# DIN EN ISO 9613-2

DIN

ICS 17.140.01

*Entwurf*

Einsprüche bis 2024-11-06
Vorgesehen als Ersatz für
DIN ISO 9613-2:1999-10

## Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung – Teil 2: Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) für die Vorhersage der Schalldruckpegel im Freien (ISO 9613-2:2024); Deutsche und Englische Fassung prEN ISO 9613-2:2024

Acoustics –
Attenuation of sound during propagation outdoors –
Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors (ISO 9613-2:2024);
German and English version prEN ISO 9613-2:2024

Acoustique –
Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre –
Partie 2: Méthode d'ingénierie pour la prédiction des niveaux de pression acoustique en extérieur (ISO 9613-2:2024);
Version allemande et anglaise prEN ISO 9613-2:2024

**Anwendungswarnvermerk**

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-09-06 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

— vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;

— oder als Datei per E-Mail an nals@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;

— oder in Papierform an den DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 112 Seiten

DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS)

AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

# Nationales Vorwort

Das Dokument prEN ISO 9613-2:2024 wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 211 „Akustik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN (Deutschland) gehalten wird.

Das zuständige nationale Normungsgremium ist der Arbeitsausschuss NA 001-02-03 AA „Schallausbreitung, Schallschutz und Lärmminderung“ im DIN/VDI-Normenausschuss Akustik, Lärmminderung und Schwingungstechnik (NALS).

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

| | | |
|---|---|---|
| IEC 61260-1 | siehe | DIN EN 61260-1 |
| IEC 61400-11:2012+A1:2018 | siehe | DIN EN 61400-11:2019-05 |
| IEC 61672-1 | siehe | DIN EN 61672-1 |
| ISO 3740:2019 | siehe | DIN EN ISO 3740:2019-08 |
| ISO 8297:1994 | siehe | DIN ISO 8297:2023-10 |

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

**Änderungen**

Gegenüber DIN ISO 9613-2:1999-10 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

a) Unterteilung der erweiterten Quellen verbessert (detaillierter, um Unsicherheiten bei Softwareimplementierungen zu verringern);

b) verbesserte Klassifizierung der Quell-Richtcharakteristik;

c) verbesserte und detailliertere Bestimmung des Bodenfaktors $G$ (Projektion auf die horizontale Ebene);

d) Integration einer Korrektur für $A_{gr}$ zur Berücksichtigung des abnehmenden Bodeneffekts bei kleinen Entfernungs-/Höhenwerten – Harmonisierung des Allgemeinen Verfahrens 7.3.1 und des Vereinfachten Verfahrens 7.3.2;

e) geänderte Definition der mittleren Höhe hm für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens 7.3.2;

f) Integration der Strategie zur Berechnung der Abschirmung, wie sie in ISO/TR 17534-3 entwickelt wurde;

g) geänderte Spezifikation der Barrieredämpfung $D_z$ und der Korrektur für meteorologische Effekte $K_{met}$, um bekannte Unzulänglichkeiten bei niedrigen Barrieren und großen Quell-Empfangsabständen zu beseitigen;

h) Aufnahme klarer Spezifikationen für die Kombination von vertikaler und lateraler Beugung (aus ISO/TR 17534-3);

i) verbesserte Spezifikation der minimalen Ausdehnung (Breite oder Höhe) einer reflektierenden Oberfläche;



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

j) Mehrfachreflexionen bis zu höheren Ordnungen (gemäß ISO/TR 17534-3);

k) Reflexionen an senkrechten zylindrischen Flächen;

l) zusätzlich zu der einfachen Methode für die Dämpfung von Blattwerk ohne jegliche Parameterabhängigkeit der alten Version ISO 9613-2:1996, A.2.2, eine neue und detailliertere Methode, die den Einfluss von Waldparametern berücksichtigt (siehe A.2.3);

m) die Richtwirkungskorrektur $D_c$ für Schornsteine (siehe Anhang B);

n) Vorschlag für eine meteorologische Korrektur, die aus der lokalen Windklimatologie abgeleitet wird (siehe Anhang C);

o) Berechnung der von Windkraftanlagen verursachten Schalldruckpegel (siehe Anhang D).

p) Norm redaktionell überarbeitet.

Documents
Document Sharing Hub



Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

# Nationaler Anhang NA
(informativ)

# Literaturhinweise

DIN EN 61260-1, *Elektroakustik — Bandfilter für Oktaven und Bruchteile von Oktaven — Teil 1: Anforderungen (IEC 61260-1)*

DIN EN 61400-11:2019-05, *Windenergieanlagen — Teil 11: Schallmessverfahren (IEC 61400-11:2012 + A1:2018); Deutsche Fassung EN 61400-11:2013 + A1:2018*

DIN EN 61672-1, *Elektroakustik — Schallpegelmesser — Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1)*

DIN EN ISO 3740:2019-08, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungspegel von Geräuschquellen — Leitlinien zur Anwendung der Grundnormen (ISO 3740:2019); Deutsche Fassung EN ISO 3740:2019*

DIN ISO 8297:2023-10, *Akustik — Bestimmung der Schallleistungspegel von Mehr-Quellen-Industrieanlagen für die Ermittlung von Schalldruckpegeln in der Umgebung — Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (ISO 8297:1994 + Amd.1:2021)*



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

Oktober 2024

**prEN ISO 9613-2**

# Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung – Teil 2: Verfahren der Genauigkeitsklasse 2 (Ingenieurverfahren) für die Vorhersage der Schalldruckpegel im Freien (ISO 9613-2:2024)

Acoustics – Attenuation of sound during propagation outdoors – Part 2: Engineering method for the prediction of sound pressure levels outdoors (ISO 9613-2:2024)

Acoustique – Atténuation du son lors de sa propagation à l'air libre – Partie 2: Méthode d'ingénierie pour la prédiction des niveaux de pression acoustique en extérieur (ISO 9613-2:2024)

Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

E DIN EN ISO 9613-2:2024-10
prEN ISO 9613-2:2024 (D)

# Inhalt

Seite

**Europäisches Vorwort** . . . 5
**Vorwort** . . . 6
**Einleitung** . . . 8
**1 Anwendungsbereich** . . . 9
**2 Normative Verweisungen** . . . 10
**3 Begriffe, Symbole und Einheiten** . . . 10
**3.1 Begriffe** . . . 10
**3.2 Symbole und Einheiten** . . . 11
**4 Beschreibung der Schallquelle** . . . 12
**5 Witterungsbedingungen** . . . 15
**6 Grundlegende Gleichungen** . . . 15
**7 Berechnung der Dämpfungsterme** . . . 17
**7.1 Geometrische Ausbreitung,** $A_{\mathrm{div}}$ . . . 17
**7.2 Luftabsorption,** $A_{\mathrm{atm}}$ . . . 18
**7.3 Bodendämpfung,** $A_{\mathrm{gr}}$ . . . 18
**7.3.1 Allgemeines Berechnungsverfahren** . . . 18
**7.3.2 Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel** . . . 21
**7.4 Abschirmung,** $A_{\mathrm{bar}}$ . . . 23
**7.4.1 Allgemeines Berechnungsverfahren** . . . 23
**7.4.2 Alternatives Verfahren zur Berechnung der Weglängendifferenz *z* mit einer Kante oder mit mehreren parallelen Kanten** . . . 27
**7.4.3 Seitliche Beugung an senkrechten Kanten** . . . 28
**7.4.4 Kombination von vertikalen und lateralen Beugungen und Einschränkungen** . . . 29
**7.5 Reflexionen** . . . 29
**7.5.1 Allgemeines** . . . 29
**7.5.2 Einzelreflexion an einer flachen Oberfläche – Bedingungen und Berechnung** . . . 30
**7.5.3 Mehrfachreflexion bis zu höheren Ordnungen** . . . 31
**7.5.4 Reflexionen an zylindrischen Oberflächen** . . . 32
**8 Meteorologische Korrektur,** $C_{\mathrm{met}}$ . . . 34
**9 Genauigkeit und Einschränkungen des Verfahrens** . . . 35
**Anhang A** (informativ) **Zusätzliche Dämpfungsarten,** $A_{\mathrm{misc}}$ . . . 37
**A.1 Allgemeines** . . . 37
**A.2 Bewuchs,** $A_{\mathrm{fol}}$ . . . 37
**A.2.1 Allgemeines** . . . 37
**A.2.2 Vereinfachtes Verfahren** . . . 37
**A.2.3 Detaillierteres Verfahren mit forstlichen Parametern** . . . 38
**A.3 Industriegelände,** $A_{\mathrm{site}}$ . . . 41
**A.4 Bebauung,** $A_{\mathrm{hous}}$ . . . 42
**Anhang B** (informativ) **Richtwirkungskorrektur,** $D_{\mathrm{c}}$**, für Schornsteine** . . . 44
**B.1 Abhängigkeit der Richtwirkungskorrektur von Parametern** . . . 44
**B.2 Bestimmung von** $D_{\mathrm{c}}$ **mit spezifisch vorgegebenen Parametern** . . . 46
**B.3 Beispiele** . . . 47
**Anhang C** (informativ) **Meteorologische Korrektur aufgrund der Abhängigkeit von** $C_0$ **von der Winkelwindverteilung** . . . 48
**C.1 Abhängigkeit von** $C_0$ **von der Winkelverteilung des Windes** . . . 48
**C.2 Beispiel für einen winkelabhängigen** $C_0$ **basierend auf lokalen Windstatistiken** . . . 49
**Anhang D** (informativ) **Berechnung der von Windenergieanlagen verursachten Schalldruckpegel** 53
**D.1 Anwendbarkeit des Berechnungsverfahrens für Windenergieanlagen** . . . 53
**D.2 Emissionswerte und Modellierung der Schallquellen** . . . 53
**D.3 Abschirmmaß,** $A_{\mathrm{bar}}$ . . . 53
**D.4 Berechnung der Bodendämpfung,** $A_{\mathrm{gr}}$ . . . 54



AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

D.5 Korrektur von $A_{gr}$ zur Berücksichtigung des konkaven Bodenprofils . . . . . 54
D.6 Meteorologische Korrektur $C_{met}$ . . . . . 55
D.7 Über die geschätzte Unsicherheit des Verfahrens . . . . . 55
Literaturhinweise . . . . . 56

## Bilder

Bild 1 — Prinzip der Unterteilung für eine Linienquelle . . . . . 13
Bild 2 — Projektionsverfahren für Linienquelle und Flächenquelle . . . . . 14
Bild 3 — Drei verschiedene Bereiche für die Bestimmung der Bodendämpfung . . . . . 19
Bild 4 — Funktionen *a'*, *b'*, *c'* und *d'* , die den Einfluss des Abstands Schallquelle — Empfänger, $d_p$, und der Quell- bzw. Empfängerhöhe $h$ auf die Bodendämpfung $A_{gr}$ angeben (berechnet aus den Gleichungen in Tabelle 3) . . . . . 21
Bild 5 — Verfahren zur Bestimmung der mittleren Höhe $h_m$ . . . . . 22
Bild 6 — Draufsicht auf ein Hindernis zwischen Quelle (S) und Aufpunkt (R) . . . . . 23
Bild 7 — Verschiedene Schallausbreitungswege an einem Schirm . . . . . 24
Bild 8 — Drei Objekte, die die Sichtlinie blockieren, die senkrechte Ebene mit Schallquelle und Empfänger und die Strahlenwege zur Bestimmung der Weglängendifferenz $z$ . . . . . 25
Bild 9 — Draufsicht und Seitenansicht der drei Gebäude mit den relevanten Kanten $E_1$ — $E_4$ für die Beugung über die Oberkante . . . . . 26
Bild 10 — Die relevanten Parameter zur Berechnung der Weglängendifferenz $z$, dargestellt für den Fall eines gekrümmten Schirms (hier nicht parallel zum Boden) . . . . . 27
Bild 11 — Drei Objekte, die die Sichtlinie blockieren, die seitliche Ebene mit Schallquelle und Empfänger und die Strahlenwege zur Bestimmung der Weglängendifferenz $z$ . . . . . 28
Bild 12 — Draufsicht der drei Gebäude mit den relevanten Kanten $E_1$–$E_3$ für die seitliche Beugung an der rechten Seite . . . . . 29
Bild 13 — Geometrische/spiegelnde Reflexion an einem Hindernis (hier in Draufsicht dargestellt) . . . . . 31
Bild 14 — Beispiel zur Erklärung der Konstruktion einer Reflexion 2. Ordnung mit den Spiegelquellen $S_1$ und $S_2$ . . . . . 31
Bild 15 — An einem Zylinder reflektierter Schallstrahl — alle Maße in Projektion parallel zur Achse . . . . . 33
Bild 16 — Meteorologische Korrektur, $C_{met}$ . . . . . 34
Bild A.1 — Die Dämpfung aufgrund von Schallausbreitung durch Bewuchs wächst proportional zur durch den Bewuchs verlaufenden Weglänge $d_f$ . . . . . 38
Bild A.2 — Die Dämpfung aufgrund von Schallausbreitung durch Bewuchs wächst proportional zur durch den Bewuchs verlaufenden Weglänge $d_f$ . . . . . 38
Bild A.3 — Berechnung der Ausbreitungslänge $d_f$ bei kürzeren Abständen . . . . . 39
Bild A.4 — Dämpfungswerte von Walddichten . . . . . 41
Bild A.5 — Das Dämpfungsmaß $A_{site}$ wächst proportional zur Länge des durch die Installationen in Industrieanlagen verlaufenden Weges $d_s$ (5 km Radius des gekrümmten Wegs) . . . . . 42
Bild B.1 — Geometrie der Schornsteinöffnung — Empfänger . . . . . 44
Bild C.1 — Winkelverteilung des Windes $p_{wd}(\varphi)$ — hier in Prozent — bezogen auf ein Jahr (Windgeschwindigkeiten 1 m/s — 10 m/s) . . . . . 51
Bild C.2 — Die immissionsrelevante windbedingte Richtwirkung über große Abstände $D_{wd}(\varphi)$ in Abhängigkeit vom Winkel zwischen Ausbreitungs- und Gegenwindrichtung . . . . . 51
Bild C.3 — Resultierende Winkelverteilung $C_0(\varphi)$ in Dezibel . . . . . 52
Bild D.1 — Windenergieanlage in der Seitenansicht (horizontale Achse) . . . . . 53

