

Erschütterungsleistung und Erschütterungsleistungspegel als Emissionsmaß



Leitmarkt
Agentur.NRW

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



2014

EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Emissionsmaße im Lärmschutz

Anmerkung:

- Emissionsmaße beschreiben die Quelle
- Immissionsmaße beschreiben die Situation an einem Einwirkungsort

Schalldruck Immission p [Pa]

Schalldruckpegel Immission $20 \log(p/p_0)$ dB (A)

Bezug $p_0 = 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$

Schallintensität Immission I_A [W m^{-2}]

Schallintensitätspegel Immission $10 \log(I_A/I_0)$ dB (A)

Bezug $I_0 = 1 \text{ pW m}^{-2} = 10^{-12} \text{ W m}^{-2}$

Schalleistung Emission P_A [W]

Schalleistungspegel Emission $10 \log(P_A/P_0)$ dB(A)

Bezug $P_0 = 10^{-12} \text{ W}$

- Gegebenenfalls können zusätzlich spektrale Größen eine Rolle spielen, Oktavspektren, Terzspektren
- Die akustische Impedanz ist $Z = \rho c$ [$\text{kg m}^2 \text{ s}^{-1}$]
- Die Schalleistung P_A bzw. der Schalleistungspegel sind weder raum- noch entfernungsabhängig



Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



2014 EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Emissionsmaße im Erschütterungsschutz

Schwinggeschwindigkeit	Immission	v	$[m\ s^{-1}]$
Erschütterungsintensität	Immission	I_E	$[W\ m^{-2}]$
Erschütterungsintensitätspegel	Immission	$10 \log (I_E/I_0)$	dB

Bezug $I_0 = 1\ W\ m^{-2}$

Erschütterungsleistung	Emission	P_E	$[W]$
Erschütterungsleistungspegel	Emission	$10 \log P_E/P_0$	dB

Bezug $P_0 = 1\ W$

- Gegebenenfalls können zusätzlich spektrale Größen eine Rolle spielen, Amplituden-Dichte-Spektren, Leistungs-Dichte-Spektren (PSD)
- Die akustische Impedanz ist $Z = \rho c [kg\ m^2\ s^{-1}]$
- Die Erschütterungsleistung P_E bzw. der Erschütterungsleistungspegel sind weder raum- noch entfernungsabhängig

Anmerkung:

- Emissionsmaße beschreiben die Quelle
- Immissionsmaße beschreiben die Situation an einem Einwirkungsort



Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen

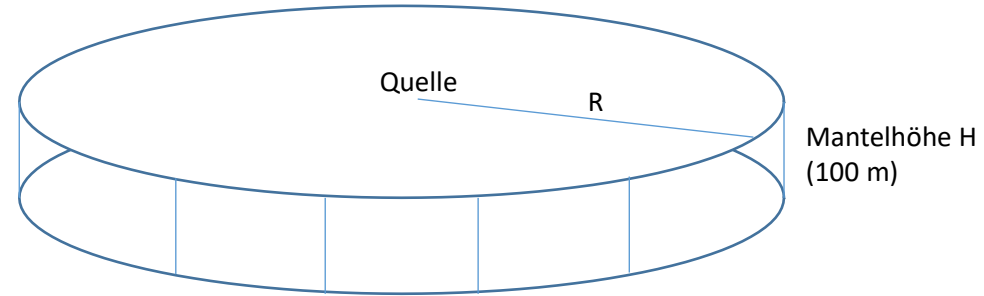
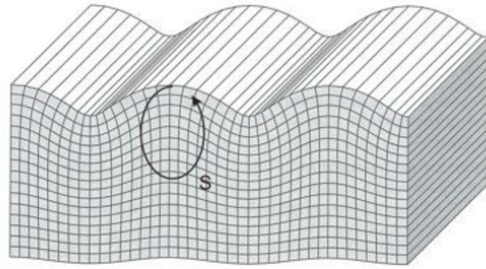


EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Erschütterungsintensität



- Die Erschütterungswellen von Quellen an der Erdoberfläche, (Oberflächenwellen) breiten sich zylinderförmig aus.
- Die Erschütterungsenergie verteilt sich auf die Mantelfläche des Zylinders
- Die Erschütterungsintensität ist der Energiedurchfluss durch einen Quadratmeter der Mantelfläche $M = 2\pi R H$ pro Sekunde. Sie ergibt sich zu:

$$I_E = v^2 \rho c_R \text{ oder } \mathbf{v^2 Z} \text{ [kg s}^{-3}\text{] mit}$$

$$I_E = \text{Erschütterungsintensität [kg s}^{-3}\text{]}$$

v = Schwinggeschwindigkeit, Maximum oder I95

Z = Akustische Impedanz ρc_R [kg m² s⁻¹]

