

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formel

Technische Akustik

Formelsammlung

2016

Jan Borgers

ammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

Formelsammlung

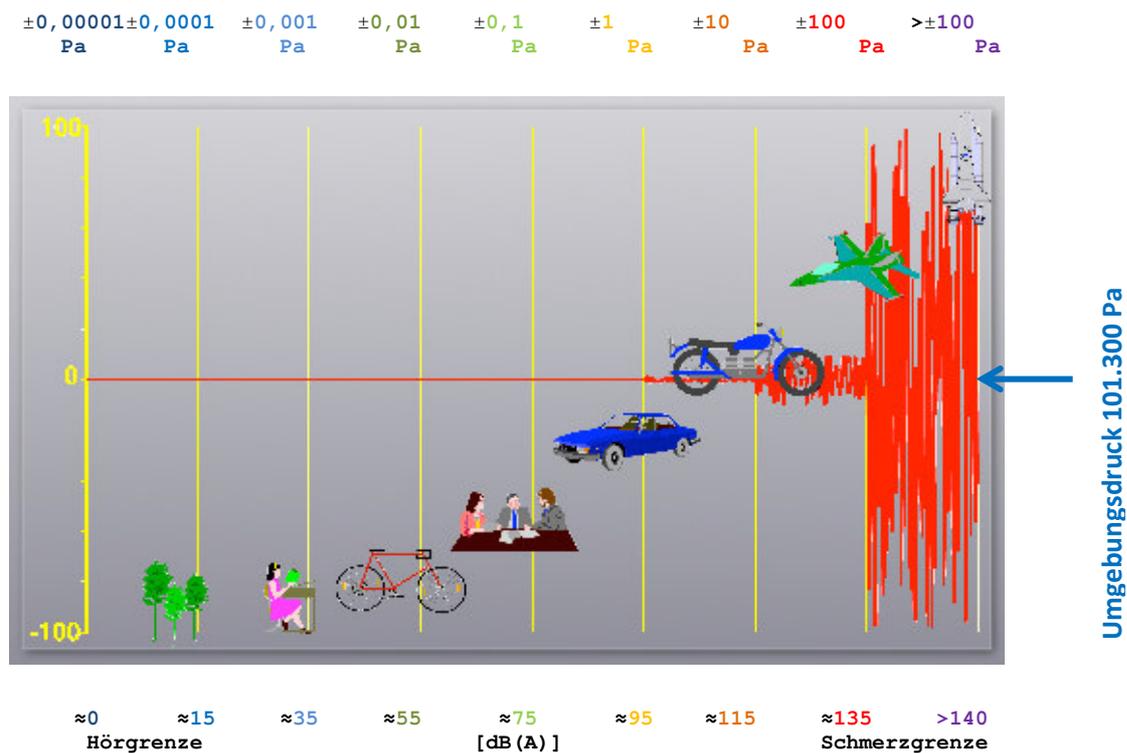
1. Grundlagen	
• Bezugsgrößen für Schalldruck; Schallleistung	Seite 2
• Filterkurven A-; B-; C-Gewichtung	Seite 3
• Terz-; Oktavfilter und deren Bandbreiten	Seite 5
• Rauschsignale / Impulse	Seite 7
2. Luftströmungswiderstand	
• Definition	Seite 10
• Berechnung aus Faser- und Vlieseigenschaften	Seite 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

1. Grundlagen

Der normale akustische Hörbereich liegt – bei jungen Personen – zwischen ca. 15 Hz bis 16.000 Hz. Im Frequenzbereich zwischen 1.000 und 6.000 Hz kann das Ohr – bei jungen Personen – Differenzdrücke bis hinunter zu 20 µPa wahrnehmen.

Verglichen mit dem statischen Druck der Atmosphäre von 1.013 hPa, ist das eine Variation von $2 * 10^{-10}$

In etwas anderer Schreibweise 101.300 Pa ± 0,000.020 Pa



Bezugsgrößen für Schalldruck; Schalleistung

Schalldruck: $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$; ($20 * 10^{-6} \text{ Pa}$)

Schalleistung: $W_0 = 1 \text{ pW}$; ($1 * 10^{-12} \text{ W}$)

Der Schalldruckpegel berechnet sich aus:

$$L_p = 10 * \lg\left(\frac{p(t)}{p_0}\right)^2 = 20 * \lg\left(\frac{p(t)}{p_0}\right)$$

mit $p(t)$ als Schalldruck zur Zeit t und $p_0 = 20 \mu\text{Pa}$

Die Umkehrfunktion dazu:

$$p(t) = p_0 * 10^{\left(\frac{L_p}{20}\right)}$$

Der Schallleistungspegel berechnet sich aus:

$$L_w = 10 * \lg\left(\frac{W}{W_0}\right)$$

mit W als Schallleistung und $W_0 = 1 \text{ pW}$ als Bezugsgröße.

