

# Resonanzschalldämpfer

## Aufbau Funktion Wirkungsgrad

erklärt von  
Prof. Dr. Ing. P. Demuth

Vor nunmehr zehn Jahren wurde von mir in „Modell“ ein Resonanzschalldämpfer vorgestellt und eine Nachbauanleitung gegeben. Der Erfolg des Dämpfers, wenn man seine Verbreitung betrachtet, war bescheiden. Nur wenige Modellbauer wollten eine solche „Flüstertüte“ an das Modell anbauen. Die Leistung des Motors stieg bei den damals noch verwendeten Motoren mit Querstromspülung und Nasenkolben nur bescheiden um 5–10 Prozent an, was einen Drehzahlgewinn von 200–300 U/min am Propeller bedeutet. Einzig die Rennbootfahrer verwendeten die Resonanzschalldämpfer nach der damaligen Bauanleitung häufiger. Auch die industrielle Fertigung des Resonanzschalldämpfers durch die Firma Winkler unter dem Namen SONEX brachte keinen Verkaufserfolg.

Erst mit der Schaffung der Motoren mit Schnürlespülung oder PDP-Spülung wurde der Leistungsgewinn durch das Resonanzrohr augenfällig. Diese Motoren brachten 800–2000 U/min höhere Propellerdrehzahlen bei Vollast und sorgfältig abgestimmtem Auspuffsystem. Mit neuen Modellkonstruktionen und Motorauslegungen mit hinterem Auslaß könnte das Resonanzrohr in den Modellrumpf integriert werden und würde nicht als störendes Anhängsel seitlich am Rumpf auffal-

len. Akustisch können diese langen Schalldämpfer gut abgestimmt werden, so daß störende Frequenzen aus dem Auspufflärm fast ganz herausgefiltert werden und angenehmere tiefere Brummtöne nur den Dämpferteil passieren. Die Industrie bietet heute eine Vielzahl von solchen Resonanzschalldämpfern oder auch nur Resonanzrohre an. Welches nun das Beste und Empfehlenswerteste ist, sollte in den folgenden Messungen herausgefunden werden. Die Lärmmessungen wurden an der Fachhochschule Trier im Rahmen einer Graduierungsarbeit von Herrn cand. ing. Leuer mit einem Präzisionsschallpegelmesser und Analysator durchgeführt.

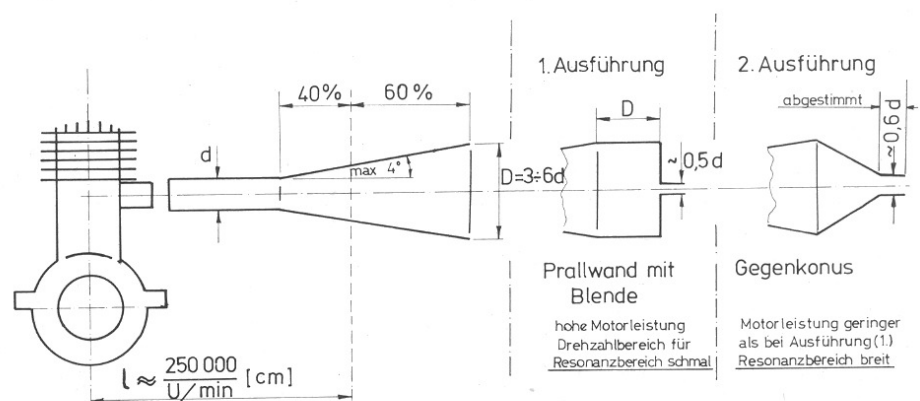
Doch bevor über die einzelnen Schalldämpfer und Resonanzrohre zu berichten ist, soll die Frage geklärt werden, wie solch eine konische Röhre die Motorleistung beeinflusst. In den Betriebsanleitungen steht hierüber meist nur wenig Verständliches geschrieben. Die Strömungsvorgänge am Auspuff und mit dem Resonanzrohr laufen wie folgt ab:

