

In diesen Branchen und Produktionsbereichen hat
IUB Ingenieurbüro und Unternehmensberatung BÄCKMANN
Beratungen und Projekte durchgeführt:

Airbags und Autoinnenausstattung * Akustik u. Wärmedämmung * Arbeitsschutz /PSA Ausrüstung / Beschichtung * Bettwaren und Matratzen, Schlafsäcke * Caravan u. Wohnwagen * Damen- und Herrenbekleidung, Maßkonfektion * Decken, Badausstattung * Fahnen und Wimpel * Faserverbundtechnologie * Filterkonfektion, Membranen, Vliesverarbeitung * Flexible Schutzeinrichtungen * Folienverarbeitung * Geotextilien / Bautextilien * Gummiteile u. Dichtungen * Heim- und Wohntextilien * Hygiene-, Pflege- und Kosmetikartikel * Jacht- u. Bootsbau * Jagdausstattung * Krankenhausausstattung * Kunstlederverarbeitung / Kunststoff-Textilverbunde * Kunststoffverarbeitung * Ladungssicherungssysteme * Last-, Hebe-, Klettergurte * Lederverarbeitung * Markisen u. Lichtsegel * Möbel u. Holzwaren * Orthopädie-, Medizin- und Reha-technik * Papierwaren * Polstermöbel * Reinigungs-, Haushaltsprodukte * Reinraumbekleidung, Berufsbekleidung * Reinraumfertigung * Rucksäcke, Koffer, Taschen * Schaumstoff u. Formschäume * Schleif- u. Poliermittel * Schutzwesten u. Panzerungen * Schwimmbadabdeckungen * Seiler- u. Netzwaren * Sonnenschutz, Zelte und Textilkonstruktionen * Spielplatzausstattung * Spinnerei / Weberei / Färberei * Sportartikel und Zubehör * Sportgeräte * Sportgurte * Textil- u. Kunststoffverarbeitung * Textildruck, Gardinen, Tapeten, Glasvlies * Textile Behälter * Textillogistik, Textilaufbereitung * Textilschweißen /-kleben * Textilwäscherei und Reinigung * Therapeutische Hilfsmittel * Verpackungen * Vliesstoffe

26. Hofer Vliesstofftage 9./10. November 2011

Vliesstoffe kontra Strömungslärm

Systemanalyse von Vliesstoffkonstruktionen zur integralen und spektralen Schallbeeinflussung für die Lärminderung

Themen:

- Einführung: Vliesstoffe zur Lärminderung
- Definition: Strömungsakustik, Strömungsschall und Lärmproblematik
- Modellprojekt: Vliesstoffschalldämpfer an Ventilatoren
- Systemanalyse: Akustikdesign mit Vliesstoffkonstruktionen
- Themenreflektion: Mehr Lärm, mehr Vliesstoff?

Referent:

Dipl.-Ing. Reinhard Bäckmann B. A. (Univ.)

Industrial Engineer (SIE)

Patentingenieur (Pat. Ing.)

