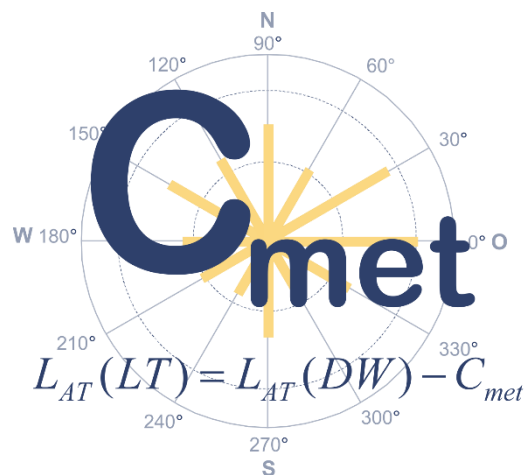


Cmet

Meteorologische Korrektur auf den Langzeitpegel



Kennung: kwhdba.14.00

Datum: 19.04.2020

Status: Entwurf

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung.....	3
1.1	Vorbemerkung zur Bedeutung von Normen.....	3
1.2	Was ist das C_{met}	5
1.3	Behördliche verantwortete Unsicherheit.....	5
1.4	Ziel des Aufsatzes	5
2	Probleme mit dem C_{met} in der gutachtlichen Praxis	7
2.1	Für Emissionsort und Immissionsort gelten unterschiedliche Windrosen.....	7
2.2	Emissionsort und Immissionsort liegen nicht im selben Bundesland.....	7
2.3	Schallausbreitung entlang der Sektorgrenze der Windrose	8
3	Zur Definition der meteorologische Korrektur C_{met}	9
3.1	Das C_{met} in der DIN ISO 9613-2.....	9
3.2	Das C_0 in DIN ISO 9613-2	9
3.3	Festlegung des C_0 als gutachtliche Leistung.....	10
4	Eingeführte Schätzung des C_0	11
4.1	Konzept.....	11
4.2	Gewichtsfunktion.....	11
5	Langzeit-Windrose	13
5.1	Definition und abgeleitete Windfunktionen.....	13
5.2	Interpolation der Windrose	14
6	Objektivierbares Schätzverfahren des C_0	16
6.1	Das C_0 als Faltung.....	16
6.2	C_0 in den Beurteilungszeiten Tags und Nachts	16
6.3	Abhängigkeit des C_0 vom Tages- und Jahresgang der Windrose	16
7	Berechnungsbeispiel.....	19
8	Empfehlungen.....	21
9	Verweise	22
10	Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“	23

1 Einleitung

1.1 Vorbemerkung zur Bedeutung von Normen

Die meteorologische Korrektur C_{met} ist in der Norm DIN ISO 9613-2, 1993, definiert. Und weil es eine Norm ist, ist jeder Satz wohl durchdacht, nie abdingbar, immer richtig und immer normativ. Alles andere würde die von DIN eingeforderte Qualität seiner Normen nicht erfüllen. DIN ist der technische Regelsetzer. Anerkannter Weise legt er in vielen Bereichen den Stand der Technik fest.

Das heißt nicht, dass jede Aussage in einer Norm ‚wahr‘ ist. Eine Norm kann im physikalischen Sinne unwahre Verfahren vorgeben, dem gesunden Menschenverstandes widersprechen oder sogar völligen Unfug festlegen. Einer Norm ist die Richtigkeit in die Wiege gelegt und untrennbar mit ihr verbunden. Wer eine Norm aussagentreu anwendet, bekommt also ein richtiges – und im Rahmen eines Gutachtens rechtssicheres - Ergebnis. Es gilt grundsätzlich.

Das heißt auch nicht, dass eine Norm keine Freiheiten bzw. Ermessensspielräume zulässt. In der Regel wird das durch den Gebrauch der Wörter ‚soll‘ oder ‚kann‘ ausgedrückt. Immer dann, wenn man dem Soll oder dem Kann nicht folgt, ist man begründungspflichtig.

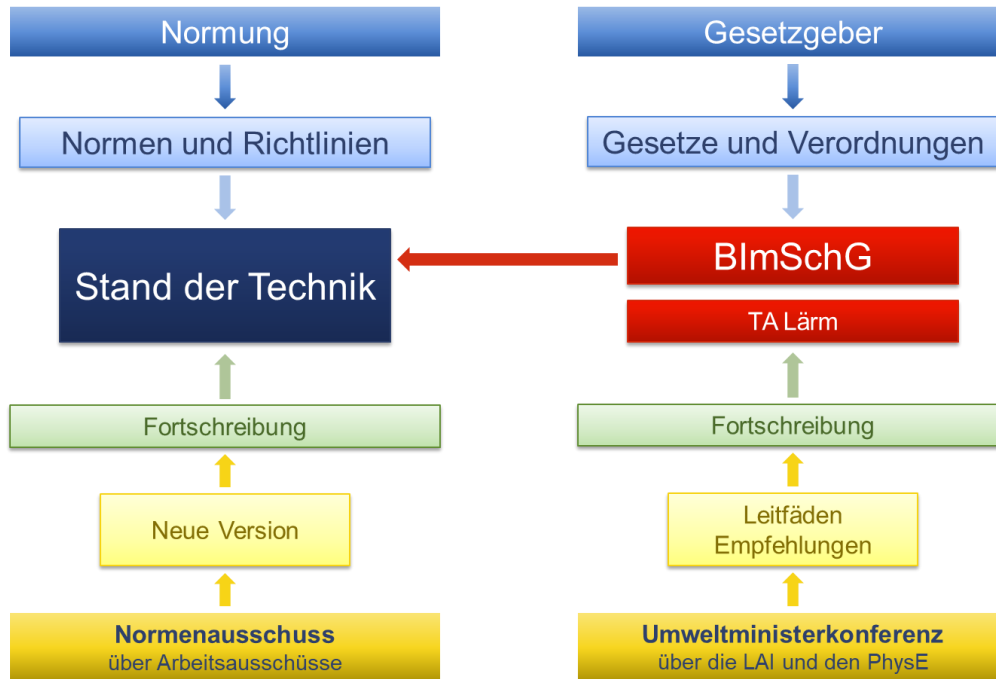
Auch eine weiche Aussage ist in einer Norm möglich: In einer Norm wird eine Anmerkung dazu genutzt, um einen Sachverhalt zu erläutern oder Handlungsempfehlungen zu geben. Wichtig: Anmerkungen sind grundsätzlich nicht normativ. Wenn man ihnen nicht folgt, wird man in der Regel dennoch begründungspflichtig, weil so eine Anmerkung hintergründig natürlich Gewicht hat.

Die Wahrheit bleibt also außen vor, wenn es um Normung geht.

Gesetze legen fest, was gerecht ist. Aber es ist ja auch nicht mehr so wie in Zeiten von Friedrich II, der auch der ‚Große‘ genannt wird, von dem das Zitat überliefert ist:

„Es ist den Untertanen untersagt,
den Maßstab ihrer beschränkten Einsicht
an die Handlungen der Obrigkeit anzulegen.“

Es ist also nicht so, dass man eine Norm nicht kritisieren kann. Wenn man das aber tut, ist das nicht gutachtlich, sondern wissenschaftlich. Nicht ohne Grund steht eine Norm grundsätzlich alle 5 Jahre auf dem Prüfstand. Sie wird möglicherweise nach Maßgabe neuer Erkenntnis fortgeschrieben oder auch nur schlicht in einigen Punkten berichtigt. Die Fortschreibung bekommt ein neues Erscheinungsjahr. Deshalb ist es stets wichtig, das Erscheinungsjahr anzugeben, wenn man eine Norm zitiert.