Die Umkehrfunktion dazu:

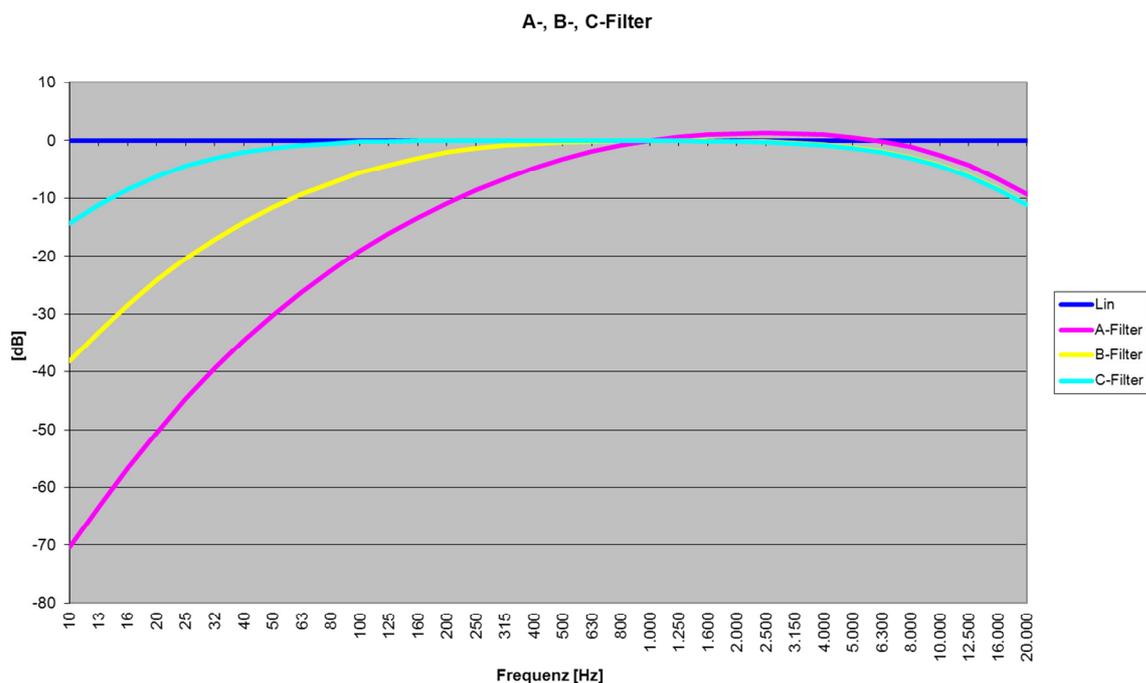
$$W = W_0 * 10^{\left(\frac{L_w}{10}\right)}$$

Der Schallintensitätspegel berechnet sich aus:

$$L_I = 10 * \lg\left(\frac{I}{I_0}\right)$$

mit I als Schalintensität und $I_0 = 10^{-10} \frac{W}{m^2}$ als Bezugsgröße.

Filterkurven A-, B-, C-Gewichtung



„Linear“: so misst das Messsystem ~gerät

„A“-bewertet: so hört der Mensch bis zu ca. 75 dB(A)

„B“-Bewertung für Pegel größer 75 dB(A) z.B. in/an Kraftfahrzeugen

„C“-Bewertung für sehr hohe Schalldruckpegel z.B. in/an Flugzeugen

Nicht dargestellt ausschließlich für die Luftfahrtindustrie die „D“-Filter Bewertung