## Tabellen

Tabelle 1 — Symbole und Einheiten . . . . . 11

AVA Documents
Document Sharing Hub



Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

**Tabelle 2 — Resultierende Richtwirkung $D_c$ einer ungerichteten Punktquelle in der Nähe von reflektierenden Oberflächen . . . . . 16**
**Tabelle 3 — Zu verwendende Ausdrücke für die Berechnung der Bodendämpfungsbeiträge $A_S$, $A_R$ und $A_m$ in Oktavbändern . . . . . 20**
**Tabelle 4 — Geschätzte Genauigkeit für Pegel $L_{AT}$(DW) von Breitbandquellen, berechnet unter Anwendung von Gleichung (1) bis Gleichung (15) . . . . . 36**
**Tabelle A.1 — Dämpfung eines Oktavbandgeräusches aufgrund von Schallausbreitung über eine durch dichten Bewuchs verlaufende Weglänge $d_f$ . . . . . 38**
**Tabelle A.2 — Forstliche Parameter . . . . . 39**
**Tabelle A.3 — Klassifizierung . . . . . 39**
**Tabelle A.4 — Gewichtungsfaktoren für Waldbestände . . . . . 40**
**Tabelle A.5 — Bereiche der forstlichen Parameter für verschiedene Arten von Bewuchs . . . . . 40**
**Tabelle A.6 — Klassen von Walddichten . . . . . 41**
**Tabelle A.7 — Dämpfungskoeffizient eines Oktavbandgeräusches während der Schallausbreitung durch Installationen in Industrieanlagen . . . . . 42**
**Tabelle B.1 — Richtwirkungskorrektur $D_c$ in dB in Abhängigkeit vom Produkt $ka$ für verschiedene diskrete Richtungswinkel $\vartheta$ in Abhängigkeit von den Mitwindbedingungen ($v \sim 3\,\mathrm{m/s}$) . . . . . 45**
**Tabelle B.2 — Eingabeparameter für die Beispiele 1 bis 3 . . . . . 47**
**Tabelle B.3 — Berechnungsergebnisse für die Beispiele 1 bis 3 . . . . . 47**
**Tabelle C.1 — Windklimatologie, wie vom DWD veröffentlicht ($v$: Windgeschwindigkeit, Winkel: Windrichtung; hier in Grad angegeben) . . . . . 50**



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

# Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO 9613-2:2024) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43 „Acoustics“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 211 „Akustik“ erarbeitet, dessen Sekretariat von DIN gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

**Anerkennungsnotiz**

Der Text von ISO 9613-2:2024 wurde von CEN als prEN ISO 9613-2:2024 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

# Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC Directives, Teil 1, beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC Directives, Teil 2, erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

ISO weist auf die Möglichkeit hin, dass die Anwendung dieses Dokuments mit der Verwendung eines oder mehrerer Patente verbunden sein kann. ISO bezieht jedoch in dieser Hinsicht keinerlei Stellung bezüglich Nachweis, Gültigkeit oder Anwendbarkeit jeglicher beanspruchten Patentrechte. Zum Zeitpunkt der Veröffentlichung dieses Dokuments lag ISO keine Mitteilung über ein Patent bzw. mehrere Patente vor, welche/s zur Umsetzung dieses Dokuments erforderlich sein könnte/n. Anwender werden jedoch darauf hingewiesen, dass dies möglicherweise nicht der aktuelle Informationsstand ist. Dieser kann jedoch der Patentdatenbank unter www.iso.org/patents entnommen werden. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 43, *Acoustics*, Unterkomitee SC 1, *Noise*, erarbeitet.

Diese zweite Ausgabe ersetzt die erste Ausgabe (ISO 9613-2:1996), die technisch überarbeitet wurde.

Die wesentlichen Änderungen sind folgende:

— verbesserte Unterteilung von ausgedehnten Schallquellen (detaillierter, um die Unsicherheit bei Softwareimplementierungen zu verringern);

— verbesserte Klassifizierung der Richtcharakteristik der Schallquelle;

— verbesserte und genauer festgelegte Bestimmung des Bodenfaktors $G$ (Projektion auf die horizontale Ebene);

— Integration einer Korrektur für $A_{gr}$ zur Berücksichtigung des abnehmenden Bodeneffekts bei kleinen Abstands-/Höhenwerten – Harmonisierung des allgemeinen Verfahrens 7.3.1 und des vereinfachten Verfahrens 7.3.2;

— geänderte Definition der mittleren Höhe $h_m$ für die Anwendung des vereinfachten Verfahrens 7.3.2;



AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

— Integration der Strategie zur Berechnung der Abschirmung, wie sie in ISO/TR 17534-3 entwickelt wurde;

— geänderte Spezifikation des Abschirmmaßes $D_z$ und der Korrektur für meteorologische Effekte $K_{met}$, um die bekannten Nachteile bei niedrigen Schirmen und großen Abständen zwischen Schallquelle und Empfänger zu beseitigen;

— Aufnahme eindeutiger Spezifikationen für die Kombination von senkrechter und seitlicher Beugung (aus ISO/TR 17534-3);

— verbesserte Spezifikation der minimalen Ausdehnung (Breite oder Höhe) einer reflektierenden Oberfläche;

— Mehrfachreflexionen bis zu höheren Ordnungen (nach ISO/TR 17534-3);

— Reflexionen an senkrechten zylindrischen Flächen;

— zusätzlich zum einfachen Verfahren für die Dämpfung von Bewuchs ohne jegliche Parameterabhängigkeiten der alten Fassung ISO 9613-2:1996, A.2.2, ein neues und detaillierteres Verfahren einschließlich des Einflusses von forstlichen Parametern (siehe A.2.3);

— die Richtwirkungskorrektur $D_c$ für Schornsteine (siehe Anhang B);

— Vorschlag für eine meteorologische Korrektur, abgeleitet aus der lokalen Windklimatologie (siehe Anhang C);

— Berechnung der von Windenergieanlagen verursachten Schalldruckpegel (siehe Anhang D).

Eine Auflistung aller Teile der Normenreihe ISO 9613 ist auf der ISO-Internetseite abrufbar.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.



AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

# Einleitung

Die Normenreihe ISO 1996 [1] [2] [3] legt Verfahren zur Beschreibung des Außengeräusches in der Wohnnachbarschaft fest. Andere Normen legen Verfahren zur Bestimmung der Schallleistungspegel verschiedener Schallquellen fest. Beispiele für die Schallquellen sind Maschinen und bestimmte Geräte (Normenreihe ISO 3740 [4]) und Industrieanlagen (ISO 8297 [5]). Dieses Dokument zielt darauf ab, die Lücke zwischen diesen beiden Arten von Normen zu überbrücken, um eine Vorhersage von Schallpegeln in der Nachbarschaft zu ermöglichen, wenn die Geräuschemission der Quellen bekannt ist. Das in diesem Dokument beschriebene Verfahren ist insofern allgemein, als es auf eine Vielzahl verschiedener Schallquellen angewendet werden kann und die meisten der wesentlichen Dämpfungsmechanismen abdeckt. Für die Anwendung dieses Verfahrens gelten dennoch Einschränkungen, die sich in der Hauptsache aus der Beschreibung von Umgebungslärm in der Normenreihe ISO 1996 ergeben.

Diese Ausgabe enthält die Änderungen, die aus Gründen der Qualitätssicherung vorgenommen wurden, wenn das Verfahren in Software implementiert wird, wie in ISO 17534-1 [6] und ISO/TR 17534-3 [7] beschrieben, sowie einige Verbesserungen, um die angewendete Strategie für eine breite softwarebasierte Anwendung nutzbar zu machen.



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

# 1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt ein technisches Verfahren zur Berechnung der Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien fest, mit dem die Pegel von Geräuschimmissionen in einem Abstand von verschiedenen Schallquellen vorausberechnet werden können. Nach dem Verfahren wird der äquivalente A-bewertete Dauerschalldruckpegel (wie in der Normenreihe ISO 1996 beschrieben) von Schallquellen mit bekannter Geräuschemission unter schallausbreitungsgünstigen Witterungsbedingungen vorausberechnet.

Diese Bedingungen gelten für die Mitwindausbreitung oder, äquivalent dazu, für die Ausbreitung in einer gut entwickelten, leichten Bodeninversion, wie sie üblicherweise in klaren, windstillen Nächten auftritt. Inversionsbedingungen über ausgedehnten Wasserflächen sind hier nicht berücksichtigt und können zu höheren Schalldruckpegeln führen, als sie in diesem Dokument vorausberechnet werden (siehe z. B. Verweisung [11] und Verweisung [12]).

Nach dem Verfahren wird ebenfalls das langfristige Mittel des A-bewerteten Schalldruckpegels nach ISO 1996-1 und ISO 1996-2 vorausberechnet. Das langfristige Mittel des A-bewerteten Schalldruckpegels beinhaltet Pegel für eine breite Palette von Witterungsbedingungen.

Es wurde eine Anleitung zur Ableitung einer meteorologischen Korrektur auf Basis der Winkelverteilung des Windes bereitgestellt, die für das Bezugs- oder Langzeit-Zeitintervall relevant ist, wie in ISO 1996-1:2016, 3.2.1 und 3.2.2 festgelegt. Beispiele für Bezugszeitintervalle sind Tag, Nacht oder die Stunde der Nacht mit dem größten Wert des Schalldruckpegels. Langzeit-Zeitintervalle, über die der Schall einer Reihe von Bezugszeitintervallen gemittelt oder bewertet wird, repräsentieren einen wesentlichen Teil eines Jahres (z. B. 3 Monate, 6 Monate oder 1 Jahr).

Das in diesem Dokument festgelegte Verfahren besteht speziell aus Oktavband-Algorithmen (für Nennbandmittenfrequenzen von 63 Hz bis 8 kHz) zur Berechnung der Dämpfung von Schall, der von einer punktförmigen Schallquelle oder einer Menge von Punktquellen ausgeht. Die Schallquelle(n) darf/dürfen beweglich oder feststehend sein. Die Algorithmen enthalten spezielle Terme für die folgenden physikalischen Effekte:

— geometrische Ausbreitung;

— Luftabsorption;

— Bodeneffekt;

— Reflexion an Flächen;

— Abschirmung durch Hindernisse.

