

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formel

Technische Akustik

Formelsammlung

2016

Jan Borgers

ammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

1. Grundlagen	
• Bezugsgrößen für Schalldruck; Schallleistung	Seite 2
• Filterkurven A-; B-; C-Gewichtung	Seite 3
• Terz-; Oktavfilter und deren Bandbreiten	Seite 5
• Rauschsignale / Impulse	Seite 7
2. Luftströmungswiderstand	
• Definition	Seite 10
• Berechnung aus Faser- und Vlieseigenschaften	Seite 11
• Luftströmungswiderstand perforierter, gelochter Folien und Platte	Seite 14
3. Luftschallabsorption /Luftschalldämpfung	
• Schallkennimpedanz (Impedanzrohr ISO 10 534)	Seite 16
• „Normierte“ Luftschallabsorption	Seite 20
• Hallraum (ISO 354)	Seite 22
• Bewertung des Absorptionsgrades nach ISO 11654	Seite 28
4. Luftschalldämmung /Luftschallisolation	
• Schalldämmmass R basierend auf Schalleistung	Seite 31
• Apamat	Seite 31
• Decken-, Fensterprüfstand /LS-box	Seite 31
• Bewertetes Schalldämm-Maß	Seite 34
• Resonanz / Verlustfaktor / Speichermodul	Seite 36
5. Intensität / Schalleistung für die „Weiße Industrie“	Seite 46
6. Kraftfahrzeugakustik	
• Schalldruckpegel und Ordnungsanalyse	Seite 48
• Artikulationsindex	Seite 49
• Außengeräusch Vorbeifahrt ISO 362	Seite 52
Bauteil- und Fahrzeuganalyse; Benchmark mittels Geräuschsimulation	
• Mittlere äquivalente Luftschallabsorption einer KFZ-Karosserie	Seite 53
• Lautsprecher-simulation Reifen-, Motor-, Abgasmündungsgeräusch	Seite 55
• Karosserie Einfügedämmung	Seite 58
• Nachhallzeit im Fahrzeug	Seite 59

3. Luftschallabsorption

Luftschallabsorption ist die Fähigkeit eines Materials die Bewegung der Luftmoleküle zu verringern Luftschall, das heißt die Bewegung der Luftmoleküle in Wärme umzuwandeln.

Materialdaten die die Luftschallabsorption eines Werkstoffs beeinflussen:

- Dichte [kg/m³]
- Dicke [mm]
- Spezifischer Luftströmungswiderstand [Pa s/m] oder [Ns/m³]
- Porosität: „Luftanteil“ im Werkstoff
- Tortuosity für poröse Fasersysteme: Kapillarenkrümmung im Werkstoff
- Viscous length für Faservliese und Schaumwerkstoffe.
- Thermal length für Faservliese und Schaumwerkstoffe.

Impedanzrohr nach ISO 10 534

Das erste Absorptionsmaximum bei Messungen im Impedanzrohr bei senkrechtem Schalleinfall liegt bei der Frequenz dessen $\frac{1}{4}$ Wellenlänge genauso dick ist wie das zu messende Absorptionsmaterial.

Schallkennimpedanz oder Wellenwiderstand eines Mediums

Die Schallkennimpedanz Z_F ist definiert als der Quotient aus Schalldruck und Schallschnelle.

„Die Schallkennimpedanz ist eine physikalische Größe und definiert sich über das Verhältnis von Schalldruck zu Schallschnelle. Ihr Formelzeichen ist Z_F und ihre abgeleitete SI-Einheit ist Ns/m³.“

Bewegen sich Schallwellen von einem Medium in ein anderes (z. B. von Luft in Wasser), so werden sie an der Grenzfläche (in diesem Fall die Wasseroberfläche) umso stärker reflektiert, je größer die Differenz der Schallkennimpedanzen beider Medien ist. Der Schallreflexionsfaktor r ist das Verhältnis von Schalldruck p_r der an der Grenzfläche reflektierten Welle zu Schalldruck p_e der einfallenden Welle. Dieser ist auch das Verhältnis von der Differenz der beiden Schallkennimpedanzen zur Summe der Schallkennimpedanzen.“ (aus Wikipedia)

