

Vereinfachtes Verfahren zur Erfassung
des von Auslaufarmaturen verursachten
Körperschalls

Teil 2: Meßtechnische Charakterisierung
der Geräuscheigenschaften von
Sanitärarmaturen

T 2707/2

T 2707/2

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

Institutsleiter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Dr. h.c. Dr. E.h. Karl A. Gertis

Amtlich anerkannte Prüfstelle für die Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile und Bauarten
Forschung · Entwicklung · Prüfung · Demonstration · Beratung

IBP-Bericht B-BA 9/1992

VEREINFACHTES VERFAHREN ZUR ERFASSUNG DES VON AUSLAUFARMATUREN VERURSACHTEN KÖRPERSCHALLS

Teil II: Meßtechnische Charakterisierung der Geräuscheigenschaften von Sanitärarmaturen

im Auftrag des
Instituts für Bautechnik, Berlin

Dieser Bericht umfaßt:

- 24 Seiten Text
- 3 Tabellen
- 31 Bilder

Stuttgart, den 30. November 1994

Fs/Hy

Bearbeiter:



Dipl.-Ing. S. Efinger

Abteilungsleiter:



Dr.-Ing. H.M. Fischer

Institutsleiter



Prof. Dr. Dr. h. c.

Dr. E. h. K. Gertis

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

IBP-Bericht B-BA 9/1992

**VEREINFACHTES VERFAHREN ZUR ERFASSUNG DES VON
AUSLAUFARMATUREN VERURSACHTEN KÖRPERSCHALLS
Teil II: Meßtechnische Charakterisierung der Geräuscheigenschaften
von Sanitärarmaturen**

von

Heinz-Martin Fischer
Siegfried Efinger

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Institutsleiter: Prof. Dr. Dr. h. c. Dr. E. h. K. Gertis)

I N H A L T

1. Einleitung.....	7
2. Ausgangspunkt.....	8
3. Zwei Varianten eines modifizierten Kleinprüfstandes.....	11
3.1 Einrohr-Prüfstand.....	11
3.2 Spiralprüfstand	13
4. Verhalten des Einrohr-Prüfstandes	17
5. Verhalten des Spiralprüfstandes	17
6. Vergleich der Armaturengeräuschpegel aus unterschiedlichen Meßanordnungen	20
7. Abschließende Wertung	22
8. Literatur	24

1. Einleitung

Die aktuelle Geräuschsituation bei Auslaufarmaturen zeigt, daß neben der bislang betrachteten Wasserschallerzeugung auch die Erzeugung von Körperschall berücksichtigt werden muß. Wurde anfangs davon ausgegangen, daß der Körperschalleinfluß vor allem bei den Betätigungsgeräuschen eine Rolle spielt, so ergab sich im Rahmen dieses Vorhabens ganz deutlich, daß sein Einfluß in vergleichbarer Weise auch beim stationären Fließgeräusch vorhanden sein kann. Die in Erscheinung getretene Körperschallproblematik ist damit eine grundsätzliche Angelegenheit, die nicht auf Betätigungsgeräusche beschränkt bleiben kann. Ein großer Teil der vorliegenden Untersuchungen bezieht sich deshalb auch auf stationäre Fließgeräusche, da für diese ganz vorrangig die körperschallbedingten Fragestellungen im Sinne eines verlässlichen und aussagekräftigen Meßverfahrens geklärt werden müssen.

In zahlreichen Untersuchungen wurden in diesem Vorhaben die unterschiedlichsten Aspekte der Körperschallproblematik aufgegriffen. Ausgehend von der kritischen Analyse der Voraussetzungen zur Messung von Armaturengeräuschen konnten nicht nur Aussagen zur Realisierung eines Kleinprüfstandes sondern auch Aussagen zur Tauglichkeit des Normprüfstandes nach DIN 52 218 gemacht werden. Die Ergebnisse dieser Untersuchungen sind ausführlich in [1] dokumentiert. Ziel dieses als Ergänzung zu [1] zu verstehenden Berichts ist es, die Realisierungsmöglichkeiten eines modifizierten Kleinprüfstandes aufzuzeigen, der im Gegensatz zur ursprünglichen, wasserschallorientierten Konzeption des Kleinprüfstandes die Möglichkeit zur Erfassung des von Armaturen erzeugten Körperschalls bietet. Aufgrund der in diesem Vorhaben vollzogenen Schwerpunktverschiebung hin zu verstärkter Analyse der Verhältnisse am Normprüfstand konnte die ursprüngliche Intention nicht völlig befriedigt werden, eine abschließende Version eines modifizierten Kleinprüfstandes zu erarbeiten. Über das Stadium einer bloßen Arbeitshypothese weit hinausgehend können anhand der vorliegenden Untersuchungen jedoch klare Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt

werden, die es je nach gewünschter bzw. geforderter Fragestellung erlauben, die Körperschallerzeugung von Armaturen zu berücksichtigen.

2. Ausgangspunkt

Die durchgeführten Untersuchungen zeigen, daß es grundsätzlich möglich ist, mit Hilfe eines Kleinprüfstandes die Aufgabenstellung der Körperschallerfassung zu lösen. Der Körperschall von Armaturen kann sowohl bei stationären Geräuschen als auch bei Betätigungsgeräuschen sicher gemessen werden. Primäre Meßgröße ist dabei der sich auf den Rohrleitungen ausbreitende Körperschall. Dieser besteht, wie die Untersuchungen ebenfalls gezeigt haben, aus zwei unterschiedlichen Anteilen, nämlich demjenigen, der durch Energieumwandlung aus Wasserschall über Kopplungsvorgänge entsteht, und demjenigen, der von der Armatur direkt erzeugt und auf das Rohrleitungssystem bzw. den Baukörper geleitet wird. Es ist deshalb anzunehmen, daß der resultierende Körperschall von folgenden Bedingungen abhängt.

- Stärke des direkt erzeugten Körperschalls im Verhältnis zum erzeugten Wasserschall einer Armatur
- Art der Kopplungsbedingungen und damit spezifischer Eigenschaften des Rohrleitungssystems (Länge, Zahl der Krümmungen etc.).

Daß dies tatsächlich der Fall ist, konnte in den vorliegenden Untersuchungen nachgewiesen werden. Es wurde auch gezeigt, daß das IGN in seinen schall-erzeugenden Eigenschaften nicht mit üblichen Wasserarmaturen vergleichbar ist, so daß bei ihm eine andere Abhängigkeit von prüfstandsspezifischen Eigenschaften besteht als bei Armaturen. Folge dieses Effektes ist, daß prüfstandsspezifische Eigenschaften entgegen der Grundvoraussetzung eines Vergleichsschallquellenverfahrens nicht zwangsläufig eliminiert werden können. Diese Aussage gilt aufgrund der Kopplung von Wasserschall und Körperschall für jede Art von Prüfstand, also auch den Normprüfstand. Wenn dieses Problem zufriedenstellend gelöst werden soll, kann dies in letzter Konsequenz nur durch völlige Vereinheitlichung der zur Kennzeichnung von

Armaturen verwendeten Prüfstände geschehen. Dies ist sicherlich für einen Kleinprüfstand mit sehr viel einfacheren Mitteln in definierter Weise zu erreichen als für bauliche Prüfstände wie z.B. den Normprüfstand nach DIN 52 218.

Der Vergleich verschiedener Möglichkeiten ergab, daß zwar eine "Emissionsmessung" der von Armaturen erzeugten Wasserschall- und Körperschallanteile in einem Sinne, wie er auch bei anderen technischen Schallquellen gehandhabt wird, methodische Vorteile hat, daß die technische Realisierung im Sinne eines vereinfachten Verfahrens aber nicht möglich ist. Als einzige praktikable Möglichkeit wird deshalb zur Zeit nach wie vor ein Vergleichsschallquellenverfahren betrachtet, wobei jedoch aus oben genannten Gründen auf eine weitestgehende Vereinheitlichung der verwendeten Prüfstände hingewiesen wird.

Die Untersuchungen ergaben, daß das IGN auch als Körperschallquelle geeignet ist und im Hinblick auf eine reproduzierbare Meßwertgewinnung eine sehr gute Konstanz der Körperschallerzeugung besitzt. Dies gilt auch für die Langzeitstabilität der Quelle. Es kann ganz generell festgehalten werden, daß das IGN als Vergleichsschallquelle sowohl zur Erfassung des erzeugten Körperschalls als auch für Betätigungsgeräusche geeignet ist, da es keine Nachteile aufweist, die grundsätzlich nicht auch bei anderen denkbaren Vergleichsschallquellen auftreten würden. Die Verwendung alternativer Vergleichsschallquellen ist daher nicht begründbar. Es sollte allerdings geklärt werden, wie die geforderten Eigenschaften des IGN verbindlich überprüft werden können. Die im Rahmen eines IfBt-Vorhabens ("Schaffung eines Bezugs-IGN zur Abstimmung von Normprüfständen hinsichtlich des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation", durchgeführt bei der PTB, Braunschweig) gewonnenen Erkenntnisse können hierbei wertvolle Hinweise geben.

Grundgedanke des vorgeschlagenen Verfahrens ist, daß es letztlich der auf den Rohrleitungen sich ausbreitende Körperschall ist, der in den Bau eingeleitet wird und für das wahrnehmbare Armaturengeräusch sorgt. Der auf

einem Meßrohr abgegriffene Körperschall ist somit ein direktes Maß für die Geräuscherzeugung einer Armatur. Über starre Verbindungen kann der Körperschall vom Meßrohr auf eine Metallplatte geleitet werden. Diese wirkt quasi als "integrierendes" Bauteil, so daß mit einem Körperschallaufnehmer eine sichere und repräsentative Erfassung des erzeugten Körperschalls möglich ist. Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß ein derartig konzipierter Kleinprüfstand die reproduzierbare Erfassung von Armaturengeräuschen unter Berücksichtigung des erzeugten Körperschalls zuläßt.

Die Frage der Übertragbarkeit auf die bauliche Situation, d.h. die Übereinstimmung von Prüfstandswerten mit den Werten im Bau, ist grundsätzlich in gleicher Weise lösbar wie beim jetzigen Normprüfstand. Es sind hierzu im Bedarfsfall die vorliegenden Übertragungsbedingungen zu definieren und in einer Übertragungsfunktion ("Bezugsspektren") zu formulieren. Diese Aufgabenstellung unterscheidet sich überhaupt nicht von derjenigen beim Normprüfstand. Das dort definierte Bezugsspektrum wurde ja ermittelt für ganz definierte Verhältnisse (Armaturen, die vorwiegend Wasserschall erzeugen; Gebäude in Massivbauweise), die allerdings heutzutage nicht mehr zwangsläufig zutreffen. Angesichts der Vielfalt heutiger Verhältnisse (Massivbau/Leichtbau; Armaturen unterschiedlichster Konstruktion mit teilweise starker Körperschallerzeugung, Verwendung neuer Installationsarten) muß hier allerdings kritisch gefragt werden, ob der Normprüfstand mit dem dafür festgelegten Bezugsspektrum grundsätzlich den Anforderungen nach Übertragbarkeit genügt. Insofern ist die Frage der Übertragbarkeit für den Kleinprüfstand sowohl vom Schwierigkeitsgrad her als auch vom Arbeitsumfang her nichts, was sich wesentlich von den Bedingungen beim Normprüfstand unterscheidet. Falls "Übertragbarkeit" tatsächlich als sichere Prognose der im Bau zu erwartenden Werte verstanden wird, ist auch beim jetzigen Meßverfahren nach DIN 52 218 erheblicher Aufwand erforderlich. Für ein Meßverfahren auf der Grundlage eines Kleinprüfstandes kann deshalb in der Frage der Übertragbarkeit kein genereller Einwand gegen die prinzipielle Tauglichkeit liegen. Auf die wesentlichen Probleme der Übertragbarkeit wird ausführlich in [1] eingegangen.

3. Zwei Varianten eines modifizierten Kleinprüfstandes

Unabhängig von der tatsächlichen Auslegung eines modifizierten Kleinprüfstandes können aufgrund der vorhergehenden Untersuchungen folgende grundsätzliche Festlegungen getroffen werden:

1. Festhalten am Vergleichsschallquellenverfahren,
2. Festhalten am IGN als Vergleichsschallquelle auch für Körperschallmessungen und zwar bei stationären als auch impulshaltigen Geräuschvorgängen. Die Entwicklung eines "Körperschall-IGN" oder eines "Impuls-IGN" erweist sich als überflüssig.

3.1 Einrohr-Prüfstand

Als vereinfachte Anordnung zur Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen hat der Kleinprüfstand, wie er in [2.3] beschrieben wird, vor allem im industriellen Bereich Verbreitung gefunden. Da dieser Prüfstand ursprünglich für die Erfassung des Wasserschalls konzipiert wurde, können sich mit Hinblick auf die tatsächlichen Auswirkungen von Armaturengeräuschen dann Abweichungen ergeben, wenn z.B. Wasserschalldämpfer verwendet werden oder Armaturen mit ausgeprägter Körperschallerzeugung vorliegen. Um den Kleinprüfstand auch für die Erfassung von Körperschalleinflüssen tauglich zu machen, wurde eine erste Version eines "körperschalltauglichen" Kleinprüfstandes entwickelt und erprobt [4]. Dieser modifizierte Kleinprüfstand wird als eine mögliche Realisierung eines "vereinfachten Verfahrens zur Erfassung von Körperschall" betrachtet. Den mechanischen Aufbau des Prüfstandes zeigt Bild 1. Die grundlegende Idee ist dabei, daß der von einer Armatur erzeugte Körperschall nicht auf der Rohrleitung gemessen wird, sondern auf einer angekoppelten Metallplatte, die als Meßplatte dient. Diese Meßplatte ist mit der Leitung über fünf Schellen starr gekoppelt, so daß eine gute Körperschallübertragung gewährleistet ist. Die Meßplatte wird damit an verschiedenen Orten gleichzeitig von den auf der Rohrleitung vorliegenden Biegewellen angeregt. Durch die räumliche Verteilung der starren Befestigungen ist der auf die Meßplatte übertragene Körperschall nicht von einer einzigen (und mehr oder weniger willkürlichen) Schwingungssituation auf der Rohrleitung abhängig.

Vielmehr stellt der auf der Platte meßbare Körperschall eine gemittelte Körperschallsituation dar, die die Anregung durch eine Armatur charakterisiert. Da sich wie bei jeder Platte mit endlichen Abmessungen, durch die Lage von Maxima und Minima stehender Wellen auf der Platte eine bestimmte orts- und frequenzabhängige Pegelverteilung ergibt, ist ein geeigneter Meßpunkt für den Körperschallaufnehmer festzulegen. Unter den untersuchten Meßpunkten auf der Platte erwies sich hierbei Punkt 7 (siehe Bild 1) als geeignet, die Körperschallsituation auf der Platte repräsentativ darzustellen. Durch Messungen an verschiedenen Armaturen, die an die Meßleitung dieses Prüfstandes angeschlossen wurden, konnte bereits nachgewiesen werden, daß mit der beschriebenen Meßanordnung tatsächlich eine Beschreibung des von Armaturen verursachten Körperschalls möglich ist. Ergänzende Untersuchungen wurden auch für die Körperschallmessung auf der Rohrbefestigung (Meßpunkt 3) durchgeführt.

Zur Erzielung eines günstigen Störgeräuschabstandes im Körperschall besitzt die Meßplatte eine doppelte elastische Lagerung, die für eine Reduzierung möglicher Störschwingungen sorgt, welche von außen über das Fundament in den Meßaufbau eingeleitet werden können. Daß mit dieser Maßnahme Störschwingungen von der Meßplatte festgehalten werden können, zeigt Bild 2, in welchem die Körperschallpegeldifferenz zwischen dem Meßpunkt auf der Platte und einem Meßpunkt auf dem Fundament dargestellt ist.

Um zusätzlich mit demselben Aufbau auch wie beim bisherigen Vereinfachten Prüfstand den von einer Armatur erzeugten Wasserschall erfassen zu können, wurde im Meßrohr ein Hydrophon eingebaut. Im Gegensatz zum bisherigen Vereinfachten Prüfstand werden bei der neuen Ausführung die von der Armatur abgehenden Kalt- und Warmwasseranschlüsse über ein Gabelstück auf ein gemeinsames Rohr geführt, so daß der erzeugte Wasserschall jetzt mit einem einzigen Sensor erfaßt werden kann. Außerdem entspricht die Beschränkung auf eine Meßleitung derjenigen Leitungsführung, die bei vielen Normprüfständen nach DIN 52 218 üblich ist. In einer weiterentwickelten Version wäre es sicherlich vorteilhaft, den

Armaturenanschluß den für einen Normprüfstand vorgegebenen Auslegungskriterien anzupassen.

Der Grundgedanke der vorliegenden Meßanordnung besteht darin, den direkt erzeugten Körperschall und den Wasserschall einer Armatur möglichst "ungestört", d.h. ohne gegenseitige Beeinflussung, zu erfassen und damit eine möglichst getreue Beschreibung der Quelleneigenschaften zu liefern. Da es sich bei der Meßleitung um ein kurzes und abgesehen vom Armaturenanschluß gerades Rohr handelt, kann eine noch geringe Kopplung zwischen Wasserschall und (direktem) Körperschall erwartet werden. Damit besteht eine einfache experimentelle Möglichkeit, erzeugten Wasserschall und Körperschall noch weitgehend ungekoppelt zu erfassen und damit mit guter Näherung die Wasserschall- und Körperschallerzeugung einer Armatur zu beschreiben. Die für die beschriebenen Körperschall- und Wasserschallmessungen erforderliche Meßkette ist in Bild 3 dargestellt. Da bei der vorliegenden Prüfstandsrealisierung bewußt auch die Wasserschallmessung mit einbezogen wurde, kann außer der anforderungsgemäßen Erfassung des Körperschalls auch das Wasserschallverhalten einer Armatur berücksichtigt werden. Dies kann sich z.B. bei der industriellen Anwendung des Prüfstandes bei Fragestellung der schalltechnischen Optimierung als hilfreich erweisen.

3.2 Spiralprüfstand

Im Gegensatz zum erstgenannten Meßaufbau bei dem eine weitestgehende Entkopplung von Wasserschall und Körperschall gewünscht wurde, soll hier die Kopplung beider Übertragungswege geradezu erzwungen werden. Für die grundlegenden Untersuchungen zur Ausbreitung von Wasserschall und Körperschall im gekoppelten Rohrleitungssystem wurde bereits in [1] eine Leitungsanordnung gewählt, die gezielt auf diese Bedingungen hin ausgelegt wurde. Die dort gewählte Meßanordnung wird in Bild 4 dargestellt. Die geforderte Kopplung wird durch eine Leitungsführung erreicht, die bei einer (abgewinkelten) Gesamtlänge von ca. 14 m 16 rechtwinklige Krümmungen und 17 Leitungssegmente aufweist. Außer der energetischen Kopplung zwischen Wassersäule und Rohrwandung bewirkt diese Art der Leitungsführung für die Körperschallausbreitung auch eine verstärkte

Umwandlung von Biege- in Longitudinalwellen und umgekehrt, so daß bezüglich der Energieaufteilung auf die Moden des Systems der Zustand der Gleichverteilung gefördert wird. Da in realen Installationssystemen die Leitungsführung ebenfalls durch Krümmungen geprägt wird, kann mit dem vorliegenden Rohrleitungsverlauf schrittweise nachvollzogen werden, wie sich mit zunehmender Krümmungszahl die Eigenschaften des sich ausbreitenden Körperschalls und Wasserschalls verändern. Vor allem aber kann mit Hinblick auf die Anwendbarkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens systematisch untersucht werden, wie stark in Abhängigkeit von Leitungslänge und Krümmungszahl (d.h. dem Kopplungsgrad der Übertragungssysteme) die Voraussetzungen des Verfahrens verletzt werden. Damit gelingt es aber auch, Prüfkriterien zu formulieren und grundsätzliche Aussagen zur Auslegung und zur Handhabung von Prüfständen zu machen. Entsprechende Ergebnisse wurden in [1] formuliert.

