

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

Hallraum (α -Kabine) ISO 354

Begriffe:

Abklingkurve: Graphische Darstellung der Abnahme des Schalldruckpegels in einem Raum als Funktion der Zeit nach dem Abschalten der Schallquelle.

Nachhallzeit T : Zeit, in Sekunden, die der Schall benötigen würde, um nach dem Abschalten der Schallquelle um 60 dB abzuklingen.

Definierte Nachhallzeiten:

T_{15} Zeit, in Sekunden, die der Schall benötigt, um nach dem Abschalten der Schallquelle um 15 dB abzuklingen.

T_{20} Zeit, in Sekunden, die der Schall benötigt, um nach dem Abschalten der Schallquelle um 20 dB abzuklingen.

T_{30} Zeit, in Sekunden, die der Schall benötigt, um nach dem Abschalten der Schallquelle um 30 dB abzuklingen.

T_{60} Zeit, in Sekunden, die der Schall benötigt, um nach dem Abschalten der Schallquelle um 60 dB abzuklingen.

Messverfahren zur Bestimmung der Nachhallzeiten:*Verfahren mit abgeschaltetem Rauschen*

Verfahren, mit dem die Abklingkurven durch direkte Aufzeichnung des abklingenden Schalldruckpegels bestimmt werden, wenn die Anregung eines Raumes mit Breitbandrauschen oder Rauschen mit Bandbegrenzung erfolgt. (ISO 354)

Verfahren mit integrierter Impulsantwort

Verfahren, mit dem die Abklingkurven durch Rückwärtsintegration der quadrierten Impulsantworten bestimmt werden. (ISO 354)

Impulsantwort

als zeitliche Entwicklung des Schalldrucks, der an einem Ort in einem Raum als Ergebnis der Emission eines Dirac-Impulses an einem anderen Ort im Raum beobachtet wird.

Anmerkung:

In der Praxis ist es nicht möglich, echte Dirac-Funktionen zu erzeugen und abzustrahlen, aber mit impulsförmigen Geräuschen (z.B. Schüssen) können Näherungen erzeugt werden, die für praktische Messungen ausreichend sind. Ein alternatives Messverfahren besteht darin, eine Periode einer Maximalfolge (MLS-Verfahren: Maximum Length Sequence - pseudo-random binary signal, pseudo-random sequence of pulses) oder eines anderen deterministischen Signals mit linearem Spektrum zu verwenden und die gemessene Antwort in eine Impulsantwort zurück zu transformieren. (ISO 354)

