

# Meteorologische Korrektur ( $C_{\text{met}}$ )

nach Nr. 8 E DIN ISO 9613-2 von 9.1997

## 1. Allgemeines

Die neue TA Lärm geht gemäß A.2.2 letzter Satz und A.2.3.4 bei der Schallausbreitungsrechnung für die detaillierte Prognose von den bisherigen VDI-Richtlinien 2714 „Schallausbreitung im Freien“ und 2720 Bl. 1 „Schallschutz durch Abschirmung im Freien“ auf die Norm E DIN ISO 9613 „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren“ vom September 1997 über. Das hat insbesondere zur Folge, daß nunmehr eine eigenständige „meteorologische Korrektur“  $C_{\text{met}}$  [dB] zu berücksichtigen ist (und nicht mehr nur das kombinierte Boden- und Meteorologiedämpfungsmaß  $D_{\text{BM}}$  nach Nr. 6.3 VDI 2714, das in E DIN ISO 9613-2 Nr. 7.3 mit der selben Formel wie in VDI 2714 allein die Bodendämpfung  $A_{\text{gr}}$  beschreibt).

Dieses  $C_{\text{met}}$  wird nach (G2) in A.1.4 TA Lärm bei der Bestimmung des Beurteilungspegels allgemein vom Mittelungspegel abgezogen. Das gilt für Messung (vgl. auch A.3.3.3 letzter Satz und A.1.6c) TA Lärm) und Prognose gleichermaßen, weil ja der Mittelungspegel meß- oder rechentechnisch ermittelt wird, erst danach der Beurteilungspegel gebildet wird und weil A.1 mit A.1.4 Abs. 1 Satz 3 TA Lärm A.2 mit A.2.3 und A.2.4 TA Lärm sowie A.3 TA Lärm vorgeordnet ist. (Zudem wird in A.2.3.4 Satz 1 TA Lärm auf Abschnitt 6 E DIN ISO 9613-2 abgestellt, worin  $C_{\text{met}}$  enthalten ist. Das bedeutet aber nicht, daß  $C_{\text{met}}$  zweimal zu berücksichtigen wäre!)

Die meß- und rechentechnische Ermittlung des Mittelungspegels nach TA Lärm setzt, insbesondere bei Abständen ab 200 m zwischen Emissions- und Immissionsort, regelmäßig schallausbreitungsgünstige Wetterlagen (Mitwind und Inversion, verkürzt: Mitwindwetterlagen) voraus (vgl. A.3.3.3 Abs. 2 Satz 2 TA Lärm und Nr. 5 E DIN ISO 9613-2 insbesondere letzter Satz). Mit dem Abzug des  $C_{\text{met}}$  vom „Mitwind-Mittelungspegel“  $L_{\text{AT}}(\text{DW})$  ergibt sich gemäß Gl. (6) in E DIN ISO 9613-2 der „Langzeit-Mittelungspegel“  $L_{\text{AT}}(\text{LT}) = L_{\text{AT}}(\text{DW}) - C_{\text{met}}$ . Diskussionen über die „vorherrschende Wetterlage“ (vgl. Nr. 2.421.2 Satz 2 der alten TALärm) sind also nicht mehr erforderlich. Soweit die Abstandsbedingung in Gl. (21) der Norm erfüllt ist und damit  $C_{\text{met}} = 0$  dB ist, gilt  $L_{\text{AT}}(\text{LT}) = L_{\text{AT}}(\text{DW})$ ; d.h. der Langzeit-Mittelungspegel wird insoweit dem Mitwind-Mittelungspegel gleichgesetzt.

Andernfalls wird  $C_{met}$  - nicht zu verwechseln mit  $K_{met}$ , dem „Korrekturfaktor für meteorologische Effekte“ nach Gl. (18) bei der Berechnung der Abschirmung  $A_{bar}$  gemäß Nr. 7.4 E DIN ISO 9613-2 - **rechnerisch** nach Gl. (22) E DIN ISO 9613-2 ermittelt. Mit dem in der Norm formelmäßig nicht quantifizierten Standortfaktor  $C_o$  [dB], „der von den örtlichen Wetterstatistiken für Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Temperaturgradienten abhängt“, beschäftigen sich die Anmerkungen 20 bis 22 in der Norm für die Praxis wenig hilfreich.