Die Meßleitung besteht aus verzinkten 1"-Stahlrohren mit kurzen 90°-Bögen (Bezeichnung I/IA1). In Durchströmungsrichtung erfolgt die Leitungsführung von Segment 15 bis zu Segment 1 stetig ansteigend, so daß kurz vor dem Armaturenanschluß wirkungsvoll entlüftet werden kann. Die technische Ausführung des als Doppelanschluß gestalteten Armaturenanschlusses ist in Bild 5 enthalten. Mit isolierten Rohrschellen wird die spiralenförmig um einen gedachten Kubus herumgeführte Meßleitung segmentweise an einem Holzrahmengestell befestigt.

Zur meßtechnischen Erfassung von Wasserschall und Körperschall sind entlang der Meßleitung definierte Meßpunkte vorgesehen. Für Wasserschallmessungen befindet sich dazu je ein Hydrophon in Segment 1 (Leitungsanfang, beim Armaturenanschluß), in Segment 9 (Leitungsmitte) und Segment 17 (Leitungsende). Der Körperschall kann für jedes Segment separat erfaßt werden, so daß eine Analyse in kleinen Schritten entlang des Ausbreitungsweges möglich ist. Die elektrische Meßkette entspricht den Ausführungen in Bild 3.

Ein wesentliches Ergebnis der mit dieser Anordnung durchgeführten Untersuchungen war, daß die Geräuscheigenschaften einer Armatur, auch wenn die Meßergebnisse auf das IGN bezogen werden, eine deutliche Abhängigkeit vom Meßort auf der Leitung aufweisen können, die je nach Armatur unterschiedlich ausgeprägt ist. Wesentliches Kriterium dabei ist, ob es sich um eine stark wasserschallgeprägte oder stark körperschallgeprägte Armatur handelt. Die Kennzeichnung der Geräuschcharakteristik einer Armatur hängt damit vom Ort im Rohrleitungssystem ab, von welchem der wirksame Körperschall abgegriffen wird. Der primäre Körperschall wird am schärfsten erfaßt, wenn möglichst dicht an der Armatur gemessen wird. Mit zunehmendem Kopplungsgrad des Rohrleitungssystemes geht sein Einfluß zurück. Am anderen Ende der Meßleitung, wo nach zahlreichen Wellentypumwandlungen ein stark gekoppelter Zustand zwischen Wasserschall und Körperschall erzwungen wurde, kann der Einfluß des primären Körperschalls nicht mehr festgestellt werden. Im Sinne einer statistischen Energiebetrachtung kommt es hier also nicht mehr darauf an, wie sich am Systemeingang (hier also am Armaturenanschluß) die Gesamtenergie auf Wasserschall und primären Körperschall verteilt, da sich das Übertragungssystem mit seinen Teilsystemen im "energetischen Gleichgewicht" befindet.

Da das "Bild", das von den Geräuscheigenschaften einer Armatur gewonnen wird, vom Ort im Übertragungssystem abhängt, stellt sich für ein Meßverfahren, gleich welcher Art, die Frage, an welcher Stelle des Rohrleitungssystems die zur Meßwertgewinnung benötigten Körperschallpegel abgegriffen werden. Um den beschriebenen Spiralprüfstand für die Kennzeichnung von Armaturen einzusetzen, werden dafür folgende Festlegungen getroffen:

- die Messung soll in Armaturennähe erfolgen können, um den Einfluß des primären Körperschalls berücksichtigen zu können;
- die Messung soll außerdem für stark gekoppelten Zustand erfolgen (d.h. am anderen Leitungsende), um gezielt die Geräuschcharakteristik nach Eliminierung des primären Körperschalls zu erfassen;
- aus dem Vergleich beider "Probenahmen" kann dann die "Körperschallanfälligkeit" einer Armatur abgeschätzt werden.

Zur Erfüllung dieser Anforderungen wurde der in Bild 4 beschriebene Aufbau des Spiralprüfstandes etwas modifiziert, um den Körperschall der Rohrleitung in geeigneter Weise auf eine Meßplatte leiten zu können. Die geänderte Leitungsführung ist Bild 6 zu entnehmen. Charakteristisch ist die in einer Ebene liegende, mehrfach gekrümmte Leitungsführung am Armaturenanschluß (Auslauf, im folgenden auch mit "Aus" bezeichnet) und am Rohrleitungsende (Einlauf, im folgenden auch mit "Ein" bezeichnet). Eine körperschallisoliert an einem Gestell befestigte Stahlplatte der Dicke 12 mm und der Abmessungen 800 mm x 1100 mm befindet sich unterhalb des Ein- und Auslaufs und ist mit den Rohrleitungen durch mehrere starre Metallklammern gekoppelt. Drei Möglichkeiten der Ankopplung sind hierbei vorgesehen:

1. Es wird nur der Auslauf angekoppelt (siehe Bild 7). Dadurch werden im wesentlichen die Geräuscheigenschaften in Armaturennähe erfaßt.
2. Es wird nur der Einlauf angekoppelt (siehe Bild 8). Dadurch wird der Einfluß des primären Körperschalls ausgeschaltet.
3. Es werden Einlauf und Auslauf angekoppelt (siehe Bild 9). Dies entspricht durch die "Mischanordnung" einem Kopplungsgrad, der in einigem Abstand vom Armaturenanschluß vorgefunden werden kann.

Sowohl der Einlaufstrang als auch der Auslaufstrang werden bewußt in zweifacher rechtwinkliger Krümmung über die Meßplatte geführt, um nicht von einer zufälligen Wellenausbreitung auf einem Segment abhängig zu sein, sondern eine plausible Berücksichtigung der unterschiedlichen Wellentypen zu gewährleisten. Beide Stränge sind bewußt auch asymmetrisch segmentiert und werden so über die Meßplatte geführt, daß ein möglichst großer Bereich der Platte angeregt wird, wobei zugleich kritische Symmetrielinien (Knotenlinien der stehenden Körperschallwellen!) vermieden werden. Abgegriffen wird der Körperschall von jedem Strang mittels 5 starrer Klemmen, die alle 3 Segmente eines jeden Strangs berücksichtigen. Ziel der beschriebenen Anordnung ist es insgesamt, sowohl für Ein- als auch Auslauf den Körperschall repräsentativ auf die Meßplatte zu leiten, um ihn dort mit Hilfe eines Körperschallsensors zu erfassen.

4. Verhalten des Einrohr-Prüfstandes

Im wesentlichen sei hier auf die zahlreichen Messungen in [1] hingewiesen, die anhand dieses Prüfstandes durchgeführt wurden und beweisen, daß die gewählte Anordnung eine ausgesprochen gute Trennung von Wasserschall- und Körperschallanteilen einer Armatur gestattet. Zur weiteren Erläuterung finden sich in den Bildern 10 bis 12 die Frequenzspektren der Armaturengeräuschpegel verschiedener Armaturen, jeweils zusammengestellt für die Meßwerterfassung über Körperschall oder Wasserschall. Bei den drei genannten Armaturen handelt es sich um die schon in [1] verwendeten und dort ebenfalls mit A, B, C bezeichneten Armaturen (siehe dort deren Beschreibung in Ziffer 7.3). Es zeigt sich deutlich, daß die Kennzeichnung der Armaturen durch den L_{ap} je nach Armatur ganz unterschiedlich ausfallen kann, wenn die Messung über Wasserschall oder Körperschall ausgeführt wird.

5. Verhalten des Spiralprüfstandes

In umfangreichen Meßreihen wurde das schalltechnische Verhalten des oben beschriebenen Spiralprüfstandes verifiziert. Bild 13 zeigt die in der vorliegenden Version realisierte Körperschallentkopplung der Meßplatte vom Boden des Aufstellungsraumes. Vorgegeben durch die Geometrie der Platte, die spezifischen Auflagerungsbedingungen und Ankopplungseigenschaften (Verbindung mit der Rohrleitung) ist auf der Meßplatte von keiner gleichmäßigen Pegelverteilung auszugehen. In einer qualitativen Darstellung wird in den Bildern 14 bis 17 für den A-bewerteten Gesamtpegel sowie 3 ausgewählte Terzbänder bei Ankopplung des Einlaufstranges gezeigt, wie sich die Körperschallpegel auf der Meßplatte verteilen. Der Grad der Schwärzung charakterisiert dabei die erreichte Pegelhöhe. Wie zu erwarten, läßt sich eine Orts- und Frequenzabhängigkeit der Pegelverteilung erkennen. Das ermittelte Meßergebnis wird also in gewisser Weise noch vom Meßort auf der Platte abhängen. Für die weiteren Untersuchungen wurden 5 Meßpunkte auf der Platte ausgewählt, die im Meßraster von Bild 18 gekennzeichnet sind. Wie sich (bei gleichbleibender Anregung durch das IGN) die an diesen

Meßpunkten ermittelten Spektren der Körperschallbeschleunigung verhalten, enthält in typischer Weise die Zusammenstellung in Bild 19.

Auch beim Spiralprüfstand ist die letztlich interessierende Größe der Armaturengeräuschpegel. Für drei Armaturen A, B, und C wurden die L_{ap} an den genannten Meßpunkten bei verschiedenen Ankopplungen der Meßleitung ermittelt. Einen Vergleich der L_{ap} -Spektren für die drei Ankopplungszustände "Ein", "Aus" sowie "Ein + Aus" zeigen die Bilder 20 bis 22 für die einzelnen Armaturen. Es zeigt sich, wie nach den grundlegenden Untersuchungen in [1] zu erwarten war, daß durch den Ankopplungszustand der Meßleitung der primäre Körperschall unterschiedlich gewichtet in das Meßergebnis eingeht. Die größten L_{ap} -Werte ergeben sich bei der Ankopplung des Auslaufstranges (Armaturenanschluß), die niedrigsten bei Ankopplung des Meßleitungsendes (Einlauf). Dazwischen liegen die Werte für den "gemischten Zustand ("Ein + Aus)". Wie auch schon in [1] gezeigt wurde, hängen die Unterschiede zwischen dem größten und dem kleinsten Wert von der Armatur ab. Die größten Unterschiede im L_{ap} ergeben sich für eine stark körperschallgeprägte Armatur (hier B), die kleinsten für eine stark wasserschallgeprägte Armatur (hier C).

Darstellungen für das frequenzabhängige Verhalten des L_{ap} an verschiedenen Meßpunkten finden sich für die einzelnen Armaturen, getrennt nach Ankopplungszuständen der Meßleitung, in den Bildern 23 bis 31. Gemäß der "einfachen" Philosophie des Vergleichsschallquellenverfahrens wäre eigentlich zu erwarten, daß Ortsabhängigkeiten auf der Meßplatte durch Bezug auf das IGN kompensiert werden. Dies ist offensichtlich nicht der Fall, da die L_{ap} -Werte eine gewisse Abhängigkeit von Meßort aufweisen. Die Erklärung hierfür liefern die grundlegenden Untersuchungen in [1], die für Armaturengeräusch und IGN-Geräusch unterschiedliches Ausbreitungsverhalten auf der Meßleitung ergaben. Da körperschallgeprägte Armaturen hier besonders stark vom IGN abweichen können, ist es verständlich, daß die größte Abhängigkeit vom Meßpunkt bei Armatur B festgestellt wird und eine besonders kleine Abhängigkeit bei Armatur C.

Eine tabellarische Zusammenstellung der gemessenen L_{ap} -Werte findet sich für alle Armaturen, Meßpunkte und Ankopplungszustände in Tabelle 1. Zusätzlich angegeben sind auch jeweils die Mittelwerte über die 5 Meßpunkte sowie die meßpunktbedingte Standardabweichung. Am einfachsten läßt sich anhand der Mittelwerte erkennen, daß das "akustische Bild" einer Armatur tatsächlich stark vom Ort der "Probenahme" abhängt. Messungen in Armaturennähe ("Aus") führen stets zum höchsten, Messungen am Leitungsende ("Ein") stets zum niedrigsten L_{ap} -Wert und die Werte für "Ein + Aus" nehmen eine Mittelstellung ein. Was schon in [1] nachgewiesen wurde, wird hier nochmals eindrücklich bestätigt: es gibt (zumindest für Armaturen mit einem gewissen primären Körperschallanteil) keine eindeutig definierten Armaturengeräuschpegel, solange die Übertragungsverhältnisse des gewählten Prüfstands - auch des Normprüfstands - nicht eindeutig festgelegt sind. Durch die Gestaltung der Prüfstandsordnung wird dabei bewußt oder meistens unbewußt festgelegt, ob Armaturen eher körperschallorientiert oder wasserschallorientiert gekennzeichnet werden. Die Ergebnisse aus Tabelle 1 weisen darauf hin, daß ein Kleinprüfstand, wie er hier konzipiert wurde, durchaus in der Lage sein kann, ganz unterschiedliche Körperschallgewichtungen zu realisieren. Es ist also nicht so, daß ein Kleinprüfstand mittels Körperschallerfassung zwangsläufig körperschallbetont arbeitet, wenn die mechanisch-hydraulische Konfiguration und die Art der "Probenahme" entsprechend gewählt werden. Es ist konsequenterweise leicht nachzuvollziehen, daß mit modifizierter Leitungsführung und Ankopplung der Meßleitung auch andere Gewichtungen des primären Körperschalls als hier vorgestellt realisiert werden können, so daß sich ausgehend von der vorliegenden Anordnung durch geschickte Festlegungen quasi beliebige Kennzeichnungssituationen herstellen lassen, die zwischen den Extremen "vollständige Erfassung" und "vollständige Unterdrückung" des primären Körperschalls liegen. Es ist damit nachvollziehbar, daß damit letztlich auch die Bedingungen eines Normprüfstandes "eingestellt" werden können. Dahingestellt sei hierbei jedoch, ob dies im Sinne einer aussagekräftigen Körperschallerfassung das Ziel der Bemühungen sein kann.

Ergänzt sei, daß durch geeignete Mittelung von Meßpunkten, wie in Tabelle 2 gezeigt wird, ebenfalls (in beschränktem Maße) in die Meßwertbildung des L_{ap} eingegriffen werden kann und damit ein weiteres Gestaltungsinstrument zu Verfügung steht, wenn die Aussagefähigkeit des Kleinprüfstandes an ein vorgegebenes Verhalten (z.B. eines Normprüfstandes) angepaßt werden soll. Im weiteren wurde die "Einstellung" des Spiralprüfstandes nicht weiter vorangetrieben. Es möge z.Zt. genügen, die prinzipiellen Möglichkeiten aufzuzeigen angesichts der Tatsache, daß bislang noch keine Aussage verfügbar ist, auf welchen "wahren Wert" hin die Einstellung zu erfolgen habe. Einen Vergleich der L_{ap} -Werte aus verschiedenen Meßanordnungen enthalten in diesem Zusammenhang die folgenden Ausführungen.

6. Vergleich der Armaturengeräuschpegel aus unterschiedlichen Meßanordnungen

In einer abschließenden Zusammenstellung enthält Tabelle 3 einen Vergleich von Armaturengeräuschpegeln, die an verschiedenen Meßanordnungen ermittelt wurden. Im einzelnen handelt es sich um folgende Prüfstände.

1. Einrohrprüfstand mit Meßwernerfassung im Körperschall (gemessen auf der Meßplatte am Meßpunkt 7 und zusätzlich gemessen auf der Rohrbefestigung am Meßpunkt 3) und im Wasserschall.
2. Herkömmlicher Kleinprüfstand zur Messung von Wasserschall (Zweirohr-Ausführung).
3. Normprüfstand nach DIN 52 218 im Fraunhofer-Institut für Bauphysik (neben der normgemäßen Messung des Luftschalls im Empfangsraum wurde ergänzend auch Wasserschall in der Nähe der Armatur gemessen; siehe hierzu in [1] Meßpunkt WS1 in Bild 52).
4. Spiralprüfstand mit den Ankopplungszuständen "Ein", "Aus" und "Ein + Aus".

Untersucht wurden hier die Armaturen A, B und C, wobei zusätzlich Armatur A auch ohne Wasserschalldämpfer verwendet wurde, um die Erfassung der Dämpfereigenschaften durch verschiedene Prüfstandsarrangierungen zu

berücksichtigen. Es zeigt sich, daß die Dämpfungseigenschaften ganz unterschiedlich zur Geltung kommen: nur geringe Wirkung ist vorhanden, wenn vorrangig der Körperschall in Armaturennähe erfaßt wird. Das ist der Fall beim Einrohrprüfstand und beim Spiralprüfstand ("Aus"). Die größte Wirkung wird bei Wasserschallmessungen (Einrohr-Prüfstand) sowie beim Spiralprüfstand ("Ein") - trotz Messung über Körperschall - verzeichnet. Die letzte Feststellung beinhaltet, daß der Spiralprüfstand im Ankopplungszustand "Ein" tatsächlich in der Lage ist, den primären Körperschall zu eliminieren. Die Meßwerte für Armatur A ohne Dämpfer zeigen im weiteren auch, daß der ermittelte L_{ap} erstaunlich wenig vom gewählten Prüfstand abhängt. In [1] wurde bereits ein derartiges Verhalten als typisch für eine Armatur mit starker Wasserschallerzeugung hergeleitet und nachgewiesen. Prüfstandsunterschiede fallen - wie auch hiermit noch einmal gezeigt wird - bei derartigen Armaturen nicht signifikant ins Gewicht. Solche Armaturen werden bei unterschiedlichen Prüfständen deshalb auch kaum durch abweichende Prüfergebnisse auffallen. Anders sieht es hingegen bei einer stark körperschallgeprägten Armatur - hier Armatur B - aus. Im Gegensatz zum vorhergehenden Fall führt der starke Anteil an primärem Körperschall zu großen prüfstandsbedingten Abweichungen im Meßergebnis. Dies entspricht ebenfalls dem in [1] prognostizierten Verhalten. Es kann hiermit nochmals festgehalten werden, daß die Unterschiede einzelner Prüfstände keine eindeutig definierbare Größe sind; vielmehr hängen sie maßgeblich von der Art der untersuchten Armatur (genauer: deren Art, Wasserschall und Körperschall zu erzeugen) ab. Prüfstandsabweichungen können deshalb durch "gutmütige" (d.h. wasserschallgeprägte) Armaturen kaschiert werden, während körperschallgeprägte Armaturen zu deutlichen Abweichungen führen können. Die Vergleichbarkeit von Prüfständen - letztlich auch von Normprüfständen - muß sich deshalb bezüglich kritischer Armaturen erweisen.

