



Dieser Bericht ist vertraulich zu behandeln.
Wer diese Geheimhaltung nicht wahren will,
setzt sich der Gefahr aus, dass seine Ver-
traulichkeit und seine Stellung aus-
ser Acht gelassen werden.

0281

Geheim

Arbeitsgruppe Prüfstandgeräusche

**Bericht über die Tagung
in Stuttgart am 24. und 25. Juni 1938**

Bericht A57/2

10292

Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung
Berlin W62 · Keithstr. 8/9 · Fernruf: 25 33 53

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Einführung	3
 Vorträge und zugehörige Aussprachen	
„Grundlagen, Erfahrungen und Ergebnisse bei der Schalldämpfung von Motorenprüfständen“. Von W. Zeller, Berlin	3
Aussprache	6
„Eine Wandbekleidung mit hoher Schallschluckung für Prüfstände“. Von W. Willms, Berlin	6
Aussprache	8
„Schalldämpfte Prüfstände“. Von H. Berrer, Stuttgart	8
Aussprache	13
„Schalldämpfte Prüfstände im Ausland“. Von F. v. Schmoller, Rechlin	13
Aussprache	14
„Vergleichende Schallmessungen an verschiedenen Prüfstandbauten“. Von H. Wehner, Berlin	14
„Lärmmessungen am schalldämpften Prüfstand der DVL“. Von F. v. Burger, Rechlin	19
„Mitteilung über Erfahrungen an verschiedenen Turmprüfständen der Firma Daimler-Benz A. G., Untertürkheim“. Von Will Binder, Stuttgart	21
„Praktisch verwirklichte Dämpfungsmaßnahmen und Bauweisen“. Von L. Ruckebauer, Berlin	24
 Allgemeine Aussprache	 26
 Besichtigung	 27
 Teilnehmerverzeichnis	 28

Einführung.

Nach Begrüßung der Teilnehmer durch Brode übernimmt v. Schmoller als Obmann der Arbeitsgruppe das Wort zu folgender Einführung:

Die Arbeitsgruppe „Prüfstandsgeräusche“ ist auf der Geräuschtagung in Göttingen im Dezember 1937 neben verschiedenen anderen Gruppen gebildet worden und nimmt ihre Tätigkeit als erste dieser Gruppen auf. Die Behandlung der Fragen, die mit der Schalldämpfung

der Prüfstände zusammenhängen, ist unerlässlich geworden mit Rücksicht auf Störung der Hörgeräte beim Abhören von anfliegenden Flugzeugen, Geräuschbelastigung der Bevölkerung und gesundheitliche Gefährdung des Bedienungspersonals.

Eine Vorbesprechung der Arbeitsgruppe hat am 24. Mai 1938 in Berlin stattgefunden, über die der Bericht A 551 erschienen ist.

Vorträge und zugehörige Aussprachen.

Grundlagen, Erfahrungen und Ergebnisse bei der Schalldämpfung von Motorenprüfständen.

Von W. Zeller, Berlin.

Die fast allgemein angewandte U-Form-Bauart der Motorenprüfstände machte zusätzliche schalltechnische Maßnahmen zur Lärmabwehr dringend erforderlich, weil nicht nur die nähere, sondern auch die entferntere Nachbarschaft unter Geräuschbelastigungen schwer zu leiden hatte. Die Aufgabe der Prüfstands-Lärmabwehr bezieht sich also in erster Linie auf die nachträgliche schalltechnische Verbesserung bestehender Stände. Es ist selbstverständlich, daß ein zweites Ziel dieser Arbeit sich auch darauf beziehen muß, eine Prüfstandsbauart auszuarbeiten, die in Abhängigkeit von den zu beweisenden Motoren und der örtlichen Lage mit möglichst niedrig zu haltenden finanziellen Mitteln einen vom hygienischen Standpunkt aus für die Nachbarschaft vertretbaren Zustand gewährleistet.

Das Auspuffgeräusch kann man z. B. durch einen Sammelauspuff, in den geeignete Schalldämpfer eingebaut sind, praktisch beseitigen. Von dieser Möglichkeit kann aber nur Gebrauch gemacht werden, wenn man darauf verzichtet, die Auspuffflammen während des Betriebs beobachten zu können. In meinen praktischen Fällen war ein solcher Verzicht nicht möglich.

Bei der Untersuchung der Frage, inwieweit man den Schraubenlärm beeinflussen kann, haben wir uns darauf beschränkt, zwei- und vierflügelige Luftschrauben zu vergleichen. Die Ergebnisse kann man etwa so zusammenfassen:

Der vierflügelige Propeller ist in seiner Gesamtlautstärke etwas weniger laut als der zweiflügelige. Viel auffälliger als die Änderung der Lautstärke ist aber die Änderung der Klangfarbe, die sich besonders bei dem gedämpften Stand zeigt.

Ursprüngliche schalltechnische Gesichtspunkte beim Prüfstandsbau.

Überall, wo man vom offenen Prüfstand zum baulich umgrenzten Stand überging, haben u. a. auch schalltechnische Gesichtspunkte eine Rolle gespielt. Vor allem sind es zwei Vorstellungen, mit deren Berücksichtigung man billig zu stellenden Anforderungen nach Geräuscharmheit gerecht zu werden suchte.

1. Die nach oben offenen, mehr oder weniger hohen Türme sollten den Schall nach oben werfen und somit von der Bodennähe fernhalten.

2. Die Mauern müssen so dick gemacht werden, daß der Schall praktisch nur durch die freie Öffnung nach außen gelangen kann.

Im übrigen lag den Maßnahmen die Vorstellung zugrunde, daß der Schall etwas sei, das man mit einem Luftstrom etwa so wie eine Flaumfeder befördern könne, so daß also eine geeignete Luftstromrichtung auch schalltechnisch günstig sei. Die allgemeinen Erfahrungen lehrten, daß auf diese Weise — in Übereinstimmung mit theoretisch-schalltechnischen Erwartungen — das erstrebte Ziel nicht erreicht werden konnte.

Zu einer einwandfreien schalltechnischen Verbesserung ist es entweder notwendig, die Schallerzeugung zu verringern oder Dämpfungsvorrichtungen in die Stände einzubauen.

Minderung der Schallerzeugung.

Bei der Schallerzeugung handelt es sich wesentlich um das Auspuffgeräusch und um den Propellerlärm.

Lärmabwehr durch Dämpfungseinrichtungen.

Im Gelände haben wir die Lautstärke (phon), im Prüfstand selbst das Schallstärkemaß (db) gemessen. Die db-Angaben sind einfach durch Messen über der 80-phon-Kurve gewonnen worden. Sollte es im Verlauf unserer weiteren Arbeit notwendig werden, noch genauere Schallstärkewerte zu benutzen, so ist eine nachträgliche Umrechnung noch ohne weiteres möglich.

In weiterer Entfernung ändert sich die „Klangfarbe“ des Lärms oft so, daß das Prüfstandsgeräusch heller erscheint. Diese Beobachtung scheint der Tatsache zu widersprechen, daß in der Luft die höheren Frequenzen stärker absorbiert werden als die tiefen. Die Erscheinung beruht darauf, daß eine bestimmte Schallenergieabnahme bei tieferen Frequenzen einer wesentlich stärkeren Lautstärkeabnahme entspricht als bei mittleren und höheren Frequenzen, soweit man von besonders hohen Lautstärken absieht. Bei den hier interessierenden Lautstärken ist es jedenfalls so, daß diese Tatsache oft stärker in Erscheinung tritt als die selektive Absorption der Luft.

Eine allgemeine Erfahrung, die wir gemacht haben, geht dahin, daß die Klangfarbe eines Prüfstandes, die neben der Lautstärke für die Störung entscheidend ist, dann am angenehmsten ist, wenn die Lautstärke über den Hörfrequenzbereich möglichst gleichmäßig verteilt ist.

Überlegungen und Erfahrungen dieser Art sind geeignet, die Wahl etwaiger Dämpfungsvorrichtungen und deren Frequenzgang mitzubestimmen.

Bevor ich mich den Dämpfungseinrichtungen zuwende, will ich mich noch kurz mit der Frage beschäftigen, inwieweit der Schall durch die Mauern geht und daher bestimmte Schalldämmungen für die Mauern erforderlich sind. Um darüber Klarheit zu erhalten, haben wir folgende Messung gemacht:

Die Lautstärke wurde in zwei benachbarten Ständen gemessen, wobei ein Motor lief und der andere stand. Bei geschlossener Turmtür wurde in dem ruhenden Stand eine um 10 phon geringere Lautstärke gemessen als bei offenen Turmtüren. Bei offener Tür gelangt also der Hauptschall auf dem Luftwege, nicht durch die 2 Stein dicke Mauer zum Mikrophon. Da die Schalldämmung einer 2-Stein-Wand rd. 60 db, die Schallstärkeabnahme von Motor zum Turmausgang dagegen nur rd. 10 bis 20 db beträgt, kann man die Schalldurchlässigkeit der Mauern außer Betracht lassen.

Für zusätzliche Schalldämmung im Innenraum kommen in Betracht:

1. poröse Schallschluckstoffe und
2. Resonatoren, entweder in der Form mitschwingender Platten oder in der Form von Luftresonatoren.

Die Auswahl unter diesen Grundsätzen und unter den möglichen praktischen Verwirklichungen ist bestimmt:

1. durch die mechanische Festigkeit der Stoffe und der Konstruktionen,
2. durch den Frequenzgang der Stoffe und der Konstruktionen, und
3. durch die Größe der erreichbaren Dämpfung im Verhältnis zur notwendigen Dämpfung.

Man stelle zunächst fest, daß in dem störenden Prüfstandsgeräusch tiefe Töne überwiegen. Für die Dämpfung mußten also entsprechend geeignete Stoffe und Konstruktionen gewählt werden. Poröse Schluckstoffe müßten in dicken Schichten benutzt werden. Dabei ist aber ihre Haltbarkeit nur gewährleistet, wenn sie gut abgedeckt sind. Außerdem braucht man aber verhältnismäßig viel Raum für die Dämpfungseinrichtung, so daß bei nachträglichem Einbau u. U. strömungstechnische Schwierigkeiten zu befürchten sind.

Man wird sich deshalb zweckmäßig der Resonatoren bedienen, die man auf eine erwünschte Resonanzfrequenz leicht abstimmen kann und die außerdem gerade für Resonanzen in tieferen Frequenzbereichen geeignet sind. Als Grundeigenfrequenz hat sich für das Bremsen des Jumo 210 300 Hz am günstigsten erwiesen. Wichtiger noch als die Eigenfrequenz ist allerdings die Stärke der Dämpfung, also z. B. möglichst gute Dämpfungseinrichtungen in Motornähe, d. h. im Horizontaltail der Prüfstände.

Praktische Erprobung einer Reihe von Stoffen und Konstruktionen.

Zur Erprobung einer Reihe von Werkstoffen und Konstruktionen haben wir in verschiedenen Prüfständen die Türme schalldämpfend ausgestattet. In den Türmen läßt sich dies einfacher durchführen als im Horizontaltail, wenn mit nachträglichen Einbauten gearbeitet werden muß. Zu mitschwingenden Plattenanordnungen haben wir neben Heraklith-Platten auch Lignat-Platten verwendet. Lignat ist eine Asbestzementplatte, die infolge eines Torfmehlzusatzes etwas elastischer ist als Eternit und deshalb genagelt werden kann. Beide Platten hielten in den offenen Türmen den Beanspruchungen nicht stand; sie müssen beide vor Nässe geschützt werden. Die Stärke der Dämpfung ergab sich bei gleicher Abstimmung geringer als bei Luftresonatoren. Dieses Ergebnis veranlaßte nun zunächst zur Weiterentwicklung und Erprobung von Luft-

resonatoren¹⁾. In verschiedenen Ständen ist folgendes eingebaut worden:

1. Ein ganzer Stand (Türme und Horizontaltail) erhielt eine Wabensteinausmauerung, die auf 660 Hz abgestimmt war. Lochlänge 6 cm, Lochquerschnitt rd. 1 cm². Die Steine wurden durch Vormauern massiver Steinreihen in kleineren Feldern angeordnet, die nach Möglichkeit kleiner als die halbe Wellenlänge sind.

2. Die Türme eines zweiten Standes erhielten eine Lochsteinausmauerung, die auf 210 Hz abgestimmt war. Lochlänge 12 cm, Lochquerschnitt rd. 15 cm².

3. Ein dritter Stand ist ebenso behandelt worden, wobei in den Luftraum hinter den Lochsteinen Glaswolle, die durch ein enges Drahtnetz abgedeckt war, kam. Die Glaswolle bedeckte die ganze Turmfläche; die Einteilung in Kammern wurde dadurch versucht, daß massive Trennsteine fest gegen die Glaswolle gedrückt und zwischen ihnen dann die Lochsteine angeordnet wurden. Um dem Verhältnis der Lochfläche zur Gesamtfläche bei den sonstigen konstruktiven Gegebenheiten den für die erwünschte Eigenfrequenz notwendigen Wert zu geben, sind neben den Lochsteinen auch massive Steine zur äußeren Abdeckung der Kammern benutzt worden.

4. Die parallele theoretische Behandlung ließ erkennen, daß grundsätzlich Wabensteine mit vielen kleinen Löchern günstiger sind als Lochsteine mit ihren wenigen großen Löchern. In einem vierten Fall haben wir daher eine Wabensteinausmauerung, die auf etwa 290 Hz abgestimmt war, eingebaut, deren Felderteilung durch Heraklithstreifen ausgeführt war.

Um nun einen Einblick in die Wirkung dieser Dämpfungskonstruktionen zu erhalten, ist die Schallstärke von 2 zu 2 m in der Turmachse gemessen und dann der Unterschied der zusammengehörigen Meßwerte in 2 und 12 m Höhe gebildet worden. Das Ergebnis zeigt Abb. 1. Die Eigenfrequenzen der Kon-

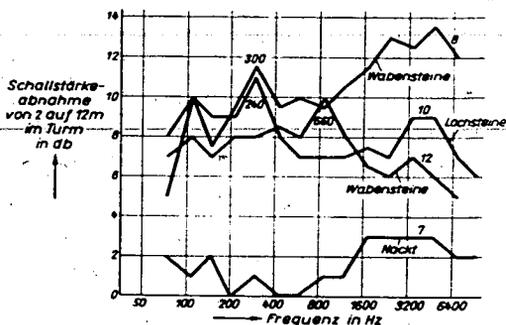


Abb. 1. Beurteilung verschiedener Dämpfungskonstruktionen.

struktionen treten dabei in Übereinstimmung mit der Vorausberechnung klar hervor. Man erkennt aber auch, daß die Resonanzspitzen aus dem ganzen Dämpfungsverlauf nicht sehr stark heraustreten. Dies ist nach der Theorie bei stark gedämpften Resonatoren zu erwarten.

Man darf daraus zusammenfassend festhalten, daß bei den im Prüfstandsbaub anzuwendenden Resonatoren die Lage der Eigenfrequenz erst in zweiter Linie, d. h. nach der Größe der Dämpfung eine Rolle spielt.

Weiterentwicklung der 300-Hz-Wabensteinkonstruktion.

Die bessere der beiden Wabensteinkonstruktionen haben wir weiter verbessert an Hand zweier Gesichtspunkte:

¹⁾ Vgl. W. Zeller, Schalldämpfung durch Luftresonatoren in der Bautechnik. Akust. Zeitschr. Bd. 3 (1933).

1. Die Güte der Schalldämpfung durch eine gegebene Resonatorenkonstruktion hängt sehr stark von den Kanalabmessungen ab. Je größer das Verhältnis Kanal-länge zu Wurzel aus dem Kanalquerschnitt ist, je besser ist die Dämpfung. Befriedigende Erfolge stellen sich ein, wenn das Verhältnis $l/\sqrt{F} = 10$ ist.

Diese Faustregel bewährt sich in der Lüftungstechnik gut. Dasselbe besagt etwas genauer die von Piening angegebene Formel: $D = 1,5 \cdot a \cdot \frac{l}{F} \text{ (dB)}$. Die bekannten Ziegelsteinprüfstände besitzen ein Verhältnis $l/\sqrt{F} \approx 2$ bis 3. Unterteilt man demnach die Türme in eine Reihe parallel geführter Kanäle, so wird dieses Verhältnis größer und die Dämpfung damit besser. Eine solche Unterteilung braucht aber Platz und kann deshalb mit den strömungstechnischen Notwendigkeiten in Konflikt kommen. Bei nachträglicher Unterteilung muß darauf Rücksicht genommen werden. Wir haben nach einem Strömungsversuch an einer Holztrappe in die Türme zunächst eine vom Boden an durchgeführte Mittelwand eingebaut, die ebenfalls auf beiden Seiten Luftresonatoren mit Wabensteinen trug, und zwar abgestimmt auf 450 Hz. Diese Maßnahme ließ zwar keine wesentliche Dämpfungsverbesserung hinsichtlich des Verhältnisses l/\sqrt{F} erwarten, dafür aber eine günstige Beeinflussung der Klangfarbe.

2. Der zweite Verbesserungsansatzpunkt ging davon aus, daß es zweckmäßig ist, die Dämpfungsvorrichtung möglichst nahe an den Motor heranzubringen, d. h. also auch den Horizontalteil des Prüfstandes nicht nackt zu lassen. Da nachträglich einzubauende Luftresonatoren im Horizontalraum aber zuviel Raum beanspruchen würden, haben wir dort eine mitschwingende Anordnung von Heraklithplatten auf einem Lattengerüst angebracht.

Ergebnisse nach diesen beiden Verbesserungen zeigt Abb. 2 im Vergleich mit anderen Ständen. Aufgetragen sind die db-Werte, gemessen in 2 m und 12 m Höhe je-

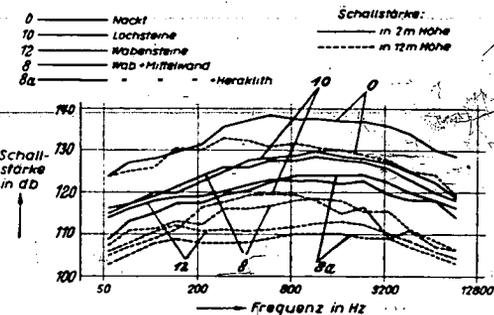


Abb. 2. Schallstärkeverteilung im Saugturm.

weils in der Turmachse; als Stand 8 ist einmal der Fall nur mit Mittelwand und das andere Mal der Fall mit Mittelwand und Heraklithauskleidung eingetragen. Gemessen wurde dabei in der Mitte eines Teilkanals. Die Heraklithauskleidung brachte unten in 2 m eine allgemeine Verbesserung, oben in 12 m dazu auch noch einen Schallstärkeausgleich. Die Ähnlichkeit des Verlaufs mit dem beim ganz ausgemauerten Wabensteinstand (660 Hz) ist auffallend (12). Die horizontale Behandlung wirkt offenbar ausgleichend. Sehr deutlich geht dies auch aus Abb. 3 hervor, in dem die drei Fälle

- nur Turmausmauerung,
- Turmausmauerung mit Mittelwand,
- Turmausmauerung mit Mittelwand und Heraklithausstattung im Horizontalraum

dargestellt sind, und zwar gemessen am Turmausgang.