Im Schallimmissionsschutz verlässt sich der Gesetzgeber in technischen Aspekten auf die Normung. Das obige Schaubild zeigt das Zusammenspiel zwischen Normung und Gesetzgeber plakativ. Im linken Strang ist gezeigt, wie die Normung den ‚Stand der Technik‘ festlegt und aktualisiert. Im rechten Strang ist dies für die TA Lärm aufgezeigt. Da im BImSchG die Einhaltung des ‚Standes der Technik‘ gefordert wird, gelingt es der Normung, die Verwaltungsakustik und ihre Entscheidungen direkt und zeitnah zu beeinflussen. Ähnliches gelingt auch dem Gesetzgeber. Der kann über Leitfäden und Empfehlungen auch direkt die Handlungsweise und den Ermessensspielraum in der Verwaltungsakustik beeinflussen, ohne sofort die TA Lärm insgesamt zu aktualisieren.

Dieser Aufsatz zielt darauf ab, über den rechten Strang, also über einen Leitfaden zur Berechnung des C_0 , die Berechnung des C_{met} festzulegen und damit endlich eine sachgerechte, länderübergreifende Regelung zu schaffen.

Warum eine solche Vorbemerkung? Es wird sich zeigen, dass beim C_{met} in der geübten Praxis in der Lärmakustik Kompetenzen überschritten werden. Erst wenn diese Kompetenzüberschreitung klar ist, werden die hier vorgeschlagenen Methoden Wert geschätzt werden können.

1.2 Was ist das C_{met}

Das C_{met} dient in der TA Lärm bzw. DIN ISO 9613-2 [1] dazu, die nach dem Schema der Norm ermittelten Langzeitmittelungspegel für Mitwind- auf Langzeitmittelungspegel für alle Ausbreitungssituationen zu korrigieren. Das C_{met} wird abstands- und höhenabhängig über ein winkelabhängiges C_0 bestimmt.

In der Regel geben die Länder das Berechnungsverfahren für das C_0 vor. Sie erwarten dann vom Gutachter, dass er die verfahrensrelevanten Wetterdaten einholt, um mit diesen Angaben über das vorgegebene C_0 -Verfahren das C_{met} für die konkrete Ausbreitungssituation zu berechnen.

In diesem Aufsatz wird festgestellt und begründet, dass diese Vorgehensweise nicht TA-Lärmkonform ist, weil die Länder zur Vorgabe des C_0 keine Rechtsgrundlage haben.

Nach DIN ISO 9613-2 ist es genau umgekehrt: Die Behörden können das Wetter vorgeben, der Normenanwender wendet sein Verfahren zur Bestimmung des C_0 an. Dies stellten schon KURZE und SCHIRMACHER [2] in einer grundsätzlichen Betrachtung zum C_{met} vor mehr als 20 Jahren fest.

1.3 Behördliche verantwortete Unsicherheit

Die heute geübte Praxis der Länder, das Berechnungsverfahren für das C_0 vorzugeben, hat einen erheblichen Einfluss auf die Unsicherheit der Prognosen und mindert die Qualität der Aussagen. Denn das C_{met} geht additiv in den Beurteilungspegel ein; deshalb wirken sich Unsicherheiten des C_{met} auch direkt auf die Unsicherheit des Langzeitmittelungspegels aus.

Hier geht es nicht um Unsicherheiten bei der Ausbreitungsrechnung nach der DIN ISO 9613-2, sondern um eine Herabsetzung der Präzision (im Sinne der DIN 45687) des Beurteilungspegels durch gutachtliche oder behördliche Entscheidungen. Diese Unsicherheiten kommen aus dem Verfahren zur Bestimmung des C_0 und aus der Festlegung der maßgeblichen Wetterdaten. Die Landesbehörden versuchen diese Unsicherheiten durch ihre landesspezifischen Empfehlungen zu vermeiden. Es kann ihnen aber grundsätzlich nicht gelingen, solange es keine bundesweite Regelung gibt.

1.4 Ziel des Aufsatzes

Im vorliegenden Aufsatz wird keineswegs dafür plädiert, endlich TA-Lärmkonform vorzugehen und jedem Gutachter zu überlassen, wie er aus den behördlichen Wetterangaben das C_0 und das C_{met} bestimmt. Es wird vielmehr vorgeschlagen, dass zuständigkeitshalber die LAI, z. B. in

einem Leitfaden, bundesweit eine Vorgehensweise der C_0 -Bestimmung empfiehlt und damit rechtssicher die Lücke in der Norm schließt.

Der Aufsatz beginnt mit einer Diskussion der ‚ländergemachten‘ Probleme bei der Bestimmung des C_{met} . Danach wird ein Verfahren zur Bestimmung des C_{met} abgeleitet, das qualitätssicherbar ist, der Umsetzung in ein Tabellenkalkulationsprogramm zugänglich ist und doch den Behörden ihre Berechtigung zur Vorgabe des Wetters allerdings mit definierten Kenngrößen lässt.

2 Probleme mit dem C_{met} in der gutachtlichen Praxis

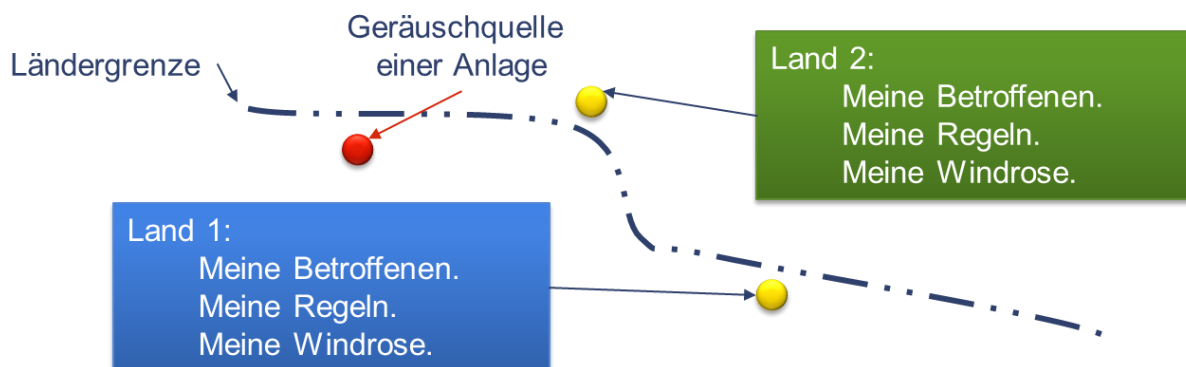
2.1 Für Emissionsort und Immissionsort gelten unterschiedliche Windrosen

Das C_{met} ist fraglos eine Korrektur, die man aus technischem Verständnis der DIN ISO 9613-2 weder der Quelle noch dem Empfänger zuordnen kann, sondern dem Ausbreitungspfad zuordnen muss. Demzufolge wäre es sachgerecht, die Wetterdaten entlang des Ausbreitungspfad oder ersatzweise auf halber Strecke zwischen Emission und Immission als maßgeblich zu betrachten. Dies ist aber praxisfremd. In der Regel sind mehrere Immissionsorte für denselben Emissionsort zu betrachten. Es ist deshalb aus Sicht der Praxis sachgerecht, die Wetterdaten des Emissionsortes zugrunde zu legen.

Die Länderregeln sind in einigen Fällen, vgl. [6], zu komplex, weil sie für jede Richtung Quelle – Empfänger letztlich andere Windrosen (Beurteilungszeit-abhängige Zuordnung der Kalmen zur ‚Mitwindrichtung‘) vorschreiben.

2.2 Emissionsort und Immissionsort liegen nicht im selben Bundesland

Die Vorgaben zur Bestimmung des C_{met} unterscheiden sich in den Ländern. Das führt bei Anlagen, deren Einwirkungsbereich Ländergrenzen überschreiten, zu Rechtsunsicherheiten, denn einige Länder verlangen, dass bei Immissionsorten auf ihrem Gebiet, ihre Regeln und ihre Witterungsvorgaben verwendet werden.