Der Schallreflexionsfaktor r lautet bei senkrechtem Schalleinfall:

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} = \frac{p_r}{p_e}$$

Im Fernfeld, wenn Schalldruck und Schallschnelle in Phase sind, berechnet sich die Schallkennimpedanz Z_F reellwertig aus

$$Z_F = \frac{p}{v} = \frac{I}{v^2} = \frac{p^2}{I} = \rho * c$$

Schallkennimpedanz der Luft

Die Kennimpedanz der Luft ist definiert als Schallgeschwindigkeit der Luft * Dichte der Luft

$$Z_F = \rho * c = \rho_0 * \frac{p_u}{p_0} * \frac{1}{\frac{t_u}{T_0} + 1} * c_0 * \sqrt{\frac{t_u}{T_0} + 1}$$

mit:

ρ_0 als Dichte der Luft bei 0°C = 1,293 kg/m³

p_0 als normierter Luftdruck = 1013,25 hPa

T_0 als Bezugstemperatur = 273,15 K = 0°C

c_0 als Bezugsschallgeschwindigkeit der Luft bei 0°C = 331,5 m/s

p_u als Luftdruck der Umgebung [hPa]

t_u als Umgebungstemperatur [°C]

Über die Beziehung:

$$c = \lambda * \nu$$

mit c als Schallgeschwindigkeit der Luft [m/s] mit $c = c_0 * \sqrt{\frac{t_u}{T_0} + 1}$

$c_0 = 331,5 \frac{m}{s}$ bei 0°C; $T_0 = 273,15 K$ und Umgebungstemperatur $t_u = 23°C$

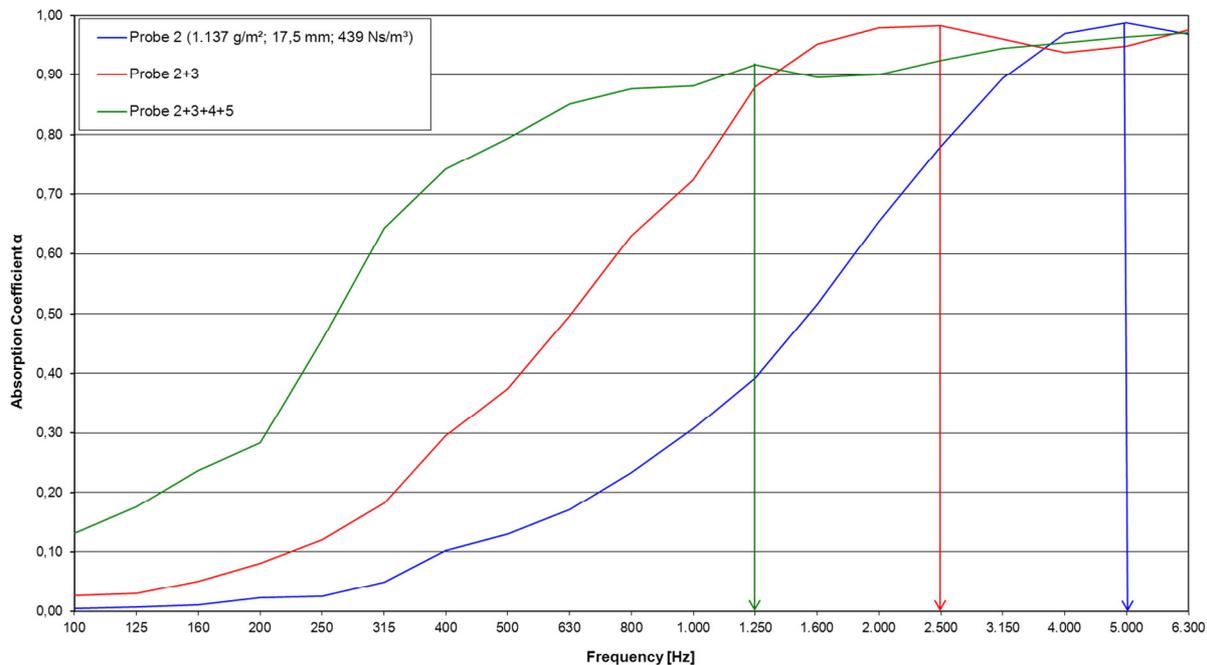
λ als Wellenlänge [m] bei einer Frequenz ν

