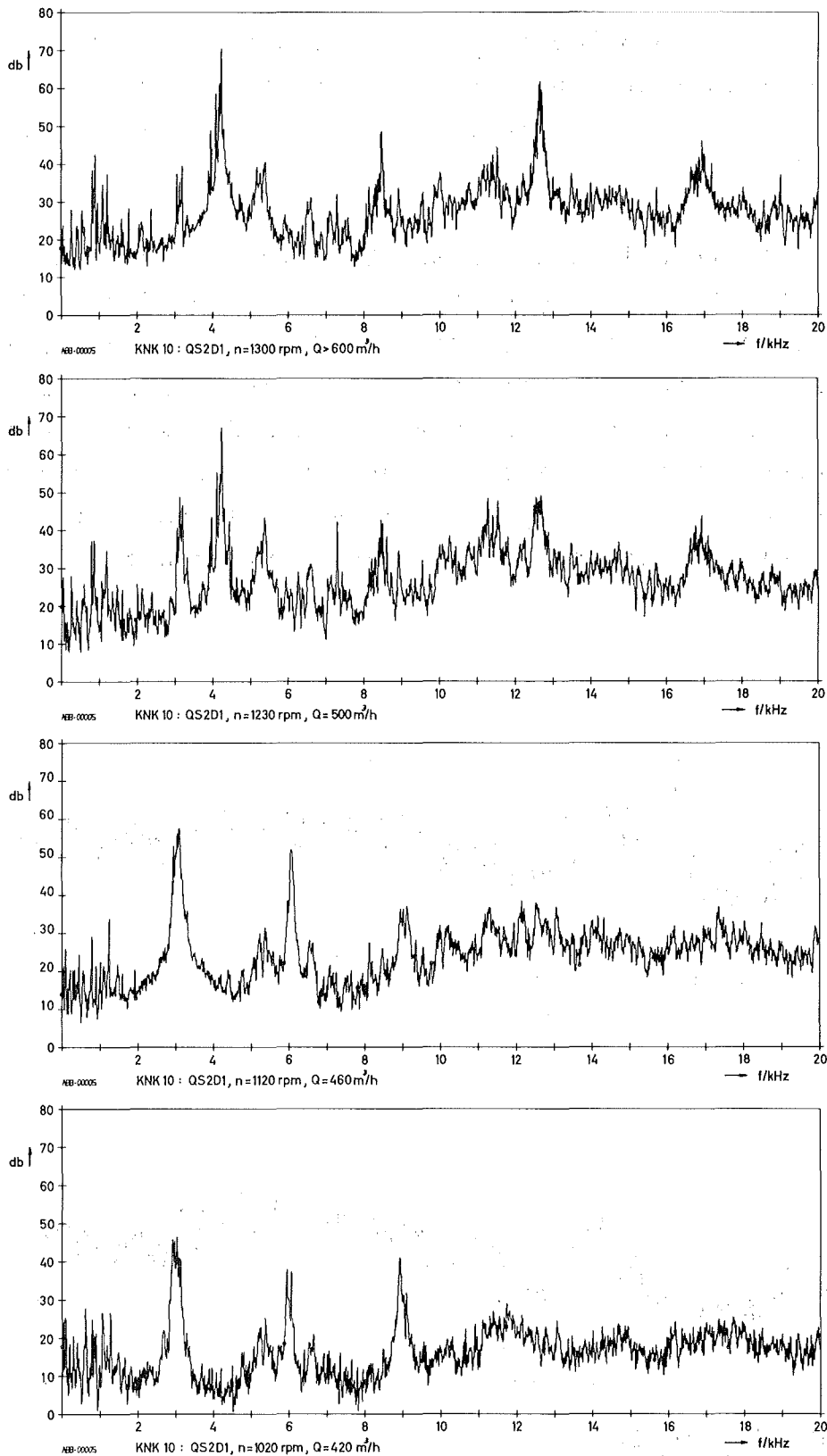


Abb. 10: Autokorreliertes akustisches Leistungsspektrum der KNK-Sekundärpumpe QS-2 im oberen Drehzahlbereich.
Frequenzbereich: 0 - 20 kHz
Leistungsdichte im logarithmischen Maßstab.
Meßdatum: 21.2.1974
Reaktorleistung: 81,6 %
Meßstelle: Koppelstab am Unterteil der Pumpe/Stütztraverse

besonders in den Bildern 10 a), c) und d) zum Ausdruck. So treten z.B. Resonanzen bei einer Pumpendrehzahl $n = 1300$ U/min bei 4250, 8500, 12750 und 17000 Hz auf, d.s. ganzzahlig Vielfache von 4250 Hz.

Das Kurzzeitverhalten der Pumpe QS-1 war im letzten Viertel des Drehzahlbereichs im Gegensatz zu den übrigen Pumpen durch das Auftreten einer Resonanzspitze bei 3950 Hz in unregelmäßigen Zeitabständen gekennzeichnet. Die beiden Bilder 11 und 12 zeigen akustische Leistungsdichten ein und derselben Meßstelle bei konstanten Betriebsparametern der Pumpen und bei gleicher Reaktorleistung. Die Messungen erfolgten in einem Abstand von 26 min und bei einem unterschiedlichen Resonanzverhalten.

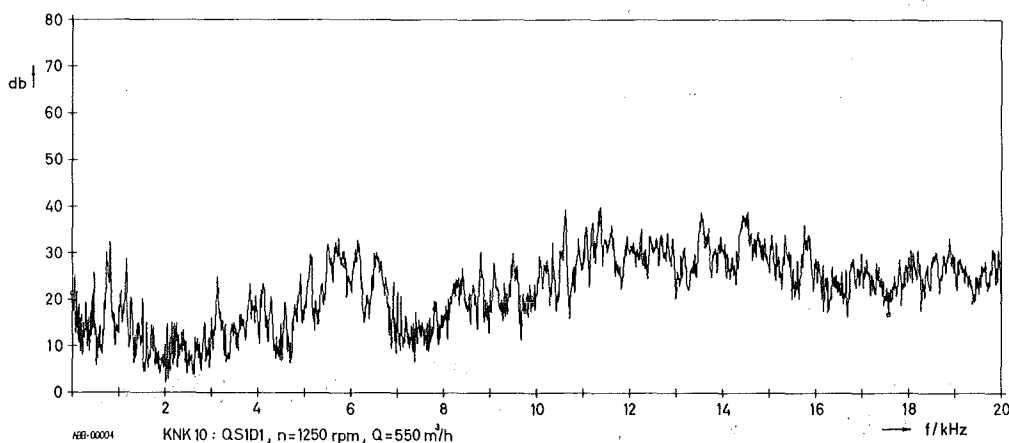
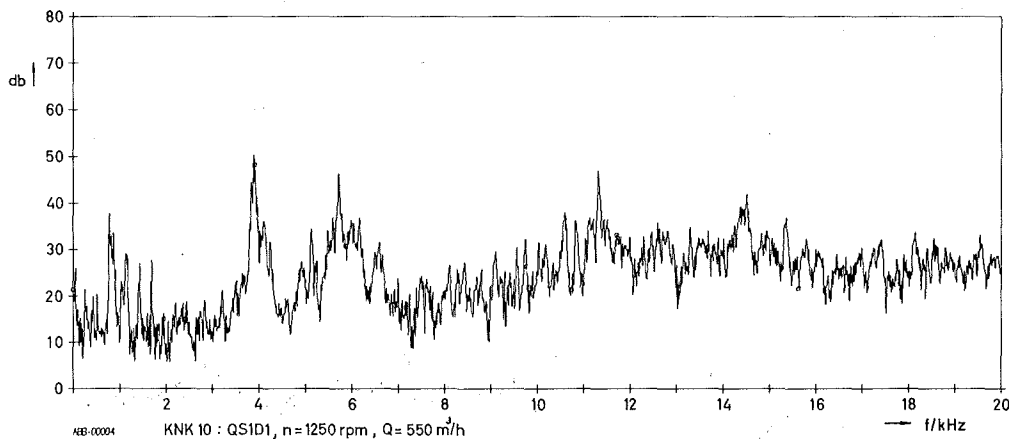


Abb. 11 und 12:

Akustisches Kurzzeitverhalten der Natriumpumpe QS-1

Parameter:

- n_{P1} = Drehzahl der Primärpumpe QP1
- n_{P2} = Drehzahl der Primärpumpe QP2
- n_{S2} = Drehzahl der Sekundärpumpe QS2
- N_R = Reaktorleistung

Frequenzbereich: 0 bis 20 kHz

Meßstelle: Koppelstab/Unterteil der Pumpe

Die akustischen Leistungsdichten der beiden Sekundärpumpen QS-1 und QS-2 sind in Abb.13 und 14 enthalten und beziehen sich auf jeweils 14 verschiedene Einstellungen der Pumpendrehzahlen, wobei beide Pumpen stets identische Drehzahlen aufwiesen. Die Ausweitung erfolgte bis 40 kHz und zeigt erst in der zweiten Hälfte des Drehzahlbereichs ($n > 700$ U/min) ein rasches Ansteigen der spektralen Dichte oberhalb 2 kHz bei gleichzeitiger Tendenz zu Resonanzerscheinungen (Meßstelle QS1D1 mit Koppelstab und Piezotransducer).

Das Schalleistungsspektrum des am oberen Tragflansch der QS1 und 6 m von der Meßstelle QS1D1 entfernten Breitbandmikrofons "Piezo" (Bild 13) unterscheidet sich dadurch, daß scharfe Eigenresonanzen bei 21,3 kHz bereits schon im Drehzahlbereich ab 131 U/min auftreten, die dann bei $n > 885$ U/min wieder abrupt ausbleiben.

