

Vereinfachtes Verfahren zur Erfassung
des von Auslaufarmaturen verursachten
Körperschalls

Teil 1: Grundlegende Untersuchungen
zur Körperschallproblematik

T 2707/1

T 2707/1

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 1/1991

VEREINFACHTES VERFAHREN ZUR ERFASSUNG DES VON AUSLAUFARMATUREN VERURSACHTEN KÖRPERSCHALLS Teil I: Grundlegende Untersuchungen zur Körperschallproblematik

im Auftrag des
Instituts für Bautechnik, Berlin

Dieser Bericht umfaßt:

91 Seiten Text
13 Tabellen
72 Bilder

Stuttgart, den 30. November 1994

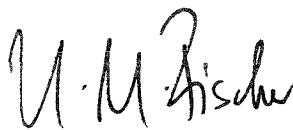
Fs/Hy

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 1/1991

**VEREINFACHTES VERFAHREN ZUR ERFASSUNG DES VON
AUSLAUFARMATUREN VERURSACHTEN KÖRPERSCHALLS
Teil I: Grundlegende Untersuchungen zur Körperschallproblematik**

von

Heinz-Martin Fischer

Siegfried Efinger

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

(Institutsleiter: Prof. Dr. Dr. h. c. Dr. E. h. K. Gertis)

Inhalt

1.	Einleitung	9
2.	Anmerkungen zur Schwerpunktsetzung in der Projektbearbeitung	11
3.	Die Rolle des Körperschalls bei Armaturengeräuschen	15
4.	Der Ansatz der DIN 52 218	18
4.1	Zur Systematik des genormten Prüfverfahrens	18
4.2	Begriffe aus der DIN 52 218	20
5.	Charakterisierung von Schallquellen und Übertragungswegen mit Vergleichsschallquellen	21
5.1	Allgemeines	21
5.2	Zur Anwendung von Übertragungsfunktionen	22
5.3	Kennzeichnung von Schallquellen	24
5.4	Kennzeichnung von Übertragungswegen	27
5.5	Prognose von Schallpegeln im Bau	29
5.6	Anwendung des Vergleichsschallquellenverfahrens in der DIN 52 218	31
6.	Vergleichsschallquellenverfahren bei gekoppelten Übertragungssystemen	32
6.1	Schallübertragung auf fluidgefüllten Rohrleitungen	32
6.2	Einbeziehung der realen Schallerzeugung von Armaturen	34
6.3	Folgerungen für das Normverfahren nach DIN 52 218	35
7.	Experimentelle Untersuchungen zur Anwendbarkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens	37
7.1	Übersicht	37
7.2	Versuchsanordnungen	38
7.2.1	Modifizierter Kleinprüfstand	38

7.2.2	Meßleitung mit mehreren Krümmungen (Spiral-Prüfstand)	40
7.2.3	Normprüfstand nach DIN 52 218	41
7.2.4	Installationsprüfstand	42
7.3	Verwendete Armaturen	43
7.4	Verwendete Meßgrößen	44
8.	Überprüfung der Kriterien in ausgewählten Rohrleitungssystemen	46
8.1	Wasserschall-/Körperschall-Relation von Armaturen am modifizierten Kleinprüfstand	46
8.2	Schallausbreitung in einem stark gekoppelten Rohrleitungssystem	51
8.2.1	Pegelabnahme von Wasserschall und Körperschall entlang des Ausbreitungsweges	51
8.2.2	Wasserschall-/Körperschall-Relation als ortsabhängige Größe	55
8.2.3	Armaturengeräuschpegel L'_{ap} entlang des Ausbreitungsweges	57
9.	Untersuchungen zur Ortsabhängigkeit am Normprüfstand	60
10.	Verhalten von Armaturen in unterschiedlichen Installationssystemen	65
10.1	Zielsetzung	65
10.2	Montage von Armatur und IGN an der Meßwand des Normprüfstandes	66
10.3	Montage an der Meßwand im Rahmen eines Ringversuchs	67
10.4	Vergleich von Rohrleitungen unterschiedlichen Materials	69
10.5	Installation mit Waschtisch-Batterie	71
10.6	Musterinstallation mit Rohr-in-Rohr-System	71
10.7	Musterinstallation für Wannen-Wandbatterie	72
10.8.	Rückwirkung der Befestigungselemente auf die Kopplungsbedingungen	74
10.9	Untersuchungen anderer Autoren	76

11.	Die Rolle des Armaturenanschlusses	78
11.1	Berücksichtigung des primären Körperschalls	78
11.2	Armaturenanschluß bei einer Waschtisch-Installation	78
11.3	Armaturenanschluß bei Rohr-in-Rohr-Installation	80
11.4	Armaturenanschluß bei einer Wannen-Wandbatterie	80
11.5	Folgerungen	81
12.	Kennzeichnung von Armaturen und Übertragbarkeit von Prüfstandsergebnissen	82
13.	Folgerungen für den Normprüfstand und das Prüfverfahren	84
14.	Modifizierter Kleinprüfstand zur Erfassung des von Auslaufarmaturen verursachten Körperschalls	89
15.	Literatur	89

1. Einleitung

Die Erfahrungen der letzten Zeit haben gezeigt, daß es verstärkt die körperschallbedingte Geräuschanregung und -übertragung ist, die bei Armaturen der Wasserinstallation für Probleme sorgt. Dies gilt in besonderem Maße für die beim Betätigen (Öffnen, Schließen, Umstellen) von Armaturen verursachten Geräuschspitzen, die als besonders laut und lästig in Erscheinung treten. Lange Zeit richtete sich die Aufmerksamkeit auf die stationären Fließgeräusche, und nicht zuletzt dank der auch bei den Herstellern verfügbaren Meßtechnik, die auf dem Hintergrund der Regelwerke (DIN 52 218, DIN 4109) auch für industrielle Anwendung entwickelt wurde (Kleinprüfstand zur Messung des Wasserschalls von Armaturen [2,3]), konnten große Fortschritte in der Senkung der Fließgeräusche erzielt werden. So kann davon ausgegangen werden, daß heutige Armaturen etwa 15 bis 20 dB(A) leiser geworden sind als vor etwa 20 Jahren. Den bei der Betätigung von Armaturen auftretenden kurzzeitigen Geräuschen wurde damals noch nicht die heute vorhandene Aufmerksamkeit geschenkt. Dies lag zum einen sicherlich daran, daß sie gegenüber dem damaligen höheren Niveau der stationären Geräusche nicht sonderlich als zusätzliches Geräusch auffallen konnten, es lag aber auch daran, daß die damals üblichen Armaturen mit Drehgriffen und konventioneller Ventiltechnik eine derart schnelle Betätigung in der Regel gar nicht zuließen, als daß starke Geräuschspitzen hätten erzeugt werden können. Erst die neueren Entwicklungen im Bereich der Armaturenkonstruktion (z.B. Keramik-Steuerscheiben, Hebelmischer, automatische Umsteller bei Wannenauslauf-Armaturen) lieferten die Voraussetzung, daß große Geräuschspitzen entstehen können.

Die bislang überwiegende Beschreibung von Armaturengeräuschen als einem ursprünglich aus dem Wasserschall stammenden Problem entspricht sozusagen der "klassischen" Betrachtungsweise, bei der der erzeugte Wasserschall als alleinige Ursache der Armaturengeräusche gesehen wird. Aus Untersuchungen und Erfahrungen der letzten Zeit ist aber ins Bewußtsein gerückt, daß neben der Wasserschallerzeugung von Armaturen auch direkter Körperschall erzeugt werden kann, der nicht erst durch die Umwandlung aus Wasserschall in den Rohrleitungen entsteht, sondern schon direkt in der Ar-

matur erzeugt wird und auf den Rohrwandungen übertragen wird [4]. Neuere Untersuchungen des IBP zeigen, daß diese Art der Körperschallerzeugung bei den einzelnen Armaturen durchaus unterschiedlich stark sein kann, daß sie aber insgesamt bei den Geräuschen von Wasserarmaturen eine stärkere Rolle spielt als früher angenommen wurde. Bei den stationären Fließgeräuschen ist dies darauf zurückzuführen, daß durch verbesserte Armaturen die Wasserschallerzeugung reduziert wurde, so daß jetzt auch der Körperschall als maßgebende Größe in Erscheinung treten kann. Hinweise auf eine direkte Beteiligung des Körperschalls ergaben sich zum Beispiel Diskrepanzen aus zwischen kleinem Prüfstand und Normprüfstand nach DIN 52 218, wenn Armaturen mit Wasserschalldämpfern überprüft wurden. Messungen im IBP haben bestätigt, daß der direkt von Armaturen erzeugte Körperschall hier eine wichtige Rolle spielt. Dies ist ein deutliches Zeichen dafür, daß die großen Anstrengungen der Armaturenindustrie, den Wasserschall zu reduzieren, an einem Punkt angelangt sind, wo die nicht in gleichem Maße verminderte Körperschallanregung das Geräuschverhalten einer Armatur wesentlich bestimmt. Offensichtlich fehlt es hier an einer einfach handhabbaren Meß- und Prüfeinrichtung, mit der ein Armaturen-Hersteller bereits frühzeitig im Werk eine hinreichend genaue Abschätzung der Körperschall-Anregung seines Produkts vornehmen kann. Aus den Erfahrungen der vergangenen 15 bis 20 Jahre mit der bei Einführung der genannten Normen eindeutig dominierenden Wasserschall-Anregung der Armaturen weiß man, daß das nun anstehende Problem wahrscheinlich erst dann gemeistert werden wird, wenn dem Hersteller das entsprechende Meßverfahren zur Verfügung steht.

Eine derartige Aufgabe wird am erfolgreichsten dann gelöst, wenn die benötigten Verfahren unmittelbar in den zugehörigen Normenkontext eingebunden sind. Dies beweisen bezüglich des Wasserschalls die positiven Erfahrungen mit dem Kleinprüfstand nach Gösele/Voigtsberger [2], der in der Kennzeichnung des stationären Fließgeräuschs direkt an die bestehende DIN 52 218 anknüpft. Von Seiten der Normung dagegen muß es als inakzeptabel gelten, daß die zugenommene Bedeutung des direkten Körperschalls nicht in ausreichender Weise durch das bestehende, in der Norm festgelegte Meßverfahren berücksichtigt wird. Mit Hinblick auf die Aussagekraft muß die Kennzeichnung der Geräuscherzeugung eines Produkts als völlig unbefriedigend betrachtet

werden, wenn wesentliche Geräuschkomponenten nicht hinreichend erfaßt werden.

Was hier zuerst für die stationären Fließgeräusche formuliert wurde, gilt in noch stärkerem Maße für die Betätigungsgeräusche von Armaturen. Während für die stationären Geräusche eine schon seit langer Zeit gehandhabte, wenn auch mittlerweile nicht mehr ausreichende Meßnorm verfügbar ist, existiert bislang für die Betätigungsgeräusche kein Äquivalent zu deren Kennzeichnung. Hinzu kommt aber auch, daß die Verhältnisse bei den Betätigungsgeräuschen noch weitgehend unklar sind, da eingehende Untersuchungen bislang noch nicht verfügbar sind. Voraussetzung für die Lösung der genannten Probleme ist die Vereinbarung einer einheitlichen Meßvorschrift, welche die heute nicht mehr vertretbare Beschränkung der DIN 52 218 auf die stationären Fließgeräusche aufhebt und die der Körperschallerzeugung von Armaturen gerecht wird.

2. Anmerkungen zur Schwerpunktsetzung in der Projektbearbeitung

Ursprüngliche und eigentliche Aufgabenstellung des Verfahrens war es, die Voraussetzungen für die Entwicklung eines vereinfachten Verfahrens für die Erfassung des von Auslaufarmaturen verursachten Körperschalls zu schaffen. Ausgangspunkt für diese Entwicklung sollte dabei der seinerzeit vom Fraunhofer-Institut für Bauphysik erarbeitete Vereinfachte Prüfstand zur Messung der Wasserschallanregung [2,3] sein. Ziel war es, mit Hilfe eines modifizierten kleinen Prüfstandes gerade die transienten Vorgänge im Körperschall richtig zu erfassen und eine hinreichend aussagefähige Kennzeichnung der von einer Armatur ausgehenden Körperschallanregung vorzunehmen.

Bereits in einer Vorphase dieses Vorhabens wurde im Auftrag der Fa. HANSA an einer modifizierten Version eines Kleinprüfstandes gearbeitet, wobei bereits die grundsätzliche Eignung zur Erfassung der Körperschallerzeugung nachgewiesen werden konnte [4]. Wenn im wesentlichen auch diese Konzeption weiterentwickelt wurde, um der Maßgabe eines vereinfachten Verfahrens gerecht zu werden, so zeigte sich doch auch, daß recht unterschiedliche und

zum Teil sogar divergierende Vorstellungen, Erwartungen und Anforderungen mit der Bearbeitung des Projektes verbunden waren:

- Von Seiten der CEN-Normung (Bauproduktenrichtlinie, Grundlegendokument Schallschutz) war offenkundig, daß die Kennzeichnung von Produkteigenschaften, hier also die Geräuscherzeugung von Armaturen, im Vordergrund zu stehen habe.
- Über die reine Produktenkennzeichnung hinausgehend wurde von einigen Seiten, vor allem von den Interessenvertretern des Installationshandwerks, als entscheidende Forderung die Prognose des Geräuschverhaltens einer Armatur im Bau aufgrund eines im Labor ermittelten Kennwertes erhoben. Hiermit sollte die Einhaltung der von der DIN 4109 (Schallschutz im Hochbau) gestellten Anforderungen gewährleistet werden. Diese "Übertragbarkeit" von Laborwerten auf eine bauliche Situation ist in den bestehenden Normen (DIN 52 218, DIN 4109) in Form des Armaturengeräuschpegels L_{ap} mit Hilfe eines Bezugsspektrums ausdrücklich vorgesehen.
- Armaturenhersteller erwarten sich mit einem vereinfachten Verfahren in Form eines modifizierten Kleinprüfstandes konstruktive Hilfestellungen, um mit den Problemen des Körperschalls - sei es bei stationären oder transienten Geräuschen - fertig zu werden.
- Andererseits bestand aber auch die Vorstellung, daß das Ziel des Vorhabens nicht zwangsläufig die Entwicklung eines modifizierten Kleinprüfstandes sein müsse, sondern daß die Aufgabe gelöst sei, wenn unter Beibehaltung des in DIN 52 218 definierten baulichen Prüfstandes für Armaturengeräusche dessen Spezifikation "körperschalltauglich" gemacht werde.
- Als eigentlicher Ansatzpunkt für das Vorhaben sollten mit Hinsicht auf die DIN 4109, Fußnote 2 von Tabelle 4, ("Einzelne, kurzzeitige Spitzen, die beim Betätigen der Armaturen und Geräte nach Tabelle 6 (Öffnen, Schließen, Umstellen, Unterbrechen u.a.) entstehen, sind zur Zeit nicht zu berücksichtigen".) und die DIN 52 218, Nationales Vorwort zu Teil 1. ("... Mit

dem Meßverfahren nach dieser Norm werden Geräusche, die beim Betätigen (Öffnen, Schließen, Umstellen usw.) der Armaturen und Geräte der Wasserinstallation (hauptsächlich als Körperschall) entstehen, nur teilweise oder nicht erfaßt. Der Arbeitsausschuß NMP 232 arbeitet zur Zeit an einer Erweiterung des Meßverfahrens zur Erfassung dieser Geräuschteile. Es ist geplant, diese Erweiterung in eine Folgeausgabe dieser Norm aufzunehmen; ...) die Betätigungsgeräusche von Armaturen quantifizierbar gemacht werden.

Angesichts der unterschiedlichen Vorstellungen erwies es sich als unumgänglich, im Kreise der Betreuergruppe und des konsultierend herangezogenen Arbeitskreises "Körperschall" (bestehend aus Mitgliedern des NMP 232 und des SVA "Armaturengeräusche") die aufgeworfenen Fragestellungen viel präziser zu formulieren als dies in der Vergangenheit geschehen war. So wurde z.B. klargestellt, daß die Körperschallproblematik nicht ausschließlich den Betätigungsgeräuschen zu eigen ist bzw. sogar mit ihnen gleichgesetzt werden darf, sondern daß auch die stationären Fließgeräusche angesichts des direkt erzeugten Körperschalls hier zur Debatte stehen. Es wurde sogar deutlich, daß zuallererst und mit Vordringlichkeit die ungelösten Fragen, die sich bei stationären Geräuschen in Zusammenhang mit Körperschall ergeben, zu klären sind, ehe eine Beschäftigung mit den Betätigungsgeräuschen aussichtsreich wird. Eine zentrale Rolle spielte die Frage nach der Übertragbarkeit von Laborergebnissen. Anfangs wurde die Übertragbarkeit von Meßwerten als essentielle Anforderung an einen Kleinprüfstand formuliert, ohne deren Erfüllung das Konzept eines wie auch immer gearteten Kleinprüfstandes zum Scheitern verurteilt sei. Während der Bearbeitung dieses Vorhabens konnte jedoch klargestellt werden, daß es sich hierbei nicht um ein spezifisches Problem eines vereinfachten Verfahrens (in Form eines Kleinprüfstandes) handelt, sondern, daß dieses Problem generell bei allen Labormessungen besteht, ohne Ausnahme aber auch beim bestehenden Normprüfstand nach DIN 52 218.

Überhaupt konnte verdeutlicht werden, daß grundsätzliche Fragestellungen entgegen anfangs vorhandener Vorstellungen nicht nur die Realisierung eines Kleinprüfstandes betrafen sondern in gleicher Weise auch den bestehen-

den Normprüfstand. So ergaben sich einige übergeordnete Fragestellungen, die einer grundsätzlichen Klärung bedurften, z.B.:

- Anwendbarkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens,
- Schaffung einer Vergleichsschallquelle für Körperschall und für transiente Geräusche
- Übertragbarkeit von Laborwerten auf Bausituationen und damit zusammenhängend
- Präzisierung der Anforderungen "Körperschalltauglichkeit des Prüfstandes" und
- praxisgerechte Erfassung der Armaturengeräusche.

Derartige Fragen, die in dieser Klarheit erst während der Bearbeitung des Projektes formuliert wurden, führten in enger Abstimmung mit dem Betreuerkreis und dem Arbeitskreis "Körperschall" zu einer Schwerpunktverschiebung in der Art, daß verstärkt auch die grundsätzliche Tauglichkeit des genormten Verfahrens nach DIN 52 218 untersucht wurde und daß Anforderungen und Schlußfolgerungen formuliert wurden, die die Brauchbarkeit des jetzigen Verfahrens betreffen. Da derartige Untersuchungen einen insgesamt gewichtigen Teil des Vorhabens in Anspruch nehmen, mußten auf der anderen Seite einige Detaillösungen, die die praktische Umsetzung des weiterentwickelten Kleinprüfstandes für Körperschallmessungen betreffen, noch offen gelassen werden, ohne daß dadurch die Konzeption als solche und die praktische Realisierbarkeit in Frage gestellt werden.

Mit Hinblick auf die weitgespannte Thematik des Vorhabens gliedert sich die Dokumentation der Untersuchungen in zwei Teile:

1. Grundsatzfragen bei der Kennzeichnung und Bewertung von Armaturengeräuschen werden schwerpunktmäßig im hier vorliegenden Teil I des Berichtes erörtert.
2. Lösungsmöglichkeiten zur Erfassung des erzeugten Körperschalls und die Konzeption für einen vereinfachten Prüfstand zur Erfassung von Körperschall enthält schwerpunktmäßig der in [1] wiedergegebene Teil II des Berichtes.

Angesichts der Vielzahl experimenteller Untersuchungen beschränkt sich der Bericht im wesentlichen auf die Darstellung der grundsätzlichen Ergebnisse.

3. Die Rolle des Körperschalls bei Armaturengeräuschen

Bei Objekten der Sanitärinstallation kann in der Regel davon ausgegangen werden, daß die in fremden Räumen wahrnehmbaren Installationsgeräusche durch Körperschallübertragung verursacht werden. Dies trifft mit Sicherheit auch auf die Armaturen der Wasserinstallation zu. Wie die von einer Armatur verursachte Körperschallanregung des Baukörpers zu interpretieren ist, möge ein einfaches Beispiel aus Messungen des IBP verdeutlichen. Wird z.B. eine bestimmte Auslaufarmatur der Geräuschkategorie I ("sehr geräuscharm") mit einem Armaturengeräuschpegel nach DIN 52 218 von $L_{ap} = 20 \text{ dB(A)}$ an einer 220 kg/m^2 schweren Trennwand installiert, dann können bei der vorliegenden Messung im direkt hinter der Installationswand liegenden Raum Schalldruckpegel von etwa 35 dB(A) gemessen werden. Ginge man nun davon aus, daß dieser abgestrahlte Luftschall nicht durch die Körperschallanregung der Wand, sondern durch eine reine Luftschallquelle auf der anderen Seite der Wand verursacht worden wäre, dann kann aufgrund der bekannten Schalldämmung der Installationswand das äquivalente Spektrum dieser scheinbaren Luftschallquelle berechnet werden. Daraus ergibt sich dann auch der A-bewertete Gesamtpegel, der hier bei 80 dB(A) läge. Mit anderen Worten müßte also eine Luftschallquelle im Sanitärraum einen Luftschallpegel von 80 dB(A) erzeugen, damit sie im Nachbarraum als genauso laut empfunden wird wie die "sehr geräuscharme" Armatur.

Dieses ein Beispiel verdeutlicht schon, daß Armaturen, mit den Maßstäben des äquivalenten Luftschalls gemessen, vergleichsweise starke Schallquellen sein können. Diese Schallquellen hinsichtlich ihrer Körperschallerzeugung zu charakterisieren, wird sicherlich eine vorrangige Aufgabe sein. Werden Wasserarmaturen als Schallquellen betrachtet, so werden sie in erster Linie jedoch mit der Erzeugung von Wasserschall in Verbindung gebracht. Aufgrund der Strömungsvorgänge, die in der Armatur stattfinden, ist die Bedeutung hydroakustischer Mechanismen (z.B. Kavitation, Wirbelablösungen, pul-

sierende Massen im engsten Strömungsquerschnitt), wie sie z.B. in [5,6,7] beschrieben werden, offensichtlich. Die Erzeugung und Ausbreitung von Wasserschall wäre jedoch - zumindest von der akustischen Störwirkung her gesehen - bedeutungslos, wenn die Schwingungsvorgänge in der Wassersäule nicht zu einem Mitschwingen der Rohrwandungen führen würden. Derartige Kopplungsvorgänge sind von recht komplexer Natur, wie es zum Beispiel in [8] und [9] gezeigt wird. Erst die von ihnen verursachten Körperschallvorgänge auf den Rohrwandungen gestatten es, daß von den Rohrleitungen über Befestigungselemente oder sonstige Schallbrücken Körperschall in den Baukörper gelangt und über Wände oder Decken als das letztlich wahrnehmbare Armaturengeräusch abgestrahlt wird.

Für die Übertragung des Körperschalls von der Rohrleitung auf den Baukörper sind in erster Linie Biegewellen von Bedeutung, da sie senkrecht zur Rohrleitungsachse über die größten Amplituden verfügen. Dieser Vorgang wird in Bild 1 veranschaulicht. In einer energetischen Gesamtbetrachtung sind jedoch auch Longitudinalwellen auf der Rohrwandung zu berücksichtigen. Wie ebenfalls in Bild 1 gezeigt wird, erfolgt nämlich an geometrischen Diskontinuitäten der Rohrleitung, vor allem an Richtungsänderungen, eine Umwandlung von Longitudinalwellen in Biegewellen. Die zuvor in der Longitudinalwelle enthaltene Energie steht nun in der Biegewelle zur Verfügung und trägt unmittelbar zum Energietransport auf den Baukörper bei. Wie sich in einem realen Leitungssystem die Energien auf Biegewellen oder Longitudinalwellen verteilen, kann allerdings nicht allgemein angegeben werden, da hier die spezifischen Umstände, die zur Umwandlung beitragen, zu berücksichtigen sind. Lediglich bei längeren Leitungen mit einer größeren Anzahl von Diskontinuitäten kann im Sinne der statistischen Energieanalyse von einer Gleichverteilung der Energie auf die einzelnen Moden ausgegangen werden.

Während bislang nur die hydroakustische Komponente von Armaturengeräuschen diskutiert wurde, muß mit Nachdruck auf die Wechselwirkungen zwischen dem Fluid und der mechanischen Struktur der Armatur hingewiesen werden. In einer dynamischen Betrachtungsweise können nämlich die Strukturelemente einer Armatur (sowie der benachbarten angeschlossenen Rohr-

leitungen) nicht mehr als starr angenommen werden. Vielmehr ist ihnen ein mehr oder weniger elastisches Verhalten zu eigen, so daß Wechselkräfte aufgenommen und Schwingungsvorgänge ausgelöst werden können. Im hydraulischen System sind die Druckkräfte sehr viel wichtiger als im aerodynamischen Fall. Die Wirkung des Fluids auf die mechanische Struktur kann nun nicht mehr vernachlässigt werden und wird zur starken Quelle. Nach Heckl [10] ist es nicht ausgeschlossen, daß bei Wechselkräften im Fluid mehr Körperschallenergie als Wasserschallenergie erzeugt wird. Dies wird physikalisch so interpretiert, daß es für den zeitlich veränderlichen Vorgang im Fluid leichter ist, eine Struktur in Schwingungen zu versetzen, also gegen die Steife der Struktur zu arbeiten, als gegen die Kompressibilität des Mediums zu arbeiten, denn Schalleistung ist immer mit einer Kompression des Mediums verbunden. Man stößt hiermit auf das Prinzip der direkten Körperschallanregung, das bislang bei Armaturengeräuschen keine Beachtung fand. Vielmehr wurde davon ausgegangen, daß Armaturen (sowohl im stationären wie im transienten Verhalten) ausschließlich Wasserschallquellen sind, bei denen Körperschall erst entlang des Ausbreitungsweges durch Umwandlung von Wasserschall über die Kopplungsvorgänge zwischen Wassersäule und Rohrwandung entsteht. Es wird nun deutlich, daß alleine aufgrund des Prinzips "actio = reactio" schon in der Armatur Kräfte auf die Struktur einwirken und zwar an der Stelle, wo vor allem bei Betätigung der Armatur die Beschleunigungsvorgänge am größten sind. Zum sekundären Körperschall durch Umwandlung aus Wasserschall kommt als weitere Komponente also der primäre Körperschall hinzu, so daß die Körperschallverhältnisse von Armaturen insgesamt wie in Bild 2 dargestellt werden können. Nicht nur wenn an Geräuschminderungsmaßnahmen gedacht wird, kommt der Existenz dieses primären Körperschallanteils eine wichtige Rolle zu. Auch bei der Anwendung von Prüfverfahren zur Erfassung von Armaturengeräuschen muß er berücksichtigt werden. Wie unter Ziffer 5. gezeigt werden kann, wird es gerade bei der Gültigkeit des in DIN 52 218 zugrundegelegten Vergleichsschallquellenverfahrens von Bedeutung sein, daß der verfügbare Körperschall nicht alleine aus dem Wasserschall stammt.

Eine weitere Variante des Körperschalls ist noch bei Betätigungsgeräuschen zu berücksichtigen. Diese können ihre Ursache nicht nur in Vorgängen im

Fluid haben. Zu berücksichtigen sind außerdem rein mechanische Stoßvorgänge, die bei der Bewegung von Stellgliedern möglich sind. Hierbei sind Anschlag- und Aufprallgeräusche beim Umstellen oder Schließen einer Armatur zu nennen, die je nach Art der Konstruktion mehr oder weniger stark sein können.

Zusammenfassend sei auf Bild 3 hingewiesen, in welchem die Körperschallsituation von Armaturen noch einmal schematisch dargestellt wird. Neben den aus dem Wasserschall durch Umwandlungsprozesse hervorgegangenen Körperschallanteilen findet man auf der Rohrleitung denjenigen Körperschallanteil, der direkt von der Armatur erzeugt wird. Wenn die Armatur aber in der Lage ist, selbst Körperschall zu erzeugen, so ist sie auch in der Lage, mit diesem Körperschall nicht nur die Rohrleitung anzuregen, sondern auch direkt die Wand, an welcher sie mehr oder weniger starr befestigt ist. Das Armaturengeräusch setzt sich also aus unterschiedlich zu betrachtenden Anteilen zusammen und es kann unterschiedliche Übertragungswege in Anspruch nehmen:

1. den "direkten" Weg in den Baukörper, der durch den Armaturenanschluß an der Wand gegeben ist,
2. den Wasserschallweg in der Rohrleitung,
3. den Körperschallweg in den Rohrwandungen.

Welchen Einfluß der direkte Weg über den Armaturenanschluß haben kann, wird in diesem Vorhaben gesondert untersucht, da sich hieraus unmittelbare Folgerungen für die Aussagefähigkeit eines Meßverfahrens ergeben.

4. Der Ansatz der DIN 52 218

4.1 Zur Systematik des genormten Prüfverfahrens

Als genormtes Prüfverfahren für Geräusche von Geräten der Wasserinstallation ist in der DIN 52 218 [11] ein Verfahren festgelegt, das gleichermaßen auch in die internationale Normung (ISO 3822) eingegangen ist. Anlaß zur Schaffung einer solchen Norm war die Notwendigkeit, Armaturen und Geräte der Wasserinstallation in ihrer Geräuscherzeugung zu charakterisieren, um einem erheblichen Geräuschproblem Abhilfe zu schaffen. Man hatte nämlich

erkannt, daß Verbesserungen der Geräuschsituation am ehesten dann erreicht werden können, wenn auch das entsprechende Instrumentarium zur Erfassung und Beurteilung solcher Geräusche zur Verfügung steht. Als wegweisende Beiträge seien hierzu vor allem die zahlreichen Arbeiten von Schneider, Gösele und Eisenberg genannt (stellvertretend dafür [12] und [13]).

Der naheliegende Ansatz für ein Prüfverfahren bestand darin, den von einer Armatur verursachten Luftschall als kennzeichnende Größe zu erfassen und sich damit genau auf jene Größe zu beziehen, die auch im ausgeführten Bau letztlich interessiert. Grundlage für das Verfahren wurde damit ein Prüfstand baulicher Art, wie er im Prinzip in Bild 4 dargestellt ist. Ausgehend von der Forderung, daß die Meßergebnisse verschiedener Prüfstände miteinander vergleichbar sein müssen, hätte man nun bis ins Detail eine exakte Festlegung zur Ausführung solcher Prüfstände treffen können. Angesichts der praktisch zu erwartenden Schwierigkeiten bei der Realisierung völliger Übereinstimmung wurde statt dessen als zweiter wesentlicher Bestandteil das Vergleichsschallquellenverfahren in das Prüfverfahren eingeführt. Dabei wurde vorausgesetzt, daß mit Hilfe einer "Bezugsarmatur", dem späteren Installationsgeräuschnormal (IGN), prüfstandsspezifische Eigenschaften eliminiert werden können. Quasi selbstverständlich wurde im weiteren davon ausgegangen, daß Armaturen ausschließlich Wasserschallquellen sind und demzufolge auch die Vergleichsschallquelle als Wasserschallquelle zu definieren sei. Dem trägt die Auslegung des IGN als stark kavitierende Drossel voll Rechnung.

Ein dritter Schritt zur Komplettierung des Prüfverfahrens im heutigen Sinne bestand in der Einführung eines Bezugsspektrums. Zwar hätte zur schalltechnischen Kennzeichnung der Geräuscherzeugung einer Armatur deren Pegelunterschied zum IGN völlig genügt, wie dies ja auch in der DIN 52 218 mit der Oktavschallpegeldifferenz D_{sn} (siehe Gleichung (1)) und der A-Schallpegeldifferenz D_s enthalten ist. Darüber hinausgehend sollte aber noch ein Bezug zwischen den Laborergebnissen und denjenigen Pegelwerten, die sich für eine Armatur im Bau erwarten lassen, hergestellt werden. Hierfür wurde durch Messungen in ausgeführten Bauten ein Bezugsspektrum herge-

leitet, das letztlich die Funktion einer Meßwert-Bewertung ausübt. Der damit gewonnene Armaturengeräuschpegel L_{ap} , damals noch als L_{AG} bezeichnet, konnte somit als kennzeichnende Größe und gleichzeitig auch als Prognosewert betrachtet werden.

Aufbauend auf den drei Säulen

- baulicher Prüfstand,
- Verwendung einer Vergleichsschallquelle und
- Einführung eines Bezugsspektrums

ergab sich insgesamt eine Normen-Konzeption, die in sich abgeschlossen und stimmig war und die vor allem beachtliche Erfolge bei der Minderung von Armaturengeräuschen für sich verzeichnen kann. Wenn seit einiger Zeit gewisse Widersprüche registriert werden, die bei Anwendung dieses Verfahrens auftreten können und man erkennt, daß angesichts moderner Armaturen das Verfahren an seine Grenze gestoßen ist, so darf allerdings nicht vergessen werden, von welchen Vorstellungen und Voraussetzungen dieses Verfahren ausging. Wie in den späteren Ausführungen gezeigt wird, muß der selbstverständlichen Betrachtungsweise von Armaturen als reinen Wasserschallquellen im Rahmen einer kritischen Analyse größter Stellenwert zugesprochen werden. Es muß dabei jedoch berücksichtigt werden, daß diese Betrachtungsweise zur Anfangszeit der Norm und noch lange danach eine durchaus vernünftige Annahme war. Inwiefern Abweichungen von dieser Annahme die Anwendbarkeit des Prüfverfahrens tangieren, wird eine Hauptfrage der hier vorgestellten Untersuchungen sein. Dabei wird insbesondere auch zur Gültigkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens Stellung zu nehmen sein.

4.2 Begriffe aus der DIN 52 218

Da in den vorliegenden Untersuchungen immer wieder Bezug auf das in der DIN 52 218 niedergelegte Prüfverfahren genommen wird, seien hier entsprechend Teil 2, Abschnitt 3, einige Begriffe zusammengestellt:

- L_n : im Prüfstand ermittelter Oktavschallpegel der Armatur
 L_{sn} : im Prüfstand ermittelter Oktavschallpegel des IGN.

Daraus ergibt sich die Oktavschallpegeldifferenz

$$D_{sn} = L_{sn} - L_n \quad (1)$$

Mit L_{srn} = Oktavpegel des Bezugsspektrums wird der Armaturengeräuschpegel L_{apn} je Oktave nach der Beziehung:

$$L_{apn} = L_{srn} - D_{sn} \quad (2)$$

ermittelt. Stattdessen kann auch geschrieben werden:

$$L_{apn} = L_n - L_{sn} + L_{srn} \quad (3)$$

Als Summenpegel der Oktavwerte ergibt sich der Armaturengeräuschpegel L_{ap} nach folgender Vorschrift:

$$L_{ap} = 10 \lg \sum_n 10^{[L_n - (L_{sn} - L_{srn}) + k(A)_n] / 10} \text{ dB} \quad (4)$$

wobei

$n = 1, 2, 3 \dots 6$ die Oktaven mit den Mittenfrequenzen 125 ... 4000 Hz sind und

$k(A)_n$ die A-Bewertung in dB für die 6 Oktaven ist.

5. Charakterisierung von Schallquellen und Übertragungswegen mit Vergleichsschallquellen

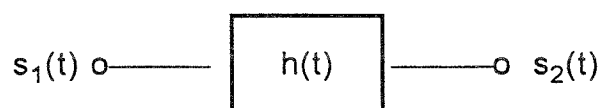
5.1 Allgemeines

Eine Kennzeichnung der von einem Sanitärobjekt ausgehenden Schallanregung und die Beschreibung der Reaktion eines Bauwerks auf eine derartige Anregung können im Rahmen der Installationsgeräusche als die vorrangigen Aufgaben formuliert werden. Im vorliegenden Abschnitt soll nun ganz prinzipiell gezeigt werden, wie diese Eigenschaften erfaßt werden können, ohne daß vorerst auf Einzelheiten der praktischen Realisierung eingegangen wird. Fragen dieser Art sollen in den folgenden Abschnitten untersucht werden.

Zur Kennzeichnung der Geräuschemission von technischen Schallquellen findet neben den üblichen Methoden (Hüllflächenverfahren, Hallraumverfahren) gelegentlich auch das Vergleichsverfahren, auch Substitutionsverfahren genannt, Anwendung. Zu beurteilende Emissionsgröße ist dabei die abgestrahlte Luftschalleistung der Schallquelle. Bei Schallquellen im Installationsbereich hingegen spielt in aller Regel die direkte Luftschallabstrahlung sowohl für Armaturen als auch Sanitärobjekte eine untergeordnete Rolle. Vielmehr wird das außerhalb eines Sanitärzimmers wahrgenommene und nur dort zu beurteilende Installationsgeräusch durch Wasserschall- oder Körperschallerzeugung dieser Schallquelle bestimmt. Zur direkten Beurteilung der Wasserschall- oder Körperschallerzeugung sind zumindest bei der Ermittlung der vorhandenen Schalleistungen keine einfach handhabbaren Methoden wie bei der Luftschalleistung verfügbar. Zur Kennzeichnung der Emissionsgrößen bieten sich hier Vergleichsschallquellenverfahren an. Die Möglichkeiten von Vergleichsschallquellenverfahren können aus einfachen Zusammenhängen abgeleitet werden. In diesem Abschnitt wird dabei für alle Ausführungen angenommen, daß die in Anspruch genommenen Schallausbreitungswege unabhängig voneinander sind. Erst im folgenden Abschnitt 6 wird dann auf den komplizierteren Fall gekoppelter Übertragungswege eingegangen.

5.2 Zur Anwendung von Übertragungsfunktionen

Im Sinne der Systemtheorie können die vorliegenden Verhältnisse wie ein Übertragungssystem betrachtet werden, bei welchem ein Eingangssignal und ein Ausgangssignal einander durch eine Transformation eindeutig zugeordnet sind. Das Eingangssignal würde dann die anregende Schallgröße beschreiben, das Ausgangssignal den abgestrahlten Luftschall und die Transformation wäre durch die spezifischen Anregungs-, Übertragungs- und Abstrahlungsbedingungen des Bauwerks gegeben. Allgemein läßt sich ein derartiges Übertragungssystem z. B. in der folgenden Form darstellen,



wobei das Eingangssignal durch $s_1(t)$, das Ausgangssignal durch $s_2(t)$ und die Transformationsbeziehung durch $h(t)$ beschrieben wird. Es soll im weiteren

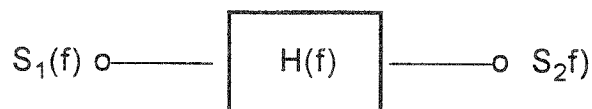
gelten, daß es sich um ein lineares, zeitinvariantes System handelt. Linear heißt dabei, daß für beliebige Linearkombinationen von Signalen das Superpositionsprinzip gilt, und zeitinvariant heißt, daß die Form des Ausgangssignals von einer zeitlichen Verschiebung des Eingangssignals unabhängig ist.

Für Übertragungssysteme mit den genannten Eigenschaften sind in bekannter Weise Eingangs- und Ausgangssignal über die Impulsantwort $h(t)$ des Systems wie folgt miteinander verknüpft:

$$s_2(t) = s_1(t) * h(t) = \int_{-\infty}^{+\infty} s_1(\tau) h(t - \tau) d\tau \quad (5)$$

Dieses Faltungsintegral ist eine für lineare, zeitinvariante Systeme allgemein geltende Transformationsgleichung und liefert die exakte Antwort des Systems auf ein Eingangssignal.

Da in der Akustik statt des Zeitverlaufs der Signale in der Regel eher deren Frequenzspektren betrachtet werden, können die Zusammenhänge zwischen Eingang und Ausgang des Übertragungssystems auch im Frequenz- statt im Zeitbereich betrachtet werden. Die Übertragungsfunktion $H(f)$ des Systems ergibt sich dann als die Fouriertransformierte der Impulsantwort $h(t)$ und die Eingangs- und Ausgangssignale werden als die Fouriertransformierten der zugehörigen Zeitsignale durch die Spektren $S_1(f)$ und $S_2(f)$ dargestellt. Das Übertragungssystem kann in der folgenden Form dargestellt werden:

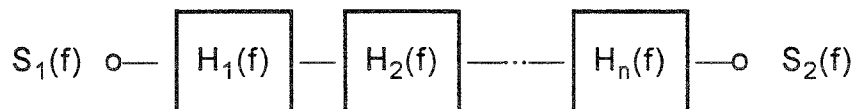


Ausgangssignal und Eingangssignal sind nun durch die einfache Beziehung

$$S_2(f) = S_1(f) \cdot H(f) \quad (6)$$

eindeutig miteinander verknüpft, wobei die Multiplikation von $S_1(f)$ und $H(f)$ für jede Frequenz durchzuführen ist. Die multiplikative Verknüpfung von Ein-

gangs- und Ausgangsgröße erlaubt es auch in einfacher Weise, die Schallausbreitung in aufeinanderfolgenden Teilsystemen zu beschreiben. So ergibt sich für eine Kette von n aufeinanderfolgenden Teilsystemen



$$S_2(f) = S_1(f) \cdot H_1(f) \cdot H_2(f) \cdot \dots \cdot H_n(f) \quad (7)$$

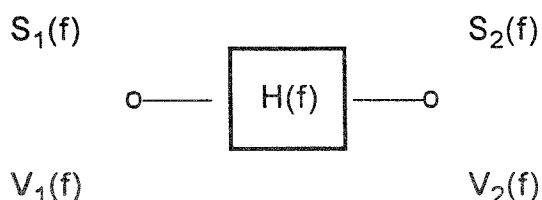
Die Gesamtübertragungsfunktion ist demnach das Produkt der Teilübertragungsfunktionen:

$$H(f) = H_1(f) \cdot H_2(f) \cdot \dots \cdot H_n(f) \quad (8)$$

Diese einfachen allgemeinen Beziehungen lassen sich ohne weiteres auf die Verhältnisse im Bau anwenden, solange die Voraussetzungen der Linearität und Zeitinvarianz erfüllt sind. Dies kann im Rahmen üblicher Anwendungsfälle sicherlich als gültig angenommen werden. $S_1(f)$ ist dann ein die Schallerzeugung der Quelle charakterisierendes Spektrum, $S_2(f)$ kann z.B. durch das Spektrum des abgestrahlten Luftschalls beschrieben sein, wenn dieser als resultierende Größe interessiert, und $H(f)$ ist die Übertragungsfunktion des Bauwerks, die sich aus einer bestimmten Zuordnung von Quell- und Empfangsort ergibt. Die einfache multiplikative Verknüpfung gestattet es im weiteren, auf ebenso einfache Art einige Eigenschaften und Bedingungen abzuleiten, die bei der Kennzeichnung von Quellen und Übertragungswegen von Bedeutung sind.

5.3 Kennzeichnung von Schallquellen

Zuerst seien zwei verschiedene Quellen S und V betrachtet, die beide unabhängig voneinander auf dasselbe Übertragungssystem einwirken:



Es gilt dann

$$S_2(f) = S_1(f) \cdot H(f) \quad (9a)$$

und

$$V_2(f) = V_1(f) \cdot H(f) \quad (9b).$$

Es kann dann die Relation der Quellen zueinander durch das Verhältnis

$$\frac{S_2(f)}{V_2(f)} = \frac{S_1(f) \cdot H(f)}{V_1(f) \cdot H(f)} = \frac{S_1(f)}{V_1(f)} \quad (10)$$

beschrieben werden. Es ist damit gezeigt, daß im linearen System die Relation zweier Quellen mit beliebigen Spektren unabhängig ist vom jeweiligen gerade vorliegenden Übertragungsweg und daß die Relation am Systemausgang gleich der Relation am Eingang ist. Diese Beziehung kann unmittelbar zur Kennzeichnung der Quellen benutzt werden. Sie ist die Grundlage des Vergleichsschallquellenverfahren.

Im Falle von Körperschallquellen wäre es zwar denkbar, die Kennzeichnung der Quelle über das Spektrum der von ihr erzeugten Wechselgrößen vorzunehmen, doch ist es im allgemeinen nicht auf direktem Weg möglich, beispielsweise bei Sanitärobjekten (oder anderen Quellen) die auf den Baukörper wirkenden Kräfte in einfacher Art zu bestimmen (wie die Bestimmung einer derartigen Krafteinleitung indirekt mit der Reziprozitäts-Methode erfolgen kann, wird in [14] gezeigt). Auch die Messung der von der Quelle verursachten Körperschallschnelle wäre kein einfacheres Verfahren, da diese von der Eingangsimpedanz der angeregten Struktur abhängt und somit eine zusätzliche Impedanzbestimmung notwendig wäre, um die Anregung im vorgegebenen System eindeutig zu charakterisieren.

In vielen Fällen ist jedoch die Kenntnis der Absolutwerte der Eingangsgröße gar nicht gefordert. Man kann sich vielmehr auf Relativmessungen beschränken, indem die unbekannte Anregung der Quelle auf die bekannte Anregung einer Vergleichsschallquelle bezogen wird. In Gleichung (10) sei z.B. mit S

das Sanitärobjekt und mit V die Vergleichsschallquelle bezeichnet. Wenn bei der benutzten Vergleichsquelle eine ausreichende Reproduzierbarkeit, d. h. Konstanz ihrer akustischen Eigenschaften, garantiert werden kann, dann kann die Geräuschemission einer Quelle durch eine relative Kennzeichnung beurteilt werden. Zumindest in Bezug auf Vergleichbarkeit mit anderen Quellen ist sie damit ausreichend charakterisiert durch ihre Relation zur Vergleichsquelle. Es geht dann aus Gleichung (10) unmittelbar hervor, daß für diese Relation gar nicht die eigentlichen Eingangsgrößen S_1 und V_1 benötigt werden, sondern daß mit derselben Aussagekraft auch die entsprechenden Größen S_2 und V_2 an anderer Stelle des Systems erfaßt werden können. Dann kann z.B. die Relation der Quellen auch durch den abgestrahlten Luftschall irgendwo im Bauwerk ausgedrückt werden. Daß das Schallfeld im gewählten Empfangsraum sich in Wirklichkeit aus den von den einzelnen Raumbegrenzungsflächen abgestrahlten Anteilen zusammensetzt, die in der Regel über unterschiedliche Übertragungswege verursacht werden, spielt dabei keine Rolle. Denn selbstverständlich bleibt für jeden einzelnen Weg trotz seiner individuellen Übertragungsfunktion die Relation zwischen Prüfobjekt und Vergleichsquelle erhalten und es gilt das Superpositionsprinzip. Es ist an dieser Stelle zu sehen, daß die Ermittlung der Relation zwischen Prüfobjekt und Vergleichsquelle im Grunde genommen an keine bestimmten baulichen Voraussetzungen gebunden ist. Sie kann damit bei gleicher Aussage gleichermaßen sowohl im Laborprüfstand als auch im Bau ermittelt werden, sofern anderweitige meßtechnische Randbedingungen (u. a. ausreichender Störgeräuschabstand) eingehalten werden. Für die Vergleichbarkeit der bei verschiedenen Prüfsituationen ermittelten Relationen ist es so dem Grundprinzip des Vergleichsschallquellenverfahrens entsprechend nicht erforderlich, daß Festlegungen bezüglich der Übereinstimmung von Prüfständen getroffen werden. Prüfstandsspezifische Eigenschaften werden durch die Vergleichsschallquelle sozusagen "eliminiert". Notwendiges Kriterium ist dagegen die Reproduzierbarkeit der Vergleichsschallquelle, d. h. die Emissionseigenschaften müssen konstant sein. Als weitere Bedingung für dieses Verfahren muß erfüllt sein, daß die zu kennzeichnenden Schallquellen rückwirkungsfrei sind. Dies bedeutet, daß sich die Quelleigenschaften unabhängig vom beaufschlagten Übertragungssystem verhalten. Bei Einhaltung dieser Bedingungen sind dann auch verschiedene Schallquellen in ihrer Schaller-

zeugung (ausgedrückt durch die Relation S_2/V_2) miteinander vergleichbar, selbst wenn deren Relation an unterschiedlichen Stellen ermittelt wurden.