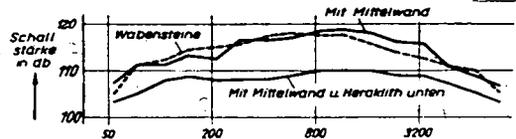


Abb. 3. Schallstärkeverteilung am Turmausgang (18. 5. 30).

Die Mittelwand hat keinen Einfluß auf die Gesamtlautstärke, wohl aber auf die Klangfarbe. Das Geräusch wird heller und damit angenehmer.

Die erwähnte Formel von Piening gestattet es, die Größe des Schluckgrades der Luftresonatorenkonstruktionen überschlägig zu bestimmen. Geht man von den Messungen in 2 und 12 m Turmhöhe aus, setzt als Kanallänge 10 m, als Dämpfung die mittlere gemessene Schallstärkedifferenz und im übrigen die gegebenen Querschnittsabmessungen ein, so erhält man für den nackten Stand etwa $a = 15\%$ und für die Luftresonatoren $a = 65\%$.

In der Resonanz ergeben sich so Werte von 90 und mehr Prozent. Theoretisch ist in Resonanz ein Schluckgrad von 100% möglich. Nachdem wir diesem Wert schon recht nahe gekommen sind, ist von einer Weiterentwicklung der Luftresonatoren keine entscheidende Verbesserung mehr zu erwarten.

Messung und Beurteilung des Prüfstandslärms im Gelände.

Die Aufgabe der Prüfstandslärmwehr besteht darin, die Nachbarschaft vor zu starkem und vor spektral unangenehmem Geräusch zu schützen.

Geräuschmessungen im Gelände sind leider durch einen ziemlich starken Einfluß des Wetters erschwert. Damit hängt es auch zusammen, wenn der Vergleich von Meßergebnissen, die an verschiedenen Orten gewonnen worden sind, so häufig nicht befriedigt hat. Es treten auf:

- Schwankungen der Lautstärke während einer Messung und
- Schwankungen bei Wiederholungen genau derselben Messung bei verschiedenen meteorologischen Bedingungen.

Die Schwankungen während einer Messung traten besonders stark bei nicht schallgedämpften Ständen hervor und dabei besonders in tiefer Frequenzlage. Man wird dies durch Änderungen in den Beugungsvorgängen infolge Temperatur- oder Windschwankungen erklären können. Hier sind Schwankungen bis 10 phon gemessen.

Um einen Anhalt über die Schwankungen gleicher Messungen zu verschiedenen Zeiten zu geben, zeigt Abb. 4 eine Zusammenstellung von Gesamtlautstärke-

Stand	Mauer (flur)		Turmachse						Turmausgang						12m Entfernung		30m Entfernung		50m Entfernung		75m Entfernung		100m Entfernung	
	a	b	a	b	c	d	e	f	a	b	c	d	e	f	a	b	a	b	a	b	a	b		
7	Nackt	85,4	88	88	77				88	88,8	86,7	87	81	77	84,6	81,4	84,6	81,4	84,6	81,4	84,6	81,4	84,6	
8	Wabensteine	72,9	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
8a	Mittelwand + Heraklith	78	84,6			77			64					64			64		64		64		64	
9	Lochsteine	72,9	72,9	84,6	72,9	84,6	72,9	84,6	77	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	78	
10	Lochsteine auf Glaswolle	84,6	78			78			72	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	
12	Wabensteine	84,6	87	72,9		78	84,6		77	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	67	

Abb. 4. Gesamtlautstärke in phon an verschiedenen Meßstellen und an verschiedenen Tagen.

werten. Überall handelt es sich um den Juno 210-Motor bei 2700 U/min. In 600 m Entfernung ist mit Schwankungen um rd. 10 phon zu rechnen. Das Gelände ist praktisch vollkommen frei.

Zur Beurteilung z. B. der Zahlen für 600 m ist es außerdem von entscheidender Bedeutung, wie der Schallpegel liegt. Mit 8a ist z. B. der Stand mit Mittelwand und Heraklithausstattung bezeichnet. Man kann von ihm nur bei schärfer Konzentration und dann, wenn die Klangfarbe bekannt ist, etwas wahrnehmen. Gut ist auch Stand 12 mit seiner vollkommenen 690 Hz-Wabensteinmauerung.

In der bisherigen Entwicklung der Lärmabwehr bei Motorenprüfständen hat es immer Schwierigkeiten gemacht, die Erfahrungen von einer Stelle auf die andere zu übertragen. Der Grund dafür ist, daß man nicht genügend auf die Schallquellen geachtet hat. Daß eine bestimmte Dampfungskonstruktion zu besseren Ergebnissen führt, wenn die Schallquelle selbst weniger laut ist, ist selbstverständlich.

An dieser Stelle darf ich erwähnen, daß wir den Lautstärkeunterschied zwischen 30% und 90% der

Spitzenleistung des Motors mit 18 bis 20 phon festgestellt haben. Man muß also eine schalltechnische Bewertungsmöglichkeit für einen ganzen Prüfstand haben, die unabhängig von der Schallquelle ist. Wenn die Differenzbildung von Messungen unten und oben im Turm die Möglichkeit zu einer vergleichenden Bewertung der Wandausstattung bietet, so wird man entsprechend auch bei einem ganzen Prüfstand dadurch zum Ziel kommen, daß man entsprechende Verhältnissbildet, durch die z. B. alles auf den schalltechnisch nicht behandelten, aber sonst gleich gebauten Prüfstand bezogen wird.

Besitzt man so z. B. ein Urteil über einen einzelnen Stand, so kommt weiter noch die Frage der Zusammenwirkung einer Reihe von Ständen. Nach unseren bisherigen Messungen folgt die Addition ziemlich gut dem Additionsgesetz des Schallstärkemaßes. Man wird also damit rechnen müssen, daß 10 Stände eine um rd. 10 phon größere Lautstärke haben und daher subjektiv doppelt so laut wirken als ein Stand. Will man eine bestimmte zahlenmäßige Begrenzung für die Lautstärke einführen, so spielt dieser Gesichtspunkt noch eine wesentliche Rolle.

Aussprache.

Im Anschluß an den Vortrag Zeller stellt Meyer die Anfrage, ob die Schallschluckverteilung über dem Querschnitt des Turmschachtes ungleichmäßig ist. Zeller erwidert, daß hierüber keine Ergebnisse vorliegen, da nur

in der Mitte des Turmes — und zwar nur im Sogturm — gemessen wurde.

Zum Vergleich verschiedener Prüfstände wird als Schallquelle eine Luftschutzsirene empfohlen (Meyer).

Eine Wandbekleidung mit hoher Schallschluckung für Prüfstände.

Von W. W. H. M. S., Berlin.

Schallschluckende Wandbekleidungen dienen ursprünglich dazu, die Akustik von Räumen zu verbessern und den Nachhall, der besonders in den Aufnahme Räumen für Rundfunk und Schallplatten und in Lichtspieltheatern störend war, zu vermindern. Gleichzeitig stellte man fest, daß besonders bei hohen Schallschluckzahlen die Lautstärke der Darbietungen oder auch eines in den Raum eindringenden Störgeräusches geringer war als in einem ungedämpften Raum. Die Auskleidung mit schallschluckenden Stoffen erhöht die wirksame Schalldämmung der Wände, indem das Lautstärkeniveau im Innern des Raumes abgesenkt wird. Von dieser Erhöhung der Schalldämmung durch Schallschluckung machte man erfolgreich Gebrauch bei der Verminderung des Kabinenschalles in Flugzeugen.

Beim Motorprüfstand ist ebenfalls die Aufgabe gegeben, das Geräusch durch die Anwendung von schallschluckenden Wandbekleidungen herabzusetzen. Hierdurch wird sowohl die Lautstärke im Prüfstand selbst vermindert als auch die Ausstrahlung aus den beiden Türmen herabgesetzt.

Wenngleich also der einzuschlagende Weg zur Verminderung der Prüfstandsgeräusche bekannt war, so bestand und besteht die Schwierigkeit in der Beschaffung von geeigneten Werkstoffen, die den Anforderungen des Prüfstandsbetriebes gewachsen sind. Diese Anforderungen sind: Mechanische Festigkeit, Widerstandsfähigkeit gegen den Luftstrom der Bremschraube, keine Staubeentwicklung, Feuersicherheit neben den natürlich zu fordernden akustischen Eigenschaften.

Es ist klar, daß die in sich guten Schallschlucker wie Watte, Filz, Glas- oder Schlackewolle, ohne weiteres in Prüfständen keine Verwendung finden konnten. Dagegen erfüllt der mit Hilfe von Lochsteinen und einem Hohlraum gebaute Resonator die Bedingungen recht gut, und er wurde auch vorwiegend in Prüfständen benutzt.

Nun ist der Resonator, akustisch gesehen, kein idealer Schallschlucker, denn er absorbiert den Schall nur in einem mehr oder weniger schmalen Bereich, in der Nähe seiner Resonanzfrequenz. Allerdings bietet er die Möglichkeit, eine verhältnismäßig niedrige Eigenschwingung von beispielsweise 100 Hz zu erreichen und damit eine Schallschluckung bei tiefen Frequenzen zu erzielen, die im Motorengeräusch besonders stark sind und für die man sonst nur schwer einen geeigneten Schallschlucker findet.

Es soll nun über Versuche berichtet werden, die das Ziel hatten, die Schallschluckung eines Resonators zu erhöhen und seinen Dämpfungsbereich zu vergrößern. Dazu sei bemerkt, daß es sich hierbei nicht um grundsätzlich neue Verfahren handelt, sondern daß nur die Schaffung eines in besonderen für Prüfstände geeigneten Schallschluckers das Ziel war.

Der Resonator, Abb. 1a, wird gebildet durch den zwischen der starren Rückwand und der Lochsteinwand befindlichen Hohlraum als Federung und durch die in den Löchern der Lochsteine befindliche Luft als Masse.

Der Grund für die geringe Schallschluckung des Resonators ist das Fehlen eines energieverzehrenden Widerstandes, eines Reibungswiderstandes. Dieser

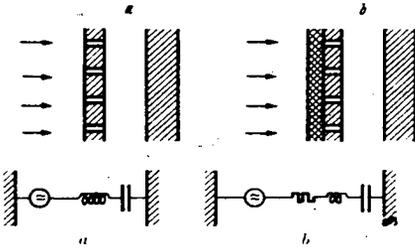


Abb. 1. Resonator ohne (a) und mit (b) Reibungswiderstand und zugehöriges elektrisches Ersatzbild.

kann z. B., Abb. 1b, durch einen Stoff mit vielen engen Kanälen, z. B. durch Gewebe, Filz und Watte, dargestellt werden. Dieser Reibungswiderstand wird zweckmäßigerweise an der Stelle größter Schwingungsamplitude im Resonatorhals oder dicht davor angebracht. Da die genannten Stoffe jedoch für Prüfstände nicht in Frage kommen, haben wir die Dykerhoff-Akustikplatte verwendet, eine Holzfasersplatte, die neben genügender mechanischer Festigkeit die Eigenschaften eines porösen Stoffes besitzt. Leider ist sie nicht genügend wetterfest, so daß sie an den Stellen des Prüfstandes, die Witterungseinflüssen ausgesetzt sind, nicht verwendet werden kann. Wir müssen uns daher zunächst auf den Innenraum des Prüfstandes beschränken.

Ohne näher auf Einzelheiten einzugehen, möchte ich als Ergebnis mitteilen, daß man mit einem Resonator mit Reibungsdämpfung in der Resonanz eine 100prozentige Schallschlückung erreichen kann, wenn der Widerstand des Stoffes gleich dem Wellenwiderstand der Luft ist.

Am besten macht man sich dies am elektrischen Ersatzbild klar, Abb. 1b. Im Resonanzfall heben sich kapazitiver und induktiver Widerstand auf, und es bleibt allein der Ohmsche Widerstand. Ist dieser gleich dem Wellenwiderstand der Luft, so wird die Welle vollständig absorbiert.

In Abb. 2 ist die Schallschlückung von Resonatoren mit Widerständen dargestellt, die 2- bzw. 5mal größer oder kleiner als der Wellenwiderstand der Luft sind.

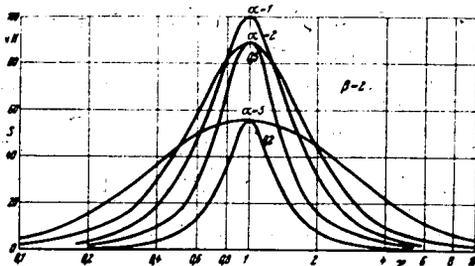


Abb. 2. Einfluß der Reibungswiderstandszahl α auf den Schallschlückgrad von Resonatoren.

Die Resonanzfrequenz wurde gleich 1 gesetzt. Man sieht, daß nur bei richtiger Wahl des Widerstandes eine vollständige Absorption der Welle erreicht werden kann und daß ein zu kleiner Reibungswiderstand schädlicher ist als ein zu großer.

Die Breite der Resonanzkurve hängt außerdem noch vom Verhältnis Masse zu Federung ab, entsprechend dem Verhältnis L/C im elektrischen Fall, Abb. 3. Hierin ist für den Widerstand der günstigste Wert gewählt worden.

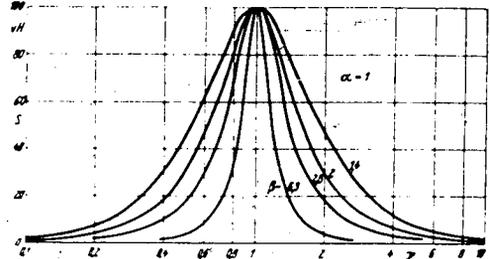


Abb. 3. Einfluß der Wellenwiderstandszahl β auf den Schallschlückgrad von Resonatoren.

Hierauf erweist es sich als günstig, einen Resonator mit großem Luftraum und vielen Löchern in einer verhältnismäßig dünnen Platte zu verwenden. Diese Bedingung wird man bei tiefer Abstimmung der Resonatoren meist nicht erfüllen können, weil dann die Abmessungen zu groß werden.

Um die Überlegungen über den Einfluß des Reibungswiderstandes zu prüfen, haben wir uns eine Meßeinrichtung für die Bestimmung der Schallschlückung bei senkrecht auffallenden Schallwellen hergestellt, Abb. 4.

Abb. 5 zeigt die Schallschlückung eines Resonators I, der unter Verwendung von Lochsteinen aufgebaut war.

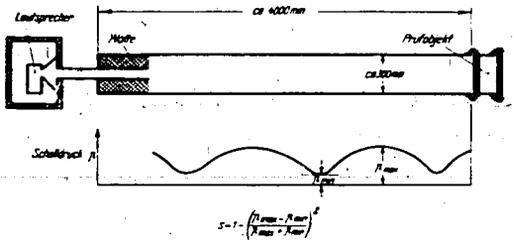


Abb. 4. Kundtsches Rohr zum Messen des Schallschlückgrades.

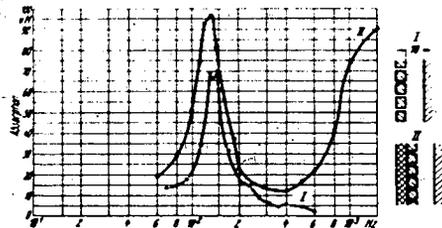


Abb. 5. Resonator als Schallschlucker I ohne, II mit Akustikplatte.

An Stelle eines Lochsteines aus Ziegeln wurde für den Versuch ein Modell des Lochsteines aus Holz angefertigt, das bei gleichen Abmessungen die gleichen akustischen Eigenschaften hat. Die Dämpfung des Resonators erstreckt sich über einen verhältnismäßig kleinen Bereich.

Nach Vorschalten der Akustikplatte erhielt man Kurve II. Sie zeigt neben einer Erhöhung der Schallschlückung und einer Verbreiterung der Kurve, vgl. Abb. 2, noch einen weiteren Anstieg bei hohen Frequenzen, der auf die Schallschlückung der Akustikplatte zurückzuführen ist. Der Resonator wirkt bei diesen hohen Frequenzen wie eine starre Wand.

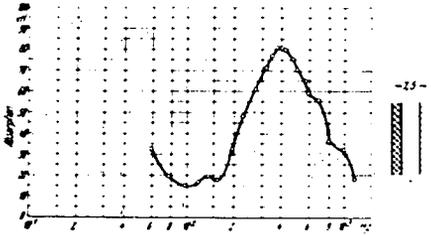


Abb. 6. Akustikplatte in 7,5 cm Abstand von starrer Wand.

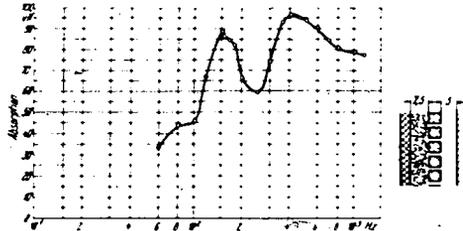


Abb. 7. Wandbekleidung für Motorenprüfstand.

Vergrößert man den Abstand der Akustikplatte vom Lochstein, so wird der Anstieg des Schlußgrades nach tiefen Frequenzen hin verschoben. Abb. 6 gilt für die Akustikplatte in 10 cm Abstand von der starren Wand. Um den Abfall bei hohen Frequenzen zu verhindern, würde der Zwischenraum mit Watte bzw. Glaswatte ausgefüllt.

Kombiniert man diese Anordnung mit dem Resonator, so erhält man ein nochmaliges Ansteigen der Schallschlückung bei tiefen Frequenzen, bei der Resonanzschwingung des Lochsteines, Abb. 7.