Die Meßstelle "Piezo" befindet sich in der Höhe der Antriebskupplung von Motor- und Pumpenwelle, so daß alle Schwingungen und Reibgeräusche unmittelbar erfaßt wurden. Weder Amplitude noch Frequenzlage dieser Resonanzen sind von der Drehzahl bis 783 U/min abhängig. Resonanzen treten bei 1,8 kHz auf, es folgen Vielfache davon bis 9 kHz, deren Ursache weitgehend unbekannt ist.

5.2 Schalleistungsdichte am Tankauflager und im Natrium-Plenum

Wie schon erwähnt, dienten die Sekundärpumpen als Schallgeber, wobei über die Drehzahleinstellung verschiedene Schallspektren vorgegeben werden konnten. In der Bildzusammenstellung, Abb.15 und 16, ist das Ergebnis von acht verschiedenen Meßstellen wiedergegeben. Bild 15 zeigt zunächst die Zeitfunktionen dieser Meßstellen: Die oberen drei Schriebe beziehen sich auf den Transducer im Natrium "Magneto.Aufn." und auf die 5,2 m lange Koppelstange ("Quarz" und "Sensor B"), die beiden mittleren Kurven ("KD1030" und "KD1046") beziehen sich auf die Meßstellen am Tankauflager, während die drei unteren Kurven die Signale der bereits schon erwähnten und in Bild 4 gezeigten Schallaufnehmer an den Sekundärpumpen darstellen. Besonders auffällig ist das

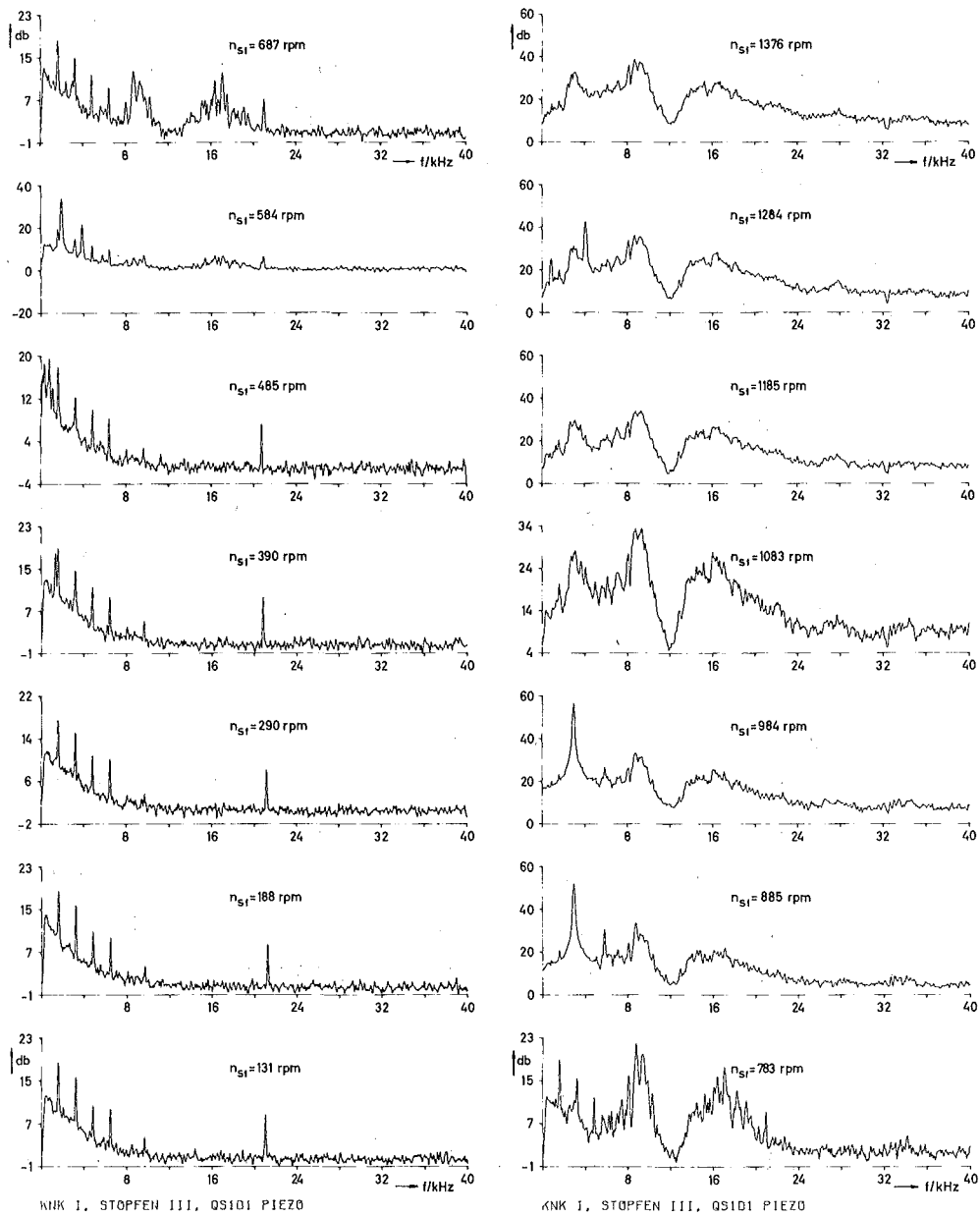


Bild 13: Akustische Leistungsdichten der Sekundärpumpe QS-1 für 14 verschiedene Drehzahlen bei abgeschaltetem Reaktor.
Ordinate: logarithmischer Maßstab,
Abszisse: Frequenz 0 bis 40 kHz.

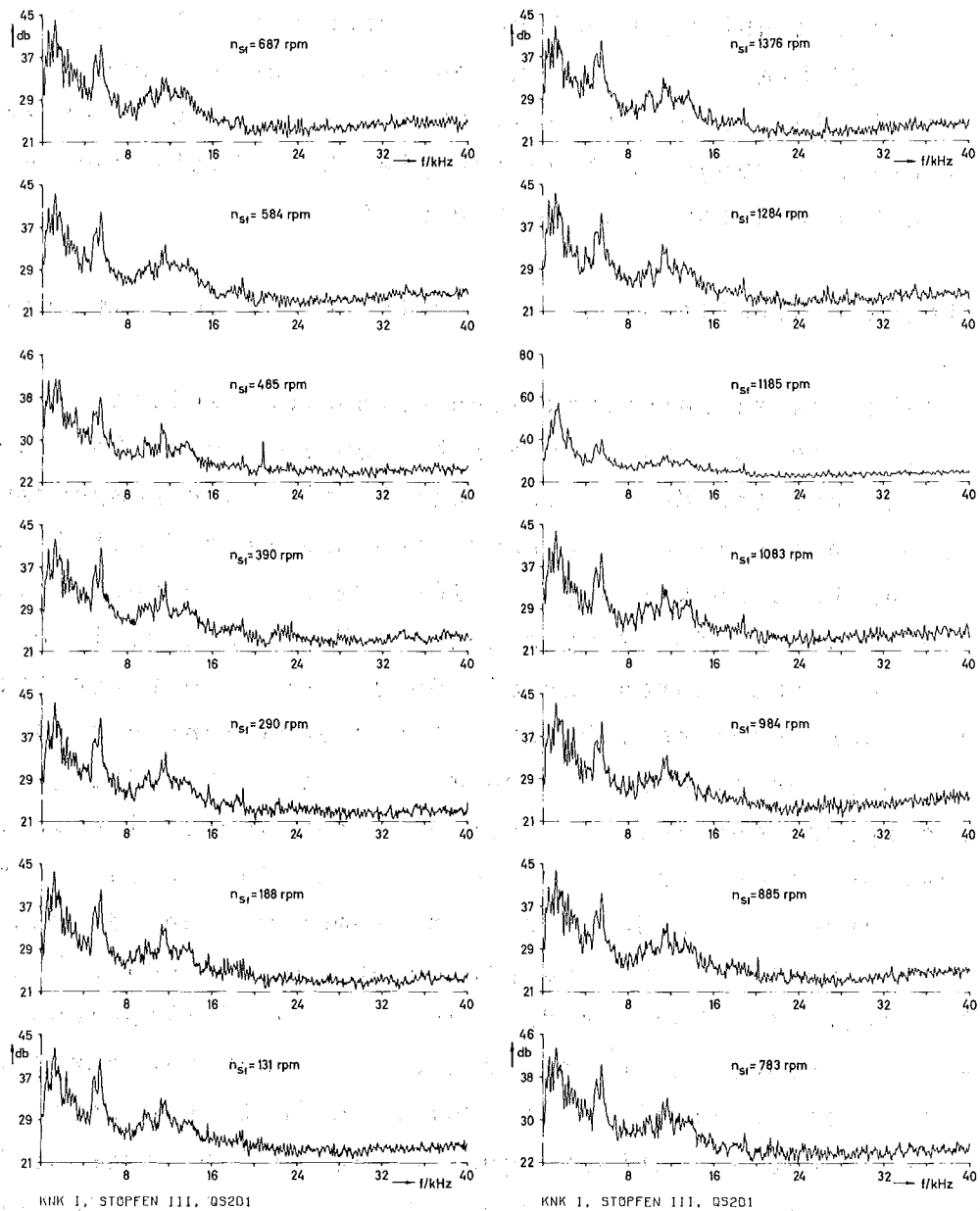


Bild 14: Akustische Leistungsdichten der Sekundärpumpe QS-2 bei abgeschaltetem Reaktor.
Ordinate: logarithmischer Maßstab,
Abszisse: Frequenz 0 - 40 kHz.