Werte der Filterkurven A-, B-, C-Gewichtung

Mittenfrequenz [Hz]	Filterkurven [dB]			
	Lin	A-Filter	B-Filter	C-Filter
10	0	-70,4	-38,2	-14,3
13	0	-63,4	-33,2	-11,2
16	0	-56,7	-28,5	-8,5
20	0	-50,5	-24,2	-6,2
25	0	-44,7	-20,4	-4,4
32	0	-39,4	-17,1	-3,0
40	0	-34,6	-14,2	-2,0
50	0	-30,2	-11,6	-1,3
63	0	-26,2	-9,3	-0,8
80	0	-22,5	-7,4	-0,5
100	0	-19,1	-5,6	-0,2
125	0	-16,1	-4,2	-0,1
160	0	-13,4	-3,0	0,0
200	0	-10,9	-2,0	0,0
250	0	-8,6	-1,3	0,0
315	0	-6,6	-0,8	0,0
400	0	-4,8	-0,5	0,0
500	0	-3,2	-0,3	0,0
630	0	-1,9	-0,1	0,0
800	0	-0,8	0,0	0,0
1.000	0	0,0	0,0	0,0
1.250	0	0,6	0,0	0,0
1.600	0	1,0	0,0	-0,1
2.000	0	1,2	-0,1	-0,2
2.500	0	1,3	-0,2	-0,3
3.150	0	1,2	-0,4	-0,5
4.000	0	1,0	-0,7	-0,8
5.000	0	0,5	-1,2	-1,3
6.300	0	-0,1	-1,9	-2,0
8.000	0	-1,1	-2,9	-3,0
10.000	0	-2,5	-4,3	-4,4
12.500	0	-4,3	-6,1	-6,2
16.000	0	-6,6	-8,4	-8,5
20.000	0	-9,3	-11,1	-11,2

Terzband-, Oktavbandfilter und deren Bandbreiten Berechnung aus den Bandmittenfrequenzen

$$f_0 = \sqrt{f_u * f_o} \text{ und}$$

für Terzen $f_o = \sqrt[3]{2} * f_u$

für Oktaven $f_o = 2 * f_u$ ergibt sich nach Umformungen

für Terzen: $f_u = f_0 * \frac{1}{\sqrt[3]{2}}$ $f_o = f_0 * \sqrt[3]{2}$

für Oktaven: $f_u = f_0 * \frac{1}{\sqrt{2}}$ $f_o = f_0 * \sqrt{2}$

mit

f_0 als Bandmittenfrequenz

f_o als obere Bandbegrenzungsfrequenz

f_u als untere Bandbegrenzungsfrequenz

Terz-; Oktavfilter und deren Bandbreiten

Mittenfrequenz [Hz]	Terzbandbreite = Mittenfrequenz $/2^{1/6}$; $*2^{1/6}$		Oktavbandbreite = Mittenfrequenz $/2^{1/2}$; $*2^{1/2}$	
	untere Grenzfrequenz gerundet [Hz]	obere Grenzfrequenz gerundet [Hz]	untere Grenzfrequenz gerundet [Hz]	obere Grenzfrequenz gerundet [Hz]
10	8,9	11,2		
12,5	11,2	14,0		
16	14,0	17,8	11	22
20	17,8	22,4		
25	22,4	28,2		
31,5	28,2	35,0	22	44
40	35,0	44,7		
50	44,7	56,2		
63	56,2	70,8	44	88
80	70,8	89,1		
100	89,1	112		
125	112	141	88	177
160	141	178		
200	178	224		
250	224	282	177	355
315	282	355		
400	355	447		
500	447	562	355	710
630	562	708		
800	708	891		
1.000	891	1.122	710	1.420
1.250	1.122	1.413		
1.600	1.413	1.778		
2.000	1.778	2.239	1.420	2.840
2.500	2.239	2.818		
3.150	2.818	3.548		
4.000	3.548	4.467	2.840	5.680
5.000	4.467	5.623		
6.300	5.623	7.079		
8.000	7.079	8.913	5.680	11.360
10.000	8.913	11.220		
12.500	11.220	14.130		
16.000	14.130	17.780	11.360	22.720
20.000	17.780	2.390		

