

Lärmberechnung in Europa

Stand der Technik und Trends

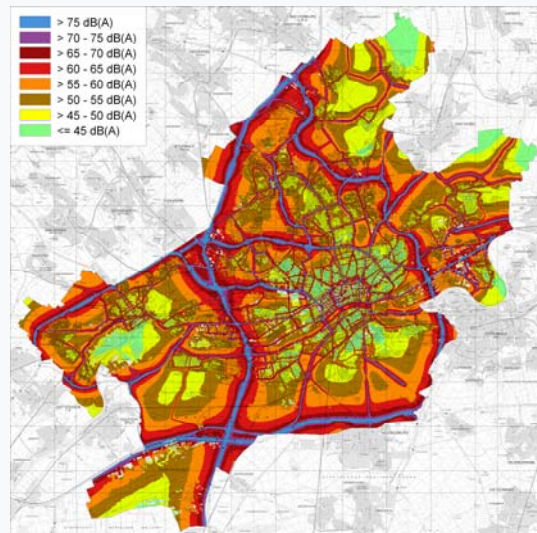
Wolfgang Probst

Datakustik GmbH - Software für den Immissionsschutz

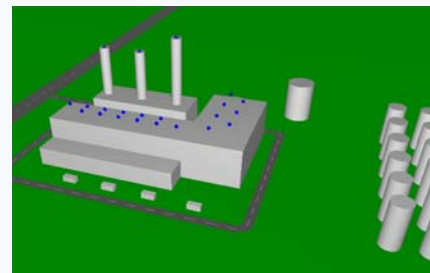
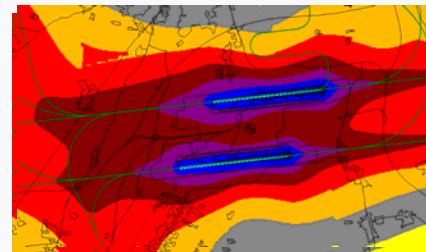
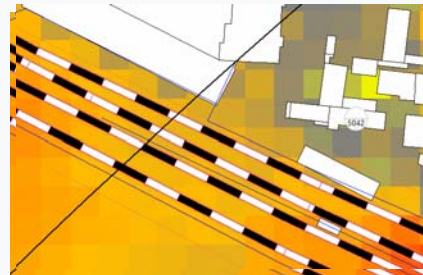
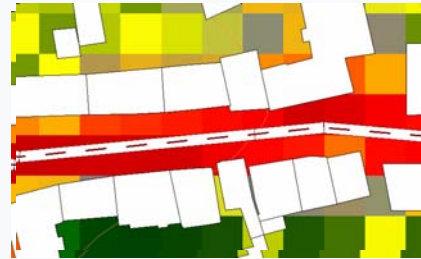
Gewerbering 5, D-86926 Greifenberg / Germany

Phon: +49(0)8192 / 9 33 08-0 • Fax: +49(0)8192 / 9 33 08-89 • <http://www.datakustik.de> • email: info@datakustik.de

Lärmkartierung



Lärmarten



Berechnungsverfahren

ISO 9613-2

RLS-90

StL 86+

RVS

CRTN

NMPB

NPM

Harmonoise

NORD 2000

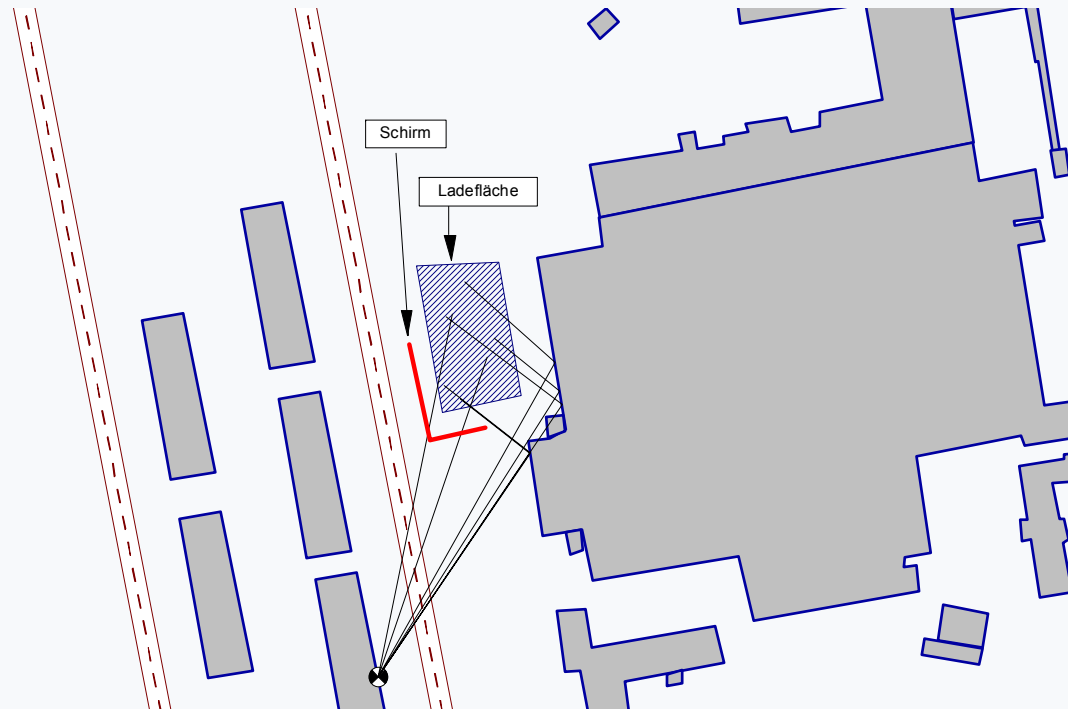
SonRoad

.....