Als Wandbekleidung für Prüfstände wird daher folgende Anordnung vorgeschlagen: Akustikplatte, 5 bis 10 cm Lufttraum, mit Glaswatte ausgefüllt, Lochstein, 4 bis 10 cm Luftpolster, starre Wand. Die Anordnung zeichnet sich durch eine hohe Schallschlückung in einem großen Frequenzbereich, vor allem aber auch bei tiefen Frequenzen aus. An Stelle des Lochsteines kann übrigens auch, wenn dies vorteilhafter erscheint,

eine Membran, etwa aus Teerpapier, genommen werden.

Auch in mechanischer Hinsicht dürfte die Anordnung den Anforderungen genügen. Die Glaswatte wird durch die Akustikplatte nach dem Raume hin abgedeckt und ist daher vor Zerstörung durch den Luftstrom genügend geschützt.

An den Stellen des Prüfstandes, die der Witterung ausgesetzt sind, kann man die Akustikplatte als äußere Begrenzung nicht verwenden. Es wird vorgeschlagen, an diesen Stellen die Resonatoren zu verwenden und die Akustikplatte auf der Innenseite der Lochsteine anzubringen. Damit ist sie vor Regen usw. geschützt, erlöhnt aber durch ihren Reibungswiderstand die Dämpfung der Resonatoren. Allerdings muß man bei dieser Anordnung auf die Schallschlückung der hohen Frequenzen wieder verzichten, die nur bei Anbringung der Akustikplatte vor den Lochsteinen erreicht werden kann.

Aussprache.

Es wird vermutet, daß bei den von Willms erwähnten Versuchen mit Hohlziegelmodellen aus Holz die Dämpfungen kleiner als bei Verwendung von Hohlziegeln

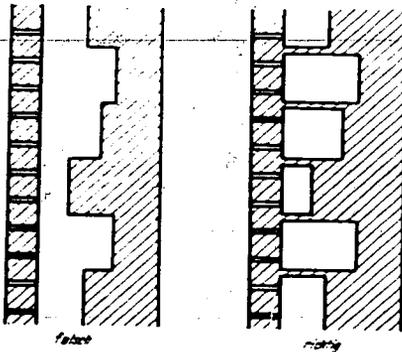


Abb. 1

selbst sind (Bentele). Hierauf entgegnet Willms: Das trifft nicht zu, da bei der Resonatorwirkung nur die Luft in den Kanälen der Hohlsteine schwingt unabhängig vom Material der Wandung. Die Vergrößerung der Reibung durch eine rauhere Oberfläche der Steinziegel ist zu vernachlässigen, da der Lochdurchmesser klein und mehr beträgt. Nur bei höchsten Frequenzen könnte eine geringe Zunahme der Schallschlückung eintreten, die aber zugehör der Schlückung der Akustikplatte verschwindend gering ist.

Die Abstufung der Rückwand im Hohlraum, der als Federung für mehrere parallelgeschaltete Lochsteine dient, ist zwecklos, da nur das Gesamtvolumen als Federung wirkt. Durch eine Unterteilung des Hohlraumes durch Querwände, Abb. 1, kann eine Verbreiterung der Resonanzkurve erzielt werden. Zweckmäßig ist die Aufteilung in viele kleine Löcher, da hiermit die Reibungsdämpfung zunimmt. Eine Füllung des Hohlraumes mit Absorptionsmaterial dürfte unwirtschaftlich sein, da im Hohlraum hauptsächlich Druckamplituden auftreten).

Dr. Vol. Willms: „Über die Schallschlückung mit Hilfe von gedämpften Resonatoren.“ Deutscher Akustiker-Zeitschr.

Schallgedämpfte Prüfstände.

Von H. Berrer, Stuttgart.

Im Zuge des Ausbaues der deutschen Flugmotorenwerke in den letzten Jahren wurde die Hirth-Motoren G. m. b. H., Stuttgart-Zuffenhausen, in zwei zeitlich aufeinander folgenden Baustufen aus verhältnismäßig

kleinen Anfängen heraus auf einem neuen Gelände aufgebaut. Die Wahl des Platzes fiel auf den an das Stammwerk angrenzenden Stadtwald Zuffenhausen der Stadt Stuttgart.

Die Gründe für die Errichtung des Werkes im Wald waren einmal, die Möglichkeit einer guten Tarnung gegen Sicht von oben und zum anderen über die Wahrscheinlichkeit, daß der Prüfstandslärm durch den Wald an sich eine gewisse Dämpfung erfahren würde. Die Stadtverwaltung stellte der Hirth-Motoren G.m.b.H. das Baugelände ausdrücklich nur unter der Bedingung zur Verfügung, daß in dem unmittelbar angrenzenden Wohngebiet und darüber hinaus keinerlei Lärmbelastung durch die Motoren-Prüfstände eintreten dürfe.

Abb. 1 zeigt die Lage des Werkes. Noch vor der günstigsten Prüfstandsgestaltung wurden zunächst Untersuchungen durchgeführt, die Dämpfungseigenschaften des Laubwaldes zu bestimmen. Die Ergebnisse zeigt Abb. 2. Aus diesen Messungen ging hervor, daß die Dämpfungseigenschaften des Waldes nicht ausreichen, die Nachbarschaft vor störendem Motorenlärm zu schützen, so daß also offene Prüfstände ausschließen. Deshalb wurden zunächst sechs Prüfstände in der bekannten Ausführung als U-Prüfstände mit zwei Türmen von 12 m Höhe errichtet. Bei Inbetriebnahme der Prüfstände zeigte es sich jedoch, daß ohne besondere schalltechnische Maßnahmen auch mit diesen noch keine befriedigende Lärmdämpfung in der nächsten und weiteren Umgebung des Werkes erreicht werden konnte. Die Stadtverwaltung und der Herr Polizeipräsident verlangten vielmehr, umgehend Maßnahmen zu ergreifen, um die Prüfstandsgeräusche erträglich zu machen. Es wurden daher neben Modellversuchen die erstellten Prüfstände zu umfangreichen Versuchen verwendet. Es wurde im Rahmen dieser Ausführungen zu weit führen, auf alle Einzelheiten dieser Versuche einzugehen.

Es sollen im folgenden nur die unter Berücksichtigung der gewonnenen Erkenntnisse errichteten acht weiteren Prüfstände der zweiten Ausbaustufe beschrie-

ben werden, die dann den von uns verlangten Ansprüchen bezüglich Geräuschdämpfung von vornherein genugten.

Abb. 3 zeigt schematisch den Aufbau eines Prüfstandes. Der eigentliche Prüfraum besteht aus einem Kanal mit rechteckigem Querschnitt 5 × 5 m und einer Länge von 10 m. Die an beiden Enden anschließenden Türme haben eine Höhe von 9,35 m. Die Höhe dieser Türme wurde gegenüber der ersten Ausführung absichtlich um etwa 2/3 kleiner gehalten, da die Versuche gezeigt haben, daß für die Geräuschdämpfung nicht in erster Linie die Höhe maßgebend ist, sondern die auf der Innenseite des Prüfstandes zur Verfügung stehende Oberfläche zur Unterbringung von Schallkammern. Durch die Wahl größerer Abmessungen sowohl im Prüfraum, als auch in den Türmen, und durch den Einbau zusätzlicher Schallkammern an der Decke des Prüfraumes, wurde gegenüber der ersten Ausführung eine Vergrößerung der schallschluckenden Einbauten erreicht. Zur Einlenkung der Luftströmung von den Türmen zum Prüfraum sind nur im Ansaugturm in üblicher Weise Einlenkschaubeln eingebaut, die gleichfalls mit schallschluckendem Material verkleidet sind. Die Art der Umkleidung wird später noch genauer erläutert.

Besondere Sorgfalt wurde auf die Ausbildung der Turmenden verwendet. Die Türme der Ausaugseite und der Ausströmseite sind mit Rundblechern abgedulstet, die den durch Absorption in den Prüfständen noch nicht verminderten Schallenergien eine vorher bestimmte Richtung geben sollen. Diese Maßnahme hat sich gut bewährt, da es tatsächlich gelang, den Schall in eine Richtung zu leiten, in der in unmittelbarer Nähe keine Wohngebiete sind.

Die Erfahrungen an unseren früheren Prüfständen und bei anderen Firmen haben gezeigt, daß bei senk-

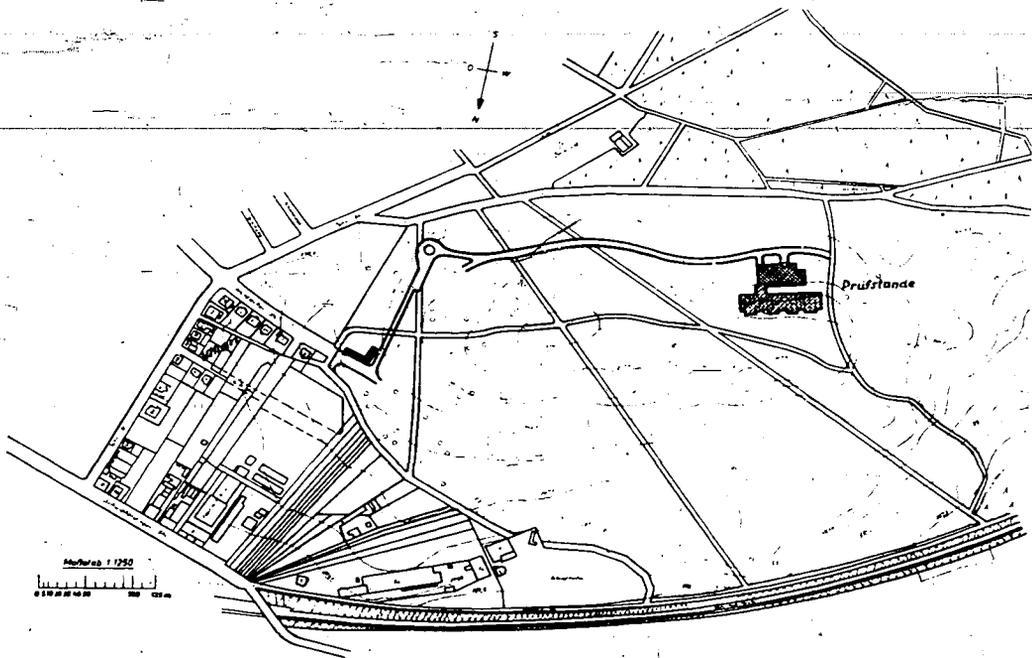


Abb. 1. Lageplan.

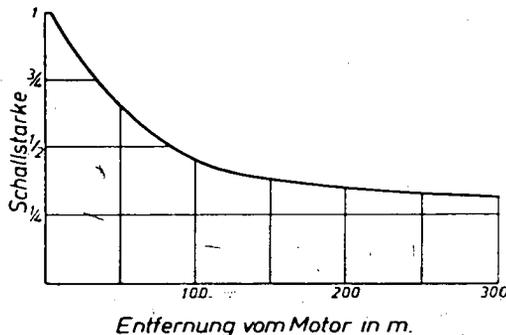


Abb. 2. Lautstärkenabnahme.

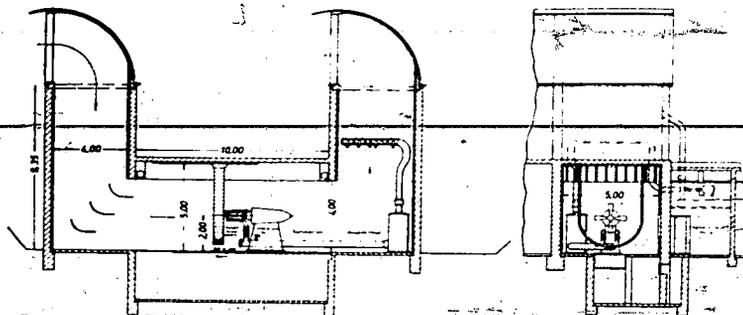


Abb. 3. Flugmotorenprüfstand.

rechtem Austritt des Schalls nach oben eine Reflexion an Luftschichten und Wolken eintritt, die in vielen Fällen erst in weiterer Umgebung zu besonders starken Geräuschzentren geführt hat. Außerdem schützen die Dachaufbauten die aus nicht völlig wetterfesten Werkstoffen hergestellten schalldämpfenden Einbauten vor Witterungseinflüssen.

Die strömungstechnische Ausbildung der Prüfstände, d. h. die Ausführung der Dächer als Rundlächer, die Anordnung der Leitschaufeln, sowie die Abstimmung der einzelnen Längs- und Querkanäle in ihrer Länge aufeinander, gewährleisten eine durchaus einwandfreie Strömung der angesaugten und abströmenden Luft zu und von der Schraube.

In den Türmen der Austrittsseite befindet sich die Rückkühlanlage für die Auspuffgase, die zu einer möglichst wirtschaftlichen Absaugung der Abgase eingeschaltet werden mußte.

Über den Aufbau der Prüfstände selbst mögen folgende Angaben dienen:

Die Mauern der Stände wurden zum Teil stärker als statisch notwendig bemessen, da bekannt war, daß die Schalldämpfung einfacher, d. h. solcher Wände, die aus mehreren in ihren Eigenschaften nicht verschiedenen Schichten zusammengesetzt sind, ausschließlich vom Wandgewicht abhängig ist. So ist beispielsweise nach Versuchen von Dr. R. Berger die Schalldämmung einer 12 cm starken Ziegelwand etwa 50 Phon und einer 25 cm starken Ziegelwand etwa 58 Phon.

Im Laufe unserer früheren Untersuchungen wurde festgestellt, daß die bisher verwendeten handelsüblichen Schallschluckstoffe, welche durch Oberflächenreibung

schallsorbierend wirken, zur Dämpfung für die vorwiegend vorhandenen Geräusche tiefer Frequenzen ungeeignet sind. Andererseits ergaben die Versuche, daß Luftkammern, welche durch mit Sägeschnitten versehenen Brettern abgedeckt waren, die Eigenschaft besaßen, Geräusche tiefer Frequenzen zu vernichten. Diese Schallvernichtungsvorrichtung konnte aus wirtschaftlichen Erwägungen nur dann bei den Prüfständen Anwendung finden, wenn es gelang, einen billigen Ersatzstoff für die Sägeschnittbretter zu finden, der aber dabei natürlich genügend schalldurchlässig sein muß. Die auf dem Markt unter dem Namen „Heraklith“ vorhandenen Holzfaserverplatten besitzen diese Eigenschaften. Die Auskleidung der Prüfstände ist aus Abb. 4 ersichtlich. In regelmäßigen Abständen von 2 m sind senkrechte quadratische Hölzer mit den Maßen 5 × 5 cm gut anliegend mittels Steindollen an den Wänden befestigt. Um nun die gewünschten Schalkammern zu erhalten, wurden im Abstand von 1 m gleich starke Balken horizontal eingebaut. Die Prüfstandswände sind somit in gleich große und tiefe Felder aufgeteilt. Der vollkommene Abschluß der Kammern nach allen Dimensionen ist erforderlich, damit der Schall nach Durchgang durch die Heraklithplatten nicht sofort in die freie Luft treten kann; ebenso sind sämtliche Öffnungen, welche durch eingebaute Schalter u. dgl. in der Verkleidung entstanden, auf diese Weise dicht verschlossen worden. Die Heraklithplatten sind auf die Hölzer aufgenagelt.

Durch die Luftbewegung in den Prüfständen löst sich in einem für die Motoren schädlichen Maße Staub von den Platten ab, weshalb diese mit einer Spezial-

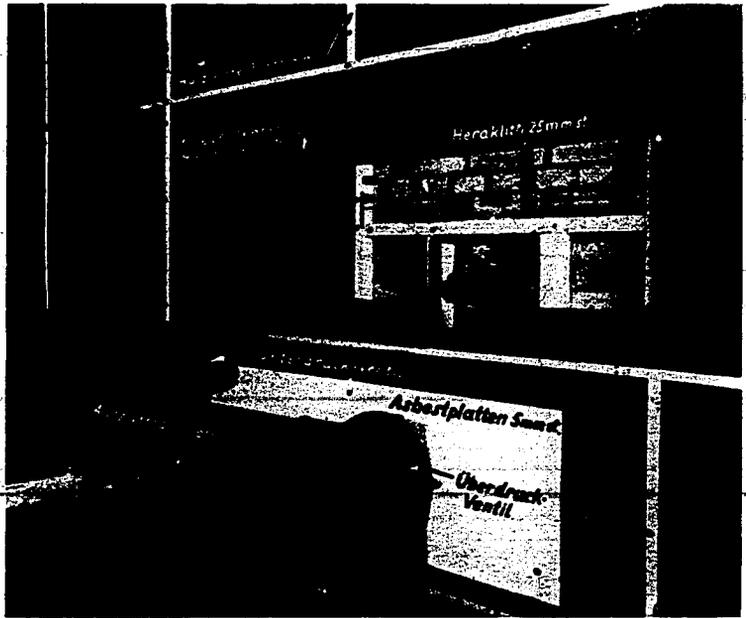


Abb. 4. Schallverkleidung und Auspuffsammelleitung.



Abb. 5. Schalkammernaufhängung an der Decke.



Abb. 6. Einlenkschaufeln im Auspuffturm.



Abb. 7. Runddach.



Abb. 8. Auspuffkühler.

tarbe stark gespritzt werden mußten. Die Heraklithplatten verlieren dabei allerdings ihre rauhe Oberfläche, so daß die Schalldämpfung durch Oberflächenreibung wesentlich herabgesetzt ist. Diese Farbe soll nach Angabe der Lieferfirma schwach feuerhemmend sein. An unseren älteren Prüfständen konnten wir die Beobachtung machen, daß an der Auskleidung nie offenes Feuer auftrat; die getränkten Heraklithplatten kämen immer nur zum Schwelen. Genaue Versuche in dieser Richtung mußten jedoch noch durchgeführt werden. Feuergefährdete Stellen der Schallverkleidung haben wir zusätzlich mit Asbestplatten abgedeckt (Abb. 9). Um mit Sicherheit das Loslösen von größeren Teilen wie Fasern usw. zu verhindern, wurden die Prüfstände in einer Höhe bis zur Einmündung der Prüfraume in die Turme mit Fliegengitter, Maschenweite 1 qmm, versehen.

Der Anteil der Schallkammern wurde dadurch vergrößert, daß man an den Decken der Prüfraume ebenfalls sogenannte Kammereinbauten aufhing, welche entsprechend den bereits erwähnten Schallkammern gebaut sind (Abb. 5).

