



Swiss Acoustical Society
Société Suisse d'Acoustique
Schweizerische Gesellschaft für Akustik
Società Svizzera di Acustica
Internet: www.sga-ssa.ch

Eisenbahnlärm:

Konformitätserklärung und Testaufgaben für das Modell SEMIBEL

Impressum

©2006, Schweizerische Gesellschaft für Akustik SGA

Ausgabe August 2006

Dieses Dokument wird herausgegeben von der Schweizerischen Gesellschaft für Akustik und basiert auf der Arbeit der *Fachgruppe Qualitätssicherung akustischer Software*. Die Fachgruppe hatte folgende Mitglieder:

Robert Attinger, Bundesamt für Verkehr BAV, Bern

Wolfram Berger, Gruner AG, Basel

Matthias Brechbühl, Norsonic Brechbühl AG, Grünenmatt (Moderation)

Kurt Heutschi, Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt EMPA, Dübendorf

Jean Daniel Liengme Bundesamt für Umwelt BAFU, Bern

Markus Strobel, Planteam GHS, Sempach-Station

Toni Ziegler, Grolimund + Partner AG, Aarau

Haftungsausschluss

Das vorliegende Dokument wurde von der *Fachgruppe Qualitätssicherung akustischer Software* sorgfältig erarbeitet und geprüft. Trotzdem macht die Schweizerische Gesellschaft für Akustik folgenden Vorbehalt:

Aufgrund der Unverbindlichkeit der Informationen ist jede Haftung für die Richtigkeit, Vollständigkeit, Qualität und Zuverlässigkeit der Informationen sowie für Ergebnisse, die durch die Nutzung der Informationen erzielt werden können, ausgeschlossen



SGA-SSA
Postfach 164
CH-6203 Sempach Station
Fax : 041 469 40 50

Homepage: www.sga-ssa.ch E-mail: info@sga-ssa.ch

Inhaltsverzeichnis

ZWECK	4
GRUNDLAGENDOKUMENTE	4
KONFORMITÄTSERKLÄRUNG	5
TESTAUFGABEN	6
Vorbemerkungen	6
Aufgabe 1: Emissionsmodell	7
Aufgabe 2: Langes gerades Gleis bei freier Schallausbreitung über Grasboden	9
Aufgabe 3: Langes gerades Gleis bei freier Schallausbreitung über hartem Boden.....	10
Aufgabe 4: Langes gerades Gleis mit langer paralleler Häuserfront bei freier Schallausbreitung über Grasboden.....	11
Aufgabe 5: Kurzes gerades Gleisstück.....	12
Aufgabe 6: Langes gerades Gleis mit langer paralleler Mauer auf Böschungskante bei freier Schallausbreitung über Grasboden.....	13
Aufgabe 7: Langes gerades Gleis mit langer Abschirmung durch einen Lärmschutzwall	14
Aufgabe 8: Langes gerades Gleis mit langen beidseitig verlaufenden Mauern	15
Aufgabe 9: Langes gerades Gleis mit langer Lärmschutzwand.....	16
Aufgabe 10: Langes gerades Gleis in einem Einschnitt.....	17
Aufgabe 11: Langes gerades Gleis mit kurzer Abschirmung durch eine Lärmschutzwand	18
Aufgabe 12: Langes gerades Gleis mit kurzer Abschirmung durch zwei Lärmschutzwände.....	19

Zweck

Der Zweck des vorliegenden Dokuments besteht in der Bereitstellung einer Konformitätserklärung und von Testaufgaben für das Schweizerische Eisenbahnlärmmodell SEMIBEL. Die Konformitätserklärung ermöglicht Softwareherstellern die Implementierung der geforderten Berechnungselementen zu kontrollieren und zu dokumentieren. Die Testaufgaben dienen sowohl Softwareherstellern als auch Anwendern zur Überprüfung der Rechenergebnisse in exemplarischen Situationen. Es ist geplant, das Dokument bei Herausgabe eines neuen Eisenbahnlärmmodells anzupassen und neu aufzulegen.

Grundlagendokumente

- SEMIBEL, Schriftenreihe Umweltschutz Nr. 116, Bundesamt für Umwelt, Wald und Landschaft, Bern, März 1990.
- Lärmschutz-Verordnung (LSV) vom 15. Dezember 1986, Stand 3. Juli 2001.