Prüfung gesetzlich
vorgegebener Anforderungen

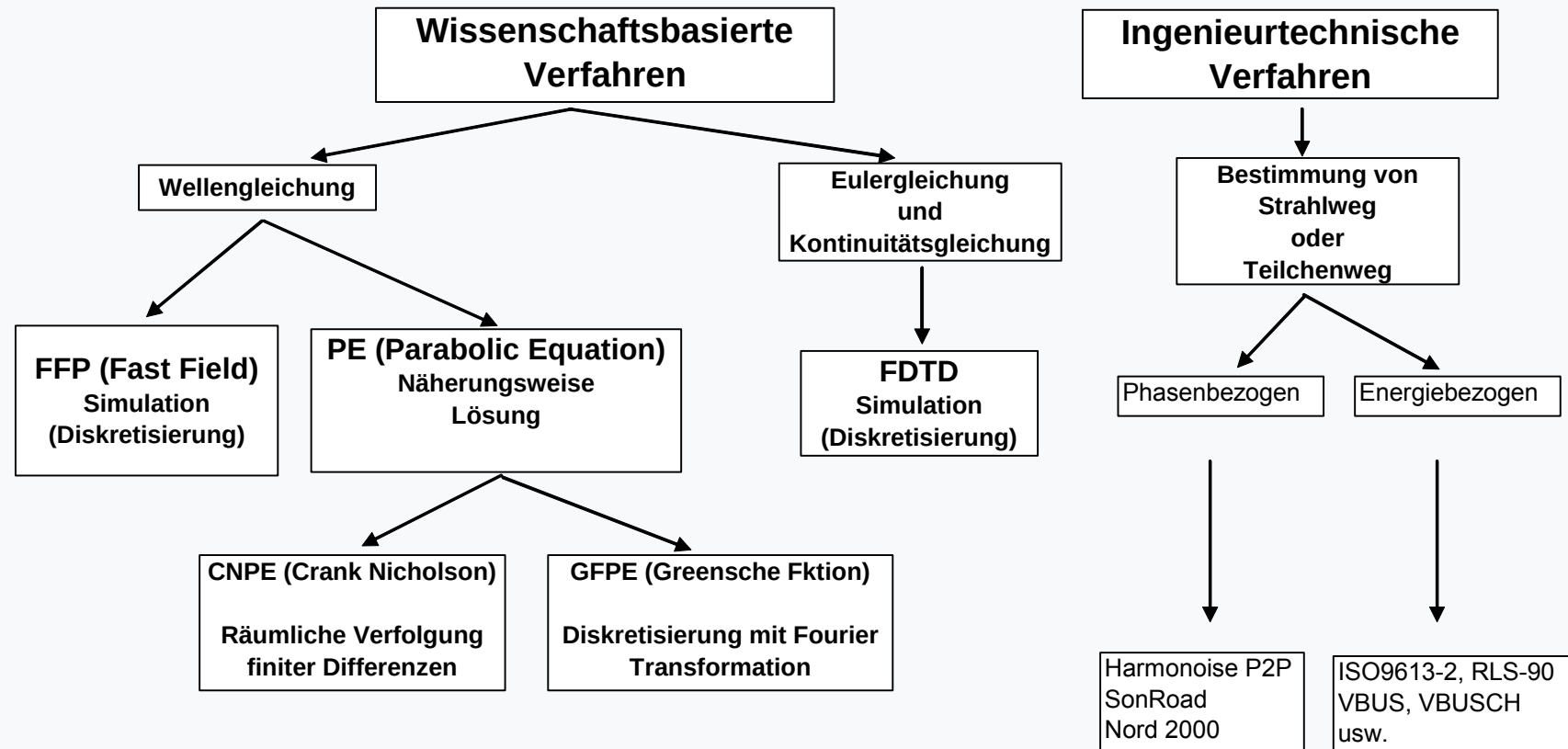
Meist für Nahbereich
erforderlich

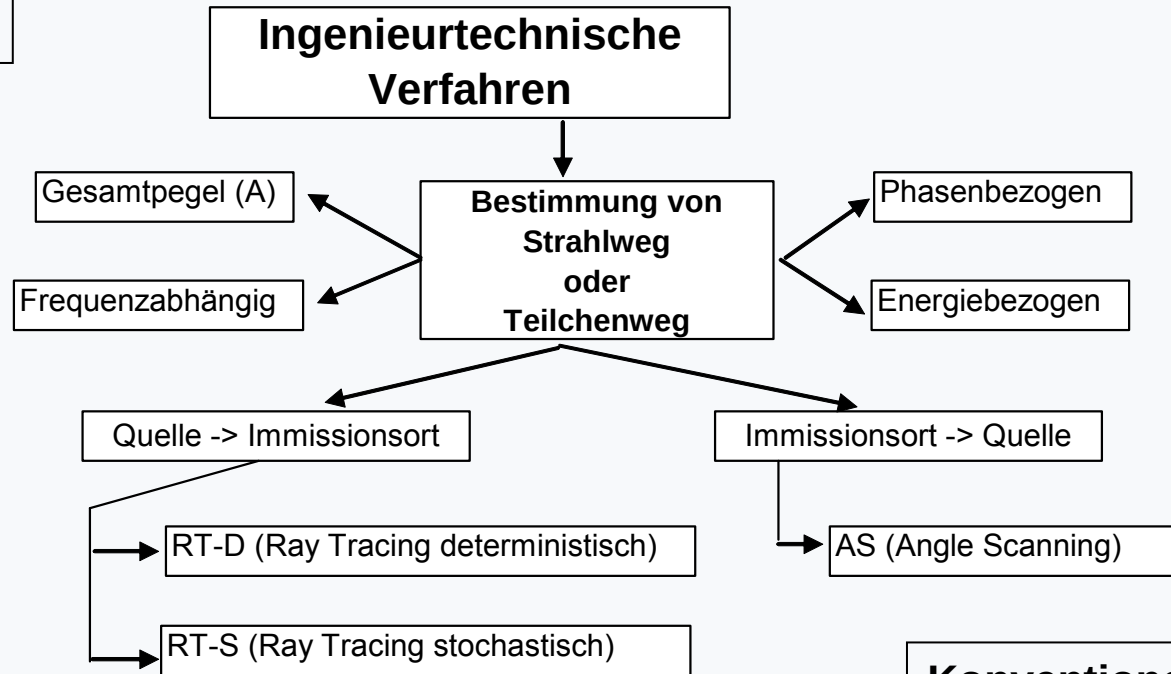
Nachweis der einzelnen
Beiträge sollten im Detail
nachgewiesen werden
können



Y: 5.05

Area Source, ISO 9613, Name: "(untitled)", ID: "-"																			
Nr.	X	Y	Z	Ref.	Freq.	LxT	LxN	K0	Dc	Adiv	Aatm	Agr	Afol	Ahous	Abar	Cmet	RL	LrT	LrN
	(m)	(m)	(m)		(Hz)	dB(A)	dB(A)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	(dB)	dB(A)	dB(A)
1	22.70	208.84	0.00	0	500	129.3	129.3	3.0	0.0	53.8	0.3	4.3	0.0	0.0	8.1	0.0	-0.0	65.8	65.8
2	35.70	192.65	0.00	0	500	128.8	128.8	3.0	0.0	53.0	0.2	4.2	0.0	0.0	9.4	0.0	-0.0	64.9	64.9
3	20.37	207.76	0.00	1	500	125.9	125.9	3.0	0.0	55.9	0.3	4.4	0.0	0.0	10.6	0.0	1.0	56.6	56.6
4	27.15	220.81	0.00	1	500	124.8	124.8	3.0	0.0	56.1	0.4	4.4	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	66.0	66.0
5	19.39	182.15	0.00	1	500	118.0	118.0	3.0	0.0	54.0	0.3	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	61.4	61.4
6	38.33	199.73	0.00	1	500	126.7	126.7	3.0	0.0	54.9	0.3	4.3	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	69.1	69.1
7	25.55	177.01	0.00	1	500	119.3	119.3	3.0	0.0	53.5	0.3	4.2	0.0	0.0	0.0	0.0	1.0	63.3	63.3