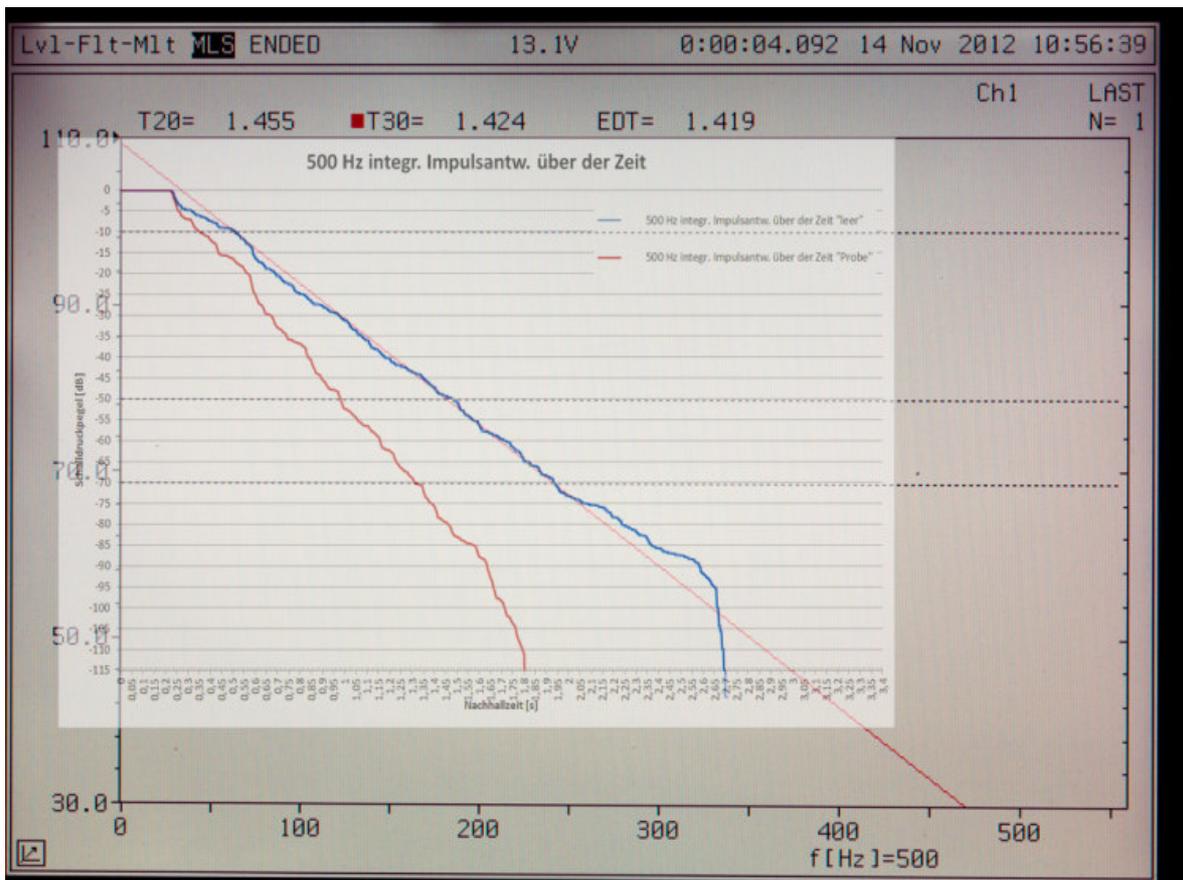
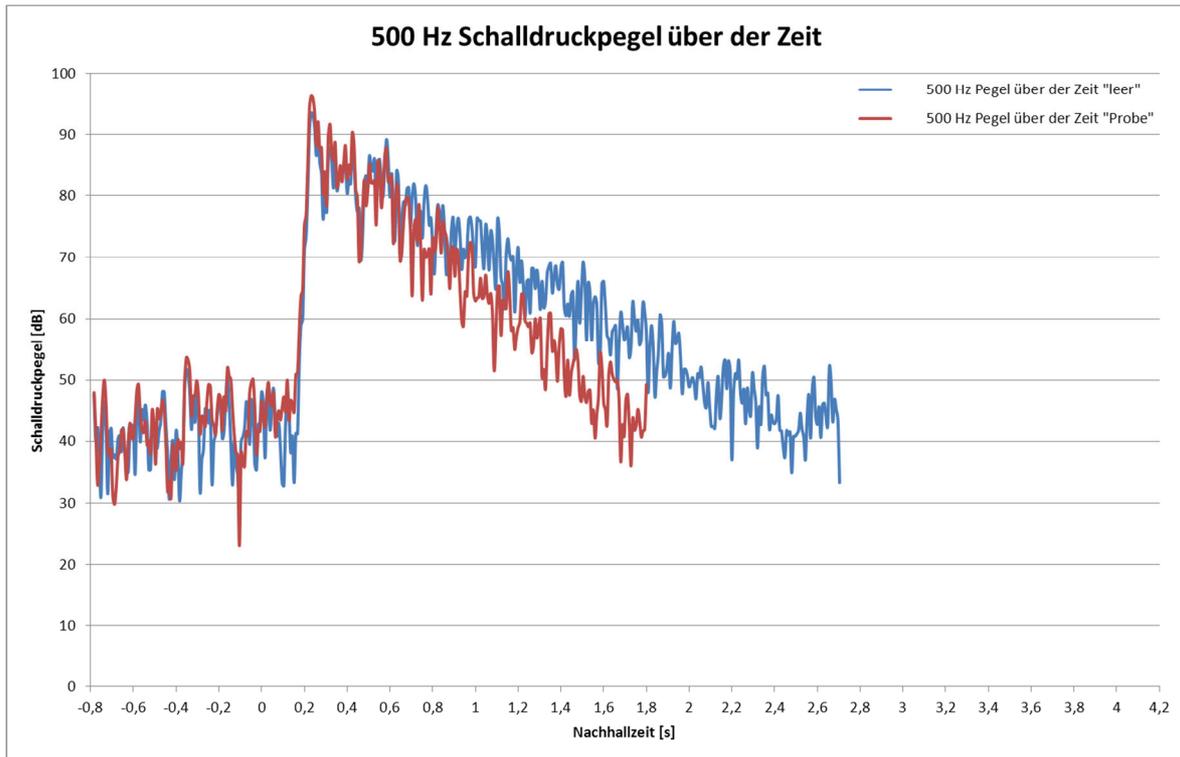
Der Norsonic Analysator 840 verwendet das *Verfahren mit integrierter Impulsantwort* mit MLS-Signal.

