

# Reflexionen in der DIN ISO 9613-2 - Wann ist ein Objekt „senkrecht“?

Karl-Wilhelm Hirsch, Frank Hammelmann

Cervus Consult, Willich, consult@cervus.de

## Einführung

Die DIN ISO 9613-2: „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“ legt ein Verfahren zur Vorausberechnung von Geräuschimmissionen von Punktschallquellen fest. Diese Norm hat eine große Bedeutung im Immissionsschutz, weil die Anwendung ihrer Verfahren in der TA Lärm im Rahmen von Beurteilungsverfahren für Gewerbe- und Industrielärm vorgeschrieben ist.

Eine qualitätsgesicherte Anwendung der DIN ISO 9613-2 setzt eine sachgerechte und zuverlässige bzw. „präzise“ Interpretation ihrer Vorschriften voraus. In diesem Zusammenhang bedeutet „präzise“ eine stets in gleicher Weise erfolgende Auslegung der Regeln mit der Zielsetzung, dass Ergebnisse reproduzierbar ‚richtig‘ sind im Sinne der Norm DIN 45687: „Akustik — Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmission im Freien — Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen“. Um dieses Ziel zu erreichen, ist der Interpretationsspielraum, den die DIN ISO 9613-2 bei einigen Regelungen anbietet, so klein wie möglich zu halten.

In ihrem Abschnitt 7.5 zur Berücksichtigung von Reflexionen eröffnet die DIN ISO 9613-2 einen erheblichen Interpretationsspielraum; Zitat: „... Reflexionen entstehen an Decken/Dächern im Freien und an mehr oder weniger senkrechten Oberflächen ...“. Der vorliegende Beitrag leitet in enger Anlehnung an die Konzepte der Norm ein objektives Entscheidungskriterium für die nicht präzise Aussage ‚mehr oder weniger senkrecht‘ ab. Die abgeleitete ‚Reflexionsbedingung‘ folgt eindeutig und nachvollziehbar allein aus der Geometrie der Schallausbreitung.

## Ausgangslage

In DIN ISO 9613-2 Abschnitt 7.5 ist festgelegt, unter welchen Bedingungen Reflexionen von Objekten als eigene Schalllaufwege zu berücksichtigen sind. Zu diesen Bedingungen gehört auch eine textliche Festsetzung über die Neigung der Objekte. Danach sind Reflexionen zu berücksichtigen, falls sie „mehr oder weniger senkrecht“ sind. Diese textliche Festsetzung lässt einen Interpretations- bzw. Ermessensspielraum zu, der die Präzision der Umsetzung der Norm in Software-Erzeugnissen beeinträchtigt.

## Grundsätzliche Vorgehensweise

Im Folgenden wird die Bedingung „mehr oder weniger senkrecht“ so präzisiert, dass die Entscheidung, ob diese Bedingung zutrifft oder nicht, eindeutig und nachvollziehbar getroffen werden kann. Dieses im Folgenden als ‚Neigungsbedingung‘ bezeichnete Kriterium nutzt Spiegelquellen und den im informativen Anhang der Norm DIN ISO 9613-2 eingeführten Verlauf des Strahls von der Quelle zum Empfänger über einen Kreis mit dem Radius von 5000 m. Das Kriterium prüft ab, ob ein entsprechender Kreisstrahl von der Quelle über das Objekt den Empfänger erreichen kann. Falls es einen solchen Strahl gibt, ist das Objekt „senkrecht“ im Sinne der Norm und die Reflexion ist als Schallweg zu berücksichtigen.

## Fallunterscheidung

Da die Vorausberechnung der DIN ISO 9613-2 für (meteorologische) schallausbreitungsgünstige Ausbreitungsbedingungen gilt, die entweder unter Mitwindbedingungen von der Quelle zum Empfänger oder unter Inversionswetterlagen vorliegen, ist die Neigungsbedingung für beide meteorologische Ausbreitungsbedingungen zu formulieren und zu prüfen.

## Inversionswetterlage

Unter Inversionswetterlage ist die Brechung in der Atmosphäre isotrop: In jede Richtung wird der Schallstrahl zur Bodenebene hin gebrochen; im Regelfall liegt der Mittelpunkt des Kreisstrahls unterhalb der Bodenebene.

## Mitwindlage

Unter Mitwindbedingungen (von Quelle zum Empfänger) kann von Quelle zum zu prüfenden reflektierenden Objekt nur eine Gegenwindbedingung vorliegen: Auf diesem Weg wird der Strahl von der Bodenebene weg gebrochen; im Regelfall liegt der Mittelpunkt des Kreisstrahls oberhalb des Objekts und der Quelle.

## Aufgabenstellung

Es ist zu prüfen, ob ein Objekt für die Schallausbreitung von der Quelle S zum Empfänger R „senkrecht“ im Sinne der Norm ist.