IUB Intern. Unternehmensberatung Bäckmann

D-63939 Würth am Main

iub@baeckmann

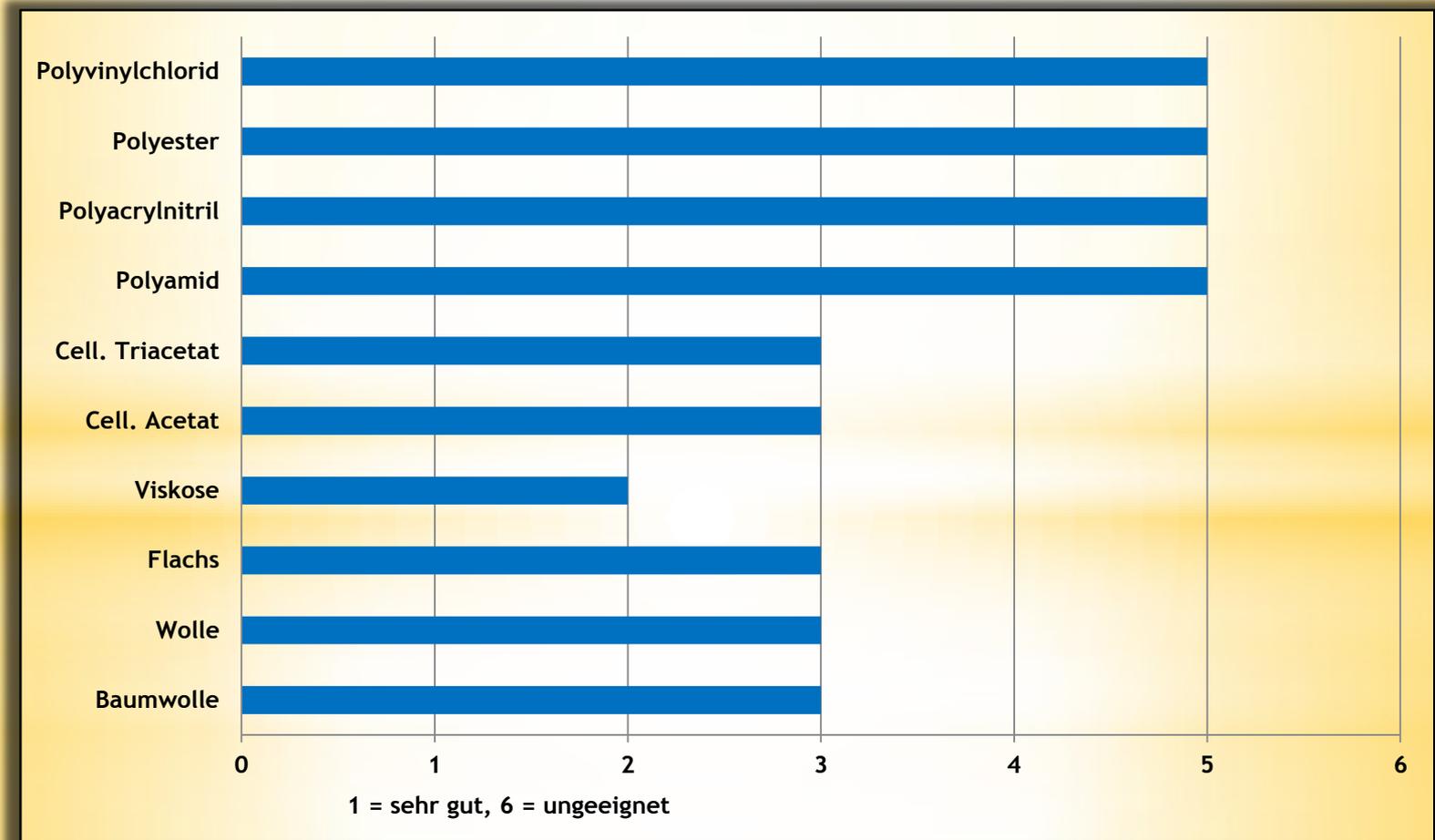
Tel. +49 9372 941 300

Fax +49 9372 941 301

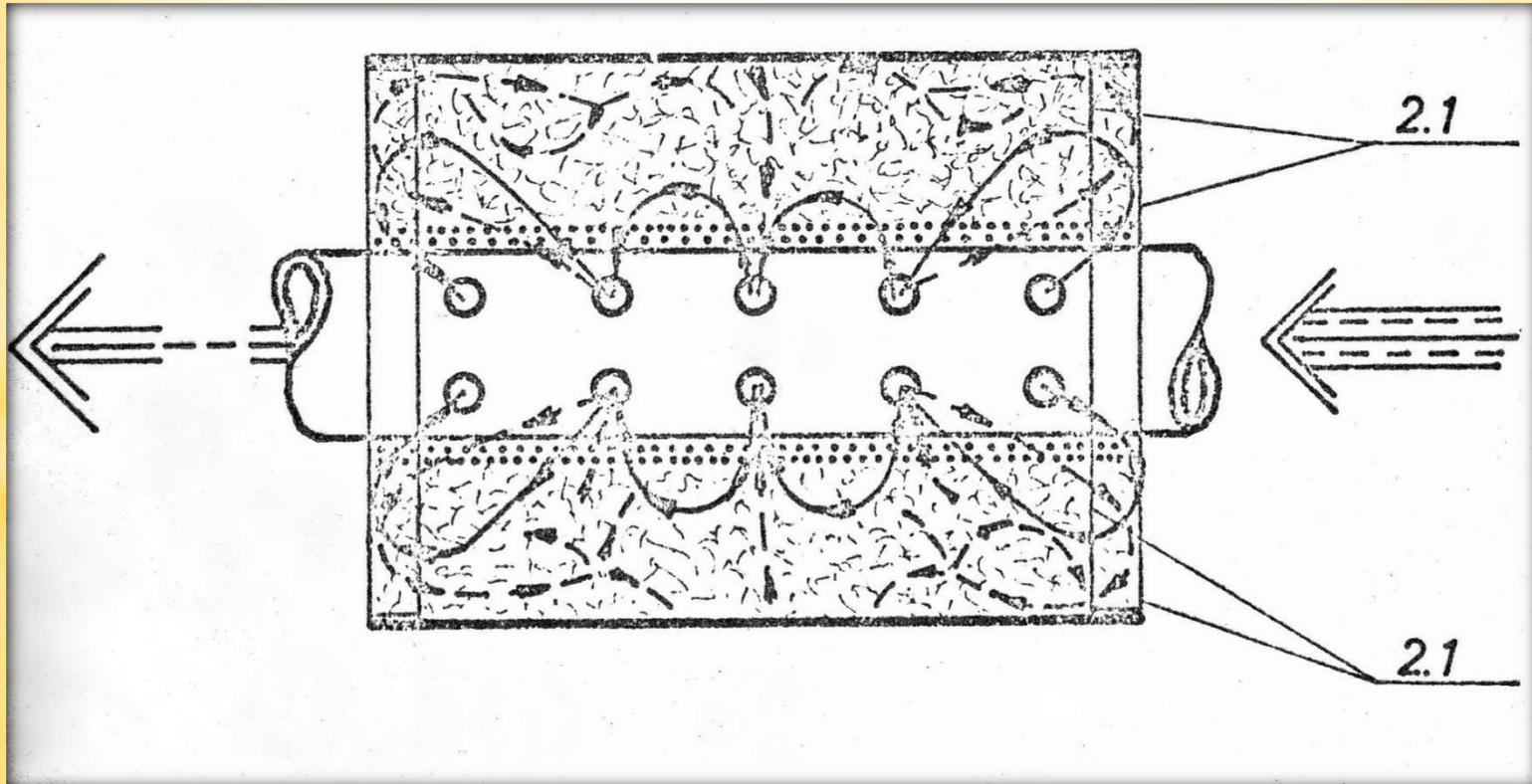
www.reinhard.baeckmann.de

Subjektive Eignung verschiedener Fasertypen für Schallisolation

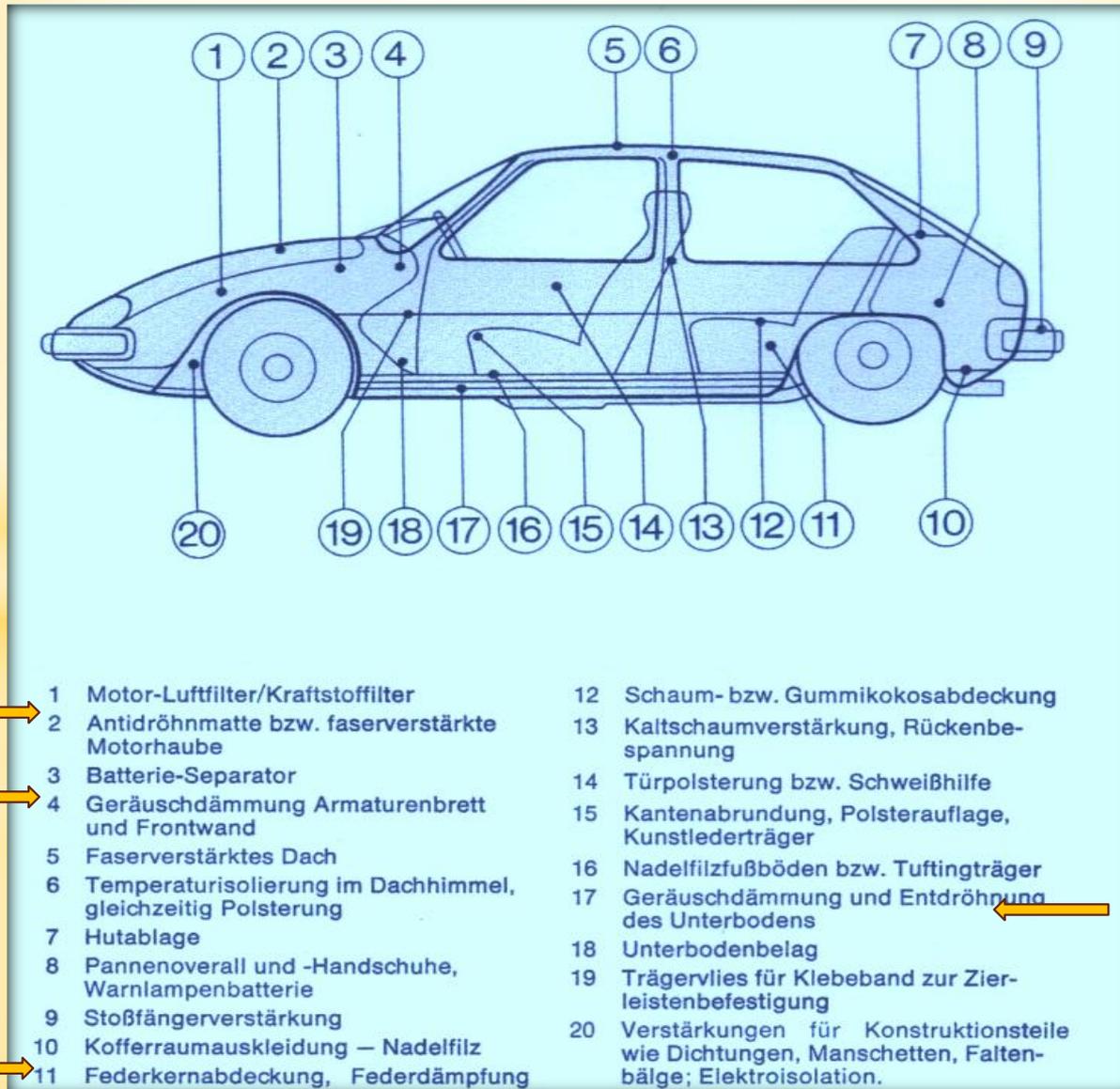
(nach Buresch u. Tichomirow, 1966)



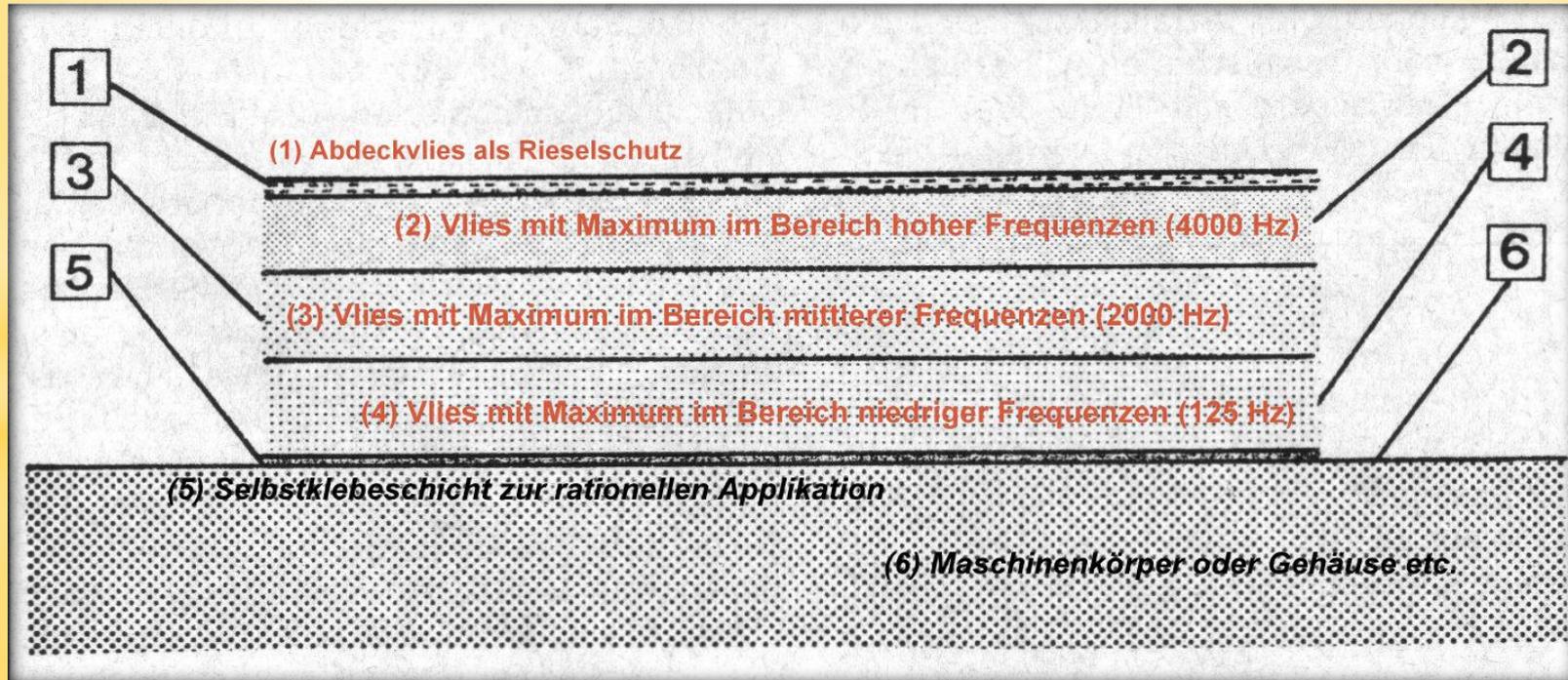
Prinzip einer früheren Rohrschallisolierung aus Vliesstoffen



Studie: Vliesstoffe im Fahrzeugbau, 1977



Mehrschichtiges Vlies für selektive Frequenzabsorption

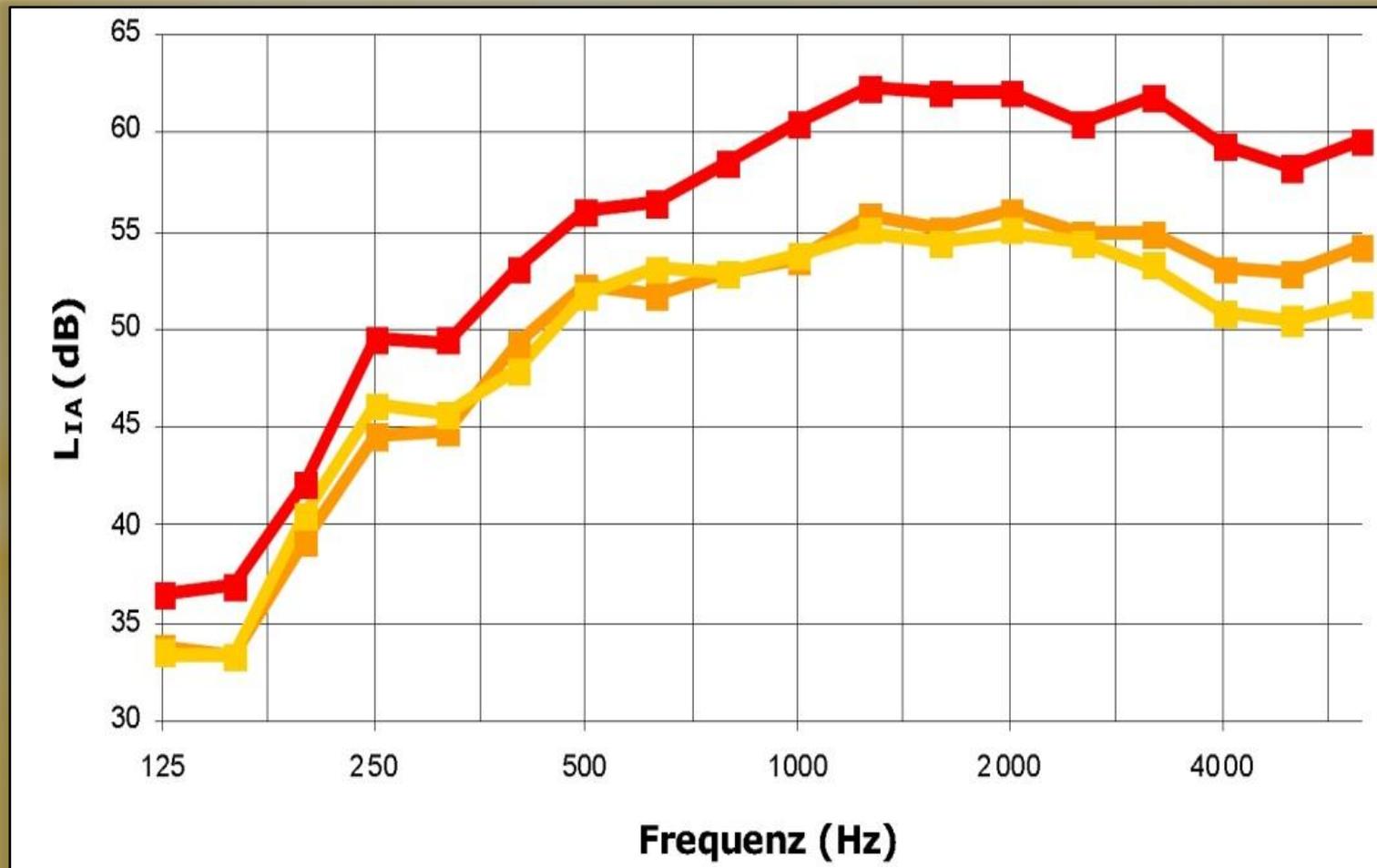


Exkurs 1:

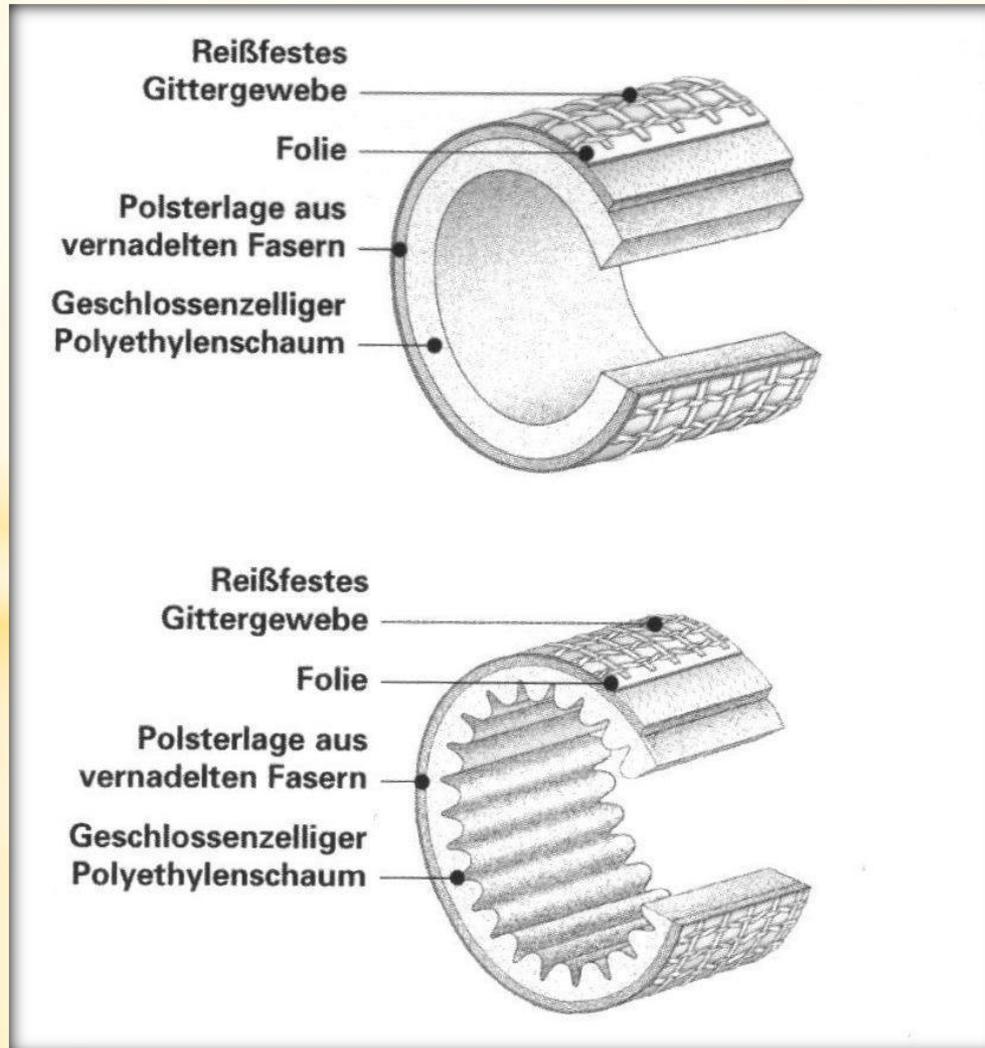
Die Energieumwandlung bei den Absorbern von Schall in Wärme erfolgt im Wesentlichen durch Reibungsvorgänge im Vliesstoffinnern. Schalldämmung dagegen erfolgt durch Schallreflexion und Verminderung der Ausbreitung zwischen Quelle und Senke, d. h. Schallempfänger. Ein Merkmal der Raumakustik ist z. B. die Schalldämpfung oder der Absorptionsgrad.

