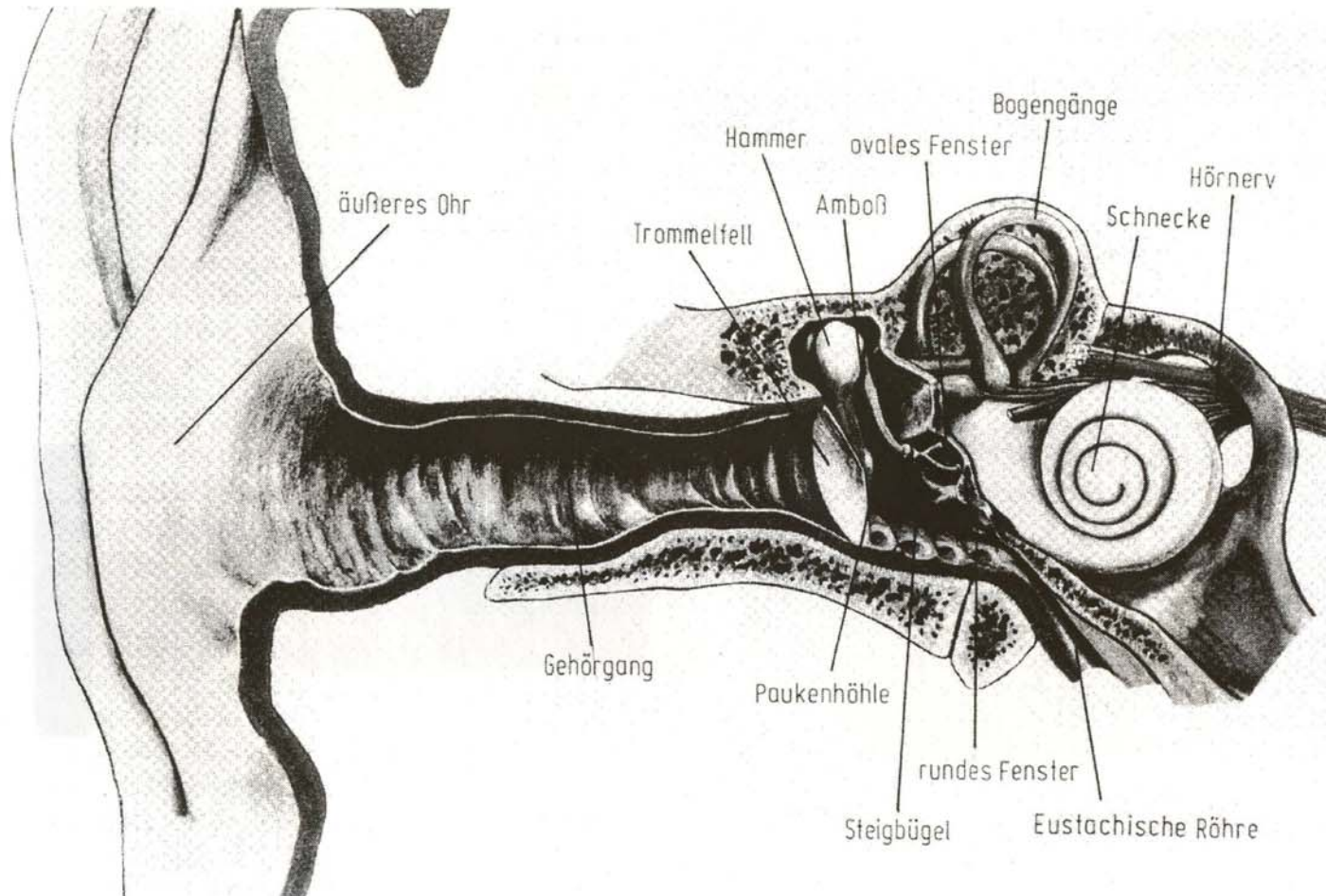


Präsentation zur Vorlesung Maschinenakustik

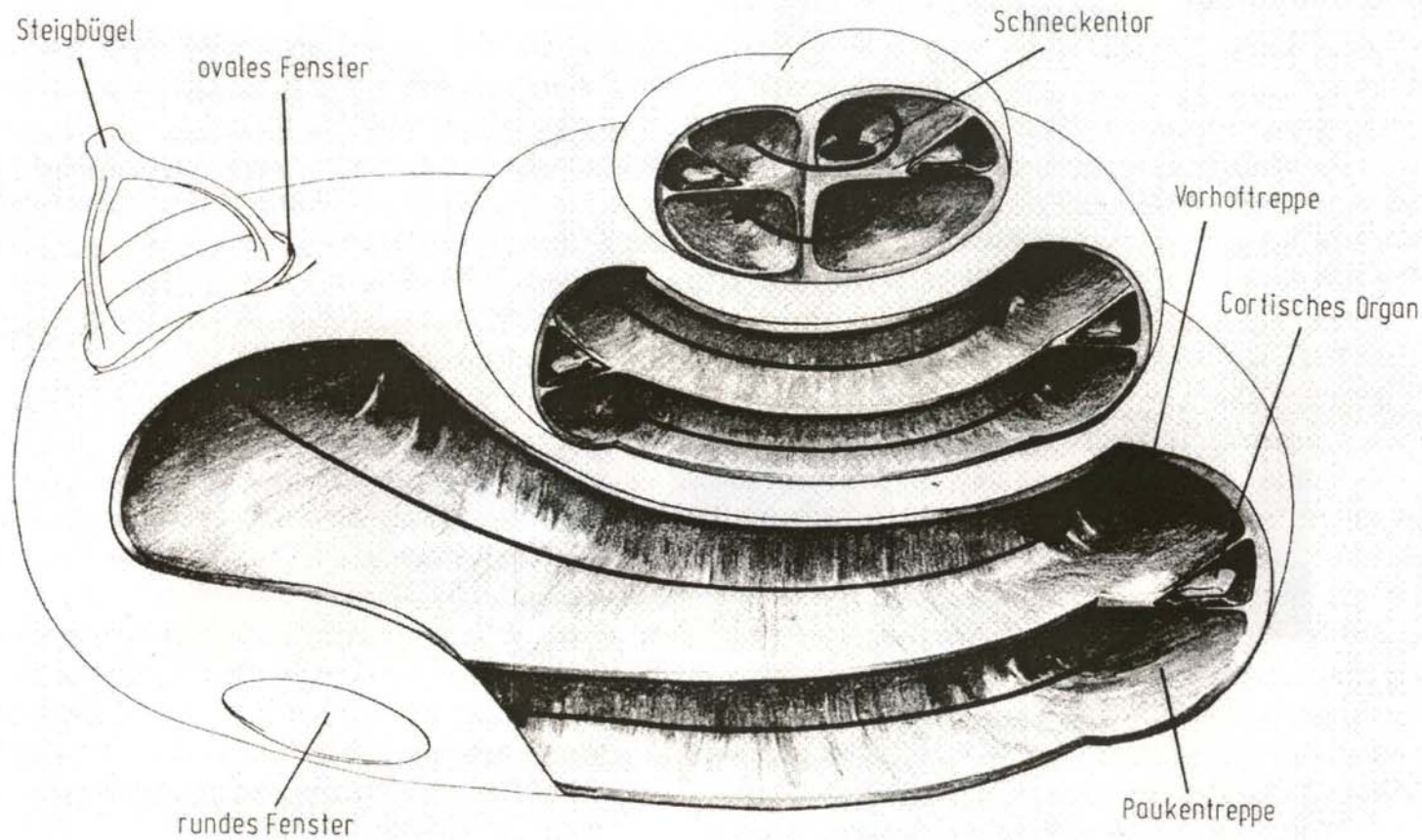


Schnitt durch das Gehör



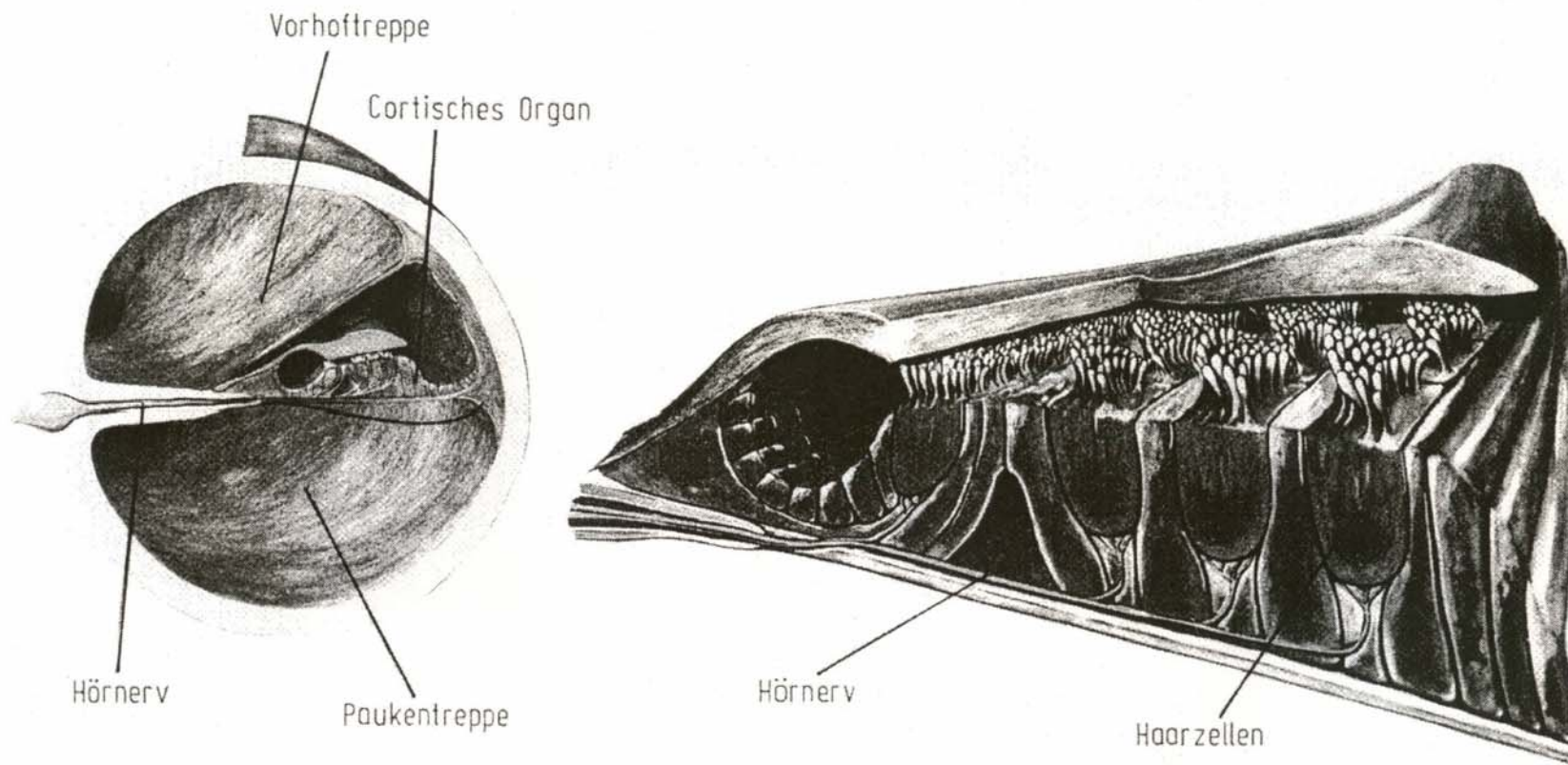
Quelle: Heckl / Müller

Schnitt durch die Schnecke



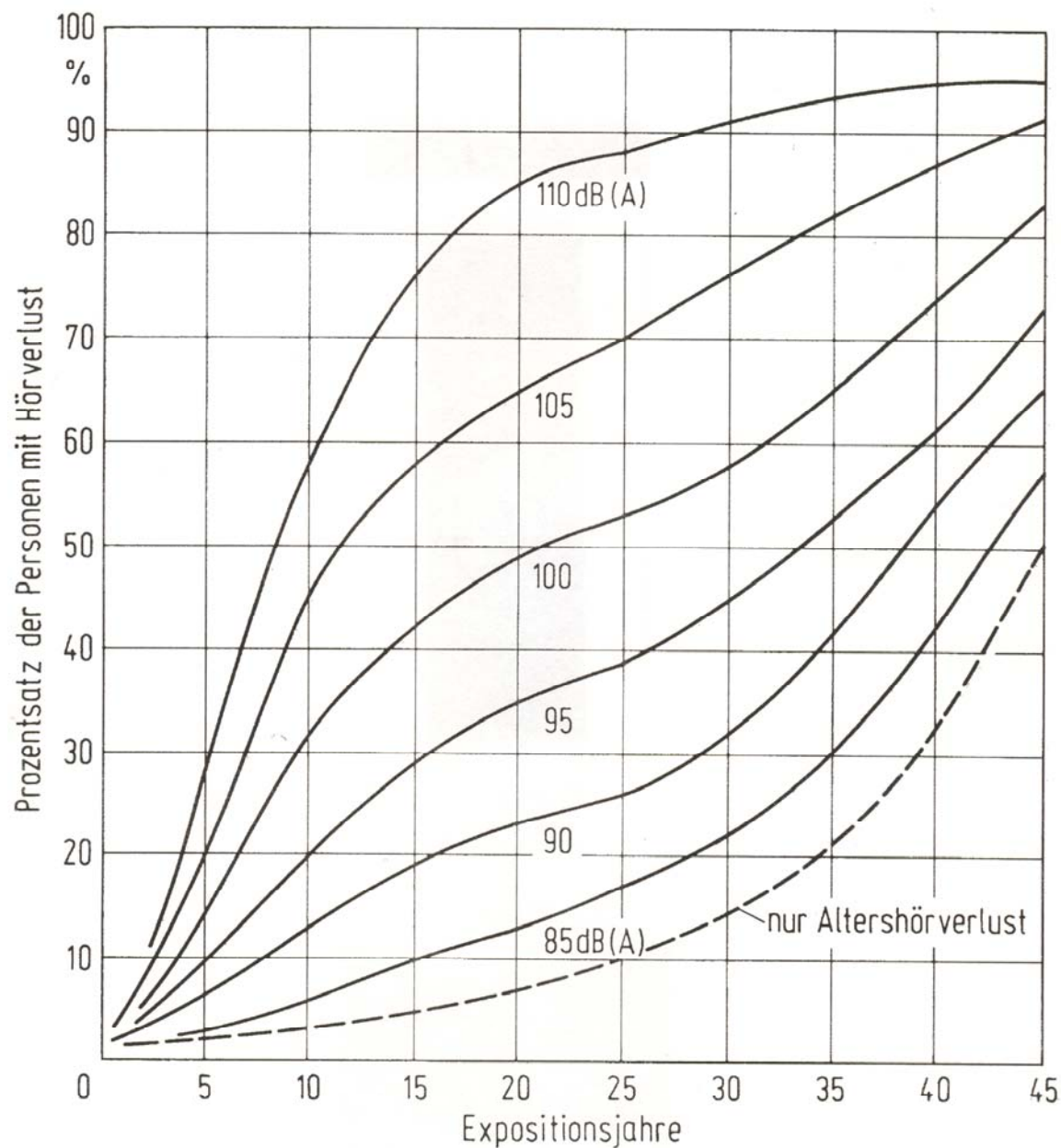
Quelle: Heckl / Müller

Schnitt durch das Cortische Organ



Quelle: Heckl / Müller

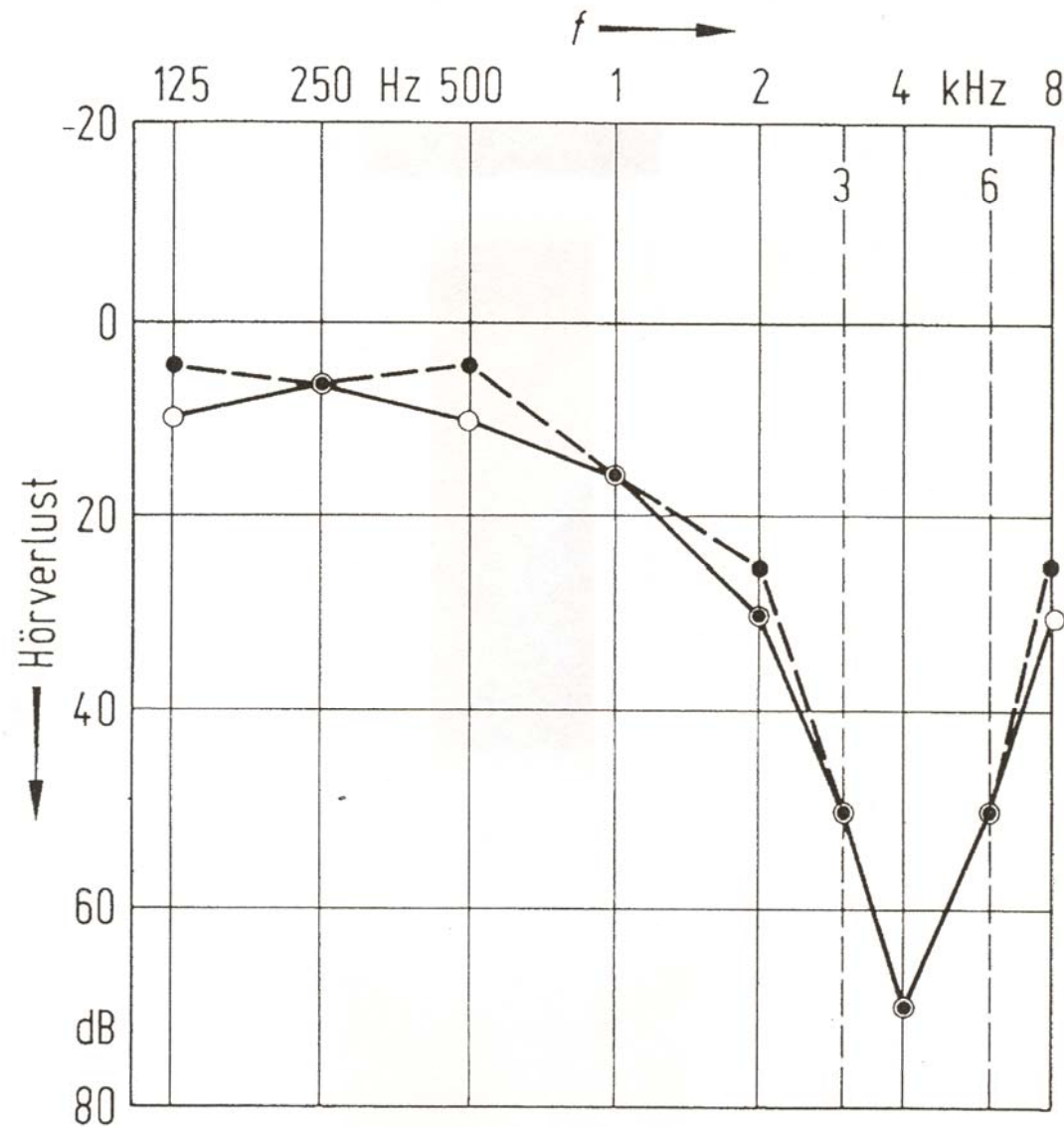
Gehör- schadenrisiko



Abhängigkeit des Gehörschadenrisiko von Dauer und Intensität der Lärmbelastung
(nach ISO 1999)

Quelle: Heckl / Müller

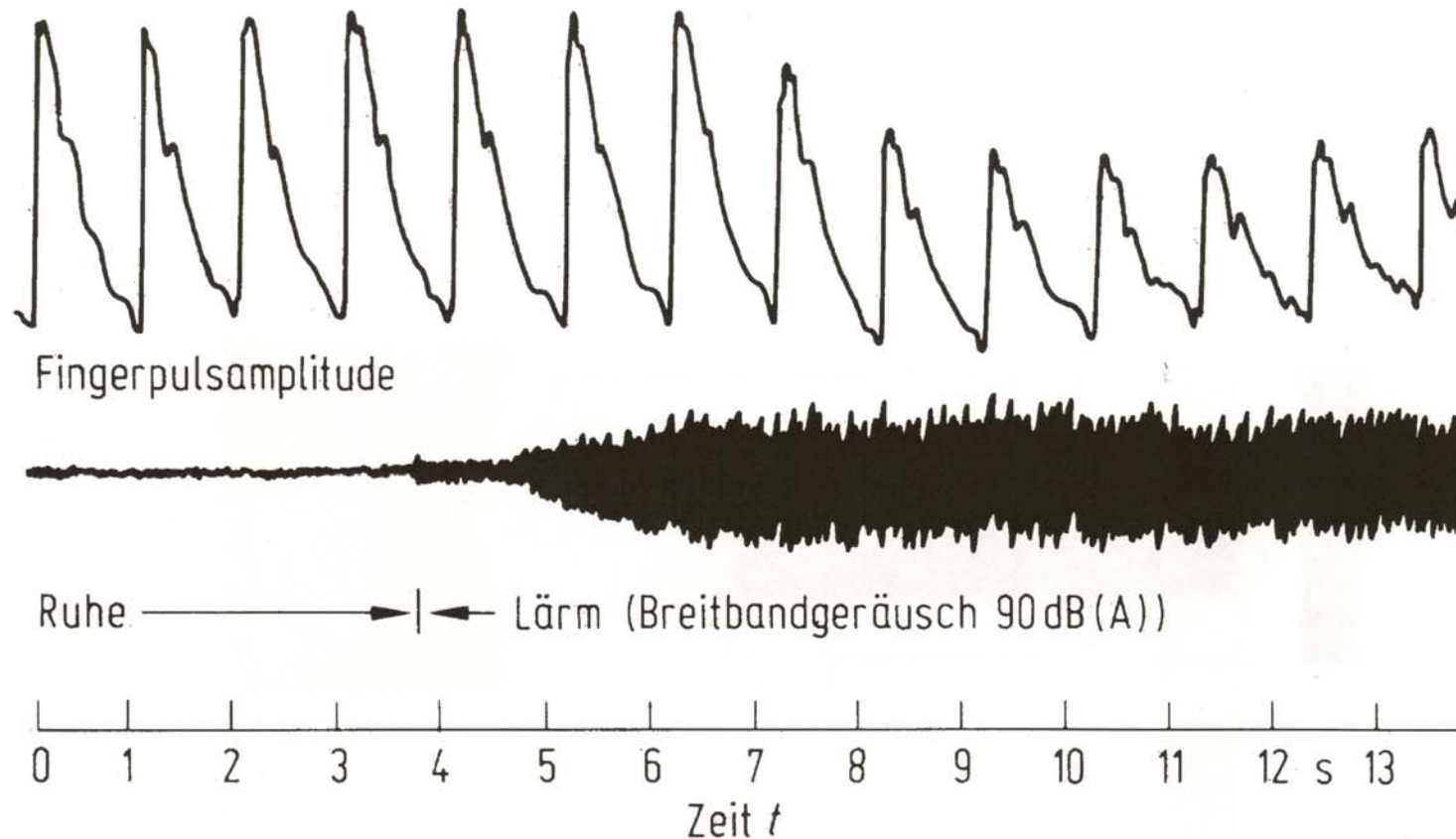
Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers



Quelle: Heckl / Müller

Frequenzverlauf des Hörverlustes bei Lärmschwer- hörigkeit

Verlauf der Fingerpulsamplitude in Ruhe und unter Lärm



Quelle: Heckl / Müller

Pegelrechnung

Größe	Referenzwert	Dimension
Schalleistung P	$1 \cdot 10^{-12}$	W
Schalldruck p	$2 \cdot 10^{-5}$	Pa
Schnelle \hat{v}	$5 \cdot 10^{-8}$	m/s
Beschleunigung a	$\pi \cdot 10^{-7}$	m/s ²
Kraft F	1	N

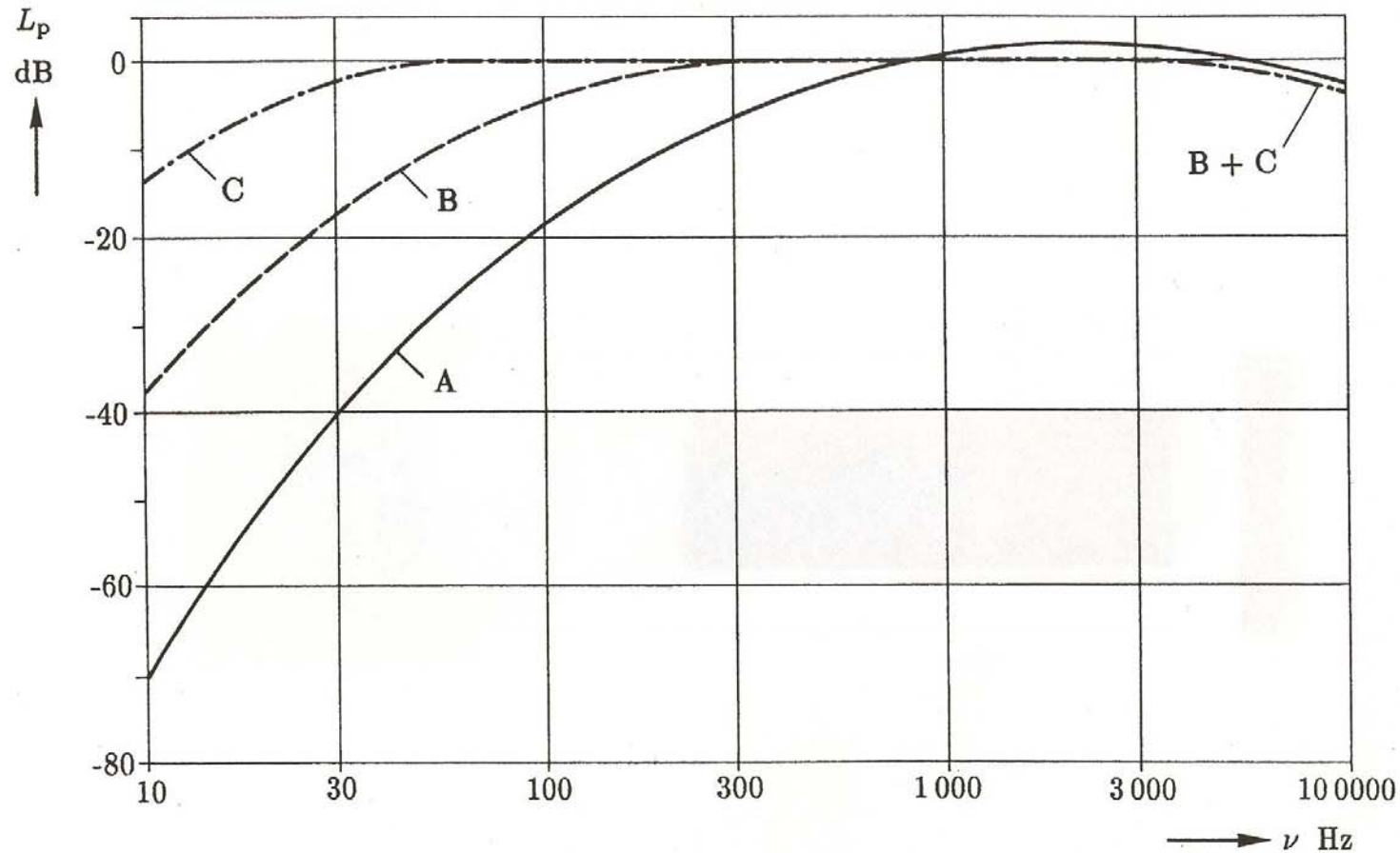
Referenzwerte akustischer Größen für Pegelrechnung