Das Objekt wird durch eine die sonstigen akustischen Reflexionsbedingungen der Norm erfüllende, zur Quelle hingewandte Oberfläche gekennzeichnet. Diese Oberfläche wird im Folgenden als ‚Wand‘ bezeichnet und durch ihren Neigungswinkel  $\gamma$ , ihre Höhe  $w_B$  und ihre Lage durch die Lage der Wandunterkante, und die wiederum durch ihren auf die Bodenebene projizierten Abstand zur Quelle  $d_{WP}$  und durch ihre Höhe über der Bodenebene  $h_W$ , festgelegt. Der Neigungswinkel wird mathematisch negativ zum Lot auf die Bodenebene definiert, so dass direkte Strahlen von der Quelle an der Wand nach oben reflektiert werden, falls der Neigungswinkel positiv ist.

Die Betrachtungen gelten auch für Wände, die nicht auf dem Erdboden (Bodenebene) stehen. Ein Objekt kann, falls erforderlich, in mehrere ‚Wände‘ segmentiert werden.

In den Abbildungen 1 und 2 wird die Wand durch die untere Wandkante  $W_B$  und die obere Wandkante  $W_T$  dargestellt. In den beiden Abbildungen sind für die Quelle und den Empfänger alle zu betrachtenden Spiegelpositionen eingetragen. Die Bezeichnungen – auch die Definition der Kreise – sind aus Tabelle 1 zu entnehmen.

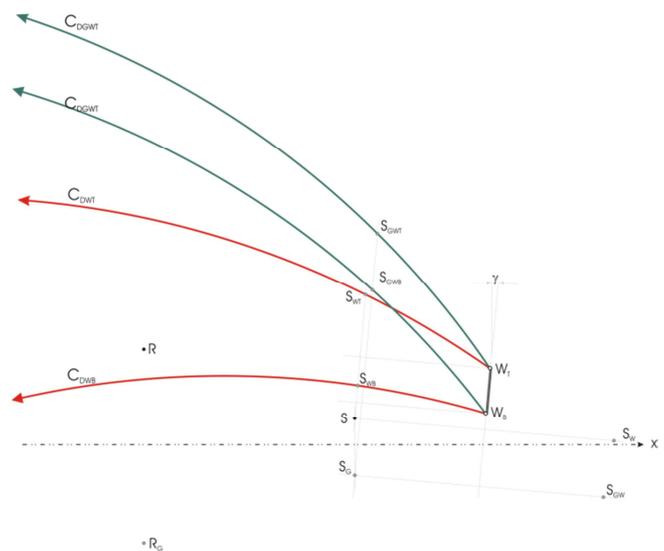


Abbildung 1 Skizze zur Neigungsbedingung für den Fall „Mitwind“ (x markiert die Bodenebene, alle übrigen Bezeichnungen nach Tabelle 1)

$C_{DGWB}$	Kreis durch $W_B$ und $S_{GWB}$
$C_{DGWT}$	Kreis durch $W_T$ und $S_{GWT}$
$C_{DWB}$	Kreis durch $W_B$ und $S_{WB}$
$C_{DWT}$	Kreis durch $W_T$ und $S_{WT}$
$C_{IGWB}$	Kreis durch $W_B$ und $S_{GW}$
$C_{IGWT}$	Kreis durch $W_T$ und $S_{GW}$
$C_{IWB}$	Kreis durch $W_B$ und $S_W$
$C_{IWT}$	Kreis durch $W_T$ und $S_W$
$C_{ref}$	Neigungsbedingung
$C_{ref,D}$	Neigungsbedingung für Mitwind
$C_{ref,I}$	Neigungsbedingung für Inversion
$d_p$	Abstand zwischen Quelle und Empfänger auf die Bodenebene projiziert
$d_{wp}$	Abstand zwischen Quelle und Wandunterkante auf die Bodenebene projiziert
$\gamma$	Neigungswinkel der Wand gegenüber dem Lot auf die Bodenebene
$h_r$	Höhe des Empfängers
$h_s$	Höhe der Quelle
$h_w$	Höhe der Wandunterkante
R	Empfänger
$R_G$	am Boden gespiegelter Empfänger
S	Quelle
$S_G$	am Boden gespiegelte Quelle
$S_W$	an der Wand gespiegelte Quelle
$S_{GW}$	am Boden und an der Wand gespiegelte Quelle
$S_{WB}$	an Lot auf die Wand durch die Unterkante der Wand gespiegelte Quelle
$S_{WT}$	an Lot auf die Wand durch die Oberkante der Wand gespiegelte Quelle
$S_{GWB}$	am Boden und am Lot auf die Wand durch die Unterkante der Wand gespiegelte Quelle
$S_{GWT}$	am Boden und am Lot auf die Wand durch die Oberkante der Wand gespiegelte Quelle
$w_h$	Höhe der Wand (als Abmessung der Wand)
$W_B$	Unterkante der Wand auf der der Quelle zugewandten Seite
$W_T$	Oberkante der Wand auf der der Quelle zugewandten Seite