Um möglichst keine Resonanzwirkung innerhalb der Prüfstände zu erhalten, wurden die gekrümmten aus Blech bestehenden Leitschaukeln durch 25 cm starke Heraklithplatten abgedeckt. Zum Aussteifen der Schaukeln und zum Schutz der Platten wurden an den Austrittskanten Winkelbleche angebracht. Die Heraklithplatten selbst sind durch Stahlbänder und Schrauben an den Leitschaukeln festgemacht; die Platten wurden ebenfalls mit Spezialfarbe gespritzt und durch Auflegen von Fliegengitter gegen Zerstörung geschützt, Abb. 6.

Die Schalleinbauten der Prüfstände in dieser Bauart sind nicht regenbeständig; es war deshalb — wie bereits erwähnt — notwendig, die Prüfstände abzudecken. Gleichzeitig damit mußte eine Dachform gefunden werden, die keine Querschnittsverengung und Veränderung mit sich bringt. Diese Forderung und der schon vorher erwähnte Wunsch, dem austretenden Schall eine bestimmte Richtung zu geben, führten zu den in Abb. 7 gezeigten Runddachern. Sie haben sich als durchaus brauchbar im Prüfbetrieb erwiesen; Nachteile, wie Umpumpen der Luft innerhalb der Stände und ähnliche Erscheinungen, konnten nicht festgestellt werden.

Als weitere Schallbekämpfungsmaßnahme wurden Auspuffabsauganlagen eingebaut. Diese Anlagen haben ebenfalls die Eigenschaft, Geräusche tiefer Frequenzen, wie sie im Auspuff vorhanden sind, zu vernichten. Der Aufbau der Absauganlagen wurde gleichfalls nach der Forderung möglichst wirtschaftlichen Betriebes festgelegt. Für die Abführung der Abgase sind Gebläse erforderlich, denen jedoch aus Gründen der Betriebssicherheit nur Temperaturen bis zu 300 C zugeführt werden können. Diese Temperaturen lassen sich entweder durch Mischung mit Frischluft oder durch entsprechende Rückkühlung ermöglichen. Wir geben der letzteren Ausführung den Vorzug, da dadurch wesentlich geringere Gasengen umgesetzt werden müssen, und der Leistungsaufwand für die Gebläse etwa ein Fünftel gegenüber demjenigen beträgt, der bei der Mischkühlung notwendig wäre.

Die Anlage besteht jeweils aus Sammelrohr mit Ober- und Unterdruckventil, Ausgleichstopf, Abgaskühler und Gebläse mit Drehstromhenschlußmotor. Das Sammelrohr besitzt am Ende 2 Stützen, auf denen je ein Doppelkugelgelenk aufgeschraubt ist. Durch diese Gelenke ist eine bewegliche Verbindung zwischen Absauganlage und Motor hergestellt (Abb. 3). Um zu verhindern, daß Kraftstoff innerhalb der Leitung angesammelt wird, wurde ein Unterdruckventil eingebaut, welches sich selbsttätig von einem bestimmten Unterdruck ab in der Leitung öffnet und

für den Zutritt von Frischluft sorgt, so daß eine gründliche Durchspülung der Anlage stattfinden kann. Das weiter angeordnete Überdruckventil soll verhindern, daß durch schädliche, aus etwaigen Explosionen herrührende Drücke die Leitung zerstört wird. Der Abgaskühler wurde direkt in den Turm eingebaut, weil dort die entsprechende Kühlungsmenge ohnehin zur Verfügung steht. Durch die Verwendung von Rippenrohren, die eine dreifache Kühlwirkung gegenüber glatten Rohren haben, konnte der Kühler in seinen Abmessungen klein gehalten werden (Abb. 8). Das verwendete Gebläse — ein Zentrifugalbläser — ist direkt mit einem regelbaren Elektromotor zusammengebaut. Der Elektromotor kann entweder ein Drehstrom-Schleifringläufermotor sein, dabei muß der Nachteil in Kauf genommen werden, daß derselbe nur belastungsabhängig und unter Stromverlust geregelt werden kann, oder aber ein Drehstromkollektormotor, der den großen Vorteil besitzt, belastungsunabhängig und ohne Stromverlust geregelt werden zu können. Dies ist besonders vorteilhaft, da verschiedene große Motoren auf ein und demselben Stand geprüft werden. Trotz der höheren Anschaffungskosten fand bei

uns neuerdings der Drehstromkollektormotor Verwendung. Mittels eines einfachen U-Manometers kann die Anlage leicht überwacht werden. Es muß nur darauf geachtet werden, daß am Flugmotor weder Ober- noch Unterdruck entsteht. Der Leistungsbedarf der Absaugeanlage beträgt für einen Flugmotor von 400 PS etwa 5 PS, jedoch ist es aus Sicherheitsgründen ratsam, den Elektromotor etwa 35% höher in seiner Leistung auszuliegen. Die Gaseschwindigkeit in der Leitung zwischen Kühler und Gebläse ist etwa 12 bis 14 m/sec.

Zusammenhangend kann gesagt werden, daß die besprochenen schalldämpfenden Auskleidungen in Verbindung mit den Diehern und den Auspuffabsaugeanlagen es ermöglichen, die Prüfstände sogar während der Nacht in Betrieb zu halten, ohne daß dabei selbst in den nur einige hundert Meter entfernten Wohnhäusern eine Lärmbelastung auftreten könnte.

Die Ergebnisse der Schallmessungen, die von der Erprobungsstelle Rechlin durch Dr.-Ing. v. Schmoller an den Prüfständen vorgenommen wurden, sollen später durch die Erprobungsstelle selbst mitgeteilt werden.

Aussprache.

Auf Befragen teilte Herrr mit, daß die verwendeten Heraklithplatten zum Teil schon 3 Jahre im Betrieb und stark mit Öl bespritzt sind. Leichte Brennbarkeit wurde bisher nicht festgestellt.

Meyer hebt hervor, daß die Brennbarkeit wesentlich von der Verwendung von Fliegenzage abhängt, wie die Ausföhrung der Harth Prüfstände zeigt.

Schalldämpfte Prüfstände im Ausland.

(Nach einer Veröffentlichung in „Aircraft Engineering“ vom Februar 1938.)

Von E. v. Schmoller, Rechlin.

Pratt- und Whitney hat verschiedene Versuchsausführungen zur Schalldämpfung von Prüfständen hergestellt. Abb. 1 zeigt eine Auspolsterung des horizontalen Kanales mit „Zonolite“ (schalldämpfendes Glimmerpräparat), so daß ein achteckiger Querschnitt entsteht. Über das „Zonolite“ ist Stoff und Drahtnetz gespannt. Diese Verkleidung wurde durch Luftschraubensog beschädigt. Ferner sind Polster gleichen Werkstoffes in den Türmen eingebaut; diese sollen sich als günstig erwiesen haben.

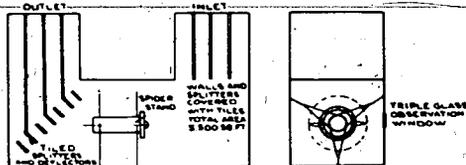


Abb. 2. Einbau von Zwischenwänden und Umlenktafeln in den Türmen.

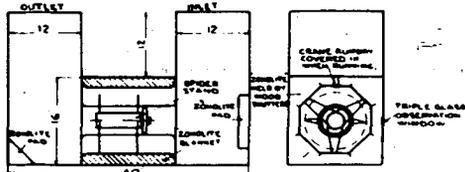


Abb. 1. U-Prüfstand, horizontaler Kanal mit „Zonolite“ ausgepolstert.

Abb. 2 stellt den Einbau von Zwischenwänden mit Umlenktafeln in den Türmen dar. Werkstoff ist „Calistone“, hergestellt aus Schlackenwolle. Größe der Steine ist 60 x 30 x 12 cm. Die gesamte absorbierende Fläche beträgt 500 qm. Akustische Messungen sind

nicht durchgeführt. Abb. 3 zeigt eine ähnliche Konstruktion, jedoch sind nur im oberen Teil des Turmes Zwischenwände eingebaut. Als Werkstoff wurden Platten aus Holzschnitzeln (13 cm) mit Bindemittel verwendet. Oberfläche: 430 qm. Dämpfung der Stände von Abb. 2 und 3 ist als ausreichend angegeben.

Die Firma Wright hat Stände mit Wabengittern in den Türmen gebaut, s. Abb. 4 und 5. Höhe des Gitters: 4,3 bzw. 6,4 m. Als Werkstoff wurde „Calistone“ verwendet. Aufbau mit Eisenträgern. Messungen ergaben wesentlich günstigere Ergebnisse bei 6,4 m Höhe. Bei einem 1500 PS-Motor mit einer Schraube von 300 m/s Umfangsgeschwindigkeit wurden im Prüfraum 142 db, oben am Kamin 121 db und in 800 m Entfernung 70 db gemessen (Gesamtschall). Ein weiterer Prüfstand ist mit waagerechten Ein- und Auslaßkanälen versehen. Zur Dämpfung sind Wabengitter von 30 x 30 cm

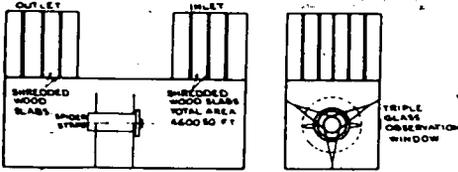


Abb. 3. Einbau von Platten aus gebundenen Holzschnitzeln im oberen Teil der Türme.

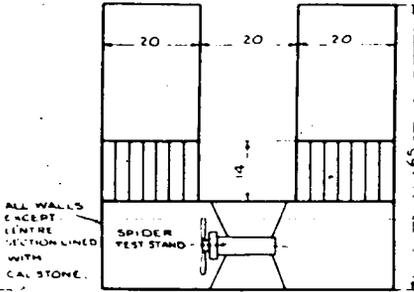


Abb. 4. Einbau von Wabengittern in den Türmen.

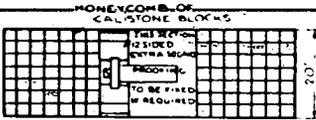


Abb. 5. Wabengitter aus „Calistone“.

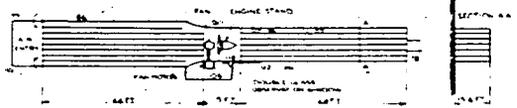


Abb. 6. Prüfstand mit senkrechten Zwischenwänden in horizontalen Kanälen.

Querschnitt und 3,5 m Länge aus Kokslosche eingebaut. Schalldämpfung ist als sehr gut angegeben.

Die Alviswerke in England haben einen Prüfstand errichtet, dessen Kanäle die Form eines rechteckigen, liegenden Schornsteines haben. Die Kanäle sind mit 10 cm Schlackenwolle und darüber liegenden geflochtenen Asbestplatten ausgekleidet.

Armstrong-Siddeley hat bei einem Prüfstand mit horizontalen Kanälen, Abb. 6, mit eingebauten senkrechten Zwischenwänden und Umlenkung nach oben sehr gute Dämpfung erzielt. Die Länge jedes Kanals beträgt 20 m, der Querschnitt 5 × 5 m. Die Luftkanäle

sind aus Holzrahmen von 5 × 1 m und 7,5 cm Dicke aufgebaut und mit schalldämpfendem Stoff gefüllt. Die Innenseite ist mit gelochtem — die Außenseite mit glattem Blech abgedeckt. Die Zahlen in Abb. 6 entsprechen den gemessenen 118 db am Motor zogen 78 db am Austritt! Der Prüfstand war nur vorübergehend aufgestellt.

Es wurden ferner Vergleiche zwischen der senkrechten und wängerechten Bauart der Kanäle angestellt. Schließlich folgt eine theoretische Betrachtung über den günstigsten Abstand zwischen den Trennwänden, wobei eine Formel für die Dämpfung angegeben wird.

Aussprache.

In der Aussprache zum Vortrag v. Schmoller hebt Meyer hervor, daß die horizontale Prüfstandbauart vom englischen Luftfahrtministerium vorgeschrieben wird, um zu vermeiden, daß Flugzeuge durch den aus senkrechten Türmen austretenden Luftstrom beeinflusst werden. Gelegentlich eines Besuchs bei Bristol wurden An-

lagen gezeigt, die von der englischen Physikalischen Reichsanstalt ausgeführt sind und die am Kanalausgang eine Schallstärke von 78 Phon besitzen, entsprechend dem vom englischen Ministerium vorgeschriebenen Höchstwert.

Vergleichende Schallmessungen an verschiedenen Prüfstandbauten.

Von H. Wehner, Berlin.

Eine Anzahl von Prüfstandbauvorhaben in Deutschland und in Südamerika veranlaßte die Lufthansa, Umschau zu halten nach den Mitteln und Möglichkeiten, den Lärm für Bedienungspersonal und Umge-

bung auf ein erträgliches Maß zu senken. An Hand der verschiedenen bereits vorhandenen Bauarten sollte eine Form gefunden werden, die dem augenblicklichen Stand der Technik am besten entspricht und darüber

hinaus geeignet ist, auch dem Auslande als vorbildliches Beispiel deutscher Technik gezeigt zu werden.

In diesen Rahmen fällt noch eine zweite Aufgabe, die über die Bedürfnisse der Luftthansa hinaus auch allgemein von Bedeutung ist. Es handelt sich um die Frage, mit welchen wirtschaftlichen Mitteln bereits vorhandene ältere Prüfstände ausgestattet werden können, um eine befriedigende Minderung der oft unerträglichen Lärmabstrahlung zu erzielen.

Bei der Untersuchung der bestehenden Prüfstandbauten interessierten uns zwei Größen:

1. Die Lärmenergie, die auf die Beobachtungsräume übertragen wird, und
2. die Lärmenergie, die ins Freie dringen kann.

In beiden Fällen wird die übertragene Schallenergie um so kleiner sein, je mehr dafür gesorgt wird, daß bereits an ihrem Ursprungsorte, im Maschinenraum, möglichst viel vernichtet wird. Für den Beobachterraum hat sich gezeigt, daß sich hier durch Anwendung der bekannten bauakustischen Grundsätze eine sehr gute und vollkommene Entlärnung erzielen läßt. Es treten hierbei keine besonderen Schwierigkeiten auf, so daß sich eine Erörterung dieser Fragen erübrigt.

Der Lärm im Freien wird in erster Linie bestimmt von der Größe der im Maschinenraum übriggelassenen Schallenergie, die durch die Türme nach außen dringt. In zweiter Linie kommt hinzu derjenige Lärmanteil, der durch das Mauerwerk hindurch nach außen dringen kann oder der von dem zu eigenen Schwingungen angeregten Mauerwerk abgestrahlt wird.

Für die vorliegenden Messungen waren uns drei verschiedene Prüfstände zugänglich:

1. Die Prüfstände der DLH in Staaken.
2. die Prüfstände der Firma Humboldt-Deutz in Hamburg, und
3. die Prüfstände der Firma BMW in Allach.

Die drei verschiedenen Bauweisen zeigt Abb. 1.

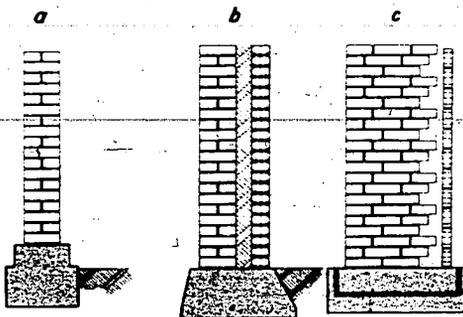


Abb. 1. Prüfstandbauten, Wandkonstruktionen:

- a = Staaken,
- b = Hamburg,
- c = Allach.

Die Staakener Stände stammen aus einer Zeit, in der Lärmfragen noch kein erhebliches Gewicht hatten. Sie bestehen daher aus einfachem Mauerwerk ohne jegliche Sondermaßnahmen. Die Wände des Maschinenraumes sind 25 cm stark und nur die Türme sind aus Gründen der Tragfähigkeit in größerer Stärke ausgeführt.

Schon allein in Hinblick auf die geringe Wandstärke stellen diese Bauten ein Beispiel dafür dar, wie weit man es nicht machen soll.

Für die Hamburger Bauten lag eine Aufgabenstellung zugrunde, die besonders durch zwei Punkte charakterisiert ist:

1. Die Bremsstände mußten auf stark moorigem, wenig tragfähigem Untergrund errichtet werden. Um die Baukosten für Fundamentierungsarbeiten in tragbaren Grenzen zu halten, sollte das Bauwerk möglichst leicht gehalten sein.

2. Trotz der Leichtbauweise sollte die Lärmabstrahlung auf ein Mindestmaß beschränkt werden.

Die Hamburger Wandkonstruktion besitzt eine 1 Stein starke Außenwand (25 cm), im Abstände von 10 cm eine Innenwand aus Lochsteinen der allgemein gebräuchlichen Art mit zwei Löchern von 30 bis 40 mm Durchmesser in 12 cm Stärke. Die Gesamtdicke des Mauerwerks beträgt somit 47 cm. Der Hohlraum ist mit Ausnahme des Bremsstandes Nr. 5, wo keine Füllung vorhanden ist, mit Glaswolle ausgefüllt. Diese Bauweise hat den Vorteil des geringen Gewichtes. Durch entsprechende Verbreiterung des Fundamentes ist man auf die geringe Bodenbelastung von 0,25 kg/cm² gekommen.

Den größten schalltechnischen Aufwand stellen die Allacher Bauten dar. Die Umfassungsmauern sind in einer Stärke von rund 75 cm aufgeführt.

Das Mauerwerk ist unterteilt in eine Außenmauer, einen Luftraum und eine Innenwand. Die Innenwand besteht aus Speziallochsteinen, von denen 3 Sorten verwendet werden. Diese Steine im abnormalen Format 250 × 140 × 60 mm besitzen jeder rund 50 Löcher von 10 und 12 mm Durchmesser. Die drei Sorten unterscheiden sich in der Anordnung der verschiedenen Lochgrößen.

Der Hohlraum zwischen Außen- und Innenwand ist stark zerklüftet durch entsprechende Gestaltung der Innenseite der Außenmauer, so daß hinter den verschiedenen weiten Kanälen der Lochsteine große Hohlräume entstehen. Zur Verringerung der Körperschallleitung sind die Wände und Motorfundamente durch Preßkorkzwischenlagen von den Betonfundamenten isoliert. Die Wände der Beobachterräume sind durch einen 7 cm-Luftspalt von den Wänden der Maschinenräume getrennt.