Anhang A enthält zusätzliche Angaben zur Schallausbreitung durch Bewuchs, Industriegelände und Bebauung. Die Richtwirkung von Schornsteinen zur Unterstützung der Schallvorhersagen für Industriegelände wurde in Anhang B aufgenommen. Ein Beispiel, wie die meteorologische Korrektur für große Abstände $C_0$ aus der lokalen Windklimatologie bestimmt werden kann, ist in Anhang C enthalten. Die Erfahrungen der letzten Jahrzehnte bei der Vorhersage der von Windenergieanlagen verursachten Schalldruckpegel sind in Anhang D zusammengefasst.

Das Verfahren ist in der Praxis für verschiedenste Schallquellen und Umgebungen anwendbar. Es lässt sich direkt oder indirekt auf die meisten Fälle von Straßen oder Schienenverkehr, industriellen Schallquellen, Bautätigkeiten und vielen anderen, bodennahen Schallquellen anwenden. Es ist nicht anwendbar auf Fluglärm oder auf Druckwellen, die durch Sprengungen, militärische oder ähnliche Aktivitäten verursacht werden.

Für die Anwendung dieses Dokuments müssen mehrere Parameter bekannt sein, und zwar im Hinblick auf die Geometrie der Schallquelle und der Umgebung, die Eigenschaften der Bodenoberfläche und die Quellenstärke, ausgedrückt als Oktavband-Schallleistungspegel, in den Richtungen, die für die Schallausbreitung von Bedeutung sind.



AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

Sind nur A-bewertete Schallleistungspegel der Schallquellen bekannt, dürfen die Dämpfungswerte bei 500 Hz verwendet werden, um die resultierende Dämpfung abzuschätzen.

Die Genauigkeit des Verfahrens und Einschränkungen in der Praxis sind in Abschnitt 9 beschrieben.

## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO 9613-1:1993, *Acoustics — Attenuation of sound during propagation outdoors — Part 1: Calculation of the absorption of sound by the atmosphere*

## 3 Begriffe, Symbole und Einheiten

### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter https://www.iso.org/obp

— IEC Electropedia: verfügbar unter https://www.electropedia.org/

**3.1.1**
**A-bewerteter äquivalenter Dauerschalldruckpegel**
$L_{AT}$
Schalldruckpegel, definiert durch Gleichung (1):

$$L_{AT} = 10\lg\left\{\left[\left(\frac{1}{T}\right)\int_0^T p_A^2(t)\,\mathrm{d}t\right]/p_0^2\right\}\mathrm{dB} \qquad (1)$$

Dabei ist:

$p_A(t)$ der Momentanwert des A-bewerteten Schalldrucks, ausgedrückt in Pascal;

$p_0$ der Bezugs-Schalldruck (= $20 \times 10^{-6}$ Pa);

$T$ ein festgelegtes Zeitintervall, ausgedrückt in Sekunden.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Frequenzbewertung A ist die in IEC 61672-1 [10] für Schallpegelmesser festgelegte.

Anmerkung 2 zum Begriff: Das Zeitintervall $T$ sollte lang genug sein, um eine Mittelung der Effekte von sich verändernden meteorologischen Parametern zu bewirken. In diesem Dokument werden zwei verschiedene Situationen berücksichtigt: Kurzzeitmittelung unter Mitwindbedingungen und Langzeitmittelung unter allen Bedingungen.



AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

**3.1.2**
**äquivalenter Oktavband-Dauerschalldruckpegel bei Mitwind**
$L_{fT}$ (DW)
Schalldruckpegel wird wie folgt angegeben:

$$L_{fT}(\mathrm{DW}) = 10\lg\left\{\left[\left(\frac{1}{T}\right)\int_0^T p_f^2\,(t)\,\mathrm{d}t\right]/p_0^2\right\}\mathrm{dB} \qquad (2)$$

Dabei ist $p_f(t)$ der Momentanwert des Oktavbandschalldrucks bei Mitwind, in Pascal, und Index $f$ die Nennbandmittenfrequenz eines Oktavbandfilters

Anmerkung 1 zum Begriff: Die elektrischen Eigenschaften der Oktavbandfilter sollten mindestens den Anforderungen der Klasse 2 nach IEC 61260-1 [8] entsprechen.

**3.1.3**
**Einfügungsdämpfungsmaß (eines Schallschirms)**
Differenz zwischen den Schalldruckpegeln in Dezibel an einem Empfänger an einem festgelegten Ort unter zwei Bedingungen:

a) ohne den Schallschirm, und

b) mit (eingefügtem) Schallschirm,

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

Anmerkung 1 zum Begriff: Das Einfügungsdämpfungsmaß wird in Dezibel angegeben.

## 3.2 Symbole und Einheiten

Tabelle 1 enthält eine Zusammenfassung von Symbolen und Einheiten.

**Tabelle 1 — Symbole und Einheiten**

| Symbol | Definition | Einheit |
|---|---|---|
| $a$ | die Abstandskomponente parallel zur Schirmkante zwischen Quelle und Aufpunkt. | m |
| $A$ | Oktavband-Dämpfungsmaß | dB |
| $A_{\mathrm{atm}}$ | Dämpfung durch Luftabsorption | dB |
| $A_{\mathrm{bar}}$ | Dämpfung durch einen Schallschirm, einschließlich einer möglichen Korrektur | dB |
| $A_{\mathrm{div}}$ | Dämpfung durch geometrische Ausbreitung | dB |
| $A_{\mathrm{curv}}$ | Dämpfung durch Reflexionen an zylindrischen Flächen | dB |
| $A_{\mathrm{gr}}$ | Dämpfung durch den Bodeneffekt | dB |
| $A_{\mathrm{m}}$ | Mittelbereich | — |
| $A_{\mathrm{misc}}$ | Dämpfung durch diverse andere Effekte | dB |
| $C_{\mathrm{met}}$ | meteorologische Korrektur | dB |
| $C_0$ | Faktor, der von den örtlichen Wetterstatistiken für Windgeschwindigkeit und -richtung sowie Temperaturgradienten abhängt | dB |
| $d_{\mathrm{p}}$ | Abstand zwischen Punktquelle und Aufpunkt, auf die Bodenebene projiziert (siehe Bild 3) | m |

AVA Documents
Document Sharing Hub


Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

**Tabelle 1** (*fortgesetzt*)

| Symbol | Definition | Einheit |
|---|---|---|
| $d_{S,O}$ | Abstand zwischen Quelle und Reflexionspunkt auf reflektierendem Hindernis (siehe Bild 13) | m |
| $d_{O,R}$ | Abstand zwischen Reflexionspunkt auf reflektierendem Hindernis und Aufpunkt (siehe Bild 13) | m |
| $D_c$ | Richtwirkungskorrektur | dB |
| $D_z$ | Abschirmmaß | dB |
| $D_{wd}$ | immissionsrelevante Richtwirkung über große Abstände | dB |
| $e$ | Abstand zwischen der ersten und letzten Beugungskante | m |
| $G$ | Bodenfaktor | — |
| $h_S$ | Höhe der Punktquelle über dem Boden | m |
| $h_R$ | Höhe des Empfängers über dem Boden | m |
| $h_m$ | Mittlere Höhe des Ausbreitungsweges über dem Boden | m |
| $k$ | Rasterfaktor | — |
| $K_{geo}$ | Korrekturfaktor für die Geometrie | — |
| $L_p$ | Schalldruckpegel | dB |
| $L_{AT}$(DW) | äquivalenter A-bewerteter Dauerschalldruckpegel bei Mitwind | dB |
| $L_{AT}$(LT) | A-bewerteter Langzeitmittelungspegel | dB |
| $L_{fT}$(DW) | äquivalenter Oktavband-Dauerschalldruckpegel bei Mitwind an einem Empfängerstandort | dB |
| $L_W$ | Schallleistungspegel | dB |
| $\alpha_{atm}$ | Luftdämpfungskoeffizient | dB/km |
| $\alpha$ | Absorptionskoeffizient | — |
| $\beta$ | Einfallswinkel | rad |
| $\beta_b$ | Einfallswinkel, projiziert auf die horizontale Ebene | rad |
| $\beta_h$ | Einfallswinkel, projiziert auf eine senkrechte Ebene, die rechtwinklig zur reflektierenden Fläche verläuft | rad |
| $\lambda$ | Wellenlänge des Schalls | m |

## 4 Beschreibung der Schallquelle

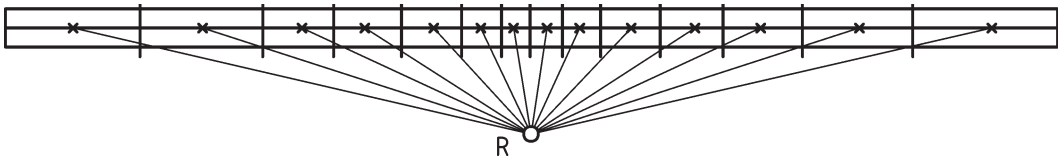
Die zu verwendenden Gleichungen gelten für die Dämpfung von Schall, der von Punktquellen emittiert wird.

Daher sind ausgedehnte Schallquellen, wie z. B. Straßen- oder Schienenverkehr oder ein Industriegelände (das mehrere Anlagen oder Werke mit innerbetrieblichem Verkehr umfassen kann) in kleine Abschnitte zu unterteilen, die durch eine zentrale Punktquelle als Ausgangspunkt für die Berechnung der Schallausbreitung ersetzt werden können, siehe Bild 1. Diese Unterteilung ist so auszuwählen, dass die Ausbreitungsbedingungen von jedem Punkt eines Abschnitts bis zum Empfänger als repräsentativ angesehen werden können. Wenn keine akustisch undurchlässigen Gegenstände den direkten Weg zwischen einem beliebigen Punkt eines Abschnitts und dem Empfänger blockieren, so sind die Ausbreitungsbedingungen als repräsentativ anzusehen, wenn keine Ausdehnung des Abschnitts größer ist als der Abstand seiner Mitte vom Empfänger multipliziert mit dem Rasterfaktor $k$. Ein bewährter Wert für den Faktor $k$ ist 0,5.



AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

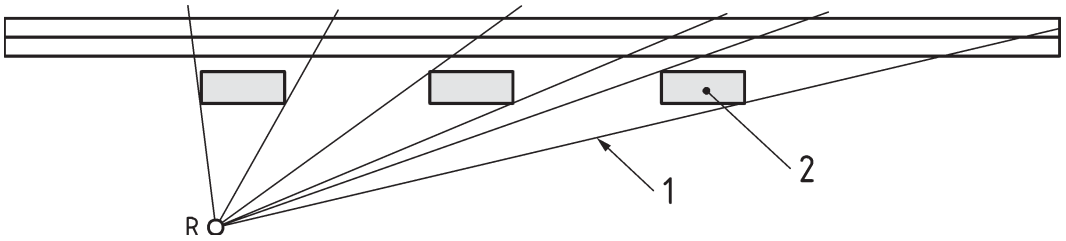



**Legende**

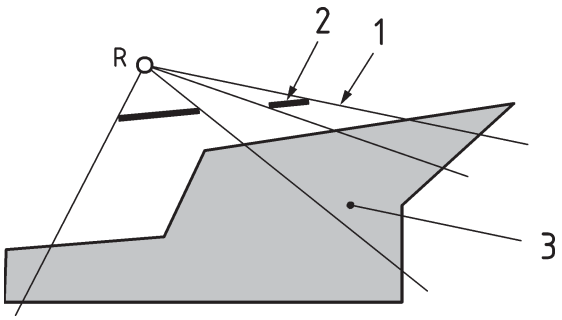
R Empfänger

**Bild 1 — Prinzip der Unterteilung für eine Linienquelle**

Wenn sich zwischen der ausgedehnten Schallquelle und dem Empfänger Gebäude, Schallschirme oder andere abschirmende Objekte befinden, wird die Unterteilung der Schallquelle so durchgeführt, dass alle Punkte eines Abschnitts entweder abgeschirmt oder nicht abgeschirmt sind. Die Unterabschnitte können durch Linien voneinander getrennt werden, die den Empfänger mit den Kanten aller Fassaden oder mit den beiden Kanten jedes Objekts verbinden, die in der 2D-Draufsicht den größtmöglichen Winkel zwischen ihnen bilden.