## 2. Allgemeine Formel für den Standortfaktor $C_o$

Aufgrund der Definition der schallausbreitungsgünstigen Wetterlage in Nr. 5 E DIN ISO 9613-2 lassen sich grundsätzlich drei Windbereiche unterscheiden:

- Mitwindsektor:  $\pm 45^\circ$ -Sektor in Schallausbreitungsrichtung (von Quelle zum Immissionsort, =  $90^\circ$  Sektor) und Windstille (Calme) mit „einer gut entwickelten, leichten Bodeninversion, wie sie üblicherweise in klaren, windstillen Nächten auftritt“;
- Querwindsektor:  $45^\circ$  bis  $135^\circ$ - und  $225^\circ$  bis  $315^\circ$ -Sektoren quer zur Schallausbreitungsrichtung (= zwei  $90^\circ$ -Sektoren);
- Gegenwindsektor:  $\pm 45^\circ$ -Sektor gegen Schallausbreitungsrichtung (=  $90^\circ$ -Sektor).

Für den Standortfaktor  $C_o$  liegt dann die Gleichung zur Addition von Pegelminderungen (vgl. auch Gl. (15) Bbl. 1 zu DIN 4109 „Schallschutz im Hochbau“ 11.1989) nahe:

$$C_o = -10 \lg \left( \frac{T_m}{100} 10^{-\frac{K_m}{10}} + \frac{T_q}{100} 10^{-\frac{K_q}{10}} + \frac{T_g}{100} 10^{-\frac{K_g}{10}} \right) \text{ [dB]} \quad (1)$$

$T_m$  = Zeitanteil der schallausbreitungsgünstigen Wetterlagen im Jahresmittel [%],

$K_m$  = Pegelminderung der schallausbreitungsgünstigen Wetterlagen zur Mitwindwetterlage = 0 [dB],

$T_q$  = Zeitanteil der Querwindwetterlagen im Jahresmittel [%],

$K_q$  = Pegelminderung der Querwindwetterlagen zur Mitwindwetterlage [dB],

$T_g$  = Zeitanteil der Gegenwindwetterlagen im Jahresmittel [%],

$K_g$  = Pegelminderung der Gegenwindwetterlagen zur Mitwindwetterlage [dB].

Mit den Pegelminderungen  $K_m = 0$  dB,  $K_q = 1,5$  dB und  $K_g = 10$  dB der Immissionswerte von der Mitwindwetterlage in großer Entfernung (1000 bis 4000 m, wo normalerweise  $C_{met} = C_o$  gilt) wird die Gleichung (1) zu:

$$C_o = -10 \lg (0,01 T_m + 0,0071 T_q + 0,001 T_g) \text{ [dB]}$$

Bei gleicher Häufigkeit aller Windrichtungen in allen Sektoren wird  $C_o = 2$  dB. Für diese Gleichverteilung kommt  $C_o$  auch dem  $D_{lang}$  nach Nr. 8.3 VDI 2714 bei großen Abständen zwischen Quelle und Immissionsort nahe. Solche Werte sind mit den Anmerkungen 20 und 22

von E DIN ISO 9613-2 voll verträglich. Allerdings erfordern die Ergebnisse von umfangreichen Schallausbreitungsmessungen darüberhinaus eine Differenzierung von  $T_q$  und  $T_g$  nach Tag (6 bis 22 Uhr) und Nacht (22 bis 6 Uhr) (vgl. insbesondere Hillen, R.: DAGA '84 S. ?). Der Einfachheit halber ist hier auf die Tag- und Nachtzeit nach Nr. 6.4 TA Lärm abgestellt und nicht auf den mit der Jahreszeit schwankenden Tag- und Nachtbeginn, mit denen insbesondere Inversionen korreliert sind.

### 3. Häufigster (einfacher) Fall

Für den Bereich Anlagenstandort/maßgeblicher Immissionsort wird nur selten eine repräsentative Häufigkeitsverteilung für die Windrichtungen und -geschwindigkeiten mit verhältnismäßigem Aufwand zu erhalten sein. In diesem Fall wird  $C_0$  für die Tagzeit zu 3 dB(A) und für die Nachtzeit zu 1 dB(A) gesetzt. Es gibt kaum Windverteilungen, bei denen diese Werte - wie beispielhafte Rechnungen aufgrund von realen Häufigkeitsverteilungen zeigen - unterschritten würden.

### 4. Seltener (aufwendiger) Fall

#### 4.1 Berechnungsformel für den Standortfaktor $C_0$

Ist die v.g. Häufigkeitsverteilung erhältlich, wird die Gleichung

$$C_0 = -10 \lg \left( 0,01 \sum_{i=1}^N p_i 10^{-0,1 \Delta L_i} \right) \quad \text{mit} \quad (2)$$

$$\Delta L_i = k \left( 1 - \cos(\varepsilon_i - \gamma \sin \varepsilon_i) \right) \quad (3)$$

verwendet. Diese Gleichung stellt eine Verallgemeinerung und Glättung von Gleichung (1) dar, ist für Rechenprogramme problemlos und erleichtert die Verwendung der Windstatistiken. Die Zahl  $k$  und der Winkel  $\gamma$  ermöglichen die Anpassung der Gleichung (2) an die Ergebnisse der Gleichung (1).