Signal der Meßstelle QS2D1, das Schwebungen enthält, die durch die geringfügig unterschiedlichen Pumpendrehzahlen QS1 = 702 U/min und QS2 = 689 U/min zurückzuführen sind. Abb.16 zeigt in einer Gegenüberstellung die Zeitfunktionen und das entsprechende auto-korrelierte Leistungsspektrum der gleichen akustischen Meßstellen bei einer Reaktorleistung von 92 %.

Die integrale Schalleistung erreichte bei diesem Lastzustand ein Maximum.

Die Signale des magnetostriktiven Aufnehmers zeigen eine ähnliche spektrale Verteilung wie die der beiden am oberen Ende der Koppelstange angebrachten Meßstellen. Der Einfluß der Pumpengeräusche auf diese, in das Natrium-Plenum eingebrachten Meßstellen ist gering; das Kreuzspektrum (Bild 16a) weist eine Entkopplung zwischen den Signalen der Pumpen und der Koppelstange in einem Maße auf, das gute Aussichten für die Detektierbarkeit von Natriumsieden im Core eröffnet. Dabei ist der Schalluntergrund, der sich dem Wellenleiter im Reaktorplenum anbietet, über die gesamte Leistungsspanne des Reaktors von gleicher spektraler Verteilung. Der Schallpegel des Spektrums, das bis zu 40 kHz ausgewertet wurde, verändert sich dabei nur im Rahmen weniger db und zeigt, daß - im Gegensatz zu den Pumpen untereinander und allen Körperschallmeßstellen außerhalb des Tanks - eine Entkopplung von -40 db vorliegt. Es konnte auch erwartet werden, daß die horizontal gerichtete, also in Richtung der Pumpen orientierte Körperschallmeßstelle KD1046 am Tankauflager teilweise Pumpengeräusche aufnehmen, im übrigen jedoch ein von diesen Schallquellen weitgehend gedämpftes Signal liefern würde.

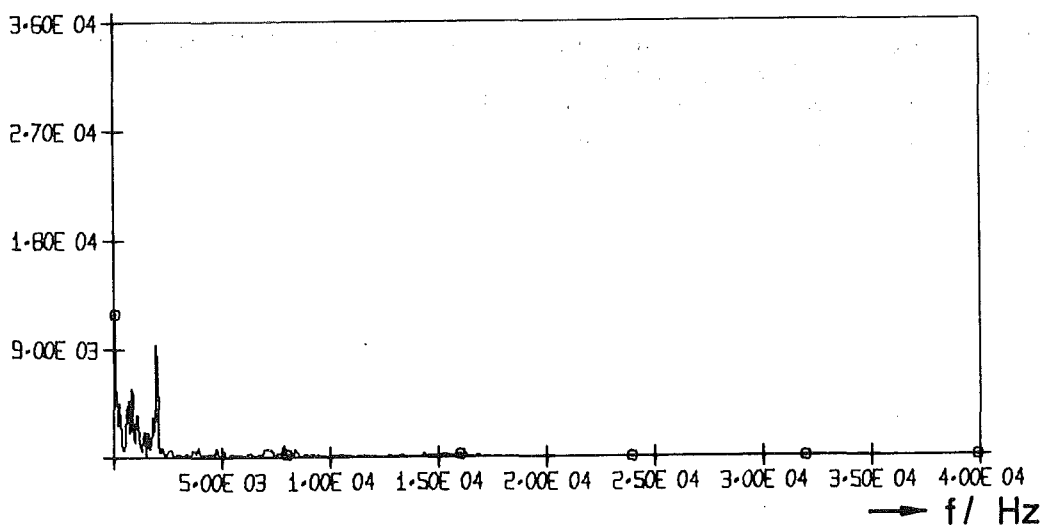


Abb. 16 a) KNK I, Stopfen III, Kreuzkorr. QS1D1x Sens. B

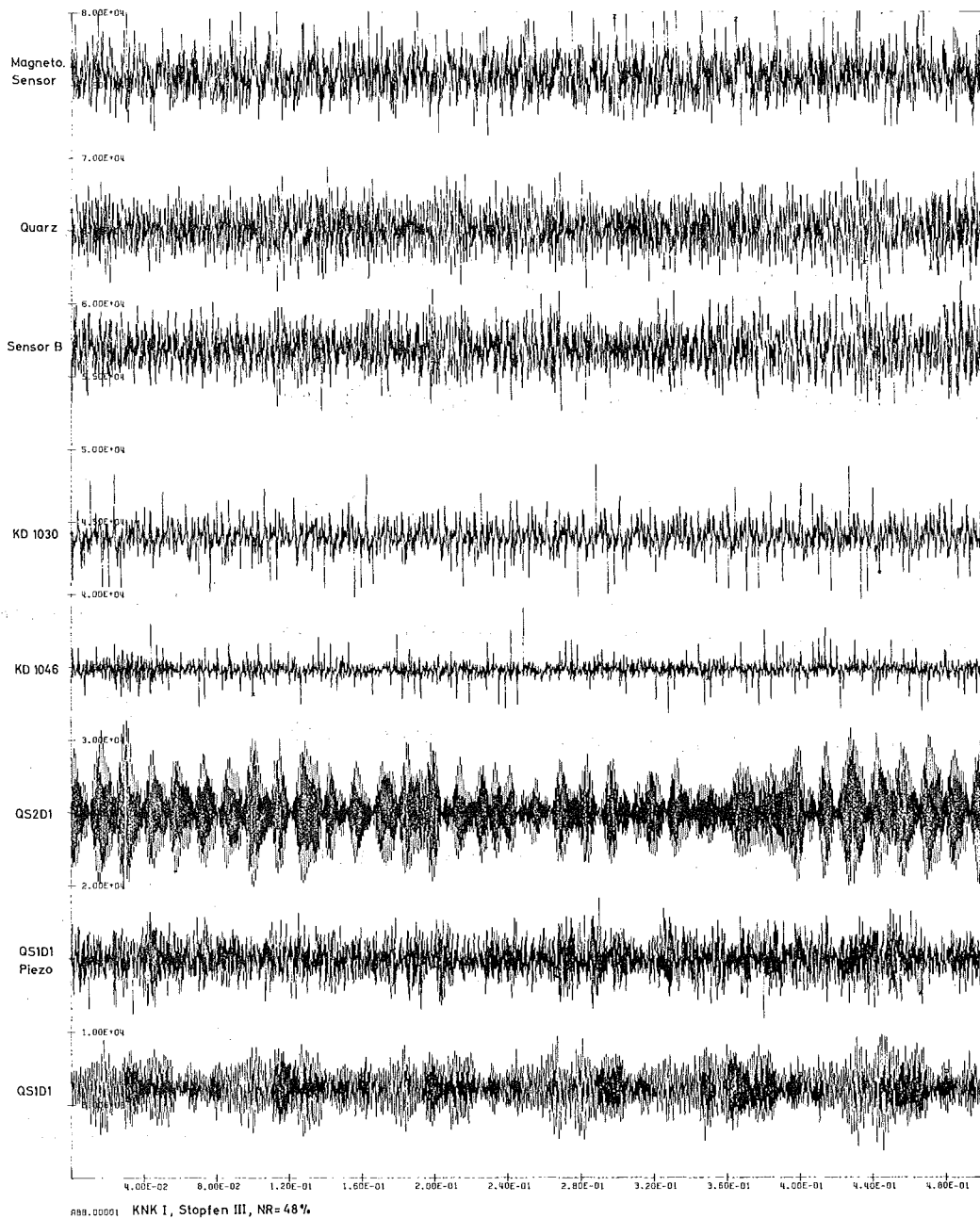


Bild 15: Zeitfunktionen der Schallsignale von acht verschiedene Meßstellen in der KNK I
Reaktorleistung = 48 %