Konformitätserklärung

	ja	eingeschränkt	nein
In der Referenzeinstellung kann im Programm der Beurteilungspegel von Eisenbahnlärm an einem oder mehreren Immissionspunkten errechnet werden und zwar			
getrennt für Tag und Nacht	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
unter Berücksichtigung von mehreren Quellen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
unter Berücksichtigung des Fahrlärms mit einer verkehrsmengenabhängigen Korrektur K1 (LSV, Anh. 4)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
unter Berücksichtigung des Rangierlärms mit einer die subjektive Störwirkung abbildenden Korrektur K2 (LSV, Anh. 4)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In der Referenzeinstellung berechnet das Programm den Emissionswert des langen geraden Geleises			
unter Berücksichtigung der Geschwindigkeiten, der Zugkompositionen und der Zugmengen anhand der Quellenformel (SEMIBEL, S. 57-60)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
unter Berücksichtigung des Fahrbahneinflusses (SEMIBEL, S. 59)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In der Referenzeinstellung unterteilt das Programm die Quellenpolygonzüge in Untersegmente			
an den Schnittpunkten mit den Vertikalebene durch den Immissionspunkt und den Hindernis- bzw. Topographiepunkten	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
so, dass grosse Segmente weiter unterteilt werden, wenn sie einen Aspektwinkel von mehr als 9° aufspannen	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
die Quellenhöhe wird 0.5 m über der Schienenoberkante angenommen (LSV, Anh. 2)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In der Referenzeinstellung berücksichtigt das Programm für die Berechnung der Ausbreitungsdämpfung eines jeden Quellensegmentes			
die geometrische Verdünnung und den Aspektwinkelverlust (SEMIBEL, S. 61)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
den Richtcharakteristikverlust (SEMIBEL, S. 62)			
die Luftdämpfung (SEMIBEL, S. 62)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
die Bodendämpfung (SEMIBEL, S. 63)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
die Hinderniswirkung von Einfachhindernissen (SEMIBEL, S. 63) mit dem distanzabhängigen Maximalwert gemäss Abb. 6 (SEMIBEL, S.65)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
die Hinderniswirkung von Mehrfachhindernissen durch Konstruktion eines Ersatzhindernisses mit nur einer Kante (SEMIBEL, S. 65)	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>
In der Referenzeinstellung werden im Programm die Beiträge aller Quellen und aller Teilsegmente energetisch zum Immissionspegel aufaddiert	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

Testaufgaben

Vorbemerkungen

Die vorliegenden Testaufgaben dienen der Überprüfung der richtigen Umsetzung des Algorithmus SEMIBEL, unabhängig von der physikalischen Relevanz der Ergebnisse.

Generell wird ein Oberbau in Form eines auf der umgebenden Fläche aufgesetzten Schotterbetts angenommen. Die Höhe des Oberbaus inklusive Schiene wird zu 0.8 m angenommen. Da je nach Implementierung SEMIBEL keine vertikal geschichteten Objekte handhaben kann, sind die Oberbaukanten leicht schräg einzugeben.

In einigen Beispielsituationen ergeben sich durch Reflexionen an vertikalen Strukturen zusätzliche Schallausbreitungspfade. Für die Testaufgaben wurden diese Einfachreflexionen in Erweiterung der ursprünglichen SEMIBEL Implementierung manuell mit einer Spiegelquellenüberlegung in die Rechnung einbezogen. Das Spiegelquellenkonzept basiert auf der Tatsache, dass die reflektierende Wirkung einer grossen, akustisch harten Fläche durch Einführen einer sogenannten Spiegelquelle, entstanden durch Spiegelung der Originalquelle an der reflektierenden Fläche, ersetzt werden kann.

Bei den Ergebnissen der Immissionspegelberechnungen werden auch Zwischenresultate ausgewiesen. Auf Grund von Rundungsfehlern ist es möglich, dass die Berechnung des Immissionspegels aus den Teilergebnissen nicht exakt mit dem angegebenen Immissionspegel übereinstimmt.

Als Folge der Freiheiten bei der Umsetzung der Rechenvorschrift (insbesondere bei der Segmentierung der Gleisabschnitte) können bei unterschiedlichen Implementierungen geringfügige Abweichungen auftreten.

Aus der Rechenvorschrift SEMIBEL folgt, dass die Immissionspegel im Freifeld und in der Mitte des offenen Fensters identisch sind.

Aufgabe 1: Emissionsmodell

Berechnung und Parameter

Die Teilemissionen werden pro Kompositionsteillänge (KL,i) und Zugsmenge pro Stunde (M,i) auf der Basis

$$Leq,e,i = A + B \cdot \log(v_{eff}) + 10 \cdot \log(M,i) + 10 \cdot \log(KL,i) \quad [\text{in dB(A)}]$$

mit den Emissionsparametern A, B

Wagenart	Bezeichnung	A	B	Beispiele	Bemerkungen
L-G	Lok mit Graugusssohlen	3	25	Re 4/4	X
P-G	Reisewagen mit Graugusssohlen	4	25	EW I/II nicht lärmsaniert (kaum mehr)	X
P-D	Reisewagen mit Scheibenbremsen	-28	35	EW IV	X
P-K	Reisewagen Kunststoffklotzbremsen	0	25	kaum mehr verwendet	X
G-G	Güterwagen mit Graugusssohlen	22	15	ab 2010 fast ausschliesslich ausländische	X
P-KE	Reisewagen lärmsaniert (K-Sohlen)	-5	25	EW I/II lärmsaniert	Y
G-KE	Güterwagen neu oder lärmsaniert (K-Sohlen)	15	15	neue Güterwagen und lärmsanierte Schweizer Wagen	Y
G-DM	Güterwagen mit Scheibenbremsen, moderne Bauart	12	15	nur wenige Typen	Y
L-S	Lok mit Sintermetallbremsen	-2	25	Re 4/4, Re 6/6, Re 450, RABDe 12/12	Y
L-SM	Lok mit Sintermetallbremsen, moderne Bauart	-28	35	Re460	Y