$L_1 - L_2$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	dB
ΔL_{kor}	3	2,5	2,1	1,8	1,5	1,2	1,0	0,8	0,6	0,5	0,4	dB

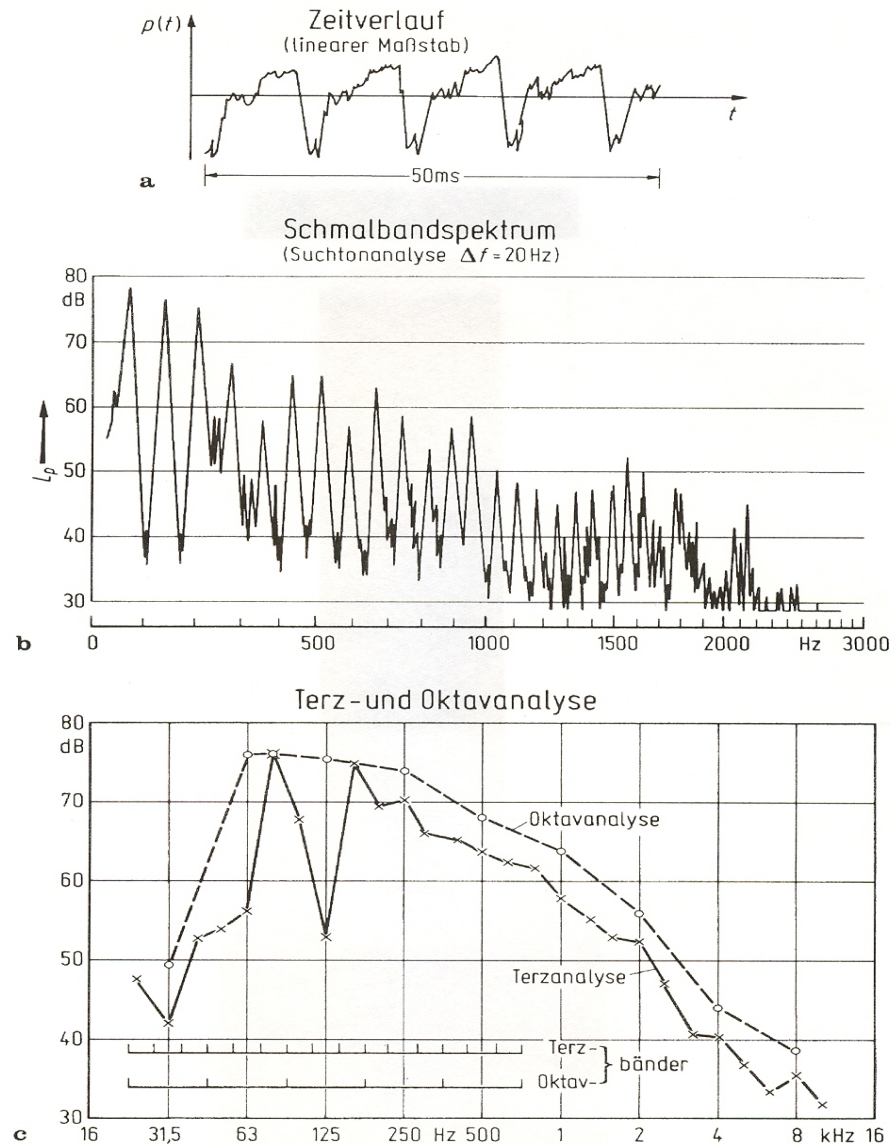
Korrekturpegel ΔL_{kor} in Abhängigkeit von $L_1 - L_2$ ($L_1 \geq L_2$)

Quelle: Kollmann

Bewertungskurven für Schalldruckpegel



Quelle: Kollmann

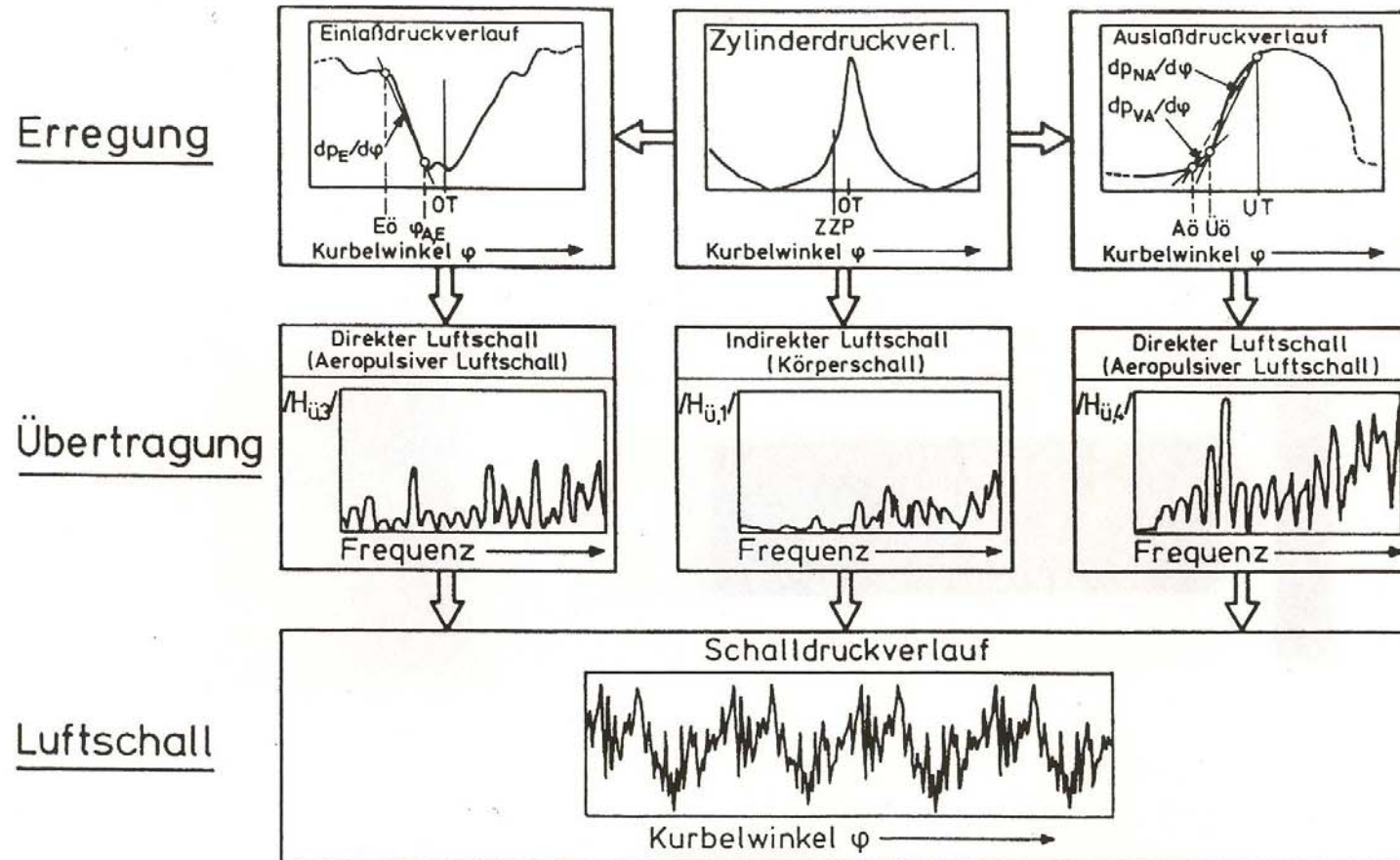


a Zeitverlauf; **b** Schmalbandanalyse; **c** Terzanalyse, Oktavanalyse eines Geräusches mit Klanganteilen.
(Verschiedene Frequenzmaßstäbe in **b** und **c**)

Quelle: Heckl / Müller

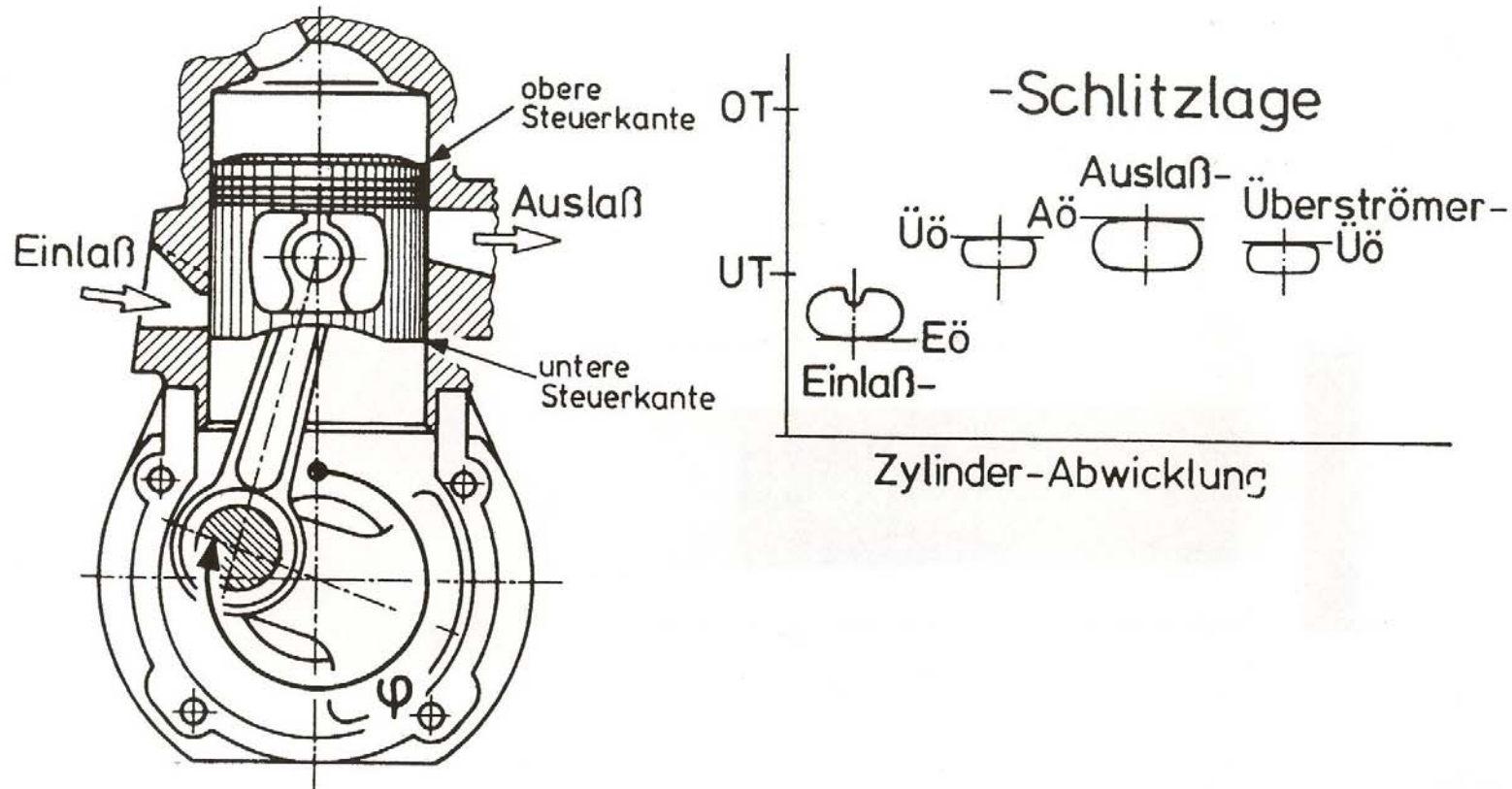
Schalldruck- spektrum

Schematische Darstellung der akustischen Wirkungskette am schnelllaufenden Zweitaktmotor

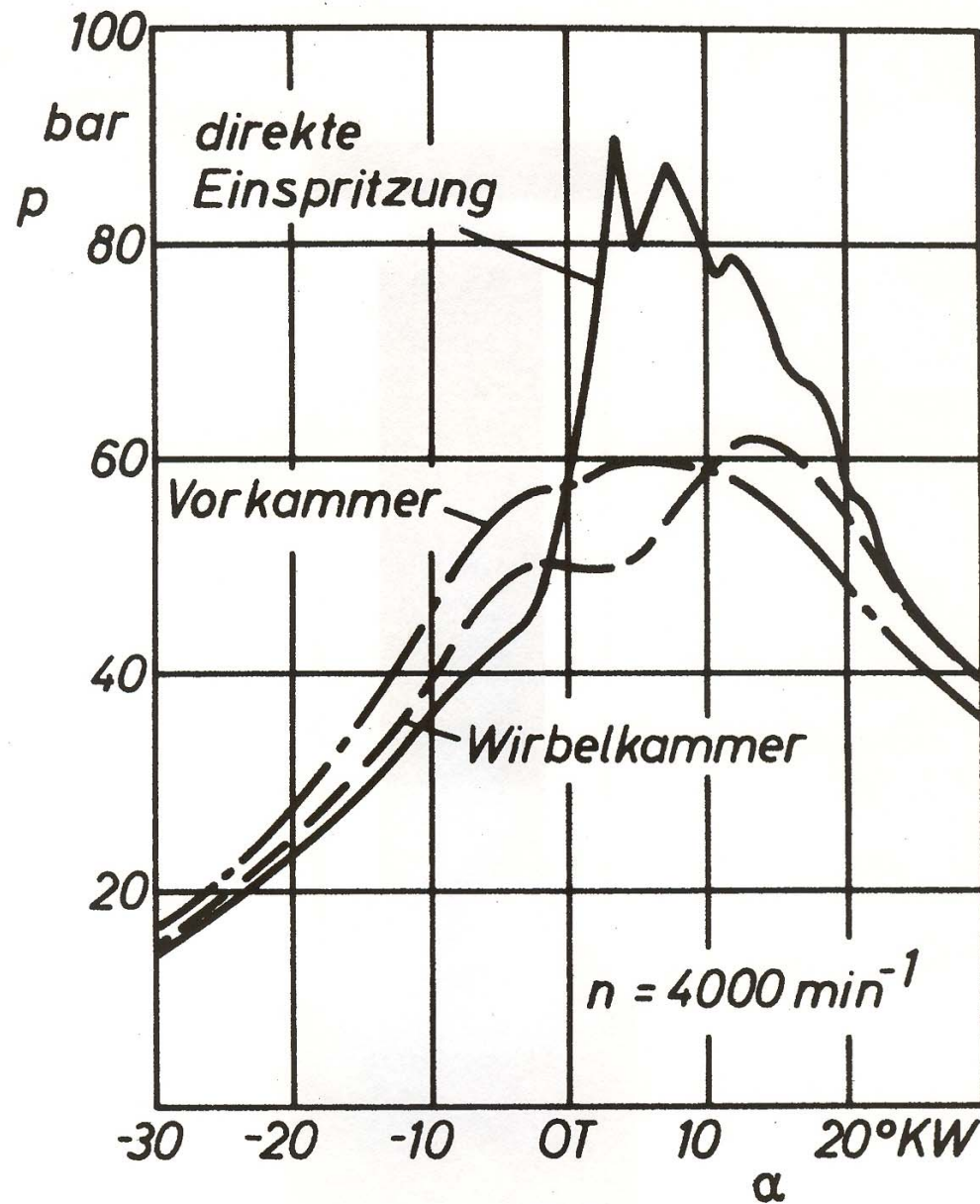


Quelle: Groth / Meyer

Funktionsweise des Zweitaktmotors



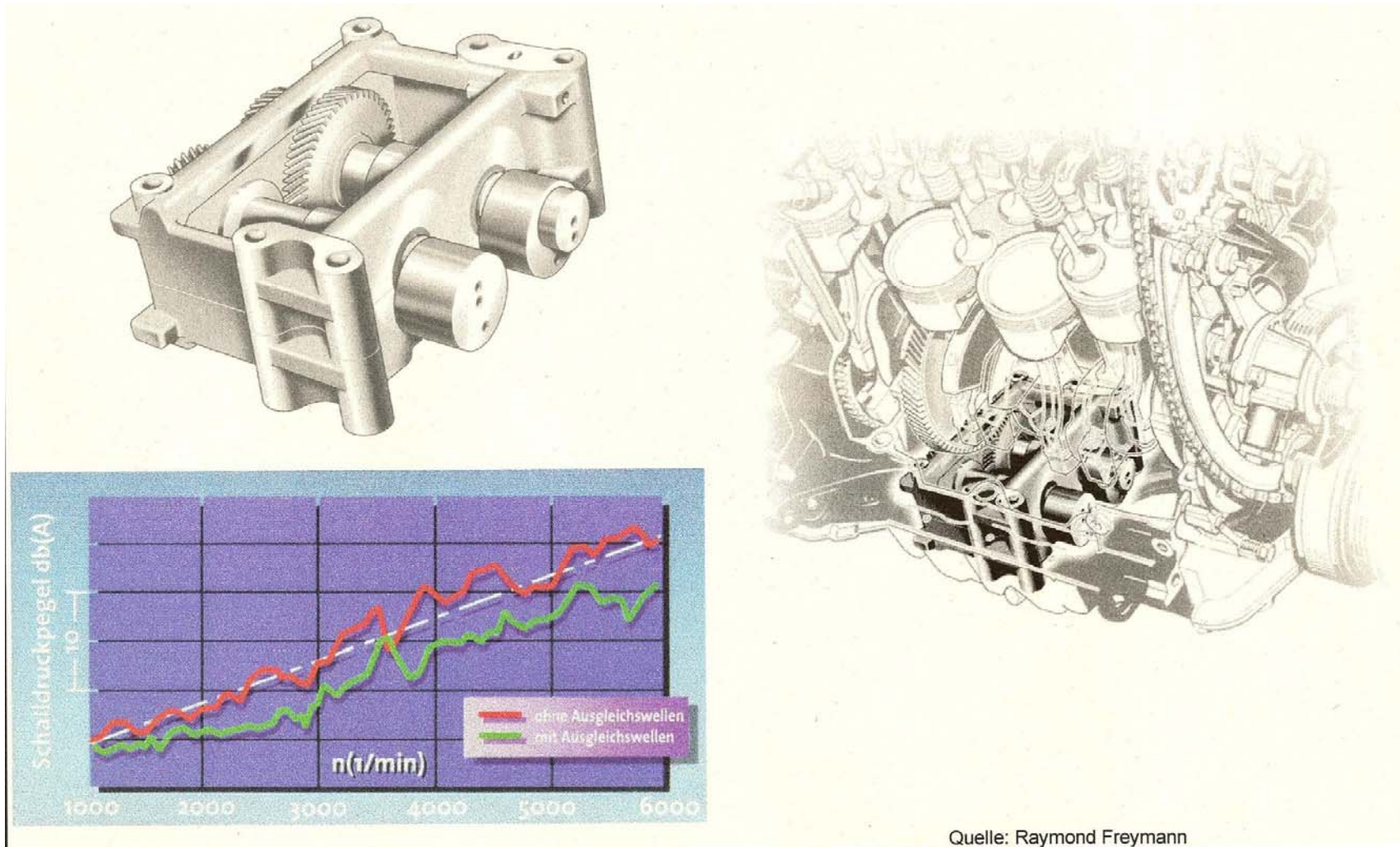
Quelle: Groth / Meyer

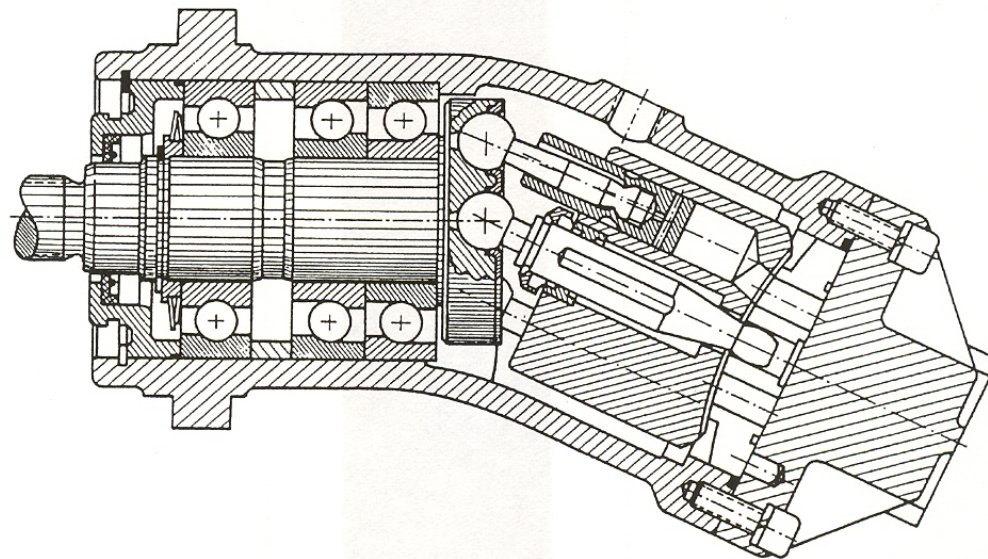
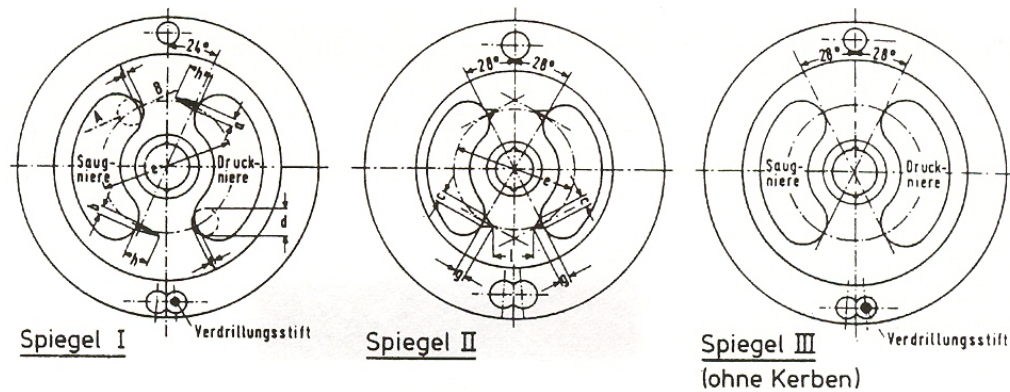


Zylinderdruckverlauf bei verschiedenen Brennverfahren

Quelle: Pischinger

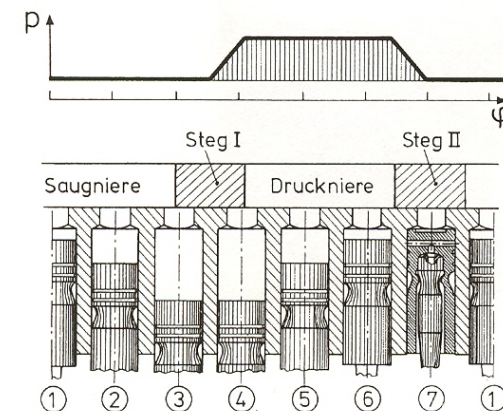
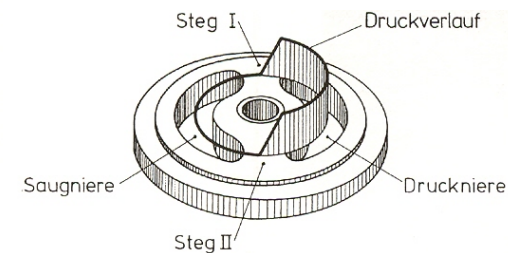
Ausgleichswellenmodul für den Vierzylinder-Ottomotor M43 / E46