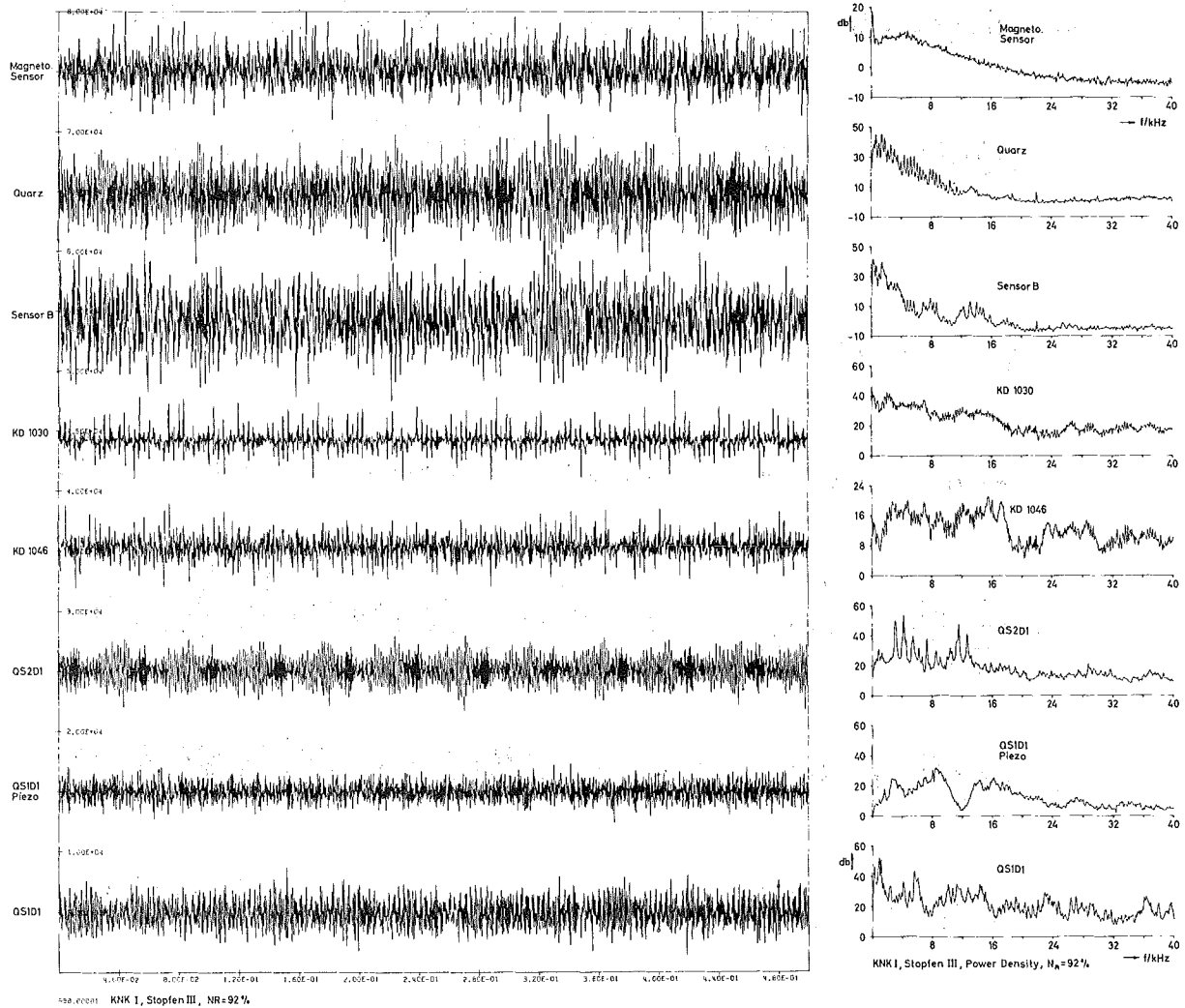


Bild 16: Zeitfunktion und autokorrelierte akustische Leistungsdichte von acht Meßstellen im KNK I - Reaktor bei einer Reaktorleistung $N_R = 92 \%$.

In den Abbildungen 17 und 18 sind die autokorrelierten Leistungsdichten für die genannten acht Meßstellen zusammengefaßt, wobei Ausschnittdarstellungen für die Reaktorleistungen 48, 61, 74 und 71 % gewählt wurden. Die in vertikaler Richtung sensierende Meßstelle KD 1030 am Tankauflager bevorzugt Signale aus dem Bereich der Tankeinbauten. Bei dem gemessenen Entkopplungsgrad von über -40 db von den Pumpengeräuschen liefert diese Meßstelle daher eine spektrale Leistungsdichteverteilung, die derjenigen der im Tank und im Plenum eingebrachten Meßstellen entspricht. (Vergleich der jeweils oberen 4 Kurven in den Abbildungen 17 und 18).

Bei Reaktorleistungen zwischen 65 und 69 % wurde mehrfach beobachtet, daß die Sekundärpumpe QS1 im Gebiet ausgeprägter Eigenresonanzen arbeitete. Bild 19 zeigt in einer Gegenüberstellung die autokorrelierten Leistungsdichten der akustischen Meßstellen bei den Reaktorleistungen 65 und 69 %. Auffällig ist dabei das Resonanz-Spektrum der Pumpenmeßstelle QS1D1 bei $N_R = 65$ %, während bei 69 % Leistung der Resonanzbereich schon verlassen wurde (bei unteren Kurven). Betrachtet man dagegen die oberen vier Auswertungen, so ist keine Beeinflussung durch die Pumpenschallquelle festzustellen.

Wie aus den Abbildungen 17 bis 19 entnommen werden kann, besteht praktisch kein Zusammenhang zwischen der integralen Schalleistung der Meßstellen im Reaktortank und der Reaktorleistung. Auch der Aufbau des Schallspektrums zeigt sich weitgehend unbeeinflusst von der Reaktorleistung (jeweils obere vier Kurven). Wird jedoch der Reaktor abgeschaltet ($N_R = 0$ %), so zeigt sich ein deutlicher Unterschied der spektralen Schalleistungsdichte: Die Pumpen stehen, und die Natrium-Geschwindigkeit erreicht - von Naturkonvektionsströmungen abgesehen - den Nullwert. So entstehen auch keine Strömungsgeräusche an den Blenden und deren Verstellereinrichtungen. Abb.20 zeigt den Unterschied der Leistungsdichten der akustischen Signale bei $N_R = 63$ % und bei Reaktorstillstand ($N_R = 0$ %) für die Meßstellen im Tank (Kurven f, g und h).

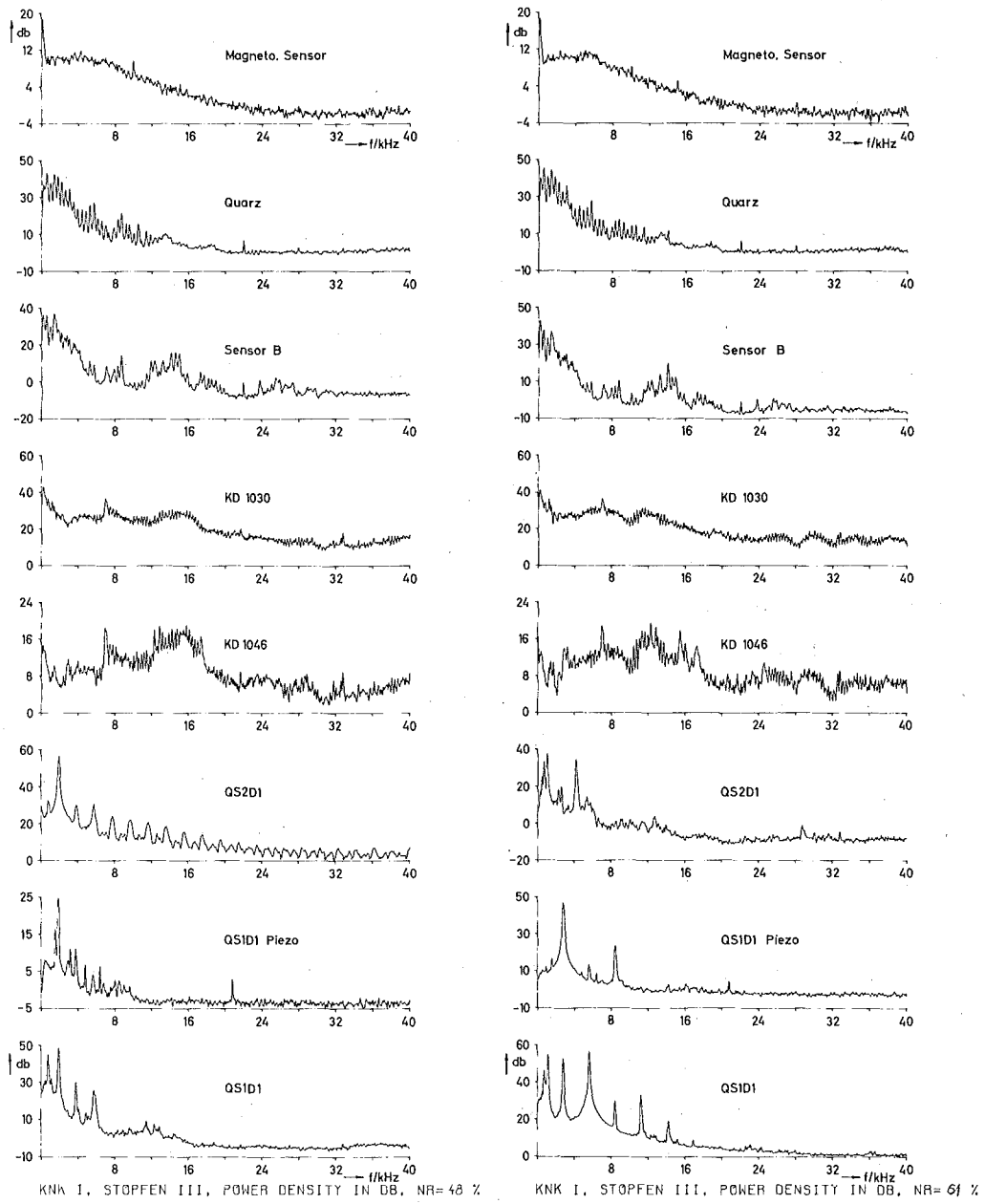


Abb.17: Autokorrelierte Schalleistungs-Dichten von acht Schallmeßstellen in der KNK I
Reaktorleistung: $N_R = 48$ und 61 %