Programmsysteme:

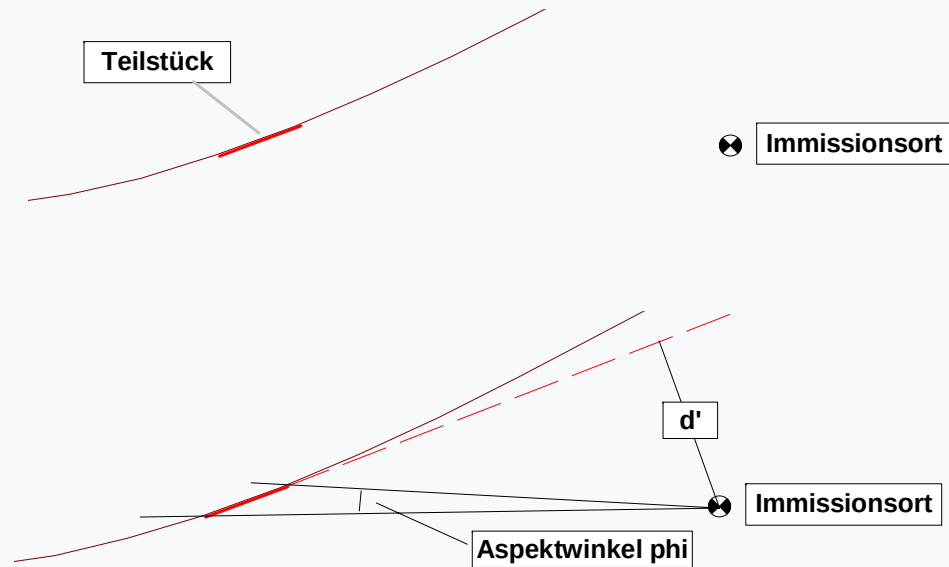
- Cadna/A → AS, RT-D
- Immi → RT-D
- Lima → RT-D
- Mithra → AS
- SoundPlan → AS
- ENM
-

Konventionelle Berechnungsverfahren

RLS-90 (Deutschland)
 CRTN (UK)
 StL86+ (Schweiz)
 NPM (Nordic Prediction Method 1996)
 NMPB 1996 (Frankreich)
 RVS 4.02 (Österreich)

Neuere Berechnungsverfahren

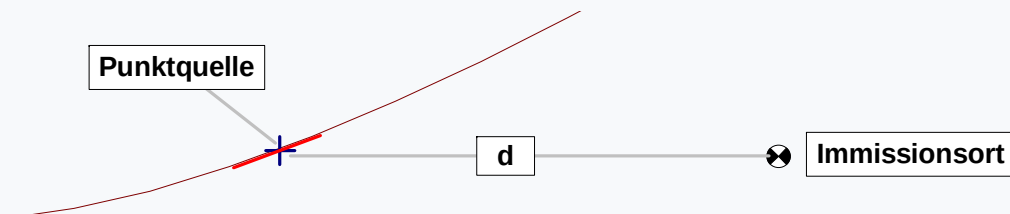
Nord2000 (Skandinavien)
 Harmonoise (EU)
 TNM (USA)
 SonRoad (Schweiz)
 NMPB 2008 (Frankreich)



Verfahren 1:

Emissionsanteil aus kürzestem Abstand d' zum erweiterten Teilstück und Aspektwinkel ϕ (z.B. CRTN...)

$$L_{\text{Emission}} = \dots + 10 \lg(\phi / 180^\circ) - 10 \lg(d' / d_0) \dots$$



Verfahren 2:

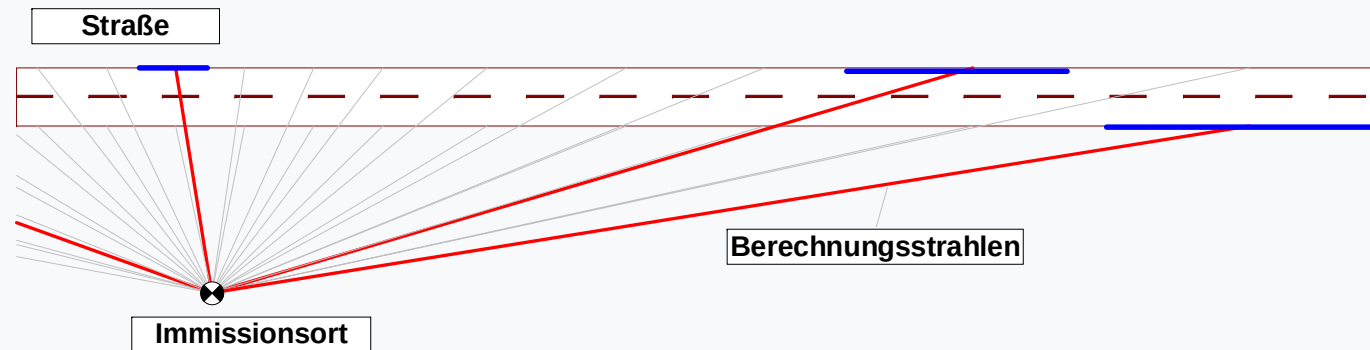
Teilstück so klein, dass es durch eine mittige Punktquelle ersetzt werden kann. Emissionsanteil aus 3D-Abstand d (z.B. RLS-90...)