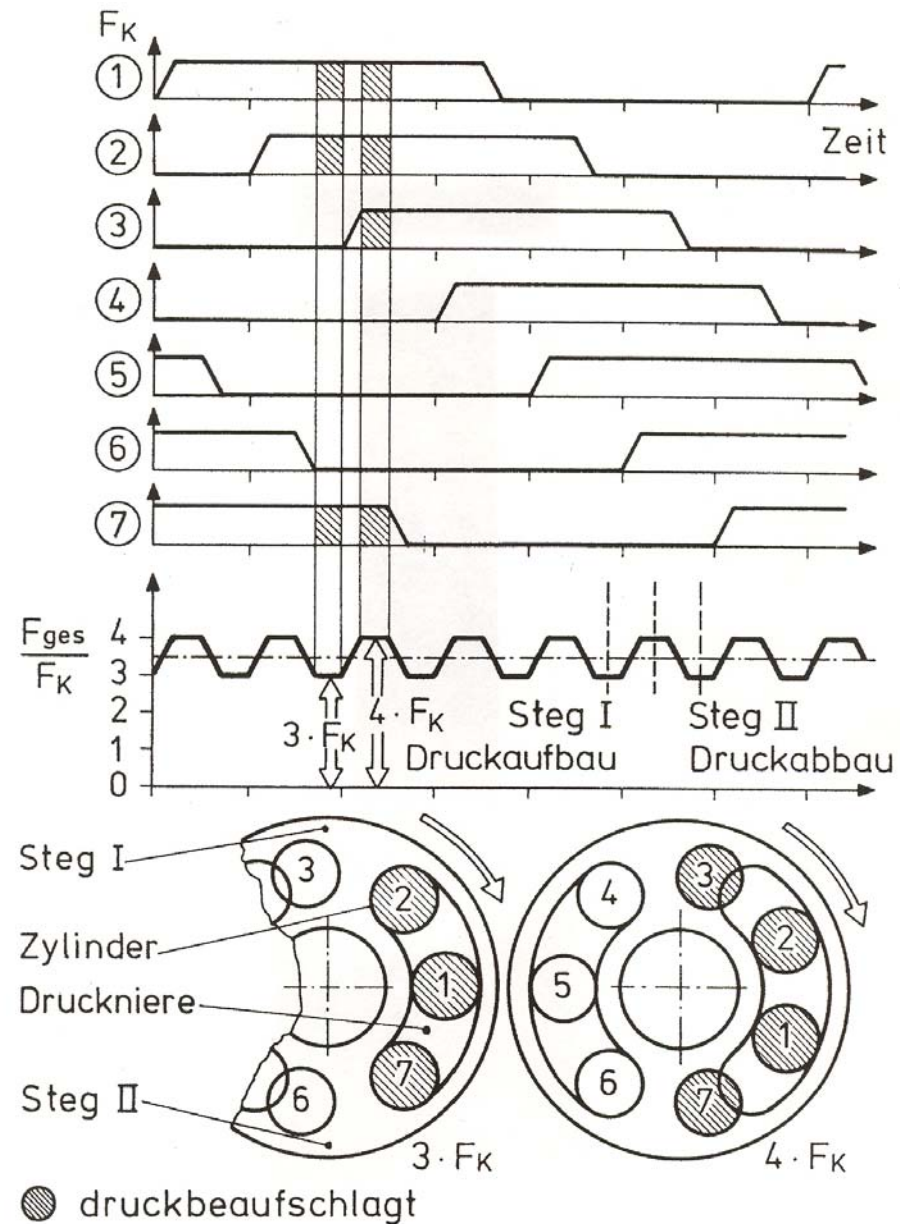


Axialkolbenpumpe in Schrägachsenbauart und Steuerspiegel

Axialkolbenpumpe in Schrägachsenbauart



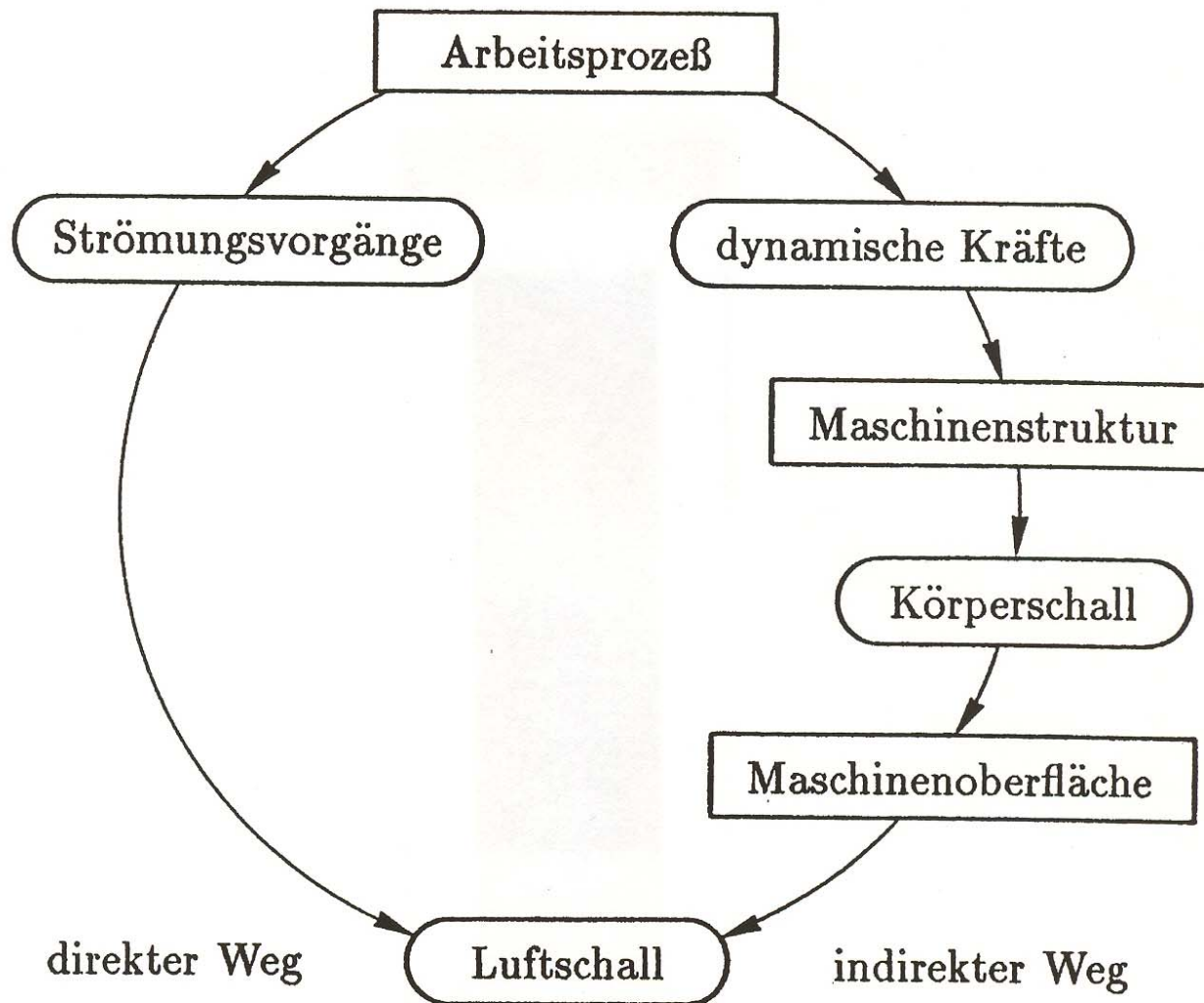
Druckverlauf in Axialkolbenpumpen



Entstehung der axialen Kraftanregungs-funktion in Axialkolbenpumpen

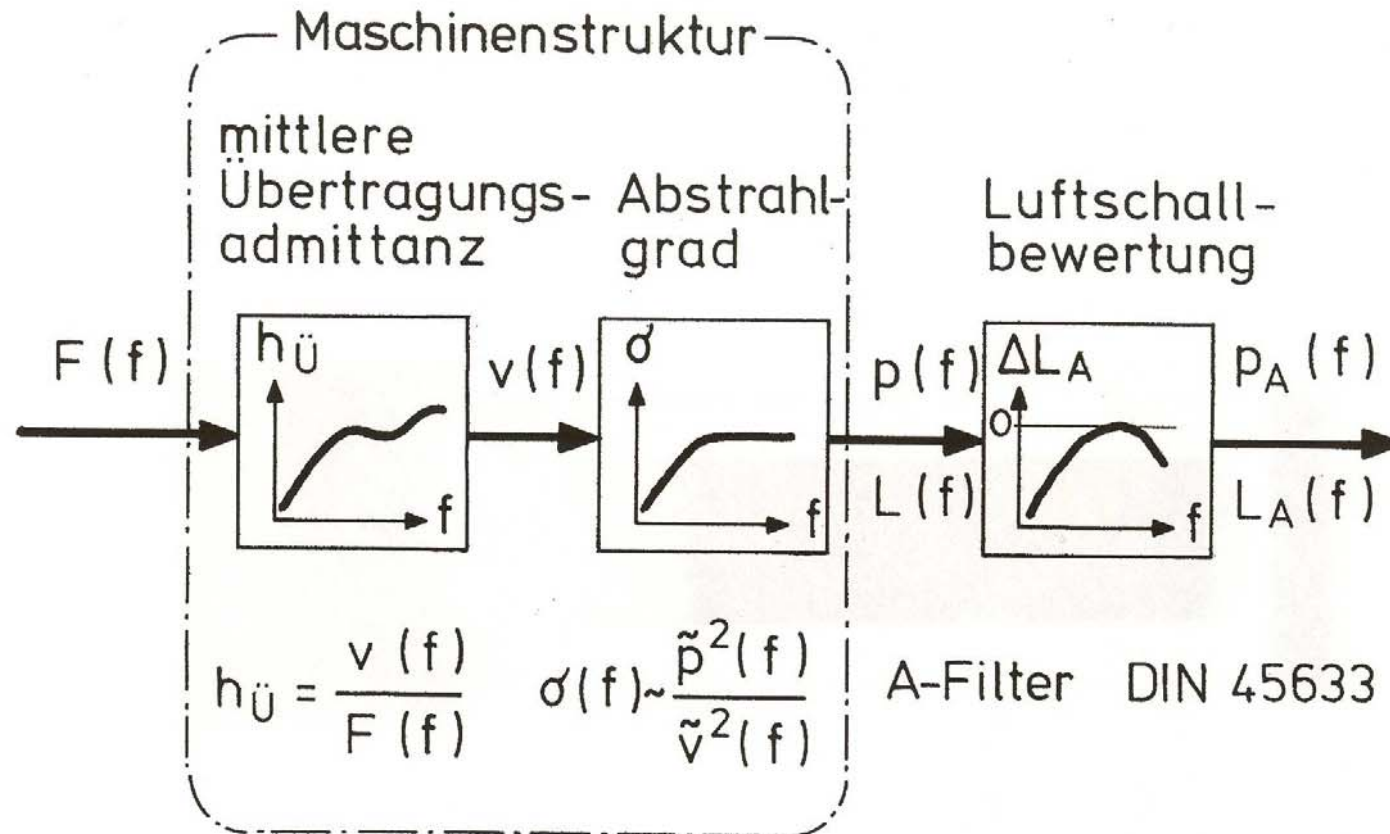
Quelle: Kassing

Direkte und indirekte Abstrahlung



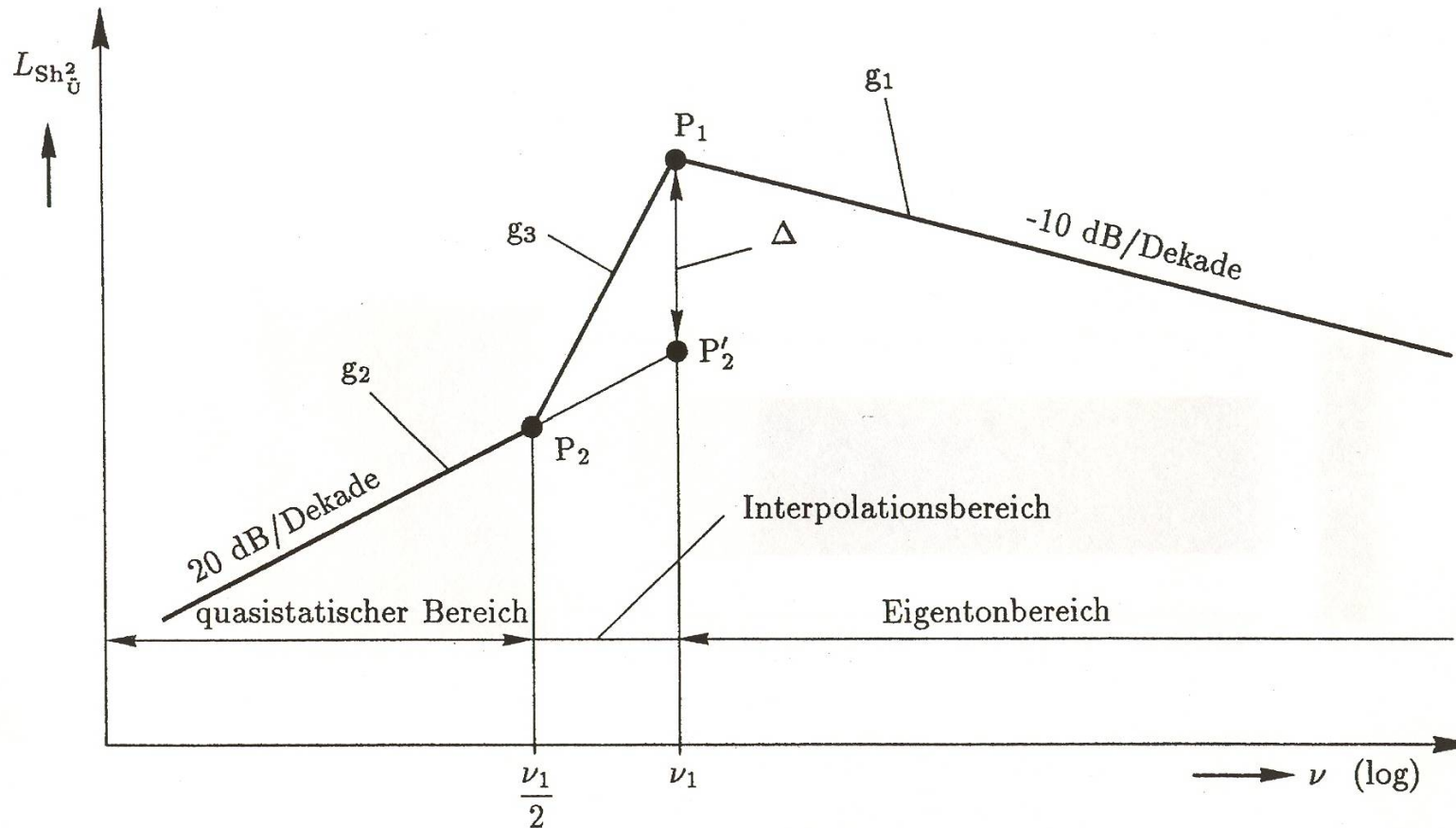
Quelle: Kollmann

Geräuschanregung durch krafterregten Körperschall



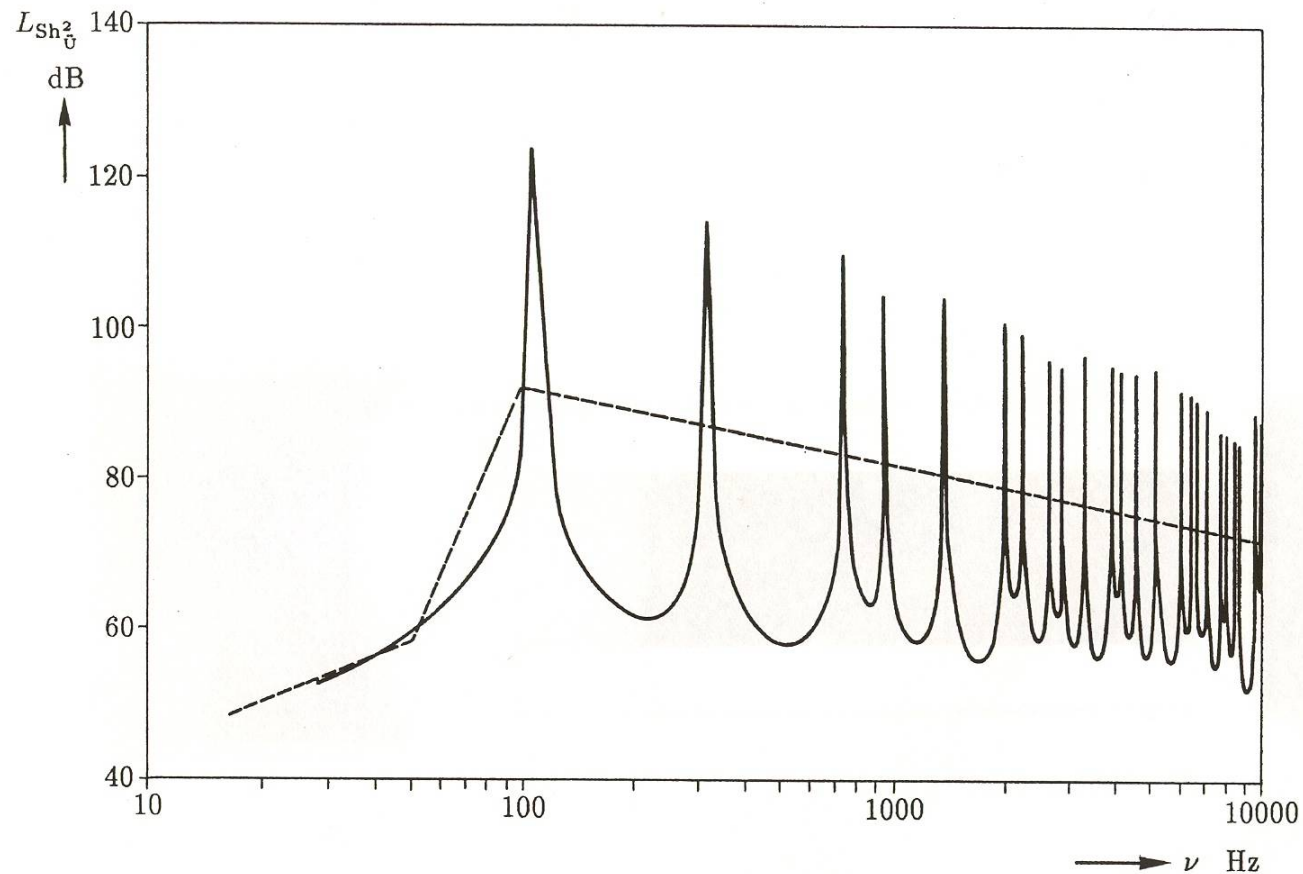
Quelle: Müller

Konstruktion des genäherten Verlaufs des Körperschallmaßes



Quelle: Kollmann

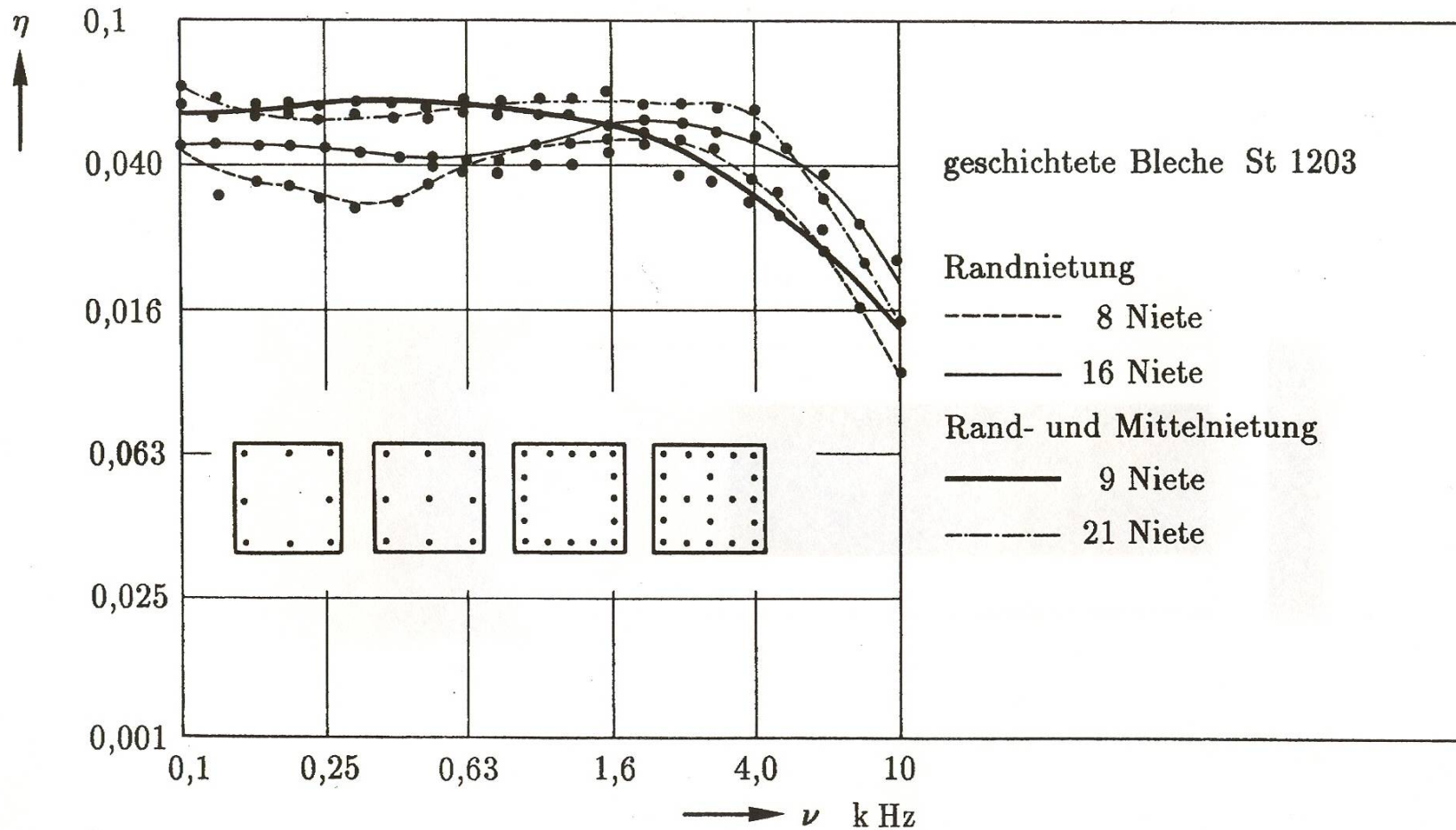
Vergleich des Körperschallmaßes



Vergleich des exakten — mit dem angenäherten (— — —) Körperschallmaß für eine Stahlplatte (Abmessungen nach Beispiel 7.1)

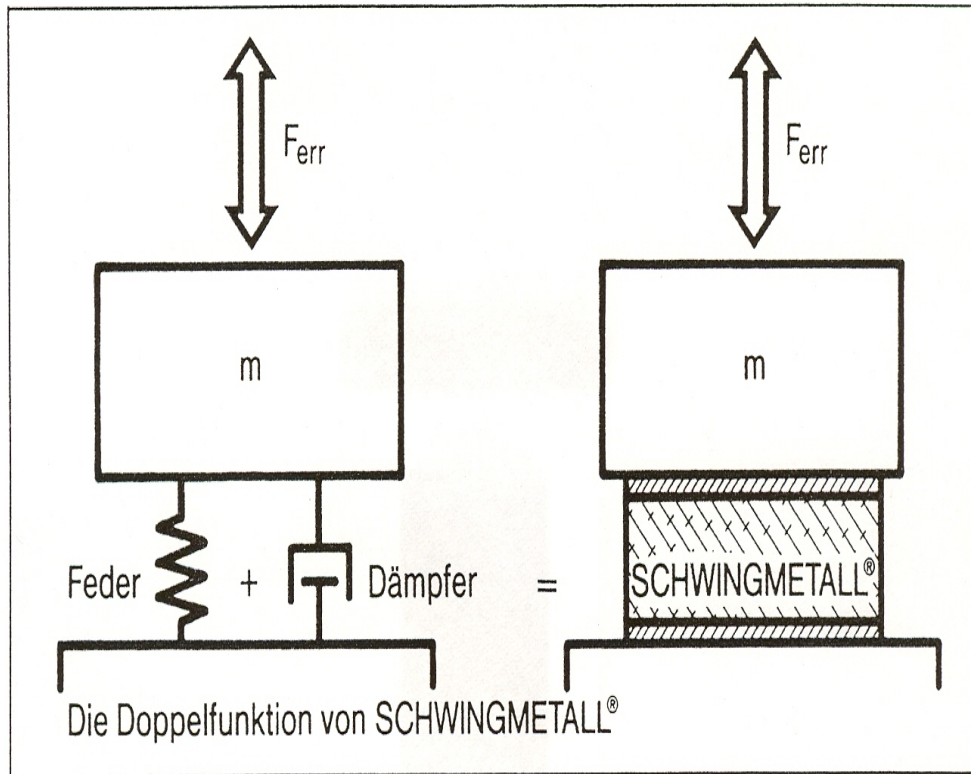
Quelle: Kollmann

Verlustfaktoren geschichteter Bleche

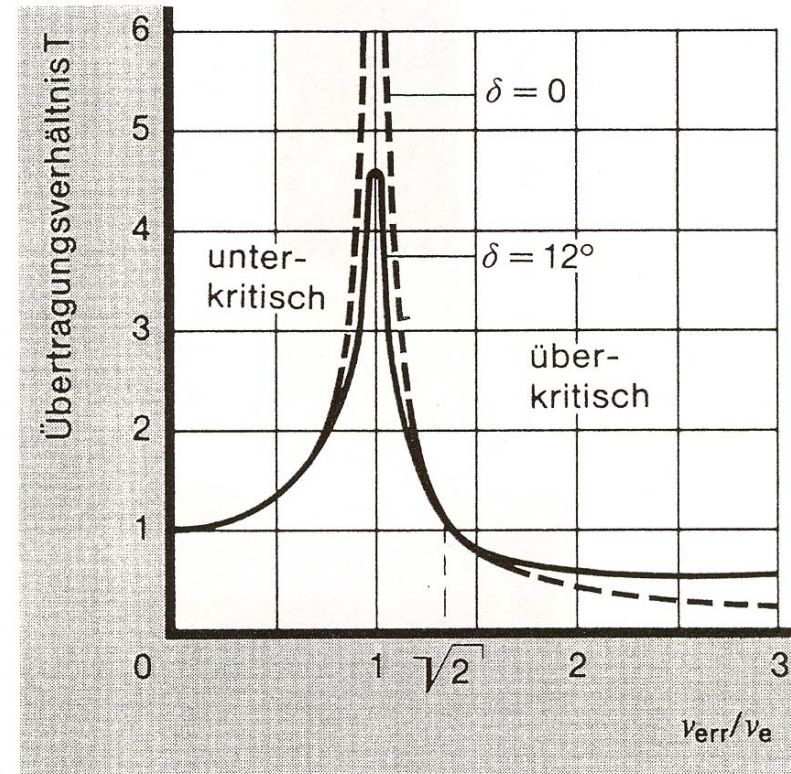


Quelle: Kollmann

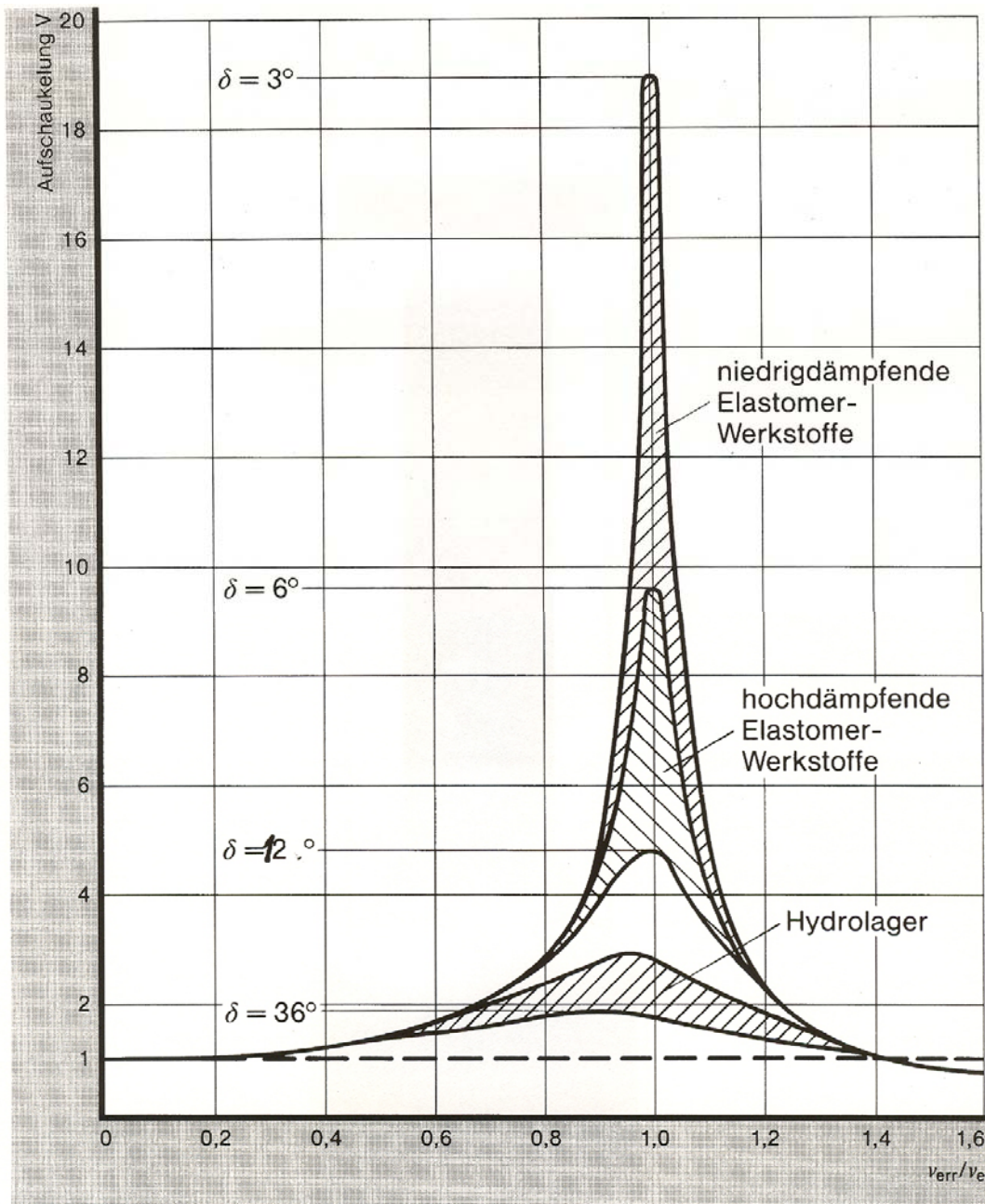
links: Feder und Dämpfer in einem Element
rechts: Eigenschwingungszahl, Resonanz



