

Bundesanstalt für Gewässerkunde

ABSAW

Anleitung zur Berechnung der Luftschallausbreitung an Bundeswasserstraßen

Auftraggeber: *Wasserstraßen – Neubauamt Berlin*
Auftrag vom: *12. Juni 1996*
BfG-JAP-Nr.: *2251*
Seitenzahl: *53*
Zahl der Anlagen: *0*

Berlin, Januar 2000

Stand: 6/2003

BfG-1250

Vervielfältigungen oder Veröffentlichungen der Anleitung – auch auszugsweise – bedürfen der schriftlichen Genehmigung der Bundesanstalt für Gewässerkunde.

Inhalt

1.	Zielsetzung und Anwendungsbereich	1
2.	Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Symbole	1
3.	Berechnung des Beurteilungspegels	6
3.1	Beurteilungspegel von mehreren Quellen	7
3.2	Vorbelastung, Zusatzbelastung, Gesamtbelastung	7
3.3	Mittelungspegel einer Fahrrinne	7
3.3.1	Verfahren für "lange, gerade" Fahrrinnen	8
3.3.1.1	Längenbezogener Schalleistungspegel der Wasserstraße	9
3.3.1.1.1	Längenbezogener Schalleistungspegel einer Gruppe von Schiffen	9
3.3.1.1.2	Korrektur für unterschiedliche Geschwindigkeiten	10
3.3.1.1.3	Korrektur für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße	10
3.3.1.1.4	Korrektur für Zustand des Maschinenraumes	11
3.3.1.2	Pegeländerung durch Abstand, Luftabsorption und Ausbreitung über Wasser	11
3.3.1.3	Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung	11
3.3.1.4	Pegeländerung durch topografische und bauliche Gegebenheiten	12
3.3.1.5	Mehrfachreflexion	13
3.3.1.6	Abschirmung	13
3.3.1.7	Berücksichtigung von Einfachreflexionen	15
3.3.2	Teilstück-Verfahren	17
3.3.2.1	Mittelungspegel eines Teilstücks	17
3.3.2.2	Pegeländerung durch Abstand, Luftabsorption und Ausbreitung über Wasser	17
3.3.2.3	Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung	18
3.3.2.4	Pegeländerung durch topografische und bauliche Gegebenheiten	18
3.3.2.5	Abschirmung	18
3.4	Liege-/Wartestellen	19
3.4.1	Mittelungspegel, Liegestelle Teilstück	20
3.4.1.1	Längenbezogener Schalleistungspegel einer Liegestelle	20
3.4.1.1.1	Längenbezogener Schalleistungspegel eines Liegeplatzes	21
3.4.1.2	Längenbezogener Schalleistungspegel An-/Abfahrtsweg	21
3.4.2	Mittelungspegel, Liegestelle „langer gerader“ Bereich	22

3.5	Schleusen	22
3.6	Wendestellen / Koppelstellen	24
3.7	Häfen	25
3.8	Zusammenwirken von Wasserstraßen und Liege-/ Wartestellen oder Wendeplätzen oder Häfen	25
4.	Möglichkeiten zur Minderung von Lärmeinwirkungen	26
5.	Berechnungsbeispiele	29
5.1	Berechnungsbeispiel für Kanäle	29
5.2	Berechnungsbeispiel für Flüsse	30
	Literaturverzeichnis	31
	Diagramme	33

Verzeichnis der Tabellen

Tabelle 1:	Erläuterung der Abkürzungen und Symbole
Tabelle 2:	D_w - Korrektur für Wasserstraßentyp
Tabelle 3:	Schalleistungspegel
Tabelle 4:	Korrektur zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektieren den Flächen (nur bei Spiegelschallquellen)
Tabelle 5:	Schalleistungspegel von Schleusentoren

Verzeichnis der Abbildungen

Abbildung 1	„lange, gerade“ Fahrrinne
Abbildung 2	Berechnung mittlere Höhe h_m
Abbildung 3a	Mittlere Höhe h_m bei ebenen Gelände
Abbildung 3b	Mittlere Höhe h_m bei Tallagen und ebenen Gelände
Abbildung 4:	Pegelerhöhung durch Mehrfachreflexion
Abbildung 5	Schirmwert z_{\perp} bei einer Beugekante
Abbildung 6	Schirmwert z_{\perp} bei mehreren Beugekanten
Abbildung 7	Spiegelung von Schallquellen
Abbildung 8	Beispiele für die Konstruktion von Spiegelschallquellen
Abbildung 9	Aufbau Liegestelle
Abbildung 10	Struktureller Aufbau einer Schleuse

Verzeichnis der Diagramme

Diagramm I	Abstandskorrektur "lange gerade" Fahrrinne in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort
Diagramm II	Korrektur für Luftabsorption über Land "lange gerade" Fahrrinne; $H = 0...30m$
Diagramm III	Korrektur Ausbreitung über Wasser "lange gerade" Fahrrinne in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort
Diagramm IV	Korrekturfaktor für Boden- und Meteorologiedämpfung über Land "lange gerade" Fahrrinne in Abhängigkeit von der mittleren Höhe
Diagramm V	Pegelminderung durch Abschirmung bei einer langen, parallelen Wand; Verfahren "lange gerade Fahrrinne"
Diagramm VI	Abstandskorrektur Teilstückverfahren in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort
Diagramm VII	Korrektur für Luftabsorption über Land Teilstückverfahren; $H = 0...30m$
Diagramm VIII	Korrektur Ausbreitung über Wasser Teilstückverfahren in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort
Diagramm IX	Korrekturfaktor für Boden- und Meteorologiedämpfung über Land Teilstückverfahren in Abhängigkeit von der mittleren Höhe
Diagramm X	Pegelminderung durch Abschirmung bei einer langen, parallelen Wand; Teilstückverfahren
Diagramm XI	Korrektur für unterschiedliche Schiffsgeschwindigkeiten; Bezugsgeschwindigkeit = 12 km/h
Diagramm XIIa	Schalleistung der Wasserstraße in Abhängigkeit vom maßgeblichen stündlichen Verkehrsaufkommen Fall A freie Fahrt
Diagramm XIIb	Schalleistung der Wasserstraße in Abhängigkeit vom maßgeblichen stündlichen Verkehrsaufkommen Fall B Sonderfälle
Diagramm XIIIa	Korrekturfaktor K_{vm} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg-/Talfahrer Fall A Schiffsgeschwindigkeit = 23km/h
Diagramm XIIIb	Korrekturfaktor K_{vm} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg-/Talfahrer Fall A Schiffsgeschwindigkeit = 18km/h
Diagramm XIIIc	Korrekturfaktor K_{vm} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg-/Talfahrer Fall A Schiffsgeschwindigkeit = 15km/h
Diagramm XIId	Korrekturfaktor K_{vm} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg-/Talfahrer Fall A Schiffsgeschwindigkeit = 12km/h
Diagramm XIV	Korrekturfaktor bei Addition zweier Pegel (in dB(A))
Diagramm XV	Umrechnungsblatt für Entfernungen

Verzeichnis genutzter Normen und Regelwerke

16.BimSchV, 16 Bundesimmissionsschutzverordnung, Juni 1990

BImSchG: Gesetz zum Schutz vor schädlichen Umwelteinwirkungen, durch Luftverunreinigungen, Geräusche, Erschütterungen und ähnliche Vorgänge (Bundesimmissionsschutzgesetz – BImSchG) Fassung vom 14. Mai 1990, (BGBl. I S. 880, 1193; ...; 1997 S. 808; 1998 S. 510, S. 3178; 2000 S. 632, 2048)

DIN 1320: Akustik – Begriffe, Juni 1997

ISO 9613 – 1: Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 1 : Berechnung der Schallabsorption durch die Luft, 1993

E DIN ISO 9613 – 2: Akustik – Dämpfung des Schalls bei der Ausbreitung im Freien, Teil 2 : Allgemeines Berechnungsverfahren, September 1997

DIN EN ISO 14509: Kleine Wasserfahrzeuge – Messung des Schalldruckpegels des von motorgetriebenen Sportbooten abgestrahlten Luftschalls (ISO 14509:2000); Deutsche Fassung EN ISO 14509:2000, März 2001

DIN 18005: Schallschutz im Städtebau – Berechnungsverfahren, Mai 1987

DIN 18005, BI.1: Schallschutz im Städtebau – Berechnungsverfahren, Schalltechnische Orientierungswerte für die städtebauliche Planung, Mai 1987

Entwurf DIN 18005: Schallschutz im Städtebau – Teil 1: Hinweise für die Planung, Dez.2000

DIN EN ISO 2922: Akustik – Messungen des von Wasserfahrzeugen auf Binnengewässern und in Häfen abgestrahlten Luftschalls (ISO 2922:200) Deutsche Fassung EN ISO 2922:2000, März 2001

DIN 45641: Mittelung von Schallpegeln, Juni 1990

E DIN 45642: Messung von Verkehrsgeräuschen, März 1997

DIN 45680: Messung und Bewertung tieffrequenter Geräuschimmission in der Nachbarschaft, März 1997

E DIN 45681: Bestimmung der Tonhaltigkeit von Geräuschen und Ermittlung eines Tonzuschlages für die Beurteilung von Geräuschimmissionen, Januar 1992

DIN 45682: Schallimmissionspläne, Juni 1997

DIN EN 60651: Schallpegelmesser, Mai 1994

RLS90: Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90, Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, 1990

Rechenbeispiele zu den Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen RLS-90, Bundesminister für Verkehr, Abteilung Straßenbau, 1992

Schall 03: Akustik 03, Richtlinie zur Berechnung der Schallimmissionen von Schienenwegen Schall 03, Ausgabe 1990, Deutsche Bahn AG

TA Lärm: Sechste Allgemeine Verwaltungsvorschrift zum Bundes-Immissionsschutzgesetz (TA Lärm - Technische Anleitung zum Schutz gegen Lärm) vom 26. August 1998, (GMBI. 1998 S. 503)

VDI 2714, Schallausbreitung im Freien, Januar 1988

VDI 2720, Schallschutz durch Abschirmung im Freien, März 1997

WaStrG: Bundeswasserstraßengesetz, Fassung vom 4. November 1998, BGBl. I S. 3294

1. Zielsetzung und Anwendungsbereich

In dieser Anleitung wird ein Berechnungsverfahren zur quantitativen Darstellung der Schallausbreitung an Bundeswasserstraßen im Binnenbereich bedingt durch die Schifffahrt und die vorherrschende Vorbelastung beschrieben.

Die Anleitung soll den Anwender in die Lage versetzen, Aussagen zur Berücksichtigung und Abwägung der Lärmbelastung bei Wasserstraßenplanungen zu machen und die Frage nach der Erforderlichkeit von Lärmschutzmaßnahmen zu prüfen.

Nach §1 Bundeswasserstraßengesetz gehören zu den Bundeswasserstraßen auch die bundeseigenen Schifffahrtsanlagen wie Schleusen, Schiffshebewerke, Schutz- und Sicherheitshäfen sowie Liege- und Wartestellen.

Anmerkung: Die Anleitung lehnt sich eng an die entsprechenden Richtlinien für die Straße (RLS-90) und die Schiene (Schall03) an.

2. Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Symbole

In dieser Anleitung werden folgende Begriffe, Definitionen, Abkürzungen und Symbole verwendet.

Schallpegel, A- Schallpegel L

Unter Schallpegel L im Dezibel (dB) wird hier der Schalldruckpegel nach DIN 1320 verstanden. Der A-bewertete Schalldruckpegel L_A in dB bzw. L in dB(A) - auch A-Schallpegel genannt - ist ein nach DIN EN 60651 frequenzbewerteter Schallpegel. Durch die A-Bewertung wird die frequenzabhängige Empfindlichkeit des Gehörs berücksichtigt.

Hier wird nur mit A-bewerteten Schallpegeln gerechnet und deshalb zur Vereinfachung am Symbol " L " der Index "A" fortgelassen.

Mittelungspegel L_m

Unter Mittelungspegel L_m in dB(A) (auch: energie-äquivalenter Dauerschallpegel L_{eq}) wird hier der in DIN 45641 definierte zeitliche Mittelwert des A-Schallpegels verstanden:

$$L_m = 10 \cdot \lg \left[\frac{1}{T_r} \int_{T_r}^{0,1L(t)} dt \right] \quad (1)$$

mit

T_r ... Beurteilungszeit (Tag: 06.00Uhr ... 22.00 Uhr
Nacht: 22.00Uhr ... 06.00 Uhr)

$L(t)$... Schallpegel in dB(A) zur Zeit t

Anmerkung: Der Mittelungspegel dient zur Kennzeichnung der Belastung durch Geräusche mit zeitlich veränderlichen Schallpegeln durch nur eine Zahl. Dabei wird die Verdoppelung bzw. Halbierung der Einwirkzeit eines Geräusches wie die Erhöhung bzw. Verringerung seines Schallpegels um 3 dB(A) bewertet. In den Mittelungspegel gehen Stärke und Dauer jedes Einzelgeräusches während der Beurteilungszeit ein. Auffällige Einzeltöne oder Impulse werden nicht berücksichtigt.

Beurteilungspegel L_r

Der Beurteilungspegel ist der für den Immissionsort ermittelte maßgebliche Schalldruckpegel, der mit den vorgeschriebenen Richt- oder Grenzwerten zu vergleichen ist. Bei Verkehrsgeräuschen ist er identisch mit dem Mittelungspegel.

Schallemission, Schalleistungspegel L_w , Emissionsort

Abstrahlung von Schall aus einer oder mehreren Schallquellen. Die Schallemission des Verkehrs auf einer Wasserstraße, einer Schleuse oder Liegestelle wird durch den längenbezogenen Schalleistungspegel L_w gekennzeichnet.

Der für die Berechnung des Emissionspegels maßgebende Emissionsort (Schallquelle) der Wasserstraße ist – sofern nicht eindeutig bestimmbarer - in 4,0 m Höhe über der Mitte der Fahrrinne bzw. der Achse der Schleuse oder der Liegestelle anzunehmen.

Anmerkung:

Frachtschiffe können ihren Auspuff in unterschiedlichen Höhen haben. Sollte die Flotte diesbezüglich differenzierbar oder die Schallquelle anderweitig genauer bestimmbar sein, ist für jede Kategorie die Höhe gesondert anzugeben.

Die Stärke der Schallemission eines Wendeplatzes wird durch den Schalleistungspegel L_w^{**} gekennzeichnet. Dieser wird für den Mittelpunkt des Wendeplatzes unter der Annahme angegeben, daß die ganze Schallemission auf diesen konzentriert ist.

Der für die Berechnung des Emissionspegels der Wendestelle maßgebende Emissionsort (Schallquelle) ist – sofern nicht eindeutig bestimmbarer - in 4,0 m Höhe über dem Mittelpunkt des Wendeplatzes anzunehmen.

Anmerkung: Es gilt die Anmerkung für die Wasserstraße und Liegestelle

Schallimmission, Immissionsort

Einwirken von Schall auf ein Gebiet oder einen Punkt eines Gebietes, den Immissionsort. Die Stärke der Schallimmission wird durch den Mittelungspegel gekennzeichnet.

Der für die Berechnung des Mittelungspegels (Beurteilungspegels) maßgebende Immissionsort wird bei Gebäuden vor der Fassade in Höhe der Geschoßdecke (0,2 m über der Fensteroberkante) des zu schützenden Raumes angenommen. Dabei sind Reflexionen durch das betrachtete Gebäude nicht zu berücksichtigen. Der maßgebende Immissionsort liegt bei Außenwohnbereichen 2 m über der Mitte der als Außenwohnbereich genutzten Fläche.

Vorbelastung, Zusatzbelastung, Gesamtbelastung

Die Vorbelastung ist die Summe aller Schalleinwirkungen am Immissionsort durch den Verkehr außerhalb der Wasserstraße.

Als Zusatzbelastung wird die Summe aller Schalleinwirkungen am Immissionsort, die durch die Wasserstraße bedingt sind, bezeichnet.

Die Gesamtbelastung – die Schalleinwirkung des gesamten Verkehrs am Immissionsort - ist die energetische Summe aus Vor- und Zusatzbelastung

$$L_{r,Ges.} = 10 \lg \left(10^{0,1 * L_{r,Vor}} + 10^{0,1 * L_{r,Zus}} \right) \quad (2)$$

mit

$L_{r,Ges}$ Beurteilungspegel aus Gesamtbelastung

$L_{r,Vor}$ Beurteilungspegel aus Vorbelastung

$L_{r,Zus}$ Beurteilungspegel aus Zusatzbelastung

Tabelle 1: Erläuterung der Abkürzungen und Symbole

Zeichen	Einheit	Bedeutung
$\Delta L_{A, \alpha Str}$	dB(A)	Reflexionseigenschaft von Lärmschutzwänden
A	m	Abstand zwischen Emissionsort und Beugungskante
a_R	m	Abstand zwischen Emissionsort und einer reflektierenden Fläche
B	m	Abstand zwischen Beugungskante und Immissionsort
C	m	Summe der Abstände zwischen mehreren Beugungskanten
D_B	dB(A)	Pegeländerung durch topographische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen
D_{BM}	dB(A)	Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung
D_{BMW}	dB(A)	Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung über Wasser
D_E	dB(A)	Korrektur zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektierenden Flächen
D_l	dB(A)	Korrektur zur Berücksichtigung der Teilstücklänge
D_{refl}	dB(A)	Pegelerhöhung durch Mehrfachreflexion
D_s	dB(A)	Pegeländerung durch unterschiedliche Abstände
DTV_{Typx}		Durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke am Liegeplatz für den Schiffstyp k in der Betriebsart x (Schiffe pro 24 Stunden bzw. Tag)
D_V	dB(A)	Korrektur für Geschwindigkeitsabweichung
D_W	dB(A)	Korrektur für Wasserstraßentyp
D_z	dB(A)	Abschirmmaß eines Lärmschirmes
H	m	Höhendifferenz zwischen Immissionsort und Wasseroberfläche
h	m	Höhe der Abschirmeinrichtung über Wasseroberfläche
h_{Beb}	m	mittlere Höhe von baulichen Anlagen
h_{Ge}	m	Höhe des Emissionsortes über Grund
h_{Gl}	m	Höhe des Immissionsortes über Grund
h_m	m	mittlerer Abstand zwischen dem Grund und der Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort
h_T	m	Hilfsgröße zur Berechnung von h_m
k		Gruppe eines Schiffstyps
K_{MA}	dB(A)	Korrektur für Wirkung des Maschinenraums (offen/geschlossen; gilt nur für Frachtschiffahrt, nicht für Fahrgast- und Sportboote)
K_{V_m}	dB(A)	Korrektur zur Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße
K_{TN}	dB(A)	Korrekturfaktor für Tag/Nachtbelegung
L_m	dB(A)	A-bewerteter Mittelungspegel der Wasserstraße
L_m^*	dB(A)	Mittelungspegel einer Liegestelle, Schleuse oder eines Hafens
L_m^{**}	dB(A)	Mittelungspegel einer Wendestelle
$L_{m,i}$	dB(A)	Mittelungspegel für ein Teilstück
L_r	dB(A)	Beurteilungspegel (entspricht dem Mittelungspegel)
$L_{r,Ges}$	dB(A)	Beurteilungspegel Gesamtbelastung
$L_{r,v}$	dB(A)	Beurteilungspegel der verkehrsbedingten Schallimmission von Häfen
$L_{r,Vor}$	dB(A)	Beurteilungspegel Vorbelastung
$L_{r,Zus}$	dB(A)	Beurteilungspegel Zusatzbelastung
L_W	dB(A)	Schallleistungspegel
L_W^*	dB(A)	längenbezogener Schallleistungspegel einer Wasserstraße

Zeichen	Einheit	Bedeutung
L_{W^*}	dB(A)	längenbezogener Schalleistungspegel einer Liegestelle; Schleuse oder eines Hafens
$L_{W^{**}}$	dB(A)	Schalleistungspegel einer Wendestelle oder eines Schleusentores (Flächenquelle, die rechnerisch als Punktquelle behandelt wird)
$L_{W^{Typ}}$	dB(A)	längenbezogener Schalleistungspegel eines Schiffes des Typs k
$L_{W^{kTyp}}$	dB(A)	längenbezogener Schalleistungspegel aller Schiffe des Typs k
$L_{W^{kTypLeer}}$	dB(A)	längenbezogener Schalleistungspegel des Teils der Schiffstypgruppe k, der im Leerlauf betrieben wird
$L_{W^{kTypHilf}}$	dB(A)	längenbezogener Schalleistungspegel des Teils der Schiffstypgruppe k, dessen Hauptmaschine abgestellt ist und der nur mit Hilfsaggregat betrieben wird
l	m	Abschnittslänge
M		maßgebende stündliche Verkehrsstärke (Schiffe jpro Stunde)
M_{Typ}		maßgebliche stündliche Verkehrsstärke des Schiffstyps
N		Anzahl Wendemanöver je Stunde
p_{Berg}		prozentualer Anteil der Bergfahrer, dividiert durch 100
p_{offen}		prozentualer Anteil der Schiffe, die mit offenem Maschinenraum fahren, dividiert durch 100
p_{Tag}		prozentualer Anteil der Lieger, die am Tag liegen, dividiert durch 100
p_{TTag}		prozentualer Anteil der Torbewegungen am Tag, dividiert durch 100
s	m	Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort
s_{ges}	m	Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort
$s_{L\perp}$	m	Abstand zwischen Ufer und Immissionsort
s_w	m	Abstand zwischen Emissionsort und Ufer
$T_{NachtTypx}$	h	durchschnittliche Liegezeit für ein Schiff des Typs x je Nacht
$T_{TagTypx}$	h	durchschnittliche Liegezeit für ein Schiff des Typs x je Tag
T_{NTor}	h	durchschnittliche nächtliche Betriebszeit eines Schleusentores
T_{TTor}	h	durchschnittliche tägliche Betriebszeit eines Schleusentores
T_{WM}	h	durchschnittliche Zeit für ein Wendemanöver
v	km/h	zulässige Höchstgeschwindigkeit
v_o	km/h	Bezugsgeschwindigkeit $v_o=12$ km/h
v_m	km/h	mittlere Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße
v_s	km/h	Geschwindigkeit des Schiffes zum Wasser (bei Geschwindigkeitsbegrenzungen zugelassene Höchstgeschwindigkeit)
x		Platzhalter für „Leer“ (Anteil der Schiffe, die im Leerlauf liegen) oder „Hilfe“ Anteil der Schiffe, die mit abgeschalteter Hauptmaschine liegen)

Immissionsgrenzwert IGW

Wert für den Beurteilungspegel, der zum Schutze der Nachbarschaft vor schädlichen Umwelteinwirkungen durch Verkehrsgeräusche beim Bau oder der wesentlichen Änderungen von Wasserstraßen und bestehenden Wasserstraßen gemäß 16. BImSchV festgelegt ist.