**a) Linienquelle**

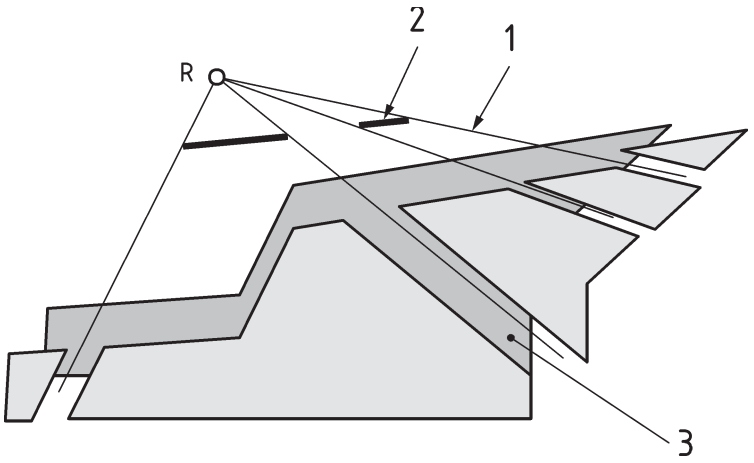



**b) Flächenquelle**



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10




**c) Flächenquelle (dunkelgrau), unterteilt in 5 Unterabschnitte (hellgrau)**

**Legende**

1 Projektionslinien
2 Schallschirme
3 Flächenquelle

**Bild 2 — Projektionsverfahren für Linienquelle und Flächenquelle**

Das Prinzip ist in Bild 2 a) für eine Linienquelle und in Bild 2 b) und Bild 2 c) für eine Flächenquelle dargestellt. Eine weitere Unterteilung wird durchgeführt, wenn eine schräge Kante eines abschirmenden Objekts die direkte Sicht nur teilweise blockiert. Diese durch abschirmende Objekte verursachte Unterteilung wird als „Projektionsverfahren“ bezeichnet.

Bei Linienquellen, die geometrisch durch aufeinanderfolgende Polygonpunkte festgelegt sind, wird die Unterteilung in drei Schritten durchgeführt:

a) jeder Polygonpunkt ist der Kantenpunkt von einem oder zwei Polygonelementen;

b) wenn der direkte Ausbreitungsweg durch ein abschirmendes Objekt blockiert ist, wird eine weitere Unterteilung durch Anwendung des Projektionsverfahrens durchgeführt;

c) diese resultierenden Teile werden schließlich nach dem Abstandskriterium unter Anwendung des Rasterfaktors $k$ weiter unterteilt.

Flächenquellen werden nach einer ähnlichen Strategie unterteilt.

Die Flächenquelle wird in konvex geformte Teile aufgeteilt. Diese Teile werden in Abhängigkeit von der Empfängerposition und allen abschirmenden Objekten (Wände, Gebäude und andere Objekte) weiter unterteilt. Dies erfolgt durch Zuschneiden der im ersten Schritt erhaltenen Unterabschnitte durch gerade Linien zwischen Empfänger und Kantenpunkten aller abschirmenden Objekte (wodurch kleinere Unterabschnitte zweiter Ordnung erzeugt werden). Anschließend wird überprüft, ob die einzelnen Quellen eines jeden Unterabschnitts das Abstandskriterium erfüllen. Wenn nicht, werden sie so lange weiter unterteilt, bis das Abstandskriterium erfüllt ist.

Ähnlich wie bei ausgedehnten Schallquellen kann eine Gruppe von Punktquellen durch eine äquivalente Punktschallquelle in der Mitte dieser Gruppe beschrieben werden, insbesondere wenn

a) die Schallquellen näherungsweise dieselbe Quellenstärke und Höhe über dem Boden aufweisen, und

b) zwischen den Schallquellen und dem Aufpunkt dieselben Ausbreitungsbedingungen vorliegen, und



AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

c) keine Ausdehnung der Gruppe von Punktquellen größer ist als der Abstand ihres Zentrums vom Aufpunkt multipliziert mit dem Rasterfaktor $k$. Ein bewährter Wert für den Faktor $k$ ist 0,5.

Ist der Abstand d kleiner (wie ausgedrückt in c)), oder sind die Ausbreitungsbedingungen für die einzelnen Punktquellen der Gruppe unterschiedlich (z. B. aufgrund von Abschirmung), so ist die Gesamtschallquelle in die einzelnen Punktquellen zu unterteilen.

ANMERKUNG Zusätzlich zu den oben beschriebenen realen Schallquellen werden Spiegelquellen eingeführt, um die Reflexion von Schall an Wänden und Decken (jedoch nicht am Boden) zu beschreiben, siehe 7.5. Bilder von ausgedehnten Schallquellen werden unter Berücksichtigung der Ausdehnung aller relevanten Reflektoren zwischen ursprünglicher Schallquelle und Aufpunkt erstellt.

## 5 Witterungsbedingungen

Die Bedingungen für die Mitwindausbreitung für das in diesem Dokument beschriebene Verfahren sind:

— Windrichtung innerhalb eines Winkels von ±45° von der Geraden, die den Mittelpunkt der maßgeblichen Schallquelle mit dem Mittelpunkt des festgelegten Immissionsgebietes verbindet, wobei der Wind von der Schallquelle zum Immissionsgebiet weht, und

— Windgeschwindigkeit zwischen etwa 1 m/s und 5 m/s, gemessen in einer Höhe von 3 m bis 11 m über dem Boden.

Bei der Anwendung dieser Norm auf Windenergieanlagen dürfen auch höhere Windgeschwindigkeiten berücksichtigt werden (siehe Anhang D).

Die Gleichungen zur Berechnung des äquivalenten A-bewerteten Dauerschalldruckpegel bei Mitwind, $L_{AT}$(DW), in diesem Dokument einschließlich der in Abschnitt 7 angegebenen Gleichungen für die Dämpfung beschreiben das Mittel für Witterungsbedingungen innerhalb dieser Grenzwerte. Der Begriff Mittel bezeichnet hier die Mittelung über ein kurzes Zeitintervall.

Diese Gleichungen gelten in gleicher Weise auch für die mittlere Schallausbreitung in einer gut entwickelten, leichten Bodeninversion, wie sie üblicherweise in klaren, windstillen Nächten auftritt.

Der A-bewertete Langzeitmittelungspegel $L_{AT}$(LT) kann durch Anwendung der in Abschnitt 8 beschriebenen meteorologischen Korrektur ermittelt werden. Er hängt im Allgemeinen von der langfristigen Variation der Winkelverteilung der horizontalen Windgeschwindigkeit und dem effektiven vertikalen Schallgeschwindigkeitsgradienten ab. Schallgeschwindigkeitsgradienten können die vertikalen Gradienten der Windgeschwindigkeit und der Lufttemperatur von Bedeutung sein und sollten in der Regel berücksichtigt werden.

## 6 Grundlegende Gleichungen

Der an einem Aufpunkt auftretende äquivalente Oktavband-Dauerschalldruckpegel bei Mitwind, $L_{fT}$(DW), ist für jede Punktquelle und ihre Spiegelquellen in den acht Oktavbändern mit Nennbandmittenfrequenzen von 63 Hz bis 8 kHz unter Verwendung von Gleichung (3) zu berechnen:

$$L_{fT}(\mathrm{DW}) = L_W + D_\mathrm{c} - A \tag{3}$$

Dabei ist

$L_\mathrm{W}$ der Oktavband-Schallleistungspegel der Punktschallquelle bezogen auf eine Bezugsschallleistung von einem Picowatt (1 pW), ausgedrückt in Dezibel;

$D_\mathrm{c}$ die Richtwirkungskorrektur, die beschreibt, um wieviel der von der Punktquelle erzeugte äquivalente Dauerschalldruckpegel in einer festgelegten Richtung von dem Pegel einer ungerichteten Punktschallquelle mit einem Schallleistungspegel $L_\mathrm{W}$ abweicht, ausgedrückt in Dezibel;

AVA Documents
Document Sharing Hub



Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

$A$ die Oktavbanddämpfung, die während der Schallausbreitung von der Punktquelle zum Empfänger vorliegt, ausgedrückt in Dezibel.

Schallleistungspegel in Gleichung (3) können durch Messungen bestimmt werden, wie z. B. in der Normenreihe ISO 3740 (für Maschinen) oder in ISO 8297 (für Industrieanlagen) beschrieben.

ANMERKUNG 1 Das Buchstabenzeichen $A$ (kursiv) bezeichnet in diesem Dokument die Dämpfung, als Index jedoch steht es für die A-Bewertung (Antiqua).

Die Richtwirkungskorrektur $D_c$ in Verbindung mit dem Schallleistungspegel $L_W$ beschreibt

— die richtungsabhängige Emission der realen Schallquelle (Fall 1), oder

— eine immissionsrelevante richtungsabhängige Emission, die sich aus reflektierenden Strukturen in der Nähe der Schallquelle ergibt, die den für die Abstrahlung verfügbaren Raumwinkel verringern (Fall 2).

In Fall 1 ist $D_c$ ein erforderlicher Teil der Emissionsdaten der Schallquelle für alle Richtungen, die für die Berechnung an den Empfängerpositionen relevant sind.

In Fall 2 wird die Richtwirkung $D_c$ mit einer ungerichteten Punktquelle aufgrund nahegelegener reflektierender Oberflächen durch Gleichung (4) angegeben:

$$D_c = 10 \lg\left(\frac{4\pi}{\Omega}\right) \text{ dB} \tag{4}$$

Dabei ist $\Omega$ der für die Abstrahlung verbleibende Raumwinkel.

Tabelle 2 enthält Werte für die resultierende Richtwirkung einer ungerichteten Punktquelle in der Nähe reflektierender Oberflächen.

**Tabelle 2 — Resultierende Richtwirkung $D_c$ einer ungerichteten Punktquelle in der Nähe von reflektierenden Oberflächen**

| Reflektierende Oberfläche | | Raumwinkel $\Omega$ | $D_c$ |
|---|---|---|---|
| **Konfiguration** | **Anzahl** | **rad** | **dB** |
| Oberfläche | 1 | $4\pi/2$ | 3 |
| Kante | 2 | $4\pi/4$ | 6 |
| Ecke | 3 | $4\pi/8$ | 9 |

ANMERKUNG 2 Gleichung (4) und die Werte von $D_c$ in Tabelle 2 basieren auf der Prämisse der Überlagerung von Schallenergien. Ist der Abstand zwischen Schallquelle und Reflektor kleiner als $\lambda/4$, kommt es zu einer kohärenten Überlagerung, der Faktor 10 in Gleichung (4) und die Werte von $D_c$ in Tabelle 2 werden bis auf das Doppelte der angegebenen Werte ansteigen. Allerdings ist ein Anstieg über die angegebenen Werte hinaus nur möglich, wenn die Schallquelle die zusätzliche Schallleistung erzeugen und abstrahlen kann.

ANMERKUNG 3 Bei softwarebasierten Berechnungen der Erhöhung des Schalldruckpegels einer ungerichteten Punktschallquelle durch nahegelegene reflektierende Oberflächen ersetzt eine Richtwirkung $D_c$ mit Gleichung (4) oder mit Werten aus Tabelle 2 die Berechnung von Reflexionen an diesen Oberflächen mit Spiegelquellen (siehe 7.5).

Der Dämpfungsterm $A$ in Gleichung (3) ist durch Gleichung (5) gegeben:

$$A = A_{div} + A_{atm} + A_{gr} + A_{bar} + A_{misc} \tag{5}$$



AVA Documents Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

Dabei ist:

$A_{\mathrm{div}}$ die Dämpfung aufgrund geometrischer Ausbreitung, ausgedrückt in Dezibel (siehe 7.1);

$A_{\mathrm{atm}}$ die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption, ausgedrückt in Dezibel (siehe 7.2);

$A_{\mathrm{gr}}$ die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts, ausgedrückt in Dezibel (siehe 7.3);

$A_{\mathrm{bar}}$ die Dämpfung aufgrund von Abschirmung, ausgedrückt in Dezibel (siehe 7.4);

$A_{\mathrm{misc}}$ die Dämpfung aufgrund verschiedener anderer Effekte, ausgedrückt in Dezibel (siehe 7.5.4 und Anhang A).

Allgemeine Verfahren zur Berechnung der ersten vier Terme in Gleichung (5) werden in diesem Dokument festgelegt. Anhang A enthält Angaben zu vier Beiträgen zum letzten Term $A_{\mathrm{misc}}$ (die Dämpfung aufgrund der Krümmung der reflektierenden Oberflächen in 7.5.4, die Dämpfung aufgrund der Schallausbreitung durch Bewuchs, Industriegelände und durch mit Häusern bebaute Gebiete).