Im Sinne einer Vergleichbarkeit untereinander sind Schallquellen also hinreichend gekennzeichnet, wenn sie relativ zu einer Vergleichsquelle gemessen werden. Voraussetzung bei der Bestimmung sind zusammenfassend

- die Linearität des Übertragungssystems,
- die Gleichheit der von Prüfobjekt und Vergleichsschallquelle beaufschlagten Übertragungswege,
- die Reproduzierbarkeit der Vergleichsschallquelle,
- die Rückwirkungsfreiheit der untersuchten Schallquellen (eingeprägte Quellen) und
- das Vorliegen von nicht miteinander gekoppelten Übertragungswegen.

Unter Verwendung logarithmierter Größen können schließlich die entsprechenden Beziehungen in Pegeln ausgedrückt werden, so daß sich beispielsweise aus der Relation der Quellen die Schallpegeldifferenz

$$D = L_{V_2} - L_{S_2} [\text{dB}] \quad (11)$$

ergibt. Zu beachten ist bei dieser Schreibweise, daß dieser Rechengang im Prinzip für jede Frequenz oder vereinfacht auch in Frequenzbändern (Terzen, Oktaven) durchgeführt werden muß.

5.4 Kennzeichnung von Übertragungswegen

Wenn nun durch die Schallpegeldifferenz D der Vergleich von Schallquellen untereinander gewährleistet ist, so stellt sich doch die Frage, welche Aussagekraft eine derartige Kennzeichnung mit Hinblick auf den in einer bestimmten baulichen Situation sich einstellenden Schallpegel hat. Angesprochen sind damit zwei Fragestellungen:

1. die Ermittlung und Kennzeichnung der Körperschallübertragungswege bzw. der gesamten Körperschallempfindlichkeit,
2. die Vorausbestimmung des Schallpegels einer Quelle in einer bestimmten baulichen Situation.

Falls die interessierende Körperschallempfindlichkeit im Bau mit der Übertragungsfunktion $H'(f)$ beschrieben wird, gelten analog zu Gleichung (9) die Beziehungen

$$S'_2(f) = S_1(f) \cdot H'(f) \quad (12a)$$

und

$$V'_2(f) = V_1(f) \cdot H'(f), \quad (12b)$$

wobei $S_1(f)$ und $V_1(f)$ die unveränderten Eingangsgrößen sind. Prinzipiell ließe sich nun die Übertragungsfunktion z. B. unter Verwendung der Vergleichsquelle über die aus Gleichung (12b) folgende Beziehung

$$H'(f) = \frac{V'_2(f)}{V_1(f)} \quad (13)$$

gewinnen; dies setzt aber voraus, daß die bislang nicht benötigte Eingangsgröße $V_1(f)$ bestimmt wird. Der bei der Kennzeichnung der Quellen schon geäußerten Argumentation folgend, daß eine hinreichende Charakterisierung auch schon bei Bezug auf eine einheitlich definierte reproduzierbare Vergleichsquelle gegeben ist, kann auch hier die Kennzeichnung relativ durchgeführt werden. Dies bedeutet, daß die Anregung des Bauwerks durch die Vergleichsquelle genau an der Stelle vorgenommen wird, an der später z. B. die Montage eines Sanitärobjektes erfolgen soll. Desweiteren ist der abgestrahlte Luftschall in demjenigen Raum zu messen, für den die Einwirkung des Sanitärobjektes ermittelt werden soll. Der derart bestimmte Luftschallpegel ist zwar von den spezifischen Übertragungseigenschaften der in Frage kommenden Körperschallwege geprägt, gleichzeitig aber auch von den Eigenschaften der anregenden Quelle. Wenn diese jedoch die Voraussetzungen einer reproduzierbaren Anregung erfüllt, sind damit zumindest Vergleiche unterschiedlicher baulicher Situationen eindeutig möglich. Alleinige Meßgröße ist also V'_2 bzw. als Schallpegel im Bau $L_{V'_2}$.

Ein derartiges Vorgehen ist übrigens in der Bauakustik nicht ungewöhnlich. Die Messung des Normtrittschallpegels nach DIN 52 210 zur Bestimmung der Trittschalldämmung geht vom gleichen Prinzip aus, wobei zur definierten An-

regung (übrigens auch für Körperschall !) das Normhammerwerk eingesetzt wird.

5.5 Prognose von Schallpegeln im Bau

Es muß nun nicht als Nachteil betrachtet werden, daß auch die Kennzeichnung des Übertragungsverhaltens "nur" eine relative Kennzeichnung ist. Es läßt sich nämlich recht einfach zeigen, daß damit alle Anforderungen bezüglich der Vorausbestimmung von Schallpegeln im Bau erfüllbar sind. Es sei im folgenden $H(f)$ die Übertragungsfunktion im Labor und $H'(f)$ die Übertragungsfunktion im Bau. Es gilt dann im einen Fall entsprechend Gleichung (10) für die Laborsituation

$$\frac{S_2(f)}{V_2(f)} = \frac{S_1(f)}{V_1(f)} \quad (14)$$

und im anderen Fall für die Situation im Bau

$$\frac{S'_2(f)}{V'_2(f)} = \frac{S_1(f)}{V_1(f)} \quad (15).$$

Voraussetzungsgemäß ist in Gleichung (14) und (15) die Relation der Quellen unabhängig von den Übertragungswegen und es folgt aus beiden Beziehungen unmittelbar

$$\frac{S'_2(f)}{V'_2(f)} = \frac{S_2(f)}{V_2(f)} \quad (16)$$

bzw.

$$S'_2(f) = \frac{S_2(f)}{V_2(f)} \cdot V'_2(f) \quad (17).$$

Dies ist die gesuchte Beziehung zur Vorausbestimmung des abgestrahlten Luftschalls $S'_2(f)$ des Sanitärobjektes im Bau. In einem nicht weiter zu definierenden Übertragungssystem, z.B. auch in einem Laborprüfstand, muß demnach die Relation der Schallquellen

$$\frac{S_2(f)}{V_2(f)}$$

als Verhältnis von Immissionsgrößen ermittelt werden, die ja genau als kennzeichnende Größe für die Schallanregung der Quelle gewählt wurde. Benötigt wird außerdem noch das Übertragungsverhalten der Vergleichsschallquelle in der interessierenden Bausituation $V'_2(f)$, das ja genau als kennzeichnende Größe für die Körperschallempfindlichkeit der betrachteten Situation gewählt wurde. Somit ist mit den genannten Größen nicht nur eine Kennzeichnung von Quelle oder Übertragungsverhalten möglich, sondern in ganz einfacher Weise durch multiplikative Verknüpfung auch die Vorausbestimmung des Luftschalls im Bau.

In Pegeln ausgedrückt kann Gleichung (17) auch wie folgt geschrieben werden:

$$L_{S'_2} = L_{S_2} - L_{V_2} + L_{V'_2} \quad (18)$$

bzw. mit Gleichung (11)

$$L_{S'_2} = L_{V'_2} - D \quad (19)$$

$L_{V'_2}$ kann als Bezugspegel bezeichnet werden. Auch hier ist zu beachten, daß der Rechengang für die einzelnen Frequenzen bzw. Frequenzbänder der Spektren zu erfolgen hat. Wenn beispielsweise der Bezugspegel für eine interessierende bauliche Situation bekannt ist, dann kann mit Hilfe der für verschiedene Schallquellen ermittelte Schallpegeldifferenzen D für jede dieser Quellen separat der sich einstellende Luftschallpegel vorausbestimmt werden. Da nun im praktischen Alltag sehr viele verschiedene Bausituationen mit ganz unterschiedlichen Körperschallempfindlichkeiten anzutreffen sind, können für die Anwendung des Vergleichsverfahrens zwei Konsequenzen gezogen werden:

1. Die Anwendung der Vergleichsquelle muß nicht nur unter Laborbedingungen möglich sein, sondern vor allem auch im Bau, um bei Bedarf die interessierende Körperschallempfindlichkeit (ausgedrückt durch den Bezugs-

pegel) zu ermitteln. Einfache Handhabung bei großer Reproduziergenauigkeit wird vorausgesetzt.

2. Die Prognosemöglichkeiten sind eng verknüpft mit der Verfügbarkeit verlässlicher Übertragungsfunktionen für die interessierenden Bausituationen. Die Qualität der verfügbaren Bezugsspektren bestimmt die Sicherheit der Prognose.

5.6 Anwendung des Vergleichsschallquellenverfahrens in der DIN 52 218

Die hier systematisch abgeleitete Methode zur Kennzeichnung von Quellen und Übertragungswegen mit einer Vergleichsschallquelle liegt im Grunde genommen auch beim Verfahren nach DIN 52 218 zur Bestimmung des Armaturengeräuschpegels L_{ap} vor. Als Vergleichsschallquelle wird dort das IGN verwendet. Die für dieses Verfahren zugrundegelegte Meß- und Bewertungsvorschrift kann, ausgehend von der Grundbeziehung in Gleichung (10), unmittelbar aus Gleichung (17), bzw. aus der in Pegelschreibweise dargestellten Formulierung nach Gleichung (18) abgeleitet werden. Wenn in Gleichung (18) entsprechend der in DIN 52 218 gewählten Schreibweise der resultierende Luftschallpegel L_{S_2} durch den Armaturengeräuschpegel L_{apn} je Oktave benannt wird, entsprechend L_{S_2} durch den im Labor bestimmten Luftschallpegel der Armatur L_n , L_{V_2} durch den im Labor unter gleichen Bedingungen ermittelten Luftschallpegel L_{sn} des IGN und L_{V_2} durch den Bezugswert L_{srn} des IGN im Bau, dann ergibt sich genau die in der dortigen Norm genannte Bestimmungsgleichung

$$L_{apn} = L_n - L_{sn} + L_{srn} \quad (20).$$

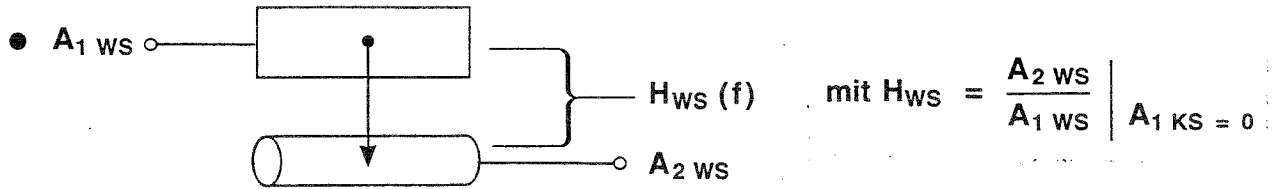
Der Index n weist dabei auf die frequenzabhängige Bestimmung der Größen in den einzelnen Terz- oder Oktavbändern hin. In dieser Gleichung ist schon für den Bezugswert ein aus Untersuchungen im Bau als repräsentativ deklariertes Luftschallspektrum des IGN zugrundegelegt worden (siehe hierzu [12,13]). Man hat sich somit auf eine einzige Körperschallempfindlichkeit beschränkt, von der eine ausreichende Repräsentierung der wichtigsten baulichen Situation angenommen wird. Da das Verfahren nach DIN 52 218 exakt auf die in Abschnitt 5.3 formulierten Grundbeziehungen für ein Vergleichs-

schallquellenverfahren zurückgeführt werden kann, gelten dafür selbstverständlich stillschweigend auch alle dort genannten Voraussetzungen - auch wenn im Normentext darauf nicht Bezug genommen wird. Inwiefern die genannten Voraussetzungen tatsächlich erfüllt werden, ist Gegenstand der folgenden Abschnitte.

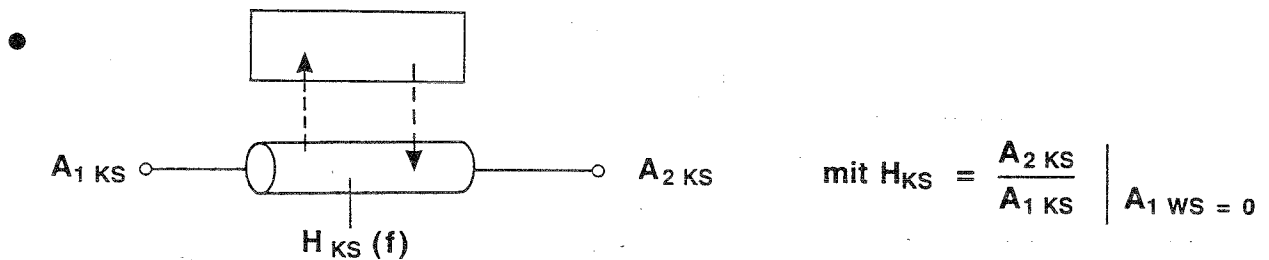
6. Vergleichsschallquellenverfahren bei gekoppelten Übertragungssystemen

6.1 Schallübertragung auf fluidgefüllten Rohrleitungen

Ob die Voraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens erfüllt werden, kann unter Berücksichtigung der speziellen Verhältnisse bei der Schallübertragung auf Rohrleitungen abgeleitet werden. Die Energieübertragung geschieht dort als Wasserschall (WS) in der Wassersäule und als Körperschall (KS) auf der Rohrwand, so daß zwei Übertragungssysteme vorliegen. Gleichzeitig muß noch berücksichtigt werden, daß diese beiden Übertragungssysteme miteinander gekoppelt sind, wie es bereits in Bild 2 verdeutlicht wurde. Hiermit unterscheidet sich der vorliegende Fall von den bisherigen, in Abschnitt 3 betrachteten Übertragungsverhältnissen, wo für die Anwendbarkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens voneinander unabhängige Übertragungssysteme betrachtet wurden. Hinzu kommt, daß Wasserarmaturen in der Regel keine reinen Wasserschallquellen sind, sondern auch in der Lage sind, direkten Körperschall in das Rohrleitungssystem einzuspeisen. Mit Hinblick auf das wahrnehmbare Installationsgeräusch genügt es, als Ausgangsgröße des gesamten Übertragungssystems den auf der Rohrwandung verfügbaren Körperschall zu betrachten. Wie die folgenden schematischen Darstellungen zeigen, sind dabei zwei unterschiedliche Anteile zu berücksichtigen, die zum resultierenden Körperschall beitragen. Wenn zuerst nur die Wasserschallanregung A_{1WS} einer Armatur als alleinige Eingangsgröße betrachtet wird, dann führt diese aufgrund der Kopplungsvorgänge zwischen Wassersäule und Rohrwandung auch zu Körperschall, der als Ausgangsgröße A_{2WS} an einer beliebigen Stelle auf der Rohrwandung zur Verfügung steht. Die Übertragungsfunktion $H_{WS}(f)$ berücksichtigt diesen Umwandlungsvorgang von Wasserschall in Körperschall.



Im nächsten Schritt wird als alleinige Eingangsgröße die Körperschallanregung $A_{1\text{ KS}}$ betrachtet, die von der Armatur auf die Rohrwandung ausgeübt wird. Auch dieser Anregungsvorgang führt an einer beliebigen Stelle der Rohrwandung zu verfügbarem Körperschall, der die Ausgangsgröße $A_{2\text{ KS}}$ darstellt. Die für diesen Fall definierte Übertragungsfunktion $H_{\text{KS}}(f)$ beschreibt die Übertragung des in die Rohrwandung direkt eingespeisten Körperschalls bis hin zur interessierenden Stelle, an der der Körperschall "abgegriffen" wird. Berücksichtigt sind dabei ebenfalls Kopplungsvorgänge zwischen Rohrwandung und Wassersäule.



Da es sich um zwei lineare Teilsysteme handelt, können im letzten Schritt für eine reale, Körperschall und Wasserschall erzeugende Armatur nach dem Superpositionsprinzip beide Ausgangsgrößen zusammengefaßt werden. Für den gesamten Körperschall A_2 ergibt sich dann mit den aus der Wasserschallanregung ($A_{2\text{ WS}}$) und der Körperschallanregung ($A_{2\text{ KS}}$) stammenden Anteilen

$$A_2 = A_{2\text{ WS}} + A_{2\text{ KS}} = A_{1\text{ WS}} \cdot H_{\text{WS}} + A_{1\text{ KS}} \cdot H_{\text{KS}} \quad (21)$$

6.2 Einbeziehung der realen Schallerzeugung von Armaturen

Untersuchungen, auf die in Ziffer 8. eingegangen wird, zeigen, daß handelsübliche Armaturen sich bei erzeugtem Wasserschall und direkt erzeugtem Körperschall deutlich unterscheiden können. Zur Charakterisierung der Schallanregung einer Armatur ist es deshalb sinnvoll, Wasserschall- und Körperschallanteil heranzuziehen und mit beiden Eingangsgrößen das Verhältnis

$$\alpha = \frac{A_{1WS}}{A_{1KS}} \quad (22)$$

zu definieren. Falls A_{1WS} und A_{1KS} leistungsproportionale Größen sind, kann α als "Leistungskoeffizient" bezeichnet werden. Mit Gleichung (22) läßt sich Gleichung (21) folgendermaßen umschreiben:

$$A_2 = A_{1KS} [\alpha_A \cdot H_{WS} + H_{KS}] \quad (23)$$

wobei α_A der Leistungskoeffizient der Armatur ist. Entsprechend gilt für das IGN:

$$I_2 = I_{1KS} [\alpha_I \cdot H_{WS} + H_{KS}] \quad (24)$$

wobei α_I der Leistungskoeffizient des IGN ist. Zu beachten ist, daß zwar die Übertragungsfunktionen H_{WS} und H_{KS} in beiden Fällen identisch sind, nicht jedoch zwangsläufig α_A und α_I . Die Ungleichheit

$$\alpha_A \neq \alpha_I$$

kann durch Untersuchungen bestätigt werden, auf die in Ziffer 8. eingegangen wird. Wenn in Anknüpfung an Gleichung (10) die Relation der Quellen gebildet wird, folgt dafür

$$\frac{A_2}{I_2} = \frac{A_{1KS}}{I_{1KS}} \cdot \frac{[\alpha_A \cdot H_{WS} + H_{KS}]}{[\alpha_I \cdot H_{WS} + H_{KS}]} \quad (25)$$

Die erste geschweifte Klammer enthält wie in Gleichung (10) die Grundbeziehung für das Vergleichsschallquellenverfahren; hinzu kommt aber durch die zweite geschweifte Klammer noch ein zusätzlicher Anteil, der je nach den vorliegenden Leistungskoeffizienten noch die Eigenschaften der Übertragungswege berücksichtigt.

6.3 Folgerungen für das Normverfahren nach DIN 52 218

Wie Gleichung (25) zeigt, ist bei der Übertragung von Armaturengeräuschen auf Rohrleitungssystemen für das Verhältnis von Armatur und Vergleichsschallquelle die Unabhängigkeit vom Übertragungsweg nicht mehr gewährleistet. Dies ist aber nach Gleichung (10) die Grundvoraussetzung für die Anwendung des Vergleichsschallquellenverfahrens. Die Vergleichsschallquelle (hier das IGN) ist im strengen Sinn nicht in der Lage, wie gefordert den Übertragungsweg zu kompensieren. Der Grund ist das Vorliegen von zwei gekoppelten Übertragungssystemen, die in unterschiedlicher Weise von der zu kennzeichnenden Schallquelle und der Vergleichsschallquelle beaufschlagt werden können. Für diese Situation ist das Vergleichsschallquellenverfahren nicht vorgesehen.

Die Voraussetzungen, nämlich Wegfall der 2. Klammer in Gleichung (25), wären nur in folgenden Sonderfällen erfüllt:

1. Armatur und IGN besitzen gleiche Leistungskoeffizienten:

$$\alpha_A = \alpha_I, \text{ wobei } \alpha_A, \alpha_I \neq 0;$$

dann gilt für Gleichung (25):

$$\frac{A_2}{l_2} = \frac{A_{1KS}}{l_{1KS}} = \frac{A_{1WS}}{l_{1WS}} \quad (26).$$

Diese Bedingung trifft in vielen Fällen nicht zu.

2. Es liegt kein Wasserschallanteil vor:

$$A_{1WS} = 0; I_{1WS} = 0 \quad \text{und damit} \\ \alpha_A = 0; \alpha_I = 0$$

dann gilt für Gleichung (25):

$$\frac{A_2}{I_2} = \frac{A_{1KS}}{I_{1KS}} \quad (27).$$

Die Bedingung trifft auf durchströmte Armaturen und das IGN nicht zu.

3. Es liegt kein Körperschallanteil vor. Armatur und Vergleichsschallquelle sind reine Wasserschallquellen. Analog zu Gleichung (23) läßt sich schreiben:

$$A_2 = A_{1WS} \left[H_{WS} + \frac{1}{\alpha_A} H_{KS} \right] \quad (28)$$

und entsprechend für Gleichung (24):

$$I_2 = I_{1WS} \left[H_{WS} + \frac{1}{\alpha_I} H_{KS} \right] \quad (29).$$

Mit $A_{1KS} = 0; I_{1WS} = 0$ und damit

$$\frac{1}{\alpha_A} = 0; \frac{1}{\alpha_I} = 0 \quad \text{ergibt sich mit (28) und (29)}$$

$$\frac{A_2}{I_2} = \frac{A_{1WS}}{I_{1WS}} \quad (30).$$

Unter der Annahme reiner Wasserschallquellen wäre das Vergleichsschallquellenverfahren auch bei den vorliegenden gekoppelten Übertragungswegen anwendbar. Diese Annahme wird bei Meßverfahren nach DIN 52 218 stillschweigend für Armaturen und IGN gemacht. Es zeigt sich insgesamt, daß das Vergleichsschallquellenverfahren im speziellen Fall der Wasserarmaturen mit grundsätzlichen Problemen behaftet ist, die im wesentlichen aus der

Körperschallerzeugung der Armaturen resultieren. Für die Anwendbarkeit des Verfahrens nach DIN 52 218 ergeben sich somit folgende Konsequenzen:

1. Spezifische Prüfstandseigenschaften werden trotz Anwendung des IGN als Vergleichsschallquelle nicht zwangsläufig kompensiert.
2. "Kritische Strecke" in der Übertragungskette sind dabei die Meßleitungen, die ein gekoppeltes System darstellen.
3. Unterschiede zwischen verschiedenen Prüfanordnungen sind aber nicht generell anzugeben, vielmehr sind sie nach Gleichung (25) armaturenabhängig.
4. Die Übertragbarkeit des Armaturengeräuschpegels L_{ap} auf Bausituationen ist nicht gewährleistet.

7. Experimentelle Untersuchungen zur Anwendbarkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens

7.1 Übersicht

Nachdem im vorhergehenden Abschnitt die Grundlagen für das Vergleichsschallquellenverfahren dargestellt sowie die Voraussetzungen für dessen Anwendbarkeit hergeleitet wurden, soll in den folgenden experimentellen Untersuchungen der Frage nachgegangen werden, welchen Einschränkungen das Verfahren in realen Rohrleitungs- und Installationssystemen unterliegt. Im Mittelpunkt stehen dabei die Probleme, die sich aus der Kopplung von Wasserschall-Übertragungsweg und Körperschall-Übertragungsweg auf den Rohrleitungen ergeben. Zur Bedeutung dieses Einflusses werden qualitative Aussagen gemacht. Angesichts der Forderung, daß Schallquellen und Vergleichsquellen über gleiche Anregecharakteristiken verfügen sollen, stellt sich die Frage nach der tatsächlichen Wasserschall- und Körperschallerzeugung von Armaturen. Als wichtigstes Kriterium für die Anwendbarkeit des Verfahrens wird bei den Untersuchungen immer wieder überprüft, ob es letztlich gelingt, mit Hilfe des IGN die individuellen Eigenschaften von Übertragungswegen zu eliminieren.

In einem ersten Teil der Experimente werden in einfachen Rohrleitungsmodellen Wasserschall- und Körperschalleigenschaften von Armaturen sowie Aus-

breitungseigenschaften von Armaturengeräuschen untersucht. Hierbei geht es vor allem darum, die Rolle der Rohrleitungen als der "kritischen Übertragungsstrecke" im Übertragungssystem (siehe Ziffer 6.3) herauszuarbeiten. Schon hier können grundsätzliche Aussagen zum Verfahren nach DIN 52 218 gemacht werden, die in einem zweiten Teil der Untersuchungen dann an einem Normprüfstand nach DIN 52 218 verifiziert werden. Mit Hinblick auf die Tauglichkeit des Verfahrens in praktischen Installationssystemen werden in einem dritten Teil Untersuchungen an Installationen durchgeführt, die auf unterschiedliche Art und Weise im Installationsprüfstand des IBP realisiert wurden. Hierbei werden Fragestellungen aufgegriffen, die für die praktische Aussagekraft ("Übertragbarkeit") von Laborergebnissen von Bedeutung sind.

7.2 Versuchsanordnungen

7.2.1 Modifizierter Kleinprüfstand

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 - was besondere Bedeutung bei Betätigungsgeräuschen gewinnt - wurde in Vorlaufuntersuchungen eine erste Version eines "körperschalltauglichen" Kleinprüfstandes entwickelt und erprobt [4]. Dieser modifizierte Kleinprüfstand wird auch in diesem Vorhaben als eine mögliche Realisierung eines "vereinfachten Verfahrens zur Erfassung von Körperschall" betrachtet. Gleichzeitig kann er aber auch schon jetzt hilfreich für vergleichende Untersuchungen an Armaturen herangezogen werden. Den mechanischen Aufbau des Prüfstandes zeigt Bild 5. 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 (Dicke 12 mm) 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 BiegeWellenamplituden ange-regt. 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 geeig-neter Meßpunkt für den Körperschallaufnehmer festzulegen. Unter den un-tersuchten Meßpunkten auf der Platte erwies sich hierbei Punkt 7 (siehe Bild 5) als geeignet, die Körperschallsituation auf der Platte repräsentativ darzustellen. Durch Messungen an verschiedenen Armaturen, die an die Meßleitung dieses Prüfstandes angeschlossen wurden, konnte bereits nach-gewiesen werden, daß mit der beschriebenen Meßanordnung tatsächlich eine Beschreibung des von Armaturen verursachten Körperschalls möglich ist.

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 Stör-schwingungen von der Meßplatte ferngehalten werden können, zeigt Bild 6, in welchem die Körperschallpegeldifferenzen 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 kön-nen, wurde im Meßrohr ein Hydrophon eingebaut. Im Gegensatz zum bisheri-gen 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 diese Anordnung derjenigen Leitungsführung, die bei vielen Normprüfständen nach DIN 52 218 üblich ist.

Für die vorliegenden Untersuchungen erweist sich die Ausführung dieser Meßanordnung auch in anderer Hinsicht als vorteilhaft. Da es sich bei der Meßleitung um ein kurzes und abgesehen vom Armaturenanschluß gerades Rohr handelt, kann nur noch eine 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 7 dargestellt.

7.2.2 Meßleitung mit mehreren Krümmungen (Spiral-Prüfstand)

Während es bei der vorhergehenden Meßanordnung primär um die Beschreibung von Schallquelleneigenschaften ging, soll die folgende Meßanordnung vorerst vorrangig der Beschreibung von Ausbreitungsvorgängen dienen. Im Gegensatz zum erstgenannten Meßaufbau, wo eine weitestgehende Entkopplung von Wasserschall und Körperschall gewünscht wurde, soll hier die Kopplung beider Übertragungswege geradezu erzwungen werden. Wie Bild 8 zeigt, wird dies durch eine Leitungsführung erreicht, die bei einer (abgewickelten) 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 für 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 Rohrleitungsmodell 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 for-

mulieren und grundsätzliche Aussagen zur Auslegung und zur Handhabung von Normprüfständen zu machen.

Die Meßleitung besteht aus verzinkten 1"-Stahlrohren mit kurzen 90°-Bögen (Bezeichnung I/IA1). In Durchströmrichtung 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 9 enthalten. Mit isolierten Rohrschellen wird die spiralförmig 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. Wie in den Bildern 10 und 11 gezeigt wird, besitzt der meßbare Körperschall auf der Rohrwandung eine radiale Abhängigkeit. Auf jedem Segment befinden sich deshalb an jedem Meßpunkt 4 um jeweils 90° versetzte Meßplättchen zur starren Befestigung von Körperschall-Beschleunigungsaufnehmern (siehe Skizze in Bild 10). Als Meßergebnis wird in den weiteren Ausführungen stets der aus diesen 4 Einzelwerten gebildete Mittelwert angegeben. Die elektrische Meßkette entspricht den Ausführungen in Bild 7.

7.2.3 Normprüfstand nach DIN 52 218

Für die Messungen zur Bestimmung des Armaturengeräuschpegels L_{ap} nach DIN 52 218 existiert im Institut für Bauphysik ein Normprüfstand, dessen prinzipieller Aufbau im Bild 12 dargestellt ist. Die wichtigsten Angaben sind in der folgenden Übersicht zusammengestellt:

Meßraum:

Volumen

71 m³

Die Nachhallzeiten im Meßraum sind im bauakustisch interessierenden Frequenzbereich näherungsweise konstant. Die äquivalente Absorptionsfläche beträgt ca. 10 m².

<u>Meßwand:</u>	Stärke	155 mm
	Flächengewicht	220 kg/m ²
	Fläche	15 m ²

Armaturenwand: Die Armaturenwand ist von der Meßwand körperschallmäßig vollständig entkoppelt, so daß die Anregung der Meßwand ausschließlich über die Meßleitung erfolgt.

Meßleitung: Die Länge der Meßleitung zwischen der Armatur und der ersten Schelle an der Meßwand beträgt 7.90 m.

Wie Bild 12 zeigt, sind entlang der Meßleitung Meßstellen für Körperschall- und Wasserschallmessungen vorgesehen, die bei Bedarf in Anspruch genommen werden können. Auf diese Möglichkeit wird in diesem Vorhaben zurückgegriffen.

7.2.4 Installationsprüfstand

Mit dem Prüfstand für Geräuschmessungen an Wasser-Installationen (Bild 13) verfügt das Fraunhofer-Institut für Bauphysik über die technischen Voraussetzungen zur Klärung der sehr komplexen Zusammenhänge bei der Anregung und Fortleitung dieser Geräusche als Wasserschall, Körperschall und Luftschall. Alle Installationen des Sanitärbereichs können bauüblich an einer KSV-Wand mit ca. 220 kg/m² angebracht werden. Der Unterschied zur Baupraxis liegt lediglich in

- der völligen Isolierung des ganzen Installations-Prüfstandes hinsichtlich Luft- und Körperschall, so daß der Störpegel in den Meßräumen unter 10 dB(A) liegt,

- einer senkrecht durchgehenden, dauerelastisch verschlossenen Fuge unmittelbar vor der Installationswand, um die Schallübertragung über Decke und Wand getrennt voneinander untersuchen zu können,
- der Wasserversorgung über eine leistungsfähige zentrale Pumpstation mit drei unabhängigen, extrem geräuschfreien Ringleitungen.

Im Rahmen dieses Vorhabens wird der Installationsprüfstand dazu genutzt, die Eigenschaften von Armaturen und die Bedingungen des Vergleichsschallquellenverfahrens unabhängig von den Vorgaben eines Normprüfstandes in unterschiedlichen Installationssystemen zu untersuchen. Hierzu können auch in Form von Musterinstallationen bauübliche Bedingungen realisiert werden. Im Gegensatz zu Messungen im Bau sind die baulichen Bedingungen exakt definiert und reproduzierbar, und die schalltechnischen Eigenschaften von Installationseinrichtungen können unabhängig von den Beschränkungen von Feldmessungen detailliert analysiert werden.

7.3 Verwendete Armaturen

Alle für die Untersuchungen herangezogenen Armaturen sind handelsübliche Produkte, die in der Regel ohne Modifikationen eingesetzt werden. Lediglich bei Armatur A werden für einige spezielle Meßreihen die Wasserschalldämpfer im S-Anschluß ausgebaut, um bewußt die Geräuschcharakteristik stark zu verändern und die Aussagefähigkeit verschiedener Meßanordnungen zur Wirksamkeit von Wasserschalldämpfern zu vergleichen.

Die meisten Messungen wurden mit folgenden Armaturen durchgeführt:

Armatur A:

Wannen-Wandbatterie (Zweigriffarmatur), Oberteile mit Keramikscheiben, automatische Umstellung Brause/Wanne, mit Schalldämpfer in den S-Anschlüssen, Auslauf Durchflußklasse C, Brauseanschluß Durchflußklasse C;

Armatur B:

Wannen-Wandbatterie (Zweigriffarmatur), für vorgebaute Installationsblocks Oberteile mit Keramikscheiben, automatische Umstellung Brause/Wanne, mit Schalldämpfern in den S-Anschlüssen, Auslauf Durchflußklasse C, Brauseanschluß Durchflußklasse C;

Armatur C:

Wannen-Wandbatterie (Einhandmischer), Auslauf Durchflußklasse B, Brauseanschluß Durchflußklasse B, automatische Umstellung;

Für weitere Untersuchungen wurden noch folgende Armaturen herangezogen:

Armatur V:

Wannen-Wandbatterie (Einhandmischer mit Kartuschenkolben), Auslauf Durchflußklasse C, Brauseanschluß Durchflußklasse B, ohne automatische Umstellung;

Armatur W:

Wannen-Wandbatterie (Einhandmischer mit Zweiseiben-Keramik-System), Auslauf Durchflußklasse C, Brauseanschluß Durchflußklasse B, ohne automatische Umstellung;

Armatur X:

Wannen-Wandbatterie (Zweigriffarmatur mit Spindel-Oberteilen), automatische Umstellung Brause/Wanne, Auslauf Durchflußklasse C, Brauseanschluß Durchflußklasse C;

Armatur Y:

Waschtisch-Batterie (Einhand-Einlocharmatur mit Keramikscheiben, Durchflußklasse IA;

Armatur Z:

Waschtisch-Batterie (Einhand-Einlocharmatur), Durchflußklasse A.

7.4 Verwendete Meßgrößen

Körperschall:

Bei den Messungen im Körperschall wird als Meßgröße stets die Körperschallbeschleunigung a zugrunde gelegt, gemessen senkrecht zur Prüffläche. Bei der Darstellung als Pegelgröße werden die Körperschallmeßwerte auf $a_0 = 10^{-3} \text{ m/s}^2$ bezogen, und für die Körperschallpegel L_a gilt:

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0} .$$

Als Orientierungswert sei der entsprechende Pegelwert für 1 g (Erdbeschleunigung) angegeben, der hierfür 76,8 dB beträgt.

Wasserschall:

Die Messung des Wasserschalls erfolgt mit Miniaturhydrophonen nach dem piezoelektrischen Wandlerprinzip. Meßgröße ist hier der Schalldruck im Wasser. Für den Wasserschallpegel gilt

$$L_p(\text{Wasser}) = 20 \lg \frac{p}{p_0} ,$$

wobei wie beim Luftschall als Bezugsgröße der Wert $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa gewählt wurde. Ein Wechseldruck von 1 bar entspräche hierbei einem Pegelwert von 194 dB.

Luftschall:

Für die Luftschallmessung wird ein besonders rauscharmes Kondensatormikrofon verwendet, das zusammen mit einem geeigneten Vorverstärker noch die Messung äußerst kleiner Schalldruckpegel bis in den Bereich von etwa 0 dB(A) gestattet. Für die Luftschallpegel gilt

$$L_p = 20 \lg \frac{p}{p_0} ,$$

wobei wie beim Wasserschall als Bezugsgröße $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa zugrundegelegt wird. Angegebene Größe ist in der Regel der Luftschallpegel $L_{AF,10}$ (Zeitbewertung "Fast", störpegelkorrigiert, A-bewertet, bezogen auf eine äquivalente Absorptionsfläche $A_0 = 10 \text{ m}^2$).

Armaturengeräuschpegel L_{ap}

gemessen nach DIN 52 218 im Normprüfstand (siehe Gleichungen (3) und (4)).

Armaturengeräuschpegel L'_{ap}

gemessen in beliebigen Installationssystemen; Armaturengeräusch bezogen auf IGN-Geräusch analog zum Verfahren nach DIN 52 218.

Frequenzbereich:

Nach DIN 52 218 (Teil 1, Ziffer 3.5) ist der Armaturengeräuschpegel über eine Oktavbandanalyse mit den Oktav-Mittenfrequenzen 125 bis 4000 Hz oder nach dem Anhang zu Teil 1 über eine Terzbandanalyse mit den Terz-Mittenfrequenzen 100 bis 5000 Hz zu ermitteln. In den vorliegenden Untersuchungen werden alle Meßgrößen durch Terzanalyse erfaßt und dargestellt. Der nach DIN 52 218 zu berücksichtigende Meßbereich wird bei Bedarf nach unten oder oben erweitert, so daß in Einzelfällen auch Frequenzen hinab bis zu 25 Hz und hinauf bis zu 10 kHz erfaßt werden.

8. Überprüfung der Kriterien in ausgewählten Rohrleitungssystemen

8.1 Wasserschall-/Körperschall-Relation von Armaturen am modifizierten Kleinprüfstand

In Ziffer 6.2 wurde abgeleitet, welchen Einfluß im gekoppelten Rohrleitungssystem die Wasserschall- und Körperschallerzeugung der untersuchten Schallquellen auf die Gültigkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens haben. Hierfür wurde in Gleichung (22) als charakteristische Größe der Leistungskoeffizient α definiert, der das Verhältnis von Wasserschalleistung zu Körperschalleistung darstellt. Wenn es auch sinnvoll wäre, als Emissionskenngrößen einer Armatur tatsächlich die Leistungen des erzeugten Wasserschalls und primären Körperschalls zu bestimmen, so ist die meßtechnische Bestimmung dieser Größen nur mit aufwendigen Meßanordnungen möglich. Im Rahmen dieses Vorhabens wurde deshalb auf die Bestimmung der Leistungsgrößen verzichtet. Um dennoch zu Aussagen über die charakteristische Schallerzeugung unterschiedlicher Armaturen zu gelangen, wurde stattdessen auf den direkt meßbaren Schalldruck in der Wassersäule und die Körperschallbeschleunigung auf der Rohrwandung zurückgegriffen. Da diese Feldgrößen unmittelbar in die Definition der entsprechenden Schalleistungen eingehen, können sie deshalb doch eine gute Beschreibung der vorliegenden

Geräuschcharakteristik einer Armatur liefern. Wichtig ist dabei, daß die Messungen für Wasserschall und Körperschall am selben Ort und möglichst direkt an der Schallquelle stattfinden. Vorteilhaft ist desweiteren die Messung in einem Rohrleitungssystem, bei welchem die Kopplung zwischen Wassersäule und Rohrwandung nur schwach ausgeprägt ist. Dies ist erforderlich, wenn zumindest näherungsweise zwischen primärem Körperschall und dem durch Wasserschall induzierten Körperschall unterschieden werden soll. Kurze Rohrleitungen ohne Krümmungen sind für diesen Zweck deshalb am geeignetsten. Eine entsprechende Meßanordnung, die diesen Anforderungen genügt, bietet der modifizierte kleine Prüfstand, wie er in Ziffer 7.2.1 beschrieben wurde.

Da am modifizierten Kleinprüfstand bei Betrieb einer Armatur sowohl der Wasserschall L_{WS} als auch der Körperschall L_{KS} gemessen werden kann, läßt sich aus den ermittelten Spektren eine Pegeldifferenz ΔL ermitteln, die wie folgt definiert wird:

$$\Delta L = L_{WS} - L_{KS} \quad (31).$$

Diese Pegeldifferenz beschreibt in Analogie zu Gleichung (22) die Relation zwischen erzeugtem Wasserschall und erzeugtem Körperschall. Wenn auch eine derartige Pegeldifferenzkurve, wie sie z.B. in den folgenden Bildern gezeigt wird, für sich alleine betrachtet noch wenig Aussagekraft besitzt, erlaubt sie doch im Vergleich mit den Differenzkurven anderer Armaturen oder anderer Betriebszustände einen direkten Vergleich der Schallquelleneigenschaften. Für die nachfolgend dargestellten Meßergebnisse wurde im Meßaufbau nach Bild 5 der Wasserschall über den in Leitungsmitte sich befindenden Hydrophonanschluß und der Körperschall auf Meßpunkt 7 der Meßplatte ermittelt.

Im ersten Beispiel vergleicht Bild 14 die Wasserschall-/Körperschall-Relation verschiedener Armaturen bei gleichen Betriebsbedingungen. Unwesentlich sind in der vorliegenden Darstellung die Zahlenwerte der Pegeldifferenzen, da sie quasi willkürlich durch die Wahl der Bezugswerte festgelegt werden können. Von Bedeutung sind hingegen die Pegelunterschiede zwischen den

einzelnen Differenzkurven. Diese sind nämlich unabhängig vom gewählten Bezugswert und erlauben einen direkten Vergleich der Schallerzeugung. So bedeuten z.B. kleinere ΔL -Werte, daß von der betreffenden Armatur im Verhältnis zum Wasserschall mehr Körperschall erzeugt wird als von der Armatur mit größeren ΔL -Werten. Aus den Differenzkurven in Bild 14 geht deutlich hervor, daß sich die Erzeugung von Wasserschall und Körperschall bei einzelnen Armaturen deutlich unterscheiden kann und in einzelnen Frequenzbändern Unterschiede von mehr als 20 dB möglich sind. Dies bedeutet, falls z.B. die Wasserschallerzeugung zweier Armaturen als gleich angenommen werden würde, daß die eine Armatur 10mal soviel Körperschall erzeugt wie die andere. Diese Interpretationshilfe veranschaulicht die in den vergleichenden Darstellungen enthaltenen Aussagen.

Noch größere Unterschiede in der Wasserschall-/Körperschall-Relation einzelner Armaturen ergeben sich, wenn statt des stationären Fließgeräuschs in Bild 15 die Umstellung ($W \rightarrow B$) betrachtet wird. Es wird deutlich, daß der Anteil des primären Körperschalls gerade bei Betätigungsgeräuschen sehr unterschiedlich ausfallen kann. Im Vergleich mit den Ergebnissen für stationären Betrieb der Armaturen (Bild 14) ergibt sich jedoch bei allen betrachteten Armaturen für die Umstellgeräusche stets ein größerer Körperschallanteil. Dies bestätigt die bisherigen Vermutungen, daß gerade bei Betätigungsgeräuschen der (primäre) Körperschall eine wesentliche Rolle spielt. Als gemeinsames Charakteristikum aller Wasserschall-/Körperschall-Relationen verdient auch festgehalten zu werden, daß die Differenzkurven stets sehr stark bei zunehmender Frequenz abfallen. Mit anderen Worten heißt dies, daß der (energetische) Anteil des Körperschalls um so größer wird, je höher die Frequenz ist.

Bezüglich der Kriterien zur Anwendung des Vergleichsschallquellenverfahrens kann an dieser Stelle schon ein erstes Ergebnis genannt werden: die Erzeugung von Wasserschall und Körperschall kann sich bei einzelnen Armaturen stark unterscheiden. Damit ist die in Gleichung (10) geforderte Unabhängigkeit vom Übertragungsweg nicht mehr gegeben. Stattdessen muß gemäß Gleichung (25) je nach Art der Wasserschall-/Körperschall-Relation einer Armatur von wegabhängigen Ergebnissen im Vergleichsschallquellenver-

fahren ausgegangen werden. Hätte nach Gleichung (25) noch die Hoffnung bestanden, hilfsweise eine Korrekturfunktion einzuführen, die bei stets gleichem α_A die Unterschiede zu α_I hätte rechnerisch ausgleichen können, so kann angesichts der sich von Armatur zu Armatur ändernden Leistungskoeffizienten diese Hilfsmöglichkeit nicht mehr in Anspruch genommen werden.

Zur weiteren Präzisierung des Sachverhaltes zeigt Bild 16, daß sich nicht nur unterschiedliche Armaturen in den Anteilen ihrer Wasserschall- und Körperschallerzeugung unterscheiden können, sondern daß auch derartige Unterschiede bei derselben Armatur auftreten können, wenn die hydraulischen Betriebsbedingungen geändert werden. Bild 16 zeigt die Änderungen bei verändertem Fließdruck für das Betätigungsgeräusch beim Umstellen. Entsprechende Ergebnisse können auch bei den anderen Armaturen gewonnen werden. Mit Hinblick auf die schalltechnische Beschreibung von Armaturen folgt daraus, daß die Quellen-Eigenschaften für jeden Betriebszustand neu zu definieren sind. Es ist somit nicht möglich, mit einer allgemeingültigen Aussage die Körperschall-/Wasserschall-Erzeugung einer Armatur zu beurteilen oder mit derjenigen einer anderen Armatur zu vergleichen. Vielmehr sind strenggenommen derartige quellenspezifische Beurteilungen für jeden Betriebszustand neu vorzunehmen.

Auch bei unterschiedlichen Einstellungen einer Armatur kann sich ihre Wasserschall-/Körperschall-Relation ändern. Ein Beispiel, bei welchem vergleichsweise große Unterschiede vorliegen, enthält Bild 17. Vor allem bei mittleren Frequenzen ergibt sich für das Fließgeräusch bei Mischstellung gegenüber "warm" und "kalt" eine deutlich erhöhte Körperschallerzeugung. Hingegen weist Bild 18 darauf hin, daß sich nicht in jedem Fall der Quellencharakter einer Armatur beim Wechsel von "misch" auf "kalt" oder "warm" signifikant ändert. Zusammenfassend ergibt sich aus diesem und den vorhergehenden Untersuchungen, daß Armaturen keine Schallquellen mit konstanten Wasserschall-/Körperschall-Verhältnissen sind. Vielmehr hängen die Anteile der beiden Schallarten in ausgeprägter Weise von den jeweiligen Betriebsbedingungen ab. Angesichts der möglichen hydraulischen Betriebsbedingungen und der möglichen Einstell-Varianten kann alleine schon bei einer einzigen Armatur von einem Bereich ausgegangen, in welchem sich Wasserschall-

und Körperschallerzeugung bewegen können. Im Sinne des Vergleichsschallquellenverfahrens wäre damit bei geänderter Betriebssituation jedesmal der Quellencharakter der Armatur neu zu definieren. Damit wird es auch illusorisch, zur Kompensation der Wegabhängigkeit hilfsweise "Korrekturfaktoren" einführen zu wollen.

Wenn die Variationsmöglichkeiten in der Geräuscherzeugung einer Armatur vollständig betrachtet werden sollen, ist in einem weiteren Schritt noch zu berücksichtigen, daß der "akustische Betriebspunkt" einer Armatur auch dadurch geändert werden kann, daß die Auslaufwiderstände geändert werden. Dieser Effekt ist in der Regel bei stationärem Fließgeräusch weniger stark ausgeprägt, kann jedoch bei Betätigungsgeräuschen wesentlich sein (siehe hierzu auch die in Tabelle 6 auszugsweise dargestellten Ergebnisse eines 1987 durchgeführten Ringversuchs, wo bei variierten Auslaufwiderständen auch Umstellgeräusche gemessen wurden). Zur Verdeutlichung dieses Effektes zeigt Bild 19 den Variationsbereich der Wasserschall-/Körperschall-Relation für die Umstellung $W \rightarrow B$ und Bild 20 für die Umstellung $B \rightarrow W$. Berücksichtigt wurden dabei für Wannenauslauf und Brauseanschluß folgende Kombinationen von Auslaufwiderständen (RP: Röhrenpakete nach DIN 52 218; NSR: Normstrahlregler):

1. RP-C / RP-C
2. NSR-C / NSR-C
3. RP-C / NSR-C
4. NSR-C / RP-C.

Der große Streubereich der Pegeldifferenz weist darauf hin, daß bei zukünftigen Messungen von Betätigungsgeräuschen im Rahmen eines genormten Prüfverfahrens der Frage der zu wählenden Auslaufwiderstände große Beachtung geschenkt werden sollte. Dies gilt nicht nur bezüglich prüfstandspezifischer Unterschiede, die sich aus den Bedingungen des Vergleichsschallquellenverfahrens ergeben können. Dies gilt genauso auch bezüglich der Frage, wie eine möglichst praxisgerechte Beurteilung auszusehen hat. In einer weiteren Meßreihe wird auf die Wirkung eines Schalldämpfers im S-Anschluß eingegangen. Bild 21 zeigt, daß mit Wasserschalldämpfern die Pegeldifferenz stark gemindert wird. Dies bedeutet, daß der Wasserschall in Relation zum Körperschall erheblich abgenommen hat. Die Wirkung derarti-

ger Dämpfer ist demnach auf Wasserschall und Körperschall völlig unterschiedlich.