Anmerkung: Von den Immissionsgrenzwerten zu unterscheiden sind die schalltechnischen Orientierungswerte für die städtebauliche Planung nach DIN 18005, die keine Grenzwerte sind.

Anmerkung: Zu den Bundeswasserstraßen gehören auch Schleusen, Häfen, Liege- und Wartestellen sowie Wendestellen (siehe Punkt 1)

Lärmsanierung

Durchführung von Lärmschutzmaßnahmen an bestehenden Wasserstraßen.

Abschirmung

Behinderung der freien Schallausbreitung durch Hindernisse, beispielsweise durch Lärmschutzwälle, Lärmschutzwände, Böschungskanten oder Häuserzeilen.

Reflexion

Spiegelung von Schallquellen an einer genügend großen Fläche. Durch sie entsteht zusätzlich zu der Originalschallquelle hinter der Fläche eine Spiegelschallquelle.

Schallabsorption

Verringerung des von einer Fläche reflektierten Schalles durch Aufbringen eines geeigneten Materials. Beim Straßenverkehrslärm wird die Schallabsorption mit Hilfe des Wertes $\Delta L_{A, a, Str}$ nach den "Zusätzlichen Technischen Vorschriften und Richtlinien für die Ausführung von Lärmschutzwänden an Straßen (ZTV-Lsw 88)" beurteilt.

Durchschnittliche Tägliche Verkehrsstärke DTV

Mittelwert über alle Tages des Jahres der einen Wasserstraßenquerschnitt täglich passierenden Schiffe.

Maßgebende Verkehrsstärke M

Auf den Beurteilungszeitraum bezogener Mittelwert über alle Tage des Jahres der einen Wasserstraßenquerschnitt stündlich passierenden Schiffe.

In gesonderten Fällen – bei Vorliegen spezieller Tages- und/oder Wochengänge - kann dies auch die dann jeweils dominante stündliche Verkehrsstärke sein.

!Beachte! Für die genannten Sonderfälle gibt es derzeit keine Richt- oder Grenzwerte

Zulässige Höchstgeschwindigkeit v

Die für den betreffenden Wasserstraßenabschnitt zulässige Höchstgeschwindigkeit in km/h.

3. Berechnung des Beurteilungspegels

Die Stärke der Schallemission einer Wasserstraße (beschrieben durch den längenbezogenen Schallleistungspegel L_W) wird nach dieser Anleitung aus der Verkehrsstärke, der Flottenstruktur und der gefahrenen Geschwindigkeit in Relation zu einer Bezugsgeschwindigkeit von 12km/h berechnet.

Die Höhe des Schallpegels an einem Immissionsort hängt außerdem noch vom Abstand zwischen Immissions- und Emissionsort (Schallquelle) und von der mittleren Höhe des Strahls von der Quelle zum Immissionsort über dem Boden ab. Sie kann außerdem durch Reflexionen (z.B. an Hausfronten oder Stützmauern) verstärkt oder durch Abschirmung z.B. durch Lärmschutzwände, Wälle, Gebäude, Geländeerhebungen oder durch Tieflage der Wasserstraße verringert werden.

Zum Vergleich mit Immissionsgrenzwerten dient der Beurteilungspegel L_r .

Der Beurteilungspegel von Verkehrsräuschen wird getrennt für Tag und Nacht berechnet:

$L_{r,T}$ für die Zeit von 6.00 bis 22.00 Uhr, und
 $L_{r,N}$ für die Zeit von 22.00 bis 6.00 Uhr.

Der Berechnung wird die maßgebliche stündliche Verkehrsstärke M (Schiffe/Stunde) zugrunde gelegt. Das ist im Allgemeinen die über alle Tage des Jahres gemittelte Verkehrsstärke, bezogen auf eine Stunde. In gesonderten Fällen – bei Vorliegen spezieller Tages- und/oder Wochengänge - kann dies auch die dann jeweils dominante stündliche Verkehrsstärke sein.

!Beachte! Für die genannten Sonderfälle gibt es derzeit keine Richt- oder Grenzwerte

Die Ausbreitung des Schalls in der Luft hängt von der Lufttemperatur, der Luftfeuchte, dem Wind, der Luftschichtung und der Härte der Bodenoberfläche (Frost) und der Frequenz ab. Die nach dieser Anleitung berechneten Beurteilungspegel gelten für leichten Wind (etwa 3 m/s) von der Wasserstraße zum Immissionsort und/oder Temperaturinversion, die beide die Schallausbreitung fördern. Bei anderen Witterungsbedingungen können besonders auch in Bodennähe und in Abständen über etwa 100 m deutlich niedrigere Schallpegel auftreten.

Daher ist ein Vergleich von einzelnen Meßwerten mit den nach dieser Anleitung berechneten Werten nicht ohne weiteres möglich.

Wenn in einem besonderen Fall Messungen angestellt werden müssen, dann muß Sorge getragen werden, daß diese Messungen so ausführlich sind, daß man die Wetterabhängigkeit herausrechnen kann.

Alle Gleichungen dieser Anleitung sind Zahlenwertgleichungen. Längen sind in m, Geschwindigkeiten in km/h, Pegel und Pegeldifferenzen in dB(A) einzusetzen. Zwischenergebnisse und Pegeldifferenzen sind auf 0,1 dB(A), zusammenfassende Beurteilungspegel auf volle dB(A) zu runden.

Bei der Prüfung, ob eine "wesentliche Änderung" im Sinne der Verkehrslärmschutzverordnung - 16. BImSchV vorliegt, ist die Differenz der nicht aufgerundeten Beurteilungspegel aufzurunden.

3.1 Beurteilungspegel von mehreren Quellen

Befindet sich ein Immissionsort im Einwirkungsbereich von mehr als einer Quelle (z.B. Wasserstraße und Liegestelle), so sind für alle Quellen j (auch Spiegelschallquellen) die Beurteilungspegel L_{rj} zu berechnen und daraus der Gesamtbeurteilungspegel nach der Gleichung

$$L_r = 10 \lg \sum_j 10^{0,1 \cdot L_{r,j}} \quad (3)$$

zu bestimmen.

3.2 Vorbelastung, Zusatzbelastung, Gesamtbelastung

Befinden sich im Bereich der Wasserstraße zu beachtende weitere Emittenten (i.d.R. Straßen), so berechnet sich der Beurteilungspegel in Summa (Gesamtbelastung) aus dem Beurteilungspegel der Vorbelastung (alle Emittenten außer der Wasserstraße) und der Zusatzbelastung (alle Emittenten der Wasserstraße) gemäß Gleichung 2.

3.3 Mittelungspegel einer Fahrrinne

Der Mittelungspegel einer Wasserstraße wird nach dem Verfahren "lange, gerade" Fahrrinne berechnet, wenn er folgende Bedingungen erfüllt:

- Die Fahrrinne kann vom Immissionsort nach beiden Seiten von dem ihm nächst gelegenen Punkt mindestens auf die Länge

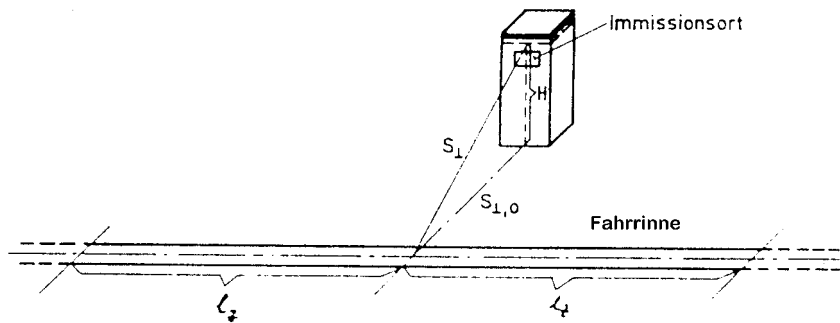
$$l_z = 48 \cdot \frac{s_{\perp}}{\sqrt{100 + s_{\perp}}} \quad (4)$$

eingesehen werden.

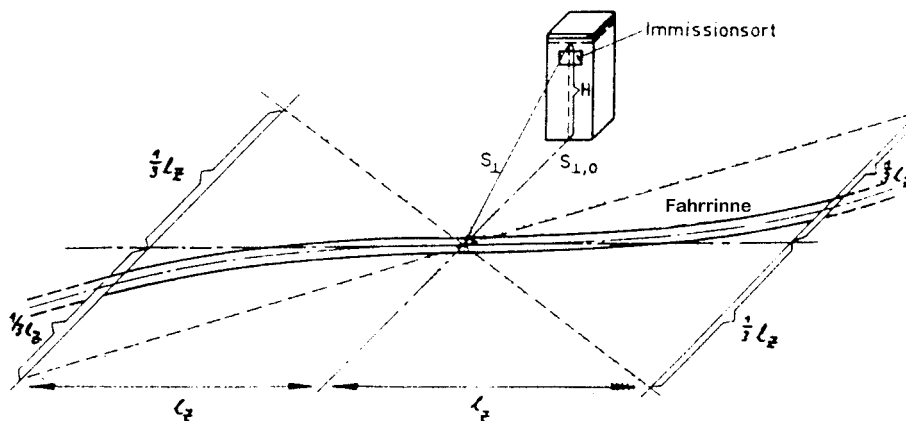
- Die Fahrrinne muß im Lageplan innerhalb des in Abbildung 1a und 1b begrenzten Bereiches liegen.
- Die Emission und die Bedingungen für die Schallausbreitung müssen über die gesamte Länge annähernd konstant sein.

Falls eine dieser Voraussetzungen nicht zutrifft, ist das "Teilstück-Verfahren" nach Abschnitt 3.3.2 anzuwenden.

Zur Berechnung des Beurteilungspegels für einen Immissionsort darf nur eines der beiden Verfahren verwendet werden. Eine Verknüpfung beider Verfahren ist nicht zulässig.



Fall a



$$l_z = 48 \frac{s_{\perp}}{\sqrt{100 + s_{\perp}}}$$

Fall b

Abbildung 1 „lange, gerade“ Fahrrinne

3.3.1 Verfahren für „lange, gerade“ Fahrrinnen

Der Emissionsort für den „langen geraden“ Fahrrinnen wird – so nicht eindeutiger bestimmbar – in 4 m Höhe über der Wasseroberfläche entlang der Achse der Fahrrinne angenommen.

Der Mittelungspegel ist

$$L_m = L_W - D_{s\perp} + D_{BML} + D_{B\perp} + D_E \quad (5)$$

mit

L_W längenbezogener Schalleistungspegel der Wasserstraße nach 3.3.1.1

$D_{s\perp}$ Pegeländerung nach Abschnitt 3.3.1.2 zur Berücksichtigung des Abstandes, der Luftabsorption und der Ausbreitung über Wasser

D_{BML} Pegeländerung nach Abschnitt 3.3.1.3 zur Berücksichtigung von Boden- und Meteorologiedämpfung

$D_{B\perp}$ Pegeländerung nach Abschnitt 3.3.1.4 durch bauliche und topografische Gegebenheiten

D_E Korrektur von Einfachreflexionen (Spiegelungen) nach Abschnitt 3.3.1.7

3.3.1.1 Längenbezogener Schalleistungspegel der Wasserstraße

Der längenbezogene Schalleistungspegel der Wasserstraße wird bestimmt durch

$$L_{W'} = 10 \lg \sum_k 10^{0,1L_{W'kTyp}} + D_v + D_w + K_{v_m} \quad (6)$$

mit

$L_{W'kTyp}$ längenbezogener Schalleistungspegel für alle Schiffe des Typs k nach Abschnitt 3.3.1.1.1

D_v Korrektur für Geschwindigkeitsabweichung nach Abschnitt 3.3.1.1.2

D_w Korrektur für Wasserstraßentyp gemäß Tabelle 2

Tabelle 2: D_w - Korrektur für Wasserstraßentyp

Wasserstraßentyp	D_w (dB(A))
Fluß freifließend	5.3
Fluß staugeregelt/Fluß freifließend mit Geschwindigkeitsbegrenzung	2
Kanal	0

K_{v_m} Zuschlag für die Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße nach Abschnitt 3.3.1.1.3

k Schiffstyp gemäß Tabelle 3

3.3.1.1.1 Längenbezogener Schalleistungspegel einer Gruppe von Schiffen

Der längenbezogene Schalleistungspegel für alle Schiffe einer Gruppe (siehe auch Diagramm XII) ist

$$L_{W'kTyp} = L_{W'Typ} + 10 \lg(M_{Typ}) + K_{MA} \quad (7)$$

mit

$L_{W'Typ}$ längenbezogener Schalleistungspegel für ein Schiff des Typs k nach Tabelle 3

M_{Typ} maßgebliche stündliche Verkehrsstärke des Schiffstyps

K_{MA} Korrektur für Wirkung des Maschinenraums (offen/geschlossen; gilt nur für Frachtschiffahrt, nicht für Fahrgast- und Sportboote)

Tabelle 3: Schalleistungspegel

Schiffstyp k	Schalleistungspegel L_{WTyp} (dB(A))					
	freie ^{*1)} Fahrt	Liege-/Wartestelle ^{*2)}		Wende- stelle ^{*3)}	Anfahrt- weg ^{*1)}	Abfahrt- weg ^{*1)}
		Leerlauf	Hilfs- aggregat			
Frachtschiffe >800 TT	65.1	74.0	65.6	82.4	59.9	62.0
Frachtschiffe ≤ 800 TT	63.2					
Fahrgastschiffe	61.5			*4)		
Sport-/Freizeitboote	58.6	---	---	---	*4)	59.7

- *1) Längenbezogener Schalleistungspegel der Wasserstraße (Bezugszeit 1h). Die Wasserstraße ist eine Linienquelle
 *2) Längenbezogener Schalleistungspegel der Liege-/Wartestelle. Liege/Wartestellen sind als Linienquelle zu betrachten. Der Zeitbezug wird über die Berechnungsformel für die Immission hergestellt (siehe Abschnitt 3.4.1.1.1)
 *3) Die wendenden und koppelnden Schiffe sind als Punktquellen zu betrachten
 Der Zeitbezug wird über die Berechnungsformel für die Immission hergestellt (siehe Abschnitt 3.6)
 *4) Noch nicht verfügbar. Sollten Berechnungen dennoch benötigt werden und keine Messergebnisse vorliegen, ist mit dem Wert der Frachtschiffe zu arbeiten

3.3.1.1.2 Korrektur für unterschiedliche Geschwindigkeiten

Die unterschiedliche Geschwindigkeit der Schiffe (siehe auch Diagramm XI) wird berücksichtigt mit

$$D_V = 10 \lg \left(\frac{v_s}{v_o} \right) \quad (8)$$

mit

- v_s Geschwindigkeit des Schiffes zum Wasser
 v_o Bezugsgeschwindigkeit $v_o=12 \text{ km/h}$

3.3.1.1.3 Korrektur für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße

Der Zuschlag für die Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße (siehe auch Diagramme XIIIa-d) ist

$$K_{Vm} = 10 \lg \left(p_{Berg} \cdot \frac{v_s}{v_s - v_m} + (1 - p_{Berg}) \cdot \frac{v_s}{v_s + v_m} \right) \quad (9)$$

mit

- p_{Berg} prozentualer Anteil der Bergfahrer, dividiert durch 100 ($100\% \rightarrow p_{Berg}=1$; $1\% \rightarrow p_{Berg}=0,01$)
 v_s Geschwindigkeit des Schiffes zum Wasser
Sollte die Geschwindigkeit der Bergfahrer zum Wasser von der der Talfahrer abweichen, sind die Schalleistungspegel nach Abschnitt 3.3.1.1 separat zu berechnen und energetisch zum Gesamtpegel zu addieren.
 v_m mittlere Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße

Es gilt die Bedingung $v_s > v_m$.

Bei Kanälen kann der Korrekturwert auf Grund der geringen Fließgeschwindigkeit vereinfachend vernachlässigt werden.

3.3.1.1.4 Korrektur für Zustand des Maschinenraumes

Der Zustand Maschinenraum (offen/geschlossen) wird berücksichtigt durch

$$K_{MA} = 10 \lg (1 + 0,41 \cdot p_{\text{offen}}) \quad (10)$$

mit

p_{offen} prozentualer Anteil der Schiffe, die mit offenem Maschinenraum fahren, dividiert durch 100 (100% → $p_{\text{offen}} = 1$; 1% → $p_{\text{offen}} = 0,01$)

Der Zustand des Maschinenraumes ist nur bei Frachtschiffen zu berücksichtigen.

3.3.1.2 Pegeländerung durch Abstand, Luftabsorption und Ausbreitung über Wasser

Der Einfluß von Abstand, Luftabsorption und Ausbreitung über Wasser wird berücksichtigt (siehe auch Diagramme I bis III) durch

$$D_{s\perp} = 10 \lg (s_{\text{ges}\perp}) + k_{VP} + D_{AL\perp} - D_{AW\perp} \quad (11)$$

mit

$s_{\text{ges}\perp}$ Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort

k_{VP} Korrektur für eingesetztes Verfahren

$k_{VP} = 3$ für lange ungleichmäßig abstrahlende Linie (bewegte Quellen auf Linie)

$k_{VP} = 5$ für lange gleichmäßig abstrahlende Linie

$D_{AL\perp}$ Luftabsorption

$$D_{AL\perp} = 0,00142 (s_{\text{ges}\perp})^{0,9} \quad (12)$$

$D_{AW\perp}$ Korrektur Ausbreitung über Wasser

$$D_{AW\perp} = 10 \lg [1 + 0,0142 (s_{w\perp})^{0,9}] \quad (13)$$

mit

$s_{w\perp}$ Abstand zwischen Emissionsort und Ufer

3.3.1.3 Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung

Bei freier Schallausbreitung ist eine Dämpfung durch Einflüsse des Bodens und der Meteorologie wirksam. Sie wird berücksichtigt (siehe auch Diagramm IV) durch

$$D_{BM\perp} = -4,8 \exp \left[- \left(\frac{h_m}{s_{LL}} \left(8,5 + \frac{100}{s_{LL}} \right) \right)^{1,3} \right] \quad (14)$$

mit

s_{LL} Abstand zwischen Ufer und Immissionsort

Für den Bereich der Wasseroberfläche (Abstand Emissionsort – Ufer) gilt

$$D_{BMW} = 0$$

Die mittlere Höhe h_m ist der Quotient aus der Fläche, die der Schallstrahl und die Geländeoberfläche zwischen Quelle und Immissionsort aus der Ebene senkrecht durch Quelle und Immissionsort ausschneiden und s_{\perp} (Abb. 2)

Anmerkung1:

Näherungsweise kann die mittlere Höhe wie folgt berechnet werden:

h_m ist gleich dem mittleren Abstand zwischen dem Grund und der Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort. In ebenem Gelände ergibt sich h_m als arithmetischer Mittelwert der Höhen des Emissionsortes und des Immissionsortes über Grund (Abb. 3a). Für Tallagen, Senken und Bodenerhebungen wird h_m nach Abbildung 3b bestimmt. Hierbei ist h_T die größte Höhe der Verbindungslinie über Grund bei Tallagen und Senken, die kleinste bei Bodenerhebungen.

Anmerkung2:

Frachtschiffe können ihren Auspuff in unterschiedlichen Höhen haben. Sollte die Flotte diesbezüglich differenzierbar sein, ist für jede Kategorie der Mittelungspegel einzeln zu berechnen und energetisch zu addieren.

Bei Abschirmung entfällt D_{BM}

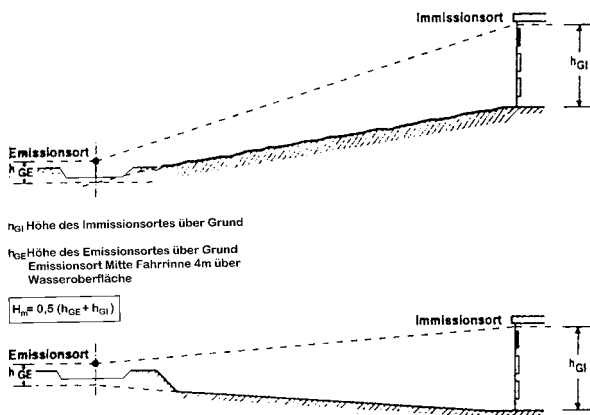
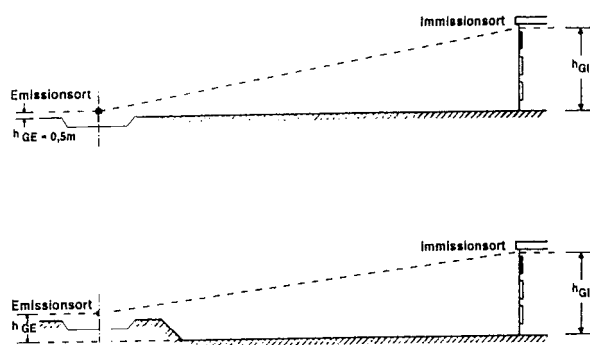


Abbildung 3a Mittlere Höhe h_m bei ebenen Gelände

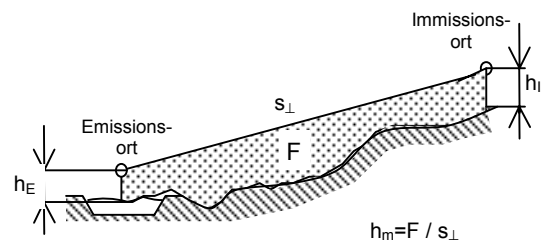


Abbildung 2: Berechnung mittlere Höhe h_m

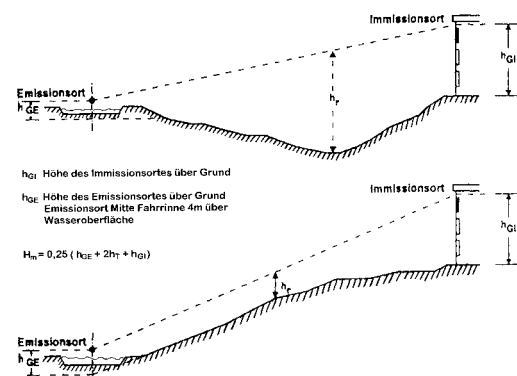


Abbildung 3b Mittlere Höhe h_m bei Tallagen und ebenen Gelände

3.3.1.4 Pegeländerung durch topografische und bauliche Gegebenheiten

Die Pegeländerung durch topographische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen ist

$$D_{B.L} = D_{refl} - D_{z.L} \quad (15)$$

mit

D_{refl} Pegelerhöhung Mehrfachreflexion bei Fahrrinnen zwischen parallelen Wänden (Schluchten, Troglagen) nach Abschnitt 3.3.1.5

$D_{z.L}$ Abschirmmaß nach Abschnitt 3.3.1.6

3.3.1.5 Mehrfachreflexion

Verläuft eine Fahrrinne zwischen parallelen, reflektierenden Stützmauern, Lärmschutzwänden oder geschlossenen Hausfassaden (Lückenanteil < 30 %), erhöht sich der Mittelungspegel zusätzlich zur ersten Reflexion um

$$D_{refl} = 4 \cdot h_{Beb} / w \leq 3,2 \quad (16)$$

mit

h_{Beb} mittlere Höhe der Stützmauern, Lärmschutzwände oder Hausfassaden. Sind diese nicht auf beiden Seiten gleich hoch, ist die mittlere Höhe der niedrigeren Fläche einzusetzen.

w Abstand der reflektierenden Flächen voneinander.