Grundlage der Bauakustik ist die Schalldämmung, gekennzeichnet durch das Schalldämmungsmaß. Sekundärer Schallschutz im Raumbereich ist wichtig bei Schallschutzkabinenwänden und -schirmen, bei abgehängten Deckenkonstruktionen, sogenannten Akustikdecken, oder frei hängenden Raumelementen zur Geräuschkämmung und -dämpfung. Der Geräuschkomfort in Fahrzeugen, sowohl Pkw als auch Lkw, kann durch Einsatz von Vliesstoffen in der Fahrzeugakustik von der Motorhauben- und Motorstirnwandabsorption über die Stirnwanddämmung und Bodenbeläge bis hin zur Seitenauskleidung und Dachhimmel reichen (Enz; Desmero 1981).

Akustikvlies aus Polyester zur Reduktion von Außengeräuschen auf Metalldachelementen



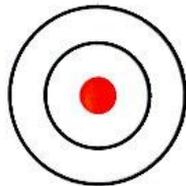
Schallschutz-Dämmmanschetten für die akustische Entkopplung von Abwasserleitungen



Die Theorie der Strömungsakustik unterscheidet drei verschiedene Schallquellenarten

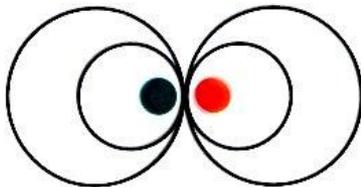
Monopol

$$I_m \sim \frac{\rho}{c} v^4$$



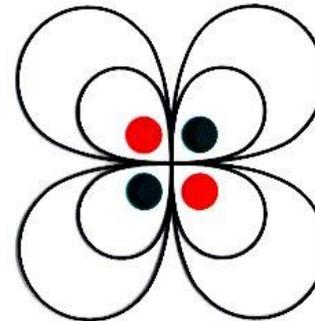
Dipol

$$I_d \sim \frac{\rho}{c^3} v^6$$



Quadrupol

$$I_q \sim \frac{\rho}{c^5} v^8$$



- I** Schallintensität
v Strömungsgeschwindigkeit
 ρ Luftdichte
c Schallgeschwindigkeit

Exkurs 2:

Strömungsakustik ist das Fachgebiet, das sich mit der Entstehung und Ausbreitung aero- und hydrodynamisch erzeugtem Schall und dessen Minderung und Beeinflussung befasst.

Aus Strömungsschall wird durch Übertragung der Schallwellen durch die Luft auf das Gehör und physiologisch-psychologische Prozesse Lärm – oder auch nicht, je nach psychoakustischer Empfindlichkeit des Betroffenen oder medizinischer oder gesetzlicher Sicht.

Lärm ist Schall, der durch Störwirkung, Belästigung, Beeinträchtigung von Leistungsfähigkeit zu Unfallgefährdung oder Gesundheitsschäden führen kann (Maue 2009).

Strömungslärm ist nun eine spezielle Klasse von Lärm, die fast überall auftritt, entweder univariat oder multivariat durch Mischung (Überlagerung) der unterschiedlichsten Schall-/Lärmarten, z. B.

Fluglärm / Straßenlärm / Menschen- / Tierlärm

Eisenbahnen / Musikinstrumente / Ventilatorenlärm / Turbinenlärm

Gebäudeumströmung / Flattergeräusche / Luftkanäle / Sirenen

Rohrleitungen / Lüftungskanäle / Klimaanlage / Windkraftwerke.

Insbesondere sind mit zunehmender Mobilität und weltweiter Automobilisierung, steigendem Komfort durch Lüftungs- und Klimaanlage, Umwelt-, Energie- und Kraftwerkstechnik, Computerisierung mit Ventilator Kühlung auch Ursachen neuerer Strömungslärmprobleme zu finden (Schirmer 2006).

Exkurs 3:

Ventilatoren und Gebläse können schon im Normalbetrieb Geräusche entwickeln, die bis zur Schmerzgrenze reichen. Das hängt mit der Kombination von ungleichmäßiger, verzögerter Luftströmung und hohen Luftgeschwindigkeiten zusammen (Dipol- und Quadrupolquellen).

Neuere wissenschaftliche Untersuchungen bestätigten dies weitgehend, denn der von einem beliebigen Ventilator abgestrahlte Gesamtschallleistungspegel ist in Drehzahlbereichen bis etwa 3000 U/min in der Nähe des optimalen Betriebspunktes vom spezifischen Schalleistungspegel $L_{ws} = 60 \pm 4$ dB dem durchsetzten Luftstrom und der Gesamtdruckdifferenz abhängig, was in der VDI Richtlinie 2081 Bl. 1 (2001) in der Gleichung $L_w = L_{ws} + 10 \lg V + 20 \lg \Delta P_t$ zum Ausdruck gebracht wird. Die geförderte Luftmenge sowie der erreichbare statische Gegendruck sind durch die Ventilatorradgeometrie miteinander verknüpft, wobei der Anwender von Ventilatorrädern von den Maßlisten der Hersteller abhängig ist und Sonderbauformen nur bei Abnahme von größeren Stückzahlen diskutabel werden. In einem praktischen Fall wurde z. B. eine Luftmenge von 1200 m³/h bei einer Druckdifferenz von 25 dN/m² gefordert. Damit ist die Lärmpegelentwicklung rechnerisch festgelegt mit $L_w = 92,5 \pm 4$ dB als Summenwert.

Das Geräusch setzt sich nun aus mehreren Komponenten zusammen, wenn wie schon früher angedeutet, die mechanischen Schwingungen durch elastische Lagerung aufgehoben wurden (Bäckmann 1974).

Das Gebläsegeräusch besteht aus dem Drehklang und aus dem stochastischen Rauschen. Die Frequenz f des Drehklanges hängt mit der Schaufelzahl z und der Drehzahl n zusammen

$$f = \frac{i \cdot z \cdot n}{60}$$

Der Faktor $i = 1,2$ bis 3 usw. steht für die höheren harmonischen Wellen. Den Drehklang kann man erklären, mit dem Vorbeistreichen von z Laufschaufeln an der Gehäusespitze, Sprialzunge, Leitschaufeln oder ähnlichen Hindernissen im Nahbereich des Diffusors. In dem schon erwähnten Fall mit einem direkt treibenden Motor mit 2800 U/min sind die zu erwartenden Frequenzen $f_i = 2040$ Hz; 4080 Hz; 6120 Hz und 12240 Hz.

Diese höherfrequenten Geräusche wirken bei gleicher Lautstärke in dB unangenehmer als niederfrequente. Das Rauschen überlagert sich dem Drehklang und ist auch in seiner Frequenzbandbreite nicht so scharf abgegrenzt. Dazu kommen noch Druckschwankungen und Luftschwingungen, deren Herkunft nicht immer eindeutig ist (Parameterstreuungen). Jedoch sind die Grundfrequenz und die Obertöne des Drehklanges meist herausragend.

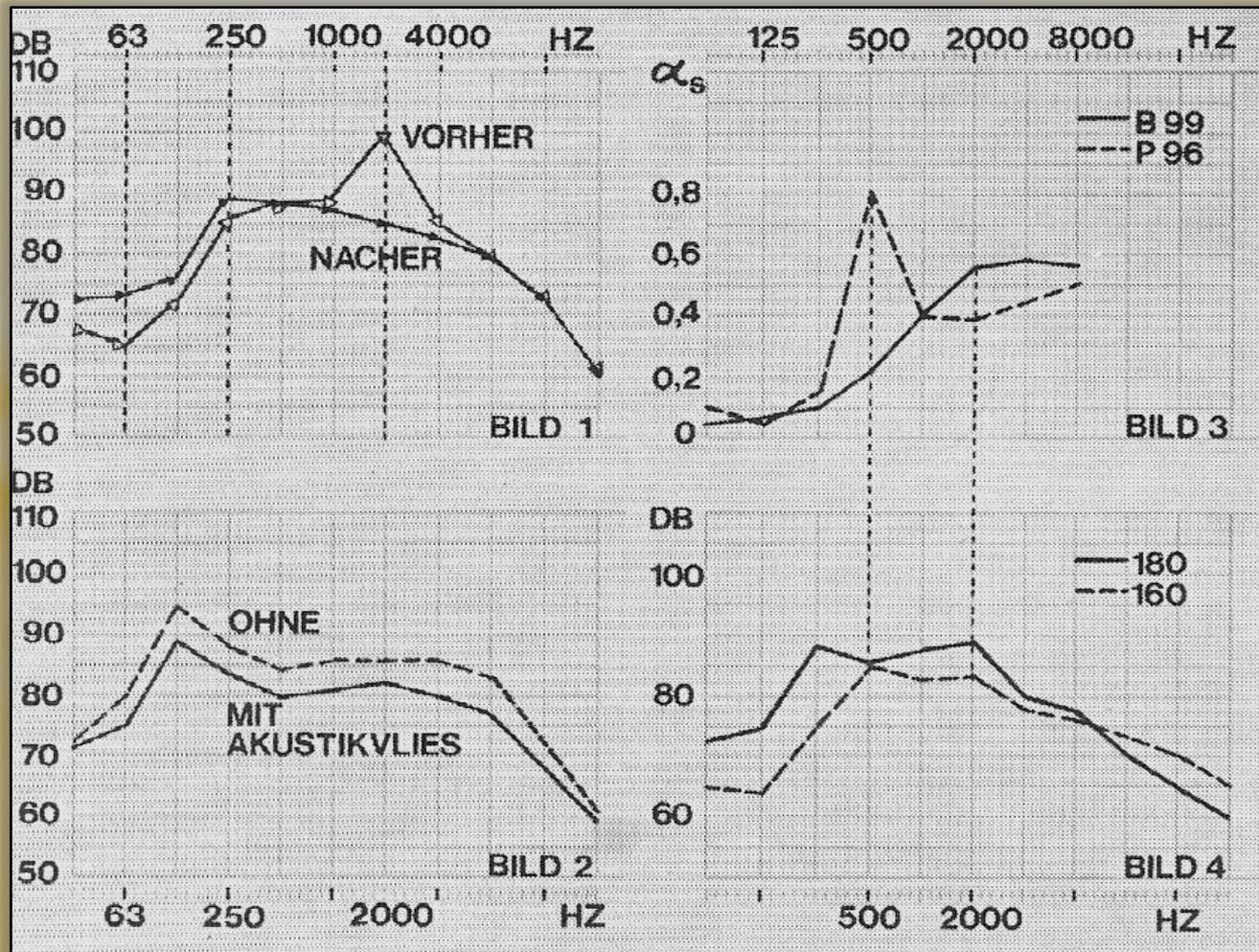
Messung an Ventilatoren und Akustikvliesstoffen zur Geräuschminderung