$$L_{\text{Emission}} = \dots - 20 \lg(d / d_0) \dots$$

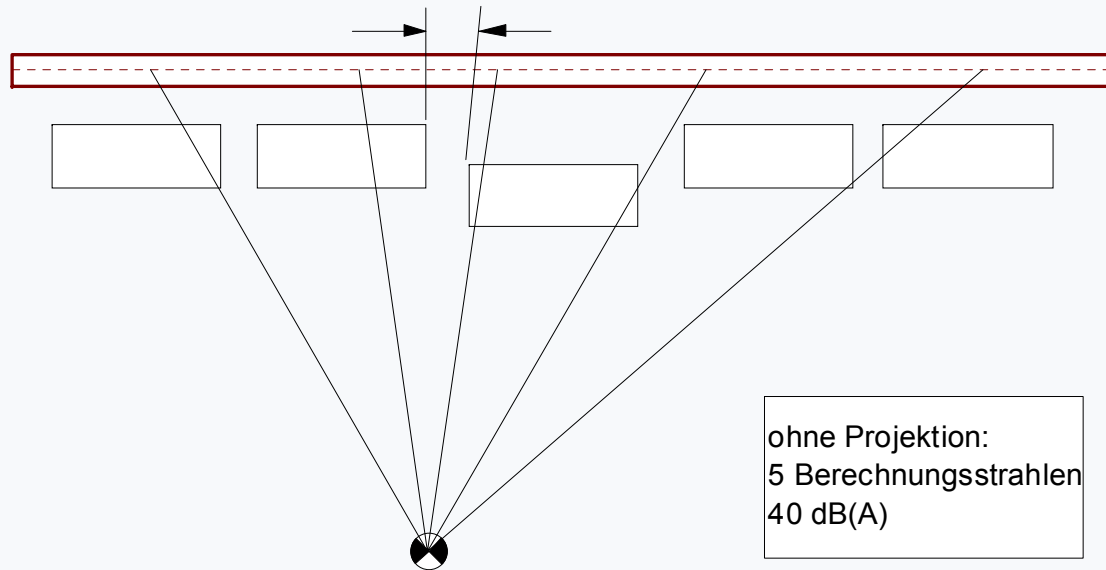
**Das Aspektwinkelverfahren ist weniger leistungsfähig und veraltet
→ Punktquellensimulation**

Länge der Abschnitte (blau), die mit einer Berechnung „erledigt“ werden.

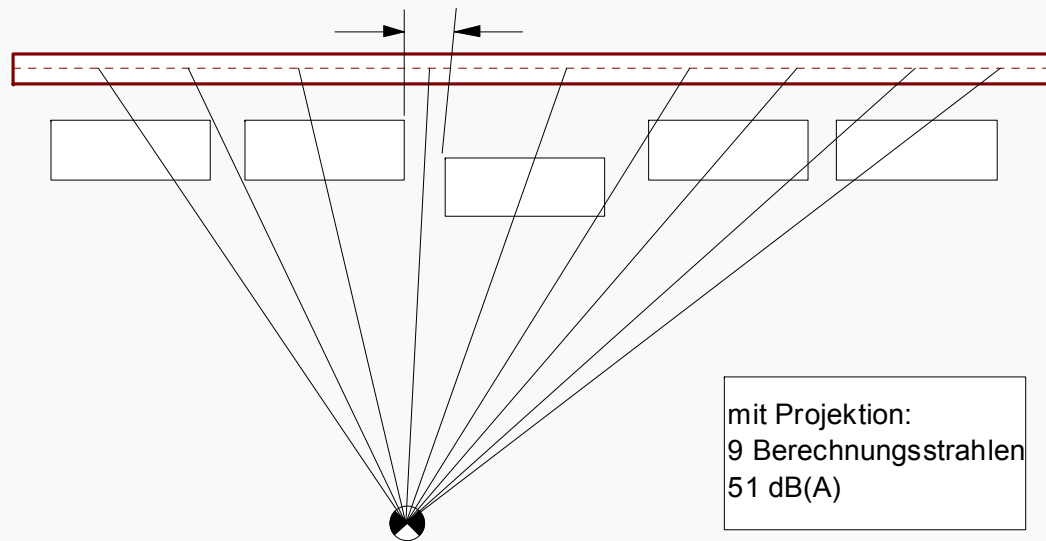
Jeder dieser Abschnitte erfordert eine Berechnung der Schallausbreitung.



Die Geometriaufbereitung ist unabhängig vom Berechnungsverfahren – die Berechnung der einzelnen Strahlenteile kann mit ISO 9613-2, RLS-90..... Harmonoise, SonRoad... erfolgen.

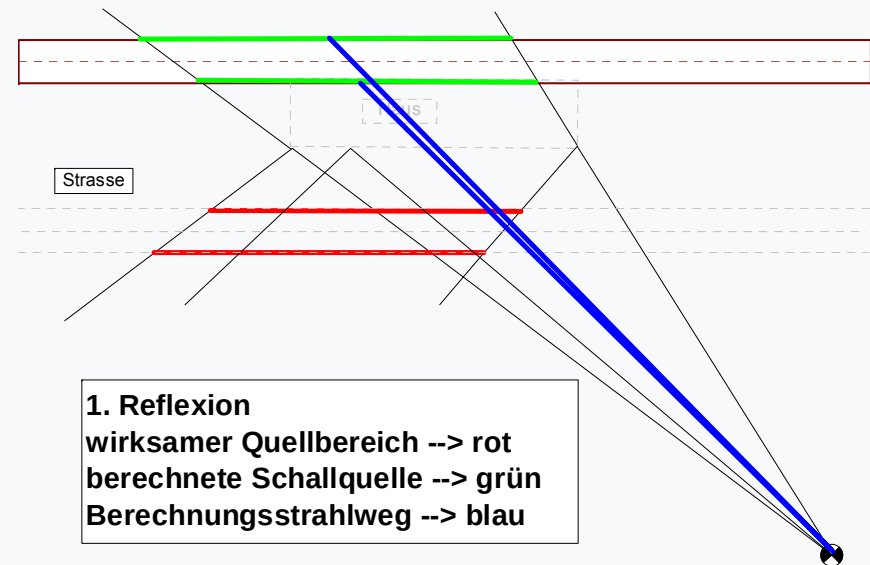
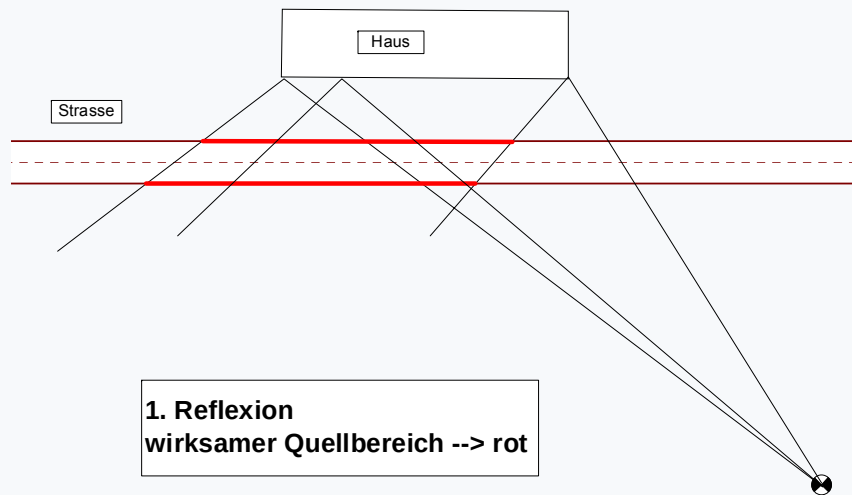