ν als Frequenz einer Schallwelle [1/s]

lässt sich bei vorgegebener Frequenz ν und Schallgeschwindigkeit c die Wellenlänge λ bestimmen. $\frac{1}{4}$ dieser Wellenlänge entspricht der Probendicke einer Probe weil dann dort die Schallschnelle der Luftteilchen im Impedanzrohr maximal ist und die Luftschallabsorption dort ihr erstes Maximum erreicht.

Beispiel:

BORGERS Impedance Tube, airborne noise absorption acc. ISO 10 534	Luftschallabsorption von Baumwollvlies unterschiedlicher Dicke		Report: 01948	2012-11-22
			Engineer: KAPU	TAK
			Page:	2

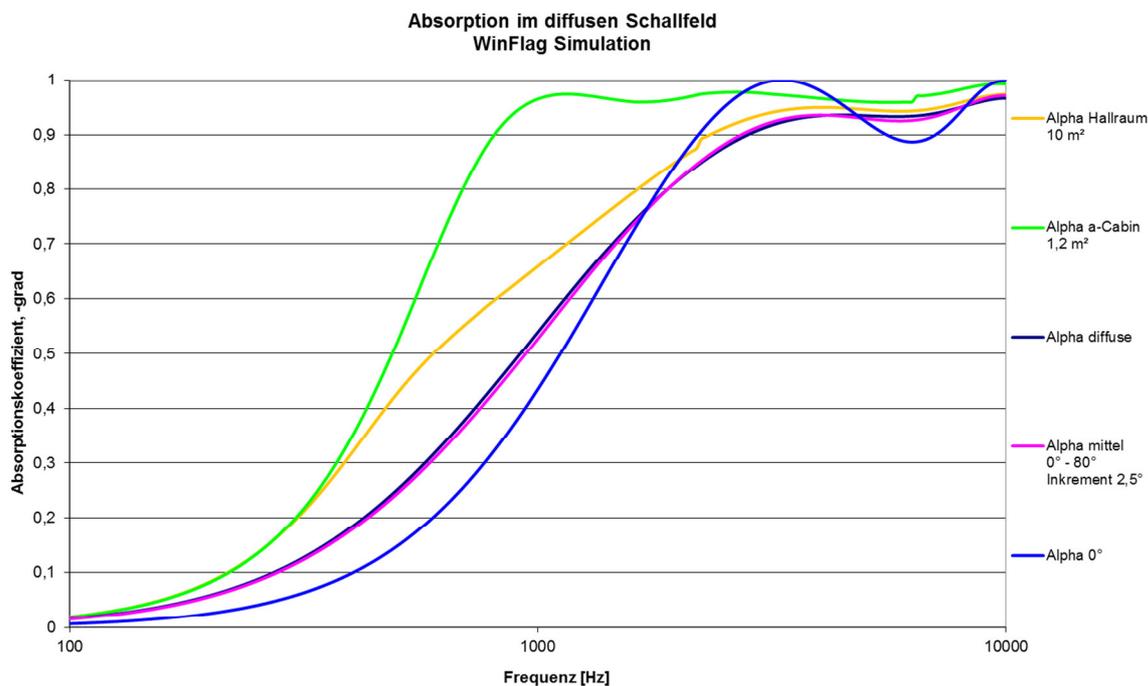
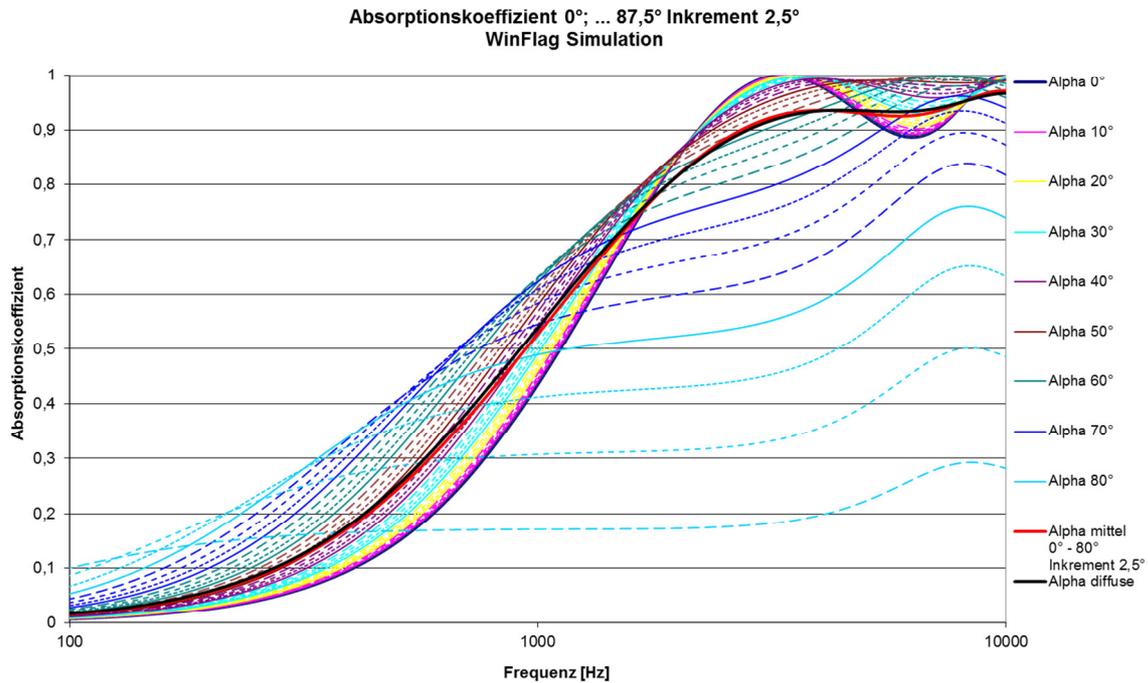