Bild 1: Ventilator mit und ohne Diffusor

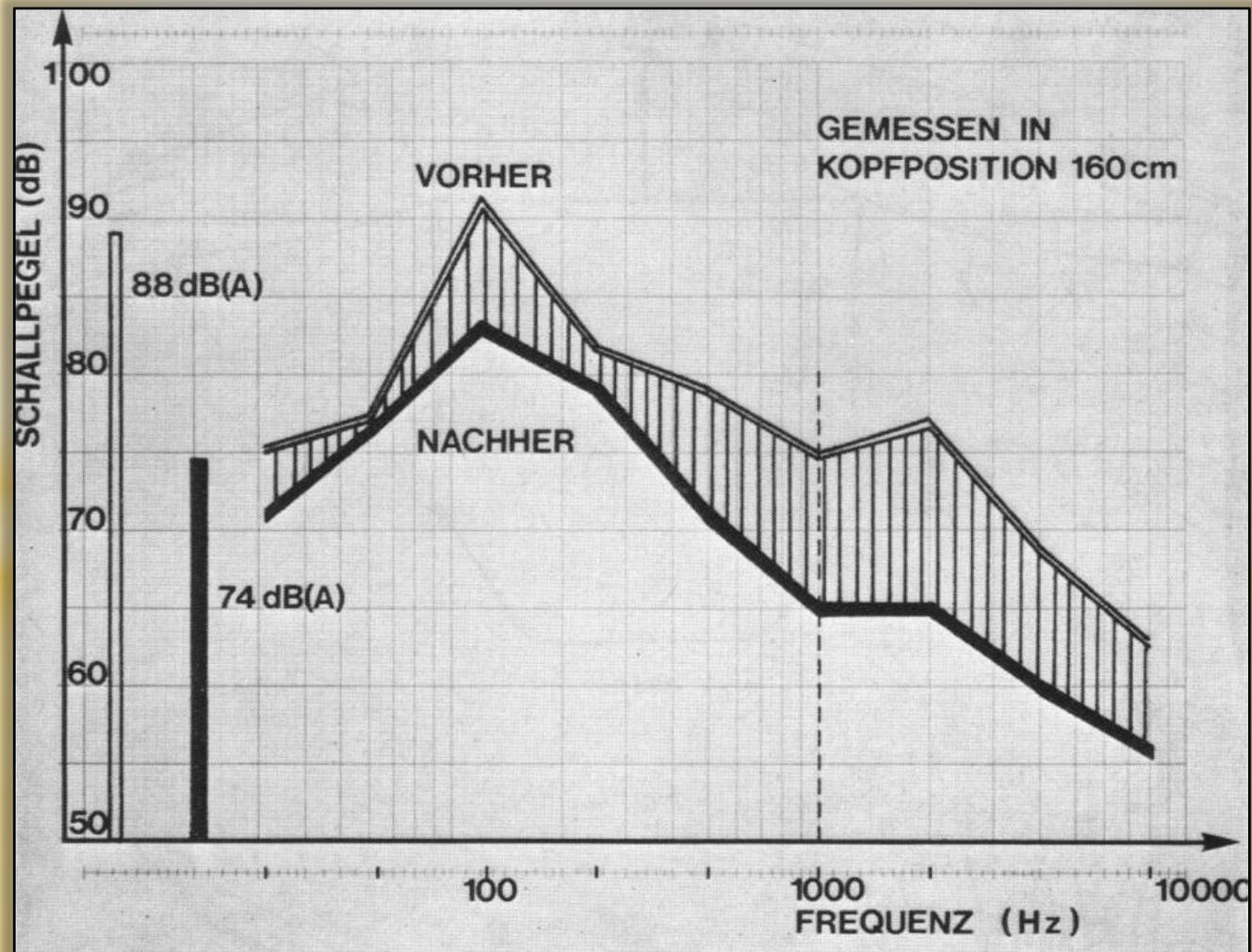
Bild 2: Ventilatorgehäuse, ausgekleidet mit PES-Akustikvlies 8 mm

Bild 3: Schallabsorptionsgrad von Akustikvliesen 8 mm u. 16 mm

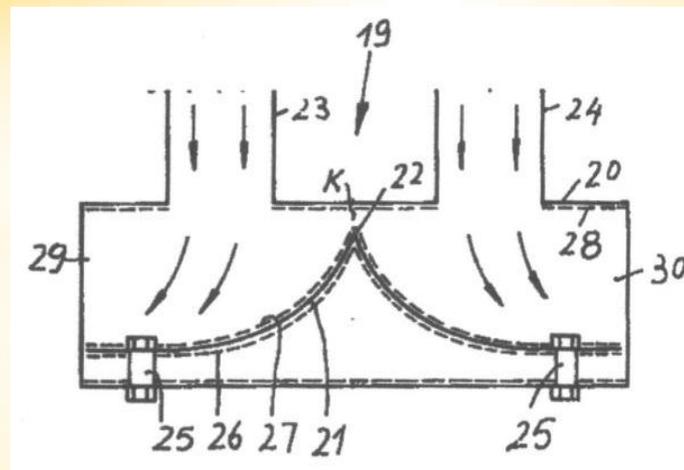
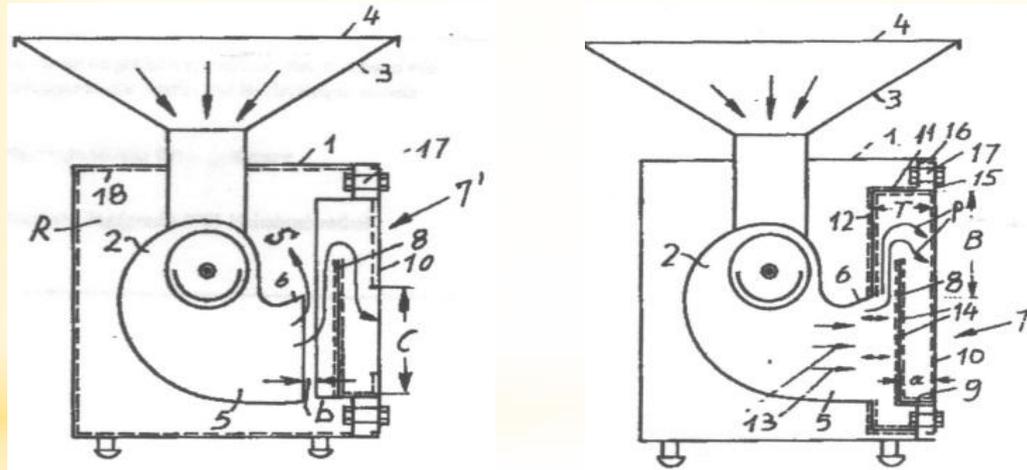
Bild 4: Schallpegel von Radialventilatoren unterschiedlicher Durchmesser



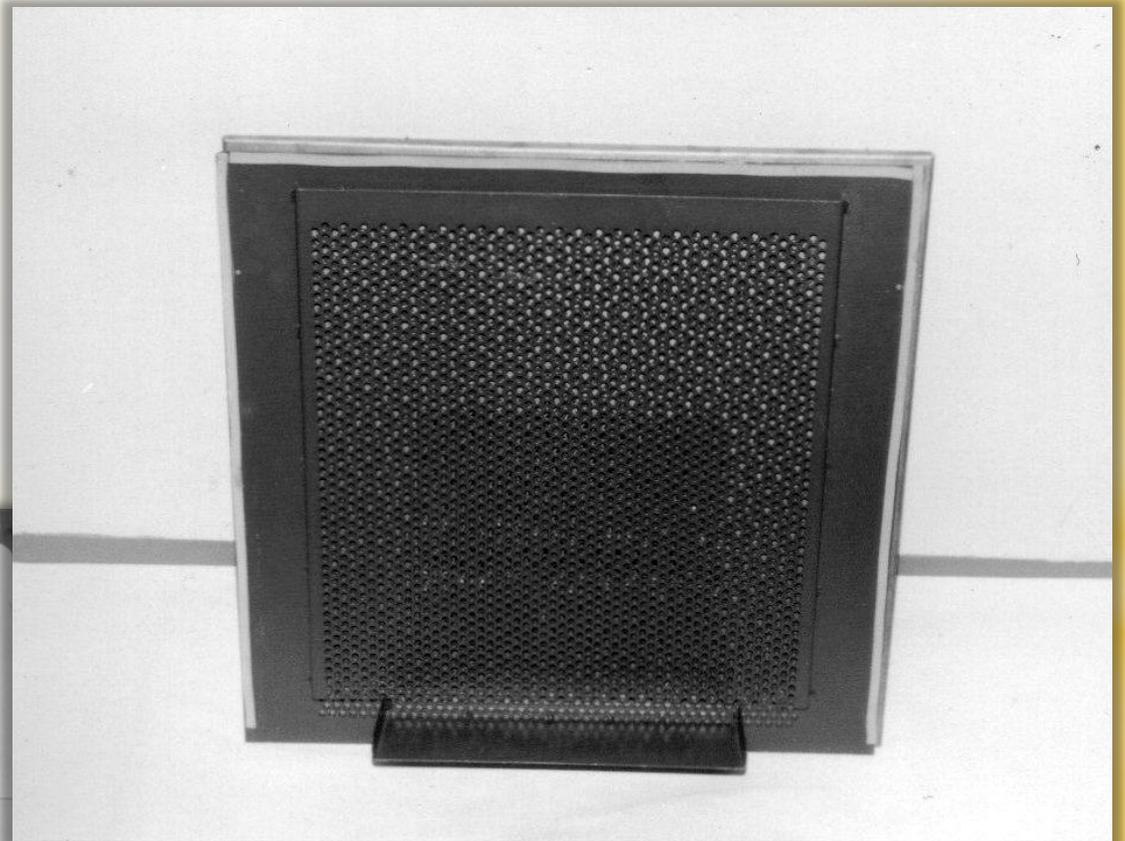
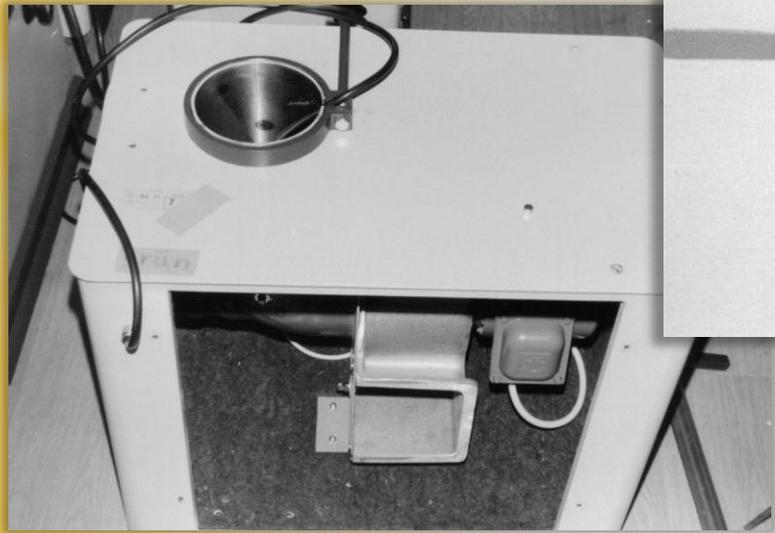
Schallspektrum eines Absaugtisches mit um 16 dB(A) vermindertem Schallpegel



Prinzipkonstruktionen der Schallkapselung und Vliesstoffschalldämpfer an Absaugtischen



Absauggerät mit Vliesstoffauskleidung und Schalldämpfereinsatz



Exkurs 4:

Eine Klimaanlage, Lüftungs- oder Absauganlage hat neben ihrem lufttechnischen System – dem Funktionssystem - noch ein weiteres, das man als akustisches System (Störsystem) bezeichnen kann.

Das System Schalldämpfer ist für die Transformation verantwortlich durch seine Kennlinie oder Übertragungsfunktion oder Parametergleichung.

Drei Fragestellungen sind hierbei zu diskutieren:

- Wie wird eine unbekannte Systemkennlinie ermittelt, um vom Inputschall auf den Outputschall zu schließen?
- Kann man bei bekannter Kennlinie – Gesamtschalldämpfmaß oder Absorptionsgrad der Einzelelemente, z. B. des Vliesstoffs – Soll-Eigenschaften konstruieren?
- Lässt sich bei vorhandenem Lärmspektrum der Quelle und eines definierten SOLL-Pegels oder Wunschpegel des Nutzraums die Transformationskennlinie ermitteln und die der evtl. Vliesstoffbauteile?