Unter den zahlreichen weiteren Aussagen, die aus dem Vergleich der verschiedenen Prüfstände gewonnen werden können, seien einige wesentliche noch hervorgehoben. Der Spiralprüfstand erzeugt im Ankopplungszustand "Ein" in der Regel die niedrigsten Armaturengeräuschpegel - ein Indiz dafür, daß die bewußt erzwungene Kopplung von

Wasserschall und Körperschall tatsächlich zum energetischen Gleichgewicht und zum Abbau des primären Körperschalls geführt hat. Erwartungsgemäß führt der Ankopplungszustand "Aus" (Armaturenanschluß) zu erhöhten Armaturengeräuschpegeln. Es werden jedoch nicht die Werte des Einrohr-Prüfstandes erreicht, der über die Körperschallmessung die "schärfste" Bewertung des primären Körperschalls realisiert. Offensichtlich führt die beim Spiralprüfstand gewählte Ankopplung des Auslaufstrangs schon zu einer gewissen Entschärfung des primären Körperschalls. Es wäre vergleichsweise einfach realisierbar, die Körperschallerfassung des Spiralprüfstandes durch Modifikation im Bereich des Auslaufstrangs sensibler zu gestalten. Bestände die Aufgabenstellung für einen Kleinprüfstand darin, möglichst "naturgetreu" einen Normprüfstand zu realisieren, dann ließe sich das mit dem Spiralprüfstand und den in Ziffer 5 aufgezeigten "Einstellungsmöglichkeiten" sicherlich verwirklichen. Bereits die in dieser Hinsicht quasi willkürlich gewählten Ankopplungsarten "Aus" und "Ein + Aus" zeigen hier schon eine ganz vernünftige Annäherung an das Verhalten des (IBP)-Normprüfstandes. Kritisch sei jedoch angemerkt, ob diese Simulation eines Normprüfstandes tatsächlich gewünscht wird. Denn offensichtlich zeichnet sich zumindest der vorliegende Normprüfstand schon durch eine gewisse Unterdrückung des primären Körperschalls aus, andererseits wurde aber gerade die Erfassung dieses primären Körperschalls als Aufgabe gestellt. Die Simulation eines Normprüfstandes mit den (hier vorhandenen) Möglichkeiten eines modifizierten Kleinprüfstandes kann demnach nicht vorrangiges Ziel der Untersuchungen sein, wenn es erklärtermaßen darum geht, den Körperschall aussagekräftig zu erfassen.

7. Abschließende Wertung

Mit den hier vorgestellten modifizierten Kleinprüfständen in Form des Einrohr-Prüfstandes und des Spiralprüfstandes stehen zwei Lösungsmöglichkeiten zur Verfügung, die es gleichermaßen erlauben, einer aussagekräftigen Erfassung des primären Körperschalls gerecht zu werden. Welcher Version der Vorzug gegeben werden soll, hängt letztlich von den gewünschten

Zielsetzungen ab. Im Gegensatz zu baulichen Prüfständen nach DIN 52 218 zeichnen sich beiden Versionen dadurch aus, daß durch exakte Vorgabe der mechanischen und geometrischen Eigenschaften gut reproduzierbare Meßanordnungen geschaffen werden können, die durch einen am Normprüfstand nicht denkbaren Grad an Vereinheitlichung die systematischen Schwächen des Vergleichsschallquellenverfahrens ausgleichen. Für den Einrohr-Prüfstand spricht z.B. der äußerst einfache mechanische und hydraulische Aufbau sowie die äußerst sensible Kennzeichnung der Körperschallerzeugung einer Armatur. Für den Spiralprüfstand spricht seine Vielseitigkeit, extreme (und bei Bedarf beliebige) Übertragungsverhältnisse bezüglich des interessierenden Körperschalls herzustellen. Mit Hinblick auf die in einem weiterführenden Schritt noch aufzugreifenden Betätigungsgeräusche könnte es desweiteren von Vorteil sein, daß er aller Voraussicht nach die hydraulischen Abschlußbedingungen, die die Armatur im dynamischen Belastungsfall bei der Betätigung sieht, praxisgerechter simuliert als ein Einrohr-Prüfstand. Eine derartige Fragestellung wäre in weiterführenden Untersuchungen abschließend zu klären. Weiterführenden Untersuchungen sollte es auch vorbehalten sein, eine größere Anzahl marktüblicher Auslaufarmaturen bezüglich ihrer Wasserschall- und Körperschallerzeugung zu überprüfen, um sowohl bei stationärem Fließgeräusch als auch Betätigungsgeräuschen eine verlässliche Aussage über den aktuellen Ist-Zustand zu gewinnen. Die hier aufgezeigten Lösungsmöglichkeiten für einen modifizierten Kleinprüfstand sollten auch in bislang nicht oder zweitrangig behandelten Auslegungskriterien für eine praxisgerechte Anwendung umgesetzt werden. Hierzu gehört zum Beispiel die Gestaltung des Armaturenanschlusses oder der hydraulische Abschluß der Meßleitung. Nicht zur unmittelbaren Aufgabenstellung gehört hingegen die Lösung der Übertragbarkeitsprobleme. Diese Problematik ergibt sich, wie in [1] begründet wurde, bei jedem Vergleichsschallquellenverfahren in derselben Tiefe, so daß sie unabhängig vom gewählten Meßverfahren (incl. eines Normprüfstandes) völlig neu geklärt werden muß. Einvernehmen ist schließlich bei der abschließenden Auslegung des modifizierten Prüfstandes zu erzielen in der Gewichtung des zu erfassenden primären Körperschalls. Im Sinne einer den praktischen Bedingungen im Bau entsprechenden Festlegung kann dies

jedoch nur heißen, den Körperschall möglichst nah an der Armatur zu erfassen, um die Wirkung des primären Körperschalls ungemindert wie am Armaturenanschluß zu erfassen.

8. Literatur

- [1] Fischer, H.-M., Efinger, S.: Vereinfachtes Verfahren zur Erfassung des von Auslaufarmaturen verursachten Körperschalls. Teil I: Grundlegende Untersuchungen zur Körperschallproblematik. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, B-BA 1/1991 (1991).
- [2] Gösele, K., Voigtsberger, C.A.: Vereinfachte Anordnung zur Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen. Sanitär- und Heizungstechnik 3 (1979), S. 189-194.
- [3] Voigtsberger, C.A., Fuchs, H.V.: Messung des von Sanitär-Armaturen erzeugten Wasserschalls. IBP-Mitteilung 7 (1979), Nr. 37.
- [4] Fischer, H.M., Klöppner, U.: Entwicklung eines Verfahrens zur Erfassung der Körperschallanregung durch Auslauf-Armaturen. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, BS 163/87, (1987).

Tabelle 1 Armaturengeräuschpegel L'_{ap} [dB(A)] für verschiedene Armaturen am Spiralprüfstand, ermittelt über Körperschallmessungen bei verschiedenen Leitungsankopplungen und Meßpunkten auf der Meßplatte; für jeden Ankopplungszustand sind zusätzlich der Mittelwert L'_{ap} über alle 5 Meßpunkte sowie die Standardabweichung s angegeben (Betrieb der Armaturen bei Stellung "misch", 0,3 MPa).

Art der Ankopplung	Meßpunkt	Armatur A mit WS-Dämpfer		Armatur A ohne WS-Dämpfer		Armatur B		Armatur C	
		Wanne	Brause	Wanne	Brause	Wanne	Brause	Wanne	Brause
"Ein"	C4	9,3	6,9	16,8	14,2	8,4	-1,9	21,4	20,9
	F6	9,2	4,5	17,1	14,0	6,9	-2,3	21,2	21,0
	G2	9,1	5,2	17,4	15,2	6,8	-2,7	21,7	21,2
	I4	10,2	6,3	16,4	14,2	8,6	-2,9	21,6	20,9
	K1	9,6	4,3	15,8	14,4	8,4	-2,0	22,2	21,6
	L'_{ap} s	9,5 0,44	5,4 1,1	16,7 0,62	14,4 0,47	7,8 0,89	-2,4 0,43	21,6 0,38	21,1 0,29
"Aus"	C4	14,1	11,2	16,7	13,6	13,5	3,5	24,7	23,7
	F6	14,1	11,5	16,4	12,6	12,9	8,8	25,6	24,5
	G2	15,7	13,2	16,3	12,7	13,4	8,5	25,9	25,2
	I4	12,8	10,8	18,0	14,0	13,9	5,5	25,3	24,6
	K1	15,1	12,5	17,4	13,7	14,2	6,6	25,1	25,4
	L'_{ap} s	14,4 1,1	11,8 0,99	17,0 0,72	13,3 0,63	13,6 0,50	6,6 2,2	25,3 0,46	24,7 0,67
"Ein und Aus"	C4	12,7	11,1	17,5	14,6	12,9	3,7	24,1	23,6
	F6	12,6	9,8	16,1	14,3	10,9	5,7	22,6	22,5
	G2	11,5	9,2	15,6	13,3	8,2	2,7	22,8	22,8
	I4	13,2	10,6	16,6	13,6	11,6	3,9	24,4	23,8
	K1	13,5	12,5	17,0	15,4	14,8	6,8	23,8	23,9
	L'_{ap} s	12,7 0,76	10,6 1,27	16,6 0,74	14,2 0,83	11,7 2,44	4,6 1,65	23,5 0,80	23,3 0,63

Tabelle 2 Mittelung der L'_{ap} über verschiedene Meßpunkte auf der Meßplatte des Spiralprüfstandes; Ankopplung der Meßleitung an die Platte am Einlauf und Auslauf; Betrieb der Armaturen bei Stellung "misch" und 0,3 MPa.

Mittelung über folgende Meßpunkte	Armatur A mit WS-Dämpfer		Armatur A ohne WS-Dämpfer		Armatur B		Armatur C	
	Wanne	Brause	Wanne	Brause	Wanne	Brause	Wanne	Brause
nur K1	13,5	12,5	17,0	15,4	14,8	6,8	23,8	23,9
C4, K1	13,1	11,8	17,3	15,0	13,9	5,2	24,0	23,8
F5, K1	13,1	11,2	16,6	14,9	12,9	6,2	23,2	23,2
G2, K1	12,5	10,8	16,3	14,4	11,5	4,8	23,3	23,4
C4, F6, K1	12,9	11,1	16,9	14,8	12,9	5,4	23,5	23,3
F6, G2, K1	12,5	10,5	16,2	14,3	11,3	5,1	23,1	23,1
F6, G2, I4	12,4	9,9	16,1	13,7	10,2	4,1	23,3	23,0

Tabelle 3 Armaturengeräuschpegel L_{ap} [dB(A)] an verschiedenen Prüfständen für verschiedene Armaturen (Betrieb bei Stellung "misch" und 0,3 MPa).

Art des Prüfstandes	Meßgröße	Armatur A mit WS-Dämpfer		Armatur A ohne WS-Dämpfer		Armatur B		Armatur C	
		Wanne	Brause	Wanne	Brause	Wanne	Brause	Wanne	Brause
1-Rohr-Prüfstand	Ks auf Platte	18,7	15,1	20,1	16,3	24,2	14,4	32,7	28,2
	KS auf Rohr	19,0	16,1			21,2	14,3	31,2	25,7
	WS	11,4	5,8	17,6	13,7	6,9	-5,3	23,0	22,2
2-Rohr-Prüfstand	WS	14,0	9,0	19,4	15,9	7,9	-0,5	25,0	24,5
Norm-Prüfstand	LS	13,6	8,8	18,1	15,0	10,0	6,1	24,9	24,9
	WS	12,0	7,8	18,6	15,2	9,0	0,6	25,4	25,5
Spiral-Prüfstand (Mittelwerte)	KS "Ein"	9,5	5,4	16,7	14,4	7,8	-2,4	21,6	21,1
	KS "Aus"	14,4	11,8	17,0	13,3	13,6	6,6	25,3	24,7
	KS ("Ein u. Aus")	12,7	10,6	16,6	14,2	11,7	4,6	23,5	23,3

Meßgrößen: KS = Körperschallmessung
 WS = Wasserschallmessung
 LS = Luftschallmessung

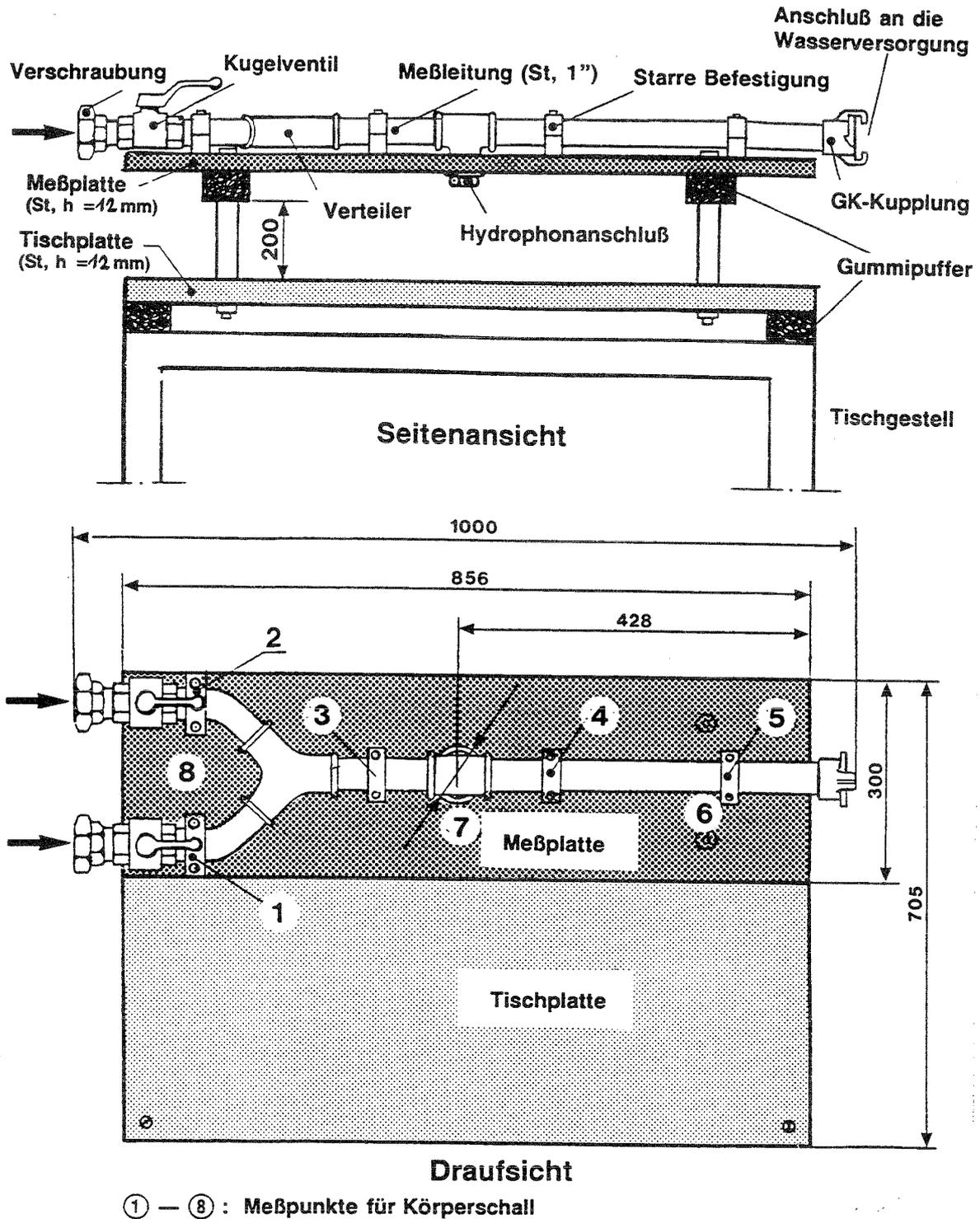


Bild 1 Modifizierter Kleinprüfstand zur Messung des von Armaturen erzeugten Körperschalls und Wasserschalls; Ausführung als Einrohr-Prüfstand; Körperschallmessung im Regelfall an Meßpunkt 7 auf der Meßplatte; ergänzende Messungen an Meßpunkt 3 auf der Rohrbefestigung.

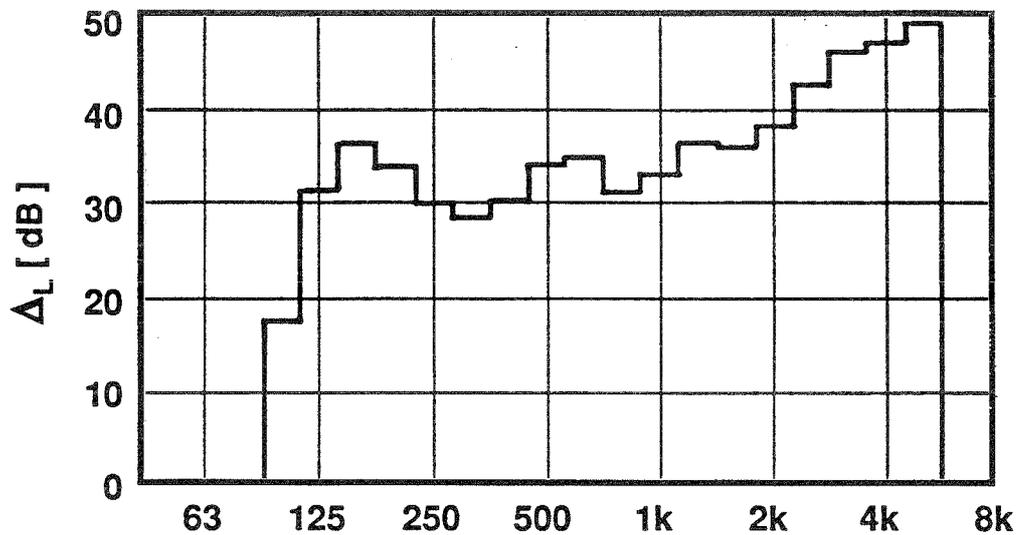
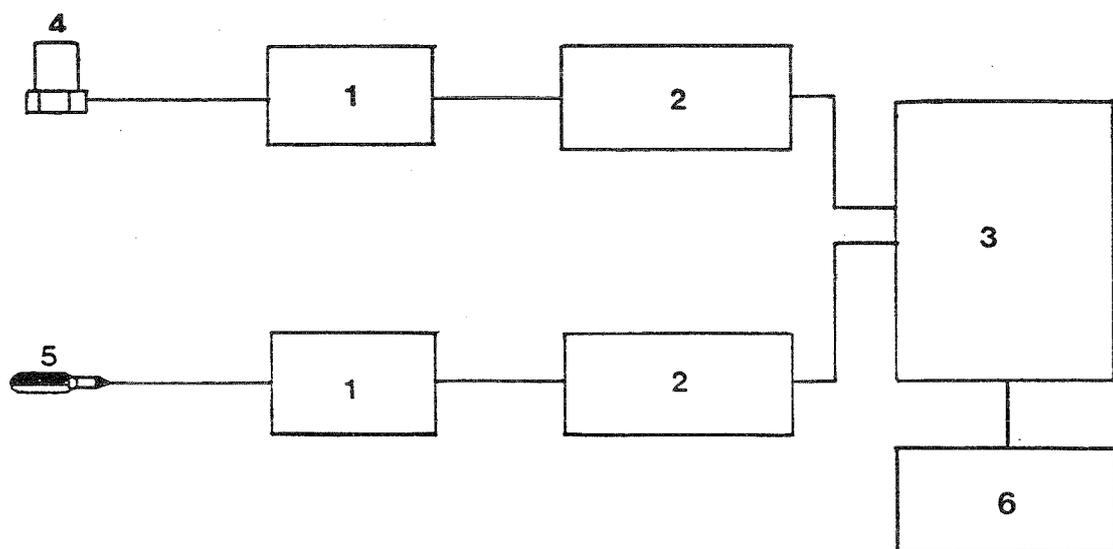


Bild 2 Körperschallisolierung des Einrohr-Prüfstands gegen Störschwingungen
 ΔL : Körperschall-Pegeldifferenz zwischen Fundament und Meßplatte des Prüfstands (Anregung mit Normhammerwerk).



- 1 Ladungsverstärker
- 2 Messverstärker
- 3 Analysator
- 4 Beschleunigungsaufnehmer
- 5 Hydrophon
- 6 Rechner

Bild 3 Elektrische Meßkette für Körperschall- und Wasserschallmessungen am modifizierten Kleinprüfstand.