**Aufteilung nur nach
Abstand**



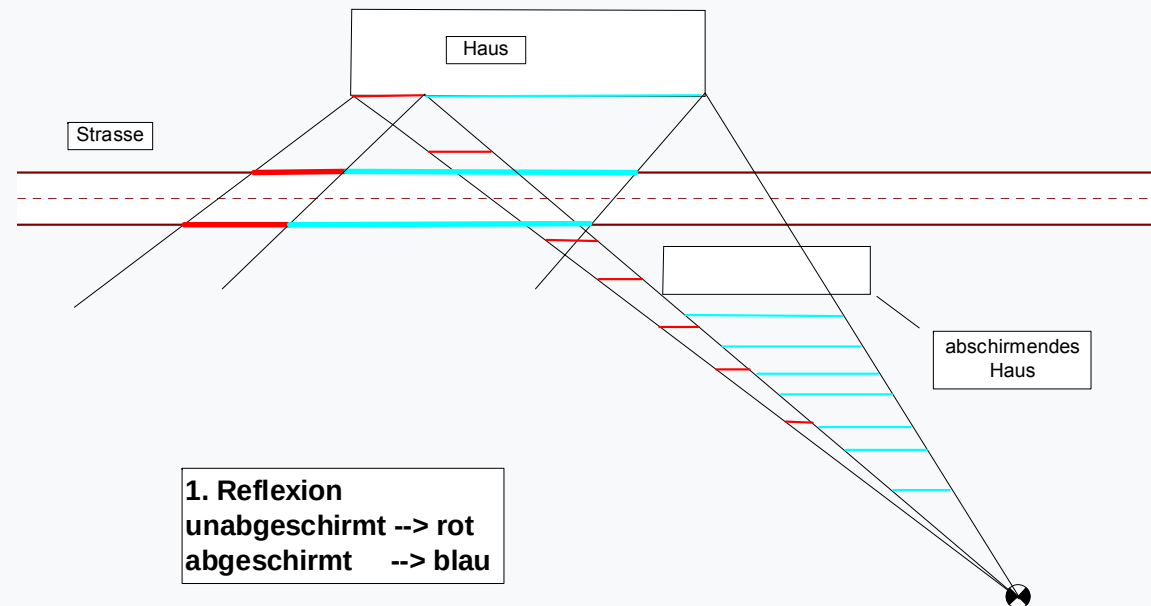
**Aufteilung erst
nach Lücken und
dann nach Abstand**

Projektion – ein zweistufiges Verfahren



Auch die Reflexionsberechnung an der Fassade erfordert ein Projektionsverfahren.

Längere Fassaden reflektieren mehr Schallleistung zum Immissionsort.



Zur Unterteilung der Quelle wird sowohl am reflektierenden wie auch am abschirmenden Haus projiziert.

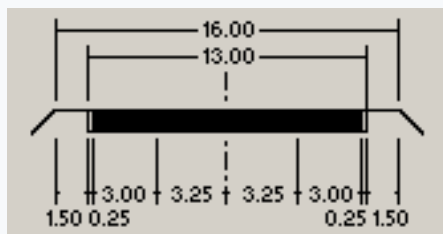
Für einen Teil des reflektierten Schalls erfolgt Schirmrechnung.

Zur Lärmquelle allgemein (Beispiel Straße)