	1. Maximum [Hz]	Probendicke ($\lambda/4$) [mm]	c_0 bei 273,15 K [m/s]	Umgebungstemperatur [°C]
Probe 2	5000	17,3	331,5	23
Probe 2+3	2500	34,5		
Probe 2+3+4+5	1250	69,0		

Der Absorptionskoeffizient α kann bei dieser Messmethode nie höher als 1 oder 100% sein. Daher ist nur bei dieser Messmethode eine Skalierung in [%] erlaubt.

Ein diffuser Absorptionsgrad ist rechnerisch der Mittelwert aus Absorptionskoeffizienten aus Schalleinfallswinkeln von 0° senkrecht zur Probenoberfläche (Impedanzrohr) bis 80° fast horizontaler Schalleinfall. Ein solches Schallfeld bildet sich aus wenn der komplette Boden eines Hallraumes mit Absorptionsmaterial belegt ist.

Die Berechnung des Absorptionskoeffizienten bei den unterschiedlichen Einfallswinkeln erfolgt mittels WinFLAG. Mit diesem Programm läßt sich auch der Absorptionsgrad im diffusen Schallfeld eines Hallraumes bestimmen.



Als „Sonderfall“ können Proben betrachtet werden die kleiner als die Bodenfläche des Hallraumes sind. Dort erhöht sich durch Schallfeldbeugung „scheinbar“ der Absorptionsgrad der Probe durch eine Schallfeldbeugung an den Probenrändern.

