



Akustik

Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren (ISO 9613-2:1996) DIN ISO 9613-2



Begriffe

- äquivalenter A-bewerteter Dauerschalldruckpegel
- Beurteilungszeitraum
- langfristiges Mittel des A-bewerteten Schalldruckpegels für breite Palette von Witterungsbedingungen
- Oktavband-Algorithmen (Bandmittenfrequenzen von 63 Hz bis 8 kHz)



Begriffe

physikalischen Effekte:

- geometrische Ausbreitung;
- Luftabsorption;
- Bodeneffekt;
- Reflexion an Flächen;
- Abschirmung durch Hindernisse



Begriffe

- sind nur A-bewertete Schalleistungspegel der Schallquellen bekannt, können die Dämpfungswerte bei 500 Hz verwendet werden
umgangssprachlich:
rechnen mit A-Schallpegeln



Symbol	Definition	Einheit
A	Oktavband-Dämpfungsmaß	dB
C_{met}	Meteorologische Korrektur	dB
d	Abstand zwischen Punktquelle und Aufpunkt (siehe Bild 3)	m
d_p	Abstand zwischen Punktquelle und Aufpunkt, auf die Bodenebene projiziert (siehe Bild 1)	m
$d_{S,0}$	Abstand zwischen Quelle und Reflexionspunkt auf reflektierendem Hindernis (siehe Bild 8)	m
$d_{O,T}$	Abstand zwischen Reflexionspunkt auf reflektierendem Hindernis und Aufpunkt (siehe Bild 8)	m



d_{SS}	Abstand zwischen Quelle und (erster) Beugungskante (siehe Bild 6 und Bild 7)	m
d_{Sr}	Abstand zwischen (zweiter) Beugungskante und Aufpunkt (siehe Bild 6 und Bild 7)	m
D_l	Richtwirkungsmaß der Punktschallquelle	dB
D_z	Abschirmmaß	dB
e	Abstand zwischen erster und zweiter Beugungskante (siehe Bild 7)	m
G	Bodenfaktor	m
h_s, h_r	Quellhöhe, Aufpunkthöhe über dem Boden	m
h_m	Mittlere Höhe des Ausbreitungsweges über dem Boden	m



H_{max}	Größte Abmessung der Quelle(n)	m
l_{min}	Kleinste Abmessung (Länge oder Höhe) der reflektierenden Ebene (siehe Bild 8)	m
L, L_r	Schalldruckpegel, Beurteilungspegel	dB
L_w	Schalleistungspegel	dB
$L_{w'}$	längenbezogener Schalleistungspegel	dB/m
$L_{w''}$	flächenbezogener Schalleistungspegel	dB/m ²
α	Absorptionskoeffizient der Luft	dB/km
β	Einfall(s)winkel	rad
ρ	Schallreflexionsgrad in (0,2=hochabsorbierend bis 1=schallhart)	-



3.1 äquivalenter A-bewerteter Dauerschalldruckpegel L_{AT}

3.2 äquivalenter Oktavband- Dauerschalldruckpegel bei Mitwind $L_{fT}(DW)$

$$L_{AT} = 10 \lg \left\{ \left[\left(\frac{1}{T} \right) \int_0^T p_A^2(t) dt \right] / p_0^2 \right\} \text{ dB} \quad (1)$$

$$L_{fT}(DW) = 10 \lg \left\{ \left[\left(\frac{1}{T} \right) \int_0^T p_f^2(t) dt \right] / p_0^2 \right\} \text{ dB} \quad (2)$$



Dabei ist:

- $p_A(t)$ der Momentanwert des A-bewerteten Schalldrucks, in Pascal;
- P_0 der Bezugs-Schalldruck ($= 20 \times 10^{-6} \text{ Pa}$);
- T ein festgelegtes Zeitintervall, in Sekunden.