Wie in Gleichung (6) festgelegt, ist der äquivalente A-bewertete Dauerschalldruckpegel bei Mitwind durch Addition der einzelnen, für jede Punktschallquelle, für jede ihrer Spiegelquellen und für jedes Oktavband mit Gleichung (3) und Gleichung (5) berechneten, zeitlich gemittelten Schalldruckquadrate zu bestimmen:

$$L_{AT}(\mathrm{DW}) = 10\lg\left\{\sum_{i=1}^{n}\left[\sum_{j=1}^{8} 10^{0{,}1\left[L_{fT}(i,j)+A_f(j)\right]}\right]\right\}\ \mathrm{dB} \tag{6}$$

Dabei ist

$n$ die Anzahl der Beiträge $i$ (Schallquellen und Ausbreitungswege);

$j$ ein Index, der die acht genormten Oktavbandmittenfrequenzen von 63 Hz bis 8 kHz angibt;

$A_{\mathrm{f}}$ die genormte A-Bewertung (siehe IEC 61672-1).

Der A-bewertete Langzeitmittelungspegel $L_{AT}(\mathrm{LT})$ ist nach Gleichung (7) zu berechnen:

$$L_{AT}(\mathrm{LT}) = L_{AT}(\mathrm{DW}) - C_{\mathrm{met}} \tag{7}$$

Dabei ist $C_{\mathrm{met}}$ die in Abschnitt 8 beschriebene meteorologische Korrektur.

Die Berechnung und die Bedeutung der verschiedenen Terme in Gleichung (1) bis Gleichung (7) werden in Abschnitt 7 und Abschnitt 8 erläutert.

# 7 Berechnung der Dämpfungsterme

## 7.1 Geometrische Ausbreitung, $A_{\mathrm{div}}$

Die geometrische Ausbreitung berücksichtigt die kugelförmige Schallausbreitung von einer Punktschallquelle im Freifeld, wodurch die Dämpfung in Dezibel der Gleichung (8) entspricht:

$$A_{\mathrm{div}} = [20\lg(d/d_0) + 11]\ \mathrm{dB} \tag{8}$$

Dabei ist

$d$ der Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger, ausgedrückt in Meter;

$d_0$ der Bezugsabstand (= 1 m).



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

ANMERKUNG 1 Die Konstante in Gleichung (8) setzt den Schallleistungspegel in Beziehung zum Schalldruckpegel bei einem Bezugsabstand $d_0$ von einer ungerichteten Punktschallquelle, der einen Meter beträgt.

## 7.2 Luftabsorption, $A_{atm}$

Die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption $A_{atm}$, ausgedrückt in Dezibel, während der Schallausbreitung über einen Abstand d, in Meter, ist gegeben durch Gleichung (9):

$$A_{atm} = \alpha_{atm} d/1000 \quad (9)$$

Dabei ist $\alpha_{atm}$ der Absorptionskoeffizient der Luft für jedes Oktavband bei der Bandmittenfrequenz, ausgedrückt in Dezibel je Kilometer.

Sie ist nach ISO 9613-1:1993, Gleichung (2) bis Gleichung (6) in Verbindung mit ISO 9613-1:1993, B.1 bis B.3 zu berechnen. Nach ISO 9613-1:1993, Gleichung (6) werden die exakten oktavbandbezogenen Mittenfrequenzen verwendet (im Unterschied zu allen anderen frequenzabhängigen Berechnungen auf Grundlage der nominalen und gerundeten Oktavband-Mittenfrequenzen).

Wenn keine spezifischen Anforderungen festgelegt sind, sollten Standardwerte festgelegt werden, die sich auf repräsentative Bedingungen für das zu untersuchende Gebiet beziehen.

ANMERKUNG Beispielsweise sind eine Temperatur von 10 °C und eine relative Luftfeuchte von 70 % typische Standardparameter, die in einigen mitteleuropäischen Ländern angewendet werden. Der Absorptionskoeffizient der Luft ist stark abhängig von der Schallfrequenz, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchte, jedoch nur wenig abhängig vom Umgebungsdruck.

Bei der Berechnung von Geräuschimmissionen sollte der Absorptionskoeffizient der Luft auf Mittelwerten basieren, die sich aus dem ortsüblichen Schwankungsbereich der Witterungsbedingungen ergeben.

## 7.3 Bodendämpfung, $A_{gr}$

### 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.

Durch einen abwärts gekrümmten Ausbreitungsweg (Mitwind) ist sichergestellt, dass diese Dämpfung in erster Linie durch die Bodenoberflächen in der Nähe der Quelle und des Empfängers bestimmt wird. Dieses Verfahren zur Berechnung des Bodeneffektes basiert auf einem Szenario mit einem annähernd flachen Boden, d. h. waagerecht oder mit konstantem Gefälle. Drei verschiedene Bereiche für die Bestimmung der Bodendämpfung sind festgelegt (siehe Bild 3):

a) der quellennahe Bereich über einen Abstandsbereich von der Quelle in Richtung zum Empfänger von 30 $h_S$ mit größtmöglichem Abstand $d_p$ ($h_S$ ist die Quellenhöhe und $d_p$ der Abstand zwischen Quelle und Empfänger, projiziert auf die Bodenebene);

b) der Bereich am Aufpunkt über einen Abstandsbereich vom Empfänger zurück in Richtung zur Quelle von 30 $h_R$ mit größtmöglichem Abstand $d_p$ ($h_R$ ist die Empfängerhöhe);

c) ein Mittelbereich über den Abstand zwischen dem Quellbereich und dem Empfängerbereich. Falls $d_p < (30\,h_S + 30\,h_R)$, überlappen sich Quell- und Empfängerbereich, und es gibt keinen Mittelbereich.

Nach diesem Schema nimmt die Bodendämpfung nicht mit der Größe des Mittelbereichs zu, sondern hängt vorwiegend von den Eigenschaften der Bereiche an der Quelle und am Aufpunkt ab.

Die akustischen Eigenschaften jedes Bodenbereichs werden durch einen Bodenfaktor $G$ berücksichtigt.



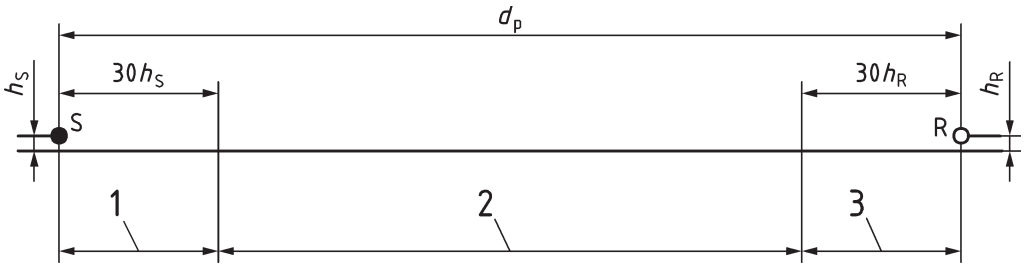
AVA Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

Wenn ein Gebiet durch $N$ Abschnitte mit der Länge $d_n$ und dem Erdungsfaktor $G_n$ für den Abschnitt $n$ gekennzeichnet ist, wird der Erdungsfaktor des Gebiets durch Gleichung (10) angegeben:

$$G(\text{region}) = \sum_{n=1}^{N} G_n d_n / \sum_{n=1}^{N} d_n \tag{10}$$

Die Quell-, Mittel- und Aufpunktbereiche sind Projektionen auf die horizontale Bezugsebene.




**Legende**

1 quellennaher Bereich
2 Mittelbereich
3 Aufpunktbereich
$h_S$ Höhe der Punktquelle über dem Boden
$h_R$ Höhe des Empfängers über dem Boden

**Bild 3 — Drei verschiedene Bereiche für die Bestimmung der Bodendämpfung**

Drei Kategorien von reflektierenden Oberflächen werden wie folgt festgelegt:

a) **Harter Boden,** hierzu gehören Straßenpflaster, Wasser, Eis, Beton und jede andere Bodenoberfläche geringer Porosität. Festgestampfter Boden, wie er z. B. oft um Industriegelände herum vorkommt, kann als hart betrachtet werden. Für harten Boden gilt $G = 0$.

b) **Poröser Boden**, hierzu zählen von Gras, Bäumen oder anderem Bewuchs bedeckte Böden sowie jede andere Bodenoberfläche, die für Pflanzenwachstum geeignet ist, z. B. Ackerland. Für porösen Boden gilt $G = 1$. Für weitere Informationen siehe z. B. Verweisung [19].

c) **Mischboden**, besteht die Oberfläche sowohl aus harten wie aus porösen Böden, so nimmt $G$ einen Wert zwischen 0 und 1 an. Der Wert ist der Anteil porösen Bodens.

ANMERKUNG 1 In einigen Ländern wird anstelle des Begriffs „poröser Boden“ der Begriff „absorbierender Boden“ verwendet.

Zur Berechnung der Bodendämpfung für ein bestimmtes Oktavband sind zunächst die einzelnen Dämpfungen zu berechnen, d. h. $A_S$ für den Quellbereich, festgelegt durch den Bodenfaktor $G_S$ (für diesen Bereich). Anschließend ist $A_R$ für den Bereich am Aufpunkt, festgelegt durch den Bodenfaktor $G_R$, und $A_m$ für den Mittelbereich, festgelegt durch den Bodenfaktor $G_m$ unter Verwendung der Ausdrücke in Tabelle 3 zu berechnen. (Die Funktionen a', b', c' und d' in Tabelle 3 sind als Kurven in Bild 4 dargestellt.) Die Gesamtbodendämpfung für das jeweilige Oktavband ist aus Gleichung (11), Gleichung (12) und Gleichung (13) zu ermitteln:

$$A_{gr} = -10 \lg \left[1 + \left(10^{-A'_{gr}/10} - 1\right) \cdot K_{geo}\right] \text{ dB} \tag{11}$$

Dabei ist

$$A'_{gr} = A_S + A_R + A_m \tag{12}$$

AVA Documents
Document Sharing Hub



Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

$$K_{\text{geo}} = \frac{{d_p}^2 + (h_S - h_R)^2}{{d_p}^2 + (h_S + h_R)^2} \quad (13)$$

$h_S$ die Höhe der Schallquelle über dem Boden, ausgedrückt in Meter;

$h_R$ die Höhe des Empfängers über dem Boden, ausgedrückt in Meter;

$d_p$ der Abstand von der Schallquelle zum Empfänger projiziert auf die horizontale Ebene, ausgedrückt in Meter.

ANMERKUNG 2 Gleichung (10) charakterisiert die 2D-projizierte Fläche zwischen Schallquelle und Empfänger unabhängig von der Abschirmung durch erhöhtes Gelände oder Objekte wie Gebäude.

ANMERKUNG 3 Gleichung (11) mit Gleichung (12) und Gleichung (13) berücksichtigt den schwindenden Bodeneinfluss, wenn der Abstand $d_p < h_S$ und/oder $d_p < h_R$ beträgt.