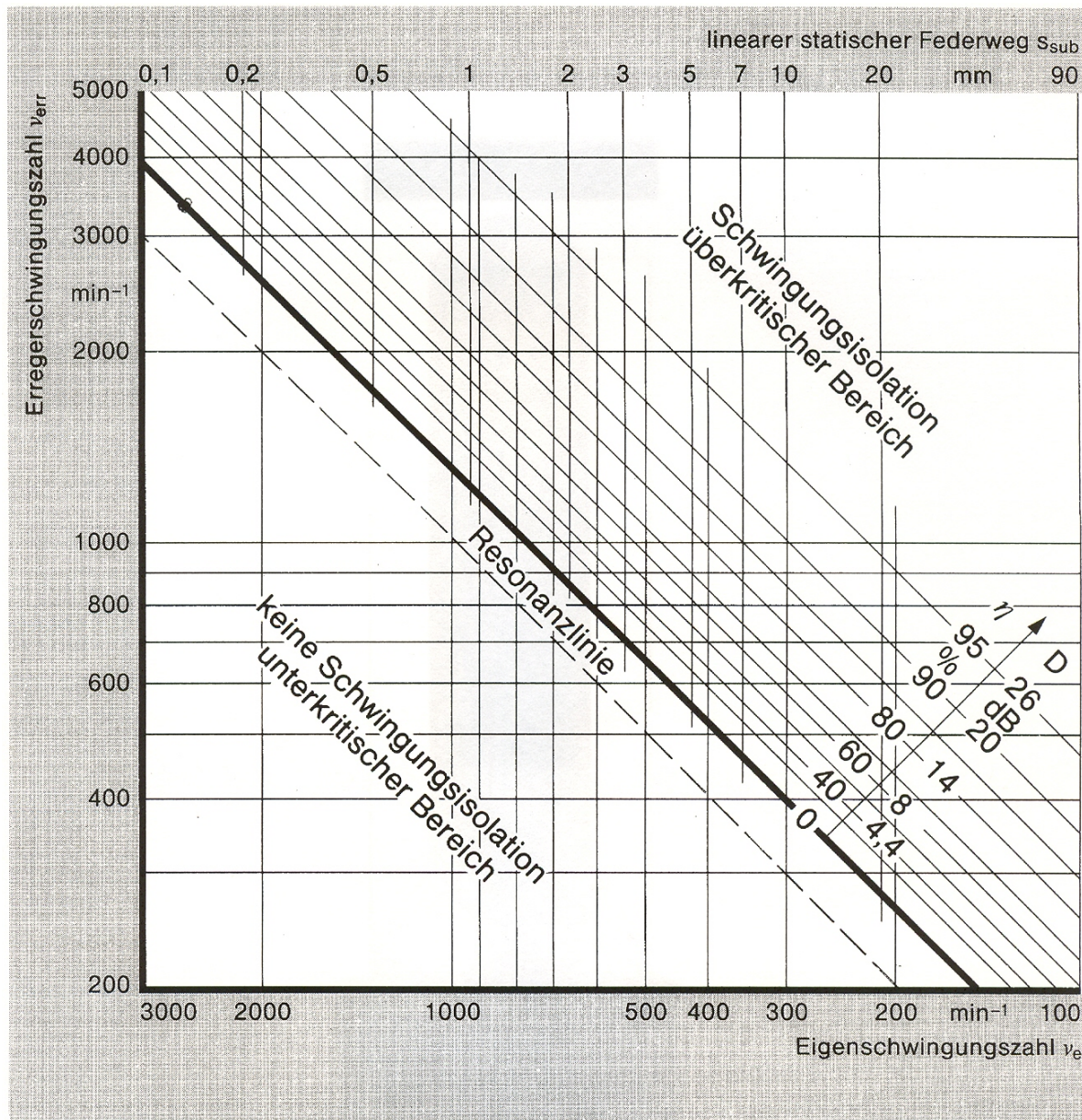
Quelle: Continental



Übertragungsverhältnis T in
Abhängigkeit vom Verhältnis
der Schwingungszahlen v_{err}/v_e



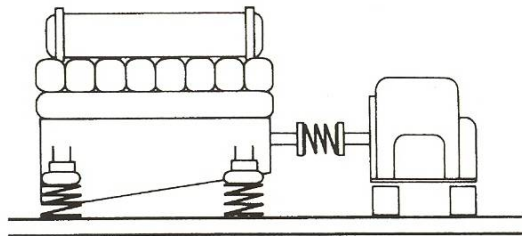
Amplitudenverhältnis in Abhängigkeit der Frequenz v_{err} / v_e



Quelle: Continental

**Isoliergrad η und
Dämmwert D eines
ungedämpften
Einmassenschwingers
(in Abhängigkeit von
Erreger- u.
Eigenschwingungszahl)**

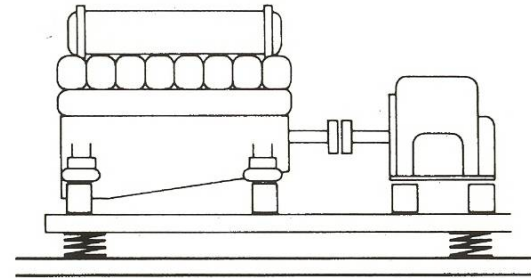
Lagerungsvarianten von Dieselgeneratoren



Lagerung
 Diesel : elastisch
 Generator : starr
 Kupplung : elastisch

} auf gemeinsamem Fundament

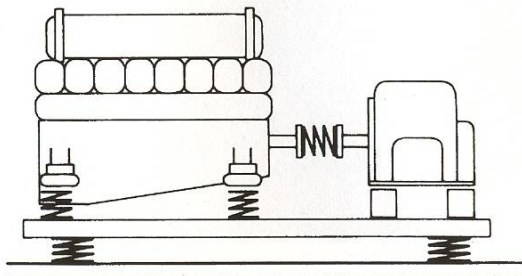
a



Lagerung
 Diesel : starr
 Generator : starr
 Kupplung : starr

} auf gemeinsamem Rahmen einfach elastisch

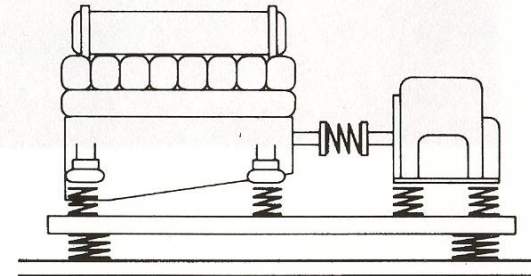
b



Lagerung
 Diesel : elastisch
 Generator : starr
 Kupplung : elastisch

} auf gemeinsamem Rahmen einfach elastisch

c



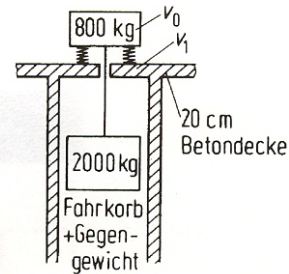
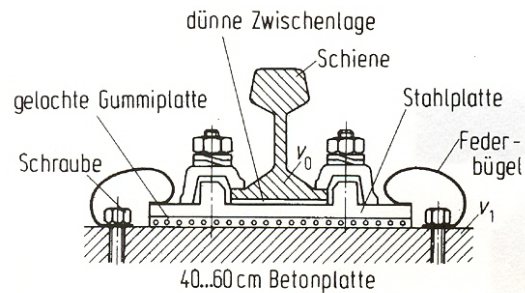
Lagerung
 Diesel : elastisch
 Generator : elastisch
 Kupplung : elastisch

} auf gemeinsamem Rahmen einfach elastisch

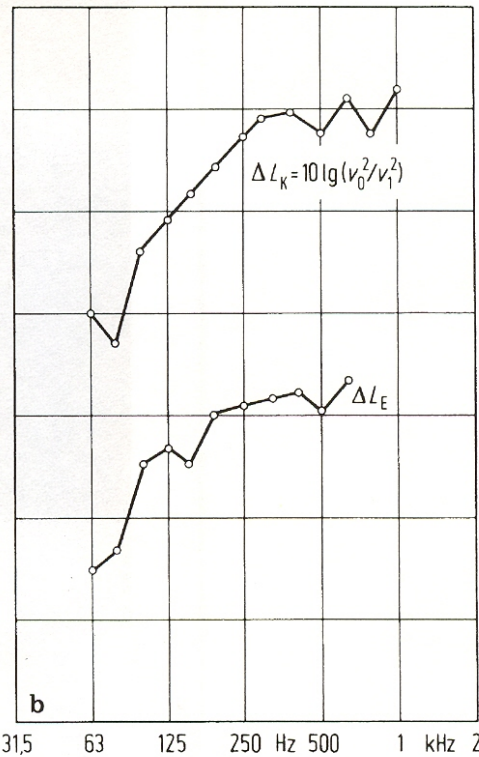
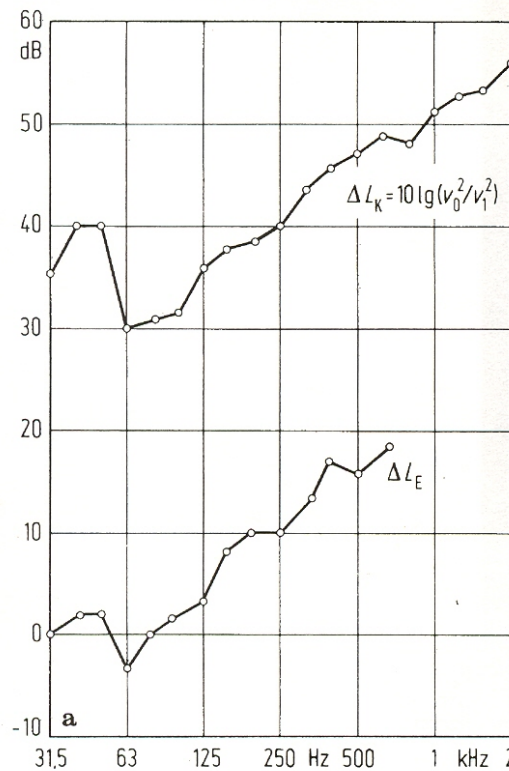
d

Quelle: Heckl / Müller

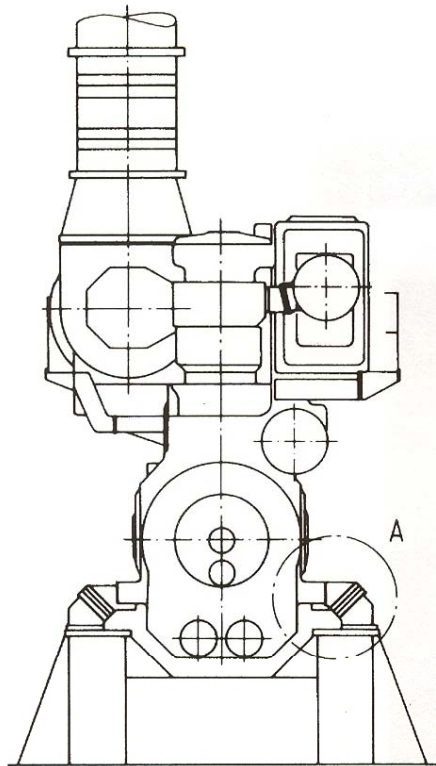
Meßergebnisse an elastischen Lagerungen



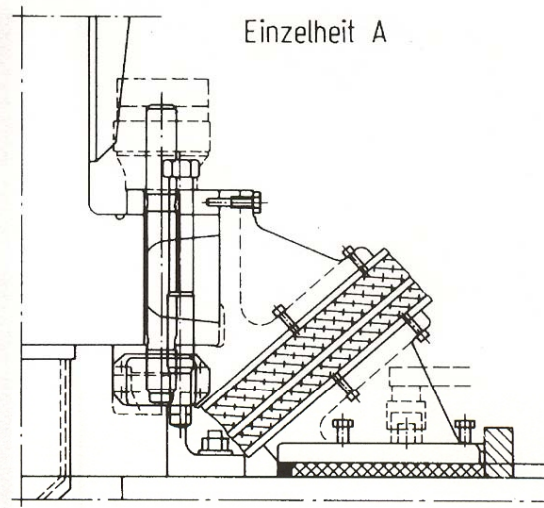
Quelle: Heckel / Müller



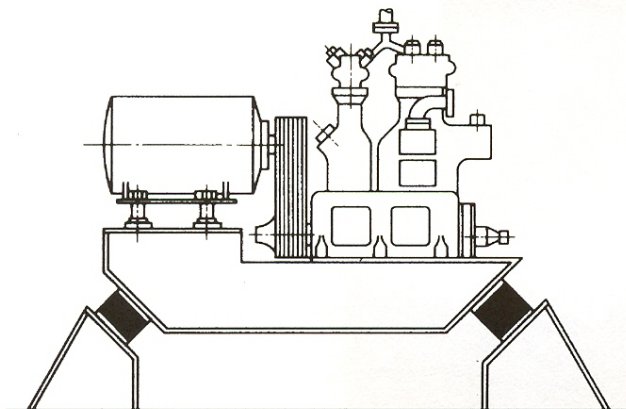
Meßergebnisse an elastischen Lagerungen. *a* Pegeldifferenz ΔL_K und Einfügungsdämmung ΔL_E bei einer elastisch gelagerten U-Bahnschiene; Anregung durch vorüberfahrenden Zug; *b* Pegeldifferenz ΔL_K und Einfügungsdämmung ΔL_E bei einer elastisch gelagerten Aufzugmaschine. Anregung durch normalen Aufzugsbetrieb



a



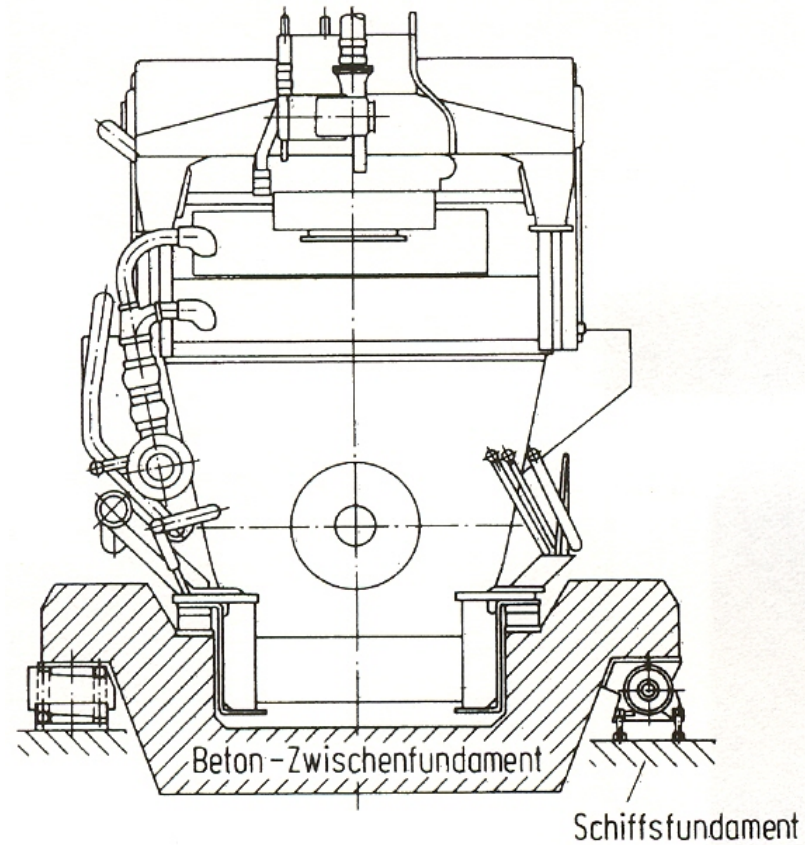
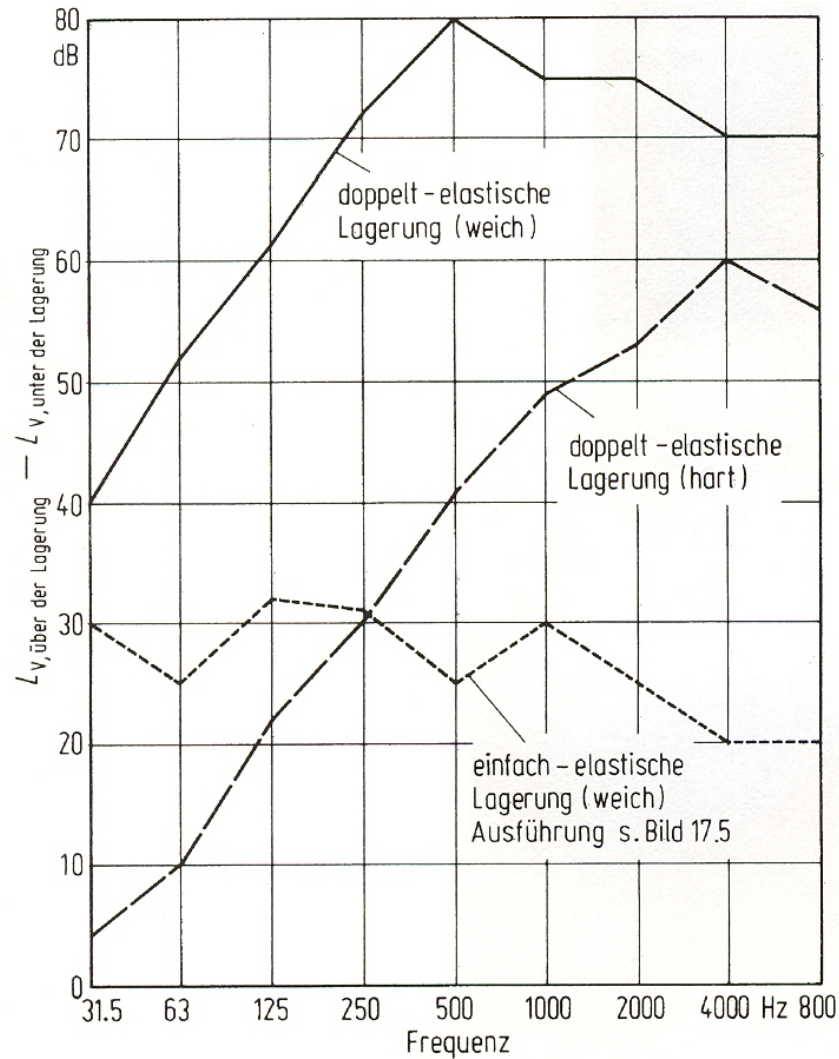
**Einfach
elastische Lagerung**
a) 10-MW-Dieselmotor;
b) Luftverdichter



b

Quelle: Heckl / Müller

Körperschallpegeldifferenzen bei elastischen Lagerungen

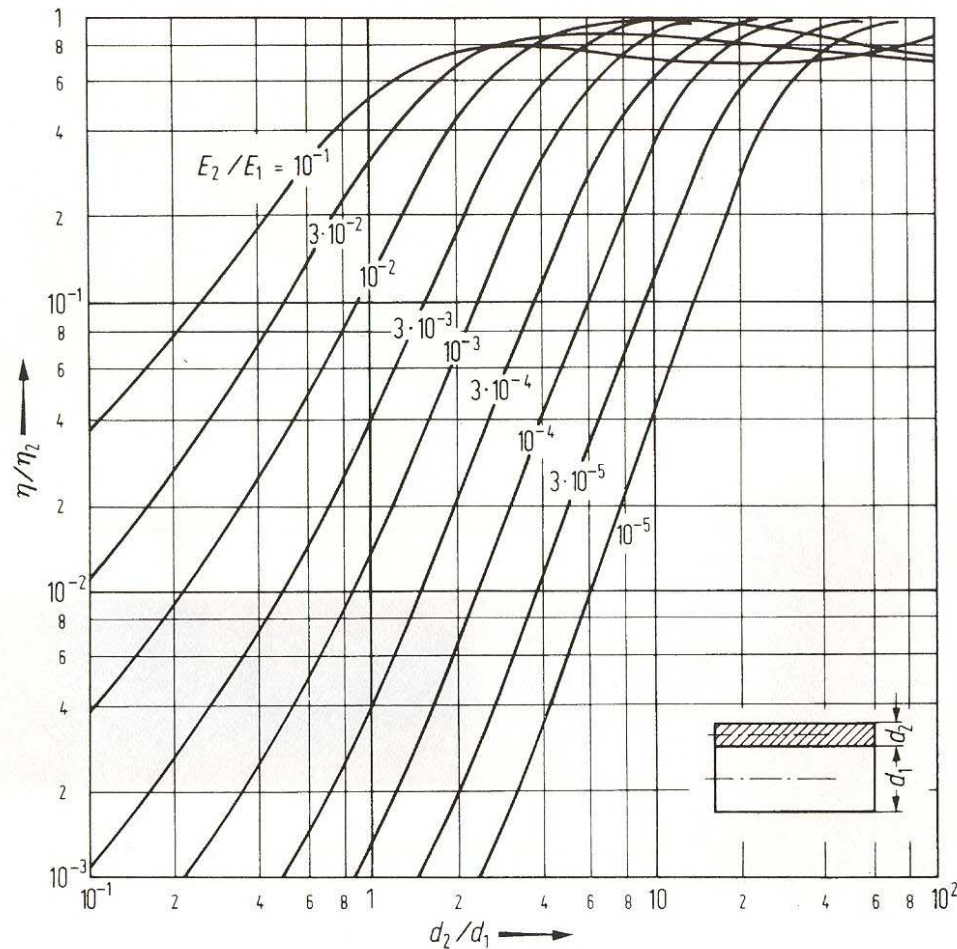


Doppelt-elastische Lagerung eines Dieselgenerators

Beispiele für Körperschallpegeldifferenzen einfach- und doppelt-elastischer Lagerungen (gemessen oberhalb/unterhalb der Lagerung)