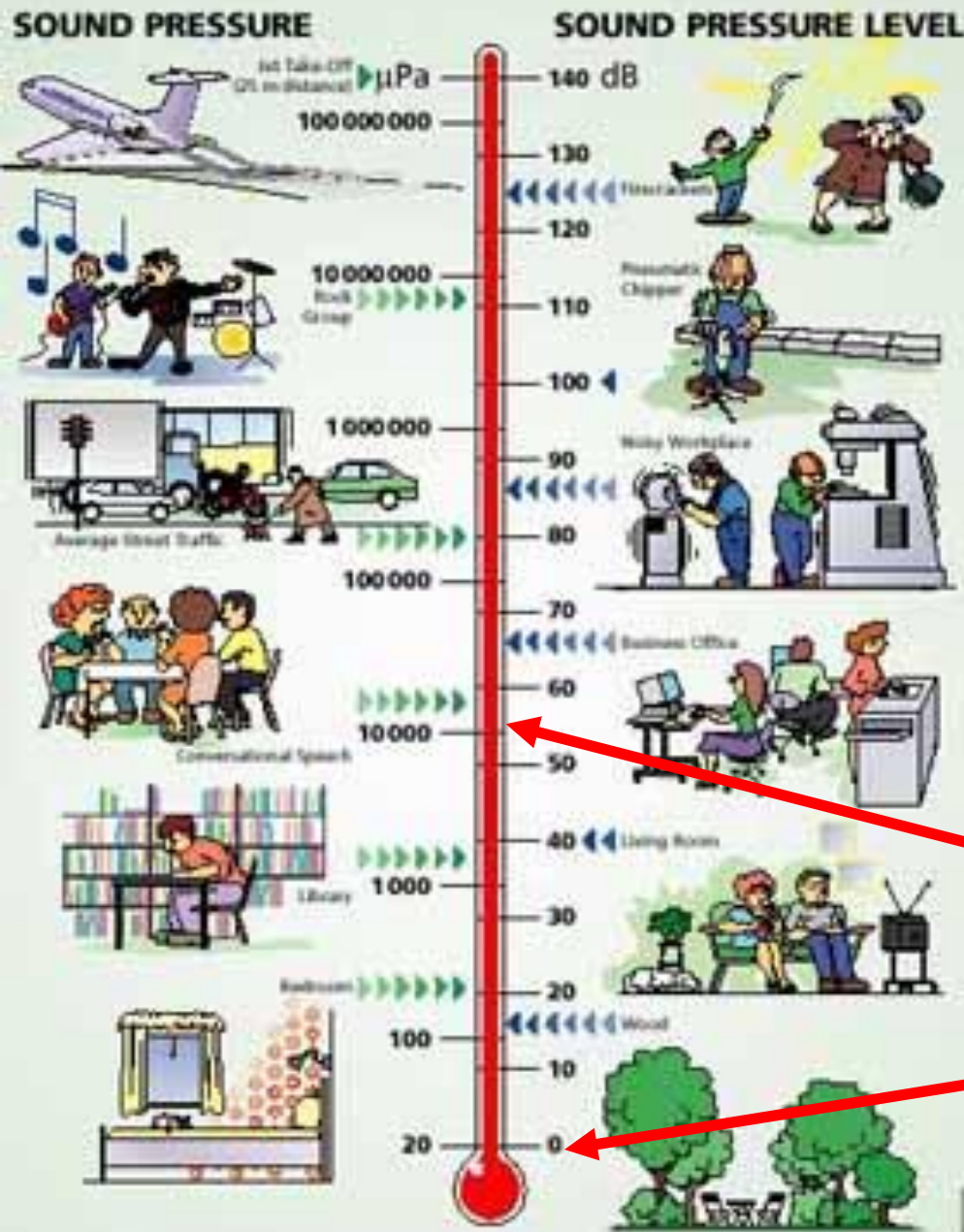
1013 hPc = Hektopascal

ANMERKUNG 2: Das Zeitintervall T sollte lang genug sein, um eine Mittelung der Effekte von sich verändernden meteorologischen Parametern zu bewirken. In diesem Teil von ISO 9613 werden zwei verschiedene Situationen berücksichtigt:

- **Kurzzeitmittelung unter Mitwindbedingungen**
- **Langzeitmittelung unter allen Bedingungen.**

$p_f(t)$

der Momentanwert des Oktavbandschalldrucks bei Mitwind, in Pascal, und Index f die Bandmittenfrequenz eines Oktavbandfilters.



Normal-Luftdruck liegt bei:

$$101.300 \text{ Pa} = 1013 \text{ hPa} (=1013 \text{ mbar})$$

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ N} / \text{m}^2$$

Die hörbaren Druckschwankungen –
Schalldruck - liegen im Bereich von
0,00002 bis 100 Pa (1 hPa)

Beispiel:

$$p_A = 10.000 \mu\text{Pa} = 0.01 \text{ Pa}$$

$$L = 20 \lg (0.01 / (20 \cdot 10^{-6})) = 53.9 \text{ dB}$$

Hörschwelle:

$$p_A = 20 \mu\text{Pa} = 2 \cdot 10^{-7} \text{ hPa} = 2 \cdot 10^{-5} \text{ Pa}$$

$$L = 20 \lg (2 \cdot 10^{-5} / (20 \cdot 10^{-6}))$$

$$L = 20 \lg (1) = 0 \text{ dB}$$

~~Normaldruck = 194 dB~~





Elektrische Betrachtung:

Ein Orchester soll mit einer Schalleistung von $L_w = 27$ Watt spielen (=134 dB), wie groß ist die mittlere Momentanschalleistung $w(t)$?

$$L_w = 10 \lg (w(t)/w_0)$$

Bezugsschalleistung $w_0 = 10^{-12}$ Watt = 1 pW (Picowatt)

$$27/10 = \lg (w(t)/10^{-12})$$

$$\Rightarrow w(t) = 10^{2,7} * 10^{-12} = 10^{-9,3} \text{ Watt}$$

$10^{(0,1\text{dB}-12)}$ Watt = dB z.B.: 90 dB = 10^{-3} Watt



3.3 Einfügungsdämpfungsmaß

(eines Schallschirms)

Differenz, in Dezibel, zwischen den Schalldruckpegeln, die an einem festgelegten Ort unter zwei Bedingungen auftreten:

- ohne den Schallschirm und
- mit (eingefügtem) Schallschirm,

wenn keine weiteren Veränderungen vorliegen, die die Schallausbreitung signifikant beeinflussen.



4 Beschreibung der Schallquelle

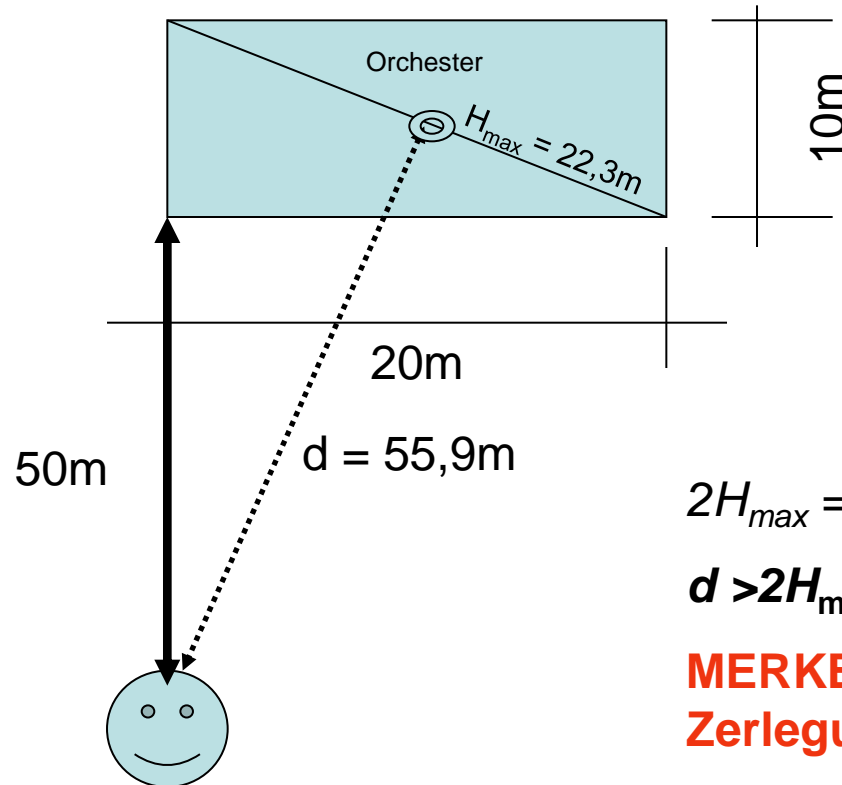
- Punkt-
- Linien-
- Flächenquellen

Alle Berechnungen werden auf Punktquellen reduziert,
immer in Abhängigkeit vom Abstand zwischen Quelle in
Aufpunkt (Immissionsort)

- die Schallquellen näherungsweise dieselbe Quellenstärke und Höhe über dem Boden aufweisen,
- zwischen den Schallquellen und dem Aufpunkt dieselben Ausbreitungsbedingungen vorliegen und
- der Abstand d von der einzelnen äquivalenten Punktquelle zum Empfänger größer ist als das Zweifache der größten Abmessung H_{\max} der Schallquellen ($d > 2H_{\max}$).