Beispiele hierzu als Bildschirmfoto vom RTA 840 **blaue Kurve „leer“-Messung** mit darüber gelegter **Kurve „leer“, gerechnet und Rückwärtsintegriert** aus den Pegel-Zeit-Messwerten des RTA 840 und

Kurve „Probe“, gerechnet und Rückwärtsintegriert

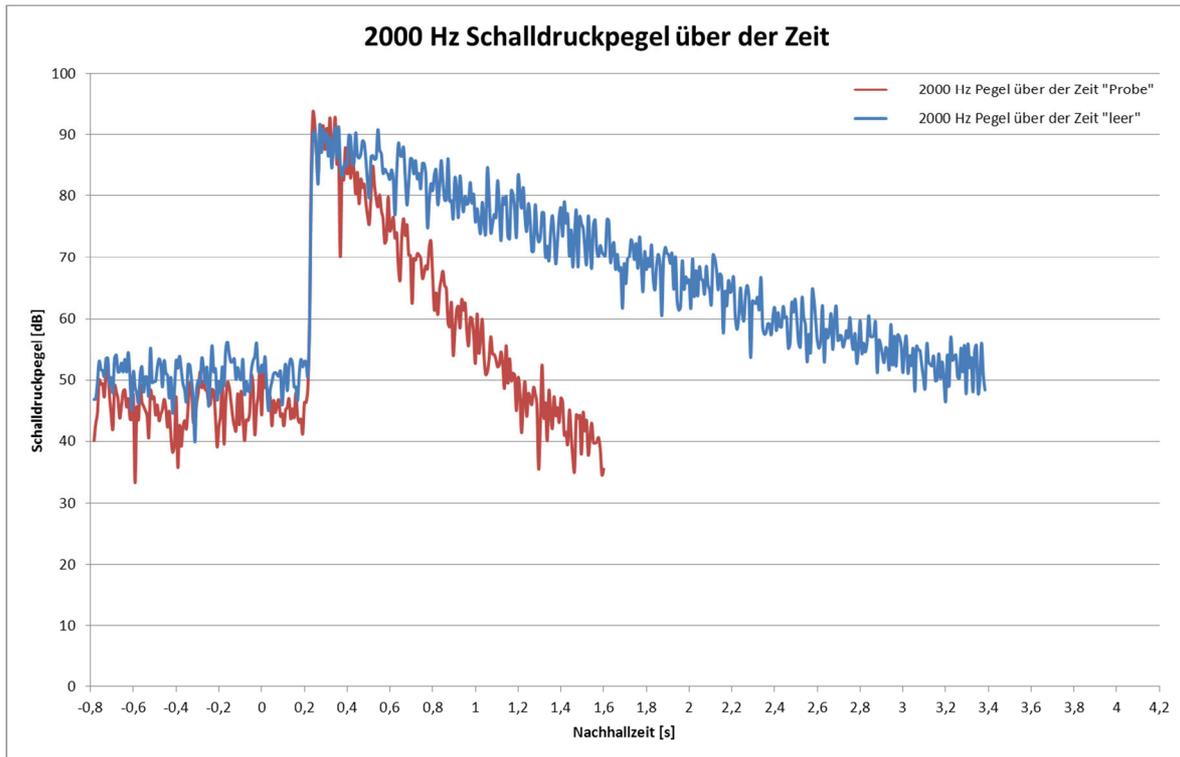
Ausgleichsgerade des RTA 840 zur Bestimmung der Nachhallzeit T30