Terz- und Oktavmittenfrequenzen nach ISO 266

	Normfrequenzen	ISO 266		Normfrequenzen
Zahl	gerechnet nach ISO 266 $f=1000 \cdot 10^{\text{Zahl}}$		Zahl Frequenz- band	gerechnet nach ISO 266 $f=2^{(\text{Zahl}/3)}$
-20	10		10	10,07937
-19	12,58925		11	12,69921
-18	15,84893		12	16
-17	19,95262		13	20,15874
-16	25,11886		14	25,39842
-15	31,62278		15	32
-14	39,81072		16	40,31747
-13	50,11872		17	50,79683
-12	63,09573		18	64
-11	79,43282		19	80,63495
-10	100		20	101,59367
-9	125,89254		21	128
-8	158,48932		22	161,26989
-7	199,52623		23	203,18733
-6	251,18864		24	256
-5	316,22777		25	322,53979
-4	398,10717		26	406,37467
-3	501,18723		27	512
-2	630,95734		28	645,07958
-1	794,32823		29	812,74934
0	1.000		30	1.024
1	1.258,92541		31	1.290,15916
2	1.584,89319		32	1.625,49868
3	1.995,26231		33	2.048
4	2.511,88643		34	2.580,31831
5	3.162,27766		35	3.250,99735
6	3.981,07171		36	4.096
7	5.011,87234		37	5.160,63662
8	6.309,57344		38	6.501,99471
9	7.943,28235		39	8.192
10	10.000		40	10.321,27324
11	12.589,25412		41	13.003,98942
12	15.848,93192		42	16.384
13	19.952,62315		43	20.642,54648

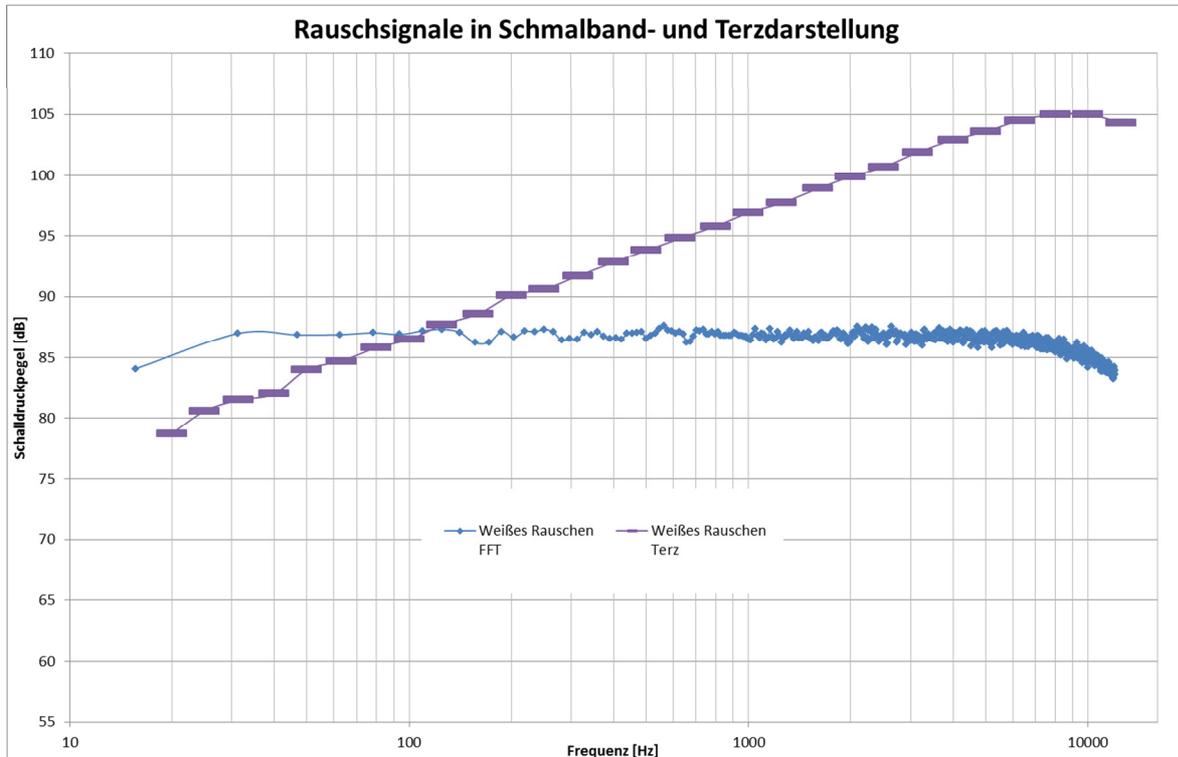
Umrechnung von Terzpegeln in Oktavpegel

$$L_{Oktav} = 10 * \lg(10^{\left(\frac{L_{Terz1}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{L_{Terz2}}{10}\right)} + 10^{\left(\frac{L_{Terz3}}{10}\right)})$$