Quelle: Heckl / Müller

Verlustfaktor η einer Platte mit Entdröhnbelag



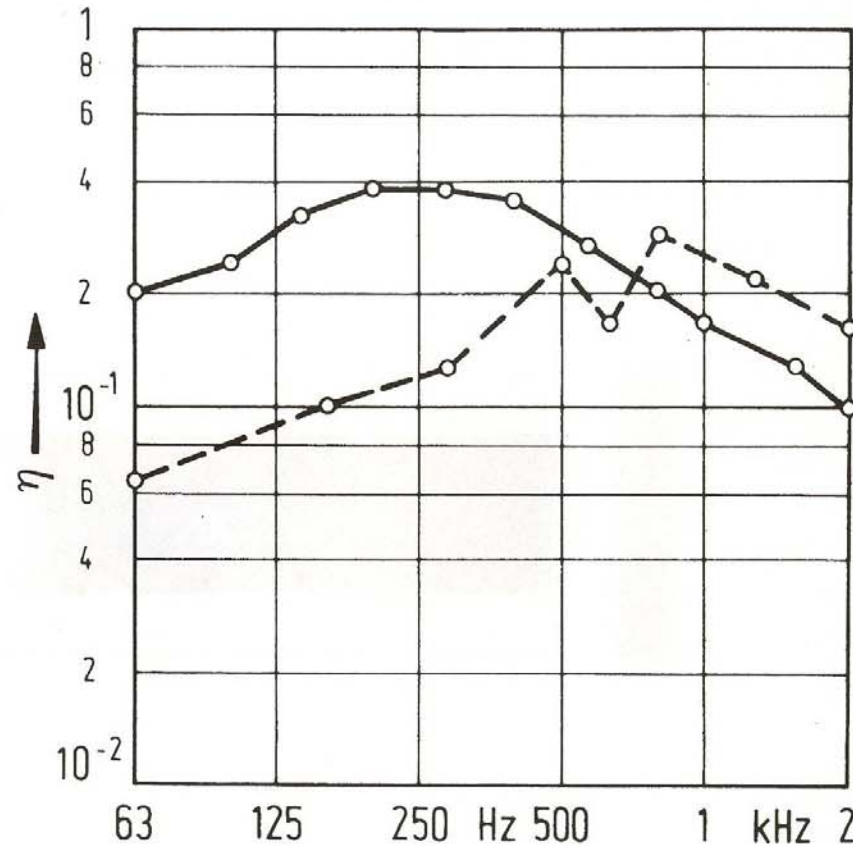
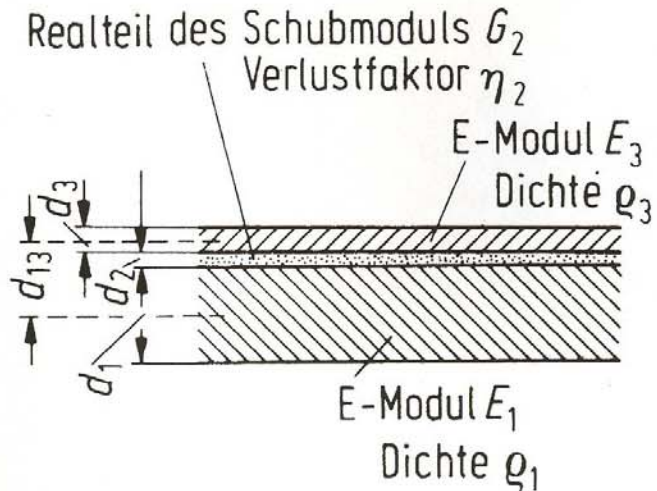
E_1, d_1 E-Modul und Dicke der Platte, E_2, η_2, d_2 E-Modul (Realteil), Verlustfaktor und Dicke des Belags

Quelle: Heckel / Müller

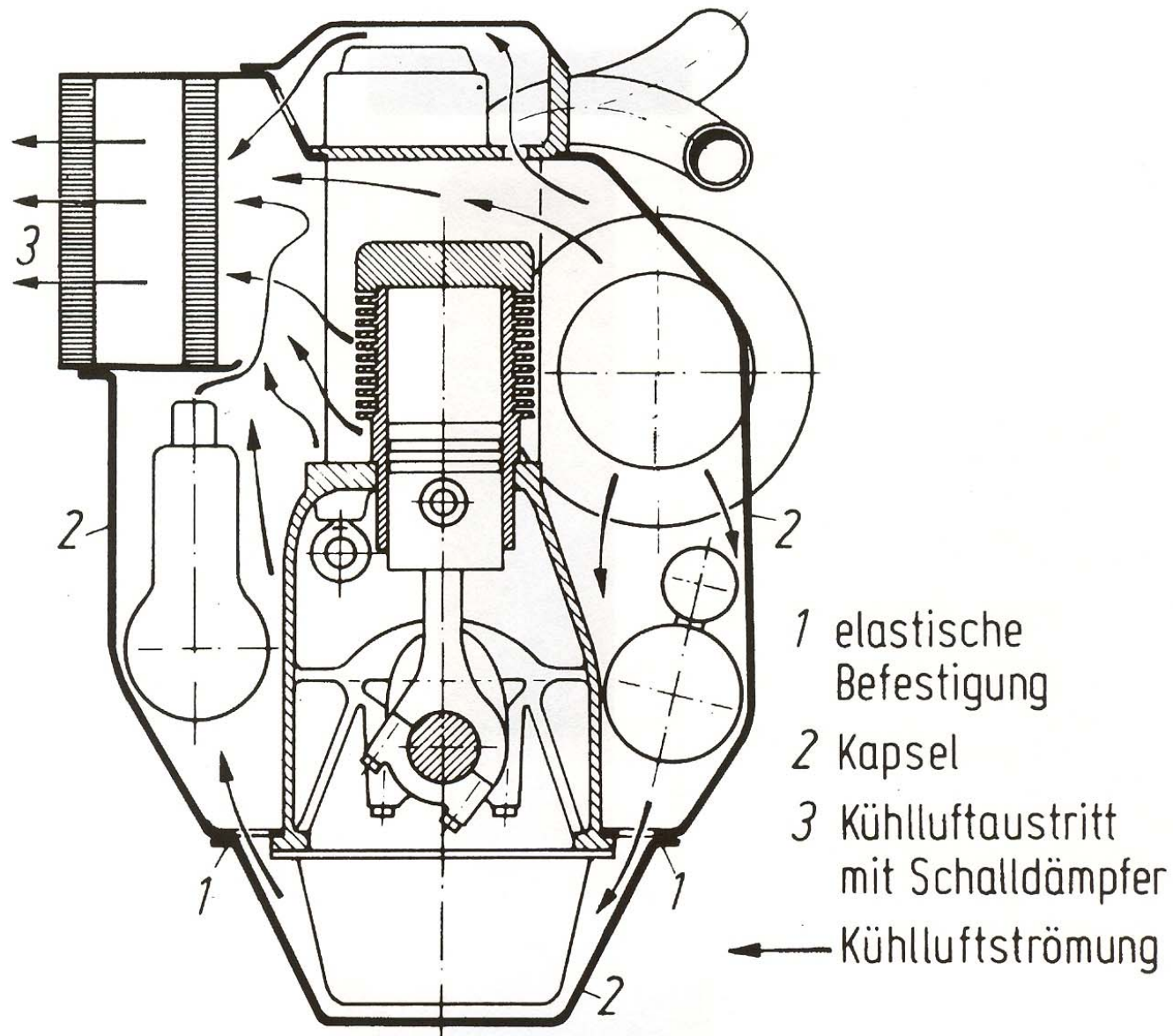
Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers

Aufbau eines Verbundbleches (Sandwich) und Meßbeispiele

- optimiertes Stahlblech-Sandwich
 $d_1 = 2 \text{ mm}, d_1 = d_3 \gg d_2$
- - - Sandwich aus Holzspanplatten
 $d_1 = 13 \text{ mm}, d_1 = d_3 \gg d_2$



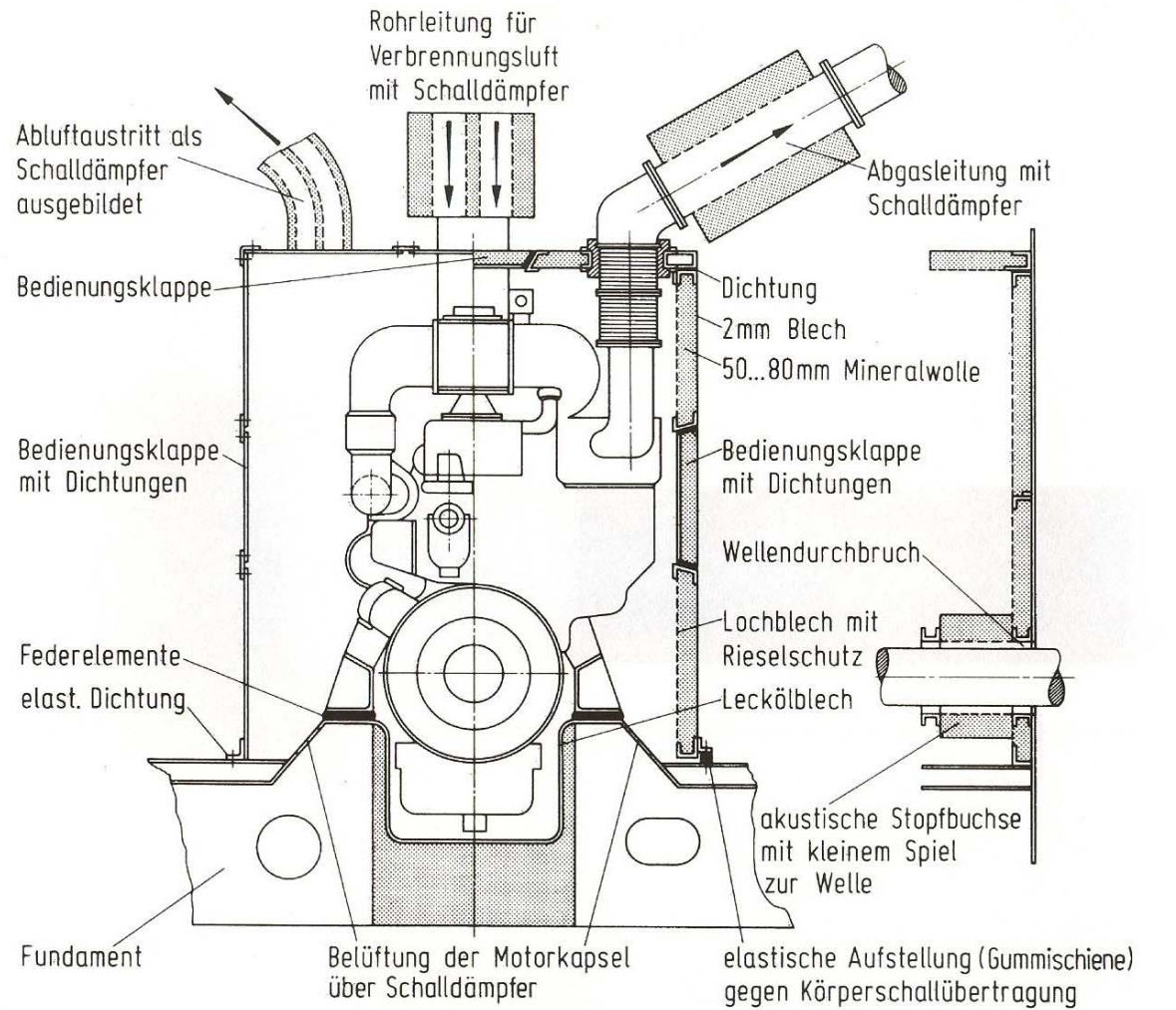
Quelle: Heckl / Müller



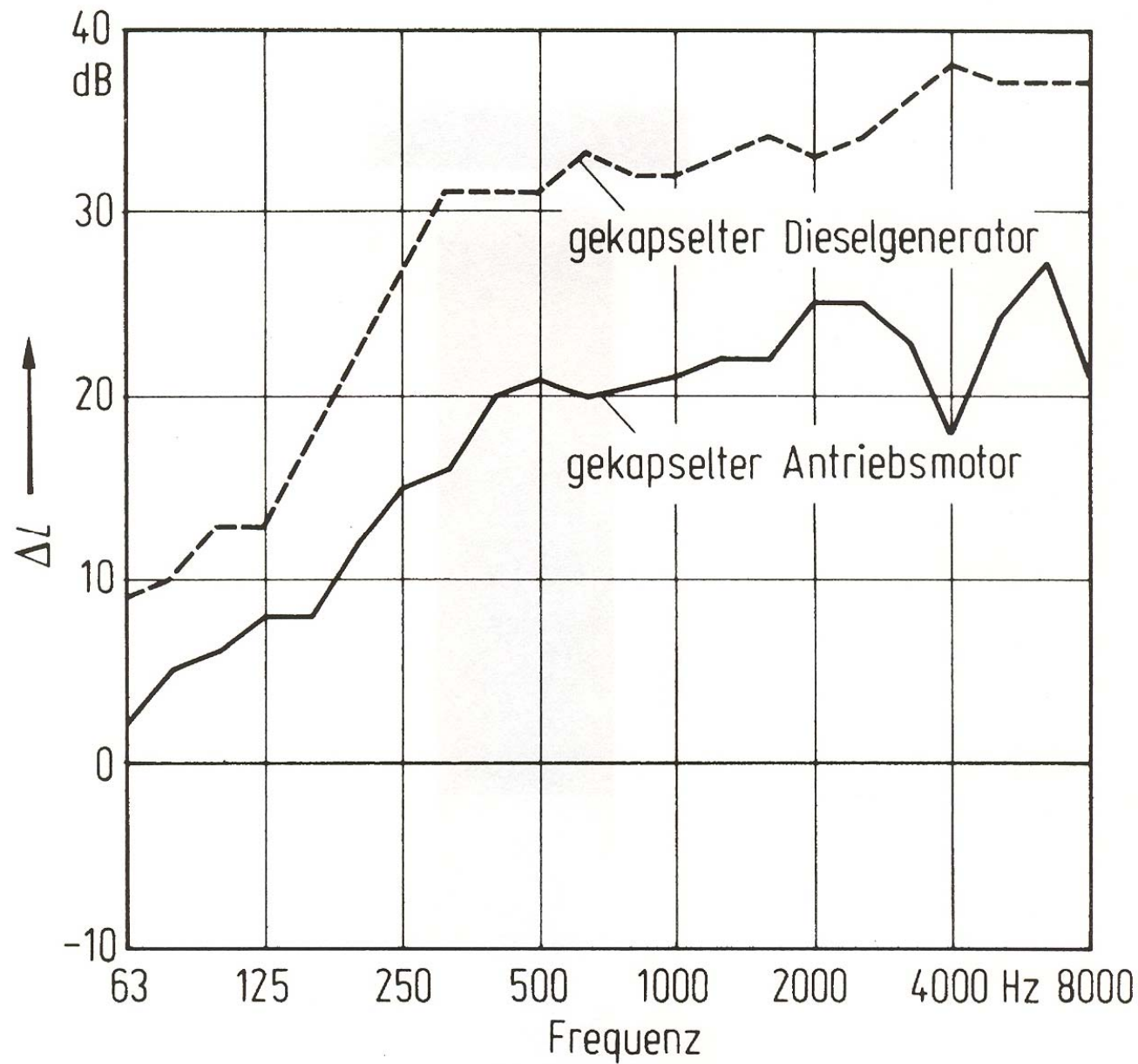
Motornahe Kapsel eines luftgekühlten Motors

Quelle: Heckl / Müller

Schallkapsel für Dieselmotor



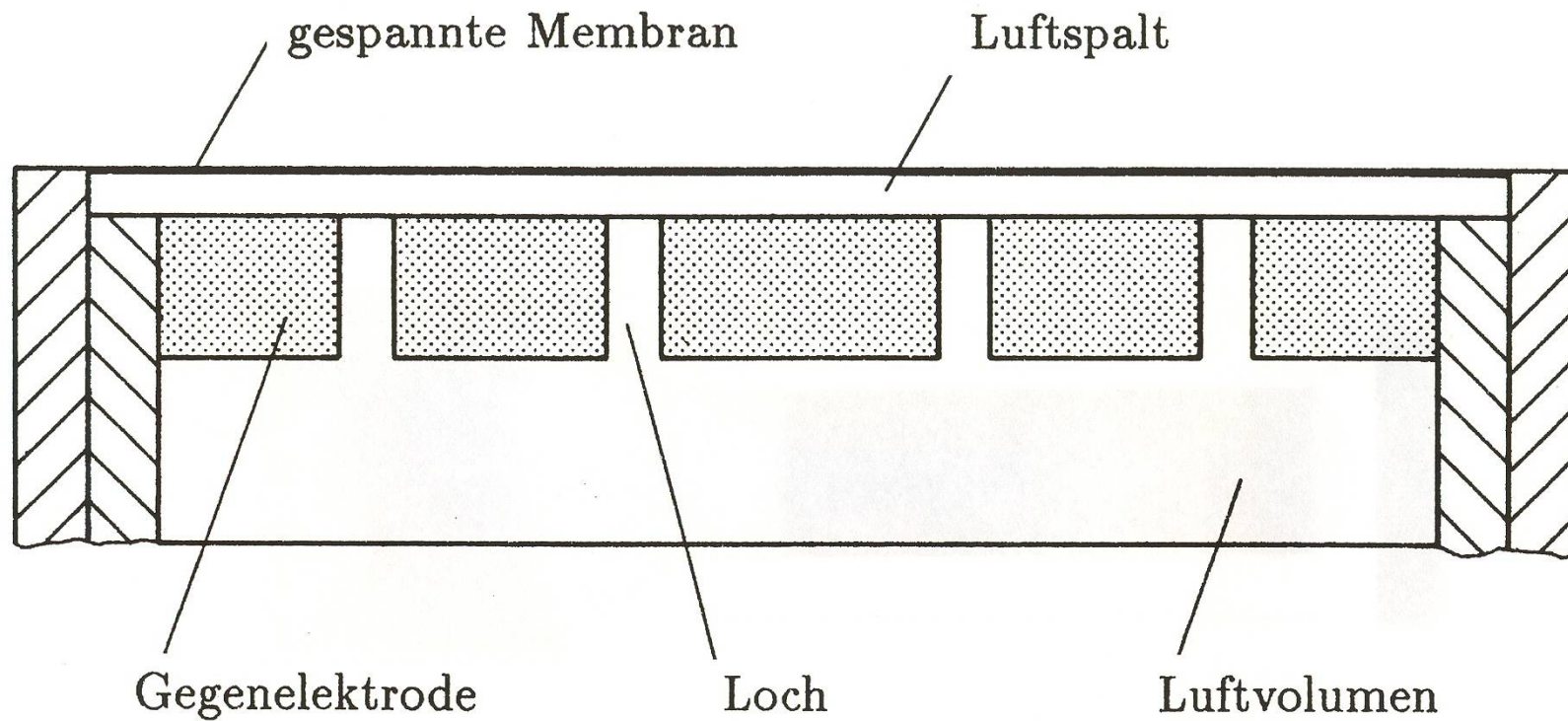
Quelle: Heckl / Müller



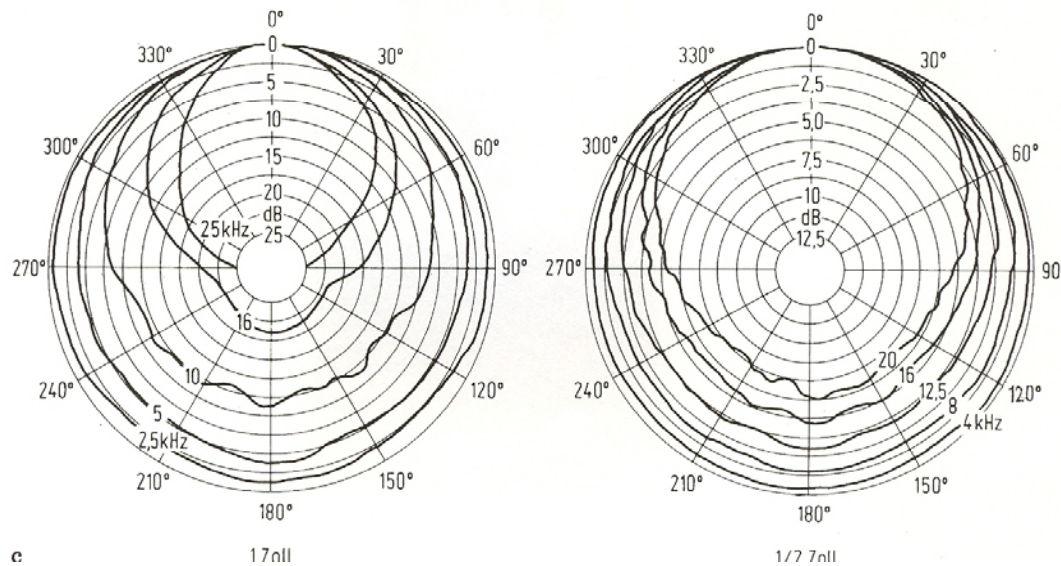
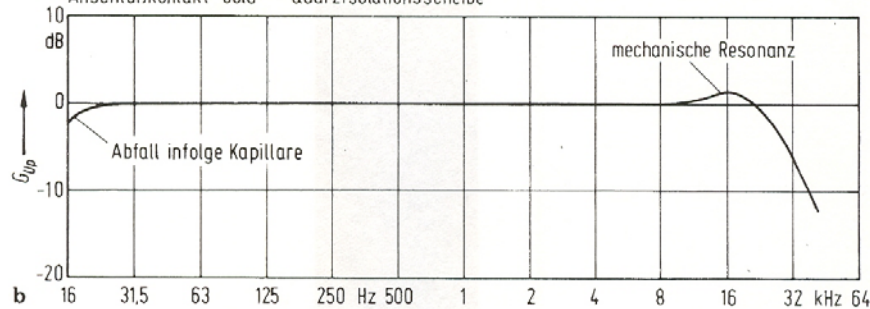
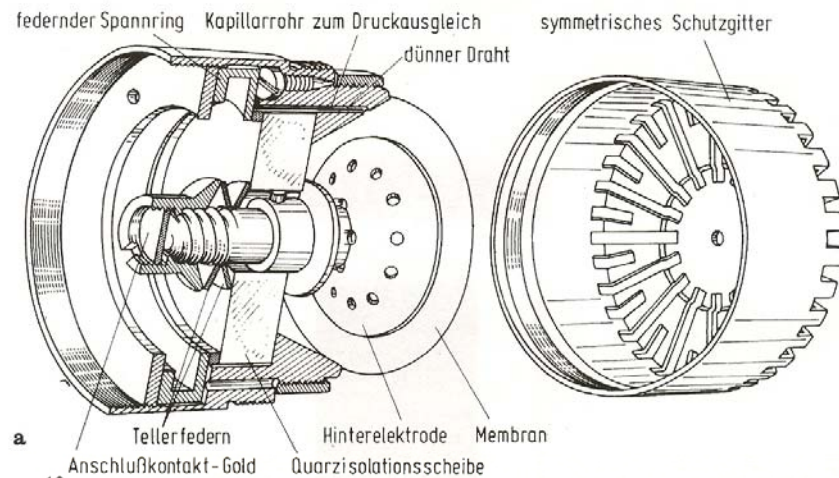
Einfügungsdamm- Maß von Kapseln