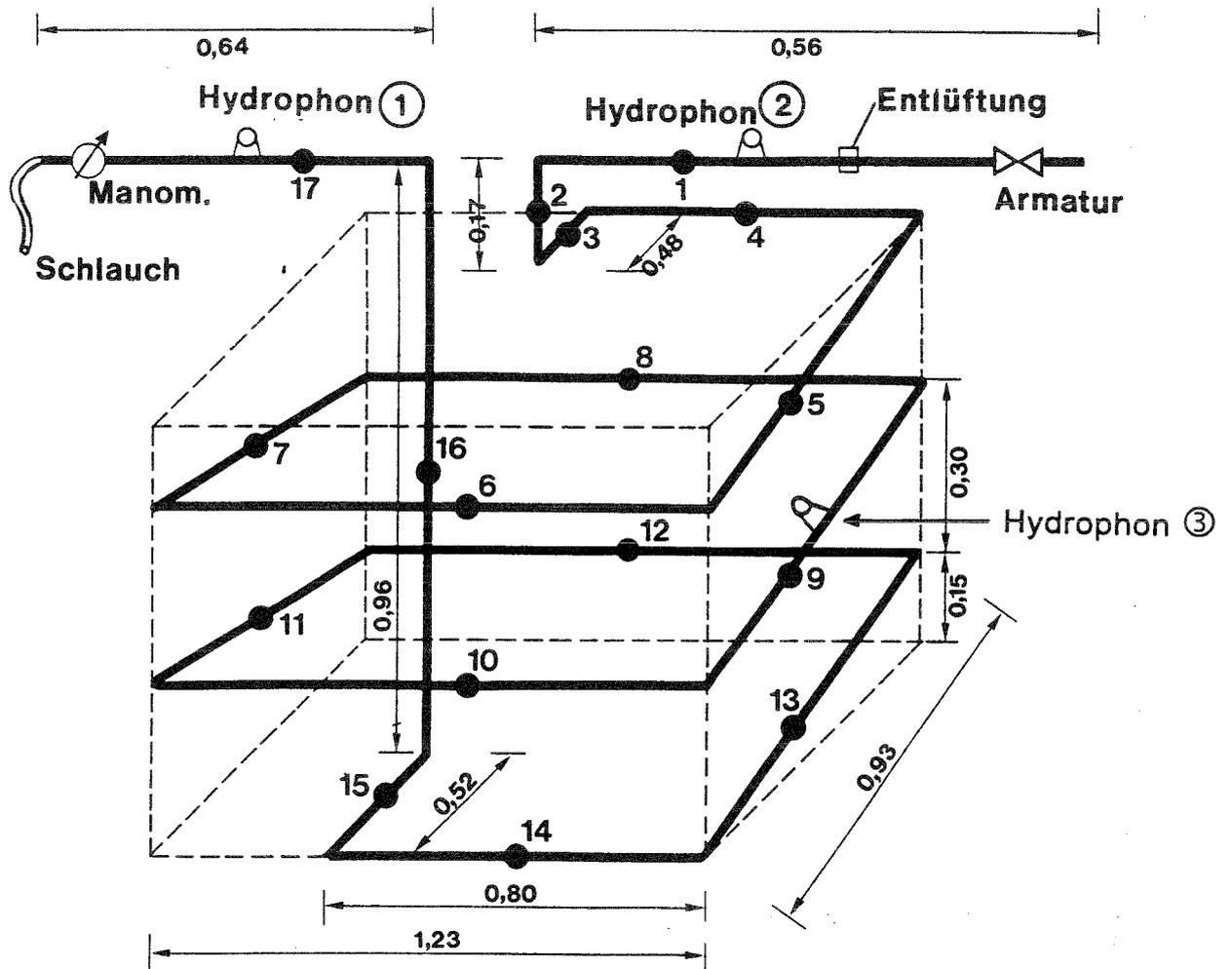


Bild 4 Meßleitung mit mehreren Krümmungen. 1. Version zur Untersuchung der Schallausbreitungs- und Kopplungsbedingungen; prinzipieller Aufbau.

Armaturenanschluß

Hosenstück 1''

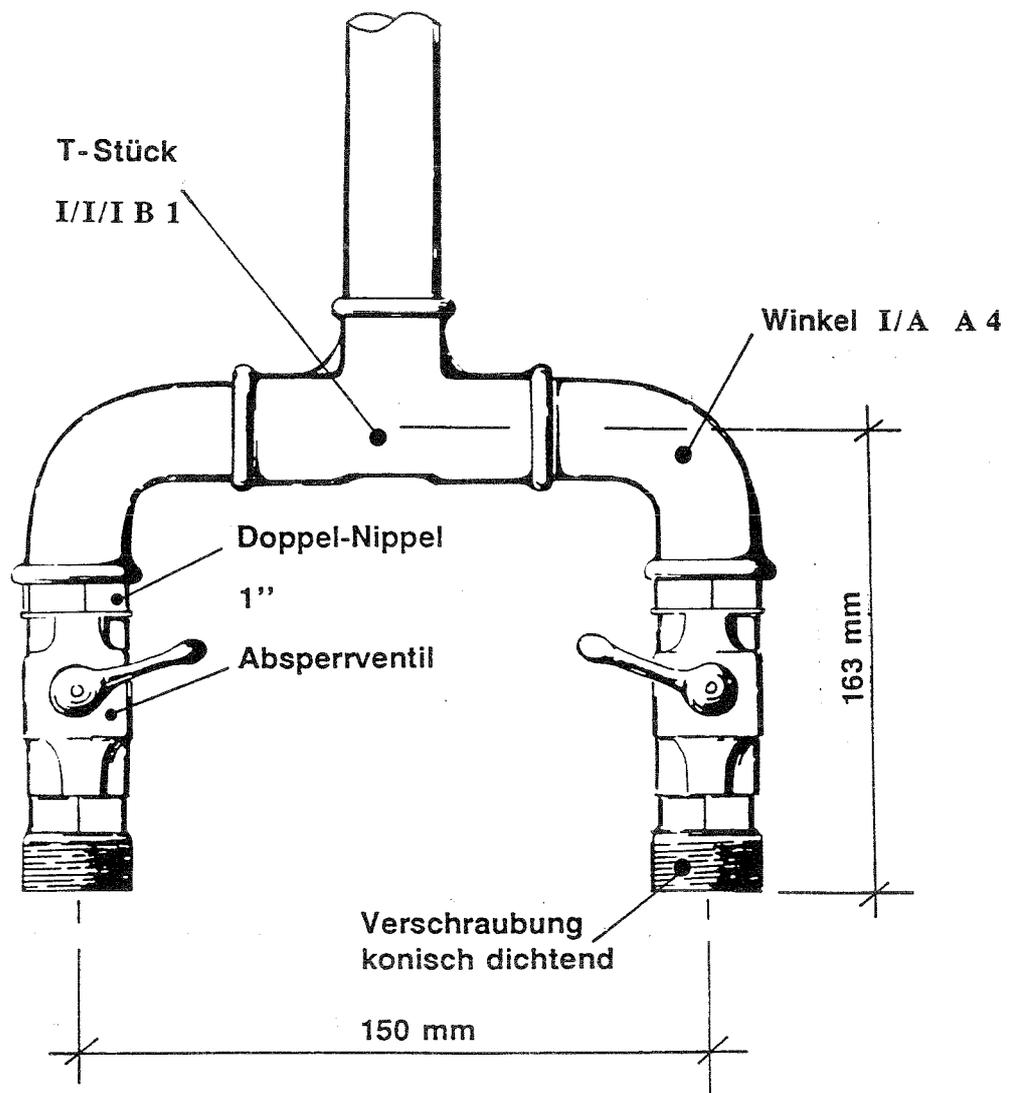


Bild 5 Armaturenanschluß für Spiralprüfstand.

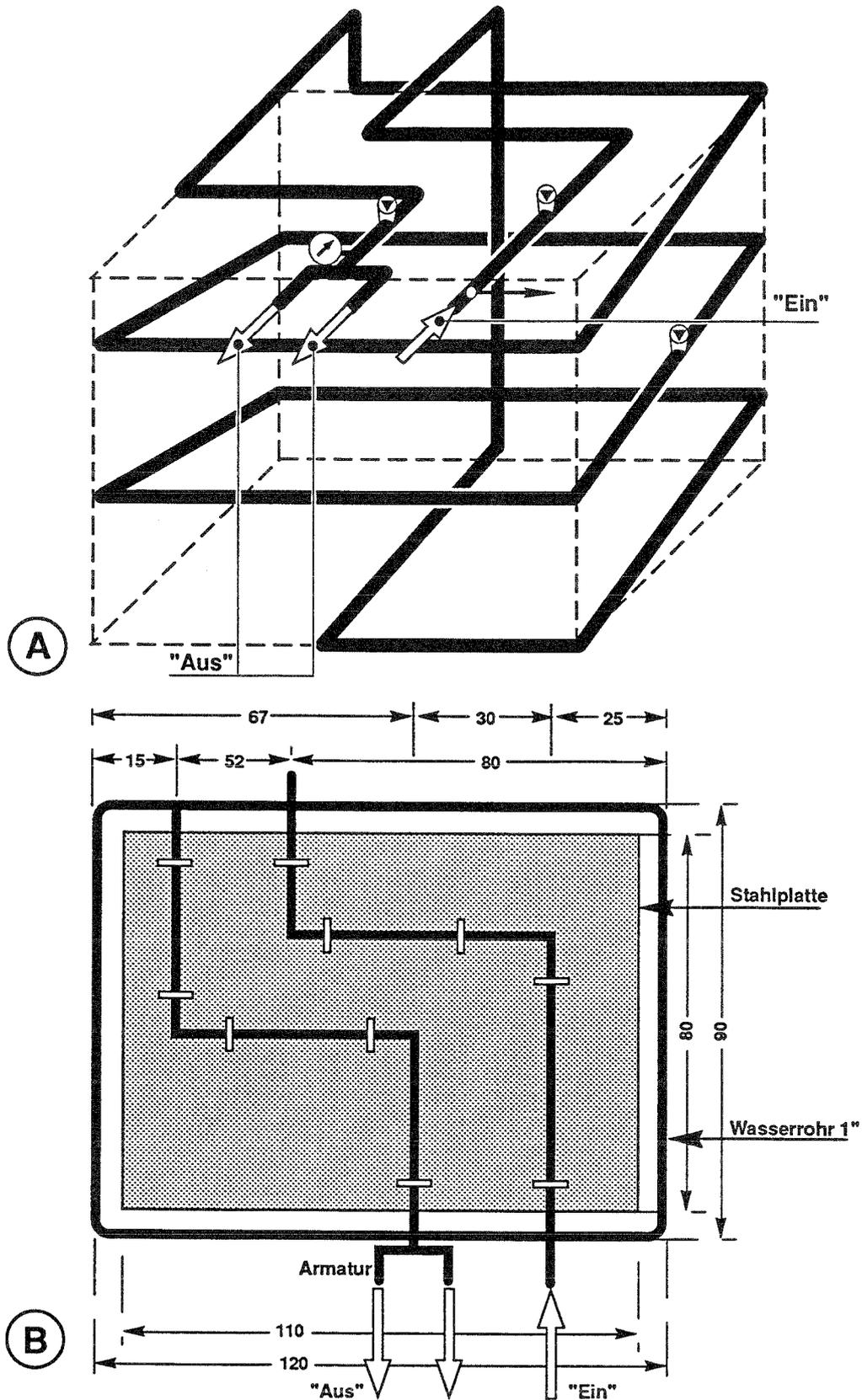


Bild 6

Spiralprüfstand (2. Version der Meßleitung mit mehreren Krümmungen).

Bild A: prinzipieller Aufbau ohne Darstellung der Meßplatte

Bild B: Ein- und Auslaufstrang mit Meßplatte.

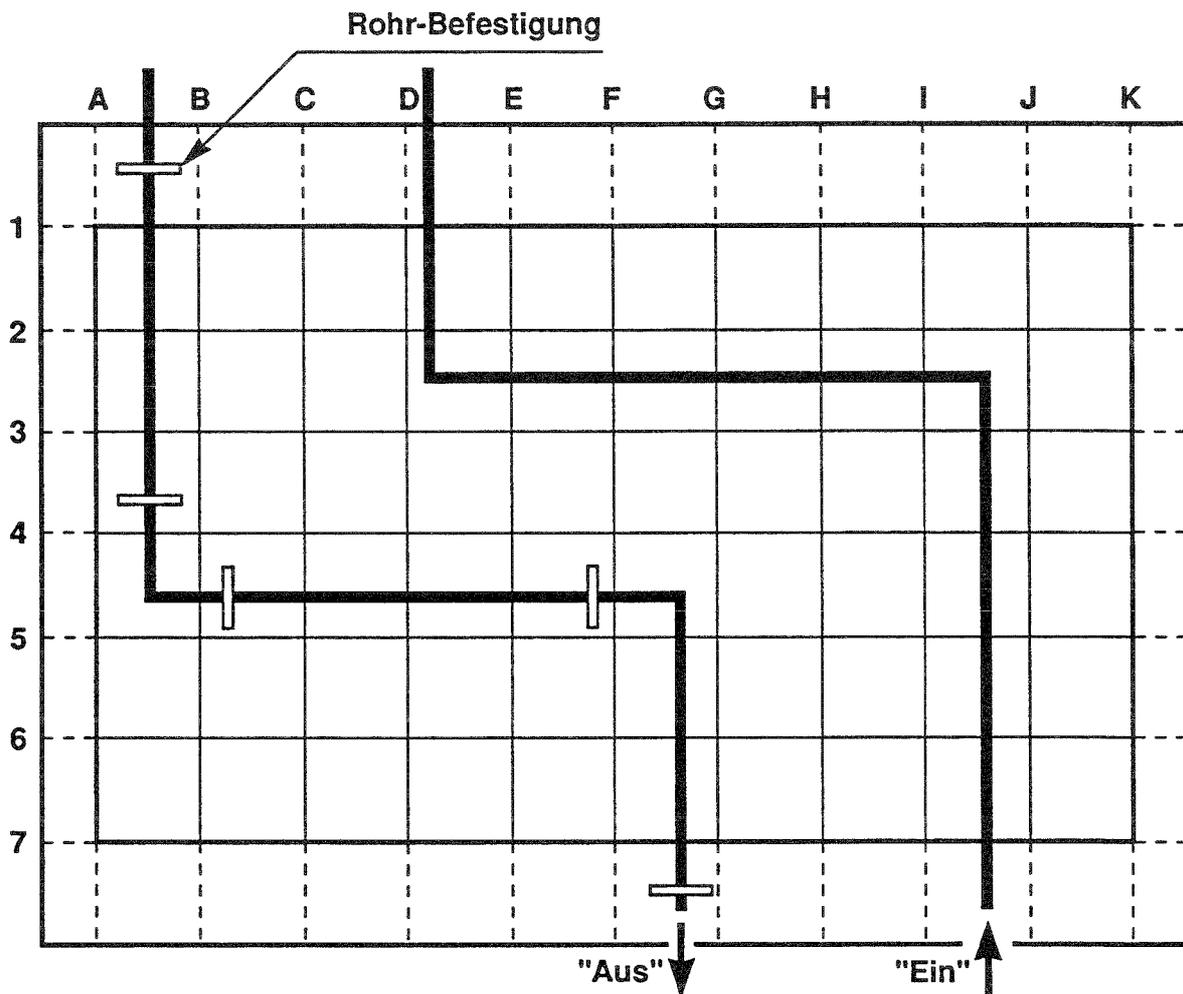


Bild 7 Ein- und Auslaufstrang des Spiralprüfstandes; angekoppelt ist der Auslaufstrang an der Meßplatte (Ankopplungszustand "Aus").

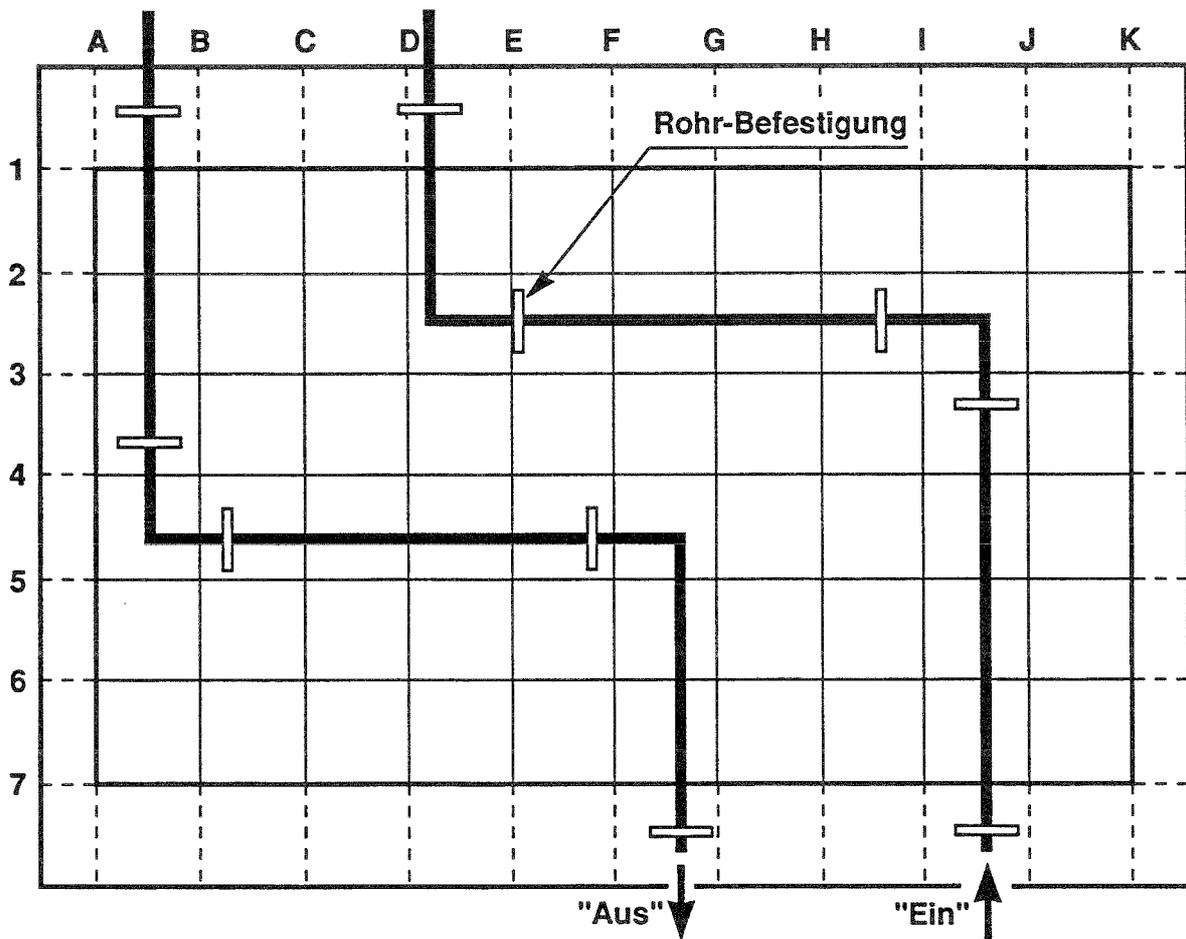


Bild 9 Ein- und Auslaufstrang des Spiralprüfstandes; angekoppelt sind Ein- und Auslaufstrang an der Meßplatte (Ankopplungszustand "Ein + Aus").