Öffnet der Kolben des Motors den Auslaßschlit, so herrscht noch im Zylinder ein Gasdruck von ca. 5 bar ( $\approx 5$  at) über dem Umgebungsdruck. Dieser Druck sinkt nach einer e-Funktion ab, dies nur für wissenschaftlich Interessierte, für uns Normalmodell-

bauer bedeutet dies, daß der Druck sehr schnell absinkt. Akustisch hören wir einen Knall. Beim Öffnen der Überströmschlitze ist der Druck im Zylinder allerdings noch nicht so tief abgesunken, so daß sofort Frischgas einströmen könnte. Zunächst dringt etwas Abgas in die Spülkanäle ein und erst, wenn der Druck im Zylinder unter den Druck im Kurbelgehäuse gesunken ist, das ist nach Messungen nachdem 1/3 der Zeit für die Auspuffschlitöffnung abgelaufen ist, beginnt die Frischgaseinströmung in den Zylinder. Das Resonanzrohr bewirkt nun folgendes: Beim Öffnen des Auslaßschlitzes eilt eine Druckwelle des Auspuffgases mit Schallgeschwindigkeit in das Auspuffrohr. Am Ende des Rohres wird diese Druckwelle reflektiert, der Strömungstechniker sagt Reflexion am offenen Ende, und es läuft eine Druckwelle wieder zum Motor zurück. Dies geschieht wieder mit Schallgeschwindigkeit. Wenn nun im Motor beim Eintreffen dieser rücklaufenden Welle schon der Zylinder mit Frischgas gefüllt ist und bereits etwas Frischgas sich in das Auspuffrohr ergossen hat, so wird dieses sonst verlorene Frischgas in den Zylinder zurückgeschoben und der Zylinderinhalt nachgeladen. Dies gelingt aber nur dann vollkommen, wenn der Überströmkanal vom Kolben schon geschlossen wurde. Die

Abb. 1

Prinzipieller Aufbau eines Resonanzrohres. Nach der angegebenen Faustformel kann die Rohrlänge grob abgeschätzt werden, bei der das System in Resonanz kommt. Die Rohrlänge ist von Abgastemperatur und Gasgeschwindigkeit abhängig.



## handelsübliche Resonanzrohre an Flugmotoren mit Propeller

MOTOR FABRIKAT ROHR		maximale Leistungsanhebung LEISTUNG (%)	DREHZAHLEN (%)	RESONANZBREITE ± ( U/min )	LÄRMPEGEL bei 12 000 U/min in 7 m Abstand ( dB <sub>A</sub> )	GEWICHT ( kg )
10 ccm	OPS/ROSSI m.D.	36	10,3	1500	82 - 84,5	0,187
	HIRTENBERGER	25	7,7	700	85 - 87,5	0,272
	WEBRA	30	8,1	1000	80 - 85	0,293
	GRAUPNER	32	9,0	1200	76,5 - 78,5	0,248
	SONEX	21	6,5	1000	73 - 75,5	0,165
	TOPP	—	~ 10 n.Herst.	—	~ 78 n.Herstellerangabe	—
6,5 ccm	OPS o. D.	37	11	1500	84 - 86	0,158
	HIRTENBERG.	23	7,1	800	80 - 83	0,221
	WEBRA	31	9,5	1000	80 - 83	0,168
	GRAUPNER	35	10,5	1200	74,5 - 76	0,149
	SONEX	27	8,0	1000	72,5 - 75	0,155
	TOPP	—	10 n.Herst.	—	< 78 n.Herstellerangabe	—
10 ccm	MINI-VOX Super Silent mit Filz		0	0	75 - 77	0,221
	ohne Filz		0	0	76 - 78	0,190
	MICROTON ( HB Graupner )		-3	0	77 - 78,5	0,175
	SERIE Expansionskammer		-3 ÷ -10	0	85 ÷ 89	

Konsequenz aus diesen Vorgängen ist: Die Steuerzeiten des Motors, also wann öffnet der Auspuff, wann der Überströmkanal, muß für den Resonanzrohrauspuff abgestimmt sein. Die Tendenz ist: früh öffnender Auspuff und später öffnender Überströmkanal. Je hochtouriger der Motor laufen soll, um so mehr Zeit liegt zwischen dem Öffnen des Auspuffschlitzes und des Überströmkanals.