Nachdem mit den bisherigen Ergebnissen gezeigt wurde, wie stark sich die Wasserschall- und Körperschallerzeugung von Armaturen je nach Armaturentyp und Betriebsweise unterscheiden kann, ist nach Gleichung (25) klar, daß im Rahmen des Vergleichsschallquellenverfahrens der Bezug auf das IGN die Eliminierung prüfstandsspezifischer Eigenschaften der Übertragungswege nicht mehr gewährleistet. Diese grundsätzliche Aussage - hergeleitet aus den Gültigkeitskriterien des Vergleichsschallquellenverfahrens in Ziffer 6.2 und aus den experimentell ermittelten Schallquelleneigenschaften - wird in den Untersuchungen der folgenden Abschnitte auch quantitativ untermauert werden. Abschließend sei in Bild 22 anhand einer stark Körperschall erzeugenden Armatur dargestellt, wie sehr sich die Schallerzeugung einer Armatur gegenüber dem IGN unterscheiden kann. Dieses Beispiel hat sicherlich keinen allgemeingültigen Charakter, da es auf der anderen Seite einige Armaturen gibt, die (vor allem in kavitierenden Betriebszuständen) durchaus mit der Schallerzeugung des IGN vergleichbar sind. Die Unterscheidung von Armaturen in solche mit starker und solche mit geringer Körperschallerzeugung macht jedoch verständlich, warum trotz grundsätzlicher Probleme das Vergleichsverfahren in der Vergangenheit durchaus unkritisch gehandhabt werden konnte. Der Anwendbarkeit kam zugute, daß frühere Armaturen tatsächlich auf breiter Ebene sehr viel stärkere Wasserschallquellen waren, wobei kavitierende Betriebszustände keine Seltenheit waren. Somit ergab sich in der Regel eine gute Vergleichbarkeit mit der Schallerzeugungscharakteristik des IGN, so daß die Probleme der gekoppelten Übertragungswege sich nicht in gleicher Weise auswirken konnten, wie dies bei vielen heutigen Armaturen erwartet werden muß.

8.2 Schallausbreitung in einem stark gekoppelten Rohrleitungssystem

8.2.1 Pegelabnahme von Wasserschall und Körperschall entlang des Ausbreitungsweges

Während bei den Untersuchungen in Ziffer 8.1 die Eigenschaften der Schallquellen im Vordergrund standen, soll nun auf die Verhältnisse bei der Schall-

ausbreitung eingegangen werden. Von Bedeutung ist dabei die Fragestellung, inwiefern sich die Kopplungsbedingungen eines Rohrleitungssystems auf die Gültigkeitsvoraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens tatsächlich auswirken. Es wird deshalb der Frage nachgegangen, wie sich die im Vergleichsschallquellenverfahren benötigten Größen entlang eines Ausbreitungsweges verhalten, der durch die Eigenschaften eines gekoppelten Systems geprägt ist. Als geeignete Meßanordnung wird hierfür die in Ziffer 7.2.2 beschriebene Meßleitung mit mehreren Krümmungen (Spiralprüfstand) herangezogen (siehe auch Bild 8).

Zuerst soll die Abnahme des Körperschalls auf der Rohrwandung zwischen Leitungsanfang (Meßpunkt 1, nahe Armaturenanschluß) und Leitungsende (Meßpunkt 17) betrachtet werden. Bild 22a zeigt für verschiedene Schallquellen die dazugehörigen Pegelminderungen. Während die starke Frequenzabhängigkeit der Pegelabnahme in diesem Zusammenhang nicht weiter diskutiert werden muß, da sie stark vom jeweils vorliegenden System und dessen individuellen Resonanz- und Dämpfungseigenschaften abhängt, fällt die ausgeprägte Abhängigkeit der Pegelabnahme von der Art der Schallquellen auf. So findet sich im gesamten Frequenzbereich die geringste Pegeländerung beim IGN, während Armatur B im maßgeblichen Frequenzbereich die stärkste Pegelabnahme aufweist. Ein derartiges Verhalten ist nicht selbstverständlich. (So wird beispielsweise bei der Luftschalldämmung eines Bauteils selbstverständlich immer davon ausgegangen, daß sie unabhängig ist von der Art des anregenden Spektrums). Hier jedoch kann dieses Verhalten durch die Bedingungen eines gekoppelten Übertragungssystems und den Einfluß des primär erzeugten Körperschalls erklärt werden. Auf der Grundlage der Ausführungen in Ziffer 6.2 kann dafür gezeigt werden, daß dann die Pegelabnahme entlang des Übertragungssystems von den Schallquelleneigenschaften - hier der Relation von erzeugtem Wasserschall und Körperschall - abhängt.

Besonders augenfällig ist der Vergleich zwischen IGN und Armatur B. Wie Bild 22 zeigt, zeichnet sich Armatur B gegenüber dem IGN als vergleichsweise starke Körperschallquelle aus. Die vorliegenden Ergebnisse weisen deshalb darauf hin, daß es vor allem der primäre Körperschall ist, der hier "abgebaut" wird, indem er verstärkt in den Wasserschall "eingekoppelt" wird.

Zielsetzung ist dabei das Erreichen eines energetischen Gleichgewichts. Im Sinne einer statistischen Energiebetrachtung hieße das, daß eine Gleichverteilung der verfügbaren Gesamtenergie auf die Moden der Teilsysteme angestrebt wird. Wäre bei allen Armaturen statt dessen nur sekundärer Körperschall vorhanden, der aus der Umwandlung von Wasserschall resultiert, könnte eine quellenunabhängige Abnahme des Körperschalls entlang des Ausbreitungsweges festgestellt werden. Ansatzweise ist dieses Verhalten bereits aus dem Vergleich von IGN und Armatur C zu erkennen. Armatur C als starke Wasserschallquelle nähert sich in ihrem Verhalten bereits stark dem IGN an. Insgesamt muß jedoch festgehalten werden, daß sich das IGN anders verhalten kann als Armaturen, so daß offensichtlich die Eliminierung spezifischer Eigenschaften des Übertragungsweges nicht mehr funktioniert.

Auf die Verhältnisse im Wasserschall geht Bild 23 ein. Hier zeigt sich nun, daß die quellentypischen Eigenschaften weitgehend nicht zum Tragen kommen. Die Ausbreitungsbedingungen für das IGN sind somit dieselben wie für die unterschiedlichsten Armaturen. Damit sind - wenn der Wasserschall als interessierende Größe betrachtet würde - auch die Bedingungen des Vergleichsschallquellenverfahrens erfüllt. Auch von dieser Seite her zeigt sich somit, daß das Verfahren dann anwendbar ist, wenn lediglich der Wasserschall zu berücksichtigen ist. Da aber unter praktischen Gesichtspunkten eine aussagefähige Charakterisierung einer Armatur nur mit Hilfe des tatsächlich in den Baukörper übertragbaren Körperschalls geschehen kann, gelten weiterhin die oben genannten Einschränkungen.

Wie sich im Falle transientser Anregung das Rohrleitungssystem verhält, wird für das Umschalten ($W \rightarrow B$) in den Bildern 24, 25 und 26 gezeigt. Für den Körperschall ergibt sich aus Bild 24, daß nun die Ausbreitungsbedingungen noch viel stärker als zuvor von der Art der Armatur abhängen. Auch dies ist als Indiz zu verstehen, daß gerade bei Betätigungsgeräuschen der primäre Körperschall von Bedeutung ist. Hingegen ergibt sich wie im stationären Fall auch im Wasserschallverhalten bei transientser Anregung (Bild 25) eine starke Annäherung der einzelnen Schallquellen. Die in Bild 25 gezeigten Ergebnisse können dabei als ein Beispiel für vergleichsweise schlechte Übereinstimmung einzelner Quellen betrachtet werden. Im allgemeinen jedoch kann auch bei

Betätigungsgeräuschen von einer insgesamt guten Übereinstimmung der Pegelabnahme im Wasserschall ausgegangen werden, wie dies in Bild 26 gezeigt wird.

Quasi als Nebeneffekt gestatten die vorliegenden Ergebnisse auch eine Aussage zur Brauchbarkeit des IGN als Vergleichsschallquelle bei transientscher Anregung. Obwohl in Bild 25 und 26 die transienten Signale der Armaturen mit dem stationär ermittelten Signal des IGN verglichen werden, ergibt sich im Wasserschall die geforderte Übereinstimmung. Es läßt sich hiermit anschaulich verdeutlichen, daß zur Charakterisierung von Betätigungsgeräuschen kein "Impuls"-IGN benötigt wird. Offensichtlich können, wie hier im Wasserschallverhalten gezeigt wurde, transiente Armaturengeräusche unproblematisch auf das stationäre Fließgeräusch des IGN bezogen werden, ohne daß dadurch in das Prinzip des Vergleichsschallquellenverfahrens eingegriffen wird. Entscheidend ist deshalb nicht die Frage nach der Schaffung eines "Impuls"-IGN sondern weiterhin auch hier die Forderung, daß IGN und Armatur hinsichtlich ihrer Wasserschall- und Körperschallerzeugung über vergleichbare Quelleigenschaften verfügen müssen.

Weiteren Aufschluß über die Anwendung des Vergleichsschallquellenverfahrens im gekoppelten Rohrleitungssystem geben die Bilder 27 und 28. Während zuvor die Pegeländerung des Körperschalls über die gesamte Leitungslänge betrachtet wurde, geschieht dies im Bild 27 nun separat für die erste Hälfte (Segment 1 bis Segment 9) und in Bild 28 separat für die zweite Hälfte (Segment 9 bis Segment 17). Es zeigt sich jetzt, daß zwar am Leitungsanfang die Pegeländerung stark quellenabhängig ist, daß jedoch zum Leitungsende hin die Quellenabhängigkeit des Körperschalls überraschenderweise weitgehend verschwunden ist. Die dem Vergleichsschallquellenverfahren hinderlichen Effekte werden somit bei größerem Ausbreitungsweg geringer. Gemeint ist damit allerdings nicht die reine Länge der Rohrleitungen sondern vor allem die damit wachsende Anzahl von Krümmungen, die für zusätzliche Modenwandlung sorgt. Es wird damit deutlich, daß armaturenspezifische Quelleigenschaften, die mit der Aufspaltung der Gesamtleistung auf Wasserschall und primären Körperschall zu tun haben, mit zunehmendem Kopplungsgrad des Leitungssystems abgebaut werden. Es kann deshalb angenommen wer-

den, daß bei geeigneter Leitungsführung und ausreichender Leitungslänge die Abhängigkeit von den Quelleneigenschaften völlig eliminiert werden kann. Im Sinne einer statistischen Energiebetrachtung käme es dann nicht mehr darauf an, wie sich am Systemeingang (hier also Armaturenanschluß) die Gesamtenergie auf Wasserschall und primären Körperschall verteilt, da sich in ausreichendem Abstand das Übertragungssystem mit seinen Teilsystemen in "energetischem Gleichgewicht" befindet.

In Form eines Zwischenresümées können die bisherigen Ergebnisse dieser Versuchsreihe wie folgt zusammengefaßt werden:

- Unterschiedliche Eigenschaften der Armaturen und des IGN bei der Erzeugung von primärem Körperschall führen zu unterschiedlichem Ausbreitungsverhalten.
- Bei der Erfassung des Körperschalls ist deshalb das Grundprinzip des Vergleichsschallquellenverfahrens verletzt.
- Je näher am Armaturenanschluß der Körperschall erfaßt wird, desto kritischer wird die Einschränkung des Vergleichsschallquellenverfahrens.
- Jedoch ist auch im gekoppelten Rohrleitungssystem die Anwendung des Vergleichsschallquellenverfahrens für Körperschall dann statthaft, wenn der Gleichverteilungszustand gewährleistet werden kann. Dies heißt: ausreichend lange Rohrleitungen mit ausreichend großer Krümmungszahl.

8.2.2 Wasserschall-/Körperschall-Relation als ortsabhängige Größe

Zur Präzisierung und Untermauerung der Aussagen des vorangehenden Abschnitts seien im folgenden die Wasserschall-/Körperschall-Relationen gemäß Gleichung (31) entlang des Ausbreitungsweges betrachtet. Wenn diese Relationen als stellvertretende Größe für den Leistungskoeffizienten α interpretiert werden, können sie unmittelbar Auskunft geben über die Einhaltung der für das Vergleichsschallquellenverfahren geforderten Voraussetzungen.

Für eine Armatur mit vergleichsweise starker Körperschallerzeugung zeigt Bild 29, daß sich auch die Wasserschall-/Körperschall-Relation entlang des Ausbreitungsweges ändern kann. So erscheint die Armatur am Leitungsanfang als stark körperschallerzeugende Armatur, während im weiteren Verlauf der Anteil des Körperschalls zurückgeht. Noch stärker läßt sich dieser Effekt

beim Umschaltvorgang (Bild 30) feststellen. Auch hier kann zur Erklärung auf den Einfluß des primären Körperschallanteils verwiesen werden. Die festgestellte Ortsabhängigkeit hat zur Folge, daß das "Bild", welches von einer Armatur zur Beschreibung ihrer Quelleigenschaften gemacht wird, vom Ort im Übertragungssystem abhängig ist. Dem hat ein Prüfverfahren Rechnung zu tragen. Es muß dabei gefragt werden, welche Aussagekraft das von der Armatur gezeichnete Bild für die praktische Anwendung besitzen soll. Damit ist auch die Frage nach der Übertragbarkeit von Laborergebnissen angesprochen.

Die für das IGN ermittelten Ergebnisse sind in Bild 31 dargestellt. Im Gegensatz zur zuvor betrachteten Armatur sind hier die abgebildeten Schallquelleneigenschaften wesentlich geringer vom Ausbreitungsweg abhängig. Dies trifft auch auf solche Armaturen zu, die sich als stark Wasserschall erzeugende Quellen erweisen. Als Beispiel zeigt Bild 32 das Verhalten von Armatur C, bei der sowohl das Niveau der Pegeldifferenz als auch die Ortsabhängigkeit auffallend gut mit dem IGN übereinstimmen. Eine ähnliche Aussage kann hier sogar für das Betätigungsgeräusch beim Umschalten dieser Armatur gemacht werden.

Eine direkte Gegenüberstellung der Wasserschall-/Körperschall-Relationen verschiedener Quellen findet sich in Bild 33 für den Leitungsanfang (MP 1) und in Bild 34 für das Leitungsende (MP 17). Bild 33 läßt erkennen, daß sich verschiedene Armaturen am Leitungsanfang in der Nähe des Armaturenanchlusses deutlich voneinander unterscheiden können. Offensichtlich ist dabei die geringste Körperschallerzeugung beim IGN verzeichnet. Am Leitungsende hingegen (Bild 34), und auch schon in der Leitungsmitte, sind derartige Unterschiede weitgehend nivelliert und alle Armaturen erscheinen auf dem Niveau des IGN. Derartige Aussagen können sogar für Betätigungsgeräusche gewonnen werden, bei denen sich die Schallquellen noch viel deutlicher am Leitungsanfang unterscheiden (Bilder 35 und 36).

Die Ergebnisse dieses Abschnitts können wie folgt zusammengefaßt werden:

- Die Kennzeichnung der Geräuschcharakteristik einer Armatur hängt vom Ort im Rohrleitungssystem ab, von welchem der wirksame Körperschall

abgegriffen wird. Diese Aussage gilt auch unabhängig von der Anwendung eines Vergleichsschallquellenverfahrens. Da auch in baulichen Prüfständen der Körperschall (z. B. bei der Meßwand) von der Rohrleitung abgegriffen wird, trifft auch dort diese Aussage zu.

- Der primäre Körperschall wird am schärfsten erfaßt, wenn möglichst dicht an der Armatur gemessen wird. Mit zunehmendem Kopplungsgrad des Rohrleitungssystems geht sein Einfluß zurück.
- Speziell für das Vergleichsschallquellenverfahren bestätigen sich die Einschränkungen aus Ziffer 8.2.1.

8.2.3 Armaturengeräuschpegel L'_{ap} entlang des Ausbreitungsweges

Abschließende Untersuchungen am Spiralprüfstand sollen zeigen, wie sich das bislang beschriebene Ausbreitungsverhalten im gekoppelten Rohrleitungssystem auf den letztlich interessierenden Armaturengeräuschpegel auswirkt. Gemäß der durch Gleichung (3) gegebenen Meß- und Bewertungsvorschrift wird an verschiedenen Meßstellen auf der Rohrleitung das Armaturengeräusch auf das IGN bezogen, wobei die Geräuschemessung sowohl über Wasserschall als auch Körperschall durchgeführt wird. Als erstes Beispiel zeigt Bild 37 für Armatur C die Armaturengeräuschpegel L'_{ap} bei stationärem Fließgeräusch, welche aus Wasserschallmessungen gewonnen wurden. Sowohl in den Gesamtpegeln als auch im spektralen Verlauf ist das Ergebnis vom Meßort auf der Rohrleitung unabhängig. Auch für die im Wasserschall gemessenen Betätigungsgeräusche dieser Armatur (Bild 38) ergibt sich für die einzelnen Meßorte eine gute Übereinstimmung der L'_{ap} . Spezifische Eigenschaften der Meßanordnung werden somit sowohl bei stationärer als auch bei transientser Anregung durch den Bezug auf das IGN kompensiert. Andere Verhältnisse ergeben sich, wenn der L'_{ap} über Körperschall erfaßt wird. Bild 39 zeigt für den L'_{ap} eine Ortsabhängigkeit, die zwischen Leitungsanfang und Leitungsende ein Abnehmen des L'_{ap} um ca. 4 dB(A) bewirkt. Etwa 5,5 dB(A) Unterschied sind für das Umschaltgeräusch bei Messung über Körperschall zu verzeichnen.

Noch viel stärker tritt dieser Effekt bei Armatur B in Erscheinung, die sich durch vergleichsweise starke Körperschallanregung auszeichnet. Während auch in diesem Fall im Wasserschall kein nennenswerter Einfluß des Meßor-

tes erkennbar ist (Bild 40), macht sich dieser Einfluß um so stärker im Körperschall bemerkbar (Bild 41). Die Änderung des L'_{ap} zwischen Leitungsanfang und -ende beträgt hier ca. 8 dB(A). Noch gravierender machen sich die Unterschiede mit etwa 15 dB(A) beim Betätigen (Umschalten W → B) dieser Armatur bemerkbar, wie in Bild 42 gezeigt wird. Eine direkte Gegenüberstellung der Pegeländerungen der L'_{ap} im Wasserschall und Körperschall findet sich in den Bildern 43, 44 und 45. Unabhängig von der Art der Armatur und deren Betriebsbedingungen zeigt sich die große Unempfindlichkeit der Wasserschallkennwerte gegenüber den Eigenschaften der Prüfanordnung. Dies gilt vor allem für die Summenpegel, aber auch überraschend gut noch für das spektrale Verhalten selbst bei der stark körperschallgeprägten Betätigung von Armatur B (Bild 45). Im Gegensatz hierzu zeigt sich eine deutliche Empfindlichkeit der Körperschallkennwerte. Die Zusammenstellung der Bilder 43 bis 45 macht exemplarisch deutlich, daß die Rückwirkung der Prüfanordnung auf den Armaturengeräuschpegel des Körperschalls stark von der jeweiligen Armatur und ihrer Betriebsweise abhängt. So sind die Änderungen der L'_{ap} bei der stark wasserschallgeprägten Armatur C (Bild 43) vergleichsweise gering; sehr deutlich jedoch sind sie bei Armatur B als starker Körperschallquelle für das stationäre Fließgeräusch (Bild 44) und ganz erheblich in Bild 45 für den Umschaltvorgang. Insgesamt weisen auch diese Ergebnisse eindeutig auf die Rolle des primären Körperschalls hin, der armaturenspezifisch ausgeprägt ist und in der Nähe der Armatur das akustische Geschehen dominiert. Wie bereits grundsätzlich in Ziffer 6.2 aufgezeigt wurde, wird hier nun auch experimentell nachgewiesen, daß das Vergleichsschallquellenverfahren bei Anwesenheit des primären Körperschalls im gekoppelten Rohrleitungssystem nicht mehr in der Lage ist, die jeweiligen Eigenschaften einer Prüfanordnung zu eliminieren.

Da die Unterschiede im Armaturengeräuschpegel aus Wasserschall und Körperschall ein Maß für die Fehlergröße im Vergleichsschallquellenverfahren sind, soll in der folgenden Zusammenstellungen die Pegeldifferenz der Armaturengeräuschpegel gesondert betrachtet werden. Als vergleichsweise gering stellen sich in Bild 46 die Abweichungen für Armatur C dar, wobei auch die Ortsabhängigkeit keine wesentliche Rolle spielt. Signifikant wird die Ortsabhängigkeit der Abweichungen dagegen bei Armatur B (Fließgeräusch Bild 47,

Umstellung Bild 48). Es zeigt sich jedoch, daß bei zunehmendem Abstand des Meßortes von der Armatur die Abweichungen kleiner werden. Selbst bei starker Körperschallprägung des Armaturengeräusches (z. B. Umstellvorgang in Bild 48) kann schon bei Meßpunkt 9 in Leitungsmitte ein weitgehender Abbau der Unterschiede festgestellt werden. Für die praktische Anwendung eines Prüfverfahrens heißt dies, daß Fehler in der Vergleichbarkeit von Armaturengeräuschpegeln um so geringer werden, je höher der vorhandene Kopplungsgrad der Prüfstände ist. Aus den Untersuchungen der vorhergehenden Abschnitte kann in diesem Zusammenhang unmittelbar gefolgert werden, daß die Vergleichbarkeit von Prüfständen am ehesten dann erfüllt ist, wenn im gekoppelten System der Meßleitungen energetische Gleichverteilung erreicht wird. Die Frage der Kopplungsverhältnisse in einem Normprüfstand wird somit von entscheidender Bedeutung sein. Ihr wird im folgenden Abschnitt zumindest ansatzweise nachgegangen.

Abschließend sei auf die armaturenabhängigen Unterschiede bei der Ermittlung von Armaturengeräuschpegeln eingegangen. Auch hier wird die Pegeldifferenz zwischen L'_{ap} aus Wasserschall und Körperschall als Kriterium für mögliche Abweichungen herangezogen. Der Vergleich von Bild 49 und Bild 50 zeigt für das stationäre Fließgeräusch verschiedener Armaturen, daß die in Armaturennähe vorhandenen Abweichungen stark von der jeweiligen Armatur abhängen, daß diese Unterschiede jedoch weitgehend verschwunden sind, wenn der Armaturengeräuschpegel in größerer Entfernung ermittelt wird. Selbst bei großen Unterschieden, wie sie für den Betätigungsvorgang beim Umstellen in Bild 51 festgestellt werden, findet sich nach längerem Übertragungsweg eine starke Angleichung der aus Wasserschall und Körperschall gewonnenen L'_{ap} (Bild 52). Als Folgerung für ein Prüfverfahren bedeutet dies, daß die Vergleichbarkeit von Prüfständen stark von der untersuchten Armatur abhängt. So kann die Aussagefähigkeit eines Ringversuchs nur dann richtig beurteilt werden, wenn gleichzeitig auch die Schallerzeugung der verwendeten Vergleichsarmatur hinreichend charakterisiert werden kann. Beispielsweise ist es, wenn andere Fehlermöglichkeiten (IGN, Kalibrierung, Leitungsentlüftung etc.) ausgeschlossen wurden, nach den bisherigen Erörterungen möglich, daß mit einer starken Wasserschallquelle eine scheinbar gute Übereinstimmung verschiedener Prüfstände vorgegeben wird, während

sich bei einer körperschallgeprägten Armatur divergierende Ergebnisse einstellen würden. Da jedoch gerade Armaturen oder Betriebszustände mit starkem primärem Körperschallanteil zu Problemen führen, wäre die Vergleichbarkeit von Prüfständen nur mit solchen Quellen aussagekräftig festzustellen.

9. Untersuchungen zur Ortsabhängigkeit am Normprüfstand

Die Untersuchungen in den vorherigen Zifferen lieferten grundsätzliche Aussagen zur Rolle des primären Körperschalls, zu den Ausbreitungsverhältnissen in Rohrleitungssystemen und zur Anwendbarkeit des Vergleichschallquellenverfahrens. Daß die Ergebnisse auch auf die Verhältnisse eines Normprüfstandes übertragen werden können, soll anhand der folgenden Untersuchungen gezeigt werden. Am Normprüfstand des IBP werden hierzu außer der regulären Messung des Armaturengeräuschpegels über den Luftschall auch Messungen über Wasserschall und Körperschall entlang des Ausbreitungsweges durchgeführt. In Bild 53 sind die verwendeten Meßpunkte skizziert. Wasserschall und Körperschall werden auf der Meßleitung gemessen, Körperschall zusätzlich auch auf mehreren Meßpunkten auf der Meßwand. Analog zu den Untersuchungen am Spiralprüfstand können damit die Armaturengeräusche entlang der Meßleitung bis hin zum Meßraum verfolgt werden. Alle Untersuchungen werden mit Armatur B bei gleichbleibender Betriebsweise (Fließgeräusch, Wanne, 0,3 MPa und 0,5 MPa, misch, voll geöffnet) durchgeführt.

Eine Zusammenstellung der auf unterschiedliche Art ermittelten Armaturengeräuschpegel wird in Tabelle 1 gegeben. Je nachdem, ob die Auswertung auf Luftschall-, Wasserschall- oder Körperschallmessungen beruht und an welchem Ort die Messung durchgeführt wird, ergeben sich Werte, die sich bis zu 13 dB(A) unterscheiden können. Dieses Verhalten widerspricht eklatant den vorrangigen Zielsetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens, welches ja gerade sicherstellen soll, daß derartige Einflüsse nicht auftreten. Die Ursache, die in der Erzeugung von primärem Körperschall, der unterschiedlichen Schallquellencharakteristik von IGN und Armaturen sowie den

gekoppelten Übertragungswegen in der Wassersäule und auf der Rohrwandung zu suchen sind, wurden in den vorhergehenden Zifferen dargelegt. Sie können unmittelbar auf die vorliegende Situation übertragen werden. Daß die schon in Ziffer 6.2 prognostizierten Schwierigkeiten auch am Normprüfstand tatsächlich auftreten, beweist, daß die Meßleitung eines Normprüfstandes keine Sonderrolle einnimmt sondern genauso zu behandeln ist, wie es theoretisch und experimentell zuvor schon für andere Anordnungen geschah.

Anhand der Einzelergebnisse soll das Verhalten des Normprüfstandes näher aufgeschlüsselt werden. In Bild 54 werden die Spektren des Armaturengeräuschpegels verglichen, die bei regulärer Messung über Luftschall und bei Messung über Wasserschall ermittelt wurden. Für die Messung im Wasserschall spielt es hierbei keine Rolle, ob der Armaturengeräuschpegel am Leitungsanfang oder -ende bestimmt wird. Dies entspricht den bisherigen experimentellen Ergebnissen und belegt auch hier die Gültigkeit des Vergleichschallquellenverfahrens, wenn ausschließlich die im Wasserschall transportierte Energie betrachtet wird. Daß die Voraussetzungen des Verfahrens allerdings verletzt werden, wenn der interessierende Luftschall betrachtet wird, zeigt der direkte Vergleich zwischen Wasserschall- und Luftschallergebnissen in Bild 54. Im gesamten Frequenzbereich ergeben sich höhere L_{ap} -Werte als im Wasserschall, was im Gesamtpegel zu einem um ca. 4 dB(A) höheren Armaturengeräuschpegel im Luftschall führt. Aufgrund der vorherigen Untersuchungen kann aus dieser Diskrepanz unmittelbar geschlossen werden, daß am vorliegenden Normprüfstand der Einfluß des primären Körperschalls noch nicht völlig abgebaut worden ist. Außer dem sekundären Körperschall, der direkt mit den Verhältnissen im Wasserschall gekoppelt ist, kommt zu dem an der Meßwand verfügbaren Körperschall zusätzlich noch der (verbliebene) Anteil des primären Körperschalls hinzu, der bei der Messung im Wasserschall nicht berücksichtigt wird. Obwohl der vorliegende Normprüfstand zwischen Armaturenanschluß und erster Schelle an der Meßwand über eine Leitungslänge von 7,90 m sowie mehrere Krümmungen verfügt (siehe hierzu Leitungsführung im Bild 12), kann mit Hilfe der Ergebnisse am Spiralprüfstand (Ziffer 8.2) geschlossen werden, daß die Kopplungsbedingungen offensichtlich noch nicht ausreichen, um für die Energieverteilung auf Wassersäule und Rohrwandung einen Gleichgewichtszustand herzustellen.

Da im Vergleich mit anderen Normprüfständen der vorliegende zu denjenigen mit vergleichsweise großer Leitungslänge zählt, muß davon ausgegangen werden, daß die Kopplungsbedingungen an anderen Meßleitungen in der Regel nicht stärker als hier ausgeprägt sind. Die Zusammenstellung der Eigenschaften einiger Normprüfstände (5 davon an Prüfstellen) in Tabelle 2 verzeichnet Leitungslängen zwischen 5,2 m und 12 m. Obwohl die reine Leitungslänge alleine ohne Berücksichtigung der vorhandenen Krümmungen noch keine vollständige Aussage zum erreichten Kopplungsgrad an der Meßwand liefert, ist sie zumindest ein Indiz für unterschiedliche Ausbreitungsbedingungen. Anhand der Ergebnisse am Spiralprüfstand, wo gezeigt wurde, wie sich die Bedingungen entlang der Rohrleitung ändern, kann deshalb geschlossen werden, daß wie am vorliegenden Normprüfstand auch anderweitig die notwendige Kopplung noch nicht erreicht wurde. Je nach Kopplungsgrad des jeweiligen Prüfstandes muß deshalb bei Armaturen, die über einen stärkeren Anteil an primärem Körperschall als das IGN verfügen, mit abweichenden Prüfergebnissen gerechnet werden. Ergebnisse eines 1987 durchgeführten Ringversuchs an 6 Normprüfständen (Tabelle 3) weisen für das stationäre Fließgeräusch der untersuchten Armatur für den Armaturengeräuschpegel Unterschiede bis zu 10 dB(A) auf. Die verwendete Armatur entspricht dem hier mit Armatur A bezeichneten Typ. Sie ist damit eine stärkere Körperschallquelle als das IGN, aber noch nicht so ausgeprägt, wie z.B. Armatur B. Wenn außer den oben genannten Gründen auch der mögliche Einfluß nicht völlig übereinstimmender IGNs nicht vollständig ausgeschlossen werden kann, so wird damit doch die Problematik des Vergleichsschallquellenverfahrens aufgezeichnet.

Auf eine weitere Problematik bei der Anwendung des jetzigen Prüfverfahrens weisen die folgenden Untersuchungen hin. Hierzu werden die Verhältnisse im Körperschall betrachtet. Unter den Bedingungen des Normprüfstandes kann davon ausgegangen werden, daß der im Meßraum von Armatur oder IGN verursachte Luftschall unmittelbar auf den Körperschall auf der Meßwand zurückgeführt werden kann (im betrachteten Frequenzbereich sind angesichts der verwendeten Massivwand, deren Koinzidenzfrequenz und Abstrahlgrad die notwendigen Voraussetzungen für diese Annahme erfüllt). Nach den Kriterien eines linearen Übertragungssystems, wie sie Ziffer 5.3 als Grundlage

des Vergleichsschallquellenverfahrens formuliert wurden, kann entsprechend Gleichung (10) das Verhältnis von Armatur und IGN auch an einer anderen Stelle des Übertragungssystems gebildet werden, ohne daß es sich ändert. Für den Armaturengeräuschpegel darf es also keine Rolle spielen, ob er über Luftschall im Meßraum oder über den Körperschall auf der Meßwand ermittelt wird. Der direkte Vergleich der entsprechend gewonnenen Armaturengeräuschpegel in Bild 55 bestätigt durch die gute Übereinstimmung im Gesamtpegel und Frequenzverhalten diese Annahme (daß hier die Voraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens wieder Gültigkeit erlangen, liegt daran, daß auf der Meßwand das gekoppelte System der Rohrleitung bereits verlassen wurde und der dort angekommene Körperschall auf seinem weiteren Weg den zuvor vorhandenen Einschränkungen nicht mehr unterliegt). Im selben Gedankengang ist es dann naheliegend, den Weg des Schallsignals noch weiter zurückzuverfolgen und den Körperschall dort auf der Meßleitung zu betrachten, wo er über die Befestigungselemente auf die Meßwand geleitet wird. Da auch in diesem Fall ein unmittelbarer Zusammenhang, dieses mal zwischen Körperschall auf der Rohrleitung und Körperschall auf der Wand, bestehen muß, kann hier ebenfalls eine Übereinstimmung der entsprechenden Armaturengeräuschpegel erwartet werden. In Bild 55 wird dies für die Messungen auf der Rohrleitung und die Luftschallmessung bestätigt.

Das vorliegende Resultat ist nichts anderes als ein experimentelles Beispiel für das Übertragungsverhalten, wie es in Ziffer 5.3 für ein lineares System beschrieben wurde. Es ist deshalb nicht weiter verwunderlich, daß - auch in einem Normprüfstand - der Körperschall auf der Rohrleitung mit gleicher Berechtigung und gleicher Aussagekraft zur Kennzeichnung von Armaturengeräuschen herangezogen werden kann wie der Luftschall im Meßraum. Die Konsequenz für ein "vereinfachtes Meßverfahren zur Erfassung des von Armaturen erzeugten Körperschalls" ist deshalb, daß auf die bauliche Ausführung eines Prüfstandes verzichtet werden kann, ohne daß zwangsläufig die Aussagefähigkeit des Verfahrens in Frage gestellt wird. Die sich anschließende Frage für ein Meßverfahren - egal welcher Art - ist allerdings, an welcher Stelle auf der Meßleitung der Körperschall "abgegriffen" werden soll. Angesichts der Leitungslängen, die in DIN 52 218 vorgeschlagen werden und

sich zwischen 2 m und 10 m bewegen sollen, wäre es denkbar, daß an der hier vorhandenen Meßleitung der Körperschall an einer anderen Stelle abgegriffen und auf eine Meßwand geleitet wird. Nach den in der Norm erwarteten Eigenschaften des angewendeten Vergleichsschallquellenverfahrens dürfte dies keinen Einfluß auf das Meßergebnis haben, da derartige prüfstandsspezifische Eigenschaften definitionsgemäß vom IGN zu kompensieren wären. Wie stark sich jedoch in Wirklichkeit die (über Körperschall ermittelten) Armaturengeräuschpegel unterscheiden, wenn die Kennzeichnung an anderen Stellen der Meßleitung erfolgt, zeigt Bild 56. Ausgehend von der Rohrleitung vor der Meßwand, wo der Armaturengeräuschpegel dem nach DIN 52 218 ermittelten Wert entspricht, nimmt der L_{ap} -Wert mit kleinerem Abstand zum Armaturenanschluß zu. Am Meßpunkt KS1 beträgt der Unterschied schon 10 dB(A). Wenn nach den Festlegungen der Norm als kleinster Abstand zwischen Armaturenanschluß und erster Schelle auf der Meßwand 2 m zulässig sind, entspräche der hier gewählte Meßpunkt mit einem Abstand von 1,75 m ziemlich genau diesem Mindestwert. Offensichtlich wird hier die Grundlage des Vergleichsschallquellenverfahrens eklatant außer Kraft gesetzt. Anhand der in Ziffern 5 und 6 abgeleiteten Kriterien und der experimentellen Befunde am Spiralprüfstand braucht dieses Verhalten nicht mehr weiter interpretiert zu werden. Es beweist lediglich, daß auch die Anordnung eines Normprüfstandes keine Ausnahme von den grundsätzlich geltenden Bedingungen macht.

Der im vorliegenden Fall genannte Wert von 10 dB(A) für die Erhöhung des L_{ap} sollte lediglich als Beispiel betrachtet werden. Wie an anderen Stellen erläutert wurde, ist er nicht als "prüfstandsspezifischer Korrekturwert" zu verstehen, da er stark von den Quelleneigenschaften der Armaturen abhängt. So ist für Armaturen mit schwacher Körperschallerzeugung mit nur geringen, im günstigsten Fall sogar gar keinen Abweichungen zu rechnen. Bei anderen Armaturen, vor allem jedoch bei Betätigungsgeräuschen, können noch höhere Unterschiede nicht ausgeschlossen werden. Für Armaturen mit ausgeprägtem Körperschallanteil stellt sich deshalb die Frage, wo in einem verbindlichen Prüfverfahren der zur Kennzeichnung herangezogene Körperschall abgegriffen werden soll. Die Klärung dieser Frage ist nicht nur erforderlich, um die Vergleichbarkeit von Kennwerten zu garantieren. Sie ist auch erforderlich,

wenn nach der Aussagefähigkeit eines Kennwertes für praktische Belange gefragt wird. Hiermit ist unmittelbar die Frage der "Übertragbarkeit" von Laborwerten angesprochen. Dieser Frage wird neben anderen in den folgenden Untersuchungen nachgegangen.

10. Verhalten von Armaturen in unterschiedlichen Installationssystemen

10.1 Zielsetzung

Für unterschiedliche Installationssysteme soll im vorliegenden Abschnitt untersucht werden, wie die Voraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens erfüllt sind. Nach den bisherigen Untersuchungen kann nicht erwartet werden, daß hierbei befriedigende Aussagen erzielt werden. Es bietet sich jedoch die Möglichkeit, das Verhalten von Armaturen unter verschiedenen Montagebedingungen zu überprüfen und damit Aussagen über Einflußgrößen und mögliche Streuungen der Meßwerte zu bekommen. Außer Fragen, die unmittelbar das Meßverfahren zur Kennzeichnung von Armaturengeräuschen betreffen, ist damit auch die Frage nach der Übertragbarkeit von Laborergebnissen auf Bausituationen angesprochen. Wie in Ziffer 5.3 gezeigt wurde, beruht die Kennzeichnung von Schallquellen im Vergleichsverfahren gemäß Gleichung (10) auf der unveränderten Relation der Quellen zueinander. Entsprechend wurde im Ziffer 5.5 hergeleitet, daß genau diese Bedingung auch erfüllt sein muß für die Prognose von Schallpegeln im Bau (siehe hierzu Gleichung (16)). In Pegeln ausgedrückt findet sich die gesuchte Relation exakt in der Schallpegeldifferenz D_{sn} aus DIN 52 218 wieder, wie sie in Gleichung (1) definiert wurde. Für die Übertragbarkeit von Laborkennwerten wäre also gemäß Gleichung (16) zu fordern:

$$D_{sn}(\text{Prüfstand}) \stackrel{!}{=} D_{sn}(\text{Bau}) \quad (32).$$

Nur wenn diese Bedingung eingehalten wird, kann das Vergleichsschallquellenverfahren als Grundlage für ein Prognoseverfahren dienen. Da sich die Oktav-Schallpegeldifferenz D_{sn} nach Gleichung (3) nur um den festgeleg-

ten Oktavpegel L_{srn} des Bezugsspektrums vom Oktavwert L_{apn} des Armaturengeräuschpegels unterscheidet, kann statt Gleichung (32) auch geschrieben werden:

$$L_{apn}(\text{Prüfstand}) = L'_{apn}(\text{Bau}) \quad (33).$$

Die Überprüfung dieser Bedingung ist im strengen Sinne gesondert für alle Frequenzbänder vorzunehmen. Zur einfachen Überprüfung kann jedoch Gleichung (33) näherungsweise durch den direkten Vergleich der Armaturengeräuschpegel im Labor und im Bau ersetzt werden:

$$L_{ap}(\text{Prüfstand}) \approx L'_{ap}(\text{Bau}) \quad (34).$$

10.2 Montage von Armatur und IGN an der Meßwand des Normprüfstandes

Nach DIN 52 218, Teil 1, Ziffer 5.5 heißt es für die Befestigung des Armaturenanschlusses: "Beide Enden sind starr mit Rohrschellen an einer Wand, nicht jedoch an der Meßwand, oder an irgendeinem körperschallisolierten starren Auflager zu befestigen." Eine Realisierungsmöglichkeit mit körperschallmäßig getrennter Armaturenwand, wie sie im IBP vorliegt, zeigt Bild 57a. Wenn sich statt dessen der Armaturenanschluß direkt an der Meßwand befindet, wie es in Bild 57b angedeutet wird, kann aufgrund der vorhergehenden Untersuchung erwartet werden, daß dies zu anderen Kopplungsbedingungen und einem stärkeren Einfluß des primären Körperschalls führt. Entgegen den Voraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens, das definitionsgemäß derartige Prüfstandsspezifika eliminieren müßte, ist deshalb von veränderten Armaturengeräuschpegeln auszugehen. Meßwerte für die Betätigungsgeräusche einer Armatur, die nach der Anordnung in Bild 58 ermittelt wurden, sind gemeinsam mit den Armaturengeräuschpegeln nach DIN 52 218 in Tabelle 4 zusammengestellt. Wie befürchtet, ist die geforderte Gleichheit von L_{ap} und L'_{ap} nicht erfüllt. Grundsätzlich ergeben sich für die Montage vor der Meßwand höhere Armaturengeräuschpegel, die auf die stärkere Berücksichtigung des primären Körperschalls hinweisen. Im Mittel beträgt der Unterschied zwischen L_{ap} und L'_{ap} 7,1 dB(A). Schon diese

einfache Meßanordnung, die nur näherungsweise eine praxisübliche Armaturenmontage simuliert, verläßt also die Basis für eine akzeptable Prognose.

10.3 Montage an der Meßwand im Rahmen eines Ringversuchs

Beim 1987 durchgeführten Ringversuch fanden an drei Prüfstellen auch Vergleichsmessungen mit an der Meßwand montierten Armaturen statt. Beim IBP wurde dabei der in Bild 58 skizzierte Aufbau verwendet. Die Anordnungen der anderen Teilnehmer entsprachen ebenfalls dem Prinzip in Bild 57b, sind aber im Detail nicht beschrieben worden. Die verwendete Armatur entsprach vom Typ der in diesem Vorhaben verwendeten Armatur A.

Für stationäres Fließgeräusch findet sich in Tabelle 5 eine Zusammenstellung der nach DIN 52 218 ermittelten L_{ap} -Werte und der L'_{ap} -Werte für Montage an der Meßwand. Die entsprechenden Werte für das Betätigungsgeräusch sind in Tabelle 6 angegeben. Allgemein bestätigen die vorliegenden Ergebnisse die Aussage von Ziffer 10.2, wo eine Erhöhung des Armaturengeräuschpegels an der Meßwand festgestellt wurde. Abgesehen von dieser grundsätzlichen Aussage zeigt sich jedoch, daß die Unterschiede zwischen L_{ap} und L'_{ap} bei gleichen Betriebssituationen der Armatur von Prüfstelle zu Prüfstelle stark abweichen können. So gibt dieser Ringversuch zwar übereinstimmend den Trend zur stärkeren Körperschallerfassung an der Meßwand wieder, bleibt aber unbefriedigend in der Vergleichbarkeit der Meßergebnisse. In Tabelle 7 wird gezeigt, wie stark die ermittelten Werte des L'_{ap} streuten. Unterschiede bis zu 13 dB(A) treten zwischen den einzelnen Meßanordnungen auf.

Von der Montage an der Meßwand war außer einer besseren Erfassung der Körperschallerzeugung ursprünglich auch eine bessere Vergleichbarkeit bei körperschallgeprägten Armaturen (incl. Betätigungsvorgängen) erwartet worden. Insofern wurde das vorliegende Ergebnis mit einer gewissen Überraschung zur Kenntnis genommen, da die Abweichungen zwischen den Prüfstellen für Montage an der Meßwand im Mittel sogar größer waren als bei normgerechter Montage am Armaturenanschluß eines Normprüfstandes. Dies geht aus dem Vergleich der Tabellen 7 und 3 hervor. Eine Interpretation die-

ses Verhaltens, verbunden mit einer Anweisung zur Handhabung von "meßwandorientierten" Prüfanordnungen kann aus den Ergebnissen der bisherigen Untersuchungen abgeleitet werden. So konnte gezeigt werden, daß der Einfluß des primären Körperschalls auf das Meßergebnis um so geringer wird, je größer der vom Rohrleitungssystem erreichte Kopplungsgrad ist. Da dieser unmittelbar mit dem Abstand des Meßortes vom Armaturenanschluß und der Anzahl der dazwischen liegenden Krümmungen in Verbindung gebracht werden kann, kann umgekehrt festgehalten werden, daß bei der Montage an der Meßwand allgemein ein geringerer Kopplungsgrad als an den Meßleitungen der Normprüfstände vorliegt. Dadurch wird die Empfindlichkeit der Meßanordnung gegenüber dem primären Körperschall erhöht. Wenn gleichzeitig daran erinnert wird, daß der Einfluß des primären Körperschalls zu Anfang des gekoppelten Systems am stärksten abgebaut wird, kann daraus abgeleitet werden, daß individuelle Abweichungen der Prüfanordnung im Bereich des Armaturenanschlusses sich bei einem "meßwandorientierten" Meßverfahren sehr viel stärker auswirken werden als bei einem üblichen Normprüfstand. Die Folgerung für ein Prüfverfahren, das auf der Meßwandmontage beruht, kann daher nur sein, in letzter Konsequenz die Details der Meßanordnung festzulegen. Nur ein Höchstmaß an Vereinheitlichung läßt aufgrund der vorgelegten Ergebnisse erwarten, daß angesichts der Schwächen des Vergleichsschallquellenverfahrens die geforderte Vergleichbarkeit von Prüfständen erreicht werden kann.

Mit Skepsis müssen in diesem Zusammenhang die Angaben der DIN 52 218 zur Montage des Armaturenanschlusses betrachtet werden, die weniger als Festlegung denn als Gewährung (allzu) großer Freiheiten verstanden werden müssen. So läßt die bereits in Ziffer 10.2 zitierte Angabe aus DIN 52 218, Teil 1, Ziffer 5.5 ("Armaturenanschluß" durchaus die Möglichkeit zu, den Armaturenanschluß statt an einer Wand an einem nicht weiter definierten "irgendeinen anderen körperschallisolierten starren Auflager zu befestigen". Hierdurch können die Bedingungen der Energieableitung in Armaturennähe und damit zwangsweise auch die Einflußmöglichkeit des primären Körperschalls ganz unterschiedlich gehandhabt werden. Bei langen Meßleitungen mit vielen Krümmungen und demzufolge hohem Kopplungsgrad kann aufgrund der Untersuchungsergebnisse erwartet werden, daß sich solche

Unterschiede im primären Körperschall im Meßergebnis nicht mehr stark niederschlagen werden. Wenn jedoch die DIN 52 218 zwischen Armaturenan-schluß und erster Schelle auf der Meßwand als kleinsten Abstand 2 m zuläßt, muß dies noch als im "Nahbereich" der Armatur befindlich betrachtet werden, wo sich der primäre Körperschall noch stark auswirken kann. Da gleichzeitig auch keinerlei Festlegung zur Mindestzahl von Leitungskrümmungen zwischen Armatur und Meßwand vorliegt, können die im Sinne des Vergleichsschallquellenverfahrens ungünstigen Effekte im gültigen Rahmen der Norm nach Belieben addiert werden. Normprüfstände an deutschen Prüfstellen haben aufgrund jahrelangen Erfahrungsaustausches über die Festlegungen der Norm hinausgehend zu Prüfanordnungen gefunden, die derartige zulässige Extreme vermeiden. Im Rahmen der europäischen Normung und des zu erwartenden Baus neuer Prüfstände ist auf der Grundlage dieser Norm jedoch nicht auszuschließen, daß im einen oder anderen Fall alle Möglichkeiten, die zur Verschärfung der Problematik beim Vergleichsverfahren führen, exzessiv in Anspruch genommen werden.