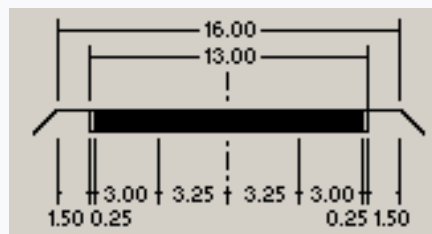
Geometrie

Höhenverteilung

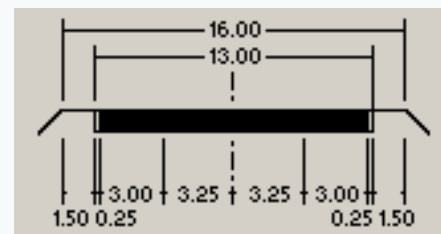
Spurverteilung



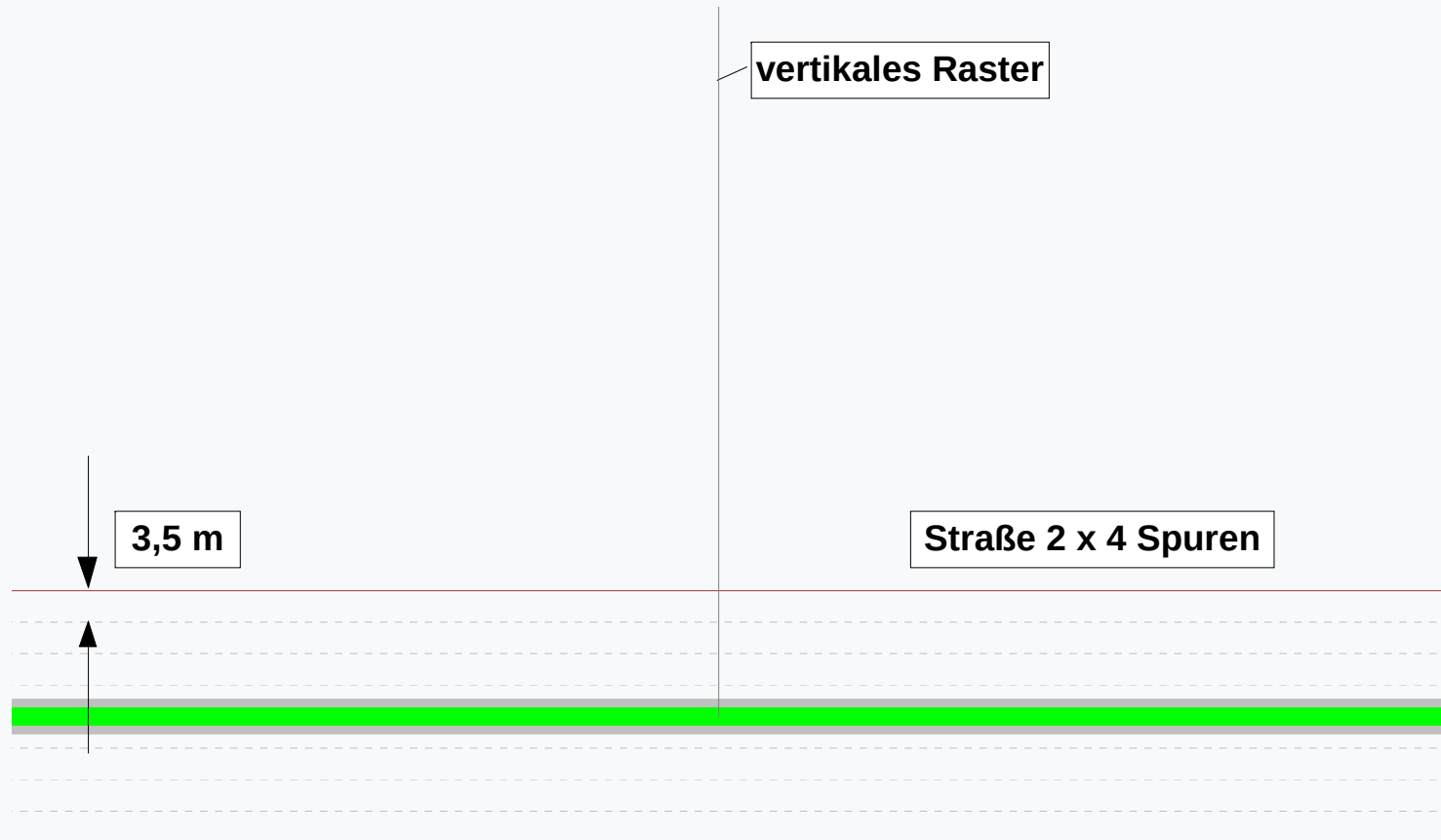
Eine Emissionslinie pro
Fahrspur (NMPB)

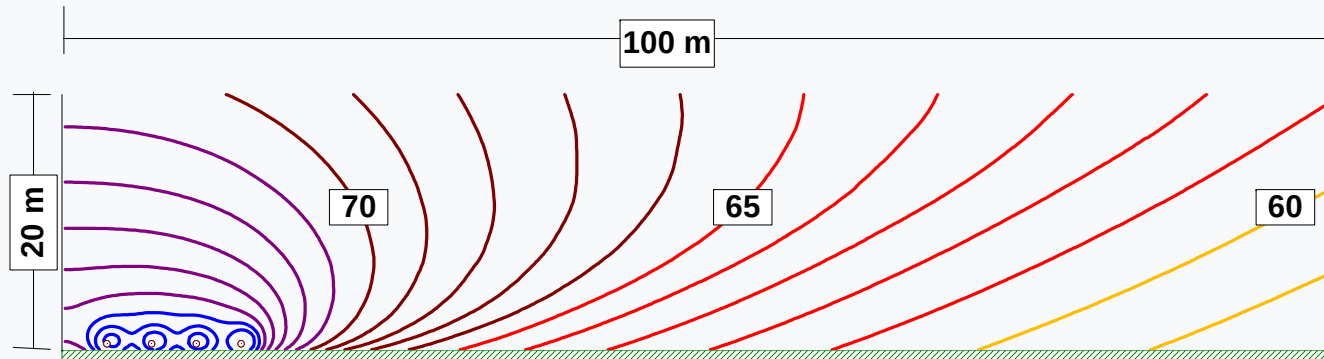


Je eine Emissionslinie
für die zwei äußeren
Fahrspuren (RLS-90)

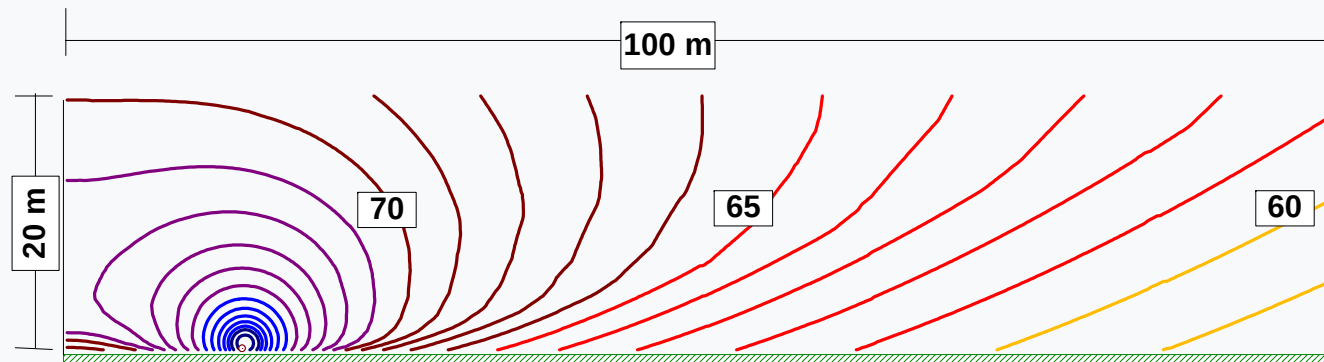


Eine Emissionslinie 3,5 m
vom zugewandten Fahrbah-
rand (CRTN)