**Tabelle 3 — Zu verwendende Ausdrücke für die Berechnung der Bodendämpfungsbeiträge $A_S$, $A_R$ und $A_m$ in Oktavbändern**

| **Nennbandmittenfrequenz** Hz | $A_S$ oder $A_R$[a] dB | $A_m$ dB |
|---|---|---|
| 63 | $-1{,}5$ | $-3q$[b] |
| 125 | $-1{,}5 + G \times a'(h)$ | $-3q(1 - G_m)$ |
| 250 | $-1{,}5 + G \times b'(h)$ | |
| 500 | $-1{,}5 + G \times c'(h)$ | |
| 1 000 | $-1{,}5 + G \times d'(h)$ | |
| 2 000 | $-1{,}5(1 - G)$ | |
| 4 000 | | |
| 8 000 | | |

ANMERKUNG

$$a'(h) = 1{,}5 + 3{,}0 \times e^{-0{,}12(h-5)^2}\left(1 - e^{\frac{-d_p}{50}}\right) + 5{,}7 \times e^{-0{,}09h^2}\left(1 - e^{-2{,}8\times10^{-6}\times d_p^2}\right)$$

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

$$c'(h) = 1{,}5 + 14{,}0 \times e^{-0{,}46h^2}\left(1 - e^{\frac{-d_p}{50}}\right)$$

$$d'(h) = 1{,}5 + 5{,}0 \times e^{-0{,}9h^2}\left(1 - e^{\frac{-d_p}{50}}\right)$$

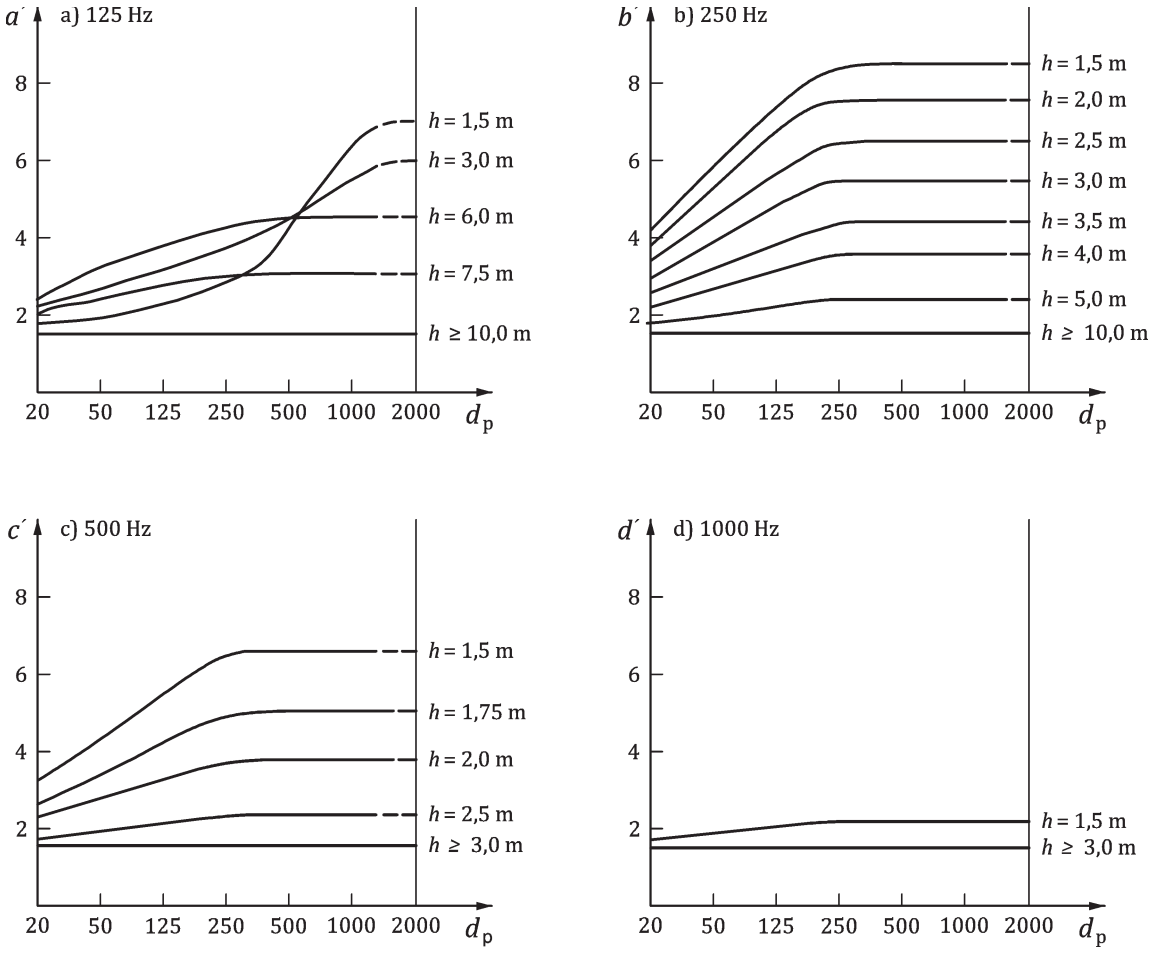
[a] Zur Berechnung von $A_S$ gilt $G = G_S$ und $h = h_S$. Zur Berechnung von $A_R$ gilt $G = G_R$ und $h = h_R$. Siehe 7.3.1 für die Werte von $G$ bei verschiedenen Bodenoberflächen.

[b] $q = 0$, dabei ist $d_p \leq 30(h_S + h_R)$; $q = 1 - \frac{30(h_S + h_R)}{d_p}$, wenn $d_p > 30(h_S + h_R)$. Dabei ist $d_p$ der auf die Bodenebene projizierte Abstand in Metern zwischen Schallquelle und Empfänger.



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10




**Legende**

$d_p$ Abstand von der Schallquelle zum Empfänger projiziert auf die horizontale Ebene, ausgedrückt in Meter.

**Bild 4 — Funktionen *a', b', c'* und *d'* , die den Einfluss des Abstands Schallquelle — Empfänger, $d_p$, und der Quell- bzw. Empfängerhöhe $h$ auf die Bodendämpfung $A_{gr}$ angeben (berechnet aus den Gleichungen in Tabelle 3)**

### 7.3.2 Vereinfachtes Verfahren zur Berechnung A-bewerteter Schalldruckpegel

Der mit dem vereinfachten Verfahren berechnete Bodeneinfluss ist unabhängig von der beobachtbaren Bodenbeschaffenheit und deren akustischen Eigenschaften.

Unter den folgenden spezifischen Bedingungen und für beliebig geformte Bodenoberflächen kann die Bodendämpfung unter Verwendung von Gleichung (14) berechnet werden:

— 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.

$$A_{gr} = 4{,}8 - \left(\frac{2h_m}{d}\right)\left[17 + \left(\frac{300}{d}\right)\right] \geq 0\,\text{dB} \qquad (14)$$



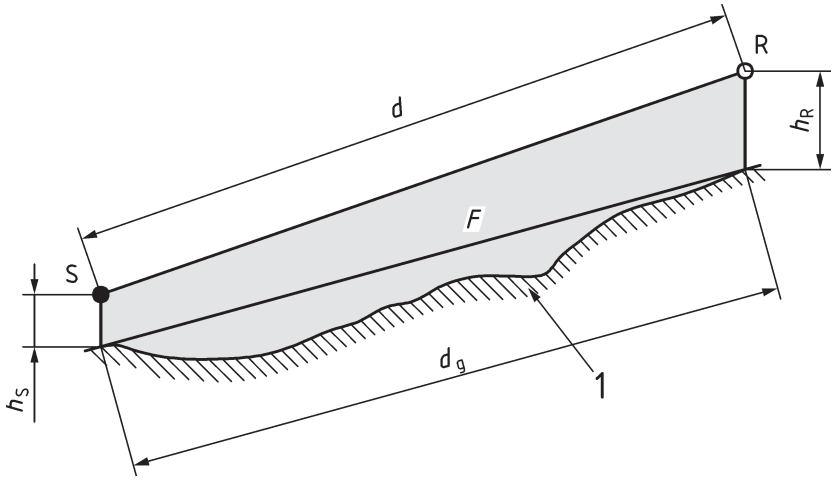
Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

Dabei ist

$h_m$ die mittlere Höhe des Schallausbreitungsweges über dem Boden, ausgedrückt in Meter;

$d$ der Abstand von der Schallquelle zum Empfänger, ausgedrückt in Meter.

Die mittlere Höhe $h_m$ kann nach dem in Bild 5 angewendeten Verfahren durch $h_m = F/d_g$ ermittelt werden. Negative Werte für $A_{gr}$ aus Gleichung (14) sind gleich Null zu setzen.




**Legende**

1 Bodenprofil
S Schallquelle
R Empfänger
$F$ die Fläche, die durch das Bodenprofil und die gerade Linie von der Schallquelle zum Empfänger begrenzt wird;
$d$ der Abstand zwischen Schallquelle und Empfänger;
$d_g$ der Abstand zwischen den Basispunkten der Schallquelle und dem Empfänger;
$h_S$ die Höhe der Schallquelle über dem Boden, ausgedrückt in Meter;
$h_R$ die Höhe des Empfängers über dem Boden, ausgedrückt in Meter.

**Bild 5 — Verfahren zur Bestimmung der mittleren Höhe $h_m$**

Wenn die Bodendämpfung unter Verwendung von Gleichung (14) berechnet wird, muss die Richtwirkungskorrektur $D_c$ in Gleichung (3) einen Term $D_\Omega$ in Dezibel enthalten, um dem immissionsrelevanten Anstieg des Schallleistungspegels der Schallquelle aufgrund von Reflexion vom Boden ohne Reflexionsverluste zu berücksichtigen.

$$D_\Omega = 10 \lg(1 + K_{geo}) \text{ dB} \quad (15)$$

$K_{geo}$, definiert in Gleichung (13), ist die Korrektur für die Geometrie aufgrund von Abstand-Höhe- Beziehungen.

ANMERKUNG Der Einfluss des Bodens in Bezug auf die Schallausbreitung im Freifeld, die mit diesem vereinfachten Verfahren berechnet wird, ist vergleichbar mit dem, der mit dem in 7.3.1 beschriebenen „Allgemeinen Verfahren“ mit reflektierendem Boden ($G = 0$) in der Nähe der Schallquelle und porösem oder bewachsenem Boden ($G = 1$) in größeren Abständen berechnet wird.



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

## 7.4 Abschirmung, $A_{bar}$

### 7.4.1 Allgemeines Berechnungsverfahren

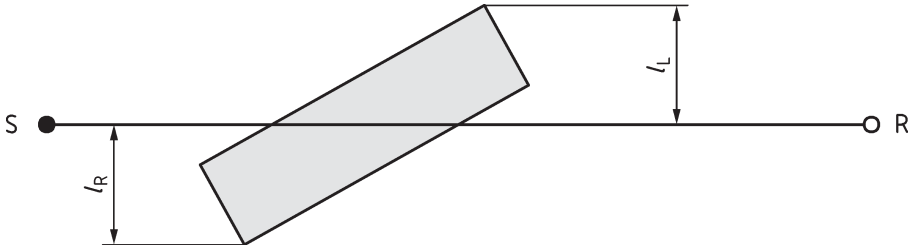
Ein Objekt ist als abschirmendes Hindernis (oft Schallschirm genannt) zu berücksichtigen, wenn es die folgenden Anforderungen erfüllt:

— die flächenbezogene Masse beträgt mindestens 10 kg/m$^2$;

— das Objekt hat eine geschlossene Oberfläche ohne große Risse oder Lücken (folglich werden z. B. keine Prozessfelder in Chemieanlagen berücksichtigt);

— die Horizontalabmessung des Objektes senkrecht zur Verbindungslinie Quelle — Empfänger ist größer als die akustische Wellenlänge $\lambda$ bei der Nennbandmittenfrequenz des interessierenden Oktavbands (basierend auf einer Bezugsschallgeschwindigkeit von 340 m/s); mit anderen Worten $l_l + l_r > \lambda$ (siehe Bild 6).

Jedes Objekt, das diese Anforderungen erfüllt, ist durch einen Schallschirm mit senkrechten Kanten darzustellen. Die Schirmoberkante ist eine gerade Linie, die schräg abfallend sein kann.




**Legende**

S Schallquelle
R Empfänger
$l_l$, $l_r$ Ausdehnung des Objekts nach links/rechts in Richtung der Schallausbreitung

**Bild 6 — Draufsicht auf ein Hindernis zwischen Quelle (S) und Aufpunkt (R)**

Für die Anwendung dieses Dokuments ist die Dämpfung durch einen Schirm, $A_{bar}$, durch das Einfügungsdämpfungsmaß anzugeben. Die Beugung sowohl über die Oberkante als auch um die senkrechten Kanten eines Schirms herum kann von Bedeutung sein (siehe Bild 7). Für Mitwind-Schallausbreitung ist der Effekt von Beugung (ausgedrückt in Dezibel) über Oberkanten, wenn $A_{gr} > 0$, nach Gleichung (16) zu berechnen:

$$A_{bar} = D_z - A_{gr} > 0 \tag{16}$$

und für die Beugung über senkrechte Kanten oder über Oberkanten mit $A_{gr} < 0$ durch nach Gleichung (17):

$$A_{bar} = D_z > 0 \tag{17}$$

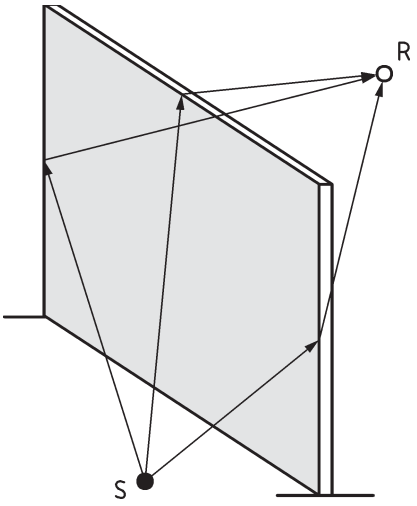
Dabei ist:

$D_z$ das Abschirmmaß für jedes Oktavband;

$A_{gr}$ die Bodendämpfung in Abwesenheit des Schirms (d. h. nach Entfernung des abschirmenden Hindernisses) (siehe 7.3).