Anmerkung

Diese Situation ist keineswegs so selten, wie man vermuten könnte. NRW teilt sich mit Niedersachsen 583 km, mit Hessen 272 km und mit Rheinland-Pfalz 312 km eine Landesgrenze. Dies sind insgesamt fast 1200 km Landesgrenze. Unterstellt man eine Einwirkungsbereich von Geräuschquellen von 1 km betrifft sind Quellen in ungefähr 1200 km² von 34.000 km² Gesamtfläche des Landes NRW betroffen. In ungefähr 3 Prozent der Fälle kommt eine solche Situation in NRW vor. Bei kleineren Ländern geschieht das natürlich noch häufiger, weil das Verhältnis Länge der Landesgrenze zur Landesfläche größer wird und weil sie beispielsweise keine Staatsgrenze haben.

Die Rechnung ändert sich massiv, wenn man Anlagen mit einem weit größeren Einwirkungsbereich betrachtet. Schießanlagen kommen auf (mindestens) 5 km Einwirkungsbereich. Dann sind es schon 15% der Fläche.

2.3 Schallausbreitung entlang der Sektorgrenze der Windrose

Es wird häufig übersehen, dass die ‚Maßgeblichkeit‘ eines Immissionsortes auch vom Bestimmungsverfahren des C_{met} abhängt. Das ist gerade dann der Fall, wenn bei einer Sektor-orientierten Bestimmung der maßgebliche Immissionsort an der Kante eines Sektors gesucht wird. Kleinste Änderungen der Richtung führen dann zu einer anderen Auswahl.

3 Zur Definition der meteorologische Korrektur C_{met}

3.1 Das C_{met} in der DIN ISO 9613-2

Die TA Lärm [3] nutzt zur Bestimmung von Beurteilungspegeln grundsätzlich A-bewertete Langzeitmittelungspegel, die für viele Geräuschquellenarten durch die Anwendung der DIN ISO 9613 zu ermitteln sind. Da das Kernverfahren der Norm auf einer Prognose des Immissionspegels unter schallausbreitungsgünstigen Bedingungen $L_{AT}(DW)$ beruht, ist bei Prognosen im Zusammenhang mit der TA Lärm die Anwendung der meteorologischen Korrektur C_{met} nach Gl. (6) der Norm unabdingbar, um den Langzeitmittelungspegel $L_{AT}(LT)$ zu erhalten.

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

In Kapitel 8 der Norm wird im Gleichungspaar Gl. (21, 22), vorgegeben, wie in Abhängigkeit von der Quellhöhe h_s , der Empfängerhöhe h_r und dem auf die Bodenebene projizierten Abstand zwischen Quelle und Empfänger d_p das C_{met} über einen Faktor C_0 zu berechnen ist.

$$C_{met} = 0 \text{ dB} \quad \text{für } d_p \leq 10(h_s + h_r) \quad (\text{Gl. 21})$$

$$C_{met} = C_0 \left(1 - 10 \frac{(h_s + h_r)}{d_p} \right) \quad \text{für } d_p > 10(h_s + h_r) \quad (\text{Gl. 22})$$

Anmerkung 1

Das C_{met} gilt nach DIN ISO 9613-2 nur für Quellen, „deren Leistung über die Zeit konstant ist“. Es gilt also nach Norm beispielsweise nicht für impulshaltige Geräuschquellenarten. Die TA Lärm setzt allerdings diese Beschränkung gerade für Schießlärm ausdrücklich außer Kraft.

Anmerkung 2

Wie die Unsicherheitsbetrachtung in Tabelle 5 der DIN ISO 9613-2, vgl. [4], sollte die Anmerkung 20 nur bei Situationen ohne Schirmung, Geländeschirmung (Wald und Bauungsdämpfung) angewendet werden. Erfahrungsgemäß kann das C_{met} in Einzelfällen mit Schirmen massiv höher ausfallen.

3.2 Das C_0 in DIN ISO 9613-2

Das C_0 ist laut Norm „ein Faktor, in Dezibel, der von den örtlichen Wetterstatistiken für Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Temperaturgradienten abhängt“.

Zur Bestimmung des C_0 liefert die Norm lediglich in Anmerkung 20 textliche Hinweise: „Ein Wert für C_0 ... kann nach einer elementaren Analyse der örtlichen Wetterstatistik geschätzt werden. Falls sich beispielsweise ergibt, dass ..., für Schallausbreitung günstigen Wetterbedingungen während 50% des betrachteten Zeitraums vorliegen und die Dämpfung während der übrigen 50% mindestens 10 dB höher ist, so beträgt C_0 etwa +3 dB, ...“.

Die Norm führt in Anmerkung 21 weiter aus: „Die Witterungsbedingungen für die Bewertung von C_0 können von den örtlichen Behörden festgelegt werden.“

3.3 Festlegung des C_0 als gutachtliche Leistung

Nach dem Wortlaut der DIN ISO 9613-2 gibt sie also nur ein Beispiel zur Schätzung des C_0 in einer Anmerkung; eine kaum regelsetzende Vorgehensweise. Streng genommen überlässt sie das Problem C_0 dem Anwender der Norm. Im Rahmen einer gutachtlichen Stellungnahme resultiert daraus nach allgemeinem Verständnis die Pflicht für den Anwender, sein dort gewähltes Verfahren zu begründen. Diese Pflicht wird erfüllt, wenn der Anwender ein Verfahren zitiert oder selbst ein Verfahren beschreibt.

Es ergibt sich also aus der DIN ISO 9613-2 keine Rechtsgrundlage dafür, dass Behörden bei schalltechnischen Gutachten ein Verfahren zur Bestimmung des C_0 oder etwa das C_0 selbst vorgeben können. Die Bestimmung des C_0 ist Aufgabe des Anwenders und fällt unter seine Expertise. Zur gleichen Einschätzung kommen auch KURZE und SCHIRMMACHER in [2].

Es gibt durchaus Ansätze, die Bestimmung des C_0 aus detaillierten Wetterstatistiken auch unter Berücksichtigung von Temperaturgradienten (so wie es die Norm verlangt, s. o.) mit Hilfe von fortschrittlichen Schallausbreitungsmodellen durchzuführen, s. zum Beispiel [5]. Diese Vorgehensweise ist – wie ausgeführt normenkonform – und im Sonderfall jeder pauschalen Regelung überlegen. Solche aufwendigen Verfahren eignen sich aber nicht für den Regelfall in der gutachtlichen Praxis. Auch aus Sicht der Qualitätssicherung, die Nachvollziehbarkeit und die eindeutige Umsetzung der Verfahren einer Norm verlangt, ist diese „Freiheit“ für den Anwender eine Regelungslücke in der DIN 9613-2, die behoben werden sollte.

4 Eingeführte Schätzung des C_0

4.1 Konzept

In der gutachtlichen Praxis hat sich – zumindest in einigen Bundesländern aufgrund von „behördlichen Empfehlungen“ – durchgesetzt, das C_0 über die Verrechnung einer Gewichtungsfunktion G mit einer Langzeit-Windrose W zu bestimmen. Die Gewichtungsfunktion gibt dabei als ‚dezibelisierter‘ Faktor die windrichtungsabhängige meteorologische Korrektur des $L_{AT}(DW)$ auf den $L_{AT}(LT)$ für d_p gegen unendlich an.

Die Vorgehensweise ist grundsätzlich in [2] vorgestellt, soll hier aber noch einmal stringent abgeleitet werden, auch um einige Missverständnisse in den Empfehlungen auszuräumen.

4.2 Gewichtungsfunktion

Die hier diskutierte Gewichtungsfunktion hat die Form

$$G(\varphi) = Q(1 - \cos(\varphi - \Theta \sin(\varphi))) \quad \text{Gl. 1}$$

Anmerkung

Im Folgenden werden bewusst andere Symbole eingeführt als sie häufig in einschlägigen Schriften eher unklar verwendet werden.