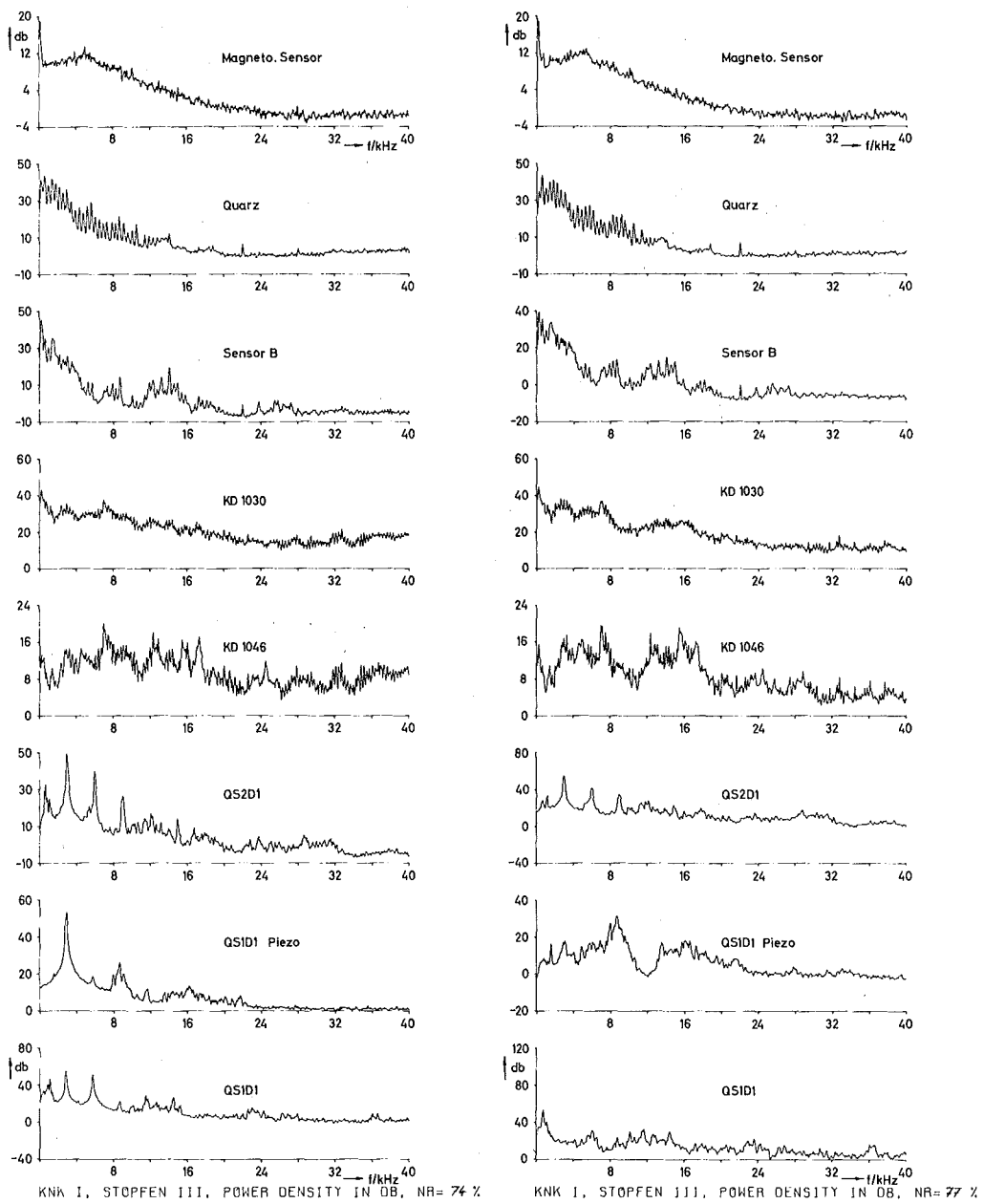


Abb.18: Autokorrelierte Schalleistungs-Dichten von acht Schallmeßstellen in der KNK I
Reaktorleistung: $N_R = 74$ und 77 %

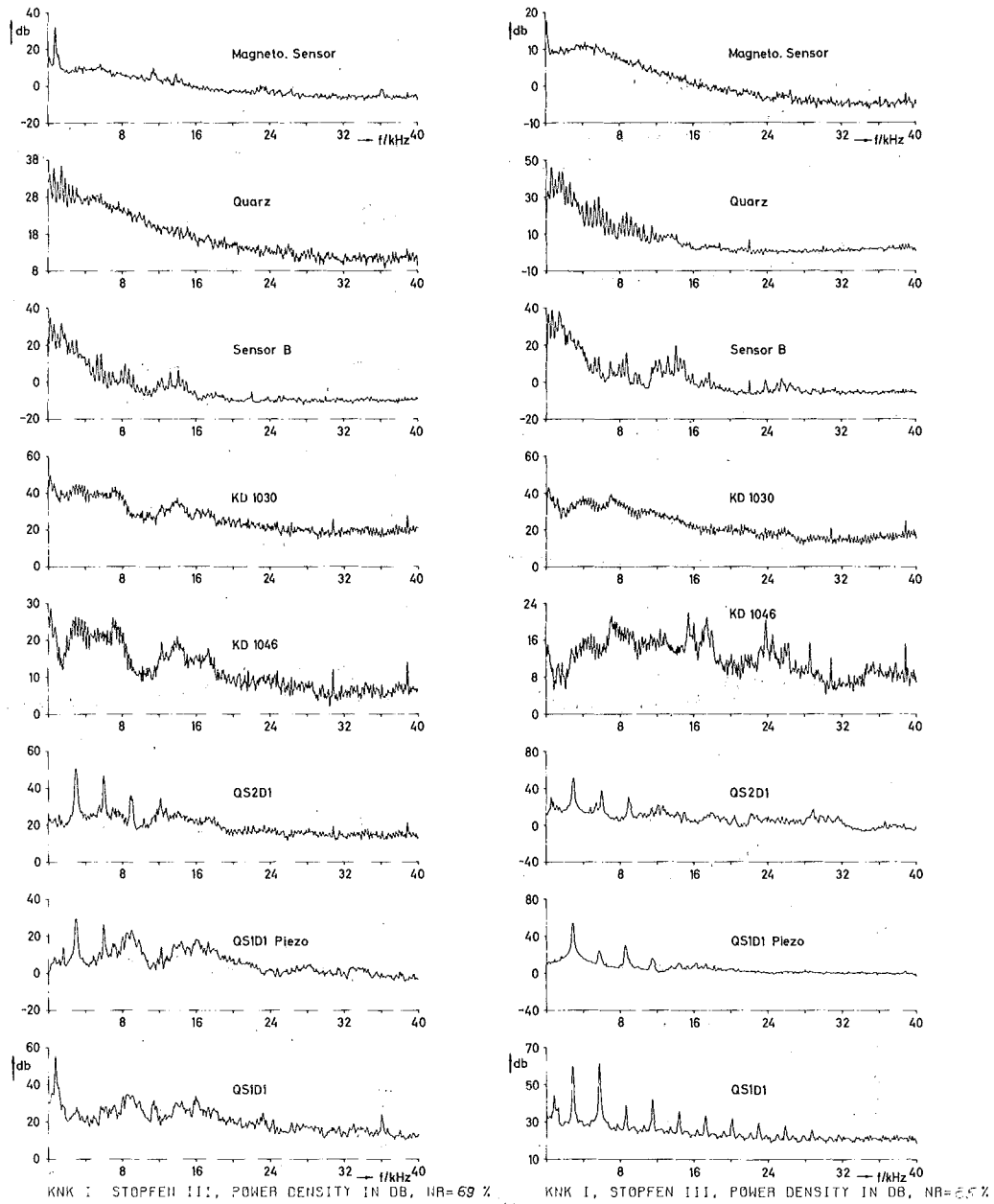
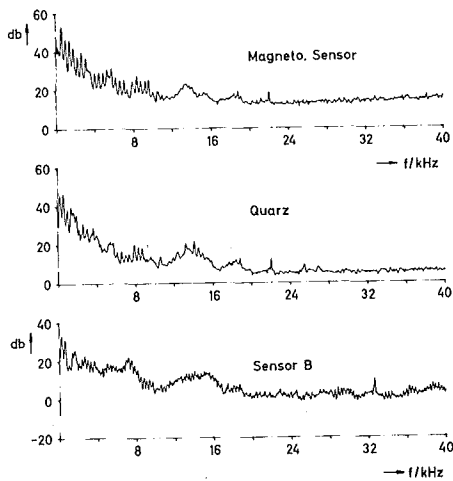
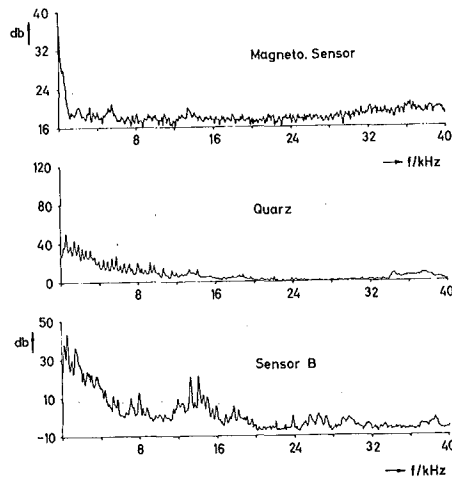


Abb.19: Schalleistungsdichte von 8 akustischen Meßstellen bei Betrieb der Sekundärpumpe QS1 im Bereich der Eigenresonanzen ($N_R=65\%$) und außerhalb des Resonanzbereichs ($N_R=69\%$)



$N_R = 65 \%$



$N_R = 0 \%$ Reaktor-Stillstand

Abb.20: Autokorrelierte Leistungsdichten bei Lastbetrieb und bei Reaktor-Stillstand für die drei akustischen Meßstellen im Reaktorplenum

Der Geräuschuntergrund im Bereich des Reaktorplenums wurde mit Hilfe des 5,2 m langen Schallwellenleiters an der Meßstelle "Sensor B" gemessen und bei unterschiedlichen Pumpendrehzahlen ausgewertet. Als Parameter wurden die Drehzahlen der beiden Pumpen QS1 und QS2 im Bereich 131 bis 1376 U/min gewählt. Die Aufzeichnungen wurden innerhalb 25 min vorgenommen, um zeitgebundene Einflüsse auf die Reaktorakustik auszuschließen.