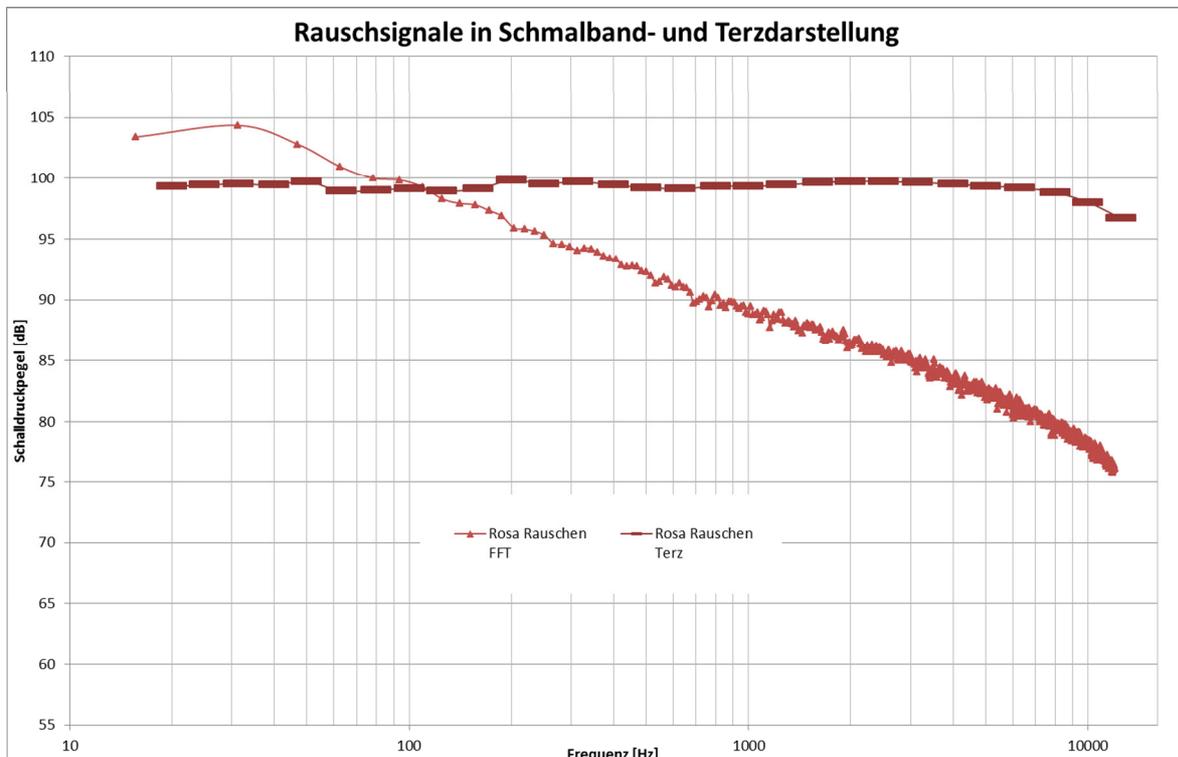
 mit $L_{Terz n}$ als Schalldruckpegel der Terz n