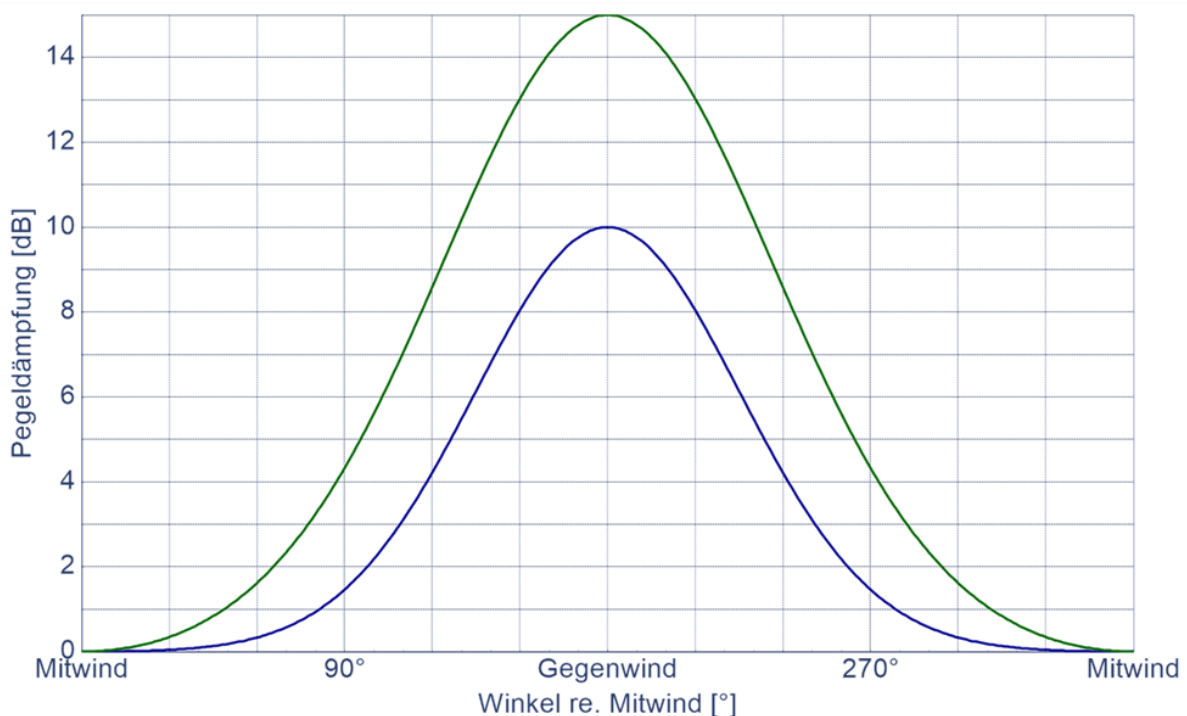


Abbildung 1 Gewichtungsfunktion der Pegeldämpfung für $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$ (Blau) und $\{Q = 7.5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$ (Grün)

In Gl. 1 ist φ der Winkel relativ zur Mitwindrichtung; Q bzw. Θ sind jeweils festzulegende Konstanten. Der ‚Pegel‘ Q kennzeichnet die Pegeldifferenz zwischen Mitwind-Pegel ($\varphi = 0^\circ$)

und Gegenwind-Pegel ($\varphi = 180^\circ$). Mit dem Winkel Θ lässt sich die Breite des Gegenwind- bzw. Mitwindfenster festlegen. Abbildung 1 stellt die Funktion für zwei gebräuchliche Wertepaare $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$ (Blau) und $\{Q = 7,5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$ (Grün) dar.

Die Form der Funktion ist im Ansatz zumindest unglücklich. Es lassen sich keineswegs beliebige Mitwindfenster abbilden. Nur im Bereich $-70^\circ \leq \Theta \leq 70^\circ$ ergeben sich überhaupt sinnvolle Verläufe. Dennoch ist der Ansatz in der Praxis hinreichend. Das Wertepaar wird von der Tageszeit (bzw. Beurteilungszeit), von der Jahreszeit aber auch von örtlichen Gegebenheiten abhängen. Dies wird an anderer Stelle zu diskutieren sein.

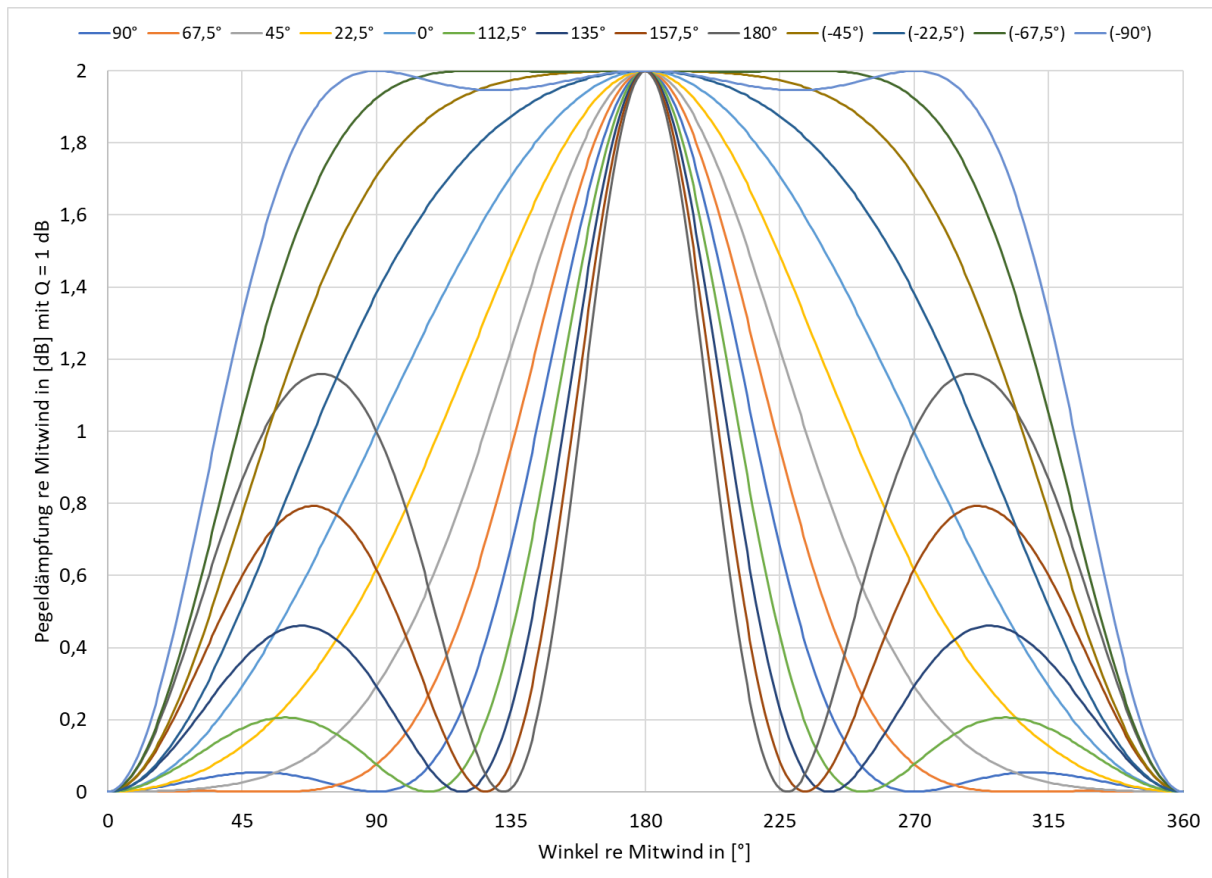


Abbildung 2 Gewichtungsfunktion der Pegeldämpfung bei $Q = 1 \text{ dB}$
Parameter Θ von -90° bis $+90^\circ$

G ist nicht etwa normiert. Berechnet man das $C_0(\eta)$ nach Gl. 6, siehe unten, ergibt sich bei einer isotropen Windrose für das Wertepaar $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$ ein winkelunabhängiges C_0 von 2,08 dB bzw. für $\{Q = 7,5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$ ein C_0 von 3,49 dB. Die Gewichtungsfunktion bestimmt, welchen Einfluss C_{met} bei der Prognose mit der DIN ISO 9613-2 hat.