10.4 Vergleich von Rohrleitungen unterschiedlichen Materials

Auf den Umstand, daß gerade die Installationsbedingungen im engeren Umkreis der Armatur stark auf die Übertragungsverhältnisse und die Anwendbarkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens einwirken, wurde schon im vorhergehenden Ziffer hingewiesen. In den nun beschriebenen Untersuchungen wird darüber hinausgehend gezeigt, daß nicht alleine die Art der Leitungsführung die Wirksamkeit des primären Körperschalls beeinflusst, sondern auch die Rohrleitungen selbst. Hierzu werden Meßleitungen unterschiedlicher Rohrmaterialien bei exakt gleicher Leitungsführung und vergleichbaren Rohrinne Durchmesser direkt an der Meßwand des Installationsprüfstandes befestigt, der in Ziffer 7.2.4 beschrieben wird. Die prinzipielle Versuchsanordnung und die Auslegung der Meßleitungen werden in den Bildern 59 und 60 erläutert. Außer der Montage der Meßleitungen über Rohrschellen (Bild 60) wird auch die Installation bei Unterputzmontage (Bild 61) vorgesehen.

Einen ersten Hinweis auf den Einfluß des Rohrmaterials geben die Ergebnisse in den Bildern 62 und 63. Während Armatur C in Verbindung mit der

Kupferrohrleitung bei allen Fließdrücken gegenüber Armatur B die lautere Armatur ist, sind die Verhältnisse an der Stahlrohrleitung genau umgekehrt. Dieses Ergebnis verweist darauf, daß das wahrnehmbare Armaturengeräusch stark durch die Installationsbedingungen mitbestimmt wird, wodurch sich im Einzelfall sogar die Rangordnung von Armaturen ändern kann. Ein derartiges Verhalten widerspricht stark den Absichten einer Prognose des Armaturengeräuschs. Es zeigt auf, daß auch in diesem Fall die besonderen Bedingungen des gekoppelten Rohrleitungssystems zu berücksichtigen sind. Inwiefern sich bei identischer Leitungsführung das Rohrmaterial auf das Übertragungsverhalten auswirkt, wird in Bild 64 anhand der Pegeldifferenz zwischen Armatur und IGN gezeigt, die bis auf das Vorzeichen mit der Schallpegeldifferenz D_{sn} in Gleichung (1) identisch ist. Entgegen den Voraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens ergeben sich in Abhängigkeit vom Rohrmaterial starke Streuungen in der Relation der Quellen zueinander. Auch wenn die vorliegende Versuchsanordnung eine Abstraktion tatsächlich vorkommender Installationen darstellt, deuten ihre Ergebnisse doch darauf hin, daß alleine schon durch die Art der Rohrleitungen in die Übertragbarkeit von Prüfstandsergebnissen eingegriffen wird. In einer Analyse der Material- und geometrischen Eigenschaften der vorliegenden Rohrleitungen kann gezeigt werden, daß sich bei den einzelnen Rohren unterschiedliche Koppelungsbedingungen zwischen Wassersäule und Rohrwandung ergeben. Die im Normprüfstand ermittelte Schallpegeldifferenz D_{sn} weicht deshalb von dem im jeweiligen Installationssystem aktuell vorhandenen D_{sn} ab, so daß eine Übertragbarkeit der Prüfstandswerte in Zweifel gezogen wird.

In einer abschließenden Zusammenstellung werden zur Illustration dieses Sachverhaltes in Tabelle 8 die Armaturengeräuschpegel L_{ap} und L'_{ap} sowie die im Empfangsraum hinter der Installationswand tatsächlich vorhandenen Schalldruckpegel $L_{AF,10}$ gegenübergestellt. Als signifikantestes Ergebnis soll festgehalten werden, daß Armatur C, die nach den Messungen am Normprüfstand ($L_{ap} = 32,0$ dB(A) bei 0,5 MPa) als ausgesprochen laute Armatur gelten muß, im tatsächlich vorhandenen Luftschallpegel gegenüber der ausgesprochen leisen Armatur B ($L_{ap} = 14,7$ dB(A) bei 0,5 MPa) sogar um ca. 5 dB(A) leiser wird. Offensichtlich wurde Armatur B als stark körperschallgeprägte

Quelle am Normprüfstand gegenüber der stark wasserschallgeprägten Armatur C stark unterbewertet.

10.5 Installation mit Waschtisch-Batterie

Da die Anschlußbedingungen einer Armatur am Normprüfstand völlig anders sind als bei bauüblicher Montage, wurde angesichts der erkennbaren Schwierigkeiten mit der Übertragbarkeit von Laborwerten eine Waschtisch-Batterie in praxisgerechter Weise im Installationsprüfstand des IBP installiert. Wie Bild 65 zeigt, wurden dabei Waschtisch, starr an der Wand befestigte Eckventile, Zuleitungen und Steigleitungen berücksichtigt. Ein Vergleich der Armaturengeräuschpegel am Normprüfstand und in der Bausituation ist in Tabelle 9 enthalten. Mit etwa 6 dB(A) höheren Werten für die Bausituation zeigt sich, daß die untersuchte Armatur am Normprüfstand hinsichtlich der im Bau wirksamen Schallerzeugung deutlich unterbewertet wird. Auch hier ist die Übertragbarkeit des Laborwertes nicht gegeben.

10.6 Musterinstallationen mit Rohr-in-Rohr-System

Offensichtlich genügt es bei der Prognose von Armaturengeräuschen nicht, die im Labor ermittelten Armaturengeräuschpegel lediglich noch auf abweichende Grundrißsituationen umzurechnen. Vielmehr ist aus den bisherigen Untersuchungen klar geworden, daß die ganz individuellen Installationsbedingungen zu berücksichtigen sind, deren Übertragungsverhalten nicht zwangsläufig von der Installation des Normprüfstandes repräsentiert wird. Um erste Anhaltspunkte zu möglichen Unterschieden zu bekommen, wurden Untersuchungen in weiteren Musterinstallationen durchgeführt. Aus Kunststoffrohren (Rohr-in-Rohr-System, Trinkwasserleitungen aus vernetztem Polyethylen) wurde in praxisgerechter Weise ein Trinkwassersystem als Musterinstallation im Installationsprüfstand installiert (Bild 66). Die Steigleitung (einfache Kunststoffleitung) wurde über zwei Vollgeschosse (Erdgeschoß und Untergeschoß) bis zum Dachgeschoß verlegt. Im Erdgeschoß befand sich ein Stockwerksabweig zum Verteiler. Ab dem Verteiler wurde die Installation bis zur Armaturenanschlußdose als Rohr-in-Rohr-System in Vorwandinstallation ausgeführt. Als Geräuschquelle dienten das IGN, Armatur A und Armatur C, welche an der Armaturenanschlußdose angebracht wurden. Messungen des Luftschallpegels wurden im hinter der Installationswand liegenden Raum im

EG des Installationsprüfstandes durchgeführt. Ergebnisse dieser Untersuchung sind gemeinsam mit denjenigen einer weiteren Musterinstallation im folgenden Ziffer (Tabelle 10) dargestellt.

10.7 Musterinstallation für Wannen-Wandbatterie

In einer weiteren Musterinstallation wurde eine Wannen-Wandbatterie direkt an der Installationswand des Installationsprüfstandes montiert und über eine 1/2"-Stahlrohrleitung an eine 1"-Steigleitung, ebenfalls aus Stahlrohren, angeschlossen. Zur Erzielung eines starren Wandanschlusses wurde die Armatur mit Rohrschellen ohne Gummieinlage direkt an der Wand befestigt, um damit eine starke Körperschallbrücke herzustellen. Den prinzipiellen Aufbau der Installation zeigt Bild 67. Zusammen mit den Meßergebnissen aus Ziffer 10.6 finden sich die Ergebnisse dieser Untersuchung in Tabelle 10. In mehrfacher Hinsicht beleuchten sie die Aussagefähigkeit des im Prüfstand gewonnenen Armaturengeräuschpegels. Als erste Aussage kann festgestellt werden, daß sich in den Installationen durchweg höhere Armaturengeräuschpegel ergeben als am Normprüfstand. Die Übertragbarkeit der Laborwerte ist damit nicht gegeben. Es zeigt sich aber auch, daß es nicht in einfacher Weise möglich ist, für eine bestimmte Installationsausführung sozusagen einen installationsspezifischen Korrekturwert einzuführen, der die technischen Unterschiede zwischen den Installationen des Normprüfstandes und der vorliegenden Bausituation ausgleicht. Vielmehr sind die Abweichungen gegenüber den Prüfstandswerten stark von der Armatur und ihrer jeweiligen Betriebssituation abhängig. So schwanken die Unterschiede zwischen L_{ap} und L'_{ap} für die Installation mit Wannen-Wandbatterie zwischen 2,4 dB(A) und 20,2 dB(A) und bei der Rohr-in-Rohr-Installation zwischen 6,0 dB(A) und 21,1 dB(A). Wie es bereits bei den Ausbreitungsuntersuchungen am Spiralprüfstand in Ziffer 8.2 gezeigt werden konnte, bestätigt sich die stark armaturespezifische Ausprägung der Ausbreitungsbedingungen. Gleichzeitig bestätigt sich auch, daß die Anfälligkeit des Armaturengeräuschpegels gegenüber den Ausbreitungsbedingungen bei Armaturen mit geringer primärer Körperschallerzeugung wesentlich schwächer ausgeprägt ist als bei solchen mit starker primärer Körperschallerzeugung. Armatur C als stark wasserschallgeprägte Quelle zeigt deshalb die geringsten Unterschiede, so daß sich beispielsweise im Vergleich von L_{ap} und L'_{ap} für das Fließgeräusch

des Brauseabgangs bei der Wandinstallation nur eine geringe Erhöhung um 2,4 dB(A) ergibt. In Gegensatz hierzu hat ich bei der stark köperschallgeprägten Armatur B der L_{ap} von 10,0 dB(A) auf 30,2 dB(A) erhöht. Da sich die tatsächliche Wirkung einer Armatur in Kombination mit einer bestimmten Installation offenbar nicht zwangsläufig aus dem Prüfstandswert ableiten läßt, sollen deshalb auch die direkt gemessenen Luftschallpegel hinter der Installationswand betrachtet werden. So zeigt sich im direkten Vergleich von Armatur B und Armatur C, daß trotz erheblicher Unterschiede der Prüfstandswerte in der praktischen Installation nahezu gleiche Schalldruckpegel ermittelt werden. Der nach DIN 52 218 zu erwartende Unterschied von 15 dB(A) zwischen beiden Armaturen beträgt im gemessenen Luftschallpegel nur noch 3 dB(A). Ähnliche Aussagen ergeben sich auch für die Rohr-in-Rohr-Installation. es fällt jedoch auf, daß dort die L'_{ap} -Werte noch höher liegen als bei der anderen Musterinstallation.

Mit Hinblick auf die Übertragbarkeit von Prüfstandswerten muß auch auf einen weiteren Aspekt aufmerksam gemacht werden, der ebenfalls anhand der Ergebnisse aus Tabelle 10 erläutert werden kann. Es zeigt sich nämlich, daß der in einer Installation ermittelte Armaturengeräuschpegel L'_{ap} keine Aussage erlaubt über die tatsächlich sich ergebenden und zur Beurteilung heranzuziehenden Schalldruckpegel. So sind z.B. für Armatur C (Wannenauslauf) die L'_{ap} -Werte in beiden Musterinstallationen nahezu gleich, während die $L_{AF,10}$ -Werte sich um ca. 11 dB(A) unterscheiden. Dazu kommt noch, daß der niedrigere L'_{ap} -Wert mit dem höheren $L_{AF,10}$ -Wert verbunden ist. Noch deutlicher wird dieses Verhalten bei Armatur A (ohne WS-Dämpfer): Bei der Rohr-in-Rohr-Installation führt ein L'_{ap} -Wert von 36,2 dB zu einem $L_{AF,10}$ von 25,7 dB(A), während unter gleichen Betriebsbedingungen bei der anderen Musterinstallation ein L'_{ap} -Wert von 21,6 dB(A) mit einem $L_{AF,10}$ von 29,8 dB(A) verbunden ist. Mit einem derartigen Verhalten wird die Philosophie des Armaturengeräuschpegels als Prognosewert auf den Kopf gestellt. Offensichtlich hat es auch nichts geholfen, den Armaturengeräuschpegel statt am Prüfstand gleich unter den tatsächlichen Bedingungen der interessierenden Installation zu erfassen. Die aufgetretenen und erklärungsbedürftigen Diskrepanzen machen auf ein Grundproblem der Übertragbarkeitsphilosophie aufmerksam, das im festgelegten Bezugsspektrum begründet ist. Ganz of-

fensichtlich ist es unzulässig, das in der Norm festgelegte Bezugsspektrum auf jede beliebige Installation anzuwenden. vielmehr ist es im strengen Sinne erforderlich, jeder Installation angesichts ihrer individuellen Ausbreitungsbedingungen ein eigenes Bezugsspektrum zuzuordnen, das den jeweiligen Belangen des primären Körperschalls Rechnung trägt. Diese Aussage beinhaltet nichts anderes, als was anhand der Gleichung (17) und (19) bereits in Ziffer 5.5 dargelegt wurde. Die vorliegenden Ergebnisse sind somit lediglich der experimentelle Nachweis dafür, welche Vernachlässigungen in Kauf genommen werden, wenn ein als repräsentativ angenommenes Bezugsspektrum auf die unterschiedlichsten Installationsweisen angewendet wird. Wenn bei der ursprünglichen Festlegung des IGN-Bezugsspektrum angesichts der damals vorherrschenden Installationsweise die Deklaration als repräsentatives Spektrum berechtigt gewesen sein mag, so muß bei der Vielfalt heutiger Installationsweisen, die in vielen Fällen erheblich von damaligen abweicht, die Berechtigung dieses Spektrums überdacht werden. Als Prognosewert sollte der Armaturengeräuschpegel nach der jetzigen Festlegung deshalb mit Zurückhaltung gehandhabt werden. Wenn man sich allerdings darauf verständigt, das IGN-Bezugsspektrum im Sinne einer Bewertungskurve lediglich als Hilfsmittel zu verstehen, um aus dem frequenzabhängigen Oktavschallpegel-Spektrum D_{ns} einen Einzahlwert zu gewinnen, wäre gegen seine weitere Anwendung nichts einzuwenden.

10.8 Rückwirkung der Befestigungselementen auf die Kopplungsbedingungen

Die Ausführungen in den Zifferen 5 und 6 haben gezeigt, daß entlang des Übertragungsweges von Armaturengeräuschen die Rohrleitungen eine Sonderrolle spielen, da wegen des gekoppelten Energietransportes im Wasserschall und Körperschall die Gültigkeitskriterien des Vergleichsschallquellenverfahrens verletzt sind. Sobald das Armaturengeräusch jedoch z.B. in Form von Befestigungselementen als Körperschall von der Rohrwandung abgegriffen wird, liegt Energietransport nur noch in einer Erscheinungsform vor, entweder nur Körperschall im Baukörper oder abgestrahlter Luftschall. Hier gelten dann wieder die bekannten Voraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens. Die ganze Aufmerksamkeit hat deshalb den Rohrleitungen als der "kritischen Übertragungsstrecke" zu gelten, wenn es

um die Vergleichbarkeit von Prüfständen und die Übertragbarkeit von Laborwerten geht. Auf die Bedeutung des Kopplungsgrades im Rohrleitungssystem wurde in den experimentellen Untersuchungen (Ziffer 8.2 und 9) bereits verwiesen. Zusätzlich zum schon genannten Einfluß von Leitungslänge, Krümmungszahl und Rohrdimensionierung (Rohrquerschnitt, Rohrmaterial) ist noch zu betrachten, ob die zwischen Wassersäule und Rohrwandung vorhandenen Kopplungsbedingungen auch durch die Rohrbefestigungen beeinflußt werden. Diese vom grundsätzlichen her zu bejahende Frage soll hier experimentell aufgegriffen werden. Da die meßtechnische Ermittlung des aktuellen Kopplungszustandes eines Rohrleitungssystems im Rahmen dieses Vorhabens zu aufwendig gewesen wäre, wird der vorhandene Einfluß der Befestigungselemente indirekt identifiziert. Hierzu wird ein Meßaufbau gewählt, wie er in Bild 68 beschrieben ist. Aus dem direkten Vergleich der im Empfangsraum gemessenen Luftschallpegel kann die Einfügungsdämmung isolierter Rohrschellen gegenüber nicht isolierten Rohrschellen bestimmt werden. Zu erwarten wäre, daß die Einfügungsdämmung, definiert als Differenz der Empfangspegel ohne bzw. mit isolierten Rohrschellen, unabhängig ist von der anregenden Schallquelle. Aufbauend auf den Ausführungen in Ziffer 6.2 kann nun in Anknüpfung an Gleichung (25) gezeigt werden, daß diese Erwartung nur dann zutrifft, wenn sich mit dem Befestigungselement nicht auch die Kopplungsbedingungen des Rohrleitungssystems ändern. Andernfalls führen Armaturen mit unterschiedlicher Wasserschall- und Körperschallerzeugung bei gleichbleibender Meßanordnung zu unterschiedlichen Einfügungsdämmungen. Auf die Herleitung dieses Zusammenhangs wird an dieser Stelle verzichtet. Das Verhalten der Einfügungsdämmung bei unterschiedlichen Armaturen ist somit Indikator für die Beeinflussung der Kopplungsbedingungen. Ergebnisse für 2 Typen von Rohrschellen finden sich in den Bildern 69 und 70. Der ermittelte Streubereich der Einfügungsdämmung weist tatsächlich auf veränderte Kopplungsbedingungen hin, wenn statt starrer Rohrschellen isolierte Rohrschellen verwendet werden.

Für die praktische Handhabung eines Prüfverfahrens können hieraus entsprechende Folgerungen gezogen werden. Wie die Untersuchungen in Ziffer 8.2.3 gezeigt haben, hängt der im Vergleichsschallquellenverfahren ermittelte

Armaturengeräuschpegel vom aktuellen Kopplungsgrad der Meßleitung ab, wenn Armaturen mit primärem Körperschallanteil geprüft werden. Wenn Befestigungselemente den Kopplungsgrad beeinflussen können, ist hier eine weitergehende Untersuchung erforderlich, um bei Normprüfständen zu verbesserter Vergleichbarkeit zu kommen. Aus den Ergebnissen von Ziffer 8.2 kann hierzu geschlossen werden, daß der Einfluß der Befestigungselemente um so geringer wird, je höher der auf der Meßleitung bereits erreichte Kopplungsgrad ist. Da nach der Norm aber auch sehr kurze Meßleitungen bis hinab zu 2 m zwischen Armaturenanschluß und erster Schelle an der Meßwand zulässig sind, kann in diesem Fall eine Beeinflussung der vor der Meßwand vorgefundenen Kopplungsbedingungen nicht ausgeschlossen werden. Vor allem ist dabei zu berücksichtigen, daß die Norm keinerlei Festlegung enthält, ob und gegebenenfalls wie die Meßleitung zwischen Armaturenanschluß und erster Schelle auf der Meßwand zu befestigen sei. Festlegungen zur Rohrleitungsbefestigung werden in DIN 52 218 lediglich in Abschnitt 5.4 für die Montage der Meßleitung an der Meßwand und in Abschnitt 5.5 für die Befestigung des Armaturenanschlusses getroffen. Angesichts der möglichen Freiheiten, die vor allem im Nahbereich der Armatur bei kurzen Meßleitungen zu anders gearteten Bedingungen für den primären Körperschall führen können, gelten dieselben Bedenken, die in Ziffer 10.2 bei der Kopplung des Armaturenanschlusses geäußert wurden.

10.9 Untersuchungen anderer Autoren

Die teilweise eklatanten Unterschiede zwischen den im Prüfstand und im Bau ermittelten Armaturengeräuschpegeln, welche bei den Untersuchungen im Installationsprüfstand ermittelt wurden, sind keine Sonderfälle, die vereinzelt dastehen. Auf ebenfalls erhebliche Diskrepanzen wird von zumindest zwei Autoren hingewiesen, die bei Messungen im Bau auf dieselbe Problematik bei der Prognose von Armaturengeräuschen stoßen. So wird von Girard [15] die A-Schallpegeldifferenz D_s zwischen den A-Schallpegeln des IGN (L_s) und einer Armatur (L)

$$D_s = L_s - L, \quad (35)$$

für vergleichende Untersuchungen im Bau und im Labor herangezogen. Ausgehend von Gleichung (32) und in Analogie zu Gleichung (34) kann die Gleichheit der A-Schallpegeldifferenzen im Labor und im Bau als Maß für die Sicherheit der Übertragbarkeit von Prüfstandsergebnissen betrachtet werden. Dies entspricht dem hier gehandhabten Vergleich von L_{ap} - und L'_{ap} -Werten. Girard kommt zu dem Ergebnis, daß die A-Schallpegeldifferenzen im Bau kleiner sind als am Prüfstand, was mit größeren Werten des Armaturengeräuschpegels im Bau identisch ist. Hierbei stellt er Unterschiede bis zu 18 dB zwischen Bau- und Prüfstandswert fest. Interessant ist seine Feststellung, daß die Abweichungen um so größer werden, je leiser eine Armatur im Labor ist. Dieses von Girard nicht weiter kommentierte Ergebnis könnten jedoch dadurch zu erklären sein, daß leise Armaturen in vielen Fällen solche mit stark reduziertem Wasserschallanteil und demzufolge stärker ins Gewicht fallendem Anteil des verbleibenden Körperschalls sind. Für solche körperschallgeprägten Quellen wurde in den Untersuchungen dieses Vorhabens die besondere Anfälligkeit gegen Prognosefehler bereits erläutert.

In einer neueren Untersuchung [16] von Heringa wird das durch die Norm vorgegebene Prognoseverfahren ebenfalls kritisch beleuchtet. Heringa kommt dabei zum Schluß, daß die Fehler dieses Verfahrens bis zu etwa 10 dB(A) anzusetzen sind. Auch er vergleicht die Pegeldifferenzen zwischen IGN und Armaturen im Labor und im Bau, wobei allerdings auch deren Frequenzabhängigkeit erfaßt wird. Eine Darstellung seiner publizierten Ergebnisse findet sich in Bild 71. Als Ursache für fehlende Übereinstimmung zwischen Prüfstand und in-Situ-Werten nennt Heringa den Einfluß unterschiedlicher Rohrleitungsquerschnitte. Auf der Grundlage der vorliegenden Untersuchungen ist dies sicherlich eine stark verkürzte Interpretation, die jedoch immerhin berücksichtigt, daß in der Regel mit geändertem Leitungsquerschnitt auch die Kopplungsbedingungen zwischen Wassersäule und Rohrwandung geändert werden [17].

11. Die Rolle des Armaturenanschlusses

11.1 Berücksichtigung des primären Körperschalls

Primärer Körperschall von Armaturen ist nicht nur für die Schwierigkeiten des Prüfverfahrens sondern maßgeblich auch für die Überschreitung der im Bau prognostizierten Schallpegel verantwortlich. Da er nach den Ausführungen in Ziffer 8.2 entlang der Rohrleitung je nach vorhandenen Kopplungsbedingungen mehr oder weniger stark bis zum Erreichen der energetischen Gleichverteilung abgebaut wird, ist sein Einfluß direkt am Armaturenanschluß am größten. Wie schon in Bild 3 gezeigt wurde, ist bei der resultierenden Übertragung von Armaturengeräuschen auch die direkte Körperschallausbreitung von der Armatur auf den Baukörper zu berücksichtigen, die nicht der Rohrleitungen bedarf. Dies ist die unmittelbare Einwirkung des primären Körperschalls, die im genormten Prüfverfahren völlig vernachlässigt wird. Um eine erste Vorstellung von der quantitativen Bedeutung dieses Übertragungsweges zu bekommen, wurden im Installationsprüfstand Musterinstallationen realisiert, wo im Gegensatz zum Bau eine Analyse der beteiligten Körperschallwege leicht möglich ist. Die Ergebnisse dieser Untersuchung liefern weitere Anhaltspunkte zur praktischen Aussagefähigkeit des genormten Prüfverfahrens.

11.2 Armaturenanschluß einer Waschtisch-Installation

Beim ersten Beispiel handelt es sich um einen Waschtisch, der mitsamt Trinkwasser-Versorgungsleitungen praxisgerecht im Erdgeschoß des Prüfstandes an der Installationswand befestigt wurde. Die Steigleitung aus Stahl wurde mit Stockwerksabzweig und zwei Eckventilen mit Halterungen an der Installationswand angebracht. Die verwendete Installation wird in Bild 72 dargestellt. Bei diesen Messungen sollten die maßgeblichen Körperschallübertragungswege bei stationärem Betrieb und bei Betätigung einer Waschtisch-Armatur festgestellt werden. Bei der Analyse der maßgeblichen Übertragungswege wurden einzelne Komponenten des Installationssystems völlig von der Installationswand entkoppelt [18]. Die untersuchten Montagezustände sind in Tabelle 11 angegeben. Bei den Messungen ohne Waschtisch wurde die Armatur direkt an den Eckventilen befestigt. Sie hatte mit der Installationswand keine weitere Verbindung. Für die Messungen ohne Eck-

ventilbefestigung wurden die Halterungen aus der Wand herausgeschraubt und mit Schaumstoffplatten körperschallisoliert. Bei den Messungen ohne Steigleitung ist dieselbe vom Wasserkreislauf abgekoppelt worden. Die Wasserzufuhr erfolgte über eine separate Wasserleitung, die nicht mit der Installationswand verbunden war.

Für jeden der genannten Montagezustände wurden in den Empfangsräumen hinter der Installationswand im EG bzw. UG die Schalldruckpegel gemessen. Weiterhin wurden alle Messungen für den stationären Betrieb der Armatur und zusätzlich für das Schließen des Einhebelmischers durchgeführt. Beim Schließen wurden der Maximalpegel aus 10 Einzelmessungen ermittelt. Die Reproduzierbarkeit des Schließvorganges wurde durch einen am Einhebelmischer befestigten Beschleunigungsaufnehmer kontrolliert. Durch geräuscharmes Ableiten des Wassers direkt am Armaturenauslauf wurde sichergestellt, daß ausschließlich das eigentliche Armaturengeräusch und nicht zusätzlich noch Aufprall- und Ablaufgeräusche erfaßt wurden.

Die Ergebnisse der Analyse sind ebenfalls in Tabelle 11 zusammengestellt. Es zeigt sich insgesamt, daß der maßgebliche Anteil des gesamten Armaturengeräuschs über den Waschtisch in den Baukörper eingeleitet wird. Da dieser die insgesamt stärkste Körperschallbrücke ist, bringt eine völlige Entkopplung der starr an der Wand angebrachten Eckventile keine Verbesserung. Hingegen kann der Pegel des Armaturengeräuschs durch alleinige Entkopplung des Waschtischs um etwa 3 dB gesenkt werden. Dies bedeutet, daß alleine über diese Körperschallbrücke etwa die Hälfte der gesamten Schalleistung in den Baukörper eingeleitet wird. Zusätzlich muß dabei noch berücksichtigt werden, daß sowohl Eckventile in direkter Nähe zur Armatur als auch die Steigleitung starr an der Installationswand befestigt bleiben. Angesichts dieses dominierenden Schallübertragungsweges ist es nicht verwunderlich, daß die Steigleitung trotz absichtlich starr ausgeführter Rohrschellen keinen erkennbaren Beitrag zum Gesamtgeräusch liefert. In entsprechender Weise macht sich auch die Entkopplung der Eckventile erst dann geräuschemindernd bemerkbar, wenn zuvor der Waschtisch entkoppelt wurde. Durch diese kombinierte Maßnahme wird trotz weiterhin starr befestigter Steigleitung der Gesamtpegel um bis zu 8 dB(A) gesenkt. Es ist offen-

sichtlich, daß sogar für die Geräuschübertragung in das UG die Steigleitung nicht die entscheidende Rolle spielt. Da man davon ausgehen kann, daß die Meßleitung eines Normprüfstandes günstigstenfalls die Steigleitung simuliert, liegen die praxisrelevanten Vernachlässigungen des genormten Prüfverfahrens auf der Hand.

11.3 Armaturenanschluß bei Rohr-in-Rohr-Installationen

Eine weitere Untersuchung zur Rolle einzelner Körperschallübertragungswege wurde an einer Rohr-in-Rohr-Installation durchgeführt, die schon in Ziffer 10.6 beschrieben wurde (siehe hierzu Bild 66). Auch hier wurde durch Entkopplung einzelner Installationskomponenten auf deren Anteil an der Schallübertragung geschlossen. Eine Zusammenstellung der untersuchten Montagezustände und der dabei ermittelten Luftschallpegel findet sich in Tabelle 12. Auch hier zeigt sich, daß die entscheidende Körperschallübertragung direkt an der Armatur über die Armaturenanschlußdose erfolgt, während die Rolle der Steigleitung unbedeutend ist. Bei der Wertung der Ergebnisse ist zu berücksichtigen, daß als Schallquelle das IGN benutzt wurde, so daß die Rolle des primären Körperschalls vermutlich noch unterbewertet wurde. Weiterhin ist zu berücksichtigen, daß die Anschlußdose nicht in Unterputz-Montage montiert wurde, sondern im Sinne eines Vorwand-Installations-systems praxisgerecht auf der Installationswand befestigt wurde. Wenn statt dessen der Armaturenanschluß unter Putz ausgeführt wird, zeigt eine zusätzliche Meßreihe, daß ihr dominierender Anteil an der Geräuschübertragung noch weiter zunimmt.

11.4 Armaturenanschluß bei einer Wannen-Wandbatterie

Die in Ziffer 10.7 beschriebene und in Bild 67 dargestellte Installation mit einer Wannen-Wandbatterie wurde ebenfalls zu zusätzlichen Untersuchungen der Körperschallübertragung herangezogen. Untersuchte Montagezustände und dazugehörige Meßergebnisse finden sich in Tabelle 13. Die Armatur wurde in diesem Fall mit nicht isolierten Schellen direkt an der Installationswand angebracht, um eine starre Befestigung zu simulieren. Auch hier ist der Einfluß der Steigleitung trotz absichtlich starr ausgeführten Rohrschellenbefestigungen bei der Schallübertragung zu vernachlässigen, solange der Armaturenanschluß starr ausgeführt ist. Selbst wenn keine völlige Entkopplung

der Armatur erfolgt, sondern lediglich zur Befestigung an der Wand isolierte statt starre Rohrschellen verwendet werden, kann das Gesamtgeräusch im Schnitt um mehr als 3 dB(A) gesenkt werden. Auch hier also gelangt mindestens die Hälfte der Gesamtleistung auf direktem Weg am Armaturenanschluß in den Baukörper.

Um unter den vorliegenden Verhältnissen die Aussagekraft des Armaturengeräuschpegels nach DIN 52 218 zu beurteilen, sei daran erinnert, daß sich bei der verwendeten Armatur B für das Fließgeräusch am Wannenauslauf bei 0,3 MPa ein L_{ap} von 10 dB(A) ergab. Aus der Beurteilung des Normprüfverfahrens heraus handelt es sich demnach um eine ausgesprochen leise Armatur. Das tatsächliche Verhalten in-situ zeichnet allerdings ein anderes Bild, wenn sogar im UG hinter der Installationswand - was nach DIN 4109 der ungünstigen Grundrißsituation entspricht - bei 0,3 MPa ein Schalldruckpegel von 30,5 dB(A) und bei 0,5 MPa von 36,5 dB(A) gemessen wird. Angemerkt sei, daß dabei die flächenbezogene Masse der Installationswand dem Mindestwert von 220 kg/m² entspricht.

11.5 Folgerungen

Die Analysen zur Körperschallübertragung in ausgewählten Installationen verweisen mit Deutlichkeit auf die herausragende Rolle des Armaturenanschlusses. Da hier die Erzeugung von primärem Körperschall besonders stark in die Geräuschübertragung eingeht, kann ein Prüfverfahren zur Kennzeichnung des Geräuschverhaltens nicht als uneingeschränkt praxisingerecht und aussagefähig bezeichnet werden, wenn es gerade diesen Geräuschanteil nicht oder nur stark vermindert berücksichtigt. Ein Prüfverfahren, das auch in Zukunft für sich eine den praktischen Bedingungen genügende Kennzeichnung in Anspruch nehmen will, wird um die vollständige Erfassung des primären Körperschallanteils nicht herumkommen. Dabei ist die Rolle des Armaturenanschlusses nicht völlig unbekannt, wenn auch seine Bedeutung gerade für den primären Körperschall bislang noch nicht präzisiert wurde. So wurde bereits in [19] auf die nachteiligen Auswirkungen einer starr ausgeführten Armaturenbefestigung hingewiesen. Daß mit derartigen Erkenntnissen kein direkter Bezug zum Prüfverfahren sowie zur Aussagefähigkeit und zur

Übertragbarkeit seiner Kennwerte hergestellt wurde, muß aus heutiger Sicht bedauert werden.

12. Kennzeichnung von Armaturen und Übertragbarkeit von Prüfstandsergebnissen

Die vorliegenden Untersuchungen haben ergeben, daß eine Übertragbarkeit von Prüfstandsergebnissen auf bauliche Situationen im allgemeingültigen Sinn nicht möglich ist. Stillschweigende Annahmen, die für die Anwendung der benutzten Prognosemethode gemacht werden, sind in Wirklichkeit nicht erfüllt. Eine Übertragbarkeit von Prüfstandsergebnissen ist deshalb nur eingeschränkt und unter Duldung größerer Unsicherheiten möglich. Eine für die praktische Anwendung ausreichende Grundlage scheint nach den vorhandenen Untersuchungen nur dort vorhanden zu sein, wo die Armaturen weitgehend als Wasserschallquellen betrachtet werden können und die Installationen denjenigen Installationen entsprechen, für welche das ursprüngliche Bezugsspektrum des IGN ermittelt wurde. In allen anderen Fällen muß die Anwendung der auf dem Vergleichsschallquellenverfahren beruhenden Methode als problematisch betrachtet werden.

Prognoseverfahren sind nur so gut wie es die Qualität der benötigten Eingangsdaten erlaubt. Deshalb ist die Frage nach der Übertragbarkeit schon der zweite Schritt. Zu allererst ist jedoch Klarheit über die Aussagekraft der Eingangsdaten zu gewinnen, um hierfür vernünftige Festlegungen für die Kennzeichnung der akustischen Eigenschaften zu treffen. Die Kennzeichnung kann dabei verschiedenen Anforderungen genügen:

1. Vergleichbare und reproduzierbare Beurteilung der Produkteigenschaften
2. Herstellung einer Rangordnung, die praktischen Gegebenheiten genügt.
3. Verwendungsfähigkeit als Eingangsgröße in einer Prognosemethode

Für Punkt 1 wurde bereits ausführlich dargelegt, daß die Vergleichbarkeit im Rahmen des festgelegten Prüfverfahrens nicht in dem Maße gewährleistet ist, wie es mit Anspruch auf allgemeine Gültigkeit zu fordern wäre. Mit Punkt 2 wird eine scheinbare selbstverständliche Anforderung formuliert, die gerade beim Armaturengeräusch jedoch nicht mehr trivial ist. So sind Fälle bekannt,

bei denen die im Prüfstand ermittelte Rangordnung von Armaturen beim in-situ-Verhalten zu umgekehrter Reihenfolge führten, und auch in den vorliegenden Untersuchungen wurde auf derartige Fälle hingewiesen. Es ist zur Zeit nicht bekannt, in welchem Ausmaß mit derartigen Fällen gerechnet werden muß. Es sei aber darauf hingewiesen, daß grundsätzlich derartige Schwierigkeiten wohl nicht zu vermeiden sind. Der Grund liegt auch hier in der komplexen Natur von Schallerzeugung und Schallübertragung. So wurde im Rahmen der vorliegenden Untersuchungen hinreichend gezeigt, wie unterschiedlich sich einzelne Armaturen verhalten, je nachdem welche Ausbreitungsbedingungen vorliegen. Eine wichtige Rolle bei der erzielten Rangordnung im Labor und im Bau spielt dabei die Berücksichtigung des primären Körperschalls. Wenn dieser im Prüfverfahren gar nicht oder nur gering berücksichtigt wird, werden Armaturen mit starker Körperschallerzeugung, die im Prüfstand mit niedrigen Kennwerten beurteilt wurden, bei baugerechter Installation unter Beachtung des Armaturenschlusses in vielen Fällen zu stark erhöhten Werten kommen. Auf der anderen Seite wäre es aber auch denkbar, daß bei völliger Berücksichtigung des primären Körperschalls solche körperschallerzeugenden Armaturen im Prüfstand als zu laut gekennzeichnet würden, wenn sie hinterher in stark körperschallmindernden Installationen eingebaut werden. Die genannten Beispiele mögen verdeutlichen, daß die Verhältnisse für Armaturen mit geringer Körperschallerzeugung unproblematisch sind, daß sich bei starker Körperschallerzeugung jedoch je nach Installationsanordnung ganz unterschiedliche Verhaltensweisen ergeben können. Angesichts der Mannigfaltigkeit von Installationssystemen muß sehr stark angenommen werden, daß es nicht gelingt, eine Kennzeichnung so vorzunehmen, daß die Rangordnung in allen praktischen Fällen sichergestellt ist. Wenn schon ein derartiger Mangel hinzunehmen ist, dann stellt sich dennoch die Frage nach einer sinnvollen Skalierungsmethode. Eine Kennzeichnung, die maßgeblich auf die Wasserschallerzeugung der Armaturen abhebt, würde dafür sorgen, daß insgesamt keine Armatur im Vergleich zum in-situ-Verhalten "zu schlecht" beurteilt würde. Jedoch müßten wegen des im Prüfverfahren nicht erfaßten primären Körperschalls in-situ zum Teil erhebliche Überschreitungen hingenommen werden. Eine Kennzeichnung, die stark auf die Körperschallerzeugung abhebt, würde statt dessen zu tendenziell höheren Kennwerten führen, auf die Gefahr hin, daß in günstigen

Installationssystemen die Wirkung einer Armatur überbewertet würde. Im Sinne einer risikoarmen Installation und der Vermeidung von Grenzwertüberschreitungen ist klar, daß nur die zweite Version den praktischen Erfordernissen gerecht werden kann.

13. Folgerungen für den Normprüfstand und das Prüfverfahren

Aus grundsätzlichen Betrachtungen heraus können Folgerungen abgeleitet werden, die allesamt durch nachfolgende experimentelle Untersuchungen bestätigt wurden. Es zeigt sich insgesamt, daß das Vergleichsschallquellenverfahren im speziellen Fall der Wasserarmaturen mit grundsätzlichen Problemen behaftet ist, die im wesentlichen aus der Körperschallerzeugung der Armaturen resultieren. Für die Anwendbarkeit des Verfahrens nach DIN 52 218 ergeben sich somit folgende Konsequenzen:

1. Spezifische Prüfstandeigenschaften werden trotz Anwendung des IGN als Vergleichsschallquelle nicht zwangsläufig kompensiert.
2. "Kritische Strecke" in der Übertragungskette sind dabei die Meßleitungen, die ein gekoppeltes System darstellen.
3. Unterschiede zwischen verschiedenen Prüfanordnungen sind aber nicht generell anzugeben, vielmehr sind sie armaturenabhängig.
4. Die Übertragbarkeit des Armaturengeräuschpegels L_{ap} auf Bausituationen ist nicht gewährleistet.

In den vorliegenden Untersuchungen ergaben sich zahlreiche Aussagen zur Rolle des primären Körperschalls, zu den Ausbreitungsverhältnissen in Rohrleitungssystemen und zur Anwendbarkeit des Vergleichsschallquellenverfahrens. Es konnte dabei direkter Bezug auf den Normprüfstand genommen werden, so daß sich Angaben zu seinem Verständnis und seiner Handhabung machen ließen. Einige wesentliche Resultate seien hier in Kürze zusammengestellt. Im Vordergrund steht dabei die Frage, wie der Normprüfstand "körperschalltauglich" gemacht werden kann.

Im Rahmen dieses Vorhabens konnte nachgewiesen werden, daß das dem Prüfverfahren nach DIN 52 218 zugrundeliegende Vergleichsschallquellen-

verfahren nicht anwendbar ist, wenn Armaturen mit primärer Körperschallerzeugung vorliegen. Unkritisch dagegen sind Armaturen ohne ausgeprägte Körperschallerzeugung. Die Gründe liegen in den unterschiedlichen Schallquelleneigenschaften von Armaturen und IGN, was im gekoppelten Rohrleitungssystem den Voraussetzungen des Vergleichsschallquellenverfahrens widerspricht. Dies ist jedoch keine generelle Aussage zur Untauglichkeit des IGN. Vielmehr gilt diese Einschränkung im vorliegenden Übertragungssystem für jede Art von Vergleichsschallquelle, so daß im Rahmen des Vergleichsschallquellenverfahrens kein Anlaß besteht, auf eine andere Vergleichsquelle zurückzugreifen. So wäre z. B. von einem speziellen "Körperschall-IGN" kein Ausweg aus der grundsätzlichen Problematik zu erwarten. Auch für ein sogenanntes "Impuls-IGN" zur Anwendung bei der Beurteilung von Betätigungsgeräuschen besteht keine Notwendigkeit, da transiente Signale auch auf eine stationäre Vergleichsquelle bezogen werden können, ohne daß in das Prinzip des Vergleichsschallquellenverfahrens eingegriffen wird. Angesichts der aus dem Vergleichsschallquellenverfahren resultierenden Probleme besteht die Hauptaufgabe für den Normprüfstand darin, Vergleichbarkeit zwischen den einzelnen Prüfständen herzustellen. Diese Forderung ist für wasserschallgeprägte Quellen leicht einzuhalten, da hier auch im gekoppelten Rohrleitungssystem die Voraussetzungen des Vergleichsverfahrens eingehalten werden können. Bei heutzutage verfügbaren Armaturen mit teilweise hoher Körperschallerzeugung muß die Vergleichbarkeit aber auch bei körperschallgeprägten Quellen erfüllt sein. "Körperschalltauglichkeit" des Normprüfstands heißt somit zuallererst Erfüllung der Vergleichbarkeitsanforderungen auch bei stark körperschallgeprägten Armaturen. Dies steht jedoch im grundlegenden Widerspruch zum Meßverfahren selbst. Abhilfe ist hier nur möglich, wenn auf die Grundannahme des Verfahrens, nämlich die Unabhängigkeit vom Rohrleitungssystem, verzichtet wird. Hierzu ergeben sich aus den Untersuchungen heraus zwei Möglichkeiten. Die erste Möglichkeit folgt aus der experimentell bestätigten Aussage, daß Fehler in der Vergleichbarkeit von Prüfanordnungen um so geringer werden, je höher der vorhandene Kopplungsgrad der Meßleitungen ist. Vergleichbarkeit ist trotz körperschallgeprägter Quellen am ehesten dann gegeben, wenn im gekoppelten System der Meßleitungen energetische Gleichverteilung erreicht ist. Erforderlich sind hierzu lange Leitungen mit

zahlreichen Krümmungen. Erste Hinweise deuten darauf hin, daß bei bestehenden Prüfständen diese Anforderung nicht erfüllt ist.

Die zweite Möglichkeit besteht in einer hochgradigen Vereinheitlichung der Prüfstände, genauer gesagt, deren Meßleitungen. Zielsetzung sind dabei gleiche Kopplungsbedingungen auf den Meßleitungen. Da zumindest im jetzigen Rahmen keine einfache Möglichkeit zur analytischen Vorabbestimmung dieser Eigenschaft vorhanden ist, sind exakte Vorgaben zur Vereinheitlichung der Meßleitungen erforderlich. Dies betrifft nicht nur die Geometrie der Leitungsführung, insbesondere Anzahl und Ausführung von Krümmungen, sondern vermutlich auch die Art der Rohrbefestigung, da Rückwirkungen auf das Kopplungsverhalten nicht ausgeschlossen werden können. Auch die Befestigung des Armaturenanschlusses wird einer detaillierteren Festlegung unterzogen werden müssen, um die Energieableitung in Armaturennähe definierbar zu machen. Es ist fraglich, ob bei schon bestehenden Prüfständen ein ausreichender Grad an Vereinheitlichung erreichbar ist. Für neu zu bauende Prüfstände allerdings kann schon jetzt festgehalten werden, daß die in DIN 52 218 / ISO 3822 genannten Festlegungen nicht ausreichen, um für körperschallgeprägte Armaturen eine befriedigende Vergleichbarkeit zu erzielen.

"Körperschalltauglichkeit" eines Prüfstandes bedeutet jedoch nicht nur, daß auch bei stark körperschallerzeugenden Armaturen die Vergleichbarkeit gewährleistet wird. Dies bedeutet ebenso, daß der primäre Körperschall sich im Meßergebnis in aussagefähiger Weise niederschlägt. Diesem Anspruch wird die jetzige Konzeption des Normprüfstandes nicht gerecht, da Armaturenanschluß und Meßwand körperschallmäßig zu entkoppeln sind. Damit wird aber gerade der primäre Körperschall unterdrückt, der verantwortlich ist für auftretende große Diskrepanzen zwischen Prüfstandsverhalten und in-situ-Verhalten einer Armatur. Praxisgerechte und aussagefähige Kennwertermittlung heißt deshalb zwangsläufig auch Berücksichtigung des primären Körperschalls. "Körperschalltauglichkeit" in diesem Sinne ist vom baulichen Prüfstand nur erreichbar, wenn die Trennung zwischen Armaturenanschluß und Meßwand aufgegeben wird. Da mit zunehmendem Kopplungsgrad des Rohrleitungssystems der Einfluß des primären Körperschalls zurückgeht, wird

seine Wirkung am schärfsten erfaßt, wenn möglichst dicht an der Armatur der zur Messung benötigte Körperschall abgegriffen wird. Dies wäre eine völlig neue Konzeption der Prüfstandsgestaltung.

Bei einer derartigen Prüfanordnung ist dabei auf strikte Vereinheitlichung der Leitungsbedingungen, Anschlußgestaltung und Befestigung zu achten. Es gilt nämlich, daß die Einschränkungen des Vergleichsschallquellenverfahrens und damit die Fehlergröße bei abweichenden Installationen um so größer sind, je näher an der Armatur der Körperschall erfaßt wird.

Die Forderung nach konsequenter Berücksichtigung der primären Körperschallerzeugung dient nicht nur einer praxisgerechten Produktkennzeichnung. Sie trägt auch bei zu einer gezielten Produktentwicklung. Es kann nämlich nicht sein, daß sich angesichts der aufgezeigten Körperschallproblematik die Produktentwicklung im Bereich des Geräuschverhaltens maßgeblich auf die Wasserschallanregung einer Armatur bezieht und mit dem Körperschall genau diesen Anteil nicht berücksichtigt, der im Bau die größten Probleme verursacht. Fehlentwicklungen, die zu erheblichen Diskrepanzen zwischen Laborverhalten und in-situ-Verhalten führen könnten, wären eine fatale Folge einer ungenügenden Kennzeichnung.