Bild 10 Einrohr-Prüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen über Körperschall auf der Meßplatte, für verschiedene Armaturen (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- Armatur A, $L_{ap} = 18,7$ dB(A)
- Armatur B, $L_{ap} = 24,2$ dB(A)
- Armatur C, $L_{ap} = 32,7$ dB(A)

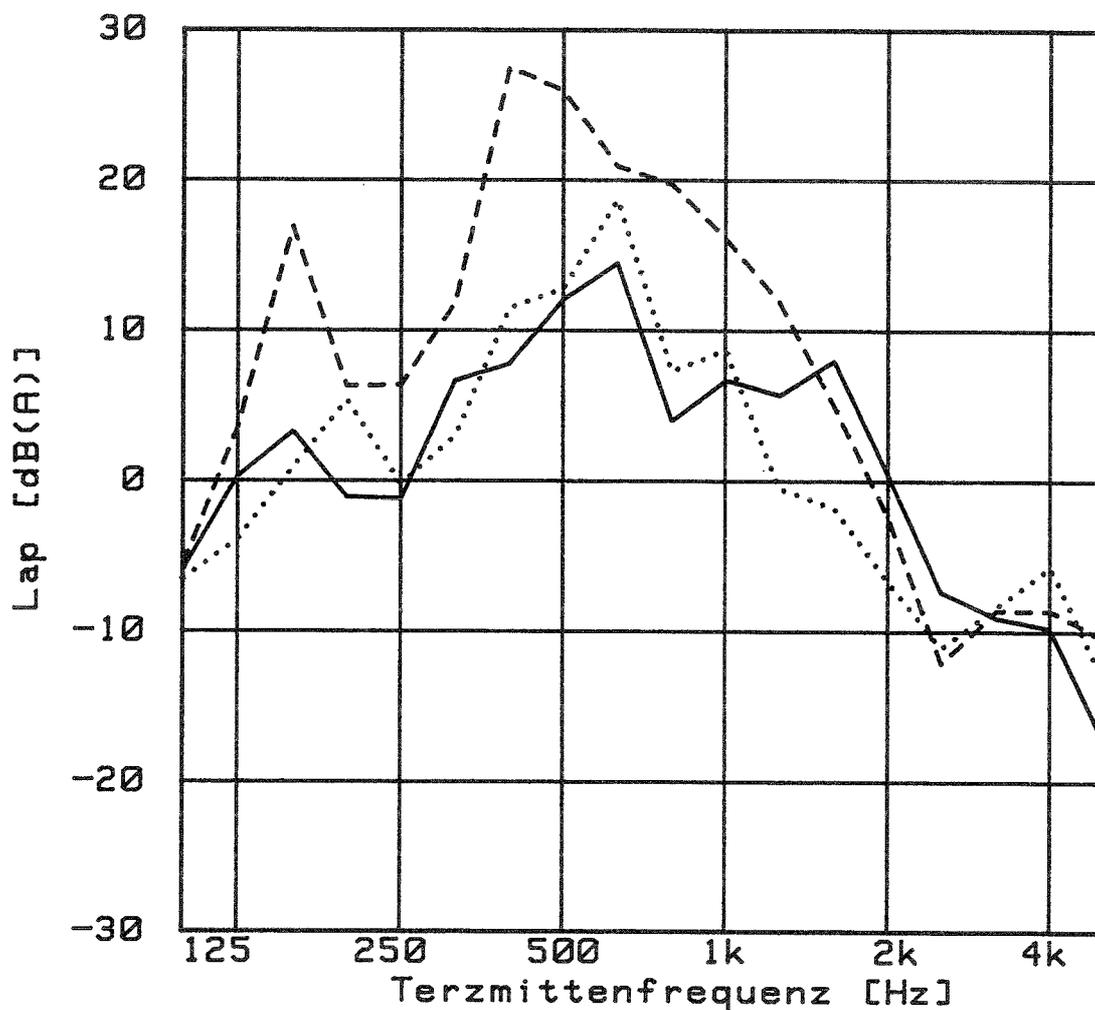


Bild 11 Einrohr-Prüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen über Körperschall auf der Rohrbefestigung (MP3), für verschiedene Armaturen (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- Armatur A, $L_{ap} = 19,0$ dB(A)
- Armatur B, $L_{ap} = 21,2$ dB(A)
- Armatur C, $L_{ap} = 31,2$ dB(A)

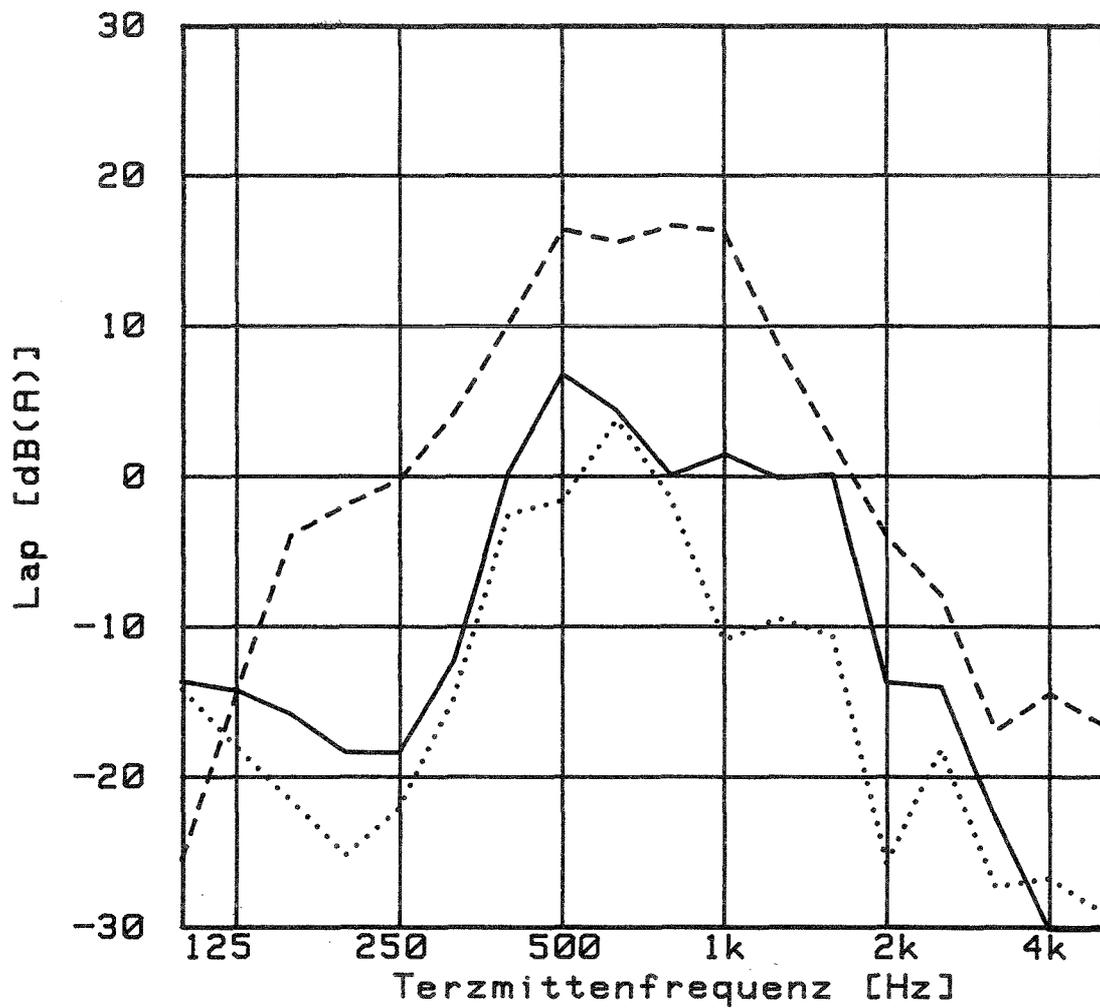


Bild 12 Einrohr-Prüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen über Wasserschall für verschiedene Armaturen (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- Armatur A, $L_{ap} = 11,4 \text{ dB(A)}$
- Armatur B, $L_{ap} = 6,9 \text{ dB(A)}$
- Armatur C, $L_{ap} = 23,0 \text{ dB(A)}$

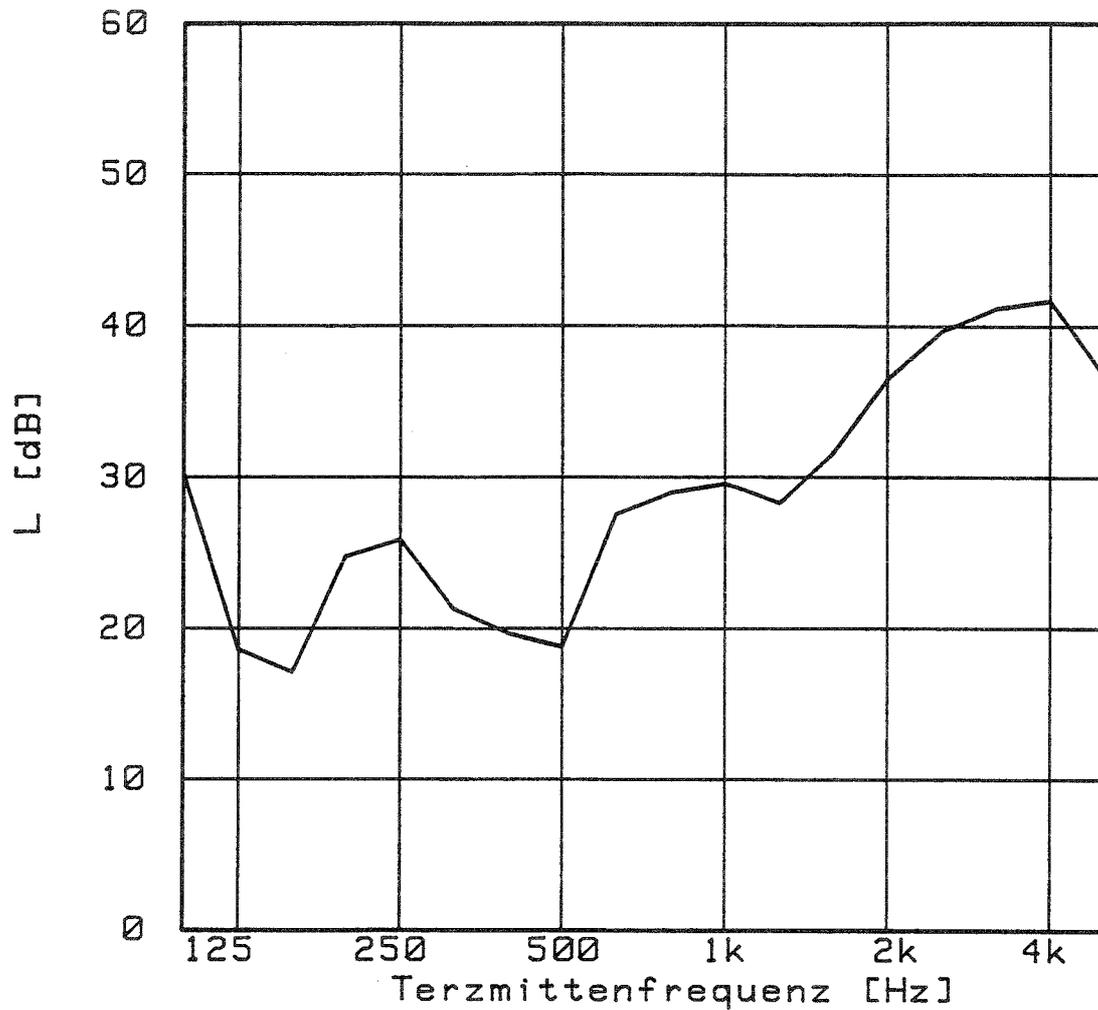


Bild 13 Körperschallisolierung des Spiralprüfstandes gegen Störschwingungen
 ΔL : Körperschallpegeldifferenz zwischen Fundament und Meßplatte des Prüfstands
 (Anregung mit Normhammerwerk).

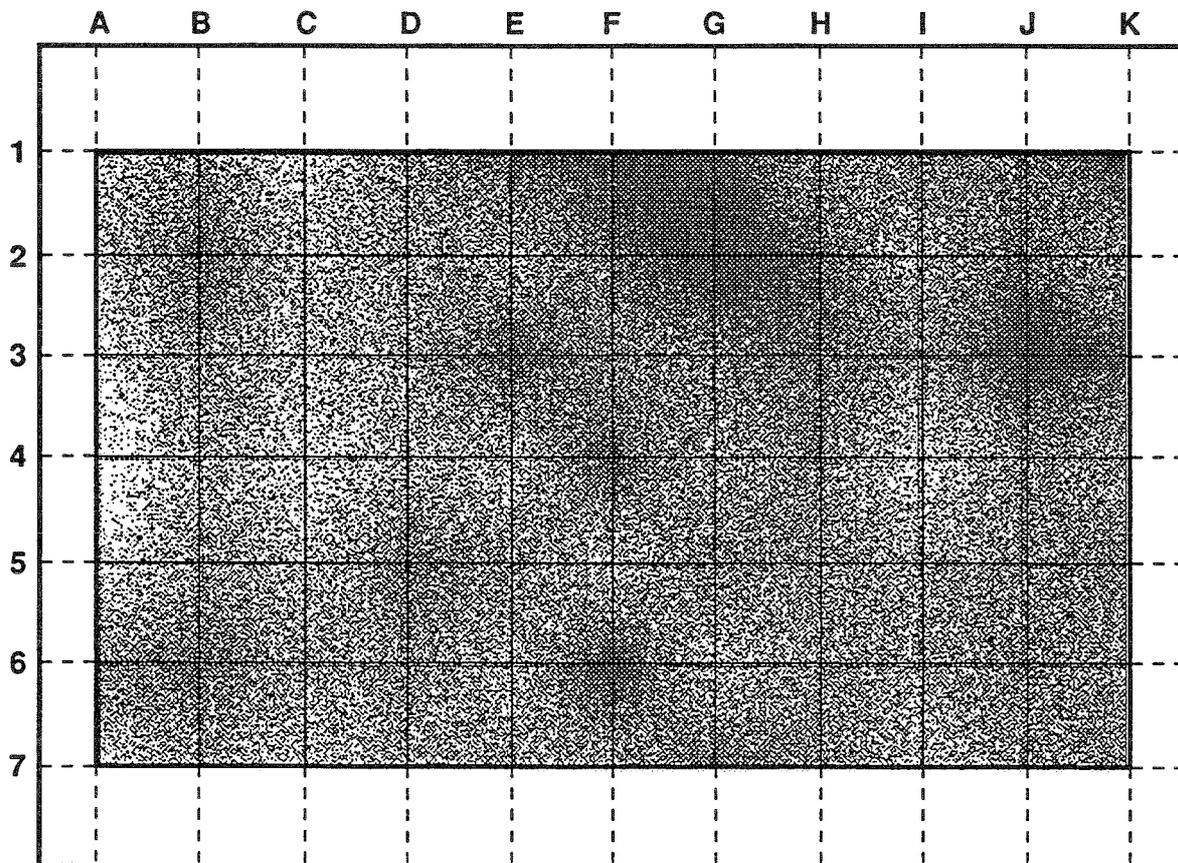


Bild 14 Qualitative Darstellung der Körperschallpegel-Verteilung (A-Summenpegel) auf der Meßplatte des Spirelprüfstands; Einlaufstrang mit Meßplatte starr verbunden;
 Minimum: 63 dB(A),
 Maximum: 61,1 dB(A)

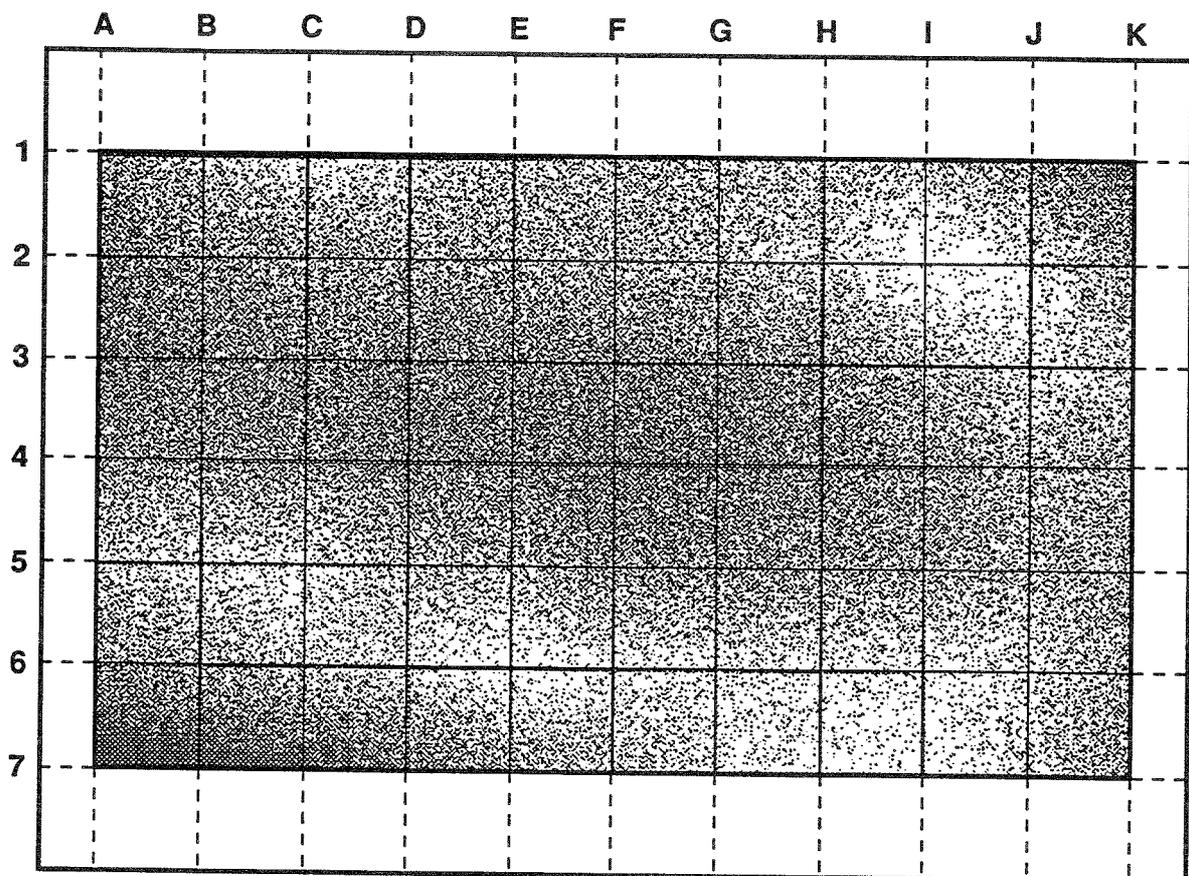


Bild 15 Qualitative Darstellung der Körperschallpegel-Verteilung (Terzband 100 Hz) auf der Meßplatte des Spiralprüfstands; Einlaufstrang mit Meßplatte starr verbunden;
 Minimum: 21,4 dB(A),
 Maximum: 36,4 dB(A).