5 Langzeit-Windrose

5.1 Definition und abgeleitete Windfunktionen

Eine Langzeit-Windrose gibt die relative Häufigkeit (meistens in Prozent) von Kalmen und des Auftretens des Windes aus diskreten Richtungen für den gewählten Zeitraum an. Die diskreten Richtungen folgen einer harmonischen Winkelteilung (90° , 60° , 45° , 30° oder $22,5^\circ$ Sektorbreite) eines Kompasses. Die Richtungen sind als Sektormittelnwinkel als Himmelsrichtung angegeben. Eine solche Darstellung der ‚Witterungsbedingungen‘ ist für die Zwecke des Schätzverfahrens für C_0 nicht geeignet. Die Windrose muss aufbereitet werden.

1. Kalmen sind schwachwindige Wetterlagen ohne eindeutige Windrichtung. Für das Schätzverfahren gibt es nur zwei Möglichkeiten: weglassen und Windrose neu normieren oder den Anteil der Kalmen auf alle Windrichtungen gleichmäßig zu verteilen. Hier wird der Anteil der Kalmen grundsätzlich gleichmäßig auf alle Richtung verteilt.

Anmerkung

Die in zumindest einer bekannten Empfehlung niedergelegte Regel, den Anteil der Kalmen dem Sektor zuzuschlagen, in dem der Immissionsort liegt, ist nicht durchzuhalten, weil diese Vorgehensweise von der Sektorbreite abhängt und bei einer Interpolation der Windrose unsinnig wird.

Zudem stellt sich die Frage, ob man Häufigkeiten mit mehr als 8 m/s Windgeschwindigkeit nicht weglassen sollte. Bei solchen Sturmlagen sind Windgeräusche stets dominant.

2. Die Himmelsrichtung hat eine mathematisch negative Drehrichtung. Zudem ist die Windrichtung die Richtung, aus der der Wind kommt. Es kann deshalb leicht zu Missverständnissen kommen, wenn man Begriffe wie Mitwindrichtung und Schallausbreitungsrichtung von der Quelle zum Immissionsort verwendet, ohne eindeutig festzulegen, ob es sich um Winkel oder Differenzwinkel in der Notation von Himmelsrichtungen oder als mathematische Winkel in einem Kartenkoordinatensystem handelt. Zur besseren Unterscheidung wird für die Einheit der Himmelsrichtung die Notation $[\text{H}^\circ]$ eingeführt. Die Himmelsrichtung Nordost wird also beispielsweise als 45^{H° angegeben.

Hier wird festgelegt, dass grundsätzlich in einem lokalen rechtwinkligen, rechtshändigen metrischen Koordinatensystem gerechnet wird, bei dem die Abszisse in Ost-richtung, die Ordinate in Nordrichtung zeigt. Damit zeigt auch die z-Achse in Richtung von Geländehöhen und nicht - wie bei der Himmelsrichtung - in den Boden hinein. Die Quelle liegt im Ursprung des Koordinatensystems. Der Immissionsort liegt im Abstand d_p unter dem Winkel η in diesem Koordinatensystem. η wird hier in Grad $[\circ]$ angegeben.

3. Für das Schätzverfahren wird eine stetige Funktion für die Windrichtungshäufigkeit benötigt, vgl. [2], um Sprünge des C_0 und damit des C_{met} an den Sektorengrenzen der Windrose zu vermeiden. Dies wird in allen Empfehlungen billigend in Kauf genommen, weil die Sprünge in Immissionsort-bezogenen Anwendungen der DIN ISO 9613-2 nicht auffällig sind. Strenggenommen muss die Unstetigkeit bei der Unsicherheitsbetrachtung für das C_{met} und damit des Prognosepegels eingehen. Bei einer flächigen Darstellung, z. B. Karten von Prognosepegel, sind die Sprünge sichtbar und geben stets Anlass zu Nachfragen.

5.2 Interpolation der Windrose

Hier wird die trigonometrische Interpolation (FOURIER-Entwicklung) vorgegeben, weil die Windrose und die von ihr abgeleiteten Funktionen - auch das C_0 - periodisch sind.

Anmerkung

Dies wird so bereits von KURZE und SCHIRMACHER [2] vorgeschlagen. Die von Ihnen diskutierten Probleme mit dieser Methode sind keine mathematischen Probleme, sondern einfach ein Ausdruck für die Unterabtastung der Windrose.

Unter der Voraussetzung, dass der Anteil der Kalmen, S_0 , bereits verteilt wurde, gilt für die Abtastwerte der Windrichtungshäufigkeit beispielsweise für eine 30° Winkelteilung die Zuordnung nach Tabelle 1.

$W_0 = W(0^\circ)$	$= S_4(90^{\text{H}^\circ})$	$W_6 = W(180^\circ)$	$= S_{10}(270^{\text{H}^\circ})$
$W_1 = W(30^\circ)$	$= S_3(60^{\text{H}^\circ})$	$W_7 = W(210^\circ)$	$= S_9(240^{\text{H}^\circ})$
$W_2 = W(60^\circ)$	$= S_2(30^{\text{H}^\circ})$	$W_8 = W(240^\circ)$	$= S_8(210^{\text{H}^\circ})$
$W_3 = W(90^\circ)$	$= S_1(0^{\text{H}^\circ})$	$W_9 = W(270^\circ)$	$= S_7(180^{\text{H}^\circ})$
$W_4 = W(120^\circ)$	$= S_{12}(330^{\text{H}^\circ})$	$W_{10} = W(300^\circ)$	$= S_6(150^{\text{H}^\circ})$
$W_5 = W(150^\circ)$	$= S_{11}(300^{\text{H}^\circ})$	$W_{11} = W(330^\circ)$	$= S_5(120^{\text{H}^\circ})$

Tabelle 1 Zuordnung der Häufigkeit S_j in den Himmelsrichtungen zu den Häufigkeiten der Sektoren W_i

Für andere Winkelteilungen lässt sich die Zuordnung sofort angeben. Im Hinblick auf die praktische Anwendung der Interpolation wird hier auf eine allgemeine mathematische Formulierung verzichtet. Sie kann in [2] nachgelesen werden. Matrizen für andere Winkelteilungen findet man im Anhang der DIN EN ISO 17201-2 [8], in der dieses Verfahren zur Beschreibung der Richtcharakteristik einer Quelle angewendet wird.

$$\begin{bmatrix} a_0 \\ c_1 \\ a_1 \\ c_2 \\ a_2 \\ c_3 \\ a_3 \\ c_4 \\ a_4 \\ c_5 \\ a_5 \\ c_6 \end{bmatrix} = \frac{1}{12} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 2 & \sqrt{3} & 1 & 0 & -1 & -\sqrt{3} & -2 & -\sqrt{3} & -1 & 0 & 1 & \sqrt{3} \\ 0 & 1 & \sqrt{3} & 2 & \sqrt{3} & 1 & 0 & -1 & -\sqrt{3} & -2 & -\sqrt{3} & -1 \\ 2 & 1 & -1 & -2 & -1 & 1 & 2 & 1 & -1 & -2 & -1 & 1 \\ 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} & 0 & -\sqrt{3} & -\sqrt{3} & 0 & \sqrt{3} & \sqrt{3} & 0 & -\sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 2 & 0 & -2 & 0 & 2 & 0 & -2 & 0 & 2 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -2 & 0 & 2 & 0 & -2 & 0 & 2 & 0 & -2 \\ 2 & -1 & -1 & 2 & -1 & -1 & 2 & -1 & -1 & 2 & -1 & -1 \\ 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} & 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} & 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} & 0 & \sqrt{3} & -\sqrt{3} \\ 2 & -\sqrt{3} & 1 & 0 & -1 & \sqrt{3} & -2 & \sqrt{3} & -1 & 0 & 1 & -\sqrt{3} \\ 0 & 1 & -\sqrt{3} & 2 & -\sqrt{3} & 1 & 0 & -1 & \sqrt{3} & -2 & \sqrt{3} & -1 \\ 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} W_0 \\ W_1 \\ W_2 \\ W_3 \\ W_4 \\ W_5 \\ W_6 \\ W_7 \\ W_8 \\ W_9 \\ W_{10} \\ W_{11} \end{bmatrix}$$