Zu einem vorerst sehr unbefriedigenden Resümee führen die vorliegenden Ergebnisse in der Frage der Übertragbarkeit von Meßergebnissen. Wenn auch die momentane Situation stark davon geprägt ist, daß die Kennzeichnung in Form des Armaturengeräuschpegels nicht in ausreichender Weise die Körperschallerzeugung berücksichtigt, so darf allerdings alleine durch die Erfassung des primären Körperschalls nicht die Lösung des Problems erwartet werden. Vielmehr zeigt sich bei Anwesenheit von primärem Körperschall die grundsätzliche Einschränkung eines Prognoseverfahrens, das auf dem Vergleichsschallquellenverfahren beruht. Hauptproblem ist dabei die nicht vorhandene Übereinstimmung der Schallpegeldifferenzen D_{sn} im Prüfstand und im Bau. Genau dies ist aber für die Anwendung des Prognoseverfahrens zu fordern. Durch ein modifiziertes Prüfverfahren ist unter stärkerer Berücksichtigung der Körperschallerzeugung sicherlich eine Verbesserung dieser Situation zu erwarten. Angesichts zahlreicher unter-

schiedlicher Installationssysteme, die sich sowohl in der Art der Rohrleitungen, der Montage und der Gestaltung der Armaturenanschlüsse unterscheiden, ist aber generell die Übereinstimmung der Schallpegeldifferenzen im Labor und im Bau nicht erreichbar. Mit dieser grundsätzlichen Einschränkung kann das vorliegende Prognoseverfahren seinen eigenen Voraussetzungen nicht genügen. Der Hinweis auf diesen methodischen Mangel macht klar, daß alleine die Änderung des IGN-Bezugsspektrums die grundsätzliche Schwierigkeit nicht lösen würde. Wenn auch die "Anpassung" des Bezugsspektrums im Sinne einer besseren Prognose ist, so muß doch festgehalten werden, daß es mit einem einzigen geänderten Spektrum nicht getan wäre. Angesichts sich deutlich unterscheidenden Übertragungsverhaltens in unterschiedlichen Installationssystemen müßte zumindest eine Auswahl repräsentativer Bezugsspektren ermittelt werden, die mit gewissen Vernachlässigungen bestimmten Installationsgruppen zugeordnet werden könnten. Da zur Prognose von Armaturengeräuschen bislang keine systematische Weiterführung vorliegt, die über den Ansatz dieses Vorhabens hinausgeht, muß angesichts der komplexen Problematik davon ausgegangen werden, daß in absehbarer Zeit kein Ausweg aus der aktuellen unbefriedigenden Situation vorhanden ist. Diese negative Aussage darf allerdings nicht so verstanden werden, daß die Einhaltung von Schallschutzanforderungen damit in Frage gestellt sei. Im Gegenteil muß darauf verwiesen werden, daß in vielen Bereichen Schallschutzanforderungen bestehen - und auch eingehalten werden - ohne daß ein entsprechendes Prognose-Instrumentarium zur Verfügung stände. Bei genauer Betrachtung ergibt sich sogar, daß das Verfahren der DIN 52 218 eine Ausnahmestellung einnimmt, wenn der resultierende Wert zugleich der Kennzeichnung und der Prognose dient. Auf dem Hintergrund der dargestellten Problematik ist zu prüfen, ob nicht sogar die Trennung von Produktkennzeichnung und Bauprognose sinnvoll wäre, um möglichen Irritationen bei der Anwendung vorzubeugen. Die Produktbezeichnung könnte z. B. in unmittelbarer Anlehnung an die Schallpegeldifferenz D_{sn} erfolgen, eine Vorgehensweise, die vor Einführung des IGN-Bezugsspektrums im Vorfeld der Norm bereits erwogen worden war.

14. Modifizierter Kleinprüfstand zur Erfassung des von Auslaufarmaturen verursachten Körperschalls

Als Fazit der vorliegenden Untersuchungen kann zur Prüfanordnung festgehalten werden, daß primärer Körperschall nur in einem geänderten Prüfstand in aussagekräftiger Weise erfaßt werden kann. Hierzu ist ein hoher Grad an Vereinheitlichung erforderlich, der über das hinausgeht, was in heutigen Normprüfständen üblich ist. Gleichzeitig kann gezeigt werden, daß es zur Bestimmung des Armaturengeräuschpegels nicht der Messung des Luftschalls in einem Meßraum bedarf. Derselbe Kennwert ist auch zu ermitteln, wenn direkt auf die Messung des verursachenden Körperschalls zurückgegriffen wird. Auf die bauliche Ausführung eines Prüfstandes kann deshalb verzichtet werden, ohne daß dabei die Aussagefähigkeit des Verfahrens in Frage gestellt wird. Unter den genannten Aspekten führt das vorliegende Vorhaben zu dem Resultat, daß die Realisierung eines körperschalltauglichen Prüfverfahrens in einfacher und kostengünstiger Weise mit einem modifizierten Kleinprüfstand möglich ist. In zahlreichen weiteren Untersuchungen konnte die prinzipielle Machbarkeit einer solchen Lösung nachgewiesen werden. Wenn auch angesichts der Schwerpunktverschiebung in diesem Vorhaben einige Detailfragen noch nicht endgültig gelöst wurden, so soll ein derartiger Kleinprüfstand als Alternative zum jetzigen Prüfstand vorgeschlagen werden. Über die technische Konzeption und entsprechende meßtechnische Untersuchungen wird in Teil II dieses Berichts [1] informiert.

15. Literatur

- [1] Fischer, H.M., Efinger, S.: Vereinfachtes Verfahren zur Erfassung des von Auslaufarmaturen verursachten Körperschalls. Teil II: Meßtechnische Charakterisierung der Geräuscheigenschaften von Sanitärarmaturen. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, B-BA 9/1992, (1992).
- [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).
- [5] Heckl, M.: Strömungsgeräusche. VDI Fortschrittberichte, Reihe 7, Nr. 20, VDI-Verlag GmbH Düsseldorf.
- [6] Fuchs, H.V., Klöppner, U.: Einige Mechanismen der Geräuscherzeugung in Wasser-Armaturen. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, BS 62/81 (1981).
- [7] Fuchs, H.V.: Geräusche von Armaturen der Wasserinstallation. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, BS 76/82, (1982).
- [8] Fuller, C.R., Fahy, F.J.: Characteristics of wave propagation and energy distributions in cylindrical elastic shells filled with fluid. Journal of Sound and Vibration 81 (1982), S. 501-518.
- [9] Möser, M., Heckl, M., Ginters, K.H.: Zur Schallausbreitung in flüssigkeitsgefüllten kreiszylindrischen Rohren. Acustica 60 (1986), S. 34-44.
- [10] Heckl, M.: Körperschallanregung durch Strömungsvorgänge: Fortschritte der Akustik, DAGA '70, VDI-Verlag, Düsseldorf, (1979).
- [11] DIN 52 218: Prüfung des Geräuschverhaltens von Armaturen und Geräten der Wasserinstallation im Laboratorium, Teil 1 bis Teil 4, Nov. 1986.
- [12] Schneider, P., Rückward, W.: Eine Bezugsarmatur und ihre Anwendung zur Messung und Bewertung von Installationsgeräuschen im Laboratorium und auf Baustellen. Sanitär- und Heizungstechnik, (1967), H. 1, S. 7-15.
- [13] Gösele, K., Voigtsberger, C.A.: Zur Messung des Geräuschverhaltens von Armaturen im Laboratorium. Heizung-Lüftung-Haustechnik, (1967), H. 6, S. 230-235.
- [14] Buhler, K.J., Feldmann, J.: Ein Meßverfahren zur Bestimmung von Körperschallanregung und -übertragung. Acustica 42 (1979), S. 108.
- [15] Girard, J.: Plumbing Noise. Proceedings of Inter-Noise '73, Kopenhagen, (1973), S. 223-232.
- [16] Heringa, P.H.: Experience with ISO 3822 (Letter of the Editor). Applied Acoustics 22 (1987), S. 235-238.

- [17] Fischer, H.M.: Kann das Installationsgeräusch von Wasserarmaturen durch das Rohrleitungsmaterial beeinflusst werden? Praxis des Schallschutzes. VDI-Berichte Nr. 784 (1989), S. 251-268.
- [18] Sohn, M.: Entwicklung und Anwendungsmöglichkeiten eines Meßverfahrens zur Bestimmung der Körperschallübertragung von Bauteilen und Sanitärobjekten. Bericht des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, BS 221/90 (1990).
- [19] Gösele, K., Voigtsberger, C.A.: Verminderung von Installationsgeräuschen durch körperschallisolierte Rohrleitungen. Heizung-Lüftung-Haustechnik 26 (1975), S. 216-219.

Tabelle 1 Bestimmung des Armaturengeräuschpegels entlang des IBP-Normprüfstandes.

Messung	L _{ap} [dB(A)]	
	0,3 MPa	0,5 MPa
LS (Norm-Messung)	11,7	16,9
WS 1	7,3	13,6
WS 2	7,9	14,8
KS 1	20,2	25,0
KS 2	16,6	21,7
KS 3 (Mittelwert)	11,1	16,3
KS 4 (Mittelwert)	11,5	16,5

	0,3 MPa	0,5 MPa
KS 3.1	10,6	17,1
KS 3.2	11,1	15,9
KS 3.3	11,5	15,9

(Bezeichnung der Messpunkte: siehe Bild 53)

**Wannenauslaufbatterie, stationäres Fließgeräusch,
Mischstellung, voll geöffnet (RPC)
bei 0,3 MPa und 0,5 MPa**

Tabelle 2 Eigenschaften einiger Normprüfstände. (5 Prüfstellen, 1 Hersteller).

	Meßleitung Länge zwischen Armaturenanschluß und 1. Schelle an der Meßwand [m]	Meßraum		Meßwand	
		Volumen [m ³]	Nachhall- zeiten [s]	Flächen- bezogene Masse m'' [kg/m ²]	Fläche S [m ²]
①	7,5	40,4	ca. 1,9	220 ⊕	10
②	5,2 ⊖	?	1,3...1,0	190	10,7
③	12 ⊕	39,0	2,9...0,7 ⊕	75 ⊖	9
④	7,9	71 ⊕	≈ 1,0 ⊖	220 ⊕	15 ⊕
⑤	5,3	37 ⊖	1,6...1,3	185	8,4 ⊖
⑥	6,4	46	≈ 2,2	153	11,5

Vorgaben gemäß DIN 52 218

2...10 m	≥ 30 m ³ (→ 50 m ²)	1...5 s	100...250 kg/m ³	8...12 m ²
----------	---	---------	--------------------------------	--------------------------

[Angaben lt. Ringversuch 1987]

⊕: max. Wert

⊖: min. Wert

Tabelle 3 Ringversuch 1987
 Armaturengeräuschpegel L_{ap} [dB(A)] nach DIN 52 218.

Stationäres Fließgeräusch für Wannenauslauf-Batterie mit unterschiedlichen Auslauf-Widerständen

Auslauf-Widerstand (Wanne/Brause)	0,3 MPa		0,5 MPa	
	Wanne	Brause	Wanne	Brause
NSR-C/NSR-C	10/14	10/20	13/21	15/24
RP-C/RP-C	10/14	11/20	13/21	15/23
RP-C/NSR-C	10/14	10/20	13/21	15/24
NSR-C/RP-C	10/14	10/20	13/23	14/23

NSR: Normstrahlregler
 RP: Röhrchenpaket

(min./max. Werte)

(Teilnehmer: 5 Prüfstellen, 1 Hersteller)

Tabelle 4 Einfluß der Montagebedingungen auf den Armaturen-geräuschpegel.

Umstellgeräusch für Wannenauslauf-Batterie (Armatur X)

Armatur am Armaturenanschluß des Normprüfstandes: L_{ap}
nach DIN 52218

Armatur an der Meßwand des Normprüfstandes installiert: L'_{ap}
Werte in dB(A), Mittelung über jeweils 10 Einzelmessungen

			L_{ap}	L'_{ap}	$\Delta L = L'_{ap} - L_{ap}$
automat. Umstellung B → W	Kaltseite	0,3 MPa	33,7	38,0	4,3
		0,5 MPa	33,4	39,8	6,4
	Warmseite	0,3 MPa	31,7	38,6	6,9
		0,5 MPa	31,6	39,4	7,8
Umstellung W → B	Kaltseite	0,3 MPa	—	45,6	—
		0,5 MPa	40,5	49,9	9,4
	Warmseite	0,3 MPa	39,8	47,7	7,9
		0,5 MPa	41,7	49,0	7,3

Mittelwert $\overline{\Delta L} = 7,1$

Tabelle 5 Ringversuch 1987
Einfluß der Montagebedingungen auf den Armaturengeräuschpegel.

Armatur am Armaturenanschluß des Normprüfstandes: L_{ap}
nach DIN 52 218

Armatur an der Meßwand des Normprüfstandes installiert: L'_{ap}

Stationäres Fließgeräusch für Wannenauslauf-Batterie
(Stellung »misch«, voll geöffnet)

(L_{ap}/L'_{ap} , Werte in dB(A))

Prüfstelle	Wanne		Brause	
	0,3 MPa	0,5 MPa	0,3 MPa	0,5 MPa
A	<10/10	16/17	16/18	22/23
B	<10/17	13/21	<10/24	15/32
C	<10/20	15/28	16/25	21/31

Auslauf-Widerstände: Wanne NSR-C, Brause NSR-C

Prüfstelle	Wanne		Brause	
	0,3 MPa	0,5 MPa	0,3 MPa	0,5 MPa
A	10/14	16/21	11/14	16/20
B	10/14	13/22	11/13	15/22
C	10/23	15/27	14/20	18/28

Auslauf-Widerstände: Wanne RP-C, Brause RP-C

Tabelle 6 Ringversuch 1987
Einfluß der Montagebedingungen auf den Armaturengeräuschpegel.

Armatur am Armaturenanschluß des Normprüfstandes: L_{ap}
nach DIN 52 218

Armatur an der Meßwand des Normprüfstandes installiert: L'_{ap}

Umstellgeräusch für Wannenauslauf-Batterie
(Stellung »misch«, voll geöffnet)

(L_{ap}/L'_{ap} , Werte in dB(A), Mittelung über jeweils 5 Einzelmessungen)

Prüfstelle	W → B		B → W	
	0,3 MPa	0,5 MPa	0,3 MPa	0,5 MPa
A	32/31	35/39	29/33	33/37
B	28/41	32/47	26/40	29/46
C	29/40	34/34	29/38	33/41

Auslauf-Widerstände: Wanne NSR-C, Brause NSR-C

Prüfstelle	W → B		B → W	
	0,3 MPa	0,5 MPa	0,3 MPa	0,5 MPa
A	36/38	42/42	31/41	34/41
B	32/42	39/48	32/41	35/43
C	34/40	37/44	29/39	31/40

Auslauf-Widerstände: Wanne RP-C, Brause RP-C

Tabelle 7 Ringversuch 1987
 Armaturengeräuschpegel L_{ap} [dB(A)] für Armaturenmontage
 an der Meßwand.

**Stationäres Fließgeräusch für Wannenauslauf-Batterie mit
 unterschiedlichen Auslauf-Widerständen
 (Stellung »misch«, voll geöffnet)**

Auslauf-Widerstand (Wanne/Brause)	0,3 MPa		0,5 MPa	
	Wanne	Brause	Wanne	Brause
NSR-C/NSR-C	10/20	18/25	17/28	23/32
RP-C/RP-C	14/23	13/20	21/27	20/28
RP-C/NSR-C	13/19	18/26	21/26	23/32
NSR-C/RP-C	10/23	13/20	17/30	20/28

NSR: Normstrahlregler
 RP: Röhrenpaket

(min./max. Werte)

(Teilnehmer: 3 Prüfstellen, 1 Hersteller)

Tabelle 8 Vergleich von Armaturengeräuschen bei unterschiedlichen Leitungsanordnungen.

Stationäres Fließgeräusch, Stellung »warm«, voll geöffnet, für Wannenauslaufbatterien

L'_{ap} : } ermittelt an Prüfrohren an der Meßwand des
 $L_{AF,10}$: } Installationsprüfstandes, Messung hinter der Wand

L_{ap} : ermittelt am Normprüfstand nach DIN 52 218

		Meßanordnung				
		Stahlrohr 1'' unter Putz		Kunststoffrohr 32x3,6 unter Putz		Normprüfstand
		$L_{AF,10}$	L'_{ap}	$L_{AF,10}$	L'_{ap}	L_{ap}
Armatur B	0,3 MPa	32,1	20,6	20,3	16,6	9,9
	0,5 MPa	37,7	26,5	28,8	23,1	14,7
Armatur C	0,5 MPa	43,8	32,1	24,1	20,1	32,0

alle Werte in dB(A)

Tabelle 9 Armaturengeräuschpegel einer Waschtischarmatur.

**Stationäres Fließgeräusch für Waschtischarmatur
(Armatur Y), Stellung »misch«, voll geöffnet**

L_{ap} : ermittelt am Normprüfstand nach DIN 52218

L'_{ap} : ermittelt in Musterinstallation im Installations-
prüfstand, UG hinter der Installationswand
(ohne Aufprall- und Ablaufgeräusche)

Werte in dB(A)

	0,3 MPa	0,5 MPa
L_{ap} (Normprüfstand)	13,5	19,2
L'_{ap} (Musterinstallation)	19,5	25,8

Tabelle 10 Vergleich von Armaturengeräuschen in unterschiedlichen Installationssystemen.

Stationäres Fließgeräusch, 0,3 MPa, Stellung »misch«, voll geöffnet, für Wannenauslaufbatterien

L'_{ap} : } ermittelt in Musterinstallationen im Installations-
 $L_{AF,10}$: } Prüfstand, EG hinter der Installationswand

L_{ap} : ermittelt am Normprüfstand nach DIN 52 218

		Musterinstallation »Rohr-in-Rohr«		Musterinstallation »Wannen-Wandbatterie«		Normprüfstand
		L'_{ap}	$L_{AF,10}$	L'_{ap}	$L_{AF,10}$	L_{ap}
Armatur A (mit WS-Dämpfer)	Wanne	—	—	23,5	31,9	13,6
	Brause	—	—	13,4	21,4	8,8
Armatur A (ohne WS-Dämpfer)	Wanne	36,5	29,6	27,8	34,9	18,1
	Brause	36,2	25,7	21,6	29,8	15,0
Armatur B	Wanne	—	—	30,2	37,1	10,0
Armatur C	Wanne	32,5	31,2	29,7	42,3	24,9
	Brause	30,9	30,2	27,3	40,3	24,9

alle Werte in dB(A)

Tabelle 11 Waschtischarmatur mit Waschtisch. Musterinstallation im Installationsprüfstand.

Stationäres Fließgeräusch und Betätigungsgeräusch (schnelles Schließen), für Armatur Z, Stellung »misch«, voll geöffnet

Untersuchte Montagezustände

Montagezustand Nr.	Waschtisch an Wand befestigt	Eckventile an Wand befestigt	Steigleitung an Wand befestigt
1	+	+	+
2	+	-	+
3	-	+	+
4	-	-	+

Luftschallpegel $L_{AF,10}$ [dB(A)] hinter der Installationswand bei Betrieb der Armatur (ohne Aufprall- und Ablaufgeräusche)

Montagezustand	EG		UG	
	Stationär	Schließen	Stationär	Schließen
1	44,2	45,1	38,9	39,2
2	44,4	44,5	38,7	38,9
3	38,1	42,7	32,2	36,5
4	36,1	41,1	30,7	34,3

Tabelle 12 Rohr-in-Rohr-Installationssystem. Musterinstallation im Installationsprüfstand.

Luftschallpegel $L_{AF,10}$ [dB(A)] bei IGN-Anregung

Montagezustand	Meßraum	
	EG hinter der Installationswand	UG hinter der Installationswand
fertig installiert (Vorwandinstallation)	47,8	42,3
Verteiler völlig entkoppelt	47,2	40,7
Fixpunkte der Steigleitung völlig entkoppelt	-	41,6
Steigleitung völlig entkoppelt	47,8	41,6
Anschlußdose völlig entkoppelt	42,4	38,9
Anschlußdose und Verteiler völlig entkoppelt	40,6	36,7
Ergänzungsmessung: fertig installiert, Anschlußdose unter Putz	53,1	46,3

Tabelle 13 Wannen-Wandbatterie an der Meßwand. Musterinstallation im Installationsprüfstand.

Luftschallpegel $L_{AF,10}$ [dB(A)] für Armatur B für stationäres Fließgeräusch, Wannenauslauf, Stellung »misch«, vollgeöffnet

Befestigung der Installation			EG		UG	
Steigleitung	Zuleitung	Armaturen- befestigung	0,3 MPa	0,5 MPa	0,3 MPa	0,5 MPa
starre Rohrschellen	isolierte Rohr- schellen	starre Schellen	37,1	42,5	30,5	36,5
entkoppelt			36,1	41,9	29,8	35,7
starre Rohrschellen		isolierte Schellen	32,4	38,4	29,2	33,4
entkoppelt			31,5	37,9	26,4	32,0

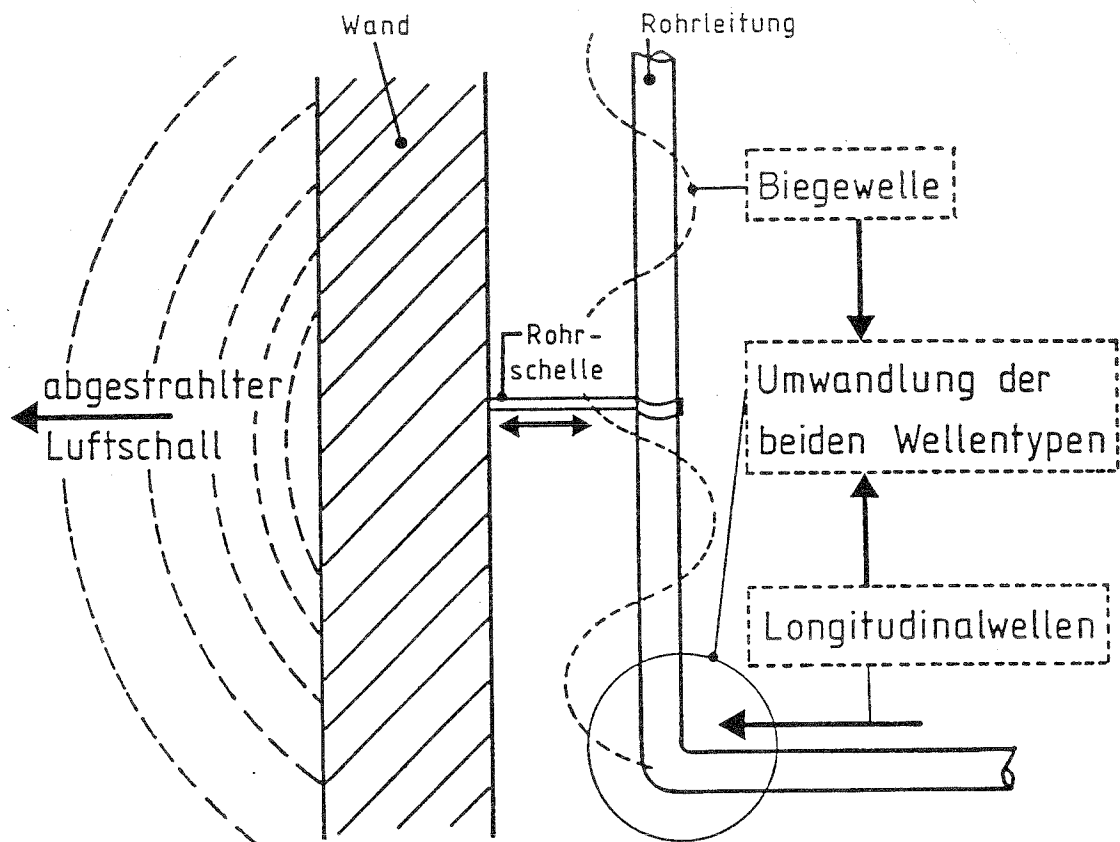


Bild 1: Umwandlung von Longitudinal- in Biegewellen an Richtungsänderungen der Rohrleitung

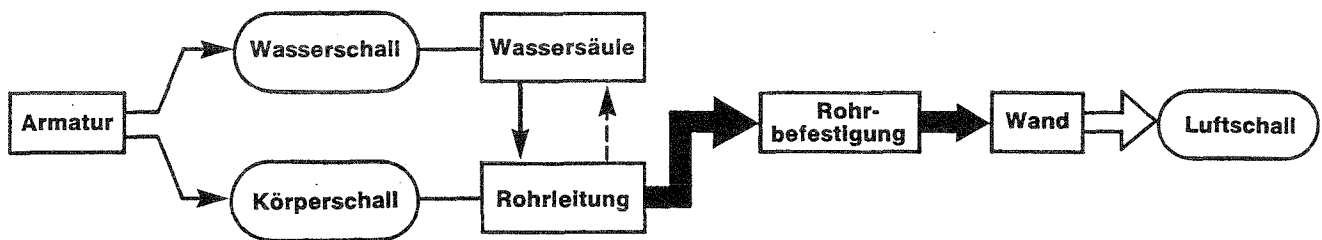
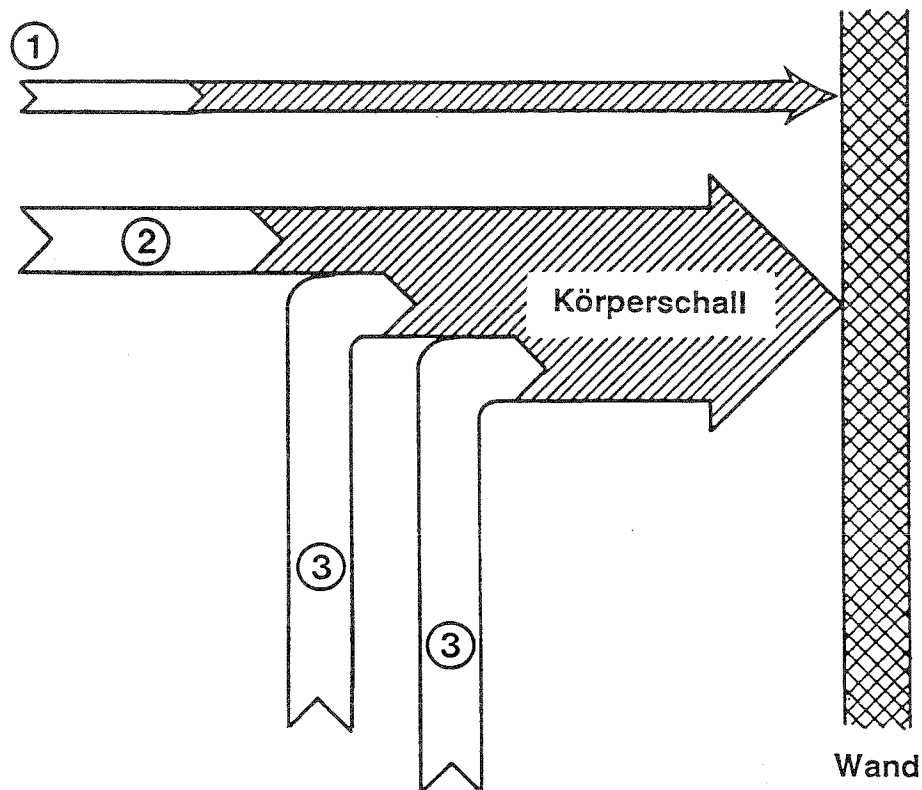


Bild 2: Schallausbreitung von Armaturengeräuschen



1. von Armatür direkt erzeugter Körperschall, der in die Wand eingeleitet wird
2. von Armatür direkt erzeugter Körperschall, der auf die Rohrwandung übertragen wird
3. in Körperschall umgewandelter Wasserschall, der sich auf der Rohrwandung ausbreitet

Bild 3: Körperschall von Armaturen

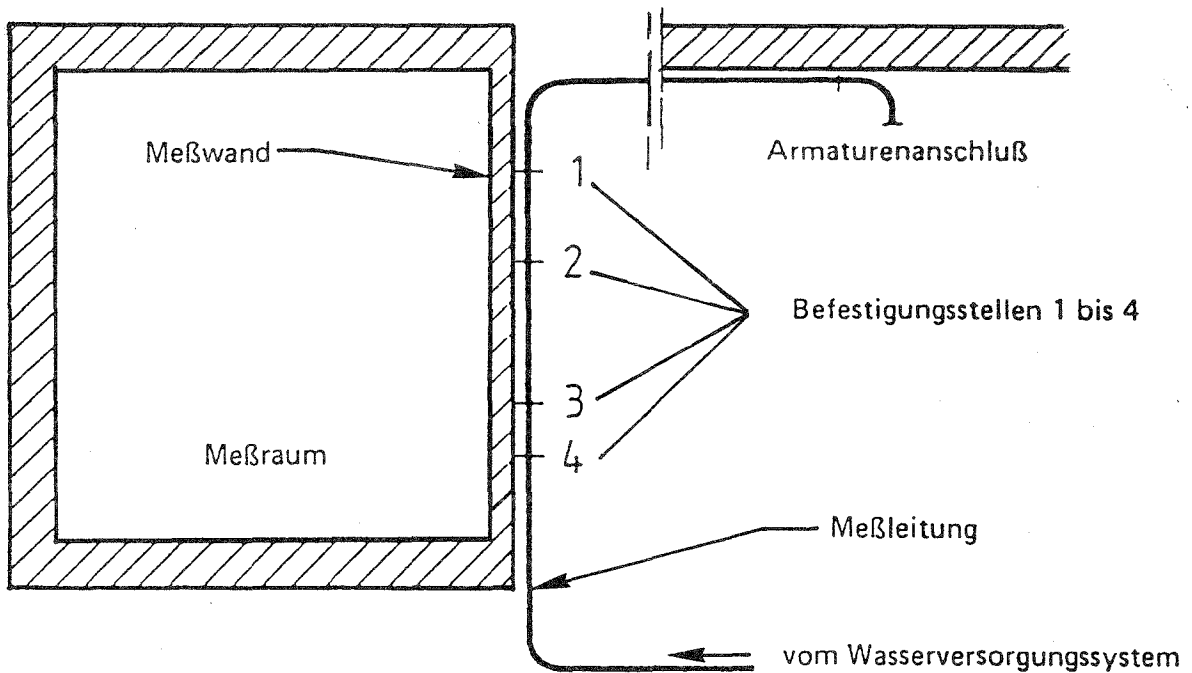


Bild 4: Prinzipieller Aufbau einer Prüfanordnung nach DIN 52 218 (entnommen aus [11]).

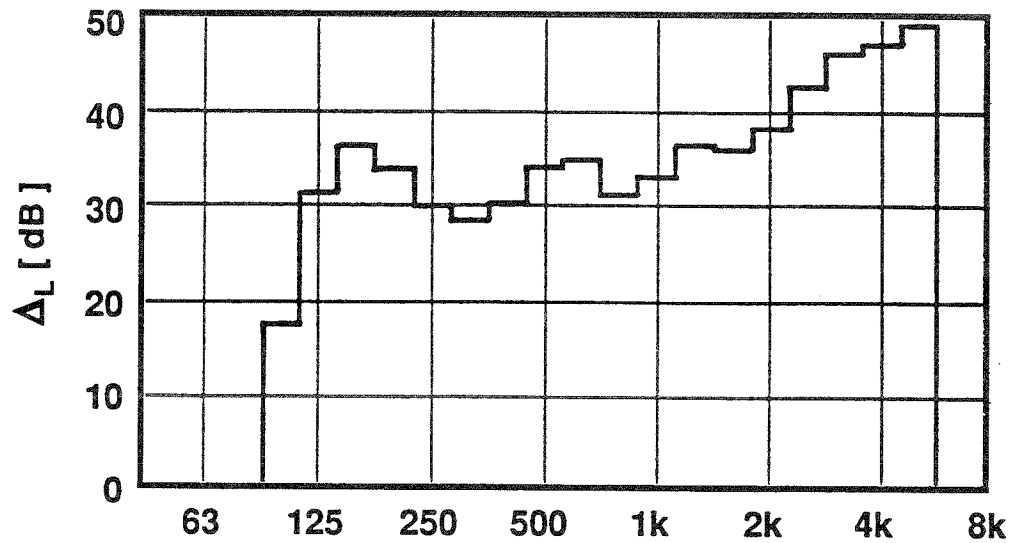
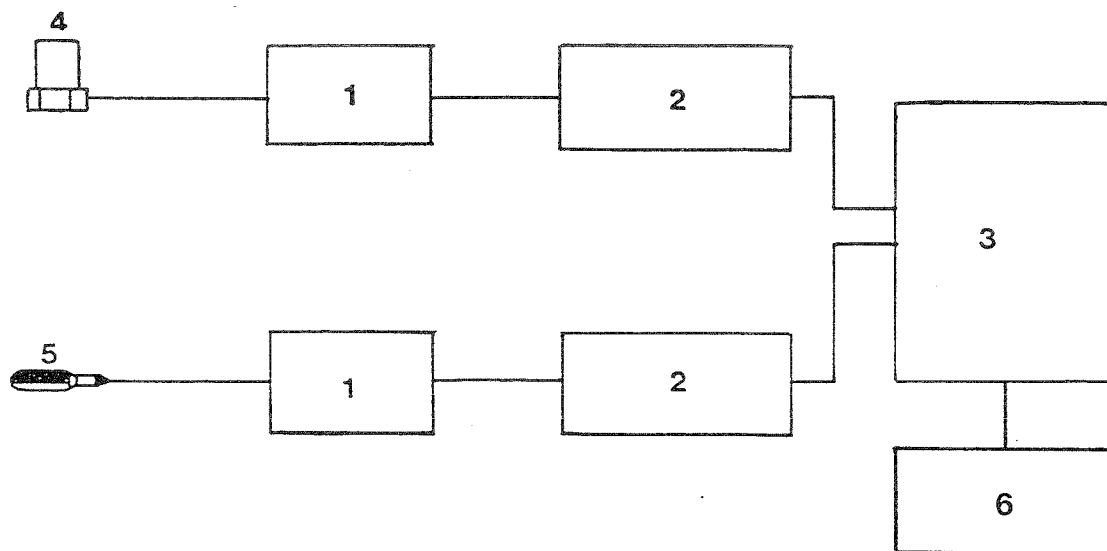


Bild 6: Körperschallisolierung der Meßplatte gegen Störschwingungen ΔL : Körperschall-Pegeldifferenz zwischen Fundament und Meßplatte. (Anregung des Fundaments mit Normhammerwerk)



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

Bild 7: Elektrische Meßkette für Körperschall- und Wasserschallmessungen am modifizierten Kleinprüfstand

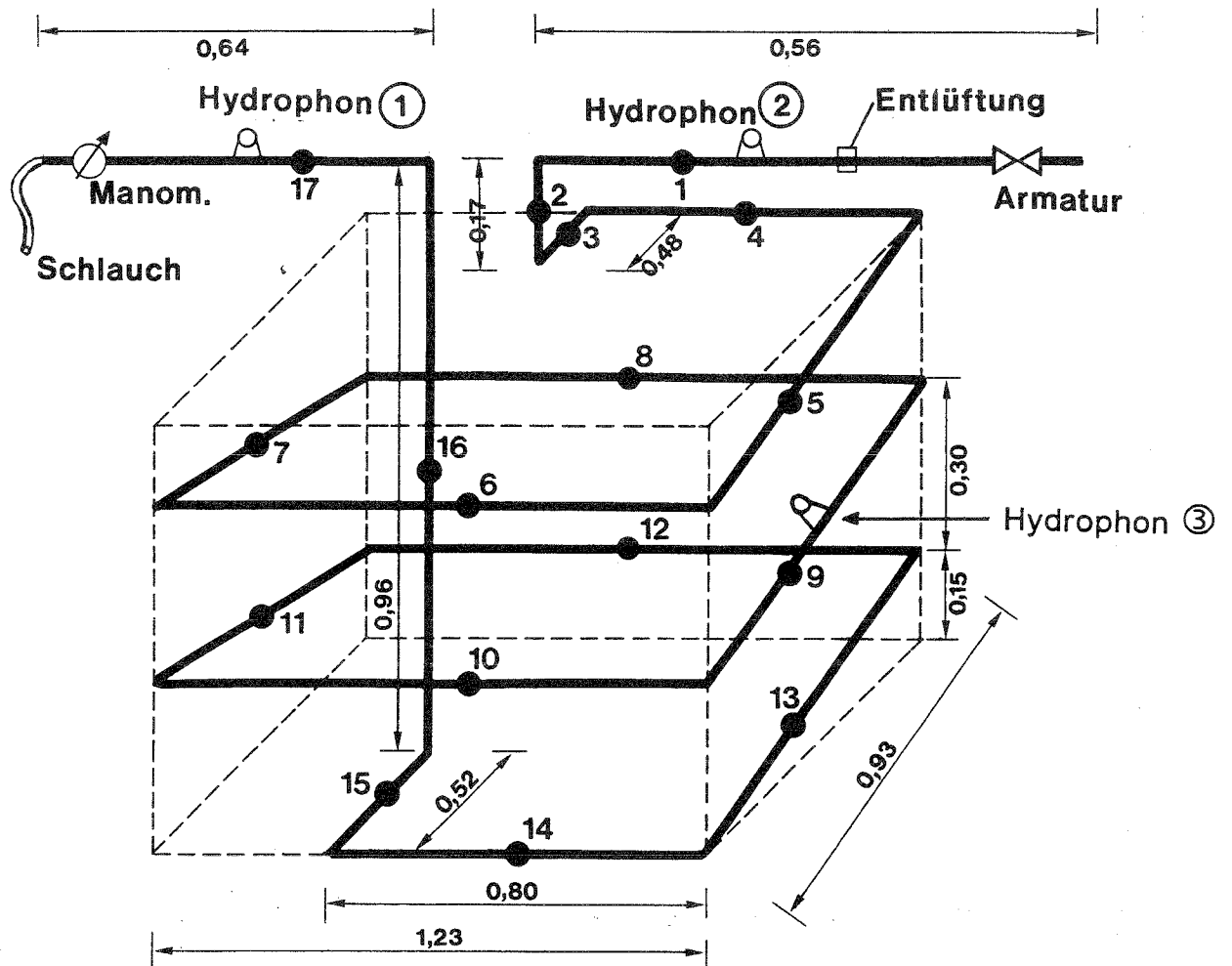


Bild 8: Meßleitung mit mehreren Krümmungen (Spiral-Prüfstand); prinzipieller Aufbau

Armaturenanschluß

Hosenstück 1''

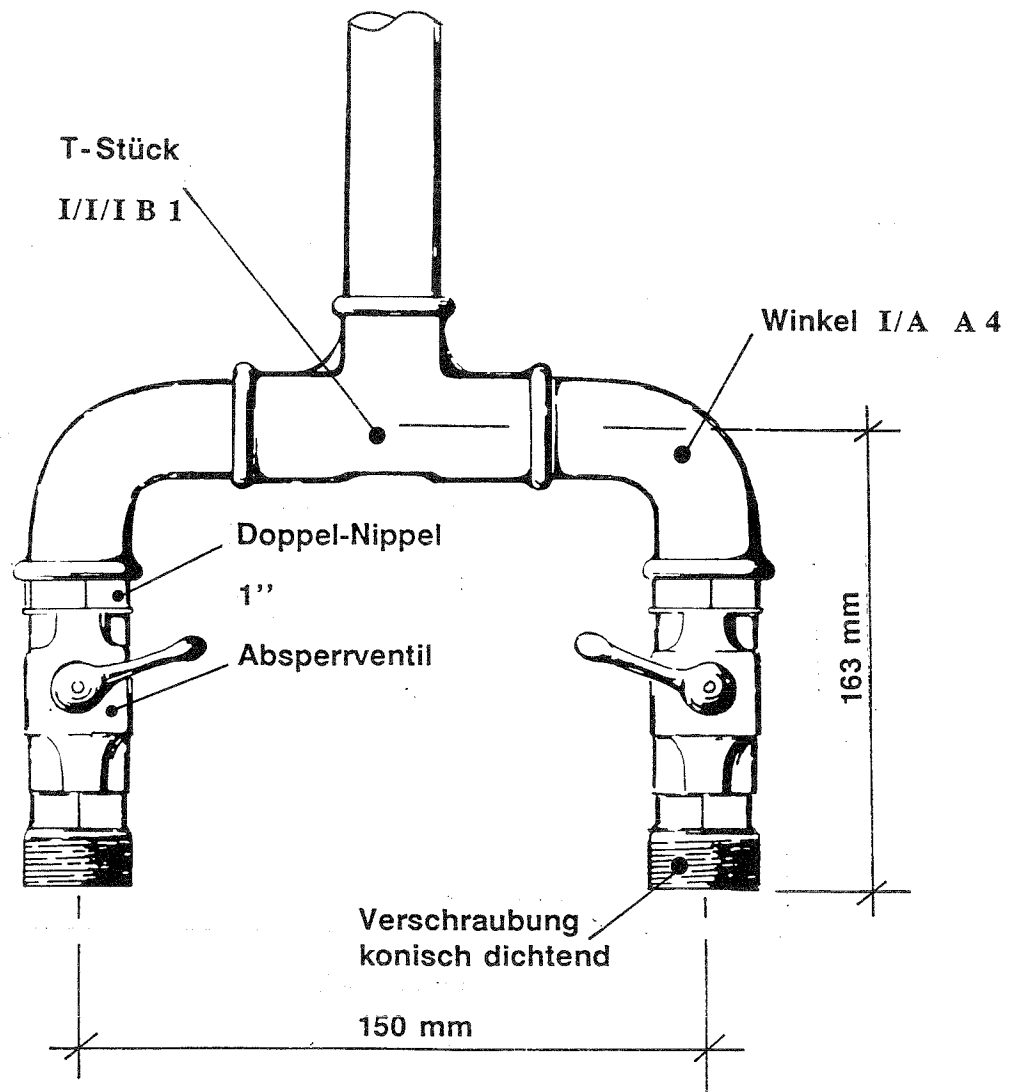


Bild 9: Armaturenanschluß für Spiralprüfstand

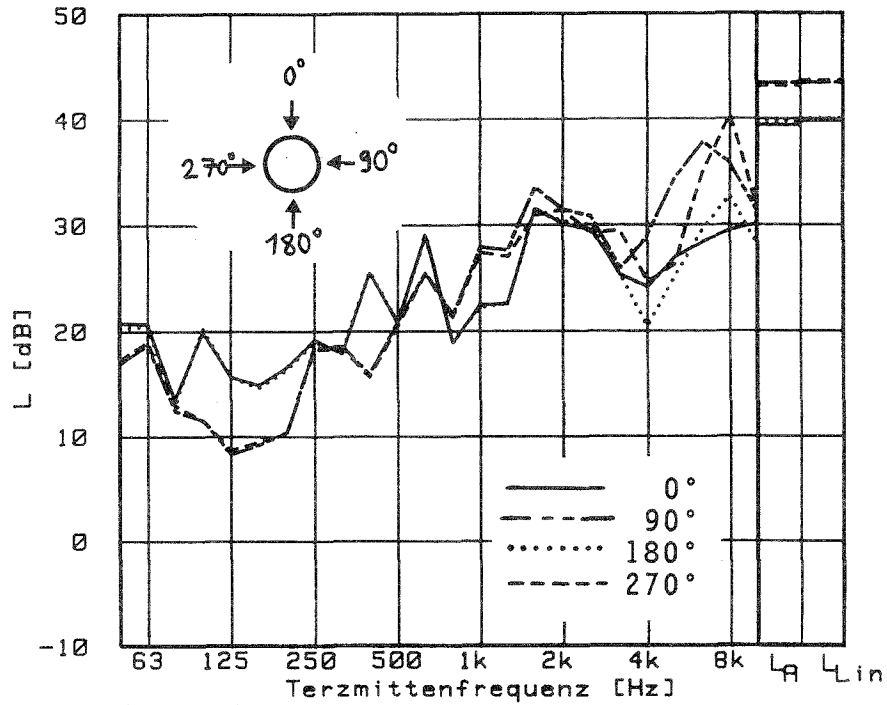


Bild 10: Radiale Abhängigkeit des Körperschallpegels auf der Meßleitung des Spiralprüfstandes an Meßpunkt 1 (Anregung: Armatur A, stationäres Fließgeräusch)

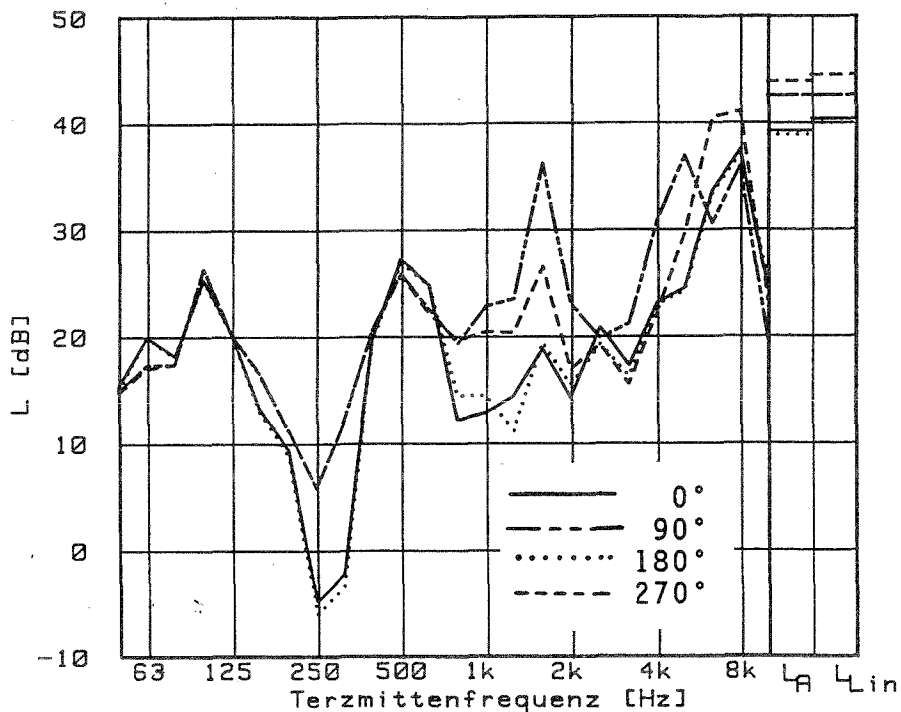


Bild 11: Radiale Abhängigkeit des Körperschallpegels auf der Meßleitung des Spiralprüfstandes an Meßpunkt 6 (Anregung: Armatur A, stationäres Fließgeräusch)