500 Hz Terz Verlauf der Nachhallzeit



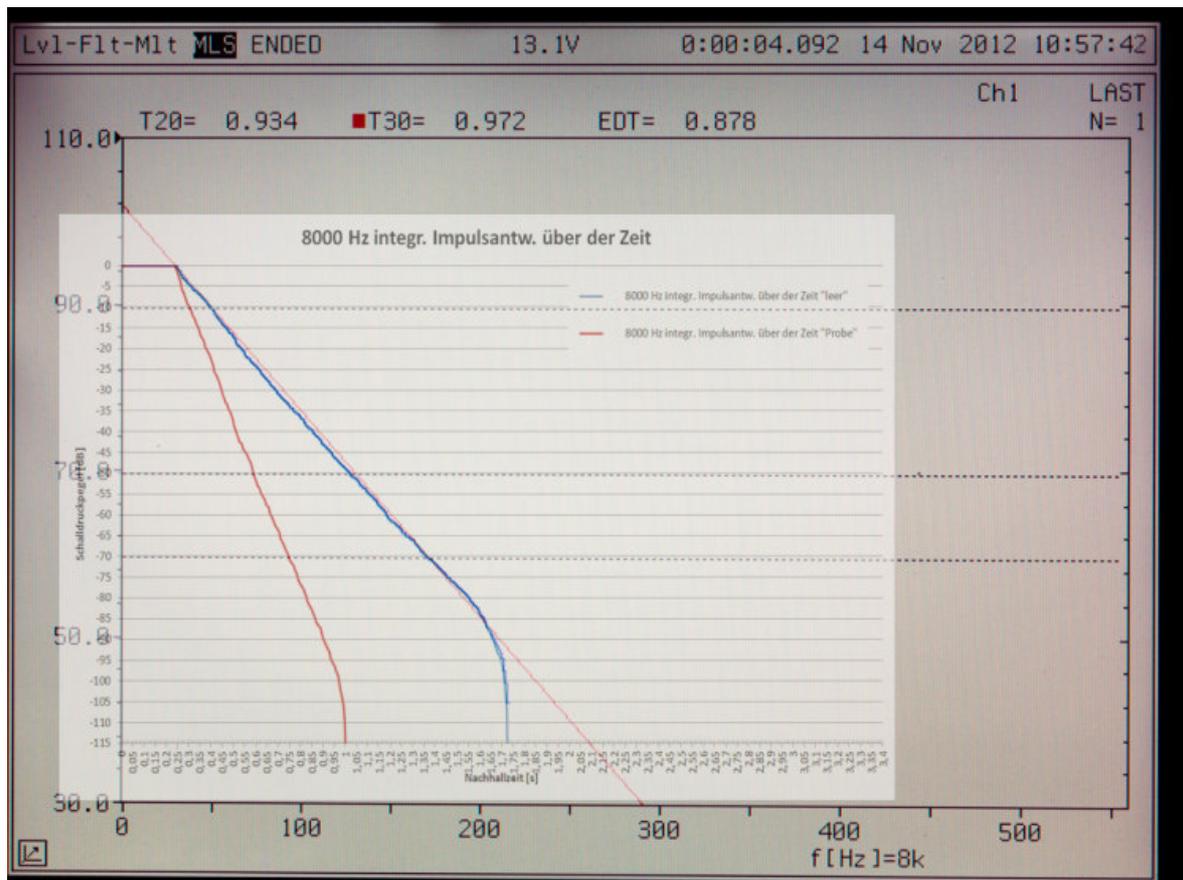
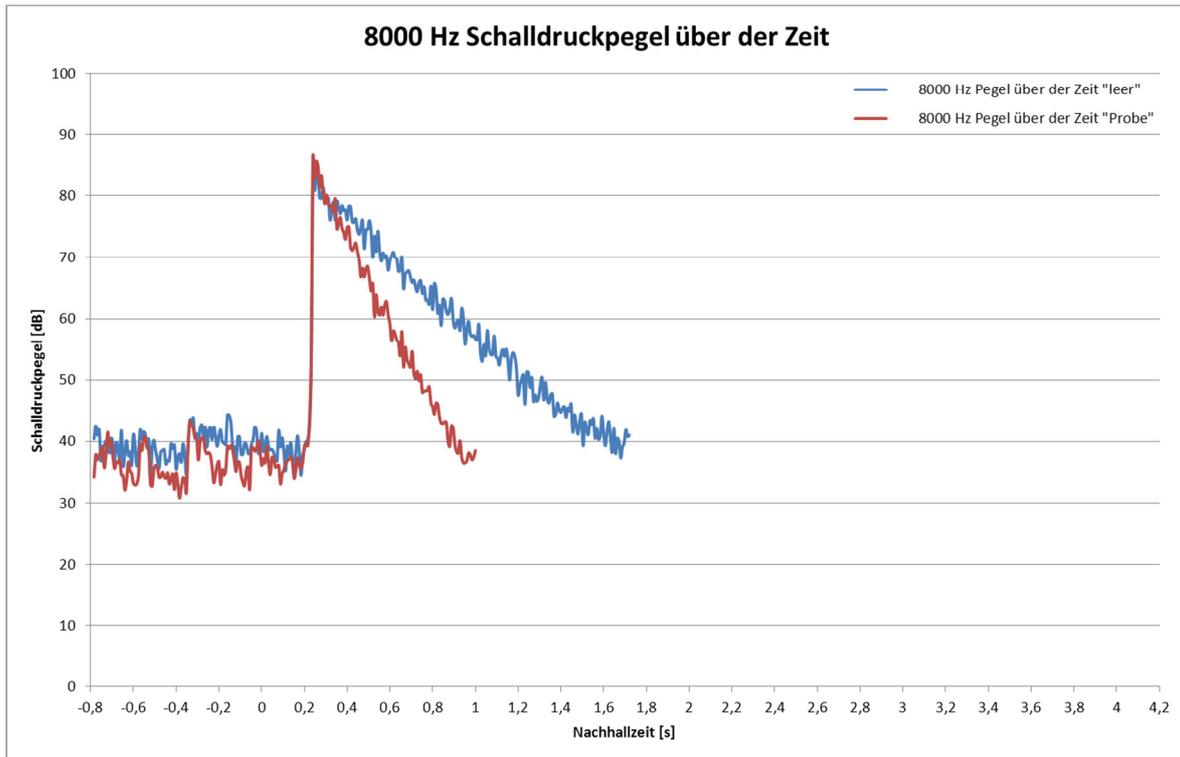
Auf der EXCEL-Grafik können die Nachhallzeiten T_{20} und T_{30} direkt abgelesen werden.