Sind die Lärmschutzwände oder Stützmauern absorbierend bekleidet, ist

$$D_{refl} = 2 \cdot h_{Beb} / w \leq 1,6 \quad (17)$$

Bei hochabsorbierenden Lärmschutzwänden wird die Mehrfachreflexion vernachlässigt.

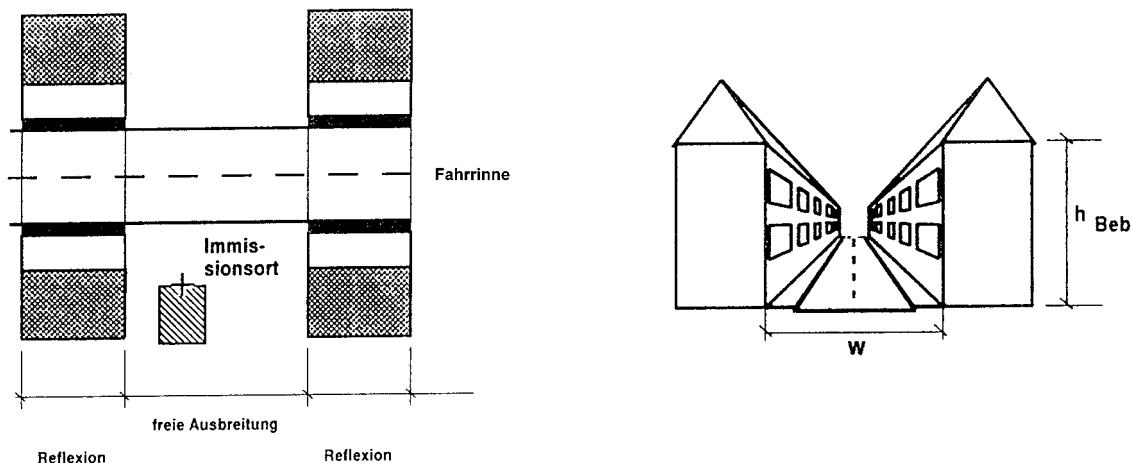


Abbildung 4: Pegelerhöhung durch Mehrfachreflexion

3.3.1.6 Abschirmung

Eine Pegelminderung durch Abschirmung tritt erst dann ein, wenn das Hindernis die Ebene durch Fahrrinne und Immissionsort mindestens tangiert. Das Abschirmmaß $D_{z\perp}$ für einen langen Schirm konstanter Höhe parallel zu einer "langen, geraden" Fahrrinne ist

$$D_{z\perp} = 7 \cdot \lg \left[5 + \left(\frac{13 + 0,025 \cdot s_{\perp}}{1,2 + 0,2 \cdot z_{\perp}} \right) \cdot z_{\perp} \cdot K_{w\perp}^2 \right] \quad (18)$$

mit

z_{\perp} Schirmwert, Differenz zwischen der Länge des Weges von Fahrrinne über die Beugungskante(n) zum Immissionsort und dem Abstand zwischen Fahrrinne und Immissionsort (Abbildungen 5 und 6).

$$z_{\perp} = A_{\perp} + B_{\perp} + C_{\perp} - s_{\perp} \quad (18a)$$

mit

- A_{\perp} Abstand des Emissionsortes von der ersten wirksamen Beugungskante
- B_{\perp} Abstand der letzten wirksamen Beugungskante vom Immissionsort
- C_{\perp} Summe der Abstände zwischen mehreren Beugungskanten
- s_{\perp} Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort
- $K_{w\perp}$ Witterungskorrektur zur Berücksichtigung der Strahlenkrümmung durch positive Gradienten von Temperatur oder Windgeschwindigkeit

$$K_{w\perp} = \exp\left(\frac{1}{2000} \sqrt{\frac{A_{\perp} \cdot B_{\perp} \cdot s_{\perp}}{2 \cdot z_{\perp}}}\right) \quad (19)$$

Bei Mehrfachbeugung wird C_{\perp} (Abbildung 6) zum größeren der Abstände A_{\perp} oder B_{\perp} addiert.

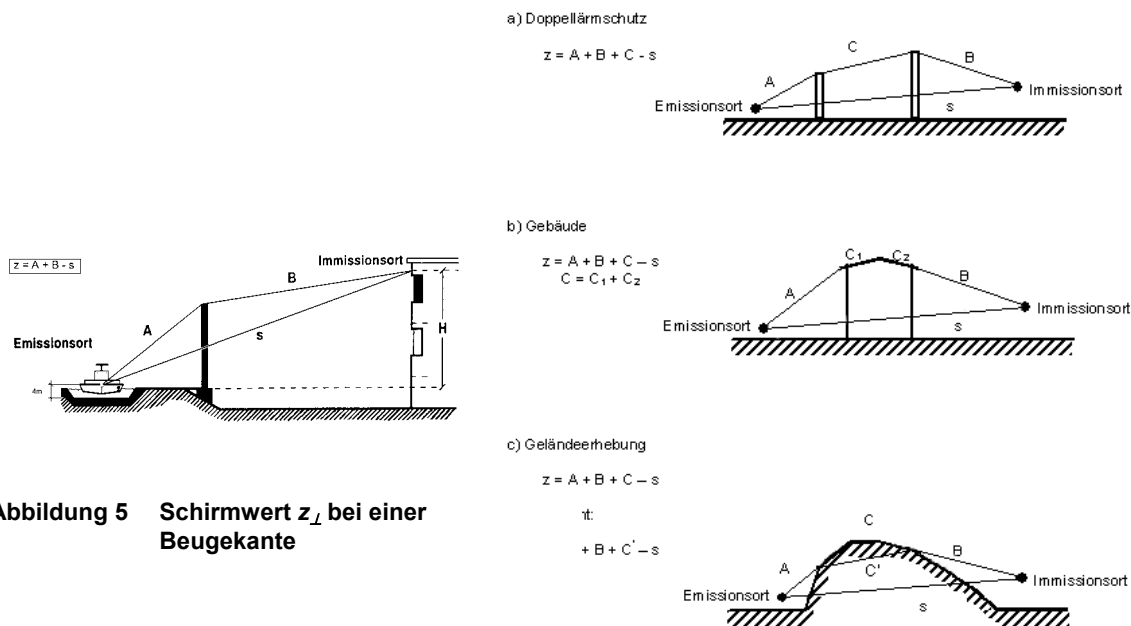


Abbildung 5 Schirmwert z_{\perp} bei einer Beugekante

Abbildung 6 Schirmwert z_{\perp} bei mehreren Beugekanten

Das nach Gleichung 18 ermittelte Abschirmmaß gilt für den Fall, daß Fahrrinne und Schirm nach beiden Seiten – ab Querschnitt durch den Immissionsort – eine Länge („Überstandslänge“) von mindestens

$$d_{\bar{u}} = \left(\frac{34 + 3 \cdot D_{z\perp}}{\sqrt{100 + s_{\perp}}}\right) \cdot B_{\perp} \quad (20)$$

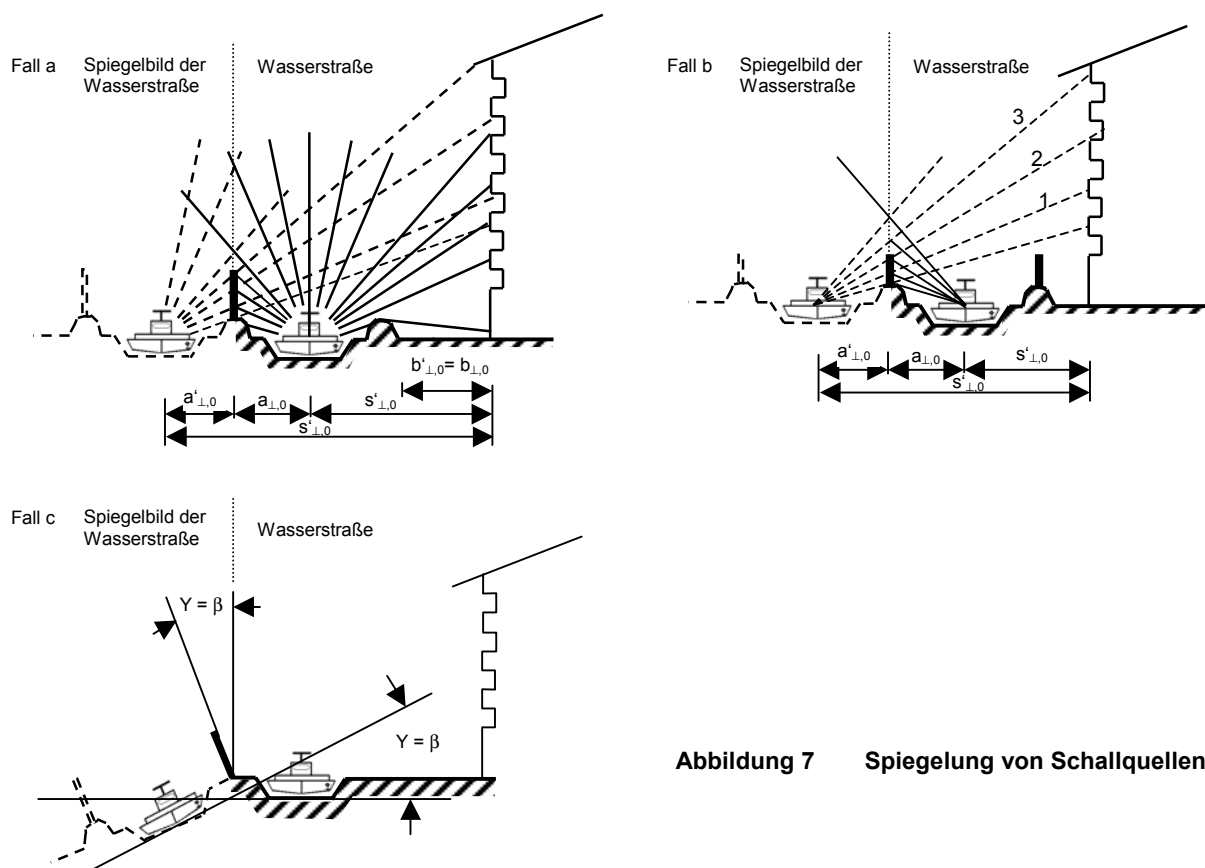
aufweisen.

Kann die Überstandslänge $d_{\bar{u}}$ für den Schirm nicht eingehalten werden oder ist die Fahrrinne nicht lang genug, so ist das Teilstück-Verfahren nach Abschnitt 3.3.2 anzuwenden. Überstandslängen unter $0,5 d_{\bar{u}}$ sind nicht sinnvoll.

3.3.1.7 Berücksichtigung von Einfachreflexionen

Trifft Schall auf Stützmauern, Hausfassaden oder andere Flächen, wird er reflektiert. Dadurch kann sich der Beurteilungspegel an einem Immissionsort erhöhen. Reflexionen sind zu berücksichtigen, wenn die Höhe h_R der reflektierenden Fläche der Bedingung $h_R \geq 0,3 \cdot \sqrt{a_R}$ genügt, wobei a_R der Abstand Quelle - Reflektor ist.

Zur Berücksichtigung der Reflexion wird die Wasserstraße (Originalschallquelle) an der reflektierenden Fläche gespiegelt. Vom Immissionsort aus gesehen scheint sich hinter der reflektierenden Fläche eine zusätzliche Schallquelle (Spiegelschallquelle) zu befinden (Abbildung 7, Fall a). Es ist zu beachten, daß von der Spiegelschallquelle nur das Teilstück wirksam ist, von dem aus die „Schallstrahlen“ zum Immissionsort durch die reflektierende Fläche hindurch verlaufen (Strahlen 1 und 2 in Abbildung 7b). Diese Bedingung ist z. B. für den Strahl 3 nicht erfüllt.



Diffus reflektierter Schall ist vernachlässigbar.
 Abbildung 8 enthält Beispiele zur Konstruktion von Spiegelschallquellen.

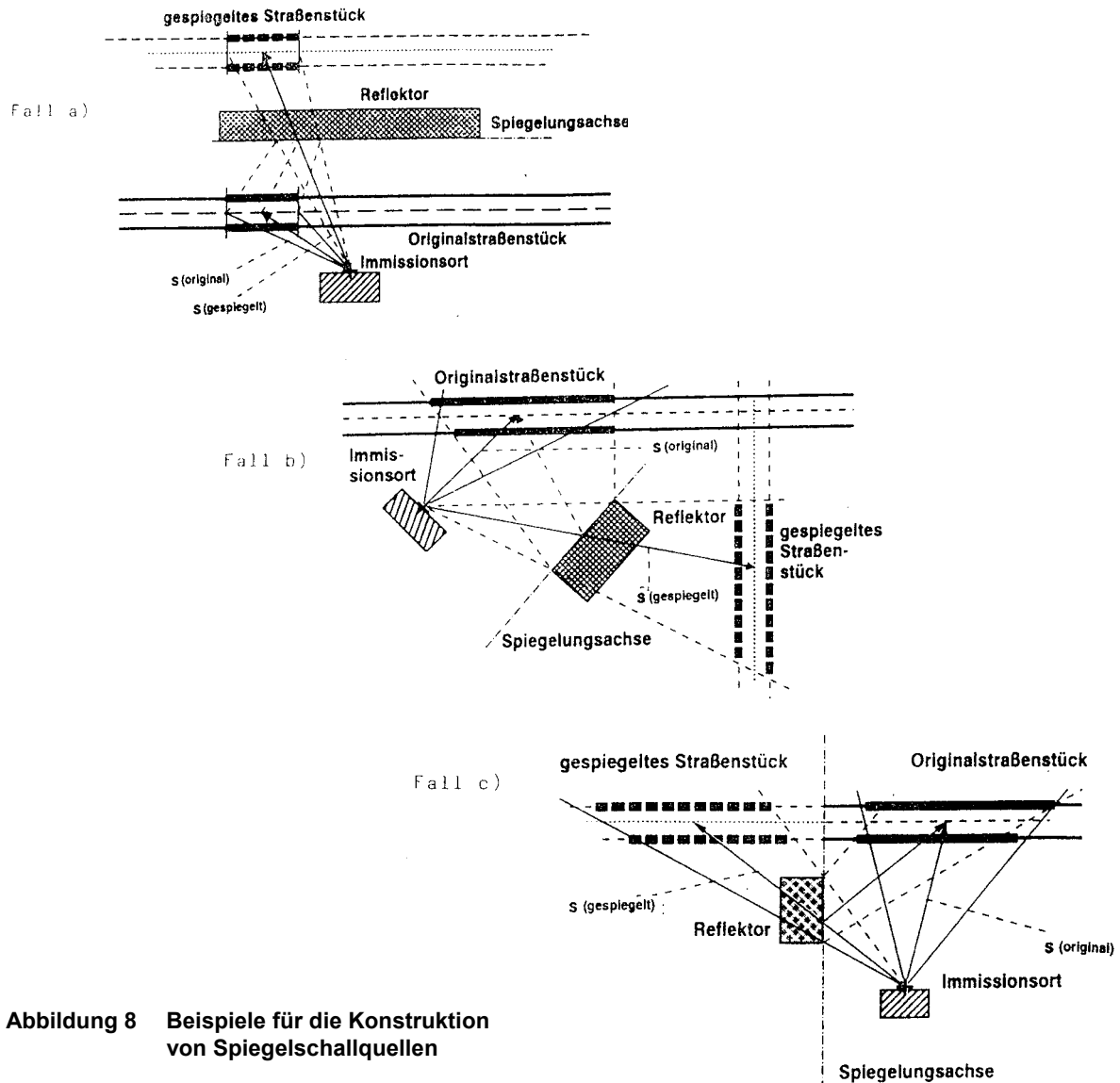


Abbildung 8 Beispiele für die Konstruktion von Spiegelschallquellen

Bei der Berechnung des Beurteilungspegels sind Spiegelschallquellen wie Originalschallquellen zu behandeln. Da aber bei der Reflexion Energieverluste auftreten, wird bei den Spiegelschallquellen mit einem durch den Summanden D_E (Tabelle 4) korrigierten Emissionspegel gerechnet.

Tabelle 4: Korrektur zur Berücksichtigung der Absorptionseigenschaften von reflektierenden Flächen (nur bei Spiegelschallquellen)

Reflexionsart	D_E in dB(A)
glatte Gebäudefassaden und reflektierende Lärmschutzwände	- 1
gegliederte Hausfassaden (z. B. Fassaden mit Erkern, Balkonen etc.)	- 2
absorbierende Lärmschutzwände	- 4
hochabsorbierende Lärmschutzwände	- 8

Bei Wasserstraßen zwischen parallelen Reflexionsfronten wird nur die erste Reflexion durch D_E berücksichtigt, die weiteren Reflexionen durch den Zuschlag D_{refl} nach Abschnitt 3.3.1.5.

3.3.2 Teilstück-Verfahren

Zur Berechnung des Mittelungspegels L_m einer Fahrrinne wird diese in annähernd gerade Teilstücke i unterteilt. Die Teilstücke sind so zu wählen, daß über die Länge jedes einzelnen die Emission und die Ausbreitungsbedingungen annähernd konstant sind. So nicht eindeutiger bestimmbar, wird der Emissionsort in der Mitte des Teilstückes in 4 m Höhe über dem Wasserspiegel angenommen. Die Länge l_i eines Teilstückes darf höchstens $0,5 \cdot s_i$ sein, wobei s_i der Abstand des Immissionsortes vom Emissionsort ist. Für jedes Teilstück i ist der Mittelungspegel $L_{m,i}$ getrennt zu berechnen. Diese Pegel sind energetisch zum Mittelungspegel zusammenzufassen:

$$L_m = 10 \lg \sum_i 10^{0,1 L_{m,i}} \quad (21)$$

3.3.2.1 Mittelungspegel eines Teilstücks

Der Mittelungspegel $L_{m,i}$ von einem Teilstück ist

$$L_{m,i} = L_W + D_l - D_s + D_{BM} + D_B + D_E \quad (22)$$

mit

L_W längenbezogener Schalleistungspegel für das Teilstück nach Abschnitt 3.3.1.1

D_l Pegeländerung zur Berücksichtigung der Teilstücklänge

$$D_l = 10 \lg(l_i) \quad (23)$$

mit

l_i = Länge Teilstück

D_s Pegeländerung zur Berücksichtigung des Abstandes, der Luftabsorption und der Ausbreitung über Wasser nach Abschnitt 3.3.2.2

D_{BM} Pegeländerung zur Berücksichtigung der Boden- und Meteorologiedämpfung nach Abschnitt 3.3.2.3

D_B Pegeländerung durch topographische und bauliche Gegebenheiten nach Abschnitt 3.3.2.4

D_E Pegeländerung durch Einfachreflexion (Spiegelung) nach Abschnitt 3.3.1.7

3.3.2.2 Pegeländerung durch Abstand, Luftabsorption und Ausbreitung über Wasser

Der Einfluß von Abstand, Luftabsorption und Ausbreitung über Wasser wird berücksichtigt (siehe auch Diagramme VI bis VIII) durch

$$D_s = 20 \lg(s) + 8 + D_{AL} - D_{AW} \quad (24)$$

mit

s Abstand zwischen Emissionsort und Immissionsort

D_{AL} Luftabsorption

$$D_{AL} = \frac{s}{2000} \quad (25)$$

D_{AW} Korrektur Ausbreitung über Wasser

$$D_{AW} = 10 \lg \left(1 + \frac{s_w}{200} \right) \quad (26)$$

mit
 s_w Abstand zwischen Emissionsort und Ufer

3.3.2.3 Pegeländerung durch Boden- und Meteorologiedämpfung

Die Pegeländerung durch Boden - und Meteorologiedämpfung bei freier Schallausbreitung (siehe auch Diagramm IX) ist

$$D_{BM} = (h_m/s_L) \cdot (34 + 600/s_L) - 4,8 \leq 0. \quad (27)$$

mit
 s_L Abstand zwischen Ufer und Immissionsort

Für den Bereich der Wasseroberfläche (Abstand Emissionsort – Ufer) gilt

$$D_{BMW} = 0$$

Bei Abschirmung entfällt D_{BM} .