Da Schallpegelmessungen in aller Regel nicht im Zeitbereich, sondern im Frequenzbereich durchgeführt werden und die Ergebnisse auch schon logarithmisch vorliegen, kann bei Kenntnis des Eingangs- und Ausgangsschallpegels sofort der Differenzschallpegel ermittelt werden zu

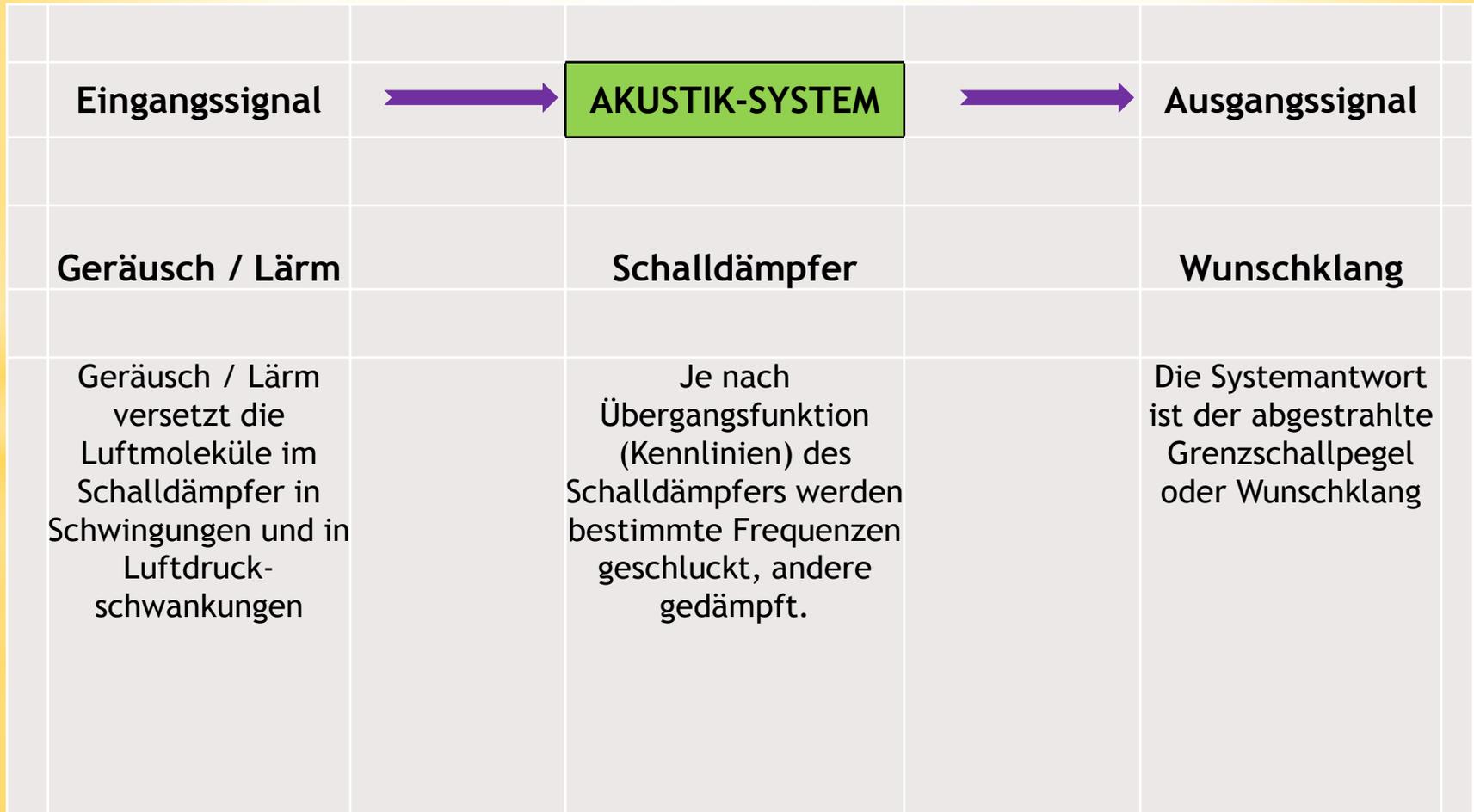
$$\Rightarrow \Delta L(f) = L_{Win}(f) - L_{Wout}(f) \text{ in Abhängigkeit von der Schallfrequenz.}$$

Dies gibt die Gesamtwirksamkeit der Schalldämpfung in dB (Dezibel) an, also die Höhe des „geschluckten“ Schallpegels.

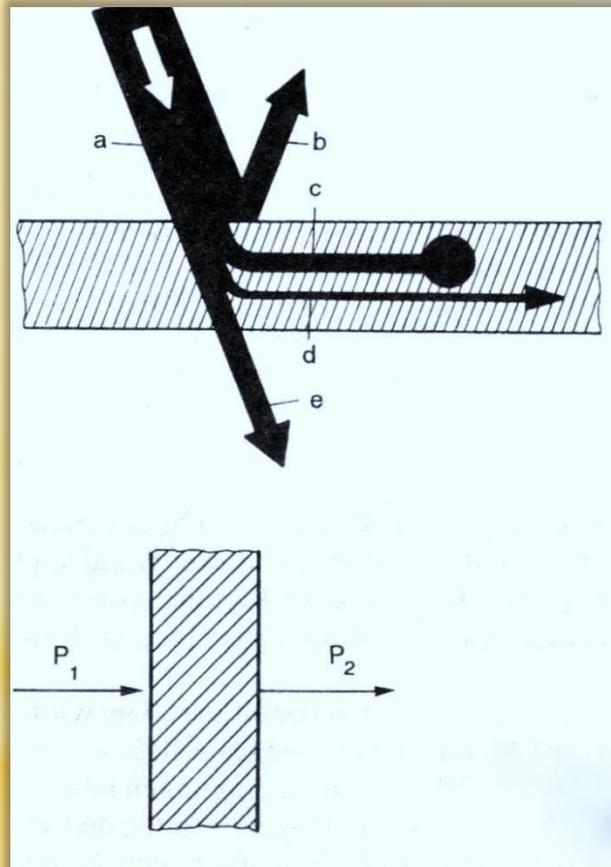
Die Gesamtübertragungsfunktion selbst ergibt sich zu $F(L) = \frac{L_{Wout}(f)}{L_{Win}(f)}$, entweder in % oder dimensionslos dargestellt.

Systemtheorie:

Ein akustisches System wandelt einen Eingangsschall in einen Ausgangsschall um



Reale Physik des Schalldurchganges durch einen Vliesstoff



a = auffallender Schall

b = reflektierter Schall

c = Verlust durch Umwandlung in Wärme

d = Verlust durch Ableitung als Körperschall

e = abgestrahlter Schall

c+d+e = Absorption (P_A)

S = absorbierende Fläche

Transmissionsgrad $T = P_2 / P_1$

Schalldämmmaß $R = 10 \lg \cdot 1 / T$ [dB]

Schallabsorptionsgrad $\alpha_s = P_A / P_1$ (nach Norm)