In Bild 21 sind die einzelnen Schall-Leistungsdichten zusammengefaßt. Die spektrale Leistungsdichte-Verteilung im Bereich 0 bis 40 kHz erweist sich dabei als nahezu unverändert und bestätigt die gute Störrentkopplung von den Pumpen.

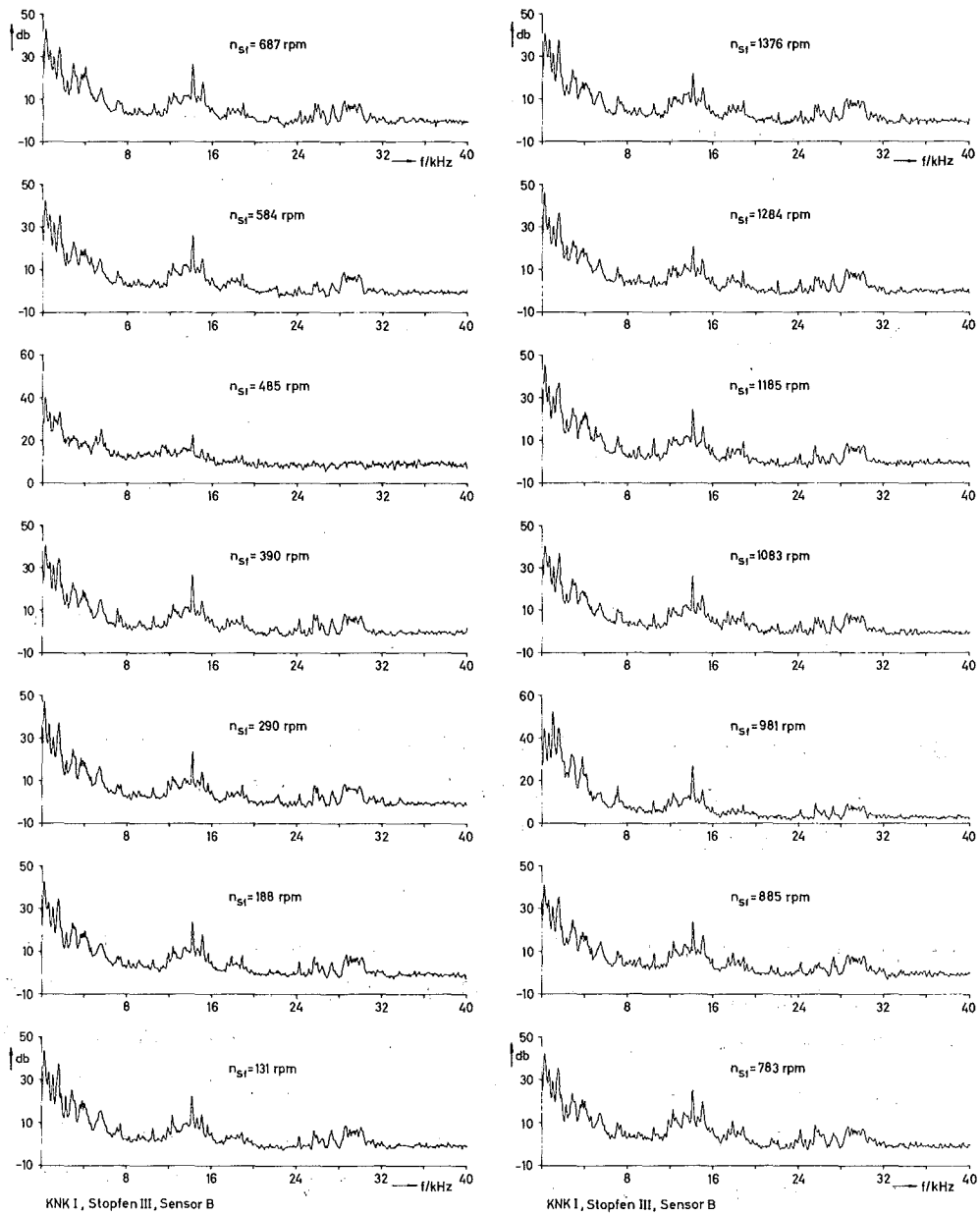


Abb.21: Akustische Leistungsdichte der Meßstelle "Koppelstange" im Natrium-Plenum bei verschiedenen Drehzahlen der Sekundärpumpe QS1. Der Vergleich der einzelnen Files zeigt, daß eine Beeinflussung durch die Pumpengeräusche praktisch nicht vorliegt.

5.3 Körperschallkopplung zwischen Sekundärpumpen und Reaktortank

Von zentraler Bedeutung ist die Kenntnis der Übertragungsfunktion der Störungen der Pumpen zum Meßort. Hierzu wurde in zwei Schritten vorgegangen. Zunächst wurde das Übertragungsverhalten der Schallstrecke zwischen Pumpen und Tank ermittelt, danach Messungen zur Übertragungsfunktion der Schalleistung vom Tankauflager ins Natriumplenium vorgenommen. Während mehrerer Stillstandsphasen der KNK wurden die Primär- und Sekundärpumpen, einzeln oder in Gruppen, über den gesamten Bereich ihrer Drehzahlen gefahren, das akustische Spektrum an mehreren Stellen des Pumpengehäuses aufgenommen, und mit dem Schallspektrum am Tankauflager verglichen. Die gleichen Messungen wurden während des Leistungsbetriebs und bei höheren Temperaturen vorgenommen. Ebenfalls war es möglich, den akustischen Untergrund bei stillstehenden Pumpen aufzuzeichnen. Ein Vergleich dieser Ergebnisse zeigt, daß etwa die Hälfte der am Tankauflager registrierten, integralen Schalleistung des Backgrounds von den Natriumpumpen stammt, wobei die Primärpumpen kaum ins Gewicht fallen. Dieses Ergebnis ist insofern überraschend, als zunächst angenommen werden mußte, daß die außerhalb des Sicherheitsbehälters angeordneten Sekundärpumpen die geringeren Störungen verursachen würden. Einzelmessungen haben jedoch gezeigt, daß die tragende Konstruktion der Sekundärpumpen Resonanzstellen aufweist, und, aufgrund der freien Metallträgerbauweise, Körperschall nahezu ungedämpft in den Sicherheitsbehälter weitergeleitet wird.

Bei bestimmten Drehzahlen der Sekundärpumpen QS1 und QS2 treten Eigenresonanzen im oberen Tonfrequenzbereich auf. Die Ursache derart unerwartet stark ausgeprägter und den gesamten Störuntergrund bestimmenden Resonanzfrequenzen ist vermutlich in den Reibgeräuschen der Pumpenlager zu suchen. Für die Untersuchungen der Phänomene der Körperschall-Kopplung zwischen den akustischen Störquellen und dem Reaktortank waren sie jedoch besonders aufschlußreich. Die körperschallgekoppelten Pumpensignale wurden mit Hilfe zweier am Tankauflager angebrachten Meßstellen aufgenommen. Die Sensoren stellen eine Eigenentwicklung des Instituts für Reaktorentwicklung (IRE) dar [1], wobei auf eine hohe Schall-

feldbündelung geachtet wurde. Durch eine um 90 Winkelgrade versetzte Anordnung wurde hierbei die Schallausbreitungs-Richtung des Körperschalls, das sogenannte "Richtfeld", ausgenutzt, um typische, aus der Richtung der Pumpen einfallende Schallspektren von den Störungen aus dem unmittelbar nahe gelegenen Bereich der Fahrbahnebene getrennt aufnehmen zu können (Bild 22).