2000 Hz Terz Verlauf der Nachhallzeit



Auf der EXCEL-Grafik können die Nachhallzeiten T_{20} und T_{30} direkt abgelesen werden.

8000 Hz Terz Verlauf der Nachhallzeit



Auf der EXCEL-Grafik können die Nachhallzeiten T_{20} und T_{30} direkt abgelesen werden.

Für die Berechnung der Nachhallzeiten mittels Rückwärtsintegration (Bildung der Rückwärtssumme aus quadrierten Pegeln über der Zeit mit „Normierung“ auf Startwert 0 dB) sollten die Pegelwerte im „Rauschbereich“ nach Ablauf der Nachhallzeit gelöscht werden wie in den Graphiken oben dargestellt.

Die Werte der Y-Achse lassen sich mit geänderter Rechenoperation „halbieren“ und entsprechen dann den „Bildschirmwerten“ des NORSONIC-Analysators. Allerdings müssen dann auf der die X-Achse abgelesenen Werte T_{30} und T_{20} der Nachhallzeiten auf T_{60} angepasst werden:

- $T_{30} * 2$ und $/ 2$

- $T_{20} * 3$ und $/ 2$

weil sich ja die X-Achse nicht ändert.

Die auf dem Bildschirm dargestellten Nachhallzeiten T_{20} und T_{30} entsprechen den auf T_{60} hochgerechneten Nachhallzeiten.

Die X-Achse auf dem Analysator stellt „Perioden“ von 8 Millisekunden Dauer dar.

Die gerechnete X-Achse auf dem EXCEL-Diagramm stellt die Nachhallzeit in Sekunden dar.

Die Formel der Schroeder'schen Rückwärtsintegration dazu:

$$\langle g^2(t) \rangle = \int_t^\infty [h(t')]^2 dt' = \int_0^\infty [h(t')]^2 dt' - \int_0^t [h(t')]^2 dt'$$

Die äquivalente Schallabsorptionsfläche eines Raumes

ist die hypothetische Größe einer vollständig schallabsorbierenden Oberfläche ohne Beugungseffekte (z.B. an den Probenrändern), welche die gleiche Nachhallzeit in einem Raum ergeben würde, als wenn sie das einzig absorbierende Element im Raum wäre.