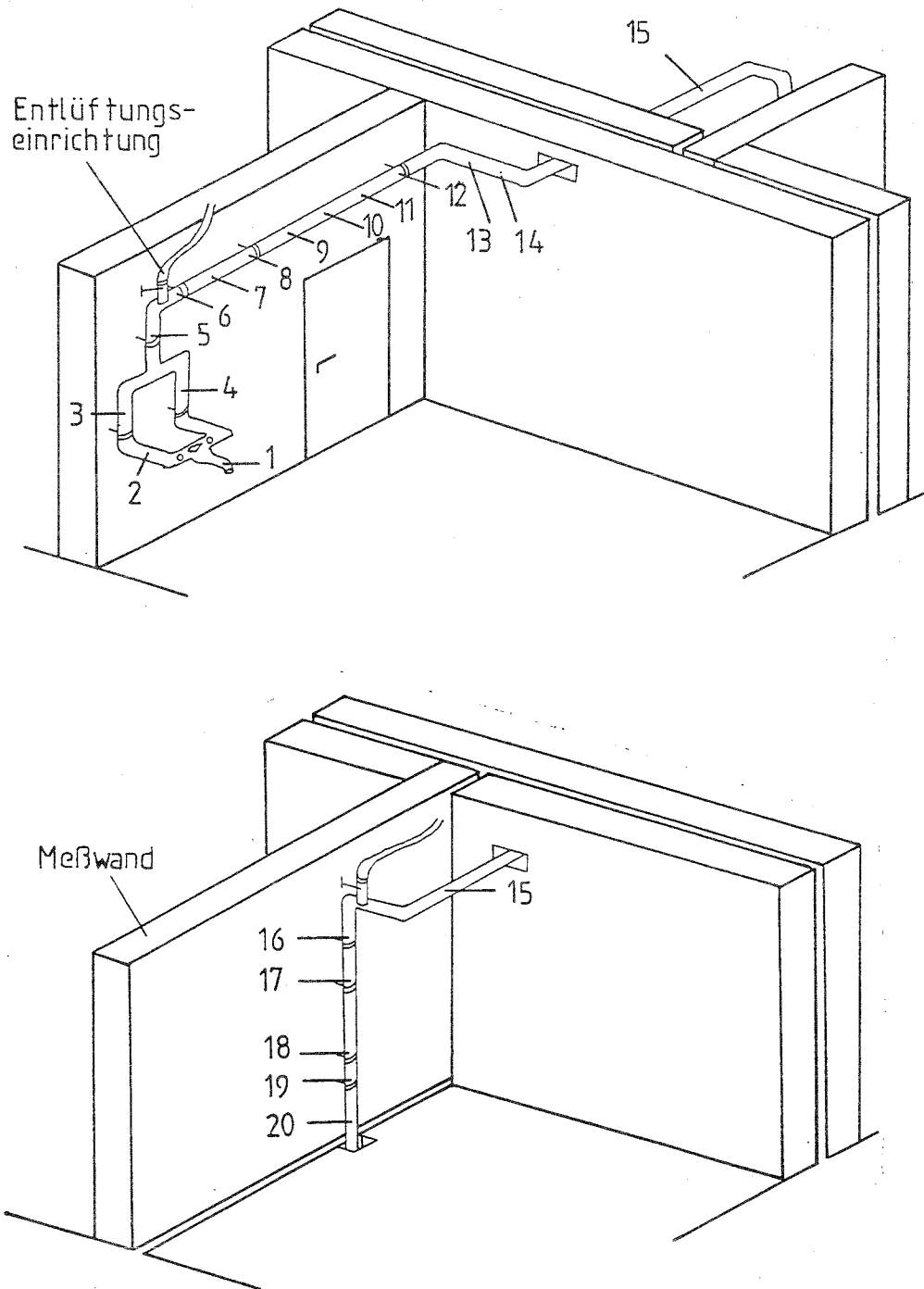


Bild 12: Leitungsführung der Meßleitung am Normprüfstand (DIN 52 218) des IBP
 bedarfsweise Meßpunkte:
 Körperschallmeßpunkte: MP1: auf der Armatur
 MP2 ... MP19: auf der Meßleitung
 Wasserschallmeßpunkte: MP3, MP4, MP5, MP16, MP20

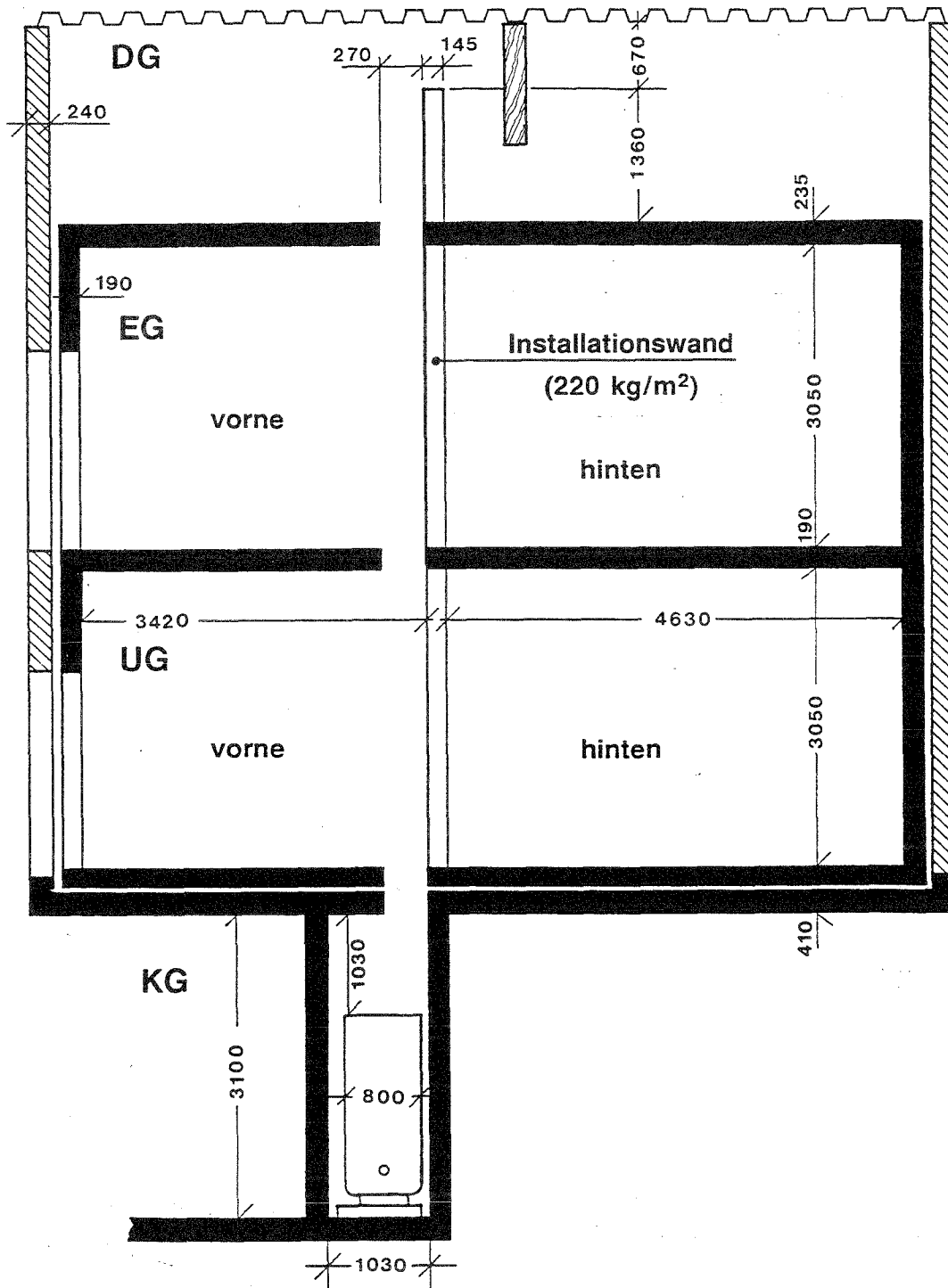


Bild 13: Installations-Prüfstand des IBP (Maße in mm)
 Installationswand: 112 mm KSV, beidseitig verputzt,
 220 kg/m

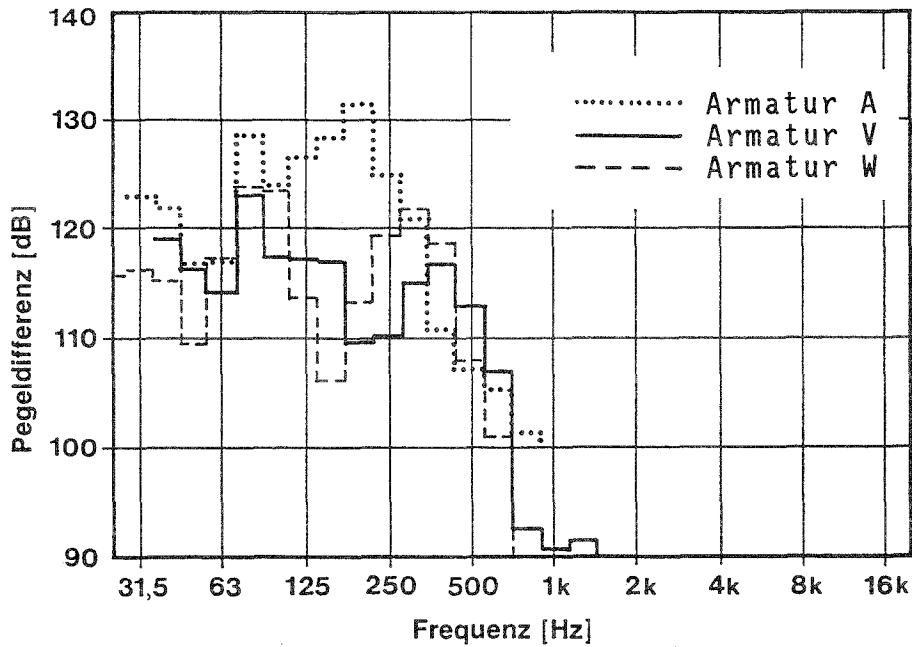


Bild 14: Wasserschall-/Körperschall-Relation bei verschiedenen Armaturen für Fließgeräusch (Brause, 0,5 MPa, warm, voll geöffnet)
Messung am mod. Kleinprüfstand

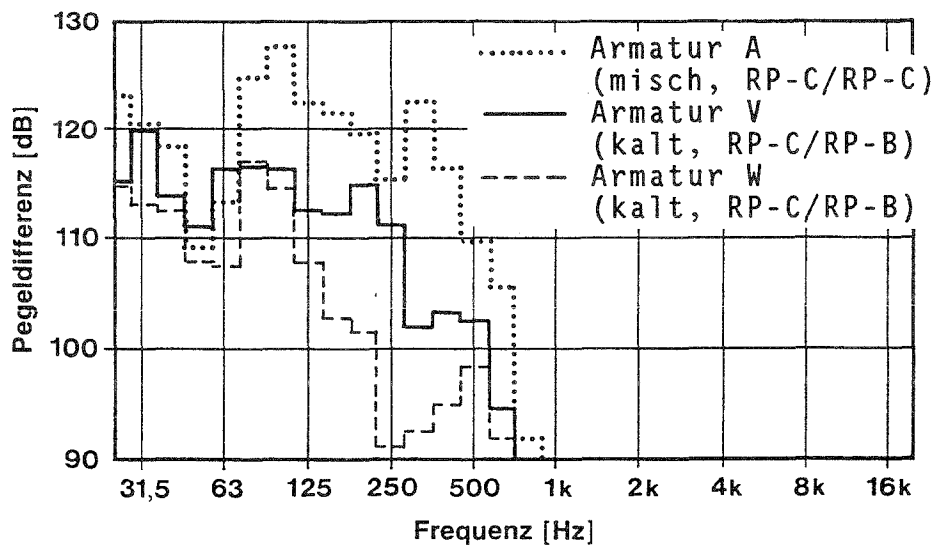


Bild 15: Wasserschall-/Körperschall-Relation bei verschiedenen Armaturen für Umstellgeräusch W→B (0,5 MPa, voll geöffnet)
Messung am mod. Kleinprüfstand

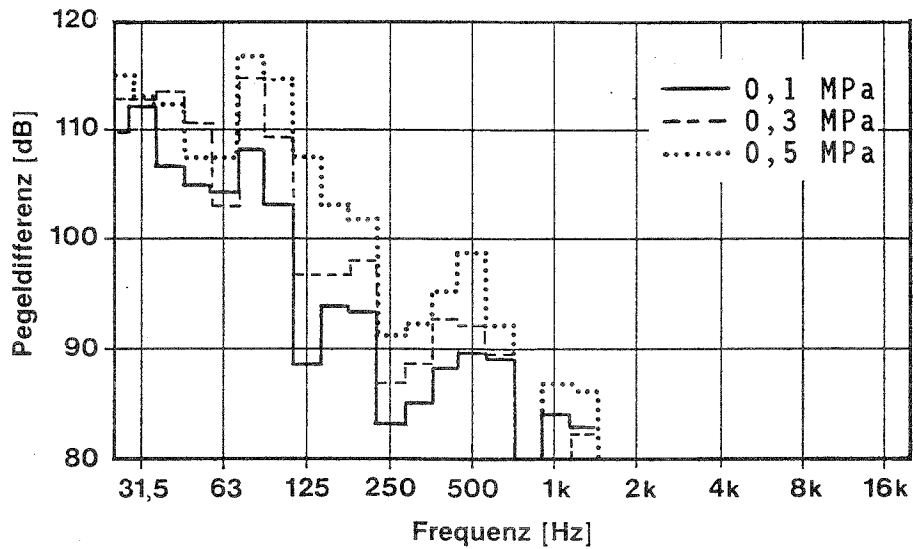


Bild 16: Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur V bei unterschiedlichen Fließdrücken (Umstellung W→B, kalt voll geöffnet, RP-C/RP-B) Messung am mod. Kleinprüfstand

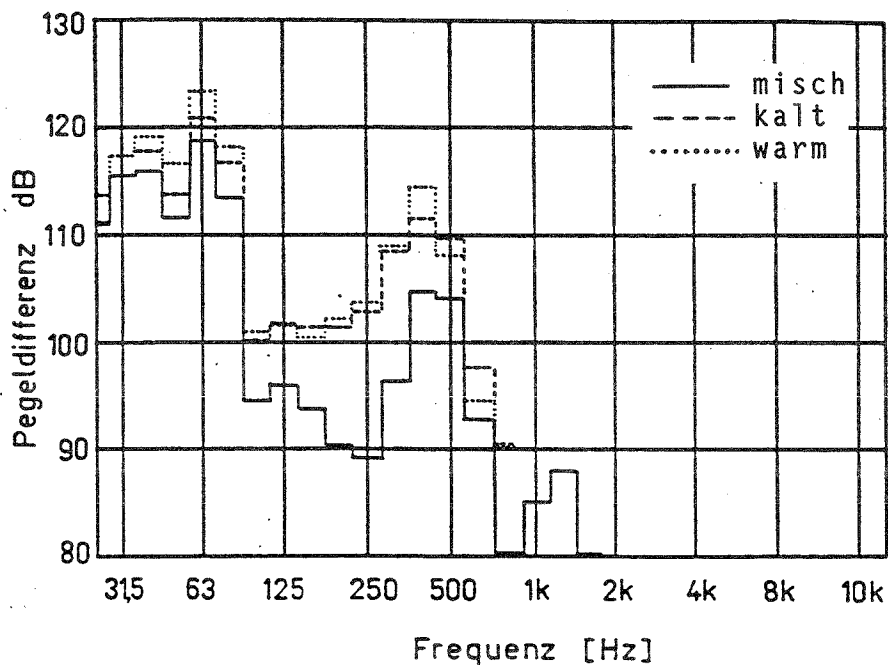


Bild 17: Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur A bei unterschiedlichen Einstellungen (Fließgeräusch, Wanne, 0,3 MPa, voll geöffnet) Messung am mod. Kleinprüfstand

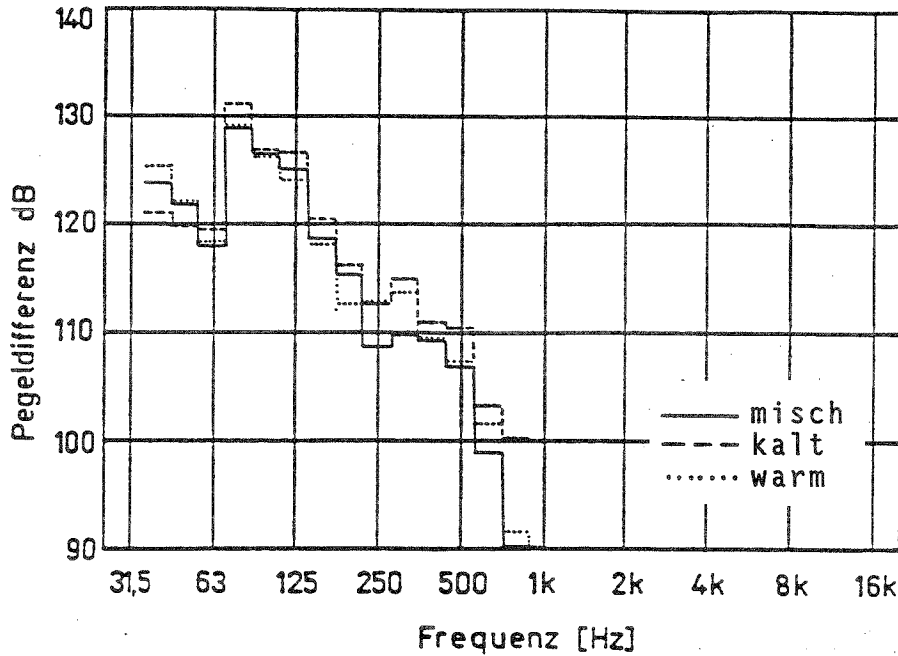


Bild 18: Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur A bei unterschiedlichen Einstellungen (Fließgeräusch, Brause, 0,5 MPa, voll geöffnet)
Messung am mod. Kleinprüfstand

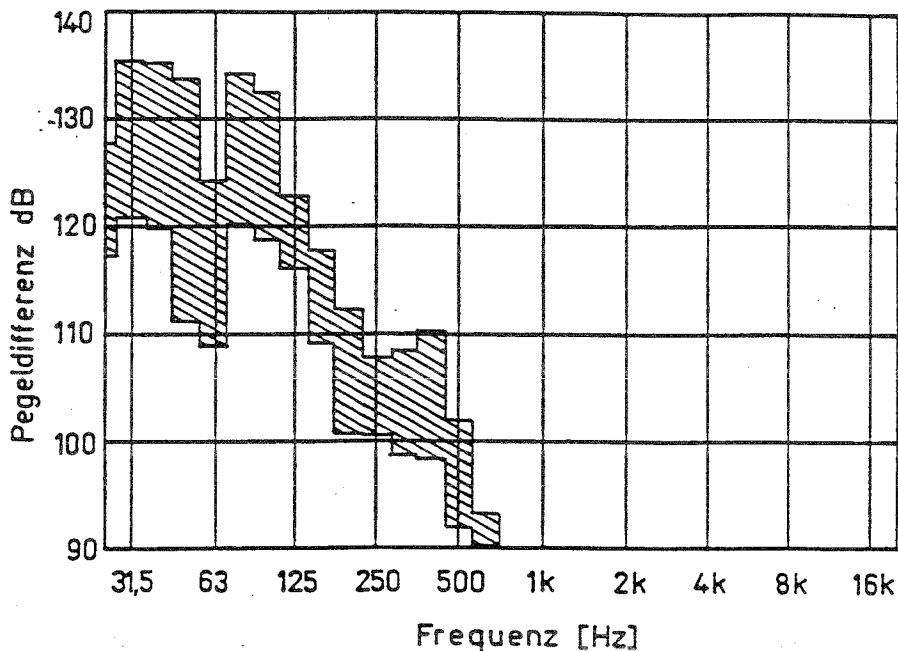


Bild 19: Streubereich der Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur A bei verschiedenen Auslaufwiderständen (Umstellung W→B, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)
Messung am mod. Kleinprüfstand

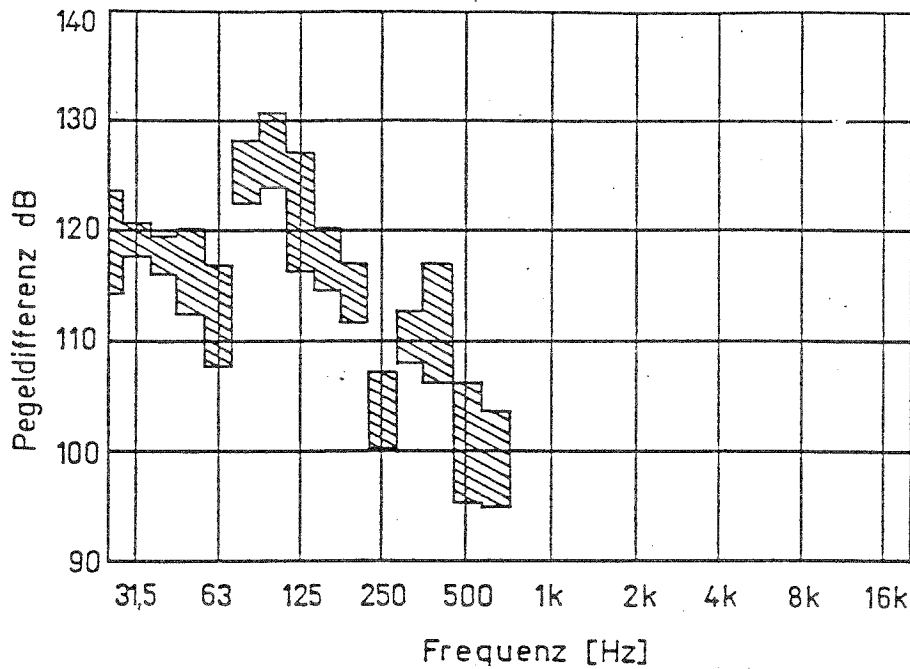


Bild 20: Streubereich der Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur A bei verschiedenen Auslaufwiderständen (Umstellung B→W, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet) Messung am mod. Kleinprüfstand

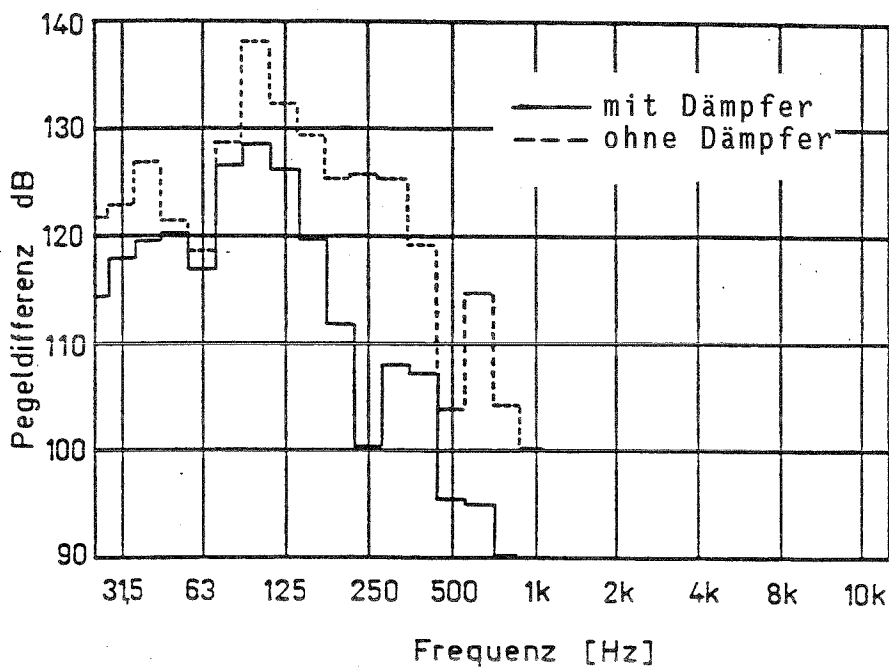


Bild 21: Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur A mit und ohne Wasserschalldämpfer in S-Anschluß (Umstellung W→B, NSR-C/NSR-C, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

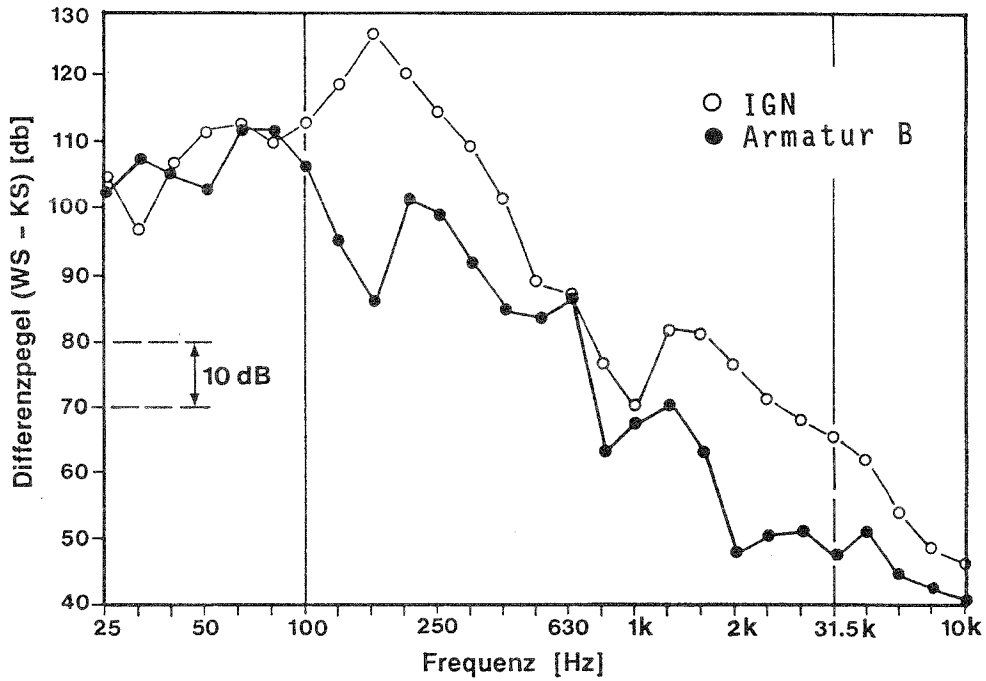


Bild 22: Wasserschall-/Körperschall-Relation einer Armatur im Vergleich zum IGN (Armatur B, Fließgeräusch, 0,3 MPa, misch, gedrosselter Zustand) Messung am mod. Kleinprüfstand

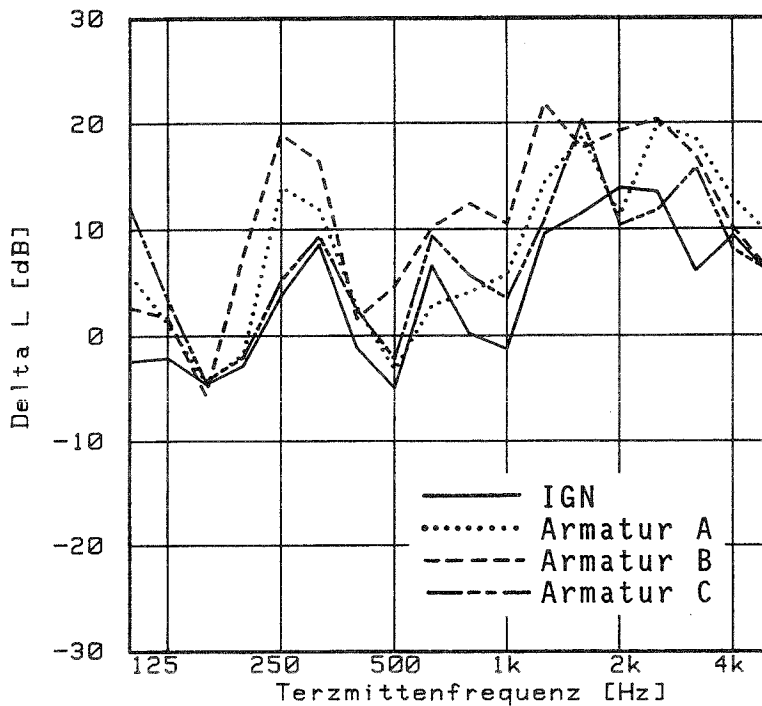


Bild 22a: Pegeldifferenz des Körperschalls zwischen MP 1 und MP 17, gemessen am Spiralprüfstand Vergleich zwischen IGN und Armaturen (Fließgeräusch Wanne, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

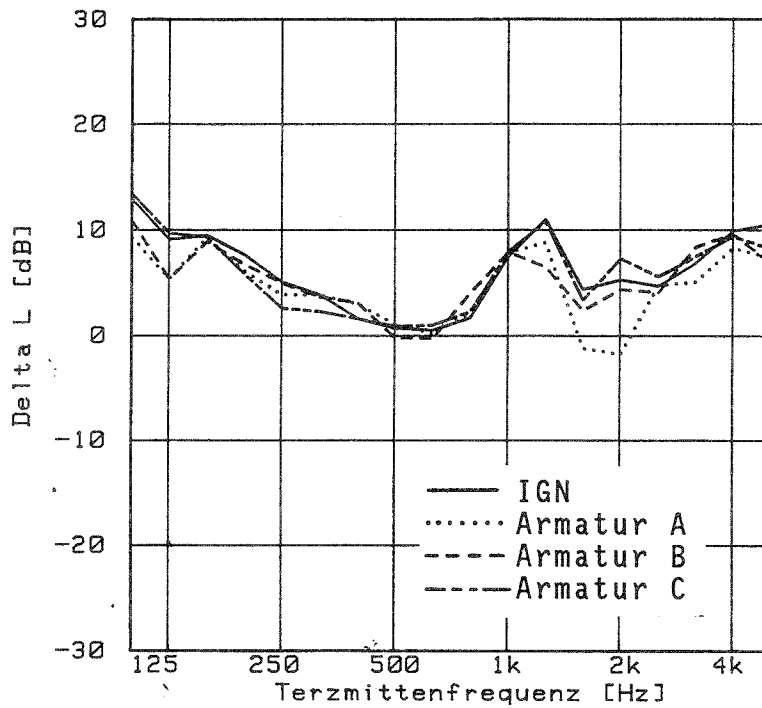


Bild 23: Pegeldifferenz des Wasserschalls zwischen MP 1 und MP 17, gemessen am Spiralprüfstand
 Vergleich zwischen IGN und Armaturen (Fließgeräusch Wanne, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

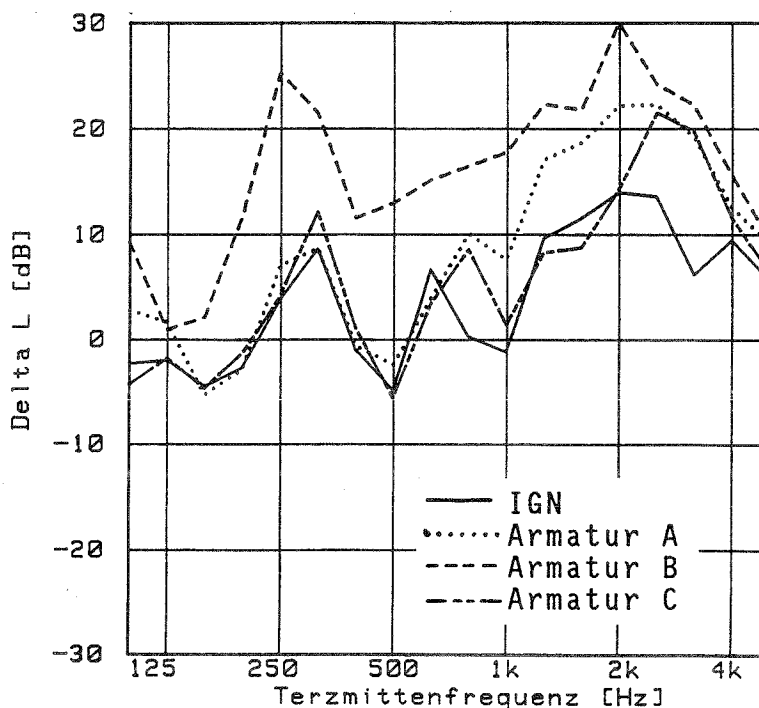


Bild 24: Pegeldifferenz des Körperschalls zwischen MP 1 und MP 17, gemessen am Spiralprüfstand
 Vergleich zwischen IGN und Armaturen (Umschalten W→B, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

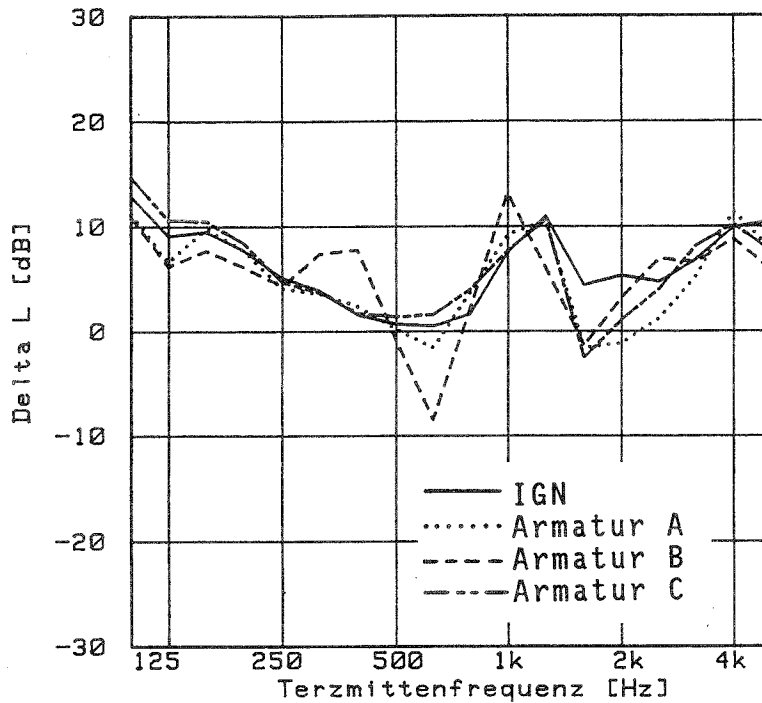


Bild 25: Pegeldifferenz des Wasserschalls zwischen MP 1 und MP 17, gemessen am Spiralprüfstand
 Vergleich zwischen IGN und Armaturen (Umschalten W→B, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

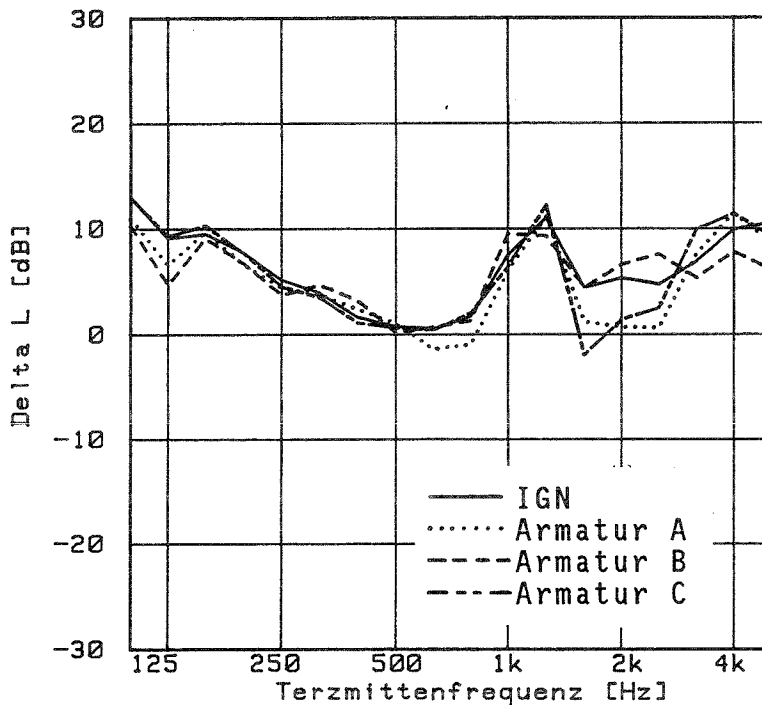


Bild 26: Pegeldifferenz des Wasserschalls zwischen MP 1 und MP 17, gemessen am Spiralprüfstand
 Vergleich zwischen IGN und Armaturen (Umschalten B→W, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

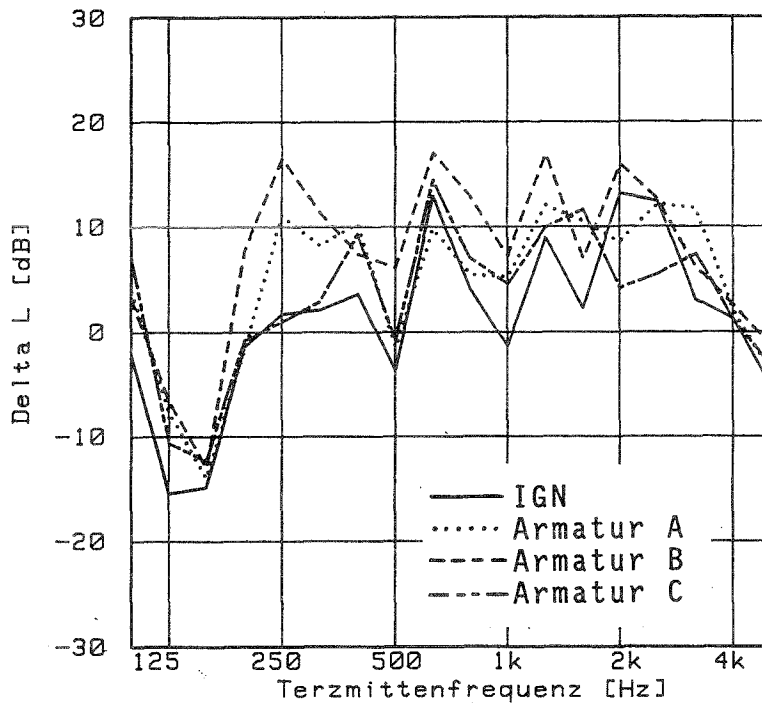


Bild 27: Pegeldifferenz des Körperschalls zwischen MP 1 und MP 9, gemessen am Spiralprüfstand
 Vergleich zwischen IGN und Armaturen (Fließgeräusch Wanne, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

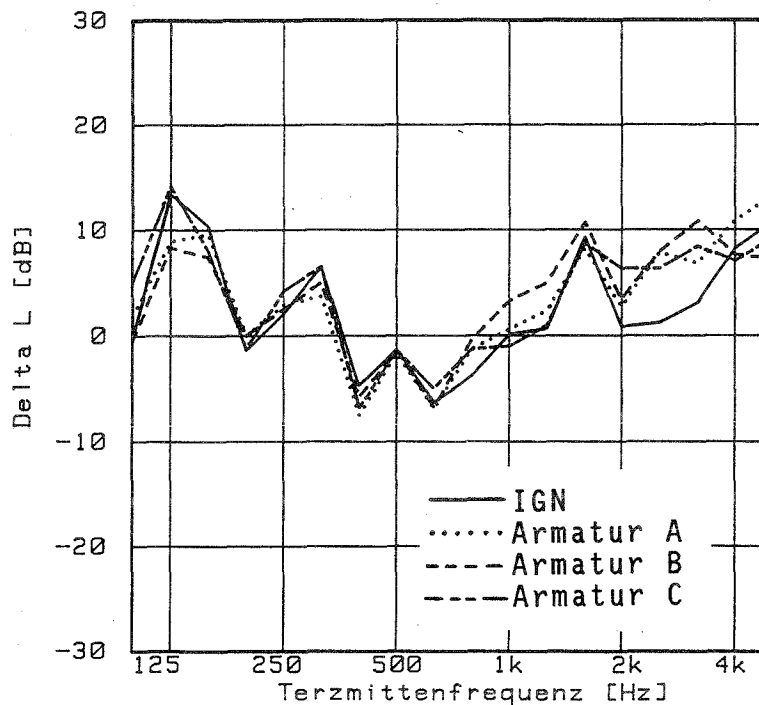


Bild 28: Pegeldifferenz des Körperschalls zwischen MP 9 und MP 17, gemessen am Spiralprüfstand
 Vergleich zwischen IGN und Armaturen (Fließgeräusch Wanne, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)

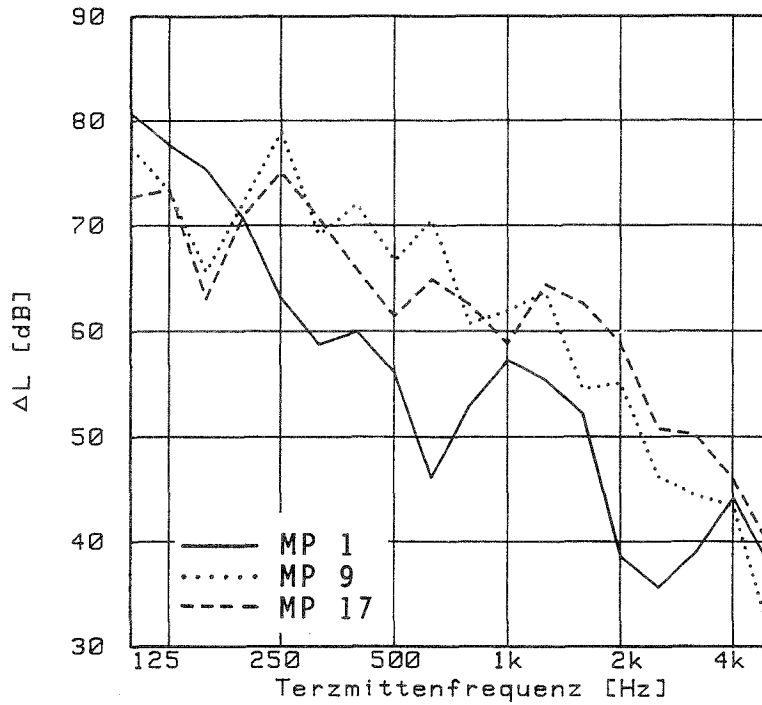


Bild 29: Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur B an verschiedenen Meßpunkten (Fließgeräusch Brause, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet) Messungen am Spiralprüfstand

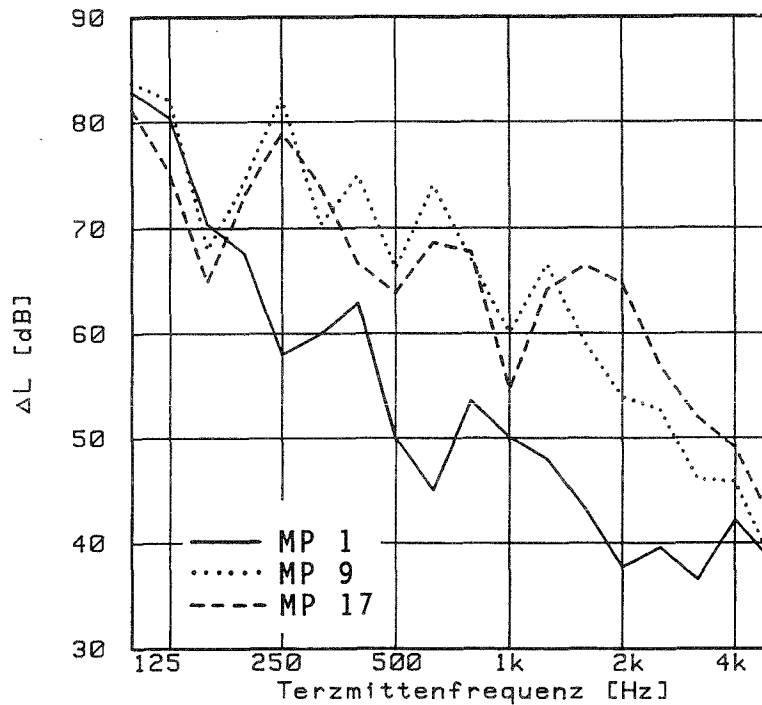


Bild 30: Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur B an verschiedenen Meßpunkten (Umschaltgeräusch W→B, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet) Messungen am Spiralprüfstand

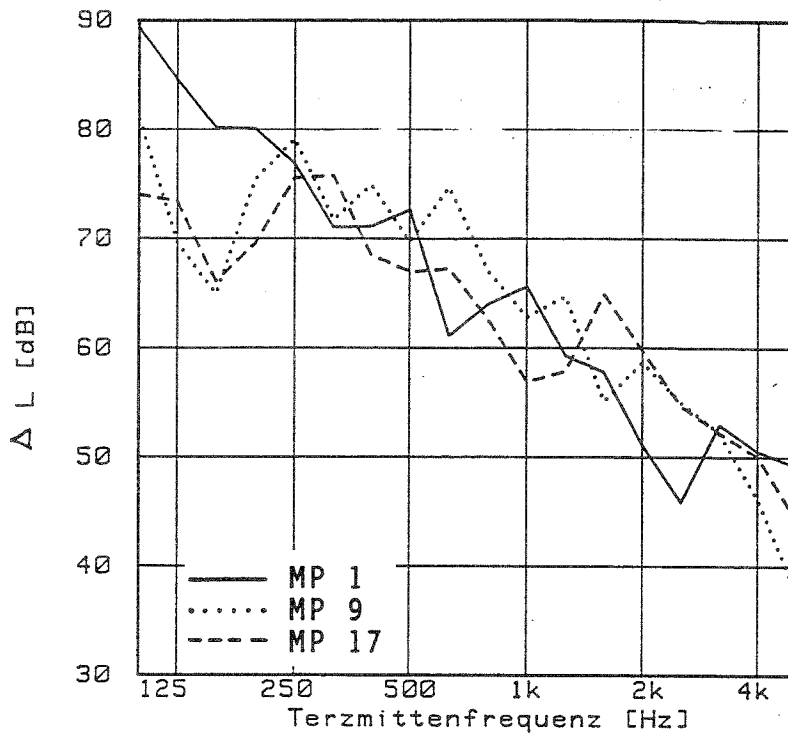


Bild 31: Wasserschall-/Körperschall-Relation für IGN an verschiedenen Meßpunkten
Messungen am Spiralprüfstand

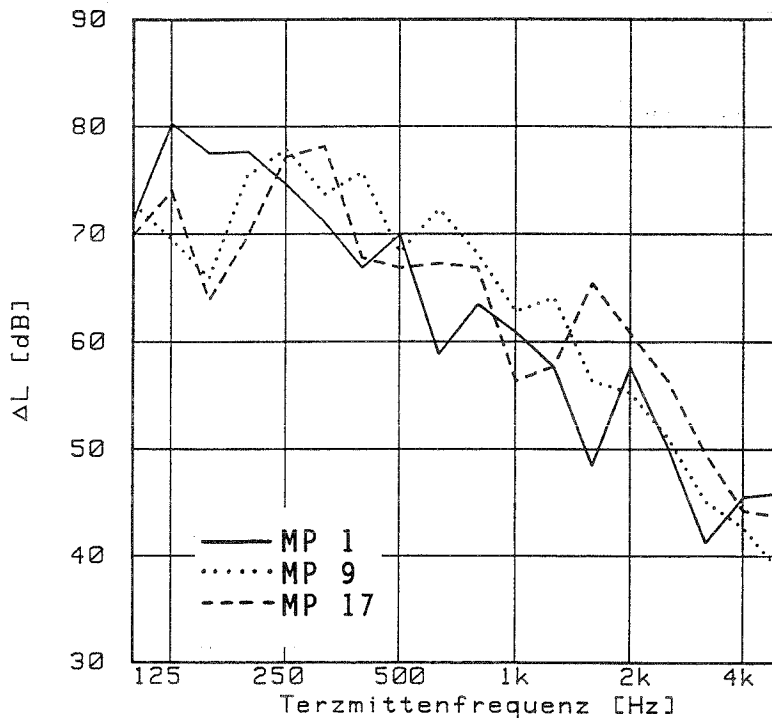


Bild 32: Wasserschall-/Körperschall-Relation für Armatur C an verschiedenen Meßpunkten (Fließgeräusch Wanne, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)
Messungen am Spiralprüfstand

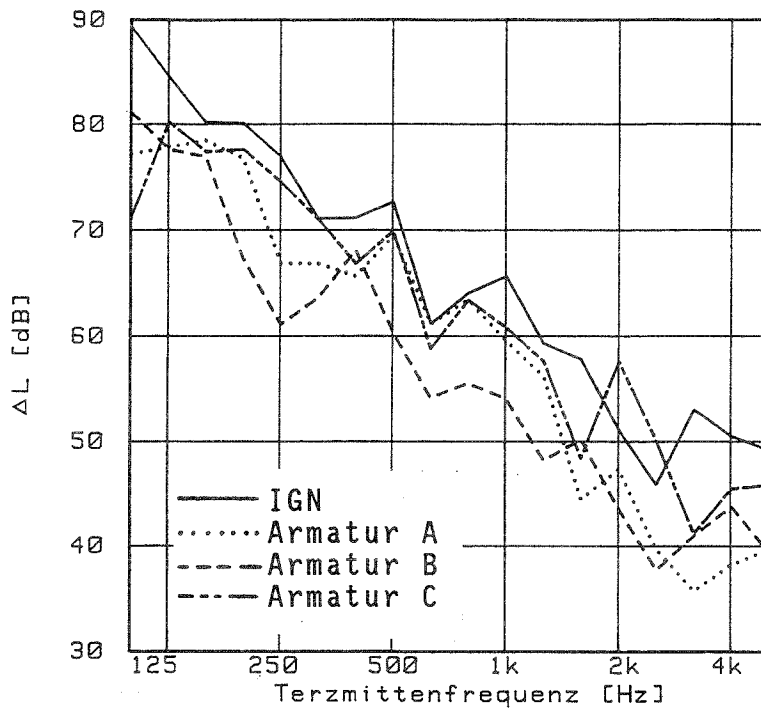


Bild 33: Wasserschall-/Körperschall-Relation für IGN und Armaturen (Fließgeräusch Wanne, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)
Messungen am Spiralprüfstand, MP 1