2. Wie groß ist der mittlere Schalldruckpegel des Orchesters in 50m Entfernung (Orchesterrand)?



$$2H_{max} = 2 * 22,3 = 44,6m$$

$d > 2H_{max} \Rightarrow$ eine Ersatzpunktschallquelle

MERKE: Falls $d < 2H_{max}$ weitere Zerlegung erforderlich



5 Witterungsbedingungen

- Windrichtung + 45°
- Windgeschwindigkeit etwa 1 m/s und 5 m/s, gemessen in einer Höhe von 3 m bis 11 m über dem Boden (Vorsicht bei hoch liegenden Quellen)
- Die Gleichungen zur Berechnung des zeitlich gemittelten Schalldruckpegels bei Mitwind, $L_{A,T}(DW)$, in diesem Teil von ISO 9613 einschließlich derjenigen für die Dämpfung in Abschnitt 7 beschreiben das Mittel für Witterungsbedingungen innerhalb dieser Grenzwerte. Der Begriff Mittel bezeichnet hier die Mittelung über ein kurzes Zeitintervall, wie in 3.1 definiert.



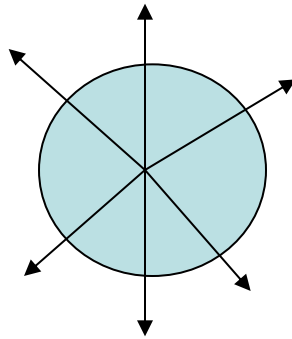
6 Grundlegende Gleichungen

$$L_{fT}(DW) = L_W + D_C - A \quad (3)$$

- L_W der Oktavband-Schalleistungspegel der Punktschallquelle, in Dezibel, bezogen auf eine Bezugsschalleistung von einem Picowatt (1 pW)
- D_C die Richtwirkungskorrektur, zuzüglich eines Richtwirkungsmaßes D_Ω , das die Schallausbreitung in Raumwinkel von weniger als 4π Sterad berücksichtigt
- für eine ungerichtet, ins Freie abstrahlende Punktschallquelle ist $D_C = 0$ dB
- A die Oktavbanddämpfung, in Dezibel, die während der Schallausbreitung von der Punktquelle zum Empfänger vorliegt



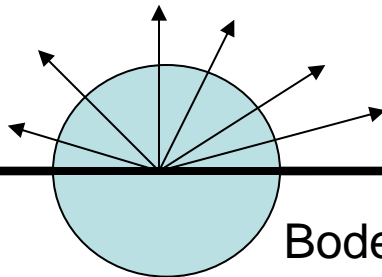
Was ist das Raumwinkelmaß/-korrektur?



Abstrahlung in den Vollraum

Kugeloberfl.: $O = 4 \pi r^2$

$\Rightarrow D_C = 11 - 10 \lg (4 \pi) = 0 \text{ dB}$



Abstrahlung in den Halbraum

Kugeloberfl.: $O = 2 \pi r^2$

$\Rightarrow D_C = 11 - 10 \lg (2 \pi) = 3 \text{ dB}$

Boden (Quelle am Boden:

Hälfte der Energie wird nach oben umgelenkt)



Alle Formen zwischen Voll- und Halbraum können berechnet werden:

$$D_{\Omega} = 10 \lg \{1 + [d_p^2 + (h_s - h_r)^2]/[(d_p^2 + (h_s + h_r)^2)]\} \text{ dB} \quad (11)$$

$$D_{\Omega} = 10 \lg \{1 + [d_p^2 + (h_m - h_r)^2]/[(d_p^2 + (2h_m)^2)]\} \text{ dB für Gelände}$$

Beispiel Windkraftanlage:

$$d_p = 100\text{m}, h_s = 40\text{m},$$

$$h_r = 4\text{m}$$

$$D_{\Omega} = 10 \lg \{1 + [100^2 + 36^2]/[(100^2 + (44)^2)]\} \text{ dB}$$

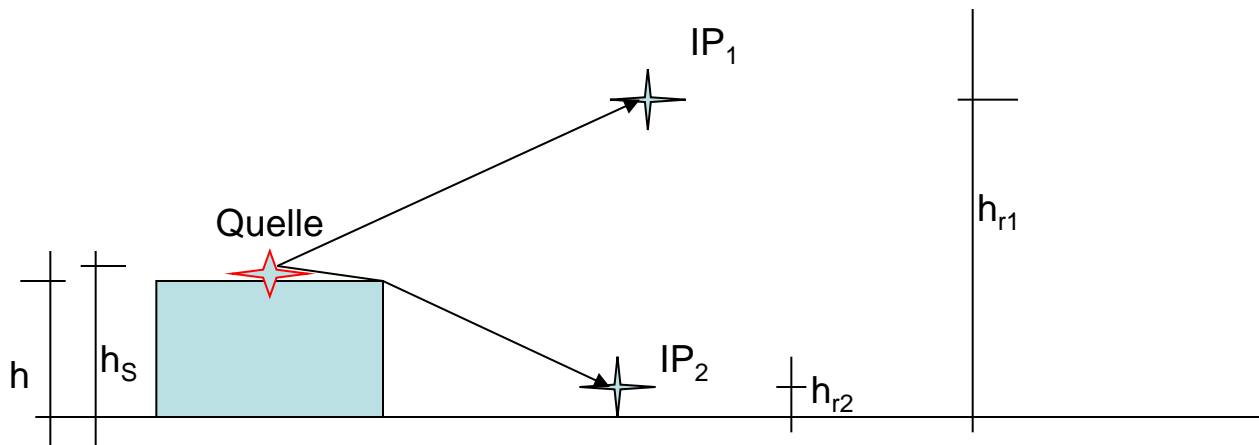
$$= 10 \lg \{1 + [11296]/[11936]\} = 2,8 \text{ dB mit } h_m = 50 \Rightarrow 2,04 \text{ dB}$$



Vorsicht bei Quellen auf Gebäuden

Wie sind h_s und h_r anzusetzen?