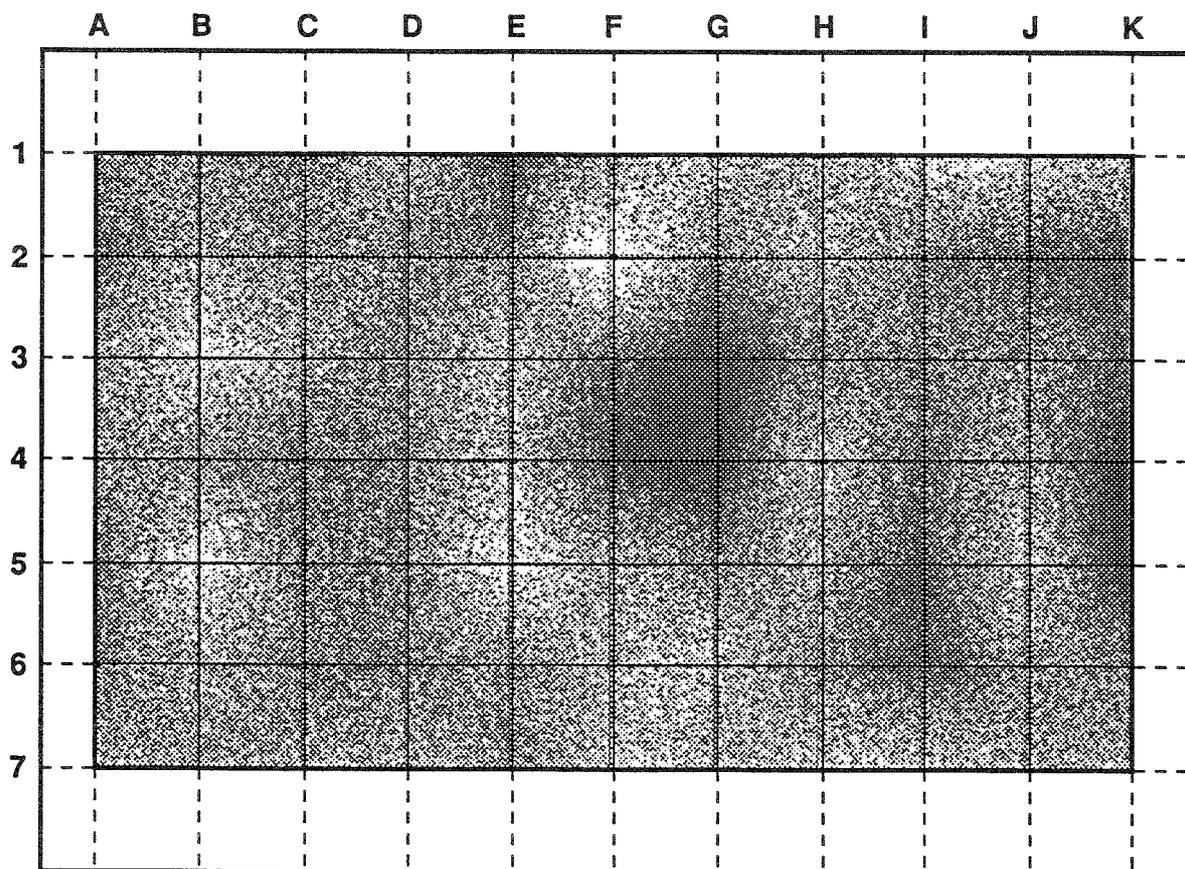


Bild 16 Qualitative Darstellung der Körperschallpegel-Verteilung (Terzband 500 Hz) auf der Meßplatte des Spiralprüfstands; Einlaufstrang mit Meßplatte starr verbunden;
 Minimum: 41,1 dB(A),
 Maximum: 55,1 dB(A).

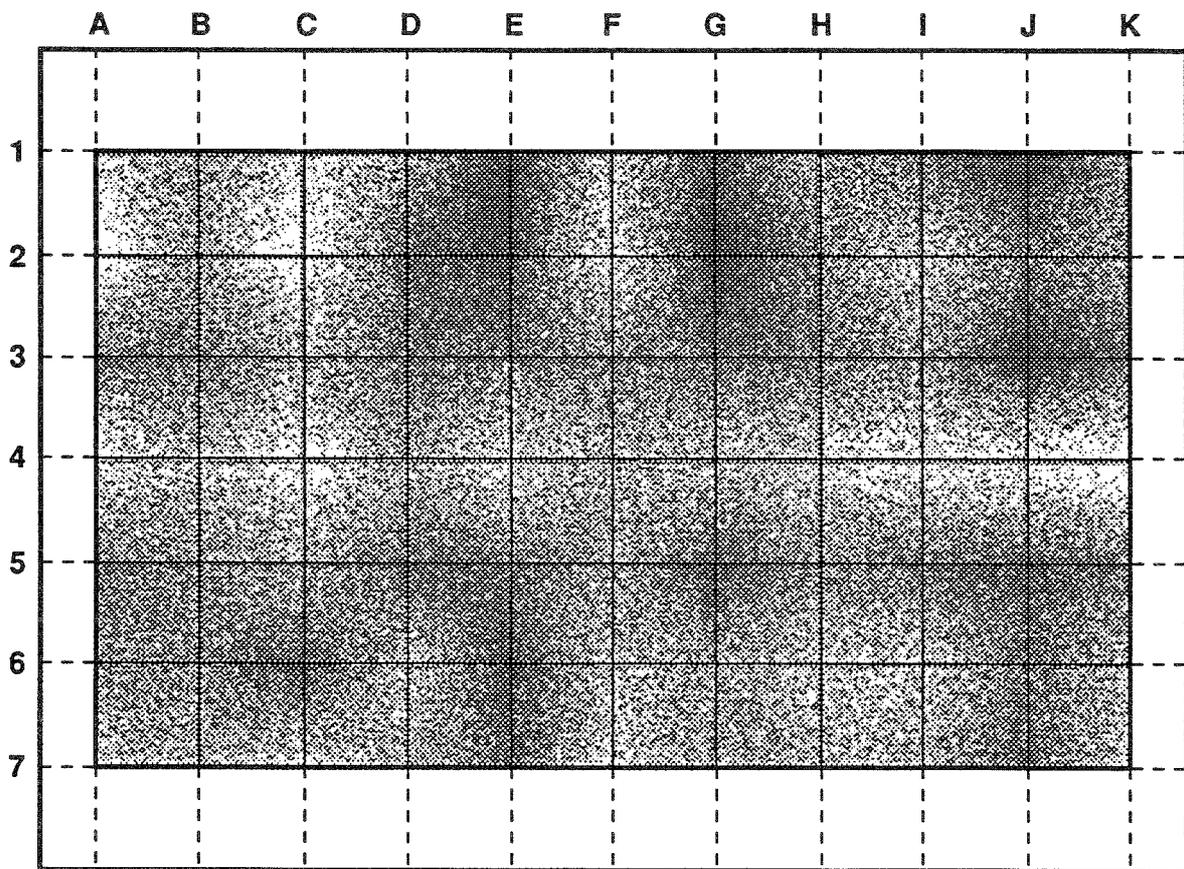


Bild 17 Qualitative Darstellung der Körperschall-Verteilung
 (Terzband 1000 Hz) auf der Meßplatte des Spiralprüfstands;
 Einlaufstrang mit Meßplatte starr verbunden;
 Minimum: 48,2 dB(A),
 Maximum: 58,7 dB(A).

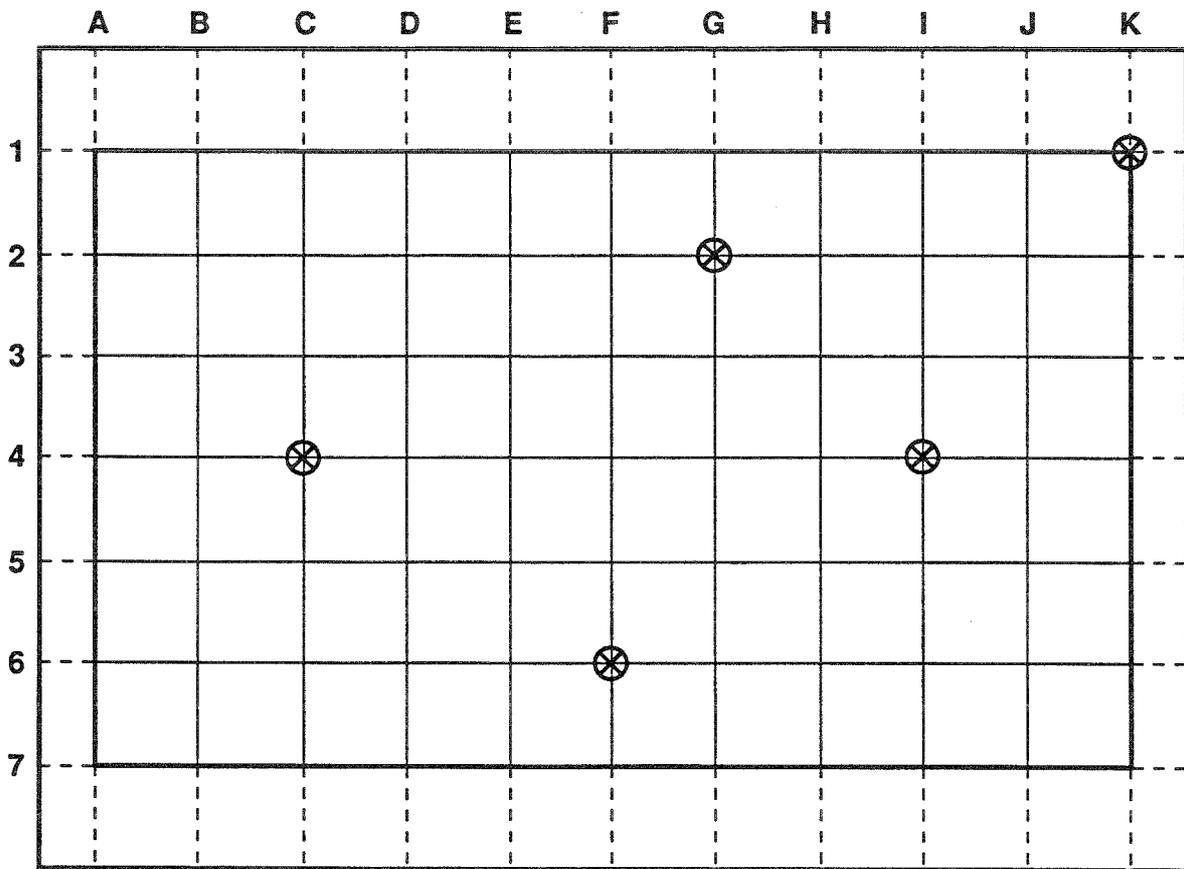


Bild 18 Meßplatte des Spiralprüfstands mit Meßraster und Körperschallmeßpunkten.

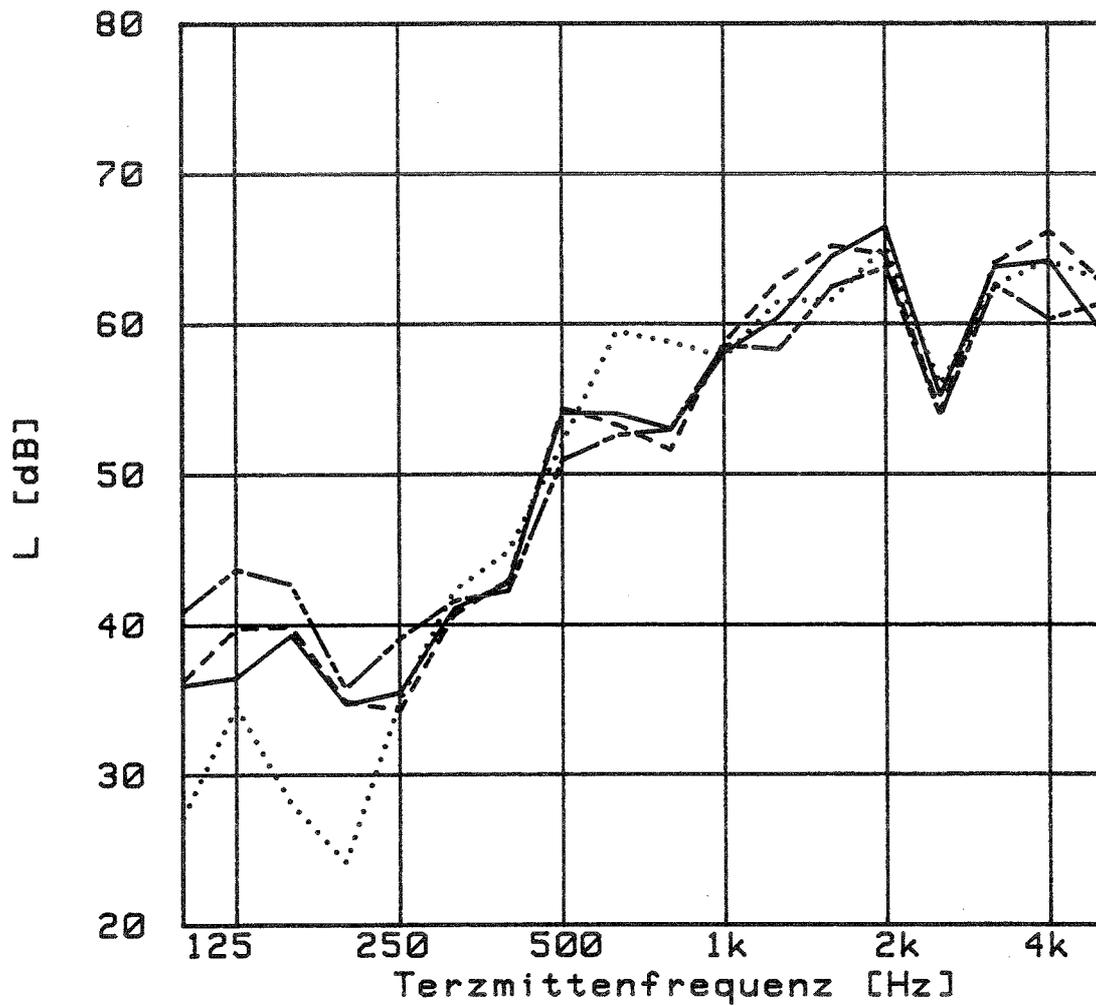


Bild 19

Körperschallbeschleunigungspegel (rel. 10^{-3} m/s^2), gemessen an verschiedenen Meßpunkten der Meßplatte des Spiralprüfstands; Auslaufstrang mit der Meßplatte starr verbunden; Anregung mit IGN (0,3 MPa)

- MP C4
- MP F6
- MP I4
- - - - MP K1

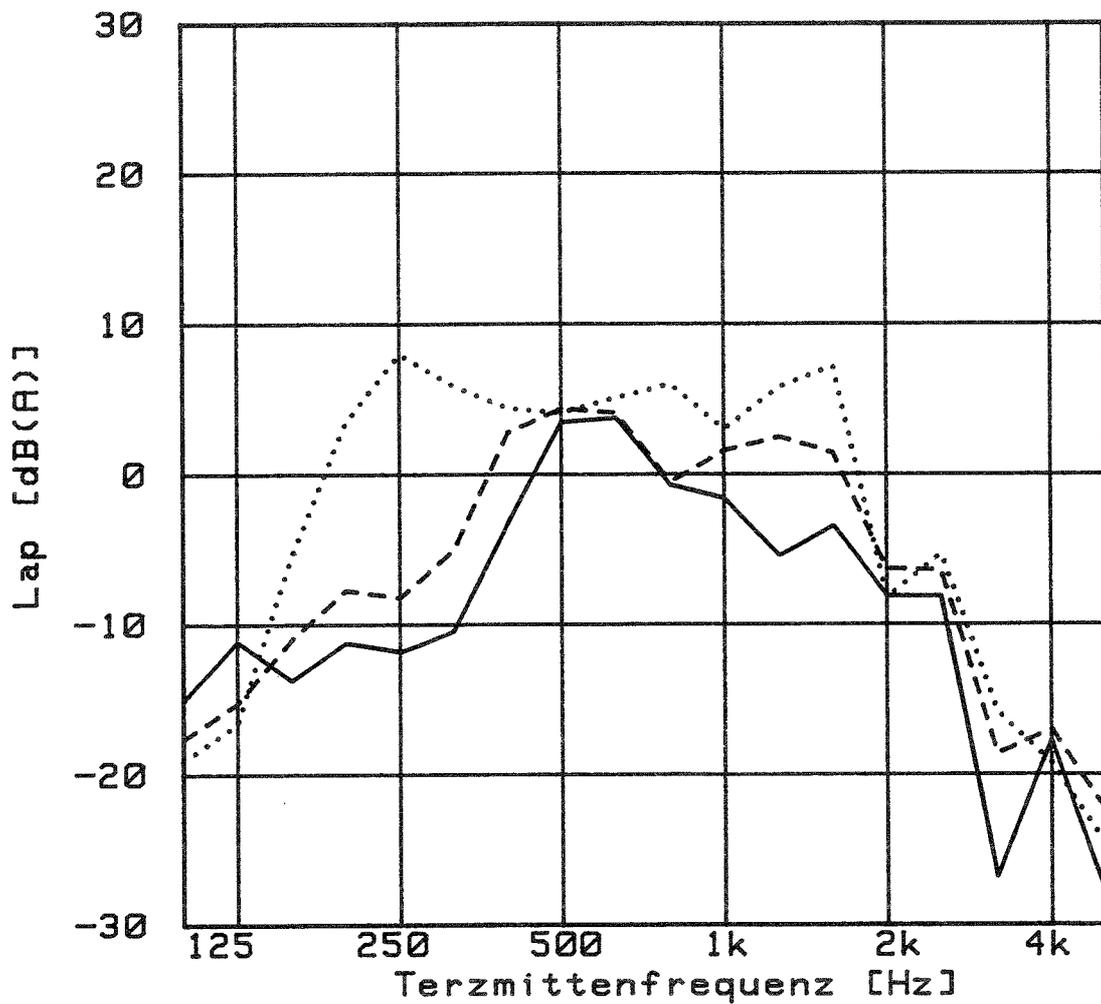


Bild 20

Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte bei verschiedenen Ankopplungszuständen der Meßleitung; Armatur A (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- Einlaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 9,1 \text{ dB(A)}$
- Auslaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 15,7 \text{ dB(A)}$
- Ein- und Auslaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 11,5 \text{ dB(A)}$

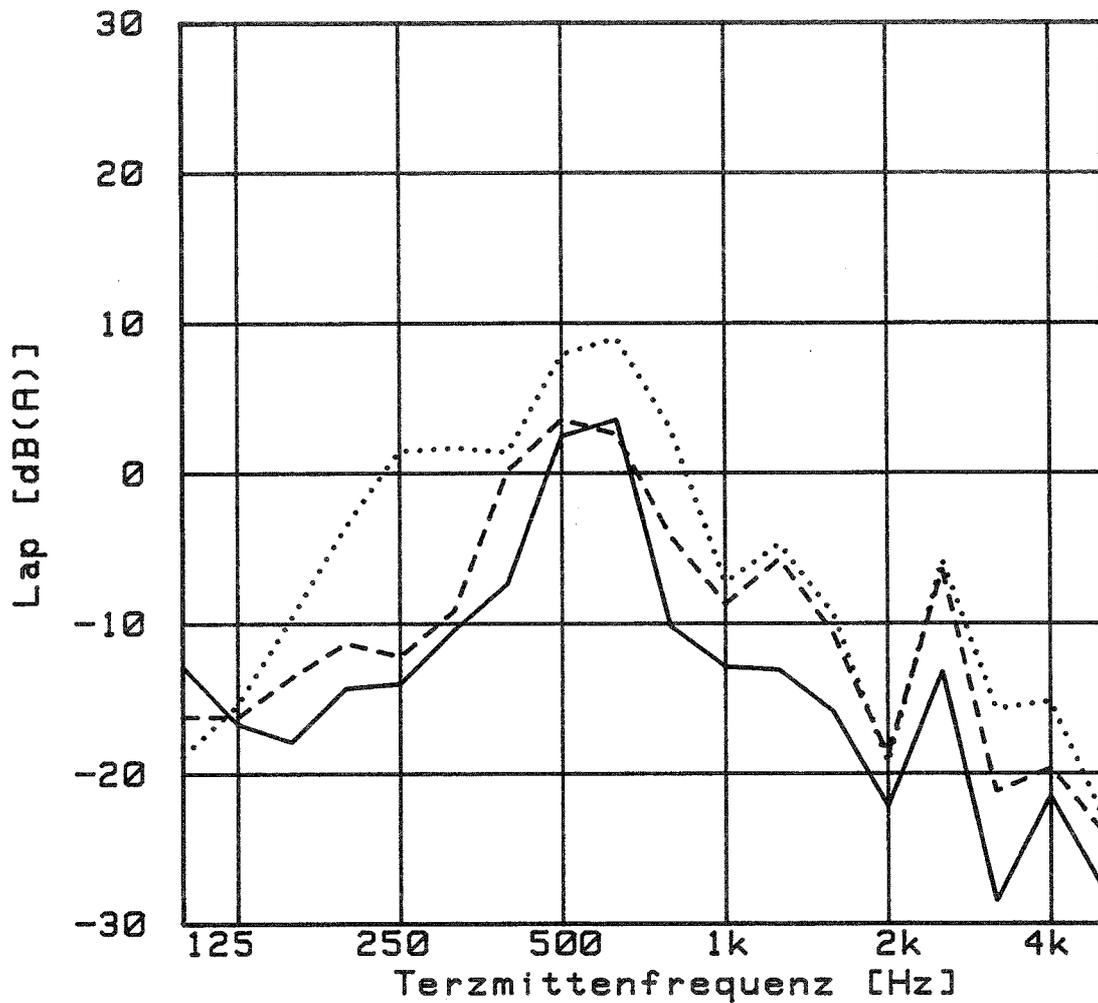


Bild 21

Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte bei verschiedenen Ankopplungszuständen der Meßleitung; Armatur B (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- Einlaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 6,8 \text{ dB(A)}$
- Auslaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 13,4 \text{ dB(A)}$
- - - - Ein- und Auslaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 8,2 \text{ dB(A)}$