Die heute angebotenen Resonanzauspuffe sind nun aber nicht ein einfaches Rohr, sondern das Rohr erweitert sich nach einigen Zentimetern Länge konisch und geht dann zylindrisch weiter mit größerem Durchmesser oder verjüngt sich wieder in einem Konus. Diese konische Rohrerweiterung nennt man einen Diffusor. In ihm wird die Energie, die ein strömendes Medium enthält, in Druck umgesetzt, wobei sich notgedrungen die Strömungsgeschwindigkeit verringern muß. Wenn bei unseren Resonanzauspuffen die Druckwelle nach dem Öffnen des Auspuffschlitzes diesen Diffusorteil erreicht, die Strömungsenergie also in Druck gewandelt wird, läuft eine Saugwelle zum Motor zurück, die die Spülung mit Frischgas beschleunigt und auch Frischgas in das Auspuffrohr saugt. Am Ende des Diffusors kann nun eine Prallwand sitzen mit einer kleinen Öffnung oder es kann ein Gegenkonus vorhanden sein. Die Prallwand ergibt eine kräftige rücklaufende Druckwelle, die Gegenkonuslösung eine etwas weniger

ausgeprägte rücklaufende Druckwelle. Dies bedeutet in der Praxis, daß Resonanzauspuffe mit Prallwand nur bei sorgfältigster Abstimmung einen Nachladeeffekt bringen. Motoren mit diesem Auspuff kommen unter Umständen schwerer in Resonanz oder fallen im Flug beim Auftreten des Motors aus Resonanz. Sorgfältig abgestimmt ist allerdings der Leistungsgehalt am höchsten. Beim Gegenkonus kommt der Motor leichter auf Resonanz und hat einen größeren Drehzahlbereich, in dem das System leistungssteigernd auf Resonanz abgestimmt ist.

Was nach dieser Prallwand mit Öffnung oder was nach dem Konus noch an Strömungswiderständen kommt, beeinflusst die Motorleistung kaum. Allerdings ist die Öffnungsgröße des Endrohres und dessen Länge an der Prallwand oder am Gegenkonus kritisch und darf nicht verändert werden. Dagegen ist es erlaubt, wenn das Endrohr, das nach einem nachgeschalteten Dämpferteil, meist ist dieses im dicken zylindrischen Teil des Rohres eingebaut, mit einem genügend dicken Schlauch oder Rohr verlängert wird. Die Verlängerung sollte aber unter 25 cm bleiben, da sich sonst in dieser Verlängerung unerwünschte Resonanzströmungen bilden, die den Abfluß des Abgases vollständig blockieren.

Soweit die Theorie. Im Bild 1 sind die näherungsweise errechenbaren Rohrlängen angegeben. Mit dieser Rohr-