1. Fallbeispiel:



$h_s = h_s - h$ und $h_{r1} = h_{r1} - h$ und h_{r2} bleibt!

(weil mit $h_{r2} = h_{r2} - h$ sonst $D_{\Omega} > 3$ werden würde, kann nicht sein)

$$D_{\Omega} = 10 \lg \left\{ 1 + \frac{[dp^2 + (h_s - h_r)^2]}{[dp^2 + (h_s + h_r)^2]} \right\} \text{ dB} \quad (11)$$



2. Fallbeispiel:

$h_s = 20\text{m}$ und $h_r=0$ und $x_s=x_r$ und $y_s=y_r$

$$D_\Omega = 10 \lg \{1 + [dp^2 + (h_s - h_r)^2]/[(dp^2 + (h_s + h_r)^2)]\} \text{ dB} \quad (11)$$

$$D_\Omega = 10 \lg \{1 + [0^2 + (20 - 0)^2]/[(0^2 + (20 + 0)^2)]\} \text{ dB} \quad (11)$$

$$D_\Omega = 10 \lg \{1 + 1\} = 3 \text{ dB} \quad \text{dies ist natürlich Unsinn}$$

3. Fallbeispiel:

Wenn $h_s = 0\text{m}$ ist, h_r „egal“: $D_\Omega = 3 \text{ dB}$ natürlich richtig

Falls $h_r = 0\text{m}$ ist und $h_s \gg 0\text{m}$
muss $D_\Omega = 0 \text{ dB}$ gesetzt werden



$$\mathbf{A} = \mathbf{A}_{\text{div}} + \mathbf{A}_{\text{atm}} + \mathbf{A}_{\text{gr}} + \mathbf{A}_{\text{bar}} + \mathbf{A}_{\text{misc}} \quad (4)$$

A_{div} die Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung
(siehe 7.1);

A_{atm} die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
(siehe 7.2);

A_{gr} die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts
(siehe 7.3);

A_{bar} die Dämpfung aufgrund von Abschirmung
(siehe 7.4);

A_{misc} die Dämpfung aufgrund verschiedener anderer
Effekte (siehe Anhang A).

$$L_{AT}(\text{DW}) = 10 \lg \left\{ \sum_{i=1}^n \left[\sum_{j=1}^n 10^{0,1[L_{AT}(j) + A_{A(j)}]} \right] \right\} \text{ dB} \quad (5)$$

$$L_{AT}(\text{LT}) = L_{AT}(\text{DW}) - C_{\text{met}} \quad \text{dB} \quad (6)$$



7 Berechnung der Dämpfungsterme

7.1 Geometrische Ausbreitung (A_{div})

Die geometrische Ausbreitung berücksichtigt die kugelförmige Schallausbreitung von einer Punktschallquelle im Freifeld, so daß die Dämpfung, in Dezibel,

$$A_{\text{div}} = [20\lg(d/d_0) + 11] \text{ dB} \quad (7)$$

Dabei ist:

d der Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger, in Meter

d_0 der Bezugsabstand (= 1 m)



7.2 Luftabsorption (A_{atm})

Die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption A_{atm} , in Dezibel, während der Schallausbreitung über einen Abstand d , in Meter

$$A_{\text{atm}} = \alpha d / 1000 \quad (8)$$

α aus Tabelle 2 der Norm

z.B.: $\alpha = 1,9$ bei 10 °C und 70% rel. Feuchte
geringfügige Änderung gegenüber VDI früher 2,0



7.3 Bodeneffekt (A_{gr})

7.3.1 Allgemeines Berechnungsverfahren

Die Bodendämpfung, A_{gr} , ergibt sich hauptsächlich durch die Überlagerung von Schall, der an der Bodenoberfläche reflektiert wurde, mit dem Schall, der sich direkt zwischen Quelle und Empfänger ausbreitet. d_p ist der projizierte Abstand

$$A_{gr} = A_s + A_r + A_m \quad (9)$$

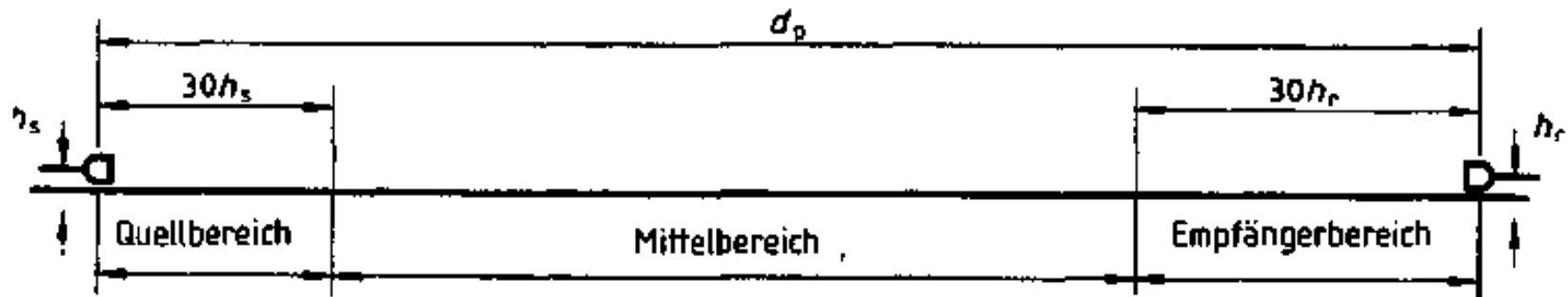


Bild 1: Drei verschiedene Bereiche für die Bestimmung der Bodendämpfung



Hz	A_s oder $A_r^{1)}$ dB	A_m dB
63	-1,5	$-3q^{2)}$
125	$-1,5 + G \cdot a'(h)$	$-3q(1 - G_m)$
250	$-1,5 + G \cdot b'(h)$	
500	$-1,5 + G \cdot c'(h)$	
1000	$-1,5 + G \cdot d'(h)$	
2000	$-1,5(1 - G)$	
4000	$-1,5(1 - G)$	
8000	$-1,5(1 - G)$	

mit $G = 0$ für harten bis $G = 1$ für weichen Boden



1) Zur Berechnung von A_s gilt $G = G_s$ und $h = h_s$. Zur Berechnung von A_r gilt $G = G_r$ und $h = h_r$. Siehe 7.3.1 für die Werte von G bei verschiedenen Bodenoberflächen.