Quelle: Heckl / Müller

Schema eines Kondensatormikrofons



Quelle: Sessler



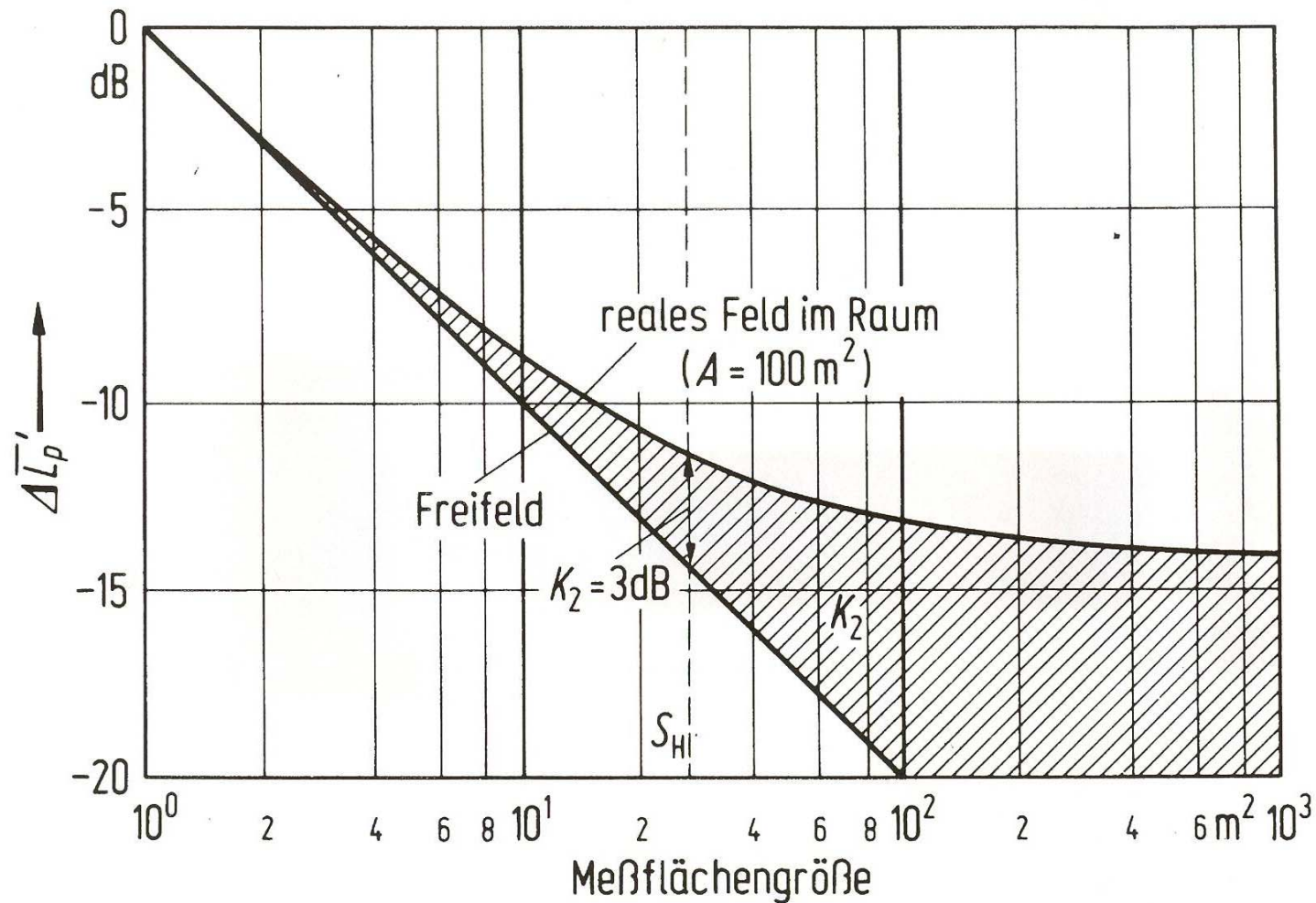
Kondensator-mikrofon

a) Aufbau

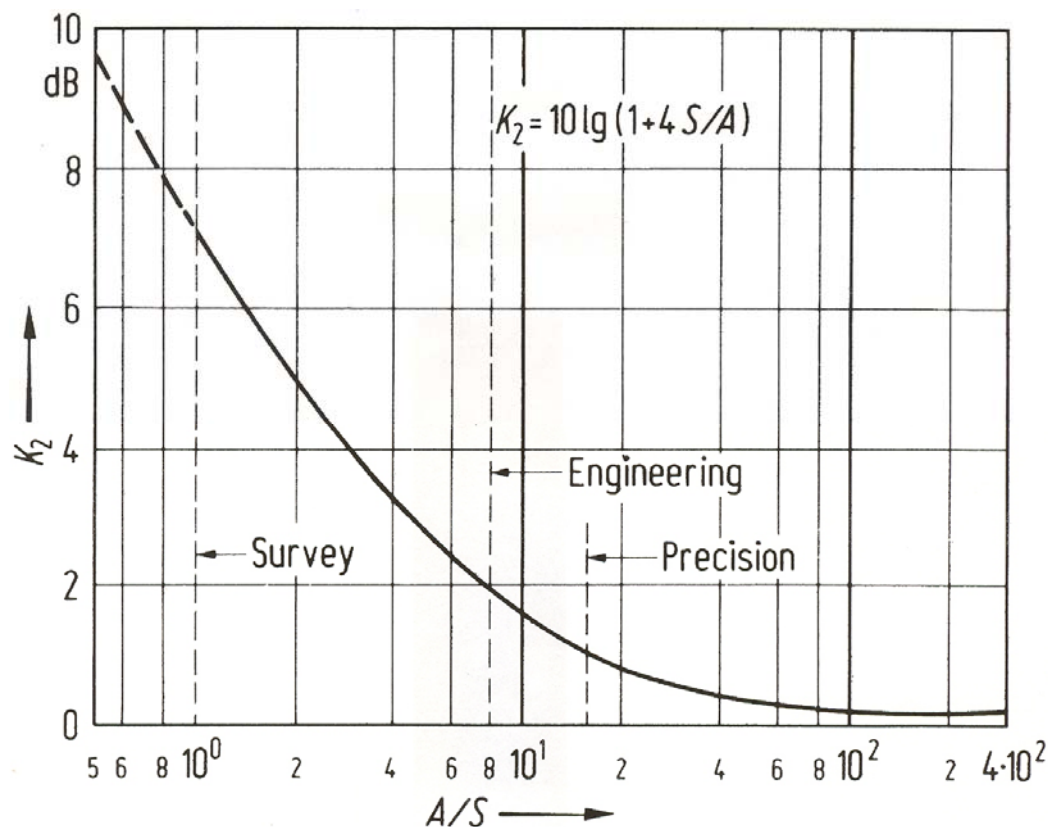
b) Frequenzgang

c) Richtungsmaß

Umgebungskorrektur K2 für halbhalliges Schallfeld



Quelle: Heckl



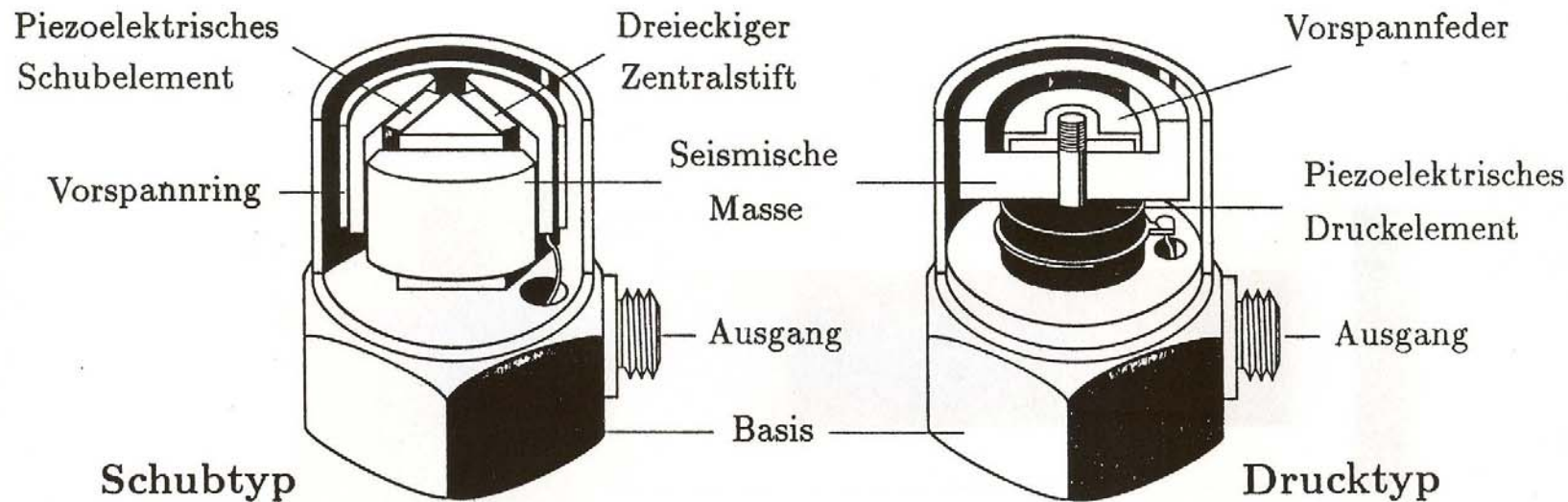
Umgebungskorrektur K_2 des halbhalligen Feldes

Umgebungskorrektur K_2 des halbhalligen Schallfeldes Qualifikation nach ISO

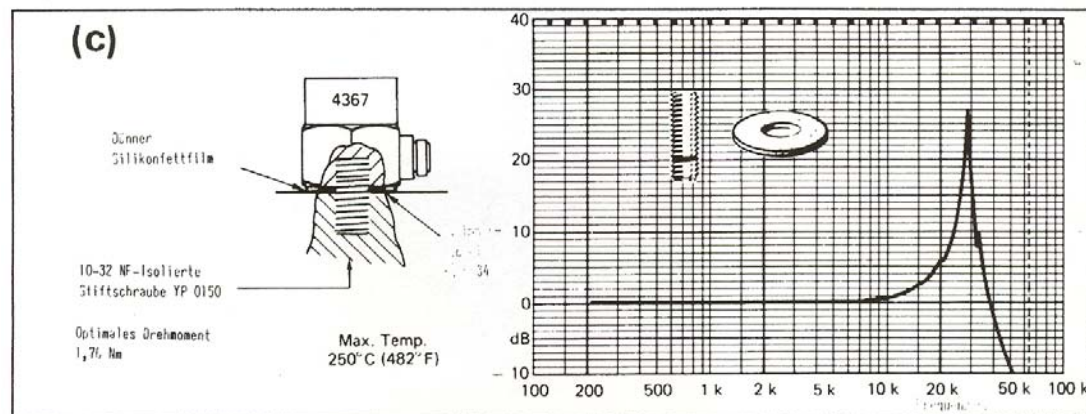
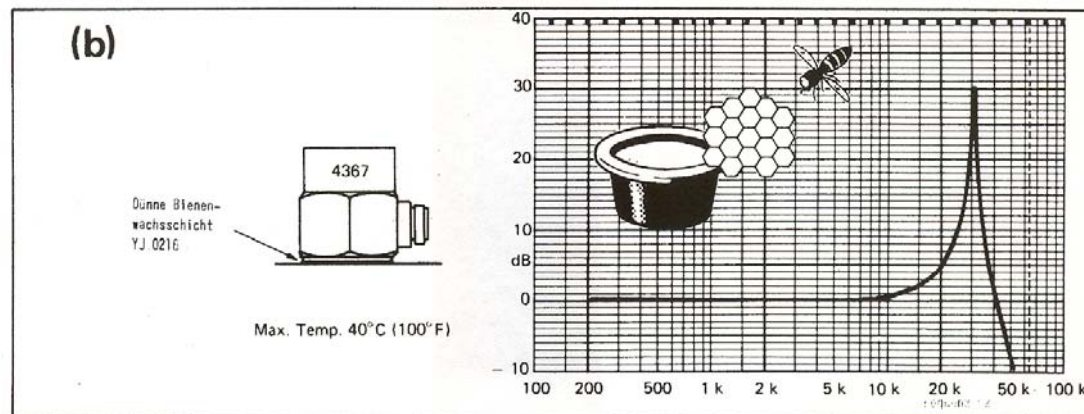
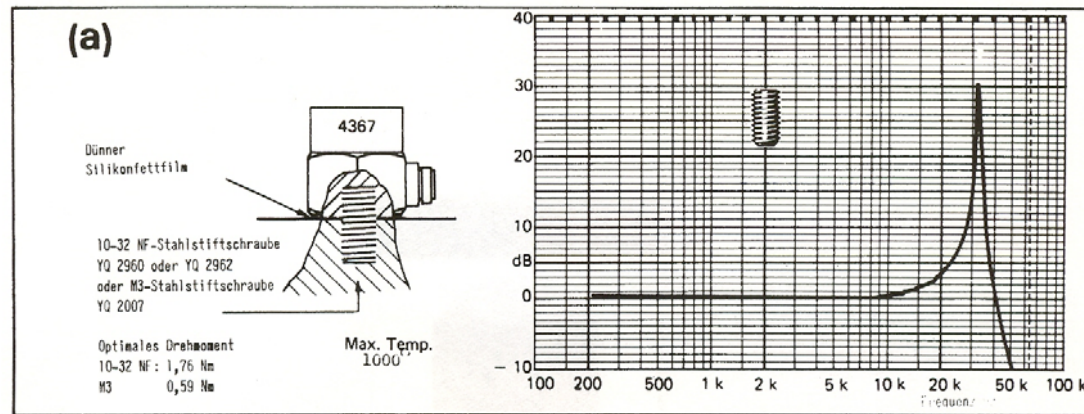
Qualifikation nach ISO

Güte-Klasse	Qualifikation		
Präzisions-Klasse (Genauigkeitsklasse 1)	für das allseitig freie Feld („anechoic“)	$K_2 \leq 1 \text{ dB}$	$K_1 \leq 1,3 \text{ dB}$
	für das Freifeld über der reflektierenden Ebene („semi-anechoic“)	$K_2 < 1,5 \text{ dB}$	$K_1 \leq 1,3 \text{ dB}$
Betriebs-Klasse (Genauigkeitsklasse 2) „Engineering“	angenähertes Freifeld über der reflektierenden Ebene	$K_2 \leq 2 \text{ dB}$ $K_{1A} \leq 1,3 \text{ dB}$	
Kontroll-Klasse (Genauigkeitsklasse 3) „Survey“		$K_2 \leq 7 \text{ dB}$	$K_{1A} \leq 3 \text{ dB}$

Bauweisen von piezoelektrischen Schwingungsaufnehmern



Quelle: Brüel & Kjaer

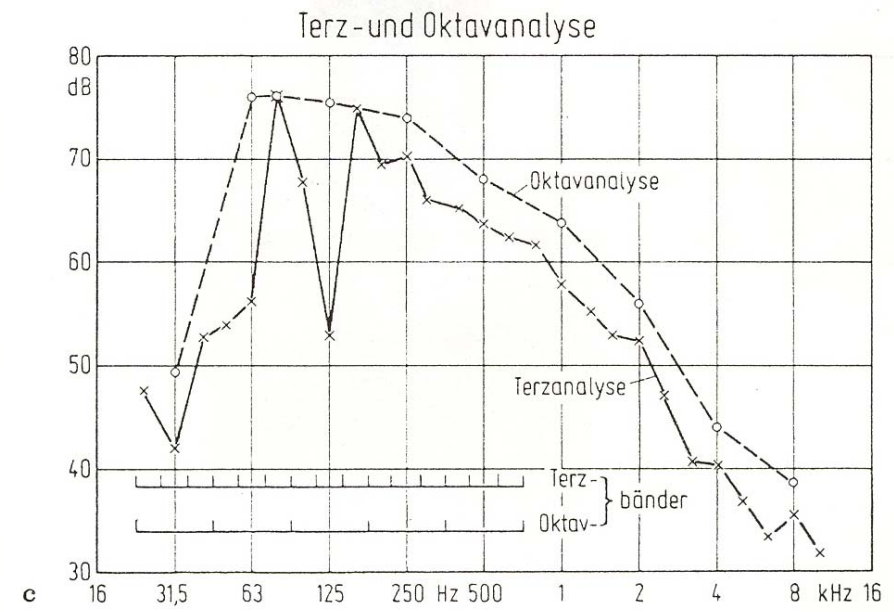
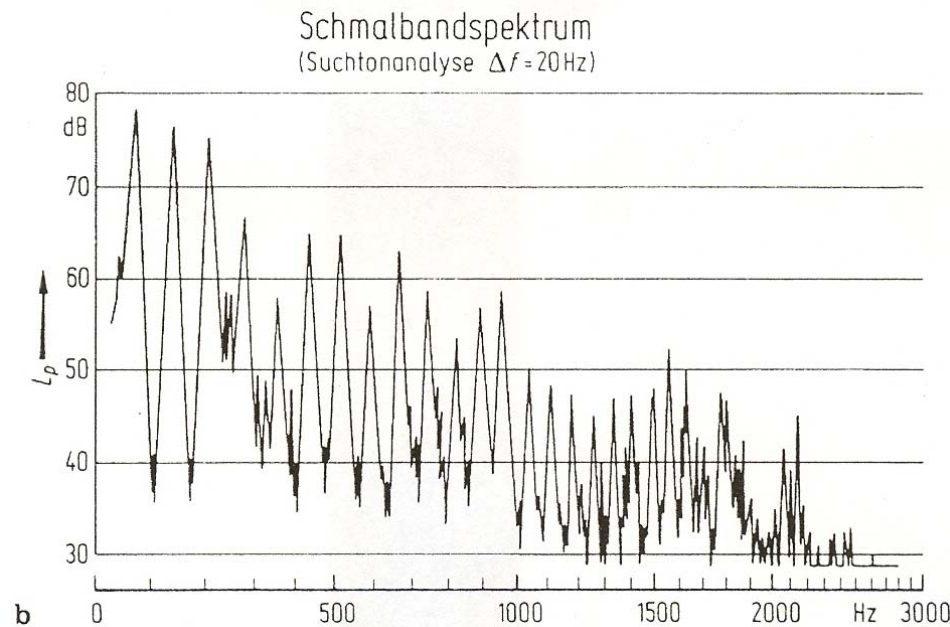
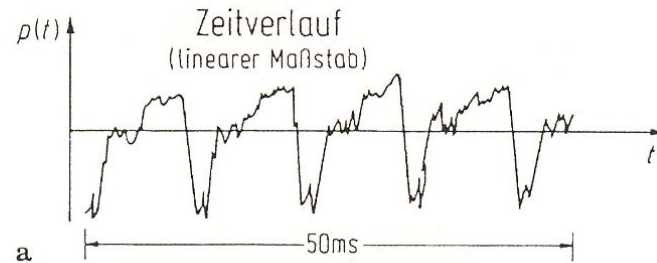


Quelle: Günter / Hansen / Veit

**Typische
Frequenzgänge bei
verschiedenen
Befestigungen von
Beschleunigungs-
aufnehmern**

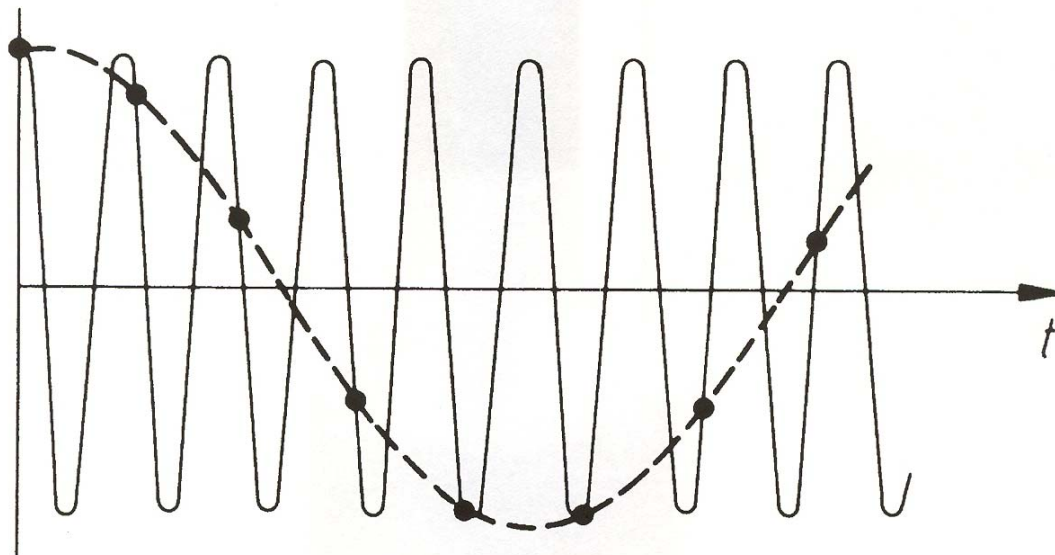
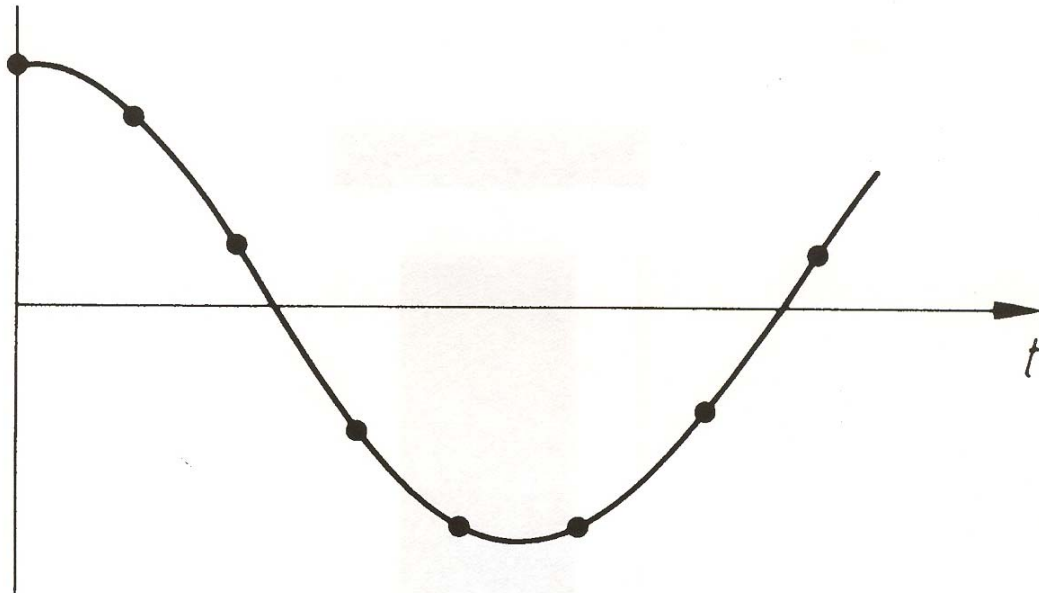
Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers

Schalldruckspektrum



a Zeitverlauf; **b** Schmalbandanalyse; **c** Terzanalyse, Oktavanalyse eines Geräusches mit Klanganteilen.
(Verschiedene Frequenzmaßstäbe in **b** und **c**)

Quelle: Heckl / Müller



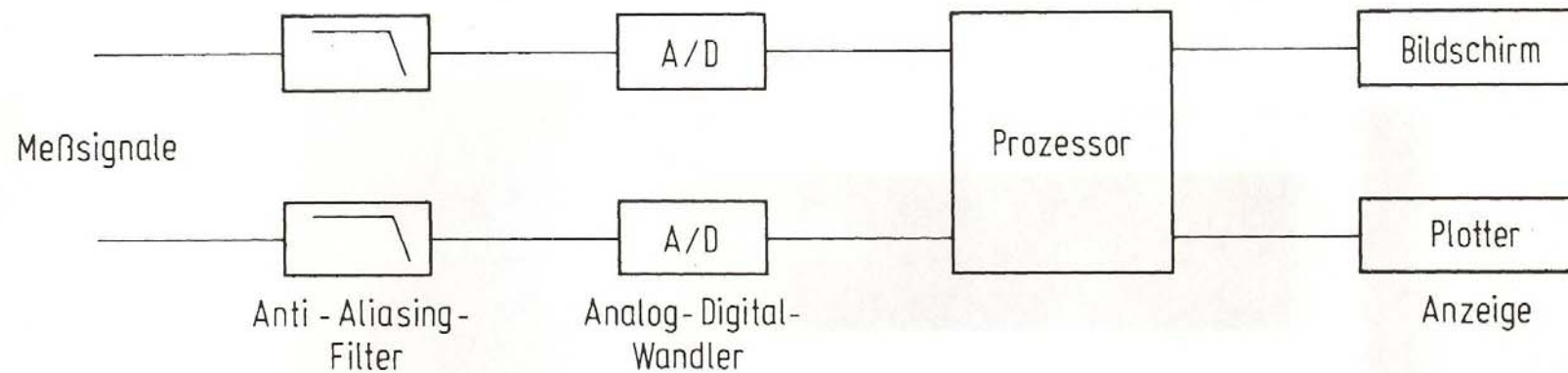
obere Frequenz ist wesentlich kleiner als die Abtastfrequenz;
untere Frequenz ist wesentlich größer als die Abtastfrequenz

Abtastung von harmonischen Vorgängen

Quelle: Heckl / Müller

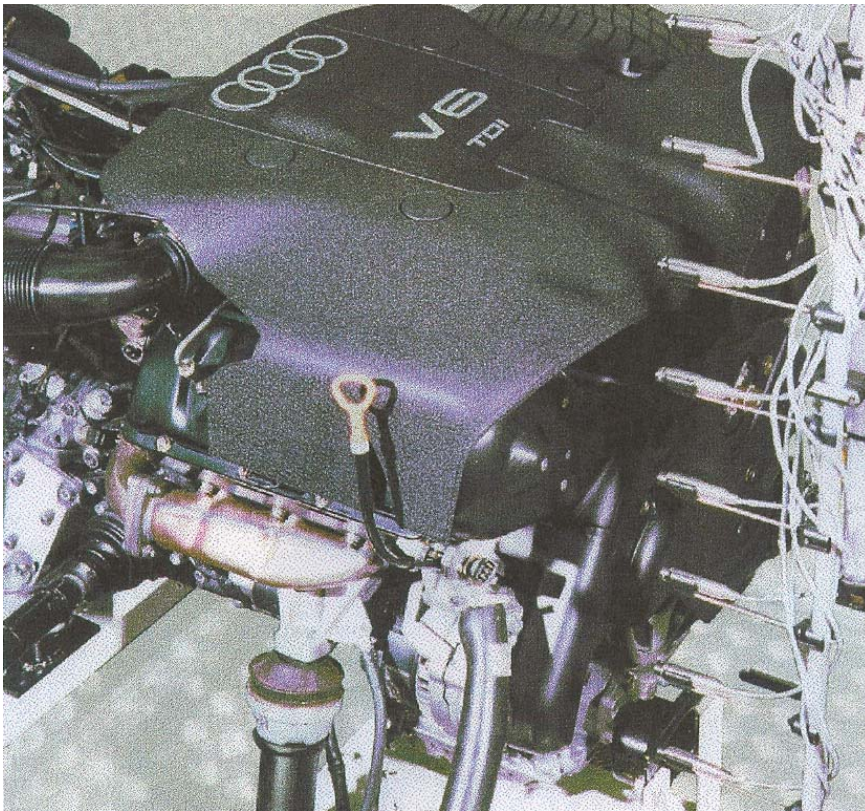
Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers

Prinzipaufbau eines zweikanaligen FFT-Analysators



Quelle: Heckl / Müller

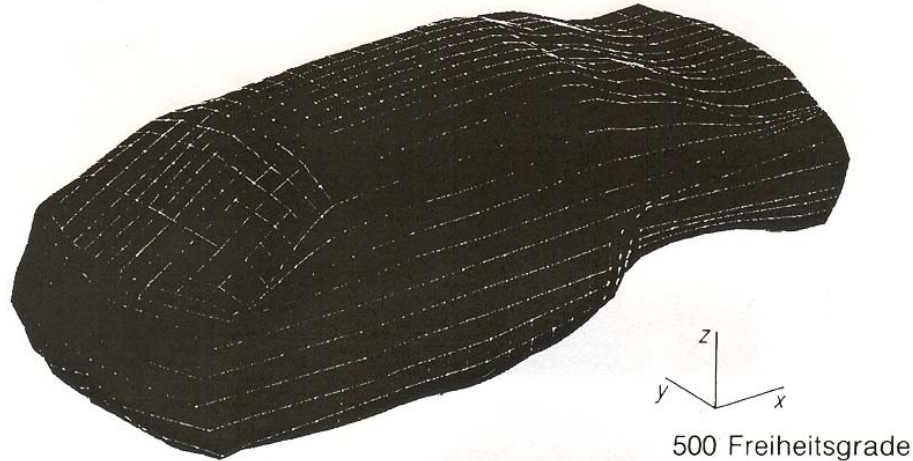
Schallintensitätsverteilung an der Motorstirnwand ohne Stirnwandkapsel Schallfeldvermessung mit Mikrophonarray