Tabelle 1 Verwendete Symbole und Bezeichnungen

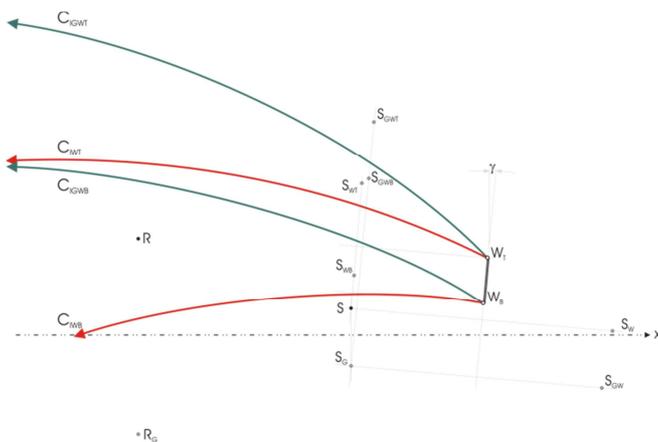


Abbildung 2 Skizze zur Reflexionsbedingung für den Fall „Inversion“ (x markiert die Bodenebene, alle übrigen Bezeichnungen nach Tabelle 1)

## Neigungsbedingung

Eine Wand erfüllt die Neigungsbedingung und das Objekt damit im Sinne der Norm die Bedingung „mehr oder weniger senkrecht“, falls mindestens eine der folgenden Bedingungen a) bis d) erfüllt ist:

Der Empfänger R oder der am Boden gespiegelte Empfänger  $R_G$  liegt

- außerhalb des Kreises  $C_{IWB}$  und innerhalb des Kreises  $C_{IWT}$
- außerhalb des Kreises  $C_{IGWB}$  und innerhalb des Kreises  $C_{IGWT}$
- außerhalb des Kreises  $C_{DGWB}$  und innerhalb des Kreises  $C_{DGWT}$
- außerhalb des Kreises  $C_{DGWB}$  und innerhalb des Kreises  $C_{DGWT}$

Die Bedingungen a) und b) bilden zusammen die Neigungsbedingung  $C_{ref,I}$  für den Fall der Inversion; die Bedingungen c) und d) entsprechend die Neigungsbedingung  $C_{ref,D}$  für den Mitwindfall; gemeinsam bilden sie die Neigungsbedingung für Reflexion  $C_{ref}$ .

## Folgerungen und besondere Anwendungen

Die nach den oben vorgestellten Bedingungen geprägte Interpretation des „mehr oder weniger senkrecht“ der DIN ISO 9613-2 hat weitere Konsequenzen. Da die Bedingungen auch auf Teilflächen angewendet werden kann, lassen sich Reflexionen an gekrümmte Bauwerke, z. B. zur Schallquelle hin und von der Quelle weg gekrümmte Schallschutzwände, nach objektiven und nachvollziehbaren Regeln bei Schallausbreitungsrechnungen berücksichtigen.

Ähnliches gilt auch für (steile) Wälle. Ihre Reflexionen werden bisher in der Regel auch in größeren Abständen vernachlässigt. Da die Reflexionsbedingung vom Abstand zwischen Quelle und Entfernung abhängt, liefern die neu hinzukommenden Schallwege Beiträge, die z. B. bei starken Schallquellen wie Sprengungen die Wirkung solcher aktiven Schallschutzmaßnahmen sachgerechter einschätzen lassen.

Die Reflexionsbedingungen bieten auch eine Entscheidungsbasis für den zu wählenden immissionswirksamen Schalleistungspegel dann, wenn die Richtcharakteristik eine signifikante vertikale Komponente aufweist.

## Einsatz bei einer Quell-Modellierung im 3D

Bei der Bestimmung von Ersatzquellen für Schallquellen in komplexen Quellgeometrien werden zunehmend Strahlverfolgungsalgorithmen eingesetzt, die die Schallquellen gemeinsam mit der zu ihr gehörenden Aufbauten in ihrer nächsten Umgebung durch Ersatzquellen abbilden. Dabei wird die Reflexion und die Beugung im 3D berechnet. Häufig bestehen solche Ersatzquellen aus vielen Teilerersatzquellen, die aus den verschiedenen Schallwegen innerhalb der Geometrien stammen. Die DIN EN ISO 17201-3 fordert ein solches Verfahren beispielsweise für die Beschreibung der Schallausbreitung von Schießgeräuschen in einem durch Sicherheitsblenden, Wällen und Wänden geprägten Schießstand.

Die Anwendung der Reflexionsbedingung dient dann dazu zu entscheiden, welche der 3D-Teilerersatzquellen, die naturgemäß nicht nur einen horizontalen sondern auch einen vertikalen Öffnungswinkel aufweisen, in dem 2D-Schema der DIN ISO 9613-2 zu berücksichtigen sind.

## Literaturhinweise

- DIN ISO 9613-2:1999-10: „Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien“
- DIN 45687: „Akustik — Software-Erzeugnisse zur Berechnung der Geräuschimmissionen im Freien — Qualitätsanforderungen und Prüfbestimmungen“.

Diese Untersuchungen werden vom Bundesamt für Infrastruktur, Umweltschutz und Dienstleistungen der Bundeswehr unterstützt.