

# Berechnung der Schallausbreitung im Freien und Zuweisung von Lärmpegeln und Bewohnern zu Gebäuden

Mit zusätzlichen Festlegungen betreffend des Berechnungsverfahrens zur Umsetzung der EU-Richtlinie 2015/996

Calculation of outdoor sound propagation and assignment of noise levels and population to buildings  
Including additional Specifications to the Sound Prediction Model according to EU-Directive 2015/996

ICS: 17.140.01; 17.140.50

zuständig AG 147

Medieninhaber und Hersteller  
Österreichischer Arbeitsring für Lärmbekämpfung  
Spittelauer Lände 5  
1090 Wien

Copyright © ÖAL 2018.  
Alle Rechte vorbehalten. Nachdruck oder Vervielfältigung,  
Aufnahme auf oder in sonstige Medien oder Datenträger  
nur mit Zustimmung gestattet!  
E-Mail: [office@oal.at](mailto:office@oal.at)  
Internet: [www.oal.at](http://www.oal.at)

Verkauf von ÖAL-Richtlinien in Papierform durch  
Austrian Standards plus GmbH  
Heinestraße 38, 1020 Wien  
E-Mail: [service@austrian-standards.at](mailto:service@austrian-standards.at)  
Internet: [www.austrian-standards.at](http://www.austrian-standards.at)  
Webshop: [www.austrian-standards.at/webshop](http://www.austrian-standards.at/webshop)  
Tel.: +43 1 213 00-300  
Fax: +43 1 213 00-355

## Inhalt

<b>VORBEMERKUNG</b> .....	<b>3</b>
<b>EINLEITUNG</b> .....	<b>3</b>
<b>1 ZWECK UND ANWENDUNGSBEREICH</b> .....	<b>3</b>
<b>2 VERWEISUNGEN</b> .....	<b>4</b>
2.1 Rechtsvorschriften (Gesetze und Verordnungen).....	4
2.2 Normen und technische Richtlinien.....	4
<b>3 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN</b> .....	<b>4</b>
<b>4 SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN</b> .....	<b>6</b>
<b>5 GEMEINSAME VERFAHREN ZUR LÄRMBEWERTUNG</b> .....	<b>9</b>
5.1 Allgemeine Bestimmungen – Straßenverkehrs-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbelärm.....	9
5.1.1 Definition der Indizes, Frequenzbereiche und Frequenzbänder.....	9
5.1.2 Qualitätsrahmen.....	9
5.2 Berechnung der Schallausbreitung von Straßen-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbequellen.....	10
5.2.1 Anwendungsbereich und Anwendbarkeit des Verfahrens.....	10
5.2.2 Erläuterung zu den verwendeten variablen Größen.....	10
5.2.3 Geometrische Betrachtungen.....	11
5.2.4 Modell der Schallausbreitung.....	13
5.2.5 Ablauf der Berechnung.....	13
5.2.6 Berechnung der Schallausbreitung bei Straßen-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbequellen.....	16
5.2.7 Beugung.....	21
5.3 Zuweisung von Lärmpegeln und von Bewohnern zu Gebäuden.....	29
5.3.1 Bestimmung der Anzahl der Bewohner eines Gebäudes.....	29
5.3.2 Fall 1: Daten zur Anzahl der Bewohner sind verfügbar.....	30
5.3.3 Fall 2: Daten zur Anzahl der Bewohner nicht verfügbar.....	30
5.3.4 Zuweisung von Empfangspunkten zu Gebäudefassaden.....	31
<b>6 SONDERFESTLEGUNGEN FÜR DIE STRATEGISCHE LÄRMKARTIERUNG</b> .....	<b>33</b>
<b>ANHANG A: DÄMPFUNG INFOLGE VON BEWUCHS (<math>A_{fol}</math>)</b> .....	<b>34</b>
<b>BIBLIOGRAPHIE</b> .....	<b>36</b>

## VORBEMERKUNG

Die Neuausgabe der vorliegenden ÖAL-Richtlinie wurde erarbeitet, da auf europäischer Ebene neue Bewertungsmethoden für Lärmindizes nach Artikel 6 der Richtlinie 2002/49/EG veröffentlicht wurden. Diese ÖAL-Richtlinie ist ein Beitrag der österreichischen Umsetzung in nationales Recht im Zusammenhang mit der Schallausbreitung.

Die in dieser Richtlinie verwendete Grammatik ist immer im neutralen Sinn gemeint. Auf geschlechtsspezifische Formulierungen wird aus Gründen der vereinfachten Lesbarkeit abgesehen.

## EINLEITUNG

Mit der EU-Richtlinie 2015/996 hat die Europäische Kommission das gemeinsame Verfahren für die Bewertung von Umgebungslärm veröffentlicht. Dieses Verfahren beinhaltet sowohl die Emissionsermittlung der Quellen als auch die Ausbreitungsberechnung des Schalls im Freien und an Fassaden bis hin zur Zuordnung von Lärmpegeln und der Anzahl lärm betroffener Personen.

In Österreich werden die Fachregeln für die unterschiedlichen Quellen je nach Aufgabengebiet von den jeweils zuständigen Institutionen und Normungsorganisationen erstellt. Auch in der Umsetzung der EU-Richtlinie 2015/996 wird dieser Weg weiter fortgesetzt. So wird die Ermittlung der Schallemission für den Straßenverkehr in RVS 04.02.11 und für den Schienenverkehr in RVE 04.01.02<sup>1</sup> geregelt. In diesen Regelwerken werden auch die quellspezifischen Bemessungsfälle zur Ermittlung der Lärmindizes definiert.

## 1 ZWECK UND ANWENDUNGSBEREICH

Diese Richtlinie behandelt die Dämpfung des Schalls von bodengebundenen Quellen bei Ausbreitung im Freien. Sie ist sowohl für den Anwendungsbereich der Richtlinie 2002/49/EG – der strategischen Lärmkartierung – als auch zur allgemeinen Anwendung, speziell auch in anderen Rechtsbereichen wie z. B. Verwaltungsverfahren, geeignet. Dabei ist zu beachten, dass das Ergebnis der Berechnung stets ein A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel ist, nicht aber ein Beurteilungspegel, der wirkungsspezifische Adjustierungen (Pegelszuschläge oder -abschläge) enthält.

Die (wirkungsbezogene) Bewertung der Schalleinwirkung ist nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Je nach Anwendungsfall sind in den diesbezüglichen normativen Regelwerken die entsprechenden Zeiträume, Betriebs- bzw. Emissionszustände und Anpassungswerte festzulegen.

Die Schallabstrahlung von Bauteilen ist ebenfalls nicht Gegenstand dieser Richtlinie. Dies betrifft auch die Schallabstrahlung von Hindernissen und dergleichen im Ausbreitungsweg, wie z. B. Lärmschutzwände. Hier kann die Schallabstrahlung nach ÖNORM EN ISO 12354-4 berechnet werden.

---

<sup>1</sup> In Bearbeitung.

## 2 VERWEISUNGEN

Die nachstehenden Dokumente sind für die Anwendung dieser Richtlinie erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in dieser Richtlinie zitierte Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt jeweils die aktuelle Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments. Rechtsvorschriften sind immer in der jeweils geltenden Fassung anzuwenden.

### 2.1 Rechtsvorschriften (Gesetze und Verordnungen)

Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates vom 25. Juni 2002 über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm – Erklärung der Kommission im Vermittlungsausschuss zur Richtlinie über die Bewertung und Bekämpfung von Umgebungslärm

Richtlinie (EU) 2015/996 der Kommission vom 19. Mai 2015 zur Festlegung gemeinsamer Lärmbewertungsmethoden gemäß der Richtlinie 2002/49/EG des Europäischen Parlaments und des Rates

### 2.2 Normen und technische Richtlinien

ÖNORM EN 1793-1, Lärmschutzvorrichtungen an Straßen – Prüfverfahren zur Bestimmung der akustischen Eigenschaften – Teil 1: Produktspezifische Merkmale der Schallabsorption in diffusen Schallfeldern

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

ÖNORM ISO 9613-2, Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien – Teil 2: Allgemeines Berechnungsverfahren

ÖVE/ÖNORM EN 61672-1, Elektroakustik – Schallpegelmesser – Teil 1: Anforderungen (IEC 61672-1)

## 3 BEGRIFFSBESTIMMUNGEN

Für die Anwendung dieser Richtlinie gelten die nachstehenden Begriffe.

### 3.1 momentaner Schalldruckpegel

$L_p$   
zehnfacher dekadischer Logarithmus des Verhältnisses der Quadrate des Effektivwertes des Schalldrucks und des Bezugsschalldrucks, ausgedrückt in Dezibel (dB)

$$L_p = 10 \cdot \lg \frac{p^2}{p_0^2}$$

Dabei ist:

$p$  Effektivwert des Schalldrucks

$p_0$  Bezugsschalldruck

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Bezugsschalldruck beträgt 20  $\mu$ Pa.

Anmerkung 2 zum Begriff: Der A-bewertete Schalldruckpegel  $L_{pA}$  ist der mit der Frequenzbewertung gemäß ÖVE/ÖNORM EN 61672-1 ermittelte Schalldruckpegel.

[QUELLE: ÖNORM S 5004:2008, 3.1]

### 3.2 energieäquivalenter Dauerschallpegel

$L_{eq}$

Einzahlangabe, die zur Beschreibung von Schallereignissen mit schwankendem Schalldruckpegel dient

Anmerkung 1 zum Begriff: Der energieäquivalente Dauerschallpegel wird als jener Schalldruckpegel errechnet, der bei dauernder Einwirkung einem beliebigen Geräusch energieäquivalent ist.

Der energieäquivalente Dauerschallpegel ist definiert durch:

$$L_{eq} = 10 \cdot \lg \frac{1}{t_2 - t_1} \int_{t_1}^{t_2} \frac{p(t)^2}{p_0^2} dt$$

Dabei ist:

$p(t)$  Schalldruck  
 $p_0$  Bezugsschalldruck  
 $t_2 - t_1$  Messzeit, in Sekunden

Anmerkung 2 zum Begriff: Der A-bewertete energieäquivalente Dauerschallpegel  $L_{Aeq}$  ist der mit der Frequenzbewertung A gemäß ÖVE/ÖNORM EN 61672-1 ermittelte energieäquivalente Dauerschallpegel.

[QUELLE: ÖNORM S 5004:2008, 3.2]

### 3.3 Lärmindex

Größe für die Beschreibung des Umgebungslärms, die mit gesundheitsschädlichen Auswirkungen in Verbindung steht

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Lärmindizes  $L_{day}$  (Tag-Lärmindex),  $L_{evening}$  (Abend-Lärmindex),  $L_{night}$  (Nacht-Lärmindex) und  $L_{den}$  (Tag-Abend-Nacht-Lärmindex) sind in Anhang 1 der Richtlinie 2002/49/EG definiert.

Für die Lärmindizes gelten in Österreich folgende Zeiträume ( $T$ ):

Tag: 06:00 Uhr – 19:00 Uhr,

Abend: 19:00 Uhr – 22:00 Uhr und

Nacht: 22:00 Uhr – 06:00 Uhr.

Der Lärmindex  $L_{den}$  für die allgemeine Belästigung ist mit folgender Gleichung definiert:

$$L_{den} = 10 \cdot \lg \frac{1}{24} \left( 13 \cdot 10^{\frac{L_{day}}{10}} + 3 \cdot 10^{\frac{L_{evening} + 5}{10}} + 8 \cdot 10^{\frac{L_{night} + 10}{10}} \right)$$

Anmerkung 2 zum Begriff: In Bezug auf die Lärmindizes beträgt der Beurteilungszeitraum ein Jahr. Ein Jahr bedeutet für diesen Anwendungsfall das für die Lärmemission ausschlaggebende und hinsichtlich der Witterungsbedingungen durchschnittliche Jahr.

### 3.4 Schallemission

der von einer punktförmigen, linienförmigen oder flächenhaften Schallquelle abgestrahlte Schall

### 3.5

#### Schallimmission

Einwirkung von Schall am Immissionsort

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Schallimmission wird durch den maßgebenden A-bewerteten energieäquivalenten Dauerschallpegel als Lärmindex ausgedrückt, der sich aus der Schallemission unter Berücksichtigung der Ausbreitungsbedingungen (Entfernung, Absorption, Abschirmung, Reflexion, Länge des betrachteten Straßenabschnittes u. a.) ergibt.