3.3.2.4 Pegeländerung durch topografische und bauliche Gegebenheiten

Die Pegeländerung durch topographische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen ist

$$D_B = D_{refl} - D_z \quad (28)$$

mit
 D_{refl} Pegelerhöhung durch Mehrfachreflexion bei Fahrinnen zwischen parallelen Wänden (Schluchten, Troglagen) nach Abschnitt 3.3.1.5

3.3.2.5 Abschirmung

Eine Pegelminderung durch Abschirmung tritt erst ein, wenn das Hindernis die Verbindungslinie zwischen Emissions- und Immissionsort mindestens tangiert. Das Abschirmmaß ist

$$D_z = 10 \lg (3 + 15 \cdot z \cdot K_w) \quad (29)$$

z Schirmwert, Differenz zwischen der Länge des Weges von Fahrinne über die Beugungskante(n) zum Immissionsort und dem Abstand zwischen Fahrinne und Immissionsort (Abbildungen 4 und 5).

$$z = A + B + C - s \quad (30)$$

mit
 A Abstand des Emissionsortes von der ersten wirksamen Beugungskante
 B Abstand der letzten wirksamen Beugungskante vom Immissionsort
 C Summe der Abstände zwischen mehreren Beugungskanten

s Abstand zwischen Emissions- und Immissionsort
 K_w Witterungskorrektur zur Berücksichtigung der Strahlenkrümmung durch positive Gradienten von Temperatur oder Windgeschwindigkeit

$$K_w = \exp\left(-\frac{1}{2000} \sqrt{\frac{A \cdot B \cdot s}{2 \cdot z}}\right) \quad (31)$$

3.4 Liege-/Wartestellen

Liegestellen (vereinfachend für Liege- und Wartestellen genannt) sind Linienquellen und können aus mehreren Liegeplätzen bestehen. Für jede Liegestelle ist neben der eigentlichen Liegestelle ein An- und Abfahrtsweg zu berücksichtigen (Abbildung 9)

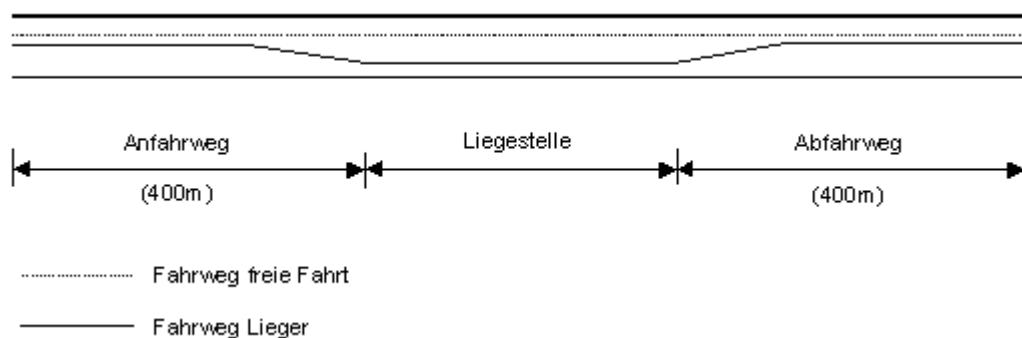


Abbildung 9 Aufbau Liegestelle

Sind die Längen für An- und Abfahrtsweg nicht angebar, beträgt der Vorgabewert 400 m. Zur Berechnung werden die drei Bereiche jeweils in annähernd gleiche gerade Teilstücke unterteilt. Die Länge eines Teilstückes darf dabei nicht größer als

$$l_i = 0,5 \cdot s_i \quad (32)$$

sein.

Für jedes Teilstück wird der Mittelungspegel getrennt berechnet. Die Einzelpegel sind dann energetisch zu addieren

$$L_m^* = 10 \lg \sum_i 10^{0,1 L_{mi}^*} \quad (33)$$

wobei L_{mi}^* nach Abschnitt 3.4.1 berechnet wird.

Sollten bereits für einen der 3 Bereiche die Bedingungen

$$l \geq 48 \cdot s_{\perp} / \sqrt{100 + s_{\perp}} \quad (34)$$

mit

l Länge des Teilbereiches (An-/Abfahrtsweg oder Liegestelle)

s_{\perp} Abstand zwischen Emissionsort und Immissionsort

gelten, so genügt es, den Mittelungspegel gemäß dem Verfahren „langer gerader“ Bereich nach Abschnitt 3.4.2 für diesen Bereich zu berechnen.

Bei der Berechnung der Mittelungspegel darf nur nach einem Verfahren (Teilstück oder „langer gerader“ Bereich) gearbeitet werden. Eine Kombination ist nicht zulässig.

3.4.1 Mittelungspegel, Liegestelle Teilstück

Der Emissionsort wird in der Mitte des Teilstücks - sofern nicht näher angegeben - in 4 m Höhe über der Wasseroberfläche angenommen.

Der Mittelungspegel ist

$$L_{mi}^* = L_{W'}^* + D_I - D_s + D_{BM} + D_B + D_E \quad (35)$$

mit

$L_{W'}^*$ längenbezogener Schalleistungspegel der Liegestelle nach Abschnitt 3.4.1.1 bzw. des An-/Abfahr-bereiches nach Abschnitt 3.4.1.2

D_I Korrektur zur Berücksichtigung der Teilstücklänge

$$D_I = 10 \lg(l_i)$$

mit

l_i = Länge Teilstück

D_s Pegeländerung zur Berücksichtigung des Abstandes, der Luftabsorption und der Ausbreitung über Wasser nach Abschnitt 3.3.2.2

D_{BM} Pegeländerung zur Berücksichtigung der Boden- und Meteorologiedämpfung nach Abschnitt 3.3.2.3

D_B Pegeländerung zur Berücksichtigung topografischer Gegebenheiten und baulicher Maßnahmen nach Abschnitt 3.3.2.4

D_E Korrektur durch Einfachreflexion nach Abschnitt 3.3.1.7

3.4.1.1 Längenbezogener Schalleistungspegel einer Liegestelle

Der längenbezogene Schalleistungspegel einer Liegestelle ist

$$L_{W'}^* = 10 \lg \sum_j 10^{0,1 L_{W'j}^*} \quad (36)$$

mit

$L_{W'j}^*$ längenbezogener Schalleistungspegel des Liegeplatzes j nach Abschnitt 3.4.1.1.1

3.4.1.1.1 Längenbezogener Schalleistungspegel eines Liegeplatzes

Der längenbezogene Schalleistungspegel eines Liegeplatzes ist

$$L_{W,j}^* = 10 \lg \sum_k 10^{0,1 L_{W,kTyp}} \quad (37)$$

mit

$L_{W,kTyp}$ längenbezogener Schalleistungspegel der Schiffstypengruppe k

$$L_{W,kTyp} = 10 \lg (10^{0,1 L_{W,kTypLeer}} + 10^{0,1 L_{W,kTypHilf}}) \quad (38)$$

mit

$L_{W,kTypLeer}$ längenbezogener Schalleistungspegel des Teils der Schiffstypengruppe k, der im Leerlauf betrieben wird

$L_{W,kTypHilf}$ längenbezogener Schalleistungspegel des Teils der Schiffstypengruppe k, dessen Hauptmaschine abgestellt ist und der nur mit Hilfsaggregat betrieben wird

Die Anteile berechnen sich mit

$$L_{W,kTypx} = L_{W,Typx} + 10 \lg (DTV_{Typx}) + K_{TN} \quad (39)$$

mit

x Platzhalter für „Leer“ (Anteil der Schiffe, die im Leerlauf liegen) oder „Hilf“ (Anteil der Schiffe, die mit abgeschalteter Hauptmaschine liegen)

$L_{W,Typx}$ längenbezogener Schalleistungspegel des Schiffstyp k

DTV_{Typx} durchschnittliche tägliche Verkehrsstärke des Schiffstyp k am Liegeplatz

K_{TN} Korrekturfaktor für Tag/Nachtbelegung

$$\text{Tag: } K_{TN} = 10 \lg \left(\frac{p_{Tag} * T_{TagTypx}}{16} \right) \quad (40)$$

$$\text{Nacht: } K_{TN} = 10 \lg \left(\frac{(1 - p_{Tag}) * T_{NachtTypx}}{8} \right) \quad (41)$$

mit

p_{Tag} prozentualer Anteil der Lieger, die am Tag liegen, dividiert durch 100
 (100% → $p_{Tag} = 1$; 1% → $p_{Tag} = 0,01$)

$T_{TagTypx}$ durchschnittliche Liegezeit für ein Schiff des Typs je Tag

$T_{NachtTypx}$ durchschnittliche Liegezeit für ein Schiff des Typs je Nacht

3.4.1.2 Längenbezogener Schalleistungspegel An-/Abfahrtsweg

Der längenbezogene Schalleistungspegel ist

$$L_{W,*} = 10 \lg \sum_k 10^{0,1 L_{W,kTyp}} + \frac{D_W}{2} + K_{vm} \quad (42)$$

mit

- $L_{W'kTyp}$ längenbezogener Schalleistungspegel für die Schiffe des Typs k nach Abschnitt 3.3.1.1.1 und den entsprechenden Werten der Tabelle 3
- D_W Korrektur für Wasserstraßentyp nach Tabelle 2
Anmerkung: Der Korrekturfaktor $D_W/2$ ist auf Grund der geringen Datenmenge, auf der er beruht, in der Aussage noch nicht 100%tig gesichert.
- K_{v_m} Zuschlag der Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit nach Abschnitt 3.3.1.1.3

3.4.2 Mittelungspegel, Liegestelle „langer gerader“ Bereich

Sofern nicht näher angebar, wird der Emissionsort in 4 m Höhe über der Wasseroberfläche entlang der Achse der Fahrrinne definiert.

$$L_m^* = L_{W'}^* - D_{sL} + D_{BML} + D_{BL} + D_E \quad (43)$$

mit

- $L_{W'}^*$ längenbezogener Schalleistungspegel der Liegestelle nach Abschnitt 3.4.1.1 bzw. des An-/Abfahrbereiches nach Abschnitt 3.4.1.2
- D_{sL} Pegeländerung zur Berücksichtigung des Abstandes, der Luftabsorption und der Ausbreitung über Wasser nach Abschnitt 3.3.1.2
- D_{BML} Pegeländerung zur Berücksichtigung der Boden- und Meteorologiedämpfung nach Abschnitt 3.3.1.3
- D_{BL} Pegeländerung durch topografische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen nach Abschnitt 3.2.1.4
- D_E Korrektur durch Einfachreflexion nach Abschnitt 3.3.1.7

3.5 Schleusen

Schleusen haben in etwa nachfolgenden Aufbau

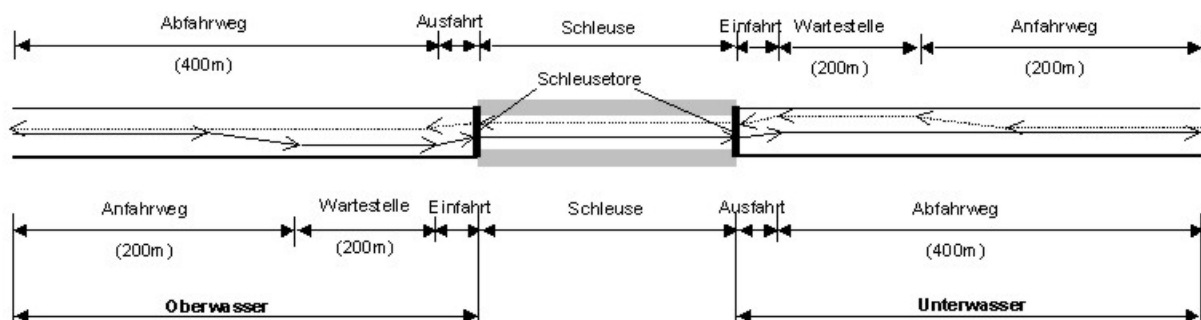


Abbildung 10 Struktureller Aufbau einer Schleuse

Bei der Ermittlung des Mittelungspegels sind als Bereiche zu berücksichtigen:

- *Anfahrweg im Oberwasser*
 Linienquelle, Berechnung nach Abschnitt 3.4 und den entsprechenden Teilabschnitten für An-/Abfahrweg

- **Wartestelle Oberwasser**
Linienquelle, Berechnung nach Abschnitt 3.4. und den entsprechenden Teilabschnitten für die Liegestelle direkt
- **Einfahrtweg Oberwasser**
Linienquelle, Berechnung nach

$$L_m^* = L_{mAn}^* - K_{Ein} \quad (44)$$

mit

L_{mAn}^* Mittelungspegel nach Abschnitt 3.4 (Anfahrweg)

K_{Ein} Korrekturfaktor für langsames Einfahren ($K_{Ein}=3dB(A)$)

Anmerkung: Der Korrekturfaktor ist auf Grund der geringen Datenmenge, auf der er beruht, in der Aussage noch nicht 100%tig gesichert.

- **Schleusentor Oberwasser**
Flächenquelle, rechnerisch behandelt als Punktquelle in der Mitte des Tores mit

$$L_m^* = L_W^{**} - D_s + D_{BM} + D_B + D_E + K_{NT} \quad (45)$$

mit

L_W^{**} Schalleistungspegel Schleusentor
sofern nicht näher angebar überschlägig nach Tabelle 5

Tabelle 5: Schalleistungspegel von Schleusentoren

Tortyp	L_W^{**} (dB(A))		
	klein	mittel	groß
Hubtor	90	102	106
Stemmtor	*1)	102	*1)
Drehsegmenttor	*1)	*1)	*1)

*1) derzeit noch keine Werte verfügbar

D_s Pegeländerung zur Berücksichtigung des Abstandes, der Luftabsorption und der Ausbreitung über Wasser nach Abschnitt 3.3.1.2

D_{BM} Pegeländerung zur Berücksichtigung der Boden- und Meteorologiedämpfung nach Abschnitt 3.3.1.3

D_B Pegeländerung durch topografische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen nach Abschnitt 3.2.1.4

D_E Korrektur durch Einfachreflexion nach Abschnitt 3.3.1.7

K_{NT} Korrekturfaktor für Tag-/Nachtanteil

$$K_{NT} = 10 \lg \left(\frac{p_{TTag} * T_{TTor}}{16} \right) \quad \text{für den Tag} \quad (46)$$

$$K_{NT} = 10 \lg \left(\frac{(1 - p_{TTag}) * T_{NTor}}{8} \right) \quad \text{für die Nacht} \quad (47)$$

mit

p_{TTag} prozentualer Anteil der Torbewegungen am Tag, dividiert durch 100
(100% → $p_{TTag} = 1$; 1% → $p_{TTag} = 0,01$)

T_{TTor} durchschnittliche tägliche Betriebszeit des Tores

T_{NTor} durchschnittliche nächtliche Betriebszeit des Tores

Anmerkung: Für Schleusentore ist die Datenmenge zur Angabe des Schalleistungspegels noch sehr gering. Die Werte der Tabelle 5 sind daher als Anhaltswerte zu verstehen. Wenn möglich, sollten vom Nutzer gewonnene Messergebnisse als Berechnungsbasis dienen

- **Schleuse**

Linienquelle, Berechnung nach Abschnitt 3.4.1.1

Alle Schiffe lassen ihre Hauptmaschine während des Schleusungsvorganges im Leerlauf arbeiten. Der Emissionsort wird in 4 m Höhe über der Wasseroberfläche (sofern auf Grund von Flottendaten nicht genauer angebbbar) in der Längsachse der Schleuse für drei Schleusungszustände in unterschiedlichen Schleusenhöhen angenommen:

- während des Schließens des Tores nach der Einfahrt auf der Einfahrtshöhe
- während der Schleusung auf halber Hubhöhe
- während des Öffnens des Tores vor Ausfahrt auf der Ausfahrtshöhe

Achtung: Damit ist der Gesamtpegel der Schleuse die energetische Summe aus den Pegeln der drei Teilbereiche.

Bei der Berechnung sind die Mehrfachreflexionen durch die Schleusenammer nach Abschnitt 3.3.1.5 zu berücksichtigen.

- **Tor Unterwasser:**
Flächenquelle, Berechnung wie Tor Oberwasser
- **Ausfahrweg:**
Linienquelle, Berechnung in Analogie zum Einfahrweg
- **Abfahrweg:**
Linienquelle, Berechnung in Analogie zum Anfahrweg.

Die Mittelungspegel für die Einzelbereiche sind gesondert zu ermitteln. Sollten weitere Geräuschquellen während des Betriebes der Schleuse vorhanden sein, die hier nicht aufgelistet sind (Signalglocken, Pumpen für Ausgleichsbecken usw.), so sind der jeweilige Schalleistungspegel zu ermitteln und die Beurteilungspegel für die Einzelquellen gemäß VDI 2714 und VDI 2720 zu bilden. Der Beurteilungspegel für die Schleuse ist die energetische Summe aller Einzelbeurteilungspegel

$$L_r = 10 \lg \left(\sum_{ij} 10^{0,1 \cdot L_{mi}^*} + \sum_{ij} 10^{0,1 \cdot L_{mj}} \right) \quad (48)$$

mit

L_{mi}^* Mittelungspegel gemäß dieser Anleitung
(Im Maximalfall: An- u. Abfahrweg, Ein- u. Ausfahrweg, beide Tore, 3 Schleusungszustände)

L_{mj} Mittelungspegel für weitere Schallquellen

Bei der Berechnung der Mittelungspegel nach Abschnitt 3.4 darf nur ein Verfahren Anwendung finden, entweder das Teilstückverfahren oder das Verfahren „langer gerader“ Bereich. Eine Kombination ist nicht zulässig.

3.6 Wendestellen / Koppelstellen

Wendestellen (vereinfachend für Wende- und Koppelstellen genannt) sind Flächenquellen. Der Emissionsort befindet sich im Mittelpunkt der Fläche, sofern nicht genauer bestimmbar in 4 m Höhe über der Wasseroberfläche unter der Annahme, daß die ganze Schallemission auf diesen konzentriert ist. Rechnerisch werden sie wie Punktschallquellen behandelt, wenn die Bedingung

$$l \leq 0,5 \cdot s \quad (49)$$

eingehalten ist (l = größte Ausdehnung; s = Abstand zwischen Mittelpunkt des Wendeplatzes und Immissionsort). Sonst muß die Wendefläche in j -Teile zerlegt werden. Der Beurteilungspegel ist

$$L_r = 10 \lg \sum_j 10^{L_{mj}} \quad (50)$$

mit

L_{mj} Mittelungspegel der Teilstücke

Der Mittelungspegel ist

$$L_m^{**} = L_w^{**} + 10 \lg(N * T_{WM}) - D_s + D_{BM} + D_B + D_E \quad (51)$$

mit

L_w^{**} Schalleistungspegel nach Tabelle 3, Spalte Wendestelle und analoger Anwendung von Abschnitt 3.3.1.1.1

T_{WM} durchschnittliche Zeit für ein Wendemanöver (Manöver sind je einzeln, Bremsen, Anfahren, etc.; Vorgabewert: 1min = 1/60 h)

N stündliche Anzahl an Wendemanövern aller Fracht-/Fahrgastschiffe

D_s Pegeländerung zur Berücksichtigung des Abstandes, der Luftabsorption und der Ausbreitung über Wasser nach Abschnitt 3.3.2.2

D_{BM} Pegeländerung zur Berücksichtigung der Boden- und Meteorologiedämpfung nach Abschnitt 3.3.2.3

D_B Pegeländerung durch topografische Gegebenheiten und bauliche Maßnahmen nach Abschnitt 3.3.2.4

D_E Korrektur durch Einfachreflexion nach Abschnitt 3.3.1.7

3.7 Häfen

Häfen werden aus verkehrstechnischer Sicht als eine Ansammlung von Liegestellen betrachtet. In dieser Anleitung werden nur die Schallanteile aus dieser Betrachtungsweise ermittelt. Ent- und Beladungsvorgänge werden nicht berücksichtigt. Eine Berechnung diesbezüglich hat mit Hilfe der entsprechenden Schalleistungspegel und der zugehörigen Normen und Richtlinien (u. a. VDI 2714 und VDI 2720) zu erfolgen.

Am maßgeblichen Immissionsort sind die einzelnen Beurteilungspegel energetisch zu addieren und damit die Gesamtbelastung anzugeben.

Der verkehrlich bedingte Mittelungspegel (entspricht dem Beurteilungspegel) ist die Summe der Einzelmittelungspegel aller Liegestellen, An- und Abfahrwege

$$L_{rv}^* = 10 \lg \sum_j 10^{0,1 L_{mj}^*} \quad (52)$$

mit

L_{mj}^* Mittelungspegel einer Liegestelle oder eines An-/Abfahrweges nach 3.4

3.8 Zusammenwirken von Wasserstraßen und Liege-/Wartestellen oder Wendepätzen oder Häfen

Beim Zusammenwirken mehrerer Emittenten ist der resultierende Beurteilungspegel nach Gleichung 1 zu berechnen.

4. Möglichkeiten zur Minderung von Lärmeinwirkungen

Wasserstraßenplanung

Schon beim Linienentwurf und der Voruntersuchung müssen Lärmschutzüberlegungen einsetzen. Soweit nicht andere Belange entgegenstehen, ist ein möglichst großer Abstand zwischen (geplanter) Wasserstraße und schutzbedürftigen Nutzungen anzustreben. Dabei ist allerdings zu beachten, daß erst eine Abstandsverdoppelung eine Pegelminderung um ca. 3 dB(A) bewirkt. Eine weitere Minderung durch Verschieben der Trasse ist demnach um so geringer, je größer der Abstand bereits ist. Durch Ausnutzung der Abschirmwirkung bestehender Bebauung und natürlicher Hindernisse (Bodenerhebungen) lassen sich zusätzliche Verbesserungen erzielen.

Stehen für eine geplante Wasserstraße verschiedene Varianten zur Diskussion, von denen jede schutzbedürftige Nutzungen durchschneidet oder berührt, ist unbeschadet der Abwägung mit anderen Belangen auch zu prüfen, welches Gebiet größeren Schutzanspruch hat und bei welcher Variante die Geräuschbelastung am geringsten ist. Nach Möglichkeit sind neue Schallquellen (geplante Verkehrswege) neben vorhandene Schallquellen zu legen. Durch Bündelung von Verkehrswegen können die Belastungen auf engeren Raum zusammengefaßt werden und Lärmschutzmaßnahmen wirtschaftlicher zur Anwendung kommen.

Unter Berücksichtigung von Topographie, Höhe und Entfernung der Bebauung usw. ist zu prüfen, ob die Wasserstraße besser in Hoch-, Gleich- oder Tieflage geführt werden sollte.

Wasserstraßen in Tieflage können schalltechnisch besonders bei niedriger Bebauung günstig sein, weil die Einschnittsböschung oder die Stützmauer als Lärmschirm wirkt.

Schnelle Schallpegelanstiege, z.B. durch bremsende und anfahrende Wasserfahrzeuge, können störend wirken.