Anmerkungen:

Die Fläche wird in Quadratmeter gemessen [m^2]

Für den leeren Hallraum wird die Fläche mit A_{leer} bezeichnet, für den Hallraum mit eingebrachtem Prüfobjekt mit A_{probe} .

$$A_{leer} = 55,3 * V * \frac{1}{c_0 * \sqrt{\frac{t_u}{T_0} + 1}} * \left(\frac{1}{T_{leer}} \right)$$

$$A_{probe} = 55,3 * V * \frac{1}{c_0 * \sqrt{\frac{t_u}{T_0} + 1}} * \left(\frac{1}{T_{probe}} \right)$$

Die äquivalente Absorptionsfläche des Prüfobjektes A_T ist definiert als Differenz der Schallabsorptionsfläche des Hallraumes mit und ohne Prüfobjekt [m^2]

Der Schallabsorptionsgrad α_s ist das Verhältnis von äquivalenter Schallabsorptionsfläche eines Prüfobjektes zur Fläche des Prüfobjektes.

Anmerkungen:

Bei beidseitig beschallten Absorbern ist der Schallabsorptionsgrad α_s das Verhältnis aus äquivalenter Schallabsorptionsfläche des Prüfobjektes und der Fläche **beider** Seiten des Prüfobjektes.

Der Schallabsorptionskoeffizient, der aus Messungen der Nachhallzeit berechnet wird kann Werte größer als 1,0 erreichen, z.B. durch Streueffekte und/oder Schallfeldbeugung an den Probenrändern. Daher darf der Schallabsorptionsgrad α_s nicht in Prozent angegeben werden. Bei der Anwendung des Index „s“ wird eine Verwechslung mit dem Schallabsorptionsgrad vermieden, der als Verhältnis von nicht reflektierter zu auftreffender Schallenergie definiert ist, wenn eine ebene Schallwelle auf eine ebene Wand unter einem bestimmten Schalleinfallswinkel auftrifft. Dieser „geometrische“ Schallabsorptionsgrad – nach ISO 10 534 – ist nie größer als 1,0 und kann daher in Prozent angegeben werden.

Der Schallabsorptionsgrad α_s berechnet aus arithmetisch gemittelten Nachhallzeiten an 6 – 12 Mikrofonpositionen T_{leer} und T_{Probe}

$$\alpha_s = 55,3 * \frac{V}{A} * \frac{1}{c_0 * \sqrt{\frac{t_u}{T_0} + 1}} * \left(\frac{1}{T_{Probe}} - \frac{1}{T_{leer}} \right) - 4V (m_{Probe} - m_{leer})$$

mit:

V als Volumen des Hallraumes [m^3]

A als Fläche der Probe im Hallraum [m^2]

c_0 als Schallgeschwindigkeit der Luft bei $0^\circ C$ oder 273,15 K, also 331,5 m/s

t_u als Umgebungstemperatur [$^\circ C$]

T_{leer} und T_{Probe} als Nachhallzeiten [s]

T_0 als Bezugstemperatur 273,15 K zur Korrektur von c_0 bei Temperaturen $\neq 0^\circ C$