## 4 SYMBOLE UND ABKÜRZUNGEN

Für diese Richtlinie gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$A$	Oktavband-Dämpfungsmaß	dB
$A_{atm}$	Dämpfung aufgrund von Luftabsorption	dB
$\alpha_{atm}$	Koeffizient der Dämpfung in der Atmosphäre in der nominellen Mittenfrequenz für jedes Frequenzband gemäß ISO 9613-1	dB/km
$\alpha_r$	Absorptionskoeffizient der Oberfläche eines Hindernisses	-
$A_{boundary}$	Dämpfung aufgrund der Wechselwirkung mit dem Boden und den Hindernissen	dB
$A_{dif}$	Dämpfung aufgrund von Beugung	dB
$A_{div}$	geometrische Ausbreitungsdämpfung	dB
$A_F$	Gesamtdämpfung entlang des Ausbreitungsweges bei günstigen Bedingungen	dB
$A_{fol}$	Dämpfung während der Ausbreitung durch Bewuchs	dB
$A_{ground}$	Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts	dB
$A_H$	Gesamtdämpfung entlang des Ausbreitungsweges bei homogenen Bedingungen	dB
$A_i$	A-Bewertungskorrektur gemäß IEC 61672-1	dB
$A_{refl}$	Reflexionsverlust an einem vertikalen Hindernis	dB
$A_{tot}$	Gesamtausbreitungsdämpfung	dB
$C$	Schallausbreitungsgeschwindigkeit in der Luft	m/s
$d$	direkte Schrägentfernung zwischen der Quelle und dem Empfänger	m
$d_p$	Abstand zwischen der Quelle und dem Empfänger in Projektion auf die mittlere Bezugsebene	m
$e$	Gesamtdistanz entlang des Ausbreitungsweges	m
$f_m$	nominelle Mittenfrequenz des betrachteten Frequenzbands	Hz
$G$	Bodenkoeffizient	-
$G_{path}$	Anteil an absorbierendem Boden über den gesamten betrachteten Ausbreitungsweg	-
$h_r$	Höhe des Empfängers über dem Boden	m
$h_s$	Höhe der Quelle über dem Boden	m
$L$	Schallpegel	dB

Symbol	Bezeichnung	Einheit
$L_{Aeq}$	A-bewerteter energieäquivalenter Dauerschallpegel	dB
$L_{Aeq,LT}$	Gesamt-Langzeitmittelungspegel, verursacht durch alle Quellen am Empfängerpunkt (re. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa)	dB
$L_{Aeq,T}$	A-bewertete Langzeit-Dauerschallpegel für eine bestimmte Mittelungsdauer (Tag, Abend oder Nacht)	dB
$L_{den}$	Tag-Abend-Nacht-Lärminde	dB
$L_F$	Schallpegel bei günstigen Bedingungen	dB
$L_H$	Schallpegel bei homogenen Bedingungen	dB
$L_{LT}$	Langzeitmittelungspegel	dB
$L_p$	momentaner Schalldruckpegel (re. $2 \cdot 10^{-5}$ Pa)	dB
$L_{tot,LT}$	Gesamt-Langzeitmittelungspegel	dB
$L_W$	In-Situ-Schalleistungspegel einer Punktquelle (bewegt oder ortsfest) (re. $10^{-12}$ W)	dB
$L_W'$	durchschnittlicher (ungerichteter) In-Situ-Schalleistungspegel je Meter einer Linienquelle (re. $10^{-12}$ W)	dB/m
$L_{W,i,dir}$	gerichteter In-Situ-Schalleistungspegel für das $i$ -te Frequenzband (re. $10^{-12}$ W)	dB
$MN$	Abstand in drei Dimensionen (3D) zwischen den Punkten M und N	m
$\widehat{MN}$	Länge des gebogenen Ausbreitungsweges zwischen den Punkten M und N bei günstigen Bedingungen	m
O	Beugungspunkt	-
$p$	Effektivwert des momentanen Schalldrucks	Pa
$p_0$	Bezugsschalldruck, mit $p_0 = 2 \cdot 10^{-5}$ Pa	Pa
R	Empfängerpunkt (en: receiver point)	-
R'	Spiegelemfänger	-
S	Quellenpunkt (en: source point)	-
S'	Spiegelquelle	-
T	Zeitraum (Tag, Abend oder Nacht)	-
$W_0$	Bezugsschalleistung, mit $W_0 = 10^{-12}$ W	W
$z_r$	äquivalente Empfängerhöhe	m
$z_s$	äquivalente Quellenhöhe	m
$\lambda$	Wellenlänge der nominalen Mittenfrequenz des betrachteten Frequenzbandes	Hz
$\delta$	Weglängendifferenz zwischen dem gebeugten Ausbreitungsweg und dem direkten Ausbreitungsweg	m
$\delta_F$	Weglängendifferenz bei günstigen Bedingungen	m
$\Delta_{retrodif}$	Dämpfung durch Retrobeugung	dB
BA	Gebäudegrundfläche (en: base area)	m <sup>2</sup>

Symbol	Bezeichnung	Einheit
<i>DFS</i>	Wohnfläche (en: dwelling floor space)	m <sup>2</sup>
<i>DUFS</i>	Fläche der Wohneinheit (en: dwelling unit floor space)	m <sup>2</sup>
<i>FSI</i>	Wohnfläche je Bewohner (en: dwelling floor space per inhabitant)	m <sup>2</sup>
<i>H</i>	Gebäudehöhe (en: height)	m
<i>inh</i>	Anzahl der Bewohner (en: number of inhabitants)	1
<i>NF</i>	Geschoßanzahl (en: number of floors)	1
<i>V</i>	Rauminhalt von Gebäuden (en: volume of residential buildings)	m <sup>3</sup>

**Indizes**

<i>f</i>	günstige Bedingungen (en: favourable conditions)
<i>h</i>	homogene Bedingungen (en: homogeneous conditions)
<i>i</i>	Frequenzband
<i>m</i>	Fahrzeugkategorie
<i>n</i>	Index der Ausbreitungswege zwischen der Quelle S und dem Empfänger R
<i>p</i>	Schalldruck
<i>p</i>	Projektion
<i>r</i>	Empfänger
<i>s</i>	Quelle



## 5 GEMEINSAME VERFAHREN ZUR LÄRMBEWERTUNG

### 5.1 Allgemeine Bestimmungen – Straßenverkehrs-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbelärm

#### 5.1.1 Definition der Indizes, Frequenzbereiche und Frequenzbänder

Die Lärmberechnung ist im Frequenzbereich 63 Hz bis 8000 Hz vorzunehmen, und die Ergebnisse für die Frequenzbänder sind im entsprechenden Frequenzintervall vorzulegen.

Die Berechnung des Straßenverkehrs-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbelärms erfolgt in Oktavbändern, ausgenommen jedoch die Schallleistung der Quelle des Schienenverkehrslärms, bei der die Terzbänder genutzt werden. Für den Straßenverkehrs-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbelärm, der auf diesen Oktavbandergebnissen beruht, wird der A-bewertete Langzeit-Dauerschallpegel für die Mittelungsdauer Tag, Abend oder Nacht gemäß Anhang I und Artikel 5 der Richtlinie 2002/49/EG durch Summierung über alle Frequenzen wie folgt berechnet:

$$L_{Aeq,T} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^8 10^{\frac{(L_{eq,T,i} + A_i)}{10}} \quad (1)$$

Dabei ist:

$L_{Aeq,T}$  A-bewerteter Langzeit-Dauerschallpegel für die Zeitdauer Tag, Abend oder Nacht, in dB

$i$  Frequenzbandindex

$T$  Zeitraum (Tag, Abend oder Nacht)

$A_i$  A-Bewertungskorrektur gemäß IEC 61672-1

Die A-Bewertungskorrektur gemäß IEC 61672-1 ist in der Tabelle 1 dargestellt.

**Tabelle 1 – Frequenzbewertung**

Oktavband (in Hz)	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
A-Bewertung (in dB)	-26,2	-16,1	-8,6	-3,2	0	+1,2	+1,0	-1,1

#### 5.1.2 Qualitätsrahmen

##### 5.1.2.1 Genauigkeit der Eingangswerte

Alle Eingangswerte, die den Emissionspegel einer Quelle beeinflussen, sind mit mindestens der Genauigkeit zu bestimmen, die einer Unsicherheit von  $\pm 2$  dB im A-bewerteten Emissionspegel der Quelle entspricht (wobei alle anderen Parameter unverändert bleiben).

##### 5.1.2.2 Verwendung von Standardwerten

Bei der Anwendung des Verfahrens müssen die Eingangswerte der tatsächlichen Verwendung entsprechen. Generell dürfen keine Standardeingangswerte oder -annahmen zugrunde gelegt werden. Standardeingangswerte und -annahmen werden akzeptiert, wenn die Erfassung realer Daten mit unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden ist.

Im Rahmen der strategischen Lärmkartierung ist davon auszugehen, dass die Erfassung der realen Bodeneigenschaften, lokalen Meteorologie, konkreten Gebäudehöhen und Reflexionseigenschaften mit unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden ist.

### 5.1.2.3 Qualität der für die Berechnungen verwendeten Software

Die Konformität der zur Durchführung der Berechnungen verwendeten Software mit den Verfahren gemäß dieser Richtlinie ist dadurch nachzuweisen, dass die Ergebnisse anhand von Testfällen bestätigt werden.

## 5.2 Berechnung der Schallausbreitung von Straßen-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbequellen

### 5.2.1 Anwendungsbereich und Anwendbarkeit des Verfahrens

In dieser Richtlinie wird ein Verfahren zur Berechnung der Dämpfung von Schall während seiner Ausbreitung im Freien beschrieben. Bei Kenntnis der Quelleigenschaften berechnet dieses Verfahren den äquivalenten Dauerschallpegel am Empfängerpunkt für zwei spezielle Klassen atmosphärischer Bedingungen:

- Ausbreitung unter den Bedingungen der Abwärtsbrechung (positiver, vertikaler Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit) von der Quelle zum Empfänger;
- homogene atmosphärische Bedingungen (kein vertikaler Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit) im gesamten Ausbreitungsgebiet.

Das in der vorliegenden Richtlinie beschriebene Berechnungsverfahren gilt für Industrie-/Gewerbeanlagen sowie für Verkehrsmittel auf dem Landweg. Es gilt somit insbesondere für Straßen- und Eisenbahnverkehrsanlagen. Der Flugverkehr fällt nur beim Schall, der infolge von Tätigkeiten am Boden entsteht, in den Anwendungsbereich des Verfahrens. Starts und Landungen von Flugzeugen gehören nicht dazu.

Einrichtungen der industriellen/gewerblichen Infrastruktur, die impulsförmige oder starke tonale Geräusche entsprechend der Beschreibung in ISO 1996-2:2007 emittieren, fallen nicht in den Anwendungsbereich dieses Verfahrens.

Das Berechnungsverfahren liefert keine Ergebnisse für die Bedingungen der Aufwärtsbrechung (negativer, vertikaler Gradient der effektiven Schallgeschwindigkeit). Diese Bedingungen werden bei der Berechnung durch die Annahme von homogenen Bedingungen abgebildet.

Zur Berechnung der Dämpfung aufgrund der Absorption in der Atmosphäre im Falle von Transportinfrastruktur werden die Bedingungen von Lufttemperatur und Luftfeuchtigkeit nach ISO 9613-1:1993 berechnet.

Das Verfahren liefert Ergebnisse je Oktavband von 63 Hz bis 8000 Hz. Diese Berechnungen werden für jede Mittenfrequenz vorgenommen.

Teilabdeckungen und Hindernisse mit einer Neigung (bei der Modellierung) von mehr als 15°, bezogen auf die Vertikale, fallen nicht in den Anwendungsbereich dieses Berechnungsverfahrens.

Eine einzelne Abschirmung wird als einzelne Beugung berechnet. Zwei oder mehr Abschirmungen in einem einzigen Ausbreitungsweg werden unter Anwendung des nachstehend beschriebenen Verfahrens als aufeinanderfolgende Reihe einzelner Beugungen behandelt.

### 5.2.2 Erläuterung zu den verwendeten variablen Größen

Alle in diesem Dokument verwendeten Abstände, Höhen und Dimensionen werden in Meter (m) angegeben.

Die Bezeichnung  $MN$  steht für den Abstand in drei Dimensionen (3D) zwischen den Punkten M und N, der über eine diese Punkte verbindende, gerade Linie gemessen wird.

Die Bezeichnung  $\widehat{MN}$  steht für die Länge des gebogenen Ausbreitungsweges zwischen den Punkten M und N bei günstigen Bedingungen.

Reale Höhen sind üblicherweise vertikal im rechten Winkel zur horizontalen Ebene zu messen. Höhen von Punkten über dem lokalen Boden sind mit  $h$  zu bezeichnen, absolute Höhen von Punkten und absolute Höhen des Bodens sind mit  $H$  zu bezeichnen.

Zur Berücksichtigung des tatsächlichen Reliefs des Geländes entlang eines Ausbreitungsweges wird der Begriff „äquivalente Höhe“ eingeführt, der mit dem Buchstaben  $z$  bezeichnet wird. Die äquivalente Höhe ist eine Annäherung an die realen Höhen über Boden und ersetzt diese in den Gleichungen.

Die mit dem Großbuchstaben  $L$  ohne den Index A bezeichneten Schallpegel werden in Dezibel (dB) je Frequenzband angegeben. A-bewertete Schalldruckpegel werden mit dem Index A bezeichnet.

Die Summe der Schallpegel aufgrund zueinander inkohärenter Quellen wird mit dem Zeichen  $\oplus$  entsprechend der folgenden Gleichung bezeichnet:

$$L_1 \oplus L_2 = 10 \cdot \lg \left[ 10^{\frac{L_1}{10}} + 10^{\frac{L_2}{10}} \right] \quad (2)$$

### 5.2.3 Geometrische Betrachtungen

#### 5.2.3.1 Quellensegmentierung

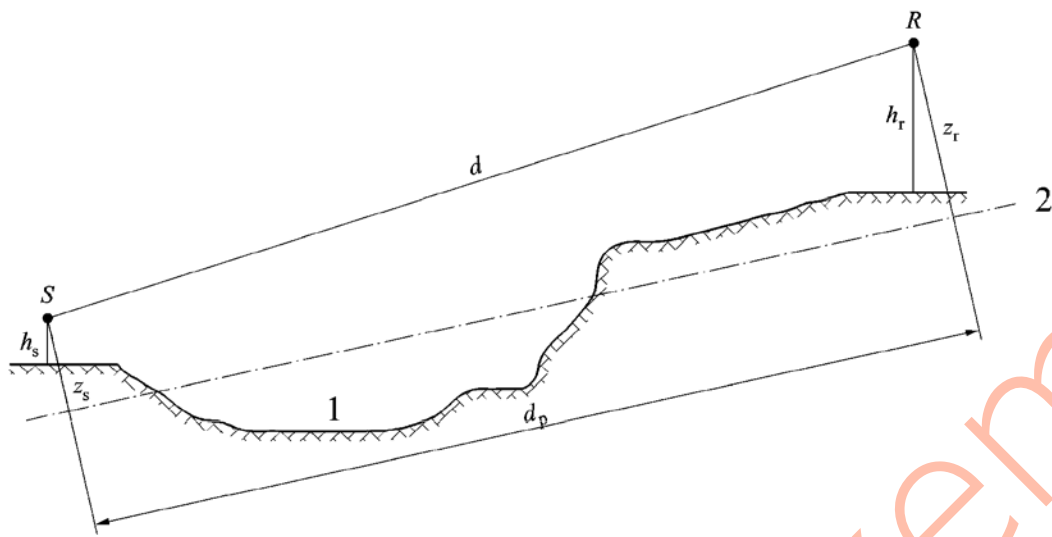
Reale Quellen werden durch eine Reihe von Punktquellen oder – im Falle des Eisenbahn- oder Straßenverkehrs – durch inkohärente Linienquellen beschrieben. Das Ausbreitungsverfahren beruht auf der Annahme, dass Linien- oder Flächenquellen zuvor aufgeteilt werden, damit sie mittels einer Reihe äquivalenter Punktquellen dargestellt werden können. Dies kann als Aufbereitung der Quellendaten oder im Rahmen der Pathfinder-Komponente der Berechnungssoftware erfolgen. Die Mittel, mit denen dies erfolgt, gehören nicht zum Anwendungsbereich der aktuellen Methodik.