Bautechnische Maßnahmen an Wasserstraßen und Gebäuden

Lärmschutzmaßnahmen

Lärmschutzmaßnahmen an der Wasserstraße (aktive Maßnahmen) sind:

- Lärmschutzwälle
- Lärmschutzwände
- Einschnitts- und Troglagen, Hochlagen

Bei entsprechender Anlage können auch Dämme schallmindernd wirken

Vielfach bietet sich auch die Kombination verschiedener Schutzmaßnahmen an.

Als Beispiel sind in Abbildung 11 verschiedene Möglichkeiten des Lärmschutzes miteinander verglichen. Mit allen vier gezeigten Maßnahmen läßt sich für eine dreigeschossige Bebauung, die einen Abstand von 60 m von einer Fahrrinne hat, etwa der gleiche Lärmschutz erreichen.

Durch Abschirmeinrichtungen kann die Schallimmission in günstigen Fällen um bis zu 15 dB(A) vermindert werden. Abschirmeinrichtungen unter 4 m Höhe sind nicht sinnvoll. Sie sind um so wirksamer, je höher und je länger sie sind, und je näher sie sich an der Wasserstraße befinden. Wenn Abschirmeinrichtungen nahe an der Wasserstraße nicht möglich sind, ist zu prüfen, ob sie nicht nahe am Schutzobjekt angeordnet werden können. Bereits bei den Vorüberlegungen ist zu beachten, daß die notwendige Mindestlänge einer Abschirmeinrichtung ein Mehrfaches

ihrer Abstandes vom zu schützenden Objekt betragen muß. Außerdem muß die Abschirmeinrichtung mindestens die Sichtverbindung zwischen dem zu schützenden Immissionsort und der Straße unterbrechen.

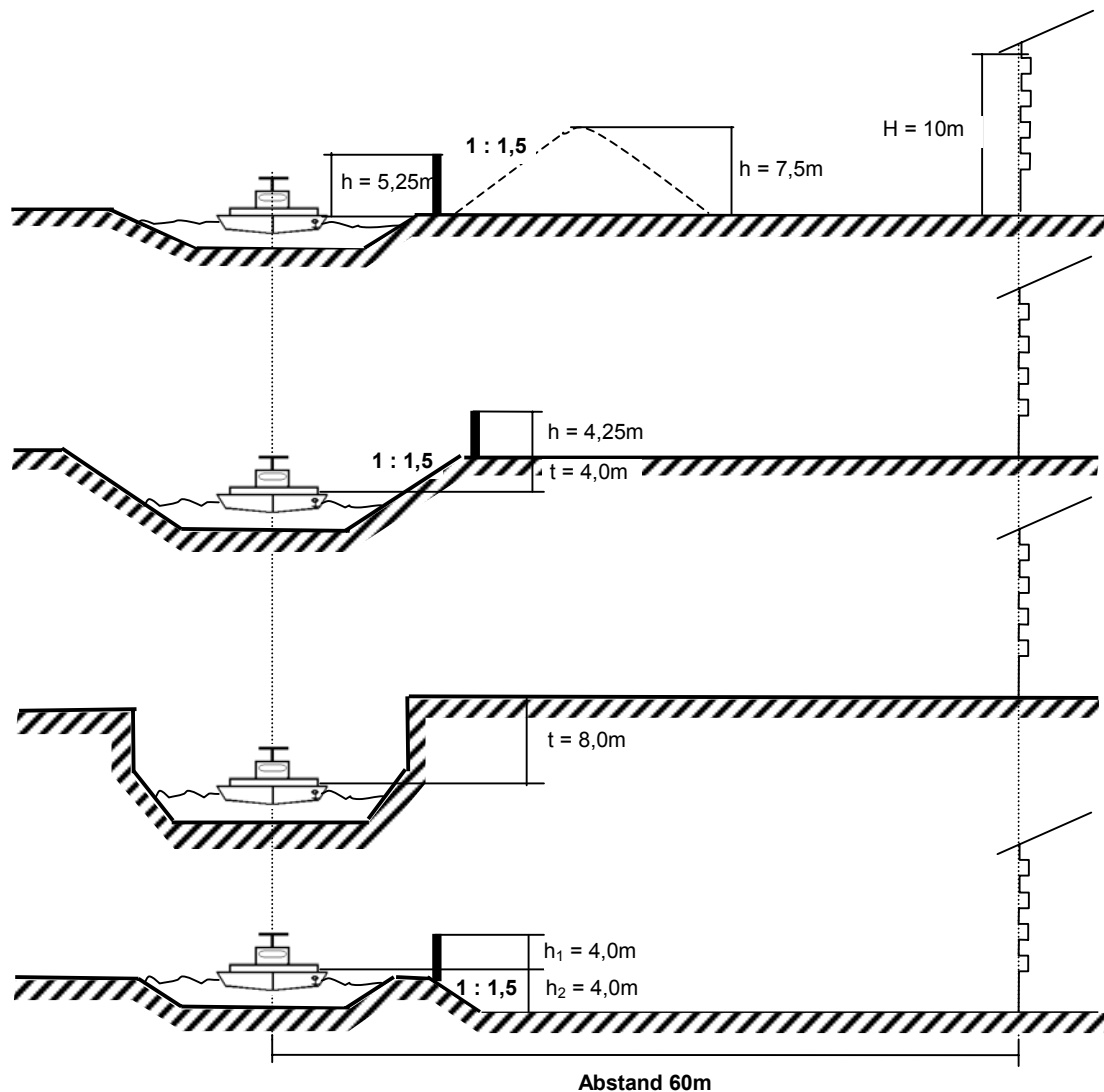


Abbildung 11 Möglichkeiten für Lärmschutzanordnungen

Lärmschutzanlagen sollen unauffällig in das Orts- und Landschaftsbild eingefügt werden. Das wird am ehesten mit natürlichen und naturnahen Materialien, Formen und Farben erreicht². Bei der Wahl der Lärmschutzanlage sollte daher einer naturnahen Lösung stets der Vorzug gegeben werden. Somit ist von folgender Rangfolge auszugehen:

- Wall
- Wall mit aufgesetzter Wand
- Wall mit Stützmauer
- Steilwall
- Lärmschutzwand.

Bei der Planung und Ausführung von Lärmschutzeinrichtungen müssen

² "Empfehlungen für die Gestaltung von Lärmschutzanlagen an Straßen" - Ausgabe 1985 - Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Alfred-Schütte-Allee 10, 50679 Köln

- die Einfügung in das Orts- und Landschaftsbild
 - ökologische Gesichtspunkte
 - akustische Eigenschaften (Schalldämmung, Absorption)
 - Standsicherheit (Eigengewicht, Windlast)
 - bautechnische Ausbildung (Konstruktion, Mindestabstand vom Verkehrsraum, Materialeigenschaften, Unterhaltung) und
 - verkehrliche, betriebliche und wirtschaftliche Gesichtspunkte
- beachtet werden, die in den RiZaK-88, den ZTV-Lsw-88 und den ZTVE-StB 76 dargelegt sind.

Aus Diagrammen V wäre mit 6 m Wandhöhe bei 100 m Entfernung eine Lärminderung von vielleicht 9,7 dB(A) zu erreichen. Im Interesse des Landschaftsschutzes sind solche Wände nicht zu empfehlen.

Wegen weiterer Gesichtspunkte bei der Anordnung von Schallschutzwänden wird auf die RLS-90 verwiesen.

Gebäude

Verkehrsgerausche können auch durch Ausnutzung günstiger städtebaulicher und bautechnischer Gegebenheiten gemindert werden.

Geschlossene Bauweise, Anordnung der Gebäude parallel zur Wasserstraße

Offene Bauweise (Einzel- oder Doppelhäuser, Hausgruppen bis 50 m Länge) verhindert den Durchtritt des Lärms durch die Baulücken nicht und läßt daher keine ruhigen Zonen entstehen.

Eine geschlossene Bebauung wirkt als Lärmschirm und schützt die dahinterliegenden Flächen und Gebäude um so besser, je länger und höher sie ist. Durchgehende Öffnungen, wie z.B. offene Hofdurchfahrten, sollten daher möglichst vermieden werden. Vorteilhafter ist die rundum geschlossene Blockbebauung mit ruhigen Innenhöfen ohne Stellplätze, bei der die von der Wasserstraße abgewandten Räume geschützt sind.

Zeilenbauweise mit quer oder schräg zur Wasserstraßenachse angeordneten Baublöcken ist schalltechnisch ungünstig, da keine Gebäudeseite geschützt ist.

Lärmschutzmaßnahmen an Gebäuden

Der Schallpegel in Aufenthaltsräumen kann durch entsprechende Schalldämmung der Außenbauteile (Fenster, Wände, Dächer) niedrig gehalten werden (passiver Lärmschutz). Art und Umfang der notwendigen Maßnahmen sowie die erforderliche Schalldämmung von Fenstern (einschließlich Rolladenkästen und Lüftungseinrichtungen), Außenwänden und Dächern und ggf. Geschoßdecken können den einschlägigen Regelwerken entnommen werden.

Verkehrsrechtliche Maßnahmen

Unter verkehrsrechtlichen Maßnahmen sind Geschwindigkeitsbegrenzungen und Nachtfahrverbote zu verstehen.

Die durch Geschwindigkeitsbeschränkungen zu erzielenden Pegelminderungen können Diagramm XI entnommen werden.

5. Berechnungsbeispiele

5.1 Berechnungsbeispiel für Kanäle

Aufgabe: Gesucht ist die Schallimmission seitens der Schifffahrt an einem Haus, das 35 m höher liegt, als die Wasserfläche, in 120 m Entfernung von der Kanalachse. Es verkehren 40 Schiffe (alle >800TT) im Laufe des Tages, mit 12 km/h. Die Maschinenräume aller Schiffe sind geschlossen.

Der Kanal ist 60m breit.

Festlegungen:

- Gerechnet wird nach dem Verfahren „lange gerade Fahrrinne“ (Modell „lange gleichmäßig abstrahlende Linie“)
- Formeln

$$L_r = L_{W'} - D_{s\perp} + D_{BM\perp} + D_{B\perp} + D_E$$

$$D_{s\perp} = 10\lg(s_{\perp}) + 5 + D_{AL\perp} - D_{AW\perp}$$

$$L_{W'} = L_{W'kTyp} + D_W + D_V + K_{vm}$$

$$L_{W'kTyp} = L_{W'Typ} + 10\lg(M_{Typ}) + K_{MA}$$

Nicht berücksichtigte Größen:

- Da die Aufgabenstellung sie nicht vorsieht wird ohne Dämpfung für Abschirmung, Reflexionen und Spiegelungen gearbeitet.
- Da die Rechnung für den Kanal stattfindet, D_W ; K_{vm} ohne Bedeutung
- Wegen $v_s=12\text{km/h}$ $D_V = 0$

Größen, die gleich 0 sind:

- $D_{B\perp}$; D_E da nicht in Aufgabenstellung enthalten
- D_W ; D_V ; K_{vm} auf Grund der Rechnung für den Kanal
- K_{MA} auf Grund der Aufgabenstellung (alle Maschinenräume geschlossen)

Berechnung

1. Schritt: Aus Diagramm X entnimmt man den Schalleistungspegel für die Wasserstraße unter den Bedingungen $v_s=12\text{ km/h}$ und 1,67 Schiffe/Stunde zu $L_W=L_{W'kTYP}= 67,6\text{ dB(A)}$

2. Schritt: Umrechnung auf 120 m Abstand ($s_{0\perp}=s_{ges0\perp}$)

An Hand des Umrechnungsblattes für Entfernungen errechnet sich

$s_{\perp}=s_{ges\perp}$	125m
$s_{L\perp}$	93,75m
$s_{W\perp}$	31,25m
Diagramm I entnimmt man für die Entfernungskorrektur	26,0 dB(A)
Diagramm II entnimmt man $D_{AL\perp}$	0,1 dB(A)
Diagramm III entnimmt man $D_{AW\perp}$	1,2 dB(A)

Damit errechnet sich $D_{s\perp}$ zu 24,9dB(A)

3. Schritt: Die mittlere Höhe des Schallstrahls über Grund ist nach Abbildung 2 etwa 15 m.

Diagramm IV liefert dazu die Meteorologie-Dämpfung (für $0,5*(35-4)\text{m}$) -0,8 dB(A)

Damit ergibt sich als schiffahrtsbedingte Immission (Zusatzbelastung)

$$67,6 - 24,9 - 0,8 = 41,9\text{ dB(A)} \rightarrow \mathbf{42\text{ dB(A)}}$$

Dieser Wert muß nun nach Diagramm XIV mit dem Hintergrundlärm zusammengeführt werden.

Der Hintergrundlärm (Vorbelastung) sei zu 45 dB(A) bestimmt worden.
Für die Differenz $45 - 42 = 3$ ergibt Diagramm XV als Korrekturwert 1,8dB(A)

Dieser Wert ist dem größeren Pegel, also den 45 dB(A), hinzuzuaddieren.

Die Gesamtimmission ("Summen-Beurteilungspegel") beträgt 46,8 dB(A) → 47dB(A).

Man könnte diese Berechnung auch nach dem "Teilstück-Verfahren" unter Verwendung der Diagramme VI und IX durchführen, indem man die Wasserstraße in eine Reihe von Teilstücken zerlegt, z.B. in ein 6 – 10.

5.2 Berechnungsbeispiel für Flüsse

Der Rhein hat bei Weißenthurm eine Geschwindigkeit von 7 km/h, die Schiffe fahren mit 15 km/h relativ zum Wasser. Mit diesen Annahmen wird die Aufgabe aus 5.1. ergänzt, wohl wissend, dass der Rhein deutlich breiter ist, zur Verdeutlichung des Sachverhaltes genügt aber die im Beispiel unter Pkt. 5.1 gemachte Angabe.

Das Ergebnis für die schiffsbedingte Immission aus Pkt. 5.1 muß jetzt noch um die Größen

- für den Gewässertyp,
- die Berücksichtigung der von 12km/h (gleich Grundgeschwindigkeit in ABSAW) abweichenden Schiffsgeschwindigkeit relativ zum Wasser und
- die Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße korrigiert werden.

Tabelle 2 zeigt für den Gewässertyp einen Wert D_w	5,3 dB(A)
Diagramm XI ergibt für die Geschwindigkeit des Schiffes von 15km/h für D_v	1,0 dB(A)
Diagramm XIII Fall: C ergibt für gleich viele Berg- und Talfahrer für K_{vm}	1,1 dB(A)

Das Ergebnis für den Immissionspegel aus dem Beispiel in Pkt. 5.1 müßte in Summa korrigiert werden um 7,4dB(A) d.h.

der schiffverkehrsbedingte Immissionspegel im frei fließenden Gewässer beträgt hier 49,3 dB(A)
→ **49dB(A)**

Mit dem Hintergrundpegel des Beispiels aus Pkt. 5.1 würde in Diagramm XIV jetzt eine Differenz von 4 dB(A) zu korrigieren sein, d.h. zum größeren Pegel, nun der des Schiffsverkehrs (49,3dB(A) gegenüber 45dB(A) Hintergrund) sind 1,5 dB(A) zu addieren.

Die Gesamtimmission beträgt unter diesen Bedingungen 50,8dB(A) → 51dB(A)

Literaturverzeichnis

Autorenkollektiv: Fahrdynamik von Binnenschiffen – Allg.Einführung und Folgerungen aus Schifffahrtsversuchen, Verein für Binnenschifffahrt und Wasserstraßen e.V. , 11/92

Autorenkollektiv : UVU zur Anpassung der Fahrrinne der Unter- und Außenelbe an die Containerschifffahrt, Germanischer Lloyd, Materialband Luft, Teil B, 4/96

Bauer,H. Müller,J.: Schallausbreitung über Wasser, - Lärmbekämpfung Forschungsbericht 105 02 605 im Auftrag des Umweltbundesamtes, Rheinisch-Westfälischer TÜV, November 1981

Bonk,M, Maire,W. Hoppmann,G: Immissionsgutachten zum Ausbau des Mittellandkanals in der Stadtstrecke Hannover, Planfeststellungsverfahren „Vinnhorster Bogen“, Garbsen, 11/99

Bramigk, D.: Geräuschemissionen der motorisierten Sport- und Freizeitschifffahrt auf Binnengewässern, Gesellschaft für Lärmbekämpfung e.V., 7/80

Bramigk, D.: Ergänzungsmessungen an Sonderwasserfahrzeugen, Gesellschaft für Lärmbekämpfung e.V., 8/80

Curt-Risch-Institut für Dynamik, Schall- und Meßtechnik, Universität Hannover: Bericht über die Ergebnisse der Schwingungs- und Schallmessung am Mittellandkanal (Rusbend), Bericht Nr. CRI-A-18/1991

Deutsche Bahn AG: Schienenverkehrslärm, Stand April1997

Findeis, H.; Dietz,H: Geräuschemissionen und –immissionen durch den Motorbootverkehr , Landesumweltamt Brandenburg, Berichte aus der Arbeit 1996

Hillen, R.: Einige Ergebnisse zur Geräusch-Emission und immission von Wasserstraßen, Vortrag auf dem Kolloquium „Erfassung des schifffahrtsbedingten Einflusses auf das Schutzgut Luft“, Berlin 21./22.Februar 2000

Heckel,M.; Müller,H.A.: Taschenbuch der Akustik, 2. Auflage, Springer Verlag, 1995

International Navigation Association: Inland Waterway vessels and pollution, Repeort of working Group n°14 of the Permanent Technical Committee I, 1999

Kliche, W, Wittkowski, G.: Messergebniss der Vorbeifahrtspegel von Binnenschiffen, unveröffentlichtes Zahlenmaterial der Bundesanstalt für Gewässerkunde, 1996-2000

Kliche, W.: Neubau Schiffshebewerk Niederfinow, Einschätzung der betriebsbedingten Lärmbelastung für die Anwohner, Bericht Nr. 1158 der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Auftrag des Wasserstraßen-Neubauamtes Berlin, Berlin, August 1997, November 2000

Kliche, W, Wittkowski, G.: Ergebnisse der stichprobenartigen Schallpegelimmissionsmessungen vor und im Kloster Neustadt/Main, Bericht Nr. 1142 der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Auftrag des Wasserstraßen-Neubauamtes Aschaffenburg, Berlin, März 1998,

Kliche, W.: Einfluß von Geschwindigkeit, Beladung und weiterer Komponenten auf den Schallemissionspegel von Binnenschiffen, Vortrag auf dem Kolloquium „Erfassung des schiffahrtsbedingten Einflusses auf das Schutzgut Luft“, Berlin 21./22.Februar 2000

Köckritz, S.: Neubau der Schleuse Spandau – Untersuchung der zu erwartenden Lärmbelastung, KSZ Ingenieurbüro GmbH, 9/96

Köckritz, S.: Neubau der Schleuse Kleinmachnow – Abschätzung der betriebsbedingten Schallimmission für die Anwohner, KSZ Ingenieurbüro GmbH, 11/96

König, B.; Wieland, S.: Zusammenstellung von Ergebnissen der Messungen am Rhein-Herne-Kanal und am Wesel-Datteln-Kanal vom 16.-18.101995, unveröffentlichtes Zahlenmaterial der Bundesanstalt für Gewässerkunde, Berlin 1995

König, B.; Wieland, S. und Reißaus, K.: Schiffahrtsbedingte Lärmimmission an Bundeswasserstraßen am Beispiel des Sacrow – Paretzer – Kanals, Bericht Nr. 0920 der Bundesanstalt für Gewässerkunde im Auftrag des Wasserstraßen-Neubauamtes Berlin, Berlin, August 1995

Krisch, H. : Schallemissionen durch Binnengüterschiffe, Bau/Intern 9/85

Merbt, H. und Zurnatzis: Probleme der Schiffsakustik anhand ausgewählter Beispiele, Schiff & Hafen/ Kommandobrücke, Heft 1/1978, 30. Jahrgang

Saalfeld, M. und Mühle, Ch.: Lärminderung auf Schiffen, Zusammenstellung erprobter Maßnahmen und Berechnungsverfahren, Müller BBM GmbH, Forschungsbericht Nr. 368 im Auftrag der Bundesanstalt für Arbeitsschutz, Dortmund 1983

Sander, E.L.: A Comparative Study of Sound Propagation over Land and Water, (Vergleichsstudie zur Schallausbreitung, über Land und Wasser), MS-Arbeit an der University of Illinois in Urbana-Champaign, USA, 1978

Schimke, H.: Schallemission von Sportbooten auf Wasserstraßen, Vortrag auf dem Kolloquium „Erfassung des schiffahrtsbedingten Einflusses auf das Schutzgut Luft“, Berlin 21./22.Februar 2000

Schultz, F.: Messung von Schallemissionen von Sportbooten, Fahrgast- und Binnenschiffen unter Berücksichtigung spezieller Parameter an ausgewählten Meßpunkten von Bundeswasserstraßen, Prüfbericht 153/99, Im Auftrag der Bundesanstalt für Gewässerkunde, GEBRA mbH, 1999

Selzer, E. : Städtebaulicher Schallschutz, Bauverlag GmbH, , 2. Auflage 1982

Steven, H. : Geräuschuntersuchungen an Motorbooten und Außenbordmotoren, FIGE GmbH Aachen, 1/84

Versuchsanstalt für Binnenschiffbau e.V. Duisburg: Ermittlung der Außengeräusche moderner Binnenschiffe mit gleichzeitiger Überprüfung einer neuartigen Meßmethode, Bericht 902, 5/78

Diagramme

H = 0m
H = 15m
H = 30m

Diagramm I

Abstandskorrektur "lange gerade" Fahrhinne
in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort