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10




**Legende**

S Schallquelle
R Empfänger

**Bild 7 — Verschiedene Schallausbreitungswege an einem Schirm**

ANMERKUNG 1 Für große Abstände und hohe Schirme ist das unter Verwendung von Gleichung (16) berechnete Einfügungsdämpfungsmaß nicht ausreichend durch Messungen bestätigt.

Bei der Berechnung des Einfügungsdämpfungsmaßes durch hohe Gebäude (mehr als 10 m über dem Boden) für Industrieanlagen mit mehreren Schallquellen und für hoch gelegene Quellen innerhalb der Anlage sollte zur Bestimmung des Langzeitmittelungspegels $L_{AT}$(LT) unter Verwendung von Gleichung (7) in beiden Fällen Gleichung (17) verwendet werden.

ANMERKUNG 2 Bei Schall von einer tiefliegenden Autobahn kann zusätzlich zu der in Gleichung (16) angegebenen Dämpfung eine Dämpfung durch eine Bodenoberfläche außerhalb der Vertiefung auftreten.

Zur Berechnung des Abschirmmaßes $D_z$ wird angenommen, dass nur ein signifikanter Schallausbreitungsweg von der Schallquelle zum Empfänger existiert. Das endgültige Einfügungsdämpfungsmaß, das durch Objekte verursacht wird, die die direkte geradlinige Ausbreitung von der Quelle zum Empfänger blockieren, kann durch weitere Beiträge von Schallenergie beeinflusst werden, die um die senkrechten Kanten herum gebeugt wird, siehe Gleichung (25).

Unabhängig von der Anzahl der abschirmenden Hindernisse und ihrer relativen Ausrichtung wird der Strahlenweg über die Oberseite wie ein Gummiband in einer senkrechten Ebene konstruiert, die senkrecht zur Bezugsebene x-y verläuft und Schallquelle und Empfänger enthält und somit ein Polygon mit geraden Segmenten bildet (Beispiel siehe Bild 8).



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

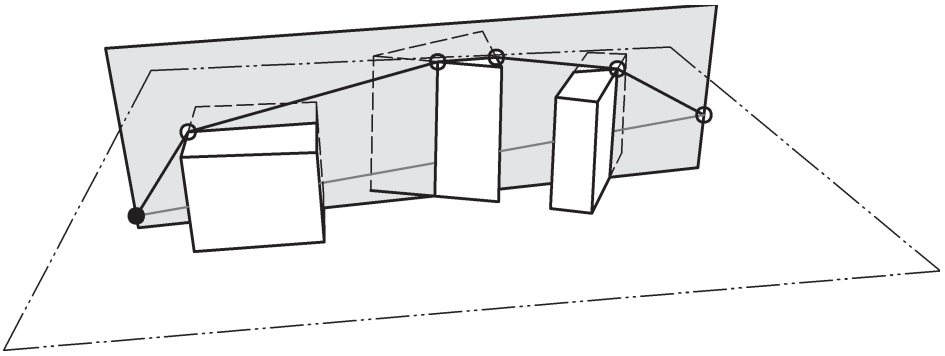


**Bild 8 — Drei Objekte, die die Sichtlinie blockieren, die senkrechte Ebene mit Schallquelle und Empfänger und die Strahlenwege zur Bestimmung der Weglängendifferenz $z$**

Das Abschirmmaß $D_z$, in Dezibel, für diesen Weg ist unter Verwendung von Gleichung (18) mit Gleichung (19) zu berechnen:

$$D_z = 10\lg\left[1+\left(2+\left(\frac{C_2}{\lambda}\right)C_3 z\right)K_{met}\right]\text{dB} \quad \text{für } z > z_{min} \tag{18}$$

und

$$D_z = 0\,\text{dB} \quad \text{für } z \le z_{min}$$

mit

$$z_{min} = -2\lambda/(C_2C_3). \tag{19}$$

Dabei ist

$C_2$ gleich 20 und schließt den Effekt von Bodenreflexionen ein; falls die Bodenreflexionen in Sonderfällen durch Spiegelquellen separat berücksichtigt werden, ist $C_2$ gleich 40;

$C_3$ gleich 1 für Einfachbeugung (e = 0);

$C_3$ wird mit Gleichung (20) für Mehrfachbeugung berechnet;

$e$ die Länge des Strahlenwegs zwischen der ersten Beugungskante hinter der Schallquelle und der letzten Beugungskante vor dem Empfänger bei mehr als einer Beugungskante, ausgedrückt in Meter. Im Falle einer einzigen Beugungskante ist e gleich Null;

$\lambda$ die Wellenlänge des Schalls bei der Nennbandmittenfrequenz des Oktavbands, ausgedrückt in Meter;

$z$ die Differenz zwischen den Weglängen des gebeugten und des direkten Schalls, berechnet unter Verwendung von Gleichung (22) oder Gleichung (24), ausgedrückt in Meter;

$K_{met}$ der Korrekturfaktor für meteorologische Effekte, gegeben durch Gleichung (21).

$$C_3 = \left[1+(5\lambda/e)^2\right]/\left[\left(\frac{1}{3}\right)+(5\lambda/e)^2\right] \tag{20}$$

$$K_{met} = \exp\{-(1/2000)\sqrt{[\max(d_{SS},d_{SR})+e]\cdot\min(d_{SS},d_{SR})\cdot d/[2(z-z_{min})]}\} \tag{21}$$



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

Dabei ist

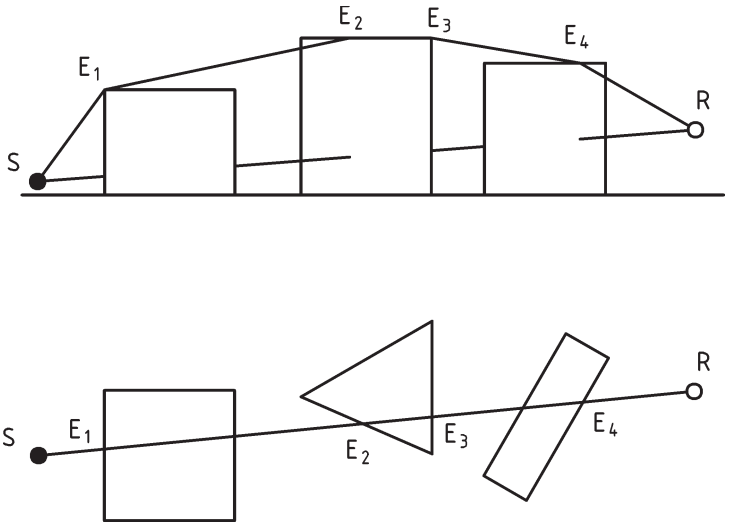
$d_{SS}$ die Länge des Strahlenwegs von der Schallquelle bis zur (ersten) Beugungskante, ausgedrückt in Meter (S-$E_1$ in Bild 9);

$d_{SR}$ die Länge des Strahlenwegs von der (letzten) Beugungskante zum Empfänger, ausgedrückt in Meter ($E_4$-R in Bild 9);

$d$ der Abstand von der Schallquelle zum Empfänger, ausgedrückt in Meter (S-R in Bild 9).

Für die seitliche Beugung um Hindernisse herum ist anzunehmen, dass $K_{met} = 1$.

Bei den Beispielen in Bild 8 und Bild 9 sind die erste und die letzte Beugungskante $E_1$ und $E_4$ – $e$ ist demzufolge die Summe der Längen $E_1$-$E_2$, $E_2$-$E_3$ und $E_3$-$E_4$.




**Legende**

S Schallquelle
R Empfänger
$E_n$ Beugungskanten

**Bild 9 — Draufsicht und Seitenansicht der drei Gebäude mit den relevanten Kanten $E_1$ — $E_4$ für die Beugung über die Oberkante**

Die Weglängendifferenz ist mit Gleichung (22) zu berechnen:

$$z = (d_{SS} + d_{SR} + e) - d \tag{22}$$

Wenn die Sichtlinie zwischen der Schallquelle S und dem Aufpunkt R oberhalb der Oberkante eines einzelnen Schirms verläuft, erhält z ein negatives Vorzeichen.

Wenn die direkte Sichtlinie nicht blockiert ist und der Strahl mehr Kanten entlang des Profils S-R passiert, bestimmt der größte Wert die relevante Weglängendifferenz nach Gleichung (23):

$$z = \max(z_n) \tag{23}$$

Dabei ist $z_n$ die negative Weglängendifferenz zur Kante $n$ und es werden alle Kanten unter dem Ausbreitungsweg einbezogen, um den Maximalwert mit Gleichung (22) mit $e$ gleich 0 zu finden.

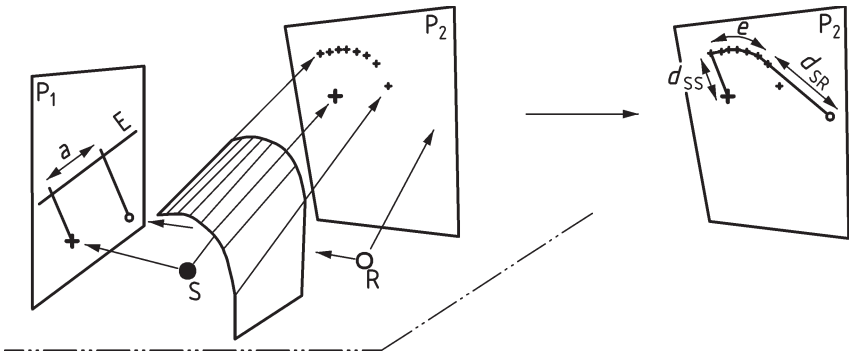


Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

### 7.4.2 Alternatives Verfahren zur Berechnung der Weglängendifferenz *z* mit einer Kante oder mit mehreren parallelen Kanten

Die Konstruktion des Strahlenwegs in einer senkrechten Ebene nach 7.4.1 stellt das allgemeine Verfahren in diesem Dokument dar. Auf der Grundlage dieses Modells wird die Schallwelle, die sich von der Quelle zum Empfänger mit Beugung ausbreitet, durch einen Strahlenweg approximiert, der in der Draufsicht eine gerade Linie ist.

In besonderen Fällen ist es möglich und kann es geeignet sein, die Weglängendifferenz *z* anhand der kürzest möglichen Polygonlinie, die die Beugungskante(n) schneidet, zu berechnen. Das resultierende Abschirmmaß ist dann geringer und genauer.




**a) Ursprüngliches Szenario mit zwei Projektionsebenen zur Bestimmung der Parameter *a*, $d_{SS}$, $d_{SR}$ und *e***

**b) Projektionsebene $P_2$, um in einem ersten Schritt die relevanten Beugungskanten mit dem Ribbonband-Verfahren zu ermitteln und anschließend die Parameter $d_{SS}$, $d_{SR}$ und *e* zu bestimmen**

**Legende**

S Schallquelle
R Empfänger
$P_1$ senkrechte Projektionsebene parallel zu den (parallelen) Beugungskanten
$P_2$ Projektionsebene senkrecht zu den (parallelen) Beugungskanten
E Schirmkante (beliebige der auf die Ebene $P_1$ projizierten Schirmkanten)
a Abstandskomponente zwischen S und R in Richtung der Schirmkante E (siehe Projektionsebene $P_1$)
e zusammengefasste Teilabstände zwischen allen angrenzenden wesentlichen Beugungskanten (siehe Projektionsebene $P_2$)
$d_{SS}$ Abstand zwischen Schallquelle und nächstgelegener wesentlicher Beugungskante (siehe Projektionsebene $P_2$)
$d_{SR}$ Abstand zwischen Empfänger und nächstgelegener wesentlicher Beugungskante (siehe Projektionsebene $P_2$)

**Bild 10 — Die relevanten Parameter zur Berechnung der Weglängendifferenz *z*, dargestellt für den Fall eines gekrümmten Schirms (hier nicht parallel zum Boden)**

Dies ist der Fall, wenn die Verbindungslinie zwischen Schallquelle und Empfänger in der Draufsicht nicht senkrecht zur Beugungskante verläuft und die Höhen von Schallquelle und Empfänger unterschiedlich sind oder/und die Beugungskante schräg abfallend verläuft. In solchen Fällen ist der kürzeste Strahlenweg in der Draufsicht im Allgemeinen keine gerade Linie. Die Weglängendifferenz z für diesen kürzesten Strahlenweg kann für eine oder mehrere parallele potenzielle Beugungskanten mit den folgenden Schritten berechnet werden:



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

— Quelle, Empfänger und Kante(n) werden auf eine Ebene senkrecht zu den Kanten projiziert (Ebene $P_2$ in Bild 10);

— mit einer gummibandartigen Polygonlinie von der Schallquelle zum Empfänger, wobei die Kante(n) (Punkte in dieser Projektion) umschlossen werden, werden die relevanten Kanten ermittelt (siehe Bild 10 b));

— die Parameter $d_{SS}$, $e$, $d_{SR}$ und $a$ werden bestimmt.