#### 5.2.3.2 Ausbreitungswege

Das Verfahren basiert auf einem geometrischen Modell, das aus einer Reihe zusammenhängender Boden- und Hindernisflächen besteht. In Bezug auf die horizontale Ebene wird ein vertikaler Ausbreitungsweg auf einer oder mehreren vertikalen Ebenen aufgetragen. Schließt ein Ausbreitungsweg eine Reflexion an einer vertikalen Fläche ein, die nicht rechtwinklig zur Einfallsebene steht, so verläuft der reflektierte Teil des Ausbreitungsweges in einer weiteren vertikalen Ebene. Werden mehrere vertikale Ebenen verwendet, um den gesamten Ausbreitungsweg von der Quelle bis zum Empfänger zu beschreiben, werden die vertikalen Ebenen sodann aufgefächert (wie beim Auffalten einer Spanischen Wand, siehe Abbildung 1).

#### 5.2.3.3 Maßgebliche Höhen über dem Gelände

Die äquivalenten Höhen werden mit Hilfe der mittleren Bezugsebene zwischen der Quelle und dem Empfänger bestimmt. Diese ersetzt das tatsächliche Gelände durch eine fiktive Ebene, die das mittlere Profil des Geländes abbildet (siehe Abbildung 1).



**Legende:**

- 1 tatsächliches Gelände
- 2 mittlere Ebene
- R Empfänger (en: receiver)
- S Quelle (en: source)
- $d$  direkte Schrägentfernung zwischen der Quelle und dem Empfänger
- $d_p$  Abstand zwischen der Quelle und dem Empfänger in Projektion auf die mittlere Bezugsebene
- $h_r$  Höhe des Empfängers über dem Boden
- $h_s$  Höhe der Quelle über dem Boden
- $z_r$  äquivalente Empfängerhöhe
- $z_s$  äquivalente Quellhöhe

**Abbildung 1 — Äquivalente Höhe eines Punktes in Bezug auf den Boden**

Die äquivalente Höhe eines Punktes ist seine Höhe im rechten Winkel zur mittleren Bezugsebene. Die äquivalente Quellhöhe  $z_s$  und die äquivalente Empfängerhöhe  $z_r$  können somit bestimmt werden. Der Abstand zwischen der Quelle und dem Empfänger in Projektion auf die mittlere Bezugsebene wird mit  $d_p$  bezeichnet.

Weist die äquivalente Höhe eines Punktes einen negativen Wert auf, d. h. befindet sich der Punkt unterhalb der mittleren Bezugsebene, wird die Höhe Null beibehalten; der äquivalente Punkt ist dann mit seinem möglichen Spiegelbild identisch.

**5.2.3.4 Berechnung der mittleren Ebene**

In der Ebene des Ausbreitungsweges kann die Topographie (einschließlich Gelände, Hügel, Dämme und andere von Menschen errichtete Hindernisse, Gebäude usw.) als eine geordnete Menge einzelner Punkte  $(x_k, H_k)$ ;  $k \in \{1, \dots, n\}$  beschrieben werden. Die Punktmenge definiert eine Polylinie oder – äquivalent dazu – eine Abfolge gerader Segmente  $H_k = a_k x + b_k$ ,  $x \in [x_k, x_{k+1}]$ ;  $k \in \{1, \dots, n\}$ , worin Folgendes gilt:

$$\begin{cases} a_k = \frac{H_{k+1} - H_k}{x_{k+1} - x_k} \\ b_k = \frac{H_k \cdot x_{k+1} - H_{k+1} \cdot x_k}{x_{k+1} - x_k} \end{cases} \quad (3)$$

Die mittlere Ebene wird durch die Gerade  $Z = ax + b$ ;  $x \in [x_1, x_n]$  dargestellt, die an die Polylinie mittels Approximation nach der Methode der kleinsten Quadrate angepasst wird. Die Gleichung der Mittellinie kann analytisch abgeleitet werden.

Verwendet wird:

$$\begin{cases} A = \frac{2}{3} \sum_{k=1}^{n-1} a_k (x_{k+1}^3 - x_k^3) + \sum_{k=1}^{n-1} b_k (x_{k+1}^2 - x_k^2) \\ B = \sum_{k=1}^{n-1} a_k (x_{k+1}^2 - x_k^2) + 2 \sum_{k=1}^{n-1} b_k (x_{k+1} - x_k) \end{cases} \quad (4)$$

Die Koeffizienten der Geraden sind wie folgt gegeben:

$$\begin{cases} a = \frac{3(2A - B(x_n - x_1))}{(x_n - x_1)^3} \\ b = \frac{2(x_n^3 - x_1^3)}{(x_n - x_1)^4} \cdot B - \frac{3(x_n + x_1)}{(x_n - x_1)^3} \cdot A \end{cases} \quad (5)$$

wobei Segmente mit  $x_{k+1} = x_k$  nicht zu berücksichtigen sind, wenn die Gleichung (4) zur Anwendung kommt.

### 5.2.3.5 Reflexionen durch Gebäudefassaden und andere vertikale Hindernisse

Reflexionsanteile sind durch die Einführung von Spiegelquellen, wie nachfolgend beschrieben, zu berücksichtigen.

### 5.2.4 Modell der Schallausbreitung

Für einen Empfänger R sind die Berechnungen unter Einhaltung der nachfolgenden Schritte durchzuführen.

a) Zu jedem Ausbreitungsweg:

- Berechnung der Dämpfung bei günstigen Bedingungen;
- Berechnung der Dämpfung bei homogenen Bedingungen;
- Berechnung des Langzeitmittelungspegels für jeden Ausbreitungsweg.

b) Aufsummierung der Langzeitmittelungspegel für alle Ausbreitungswege, die einen bestimmten Empfänger betreffen, wodurch der Gesamtschallpegel am Empfängerpunkt R berechnet werden kann.

Zu beachten ist, dass nur die Dämpfungen aufgrund des Bodeneffekts ( $A_{\text{ground}}$ ) und der Beugung ( $A_{\text{dif}}$ ) von den Witterungsbedingungen beeinflusst werden.

### 5.2.5 Ablauf der Berechnung

Für eine Punktquelle S einer gerichteten Schallleistung  $L_{W,0,\text{dir}}$  und einem gegebenen Frequenzband ist der äquivalente Dauerschalldruckpegel am Empfängerpunkt R unter gegebenen Witterungsbedingungen mit den nachfolgenden Gleichungen zu bestimmen.

#### 5.2.5.1 Schallpegel bei günstigen Bedingungen ( $L_F$ ) für einen Ausbreitungsweg (S,R)

$$L_F = L_{W,0,\text{dir}} - A_F \quad (6)$$

Der Term  $A_F$  repräsentiert die Gesamtdämpfung entlang des Ausbreitungsweges bei günstigen Bedingungen und wird wie folgt aufgeschlüsselt:

$$A_F = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{boundary},F} \quad (7)$$

Dabei ist:

$A_{\text{div}}$	geometrische Ausbreitungsdämpfung
$A_{\text{atm}}$	Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
$A_{\text{boundary},F}$	Dämpfung aufgrund der Wechselwirkung mit dem Boden und Hindernissen bei günstigen Bedingungen

$A_{\text{boundary},F}$  kann folgende Terme beinhalten:

$A_{\text{ground},F}$	Dämpfung aufgrund des Bodens bei günstigen Bedingungen
$A_{\text{dif},F}$	Dämpfung aufgrund von Beugung bei günstigen Bedingungen

Für einen gegebenen Ausbreitungsweg und ein gegebenes Frequenzband sind die folgenden beiden Szenarien möglich:

- Entweder  $A_{\text{ground},F}$  wird ohne Beugung ( $A_{\text{dif},F} = 0$  dB) und mit  $A_{\text{boundary},F} = A_{\text{ground},F}$  berechnet,
- oder es wird  $A_{\text{dif},F}$  berechnet. Der Bodeneffekt wird in der  $A_{\text{dif},F}$ -Gleichung selbst berücksichtigt ( $A_{\text{ground},F} = 0$  dB).
- Somit ergibt sich  $A_{\text{boundary},F} = A_{\text{dif},F}$ .

Außerhalb der Verwendung bei der strategischen Lärmkartierung nach der EU-Richtlinie 2015/996 ist auch ein zusätzlicher Dämpfungsbeitrag für den Bewuchs nach Anhang A zulässig.

### 5.2.5.2 Schallpegel bei homogenen Bedingungen ( $L_H$ ) für einen Ausbreitungsweg ( $S,R$ )

Das Verfahren ist völlig identisch mit dem Fall der günstigen Bedingungen im vorhergehenden Abschnitt.

$$L_H = L_{W,0,\text{dir}} - A_H \quad (8)$$

Der Term  $A_H$  repräsentiert die Gesamtdämpfung entlang des Ausbreitungsweges bei homogenen Bedingungen und wird wie folgt aufgeschlüsselt:

$$A_H = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}} + A_{\text{boundary},H} \quad (9)$$

Dabei ist:

$A_{\text{div}}$	geometrische Ausbreitungsdämpfung
$A_{\text{atm}}$	Dämpfung aufgrund von Luftabsorption
$A_{\text{boundary},H}$	Dämpfung aufgrund der Wechselwirkung mit dem Boden und Hindernissen bei homogenen Bedingungen

$A_{\text{boundary},H}$  kann folgende Terme beinhalten:

$A_{\text{ground},H}$	Dämpfung aufgrund des Bodens bei homogenen Bedingungen
$A_{\text{dif},H}$	Dämpfung aufgrund von Beugung bei homogenen Bedingungen

Für einen gegebenen Ausbreitungsweg und ein gegebenes Frequenzband sind die folgenden beiden Szenarien möglich:

- Entweder  $A_{\text{ground},H}$  ( $A_{\text{dif},H} = 0$  dB) wird ohne Beugung und mit  $A_{\text{boundary},H} = A_{\text{ground},H}$  berechnet,

- oder es wird  $A_{\text{dif,H}}$  ( $A_{\text{ground,H}} = 0 \text{ dB}$ ) berechnet. Der Bodeneffekt wird in der  $A_{\text{dif,H}}$ -Gleichung selbst berücksichtigt.
- Somit ergibt sich  $A_{\text{boundary,H}} = A_{\text{dif,H}}$ .

Außerhalb der Verwendung bei der strategischen Lärmkartierung nach der EU-Richtlinie 2015/996 ist auch ein zusätzlicher Dämpfungsbeitrag für den Bewuchs nach Anhang A zulässig.

### 5.2.5.3 Statistischer Ansatz in städtischen Gebieten für einen Ausbreitungsweg (S,R)

In städtischen Gebieten ist auch ein statistischer Ansatz für die Berechnung der Schallausbreitung hinter die erste Gebäudelinie zulässig, sofern ein solches Verfahren ordnungsgemäß dokumentiert wird, was auch relevante Angaben zur Qualität des Verfahrens einschließt. Dieses Verfahren kann anstelle der Berechnung von  $A_{\text{boundary,H}}$  und  $A_{\text{boundary,F}}$  durch Approximation der Gesamtdämpfung für den direkten Ausbreitungsweg und alle Reflexionen angewendet werden. Die Berechnung beruht dann auf der durchschnittlichen Bebauungsdichte und der durchschnittlichen Höhe aller Gebäude in dem Gebiet.

Außerhalb der strategischen Lärmkartierung darf der statistische Ansatz nur für großflächige generelle Planungen z. B. in Raumordnungsverfahren, wo noch keine genauen Gebäudedaten vorliegen, angewendet werden. Bei der strategischen Lärmkartierung ist im Hinblick auf eine Vergleichbarkeit von strategischen Lärmkarten untereinander auf den statistischen Ansatz zu verzichten.

### 5.2.5.4 Langzeitmittelungspegel ( $L_{LT}$ ) für einen Ausbreitungsweg (S,R)

Der Langzeitmittelungspegel entlang eines Ausbreitungsweges, der von einem bestimmten Punkt ausgeht, ist aus der logarithmischen Summe der Häufigkeit der Schallenergie bei homogenen Bedingungen und der Häufigkeit der Schallenergie bei günstigen Bedingungen zu bilden.

Diese Schallpegel sind durch das mittlere Auftreten  $p$  günstiger Bedingungen in Richtung des Ausbreitungsweges (S,R) wie folgt zu gewichten:

$$L_{LT} = 10 \cdot \lg \left( p \cdot 10^{\frac{L_F}{10}} + (1-p) \cdot 10^{\frac{L_H}{10}} \right) \quad (10)$$

ANMERKUNG Die Häufigkeitswerte für  $p$  werden als Prozentsatz angegeben. Wenn also etwa der Häufigkeitswert 82 % beträgt, müsste in der Gleichung (10)  $p = 0,82$  stehen.

Bei der strategischen Lärmkartierung ist für alle Tageszeitabschnitte mit 100 % günstigen Bedingungen in Richtung des Ausbreitungsweges zu rechnen.