einzelnen pro Zugstyp ZT und pro Zugskategorie ZK gerechnet mit $v_{eff} = 0.9 \cdot v_{max}$ für Reisezüge $v_{eff} = 0.8 \cdot v_{max}$ für Güterzüge

und schliesslich pro gesamten Querschnitt für die Tagesperiode (16 Stunden) und die Nachtperiode (8 Stunden) zusammengezogen. Daraus ergeben sich wie folgt die Emissions-Beurteilungspegel (Lr,e) für tags bzw. nachts für 1m Abstand von der Trasseachse

$$Lr,e \text{ Tag} = Leq,e,t + F + K1,t \quad \text{bzw.} \quad Lr,e \text{ Nacht} = Leq,e,n + F + K1,n \quad [\text{in dB(A)}]$$

mit F Korrekturwert für Einflüsse Fahrbahn und K1 Pegelkorrektur gemäss Anhang 4 Lärmschutz-Verordnung.

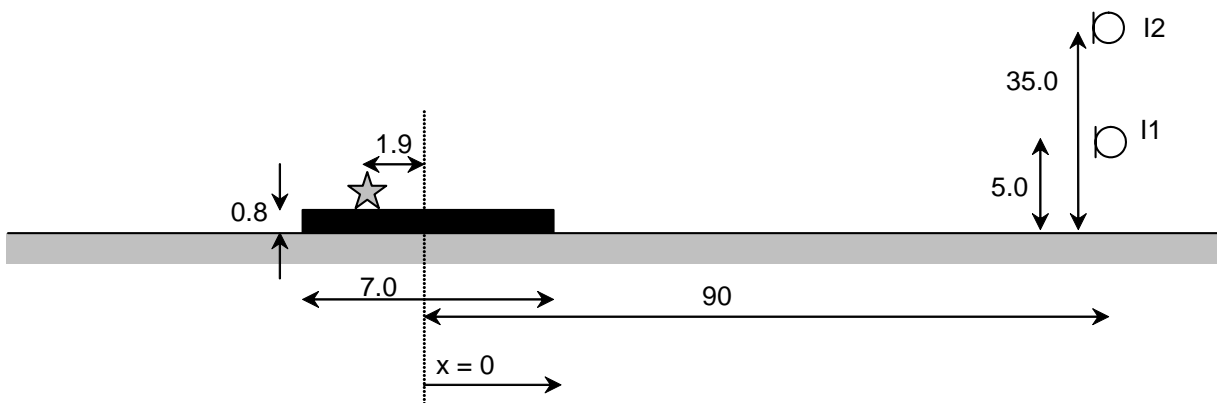
X gemäss SEMIBEL, S. 53

Y Erweiterungen gemäss Emissionsplan 2015 (www.bav.admin.ch)

Aufgabe 2: Langes gerades Gleis bei freier Schallausbreitung über Grasboden

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 5.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$ m
- der Immissionspunkt I2 liegt 35.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$ m



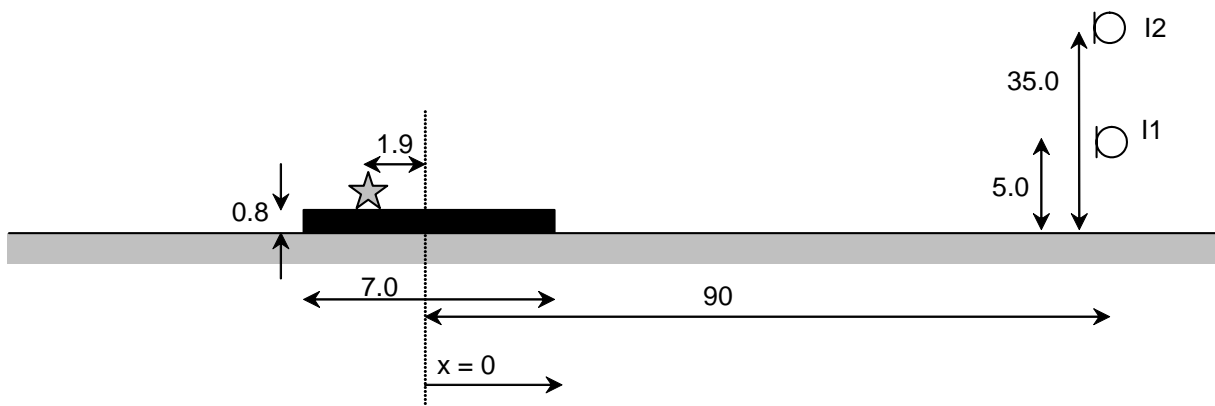
Ergebnisse nach SEMIBEL	Immissionspunkte	
	I1	I2
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00	80.00
Kürzester Abstand Quelle – Immissionspunkt s [m]	92.0	97.9
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.6	19.9
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.4	-2.9
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.6	0.7
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	3.1	18.1
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	1.9	0.4
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]		
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]		
Totaler Aspektwinkel [°]	159	159
Immissionspegel L_I [dB(A)]	58.0	59.1

Bemerkung: Da SEMIBEL die Bodenbeschaffenheit ignoriert, ergeben Aufgabe 2 und 3 die gleichen Ergebnisse.