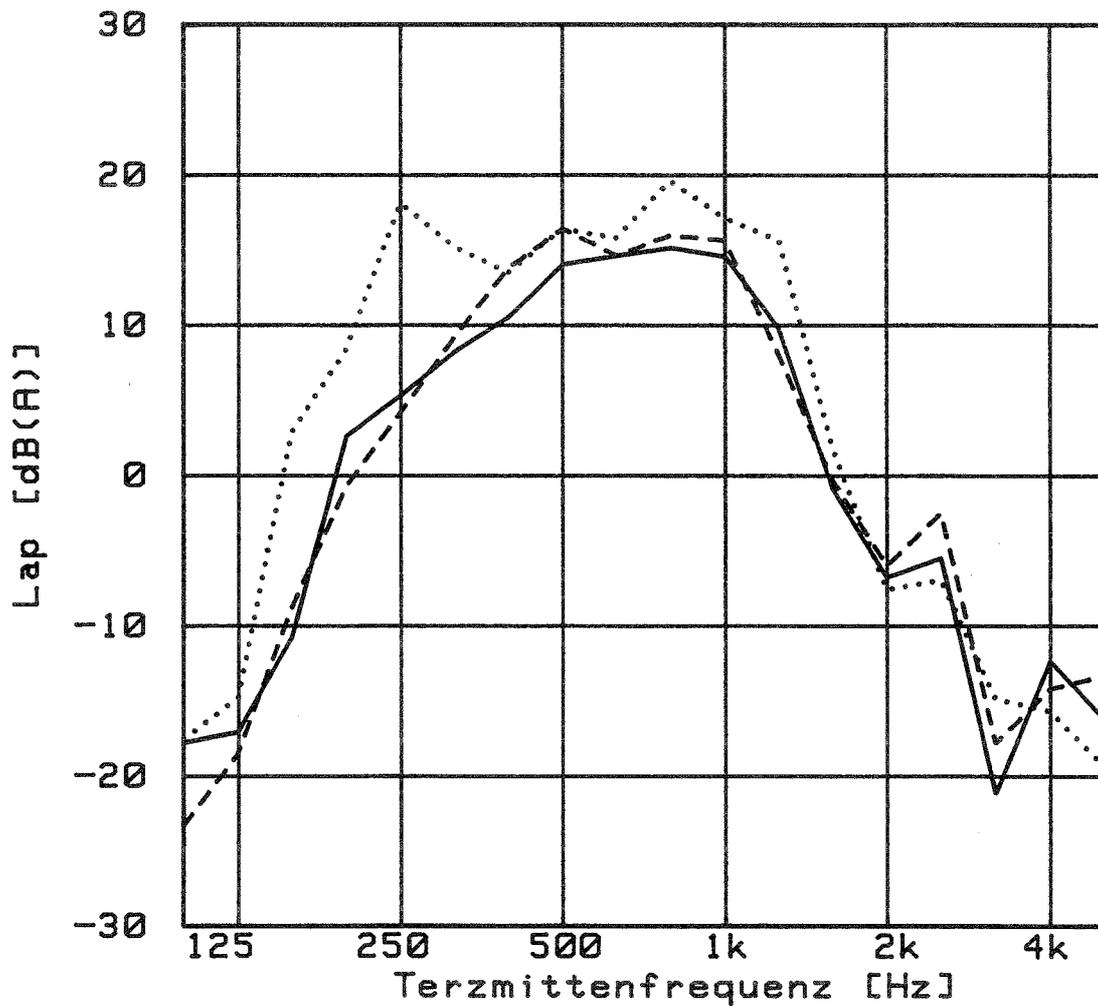


Bild 22

Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte bei verschiedenen Ankopplungszuständen der Meßleitung; Armatur C (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- Einlaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 21,7 \text{ dB(A)}$
- Auslaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 25,9 \text{ dB(A)}$
- Ein- und Auslaufstrang angekoppelt, $L_{ap} = 22,8 \text{ dB(A)}$

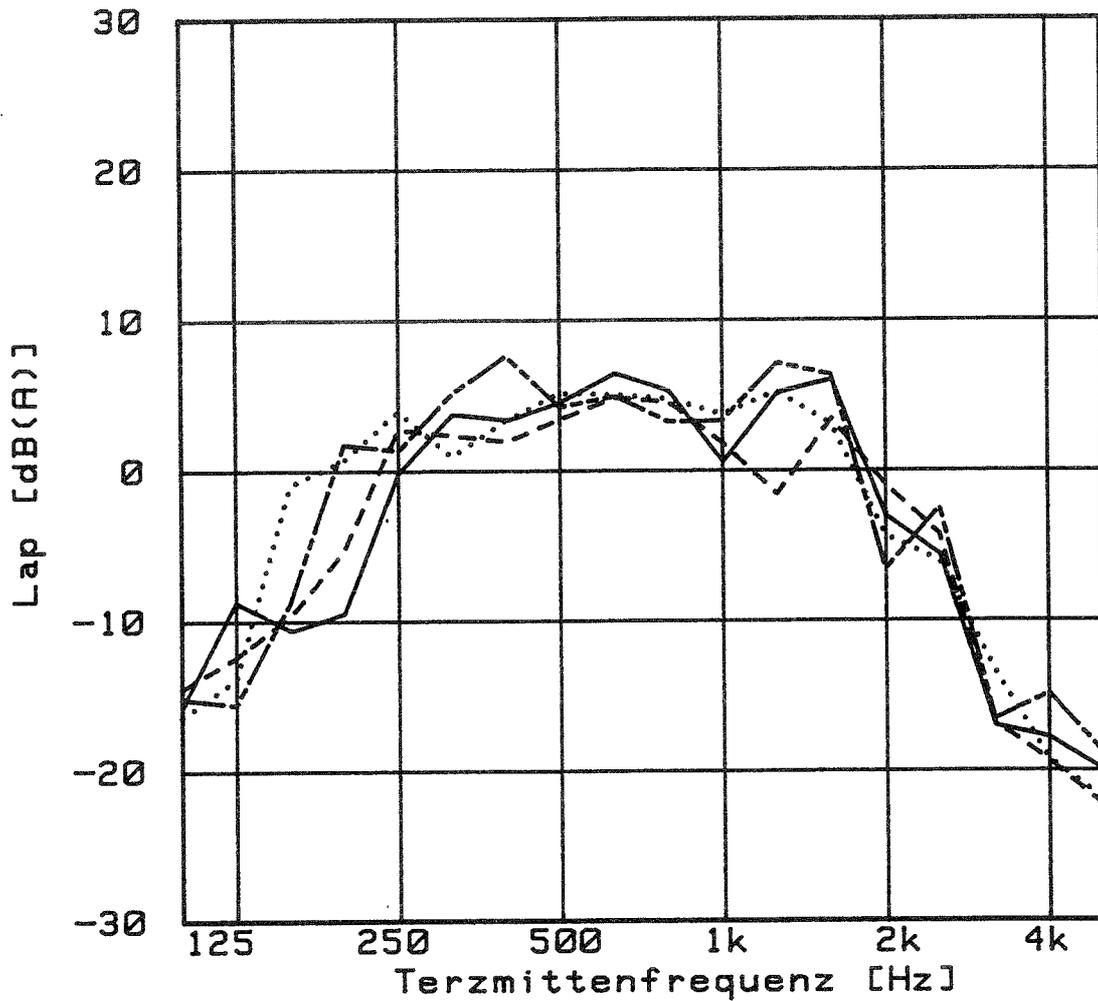


Bild 23

Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Auslaufstrangs;

Armatur A (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 14,1$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 14,1$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 12,8$ dB(A)
- · - · - MP K1, $L_{ap} = 15,1$ dB(A)

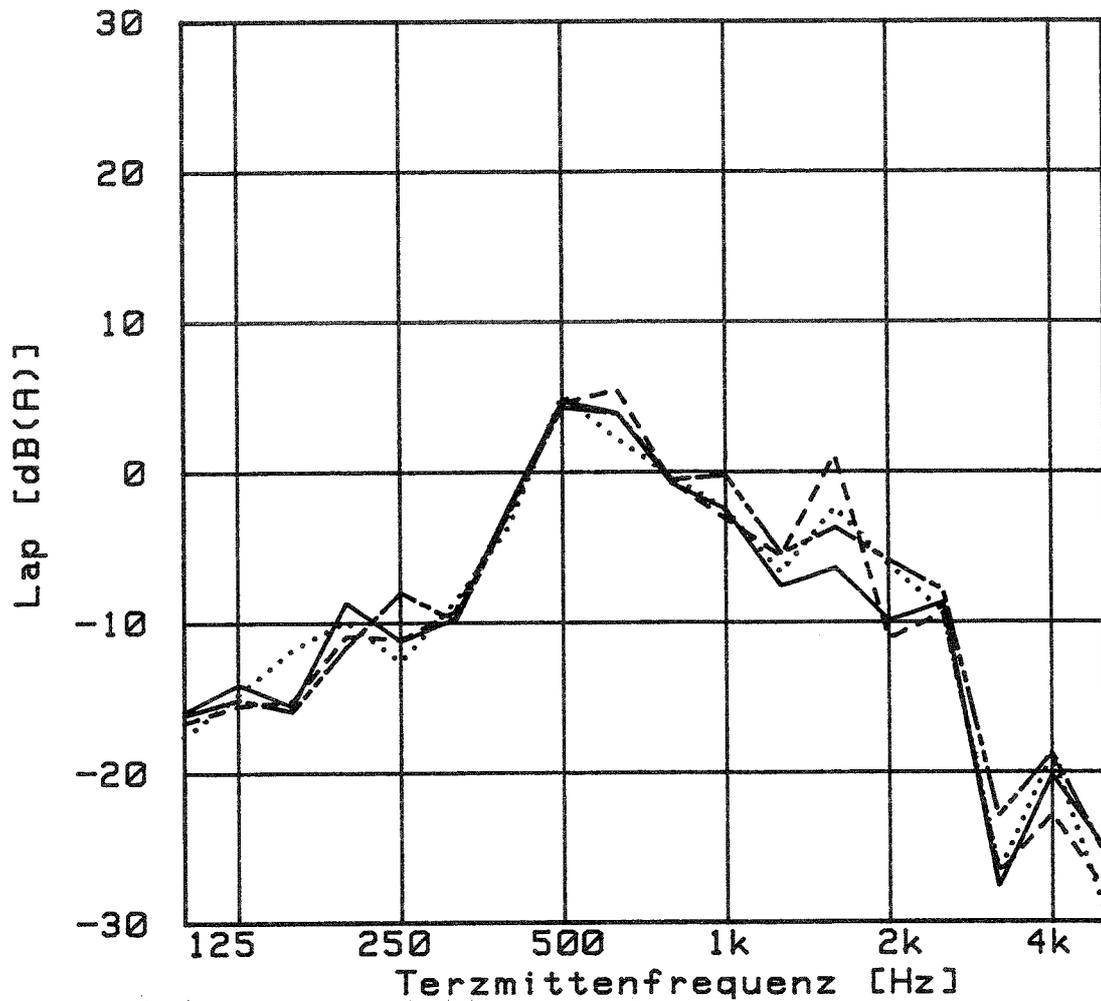


Bild 24

Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Einlaufstrangs;

Armatur A (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 9,3$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 9,2$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 10,2$ dB(A)
- · - · - MP K1, $L_{ap} = 9,6$ dB(A)

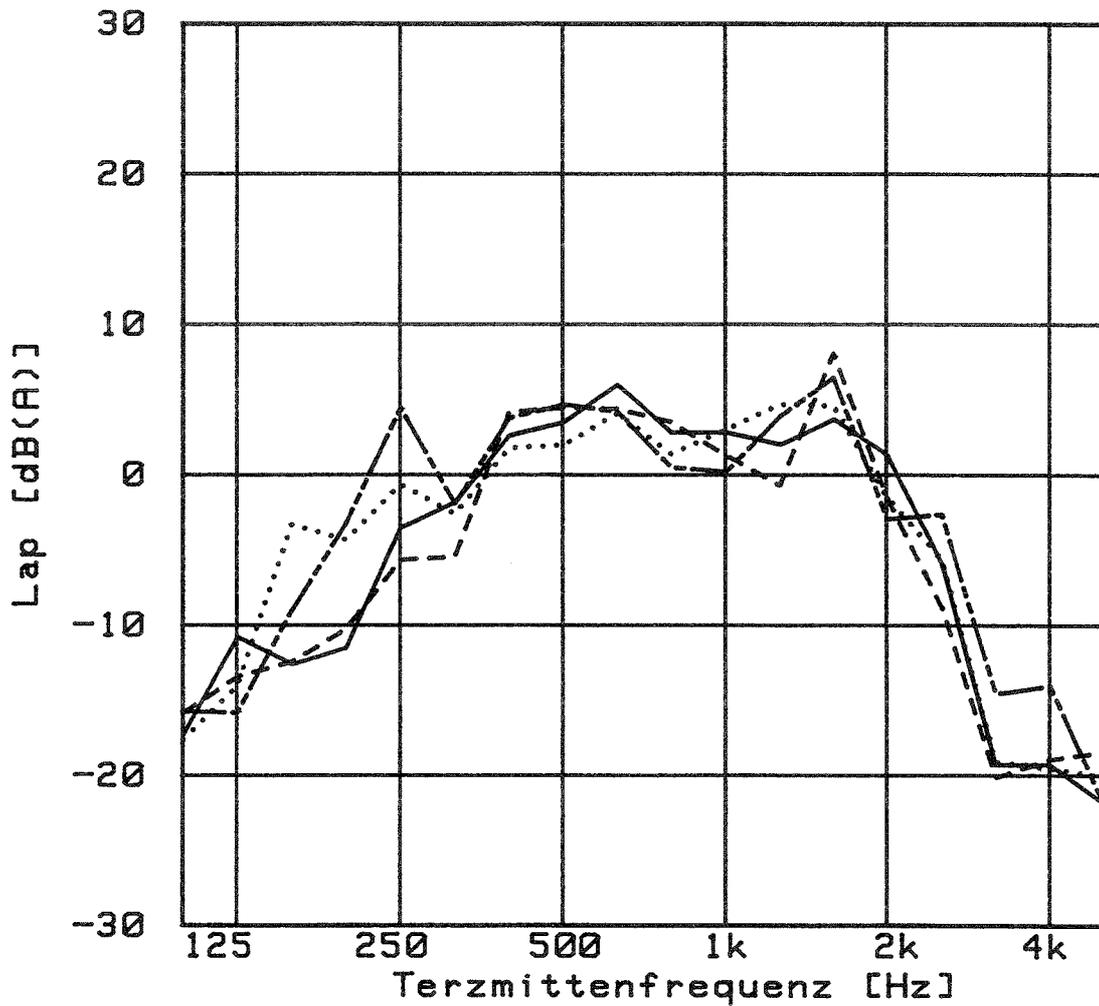


Bild 25 Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Ein- und Auslaufstrangs; Armatur A (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 12,7$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 12,6$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 13,2$ dB(A)
- - - - - MP K1, $L_{ap} = 13,5$ dB(A)

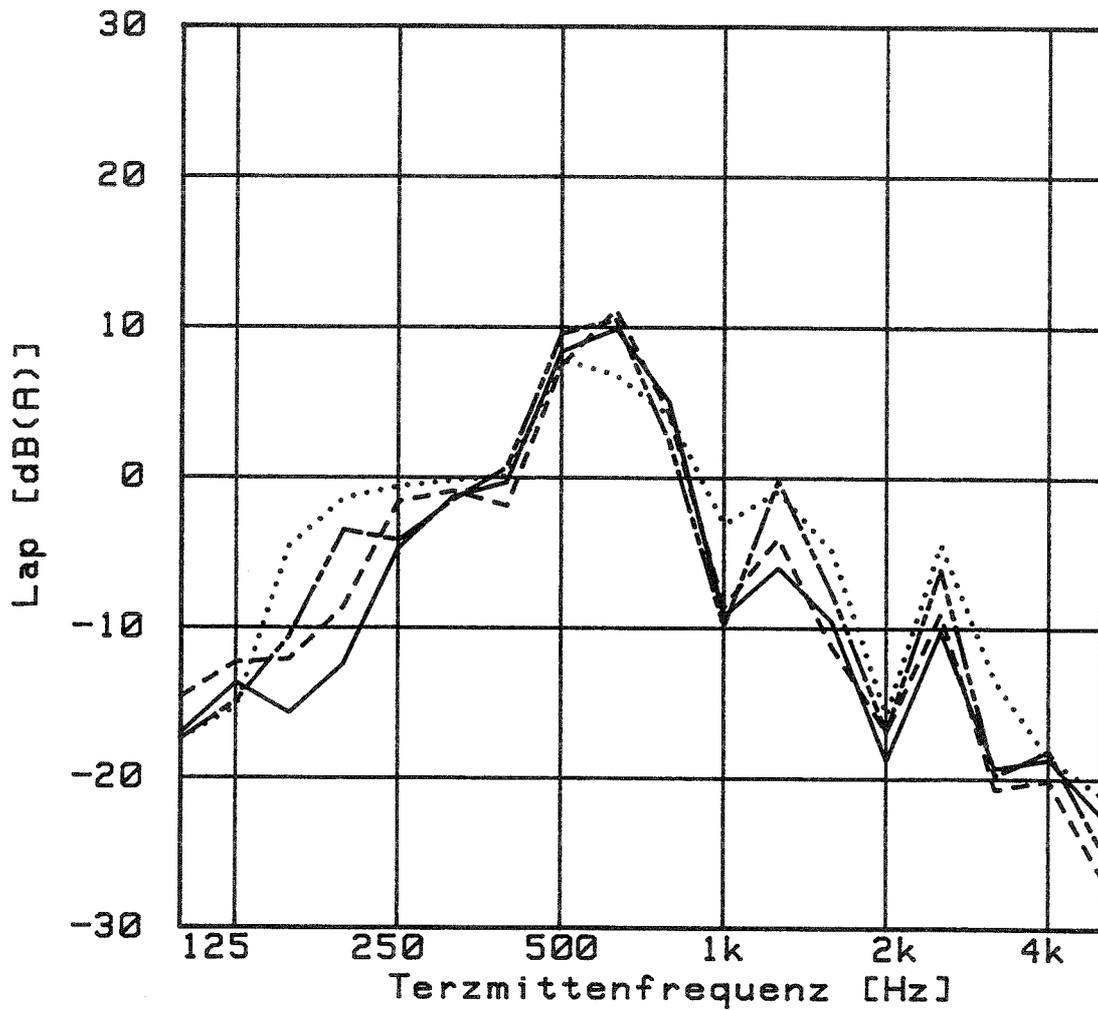


Bild 26 Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Auslaufstrangs; Armatur B (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 13,5$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 12,9$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 13,9$ dB(A)
- - - - - MP K1, $L_{ap} = 14,2$ dB(A)