### 5.2.5.5 Gesamt-Langzeitmittelungspegel ( $L_{\text{tot,LT}}$ ) am Punkt R für alle Ausbreitungswege

Der Gesamt-Langzeitmittelungspegel am Empfänger für ein Frequenzband ist durch die energetische Summierung der Beiträge aller  $n$ -Ausbreitungswege für alle Arten wie folgt zu berechnen:

$$L_{\text{tot,LT}} = 10 \cdot \lg \left( \sum_{n=1}^N 10^{\frac{L_{n,LT}}{10}} \right) \quad (11)$$

Dabei ist:

$L_{\text{tot,LT}}$	Gesamt-Langzeitmittelungspegel
$L_{n,LT}$	Langzeitmittelungspegel am Ausbreitungsweg mit dem Index $n$
$n$	Index der Ausbreitungswege zwischen S und R

Die Berücksichtigung von Reflexionen mittels Spiegelquellen wird näher beschrieben. Der Prozentsatz der Häufigkeit günstiger Bedingungen im Falle der Reflexion eines Ausbreitungsweges an einem vertikalen Hindernis ist als identisch mit der Häufigkeit des direkten Ausbreitungsweges anzusetzen. Wenn  $S'$  die Spiegelquelle von  $S$  ist, dann wird das Auftreten  $p'$  des Ausbreitungsweges ( $S',R$ ) als gleich dem Auftreten  $p$  des Ausbreitungsweges ( $S,R$ ) angesetzt.

### 5.2.5.6 A-bewerteter Langzeitmittlungspegel am Punkt R in Dezibel

Der A-bewertete Gesamtschallpegel in Dezibel ist durch die Summierung der Pegel in jedem einzelnen Frequenzband zu bestimmen:

$$L_{Aeq,LT} = 10 \cdot \lg \sum_{i=1}^8 10^{\frac{(L_{tot,LT,i} + A_{i,f})}{10}} \quad (12)$$

wobei  $i$  der Index des Frequenzbands ist.

$A_i$  ist die A-Bewertungskorrektur gemäß IEC 61672-1 gemäß Tabelle 1.

Dieser Pegel  $L_{Aeq,LT}$  stellt das Endresultat dar, d. h. den A-bewerteten Langzeitmittlungspegel am Empfängerpunkt in einem bestimmten Referenzzeitraum (z. B. Tag oder Abend oder Nacht oder eine kürzere Zeit am Tag, am Abend oder in der Nacht).

## 5.2.6 Berechnung der Schallausbreitung bei Straßen-, Eisenbahn- und Industrie-/Gewerbequellen

### 5.2.6.1 Geometrische Ausbreitungsdämpfung

Die geometrische Ausbreitungsdämpfung  $A_{div}$  ist die Verringerung des Schallpegels mit zunehmender Ausbreitungsentfernung. Für eine Punktschallquelle im freien Schallfeld wird die Dämpfung in dB angegeben durch:

$$A_{div} = 20 \cdot \lg(d) + 11 \quad (13)$$

wobei  $d$  hier die direkte Schrägentfernung zwischen der Quelle und dem Empfänger ist.

### 5.2.6.2 Luftabsorption

Die Dämpfung aufgrund von Luftabsorption  $A_{atm}$  während der Ausbreitung über eine direkte Schrägentfernung zwischen der Quelle und dem Empfänger ( $d$ ) wird in dB durch folgende Gleichung angegeben:

$$A_{atm} = \frac{\alpha_{atm} \cdot d}{1000} \quad (14)$$

Dabei ist:

- $d$  direkte Schrägentfernung zwischen der Quelle und dem Empfänger, in m
- $\alpha_{atm}$  Koeffizient der Dämpfung in der Atmosphäre, in dB/km, in der nominellen Mittenfrequenz für jedes Frequenzband gemäß ISO 9613-1

Die Werte des Koeffizienten  $\alpha_{atm}$  sind für eine Lufttemperatur von 15 °C, eine relative Luftfeuchtigkeit von 70 % und einen Luftdruck von 101,325 kPa angegeben. Sie sind mit den genauen Mittenfrequenzen des Frequenzbandes berechnet. Diese Werte erfüllen die Anforderungen der ISO 9613-1. Wenn meteorologische Daten vorliegen, ist der meteorologische Langzeitdurchschnitt zu verwenden.



Basierend auf den österreichischen Wetterstatistiken sind für die strategische Lärmkartierung als Langzeitdurchschnitt eine Lufttemperatur von 10 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 70 % zu verwenden.

### 5.2.6.3 Bodeneffekt

Die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts ist vor allem das Ergebnis der Interferenz zwischen dem reflektierten Schall und dem Schall, der sich direkt von der Quelle zum Empfänger ausbreitet. Sie ist physisch mit der akustischen Absorption des Geländes verbunden, über dem sich der Schall ausbreitet. Sie ist aber auch erheblich von den atmosphärischen Bedingungen während der Ausbreitung abhängig, da sich durch die Schallstrahlkrümmung die Höhe des Ausbreitungsweges über dem Boden ändert und so die Einflüsse des Bodens und des Geländes nahe der Quelle an Bedeutung gewinnen oder verlieren.

Wenn die Ausbreitung zwischen der Quelle und dem Empfänger durch ein Hindernis in der Ausbreitungsebene beeinflusst wird, ist der Bodeneffekt für die Quellen- und die Empfängerseite getrennt zu berechnen. Dabei beziehen sich  $z_s$  und  $z_r$  auf die äquivalente Quellen- und/oder Empfängerposition, wie im Weiteren im Zusammenhang mit der Berechnung der Dämpfung bei Beugung  $A_{dif}$  dargestellt wird.

### 5.2.6.4 Akustische Charakterisierung des Bodens

Die akustischen Absorptionseigenschaften des Bodens stehen vor allem mit seiner Porosität in Verbindung. Ein dichter Boden ist im Allgemeinen reflektierend, ein poröser Boden absorbierend.

Für die Zwecke einer operativen Berechnung wird die akustische Absorption eines Bodens durch einen dimensionslosen Koeffizienten  $G$  zwischen 0 und 1 dargestellt.  $G$  ist unabhängig von der Frequenz. Tabelle 2 enthält die  $G$ -Werte für den Boden im Freien. Der durchschnittliche Wert des Koeffizienten  $G$  über einen Ausbreitungsweg liegt in der Regel im Bereich zwischen 0 und 1.

**Tabelle 2 —  $G$ -Werte für verschiedene Bodenarten**

Beschreibung	Typ	Längenbezogener Strömungswiderstand (kPa · s)/m <sup>2</sup>	$G$ -Wert
Sehr weich (wie Schnee oder Moos)	A	12,5	1
Weicher Waldboden (kurzes, dichtes, heideartiges oder dickes Moos)	B	31,5	1
Looser, nichtverdichteter Boden (Rasen, Gras, loses Erdreich)	C	80	1
Normaler, nichtverdichteter Boden (Waldboden, Weideland, Äcker)	D	200	1
Unbefestigte, verdichtete Fläche und Schotter (verdichteter Rasen, Parkgebiete)	E	500	0,7
Verdichteter, kompakter Boden (Schotterstraße, Parkplatz)	F	2 000	0,3
Harte Oberflächen (zumeist normaler Asphalt, Beton)	G	20 000	0
Sehr harte und kompakte Oberflächen (Asphalt mit geschlossenem Gefüge, glatter Beton, Wasser)	H	200 000	0

Bei der strategischen Lärmkartierung ist es zulässig, außerhalb von befestigten Verkehrsflächen sowie aufgrund der Ausdehnung schalltechnisch relevanter Gewässer einen generalisierten Wert von  $G = 0,8$  zu verwenden.

$G_{\text{path}}$  wird definiert als der Anteil an absorbierendem Boden über den gesamten betrachteten Ausbreitungsweg.

Wenn die Quelle und der Empfänger nahe beieinanderliegen, sodass die Relation  $d_p \leq 30 (z_s + z_r)$  gegeben ist, ist der Unterschied zwischen der Bodenart nahe der Quelle und der Bodenart nahe dem Empfänger unerheblich. Um dem Rechnung zu tragen, wird der Bodenfaktor  $G_{\text{path}}$  letztlich wie folgt korrigiert:

$$G'_{\text{path}} = \begin{cases} G_{\text{path}} \frac{d_p}{30 (z_s + z_r)} + G_s \left( 1 - \frac{d_p}{30 (z_s + z_r)} \right) & \text{wenn } d_p \leq 30 (z_s + z_r) \\ \text{andernfalls } G_{\text{path}} \end{cases} \quad (15)$$

wobei  $G_s$  der Bodenfaktor im Bereich der Quelle ist.

Es gilt  $G_s = 0$  für Straßenfahrbahnen und für Feste Fahrbahnen.

ANMERKUNG Die Absorption poröser Straßenbeläge wird im Emissionsmodell berücksichtigt.

Für Bahngleise auf Schotterbettung gilt  $G_s = 1$ . Im Falle von industriellen/gewerblichen Quellen und Anlagen gibt es keine pauschale Festlegung.

$G$  kann mit dem Strömungswiderstand in Verbindung gebracht werden.

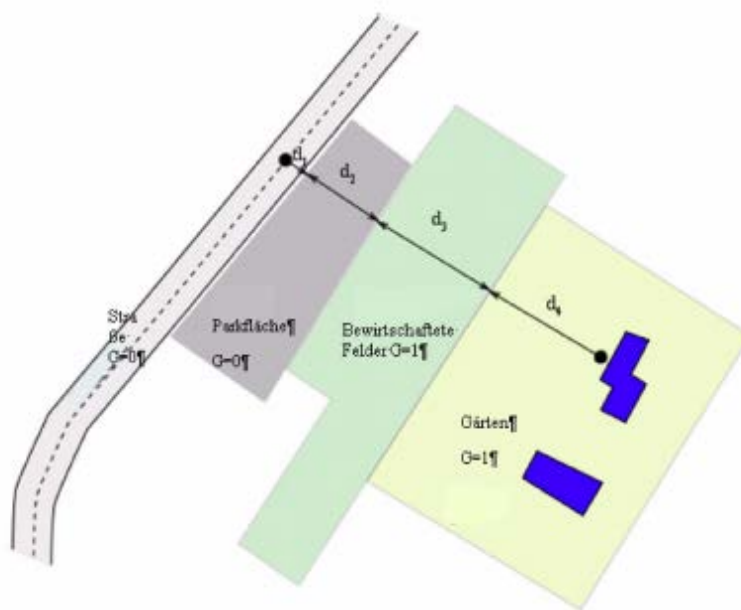


Abbildung 2 — Bestimmung des Bodenkoeffizienten  $G_{\text{path}}$  über einen Ausbreitungsweg

$G_{\text{path}}$  kann nach Abbildung 2 wie folgt ermittelt werden:

$$G_{\text{path}} = \frac{(0 \cdot d_1 + 0 \cdot d_2 + 1 \cdot d_3 + 1 \cdot d_4)}{d_p} = \frac{(d_3 + d_4)}{d_p} \quad (16)$$

$$d_p = d_1 + d_2 + d_3 + d_4$$

Für die Berechnung bei homogenen bzw. günstigen Bedingungen gemäß 5.2.6.5 und 5.2.6.6 werden die generischen Bezeichnungen  $\bar{G}_w$  und  $\bar{G}_m$  für die Absorption des Bodens zur Anwendung eingeführt. Tabelle 3 zeigt die Entsprechung zwischen diesen Bezeichnungen und den Variablen  $G_{\text{path}}$  und  $G'_{\text{path}}$ .

**Tabelle 3 — Übereinstimmungen zwischen  $\bar{G}_w$  und  $\bar{G}_m$  sowie  $G_{\text{path}}$  und  $G'_{\text{path}}$**

	Homogene Bedingungen			Günstige Bedingungen		
	$A_{\text{ground}}$	$\Delta_{\text{ground}(S,0)}$	$\Delta_{\text{ground}(0,R)}$	$A_{\text{ground}}$	$\Delta_{\text{ground}(S,0)}$	$\Delta_{\text{ground}(0,R)}$
$\bar{G}_w$	$G'_{\text{path}}$			$G_{\text{path}}$		
$\bar{G}_m$	$G'_{\text{path}}$		$G_{\text{path}}$	$G'_{\text{path}}$		$G_{\text{path}}$

### 5.2.6.5 Berechnungen für homogene Bedingungen

Die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts bei homogenen Bedingungen ist nach den folgenden Gleichungen zu berechnen:

Wenn  $G_{\text{path}} \neq 0$ :

$$A_{\text{ground,H}} = \max \left( -10 \cdot \lg \left[ 4 \frac{k^2}{d_p^2} \left( z_s^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} z_s + \frac{C_f}{k} \right) \left( z_r^2 - \sqrt{\frac{2C_f}{k}} z_r + \frac{C_f}{k} \right) \right], A_{\text{ground,H,min}} \right) \quad (17)$$

Hierbei gilt:

$$k = \frac{2\pi \cdot f_m}{c}$$

$f_m$  ist die nominelle Mittenfrequenz des betrachteten Frequenzbands in Hz,  $c$  ist die Schallausbreitungsgeschwindigkeit in der Luft (als 340 m/s angenommen), und  $C_f$  wird definiert durch folgende Gleichung:

$$C_f = d_p \frac{1 + 3w \cdot d_p \cdot e^{-\sqrt{w \cdot d_p}}}{1 + w \cdot d_p} \quad (18)$$

wobei die Werte von  $w$  durch die nachstehende Gleichung gegeben sind:

$$w = 0,0185 \frac{f_m^{2,5} \cdot \bar{G}_w^{2,6}}{f_m^{1,5} \cdot \bar{G}_w^{2,6} + 1,3 \cdot 10^3 \cdot f_m^{0,75} \cdot \bar{G}_w^{1,3} + 1,16 \cdot 10^6} \quad (19)$$

$\bar{G}_w$  kann gleich  $G_{\text{path}}$  oder  $G'_{\text{path}}$  sein, je nachdem, ob der Bodeneffekt mit oder ohne Beugung berechnet wird und von welcher Art der Boden unter der Quelle ist (reale Quelle oder gebeugt). Dies wird in den folgenden Unterabschnitten näher erläutert und in der Tabelle 3 zusammengefasst.

$$A_{\text{ground,H,min}} = -3(1 - \bar{G}_m) \quad (20)$$

$A_{\text{ground,H,min}}$  ist der untere Grenzwert von  $A_{\text{ground,H}}$ .