Die akustische Wirkung dieser drei Bauformen läßt sich im voraus abschätzen:

Der Staakener Bau wird durch seine oberflächliche Porosität eine gewisse, aber bestimmt verschwindend kleine Schallschluckung für hohe Frequenzen besitzen, aber die Hauptenergie im Bereich der tiefen Frequenzen von 100 bis 200 Hz bleibt unbeeinflusst.

Die Hamburger und die Allacher Anordnung stellen Resonanzschallschlucker dar, die insbesondere für tiefe Frequenzen wirksam werden. Die Rechnung ergibt in beiden Fällen eine Resonanzfrequenz von etwa 200 Hz. Über die Breite des geschluckten Frequenzbandes läßt sich nichts voraussagen, da irgendwelche Erfahrungen, wie groß die Dämpfung in Mauerwerk anzusetzen ist, noch fehlen.

Für die im folgenden gezeigten Schallmessungen fand ein Siemens objektiver Lautstärkenmesser Verwendung in Verbindung mit einem Siemens-Oktavsieb. An Hand von Schallfeldmessungen der Physikalisch-Technischen Reichsanstalt wurden die Lautstärkenwerte in Schalldruckwerte umgerechnet. Die Angaben beziehen sich auf neuen internationalen Pegel, 0 phon $2 \cdot 10^{-4}$ phar.

Abb. 2 zeigt einen Vergleich der Ergebnisse von Schallmessungen in den Maschinenräumen der drei Bauten. Es handelt sich in allen drei Fällen um gleich starke Sternmotoren; die Messungen wurden auf der Sogseite rund 3 bis 4 m vor der Luftschraubenebene vorgenommen.

Für Staaken kann nur ein Verlauf bei der Motordrehzahl 1000 U/min gegeben werden. Bei 1400 U/min bereits übersteigt der Lärm die obere Grenze des Meßgeräts von 130 phon.

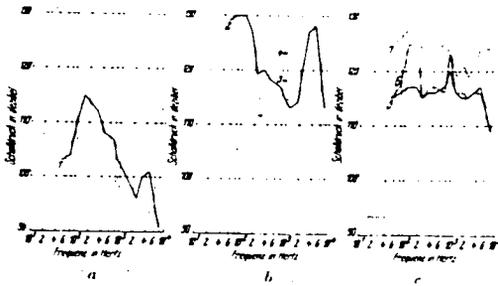


Abb. 2. Schalldruckverlauf im Maschinenraum. Verschiedener Prüfstandbauten:

- a. Staaken, BMW 132-Motor:
 - 1: n = 1000 U/min, 113 103 phon.
- b. Hamburg, Bramo 322 H-Motor:
 - 2: n = 1800 U/min, 128 113 phon.
 - 3: n = 1800 U/min, 118 phon.
 - 4: n = 2000 U/min, 123 phon.
- c. Allach, BMW 132 N-Motor:
 - 5: n = 1600 U/min, 120 120 phon.
 - 6: n = 1800 U/min, 125 123 phon.
 - 7: n = 2000 U/min, 129 123 phon.

In Hamburg gelang die Messung noch bei 1600 U/min. Für Drehzahlen von 1800 und 2000 U/min konnte nur noch der 900 Hz-Wert gemessen werden; die tieferen Frequenzen überstiegen auch die 130-phon-Grenze.

In Allach dagegen waren Messungen bis 2000 U/min möglich, ein Zeichen für die Überlegenheit dieser Bauten in bezug auf die Schallverminderung im Maschinenraume.

Der Einfluß von dämpfendem Material im Hohlraum hinter der Resonatorwand ist in Abb. 3 dargestellt. Die Kurven zeigen den Schalldruckverlauf in drei völlig gleichartigen Beobachteräumen der Hamburger

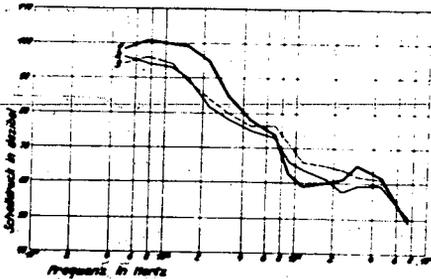


Abb. 3. Hamburger Prüfstände. Einfluß von Glaswolle. Bramo 322 H-Motor, n = 1800 U/min:

- 1. Stand 5: 98 63 phon, Maschinenraum ohne Glaswolle.
- 2. Stand 6: 91 66 phon, Maschinenraum mit Glaswolle.
- 3. Stand 7: 91 71 phon, Maschinenraum mit Glaswolle, ohne Luftleitbleche.

Prüfstände, deren zugehörige Maschinenräume verschiedenartig ausgestattet sind. Bei Prüfstand 5 ist der Hohlraum hinter der Resonatorwand des Maschinenraumes leer geblieben. Hier ist der Anfall tiefer Frequenzen stärker als bei Stand 6, wo der Hohlraum mit Glaswolle ausgefüllt ist. Die damit erzielte bessere Resonatordämpfung bringt eine höhere Schluckwirkung für tiefe Frequenzen. In Stand 7 ist die Wandausstattung die gleiche wie bei Stand 6, jedoch fehlen hier die Luftleitbleche in den Türen. Es macht sich ein erhöhter Anfall von Wirbelgeräuschen bei Frequenzen von 800 Hz aufwärts bemerkbar.

Eine für den Akustiker selbstverständliche Forderung ist die der guten Abdichtung des lärngeschützten Raumes gegen den lärmerfüllten Raum. Wie stark der Lärmzuwachs im Beobachterraum wird, wenn die Fenster und die Leitungs- und Gestängekanäle zwischen Beobachterraum und Maschinenraum nicht mit der erforderlichen Sorgfalt ausgeführt werden, zeigt Abb. 4.

Hier ist ein Vergleich des leisesten Hamburger Ständes Nr. 6 mit Staaken und Allach durchgeführt. Der Staakener Stand Nr. 3 ist am lautesten, denn der Beobachterraum ist nur mangelhaft gegen den Maschinenraum abgedichtet. Gute Abdichtung liegt beim

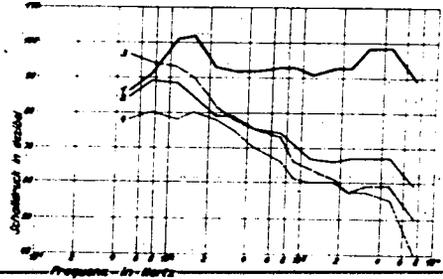


Abb. 4. Vergleich verschiedener Prüfstände. Beobachterraum. B. M. W. 132 o. Bramo 322-Motor, n = 1800 U/min:

- 1. Staaken, Stand 3: 102 93 phon.
- 2. Staaken, Stand 5: 86 73 phon.
- 3. Hamburg, Stand 6: 91 66 phon.
- 4. Allach, Stand 4: 74 61 phon.

Stand 5 vor (Kurve 2). Bei tiefen Frequenzen wird beim Hamburger Stand trotz der Schallschluckung im Maschinenraum mehr Energie durchgelassen, offenbar wird hier die Trennwand zwischen Maschinenraum und Beobachterraum zu Schwingungen bei tiefen Frequenzen angeregt. Von Frequenzen oberhalb 500 Hz ab ist der Hamburger Stand leiser als der Staakener; hier überwiegt die Wirksamkeit der Hamburger Innenverkleidung des Maschinenraumes. Der Allacher Stand ist über alle Frequenzen leiser als Staaken und Hamburg; hier kommt der in allen Einzelheiten größere Aufwand zum Ausdruck. Starke Schluckung bei tiefen Frequenzen setzt den Lärm im Maschinenraum stärker als in Hamburg herab. Die starken Doppelwände mit Luftspalt zwischen Maschinenraum und Beobachterraum bewirken eine große zusätzliche Schalldämmung.

Für die Lärmabstrahlung nach außen zeigen sich grundsätzlich die gleichen Auswirkungen. In Abb. 5 sind drei charakteristische Analysenkurven für Staaken, Hamburg und Allach verglichen. Es sind Analysenkurven, die in etwa 200 m Entfernung vom Bauwerk gemessen wurden. Diese Kurven wurden nicht in absoluten Schalldruckwerten dargestellt, denn diese

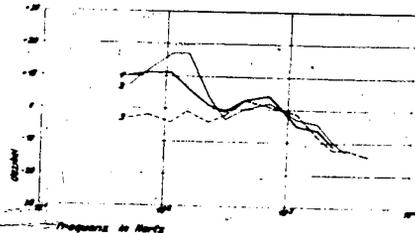


Abb. 5. Prüfstandlärm. Vergleich von Schallmessungen im Freien:

- 1. Hamburg,
- 2. Staaken,
- 3. Allach

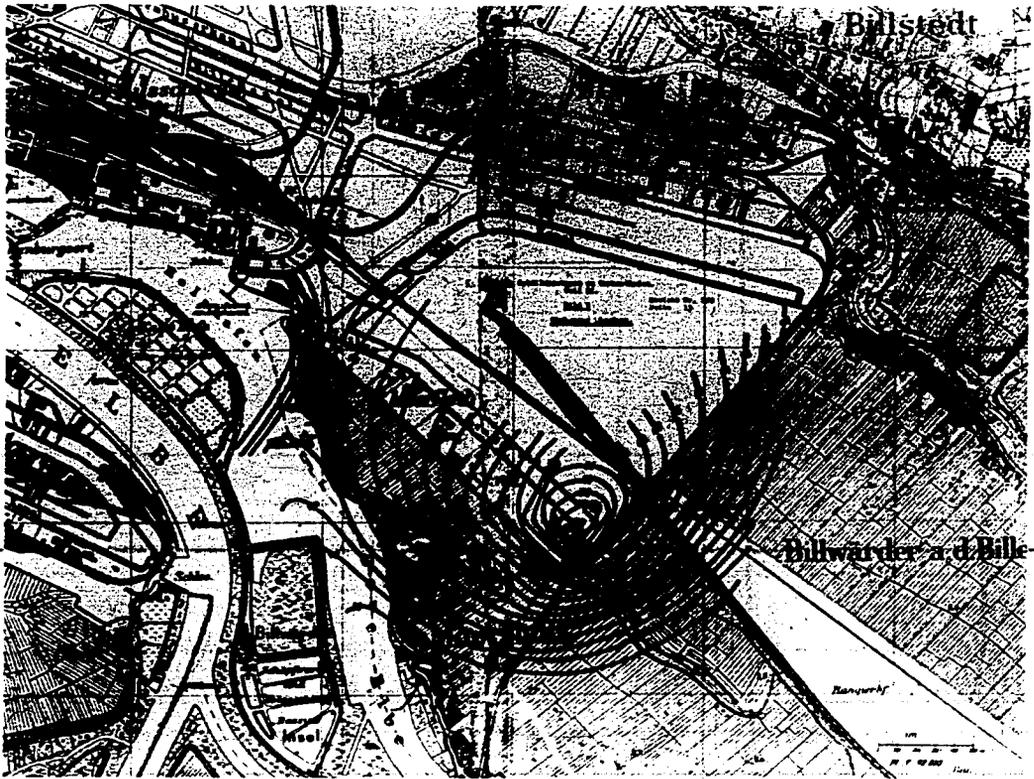


Abb. 6. Lärmfeld der Prüfstände Hamburg.

sind schlecht vergleichbar. Bei der Staakener Messung ließ nur ein Motor, bei der Hamburger Messung jedoch zwei Motoren, und in Allach wurden durchschnittlich vier Motoren gefahren. Die Kurven wurden so gezeichnet, daß sie mit ihren 900 Hz-Werten zusammenfallen, und daß ihr charakteristischer Verlauf erkennbar wird.

Bei den Staakener Ständen liegt das Maximum der Lärmabstrahlung in der Gegend der Auspuff- und Luftschraubenfrequenzen zwischen 100 und 200 Hz. Der Schall kann ohne Minderung im Maschinenraum aus den Türmen herausquellen.

Der Hamburger Bau ist leiser, denn hier wird schon im Maschinenraum Energie vernichtet. Das Maximum der Abstrahlung liegt aber noch immer bei tiefen Frequenzen von 50 bis 120 Hz.

In diesem Zusammenhang taucht eine Frage auf, die noch einer Klärung bedarf: Ist die Hamburger Innenverkleidung noch als ausgesprochene Resonator-Schluckanordnung anzusprechen oder nicht? Die Wirkung der Anordnung ist keinesfalls völlig befriedigend, trotz des Vorhandenseins von Dämpfungsmaterial, der Glaswolle, die in Allach nicht vorgesehen ist.

Vielleicht sind die Hohlräume der Lochsteine, deren Durchmesser im Vergleich zur Länge verhältnismäßig groß ist, schon ungünstig, so daß nicht mehr von einer starren Luftsäule als schwingende Masse gesprochen werden kann. Vielleicht gibt es hier ein Verhältnis Lochdurchmesser zu Lochlänge, welches eingehalten werden muß, um eine optimale Wirkung zu erzielen.

Bei der Allacher Bauweise werden die tiefen Frequenzen gänzlich unterdrückt, und das Maximum liegt bei 600 bis 800 Hz. Der Charakter des Lärms wird dadurch grundlegend geändert. Er ist nicht mehr als typischer Bremsstandlärm erkennbar, sondern erinnert an das Rauschen eines Wasserfalles oder das Räder-sausen einer Eisenbahn.

Entsprechend der verschiedenartigen Zusammensetzung des Allacher und des Hamburger Lärms sind auch die Ausbreitungsverhältnisse verschieden. Hohe Frequenzen werden bei der Ausbreitung stärker geschluckt als tiefe. Ein Geräusch, das mehr hohe Frequenzanteile hat, wird daher mit der Entfernung schneller an Energie abnehmen als ein Geräusch mit vielen tiefen Anteilen. Das Lärmfeld der Hamburger Stände ist in Abb. 6 gezeigt. Nördlich vom Werk-gelände konnten die Kurven gleicher Lautstärke nicht gezeichnet werden, weil dort wegen der Unzugänglichkeit des Geländes zu wenig Meßpunkte zur Verfügung standen.

Das Schallfeld in der Umgebung der Allacher Prüfstände zeigt Abb. 7.

Aus der Form des Schallfeldes sind deutlich zwei Einflüsse zu erkennen:

1. In Entfernungen von etwa 500 m findet zunächst eine verstärkte Schallabstrahlung in nördlicher Richtung statt. In dieser Richtung addieren sich offenbar die Schallstärken beider Bremsstände, nur wenig gehemmt durch einen schmalen, niedrigen Waldstreifen bis zur nördlichen Grenze des Werkgeländes. Nach

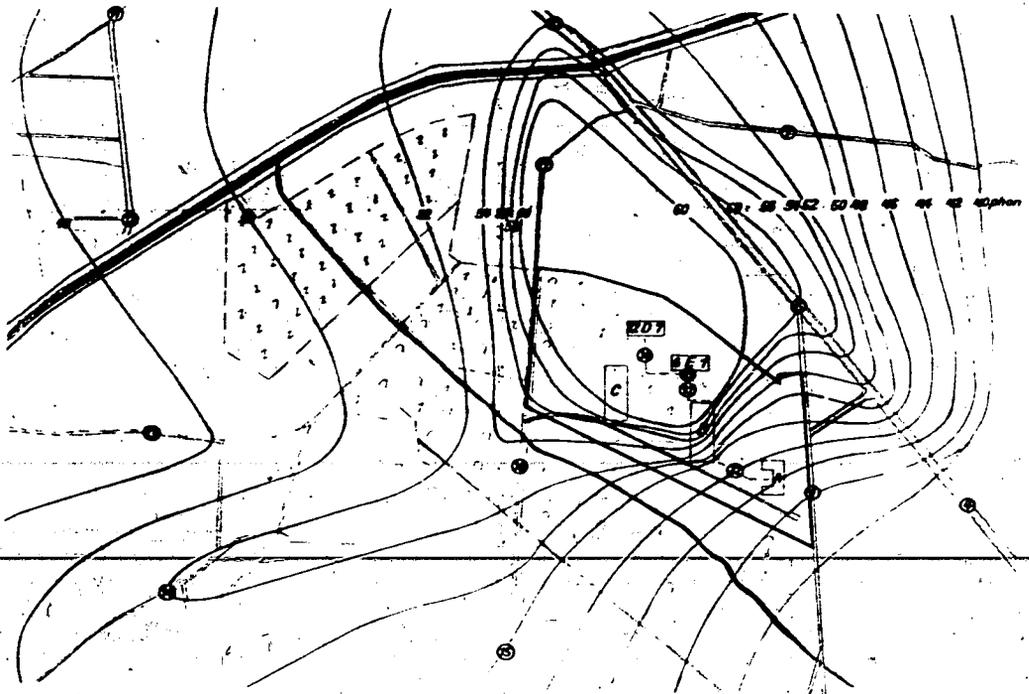


Abb. 7. Lärmfeld der Prüfstände Allach.

allen anderen Richtungen ist die Tiefe des Waldes wesentlich größer.

2. In etwas größerer Entfernung (rund 1000 m) macht sich der Windeinfluß bemerkbar. Am Südwestrande des Waldes bringt der dort einsetzende Bodenwind eine starke Verzerrung des Schallfeldes zustande.

Was die Größe des Lärms anbetrifft, so läßt sich der jeweilige subjektive Eindruck wie folgt charakterisieren: Längs der innersten Kurve für 60 phon ist bei ruhiger Umgebung ohne Verkehrs- und Windgeräusche der Schall deutlich wahrnehmbar und die Richtung, aus der der Schall kommt, kann eindeutig angegeben werden. Bei Wind und Regen jedoch würde der Bremsstandlärm bereits im allgemeinen Lärmpegel untergehen. Längs der 50 phon-Kurve ist es schon schwierig die Richtung des Schalles zu bestimmen. Bei einigem Wind geht diese Lautstärke im Rauschen des Waldes unter.

Aus diesem Bild und aus dem Schallfeld der Allacher Bremsstände wurde die Schallabnahme mit der Entfernung über 8 Himmelsrichtungen gemittelt. Das auf diese Weise vom Windeinfluß befreite Ergebnis zeigt Abb. 8.

Der Hamburger Lärm liegt von einer Entfernung von rund 200 m ab um rund 5 phon höher als der Allacher, wobei noch zu berücksichtigen ist, daß die Allacher Bremsstandbelastung mit 4 Motoren doppelt so groß wie die Hamburger ist. Die 50 phon-Grenze wird in Allach in einer Entfernung von 440 m unterschritten, in Hamburg erst bei 650 m.