Die Weglängendifferenz z ist mit Gleichung (24) zu berechnen:

$$z = \left[(d_{SS} + d_{SR} + e)^2 + a^2\right]^{1/2} - d \tag{24}$$

Dabei ist $d$ der 3D-Abstand zwischen der Schallquelle und dem Empfänger, ausgedrückt in Meter.

ANMERKUNG Bei diesem alternativen Verfahren sind $d_{SS}$ und $d_{SR}$ Abstände von Punkt zu Kante und somit senkrecht zur betreffenden Kante. Dies unterscheidet sich vom allgemeinen Verfahren, bei dem $d_{SS}$ und $d_{SR}$ die Längen des ersten und des letzten Segments des Strahlenwegs in der senkrechten Ausbreitungsebene sind.

### 7.4.3 Seitliche Beugung an senkrechten Kanten

Seitliche Beugung an den senkrechten Kanten von Hindernissen, wie in Bild 7 für einen einzelnen Schirm und in Bild 11 für mehrere Objekte dargestellt, kann den von $A_{bar}$ berechneten Dämpfungseffekt verringern.

Zusätzlich zum Ausbreitungsweg über die Oberkante werden bis zu zwei seitlich gebeugte Ausbreitungswege berücksichtigt. Zur Berechnung der Weglängendifferenz $z$ für einen oder beide dieser seitlich gebeugten Strahlen werden diese analog zum Strahlenweg über der Oberkante als gummibandartige Polygonlinie in einer seitlichen Ebene konstruiert, die die Schallquelle und den Empfänger senkrecht zur vertikalen Ebene enthält. Die seitlichen Strahlenwege sind die kürzest möglichen konvexen Polygonlinien, die nicht durch Objekte oder durch erhöhten Boden auf beiden Seiten der Linie von der Schallquelle zum Empfänger blockiert werden, mit unterstützenden Punkten auf den Schnittpunkten der senkrechten Kanten mit der seitlichen Ebene. Ein seitlicher Beugungspfad wird vernachlässigt, wenn der maximale Abstand eines oder mehrerer seiner unterstützenden Punkte von der direkten Linie von der Schallquelle zum Empfänger den maximalen Abstand der unterstützenden Punkte in der senkrechten Ebene von der direkten Linie von der Schallquelle zum Empfänger um einen Faktor von mehr als 8 überschreitet.

Seitliche Beugung wird nicht berücksichtigt, wenn erhöhter Boden zum Strahlenweg über die Oberkante beiträgt. Bild 11 zeigt die seitliche Ebene und die beiden seitlich gebeugten Strahlen für das Beispiel mit 3 Gebäuden.

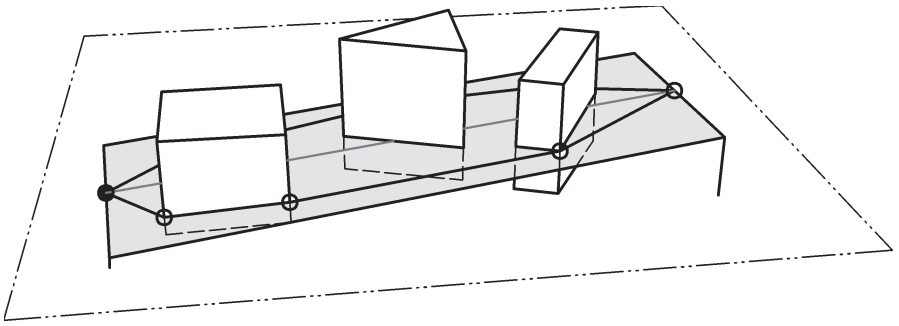


**Bild 11 — Drei Objekte, die die Sichtlinie blockieren, die seitliche Ebene mit Schallquelle und Empfänger und die Strahlenwege zur Bestimmung der Weglängendifferenz $z$**

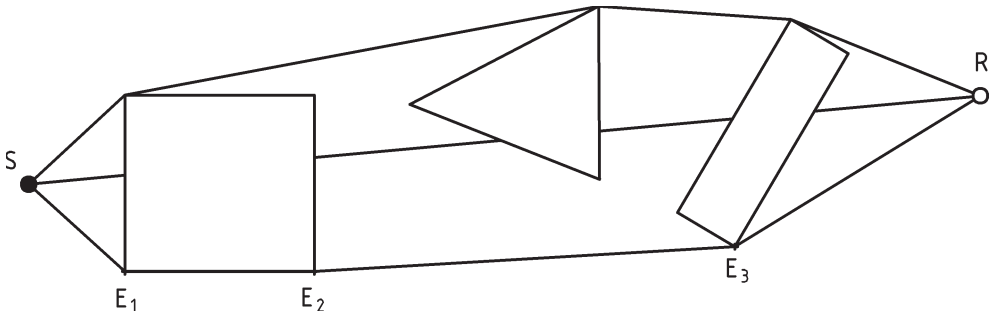


Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

Bei diesem Beispiel sind die erste und die letzte Beugungskante rechts $E_1$ und $E_3$, wie in Bild 12 dargestellt, $e$ ist demzufolge die Summe der Längen $E_1$-$E_2$ und $E_2$-$E_3$ (linke Seite analog). Der Dämpfungseffekt $A_{bar}$ für den betreffenden seitlichen Beugungsstrahlweg wird mit Gleichung (17) berechnet.

ANMERKUNG Die Weglängendifferenzen z sind aufgrund ihrer Konstruktion bei seitlich gebeugten Strahlen positiv.




**Legende**

S Schallquelle
R Empfänger
$E_n$ Beugungskanten

**Bild 12 — Draufsicht der drei Gebäude mit den relevanten Kanten $E_1$–$E_3$ für die seitliche Beugung an der rechten Seite**

### 7.4.4 Kombination von vertikalen und lateralen Beugungen und Einschränkungen

Das endgültige Abschirmmaß $A_{bar}$, das sich aus $A_{bar,top}$, berechnet mit dem Strahlenweg in der senkrechten Ebene, und $A_{bar,side1}$ und $A_{bar,side2}$, berechnet mit den Strahlenwegen in der seitlichen Ebene, ergibt, wird mit Gleichung (25) berechnet.

$$A_{bar} = -10 \lg \left(10^{-0,1A_{bar,top}} + 10^{-0,1A_{bar,side1}} + 10^{-0,1A_{bar,side2}}\right) \text{dB} \quad (25)$$

Wenn ein Strahlenweg nicht relevant ist, ist der entsprechende Summand in der Klammer 0.

Wenn das Ergebnis von Gleichung (25) negativ ist, ist das effektive $A_{bar}$ 0.

Diese Strategie beruht auf der Idee, dass seitlich gebeugter Schall zu einer Verringerung der Schallschirmwirkung führt, wenn die Ausdehnung der Anordnung relevanter Objekte senkrecht zur Sichtlinie gering ist.

Für die Beugung über die Oberkante in der senkrechten Ebene sollte das Abschirmmaß $D_z$ in einem beliebigen Oktavband nicht größer als 20 dB bei Einfachbeugung (d. h. bei dünnen Schallschirmen) und 25 dB bei Mehrfachbeugung (mit $e > 0$) angenommen werden.

## 7.5 Reflexionen

### 7.5.1 Allgemeines

Reflexionen werden hier als Spiegelquellen betrachtet. Diese Reflexionen entstehen an mehr oder weniger senkrechten Oberflächen, wie z. B. Gebäudefassaden, wodurch der Schalldruckpegel am Aufpunkt ansteigen kann. Der Effekt von Bodenreflexionen wird nicht berücksichtigt, da dieser bei der Berechnung von $A_{gr}$ im Falle des „Allgemeinen Verfahrens“ in 7.3.1 und bei der Berechnung von $A_{gr}$ und $D_\Omega$ im Falle des „Vereinfachten Verfahrens“ in 7.3.2 enthalten ist.



Documents
Document Sharing Hub
Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10

### 7.5.2 Einzelreflexion an einer flachen Oberfläche – Bedingungen und Berechnung

Reflexionen an einem Hindernis sind für alle Oktavbänder zu berechnen, für die die folgenden Anforderungen erfüllt sind:

— es kann eine geometrische/spiegelnde Reflexion konstruiert werden, wie in Bild 13 dargestellt;

— die Oberfläche ist ausreichend groß, damit die Nenn-Bandmittenwellenlänge $\lambda$ (in Meter) für das betrachtete Oktavband der Beziehung nach Gleichung (26) und Gleichung (27) gehorcht.

$$\frac{1}{\lambda} > \left[2/l_{\text{eff}}^2\right]\left[d_{\text{S,O}} d_{\text{O,R}}/(d_{\text{S,O}} + d_{\text{O,R}})\right] \tag{26}$$

$$l_{\text{eff}} = \min(a \cdot \cos\beta_a, h \cdot \cos\beta_h) \tag{27}$$

Dabei ist

$a$ die horizontale Ausdehnung der reflektierenden Oberfläche, ausgedrückt in Meter;

$h$ die senkrechte Ausdehnung der reflektierenden Oberfläche am Reflexionspunkt, ausgedrückt in Meter;

$\lambda$ die Wellenlänge des Schalls bei der Nennbandmittenfrequenz f (in Hertz) des Oktavbands ($\lambda$ = 340 m/s/f), ausgedrückt in Meter;

$d_{\text{S,O}}$ der Abstand zwischen der Quelle und dem Reflexionspunkt auf dem Hindernis;

$d_{\text{O,R}}$ der Abstand zwischen dem Reflexionspunkt auf dem Hindernis und dem Empfänger, ausgedrückt in Meter;

$\beta_{\text{a}}$ der Einfallswinkel, projiziert auf die horizontale Ebene, ausgedrückt in Radiant;

$\beta_{\text{h}}$ der Einfallswinkel, projiziert auf eine senkrechte Ebene, die rechtwinklig zur reflektierenden Fläche verläuft, ausgedrückt in Radiant.

Falls diese Bedingung für ein gegebenes Oktavband nicht zutrifft, ist diese Reflexion zu vernachlässigen.

Die reale Quelle und die Spiegelquelle werden separat behandelt. Der Schallleistungspegel der Spiegelquelle $L_{\text{W,im}}$ ist in jedem relevanten Oktavband nach Gleichung (28) zu berechnen.

$$L_{\text{W,im}}(dB) = L_{\text{W}} + 10\lg(1-\alpha) + D_{\text{Ir}} \tag{28}$$

Dabei ist

$\alpha$ der Schallabsorptionskoeffizient der reflektierenden Oberfläche;

$D_{\text{Ir}}$ ist der Richtwirkungsindex der Schallquelle in der Strahlenwegrichtung von der Schallquelle zum Reflektor.

Für Gebäudefassaden und Oberflächen von Industrieanlagen ist in allen Oktavbändern ein Absorptionskoeffizient von 0,1 als Standardwert anzuwenden, wenn keine individuellen Daten verfügbar sind.

Für die Spiegelschallquelle sind die Dämpfungsterme aus Gleichung (3) und Gleichung (5) sowie $\alpha$ und $D_{\text{Ir}}$ in Gleichung (28) entsprechend dem Ausbreitungsweg des reflektierten Schalls für jedes relevante Oktavband zu bestimmen.



Documents
Document Sharing Hub

Full document details: E DIN EN ISO 9613-2:2024-10