Für einen Ausbreitungsweg ( $S_i, R$ ) bei homogenen Bedingungen ohne Beugung gilt:

$$\bar{G}_w = G'_{\text{path}}$$

$$\bar{G}_m = G'_{\text{path}}$$

Der Ausbreitungsweg mit Beugung wird in 5.2.7 erläutert. Dort werden die Definitionen von  $\bar{G}_w$  und  $\bar{G}_m$  angewendet.

Wenn  $G_{\text{path}} = 0$  gilt:  $A_{\text{ground,H}} = -3$  dB

Der Term  $-3(1 - \bar{G}_m)$  trägt dem Umstand Rechnung, dass die Quelle und der Empfänger weit auseinanderliegen. In diesem Fall erfolgt die erste quellenseitige Reflexion nicht mehr auf der quellnahen Oberfläche, sondern im mittleren Bereich des Ausbreitungsweges.

### 5.2.6.6 Berechnung für günstige Bedingungen

Der Bodeneffekt bei günstigen Bedingungen ist mit der Gleichung für  $A_{\text{ground,H}}$  zu berechnen, allerdings mit folgenden Änderungen:

Wenn  $G_{\text{path}} \neq 0$

a) In der Gleichung für  $A_{\text{ground,H}}$  sind die Höhen  $z_s$  und  $z_r$  durch  $z_s + \delta z_s + \delta z_T$  bzw.  $z_r + \delta z_r + \delta z_T$  zu ersetzen, wobei

$$\begin{cases} \delta z_s = a_0 \left( \frac{z_s}{z_s + z_r} \right)^2 \frac{d_p^2}{2} \\ \delta z_r = a_0 \left( \frac{z_r}{z_s + z_r} \right)^2 \frac{d_p^2}{2} \end{cases} \quad (21)$$

$a_0 = 2 \times 10^{-4} \text{ m}^{-1}$  die Umkehrung des Bogenhalbmessers ist.

$$\delta z_T = 6 \cdot 10^{-3} \frac{d_p}{z_s + z_r}$$

b) Der untere Grenzwert von  $A_{\text{ground,F}}$  ist abhängig von der Geometrie des Ausbreitungsweges:

$$A_{\text{ground,F,min}} = \begin{cases} -3(1 - \bar{G}_m) & \text{wenn } d_p \leq 30(z_s + z_r) \text{ andernfalls} \\ -3(1 - \bar{G}_m) \cdot \left( 1 + 2 \left( 1 - \frac{30(z_s + z_r)}{d_p} \right) \right) & \end{cases} \quad (22)$$

Wenn  $G_{\text{path}} = 0$ :

$$A_{\text{ground,F}} = A_{\text{ground,F,min}}$$

Die Höhenkorrekturen  $\delta z_s$  und  $\delta z_r$  berücksichtigen die Wirkung der Schallstrahlkrümmung.  $\delta z_T$  trägt der Wirkung der Turbulenz Rechnung.

$\bar{G}_m$  kann also gleich  $G_{\text{path}}$  oder  $G'_{\text{path}}$  sein, je nachdem, ob der Bodeneffekt mit oder ohne Beugung berechnet wird und von welcher Art der Boden unter der Quelle ist (reale Quelle oder gebeugt). Dies wird in den folgenden Unterabschnitten näher erläutert.

Für einen Ausbreitungsweg ( $S,R$ ) bei günstigen Bedingungen ohne Beugung gilt:

$$\bar{G}_w = G_{\text{path}} \text{ in Gleichung (19);}$$

$$\bar{G}_m = G'_{\text{path}}$$

Zum Ausbreitungsweg mit Beugung siehe 5.2.7 mit den Definitionen von  $\bar{G}_w$  und  $\bar{G}_m$ .

### 5.2.7 Beugung

Generell ist die Beugung an der Oberkante von jedem Hindernis zu untersuchen, das sich im Ausbreitungsweg befindet. Verläuft der Ausbreitungsweg „hoch genug“ über der Beugungskante, so kann  $A_{\text{dif}} = 0$  gesetzt und eine direkte Sicht berechnet werden, konkret durch die Bestimmung von  $A_{\text{ground}}$ .

In der Praxis wird für die Mittenfrequenz jedes Frequenzbands die Weglängendifferenz  $\delta$  mit der Größe  $\lambda/20$  verglichen. Erzeugt ein Hindernis keine Beugung ( $\delta < \lambda/20$ ), was beispielsweise gemäß dem Rayleigh-Kriterium festgestellt werden kann, so besteht keine Notwendigkeit zur Berechnung von  $A_{\text{dif}}$  für das betrachtete Frequenzband. Anders gesagt, in diesem Fall gilt  $A_{\text{dif}} = 0$ . Andernfalls ist  $A_{\text{dif}}$  wie im restlichen Teil dieses Abschnitts beschrieben zu berechnen. Diese Regel gilt sowohl für homogene als auch für günstige Bedingungen und sowohl für Einzel- als auch für Mehrfachbeugungen.

Wenn für ein bestimmtes Frequenzband eine Berechnung nach dem in diesem Abschnitt beschriebenen Verfahren vorgenommen wird, ist im Falle der Berechnung der Gesamtdämpfung  $A_{\text{ground}}$  mit 0 dB anzugeben. Der Bodeneffekt ist direkt in der allgemeinen Gleichung zur Beugungsberechnung berücksichtigt.

Die hier vorgeschlagenen Gleichungen sind zu verwenden, um die Beugung an dünnen und dicken Schallschirmen, an Gebäuden, (natürlichen und künstlichen) Wällen und durch die Kanten von Böschungen, Geländeeinschnitten und Viadukten zu berechnen.

Werden in einem Ausbreitungsweg mehrere Beugungshindernisse festgestellt, sind sie als Mehrfachbeugung zu behandeln, indem das im folgenden Abschnitt zur Berechnung der Weglängendifferenz beschriebene Verfahren angewendet wird.

Die hier dargelegten Verfahren sind zu verwenden, um die Dämpfungen sowohl bei homogenen als auch bei günstigen Bedingungen zu berechnen. Die Schallstrahlkrümmung wird bei der Berechnung der Weglängendifferenz sowie zur Berechnung der Bodeneffekte vor und nach der Beugung berücksichtigt.

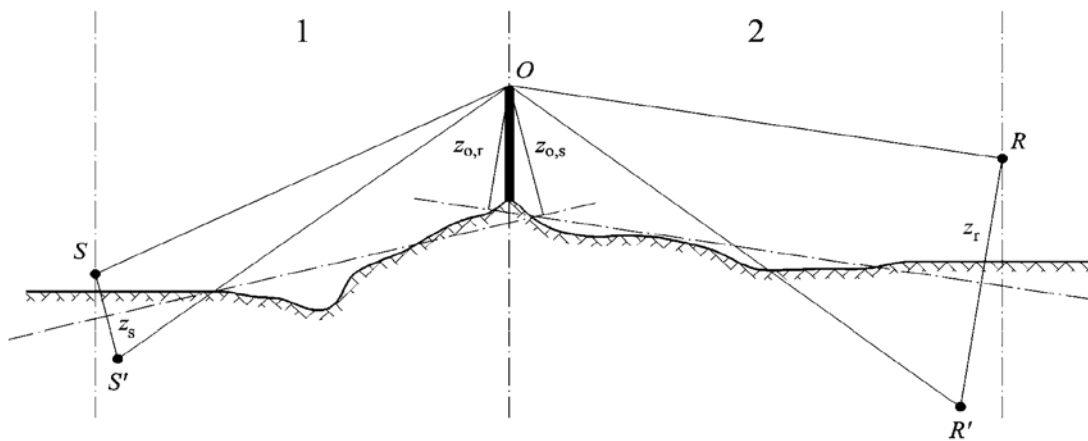
#### 5.2.7.1 Allgemeine Grundsätze

Abbildung 3 veranschaulicht das allgemeine Verfahren der Berechnung der Dämpfung aufgrund von Beugung. Dieses Verfahren basiert auf der Untergliederung des Ausbreitungsweges in zwei Teile:

- der quellenseitige Ausbreitungsweg zwischen der Quelle (S) und dem Beugungspunkt (O),
- der empfängerseitige Ausbreitungsweg zwischen dem Beugungspunkt (O) und dem Empfänger (R).

Folgendes wird berechnet:

- a) ein Bodeneffekt, quellenseitig,  $\Delta_{\text{ground}(S,O)}$ ,
- b) ein Bodeneffekt, empfängerseitig,  $\Delta_{\text{ground}(O,R)}$ ,
- c) und drei Beugungen:
  - zwischen der Quelle S und dem Empfänger R:  $\Delta_{\text{dif}(S,R)}$ ,
  - zwischen der Spiegelquelle S' und dem Empfänger R:  $\Delta_{\text{dif}(S',R)}$ ,
  - zwischen der Quelle S und dem Spiegelem Empfänger R':  $\Delta_{\text{dif}(S,R')}$ .



**Legende:**

- 1 Quellenseite
- 2 Empfängerseite
- S Quelle
- R Empfänger
- S' Spiegelquelle, bezogen auf die quellseitige mittlere Bezugsebene
- R' Spiegelempänger, bezogen auf die empfängerseitige mittlere Bezugsebene
- O Beugungspunkt
- $z_s$  äquivalente Höhe der Quelle S, bezogen auf die quellseitige mittlere Bezugsebene
- $z_{o,s}$  äquivalente Höhe des Beugungspunkts O, bezogen auf die quellseitige mittlere Bezugsebene
- $z_r$  äquivalente Höhe des Empfängers R, bezogen auf die empfängerseitige mittlere Bezugsebene
- $z_{o,r}$  äquivalente Höhe des Beugungspunkts O, bezogen auf die empfängerseitige mittlere Bezugsebene

**Abbildung 3 — Geometrie einer Berechnung der Dämpfung aufgrund von Beugung**

Die Unregelmäßigkeit des Bodens zwischen der Quelle und dem Beugungspunkt sowie zwischen dem Beugungspunkt und dem Empfänger wird mittels äquivalenter Höhen berücksichtigt, die in Bezug auf die mittlere Bezugsebene, zuerst quellseitig und dann empfängerseitig (zwei mittlere Bezugsebenen), anhand des in 5.2.3.3 zu maßgeblichen Höhen über dem Boden beschriebenen Verfahrens berechnet werden.

**5.2.7.2 Reine Beugung**

Für die reine Beugung ohne Bodeneffekte wird die Dämpfung angegeben durch:

$$\Delta_{\text{dif}} = \begin{cases} 10 \cdot C_h \cdot \lg \left( 3 + \frac{40}{\lambda} C'' \delta \right) & \text{wenn } \frac{40}{\lambda} C'' \delta \geq -2 \\ \text{andernfalls } 0 \end{cases} \quad (23)$$

Hierbei gilt:  $C_h = 1$

Dabei ist:

- $\lambda$  Wellenlänge der nominalen Mittenfrequenz des betrachteten Frequenzbandes
- $\delta$  Weglängendifferenz zwischen dem gebeugten Ausbreitungsweg und dem direkten Ausbreitungsweg (siehe 5.2.7.3 „Berechnung der Weglängendifferenz“)
- $C''$  Koeffizient, der zur Berücksichtigung von Mehrfachbeugungen eingesetzt wird,  $C'' = 1$  für eine Einzelbeugung

Im Falle der Mehrfachbeugung, wenn  $e$  die Gesamtdistanz entlang des Ausbreitungsweges ist ( $O_1$  bis  $O_2$  +  $O_2$  bis  $O_3$  +  $O_3$  bis  $O_4$  aus der „Gummibandmethode“ (siehe Abbildung 4 und Abbildung 6)) und wenn  $e$  länger als 0,3 m ist (andernfalls gilt:  $C'' = 1$ ), wird dieser Koeffizient definiert durch:

$$C'' = \frac{1 + \left(\frac{5\lambda}{e}\right)^2}{\frac{1}{3} + \left(\frac{5\lambda}{e}\right)^2} \quad (24)$$

Die Werte von  $\Delta_{\text{dif}}$  sind wie folgt zu begrenzen:

- Wenn  $\Delta_{\text{dif}} < 0$  gilt:  $\Delta_{\text{dif}} = 0$  dB
- Wenn  $\Delta_{\text{dif}} > 25$  gilt:  $\Delta_{\text{dif}} = 25$  dB für eine Beugung an einer horizontalen Kante und nur beim Term  $\Delta_{\text{dif}}$ , der in der Berechnung von  $A_{\text{dif}}$  eine Rolle spielt. Diese Obergrenze gilt nicht bei den  $\Delta_{\text{dif}}$ -Termen, die in die Berechnung von  $\Delta_{\text{ground}}$  eingreifen, oder für eine Beugung an einer vertikalen Kante (seitliche Beugung) im Falle der Erstellung von Lärmkarten für den Industrie-/Gewerbelärm.

Bei der strategischen Lärmkartierung ist bei Linienquellen eine Berechnung der seitlichen Beugung nicht erforderlich.

### 5.2.7.3 Berechnung der Weglängendifferenz

Die Weglängendifferenz  $\delta$  wird auf einer vertikalen Ebene berechnet, die die Quelle und den Empfänger umfasst. Dies ist eine Approximation im Verhältnis zum Fermat'schen Prinzip. Die Annäherung bleibt hier gültig (Linienquellen). Die Weglängendifferenz  $\delta$  wird wie in den nachstehenden Abbildungen, ausgehend von den vorgefundenen Situationen, berechnet.