2) $q = 0$, wenn $d_p \leq 30(h_s + h_r)$

$$q = 1 - \frac{30(h_s + h_r)}{d_p} \text{ wenn } d_p > 30(h_s + h_r)$$

$$a'(h) = 1,5 + 3,0 \cdot e^{-0,12(h-5)^2} (1 - e^{-d_p/50}) + 5,7 \cdot e^{-0,09h^2} (1 - e^{-2,8 \times 10^{-6} \cdot d_p^2})$$

$$b'(h) = 1,5 + 8,6 \cdot e^{-0,09h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

$$c'(h) = 1,5 + 14,0 \cdot e^{-0,46h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$

$$d'(h) = 1,5 + 5,0 \cdot e^{-0,9h^2} (1 - e^{-d_p/50})$$



7.3.2 Alternatives Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel (bei 500 Hz)

- wenn nur der A-bewertete Schalldruckpegel am Immissionsort von Interesse ist,
- wenn der Schall sich über porösen Boden oder gemischten, jedoch überwiegend porösen Boden ausbreitet (siehe 7.3.1),
- wenn der Schall kein reiner Ton ist

$$A_{gr} = 4,8 - (2h_m/d) [17 + (300/d)] > 0 \text{ dB} \quad (10)$$

$$D_{\Omega} = \dots \quad (11)$$

h_s die Höhe der Schallquelle über dem Boden, in Metern;

h_r die Höhe des Empfängers über dem Boden, in Metern;

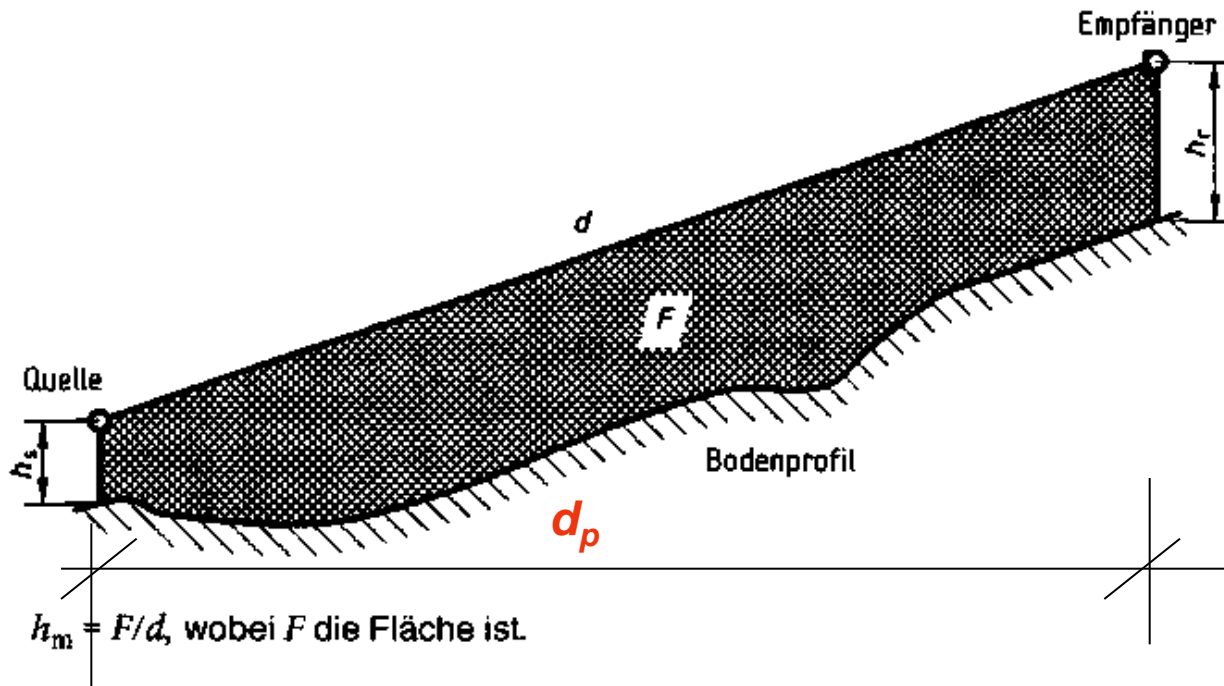
d_p der Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger, projiziert auf die Bodenebene, in Metern,

d der Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger



Bild 3: Verfahren zur Bestimmung der mittleren Höhe h_m

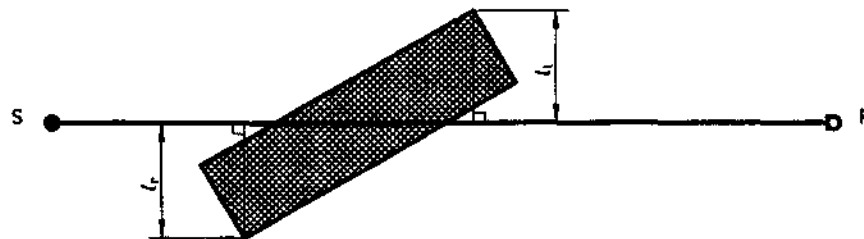
hier falsch: nicht d sondern projiziertes d_p





7.4 Abschirmung (A_{bar})

- die flächenbezogene Masse beträgt mindestens 10 kg/m^2 ;
- das Objekt hat eine geschlossene Oberfläche ohne große Risse oder Lücken;
- die Horizontalabmessung des Objektes senkrecht zur Verbindungslinie Quelle — Empfänger ist größer als die akustische Wellenlänge
- Die Schirmoberkante ist eine gerade Linie, die schräg abfallend sein kann.