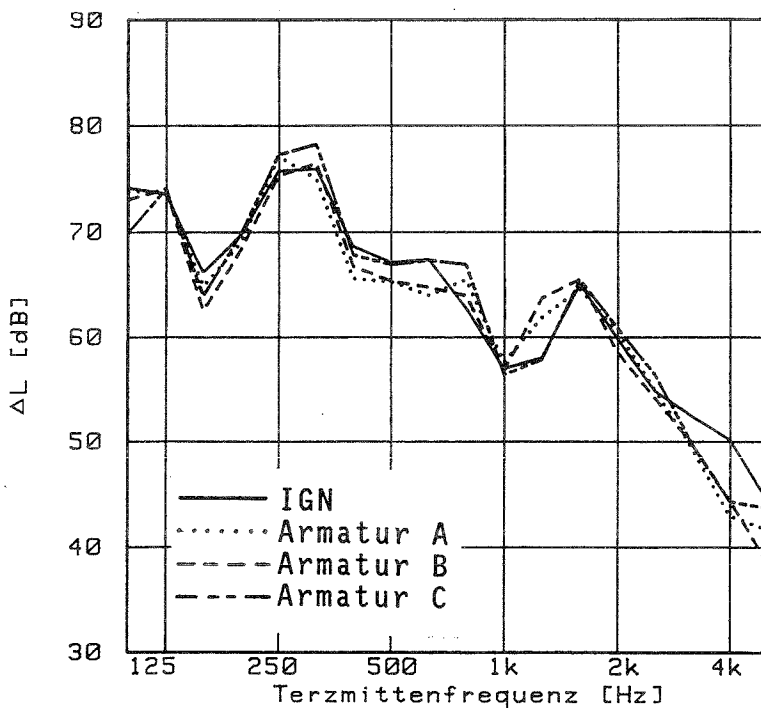


Bild 34: Wasserschall-/Körperschall-Relation für IGN und Armaturen (Fließgeräusch Wanne, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)
Messungen am Spiralprüfstand, MP 17

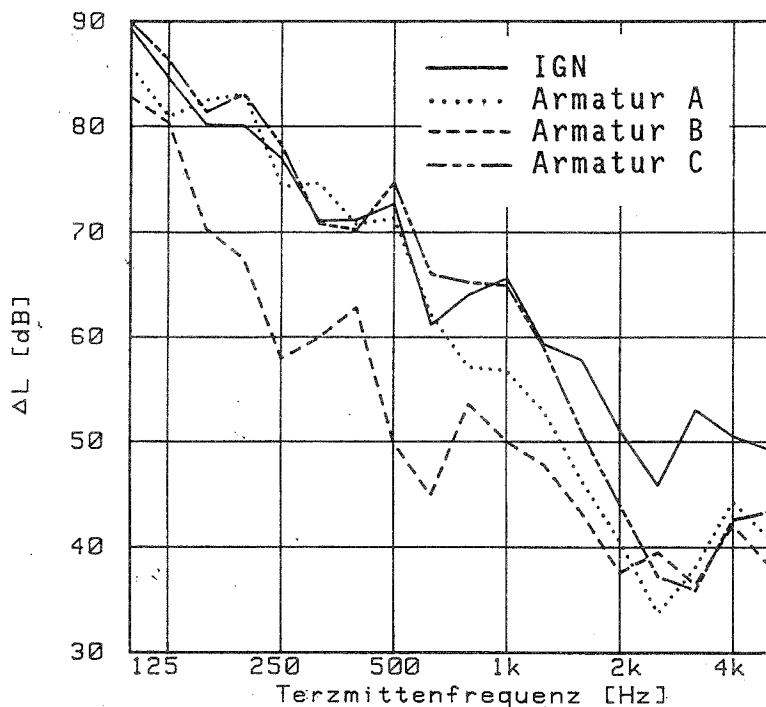


Bild 35: Wasserschall-/Körperschall-Relation für IGN und Armaturen (Umstellgeräusch W→B, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)
Messungen am Spiralprüfstand, MP 1

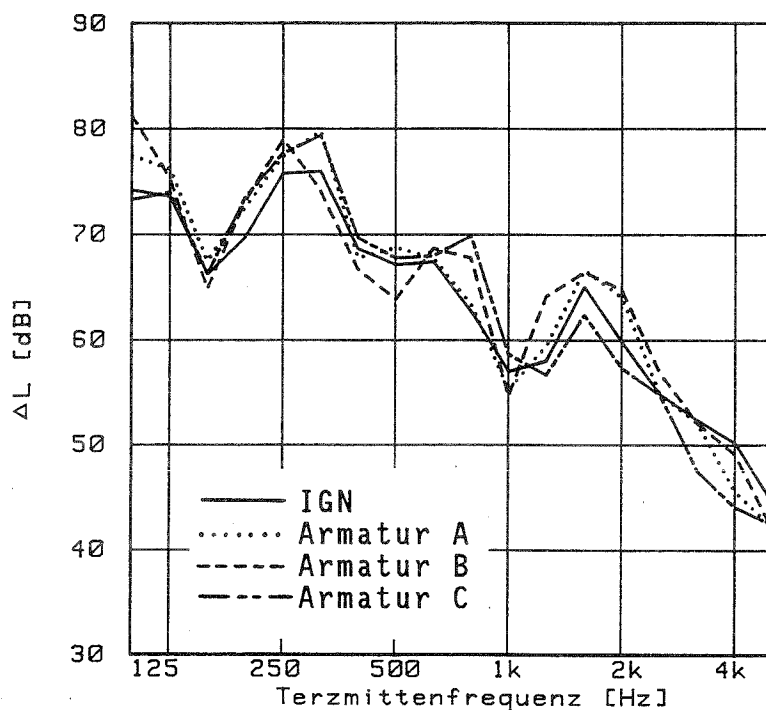


Bild 36: Wasserschall-/Körperschall-Relation für IGN und Armaturen (Umstellgeräusch W→B, 0,3 MPa, misch, voll geöffnet)
Messungen am Spiralprüfstand, MP 17

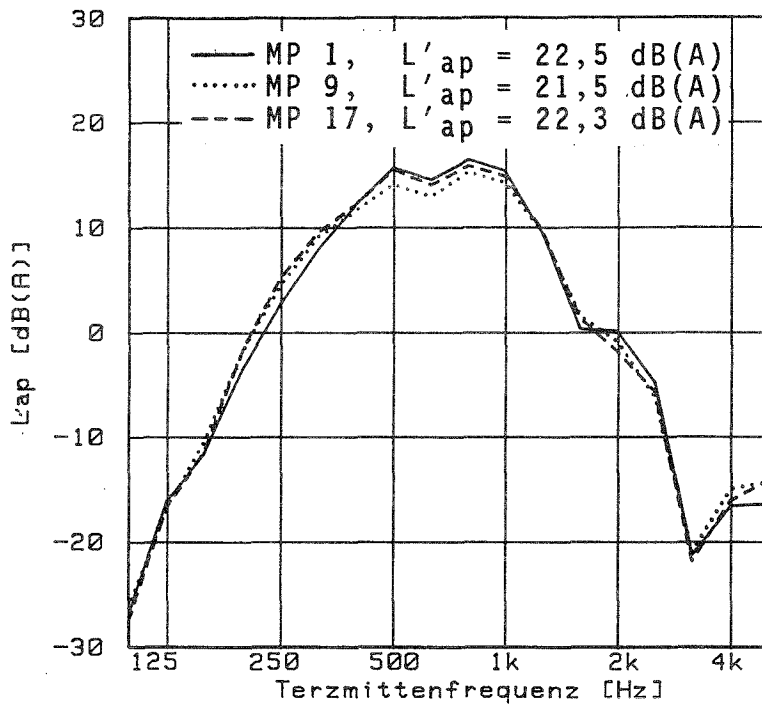


Bild 37: Armaturengeräuschpegel am Spiralprüfstand, ermittelt aus Wasserschall an verschiedenen MP (Armatur C, Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

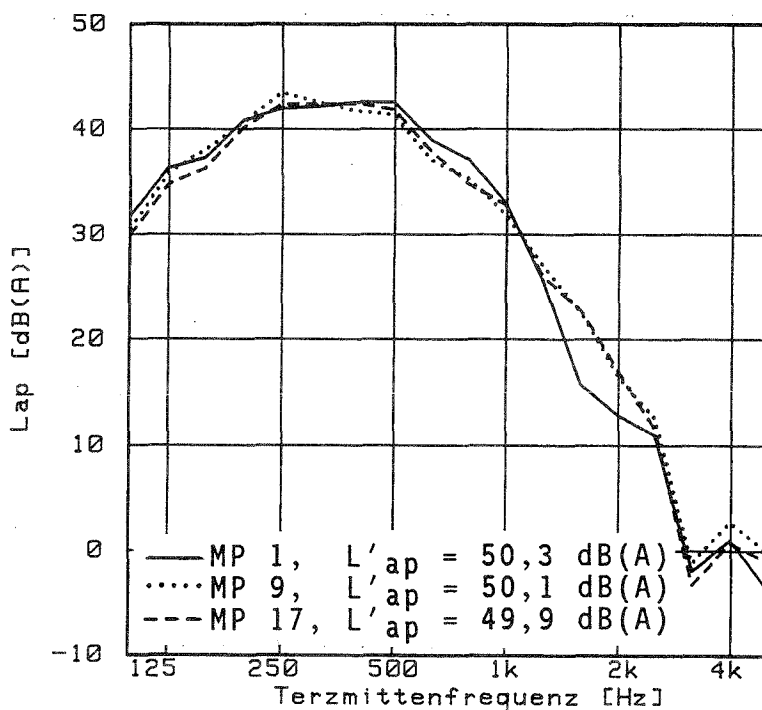


Bild 38: Armaturengeräuschpegel am Spiralprüfstand, ermittelt aus Wasserschall an verschiedenen MP (Armatur C, Umstellgeräusch W → B, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

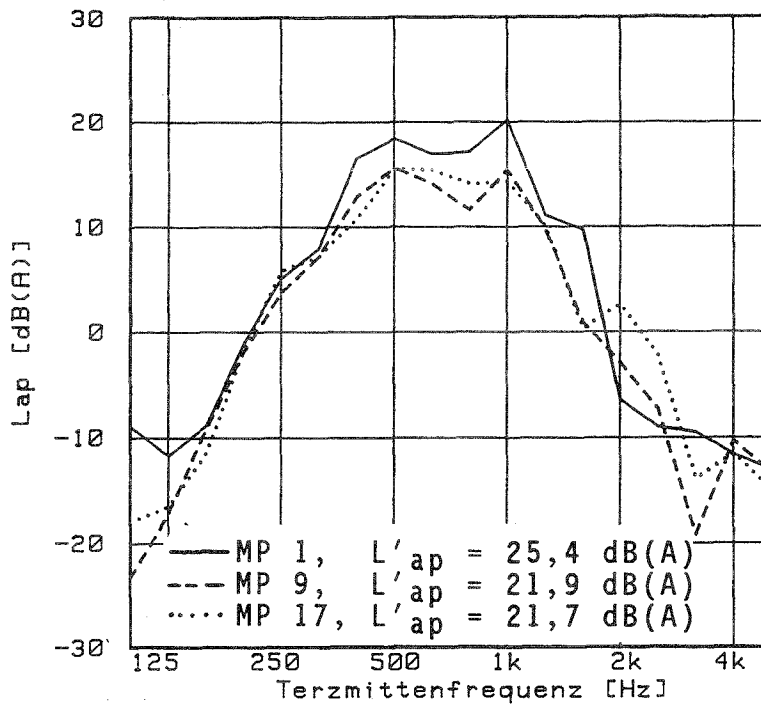


Bild 39: Armaturengeräuschpegel am Spiralprüfstand, ermittelt aus Körperschall an verschiedenen MP (Armatur C, Fließgeräusch Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

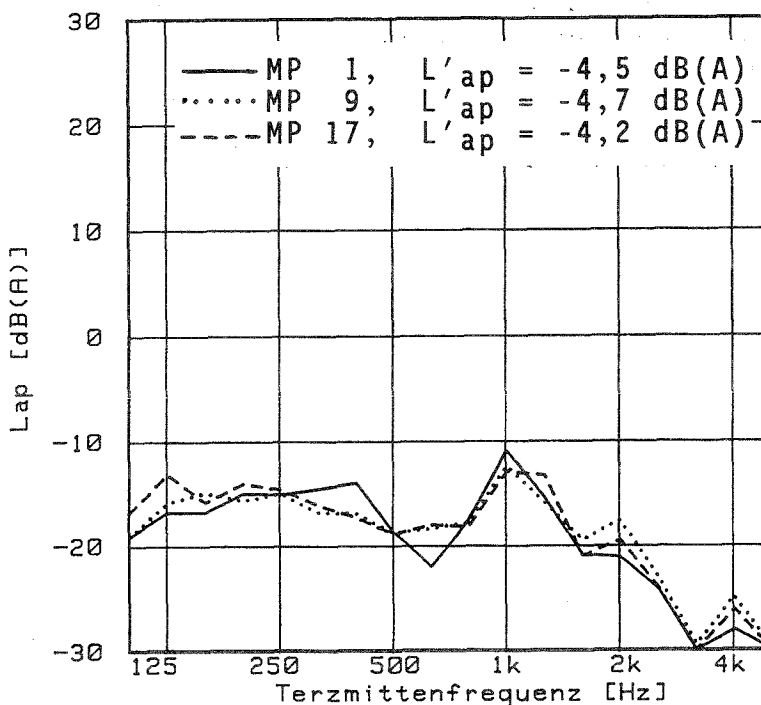


Bild 40: Armaturengeräuschpegel am Spiralprüfstand, ermittelt aus Wasserschall an verschiedenen MP (Armatur B, Fließgeräusch, Brause, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

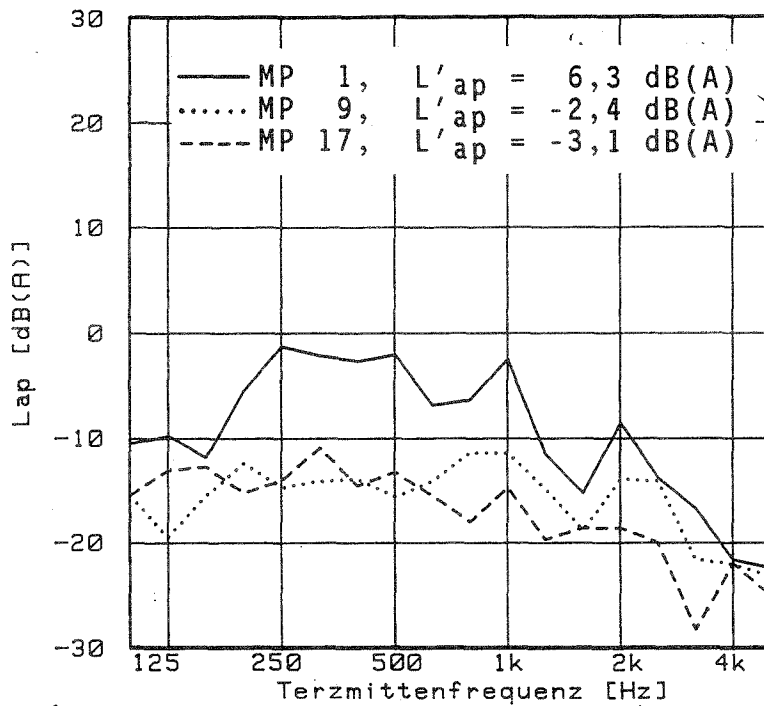


Bild 41: Armaturengeräuschpegel am Spiralprüfstand, ermittelt aus Körperschall an verschiedenen MP (Armatur B, Fließgeräusch Brause, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

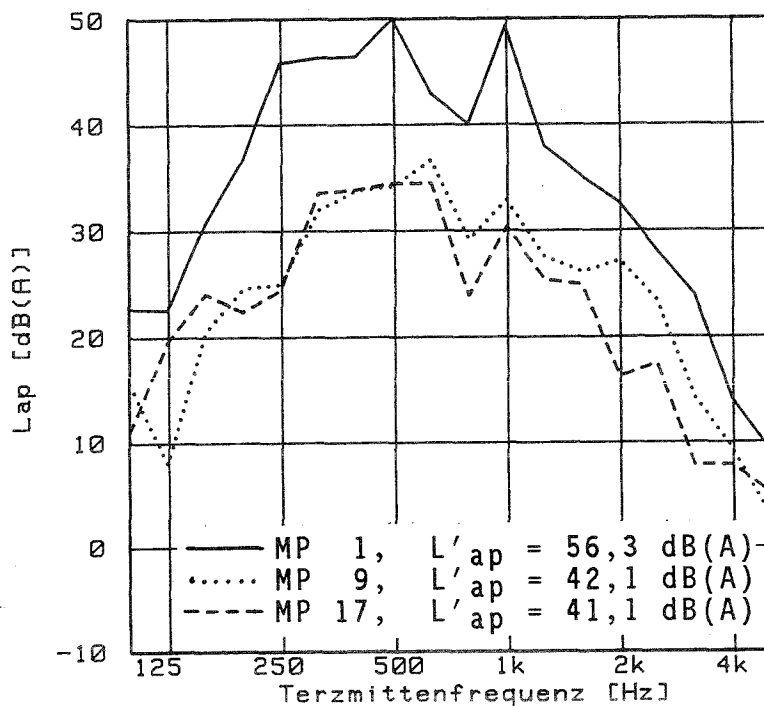


Bild 42: Armaturengeräuschpegel am Spiralprüfstand, ermittelt aus Körperschall an verschiedenen MP (Armatur B, Umstellgeräusch W → B, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

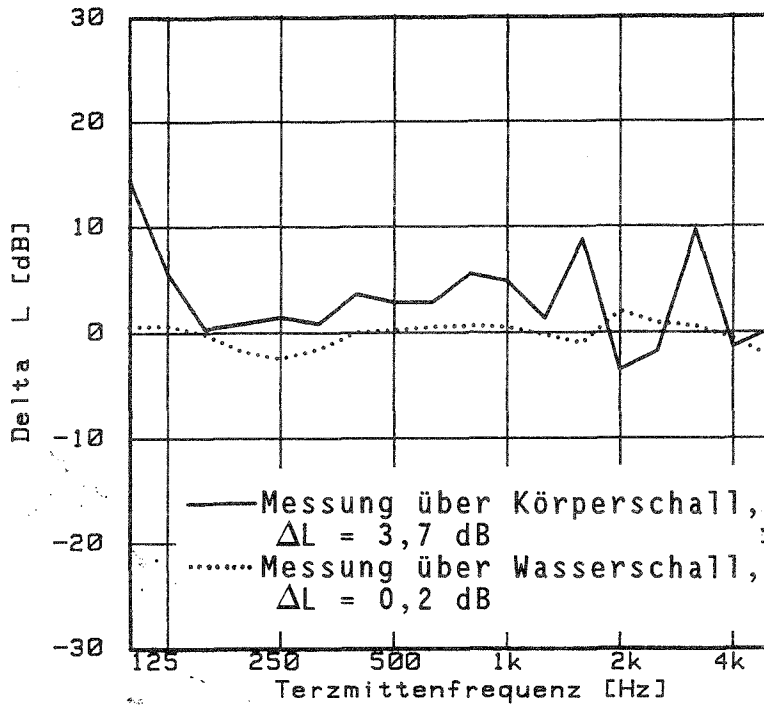


Bild 43: Ortsabhängigkeit des Armaturengeräuschpegels am Spiralprüfstand
 $\Delta L = L'_{ap} (MP1) - L'_{ap} (MP17)$
 (Armatur C, Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

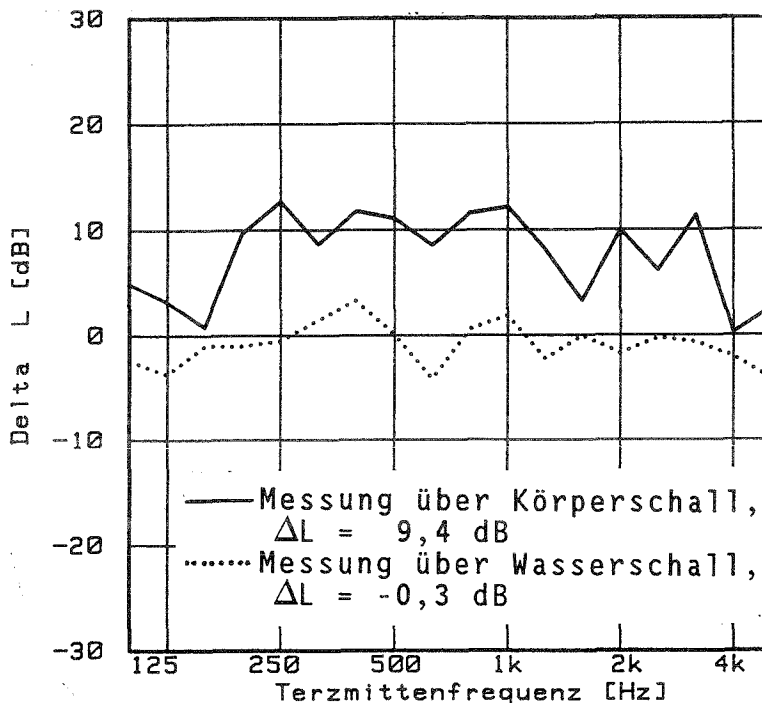


Bild 44: Ortsabhängigkeit des Armaturengeräuschpegels am Spiralprüfstand
 $\Delta L = L'_{ap} (MP1) - L'_{ap} (MP17)$
 (Armatur B, Fließgeräusch, Brause, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

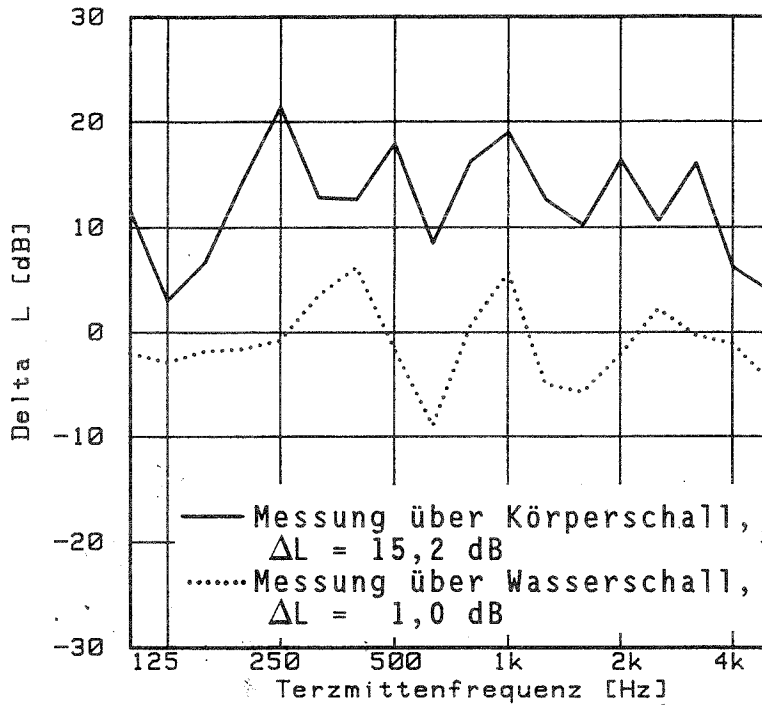


Bild 45: Ortsabhängigkeit des Armaturengeräuschpegels am Spiralprüfstand
 $\Delta L = L'_{ap} \text{ (MP1)} - L'_{ap} \text{ (MP17)}$
 (Armatur B, Umstellgeräusch W → B, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

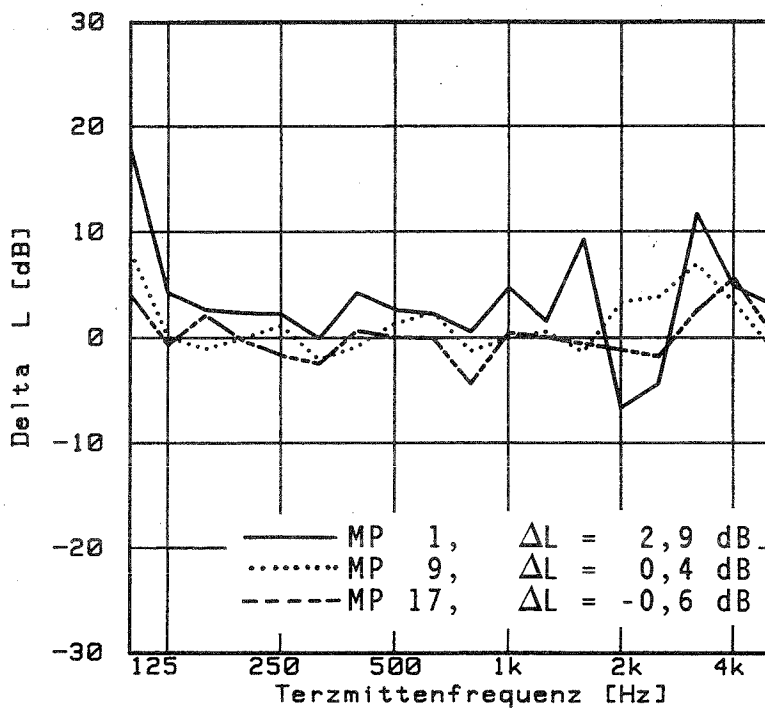


Bild 46: Unterschied zwischen Armaturengeräuschpegel aus Körperschall und Wasserschall an verschiedenen MP des Spiralprüfstandes
 $\Delta L = L'_{ap} \text{ (KS)} - L'_{ap} \text{ (WS)}$
 (Armatur C, Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

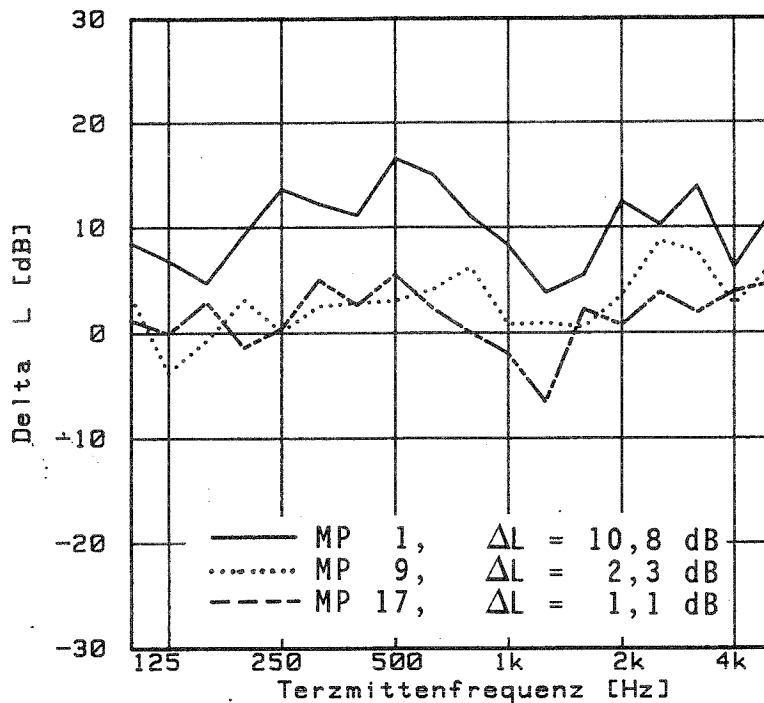


Bild 47: Unterschied zwischen Armaturengeräuschpegel aus Körperschall und Wasserschall an verschiedenen MP des Spiralprüfstandes
 $\Delta L = L'_{ap} (KS) - L'_{ap} (WS)$
 (Armatur B, Fließgeräusch, Brause, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

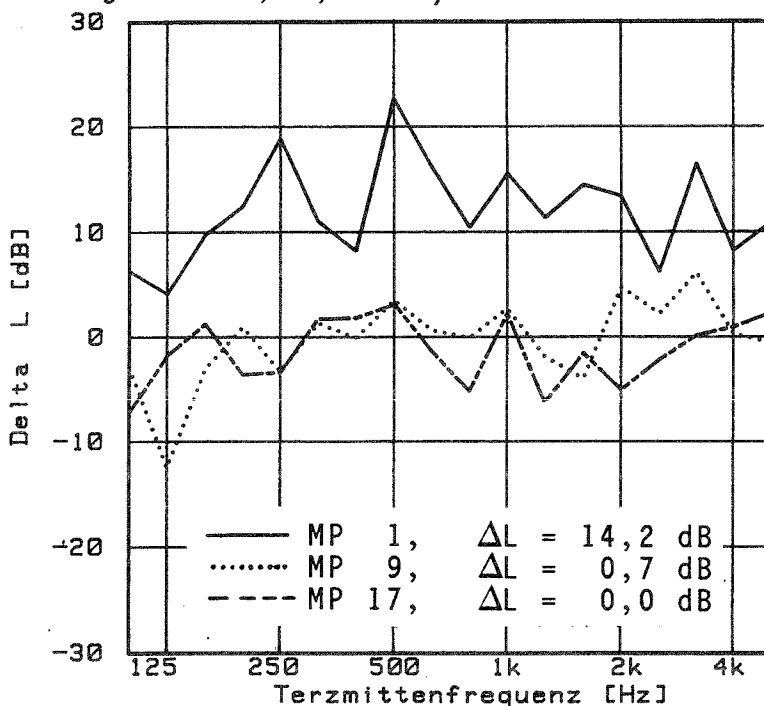


Bild 48: Unterschied zwischen Armaturengeräuschpegel aus Körperschall und Wasserschall an verschiedenen MP des Spiralprüfstandes
 $\Delta L = L'_{ap} (KS) - L'_{ap} (WS)$
 (Armatur B, Umstellgeräusch, W \rightarrow B, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

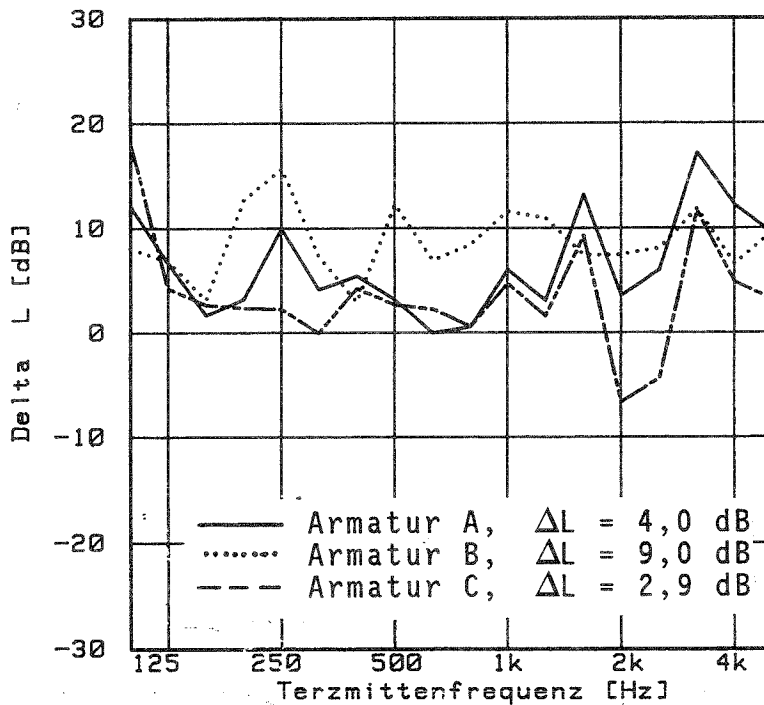


Bild 49: Unterschied zwischen Armaturengeräuschpegel aus Körperschall und Wasserschall für verschiedene Armaturen an MP 1 des Spiralprüfstandes,
 $\Delta L = L'_{ap} (KS) - L'_{ap} (WS)$
 (Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

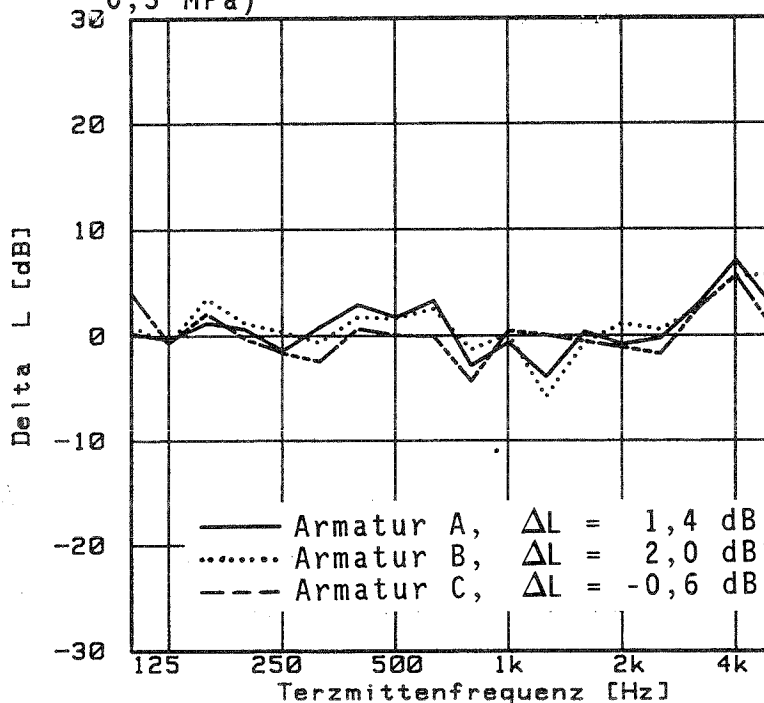


Bild 50: Unterschied zwischen Armaturengeräuschpegel aus Körperschall und Wasserschall für verschiedene Armaturen an MP 17 des Spiralprüfstandes,
 $\Delta L = L'_{ap} (KS) - L'_{ap} (WS)$
 (Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

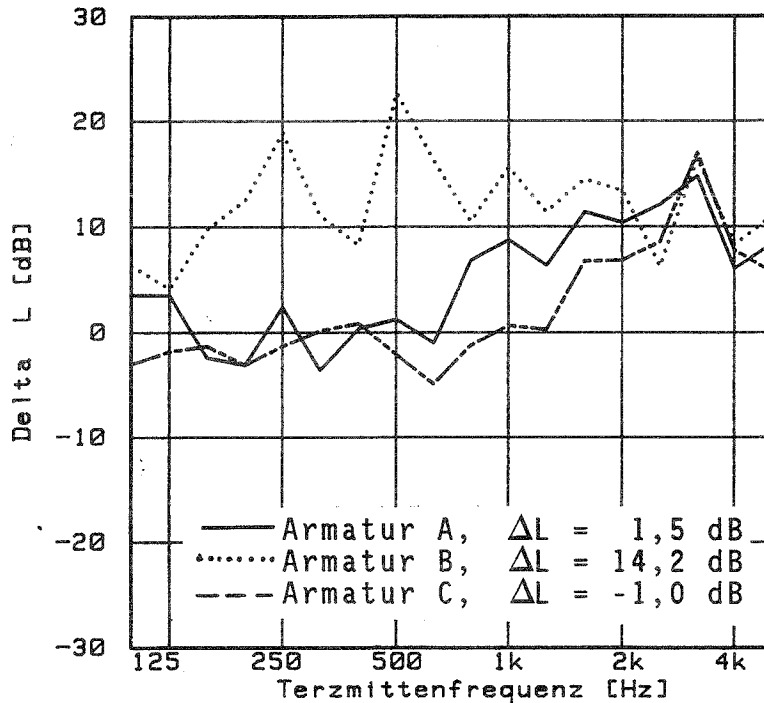


Bild 51: Unterschied zwischen Armaturengeräuschpegel aus Körperschall und Wasserschall für verschiedene Armaturen an MP 1 des Spiralprüfstandes,
 $\Delta L = L'_{ap} (KS) - L'_{ap} (WS)$
 (Umschaltgeräusch, W → B, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

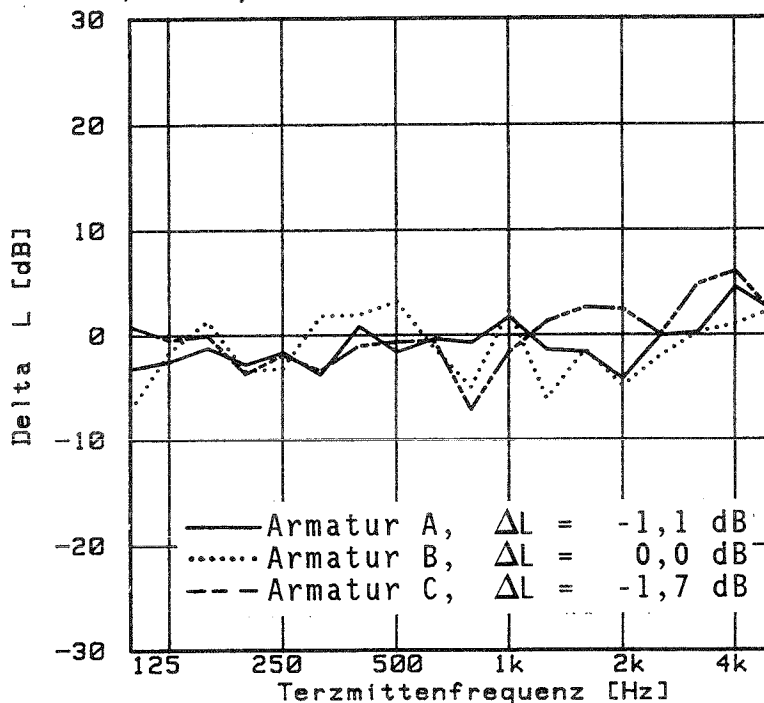
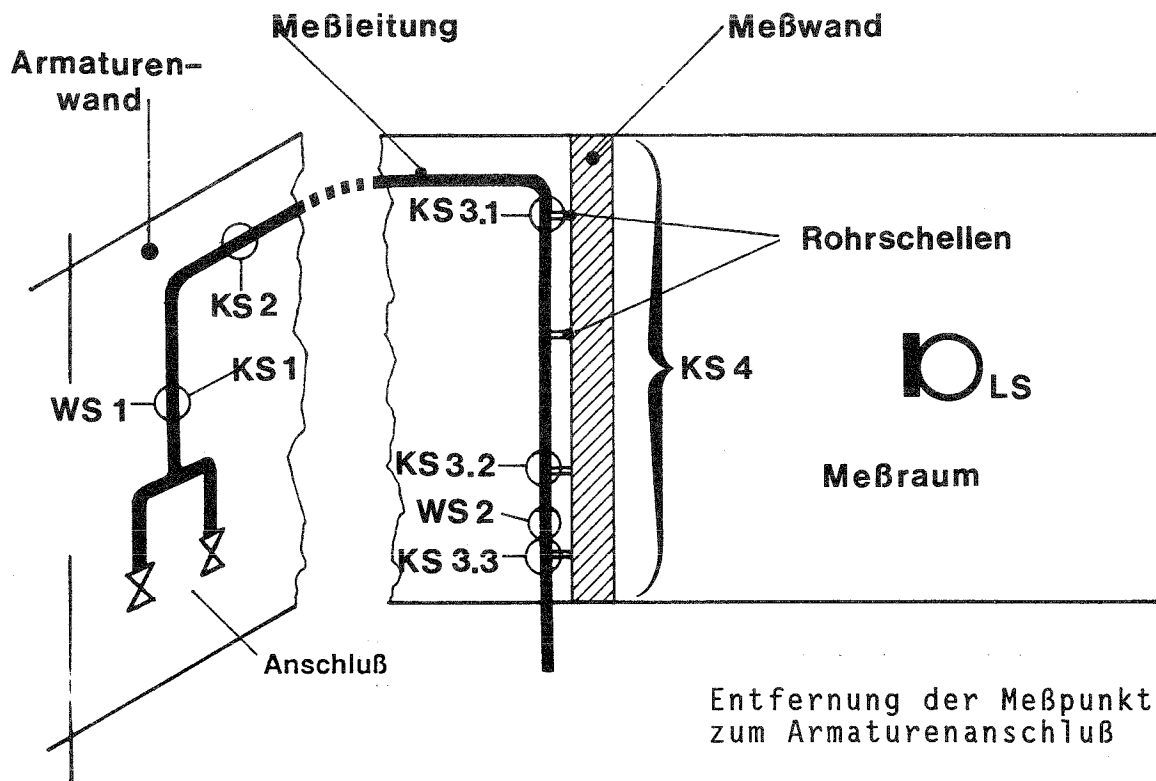


Bild 52: Unterschied zwischen Armaturengeräuschpegel aus Körperschall und Wasserschall für verschiedene Armaturen an MP 17 des Spiralprüfstandes,
 $\Delta L = L'_{ap} (KS) - L'_{ap} (WS)$
 (Umschaltgeräusch, W → B, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)



Entfernung der Meßpunkte zum Armaturenanschluß

KS 1, WS1:	1,65 m
KS 2,	5,30 m
KS 3.1	7,90 m
KS 3.2	9,20 m
KS 3.3	10,25 m
WS 2	10,15 m

KS 1 } Körperschall-Meßpunkte
 KS 2 } auf der Meßleitung
 KS 3 }

KS3.1....KS3.3: bei den Rohrschellen der Meßleitung

KS 4: Körperschallmeßpunkte auf der Meßwand

WS 1 } Wasserschall-Meßpunkte
 WS 2 } an der Meßleitung

LS: Luftschallmessung im Meßraum

Bild 53: Prinzipskizze zur Bestimmung des Armaturengeräuschpegels entlang des IBP-Normprüfstandes

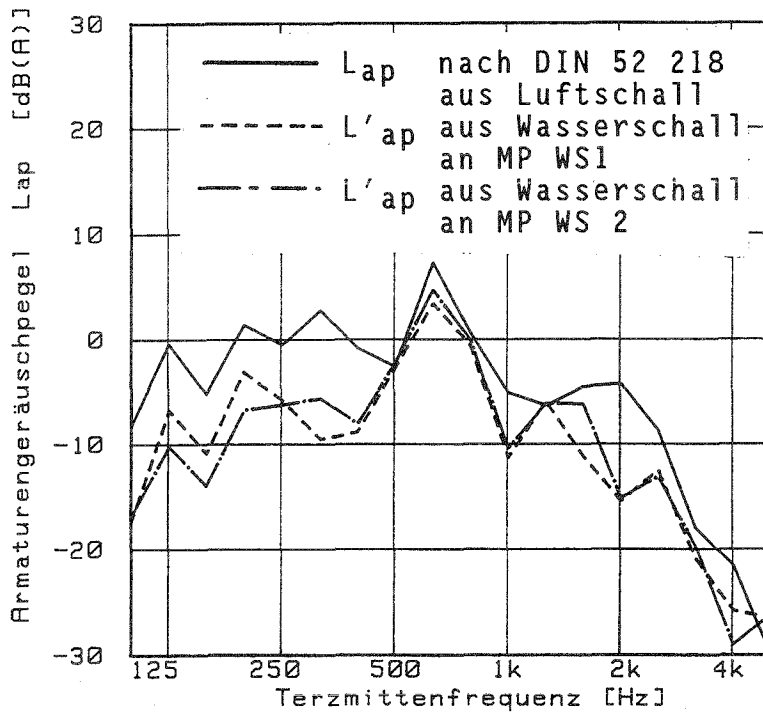


Bild 54: Armaturengeräuschpegel am Normprüfstand, ermittelt aus Luftschall und Wasserschall (Armatur B, Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

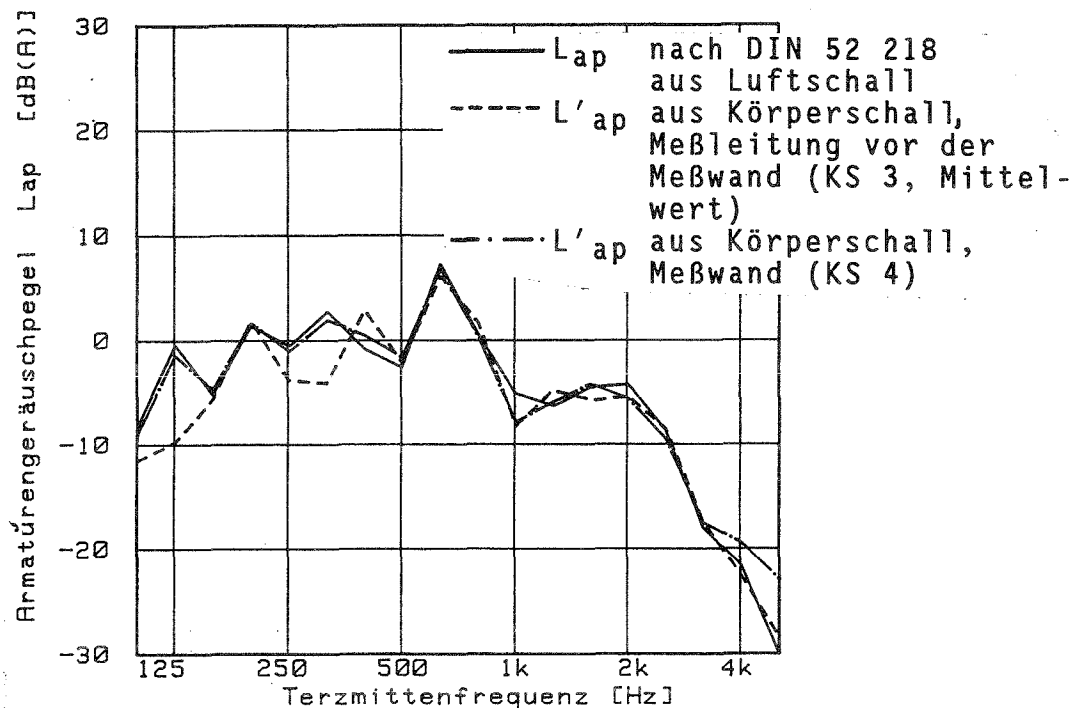
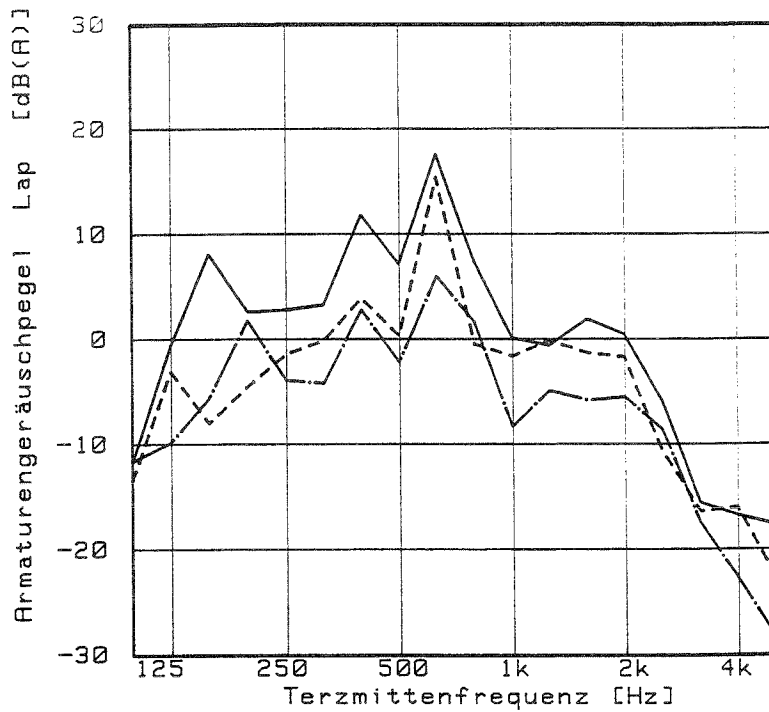