ρ = Dichte des Untergrundes [kg m⁻³]

c_R = Ausbreitungsgeschwindigkeit der Oberflächenwellen (Airy-Phase der Rayleighwellen) [m s⁻¹]

Erschütterungsleitung, Erschütterungsleistungspegel

Es ergibt sich die **Erschütterungsleistung** der Quelle (in Watt) zu

$$P_E = I_E M \text{ [kg m}^2 \text{ s}^{-3}\text{] [W] oder}$$

$$P_E = v^2 Z M \text{ [kg m}^2 \text{ s}^{-3}\text{] [W]}$$

mit

M = Mantelfläche der zylinderförmigen Wellenfront, $2\pi R H$ [m²] und dabei

H = Höhe des Zylinders der Wellenfront [m]

Der **Erschütterungsleistungspegel** ist dann:

$$P_E \text{ (dB)} = 10 \log P_E/P_o \text{ dB}$$



Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



2014 EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Rechenbeispiel

Für einen Messwert für die maximale Schwinggeschwindigkeit von $0,00001 \text{ m s}^{-1}$ ($10 \text{ } \mu\text{m s}^{-1}$) in 100 m Entfernung würde sich dann als Erschütterungsleistung ergeben:

$$v = 10 \text{ } \mu\text{m s}^{-1} = 0,00001 \text{ m s}^{-1}$$

$$\rho = 1,5 \text{ g/cm}^3 = 1,5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3}$$

$$C_R = 700 \text{ m s}^{-1}$$

$$R = 100 \text{ m}$$

$$H = 100 \text{ m}$$

Hieraus ergeben sich:

$$Z = 1.050.000 \text{ kg m}^{-2} \text{ s}^{-1}$$

$$I_E = 0,105 \text{ kg s}^{-3}$$

$$P_E = v^2 \rho c_R M = 10^{-6} \text{ m}^2 \text{ s}^{-2} \cdot 1,5 \cdot 10^3 \text{ kg m}^{-3} \cdot 700 \text{ ms}^{-1} \cdot 6,28 \cdot 100 \text{ m} \cdot 100 \text{ m} = \mathbf{6,6 \text{ W}}$$

Oder für den Erschütterungsleistungspegel:

$$10 \log P_E = 10 \log I_E + 10 \log M = -39,8 + 48 = \mathbf{8,2 \text{ dB}}$$



Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Messbeispiel (DMT)

WEA Typ	WEA Leistung MW	Geologie	Windgeschw. m s ⁻¹	Messabstand m	PGV I95 µm s ⁻¹	I _E mW m ⁻²	P _E W	Leistungspegel dB	PGV I95 (100m) µm s ⁻¹
Enercon E-115	3	Quartär	11,5	21	40	1,680	22,17	13,5	18,3
			11,5	106	7	0,051	3,43	5,3	7,2
			11,5	112	8	0,067	4,73	6,7	8,5
			11,5	92	10	0,105	6,07	7,8	9,6
			11,5	86	10	0,105	5,67	7,5	9,3
			11,5	85	10	0,105	5,61	7,5	9,2
			11,5	201	8	0,067	8,49	9,3	11,3
			11,5	194	8	0,067	8,19	9,1	11,1
			11,5	206	6	0,038	4,89	6,9	8,6
			11,5	211	5	0,026	3,48	5,4	7,3
			11,5	198	8	0,067	8,36	9,2	11,3
			11,5	205	7	0,051	6,63	8,2	10,0
			11,5	196	7	0,051	6,34	8,0	9,8
			11,5	217	9	0,085	11,60	10,6	13,3
			11,5	198	7	0,051	6,40	8,1	9,9
			11,5	188	9	0,085	10,05	10,0	12,3
Median							6,37	8,0	9,8



Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



2014 EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung

Danke



Leitmarkt
Agentur.NRW

Ministerium für Wirtschaft, Innovation,
Digitalisierung und Energie
des Landes Nordrhein-Westfalen



2014

EFRE.NRW
Investitionen in Wachstum
und Beschäftigung



EUROPÄISCHE UNION
Investition in unsere Zukunft
Europäischer Fonds
für regionale Entwicklung