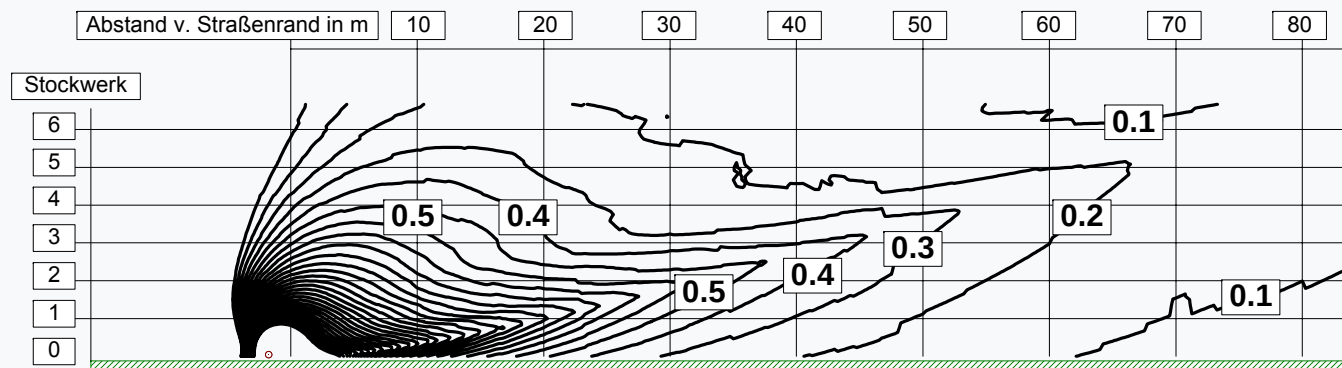




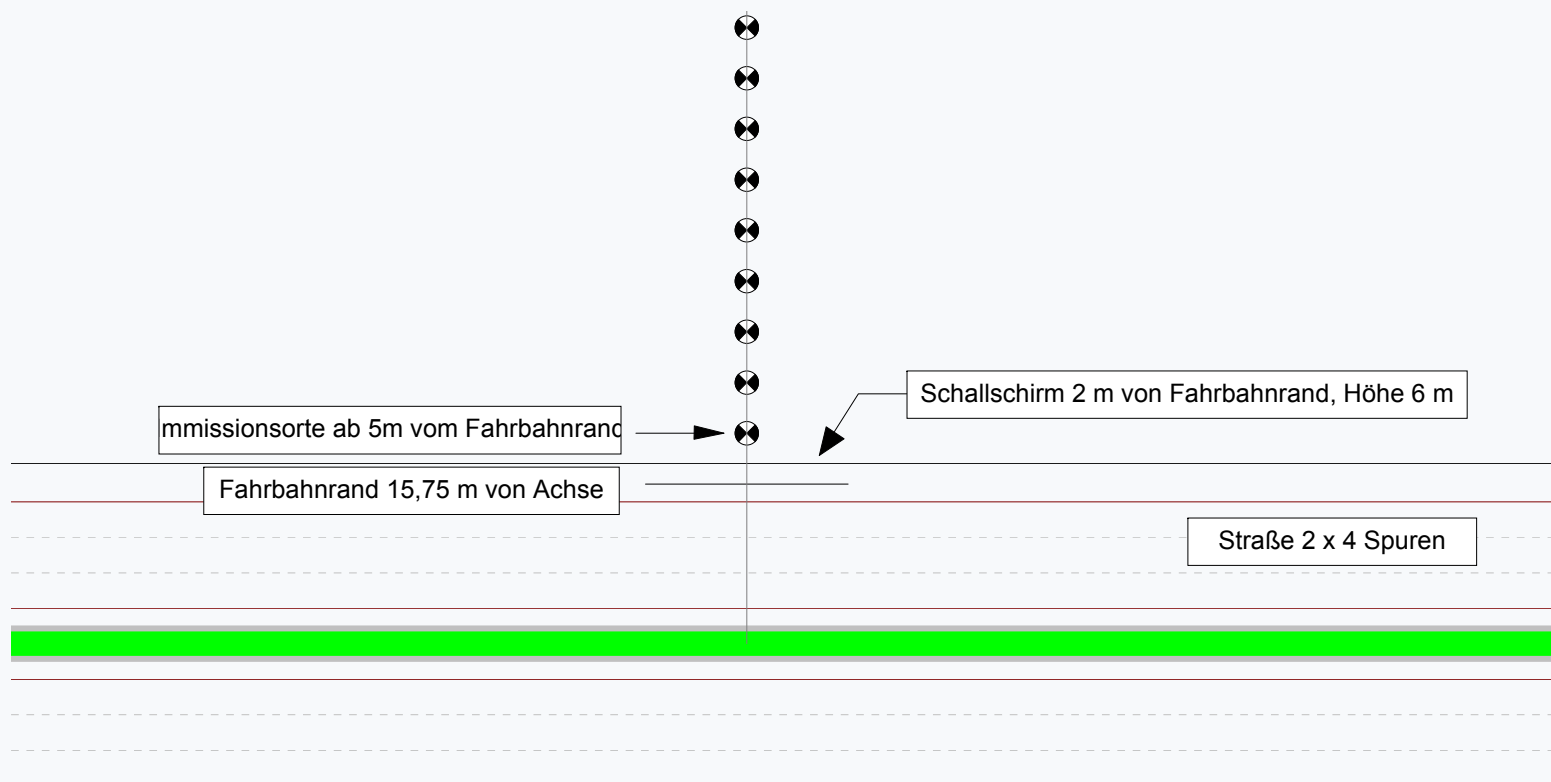
Verkehr auf alle 8
Spuren gleich verteilt
(NMPB)



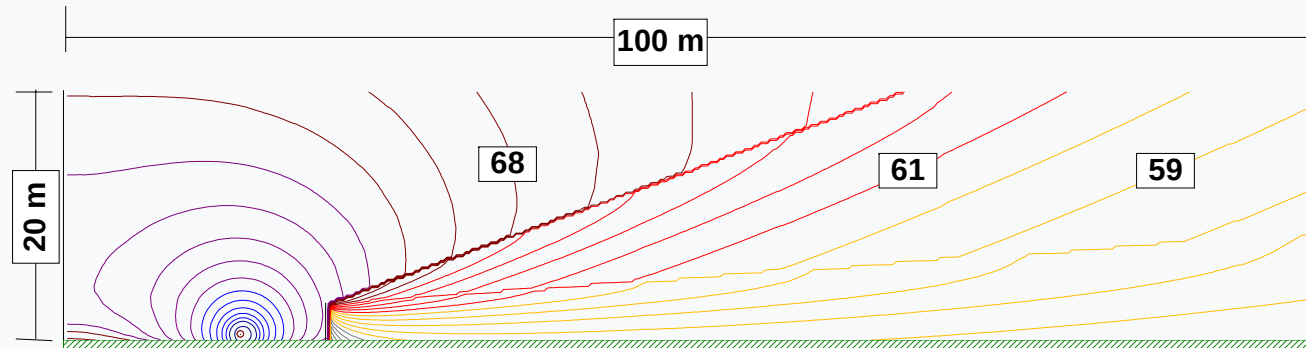
Verkehr den äußeren
zwei Fahrbahnen
zugewiesen
(RLS-90)