Aufgabe 3: Langes gerades Gleis bei freier Schallausbreitung über hartem Boden

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit hartem Boden (Strömungswiderstand = 20'000 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 5.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$ m
- der Immissionspunkt I2 liegt 35.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$ m



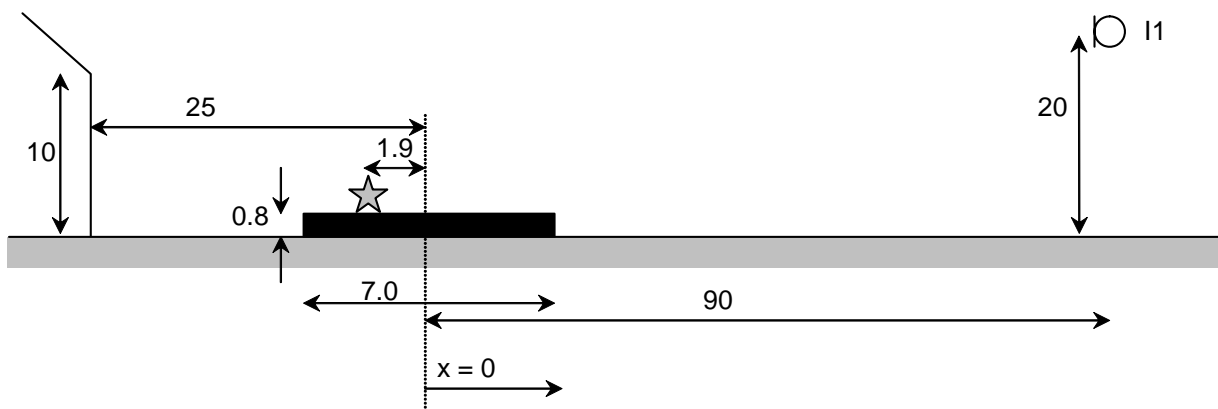
Ergebnisse nach SEMIBEL	Immissionspunkte	
	I1	I2
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00	80.00
Kürzester Abstand Quelle – Immissionspunkt s [m]	92.0	97.9
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.6	19.9
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.4	-2.9
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.6	0.7
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	3.1	18.1
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	1.9	0.4
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]		
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]		
Totaler Aspektwinkel [°]	159	159
Immissionspegel L_I [dB(A)]	58.0	59.1

Bemerkung: Da SEMIBEL die Bodenbeschaffenheit ignoriert, ergeben Aufgabe 2 und 3 die gleichen Ergebnisse.

Aufgabe 4: Langes gerades Gleis mit langer paralleler Häuserfront bei freier Schallausbreitung über Grasboden

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 20.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$ m
- parallel zum Geleise verlaufende, 10.0 m hohe Hausfront bei $x = -25.0$ m (Reflexionsverlust = 1 dB(A)).

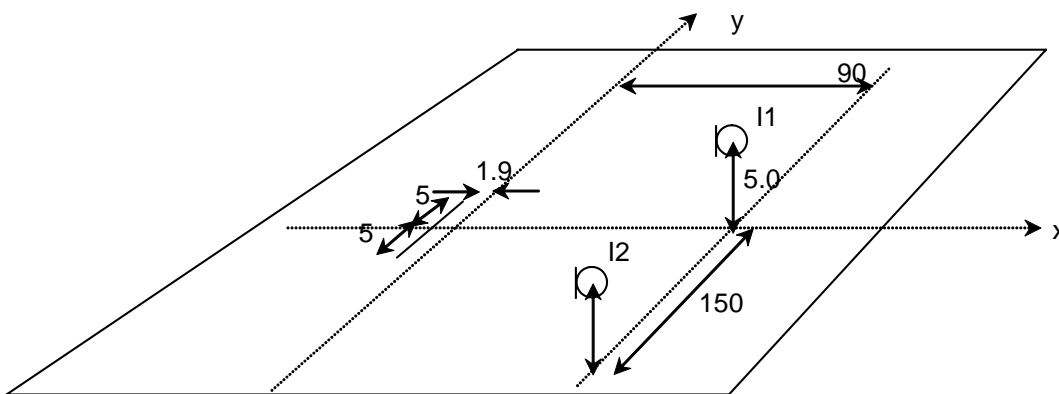


Ergebnisse nach SEMIBEL	Immissionspunkt I1	
	direkt	Reflexion
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00	79.00
Kürzester Abstand Quelle – Immissionspunkt s [m]	93.8	139.4
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.7	21.4
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.3	-3.3
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.7	1.0
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	10.6	10.6
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	0.7	1.0
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]		
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]		
Totaler Aspektwinkel [°]	159	149
Immissionspegel L_I [dB(A)]	59.3	55.9
Immissionspegel Direktschall und Reflexion $L_{I_{tot}}$ [dB(A)]	60.9	