Normierte Luftschallabsorption ist eine auf zum Beispiel 15 mm Nenndicke bezogene Luftschallabsorption einer Probe mit einer Materialdicke zwischen 8 und 24 mm.

Außerhalb dieses Bereiches wird die „Normierung“ ungenau. Es ist dann erforderlich zusätzliche Zielwerte für Materialdicken < 8 mm und > 24 mm festzulegen.

Die „Normierung“ erfolgt über dickenkorrigierte Terzfrequenzen:

$$f_{\text{normiert}} = f_{\text{Terz}} * \frac{D_{\text{Probe}}}{D_{\text{Nenn}}}$$

mit f_{normiert} als „normierte“ Frequenz [Hz]

f_{Terz} als Terzmittenfrequenz [Hz]

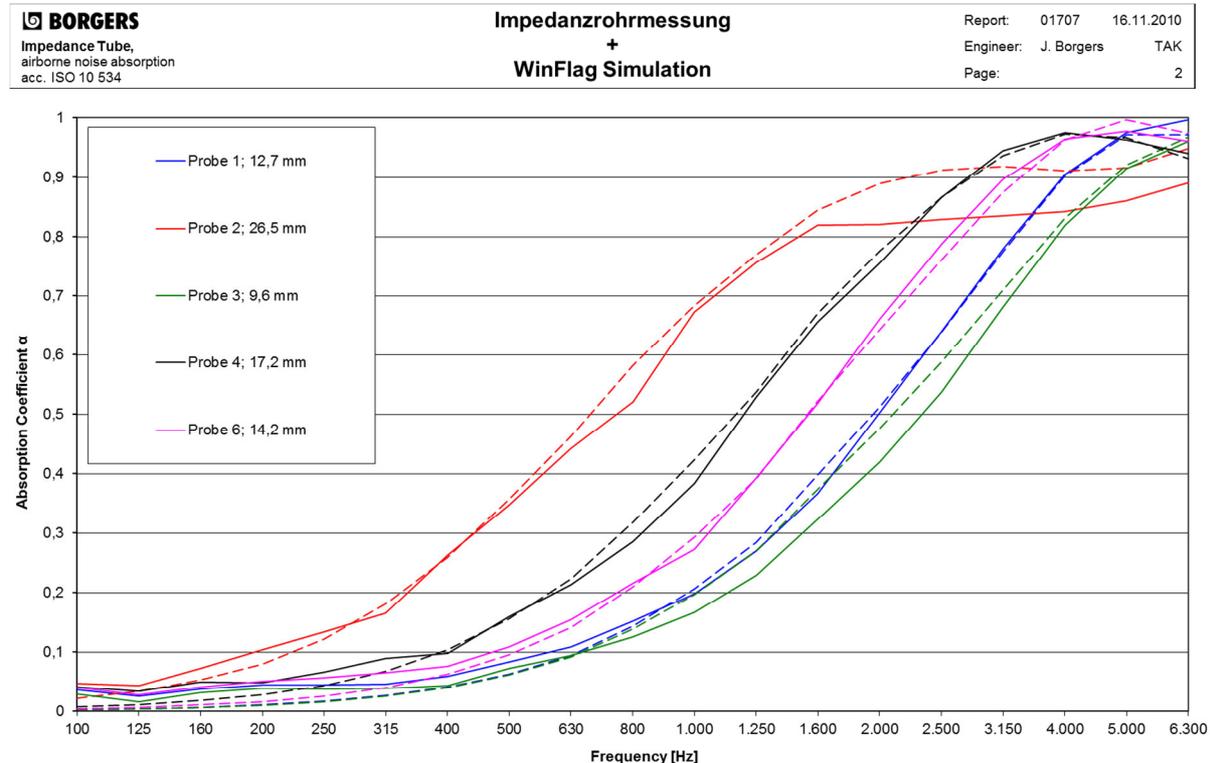
D_{Probe} als Probendicke [mm]

D_{Nenn} als Bezz-Nenndicke [mm]