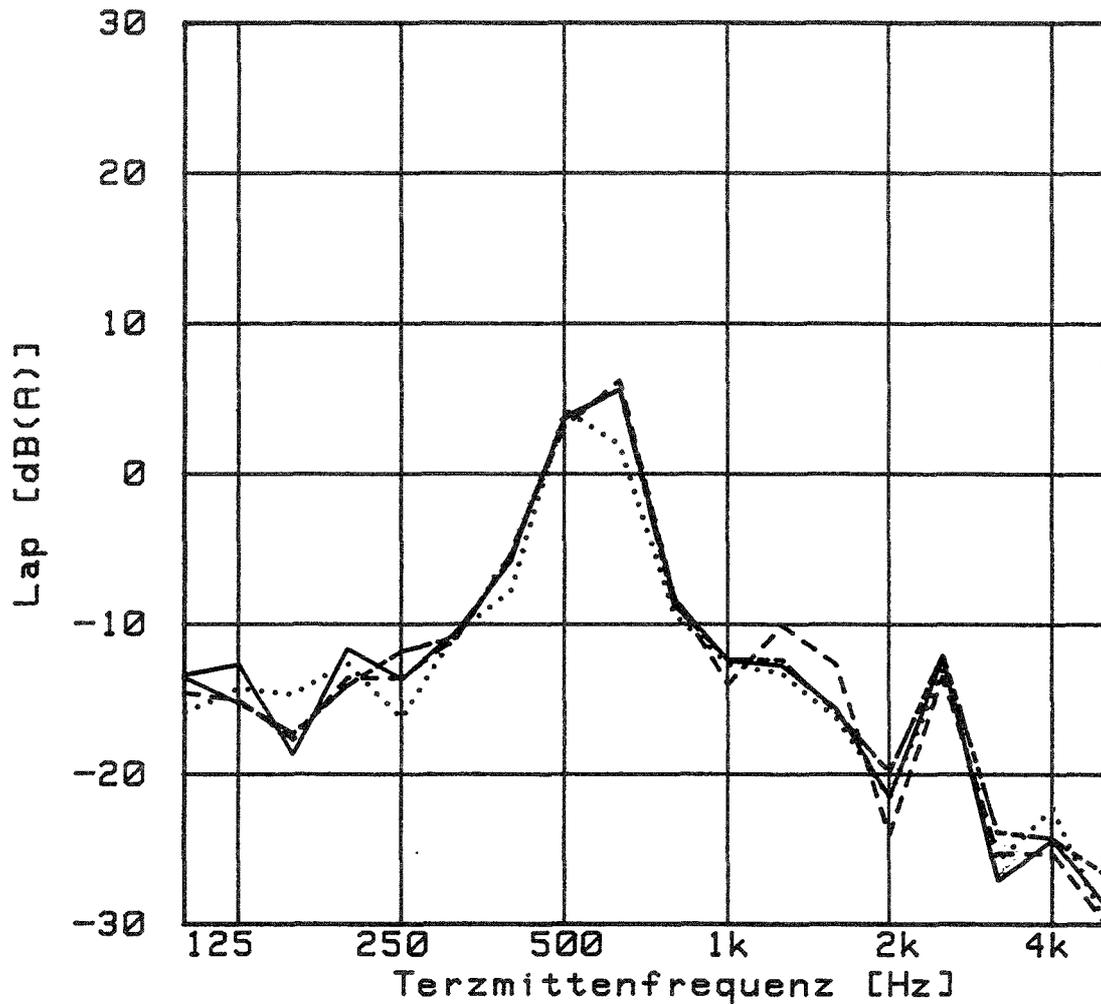


Bild 27

Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Einlaufstrangs;
 Armatur B (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 8,4 \text{ dB(A)}$
- MP F6, $L_{ap} = 6,9 \text{ dB(A)}$
- MP I4, $L_{ap} = 8,6 \text{ dB(A)}$
- · - · - MP K1, $L_{ap} = 8,4 \text{ dB(A)}$

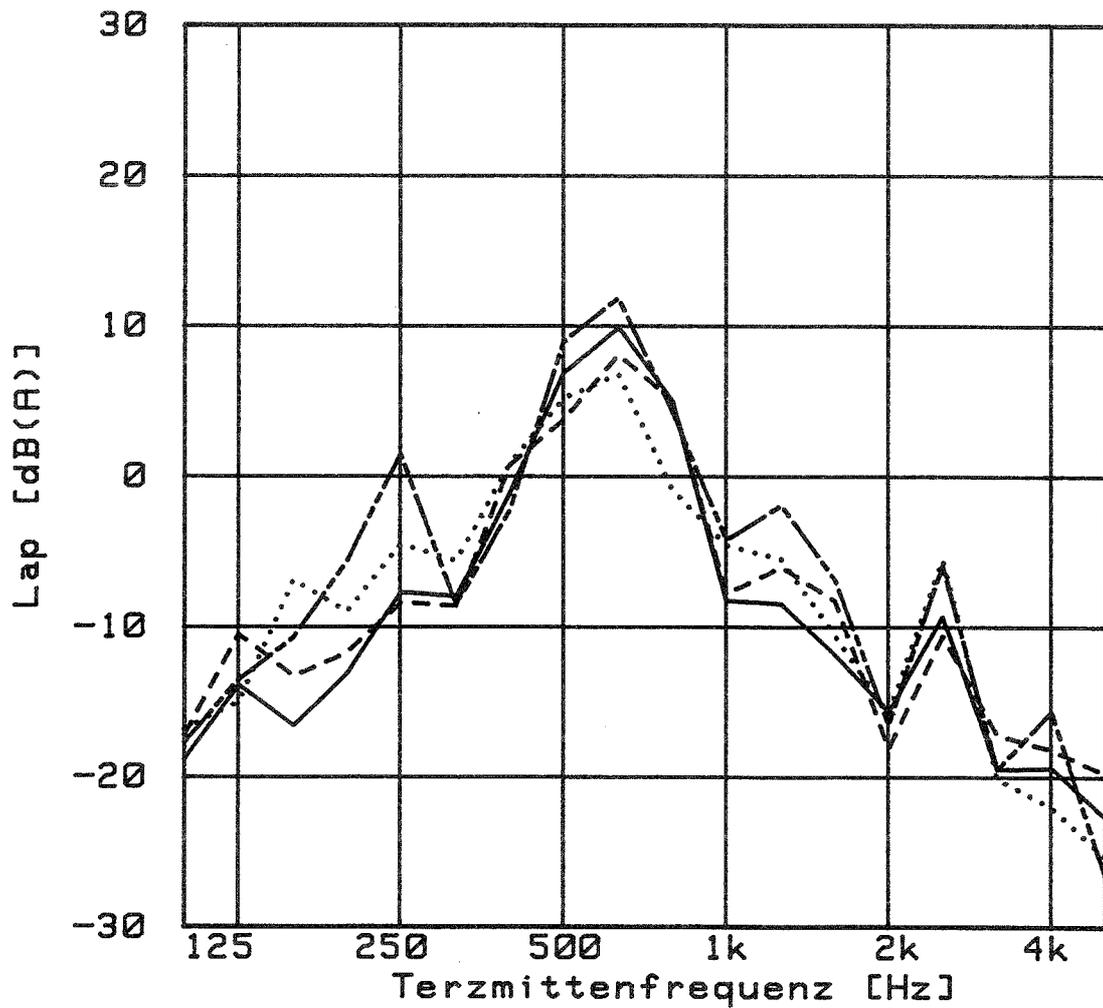


Bild 28 Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Ein- und Auslaufstrangs; Armatur B (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 12,9$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 10,9$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 11,6$ dB(A)
- - - - - MP K1, $L_{ap} = 14,8$ dB(A)

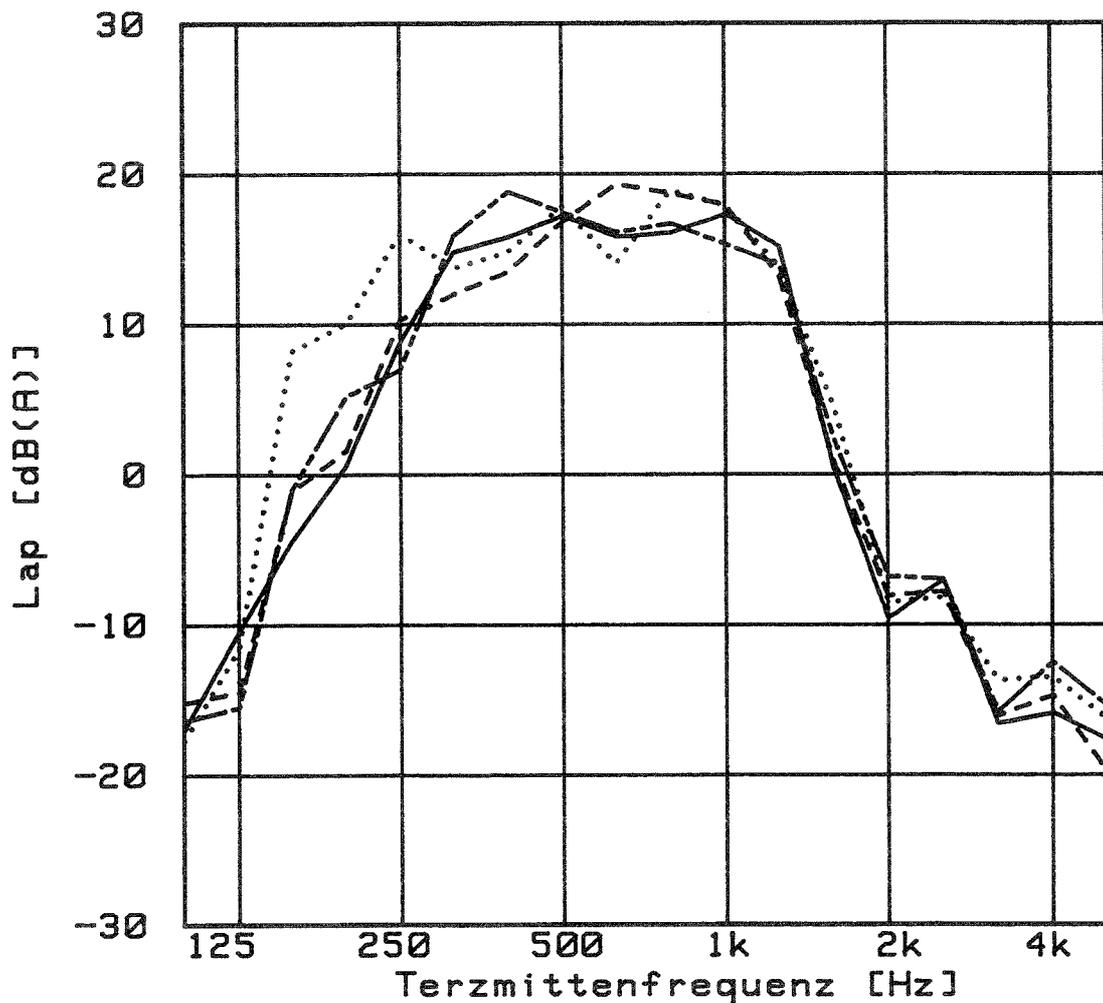


Bild 29 Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Auslaufstrangs;
 Armatur C (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 24,7$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 25,6$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 25,3$ dB(A)
- - - - - MP K1, $L_{ap} = 25,1$ dB(A)

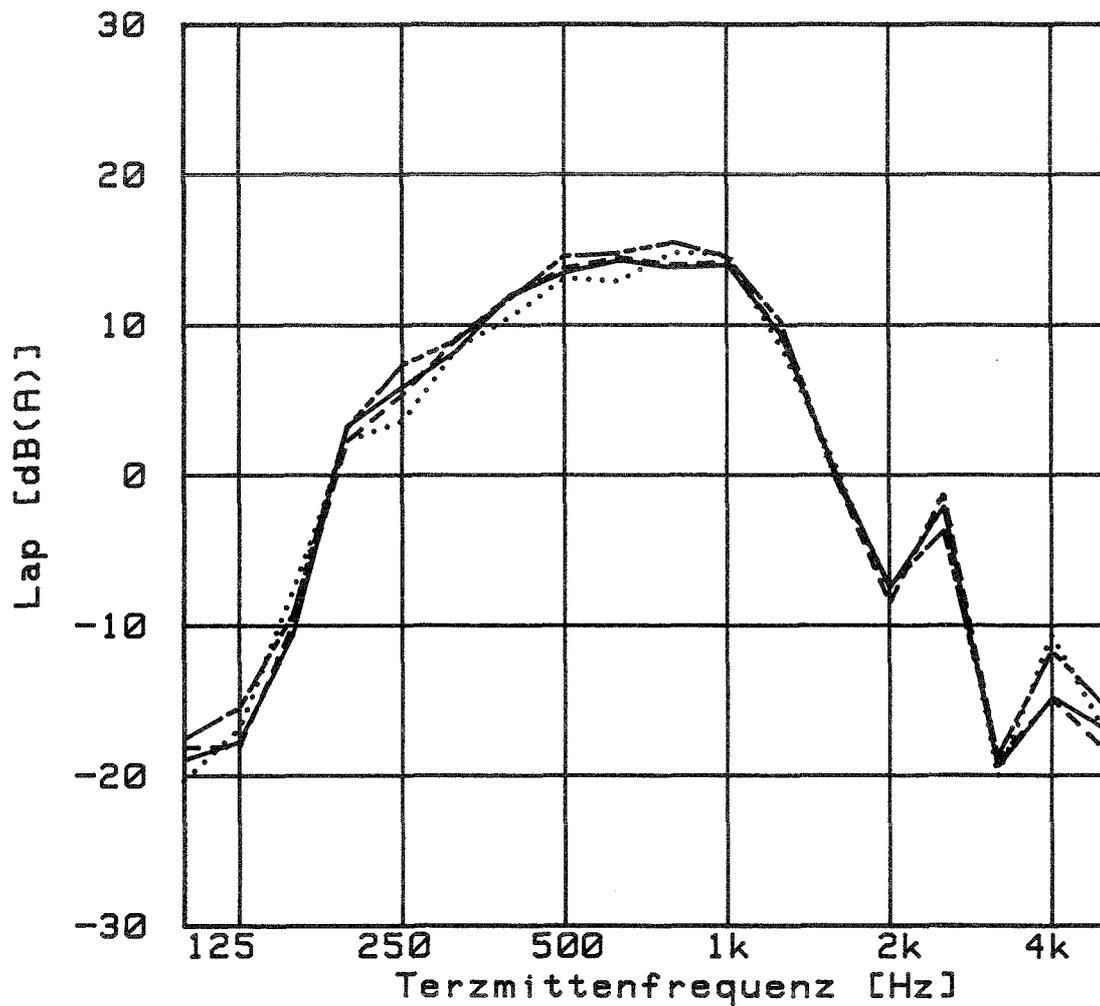


Bild 30

Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Einlaufstrangs;

Armatur C (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 21,4$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 21,2$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 21,6$ dB(A)
- · - · - MP K1, $L_{ap} = 22,2$ dB(A)

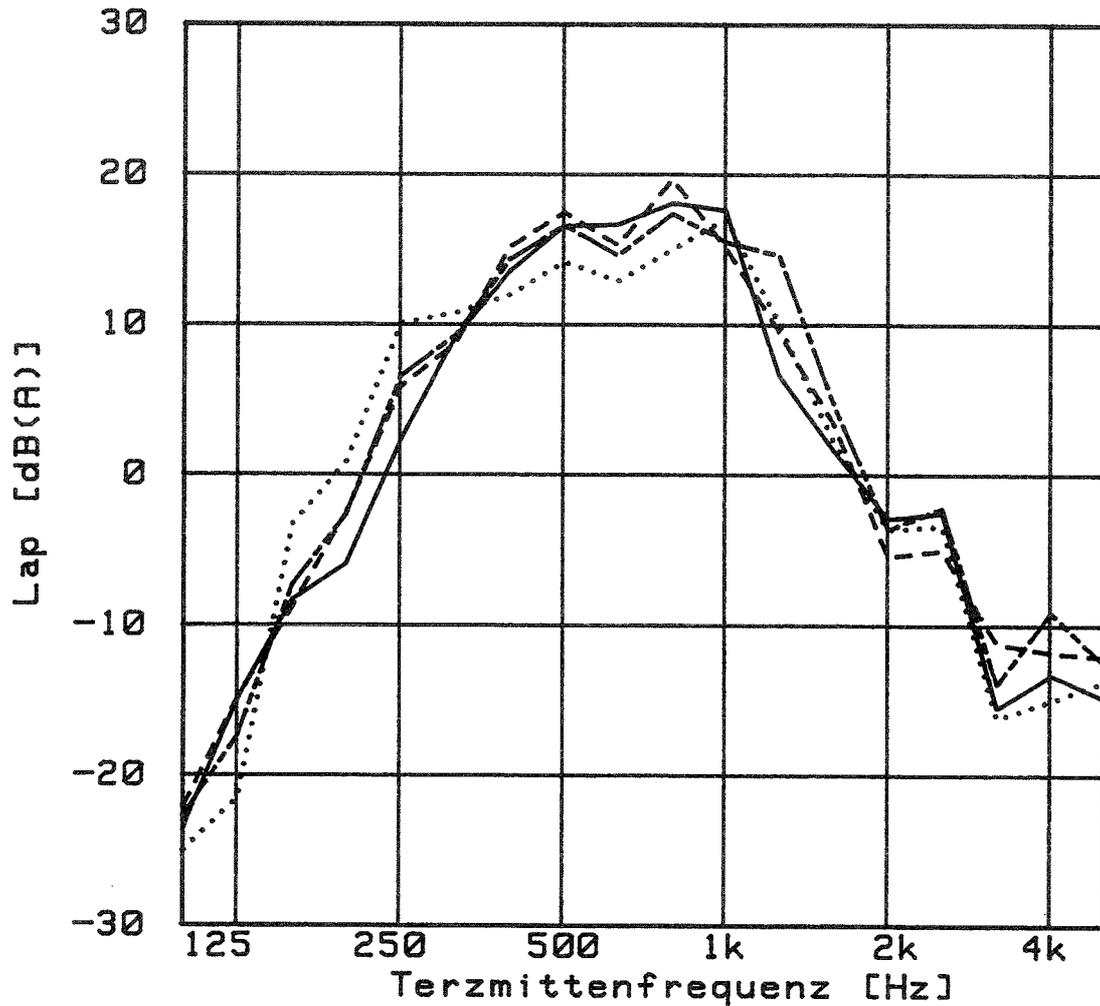


Bild 31 Spiralprüfstand; Armaturengeräuschpegel L_{ap} , gemessen auf der Meßplatte an verschiedenen Meßpunkten bei Ankopplung des Ein- und Auslaufstrangs; Armatur C (stationär Wanne, misch voll geöffnet, 0,3 MPa)

- MP C4, $L_{ap} = 24,1$ dB(A)
- MP F6, $L_{ap} = 22,6$ dB(A)
- MP I4, $L_{ap} = 24,4$ dB(A)
- - - - - MP K1, $L_{ap} = 23,8$ dB(A)