Gl. 2 *Matrizengleichung zur Bestimmung der Cosinus- und Sinus-Koeffizienten der trigonometrischen Interpolation für die 30°-Teilung*

Deshalb gibt Gl. 2 - ebenfalls für die 30°-Teilung - die Bestimmungsmatrix für die Koeffizienten der Interpolationsgleichung an. Für die Windrichtungshäufigkeit gilt dann Gl. 3.

$$W(\eta) = a_0 + \sum_{i=1}^5 a_i \sin(i \eta) + \sum_{i=1}^6 c_i \cos(i \eta) \tag{Gl. 3}$$

$W(\eta)$ gibt nun stetig die Häufigkeit in Prozent je Winkeleinheit an, aus der der Wind kommt. Für die Bestimmung von C_0 ist diese Funktion noch nicht optimal. Vielmehr wird die Häufigkeit in Prozent je Winkeleinheit in Abhängigkeit vom Winkel im Kartenkoordinatensystem benötigt, in der Wind weht, also die Luftströmungsrose $A(\eta)$. Dafür gilt Gl. 4.

$$A(\eta) = W(\eta + 180^\circ) \tag{Gl. 4}$$

6 Objektivierbares Schätzverfahren des C_0

6.1 Das C_0 als Faltung

Zur Vorbereitung der Berechnung des C_0 wird noch die Funktion $F(\varphi)$, die die Gewichtsfunktion in Gl. 1 als Faktor darstellt, eingeführt.

$$F(\varphi) = 10^{-0.1Q(1-\cos(\varphi-\Theta\sin(\varphi)))} \quad \text{Gl. 5}$$

Dann kann $C_0(\eta)$ als Faltung nach Gl. 6 berechnet werden.

$$C_0(\eta) = \int_0^{360^\circ} A(\alpha)F(\alpha-\eta)d\alpha \quad \text{Gl. 6}$$

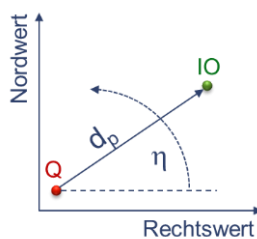


Abbildung 3

Skizze zur Festlegung des Winkels η

6.2 C_0 in den Beurteilungszeiten Tags und Nachts

Mit dem hier vorgestellten Schätzverfahren für C_0 steht ein qualitätssicherbarer Weg zur Verfügung, der lediglich noch von dem Parameterpaar Q , Θ und von der Windrose abhängt. Q , Θ und die Windrose sind als Vorgabe der „Witterungsbedingungen für die Bewertung von C_0 “ im Sinne der Anmerkung 21 der DIN ISO 9613-2 zu interpretieren und können von lokalen Behörden vorgegeben werden. Das kann auch – und sollte auch, vgl. [5] und [9] – für die Beurteilungszeiten Tags und Nachts unterschiedlich geschehen. Es ist bekannt, dass sich beispielsweise die Breite des Mitwindsektors signifikant für beide Beurteilungszeiten unterscheiden. Das Verfahren selbst aber ist eine gutachtliche Setzung, das ohne ‚behördlichen Segen‘ regelkonform ist.

6.3 Abhängigkeit des C_0 vom Tages- und Jahresgang der Windrose

Windrosen gibt es mit unterschiedlicher zeitlicher, örtlicher Auflösung von verschiedenen Wetterdiensten. Wir beschränken uns hier auf den Deutschen Wetterdienst DWD, der so etwas wie ‚amtliche‘ Wetterstatistiken liefern kann.

Anmerkung

Der DWD bietet Windrosen für seine Wetterstationen an. Sie sind also ortgebunden und stammen aus geprüften Messwerten. Jedermann kann diese Daten kaufen im Shop des DWD kaufen. (<https://www.dwd-shop.de/index.php/default/vergangenes-wetter-klimainfos/deutschland-spezial.html>) Die Kosten pro Wetterstation belaufen sich auf

(zurzeit) 6,95 €. In den gelieferten Dateien gibt es detaillierte Tabellen und Graphiken über die monatlich, jahreszeitlich aufgeschlüsselten Stärkewindrosen und natürlich die Stärkewindrose des Kalenderjahres. Im Datensatz (Beispiel Aachen-Orsbach) finden sich zurzeit diese Angaben für die Kalenderjahre 2012 bis 2018. Es gibt also kein Mangel an ‚amtlicher‘ Datenversorgung.

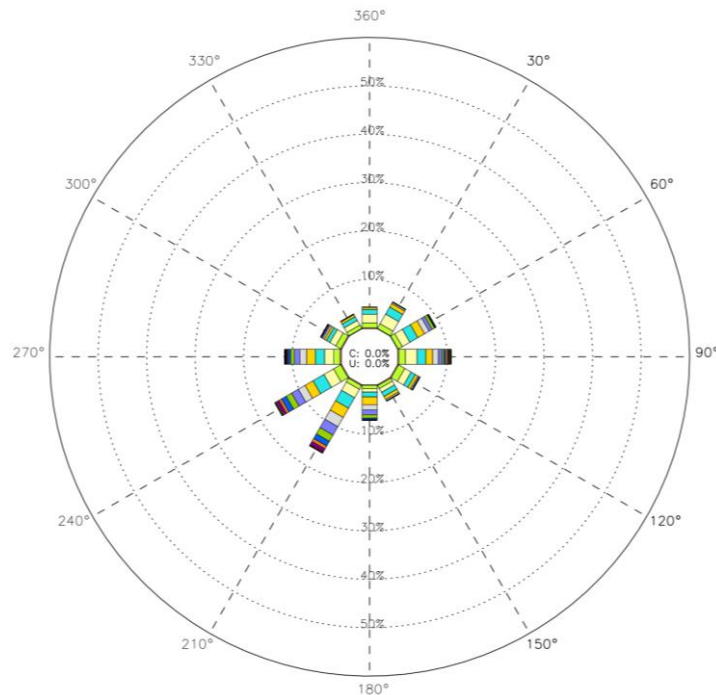


Abbildung 4 Stärkewindrosen für die Wetterstation Aachen-Orsbach für das Jahr 2018 im Winter, Frühling, Sommer und Herbst
Quelle: Deutscher Wetterdienst, Produkt Stärkewindrosen, 2019

Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden. zeigt die Stärkewindrosen der Wetterstation Aachen-Orsbach für das Jahr 2018: Eine typische Windrose für das deutsche Flachland, geprägt durch die vorherrschende Windrichtung Südwest.

Abbildung 5 zeigt diese Windrose aufgeschlüsselt nach Jahreszeiten. Diese Windrosen unterscheiden sich signifikant und würden auch ein nach Jahreszeiten unterschiedliches C_0 rechtfertigen.

Natürlich unterscheidet sich die Windrose für den Tag von der für die Nacht. Auch hier kann man unterschiedliches C_0 rechtfertigen.

Folgt man der TA Lärm muss man sogar unterscheiden.