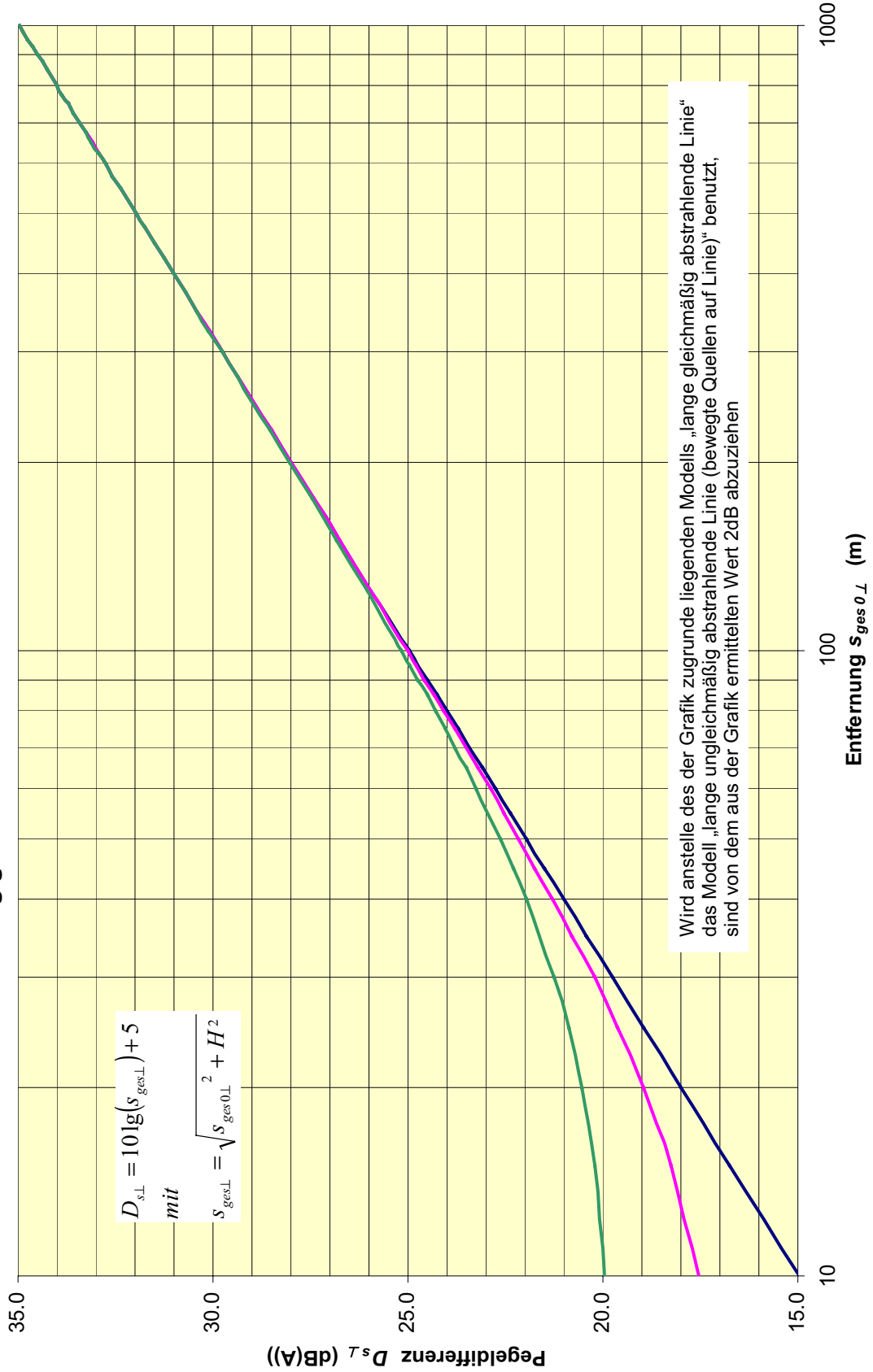


Diagramm II

Korrektur für Luftabsorption über Land "lange gerade" Fahrhinne
 $H = 0 \dots 30\text{m}$

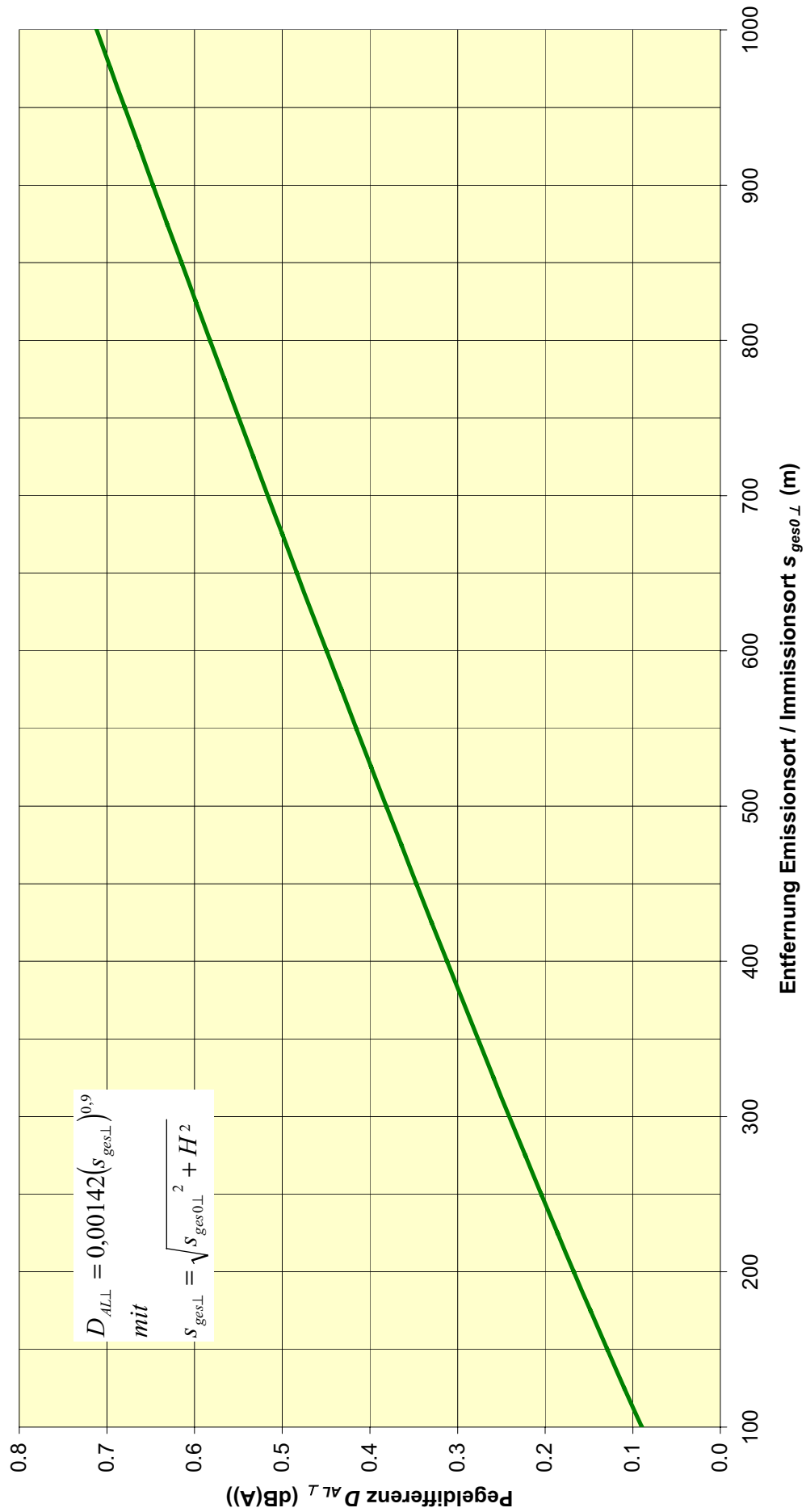


Diagramm III

Korrektur Ausbreitung über Wasser "lange gerade" Fahrrinne
in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort

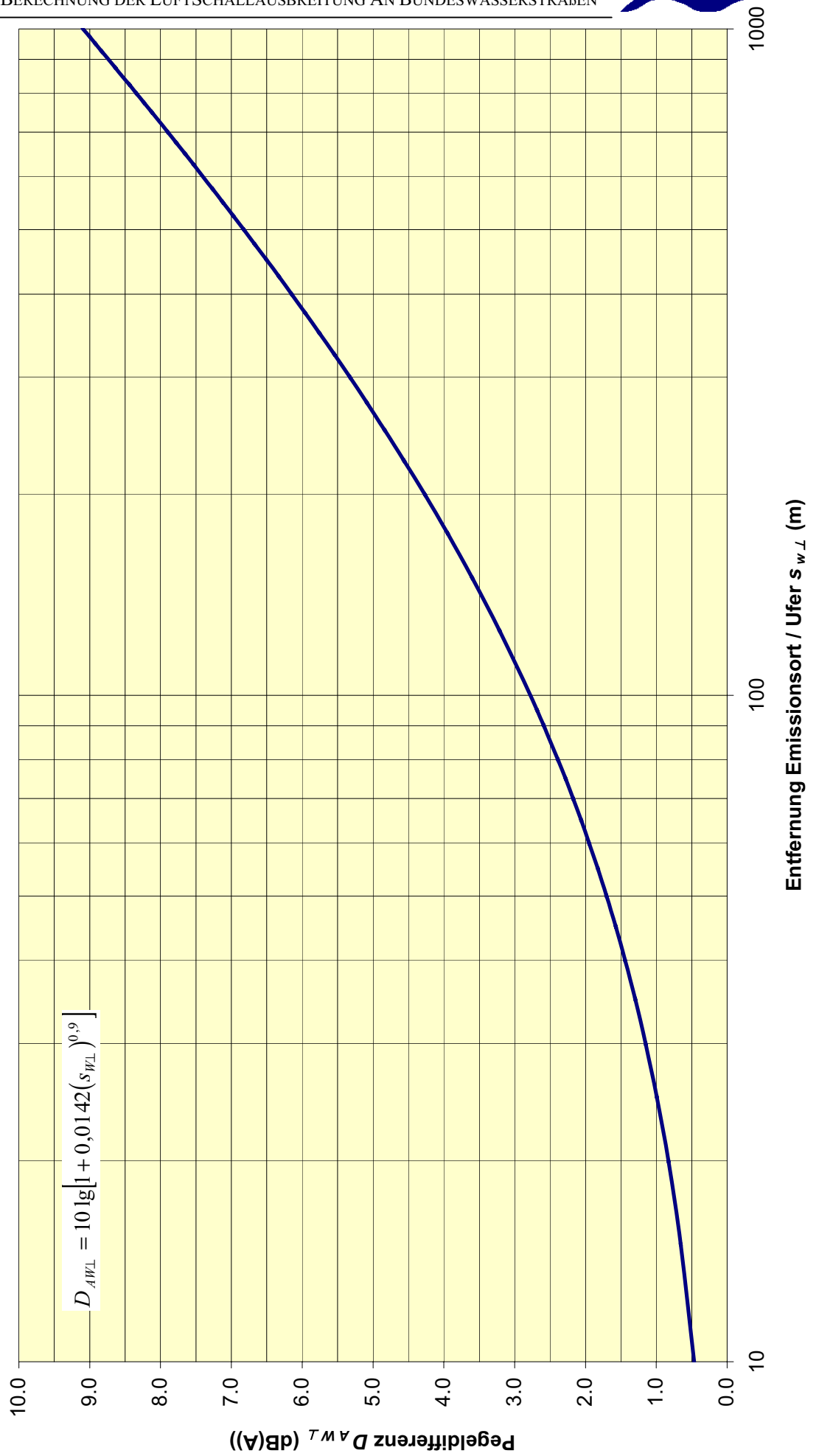


Diagramm IV

Korrekturfaktor für Boden- und Meteorologiedämpfung über Land "lange gerade" Fahrrinne
in Abhängigkeit von der mittleren Höhe

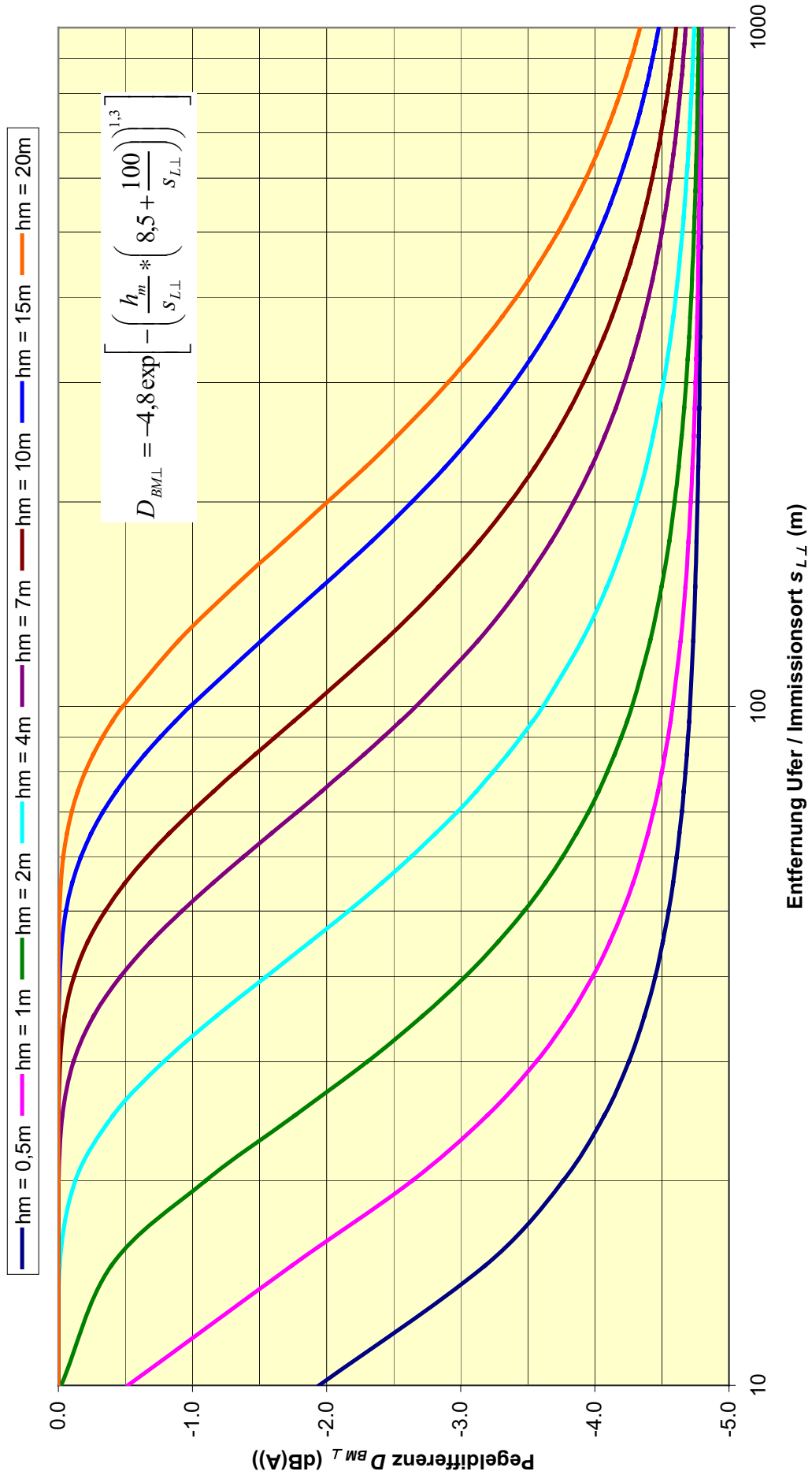
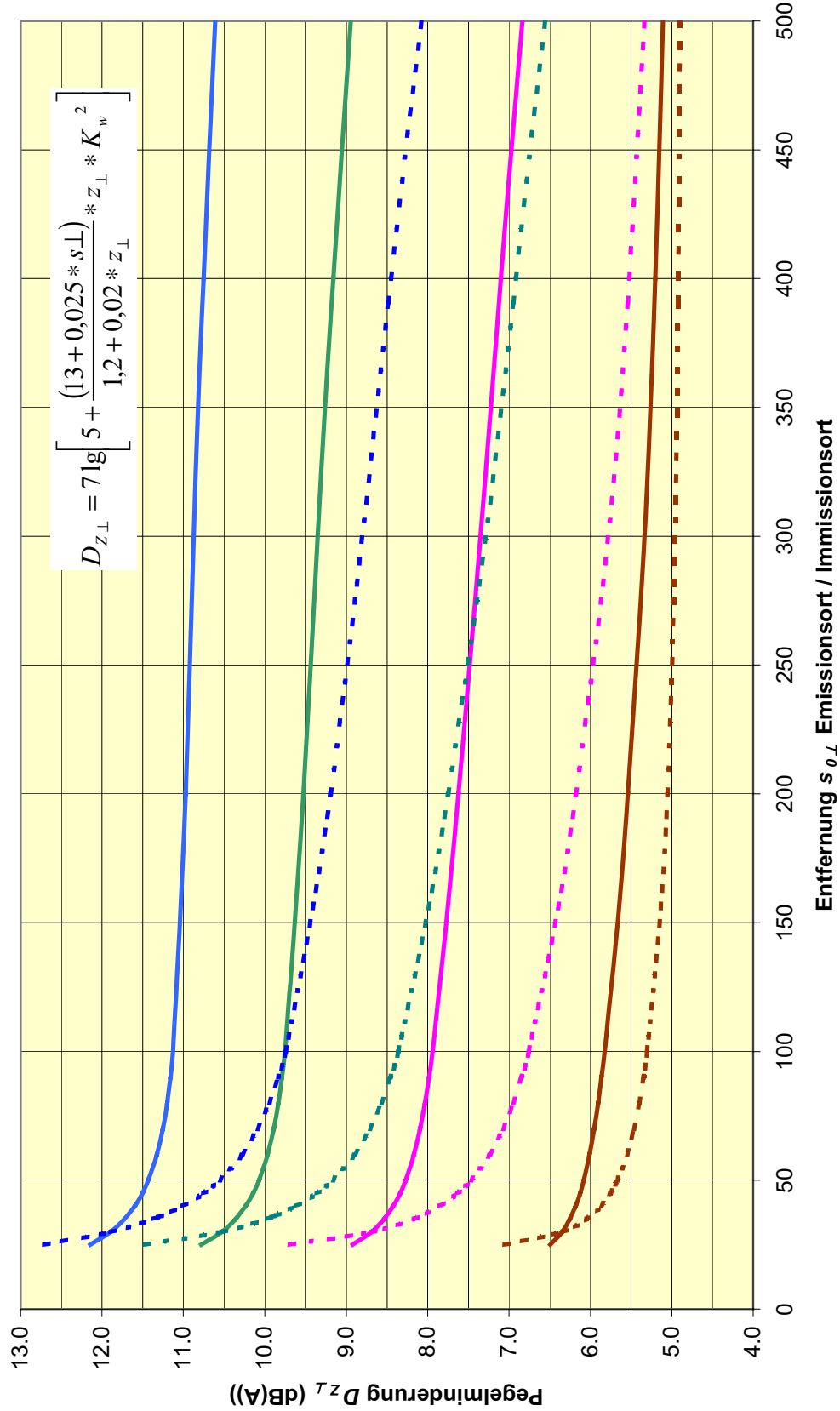


Diagramm V

Pegelminderung durch Abschirmung bei einer langen, parallelen Wand;
Verfahren "lange gerade Fahrinne"



- H = 0m
- H = 15m
- H = 30m

Abstandskorrektur Teilstückverfahren
in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort

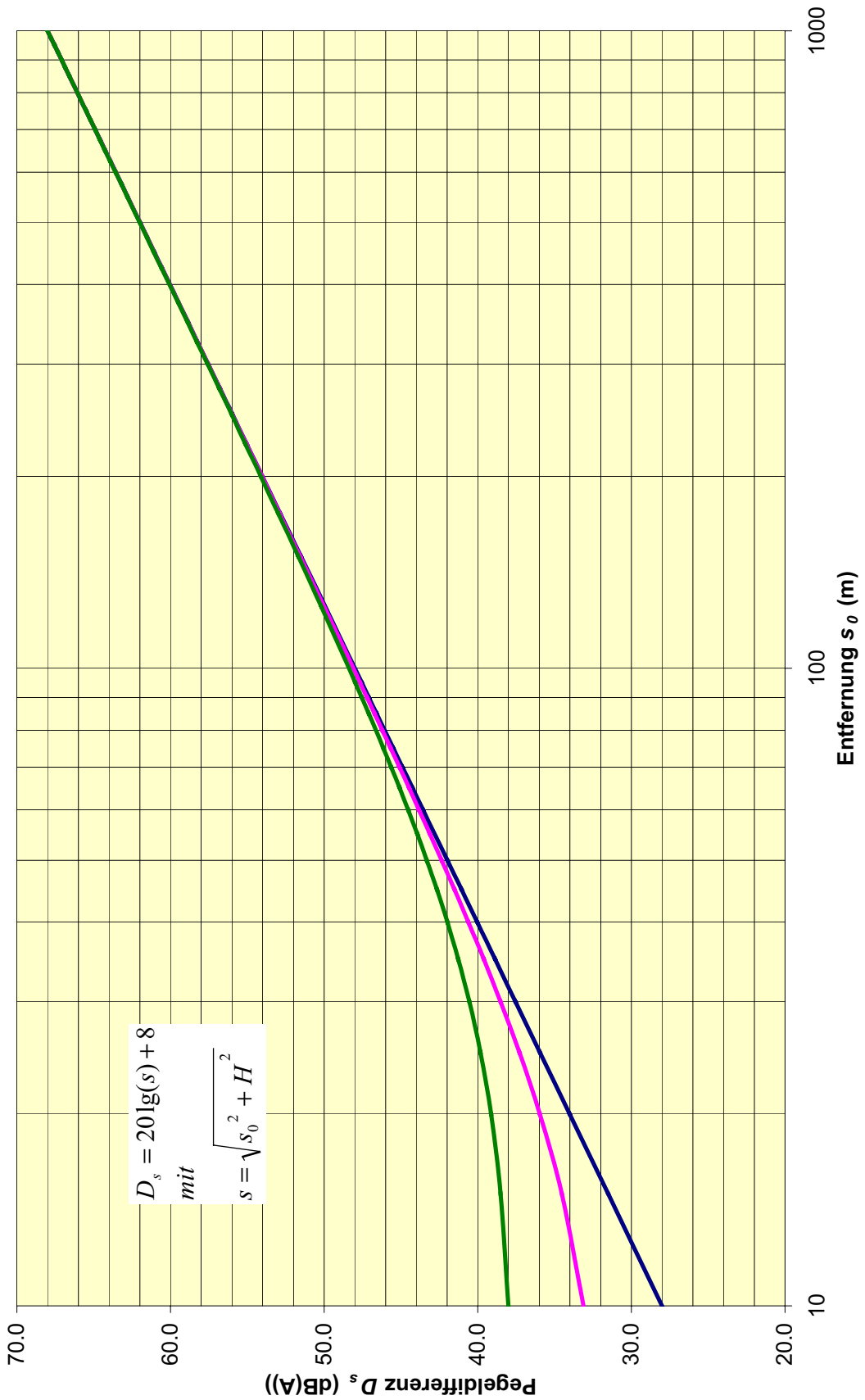


Diagramm VI

Diagramm VII

Korrektur für Luftabsorption über Land Teilstückverfahren
 $H = 0 \dots 30\text{m}$