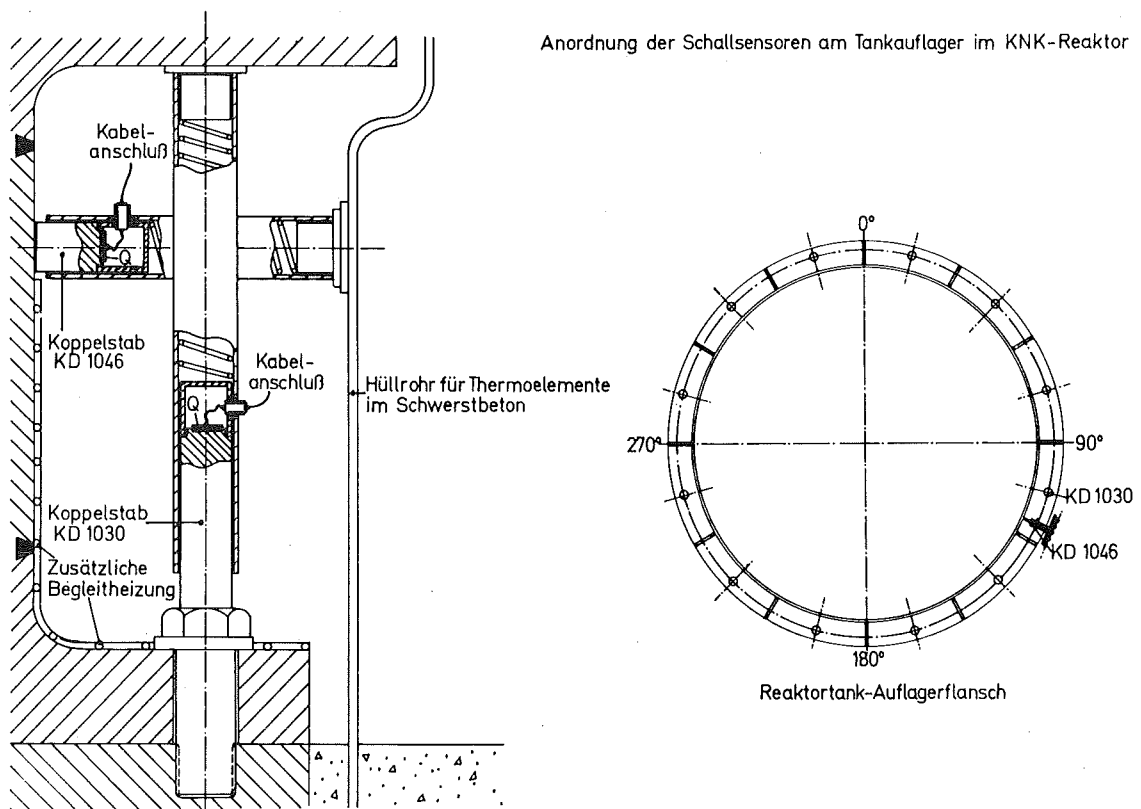


Bild 22: Piezo-Schallaufnehmer am Tankauflager des KNK I-Reaktors

Der Reaktortank kann - so zeigen die Ergebnisse - als akustische "Trennstelle" angesehen werden. Er stellt eine Impedanzsprungstelle auf der Schallwegstrecke zwischen den Pumpen und dem Core dar. Die Eigenresonanzen des Tanks liegen unterhalb 20 Hz, so daß sich für höhere Frequenzen ein aperiodisches Übertragungssystem anbietet. Betrachtet man die reine Körperschallkopplung, wie sie zwischen den Pumpen und der Tankaufhängung besteht, so

zeigt deren Übertragungsfunktion eine hohe Breitbandigkeit bis in den Bereich von 100 kHz bei einer stetigen Abnahme der Übertragungsfähigkeit (Dämpfungszunahme) sowohl zu hohen als auch sehr niedrigen Frequenzen hin. Am Schalleistungs-Transport ist eine Vielzahl von Wellenarten beteiligt, insbesondere handelt es sich um Longitudinal- und Transversalwellen. Letztere können, je nach Aufbau der Sensoren, einzeln, getrennt und wellentypisch als Schalldruckgradienten aufgenommen werden.

5.4 Übertragungsfunktion zwischen Tankauflager und Natrium-Plenum

Energetisch betrachtet stellt ein Übergang von Stahl zu Natrium eine akustische Sprungstelle der Größe $c_1 \rho_1 / c_2 \rho_2 = m$ dar. Darin bedeuten die Produkte aus der Dichte ρ und der Schallausbreitungsgeschwindigkeit c die Schallhärten, und das Verhältnis dieser, den Reflexionsfaktor m für ebene Schallwellenfronten. Die Schallausbreitungskoeffizienten für Stahl und Natrium betragen bei 350°C im Mittel $c = 5600$ m/s (longitudinal) bzw. 2420 m/s (Gasgehalt $< 10^{-4}$). Hieraus ergibt sich ein Reflexions- oder Entkopplungsfaktor $m = 0,05$ für eine im Natriumplenum angeordnete Meßstelle zum Tank-Wandmaterial. Dies entspricht einer theoretischen Maximalentkopplung von 26 db beim Übergang der Schallenergie an einer derartigen Sprungstelle; sie ist frequenzunabhängig, daher voll gültig für breitbandige Schallspektren.

Die Schalleitung der Pumpenstörungen in das Natriumplenum kann nur global abgeschätzt bzw. ermittelt werden. Teilweise leiten die baulichen und der Stützkonstruktion zugeordneten Komponenten, zum anderen sind es die Natriumleitungen des Primärsystems zu den Pumpen selbst.

Während einer zweiten Experimentphase, den "Stopfen-Experimenten" der KNK I, war eine 5,20 m lange Schallkoppelstange (Bild 23a und 23b), in der Randposition 87, Stopfen YE4, bis über die Brennelementaustrittsöffnungen in das Natrium eingebracht worden. Zur Vermeidung von Körperschalleinflüssen war die Massivstange auf Gummielementen am oberen Ende abgestützt und radial nur über punktförmig anliegende Stifte geführt. Eine weitgehende Entkopplung von den starren Massivteilen des Deckels und vom Stopfen selbst war hierdurch gewährleistet. Die Instrumentierung der Koppelstange bestand aus drei Piezo-Aufnehmern, Bild 24.

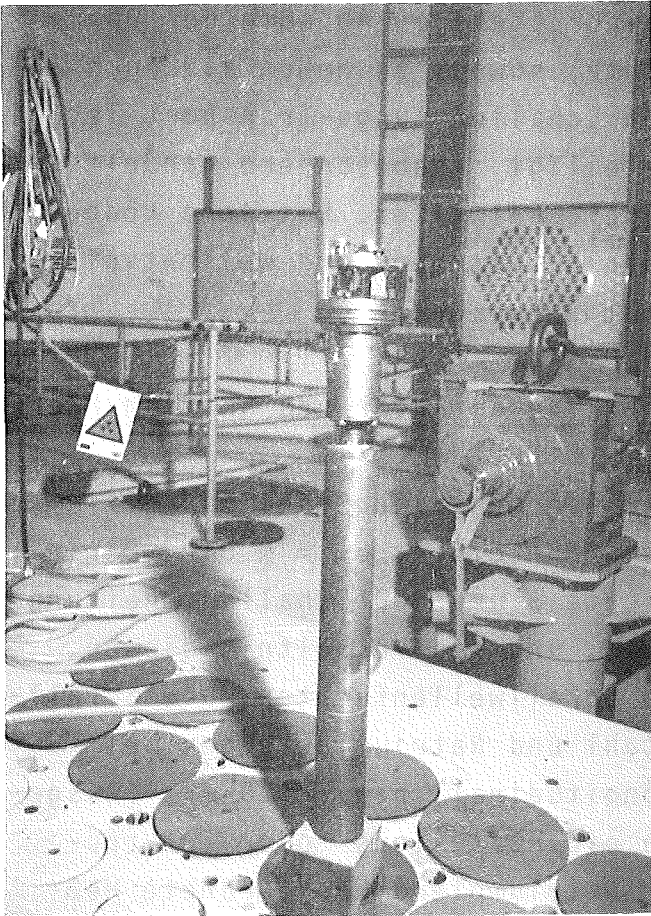


Abb.23a

Schallkoppelstange mit Experimentierstopfen in der KNK I auf einer Absetzposition vor der Einbringung in den Reaktortank. Die Stange bestand aus einem Edelstahl-Vollstab aus WSt.1.4988 mit den Abmessungen $40 \text{ } \varnothing \times 5200 \text{ mm}$. Sie ist an ihrem oberen Ende zur Körperschallentkopplung auf Gummi-Elementen gehalten und abgestützt.

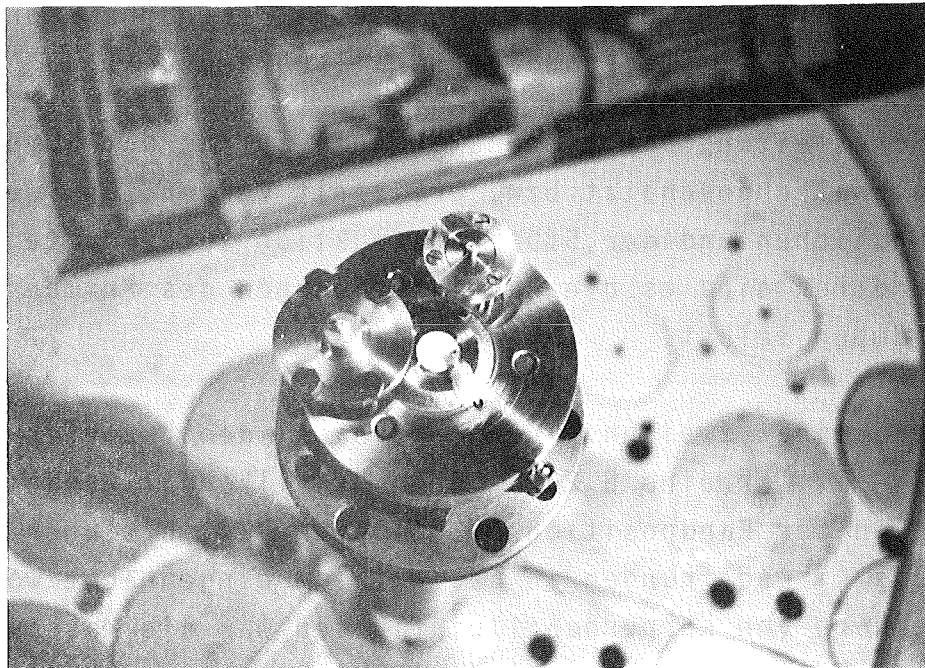


Abb.24: Draufsicht auf die Aufnahmeplatte am Oberteil der Schallkoppelstange in der KNK I. In der Mitte befindet sich ein Barium-Titanat-Piezo-Aufnehmer, der als Beschleunigungsaufnehmer arbeitet, daneben ein Piezo-Breitbandmikrofon und ein weiterer Beschleunigungsaufnehmer.