Zitat TA Lärm A.1.4

„Treten während einer Beurteilungszeit unterschiedliche Emissionen auf oder sind unterschiedliche Zuschläge für Ton- und Informationshaltigkeit, Impulshaltigkeit oder Tageszeiten mit erhöhter Empfindlichkeit erforderlich, so ist zur Ermittlung der Geräuschmission während der gesamten Beurteilungszeit diese in geeigneter Weise in

Teilzeiten Tj aufzuteilen, in denen die Emissionen im wesentlichen gleichartig und die Zuschläge konstant sind. Eine solche Unterteilung ist z.B. bei zeitlich abgrenzbarem unterschiedlichem Betrieb der Anlage erforderlich“

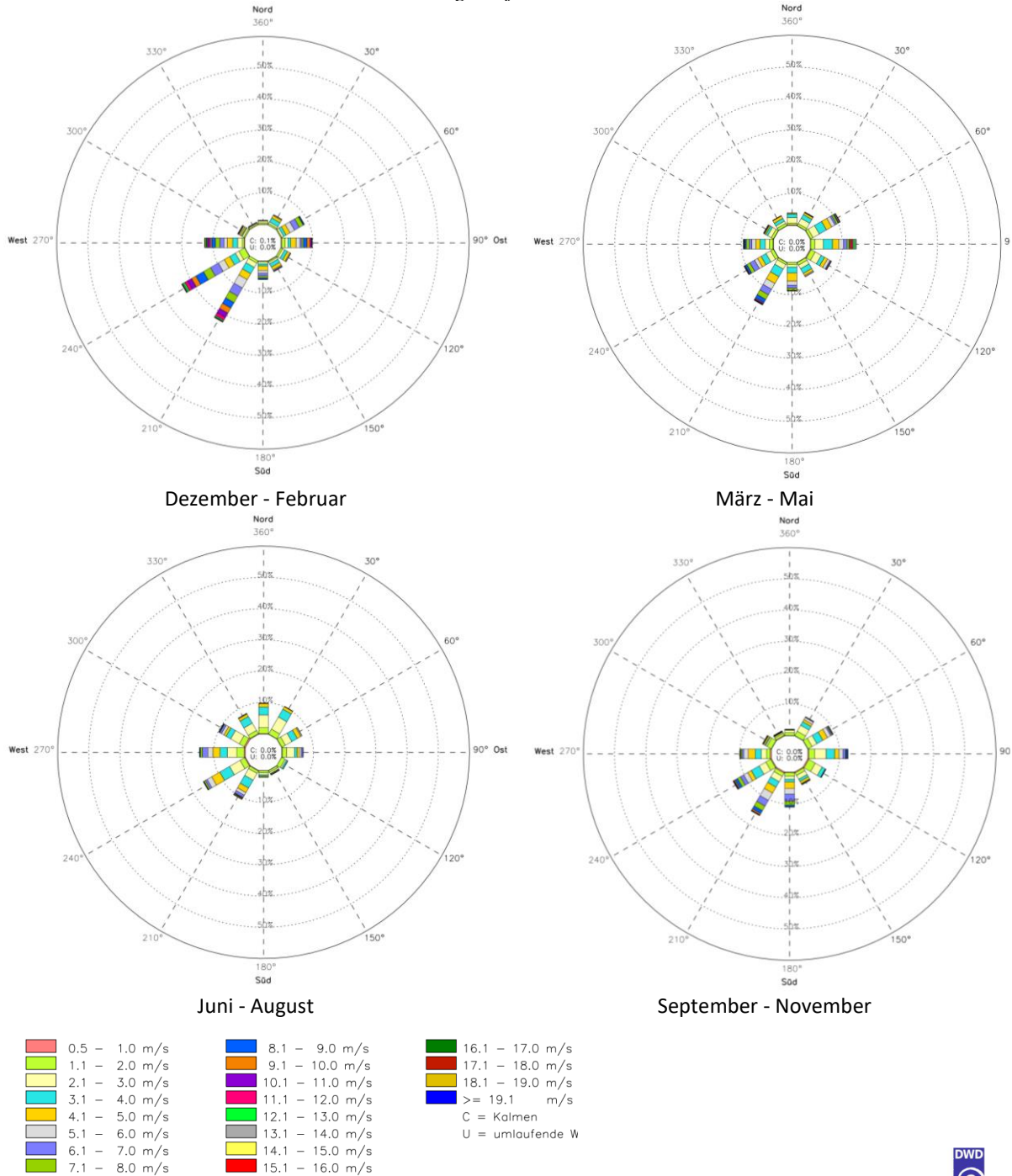


Abbildung 5 Stärkewindrosen für die Wetterstation Aachen-Orsbach für das Jahr 2018 im Winter, Frühling, Sommer und Herbst
Quelle: Deutscher Wetterdienst, Produkt Stärkewindrosen, 2019

7 Berechnungsbeispiel

Im Folgenden wird ein Beispiel für die Berechnung des C_0 für die in Tabelle 2 gegebene Langzeit-Windrose angegeben.

Himmelsrichtung		η	S	C_0 7,5/22,5	C_0 5/45
textlich	H°	°	30 %/°	dB	dB
Nord	0	90	2,60	2,95	1,46
	30	60	3,00	2,48	1,34
	60	30	6,80	2,30	1,42
Ost	90	0	10,60	2,44	1,60
	120	330	6,70	2,94	1,83
	150	300	5,90	3,75	2,11
Süd	180	270	8,60	4,50	2,47
	210	240	9,60	4,82	2,89
	240	210	14,80	4,66	3,10
West	270	180	17,40	4,25	2,91
	300	150	9,40	3,79	2,41
	330	120	4,60	3,37	1,85

Tabelle 2 Windrose und Ergebnis für das C_0 beim Sektormittelnwinkel nach Gl. 6 für die Wertepaare $\{Q = 7,5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$ und $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$

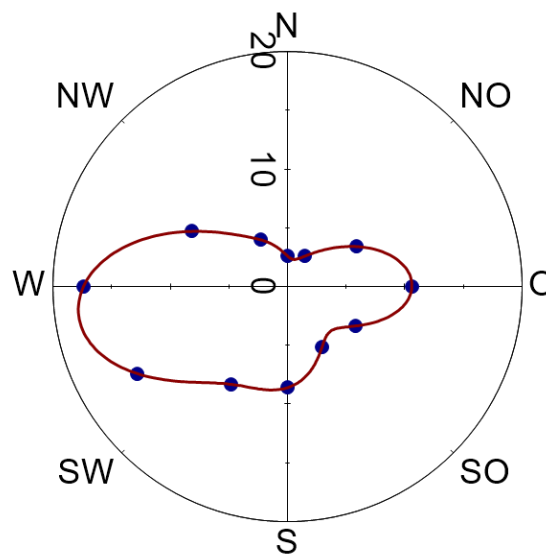


Abbildung 6 Windrose nach Tabelle 2
Sektorenwerte S als blaue Punkte und $W(\eta)$ als rote Linie

Abbildung 6 macht deutlich, dass die trigonometrische Interpolation $W(\eta)$ zu einer sachgerechten Darstellung der Häufigkeitsverteilung der Windrose $S(\text{Himmelsrichtung})$ führt. Abbildung 7 zeigt die dazu gehörende Luftströmungsrose $A(\eta)$.

Abbildung 8 zeigt schließlich die C_0 -Rosen $C_0(\eta)$, für die hier diskutierten Gewichtungsfunktionen. Die Funktion mit dem Wertepaar $\{Q = 7,5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$ führt in jeder Richtung zu

signifikant größerem C_0 als $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$. Die Faltung nach Gl. 6 führt zu einer glatten C_0 -Rose. Die Gewichtungsfunktionen prägen nicht jeweils ein signifikant anderes C_0 -Niveau, sondern erreichen auch bei unterschiedlichen Winkeln ihre größten bzw. kleinsten Werte.