Rauschsignale

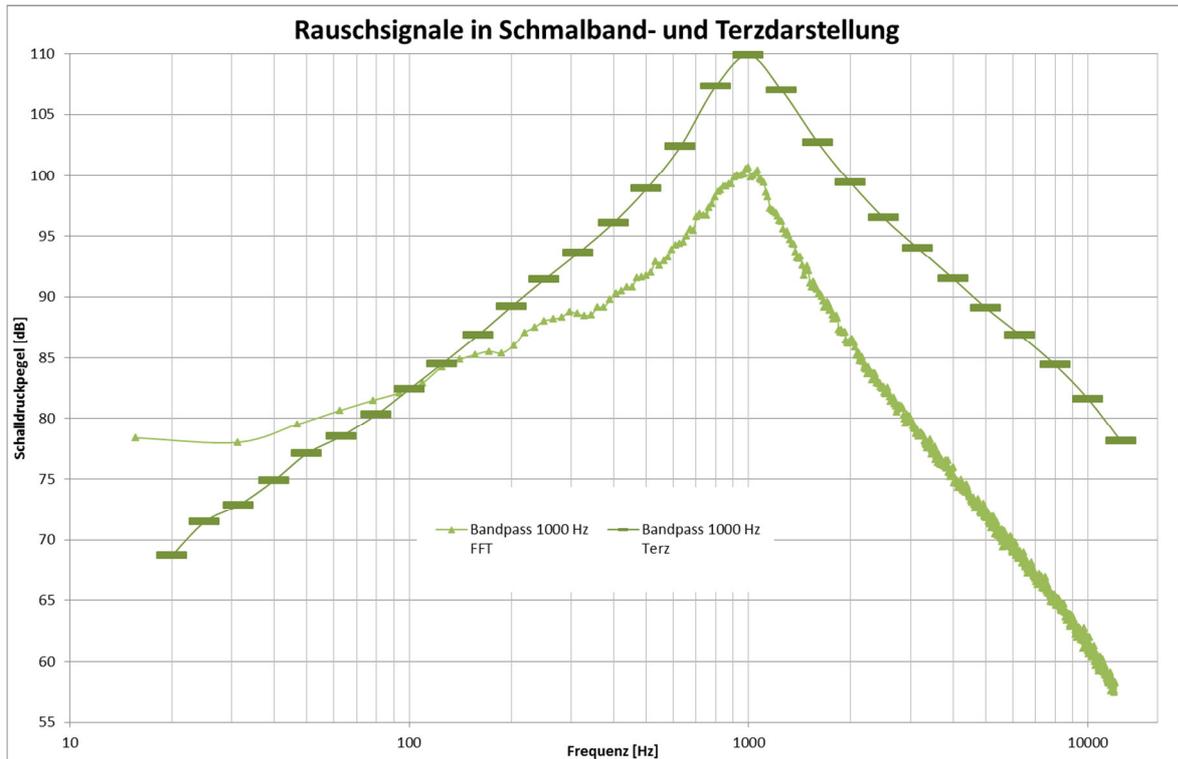
Weißes Rauschen: Gleicher Schalldruck im Schmalband, +3 dB pro Oktave in den Terzbändern



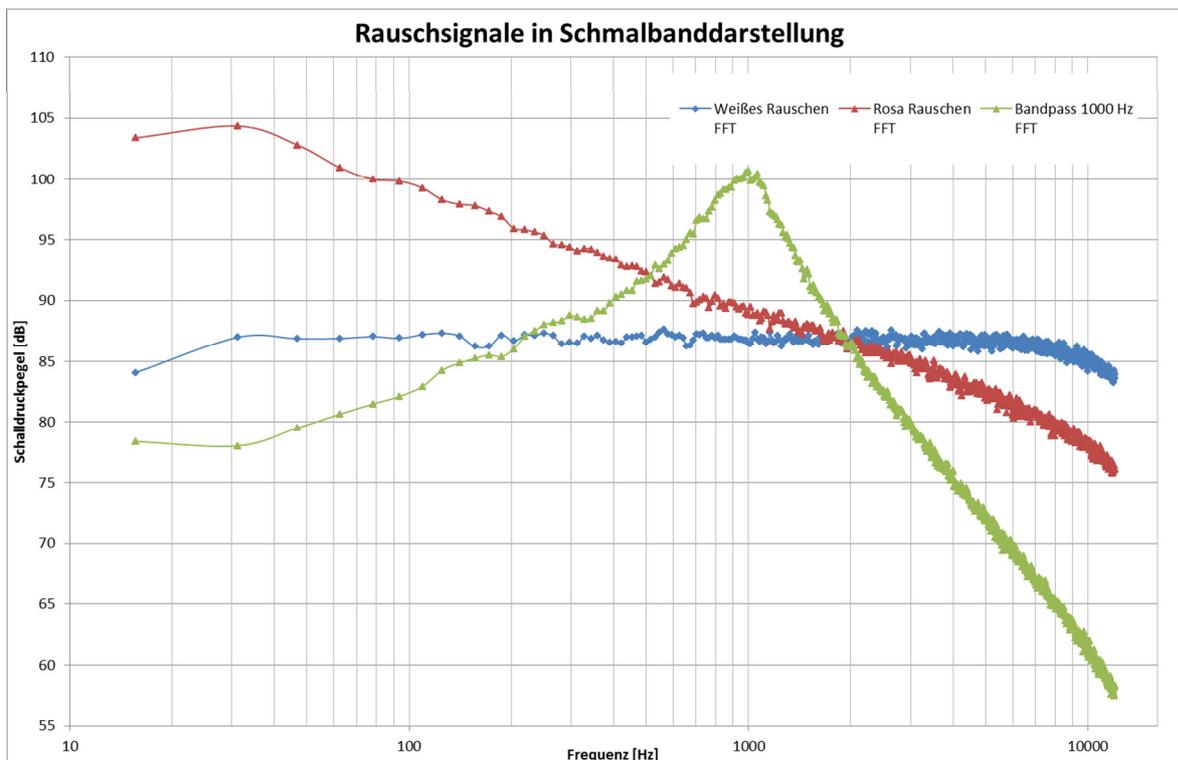
Rosa Rauschen: Gleicher Schalldruck in den Terzbändern; -3 dB pro Oktave im Schmalband