Mit Hilfe der Koppelstange wurde das Übertragungsverhalten der Schallstrecke Reaktor-Tank \rightarrow freier Natrium-Raum oberhalb der Brennelement-Austrittsöffnungen für einen Frequenzbereich von 20 Hz bis 400 kHz ermittelt. Als Signalquelle dienten wiederum die Sekundärpumpen QS1 und QS2, deren Eigenresonanzen durch Variieren der Drehzahlen zu Übertragungsmessungen benützt wurden. Die Übertragungsfunktion dieser Schallstrecke zeigt einen Frequenzgang, der sich von der unter 5.3 genannten Körperschallstrecke sowohl hinsichtlich des Dämpfungsmaßes als auch des Frequenzganges selbst unterscheidet (Bild 25).

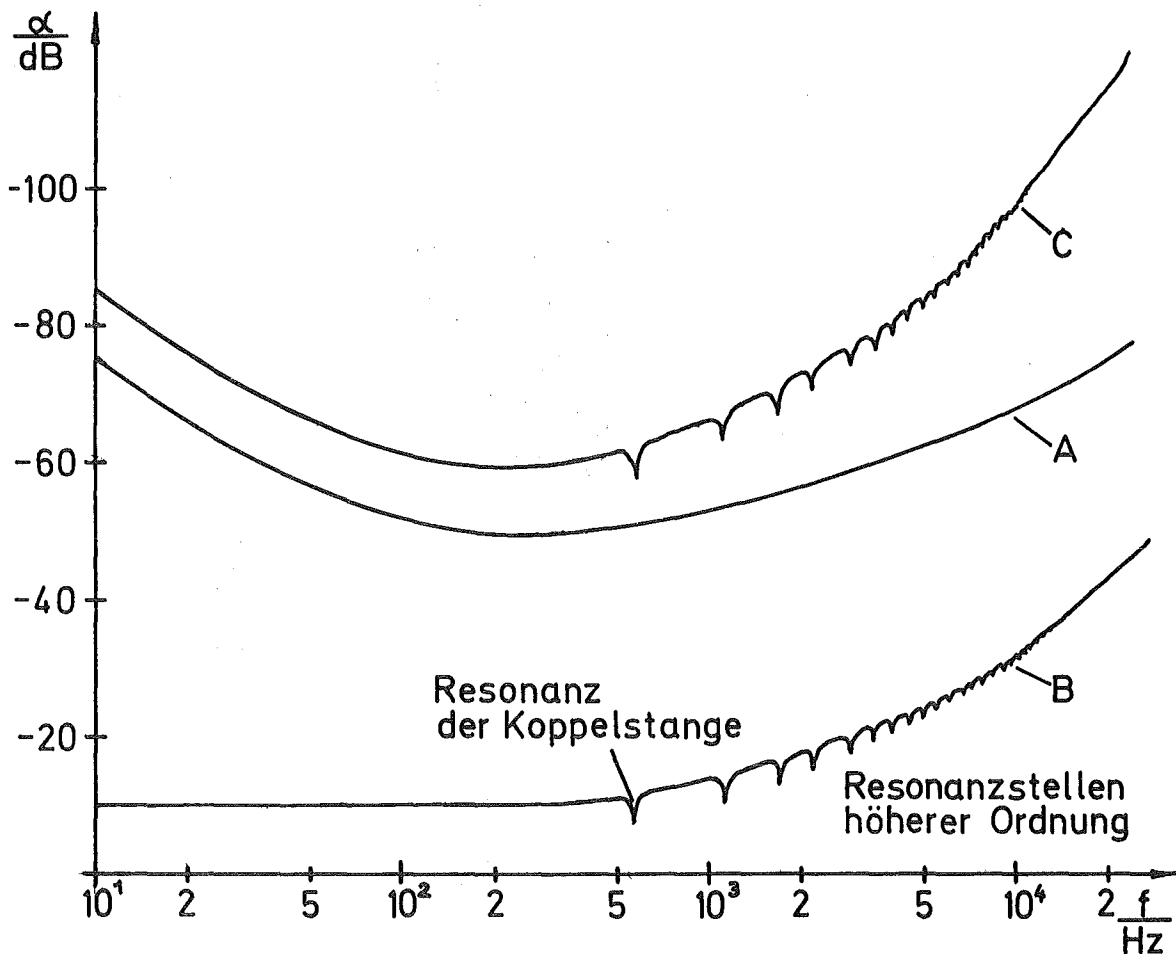


Abb.25: Übertragungsfunktionen unterschiedlicher Schallstrecken:

- A = Strecke von Sekundärpumpen zum Reaktortankauflager,
- B = Strecke vom Tankauflager zum Natrium-Plenum, etwa 70 cm oberhalb der Brennelementaustrittsöffnungen,
- C = Summe von A und B, entsprechend der akustischen Gesamtstrecke von den Sekundärpumpen zum Na-Plenum,
- α = Entkopplung (Dämpfung) in db.

In Bild 25 werden die Meßergebnisse in Form der frequenzabhängigen Dämpfung der einzelnen Teilstrecken der akustischen Übertragung gezeigt. Während der Übertragungsweg des Körperschalls von den Sekundärpumpen zum Reaktortank praktisch ohne Einfluß von Resonanzstellen ist, zeigt die Kurve 3 eine Vielzahl von Eigenfrequenzen bzw. Polstellen, die durch die Stabresonanzen der Koppelstange bewirkt werden. Der globale Übertragungsweg mit seinem sehr komplexen Schalleitungsmechanismus, an dem longitudinale und transversale Wellentypen und deren gegenseitige Umwandlungen beteiligt und bei dem viele Interferenzen zu berücksichtigen sind, läßt dagegen keine ausgeprägten Polstellen zu.

Die Zahl der Freiheitsgrade für ein mechanisches System, die als Anzahl der elastischen Bewegungen von Massen definiert ist, zeigt allein schon für mathematisch einfach erfaßbare Strukturen, wie Stäbe oder Platten, daß unendlich viele Resonanzen, d.s. Eigenschwingungen der Strukturen, vorliegen. Da die Massen eine weiträumige Verteilung aufweisen, liegen - im Gegensatz zu Systemen mit konzentrierten Parametern - keine phasengleichen Bewegungen vor. Die Amplitude muß daher auch in Abhängigkeit von den Raumkoordinaten betrachtet und, bezogen auf eine akustische Reaktorinstrumentierung, zumindest an mehreren Stellen auf der Schallübertragungsstrecke gemessen werden.

6. Schlußfolgerungen und zukünftige Arbeiten

Die bisherigen Arbeiten an der KNK zur akustischen Siededetektion waren darauf ausgerichtet, den Störuntergrund der KNK unter Berücksichtigung der verschiedenen Betriebs- und Lastzustände und des akustischen Langzeitverhaltens des Reaktors kennenzulernen. Sie dienten gleichzeitig der Vorerprobung geeigneter Schallsensoren und einer für die akustische Siededetektion in Aussicht genommenen Datenerfassung und Auswertung. Als wesentliche Voraussetzung hierzu haben die Schallmessungen im KNK I - Reaktor bestätigt, daß das Natrium-Plenum vom akustischen Störuntergrund äußerer Störquellen, wie Pumpen oder Kompressoren, in hohem Maße und breitbandig entkoppelt ist. Zur Untersuchung des Transferverhaltens der körperschalleitenden Strukturen zwischen den Störquellen und dem Natrium-Plenum diene das bekannte Schall-

spektrum der Sekundär-Natrium-Pumpen. Durch Verändern der Pumpendrehzahlen war es dabei möglich, Schallspektren mit einer unterschiedlichen Verteilung und in einem weiten Frequenzbereich wählbaren Resonanzfrequenzen einzustellen. Schließlich konnte gezeigt werden, daß sowohl die Reaktorleistung als auch die Kühlmitteltemperatur keinen nennenswerten Einfluß auf das akustische Grundrauschen im Plenumbereich besitzen.

Zukünftige Arbeiten konzentrieren sich nunmehr auf die Bestimmung der Übertragungsfunktion der akustisch komplexen Coreeinbauten und Strukturen für die beim lokalen Sieden im Core auftretenden Schallspektren.

Es ist vorgesehen, im Rahmen der KNK II - Experimente ein elektrisch beheiztes 18-Stab-Bündel mit mehreren zusätzlichen Dummystab-Reihen zur Ergänzung auf ein Vollbündel in das Core einzusetzen und als akustische Geräuschquelle zu benutzen. Als Vorstufe hierzu werden mit einem identisch aufgebauten Heizerbündel out-of-pile Experimente durchgeführt, die den Nachweis der Zuverlässigkeit des Heizerbündels und der Instrumentierung liefern sollen. Unter ähnlichen thermohydraulischen Verhältnissen wird erwartet, daß eine für die KNK II - Experimente typische akustische Energiefreisetzung beim lokalen Sieden erreicht wird und Spektren auftreten, die unter diesen Verhältnissen auf den Reaktor übertragbar sind. Die out-of-pile Experimente bieten dazu eine weite Variationsmöglichkeit der Betriebsparameter, wobei die Ermittlung der Schallübertragungseigenschaften von Strukturmaterial und Corekomponenten allerdings nur teilweise möglich ist. Mit den geplanten in-pile-Experimenten in der KNK II werden diese Lücken geschlossen, die bisher nicht bekannten akustischen Übertragungseigenschaften des Coreverbands ermittelt und ein neuartiges Detektionsverfahren auf seine Eignung als integrales Siedenachweissystem erprobt werden.

Literatur

- [1] H.A.Rohrbacher, R.Bartholomay:
Ultraschallmeßtechnik in Natrium-Systemen. KFK 2116,
März 1975