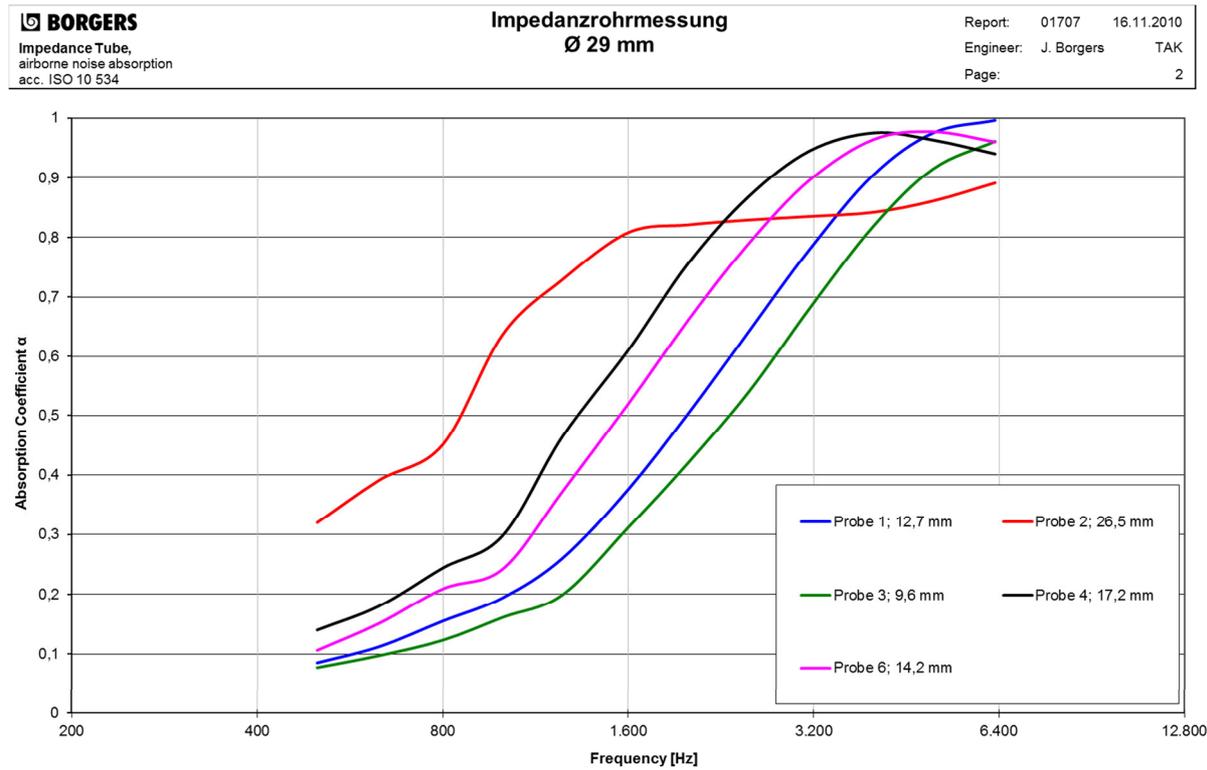
Die Absorptionswerte der Terzmittenfrequenzen werden den gerechneten, „normierten“ Frequenzen zugeordnet. Das heißt die Luftschallabsorptionswerte werden auf der Frequenzachse um den Faktor $\frac{D_{\text{Probe}}}{D_{\text{Nenn}}}$ verschoben.

Beispiel:

Komplette Impedanzrohrmessung \varnothing 99 mm und \varnothing 29 mm mit arithmetische Mittelung zwischen 500 und 1600 Hz sowie mit WinFlag Simulation als Ausgangsanalyse



Darstellung der Messwerte des Ø 29 mm Rohres bei Terzmittenfrequenzen



Darstellung der Messwerte des Ø 29 mm Rohres bei „normierten“ Frequenzen auf 15 mm Dicke. Materialdicke. Man sieht die Verschiebung der Graphen um $\frac{D_{Probe}}{D_{Nenn}}$ auf der Frequenzachse.