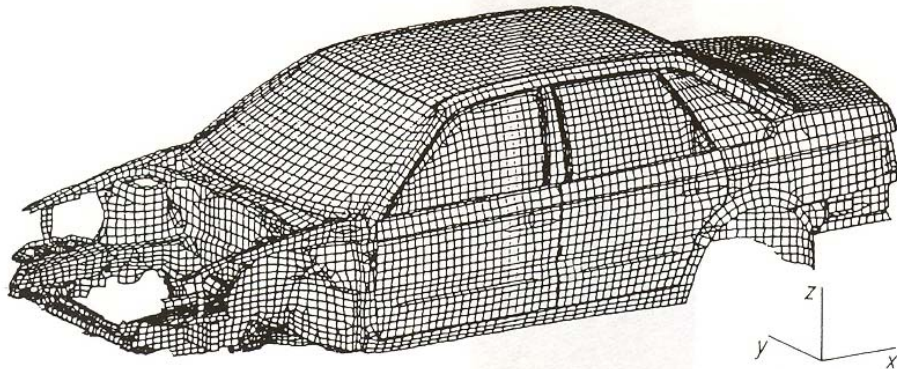
Quelle: Audi



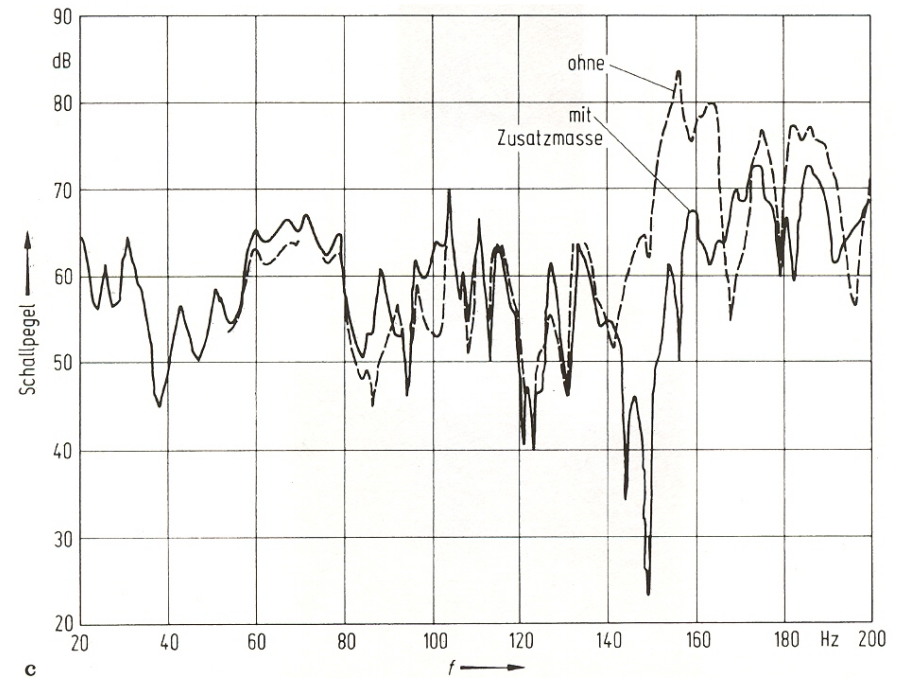
Beispiel einer strukturakustischen Anwendung der FEM



a, FE-Modell der Luft des Fahrzeuginnenraumes



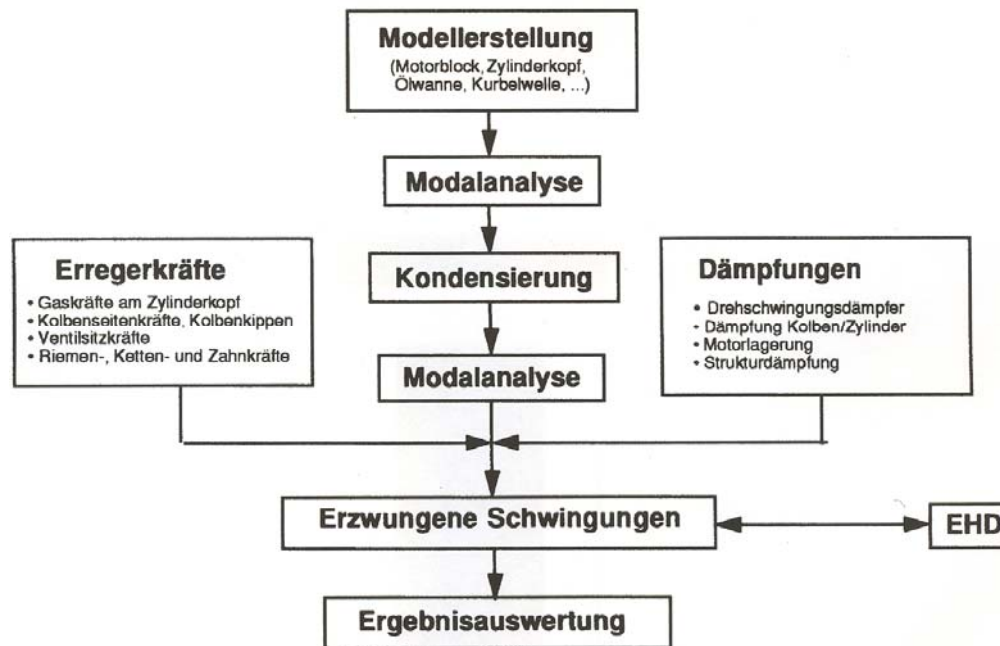
b, FE-Modell der Fahrzeugkarosserie 72000 Freiheitsgrade



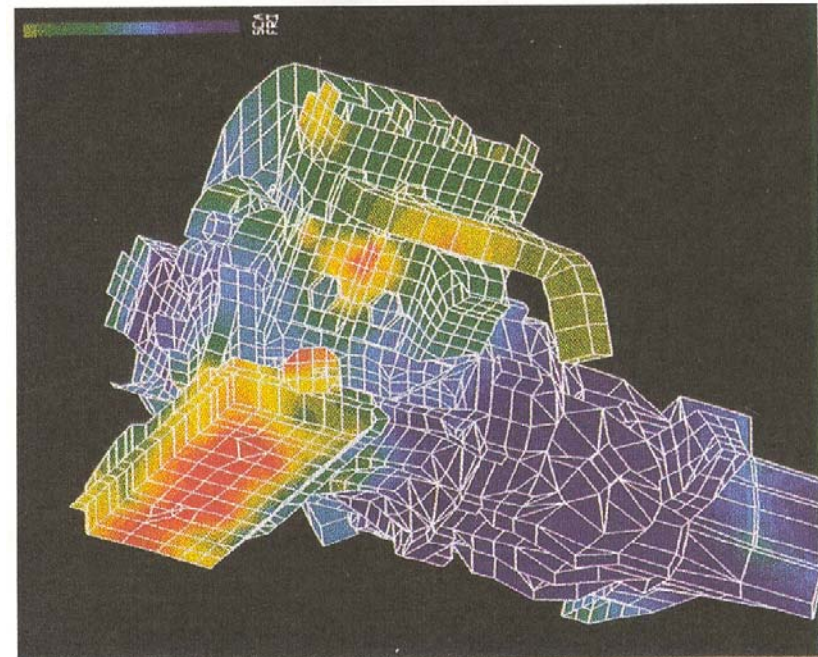
Quelle: Heckl / Müller

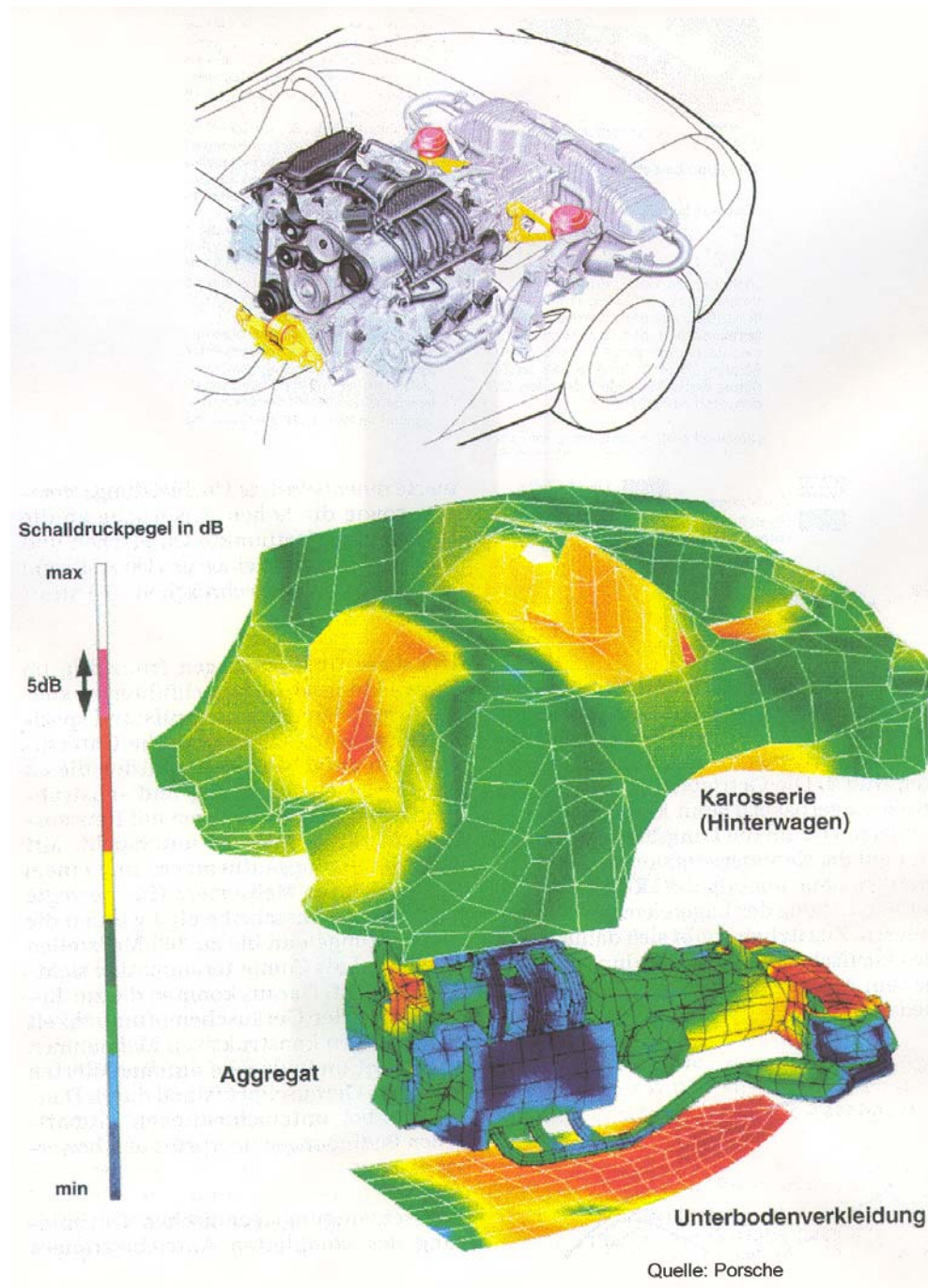
c, Berechnete akustische Übertragung (--- ohne/ — mit Zusatzmasse) Körperschallanregung am Längsträger Luftschallmessung am Beifahrerohr (Zusatzmasse im vorderen Rahmenbereich)

Ablauf einer nichtlinearen Körperschallberechnung



Quelle: Computerunterstützte Strukturanalysen GmbH





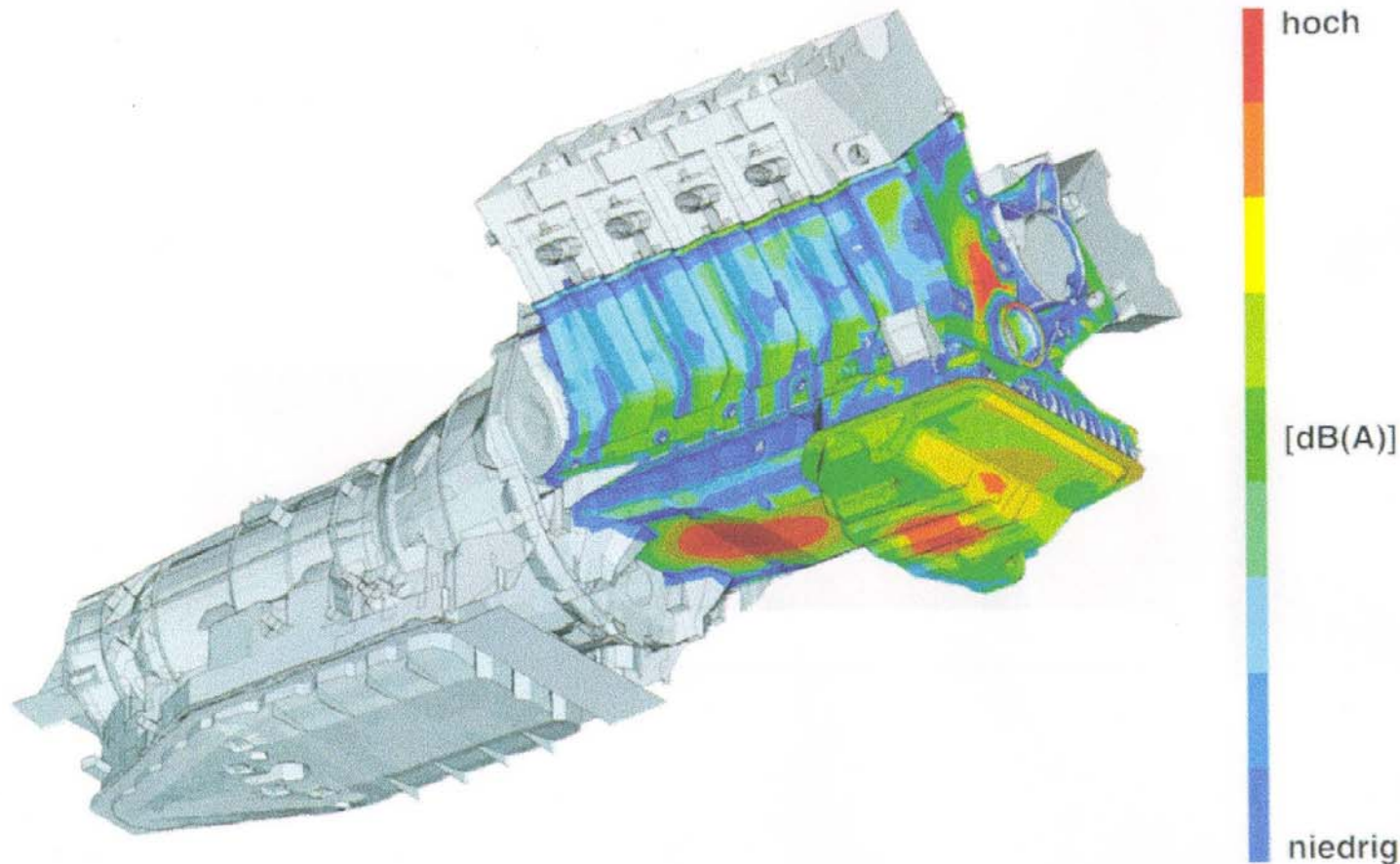
Betriebsschwingform- analyse Antriebsstrang und berechnete Luftschallverteilung Hinterwagen Aggregatlagerkonzept des Boxter

Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers

Oberflächenschnelle FEM-Modell

1 kHz – Oktave bei Nennleistung

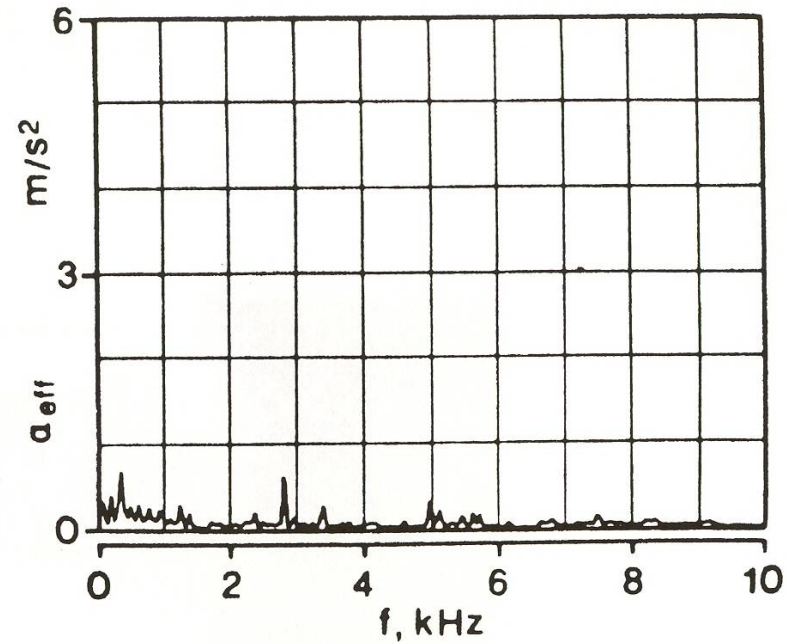
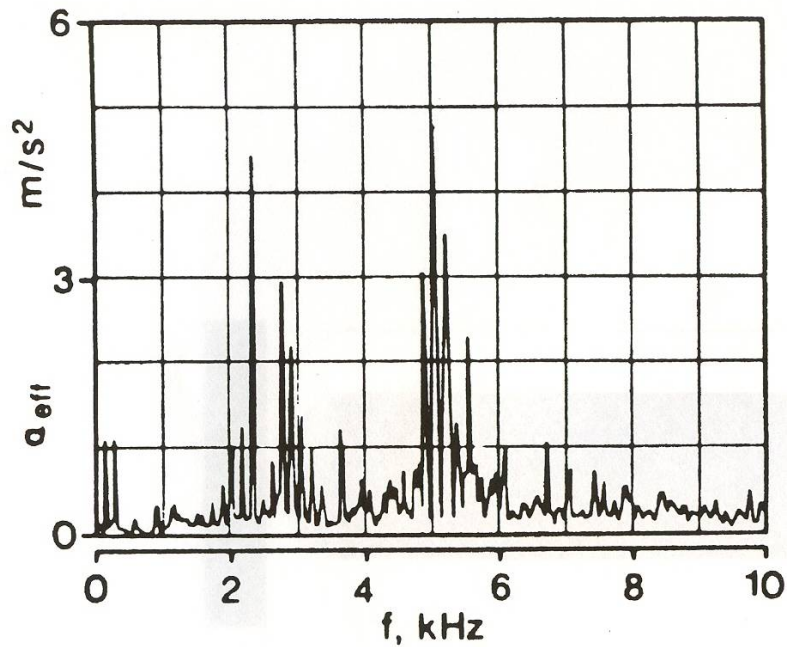
8 Zyl. – V -Dieselmotor



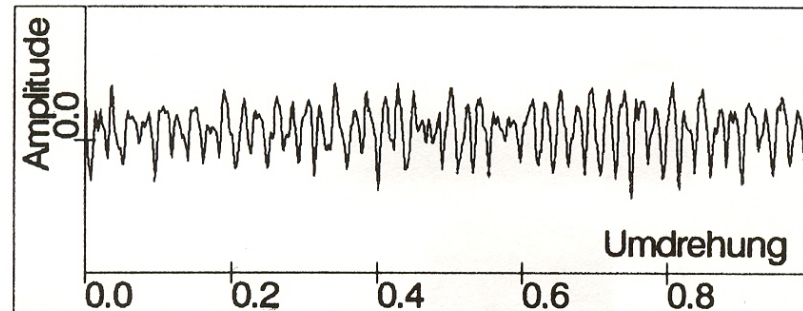
Quelle: BMW

Wälzlagerspektrum

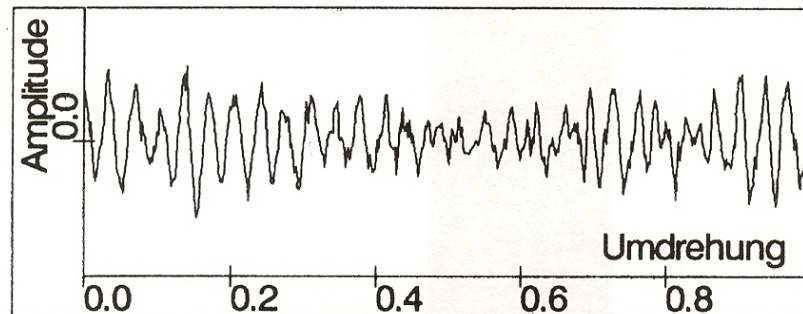
(links: Defekt; rechts Normalzustand)



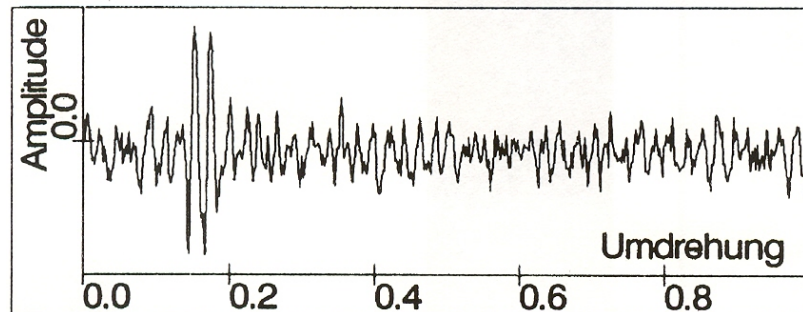
Quelle: Reiser



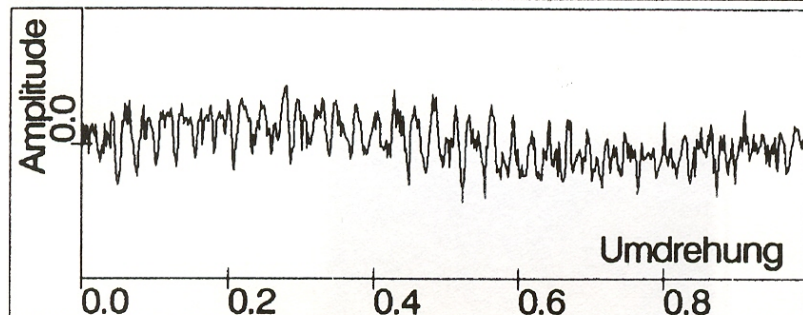
Intakt



Exzentrizität (AM)



Lokaler Zahnfehler

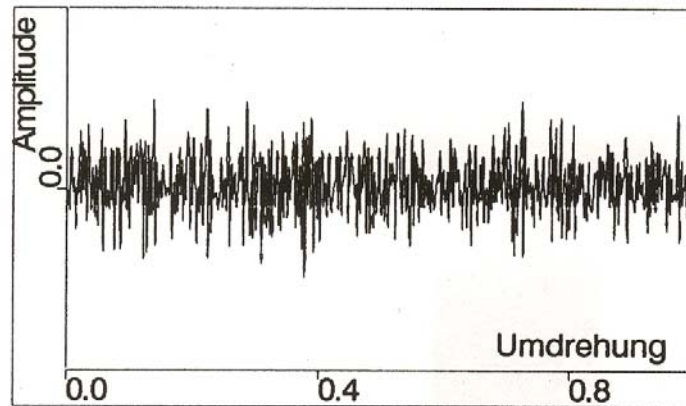


Unwucht

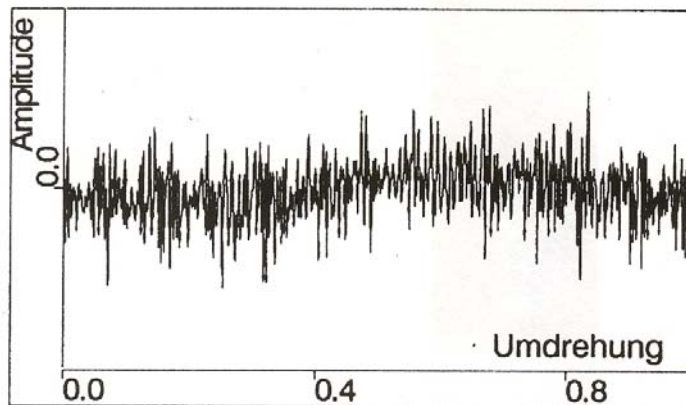
Zahnfehler und deren Auswirkung auf das Laufgeräusch

Quelle: Barschdorff, Bothe, Wöstenkühler

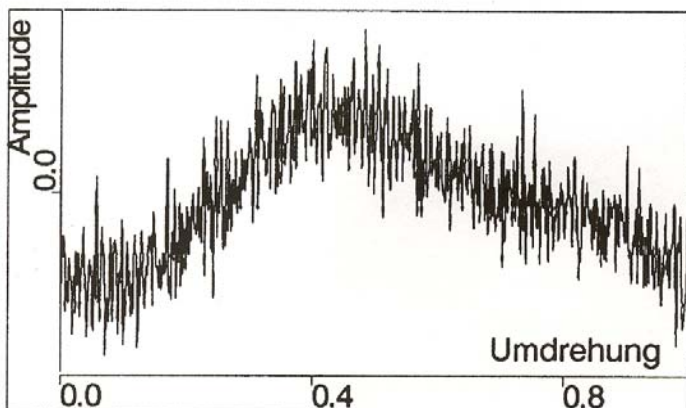
Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers



nach ca. 1770 Stunden



nach ca. 1900 Stunden



nach ca. 2030 Stunden

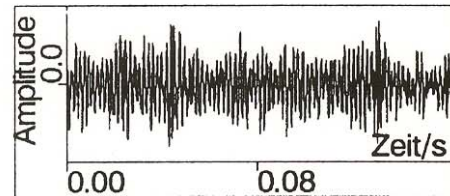
Körperschall eines Förderbandgetriebes Dauerversuch; Ausfall nach 2100 h

Quelle: Barschdorff, Bothe, Wöstenkühler

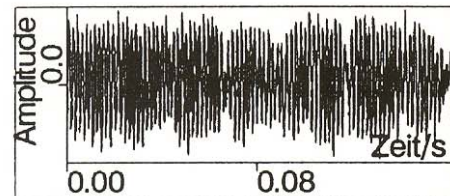
Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers

Subjektive Bewertung

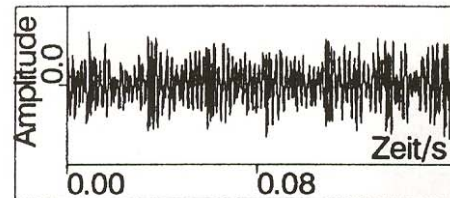
"klopft"



"laut"

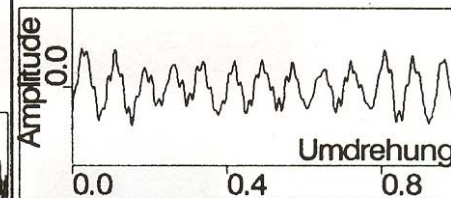


"rattert"

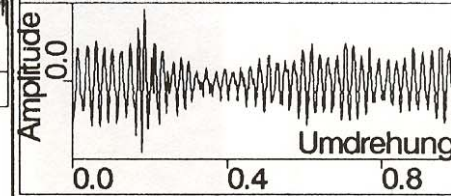


Objektive Bewertung (Neuronales Netz)