Aufgabe 5: Kurzes gerades Gleisstück

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -5$ m bis $y = +5$ m erstreckt (Achtung: es wird angenommen, dass der Oberbau gleich lang ist wie das Gleisstück)
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 5.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$
- der Immissionspunkt I2 liegt 5.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = -150.0$



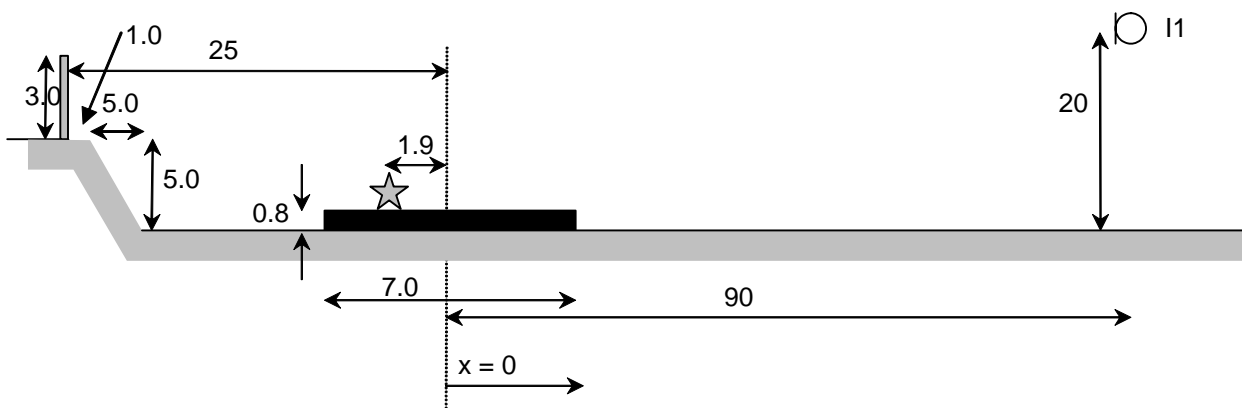
Ergebnisse nach SEMIBEL	Immissionspunkte	
	I1	I2
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00	80.00
Kürzester Abstand Quelle – Immissionspunkt s [m] ¹	92.0	92.0
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.6	19.6
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.4	0.7
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.6	1.2
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	3.1	3.1
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	1.9	3.2
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]		
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]		
Totaler Aspektwinkel [°]	6.2	1.7
Immissionspegel L_I [dB(A)]	46.6	34.9

¹ Die Distanz zu I2 beträgt 171.7 m

Aufgabe 6: Langes gerades Gleis mit langer paralleler Mauer auf Böschungskante bei freier Schallausbreitung über Grasboden

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgeleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Geisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 20.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$ m
- parallel zum Geleise verlaufende, 3.0 m hohe Mauer bei $x = -25.0$ m (Reflexionsverlust = 1 dB(A)), die auf einer 5.0 m hohen Böschungskante steht.



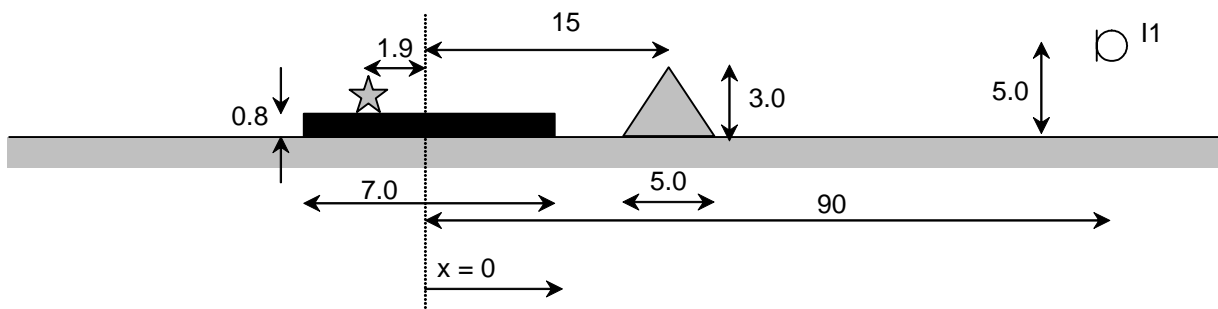
	Immissionspunkt
Ergebnisse nach SEMIBEL	I1
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00
Kürzester Abstand Quelle – Immissionspunkt s [m]	93.8
Abstandsdämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.7
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.3
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.7
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	10.6
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	0.7
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]	
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]	
Totaler Aspektwinkel [°]	159
Immissionspegel L_I [dB(A)]	59.3

Bemerkung: Der Reflexionspunkt auf der parallel zum Geleise verlaufenden Mauer liegt unterhalb deren Fusspunktes. Deshalb wird gemäss dem Spiegelquellenkonzept keine Reflexion berücksichtigt, obwohl in der Realität ein Reflexionsbeitrag zu erwarten ist.