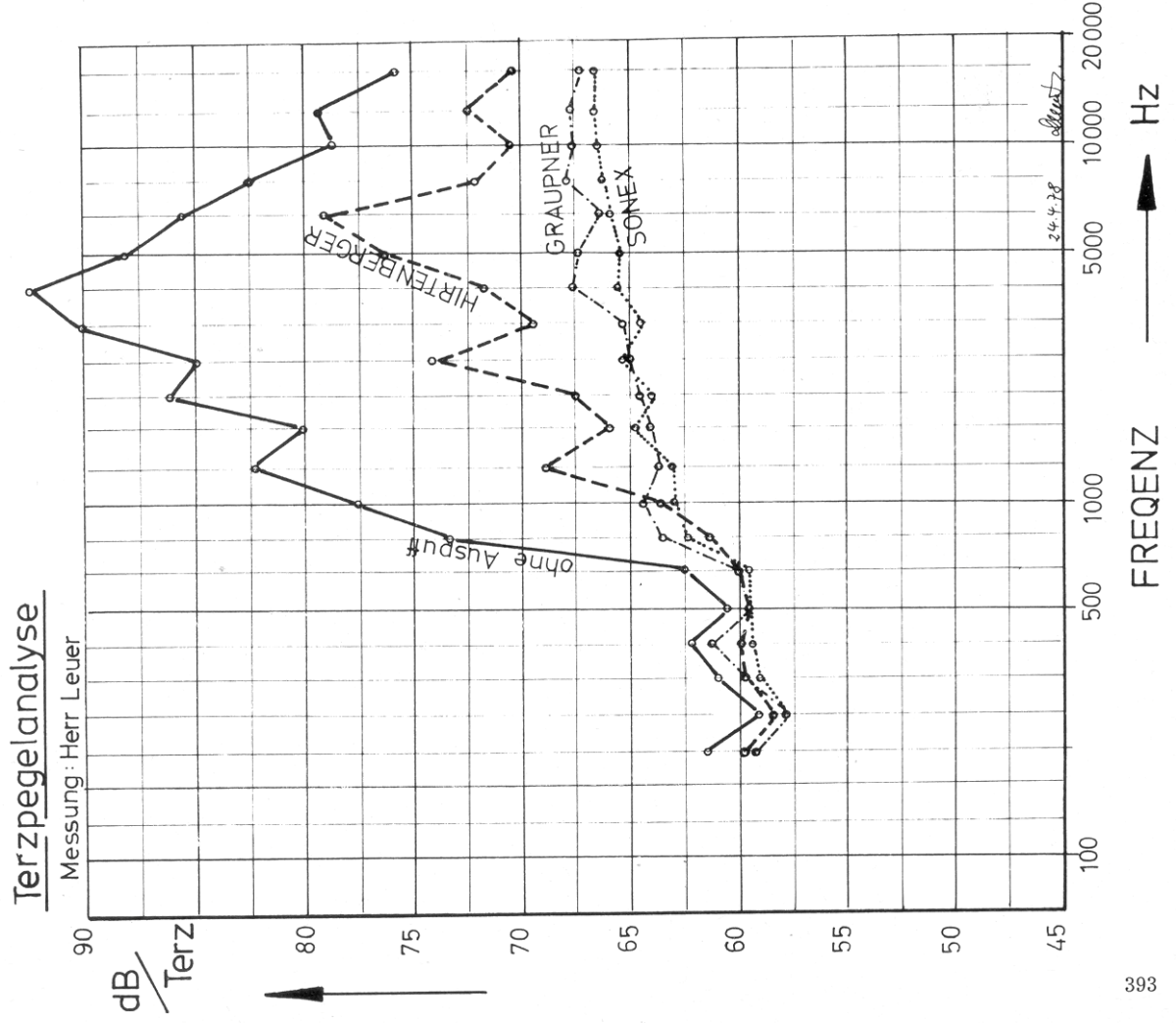
länge sollte man beginnen, den Resonanzschalldämpfer auf den Motor abzustimmen. Die Rohrlänge ist von der Abgastemperatur abhängig. Es können also zwischen Sommer und Winter sich etwas andere Rohrlängen ergeben. Heißeres Abgas ergibt kürzere Rohrlängen. Übrigens sinkt mit Nitromethananteil im Kraftstoff die Abgastemperatur bei gleicher Motorleistung.

Die handelsüblichen Schalldämpfer wurden nun auf die heute meist verbreiteten Modellmotoren montiert und die Wirksamkeit bezüglich der Leistung und der Resonanzbreite gemessen. Die Tabelle darüber wäre aber zu unübersichtlich geworden, so daß nur die maximal erreichten Werte angegeben wurden. Diese Werte wurden mit Motoren erzielt, die im Drehzahlbereich von 12 000 bis 18 000 U/min betrieben wurden und in der Steuerzeit mehrheitlich einen großen Zeitabstand von Auspuffschlitzöffnungen zu Überströmöffnen hatten. Keine Spülung, ob Schnürle oder Nasenkolben mit oder ohne PDP ergab eindeutige Vorteile. Die beste Leistungsanhebung hatten Motoren mit rückwärtigem Auspuff und direktem Anschluß des Resonanzrohres ohne Krümmer.