### 5.2.7.4 Homogene Bedingungen

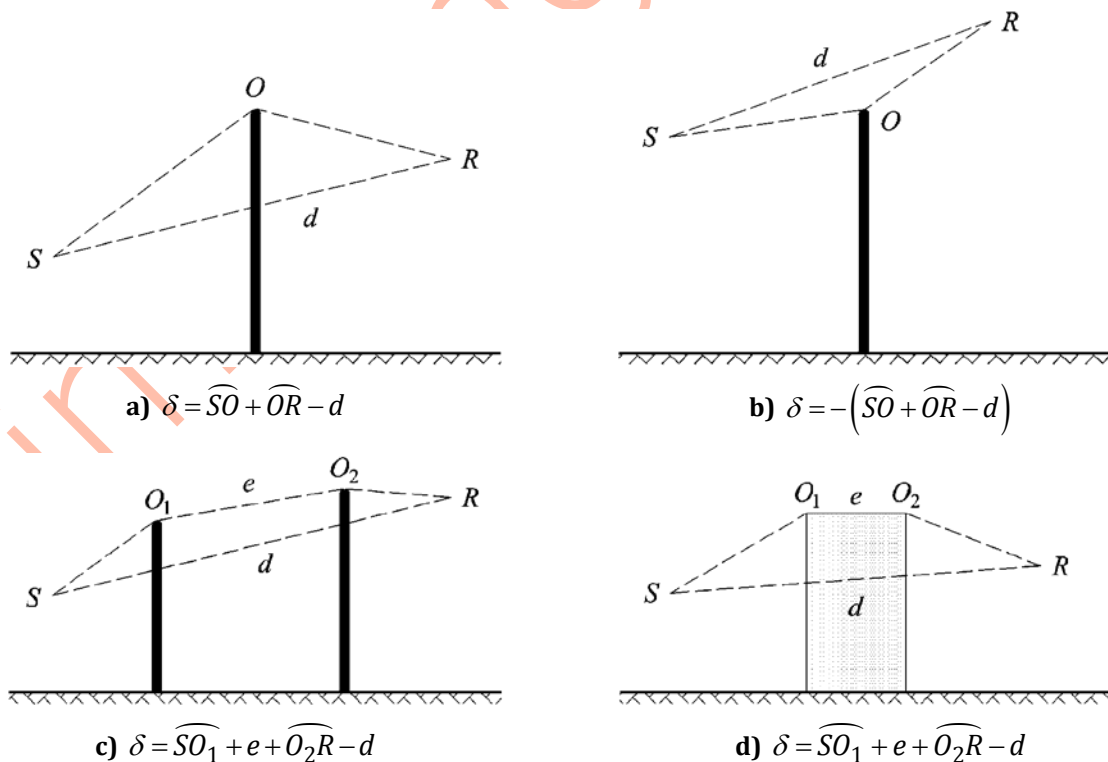
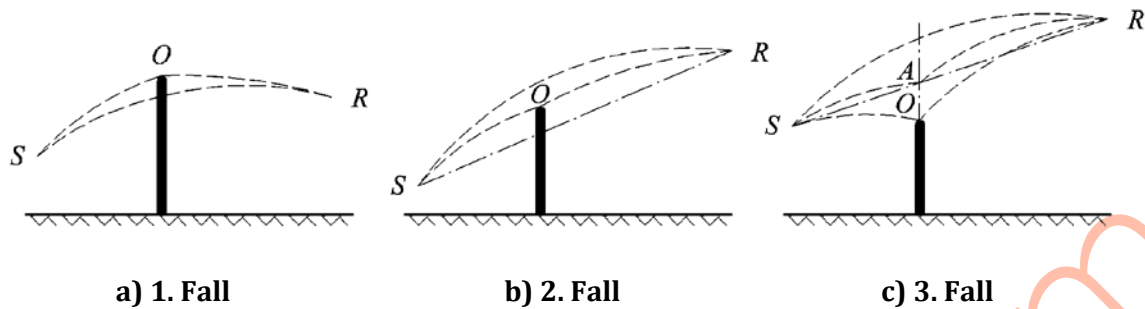


Abbildung 4 — Berechnung der Weglängendifferenz unter homogenen Bedingungen, wobei  $O$ ,  $O_1$  und  $O_2$  die Beugungspunkte sind

Hinweis: Für jede Konfiguration wird das Symbol  $\delta$  für die Weglängendifferenz angegeben.

### 5.2.7.5 Günstige Bedingungen



**Abbildung 5 — Berechnung der Weglängendifferenz bei günstigen Bedingungen (Einzelbeugung)**

Bei günstigen Bedingungen wird davon ausgegangen, dass die drei gebogenen Schallstrahlen  $\widehat{SO}$ ,  $\widehat{OR}$  und  $\widehat{SR}$  einen identischen Bogenhalbmesser  $\Gamma$  haben, der definiert wird durch:

$$\Gamma = \max(1000, 8d) \quad (25)$$

Die Länge eines Schallstrahlbogens  $MN$  wird bei günstigen Bedingungen mit  $\widehat{MN}$  bezeichnet. Diese Länge ist gleich:

$$\widehat{MN} = 2\Gamma \arcsin\left(\frac{MN}{2\Gamma}\right), \quad (26)$$

Im Prinzip sollten bei der Berechnung der Weglängendifferenz bei günstigen Bedingungen  $\delta_F$  (siehe Abbildung 5) drei Szenarien betrachtet werden. In der Praxis sind zwei Gleichungen ausreichend:

- Wenn der direkte Schallstrahl  $SR$  durch das Hindernis verdeckt wird (siehe Abbildung 5, 1. Fall und 2. Fall), ist folgende Gleichung anzuwenden:

$$\delta_F = \widehat{SO} + \widehat{OR} - \widehat{SR} \quad (27)$$

- Wenn der direkte Schallstrahl  $SR$  nicht durch das Hindernis verdeckt wird (siehe Abbildung 5, 3. Fall), ist folgende Gleichung anzuwenden:

$$\delta_F = 2\widehat{SA} + 2\widehat{AR} - \widehat{SO} - \widehat{OR} - \widehat{SR} \quad (28)$$

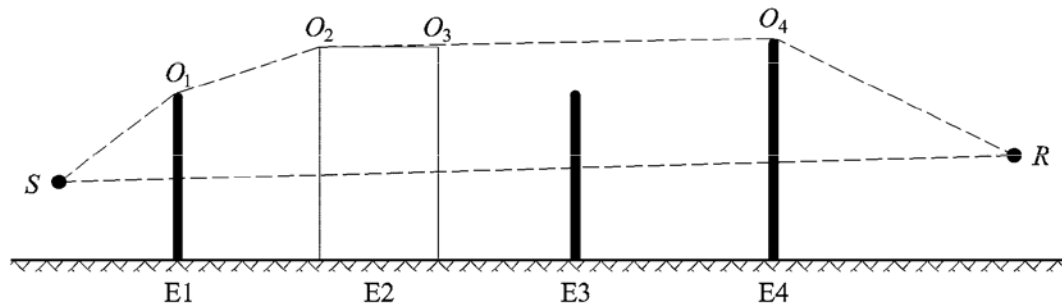
wobei A der Schnittpunkt des direkten Schallstrahls  $SR$  und der Verlängerung des Beugungshindernisses ist.

Für die Mehrfachbeugungen bei günstigen Bedingungen gilt Folgendes:

- Es ist die konvexe Hülle, die durch die verschiedenen potenziellen Beugungskanten definiert wird, zu bestimmen.
- Es sind die Beugungskanten, die nicht an der Grenze der konvexen Hülle liegen, auszuschließen.
- Ausgehend von den einzelnen Längen des gebogenen Schallstrahls ist  $\delta_F$  durch die Aufgliederung des gebeugten Ausbreitungsweges in so viele Bogensegmente wie nötig zu gliedern (siehe Abbildung 6).



$$\delta_F = \widehat{SO}_1 + \sum_{i=1}^{i=n-1} \widehat{O_i O_{i+1} O_i} + \widehat{O_n R} - \widehat{SR} \quad (29)$$



**Legende:**

- E Element im Ausbreitungsweg
- O Beugungspunkt
- R Empfänger
- S Quelle

**Abbildung 6 — Beispiel für eine Berechnung der Weglängendifferenz bei günstigen Bedingungen im Falle von Mehrfachbeugungen**

Gemäß dem in Abbildung 6 dargestellten Szenario ist die Weglängendifferenz wie folgt zu berechnen:

$$\delta_F = \widehat{SO}_1 + \widehat{O_1 O_2} + \widehat{O_3 O_4} + \widehat{O_4 R} - \widehat{SR} \quad (30)$$

**5.2.7.6 Berechnung der Dämpfung ( $A_{dif}$ )**

Die Dämpfung aufgrund von Beugung unter Berücksichtigung der quellen- und empfängerseitigen Bodeneffekte ist nach den folgenden allgemeinen Gleichungen zu berechnen.

$$A_{dif} = \Delta_{dif(S,R)} + \Delta_{ground(S,O)} + \Delta_{ground(O_n,R)} \quad (31)$$

Dabei ist:

- $\Delta_{dif(S,R)}$  Dämpfung aufgrund der Beugung zwischen der Quelle S und dem Empfänger R
- $\Delta_{ground(S,O)}$  Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts auf der Quellenseite, bewertet mittels der Beugung auf der Quellenseite; wobei als vereinbart gilt, dass  $O = O_1$  im Falle von Mehrfachbeugungen wie in Abbildung 6
- $\Delta_{ground(O_n,R)}$  Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts auf der Empfängerseite, gewichtet nach der Beugung auf der Empfängerseite (siehe 5.2.7.8)

**5.2.7.7 Berechnung des Terms  $\Delta_{ground(S,O)}$**

$$\Delta_{ground(S,O)} = -20 \cdot \lg \left( 1 + \left( 10^{\frac{-A_{ground(S,O)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{-(\Delta_{dif(S',R)} - \Delta_{dif(S,R)})}{20}} \right) \quad (32)$$

Hierbei gilt:

- $A_{\text{ground}(S,0)}$  ist die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts zwischen der Quelle S und dem Beugungspunkt O. Dieser Term ist, wie in 5.2.6.5 und 5.2.6.6 angegeben, zu berechnen, und zwar ausgehend von folgenden Hypothesen:

$$Z_r = Z_{0,s}$$

- $G_{\text{path}}$  wird zwischen S und O berechnet
- Bei homogenen Bedingungen gilt:  $\bar{G}_w = G'_{\text{path}}$  in Gleichung (19),  $\bar{G}_w = G'_{\text{path}}$  in Gleichung (20).
- Bei günstigen Bedingungen gilt:  $\bar{G}_w = G_{\text{path}}$  in Gleichung (19),  $\bar{G}_w = G'_{\text{path}}$  in Gleichung (22).
- $\Delta_{\text{dif}(S',R)}$  ist die Dämpfung, die sich aufgrund der Beugung zwischen der Spiegelquelle S' und dem Empfänger R ergibt. Die Berechnung erfolgt nach 5.2.7.2 („Reine Beugung“).
- $\Delta_{\text{dif}(S,R)}$  ist die Dämpfung, die sich aufgrund der Beugung zwischen S und R ergibt. Die Berechnung erfolgt nach 5.2.7.2 („Reine Beugung“).

### 5.2.7.8 Berechnung des Terms $\Delta_{\text{ground}(0,R)}$

$$\Delta_{\text{ground}(0,R)} = -20 \cdot \lg \left( 1 + \left( 10^{\frac{-A_{\text{ground}(0,R)}}{20}} - 1 \right) \cdot 10^{\frac{-(\Delta_{\text{dif}(S',R)} - \Delta_{\text{dif}(S,R)})}{20}} \right) \quad (33)$$

Hierbei gilt:

- $A_{\text{ground}(0,R)}$  ist die Dämpfung aufgrund des Bodeneffekts zwischen dem Beugungspunkt O und dem Empfänger R. Dieser Term ist, wie in 5.2.6.5 und 5.2.6.6 angegeben, zu berechnen, und zwar ausgehend von folgenden Hypothesen:

$$Z_s = Z_{0,r}$$

- $G_{\text{path}}$  wird zwischen O und R berechnet.  
Die Korrektur  $G'_{\text{path}}$  braucht hier nicht berücksichtigt zu werden, da die betrachtete Quelle der Beugungspunkt ist. Deshalb ist vielmehr  $G_{\text{path}}$  bei der Berechnung der Bodeneffekte zu verwenden, einschließlich für den unteren Grenzterm der Gleichung, der  $-3(1 - G_{\text{path}})$  wird.
- Bei homogenen Bedingungen  $\bar{G}_m = G_{\text{path}}$  in Gleichung (19) und  $\bar{G}_m = G_{\text{path}}$  in Gleichung (20).
- Bei günstigen Bedingungen  $\bar{G}_m = G_{\text{path}}$  in Gleichung (19) und  $\bar{G}_m = G_{\text{path}}$  in Gleichung (22).
- $\Delta_{\text{dif}(S,R')}$  ist die Dämpfung, die sich aufgrund der Beugung zwischen S und dem Spiegelem Empfänger R' ergibt. Die Berechnung erfolgt nach 5.2.7.2 („Reine Beugung“).
- $\Delta_{\text{dif}(S,R)}$  ist die Dämpfung, die sich aufgrund der Beugung zwischen S und R ergibt. Die Berechnung erfolgt nach 5.2.7.2 („Reine Beugung“).

### 5.2.7.9 Szenarien mit vertikalen Kanten

Die Gleichung (23) kann verwendet werden, um die Beugungen an vertikalen Kanten (seitliche Beugungen) bei Industrie-/Gewerbelärm zu berechnen. In diesem Falle wird  $A_{\text{dif}} = \Delta_{\text{dif}(S,R)}$  angenommen und der Term  $A_{\text{ground}}$  beibehalten. Zusätzlich sind  $A_{\text{atm}}$  und  $A_{\text{ground}}$  aus der Gesamtlänge des Ausbreitungsweges zu berechnen.  $A_{\text{div}}$  wird nach wie vor aus der direkten Distanz  $d$  berechnet. Gleichung (7) und Gleichung (9) werden zu:

$$A_H = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}}^{\text{path}} + A_{\text{ground,H}}^{\text{path}} + \Delta_{\text{dif,H(S,R)}} \quad (34)$$

$$A_F = A_{\text{div}} + A_{\text{atm}}^{\text{path}} + A_{\text{ground,F}}^{\text{path}} + \Delta_{\text{dif,H(S,R)}} \quad (35)$$

$\Delta_{\text{dif,H}}$  wird bei homogenen Bedingungen in Gleichung (35) verwendet.