Aufgabe 7: Langes gerades Gleis mit langer Abschirmung durch einen Lärmschutzwall

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 5.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$ m
- parallel zum Geleise verlaufender, 3.0 m hoher Lärmschutzwall (Fussbreite = 5.0 m) mit der relevanten Hinderniskante bei $x = 15.0$ m.

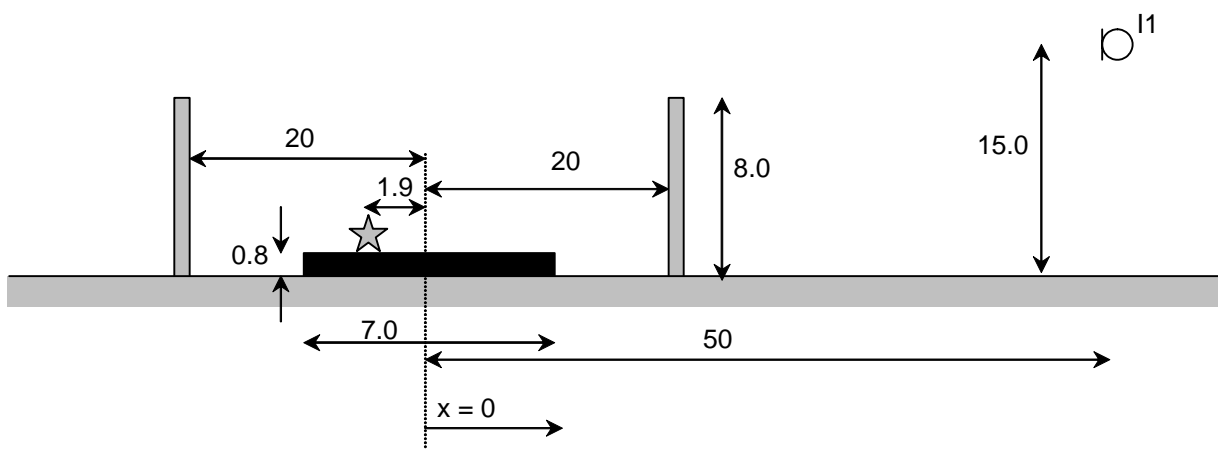


	Immissionspunkt
Ergebnisse nach SEMIBEL	I1
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00
Kürzester Abstand Quelle – Immissionspunkt s [m]	92.0
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.6
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.4
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.7
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	3.5
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	1.8
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]	0.037
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]	8.6
Totaler Aspektwinkel [°]	159
Immissionspegel L_I [dB(A)]	50.1

Aufgabe 8: Langes gerades Gleis mit langen beidseitig verlaufenden Mauern

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 15.0 m über Boden bei $x = 50.0$ m, $y = 0.0$ m
- parallel zum Geleise verlaufende, 8.0 m hohe Mauer bei $x = -20.0$ m und $x = 20.0$ m (Reflexionsverlust = 1 dB(A)).

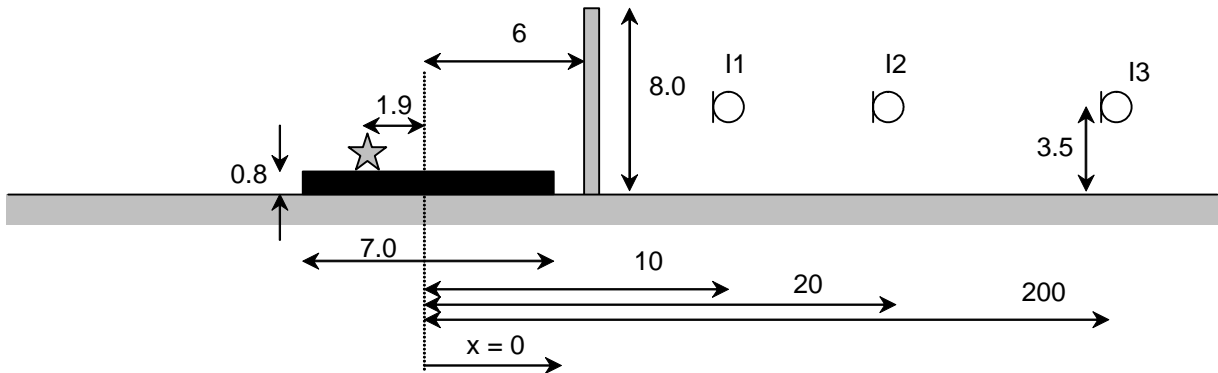


Ergebnisse nach SEMIBEL	Immissionspunkt I1	
	direkt	Reflexion
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00	79.00
Kürzester Abstand Quelle – Immissionspunkt s [m]	53.7	89.2
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	17.3	19.5
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.2	-3.3
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.4	0.6
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	8.5	8.1
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	0.5	0.9
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]	0.030	-0.13
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]	8.0	0.0
Totaler Aspektwinkel [°]	168	160
Immissionspegel L_I [dB(A)]	54.7	58.4
Immissionspegel Direktschall und Reflexion L_{tot} [dB(A)]	59.9	

Aufgabe 9: Langes gerades Gleis mit langer Lärmschutzwand

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 3.5 m über Boden bei $x = 10.0$ m, $y = 0.0$
- der Immissionspunkt I2 liegt 3.5 m über Boden bei $x = 20.0$ m, $y = 0.0$
- der Immissionspunkt I3 liegt 3.5 m über Boden bei $x = 200.0$ m, $y = 0.0$
- parallel zum Geleise verlaufende, 8.0 m hohe Lärmschutzwand bei $x = 6.0$ m.