Bild 55: Armaturengeräuschpegel am Normprüfstand, ermittelt aus Luftschall und Körperschall (Armatur B, Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)



- L'ap aus Körperschall, Meßleitung, KS1
- - - L'ap aus Körperschall, Meßleitung, KS2
- · - L'ap aus Körperschall, Meßleitung, KS3
(Mittelwert)

Bild 56: Armaturengeräuschpegel am Normprüfstand, ermittelt aus Körperschall (Armatur B, Fließgeräusch, Wanne, misch, voll geöffnet, 0,3 MPa)

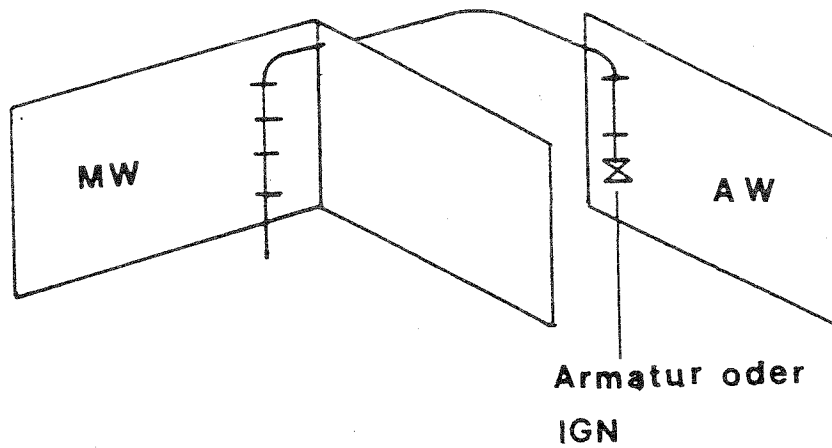
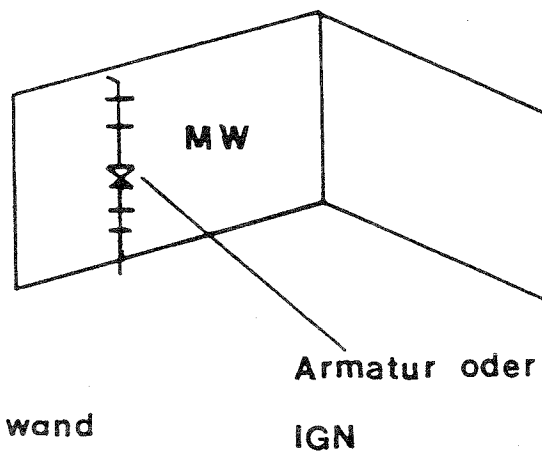


Bild 57a: Messung mit getrennter Anordnung von Armaturenanschluß und Meßwand gemäß DIN 52 218



MW: Messwand
AW: Armaturenwand

Bild 57b: Messung mit Armaturenanschluß direkt an der Meßwand

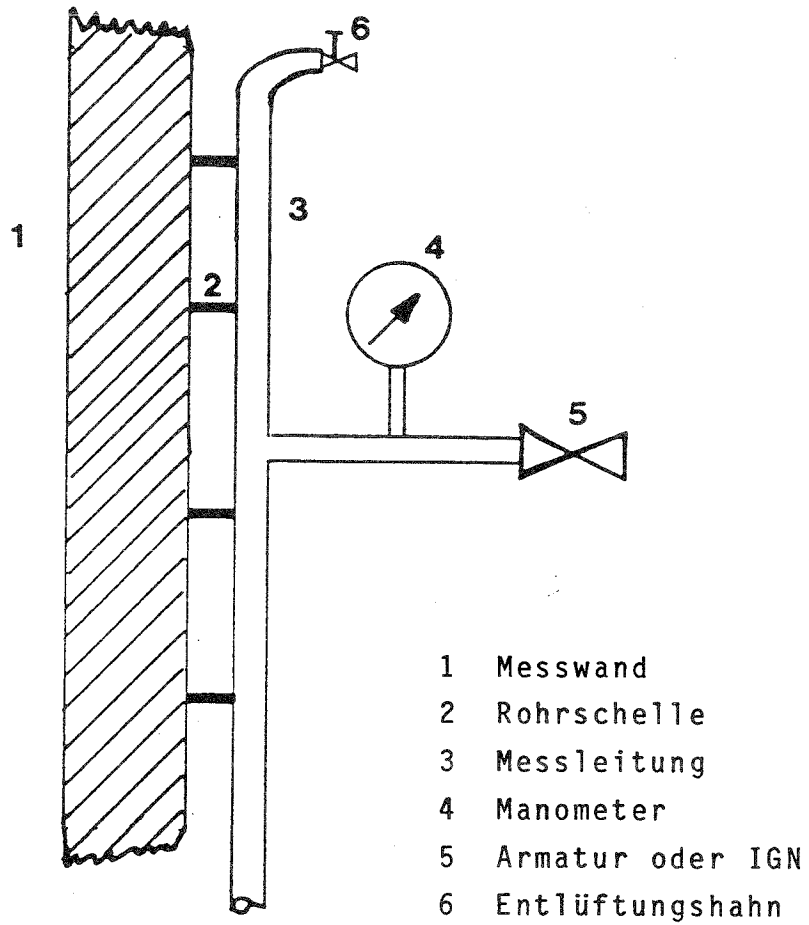


Bild 58: Prüfanordnung mit Armaturenanschluß direkt vor der Meßwand

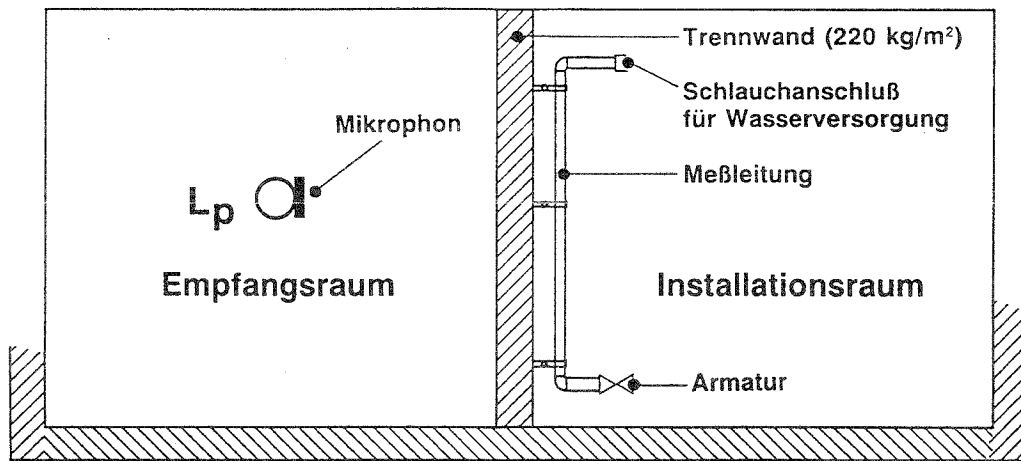


Bild 59: Meßanordnung zur Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Rohrmaterialien

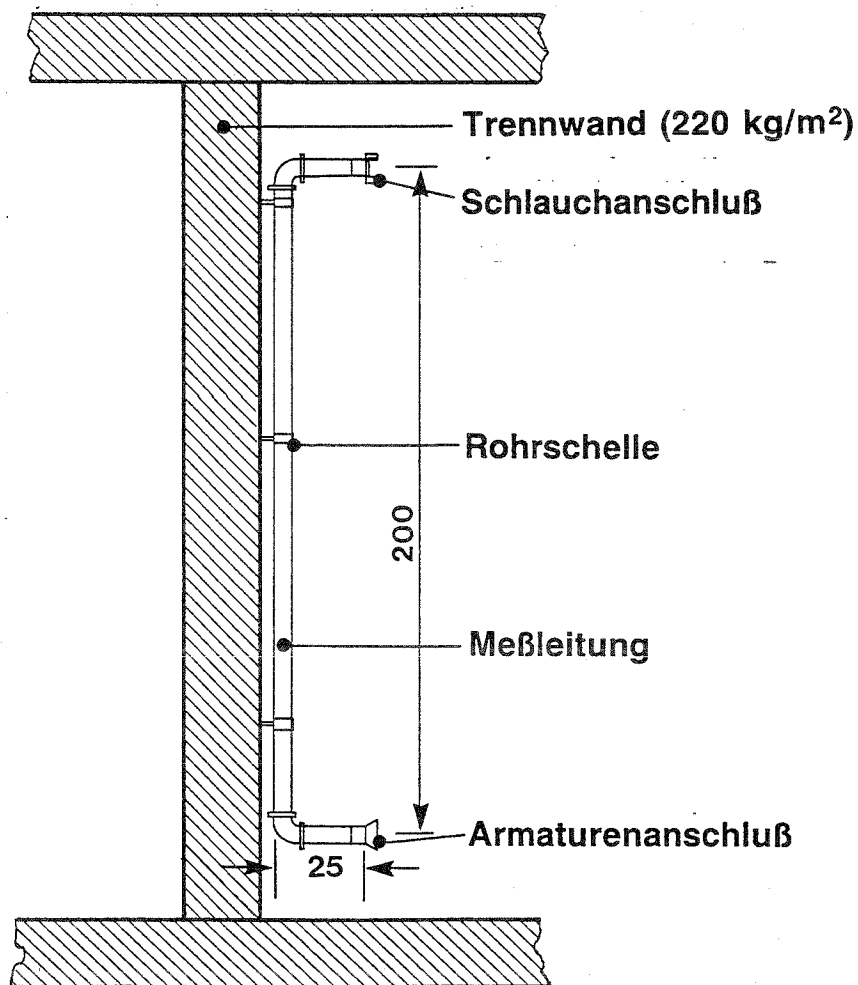


Bild 60: Gestaltung der Meßleitungen (Maßangaben in cm)

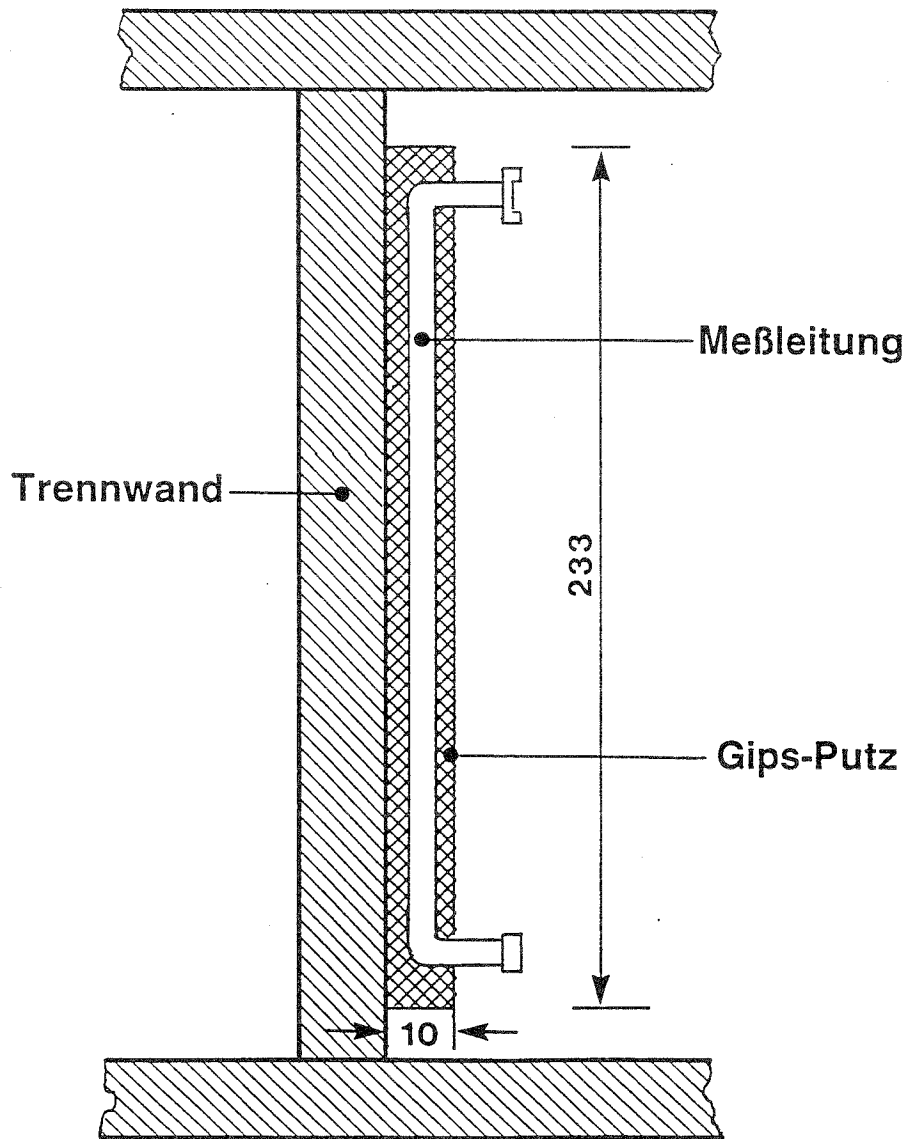


Bild 61: Verlegung der Meßleitung bei Unterputz-Montage (Maßangaben in cm)

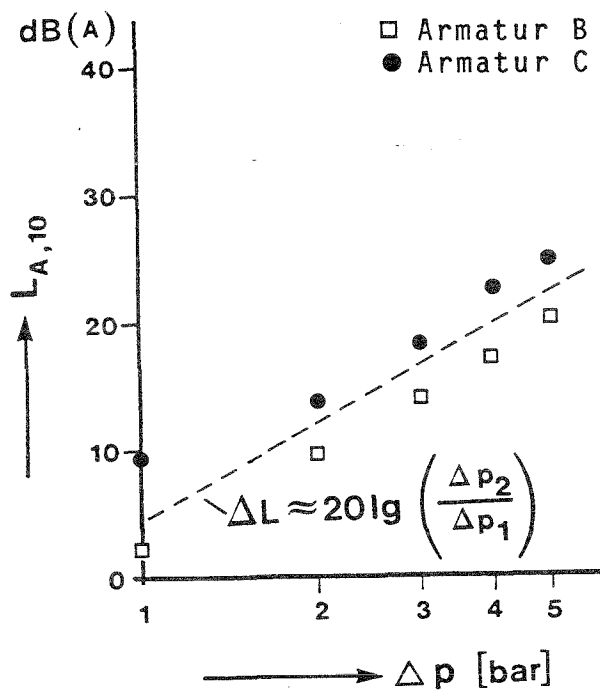


Bild 62: Installationsgeräusch verschiedener Armaturen bei Meßleitung aus Kupferrohr (Rohrschellen-Montage) (Fließgeräusch 0,5 MPa) (Luftschallmessung im Empfangsraum)

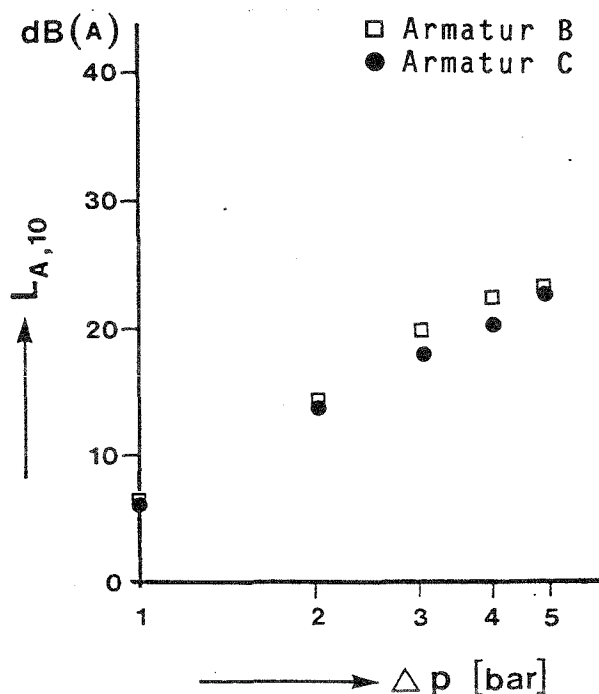


Bild 63: Installationsgeräusch verschiedener Armaturen bei Meßleitung aus Stahlrohr (Rohrschellen-Montage) (Fließgeräusch 0,5 MPa) (Luftschallmessung im Empfangsraum)

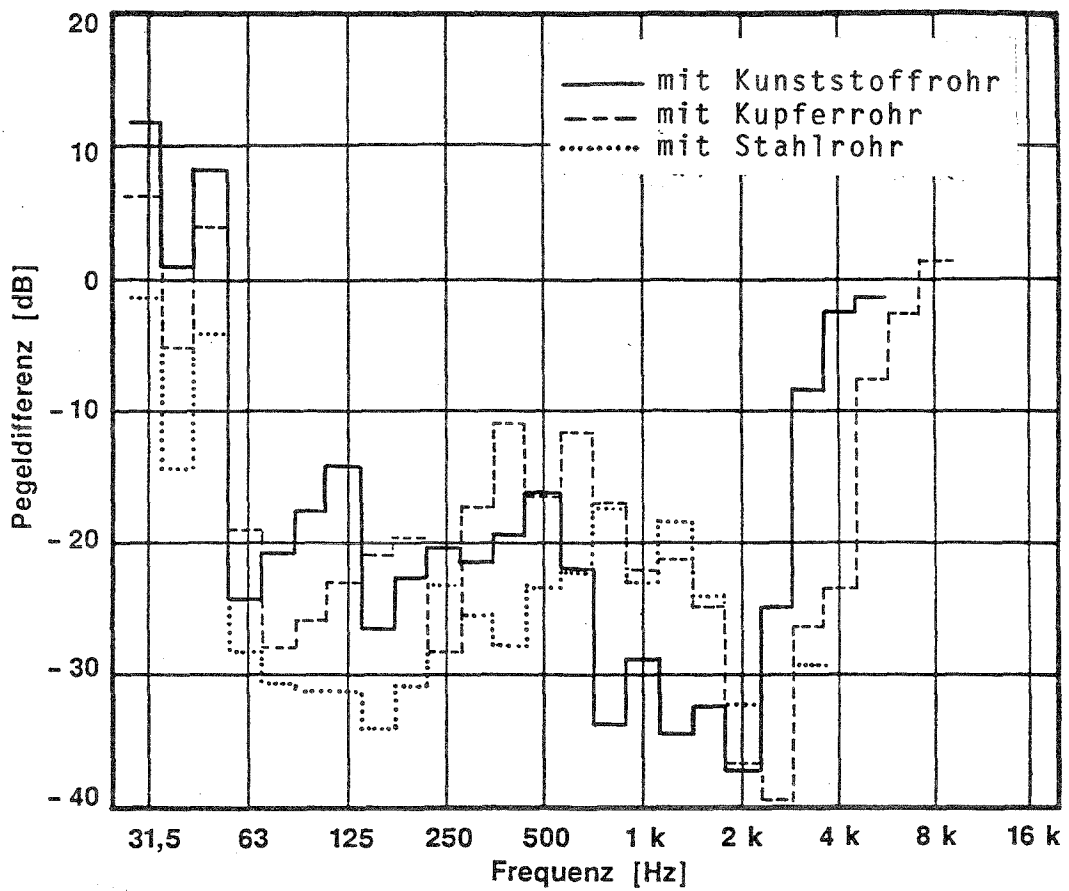


Bild 64: Pegeldifferenz zwischen Armatur C (Fließgeräusch) und IGN für verschiedene Meßleitungen bei Rohrschellen-Montage (Luftschallmessung im Empfangsraum)

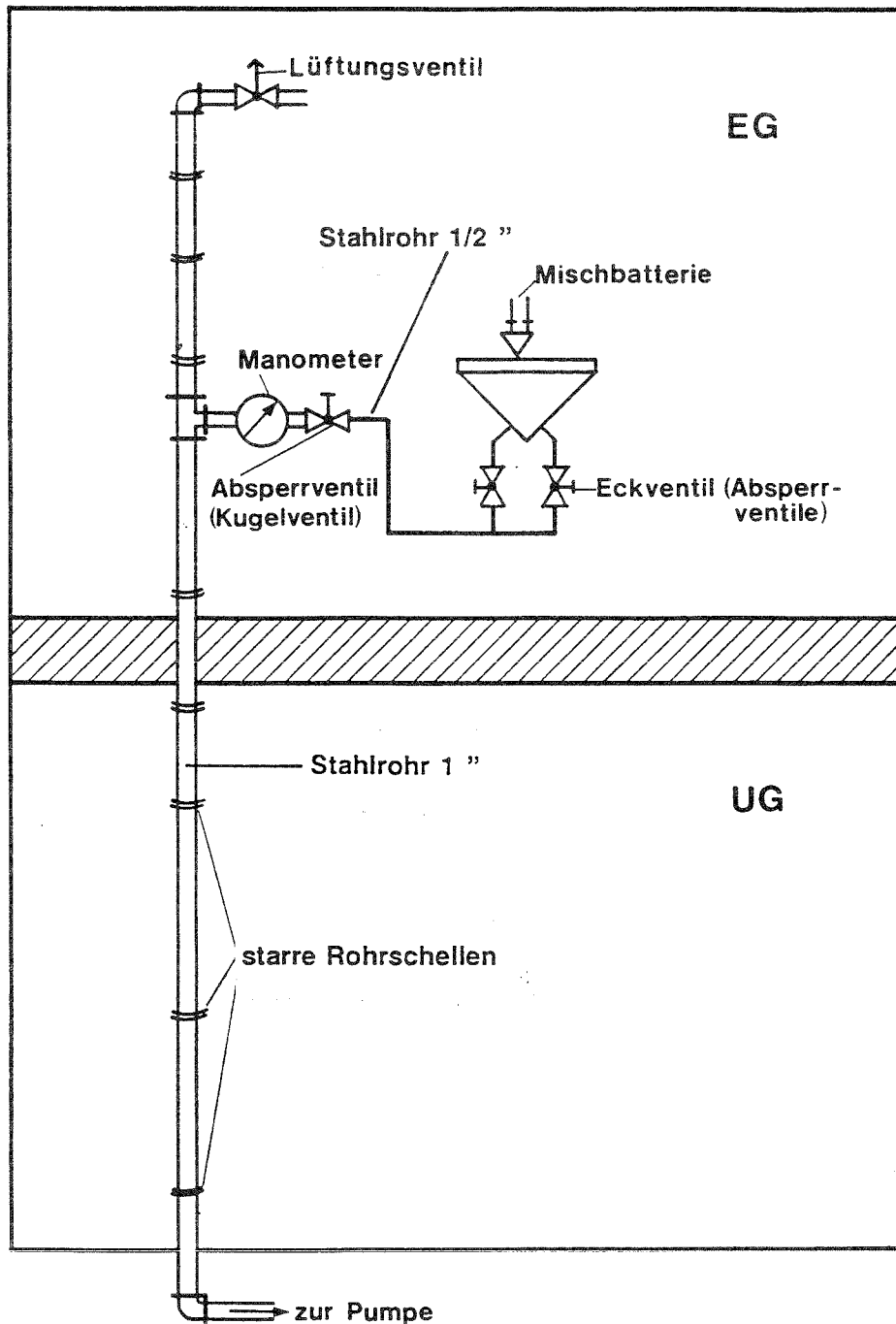


Bild 65: Musterinstallation im Installationsprüfstand für Waschtisch-Batterie

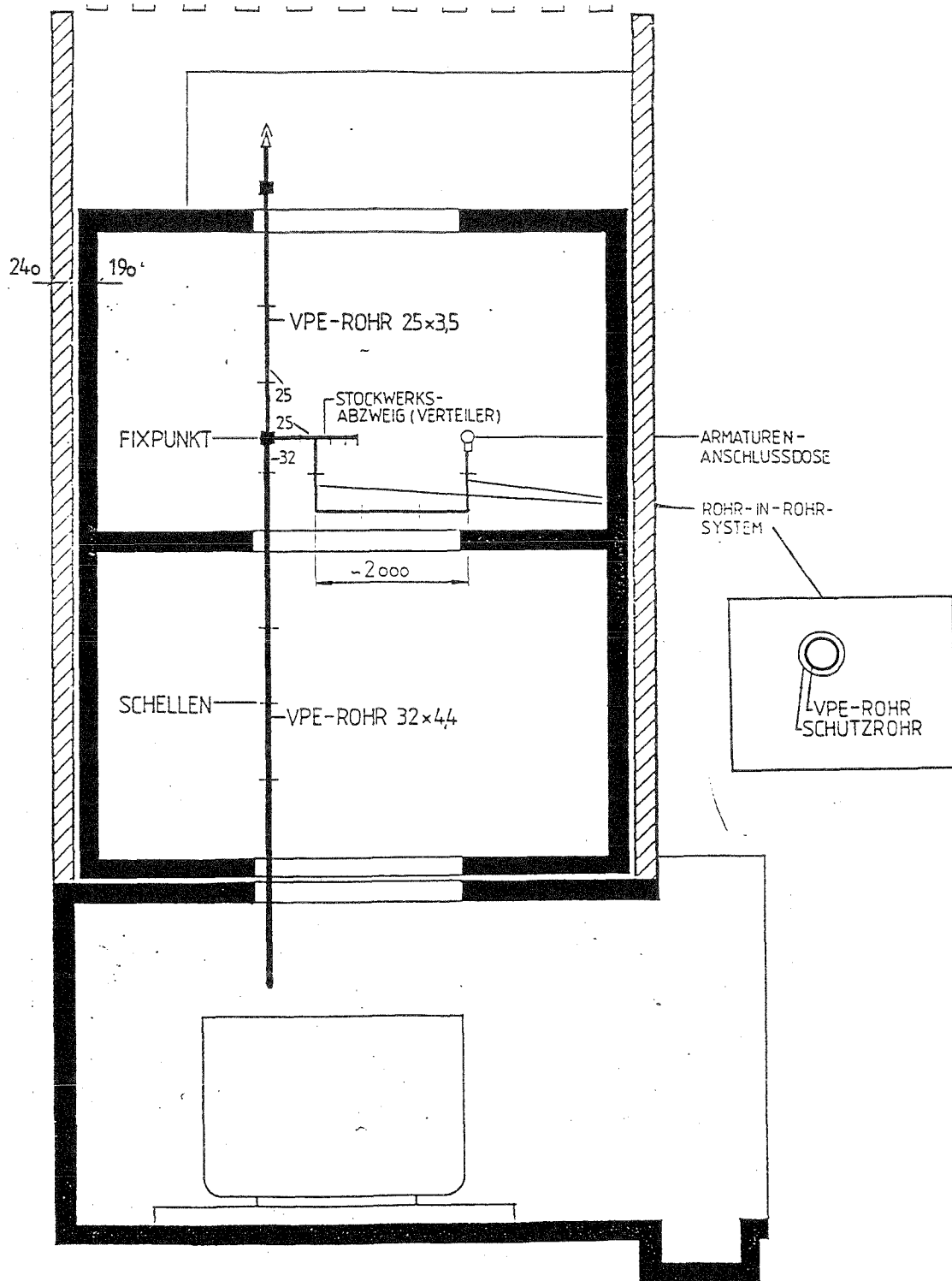


Bild 66: Musterinstallation im Installationsprüfstand für Rohr-in-Rohr-System

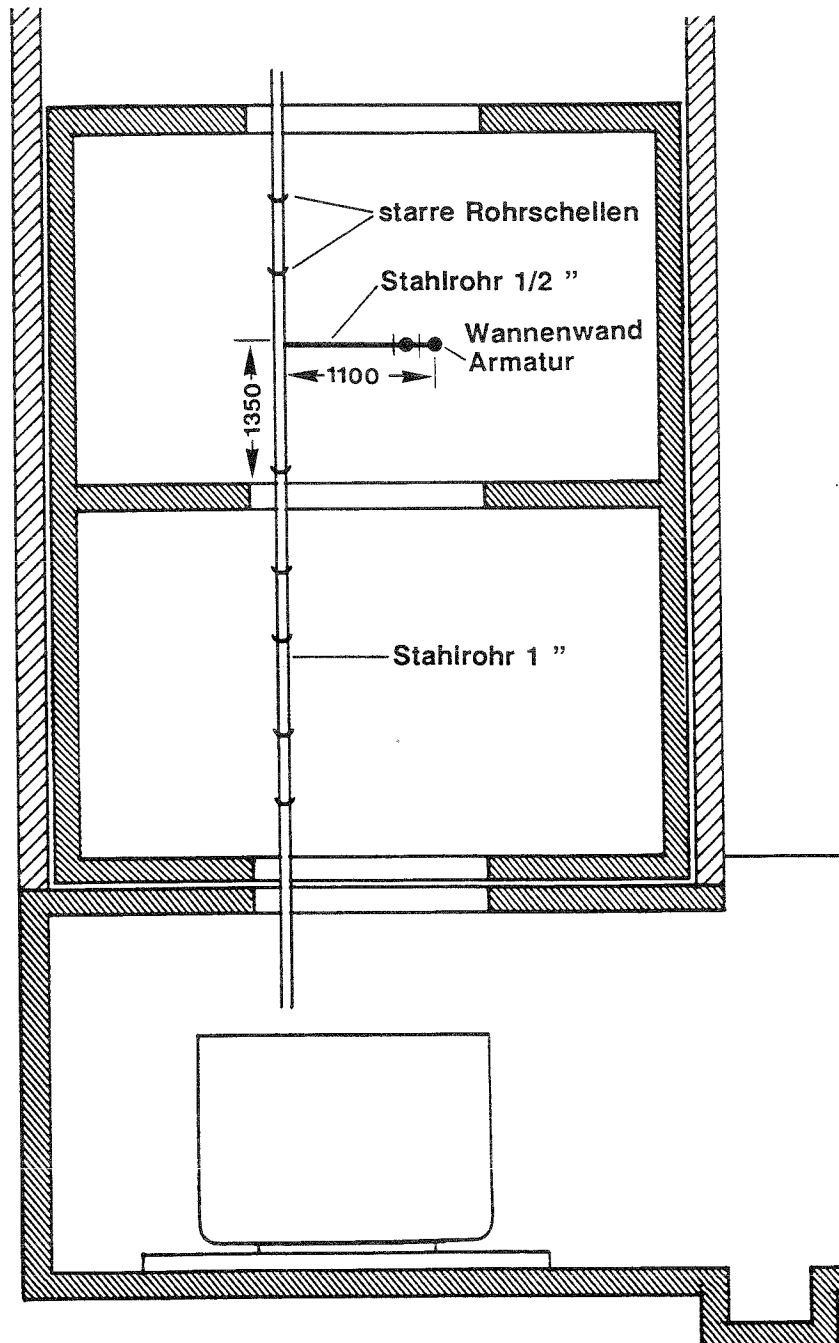


Bild 67: Musterinstallation im Installationsprüfstand für Wannenwandbatterie

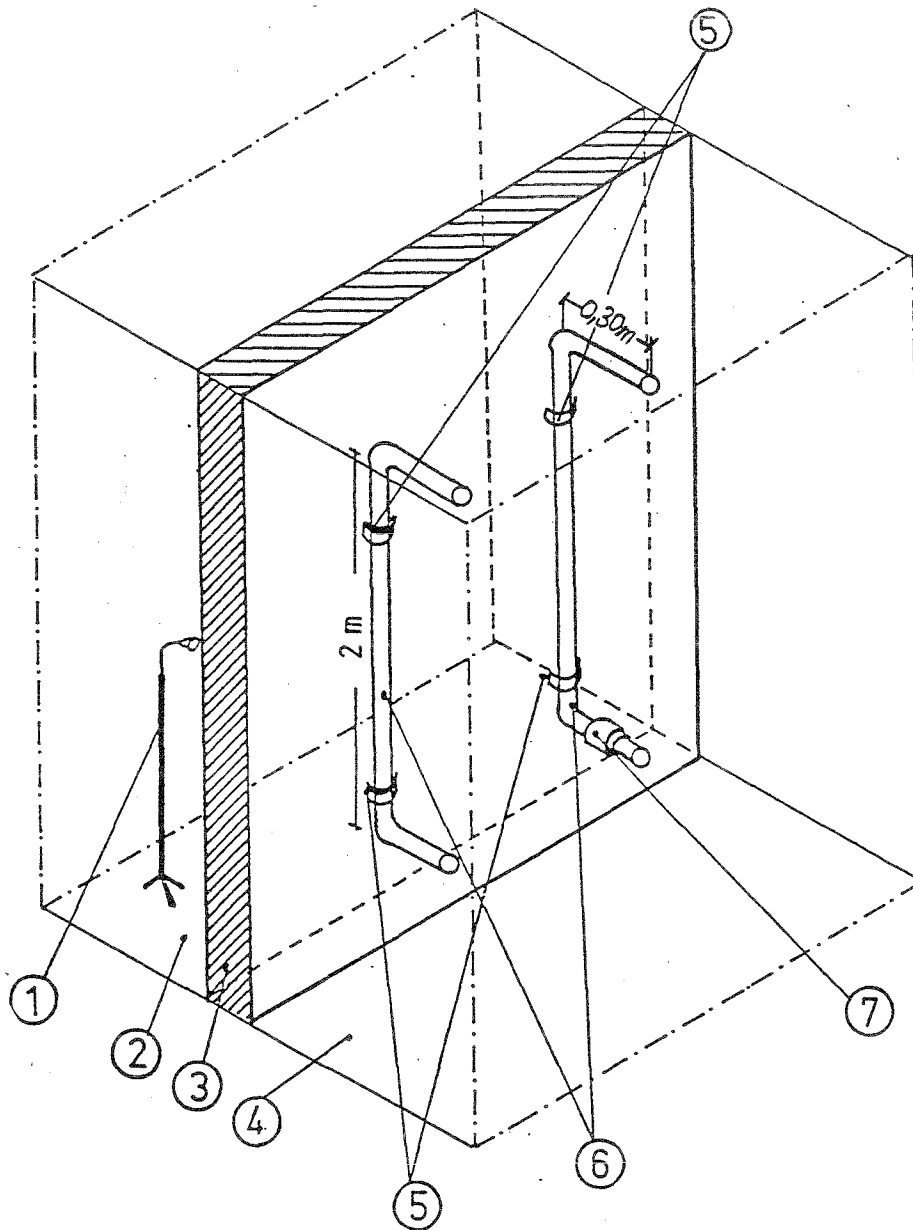


Bild 68: Meßaufbau zur Untersuchung der Einfügungsdämmung von Rohrschellen

- | | |
|--------------------------------------|--|
| 1. Mikrophon | 5 Rohrschelle (isoliert, nicht isoliert) |
| 2 Empfangsraum | 6 1"-Rohrleitung, St |
| 3 Trennwand (220 kg/m^2) | 7 IGN oder Armatur |
| 4 Senderraum | |

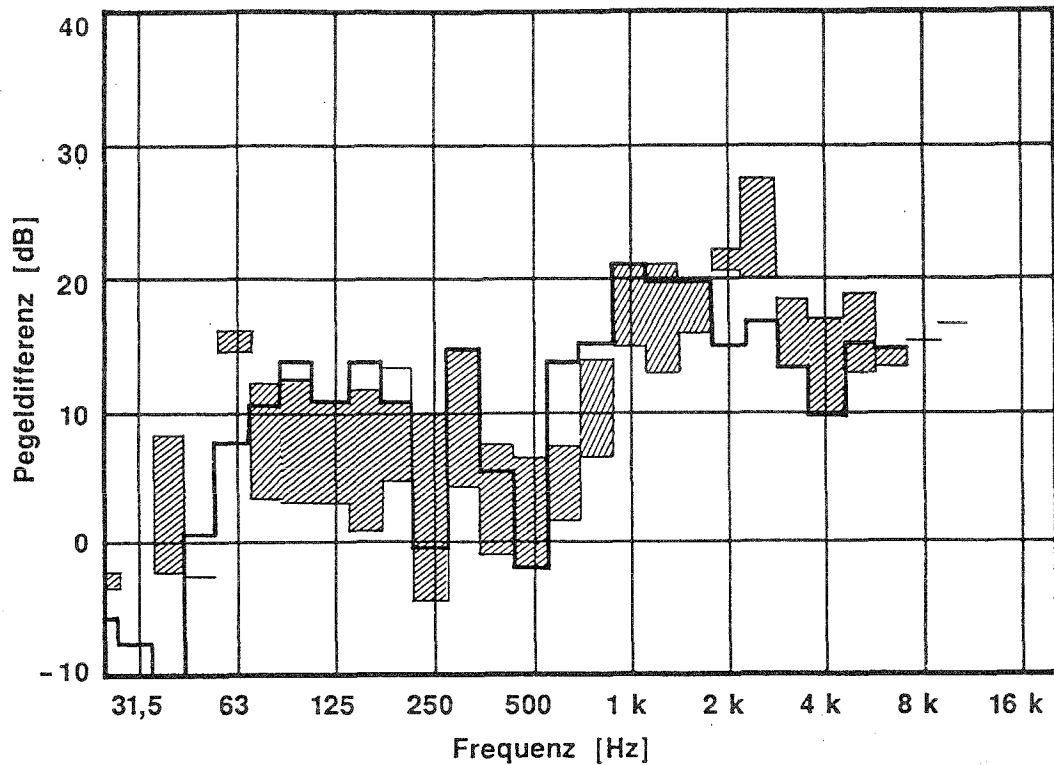


Bild 69: Einfügungsdämmung D_e einer isolierten Rohrschelle mit Hohlkammerprofil bei unterschiedlichen Schallquellen
 schraffiert: Streubereich von D_e für Anregung mit verschiedenen Armaturen
 durchgezogene Linie: D_e für Anregung mit IG

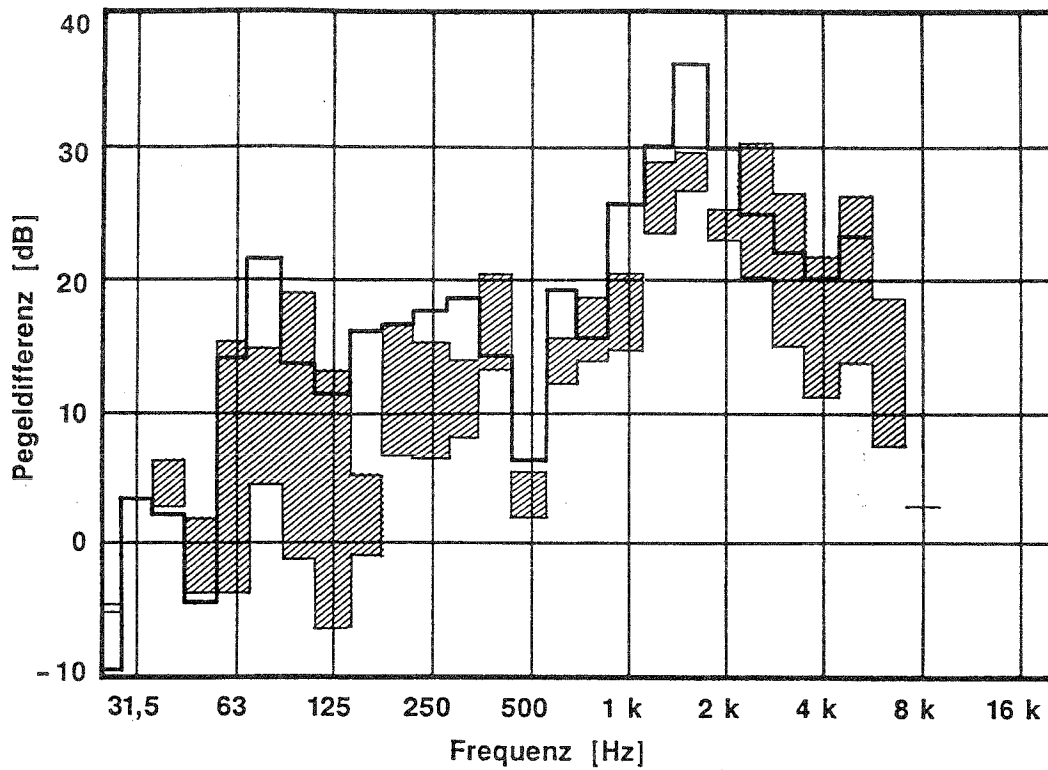


Bild 70: Einfügungsdämmung D_e einer isolierten Rohrschelle mit Siliconprofilgummi bei unterschiedlichen Schallquellen
 schraffiert: Streubereich von D_e für Anregung mit verschiedenen Armaturen
 durchgezogene Linie: D_e für Anregung mit IGN

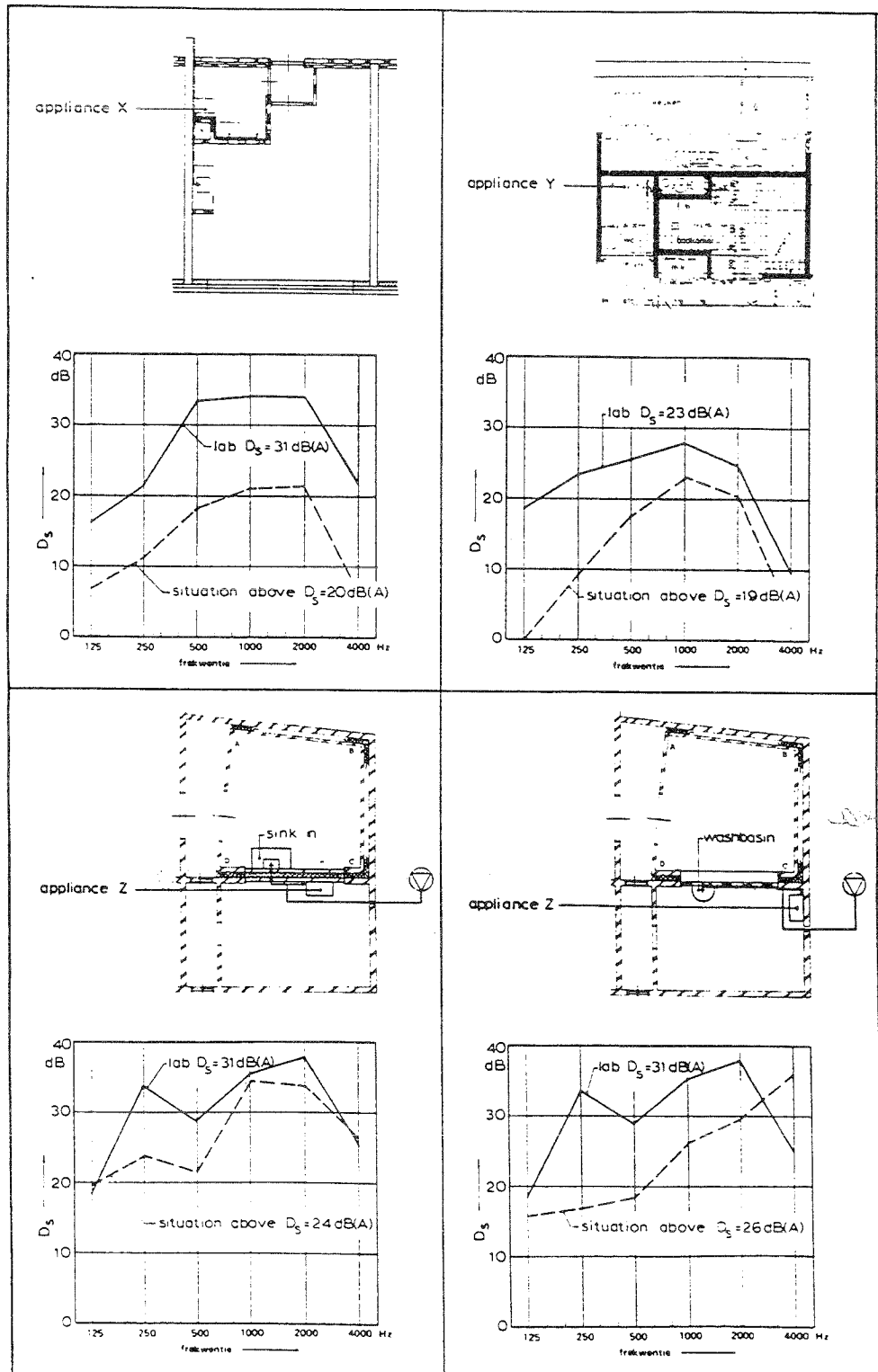


Bild 71: Vergleich der Schallpegel-Differenzen D_{sn} und D_s im Labor und im Bau (entnommen [15])

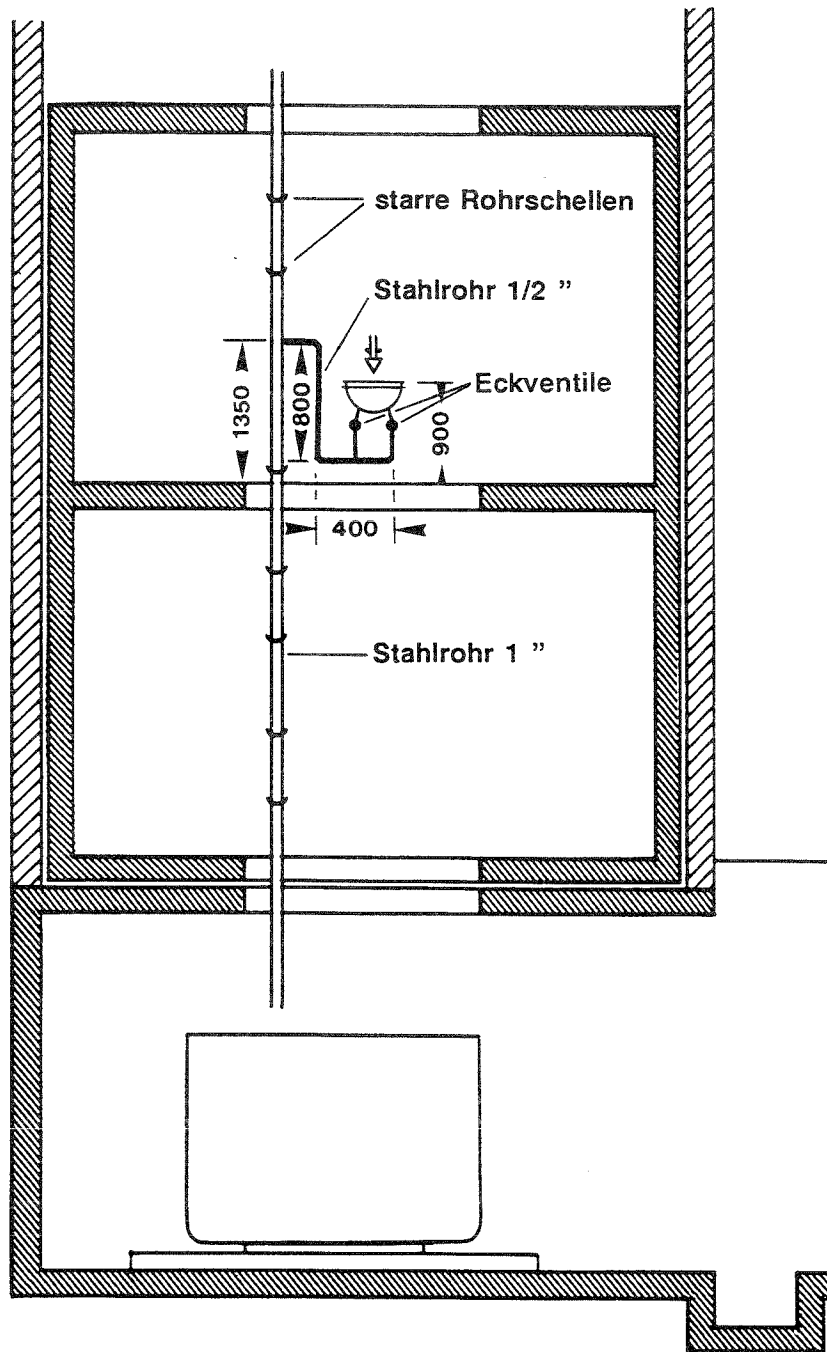


Bild 72: Waschtisch-Installation im Installationsprüfstand zur Analyse von Körperschallübertragungswegen