$$l_s + l_r >$$



$$A_{\text{bar}} = D_z - A_{\text{gr}} > 0 \quad (12)$$

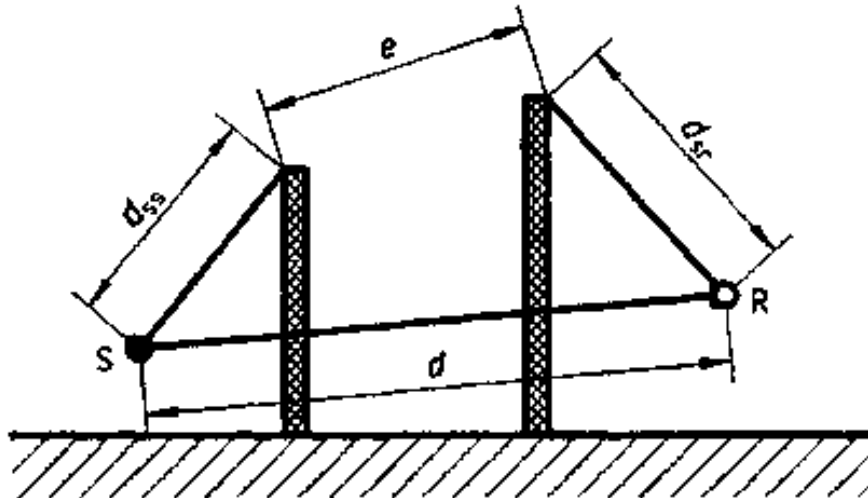
$$A_{\text{bar}} = D_z > 0 \quad (13)$$

$$D_z = 10 \lg [3 + (C_2 /) C_3 z K_{\text{met}}] \text{ dB} \quad (14)$$

$C_3 = 1$ für Einfachbeugung sonst

$$C_3 = [1 + (5 / e)^2] / [(1/3) + (5 / e)^2] \quad (15)$$

$$z = d_{\text{ss}} + d_{\text{sr}} + e - d \quad (16)/(17)$$





$$K_{\text{met}} = \exp \left[- (1/2000)(d_{SS}d_{Sr}d/(2z))^{0.5} \right] \text{ für } z > 0 \quad (18)$$

$K_{\text{met}} = 1$ für $z < 0$ und seitlichen Umweg

$$C_2 = 20 \text{ bis } 40$$

$$C_3 = 1 \text{ bis } 3$$

$$f = 1 / T \text{ Hz}$$

Beispiel bei 500 Hz und $e = 10\text{m}$

$$= v / f = s \cdot T / t = 340 / 500 = 0,68\text{m}, \quad 5 * \quad = 3,4$$

$$C_3 = [1 + (3,4 / 10)^2] / [(1/3) + (3,4 / 10)^2] \quad (15)$$

$$= 2,48$$



Wann wird z negativ und wie groß darf es werden?

Mit: $C_2 = 20 / \quad = 30$ und $C_3 = 1$ und $K_{\text{met}} = 1$

$$D_z = 10 \lg [3 + 30 z] \text{ dB}$$

(14)

$$3 + 30 z > 0$$

Sichtverbindung vorhanden:

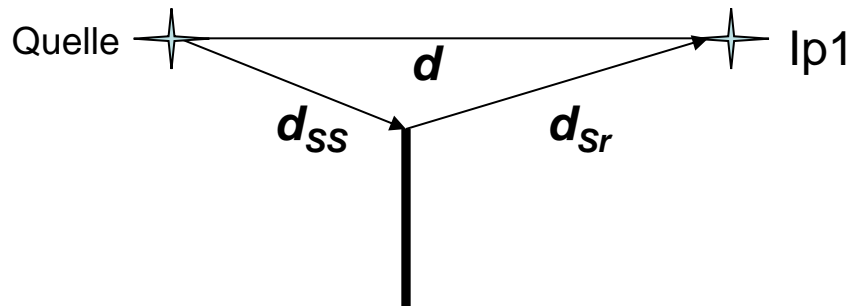
$$z = 0 \Rightarrow D_z = 10 \lg [3] = 4,8 \text{ dB}$$

$$\text{a) } 0 > z > -3 / 30 > -0,1$$

$$\Rightarrow 0 < A_{\text{bar}} \leq 4.8$$

$$\text{b) } z > 0$$

$$\Rightarrow A_{\text{bar}} > 4.8$$



$$z < 0 \Rightarrow$$

$$z = d - d_{SS} - d_{Sr} \quad (16)$$



Wann wird $A_{\text{bar}} = 0$ dB?

$$D_z = 10 \lg [3 + 30 z] \text{ dB} \quad (14)$$

Wenn: $3 + 30 z = 1$

$\Rightarrow z = -2 / 30 = -0,066\text{m}$



Seitlicher Umweg

$$A_{\text{bar}} = -10 \lg(\Sigma 1 / (10^{0,1 A_{\text{bar}}}))$$

Beispiel:

Ein Schirm habe jeweils 8 dB Abschirmung für jeden Umweg (obenherum und jeweils seitlich)

$L = L_w + D_c - A$ mit $L_w = 100$ dB, $D_c = 50$ dB und $A_{\text{bar}} = 8$ dB

- $L_1 = 100 - 50 - 8 = 42$ dB(A)
- $L_2 = 100 - 50 - 8 = 42$ dB(A)
- $L_3 = 100 - 50 - 8 = 42$ dB(A)

$$\Rightarrow L_{\text{AT}}(\text{DW}) = 10 \lg(10^{0,1 \cdot 42} + 10^{0,1 \cdot 42} + 10^{0,1 \cdot 42})$$

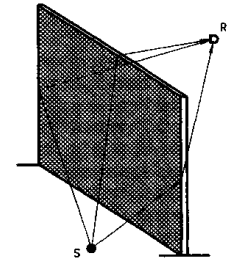
- **$= 46.77$ dB(A)**

oder

$$D_z = -10 \lg(1 / (10^{0,1 \cdot 8} + 1 / (10^{0,1 \cdot 8} + 1 / (10^{0,1 \cdot 8}))) \quad D_z = 3.22 \text{ dB(A)}$$

$$\Rightarrow L_{\text{AT}}(\text{DW}) = 100 - 50 - 3.22$$

- **$= 46.77$ dB(A)**





7.5 Reflexionen

$$1 / > [2/(l_{\min} \cos \beta)^2] [(d_{s,o} d_{o,r} / (d_{s,o} + d_{o,r}))] \quad (19)$$

$$L_{W,im} = L_W + 10 \lg (\rho) \text{ dB} + D_{lr} \quad (20)$$

= (340 m/s)/ f die Wellenlänge des Schalls, in Metern,
bei der Oktavbandmittenfrequenz, in Hertz;

$d_{s,o}$ = der Abstand zwischen der Quelle und dem Reflexionspunkt auf dem Hindernis;

$d_{o,r}$ = der Abstand zwischen dem Reflexionspunkt auf dem Hindernis und dem Empfänger;

β = der Einfall(s)winkel, in Radiant (siehe Bild 8);

l_{\min} = die kleinste Abmessung (Länge oder Höhe) der reflektierenden Oberfläche (siehe Bild 8).