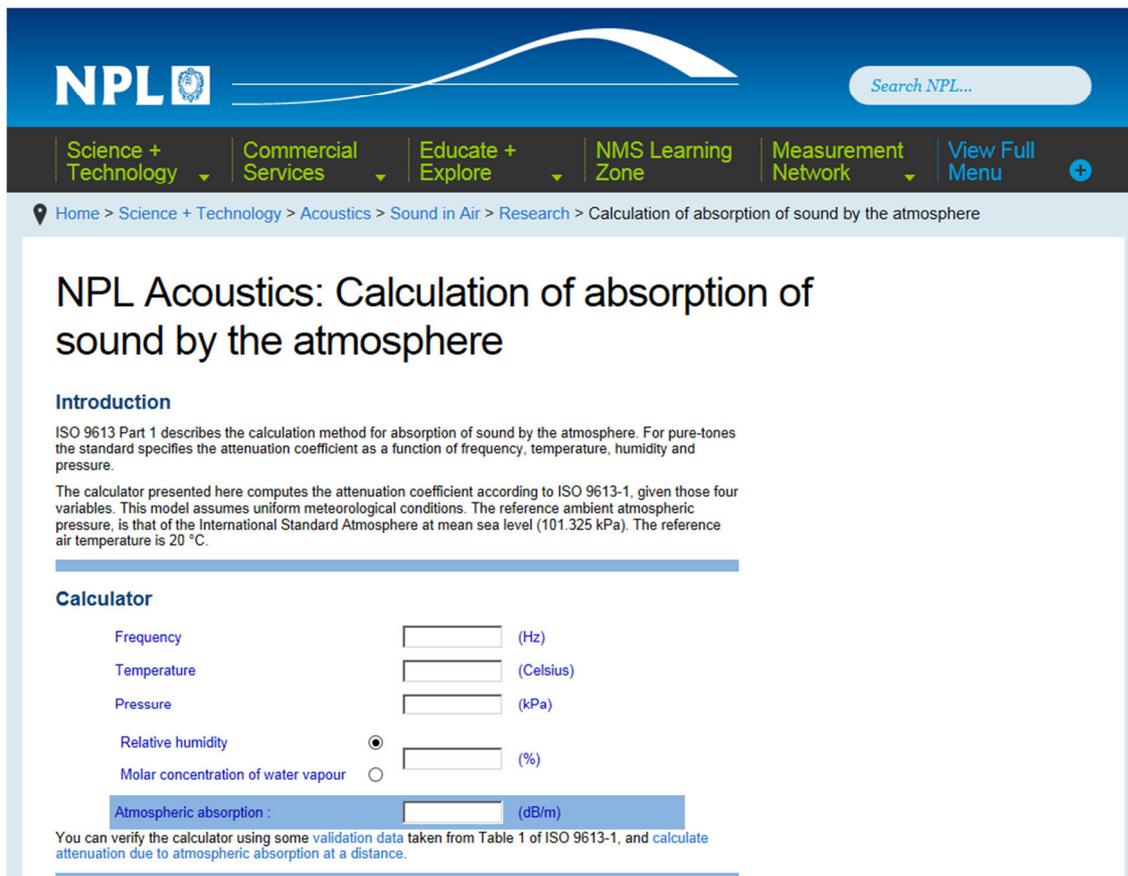
Die frequenzabhängige Korrektur – $4V (m_{Probe} - m_{leer})$ wird erforderlich wenn sich während der Messreihe die relative Luftfeuchte in der Kabine verändert.

$m = \alpha / (10 * \lg(e))$ $e =$ Eulerzahl 2,7... Tabellenwerk nach ISO 9613-1

Bei konstanter Luftfeuchte, Temperatur im klimatisierten Labor und Luftdruck während der Messung ist die Differenz ($m_{Probe} - m_{leer}$) = 0

Mithilfe der unten aufgeführten Internetverbindung lassen sich die Korrekturen nach ISO 9613-1 frequenzabhängig bestimmen

<http://resource.npl.co.uk/acoustics/techguides/absorption/>



The screenshot shows the NPL website interface. At the top, there is a navigation bar with the NPL logo and a search bar. Below the navigation bar, there are several menu items: Science + Technology, Commercial Services, Educate + Explore, NMS Learning Zone, Measurement Network, and View Full Menu. The main content area is titled "NPL Acoustics: Calculation of absorption of sound by the atmosphere". It includes an introduction section explaining the ISO 9613 Part 1 standard and the calculator's purpose. Below the introduction is a "Calculator" section with input fields for Frequency (Hz), Temperature (Celsius), Pressure (kPa), Relative humidity (checked), and Molar concentration of water vapour (unchecked). The result is displayed as "Atmospheric absorption : [] (dB/m)". A note at the bottom of the calculator section states: "You can verify the calculator using some validation data taken from Table 1 of ISO 9613-1, and calculate attenuation due to atmospheric absorption at a distance."