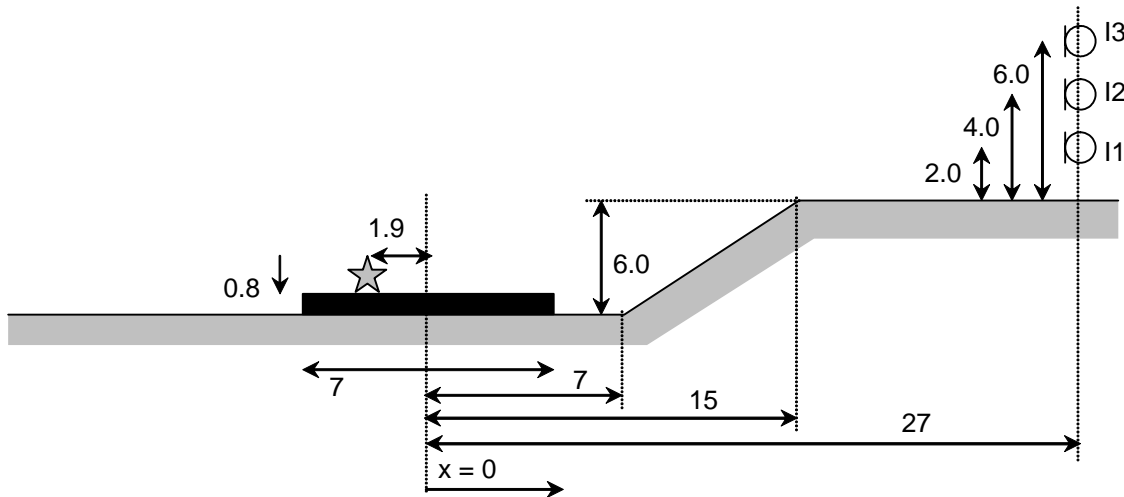


Ergebnisse nach SEMIBEL	Immissionspunkte		
	I1	I2	I3
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00	80.00	80.00
Kürzester Abstand Fahrspur – Immissionspunkt s [m]	12.1	22.0	201.9
Abstandsdämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	10.8	13.4	23.1
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.3	-3.4	-3.4
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.1	0.2	1.4
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	4.7	5.2	5.7
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	0.2	0.4	2.2
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]	4.277	3.054	2.499
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]	24.9	24.2	20.0
Totaler Aspektwinkel [°]	177	175	136
Immissionspegel L_I [dB(A)]	45.5	43.7	33.4

Aufgabe 10: Langes gerades Gleis in einem Einschnitt

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl) und einem 6 m tiefen Einschnitt (Terrainschnitt: $x = 0 \text{ m}$, $z = -6 \text{ m}$ // $x = 7.0 \text{ m}$, $z = -6 \text{ m}$ // $x = 15.0 \text{ m}$, $z = 0 \text{ m}$ // $x = 27.0 \text{ m}$, $z = 0.0 \text{ m}$)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500 \text{ m}$ bis $y = +500 \text{ m}$ erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9 \text{ m}$ mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0 \text{ dB(A)}$ in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 2.0 m über Boden bei $x = 27.0 \text{ m}$, $y = 0.0$
- der Immissionspunkt I2 liegt 4.0 m über Boden bei $x = 27.0 \text{ m}$, $y = 0.0$
- der Immissionspunkt I3 liegt 6.0 m über Boden bei $x = 27.0 \text{ m}$, $y = 0.0$