Für die Nachtzeit wird  $k = 5$  und  $\gamma = 45^\circ$  gesetzt; dem entspricht  $K_q = 1,5$  dB und  $K_g = 10$  dB. Für die Tagzeit wird  $k = 7,5$  und  $\gamma = 25^\circ$  gesetzt; dem entspricht  $K_q = 4,3$  dB und  $K_g = 15$  dB.

#### 4.2 Eingangsdaten

Für die Berechnung werden benötigt:

N: Zahl der gleichgroßen Sektoren, für die Häufigkeitswerte der Windrichtungen vorliegen. N beträgt meist 12, aber auch 8 oder 36.

i: Laufindex von 1 bis N.

$p_i$  [%]: Häufigkeit des Windes aus den Richtungen des  $i$ -ten Sektors.

$p_c$  [%]: Häufigkeit von Calmen (vgl. Nr. 4.4).

$p_u$  [%]: Häufigkeit von umlaufenden Winden.

(Die Summe dieser drei Häufigkeiten muß 100% betragen.)

- $\alpha_i$ : i-te „Sektormitte“: Winkel zwischen Nordpfeil und Mittellinie des i-ten Sektors.  
 $\beta$ : Mitwindrichtung: Winkel zwischen Nordpfeil und der Richtung, aus der Wind vom Anlagenstandort zum maßgeblichen Immissionsort weht.  
m: Mitwindsektorindex: Nr. des Sektors, in dem der Winkel  $\beta$  liegt (Sektoruntergrenze  $< \beta \leq$  Sektorobergrenze).

#### 4.3 Berechnung

4.3.1 Die Häufigkeiten der Calmen und umlaufenden Winde werden zusammengefaßt:

$$p_s = p_c + p_u.$$

Für die Beurteilungszeit „Tag“ wird  $p_s$  zu gleichen Teilen auf alle Sektoren verteilt:

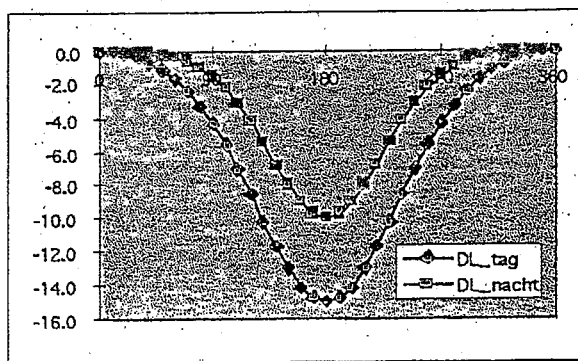
$$p_{Ti} = p_i + p_s/N \quad \text{für } i = 1 \dots N.$$

Für die Beurteilungszeit „Nacht“ wird  $p_s$  allein dem Mitwindsektor zugeschlagen:

$$p_{Ni} = p_i + p_s \quad \text{für } i = m$$

$$p_{Ni} = p_i \quad \text{sonst.}$$

4.3.2 Die windrichtungsbedingte Pegelminderung  $\Delta L_i$  bei Wind aus den Richtungen des i-ten Sektors, dessen „Sektormitte“  $\alpha_i$  um den Winkel  $\varepsilon_i$  von der Mitwindrichtung  $\beta$  abweicht, ergibt sich aus Gleichung (3) mit  $\varepsilon_i = \alpha_i - \beta$ .



Die nebenstehende Abbildung zeigt die Verläufe der windrichtungsbedingten Pegelminderungen  $\Delta L_i$  für den Tag und die Nacht, aufgetragen über die Winkelabweichungen von der Mitwindrichtung  $\varepsilon_i$ .

4.3.3 Den Standortfaktor  $C_0$  als langfristige, über alle N Sektoren gemittelte witterungsbedingte Pegelminderung erhält man dann nach Nr. 4.1 mit Gleichung (2).