### 5.2.7.10 Reflexionen an vertikalen Hindernissen

#### 5.2.7.10.1 Dämpfung durch Absorption

Die Reflexionen an vertikalen Hindernissen werden über Spiegelquellen erfasst (siehe Abbildung 7). Somit werden Reflexionen an Gebäudefassaden und Lärmschutzwänden auf diese Weise erfasst.

Ein Hindernis gilt als vertikal, wenn seine Neigung bezogen auf die Lotrechte weniger als  $15^\circ$  beträgt.

Handelt es sich um Reflexionen an Objekten, deren Neigung bezogen auf die Lotrechte mindestens  $15^\circ$  beträgt, ist das Objekt nicht zu betrachten.

Die Hindernisse, bei denen mindestens eine Abmessung unter 0,5 m liegt, sind – ausgenommen bei speziellen Konfigurationen – bei der Berechnung von Reflexionen nicht zu berücksichtigen.

**BEISPIEL** Ein Beispiel für eine spezielle Konfiguration ist ein Netz kleiner Hindernisse, die in einer Ebene und in regelmäßigen Abständen angeordnet sind.

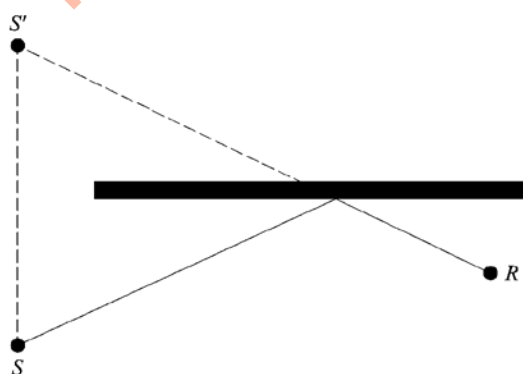
Es ist zu beachten, dass Reflexionen am Boden hier nicht behandelt werden. Sie werden bei den Berechnungen der Dämpfung aufgrund der Begrenzung (Boden, Beugung) berücksichtigt.

Wenn  $L_{WS}$  der Leistungspegel der Quelle S und  $\alpha_r$  der Absorptionskoeffizient der Oberfläche des Hindernisses gemäß Definition in EN 1793-1:2012 ist, dann ist der Leistungspegel der Spiegelquelle S' wie folgt zu berechnen:

$$L_{WS'} = L_{WS} + 10 \cdot \lg(1 - \alpha_r) = L_{WS} + A_{\text{refl}} \quad (36)$$

wobei  $0 \leq \alpha_r < 1$  ist.

Die oben beschriebenen Dämpfungen der Ausbreitung sind dann – wie beim direkten Ausbreitungsweg – auf diesen Ausbreitungsweg (Spiegelquelle, Empfänger) anzuwenden.



**Legende:**

- S Quelle
- S' Spiegelquelle
- R Empfänger

**Abbildung 7 — Mit dem Spiegelquellverfahren erfasste spiegelnde Reflexion an einem Hindernis**

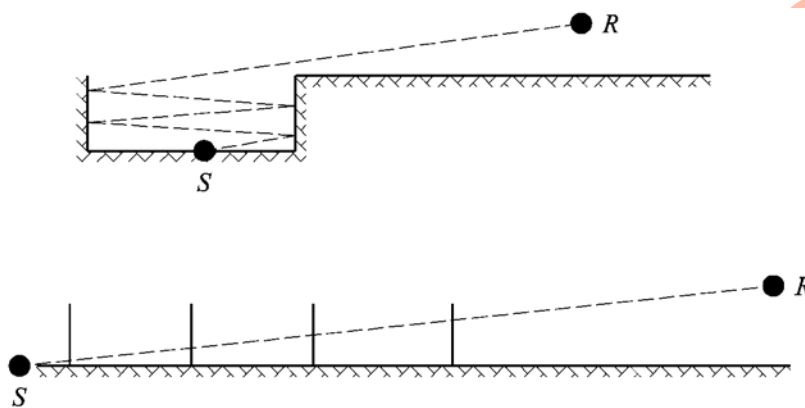
Im Anwendungsbereich der strategischen Lärmkartierung ist exakt mit der Reflexion 1. Ordnung zu rechnen.

### 5.2.7.10.2 Dämpfung durch Retrobeugung

Bei der geometrischen Untersuchung von Schallausbreitungswegen während der Reflexion an einem vertikalen Hindernis (Schallschutzwand, Gebäude) bestimmt die Position des Auftreffens des Strahls in Bezug auf die Oberkante dieses Hindernisses über den mehr oder weniger erheblichen Anteil an Energie, der tatsächlich reflektiert wird. Dieser Verlust an akustischer Energie bei der Reflexion des Strahls wird als Dämpfung durch Retrobeugung bezeichnet.

Im Falle potenzieller Mehrfachreflexionen zwischen zwei vertikalen Wänden ist zumindest die erste Reflexion zu betrachten.

Im Falle eines Einschnitts (siehe Abbildung 8) ist die Dämpfung durch Retrobeugung auf jede Reflexion an den Stützwänden anzuwenden.



**Abbildung 8 — Vierfachreflexion eines Schallstrahls einer Quelle in einem Einschnitt: tatsächlicher Querschnitt (oben), aufgefalteter Querschnitt (unten)**

In dieser Darstellung (siehe Abbildung 8) erreicht der Schallstrahl den Empfänger, indem er die Stützwände des Einschnitts „nacheinander durchdringt“, die daher mit Öffnungen verglichen werden können.

Bei der Berechnung der Ausbreitung durch eine Öffnung ist das Schallfeld beim Empfänger die Summe des Direktfeldes und des durch die Kanten der Öffnung gebeugten Feldes. Das gebeugte Feld sichert den stetigen Übergang zwischen dem freien Bereich und dem Schattenbereich. Erreicht der Strahl die Kante der Öffnung, ist das Direktfeld gedämpft. Die Berechnung entspricht der Berechnung der Dämpfung durch ein Hindernis im freien Bereich.

Die mit jeder Retrobeugung verbundene Weglängendifferenz  $\delta'$  ist das Gegenstück zur Weglängendifferenz zwischen S und R jeweils an der Oberkante O, und dies in einer Ansicht mit einem entfalteten Querschnitt (siehe Abbildung 9).

$$\delta' = -(\widehat{SO} + \widehat{OR} - \widehat{SR}) \quad (37)$$

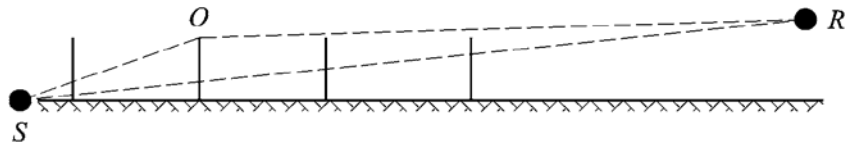


Abbildung 9 — Weglängendifferenz für die zweite Reflexion

Das Minus-Zeichen in der Gleichung (37) bedeutet, dass der Empfänger hier im freien Bereich betrachtet wird.

Eine Dämpfung durch Retrobeugung  $\Delta_{\text{retrodif}}$  ist anhand der Gleichung (38) zu ermitteln, die der Gleichung (23) ähnlich ist, jedoch mit angepassten Bezeichnungen.

$$\Delta_{\text{retrodif}} = \begin{cases} 10 \cdot C_h \cdot \lg \left( 3 + \frac{40}{\lambda} \delta' \geq -2 \right) & \text{wenn } \frac{40}{\lambda} \delta' \geq -2 \\ \text{andernfalls } 0 & \end{cases} \quad (38)$$

Diese Dämpfung betrifft den Direktstrahl jedes Mal, wenn er eine Wand oder ein Gebäude „durchdringt“ (reflektiert wird). Der Leistungspegel der Spiegelquelle  $S'$  wird so zu:

$$L_{W'} = L_W + 10 \cdot \lg(1 - a_r) - \Delta_{\text{retrodif}} \quad (39)$$

Bei komplexen Ausbreitungskonfigurationen können Beugungen zwischen Reflexionen oder zwischen dem Empfänger und den Reflexionen bestehen. In diesem Fall wird die Retrobeugung an den Wänden unter Berücksichtigung des Ausbreitungsweges zwischen der Quelle und dem ersten Beugungspunkt  $R'$  (daher in der Gleichung (37) als der Empfänger betrachtet) geschätzt. Dieses Prinzip wird in der Abbildung 10 veranschaulicht.

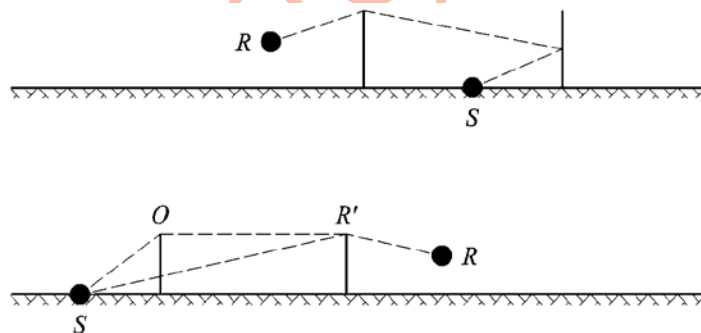


Abbildung 10 — Weglängendifferenz bei einer Beugung: tatsächlicher Querschnitt (oben), aufgefalteter Querschnitt (unten)

Im Falle von Mehrfachreflexionen werden die auf Einzelreflexionen zurückgehenden Reflexionen addiert.

### 5.3 Zuweisung von Lärmpegeln und von Bewohnern zu Gebäuden

Für die Bewertung der Lärmexposition der Bevölkerung sind nur Wohngebäude zu betrachten. Anderen nicht zu Wohnzwecken genutzten Gebäuden, wie Schulen, Krankenhäuser, Bürogebäude oder Fabriken, sind keine Personen zuzuweisen. Der Zuweisung von Bewohnern zu den Wohngebäuden sind die neuesten amtlichen Daten (entsprechend den einschlägigen Regelungen Österreichs) zugrunde zu legen.

#### 5.3.1 Bestimmung der Anzahl der Bewohner eines Gebäudes

Die Anzahl der Bewohner eines Wohngebäudes ist ein wichtiger Zwischenparameter für die Abschätzung der Lärmexposition. Leider stehen Daten zu diesem Parameter nicht immer zur

Verfügung. Im Folgenden ist angegeben, wie sich dieser Parameter aus leichter erhältlichen Daten ableiten lässt.

Zur Berechnung der Anzahl der Bewohner ist je nach Verfügbarkeit der Daten entweder das Verfahren „Fall 1“ oder das Verfahren „Fall 2“ heranzuziehen.

### 5.3.2 Fall 1: Daten zur Anzahl der Bewohner sind verfügbar

**Fall 1A:** Die Anzahl der Bewohner ist bekannt oder wurde ausgehend von den Wohneinheiten geschätzt. In diesem Fall entspricht die Anzahl der Bewohner eines Gebäudes der Summe der Anzahl der Bewohner aller Wohneinheiten im Gebäude:

$$Inh_{\text{building}} = \sum_{i=1}^n Inh_{\text{dwelling,unit},i} \quad (40)$$

**Fall 1B:** Die Anzahl der Bewohner ist nur für Gesamteinheiten bekannt, die größer sind als ein Gebäude, z. B. Blockränder, Häuserblocks, Ortsteile oder sogar eine ganze Gemeinde. In diesem Fall ist die Anzahl der Bewohner eines Gebäudes ausgehend vom Rauminhalt des Gebäudes zu schätzen:

$$Inh_{\text{building}} = \frac{V_{\text{building}}}{V_{\text{total}}} \times Inh_{\text{total}} \quad (41)$$

Der Index „total“ bezieht sich hier auf die jeweils betrachtete Gesamteinheit. Der Rauminhalt des Gebäudes ist das Produkt aus seiner Grundfläche und seiner Höhe:

$$V_{\text{building}} = BA_{\text{building}} \times H_{\text{building}} \quad (42)$$

Ist die Gebäudehöhe nicht bekannt, ist sie auf Grundlage der Geschoßanzahl  $NF_{\text{building}}$  unter Annahme einer durchschnittlichen Geschoßhöhe von 3 m wie folgt zu schätzen:

$$H_{\text{building}} = NF_{\text{building}} \times 3 \quad (43)$$

Ist die Geschoßanzahl ebenfalls nicht bekannt, ist ein für das Quartier oder den Stadtteil repräsentativer Standardwert für die Geschoßanzahl zu verwenden.

Der Gesamtrauminhalt  $V_{\text{total}}$  von Wohngebäuden in der betrachteten Gesamteinheit ist als Summe der Rauminhalte aller Wohngebäude in der Gesamteinheit wie folgt zu schätzen:

$$V_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n V_{\text{building}} \quad (44)$$

### 5.3.3 Fall 2: Daten zur Anzahl der Bewohner nicht verfügbar

In diesem Fall wird die Anzahl der Bewohner auf der Grundlage der durchschnittlichen Wohnfläche je Bewohner  $FSI$  geschätzt. Ist dieser Parameter nicht bekannt, ist ein nationaler Standardwert zu verwenden.

**Fall 2A:** Die Wohnfläche ist auf Basis der Wohneinheiten bekannt. In diesem Fall ist die Anzahl der Bewohner jeder Wohneinheit wie folgt zu schätzen:

$$inh_{\text{dwelling}} = \frac{DUFS_i}{FSI} \quad (45)$$

Nun kann die Anzahl der Bewohner des Gebäudes wie in Fall 1A geschätzt werden.