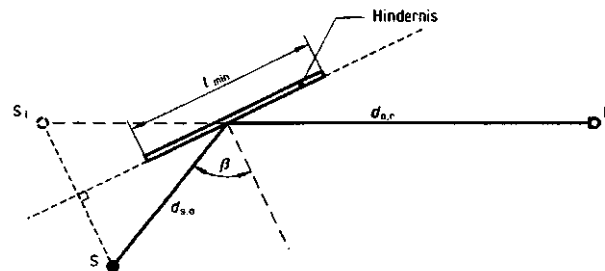
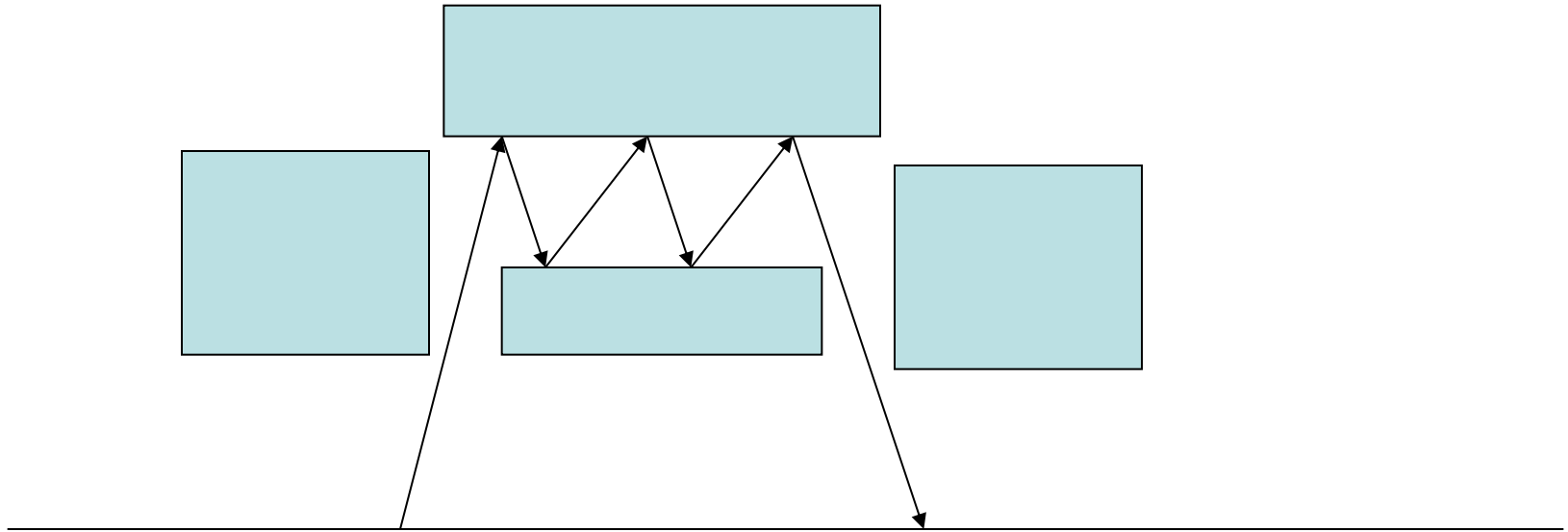


Bild 8

**Auf dem
Ausbreitungsweg
sind Schirme zu
berechnen
Mehrfachreflexion!**



Mehrfachreflexion kann wichtig sein!





8 Meteorologische Korrektur (C_{met})

$$C_{\text{met}} = 0 \text{ wenn } d_p \leq 10(h_s + h_r) \quad (21)$$

$$C_{\text{met}} = C_0[1 - 10(h_s + h_r)/d_p] \text{ wenn } d_p > 10(h_s + h_r) \quad (22)$$

Der DWD liefert Windrichtungshäufigkeitsverteilungen in 30°
Sektoren. Diese kann man rechnerisch z.b: auf 10° verfeinern

START = 0.0 Grad Segment 10 Grad bis 360 Grad (36 Werte)

0.0 0.0 0.0 0.0 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 10.0

10.0 10.0 10.0 10.0

10.0 10.0 10.0 10.0 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 1.5 0.0

0.0 0.0 0.0 0.0



Aus der VDI 2714:
Einfluß der Windrichtung auf dem Ausbreitungsweg

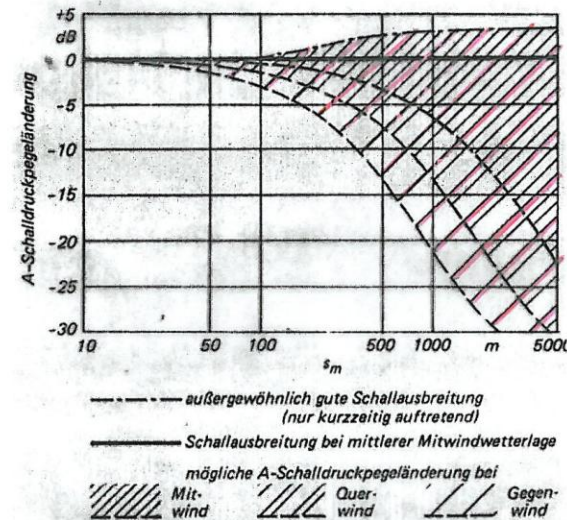


Bild 1. Schwankungsbereich der A-Schalldruckpegel, gemessen an Immissionsorten in verschiedenen Abständen von großflächigen Industrieanlagen bei unterschiedlichen Windrichtungen [1]

s_m ist der Abstand zwischen Anlagenmitte und Aufpunkt

Bei **Gegenwind und bei erwärmtem Boden** können in Abhängigkeit von Höhe und Entfernung **Abweichungen von 20 dB** und mehr gegenüber den berechneten



Wie berechnet man C_0 aus den Prozentangaben?

$$C_0 = -10 \lg \left(\sum \frac{p_i}{100} 10^{-0,1 \Delta L_i} \right)$$

p_i die Häufigkeiten der Windverteilung in % und ΔL_i die Pegeldämpfungen gegenüber Mitwind.