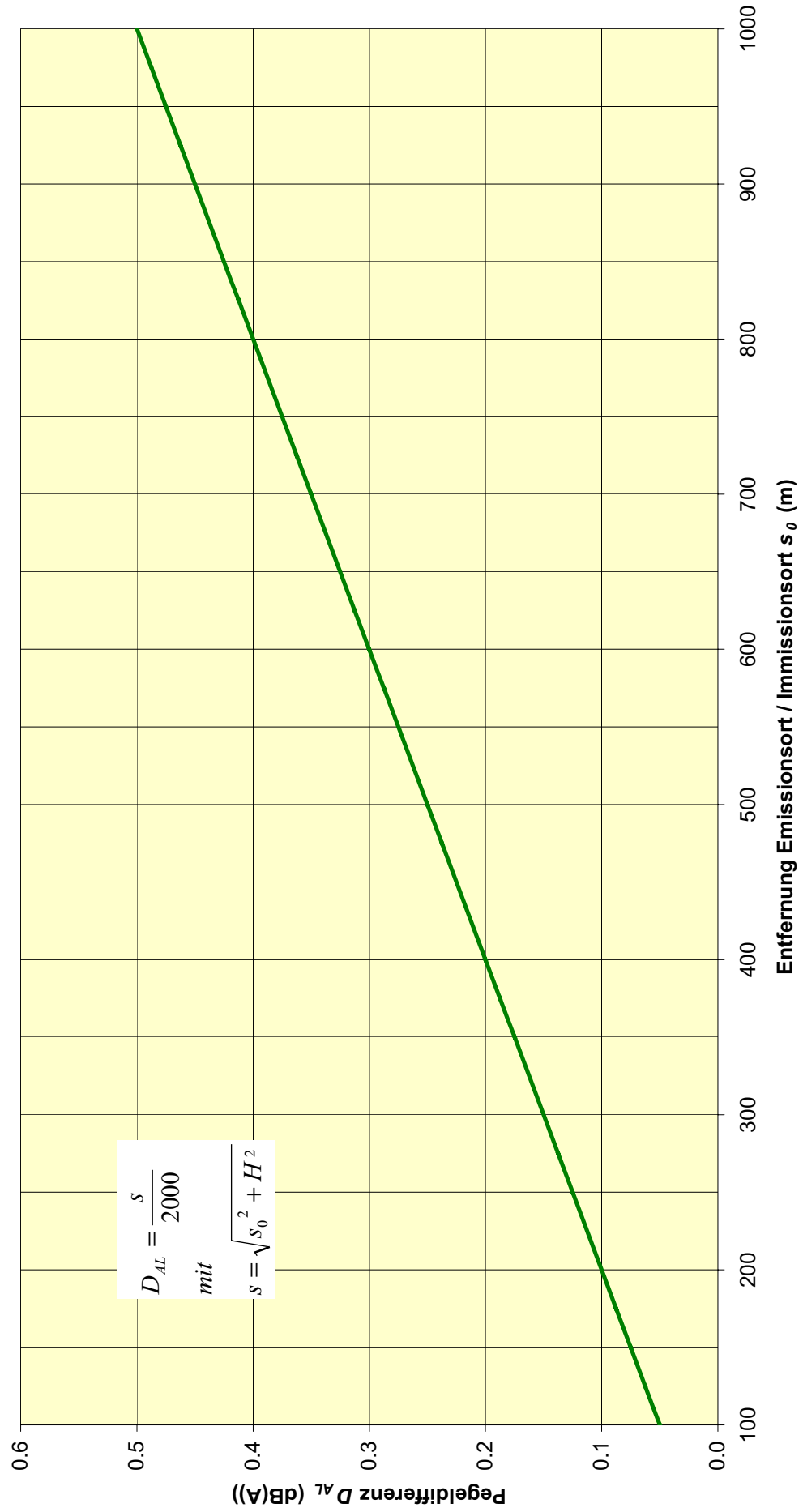


Diagramm VIII

Korrektur Ausbreitung über Wasser Teilstückverfahren
in Abhängigkeit der Höhendifferenz Immissionsort / Emissionsort

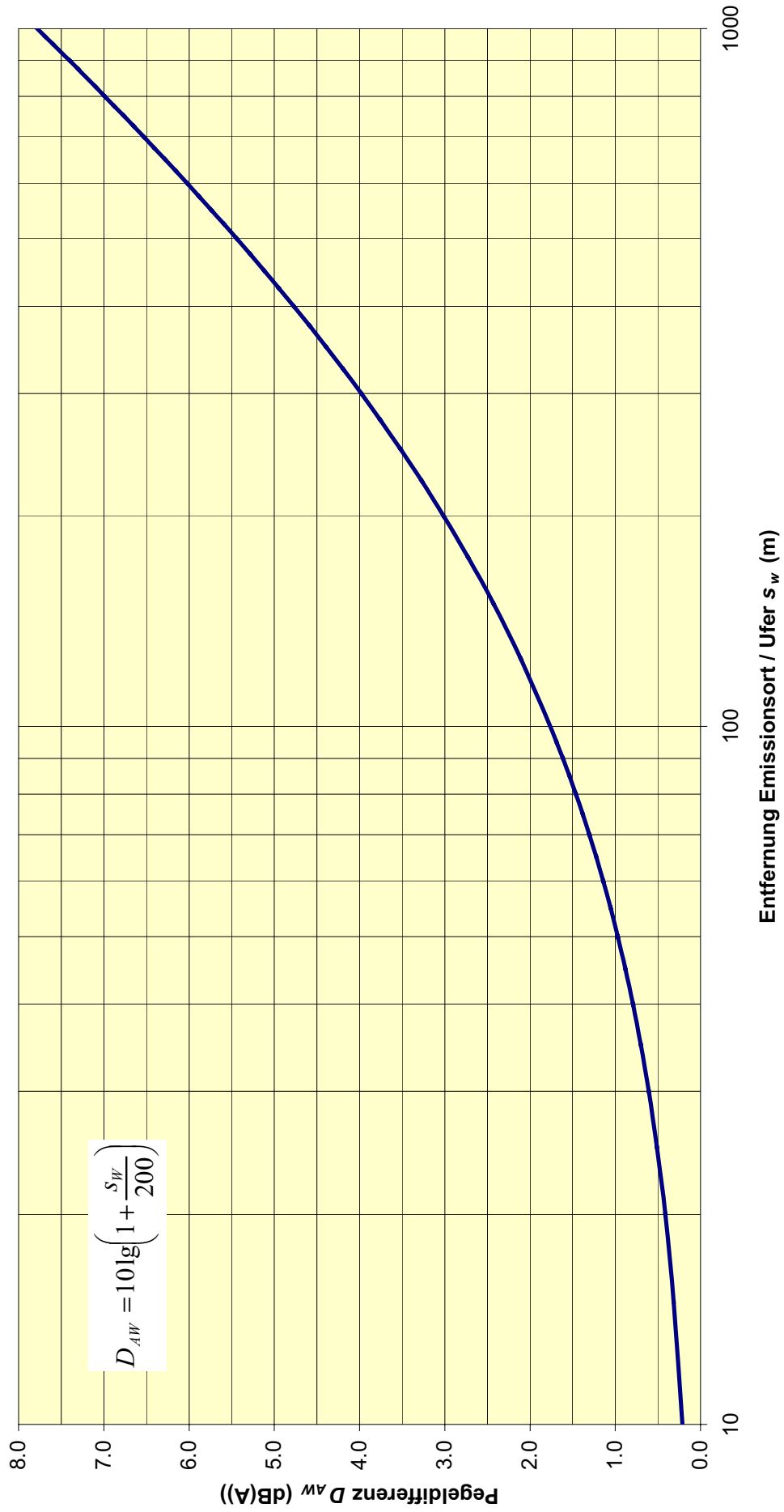
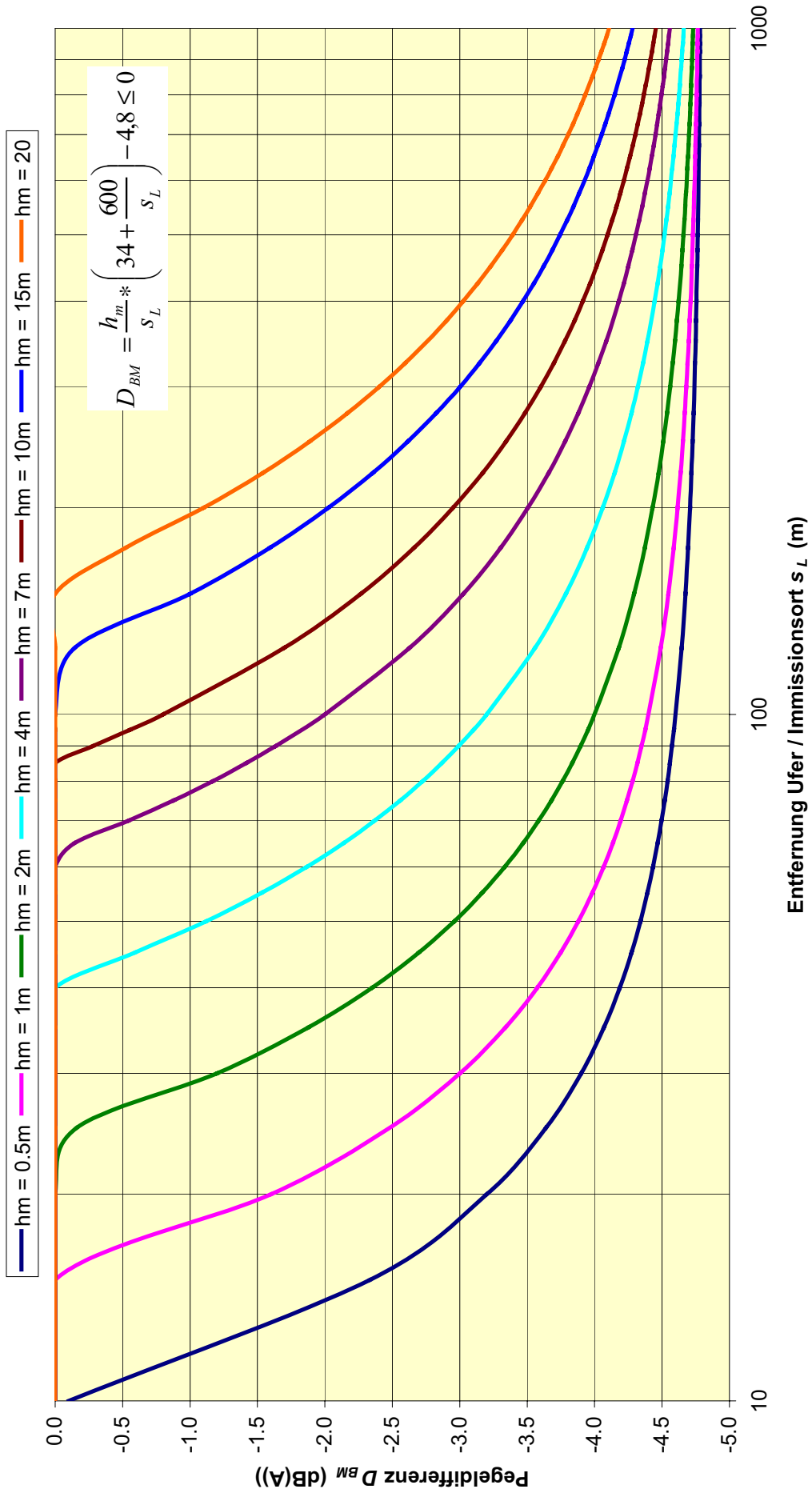


Diagramm IX

Korrekturfaktor für Boden- und Meteorologiedämpfung über Land Teilstückverfahren
in Abhängigkeit von der mittleren Höhe



Wand (m)	Abstand (m)
2	10
4	10
6	10
8	10
2	20
4	20
6	20
8	20

Pegelminderung durch Abschirmung bei einer langen, parallelen Wand;
Teilstückverfahren

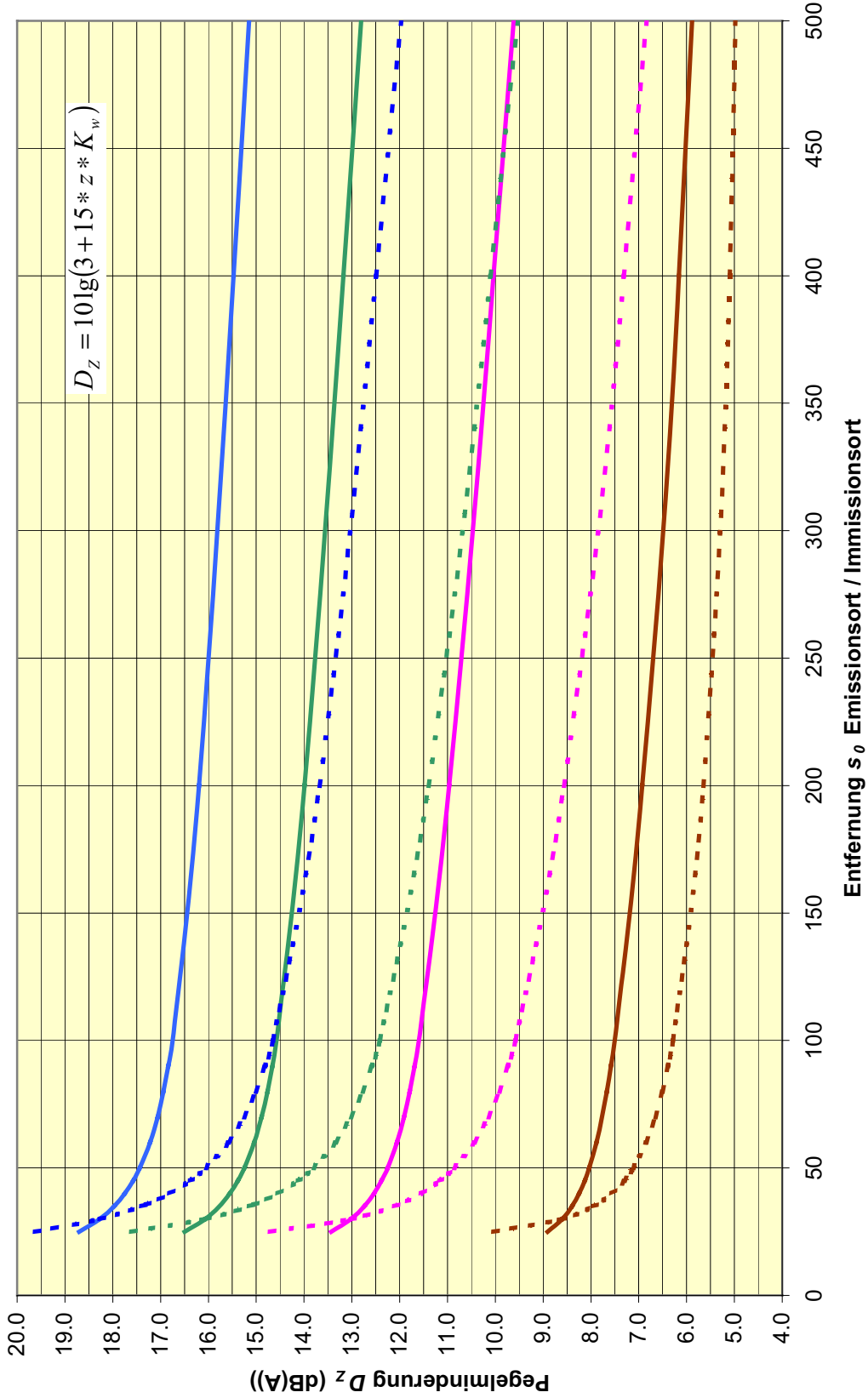


Diagramm X

Diagramm XI

Korrektur für unterschiedliche Schiffsgeschwindigkeiten
Bezugsgeschwindigkeit = 12 km/h

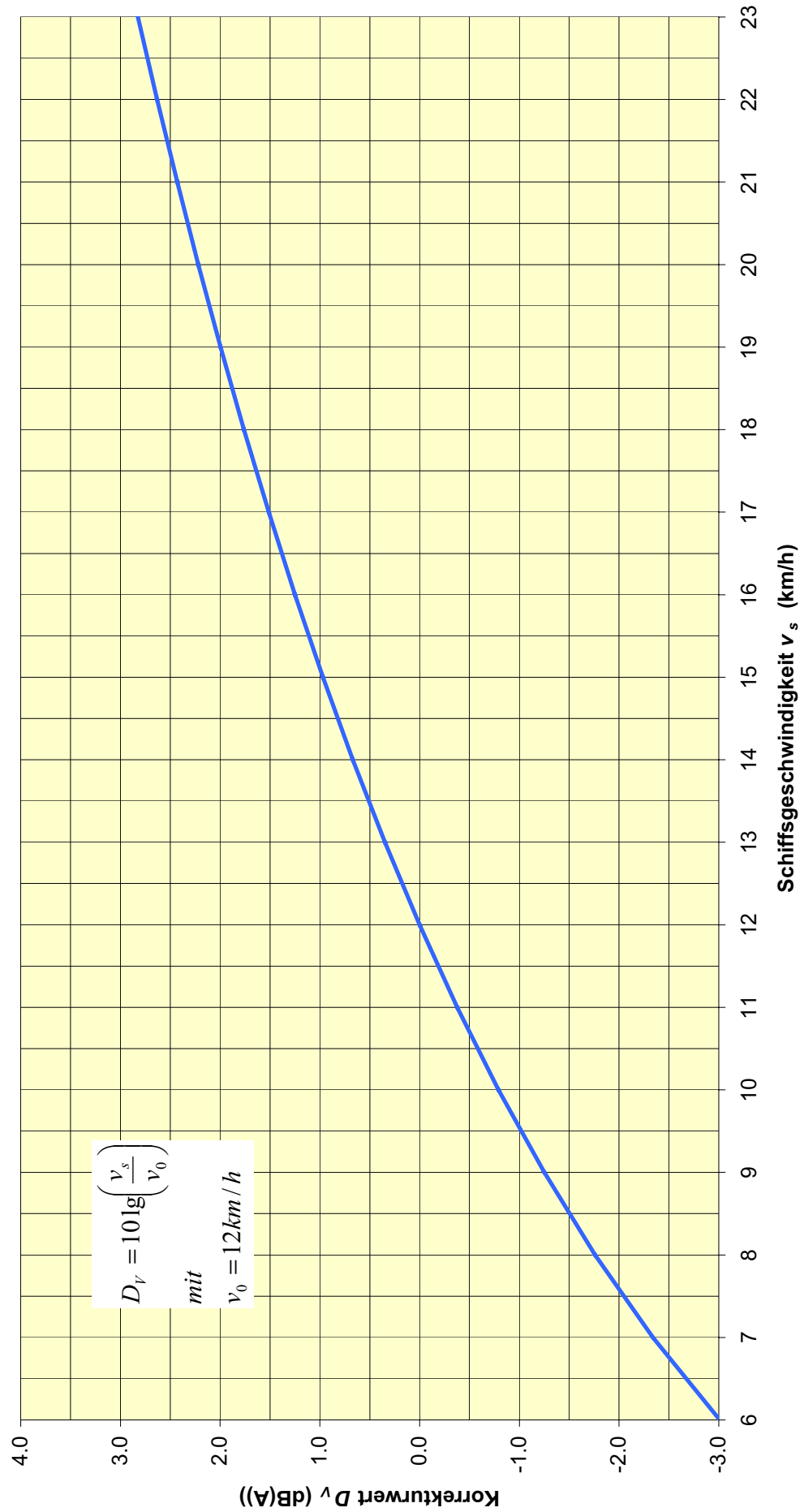


Diagramm XII

Schalleistung der Wasserstraße in Abhängigkeit vom maßgeblichen stündlichen Verkehrsaufkommen
Fall A freie Fahrt

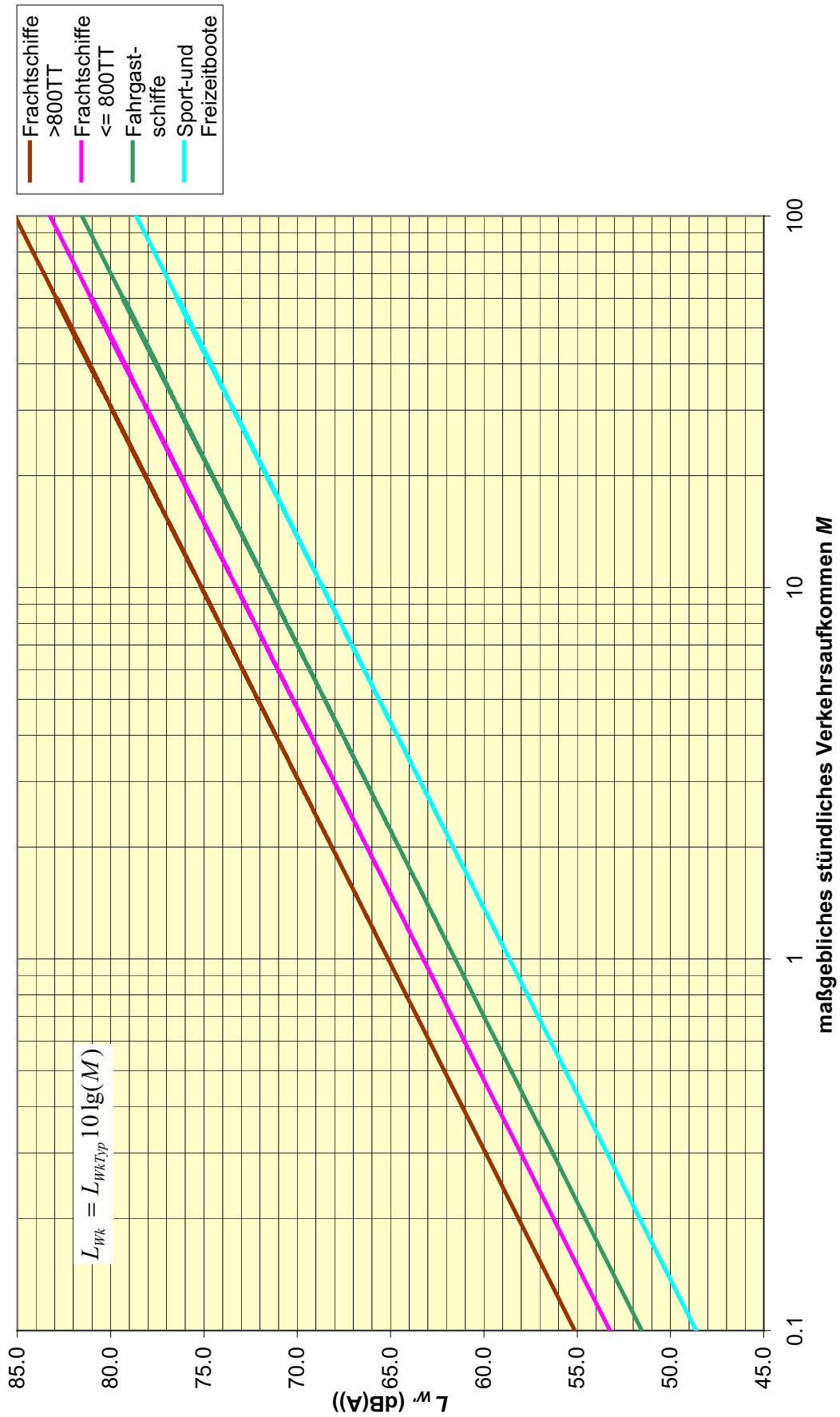


Diagramm XII

Schalleistung der Wasserstraße in Abhängigkeit vom maßgeblichen stündlichen Verkehrsaufkommen
 Fall B Sonderfälle