Der Vergleich der verschiedenen Prüfstandbauten läßt sich damit wie folgt zusammenfassen:

Die Vorteile der Hamburger Bauten sind:

1. Leichte Bauweise, durch die bei ungünstigen Bodenverhältnissen kostspielige Fundamentierungsarbeiten vermieden werden können.

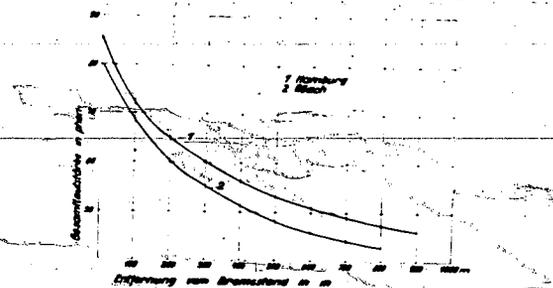


Abb. 8. Prüfstandlärm. Schallabnahme mit der Entfernung.

2. Verwendung marktgängiger Baustoffe und Vermeidung von Spezialsteinen verringert die Baustoffkosten.

3. Im Gegensatz zur Allacher Bauweise, die große Aufmerksamkeit in der konstruktionsgerechten Bauausführung verlangt, ist der Aufwand an Arbeitskosten geringer.

In ihren akustischen Eigenschaften dürften die Stände überall da ausreichend sein, wo keine ausgesprochen hohen Anforderungen an Lärmfreiheit bestehen, etwa in Industriegegenden und in Landschaften mit dünn besiedelter Umgebung.

In den folgenden Fällen, wo Sonderausführungen zu stellen sind, wäre die Allacher Bauweise vorzuziehen:

1. In Flugplatznähe, wo sich die Notwendigkeit von akustischen Flugzeugbeobachtungen ergibt;

2. in der Umgebung stark bewohnter Gegenden;

3. bei klimatischen Bedingungen, wo eine besondere

Schonung des Bedienungspersonals in den Beobachteräumen wünschenswert erscheint.

Darüber hinaus darf mit einiger Sicherheit angenommen werden, daß die Allacher Stände auf Jahre hinaus auch hohen Anforderungen an Lärmfreiheit genügen dürften.

In Zusammenarbeit mit der DVL, die uns auch hierin, wie schon einmal bei der Entlärnung von Flugzeugkabinen, bestens unterstützte, ist die Hansa augenblicklich bemüht, für ihre ausländischen Prüfstände eine Form zu finden, die unter Vermeidung von Spezialsteinen und unter Verwendung marktgängiger Erzeugnisse ein der Allacher Bauweise ebenbürtiges Ergebnis verspricht. Die Entscheidung dürfte zu Gunsten der von Herrn Willms (DVL) angegebene Bauweise (Kombination von Hochton- und Tieftonschallschlucker) fallen.

Ferner laufen Untersuchungen verschiedener poröser Baustoffe für die nachträgliche Entlärnung der Staaken Prüfstände. Sie beziehen sich auf Glaswolle und Glaswatte in verschiedenen Schichtdicken, Akustikplatten in Verbindung mit Glasfasererzeugnissen und in Verbindung mit feinporigen Faserplatten. Bei den Glasfasererzeugnissen, die wohl grundsätzlich geeignet wären, besteht immer noch die Schwierigkeit, den Stoff einwandfrei auf der Wand oder besser in bestimmtem Abstände von der Wand aufzubringen. Der Mangel an geeigneten Baustoffen ist darin begründet, daß alle bekannten Ausführungen vollauf genügen für die bisher üblichen akustischen Aufgaben, z. B. der Verbesserung der Hörbarkeit von Theatern und Lichtspielhäusern, Aufgaben, die energiemäßig gar nicht

mit der Prüfstandentlärnung vergleichbar sind. Ein zweiter Grund liegt in der Tatsache, daß im Baugewerbe wohl der Begriff der Schalldämmung Eingang gefunden hat, während der Begriff Schallschlucker noch etwas Neues darstellt. Es ist anzunehmen, daß im Baugewerbe schon länger hochporöse Baustoffe zu haben sind, bloß sie wurden bisher noch nie als Schallschlucker verwendet. Wir glauben ein günstiges Material im „Mikroporit“ der Berliner Kalksandsteinwerke Robert Guttman gefunden zu haben. Das Ergebnis steht noch aus.

Neben guten schalltechnischen Eigenschaften und neben der mechanischen Festigkeit sind bei derartigen Stoffen noch zu fordern:

Widerstandsfähigkeit gegen Zerfall und Erschütterungen, Feuerfestigkeit und Wetterfestigkeit; bei Verwendung in den Tropen: Widerstand gegen Insektenfraß. Organische Baustoffe scheiden dort also von vornherein aus.

Neben der großen grundsätzlichen Aufgabe der Energieminderung im Maschinenraum steht noch eine Reihe kleiner Teilaufgaben, die aber nicht weniger wichtig sind. Es sind dies die Fragen der Motorschütterungen, die Verhinderung ihrer Ausbreitung, Fragen der Tür- und Fensterabdichtung, Fragen der Abdichtung von Kabel-, Leitungs- und Gestängeführungen. Hier liegt bereits eine große Zahl mehr oder minder guter Lösungen vor. Es wäre ein schöner Erfolg der Arbeitsgruppe, wenn es auch hier gelänge, die jeweils beste Ausführungsform aufzufinden zu machen und eine Reihe von Standardbauelementen zusammenzustellen, die als vorbildlich bedenkenlos von jedem Konstrukteur übernommen werden können.

Lärmmessungen am schallgedämpften Prüfstand der DVL.

Von F. v. Burger, Reclin.

Von der Estelle wurden Lärmmessungen am schallgedämpften Prüfstand der DVL durchgeführt. Bei diesem Prüfstand wird der Luftstrom zweimal umgelenkt. Die Schalldämpfung nach außen ist dadurch sehr gut. Im wesentlichen stört außen nur der Motorgrundton. Der Beobachtungsraum ist schlecht gedämpft.

Von der Estelle wurde der schallgedämpfte Prüfstand der DVL akustisch vermessen. Diese Vermessung wurde mit dem Meßwagen der Estelle durchgeführt, der mit einer Oktavsieb-Oszillographen-Apparatur ausgerüstet ist. Die Schaltung ist in Abb. 1 gezeigt.

Der schallgedämpfte Prüfstand der DVL ist aus Beton ausgeführt. Im Innenraum hat man die Holzverschalung bis zur halben Turmhöhe belassen. Die Gesamtlänge des Prüfstandes ist 30 m. An jedem Ende wird der Luftstrom durch senkrechte Leitschaukeln in einen etwa 8 m langen, waagerechten Kanal umgelenkt, an dessen Ende die kreisrunden Türme ansetzen. Diese haben einen Durchmesser von 5 m und sind vom Boden aus 15 m hoch. Das entspricht etwa 12 m über dem Motorstand, Abb. 2.

Auf diesem Prüfstand war ein Motor Jumo 210 mit 20 cm langen Auspuffstutzen aufgebaut. An folgenden Stellen sind Messungen durchgeführt worden:

- Im Motorenraum 2 m vom Motor horizontal in der Auspuffebene,
- im Turmquerstück (Ansaugschacht) 1 m vom Rande hinter der inneren Leitschaukel. Wegen der

großen Windgeschwindigkeit im Schacht hier aufgestellt,

- im Beobachtungsstand an der Stelle des Beobachters,
- in der Mitte zwischen beiden Türmen 3 m vor einer großen Eisentür nach außen,
- 3 m vom Fuß des Ausblasturmes,
- f) und
- 25 m vor dem Eisentor normal zur Verbindungsgeraden der Türme (f nur Messung des Störlärmes innerhalb der Gebäude am Tage)
- 15 m vom Turm unter 45° zur Verbindungsgeraden der Türme,
 - i) und
 - k) 100 m in der Verbindungsgeraden der Türme auf dem an den Prüfstand anschließenden Rollfeld (k Störlärm am Rollfeld am Abend),
 - l) 300 m in der Verbindungsgeraden der Türme,
 - m) 300 m etwa 45° zur Verbindungsgeraden der Türme.

Die in den verschiedenen Stellen gemessenen Frequenzkurven sind in den folgenden Bildern gezeigt, und zwar a) bis f) in Abb. 3, f), g) und h) in Abb. 4, i) und k) in Abb. 5, k), l) und m) in Abb. 6. Diese Aufnahmen sind alle bei 2400 U/min gemacht. Die wichtigsten Angaben aus diesen Kurven sind im folgenden zusammengestellt:

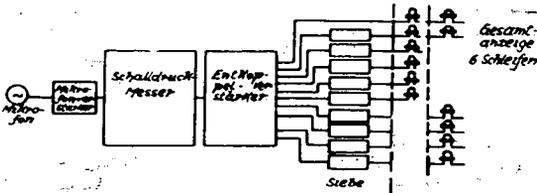


Abb. 1. Meßapparatur der Estelle Reichlin.

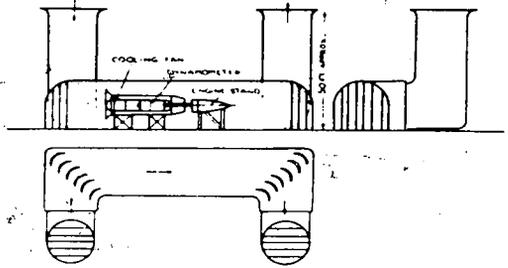


Abb. 2. Schalldämpfer Prüfstand der DVL.

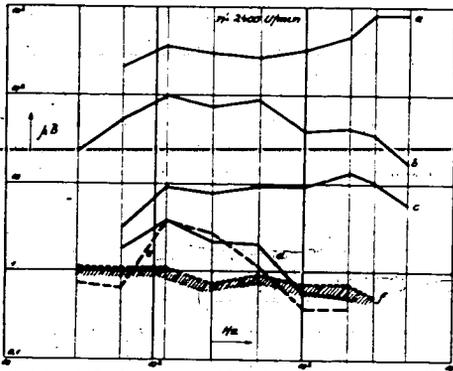


Abb. 3. Geräuschmessungen. Frequenzkurven.
 a Innenraum.
 b Turm, Querstück.
 c Beobachtungsraum.
 d 3 m vor Eisentor.
 e 3 m vom Turmfuß.
 f Störarm innerhalb der Gebäude.

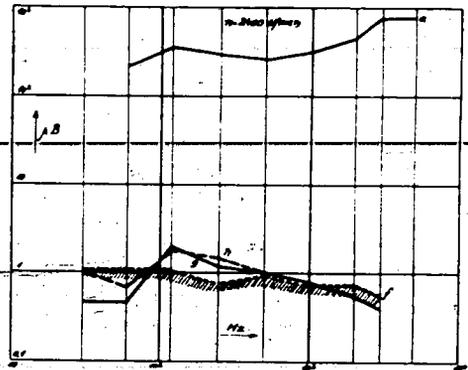


Abb. 4. Geräuschmessungen. Frequenzkurven.
 a Innenraum.
 f Störarm innerhalb der Gebäude.
 g 25 m vor Eisentor.
 h 25 m vom Eisentor; 15 m vom Turm.

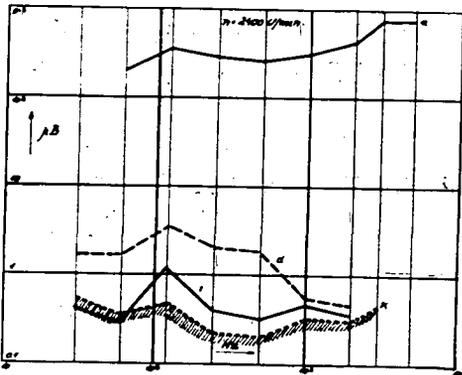


Abb. 5. Geräuschmessungen. Frequenzkurven.
 a Innenraum.
 d 3 m vor Eisentor.
 f 100 m in Richtung der Turme.
 k Störarm am Rollfeld.

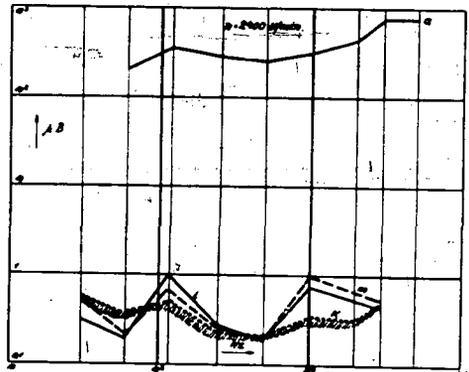


Abb. 6. Geräuschmessungen. Frequenzkurven.
 a Innenraum.
 k Störarm am Rollfeld.
 l 300 m in Richtung der Turme.
 m 300 m schräg zur Richtung der Turme.

Meßstelle	Grundton	Schallstärke in μb	
		unter 1000 Hz	über 1000 Hz
a) Motorraum	370	300	bis zu 800
b) Turm-Querstück	100	bis zu 100	unter 50
c) Beobachtungsstand	9	durchweg etwa 10	
d) 3 m vor Tür	4	2-4	unter 0,5
e) 3 m vom Turm	4	bis zu 4	unter 0,5
f) 25 m vor Tor		etwa 1	unter 1
g) 25 m vor Tor	2	bis zu 2	unter 0,7
h) 15 m vom Turm	1,8	unter 2	unter 0,8
i) 100 m	1,4	alles andere unter 0,5	
k) 100 m		unter 0,5	
l) 300 m	1	sonst unter 0,4	unter 0,8
m) 300 m	0,7	sonst unter 0,5	bis zu 0,9

Aus diesen Werten findet man die Dämpfung, immer von Meßstelle a) (2 m vom Motor) aus gerechnet in db:

Von Meßstelle a) Zu Meßstelle	unter 1000 Hz	über 1000 Hz
b) Turm-Querstück	etwa 10	steigend bis 30 db
c) Beobachtungsstand	30	steigend bis 40
d) 3 m vor Tor	40	(steigend über 60)
e) 3 m vom Turm	40-50	(etwa 60)
g) 25 m vor Tor	50	(steigend bis über 60)
h) 15 m vom Turm	50	(steigend bis 70)
i) 100 m	50-55	60-65
l) u. m)	55-60	60-65

Zu dieser Aufstellung ist zu bemerken: Der Beobachtungsstand hat einfaches Fenster und einfache Tür. Die Dämpfung ist daher nicht sehr groß. Die Angabe

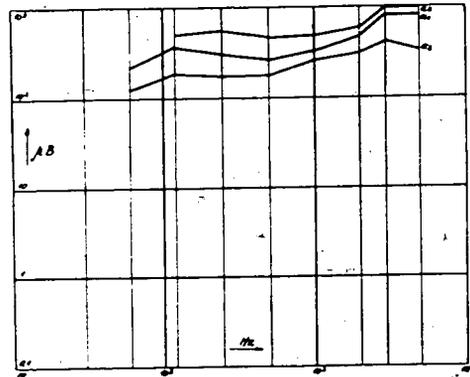


Abb. 7. Geräuschmessungen. Abhängigkeit der Schallstärke von der Motordrehzahl.

a₁ Innenraum $n = 2400$ U/min.
a₂ Innenraum $n = 2600$ U/min.
a₃ Innenraum $n = 2800$ U/min.

der Dämpfung über 1000 Hz an den Meßstellen d) bis h) ist fragwürdig wegen der Höhe des Störpegels.

Bei allen Außenmessungen tritt im wesentlichen ein mehr oder weniger breites Frequenzband um den Motorgrundton aus dem Störlärm heraus.

Die Schallstärke ist stark von der Umdrehungszahl abhängig. Dies zeigt Abb. 7 für Meßstelle a). Bei anderen Meßstellen sind die Unterschiede zwischen den Schalldruckkurven bei verschiedenen Drehzahlen ähnlich.

Das Gebläse ist getrennt vom Motor angetrieben und erzeugt bei 150 km/h Windgeschwindigkeit einen Schalldruck von unter 50 db unter 1000 Hz und bis zu 80 db oberhalb 1000 Hz, gemessen im Motorraum. Bei allen Messungen lief das Gebläse mit derselben Umdrehungszahl.

Mitteilung über Erfahrungen an verschiedenen Turmprüfständen der Firma Daimler-Benz A. G., Untertürkheim.

Von Will Binder, Stuttgart.

Beim Entwurf des ersten Daimler-Benz-Prüfstandes im Jahre 1933 war noch die Ansicht vertreten, daß es um das Prüfstandgeräusch für die nähere und weitere Umgebung zu beseitigen, genügt, wenn der Schall mittels entsprechend hohen Türmen nach oben geleitet wird. Infolgedessen wurden nach damaligen Anschauungen hohe Schalltürme vorgesehen. Der Bremsstand selbst war nackt, d. h. es waren keinerlei schallschluckende Werkstoffe vorgesehen; Bremsstand und Beobachtungsraum waren ohne Trennfugen fest aneinandergelaut. Der Stand befriedigte nach kurzer Zeit nicht mehr infolge gesteigerter Ansprüche. Die Verständigung im Beobachtungsraum, wo bei Vollgas eine Lautstärke von 95 bis 110 Phon, je nach der verwendeten Schraube, herrscht, ist fast unmöglich. Bei der Erweiterung des Bremsgeländes wurde daher beschlossen, auch im Hinblick auf die Störungen des alten Turmstandes in größerer Entfernung, die Prüfstände geräuscharm zu bauen.

In Zusammenarbeit mit dem Institut für Schall- und Wärmeforschung, Stuttgart (Prof. Reihner), wurde eine Konstruktion gefunden, die die in sie gesetzten

Erwartungen zum größten Teil erfüllte. Es ist zu erwähnen, daß dieser Bremsstand als Provisorium gedacht war und in möglichst kurzer Zeit erstellt werden sollte. Daher wurde der Stand als Holzkonstruktion ohne massive Wände ausgeführt, gemäß Abb. 1.

Im wesentlichen besteht diese Konstruktion aus folgendem: Auf die tragende Holzkonstruktion a ist außen eine Verschalung b aufgenagelt, auf dieser 2,5 cm dicke Heraklithplatten c, die schließlich durch einen leichten Verputz d wettergeschützt werden. Die tragende Konstruktion a ist in Felder von 60×60 cm aufgeteilt. Diese Felder werden durch eine Bretterzwischenwand in zwei gleichgroße Räume längsgeteilt. Der Raum hinter der Bretterwand nach außen wurde mit Birk gefüllt. Der freibleibende Hohlraum nach innen zu wurde durch Resonatoren abgeschlossen. Bei der Berechnung dieser Resonatoren wurde das Spektrum des alten nackten Standes zugrunde gelegt. Da dieses Spektrum ein fast kontinuierliches ist (s. Abb. 7 bis 9, S. 23), mit starker Betonung des untersten Frequenzbereichs um 200 Hz, wurden die Resonatoren nicht für eine bestimmte Frequenz ausgelegt, sondern wurden für

das ganze Spektrum berechnet, indem verschieden große Löcher vorgesehen wurden, s. Abb. 2, 3 und 4.