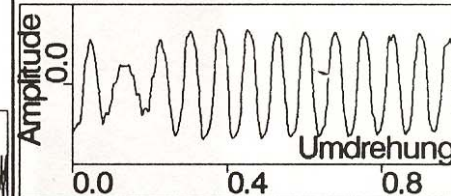
(Welle 1)
Exzentrizität 89 %



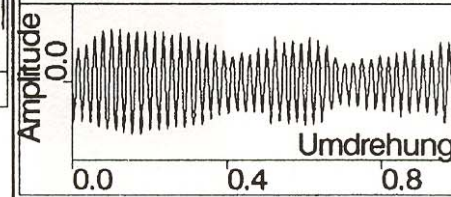
(Welle 2)
Laut 99 %
Zahnfehler 57 %



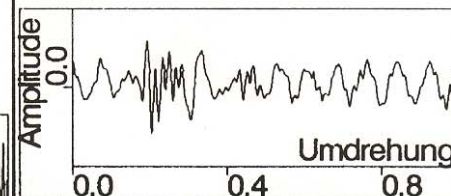
(Welle 1)
Laut 98 %
Exzentrizität 98 %



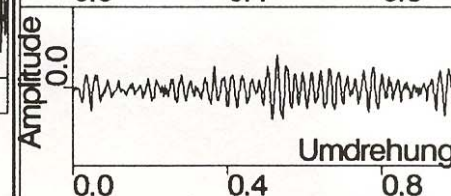
(Welle 2)
Exzentrizität 99 %
Laut 94 %



(Welle 1)
Zahnfehler 92 %



(Welle 2)
Exzentrizität 61 %
Zahnfehler 33 %

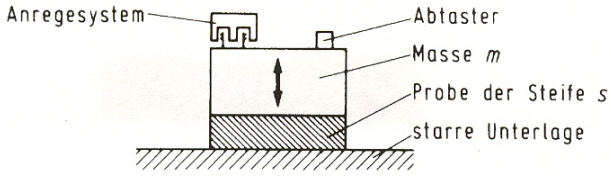
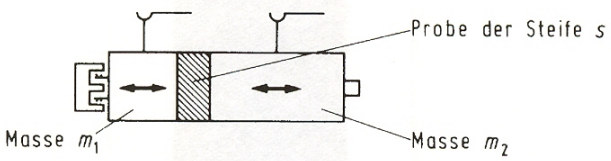
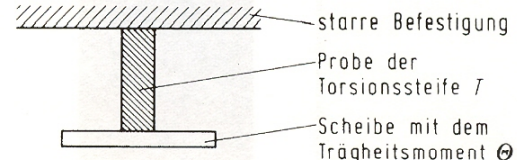
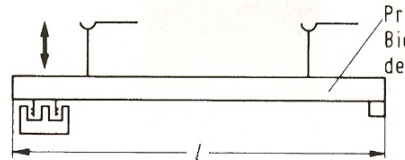
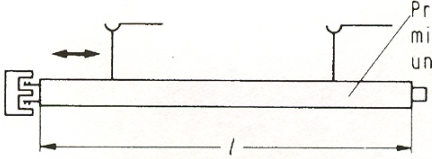


Quelle: Barschdorff, Bothe, Wöstenkühler



**Verzahnungsfehler
am PKW-
Hinterachs-
getriebe;
Rotorsynchrone
Signalerfassung
(mit subjektiver
Bewertung)**

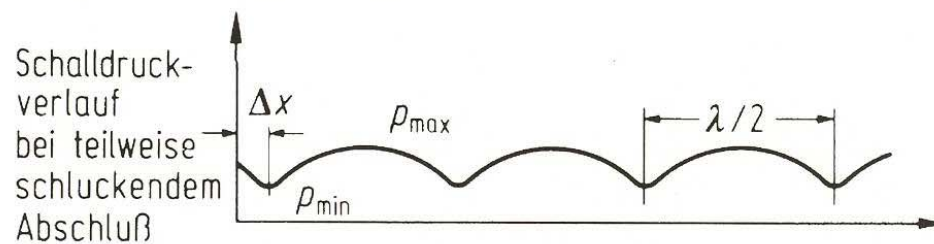
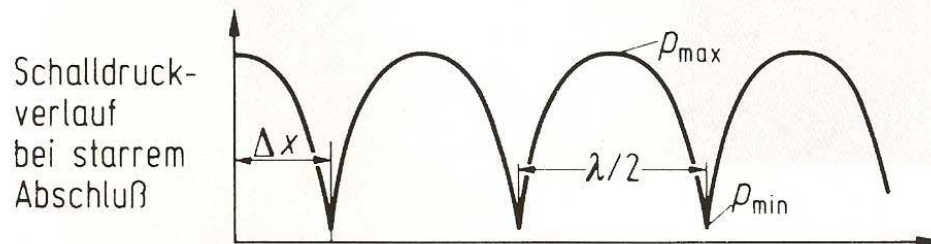
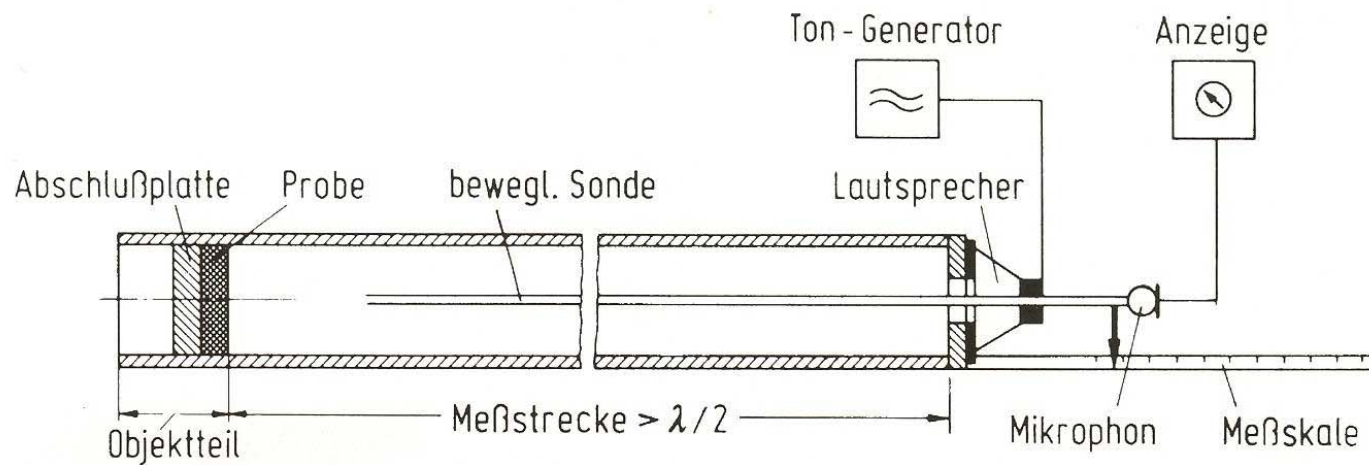
Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers

1. Einmassenschwinger	 <p>Anregesystem Abtaster Masse m Probe der Steife s starre Unterlage</p>	$S = 4\pi^2 f_R^2 m$
2. Tonpils	 <p>Probe der Steife s Masse m_1 Masse m_2</p>	$S = 4\pi^2 f_R^2 \frac{m_1 m_2}{m_1 + m_2}$
3. Torsionspendel	 <p>starre Befestigung Probe der Torsionssteife T Scheibe mit dem Trägheitsmoment Θ</p>	$T = 4\pi^2 f_R^2 \Theta$
4. Biegestab	 <p>Probestab der Biegesteife B und der Masse pro Länge m' l</p>	$B = m' l^4 f_n^2 \frac{64}{\pi^2 (2n-1)^4}$
5. Longitudinalstab	 <p>Probestab mit dem E-Modul E und der Dichte ρ l</p>	$E = \rho l^2 \frac{4 f_n^2}{n^2}$

f_R = Resonanzfrequenz, f_n = Resonanzfrequenz mit n Knoten. Wenn S die Probenfläche und d ihre Dicke ist, dann gilt $s = SE/d$

Quelle: Heckl / Müller

Bestimmung mechanischer Daten durch Messung von Resonanzen

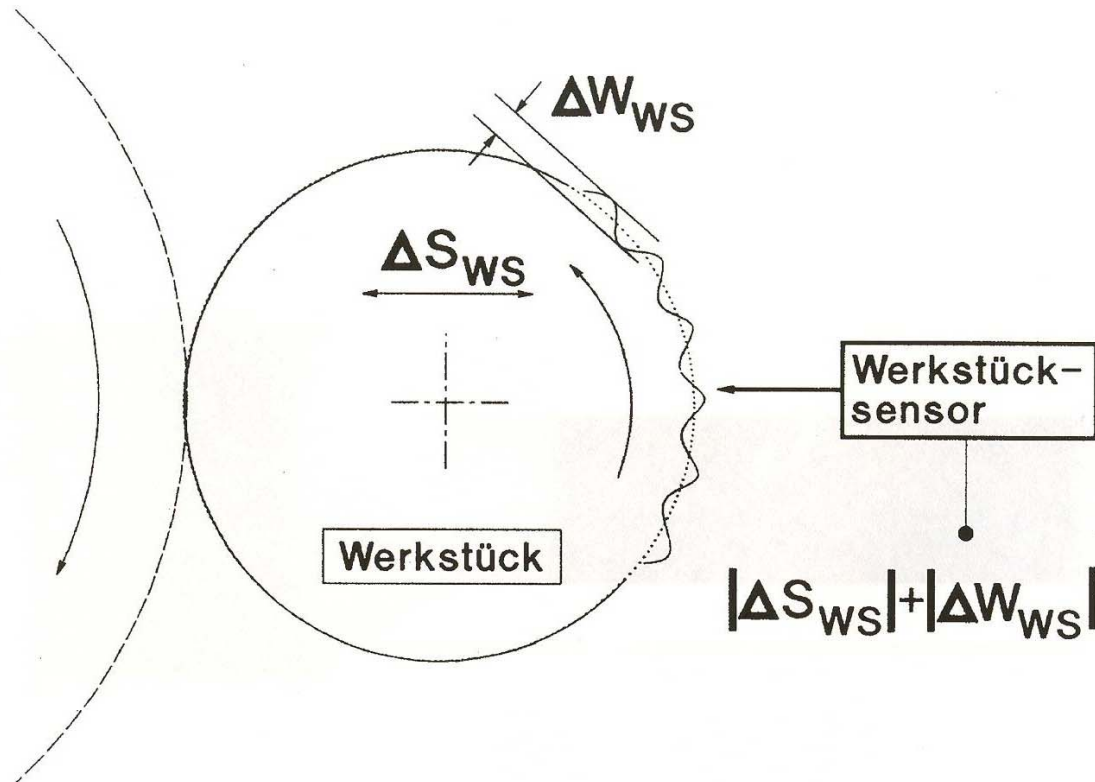


Messung von Absorptionsgrad und Impedanz im Kundtschen Rohr

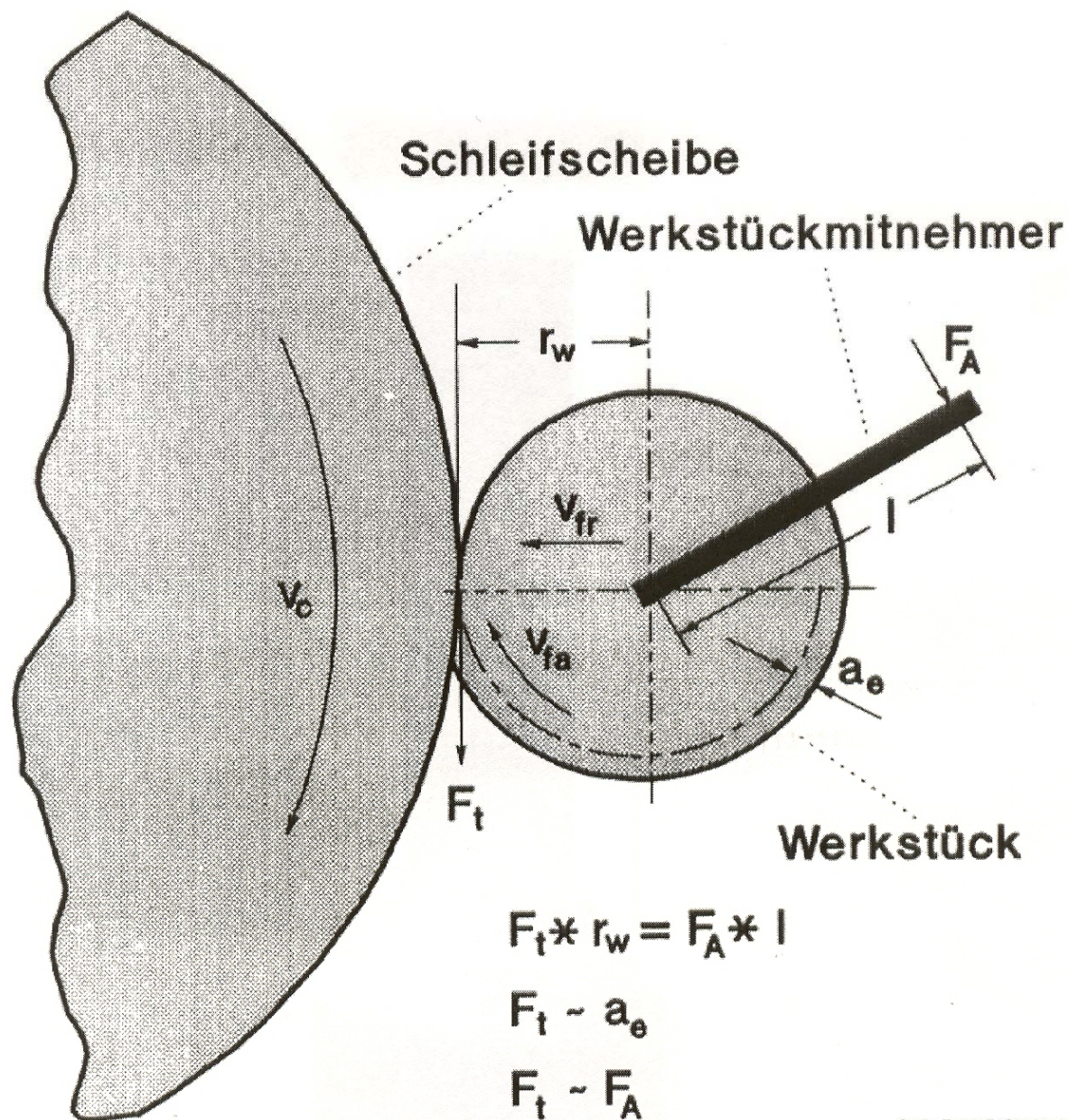
Quelle: Heckl / Müller

Maschinenakustik
Prof. Dr.-Ing E.Reimers

Störeinfluß der Werkstücktopographie auf die Messung der Werkstückbewegung



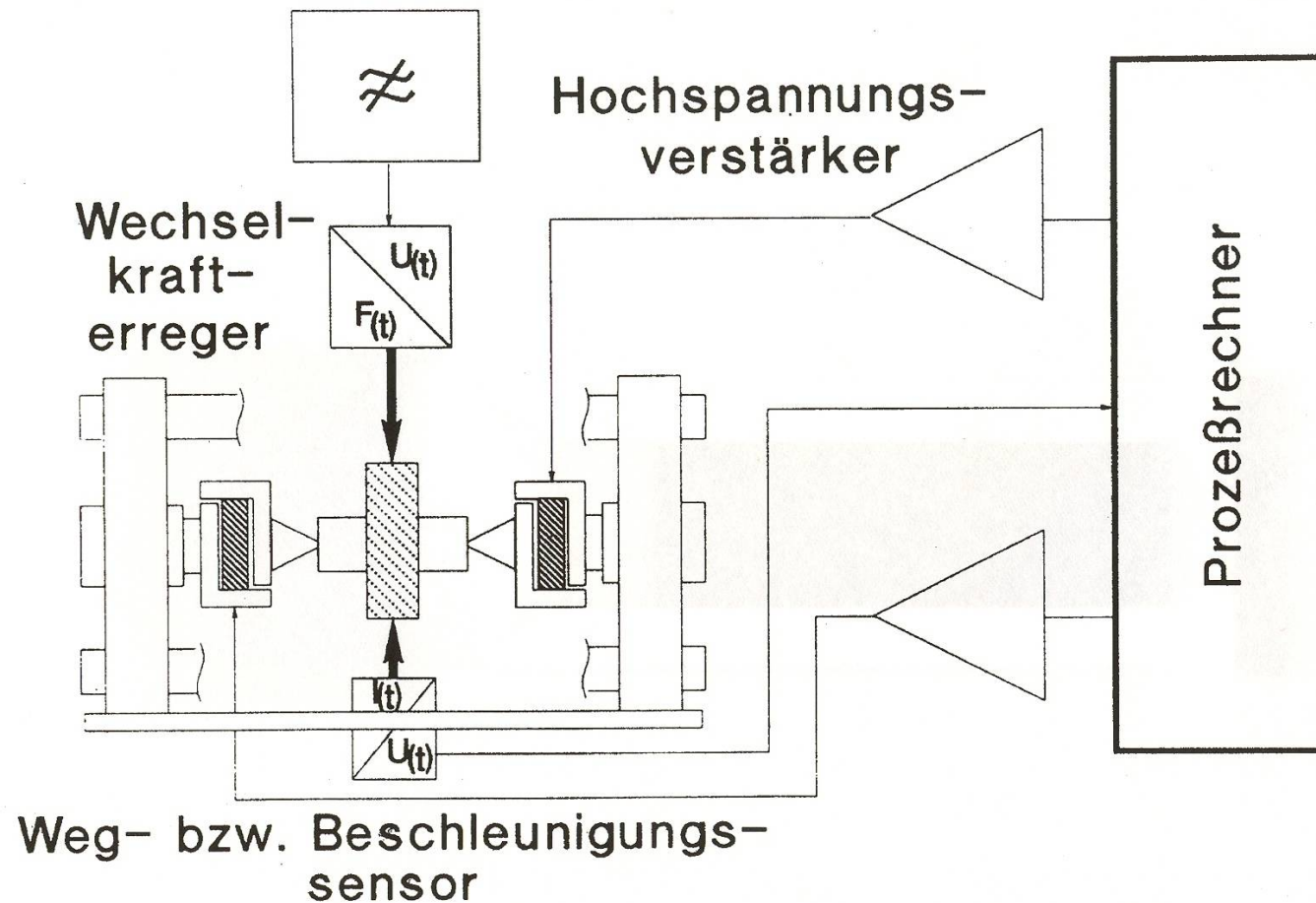
Quelle: Tönshoff / Gosebruch



Quelle: Tönshoff / Gosebruch

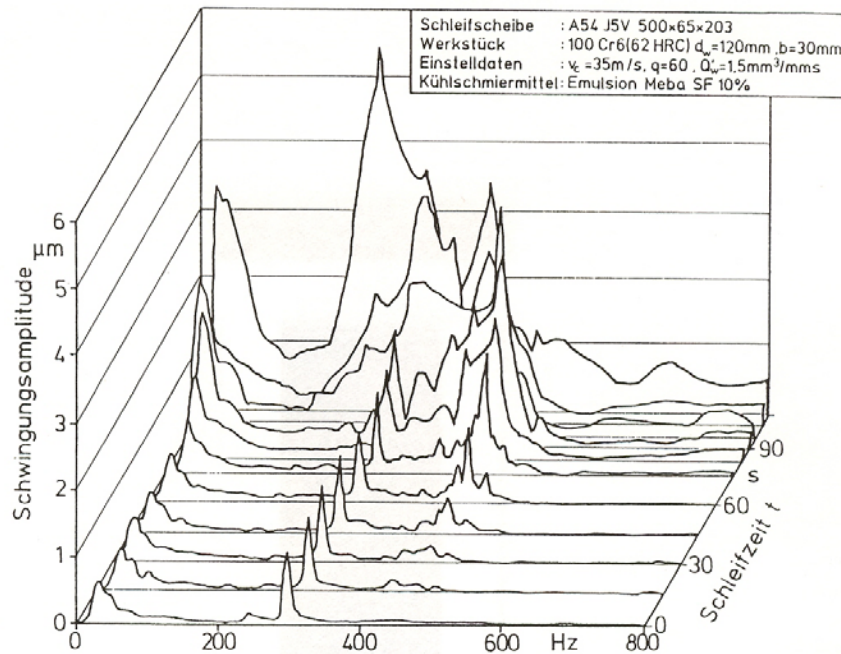
**Werkstück-
antriebsmoment
MW als Maß für
die Spantiefe**

Prinzipieller Aufbau des Testsystems

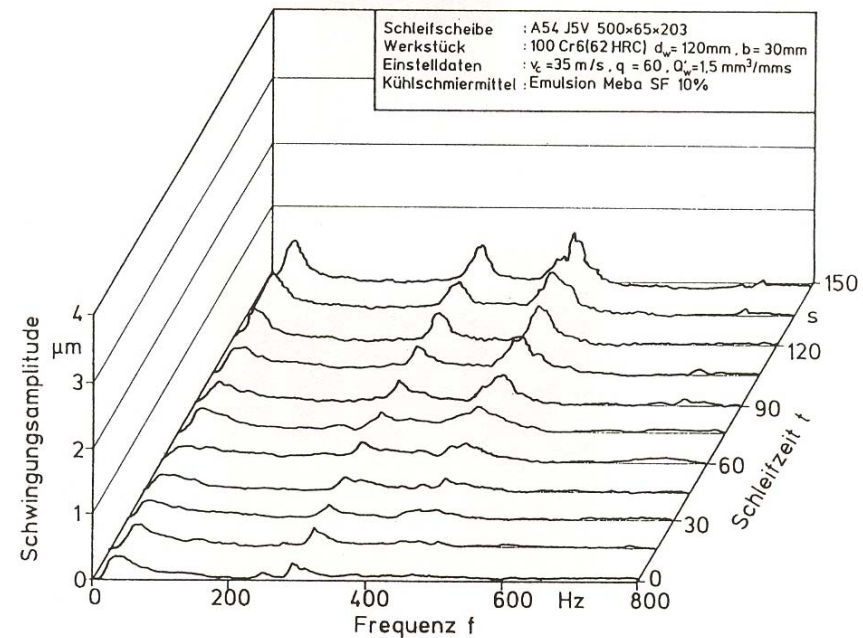


Quelle: Tönshoff

Schleifzyklus ohne Regelung und mit Regelung



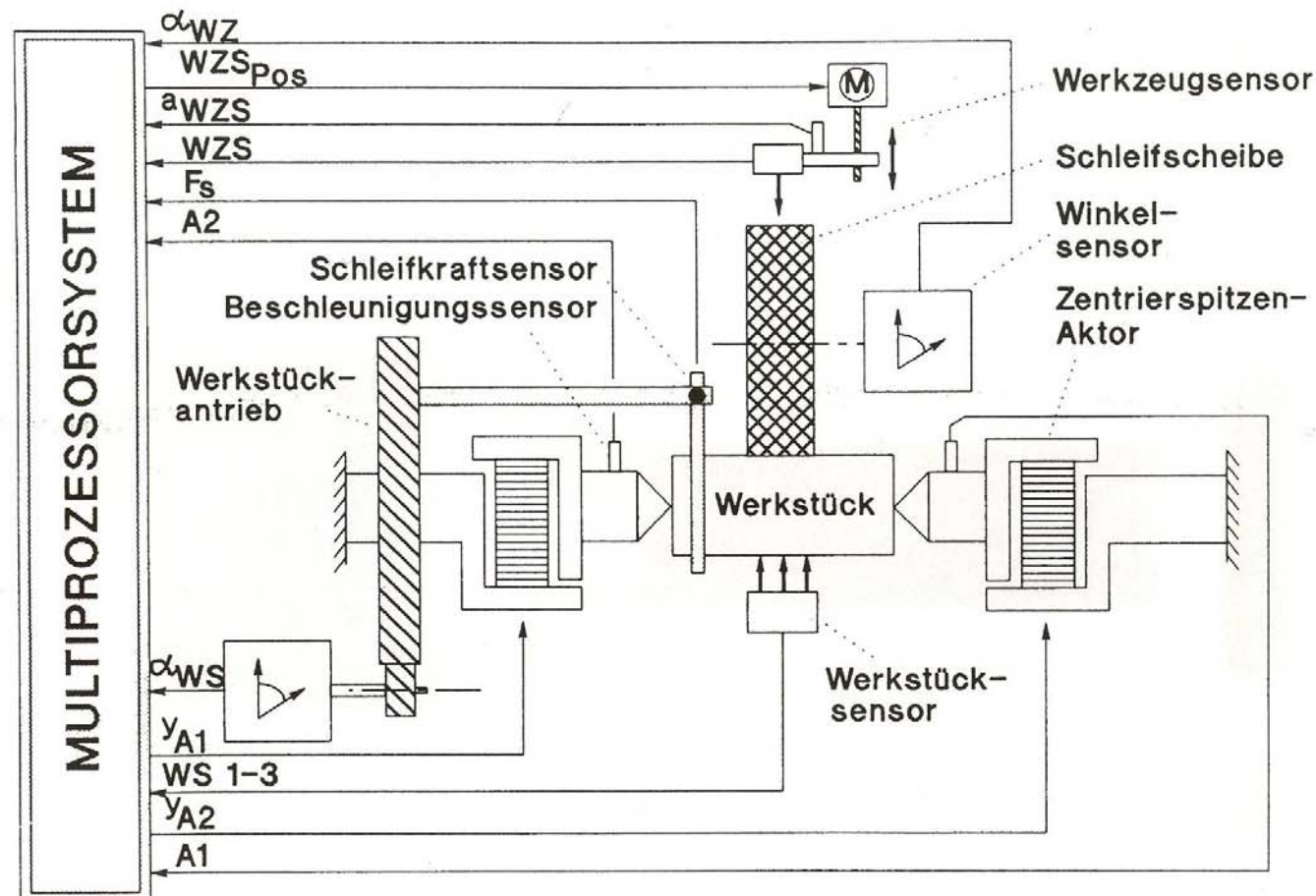
Schleifzyklus ohne Regelung



Schleifzyklus mit Regelung

Quelle: Tönshoff

Übersicht über das aktive Dämpfersystem für eine Außenrundschleifmaschine



Quelle: Tönshoff / Gosebruch