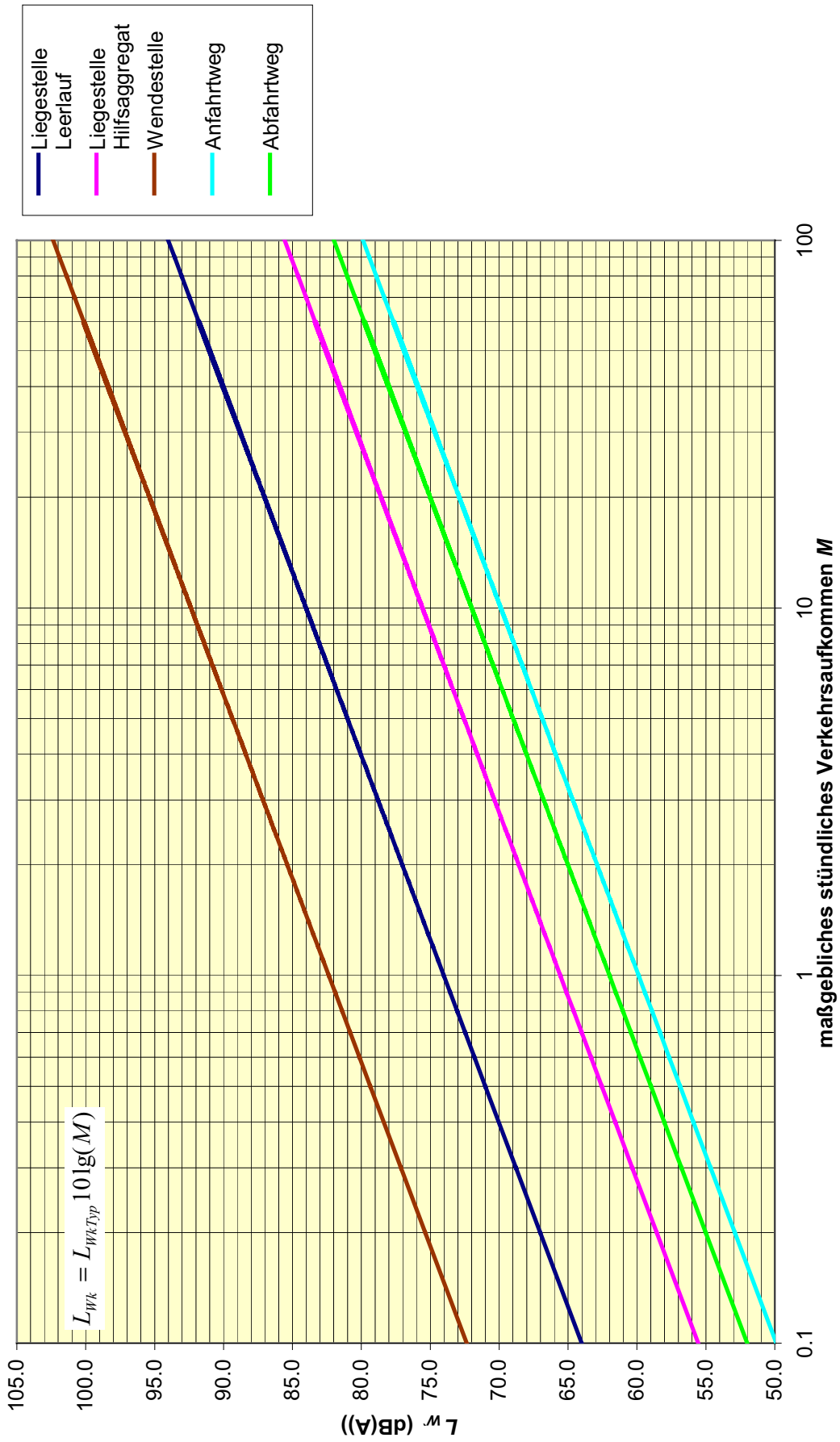


Diagramm XIII

Korrekturfaktor K_{vm} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße
 unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg- /Talfahrer

Fall A Schiffsgeschwindigkeit = 23km/h

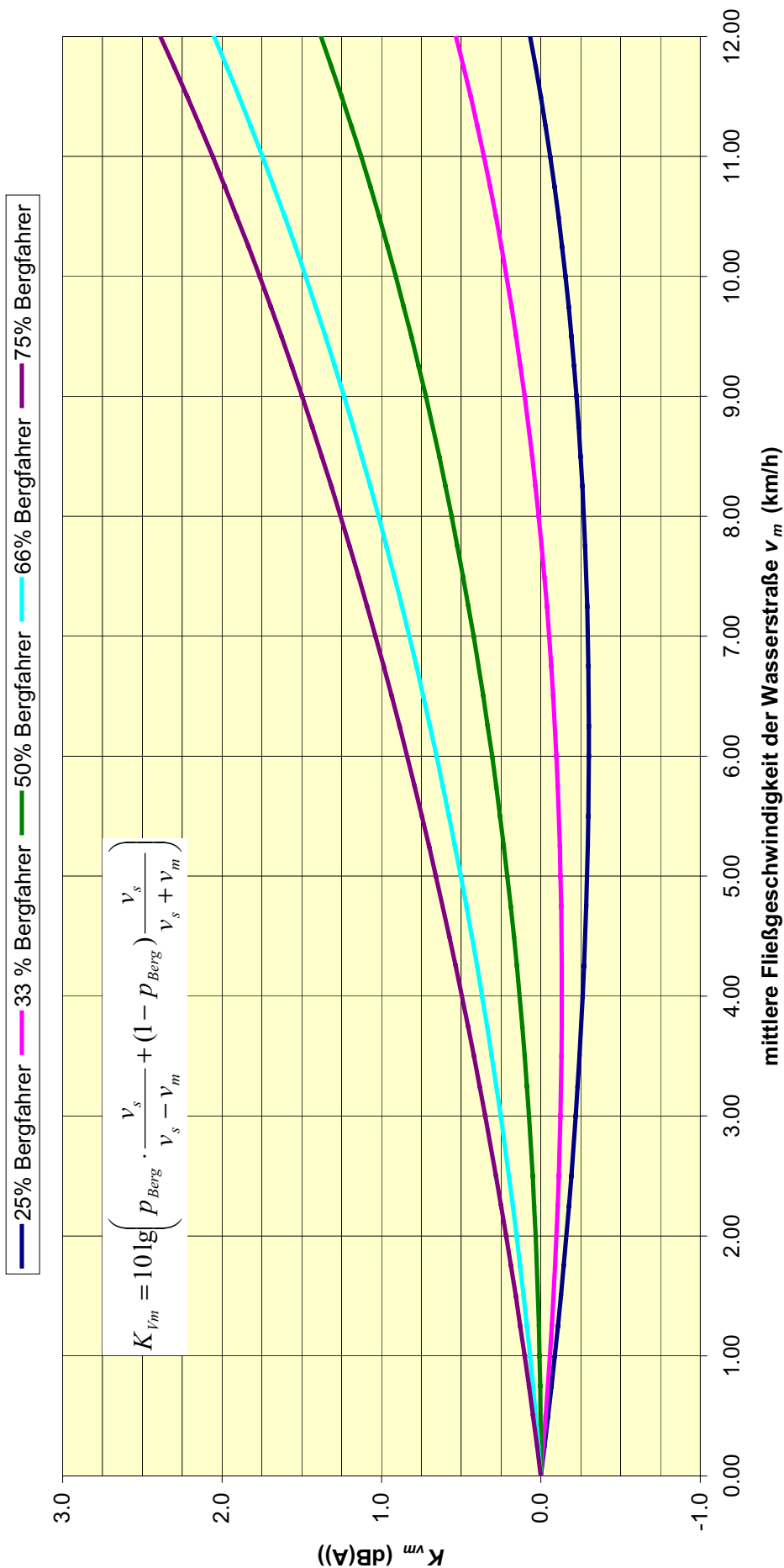


Diagramm XIII

Korrekturfaktor K_{v_m} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße
unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg- /Talfahrer

Fall B Schiffsgeschwindigkeit = 18km/h

— 25% Bergfahrer — 33 % Bergfahrer — 50% Bergfahrer — 66% Bergfahrer — 75% Bergfahrer

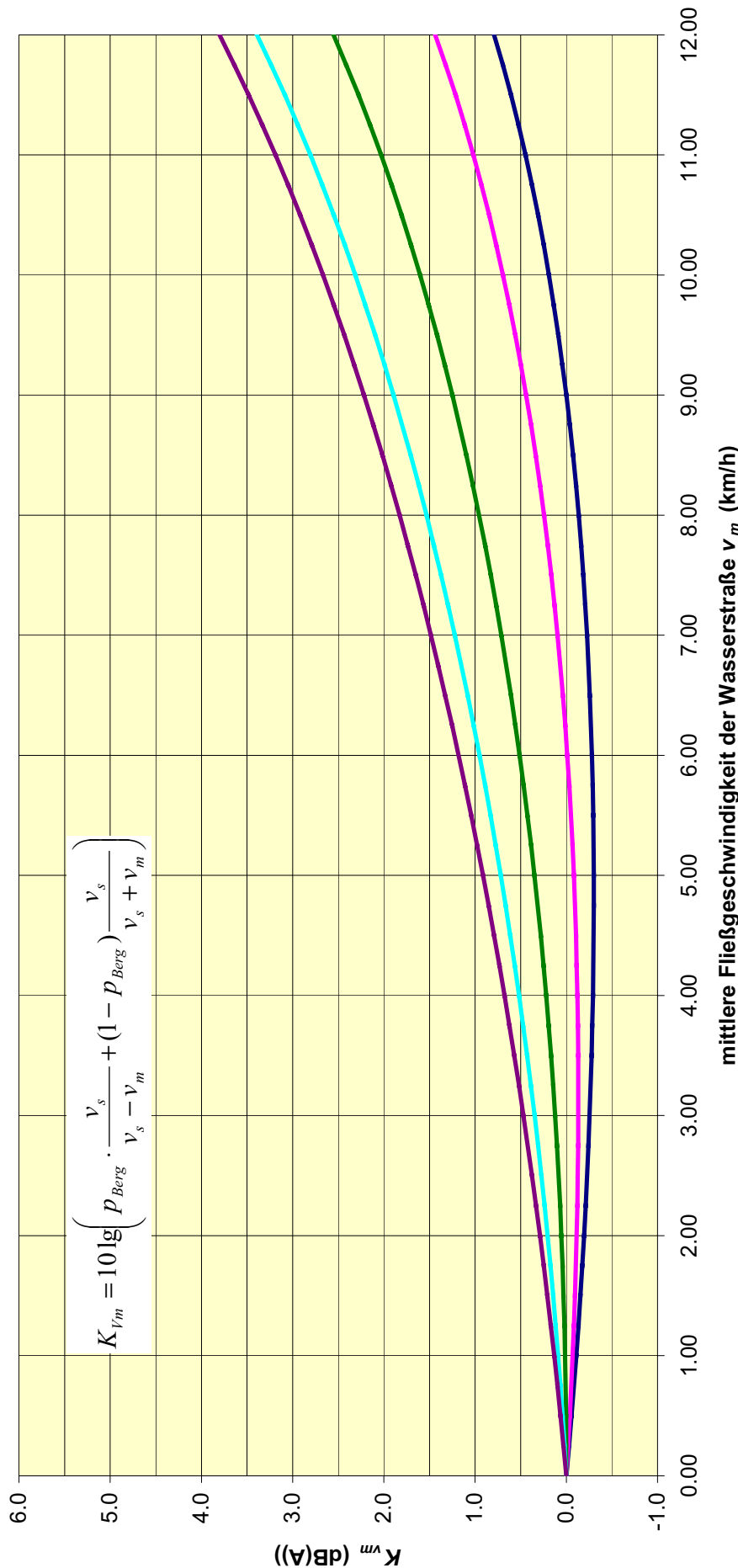


Diagramm XIII

Korrekturfaktor K_{vm} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße
 unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg- /Talfahrer

Fall C Schiffsgeschwindigkeit = 15km/h

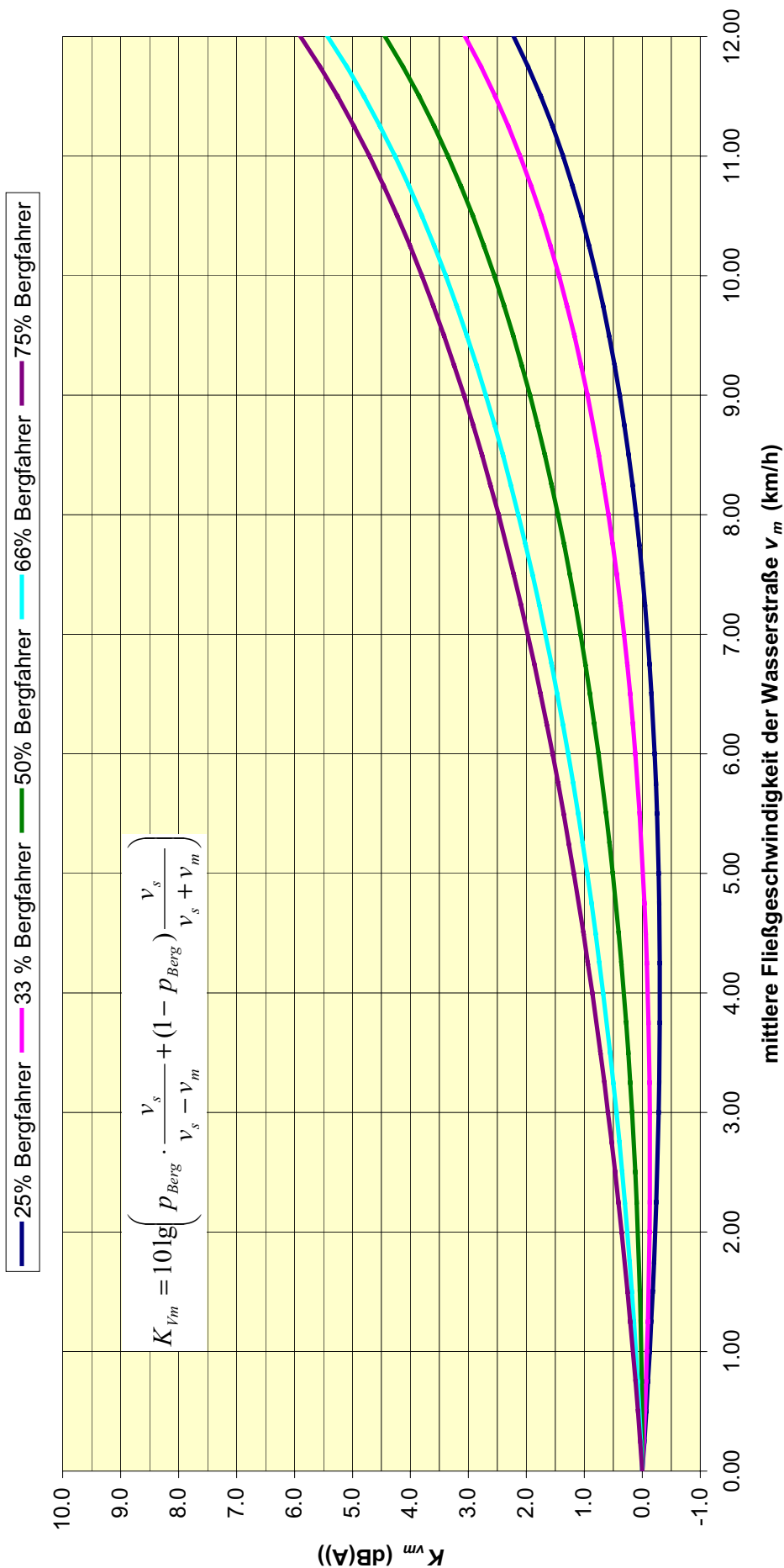


Diagramm XIII

Korrekturfaktor K_{vm} für Berücksichtigung der mittleren Fließgeschwindigkeit der Wasserstraße
unter Berücksichtigung der prozentualen Verteilung Berg- /Talfahrer

Fall D Schiffsgeschwindigkeit = 12km/h

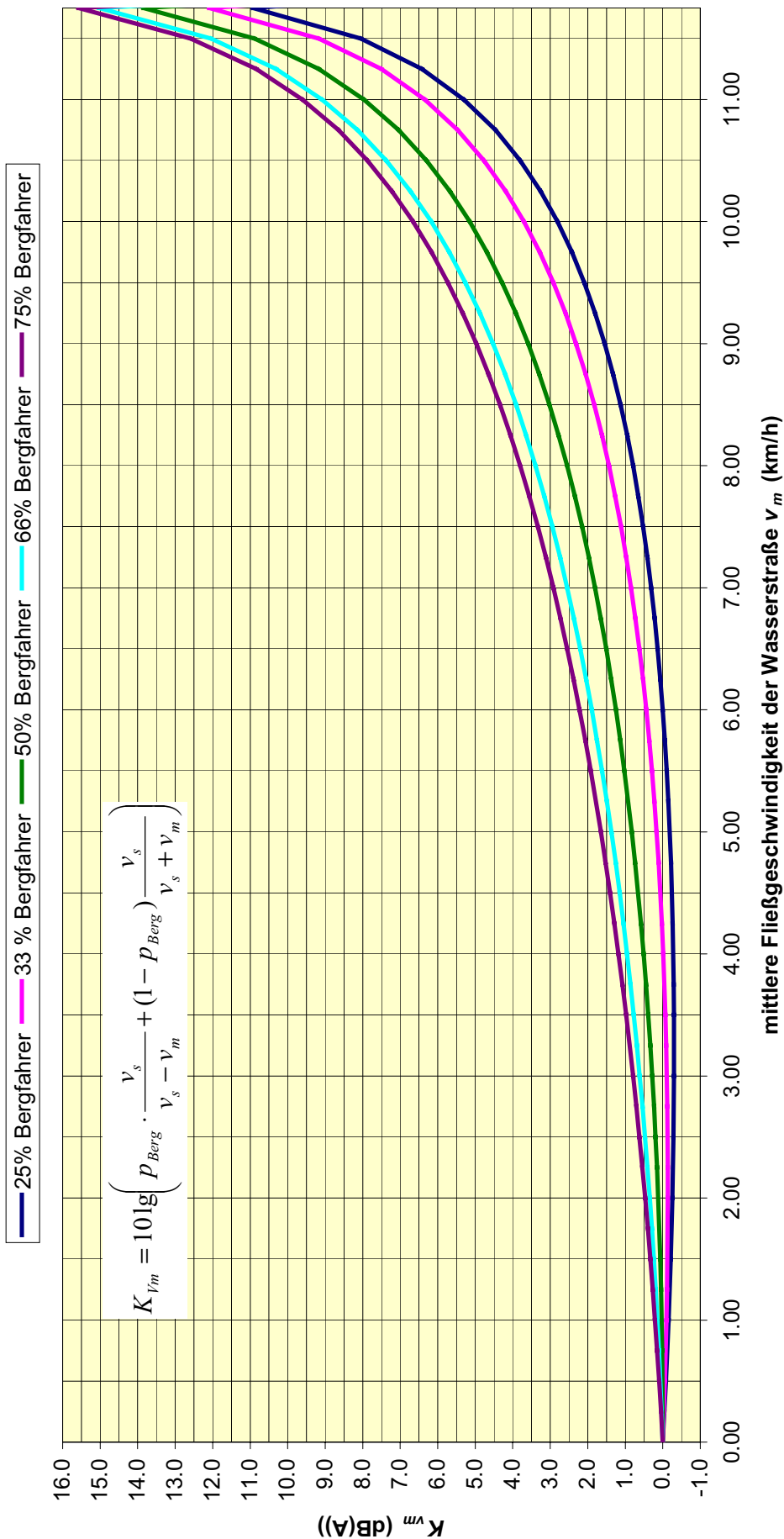


Diagramm XIV

Korrekturfaktor bei Addition zweier Pegel (in dB(A))

Differenz zw. L_{r1} und L_{r2} (dB(A))	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	
Pegelkorrektur (dB(A))	3.0	2.5	2.1	1.8	1.5	1.2	1.0	0.8	0.6	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.0

$$L_{rges} = 10 \lg(10^{0,1 * L_{r1}} + 10^{0,1 * L_{r2}})$$

Diagramm XV

Umrechnungsblatt für Entfernungen

$s_W = \sqrt{s_{W0}^2 + H_{(W)}^2}$ <p style="text-align: center;"><i>mit</i></p> $H_{(W)} = \left(H * \frac{s_{W0}}{s_{ges0}} \right)$	$s_L = \sqrt{s_{L0}^2 + H_{(L)}^2}$ <p style="text-align: center;"><i>mit</i></p> $H_{(L)} = H * \left(1 - \frac{s_{W0\perp}}{s_{ges0\perp}} \right)$
--	--