Zur Dämpfung der sehr niedrigen Frequenzen unterhalb 100 Hz, die in sehr starkem Maße durch die Luftschraube angeregt werden, wurde über dem Bremskanal eine doppelte Decke vorgesehen, die oben durch das Dach, unten durch einen Lattenrost begrenzt wurde. Dieser Lattenrost wurde in mehrere größere Felder aufgeteilt. Der Abstand der Latten war in den einzelnen Feldern verschieden, so daß die Spalten zwischen den hochkantgestellten Latten in Verbindung mit dem dahinterliegenden Hohlraum Resonatoren für sehr tiefe Frequenzen darstellen.

Die äußeren Maße dieses Bremsstandes gehen aus Abb. 5 hervor. Der Kanal hat einen Querschnitt von 6×5 m, der Turm von $1,5 \times 5$ m, die Länge des Kanals ist 18 m, die Höhe des Turms von Sohle bis Scheitel 7,8 m, im Gegensatz zu dem nackten Schallturm, dessen Turmhöhe 18 m beträgt.

Um die Richtwirkung der Türme auf den Schall, die sich beim alten Stand sehr unliebsam auswirkte, zu

unterbinden, wurden versuchsweise auf einen der beiden neuen Stande Hüte auf die Türme gesetzt. Diese Hüte wurden dazu zu erwarten war, daß die sehr hohen Töne durch die Resonatoren innerhalb des Turms nicht gedämpft würden, mit schallschluckenden Stoffen für sehr hohe Töne auf ihrer Unterseite bekleidet. Als schallschluckende Stoffe wurden im Mittelteil Glaswolle, an den Rändern der Hüte Heraklithplatten verwendet. Sowohl die Glaswolle als auch die Heraklithplatten wurden zum Schutz gegen mechanische Zerstörung durch Drahtnetze geschützt.

Die Folge dieser Maßnahmen war, daß der Schall sich nicht mehr senkrecht nach oben ausbreiten konnte, sondern bereits in sehr geringer Höhe über dem Erdboden zur Waagerechten umgelenkt wurde. Der Erfolg war dementsprechend: Eine Belästigung der Einwohnerschaft der Stadt Stuttgart war auf größere Entfernung hin nicht mehr festzustellen.

Gleichzeitig mit diesem Stand wurde ein Parallelstand vorbereitet, der an Stelle der verhältnismäßig teuren gegossenen Gipsplatten solche aus Heraklith

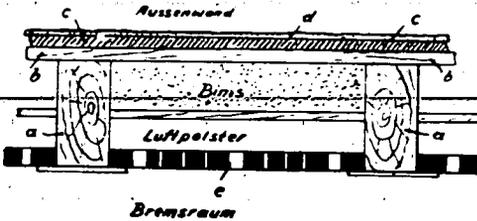


Abb. 1. Aufbau des provisorischen Turmprüfstands:
a tragende Holzkonstruktion.
b Verschalung.
c Heraklithplatten,
d Verputz.
e Resonatoren (Gipsplatten).

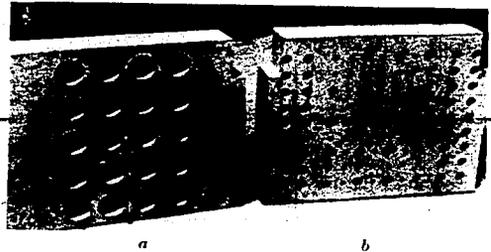


Abb. 2. Resonatorplatten aus Gips:
a Tiefen-Filter,
b Hochton-Filter.

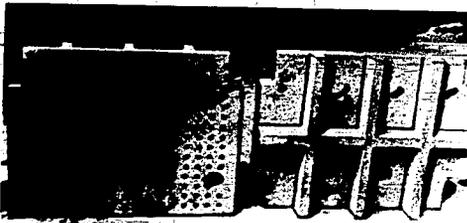


Abb. 3. Resonatoren aus Gips.

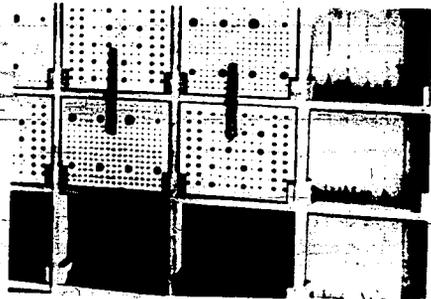


Abb. 4. Einbau der Resonatoren.

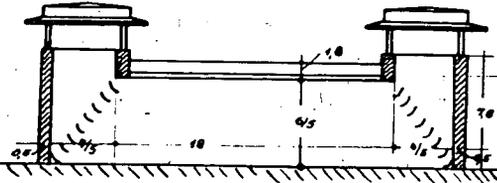


Abb. 5. Provisorischer Turmprüfstand.

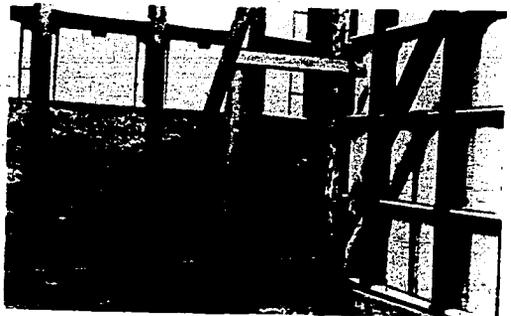


Abb. 6. Einbau der Heraklithplatten.

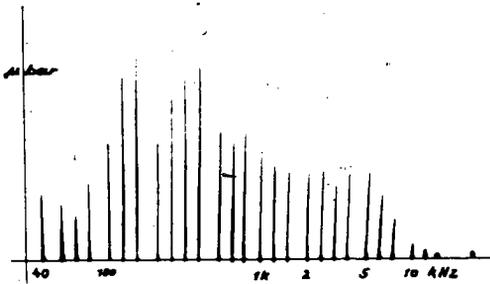


Abb. 7. Spektrum des nackten Turmstands gemessen im Blasturm in 2 m Höhe.

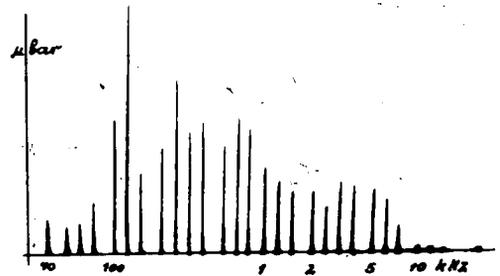


Abb. 8. Spektrum des nackten Turmstands gemessen an Oberkante Blasseite (18m).

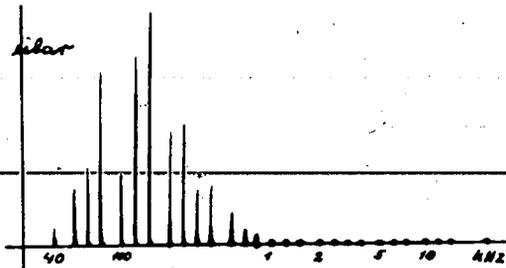


Abb. 9. Spektrum des nackten Turmstands gemessen in 20 m Entfernung.

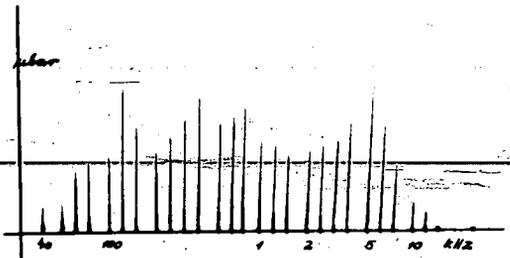


Abb. 10. Spektrum des provisorischen Turmstands gemessen im Blasturm in 2 m Höhe.

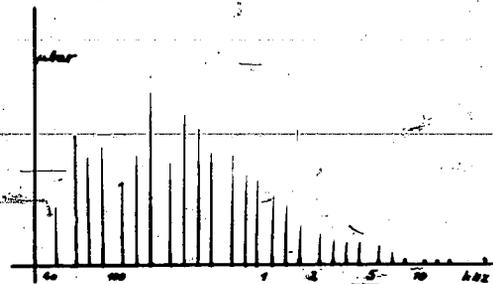


Abb. 11. Spektrum des provisorischen Turmstands gemessen an Oberkante Blasturm.

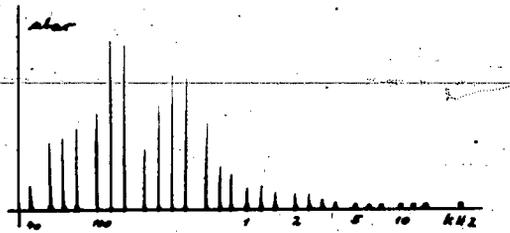


Abb. 12. Spektrum des provisorischen Turmstands gemessen in 20 m Entfernung.



Abb. 13. Neubau mit Lochsteinen.

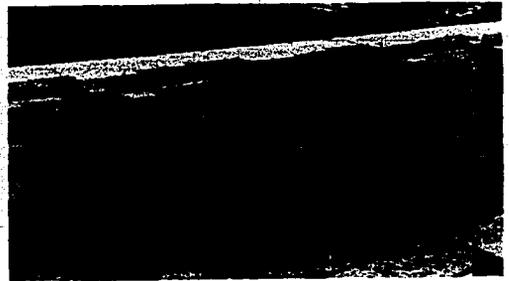


Abb. 14. Ausbildung der Resonanzkammer.

erhielt. Die übrige Bauweise war dieselbe, wie beim vorher beschriebenen Stand, s. Abb. 6. Jedoch wurde aus Feuersicherheitsgründen die Zwischendecke mit Lattenrost weggelassen. Bei diesem Stand wurden auch die beiden Türme bis zu ihrer Oberkante mit Heraklith ausgekleidet. Aus den Spektralaufnahmen in Abb. 10, 11 und 12 geht hervor, daß das kontinuierliche Spektrum bereits am Turmfuß gegenüber dem des nackten Standes, s. Abb. 7, 8 und 9, erheblich zusammengedrängt wurde und daß in 20 m Entfernung vom Bremsstand nur noch einzelne Teiltöne vorhanden sind. Es sei darauf hingewiesen, daß die beiliegenden

Spektralen kein Maß für die Lautstärke geben, sondern lediglich zur Beurteilung des Frequenzgemischs dienen sollen. Es ist auf den Bildern ferner zu sehen, daß durch die nunmehr eingebaute Heraklithverkleidung die hohen Töne eine zusätzliche starke Dämpfung erfahren.

Um nun die Schwierigkeiten, die die Heraklithplatten als Fasermaterial liefern (Staubbildung und geringe mechanische Festigkeit), zu umgehen, werden für die neuen weiter geplanten Stände wiederum Resonatoren aus Lochsteinen vorgesehen, entsprechend Abb. 13 und 14, über deren schalltechnische Ergebnisse zu gegebener Zeit berichtet werden wird.

Praktisch verwirklichte Dämpfungsmaßnahmen und Bauweisen.

Von L. Ruckebauer, Berlin.

Durchgeführte Geräuschmessungen in der Umgebung eines offenen und eines geschlossenen (schalldämpften) Prüfstandes.

Der geschlossene Prüfstand ist in der üblichen Turmbauweise ausgeführt, Abb. 2. Zur Schalldämpfung sind in den Wänden des Prüfkanals und Turmes Luftresonatoren eingebaut. Der im Waldgelände erbaute offene Prüfstand ist zum Schutze der nächsten Umgebung von einem 4 m hohen Erdwall eingeschlossen. Die Messungen an dem offenen Prüfstand erfolgten beim Lauf eines Einsterntors 323 B mit einer abgebrämten Leistung von 650 PS (90 vH), die Messungen an dem geschlossenen Prüfstand beim Lauf eines Doppelsternmotors mit 950 PS. Die aufgenommenen, in Abb. 1

peraturschichtungen der Luft gebrochen wird und in größerer Entfernung wieder zum Boden zurückkehrt. Wir erkennen daraus die dringende Forderung nach einer wirksamen Dämpfung der tiefen Frequenzen im Prüfstand.

Bei der Bauausführung eines Prüfstandes verwirklichte Dämpfungsmaßnahmen.

Die Abb. 2 und 3 zeigen die Ansicht und den Grundriß des Prüfstandgebäudes. Der in der Mitte desselben angeordnete Beobachtungsraum ist vom eigentlichen Prüfstand vollkommen getrennt, d. h. sowohl seine Fundamente als auch das Mauerwerk und Dach stehen in

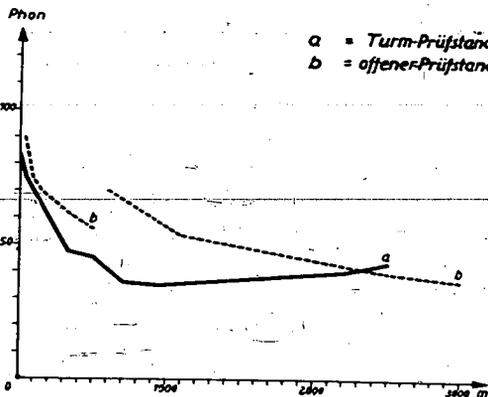


Abb. 1. Geräuschmeßergebnisse

gezeigten Meßreihen wurden mit einem Siemens-Objektiv-Geräuschmesser mit Kondensatormikrophon ausgeführt. Da die Lautstärke des zweiten Motors bedeutend größer ist und eine Messung derselben mit dem zur Verfügung stehenden Meßmittel nicht erfolgen konnte, ist ein unmittelbarer Vergleich der Meßwerte nicht möglich.

Die Lautstärke nimmt beim offenen Prüfstand mit zunehmender Entfernung stetig ab. Die Meßwerte des ersten Teiles der Kurve b sind in bewaldetem Gelände aufgenommen, die des zweiten höher liegenden Teiles in offenem und freiem Gelände. Das in größerer Entfernung auftretende Ansteigen der Lautstärke beim geschlossenen Prüfstand (Kurve a) ist auf die bekannte Erscheinung zurückzuführen, daß der hier nach oben abgestrahlte tieffrequente Schall an vorhandenen Tem-



Abb. 2. Prüfstand-Gebäude, Ansicht.

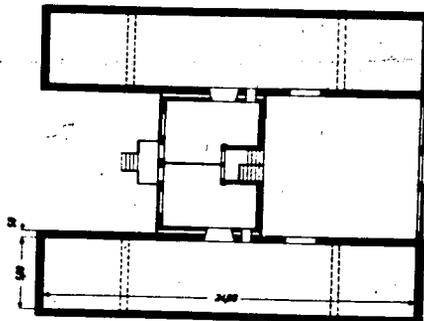


Abb. 3. Prüfstand-Gebäude, Grundriß.

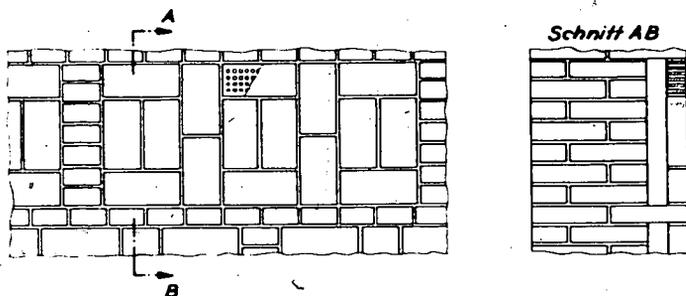


Abb. 4. Einbau der Luftresonatoren.

keiner Verbindung mit dem übrigen Gebäude, um die Übertragung von Schall und Erschütterungen möglichst zu verhindern. Die prüfstandsseitige Wand des Beobachtungsraumes ist durch einen 10 cm breiten Luftspalt von der Wand des Prüfkanals getrennt. Zur Vergrößerung der im Luftspalt vorhandenen Dämpfung wurde an den Rändern desselben in der Breite von 10 cm Schlackenwolle eingebracht.

Der Prüfstandskanal - und -turm ist für eine Dämpfung der tiefen Frequenzen des Schalles mit Luftresonatoren nach Abb. 4 ausgekleidet. Die Resonatoren sind auf eine Frequenz von 150 Hz abgestimmt. Das Mauerwerk ist so ausgeführt, daß in der Wand Aussparungen in der Größe von rund 50×100 cm bei einer Tiefe von 12 cm entstehen, die mit den bekannten Lochsteinen geschlossen werden. Als Lochstein wurde ein normaler Hartbrandziegel mit über die ganze Fläche gleichmäßig verteilten, 1 cm² großen Öffnungen verwendet.

Von einer Verwendung poröser, schallschluckender Stoffe für die Auskleidung des Prüfstandes zur Dämpfung der hohen Frequenzen wurde abgesehen, da Bedenken bezüglich der Beständigkeit gegen Verölen und Feuchtigkeit, mechanische Festigkeit und Feuergefahr bestanden.

Die Ausführung der zum Prüfstand führenden schallhemmenden Türen zeigt Abb. 5. Zur Erzielung einer

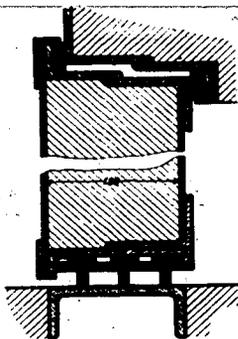


Abb. 5. Schallhemmende Tür.

großen Schalldämpfung ist die Füllung derselben aus Beton hergestellt. Großer Wert ist auf eine einwandfreie Abdichtung der Türen gelegt. Sie erfolgt durch eingelegte Streifen aus sogenanntem Moosgummi mit einem Querschnitt von 1×2 cm. Eine zuerst ausgeführte Abdichtung mit Vollgummi hat sich nicht bewährt. Die Abdichtung gegen den Fußboden erfolgt durch Profulgummi, der sich beim Schließen der Türen auf den Boden aufsetzt. Der Vorteil dieser Ausführung

liegt in dem Fortfall einer Stufe bzw. eines Anschlages im Fußboden.