Bandpass Rauschen: Abfallender Schalldruck außerhalb der gewählten Terzmittenfrequenz



Zum Vergleich die Schmalbandsignale



Weitere Signale hier nicht dargestellt: Sinus-Signal; Rechteck-Signal; Sägezahn-Signal

Dirac-Impuls oder δ -Funktion:

Die Dirac'sche Deltafunktion wurde 1927 von Dirac eingeführt, aber erst im Jahre 1950 von Schwartz in seiner Distributionstheorie mathematisch exakt als Limes einer Funktionenreihe erklärt.

1. $\delta(x - x_0) = 0$ für $x \neq x_0$
2. $\int_{x_1}^{x_2} \delta(x - x_0) dx = 1$ für $x_1 < x_0 < x_2$
3. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta(x - x_0) dx = f(x_0)$
4. $\int_{-\infty}^{\infty} f(x) \delta'(x - x_0) dx = -f'(x_0)$
5. $\delta(f(x)) = \frac{1}{\left| \frac{df}{dx} \right|_{x=x_0}} \delta(x - x_0)$

Die δ -Funktion schließt mit der Achse also die Fläche 1 ein und ist nur in einem Punkt verschieden von Null. Mathematisch erklärt ist die δ -Funktion als Grenzwert einer Folge von Funktionen, die alle die Fläche 1 einschließen und deren von 0 verschiedener Bereich über einem immer enger werdenden Intervall liegt.

Anwendung: Wird zum Teil in Hallräumen (Schreckschuss-Impulsanregung) und bei Modalanalysen (Impulshammer) benutzt.

Sprung-Funktion:

Die Heaviside-Funktion hat für jede beliebige negative Zahl den Wert null, andernfalls den Wert eins. Die Heaviside-Funktion ist mit Ausnahme der Stelle $x = 0$ überall stetig. In Formeln geschrieben heißt das:

$$\Theta(x) : \mathbb{R} \rightarrow \{0, 1\}$$

$$x \mapsto \begin{cases} 0: & x < 0 \\ 1: & x \geq 0 \end{cases}$$

Anwendung: Schwingungs- und Festigkeitsanalysen

Darstellung der Funktionen

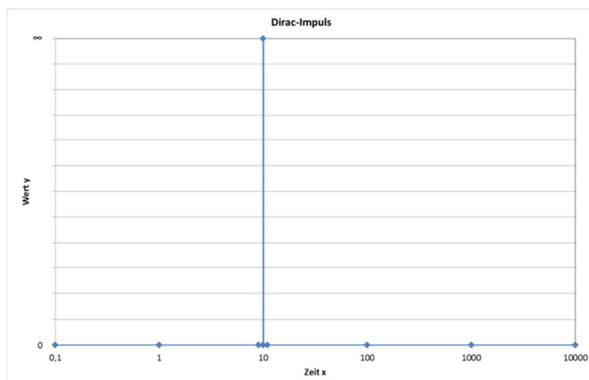


Bild Dirac-Impuls

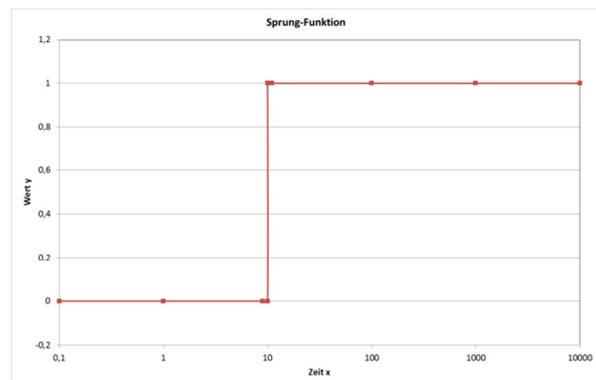


Bild Sprung-Funktion

Die Rauschsignale sind selbstverständlich auch als Impulse verfügbar.