$p_s = p_c + p_u$ (Kalmen und umlaufend)

Für Tag wird p_s zu gleichen Teilen auf alle gleichmäßigen Winkelsektoren α_i verteilt:

$p_{T_i} = p_i + p_s/N$ (N = Anzahl Winkelsektoren).

Für Nacht wird p_s allein dem Häufigkeitsanteil p_m des Mitwindsektors α_m zugeschlagen:

$p_{N_m} = p_m + p_s$ ansonsten ist $p_{N_i} = p_i$.



$$\Delta L_i = k(1 - \cos(\varepsilon_i - \gamma \sin \varepsilon_i)) \text{ in dB mit } \varepsilon_i = \alpha_i - \beta$$

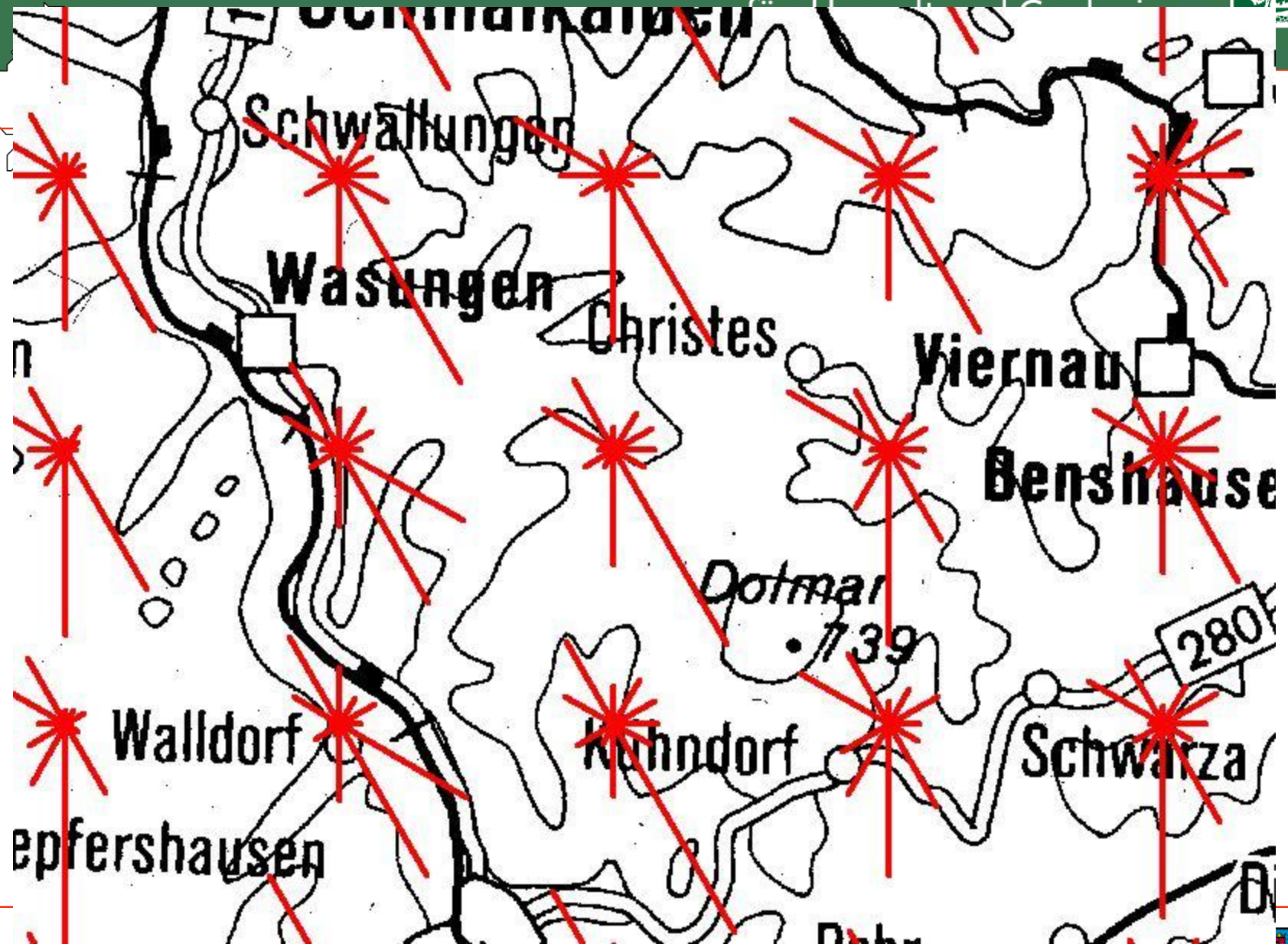
α_i = Winkel zwischen Nordrichtung und i-tem Sektor,

β = Winkel zwischen Nordrichtung und
Mitwindrichtung, liegt also innerhalb eines
Sektors

(Sektoruntergrenze $< \beta \leq$ Sektorobergrenze)

ε_i = Windrichtung gegenüber Mitwind

- Nachtzeit: $k = 5 \quad \gamma = 45^\circ$
- Tagzeit: $k = 7,5 \quad \gamma = 25^\circ$.





Grad	C _{ot}
0	4,6
30	4,9
60	4,7
90	4,2
120	3,8
150	3,4
180	2,9
210	2,6
240	2,5
270	2,6
300	3,0
330	3,8

$$C_{\text{met}} = C_0 [1 - 10(h_s + h_r)/d_p] \text{ wenn } d_p > 10(h_s + h_r) \quad (22)$$

D_p = 200m

h_s = 10m

h_r = 4m

$$C_{\text{met}} = 4,9 [1 - 10(14)/200] \text{ und } 200 > 140 \quad (22)$$

$$= 4,2 \text{ dB}$$