Bei der eingangs gebrachten Schallmessung an diesem Prüfstand wurden im Gebäude noch die im folgenden angeführten Lautstärken festgestellt:

Beobachtungsraum	76 Phon
Vorraum (Mitte)	87 ..
Vorraum bei geöffneter Tür zum Prüfkanal	128 ..
am Turmaustritt	124 ..

Die Wirksamkeit der schallschluckenden Wände des Prüfkanals und Turmes ist durch den im Verhältnis zur Wellenlänge großen Kanalquerschnitt beschränkt. Zur Erzielung einer größeren Dämpfung der tiefen Frequenzen haben wir deshalb auf einem Stand den Turmquerschnitt durch schallschluckende Platten in eine Anzahl paralleler kleiner Öffnungen unterteilt. Abb. 6.

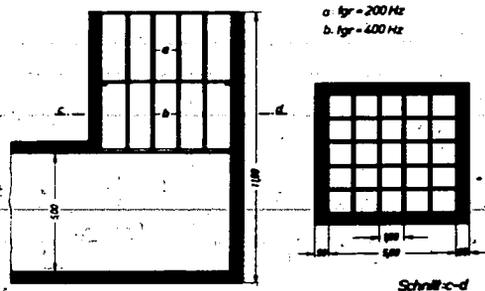


Abb. 6. Schallschluckende Einbauten im Prüfstandturm.

Die Querschnittsabmessungen der dadurch entstehenden Kanäle sind mit 1 m so gewählt, daß sie kleiner als die Wellenlänge des schallstärksten Frequenzanteiles sind. Die Schluckfähigkeit der Platten besteht im Mitschwingen dünner Metallbleche, wobei die Schallenergie in den Blechen selbst durch Werkstoffdämpfung und im Luftraum zwischen zwei zu einer Platte vereinigten Blechen vernichtet wird. Die Platten sind im oberen Teil für eine Grenzfrequenz von 200, im unteren Teil für eine Grenzfrequenz von 400 Hz bemessen. Die beiden Resonanzkurven überlagern sich derart, daß im Bereich von rund 150 bis 500 Hz eine optimale Schallschluckung entsteht.

Die Kleinheit der Kanalöffnung bewirkt, daß die tiefen Frequenzen beim Durchgang durch den Kanal einen großen Teil ihrer Energie an den schallschluckenden Wänden durch mehrfache Reflexion verlieren. Außerdem wird der tieffrequente Schall besser gerichtet, d. h. unter einem wesentlich kleineren Öffnungswinkel abgestrahlt.

Die beschriebenen Einbauten sind derzeit noch im Bau, so daß über die damit erzielte Schalldämpfung heute noch nichts gesagt werden kann.

Allgemeine Aussprache.

1. Meßtechnik.

Als Obmann der Arbeitsgruppe „Messung tiefer Frequenzen und großer Schallstärken“, die gleichfalls auf der Geräuschtagung in Göttingen gebildet wurde, berichtet Trendelenburg über die am 22. Juni 1938 stattgefundene Vorbesprechung.

Die Frequenzkurven der Mikrophone unter 50 Hz sind in der akustischen Meßtechnik bisher wenig beachtet worden. Im Flugzeugschall treten aber Frequenzen herunter bis zu 20 Hz auf, die bei der Eichung berücksichtigt werden müssen. Es empfiehlt sich nicht, den Meßgeräten eine ganz gleichmäßige Empfindlichkeit bis zu extrem tiefen Frequenzen zu geben, da durch tiefstfrequente Druckschwankungen, die akustisch bedeutungslos sind, Störungen auftreten können.

Es wird daher vorgeschlagen, die Empfindlichkeit der Mikrophone für Flugzeugschallmessungen unterhalb 50 Hz steil abfallen zu lassen. Man kann dies entweder durch die Konstruktion der Mikrophone oder durch die Art der elektrischen Anpassung an das erste Verstärkerrohr erreichen; man darf aber das den Abfall bedingende Schaltelement unter keinen Umständen hinter dem ersten Verstärkerrohr einbringen, da sonst durch nichtlineare Effekte, wie sie bei Übersteuerung der Röhrencharakteristik mit starken, sehr tiefen Komponenten ausgelöst werden, schwerwiegende Fehler auftreten können.

Es sind weiterhin die Fragen der Lautstärkemessungen besprochen worden. Bei Flugzeugschallmessungen treten bei Verwendung objektiver Lautstärkemesser Fehler auf. Diese liegen im wesentlichen darin begründet, daß die Frequenzkurven der objektiven Lautstärkemesser unter 50 Hz nicht hinreichend definiert sind, bzw. daß sie bei Lautstärkemessern verschiedener Herkunft voneinander abweichen. Schwierig werden die Verhältnisse dadurch, daß bei tiefen Frequenzen die Kurven gleicher Lautstärke eng zusammengedrängt sind. Es empfiehlt sich daher ganz besonders auf dem Prüfstand größte Vorsicht bei Lautstärkemessungen. Es erscheint das Empfehlenswerteste, zunächst stets Schalldrücke zu messen, und zwar — soweit genauere Aussagen erforderlich sind — unter Benutzung eines Oktavsiebes; es wird dann der Mikrobarwert in jeder Oktave angegeben. Hierbei ist es notwendig zu unterscheiden, ob Effektiv- oder Spitzenwerte gemessen werden. Der prinzipielle Unterschied erklärt sich folgendermaßen.

Bei Oktavsieben wächst die Durchlaßbreite in Hertz von Sieb zu Sieb auf das Doppelte. Wird beispielsweise mit Oktavsieben ein Schallvorgang mit einem Spektrum unendlich dicht verteilter Komponenten gemessen, welche alle die gleiche Amplitude haben, so nehmen die Spitzenwerte je Oktave proportional der Durchlaßbreite, also von einer Oktave zur nächsten, auf das Doppelte zu, während die Effektivwerte nur mit der Wurzel der Durchlaßbreite wachsen. Bei Geräuschen mit dicht verteilten Komponenten läßt sich die Lautstärke — wie die Untersuchungen von H. G. Thilo und U. Steudel (Wiss. Veröffentlichung der Siemens-Werke, XIV, 1, 1935, S. 63) zeigen — aus den Spitzenwerten je Oktave berechnen. Die Berechnung aus den Effektivwerten ist komplizierter, man muß dann auf von Fletcher und Munson angegebene Formeln für die Lautheit zurückgreifen. Es ist zu bemerken, daß die Berechnung der Lautstärke von Geräuschen, die nur einige wenige Komponenten enthalten, aus den Spitzenwerten nicht ohne weiteres möglich ist.

Es ist ferner besprochen worden, auf welche Weise die extrem hohen Drucke bei Prüfstandschall gemessen

werden können. Die Akustik hat sich bisher meist nur mit Schallvorgängen beschäftigt, die maximal ungefähr 130 Phon erreichen, die also einem 1000 Hz-Ton von rund 1000 Mikrobar entsprechen. Die meist verwendeten Kondensatormikrophone arbeiten bis zu diesen Schalldrücken einwandfrei. Für die Messung von 4000 bis 5000 Mikrobar ist aber ein Augenblick kein Meßinstrument mit linearer Kennlinie vorhanden. Bei den vorhandenen Mikrophonen können bei so großen Schallstärken schwerwiegende Fehler auftreten, so daß die bisherigen Messungen noch keine einwandfreien Vergleiche ermöglichen. Es ist zu erwarten, daß in kurzer Zeit ein Mikrophon für so große Schallstärken zur Verfügung stehen wird.

Die Erprobungsstelle hat Messungen bis zu 2000 Mikrobar durchgeführt. Es konnte oszillographisch gezeigt werden, daß hierbei noch keine Übersteuerungen auftraten. Die Mikrophonvorspannung war auf 30 Volt herabgesetzt (v. Schmoller).

Richtlinie.

Es wird empfohlen, den Schall mit Oktavsieben zu zerlegen und die Schallstärke in Mikrobar je Oktavsieb anzugeben. Die Schalldämpfung eines Prüfstandes ist dann in Zukunft aus folgenden Messungen zu ermitteln:

1. am Motor selbst in der Ebene der Auspuffstutzen in etwa 1 bis 2 m Entfernung,
2. im Fuß des Turmes in etwa 2 m Höhe,
3. im Mittelpunkt der Öffnung des Turmes.

Die Dämpfung in Dezibel wird aus dem Verhältnis der Messungen 3:1 bzw. 2:1 angegeben.

Es wird ferner empfohlen, Messungen bei größten Schallstärken auf Übersteuerungen dadurch zu prüfen, daß mit verschiedenen Mikrophonvorspannungen gearbeitet wird. Bei linearem Arbeiten der Anordnung müssen sich die gemessenen Schalldrücke wie die Vorspannungen verhalten.

Es ist erwünscht als Schallquelle außer Flugmotoren auch Luftschützsirenen zu verwenden.

2. Werkstoffe und Werkstoffanordnungen.

Es wird über eine Anordnung berichtet, die für eine englische Luftfahrtfirma untersucht wurde. Es handelt sich um Kanäle von 4 bis 5 m Länge mit einem Querschnitt von $2 \times 0,5$ m. Als Material wurde lose geschüttete Schlackenwolle verwendet, die mit gelochten Blechplatten überdeckt war. Es ist erforderlich, 20 vH Lochfläche vorzusehen, um genügende Dämpfung zu erzielen. Die Löcher müssen nahe aneinander liegen. Bei Platten ohne Löcher geht die Dämpfung auf den Fall der schwingungsfähigen Platte herunter (Meyer). Über die Wetterfestigkeit von Schlackenwolle liegen keine eindeutigen Erfahrungen vor (v. Schmoller).

Bei Hirth und Daimler-Benz sind seit längerer Zeit Heraklithplatten im Betrieb. Die Platten sind bei Daimler-Benz mit einem groben Draht überspannt, bei Hirth mit einem Schutzlack bespritzt und mit Fliegenetz bedeckt. — Auf Grund dieser Erfahrungen kann die Verwendung von Heraklithplatten, versehen mit Schutzlack und Drahtnetz, empfohlen werden (v. Schmoller).

Organische Stoffe (Faserstoffe usw.) scheiden z. B. für Südamerika wegen Tierfraß aus (Wehner).

Zur Materialfrage teilt Meyer ferner mit:

Es gibt zwei Steinarten, die porös sind und geeigneten Strömungswiderstand haben:

1. Glasbeton, dessen Oberfläche einem rauhen, unverputzten Mauerwerk ähnlich ist, hat 40 vH Schallschlückung.

2. **Iporit-Leichtbeton** kann für Schalldämmzwecke als 30 cm starker Putz aufgebracht werden und hat bei 120 bis 4000 Hz 40 vH Schallschlückung (I. G. Farben). Iporit dürfte dem amerikanischen Calistone ähnlich sein.

Ferner können als Dämpfungsmaterial Schlackenwollplatten der Berliner Gipswerke verwendet werden. Schallschlückung 40 bis 80 vH.

Die I. G. Farben stellen ein Mikroporit, gepreßt aus gemahlenem Sand, Staub und Kalk her (Gassel).

3. Resonator-dämpfer.

Richtlinie.

Es wird empfohlen, daß bei sämtlichen Prüfständen der Einbau von Resonatoren vorgesehen wird. Die Abstimmung soll zwischen 150 und 300 Hz liegen. Über den Aufbau der Resonatoren wird auf die Aussprache nach dem Vortrag Willms verwiesen. Ferner ist erwünscht, vor den Öffnungen der Resonatoren einen Schallschluckstoff zu befestigen. Die Wirkung des Resonators kann dadurch verbessert werden, daß der Schluckstoff im Abstand von einigen Zentimetern von den Lochsteinen angebracht wird.

4. Kanalquerschnitt und Turmhöhe.

Richtlinie.

Es wird empfohlen:

- bei sämtlichen Prüfständen Leitschraufeln vorzusehen, die mit Schallschluckstoff bekleidet sind.
- Wabengitter aus schallobsorberierenden Stoffen in die Türme einzubauen und bei diesen die Unterteilung aus störungstechnischen Gründen nicht zu klein zu machen. Die Einzelquerschnitte sollen etwa 1 m² Fläche haben. Bei Neubauten wird empfohlen, die Türme gleich mit Haltevorrichtungen für Wabengitter zu versehen. Hierzu gut bewährt haben sich nach Berrer die besonders profilierten Wema-Schienen.

Bei Bramo ist ein Wabennetz bereits im Aufbau (Rückenbauer).

Die Turmhöhe hat nach Mitteilung von Daimler-Benz einen wesentlichen Einfluß auf die Abstrahlung.

Türme mit etwa 8 m Höhe zeigen gegenüber Türmen mit 12 bis 15 m Höhe in der Nähe größere, in der Entfernung kleinere Schallintensitäten (Bänder).

Es wird empfohlen, bei Einbau von Wabengittern eine große Turmhöhe vorzusehen.

Eine doppelte Umlenkung ergibt eine starke zusätzliche Dämpfung, wie die Prüfstände der DVL und von Hirth zeigen (Meyer). Sie wird daher nach Möglichkeit empfohlen.

Angeregt durch die Ausbildung der Hirth-Prüfstände macht Meyer folgenden Vorschlag:

Die Richtwirkung des austretenden Schalles war bei den Hirth-Prüfständen mit einander abgekehrten Turmöffnungen recht beträchtlich. Angesichts dieser Tatsache sollte man auch einmal einen Versuch mit einander zugekehrten Turmöffnungen machen. Der Schall kommt dann aus der einen Öffnung heraus und geht größtenteils in die andere hinein, leider aber auch der Luftstrom. Man muß deshalb den Luftstrom vom Schall trennen. Dies gelingt z. B. durch Anwendung des Falkenthal-Gitters, ein Gitter mit halbkreisförmigen Stäben, die bei Öffnungsweite gleich Stegbreite von der flachen Seite her windundurchlässig sind (s. E. Falkenthal, Ztschr. f. Techn. Phys. 1931, Nr. 12, S. 85). Man könnte zwei solcher Gitter einsetzen und würde so den Luftstrom ablenken, die Schallfrequenzen aber im Umlauf festhalten.

5. Gesamtausbildung.

Zur Dämpfung des Beobachterraumes sollen Doppelfenster und Doppeltüren angebracht werden.

6. Horchgeräteproblem.

Die Störung der Horchgeräte erfolgt in erster Linie durch tiefe Frequenzen von 100 bis 800 Hz; über die Art der Strahlung tiefer Frequenzen im Prüfstand sind keine ausreichenden Erfahrungen vorhanden. Es ist vorgesehen, auf einer späteren Tagung die Schallausbreitungsfrage ausführlicher zu behandeln.

7. Abgassammler und Absauganlagen.

Abgassammler und Absauganlagen auf Prüfständen können für die Schalldämpfung günstig gestaltet werden. Die Anwendbarkeit kommt in den meisten Fällen nicht in Frage, da eine Beobachtung der Auspuffflammen erforderlich ist.

Besichtigung.

Nachdem Berrer in seinem Vortrag „Schalldämpfte Prüfstände“ die Flugmotoren-Prüfstände der Firma Hirth-Motoren, Stuttgart-Zuffenhausen, hinsichtlich ihrer bemerkenswerten schalltechnischen Ausbildung eingehend erläutert hatte, wurden diese

Stände durch die Tagungsteilnehmer besichtigt. Hierbei wurden verschiedene Motoren mit und ohne Schalldämpfer vorgeführt und die Teilnehmer konnten sich von der guten Schallrichtwirkung der mit Runddach versehenen Türme überzeugen.

Teilnehmerverzeichnis.

v. Burger, Dr. phil.,	Erprobungsstelle der Luftwaffe Rechlin
Busch, Dipl.-Ing.,	" " " "
v. Lewinski, Dipl.-Ing.,	" " " "
v. Schmoller, Dr.-Ing.,	" " " "
Willms, Dipl.-Ing.,	Deutsche Versuchsanstalt für Luftfahrt, E. V., Berlin-Adlershof
Weber, Dipl.-Ing.,	Technische Hochschule München
Lübcke, Prof. Dr.-Ing., Dr. phil.,	Siemens-Schuckert-Werke A. G., Dynamowerk, Berlin-Siemensstadt
Meyer, Prof. Dr. phil.,	Institut für Schwingungsforschung, Berlin
Keidel, Ing.,	Institut für Schwingungsforschung, Berlin
Trendelenburg, Prof. Dr.,	Forschungslaboratorium der Siemens Werke, Berlin-Siemensstadt
Hoffmeister, Dipl.-Ing.,	Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart
Rieker, Dr.-Ing.(?)¹⁾	Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart
Staiger, Dipl.-Ing.,	Forschungsinstitut für Kraftfahrwesen und Fahrzeugmotoren an der Technischen Hochschule Stuttgart
Schurig, Dr.-Ing.,	Luftfahrt-Forschungsanstalt Hermann Göring, Braunschweig
Gassel, Dipl.-Ing.,	Condor-Syndikat, Deutsche Lufthansa A. G., Berlin
Wehner, Dipl.-Ing.,	Deutsche Lufthansa A. G., Berlin-Staaken
Maier, Dipl.-Ing.,	BMW Flugmotorenbau, GmbH., München
Morhard, Dipl.-Ing.,	" " " "
Bentele, Dr.-Ing.,	Brandenburgische Motorenwerke GmbH., Berlin-Spandau
Ruckenbauer, Dipl.-Ing.,	Brandenburgische Motorenwerke GmbH., Berlin-Spandau
Binder, Dipl.-Ing.(?)²⁾	Daimler-Benz, A. G., Stuttgart-Untertürkheim
Schmidt, E., Dr.-Ing.(?)³⁾	" " " "
Volz, Architekt(?)³⁾	" " " "
Berr, Dipl.-Ing.,	Hirth-Motoren GmbH., Stuttgart-Zuffenhausen
Hartenstein, Dipl.-Ing.(?)³⁾	" " " "
Dörnhöffer, Dipl.-Ing.,	Junkers Flugzeug- und Motorenwerke A. G., Zweigwerk Magdeburg
Herbert, Dipl.-Ing.,	Architekten Herbert & Höhne, München
Lukas, Dipl.-Architekt,	Varel-Bremen
Zeller, Dr.-Ing., Dr. rer. techn.,	Verein Beratender Ingenieure, Berlin
Brode, Dipl.-Ing.,³⁾	Lilienthal-Gesellschaft für Luftfahrtforschung

¹⁾ Hat nur am 21. 6. teilgenommen.

²⁾ Hat nur am 25. 6. teilgenommen.

³⁾ Hat an der Besichtigung nicht teilgenommen.