**Fall 2B:** Die Wohnfläche ist für das gesamte Gebäude bekannt, d. h. die Summe der Wohnflächen aller Wohneinheiten im Gebäude ist bekannt. In diesem Fall ist die Anzahl der Bewohner wie folgt zu schätzen:

$$Inh_{\text{building}} = \frac{DFS_{\text{building}}}{FSI} \quad (46)$$

**Fall 2C:** Die Wohnfläche ist nur für Gesamteinheiten bekannt, die größer sind als ein Gebäude, z. B. Blockränder, Häuserblocks, Ortsteile oder sogar eine ganze Gemeinde.

In diesem Fall ist die Anzahl der Bewohner eines Gebäudes ausgehend vom Rauminhalt des Gebäudes wie im Fall 1B zu schätzen; die Gesamtanzahl der Bewohner ist wie folgt zu schätzen:

$$Inh_{\text{total}} = \frac{DFS_{\text{total}}}{FSI} \quad (47)$$

**Fall 2D:** Die Wohnfläche ist unbekannt. In diesem Fall ist die Anzahl der Bewohner eines Gebäudes wie im Fall 2B zu schätzen; die Wohnfläche ist wie folgt zu schätzen:

$$DFS_{\text{building}} = BA_{\text{building}} \times 0,8 \times NF_{\text{building}} \quad (48)$$

Der Faktor 0,8 ist der Umrechnungsfaktor Bruttogeschosfläche zu Wohnfläche. Wenn ein anderer Faktor als repräsentativ für die Gegend bekannt ist, muss dieser verwendet werden. Dies ist eindeutig zu dokumentieren.

Ist die Geschosanzahl des Gebäudes nicht bekannt, ist sie anhand der Gebäudehöhe  $H_{\text{building}}$  zu schätzen, was typischerweise keine ganze Geschosanzahl zum Ergebnis hat:

$$NF_{\text{building}} = \frac{H_{\text{building}}}{3} \quad (49)$$

Sind weder die Gebäudehöhe noch die Anzahl der Geschosse bekannt, ist ein für den Orts- oder Stadtteil repräsentativer Standardwert für die Geschosanzahl zu verwenden.

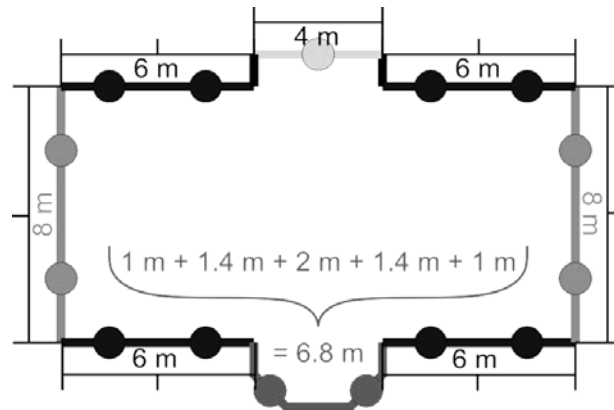
#### 5.3.4 Zuweisung von Empfangspunkten zu Gebäudefassaden

Die Ermittlung der Lärmexposition der Bevölkerung beruht auf einer Empfangspunkthöhe von 4 m über der Geländehöhe vor Fassaden eines Wohngebäudes.

Zur Berechnung der Anzahl der Bewohner ist entweder das Verfahren Fall 1 oder das Verfahren Fall 2 für bodenseitige Lärmquellen zu verwenden.

##### 5.3.4.1 Fall 1

In der Abbildung 11 wird ein Beispiel für die Zuweisung von Empfangspunkten um ein Gebäude für den Fall 1 dargestellt.

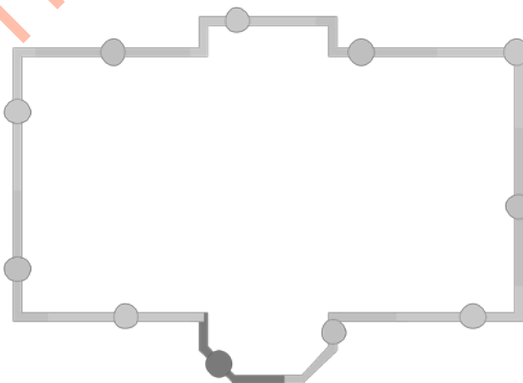


**Abbildung 11 — Beispiel für die Lage von Empfangspunkten um ein Gebäude nach dem Verfahren Fall 1**

- a) Segmente mit einer Länge von mehr als 5 m sind in regelmäßige Abschnitte der größtmöglichen Länge, aber mindestens 5 m, zu unterteilen. Die Empfangspunkte sind in die Mitte jedes regelmäßigen Abschnitts zu setzen.
- b) Die verbleibenden Segmente mit einer Länge von mehr als 2,5 m sind durch einen Empfangspunkt in der Mitte jedes Segments vertreten.
- c) Die verbleibenden benachbarten Segmente mit einer Gesamtlänge von mehr als 5 m sind analog zu a) und b) als Polylinienobjekte zu behandeln.
- d) Die einem Empfangspunkt zugewiesene Anzahl der Bewohner ist mit der Länge der repräsentierten Fassade zu gewichten, sodass die Summe aller Empfangspunkte die Gesamtanzahl der Bewohner repräsentiert.
- e) Nur bei Gebäuden mit Geschoßflächen, die auf eine einzige Wohneinheit je Geschoß hindeuten, ist der Lärmpegel der am stärksten exponierten Fassade direkt für die Statistik zu verwenden und zur Anzahl der Bewohner in Beziehung zu setzen.

#### 5.3.4.2 Fall 2

In der Abbildung 12 wird ein Beispiel für die Zuweisung von Empfangspunkten um ein Gebäude für den Fall 2 dargestellt.



**Abbildung 12 — Beispiel für die Lage von Empfangspunkten um ein Gebäude nach dem Verfahren Fall 2**



- a) Die Fassaden sind einzeln oder in Abständen von jeweils 5 m vom Startpunkt aus zu betrachten, wobei ein Empfangsort in der Mitte des Fassadenteils oder des 5-m-Segments zu setzen ist.
- b) Der verbleibende Abschnitt muss seinen Empfangspunkt in der Mitte haben.
- c) Die einem Empfangspunkt zugewiesene Anzahl der Bewohner ist mit der Länge der repräsentierten Fassade zu gewichten, sodass die Summe aller Empfangspunkte die Gesamtanzahl der Bewohner repräsentiert.
- d) Nur bei Gebäuden mit Geschoßflächen, die auf eine einzige Wohneinheit je Geschoß hindeuten, ist der Lärmpegel der am stärksten exponierten Fassade direkt für die Statistik zu verwenden und zur Anzahl der Bewohner in Beziehung zu setzen.

## 6 SONDERFESTLEGUNGEN FÜR DIE STRATEGISCHE LÄRMKARTIERUNG

Im Folgenden sind die Sonderfestlegungen, welche in den entsprechenden Abschnitten der vorliegenden Richtlinie im Anwendungsbereich der strategischen Lärmkartierung festgeschrieben sind, zusammenfassend wiedergegeben.

- Im Rahmen der strategischen Lärmkartierung ist davon auszugehen, dass die Erfassung der realen Bodeneigenschaften, lokalen Meteorologie, konkreten Gebäudehöhen und Reflexionseigenschaften mit unverhältnismäßig hohen Kosten verbunden ist.
- Bei der strategischen Lärmkartierung ist im Hinblick auf eine Vergleichbarkeit von strategischen Lärmkarten untereinander auf den statistischen Ansatz zu verzichten.
- Bei der strategischen Lärmkartierung ist für alle Tageszeitabschnitte mit 100 % günstigen Bedingungen in Richtung des Ausbreitungsweges zu rechnen. Basierend auf den österreichischen Wetterstatistiken ist für die strategische Lärmkartierung als Langzeitdurchschnitt eine Lufttemperatur von 10 °C und eine relative Luftfeuchtigkeit von 70 % zu verwenden.
- Bei der strategischen Lärmkartierung ist es zulässig, außerhalb befestigter Verkehrsflächen sowie aufgrund ihrer Ausdehnung schalltechnisch relevanter Gewässer einen generalisierten Wert von  $G = 0,8$  zu verwenden.
- Bei der strategischen Lärmkartierung ist bei Linienquellen eine Berechnung der seitlichen Beugung nicht erforderlich.
- Im Anwendungsbereich der strategischen Lärmkartierung ist exakt mit der Reflexion 1. Ordnung zu rechnen.

## ANHANG A: DÄMPFUNG INFOLGE VON BEWUCHS ( $A_{fol}$ )

In Österreich war es nach den vorangehenden Regelwerken hinsichtlich der Schallausbreitung zulässig, auch den Bewuchs unter bestimmten Bedingungen zu berücksichtigen. Im Anwendungsbereich der Umgebungslärmrichtlinie ist im gemeinsamen Berechnungsverfahren hinsichtlich der strategischen Lärmkartierung die Berücksichtigung des Bewuchses nicht vorgesehen. Damit außerhalb der strategischen Lärmkartierung dieser Dämpfungseffekt auch quantitativ beschrieben werden kann, wird im vorliegenden Anhang das Verfahren der ISO 9613-2 zur möglichen Verwendung abgebildet.

Der Dämpfungsterm für Bewuchs ( $A_{fol}$ ) wird als zusätzlicher Dämpfungsterm frequenzabhängig in den Gleichungen (7) und (9) wie folgt addiert:

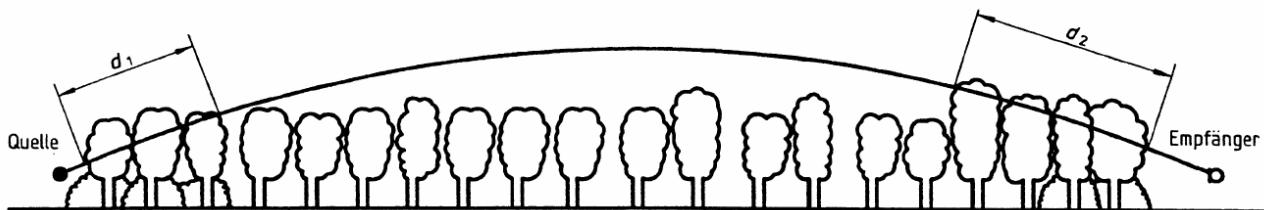
$$A_F = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,F} + A_{fol} \quad (0.1)$$

$$A_H = A_{div} + A_{atm} + A_{boundary,H} + A_{fol} \quad (0.2)$$

Für die Berechnung dieser zusätzlichen Beiträge zur Dämpfung kann der gekrümmte Mitwind-Ausbreitungsweg näherungsweise durch einen Kreisbogen mit einem Radius von 5 km dargestellt werden (siehe Abbildung A.1).

Der Bewuchs mit Bäumen und Sträuchern liefert einen kleinen Dämpfungsbetrag, allerdings nur, wenn er so dicht ist, dass die Sicht entlang des Ausbreitungsweges vollständig blockiert ist. Das heißt, wenn es unmöglich ist, über eine kurze Strecke durch den Bewuchs hindurchzusehen. Die Dämpfung kann durch Vegetation nahe der Quelle bzw. nahe dem Empfänger erfolgen, wie in Abbildung A.1 dargestellt. Alternativ kann angenommen werden, dass der Weg für die Abstände  $d_1$  und  $d_2$  entlang von Linien im Ausbreitungswinkel von  $15^\circ$  zum Boden verläuft.

Die erste Zeile in Tabelle A.1 gibt das Dämpfungsmaß  $A_{fol}$  an, das bei dichtem Bewuchs zu erwarten ist, wenn die gesamte Weglänge durch den Bewuchs zwischen 10 m und 20 m liegt, bzw. die zweite Zeile, wenn sie zwischen 20 m und 200 m liegt. Bei Weglängen über 200 m durch dichten Bewuchs sollte das Dämpfungsmaß für 200 m verwendet werden.



### Legende:

- $d_1$  Schallweglänge durch den Bewuchs im Quellbereich
- $d_2$  Schallweglänge durch den Bewuchs im Empfängerbereich
- $d_f$  Die für die Bewuchsdämpfung maßgebende Weglänge

ANMERKUNG:  $d_f = d_1 + d_2$

Für die Berechnung von  $d_1$  und  $d_2$  kann der Radius des gekrümmten Weges mit 5 km angenommen werden.

**Abbildung A.1 — Dämpfung aufgrund von Schallausbreitung durch Bewuchs**  
[QUELLE: ÖNORM ISO 9613-2:2008]

Die Dämpfung aufgrund von Schallausbreitung durch Bewuchs wächst proportional zur durch den Bewuchs verlaufenden Weglänge  $d_f$ .

**Tabelle A.1 — Dämpfung eines Oktavbandgeräusches aufgrund von Schallausbreitung über eine durch dichten Bewuchs verlaufende Weglänge**

Weglänge $d_f$ m	Oktavband-Mittenfrequenz Hz							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$10 \leq d_f \leq 20$	Dämpfung $A_{fol}$ , in dB							
	0	0	1	1	1	1	2	3
$20 \leq d_f \leq 200$	Dämpfung, in dB/m							
	0,02	0,03	0,04	0,05	0,06	0,08	0,09	0,12

## BIBLIOGRAPHIE

- [1] ÖNORM EN ISO 12354-4, Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften – Teil 4: Schallübertragung von Räumen ins Freie (ISO 12354-4)
- [2] ISO 1996-2, Acoustics – Description, measurement and assessment of environmental noise – Part 2: Determination of sound pressure levels
- [3] RVS 04.02.11, Berechnung von Schallemissionen und Lärmschutz (Richtlinie der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene –Verkehr)
- [4] RVE 04.01.02, Berechnung von Schienenverkehrslärmemissionen (Richtlinie der Österreichischen Forschungsgesellschaft Straße – Schiene –Verkehr)<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> In Bearbeitung.