$\alpha + \rho + T = 1 \Rightarrow$ Physik

$\alpha_s + T < 1 \Rightarrow$ Schallschutzkonventionen

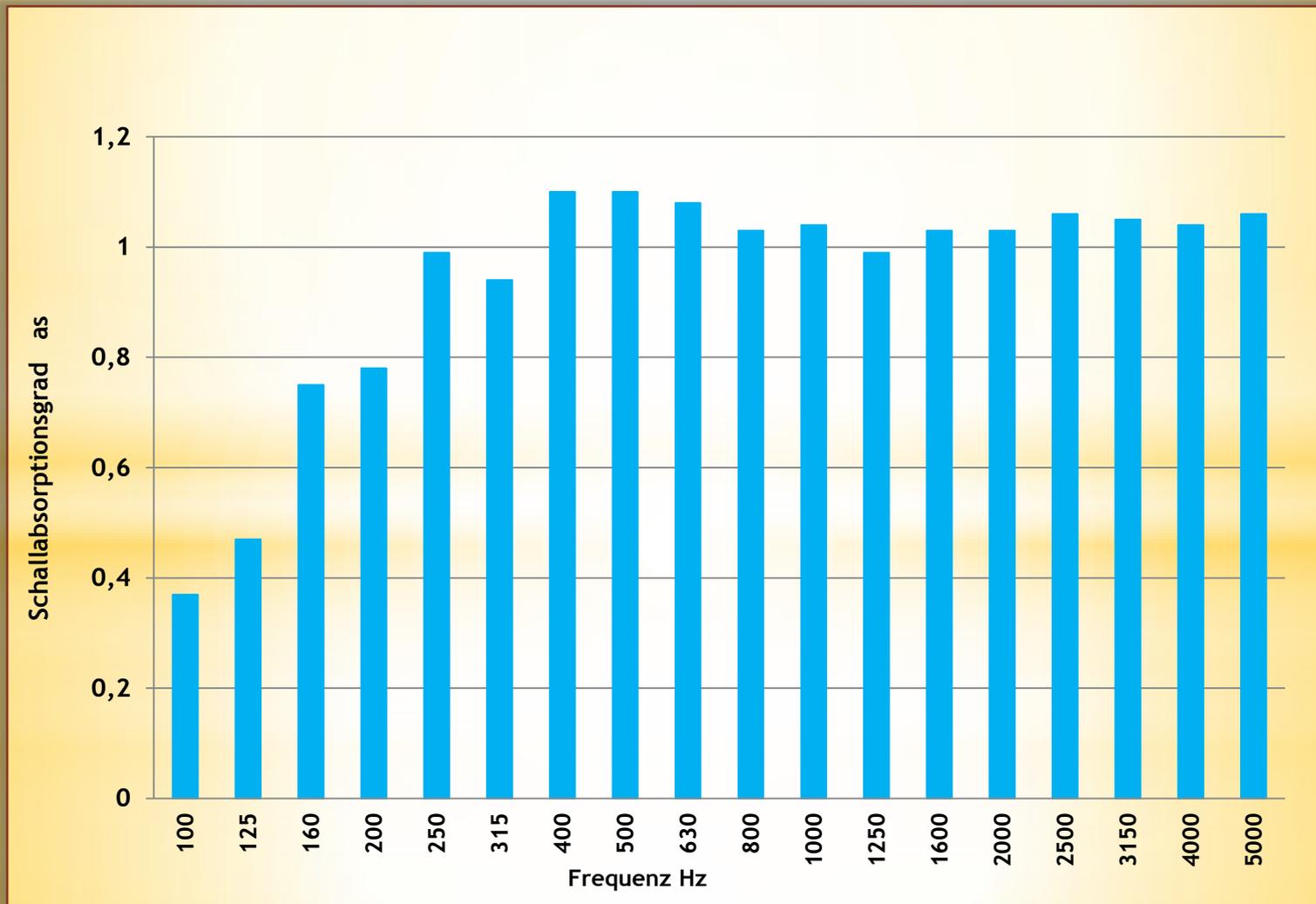
$\alpha \neq \alpha_s$

Äquivalente Schallabsorptionsfläche $A =$

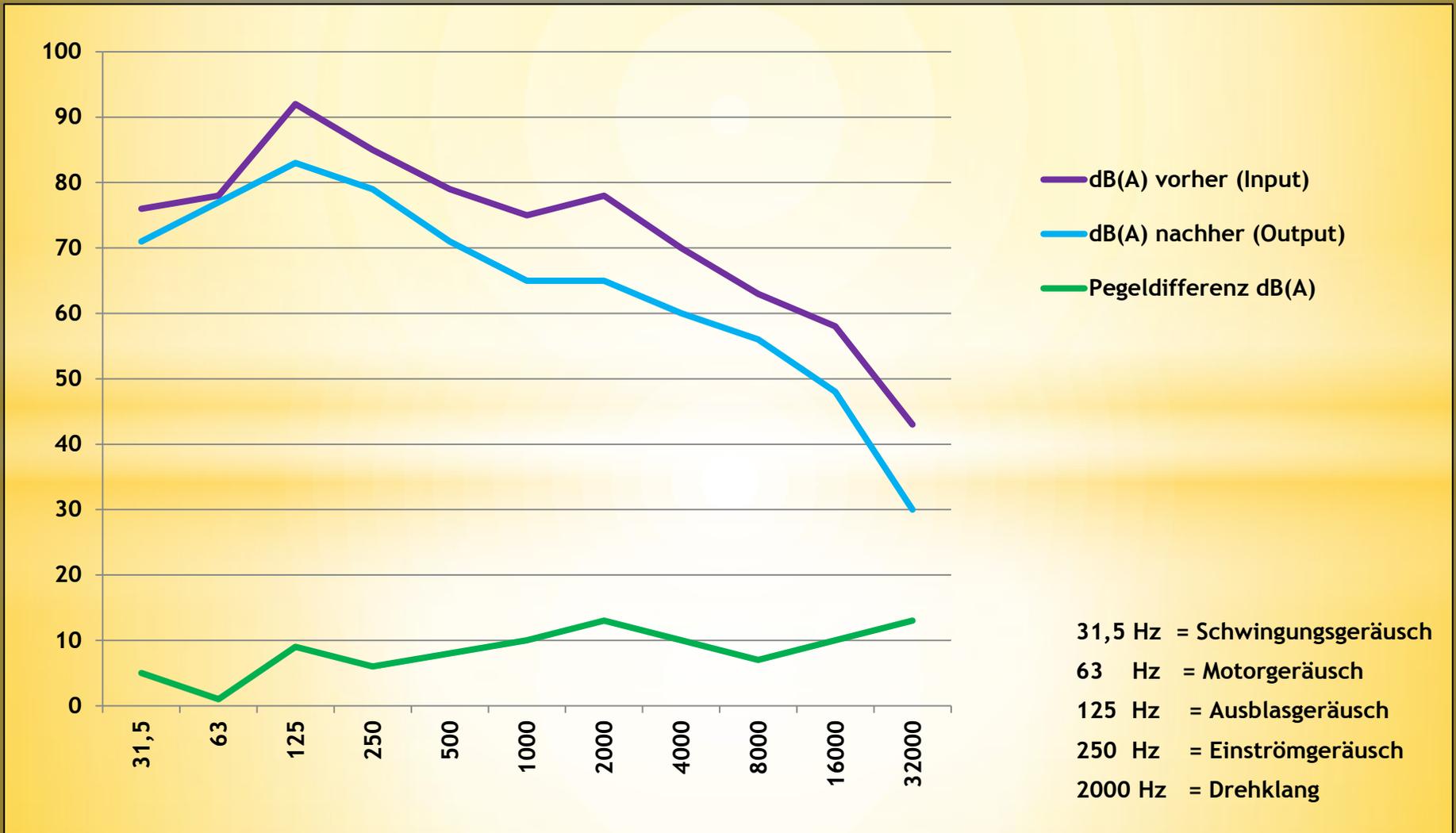
$$\sum A_i \alpha_i = \bar{\alpha} \cdot S$$

Hinweis: Ein offenes Fenster hat 100 % Schallabsorptionsgrad α , aber keine Schalldämmung $R = 0$.

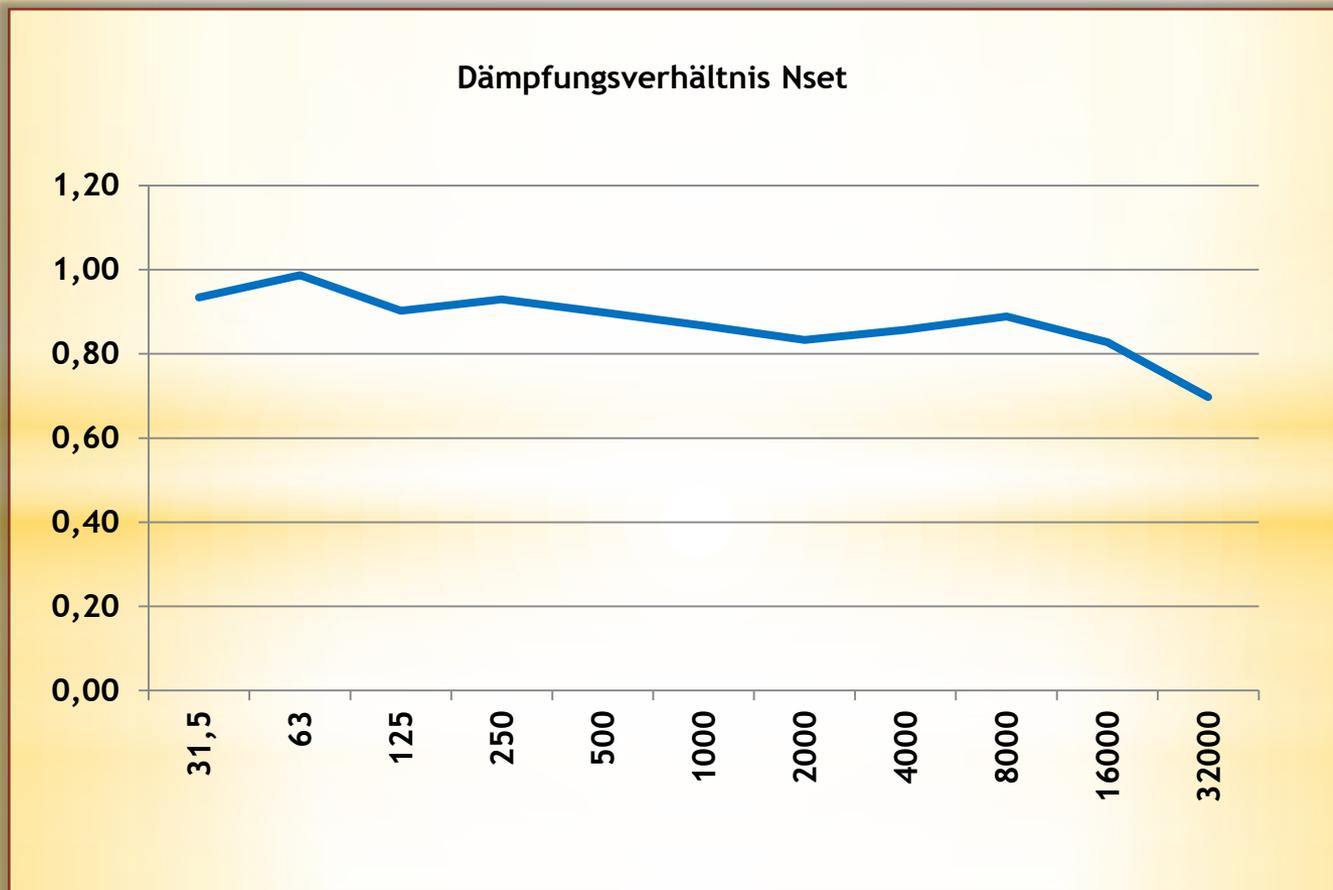
Vlies-Schallabsorber / Absorptionsgrad nichtlinear degressiv