Zur Ergänzung sind hier auch noch die Expansionskammerdämpfer aufgeführt, wie sie serienmäßig vielen Motoren beiliegen. Mechanisch ergaben sich häufig Schwierigkeiten mit der Rohrbefestigung und der Haltbarkeit

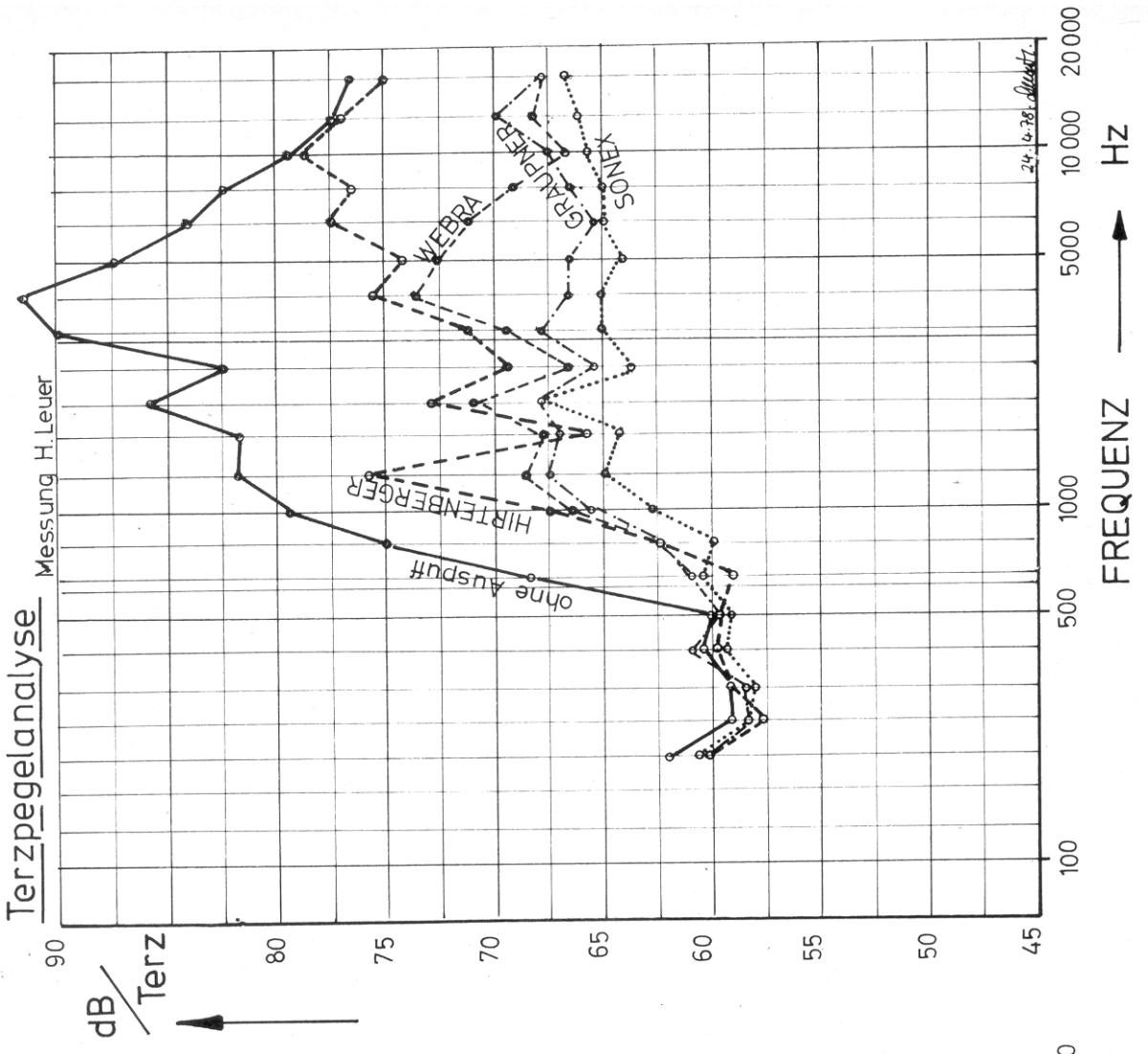
# MOTOR : HB 40 PDP

7 m ABSTAND  
12 000 U/min VOLLAST



# MOTOR : HB 61 PDP

7 m ABSTAND  
12 000 U/min VOLLAST





der Krümmer. Den besten Krümmer hat der Sonexschalldämpfer. Dies ist ein gegossener Leichtmetallkrümmer mit eingepreßtem Auslaßrohr. Bei den Leichtmetallkrümmern mit gelötetem Flansch lösten sich die Flansche an der Lötstelle. Dies tritt besonders auf, wenn zur Abdichtung und besseren Wirkung des Systemes eine Weichstoffdichtung zwischen Anschlußflansch und Krümmerflansch gelegt wird. Der Webra Leichtmetallkrümmer ist nur ohne diese von Webra mitgelieferte Dichtung haltbar.

Ganz schlecht war die Lebensdauer der Spannbänder zum Anschrauben der Auspuffkrümmer. Die Lösung bei Hirtenberger mit abgekröpftem Spannbänder brachte auf dem Prüfstand nur 1 1/2 Stunden Lebensdauer.

Auch die Spannbänder vom Graupner-Resonanzrohr befriedigten nicht vollständig. Es gab auch hier nach Lockerung der Halteschraube Brüche. Die eleganteste Lösung in allen Punkten bot Rossi mit seinem neuen .61 FI-Motor mit rückwärtigem Auspuff. Das Rossirohr kann ohne Sägearbeit oder

Gummischnitzerei wie eine Posaune abgestimmt werden und wird durch einen Silikongummiring am Anschlußstutzen beweglich aber dicht angeschlossen. Eine Schlauchfeder mit Flansch hält dabei das Rohr am Motor fest.