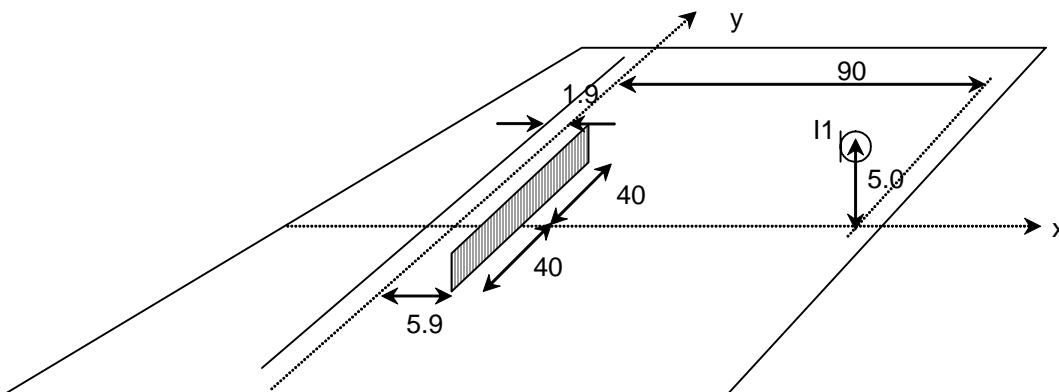


Ergebnisse nach SEMIBEL	Immissionspunkte		
	I1	I2	I3
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00	80.00	80.00
Kürzester Abstand Fahrspur – Immissionspunkt s [m]	29.7	30.2	30.8
Abstandsdämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	14.7	14.8	14.9
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.1	-3.1	-2.9
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.2	0.2	0.2
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	1.6	2.2	3.2
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	1.1	0.9	0.7
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]	0.040	-0.009	-0.141
Hindernismwirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]	8.8	1.6	0
Totaler Aspektwinkel [°]	173	173	173
Immissionspegel L_I [dB(A)]	56.0	62.3	64.4

Aufgabe 11: Langes gerades Gleis mit kurzer Abschirmung durch eine Lärmschutzwand

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 5.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$
- parallel zum Geleise verlaufende, 2.8 m hohe kurze Lärmschutzwand bei $x = 5.9$ m, von $y = -40.0$ m bis $y = 40.0$ m.

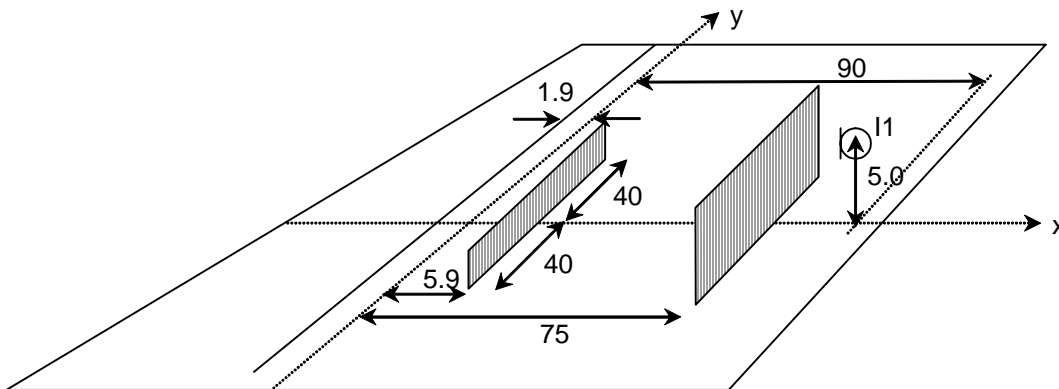


	Immissionspunkt
Ergebnisse nach SEMIBEL	I1
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00
Kürzester Abstand Fahrspur – Immissionspunkt s [m]	92.0
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.6
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.4
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.6
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	3.7
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	1.7
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]	0.098
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]	11.4
Totaler Aspektwinkel [°]	159
Immissionspegel L_I [dB(A)]	55.0

Aufgabe 12: Langes gerades Gleis mit kurzer Abschirmung durch zwei Lärmschutzwände

Situation:

- ebenes horizontales Gelände mit Grasboden (Strömungswiderstand = 300 Rayl)
- Doppelgleise auf 7.0 m breitem und 0.8 m hohem Oberbau (inklusive Schiene) aus Schotter (Achse bei $x = 0$), das sich von $y = -500$ m bis $y = +500$ m erstreckt
- als Quelle wird die Gleisachse bei $x = -1.9$ m mit einem Emissionspegel $L_E = 80.0$ dB(A) in 1 m Abstand angenommen
- der Immissionspunkt I1 liegt 5.0 m über Boden bei $x = 90.0$ m, $y = 0.0$
- parallel zum Geleise verlaufende, 2.8 m hohe kurze Lärmschutzwand bei $x = 5.9$ m, von $y = -40.0$ m bis $y = 40.0$ m.
- parallel zum Geleise verlaufende, 6.0 m hohe kurze Lärmschutzwand bei $x = 75.0$ m, von $y = -40.0$ m bis $y = 40.0$ m.



	Immissionspunkt
Ergebnisse nach SEMIBEL	I1
Emissionspegel L_E [dB(A)]	80.00
Kürzester Abstand Fahrspur – Immissionspunkt s [m]	92.0
Abstandsämpfung im kürzesten Abstand [dB(A)]	19.6
Richtcharakteristik-Verlust [dB(A)]	-3.4
Luftdämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_L [dB(A)]	0.6
Mittlere Ausbreitungshöhe über Grund im kürzesten Abstand h [m]	6.0
Bodendämpfung im kürzesten Abstand Dämpfung_B [dB(A)]	1.1
Umweg bzgl. Direktverbindung im kürzesten Abstand w [m]	0.741
Hinderniswirkung im kürzesten Abstand H [dB(A)]	18.8
Totaler Aspektwinkel [°]	159
Immissionspegel L_I [dB(A)]	46.4