Bewertung des Absorptionsgrades nach ISO 11654

Praktischer Absorptionsgrad α_p nach ISO 11654

Ermittlung aus gemessenen Terz-Absorptionsgraden

- Arithmetische Mittelung des Absorptionsgrades aus den drei zur Oktave gehörenden Terzen
- Werte auf 2 Dezimale begrenzen
- Runden auf 0,05

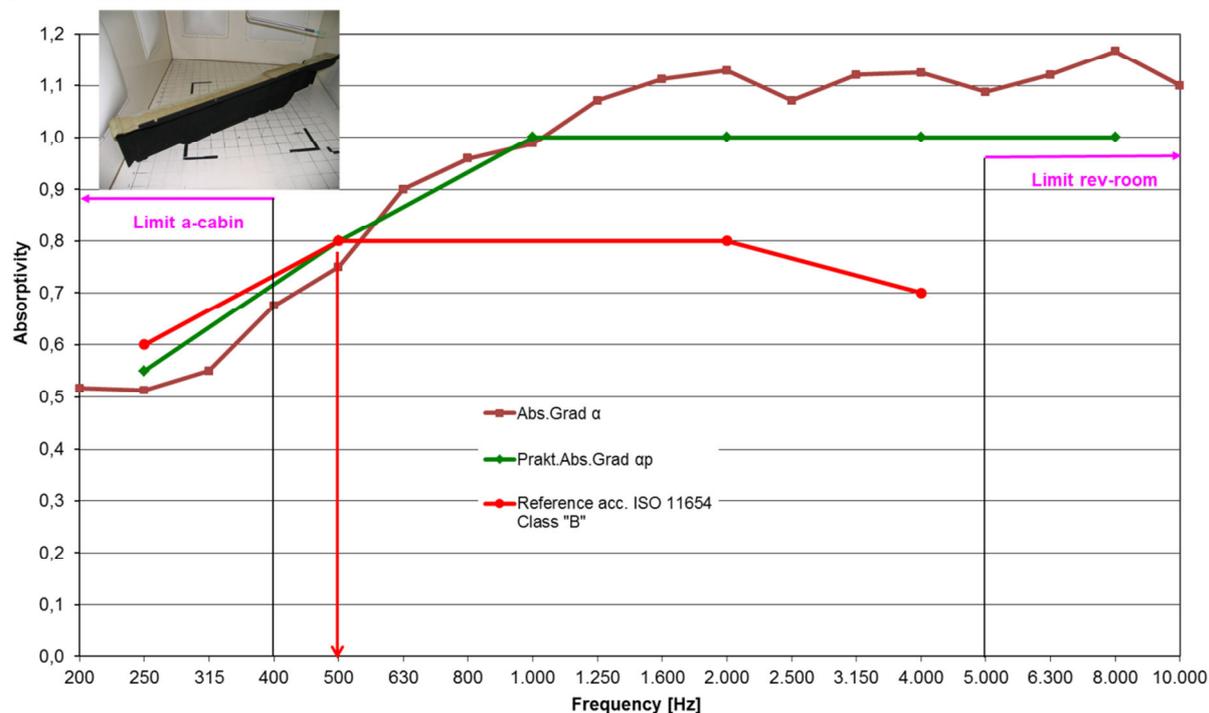
Maximaler Absorptionsgrad α_p ist auf 1 begrenzt

Bewerteter Absorptionsgrad nach ISO 11654

- Anwendung des Bezugskurvenverfahrens
- Verschieben der Bezugskurve in Richtung der Messwerte in Schritten von 0,05
- Maximale Summe der ungünstigen Abweichungen $\leq 0,1$
- Der Wert der verschobene Bezugskurve bei 500 Hz ist α_w

Beispiel: $\alpha_w = 0,8 \Rightarrow$ Schallabsorptionsklasse „B“

BORGERS JB- α -cabin airborne noise absorption acc. ISO 354 EN ISO 11654	VOLVO Truck "Bonnet" left 70 mm Alpha Cabin	Report: 01402 14.08.2008
		Engineer: J. Borgers TAK
		Page: 1



Klassifizierung α_w nach ISO 11654

Schallabsorptionsklasse	α_w -Werte
A	0,90; 0,95; 1,00
B	0,80; 0,85
C	0,60; 0,65; 0,70; 0,75
D	0,30; 0,35; 0,40; 0,45; 0,50; 0,55
E	0,15; 0,20; 0,25
Nicht Klassifiziert	0,00; 0,05; 0,10