Die Lärmmessungen wurden als sogenannte Terzpegelanalysen vorgenommen. Die Diagramme zeigen die Frequenzgänge bei den einzelnen Resonanzschalldämpfern an den HB .61 PDP und HB .40 PDP-Motoren. Diese Motoren waren im Test die lautesten. Die Analysen zeigen, daß nur die beiden Resonanzrohre von Graupner und Sonex gut abgestimmte Dämpferteile haben und nur bei diesen Resonanzrohren ist kein „akustisches Loch“ im ganzen Frequenzbereich vorhanden. Webra- und Hirtenberger-Resonanzrohre sind von der Wirkung auf die Leistung gut, aber akustisch sehr unvollkommen. In der Tabelle sind die Gesamtpegel angegeben. Je nach Motorleistung und Motortyp ändern sich etwas diese Pegelwerte. Angegeben wurden Werte, die sich auf 12 000

U/min mit Propeller und Vollast beziehen. Danach ist der leiseste und auch akustisch der angenehmste Resonanzschalldämpfer in der Tat der SONEX von MiniVox. Ursprünglich stammt dieser Schalldämpfer zwar von mir und geht über die Firma Winkler auf die alte Veröffentlichung in „Modell“ zurück. Der heute gefertigte Dämpfer von MiniVox ist aber praktisch eine Neuentwicklung im Dämpferteil und nur der Name ist geblieben. Nicht in den Diagrammen aufgenommen wurde der Resonanzschalldämpfer von Rossi. Dieser Dämpfer ist etwa zwischen Webra und Graupner-Resonanzdämpfer einzuordnen.

Die ebenfalls in der Tabelle aufgeführten Expansionskammer-Schalldämpfer sind vom Lärmpegel aus gesehen in der Ausführung von MiniVox und Graupner Microton ausgezeichnet. Der große und daher auch schwere MiniVox-Super Silent „verbraucht“ keine Motorleistung, dürfte aber durch seine Größe und Ausmaße die Mehrleistung des Motors an zusätzlichem Luftwiderstand aufzehren.

---