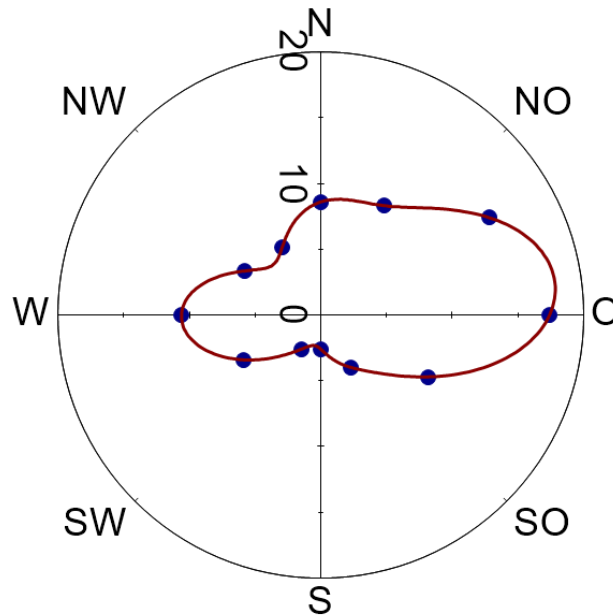


Abbildung 7 Windrose $A(\eta)$ nach Tabelle 2
Sektorenwerte S als blaue Punkte und $W(\eta)$ als rote Linie

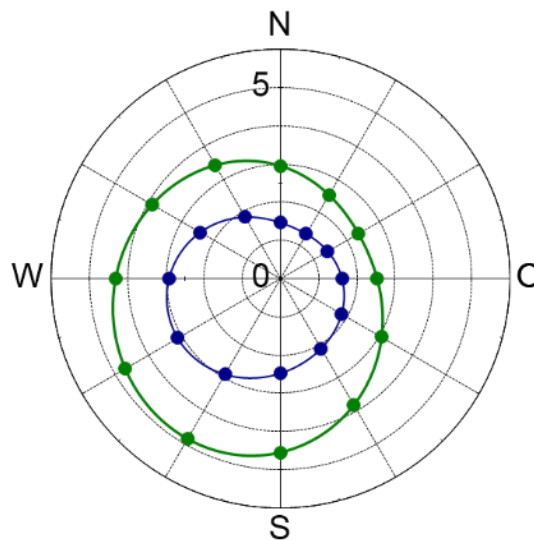


Abbildung 8 $C_0(\eta)$ nach Gl. 6 $\{Q = 7,5 \text{ dB}; \Theta = 22,5^\circ\}$ Grün, $\{Q = 5 \text{ dB}; \Theta = 45^\circ\}$ Blau
Sektorenwerte als Punkte und Interpolation als Linie

8 Empfehlungen

Die Länder mögen sich auf ein gemeinsames Verfahren zur Bestimmung des C_0 einigen. Ein solches Verfahren kann beispielsweise als Leitfaden der Länderarbeitsgemeinschaft für Immissionsschutz (LAI) erarbeitet und herausgegeben werden. Die Praxis zeigt, dass solche Empfehlungen der LAI in vielen vergleichbaren Situationen Klarheit und insbesondere Rechtsicherheit geschaffen haben.

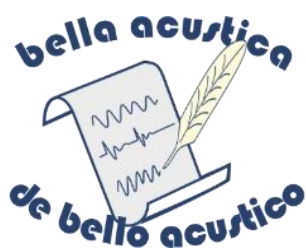
Ein solcher Leitfaden könnte folgende Regelungen enthalten

1. Für den gesamten Einwirkungsbereich einer Quelle (bzw. einer Anlage) gelten stets die Witterungsbedingungen an der Quelle (bzw. Anlage)
2. Als Grundlage zur Berechnung des C_0 wird die Faltung der Windrose nach Gl. 6 mit einer Gewichtsfunktion nach Gl. 1 vorgegeben
3. Die lokalen Behörden kommen der Anmerkung 21 der DIN ISO 9613-2 zur Angabe der Witterungsbedingungen stets nach und werden für jede Beurteilungszeit
die Langzeit-Windrose
das Wertepaar $\{Q;\Theta\}$
festlegen.
4. Die Windrosen sollen mindestens eine Winkelteilung von 45° und höchstens eine Teilung von $22,5^\circ$ aufweisen.
5. Die Kalmen in den Windrosen werden auf alle Richtungen gleichverteilt.
6. Bei der Bestimmung von Zwischenwerte aller Funktionen (Windrose, C_0) wird die trigonometrische Interpolation verwendet.

9 Verweise





- [1] DIN ISO 9613-2:1999-10, Akustik - Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien
- [2] Kurze, U. J.; Schirmmayer, R.: „Meteorologische Korrektur in DIN ISO 9613-2“, Lärmbekämpfung 46(1999)2, S. 45-49
- [3] Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm - TA Lärm) Vom 26. August 1998 (GMBI Nr. 26/1998 S. 503)
- [4] Hirsch, K.-W.: „Zur Vorausberechnung von Schießgeräuschen mit der Norm DIN ISO 6313 - Eine systematische Methodenkritik“, Lärmbekämpfung 8(2013)3, S. 108-117
- [5] Hirsch, K.-W.: „Meteorologische Korrekturen – Ermittlung auf der Grundlage einer Pegelstatistik“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2015, DEGA e. V., Nürnberg
- [6] Thüringer Landesanstalt für Umwelt und Geologie: „Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien: Allgemeine Berechnungsverfahren (ISO 9613:1996) DIN ISO 9613-2“, F.-Chr. Zacharias, https://www.thueringen.de/imperia/md/content/tlug/abt1/vreferate/2013/17_2013/grundlagen_schallprognose_iso9613-2.pdf, abgerufen am 14.02.2020
- [7] Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen: „TA Lärm 1998 – Empfehlungen des LANUV zu cmet“, 2012
- [8] DIN EN ISO 17201-2 „Acoustics — Noise from shooting ranges — Part 2: Estimation of source data - muzzle blast and projectile noise
- [9] Hirsch, K.-W.; Kleinhenrich, C.: „Zum Krümmungsradius in der DIN ISO 9613-2 - Eine Analyse mit dem Schallwetter“, Fortschritte der Akustik, DAGA 2019, DEGA e. V., Rostock

10 Über „Bella Acustica – De Bello Acustico“



**Eine Sammlung von Aufsätzen
zu ausgewählten Themen der Akustik
aus der ganz persönlichen Sicht des Autors**

	Prolog Die Schöne und der Krieg	kwhdba.00.02 2018-10-31	E
	Dezibels Warum sich Akustiker in der Wüste am wohlsten fühlen	kwhdba.01.01 2018-10-07	E
	Bewertungen Wie die Ohren hören sollten	kwhdba.02.01 2016-11-09	E
	Zeit begreifen Zeitbegriffe	kwhdba.03.00 2016-11-12	F
	Rote Rosen Prognosen mit dem Schallwetter	kwhdba.04.00 2016-11-12	I
	Pegelsalat Zur systematischen Kennzeichnung von Schallpegeln	kwhdba.05.00 2016-11-12	F
	Vom Harten und Weichen Bodenreflexionen im Freien	kwhdba.06.00 2016-11-12	I
	Atmosphärische Störungen Über Messungen im Freien	kwhdba.07.00 2016-11-21	F
	Projectile Sound To Whom It May Concern	kwhdba.08.01 2018-08-22	E
	Überreichweiten Über Zonen abnormaler Hörbarkeit	kwhdba.09.1 2018-09-17	E
	Götzenverehrung DIN ISO 9613	kwhdba.10.01 2018-10-06	K
	Krumme Hunde Schallkreise in der Luft	kwhdba.11.02 2018-11-09	E
	Kanonische Karten Über klare Kanten in der Lärmakustik	kwhdba.12.0 2019-03-15	I

	Jericho Über Trompeten, Mauern und Schallstrahlungsdruck	kwhdba.13.0 2019-05-13	E
	Cmet Die meteorologische Korrektur der DIN ISO 9613-2	kwhdba.14.0 2020-04-19	E
	Schießlärm Immissionsschutz auf Schießplätzen für Verwaltungsakustiker	kwhdba.15.0 2020-04-17	E
	Rasterdecken Massiver baulicher Schallschutz auf Schießständen	kwhdba.16.0 2020-04-17	E

Stand	I	Idee	erste Skizze	---	E	Entwurf	kurz vor druckreif	web
	F	Fragmente	erste Abschnitte oder Kapitel	---	D	Druck	Druckversion	web
	K	Konzept	Konzept ohne Sprachprüfung	web				

Impressum

Autor
Urheberrecht
Zitierhinweis
Verfügbarkeit
Kontakt



Karl-Wilhelm Hirsch
<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.de>
 Hirsch, K.-W.: „Bella Acustica – De Bello Acustica“, [Titel], [Kennung]
www.kwhirsch.de
post@kwhirsch.de