#### 4.4 Calme

Mit dem Begriff „Windstille“ (Calme, Schwachwindwetterlage, Inversion) ist für die Ermittlung von  $C_0$  der Zustand der Atmosphäre gemeint, bei der sich die Luftmassen nicht mehr einheitlich in eine Richtung bewegen und die Windgeschwindigkeit als vektorielle Größe nicht mehr definiert ist. Erst ab 1 m/s kann von einem Wind mit definierter Stärke und Richtung ausgegangen werden. Auch Modelle zur Berechnung von Luftschadstoffen liefern erst ab diesem Wert brauchbare Ergebnisse und spürbare Effekte auf andere Zustandsgrößen der Atmosphäre (z.B. Temperaturschichtung) treten auch erst bei einer Windgeschwindigkeit von mehr als etwa 1 m/s auf. So werden hier auch umlaufende Winde - ihnen kann keine Richtung zugeordnet werden - der Calme zugerechnet.

Im übrigen liegt nach Nr. 5 DIN ISO 9613-2 eine Mitwindsituation bei einer Geschwindigkeit zwischen 1 m/s und 5 m/s vor und DIN 45645-1 „Ermittlung von Beurteilungspegeln aus Messungen - Geräuschimmissionen in der Nachbarschaft“ von 1996 führt in Nr. 6.4 Abs. 3 aus: „Bei Windgeschwindigkeit unter 1 m/s in 10 m Höhe kann nachts, insbesondere nach Sonnenuntergang und vor Sonnenaufgang, von ausbreitungsgünstigen meteorologischen Bedingungen ausgegangen werden.“

#### 4.5 Qualität der Windmessung

Messungen zur Ermittlung der Häufigkeiten für die Windrichtungen und -geschwindigkeiten werden insbesondere vom Deutschen Wetterdienst rund um die Uhr über mehrere Jahre durchgeführt. Die Qualität der Erhebungen für die Windstatistik soll sich an der VDI-Richtlinie 3786 Bl. 2 „Meteorologische Messungen für Fragen der Luftreinhaltung - Wind“ v. 1988 orientieren. Eine nach Tag und Nacht differenzierte Ermittlung kann zweckmäßig sein.

#### 4.6 Beispiel

Das folgende Beispiel benutzt Winkel in Altgrad ( $0^\circ$  bis  $360^\circ$ ) und Häufigkeiten in Prozent [%]. Die Windrichtungsdaten aus der rheinischen Tiefebene sind in zwölf Sektoren ( $N = 12$ ) aufgeteilt.  $p_C = 1.9\%$ ;  $p_u = 5\%$ ; damit ist  $p_S = 6.9\%$ .

Der Wind weht in diesem Beispiel vom Anlagenstandort zum maßgeblichen Immissionsort unter  $55^\circ$  zum Nordpfeil; so gilt  $\beta = 55^\circ$ .

4.6.1 Tag

Damit ergibt sich folgende Tabelle für den Tag:

a	b	c	d	e	f	g
i	$\alpha_i$	$p_i$	$p_{Ti}$	$\epsilon_i$	$\Delta L_i$	$p_i 10^{(-0.1\Delta L_i)}$
1	0	4.9	5.5	-55	1.3	4.0
2	30	3.6	4.2	-25	0.2	4.0
3	60	3.4	4.0	5	0.0	4.0
4	90	8.9	9.5	35	0.5	8.5
5	120	13.9	14.5	65	2.0	9.2
6	150	13.4	14.0	95	5.0	4.5
7	180	7.8	8.4	125	9.4	1.0
8	210	6.9	7.5	155	13.6	0.3
9	240	5.9	6.5	185	14.9	0.2
10	270	9.1	9.7	215	12.4	0.6
11	300	7.9	8.5	245	7.8	1.4
12	330	7.4	8.0	275	3.8	3.4
		Summe:	100 %			41.1
						$C_o = 3.9$

Spalte a) nennt die lfd. Nummern der Sektoren.

Spalte b) zeigt die zugehörigen „Sektormitten“  $\alpha_i$ . Bei  $N = 12$  Sektoren beträgt der Öffnungswinkel der Sektoren  $30^\circ$ ; der Sektor 3 mit der „Sektormitte“  $\alpha_3 = 60^\circ$  z.B. reicht also von  $> 45^\circ$  bis  $\leq 75^\circ$ . In ihm liegt für dieses Beispiel die Mitwindrichtung  $\beta = 55^\circ$  und er hat den Mitwindsektorindex  $m = 3$ .

Spalte c) enthält mit  $p_i$  die prozentualen Häufigkeiten der Windrichtungen in den einzelnen Sektoren.

Für den Tag wird allen Häufigkeiten  $p_i$  in Spalte c) jeweils  $p_s/N$  zugeschlagen. So ergeben sich die maßgebenden Häufigkeiten für den Tag  $p_{Ti}$  in Spalte d). (Zur Kontrolle ist die Summe der  $p_{Ti}$  zu 100 % errechnet, was auch so sein soll.)