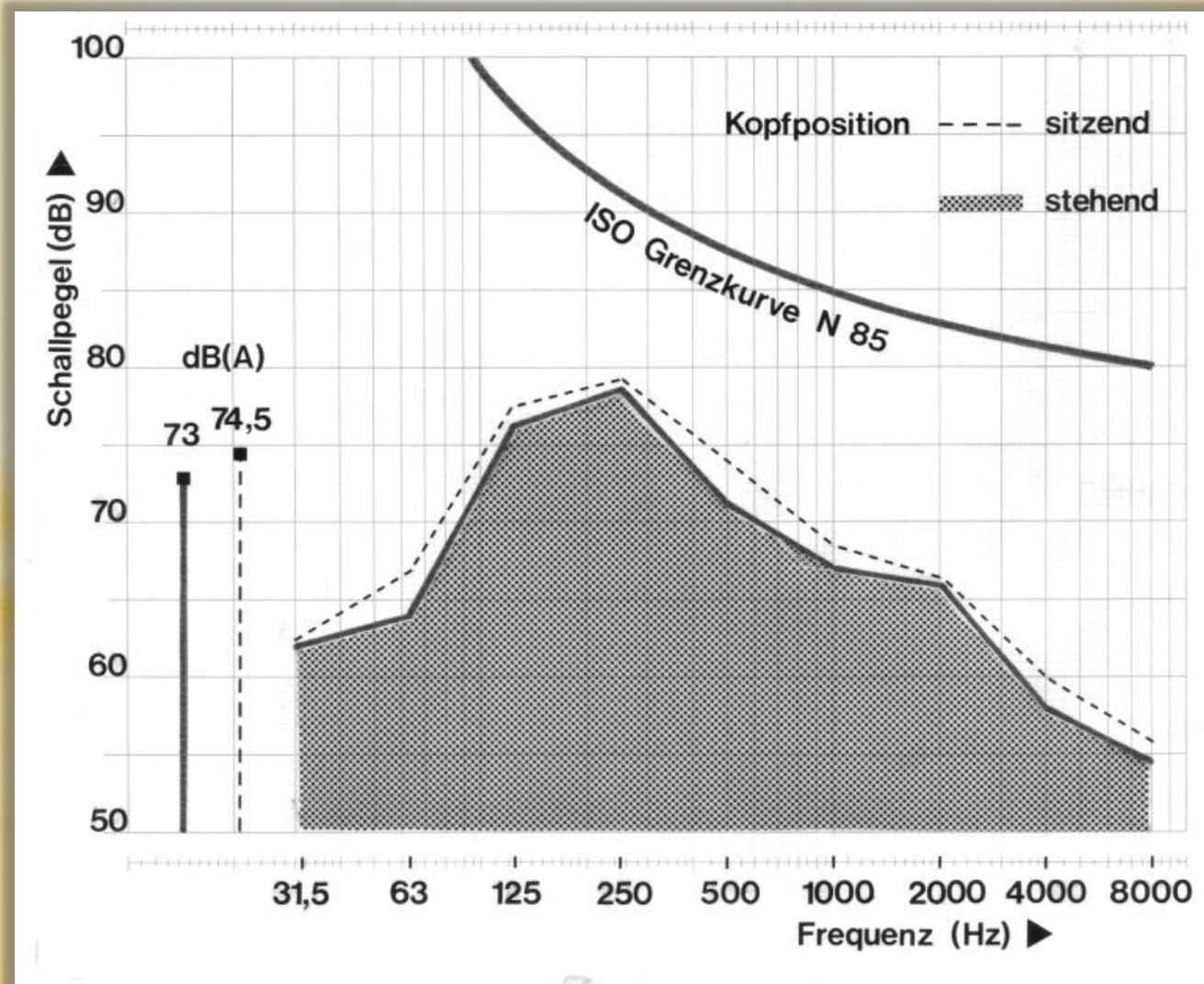
Schallpegelmessung Absaugung Nset



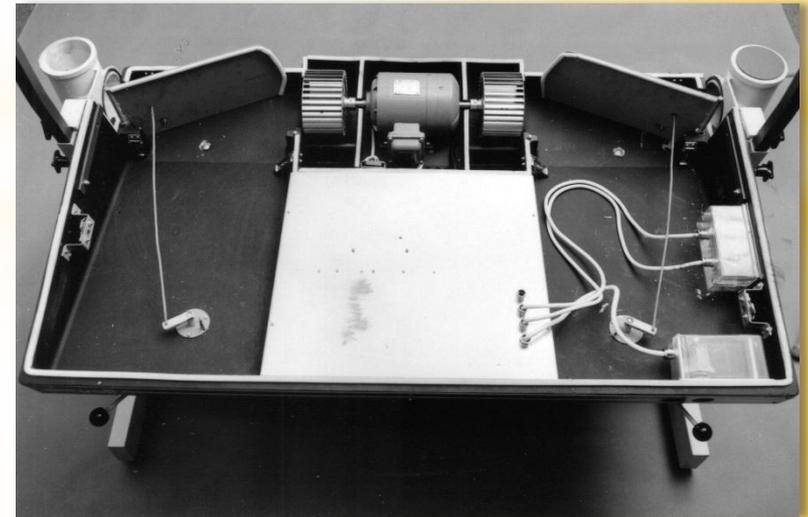
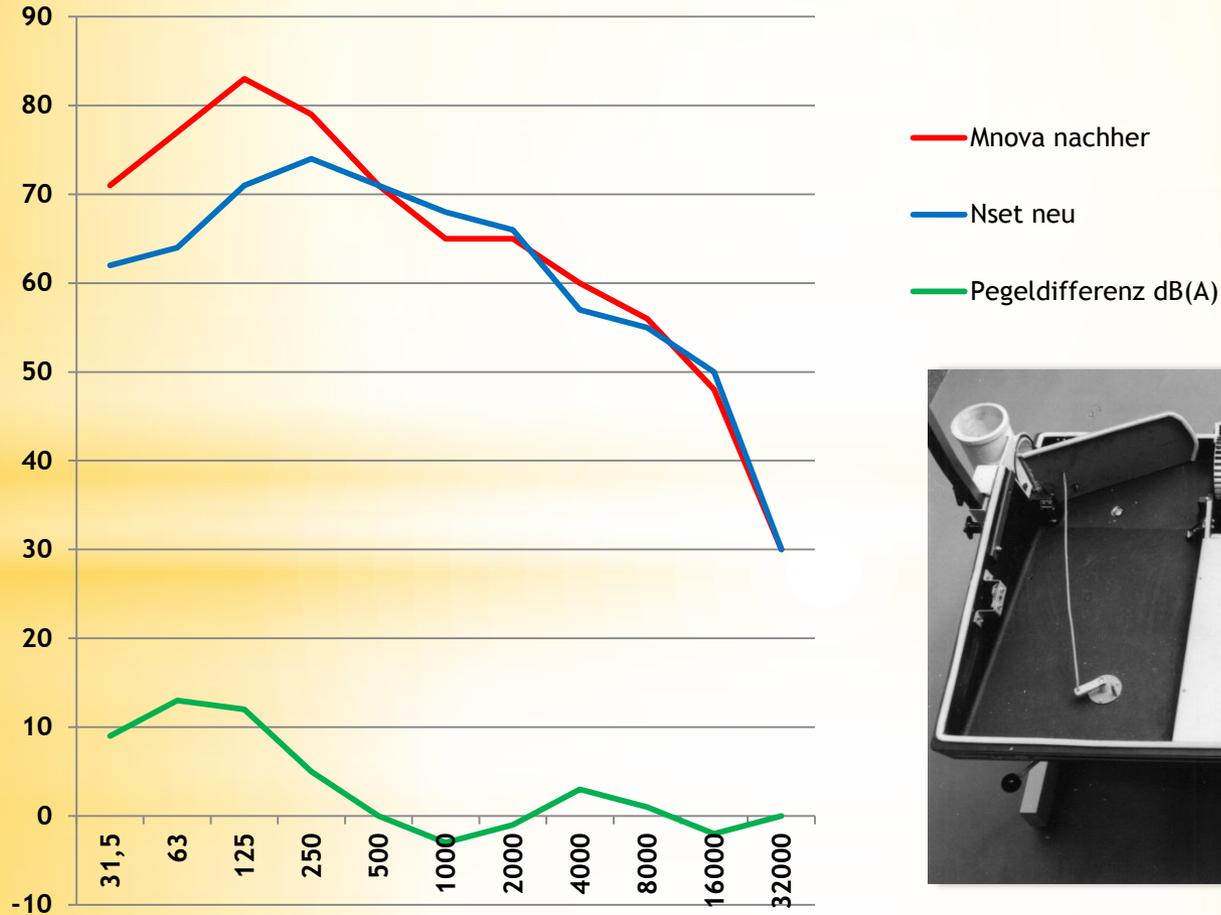
Das Dämpfungsverhältnis eines Schalldämpfers ist systemtheoretisch eine Übertragungsfunktion (hier nichtlinear degressiv, d. h. hohe Frequenzen werden stärker gedämpft als niedrige)



Schallspektrum und Isogrenzkurve – Absauggerät mit Doppelventilator



Vergleich: Gerät mit Einfachtrommelläufer Mnova und Zweifachtrommelläufer Nset und zweikanaligem Vliesschalldämpfer



Dämpfungsverhältnis nichtlinear progressiv (niedrige Frequenzen werden stärker gedämpft als hohe)

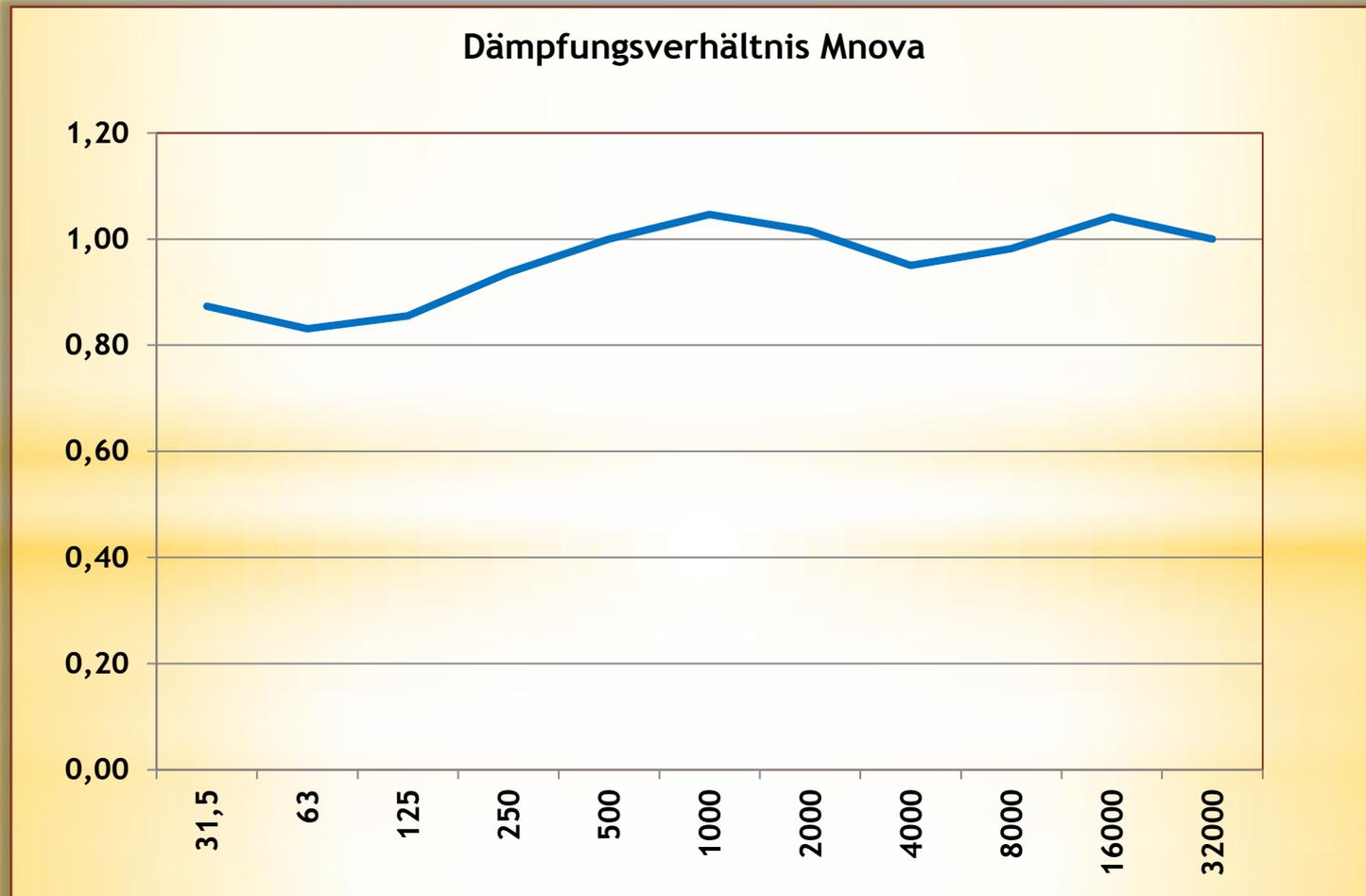
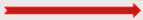


Tabelle unterschiedlicher Messsituationen eines Axialventilators (Auszug aus 50 Messungen)

Im Regelfalle ergeben sich mehrere hintereinandergeschaltete Übertragungsblöcke mit unterschiedlichen Übertragungsfunktionen zu einer Gesamtübertragungsfunktion.

Multinova Pegelmessung	Frequenz	Ventilator ohne Gehäuse freilaufend	Ventilator im Spiralgehäuse turbulent ausblasend	Ventilator in Gerät eingebaut turbulent ausblasend	Ventilator in Gerät eingebaut geschlossen weitgehend laminar ausblasend	Gerät mit VLIES-Innenauskleidung und Schalldämpfer
Nr.	Hz	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)	dB(A)
1	31,5	80	77	87	76	71
2	63	80	72	82	78	77
3	125	82	74	92	92	83
4	250	80	88	92	85	79
5	500	76	85	85	79	71
6	1000	77	87	87	75	65
7	2000	75	88	85	78	65
8	4000	73	80	86	70	60
9	8000	71	77	82	63	56
10	16000	65	71	72	58	48
11	32000	60	64	67	43	30
12	Σ	81	88	90	88	74
		INPUT SCHALL 	Übertragungsblock F1	Übertragungsblock F2	Übertragungsblock F3	OUTPUT SCHALL 
		F (1,2,3) = F1 x F2 x F3			Gesamtübertragungsfunktion	
				F(i) = Dämpfungsverhältnis		

Exkurs 5:

Das klassische Vorgehen beim Einsatz von Vliesstoffen in der Strömungsakustik orientiert sich regelmäßig an den auralen Lärmwirkungen, den Beurteilungspegeln und der gesetzlichen und medizinischen Bewertung von Lärm.

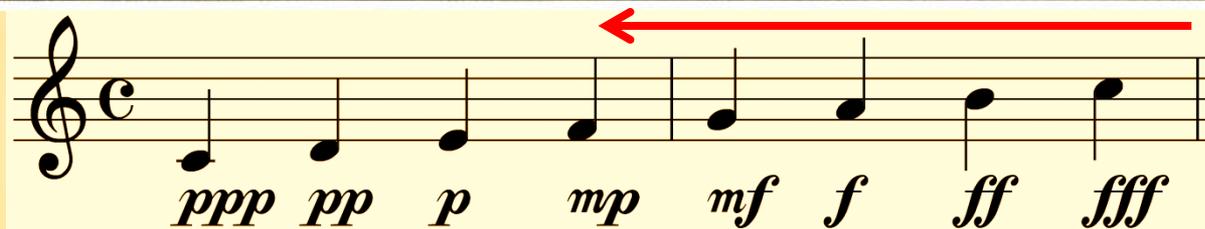
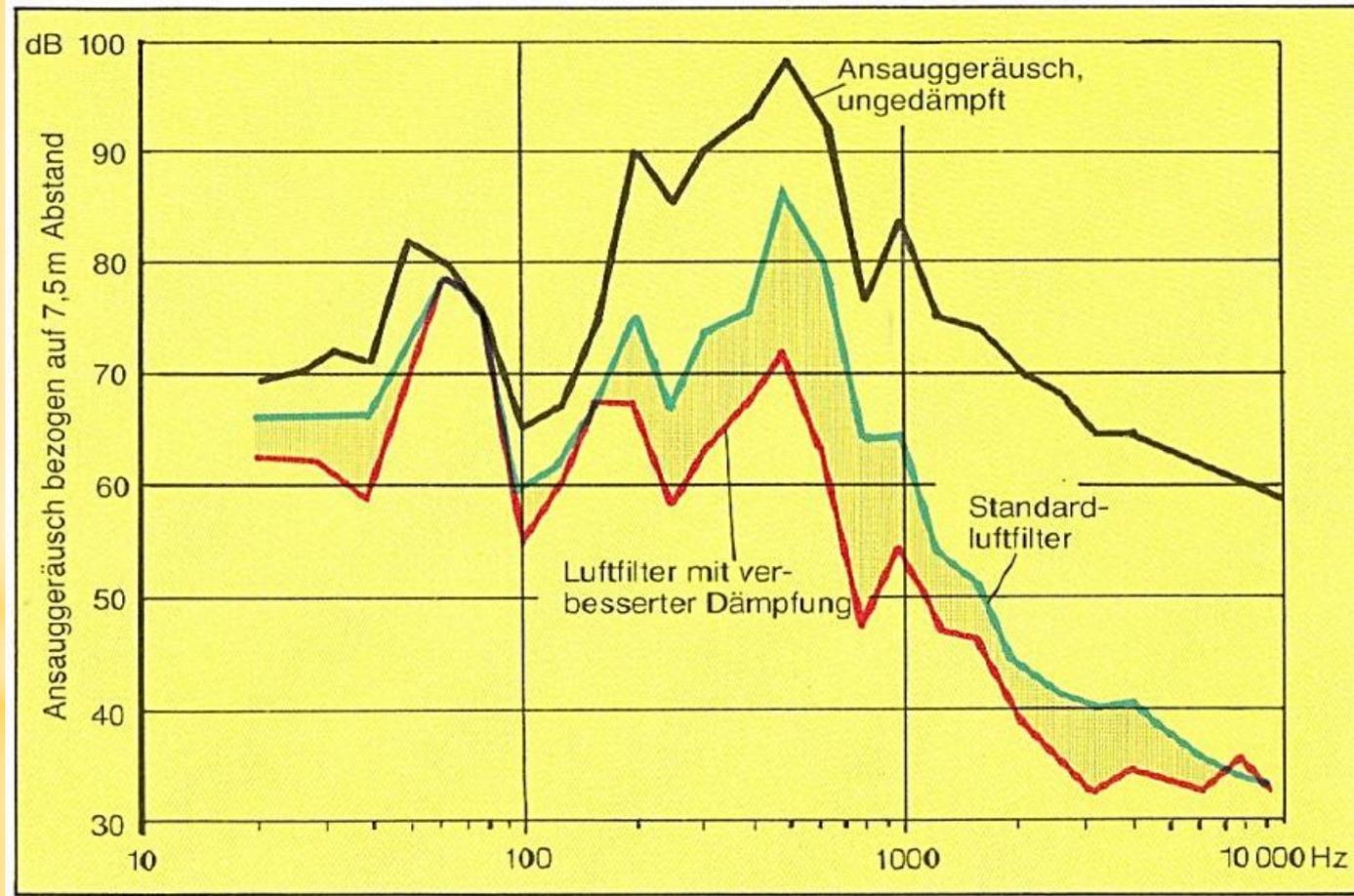
In jüngerer Zeit werden aber Begriffe wie

Soundscape und Akustikdesign

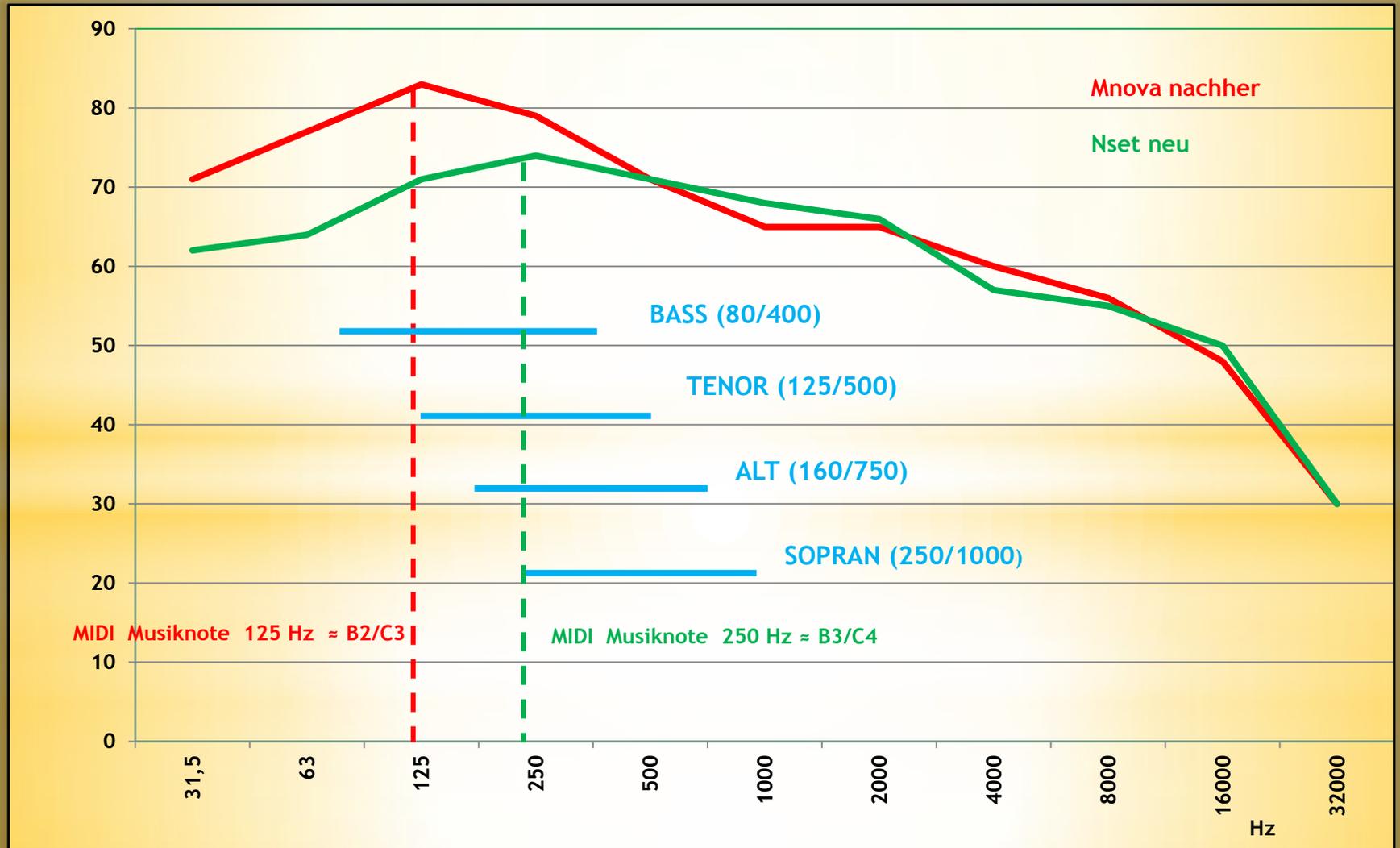
populär. Hierbei geht es darum, nicht nur Pegel zu senken und Lärm zu eliminieren, sondern angenehme und Wunschgeräusche zu designen mit dem Prinzip der Komfortorientierung. Haushaltsgerätehersteller und Autohersteller unterhalten schon Abteilungen für Geräuschdesign. Im Ergebnis zielt diese psychoakustische Methode auf die extraauralen Schallwirkungen nach dem Motto: „*Geräusch wird durch Wohlklang erst schön*“.

Insbesondere Vliesstoffe können hier durch ihre Variabilität und akustische Machbarkeit ein breites und interessantes Einsatzgebiet finden. Die akustische Systemtheorie zeigt demnach Wege und Lösungen auf – Schlagwort ist jetzt: adaptive Textilakustik – mit Spielraum für Zukunftsvisionen.

Akustikdesign eines Ansaugfilters – nur Lautstärkeverminderung von *fff* auf *mp*. Frequenzen bleiben unverändert.



Akustikdesign durch Vliesstoffe – Geräusch wird durch Wohlklang erst schön! Reduktion der Lautstärke und Frequenzverschiebung von BASS nach TENOR.



Textile Akustikwerkstoffe können durch Strukturoberseiten und Vliesunterseiten als kombinierte Akustikwerkstoffe für die Raumgestaltung eingesetzt werden. Besonders Vliesstoffe mit Kombinationseigenschaften haben Chancen am Markt.



Literaturnachweis:

- Buresch; Tichomirow:** (1970) Krčma: Handbuch der Textilverbundstoffe. Deutscher Fachverlag, Frankfurt a. Main
- Brandt, W.:** (1971) Industrierwatten. 31. Weiterbildungsseminar für Ingenieure. RKW, Landesgruppe Westfalen, Düsseldorf
- Pesch, Gottfried:** (1972) Die Bedeutung der Industrietextilien (technische Textilien) für den Gesamtabsatz der Textilindustrie. Forschungsstelle f. allg. u. textile Marktwirtschaft, Uni Münster
- Schmidt, K.-P.:** (1974) Lärmarm konstruieren - Beispiele für die Praxis. FB Nr. 129. Wirtschaftsverlag Nordwest GmbH, Wilhelmshaven
- Bäckmann, R.:** (1974) Akustikvliese kontra Ventilatorenlärm. avr-Allgemeiner Vliesstoffreport, Heft 9.
- Bäckmann, R.:** (1974) Veit-Novaset jetzt geräuschgedämpft. Bekleidung + Wäsche, Heft 9.
- Bäckmann, R.:** (1975) Der Europäische Markt für Synthesevliesstoffe. Gewiplan-Studie, Frankfurt
- Bäckmann, R.:** (1977) Der Werkstoff hinter den Kulissen - Vliesstoffe im Fahrzeugbau. Firet-Report
- Jörder, Helmut:** (1977) Textilien auf Vliesbasis (Nonwovens). P. Keppler Verlag, Heusenstamm
- Enz; Desmero:** (1981) Innengeräusche von Fahrzeugen. FB Nr. 263. Wirtschaftsverlag NW, Bremerhaven
- Blumenstock, Kl.- U.:** (1989) Motorenfilter. Verlag Moderne Industrie, Landsberg
- Gahlau; Heinemann:** (1998) Fahrzeugakustik. Verlag Moderne Industrie, Landsberg
- Riedinger; Jochim;** (1998) Paraphon, ein neuer Vliesstoff als Breitband-Resonanzabsorber für den sekundären Schallschutz. Techtexil-Symposium, Frankfurt a. Main
- Sinambari; Thorm:**
- Shoshani; Yakubov:** (1999) Ein Modell für die Berechnung der Lärmabsorptionskapazität von Vliesstoff-Faservliesen. Textile Research Journal
- Albrecht; Fuchs; Kittelmann** (2000) Vliesstoffe. Wiley-VCH, Weinheim New York...
- Hornfeck:** (2003) Simulation akustischer Eigenschaften textiler Materialien. Technische Textilien
- Schirmer, Werner:** (2006) Technischer Lärmschutz. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Lips, Walter:** (2008) Strömungsakustik in Theorie und Praxis. Expert Verlag, Renningen
- Maue, J. H.:** (2009) 0 Dezibel + 0 Dezibel = 3 Dezibel. Erich Schmidt Verlag, Berlin
- Bäckmann, R.:** (2009) Vliesstoffe im Fahrzeugbau. Vortrag, Chemiefasertagung Dornbirn
- Bäckmann, R.:** (2009) Textilkonstruktionen - Konstruktionstextilien. Vortrag 12. Chemnitzer Textiltechniktagung
- Fuchs, Helmut V.:** (2010) Schallabsorber und Schalldämpfer. Springer-Verlag Berlin Heidelberg
- Jestel, F.:** (2010) Vorteile von Mikrofaservliesstoffen bei der Schallabsorption im Auto. Vortrag. Chemiefasertagung Dornbirn

Ich danke für Ihre Aufmerksamkeit!

...und lade Sie ein zum **SEMINAR:**

Akustiktextilien – Textilakustik

Akustiktextilien und Textilakustikkonstruktionen zur Schallbeeinflussung, Lärminderung und zum Akustikdesign im Bereich der technischen Akustik

- Überblick über Akustiktextilien und Anwendungen in Akustikkonstruktionen
- Akustische Eigenschaften von Textilien und Textilverbundstoffen
- Textilverstärkte Kunststoffe und mikroperforierte Textilmembranen
- Akustische Messverfahren zur integralen / spektralen Wirksamkeit von Akustikvliesen
- Schallabsorption, Schalldämmung und Körperschallisolierung an Maschinen und Fahrzeugen
- Strömungsaustik: Textilien kontra akustische Strömungsemissionen und -imissionen
- Bau- und Raumakustik: Ergonomie und Raumkomfort mit Textilien und Verbundkonstruktionen
- Schall- und Lärmprobleme erneuerbarer Energien: Umweltakustik und textile Problemlösungen
- Systemtheorie der Textilakustik - Simulation komplexer Anwendungen
- Vom Geräusch und Lärm zum Klang: Psychoakustik und Akustikdesign

TEILNEHMERKREIS:

Geeignet für Unternehmer, technisches Management, Planer und Entwickler und interessierte Mitarbeiter; aber auch für Forschung und Lehre bietet sich ein konzentrierter Einblick in Theorie und Praxis der Textilakustik

TERMIN und ORT: auf Anfrage

Teilnahmegebühr: auf Anfrage

Anmeldung

unter: iub@baeckmann.de oder Fax: +49 9372 941 401