Die Winkelabweichungen  $\epsilon_i$  der i-ten „Sektormitten“ von der Mitwindrichtung  $\beta$  stehen in Spalte e).

Die sich daraus nach Gleichung (3) ergebenden windrichtungsbedingten Pegelminderungen  $\Delta L_i$  für die einzelnen Sektoren sind in Spalte f) errechnet. (Dabei wurde gemäß Nr. 4.1 für die Tagzeit  $k = 7.5$  und  $\gamma = 25^\circ$  gesetzt.)

Hinweis:

Wenn das EDV-Programm sinus- bzw. cosus-Funktionen von Winkeln in Altgrad bilden kann, gilt die Gleichung (3) für  $\Delta L_i$  unverändert. Tabellenkalkulationsprogramme, wie Excel, erwarten eine Winkelangabe in radian (Bogenmaß). Dazu schreibt man dann

$$\Delta L_i = k \left( 1 - \cos \left( \frac{\pi}{180} \varepsilon_i - \frac{\pi}{180} \gamma \sin \left( \frac{\pi}{180} \varepsilon_i \right) \right) \right) \quad \text{mit } \pi = 3,14 \dots$$

Die Spalte g) enthält für jeden Sektor den Wert, der sich aus  $p_i 10^{-\Delta L_i}$  ergibt (vgl. Gleichung (2)). In der vorletzten Zeile steht dann die Summe dieser Werte.

Nach Multiplikation mit 0,01, Logarithmierung und Multiplikation mit 10 erhält man in der letzten Zeile den Wert von  $C_o$ .

#### 4.6.2 Nacht

Das Beispiel für die Nacht geht von gleichen Ausgangswerten aus. Das Vorherige gilt auch hier mit folgenden Änderungen:

In Spalte d) werden zeilenweise die Werte aus der Spalte c) übernommen; allerdings wird hier die Häufigkeit von Calme und umlaufenden Winden, also  $p_s = 6,9 \%$ , allein der Häufigkeit  $p_3 = 3,4$  des Sektors mit dem Mitwindsektorindex  $m = 3$  zugeschlagen (, in dem ja die Mitwindrichtung  $\beta = 55^\circ$  liegt).

Für die Nachtzeit wird in Gleichung (3) zur Berechnung der  $\Delta L_i$  in Spalte f)  $k = 5$  und  $\gamma = 45^\circ$  gesetzt.

Damit ergibt sich folgende Tabelle für die Nacht:

a	b	c	d	e	f	g
i	$\alpha_i$	$p_i$	$p_{Ni}$	$\varepsilon_i$	$\Delta L_i$	$p_i 10^{(-0.1 \Delta L_i)}$
1	0	4.9	4.9	-55	0.3	4.6
2	30	3.6	3.6	-25	0.0	3.6
3	60	3.4	10.3	5	0.0	10.3
4	90	8.9	8.9	35	0.1	8.8
5	120	13.9	13.9	65	0.4	12.6
6	150	13.4	13.4	95	1.8	8.9
7	180	7.8	7.8	125	4.8	2.6
8	210	6.9	6.9	155	8.6	1.0
9	240	5.9	5.9	185	9.9	0.6
10	270	9.1	9.1	215	7.4	1.6
11	300	7.9	7.9	245	3.6	3.4
12	330	7.4	7.4	275	1.2	5.6
		Summe:	100 %			63.6
						$C_o = 2.0$

#### 4.7 Begrenzung von $C_o$ , Konvention und Beteiligungsgebot

Sollte sich einmal ein  $C_o > 5$  ergeben, wird es zu 5 gesetzt (s. Anmerkung 22 in E DIN ISO 9613-2).

Die Gleichung (2) für  $C_o$  und die Wahl ihrer Parameter sind als eine Nr. 8 der E DIN ISO 9613-2 konkretisierende, praktische Konvention zu betrachten.

Bei fraglicher Repräsentativität einer Häufigkeitsverteilung des Windes für den Bereich Anlagenstandort/maßgeblicher Immissionsort ist ein Meteorologe zu beteiligen.

#### **5. $C_o$ bei überschlägiger Prognose und Öffnungsklausel**

Für überschlägige Prognosen (ÜP) wird  $C_o = 0$  dB gesetzt und damit auch  $C_{met} = 0$  dB, da hier für die Ausbreitung ohnehin nur mit dem Abstandsmaß (unter Vernachlässigung von Abschirmungen, Boden- und Luftdämpfung) gerechnet wird.

Von diesen Konventionen kann nur abgewichen werden, wenn bessere Erkenntnisse nachgewiesen sind.