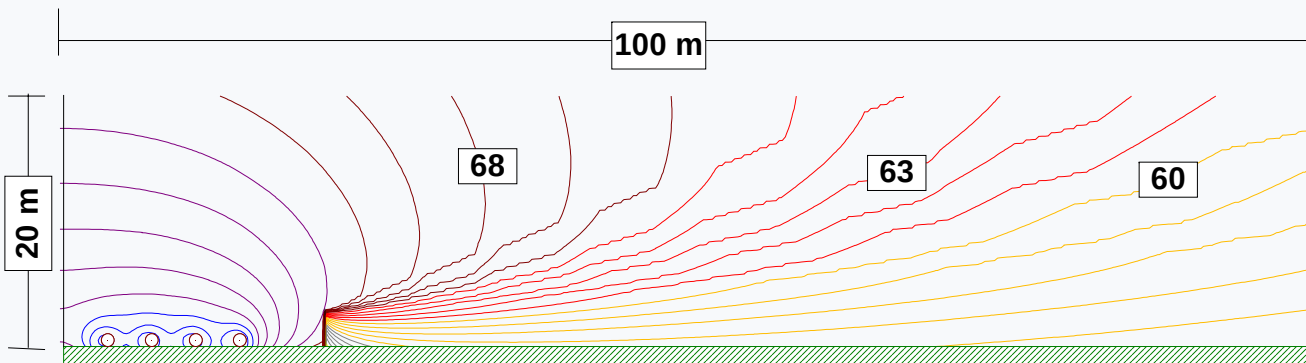
Differenz



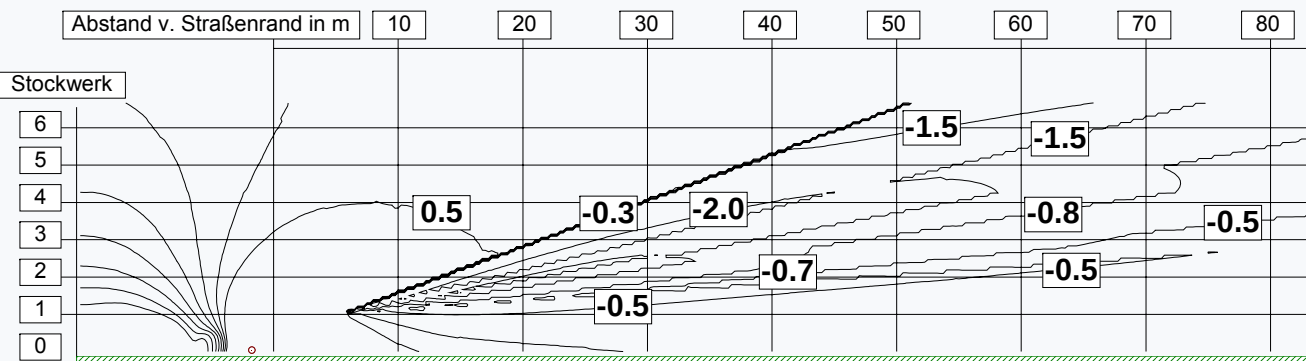
16



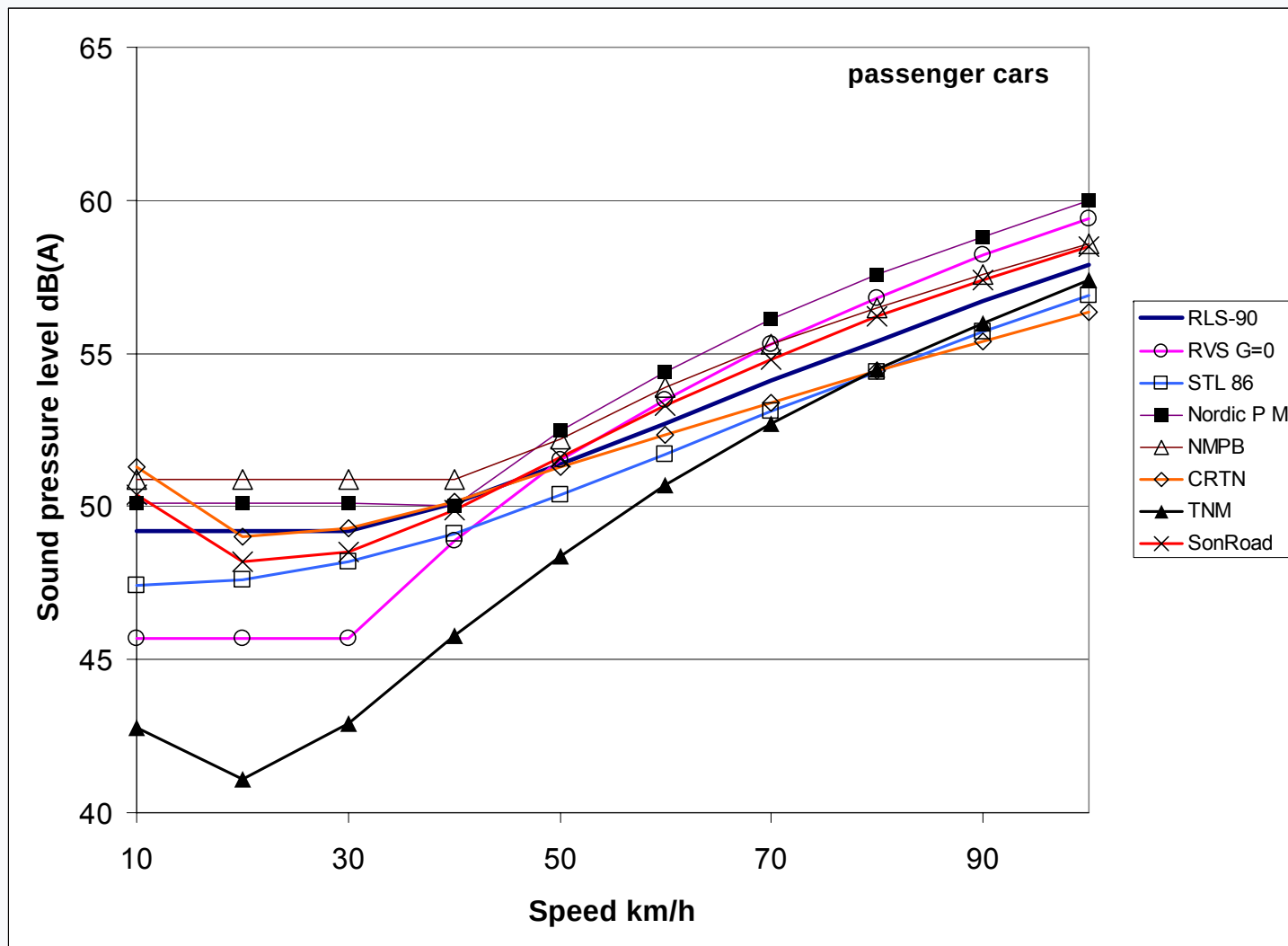
Verkehr den äußeren
zwei Fahrbahnnachsen
zugewiesen
(RLS-90)

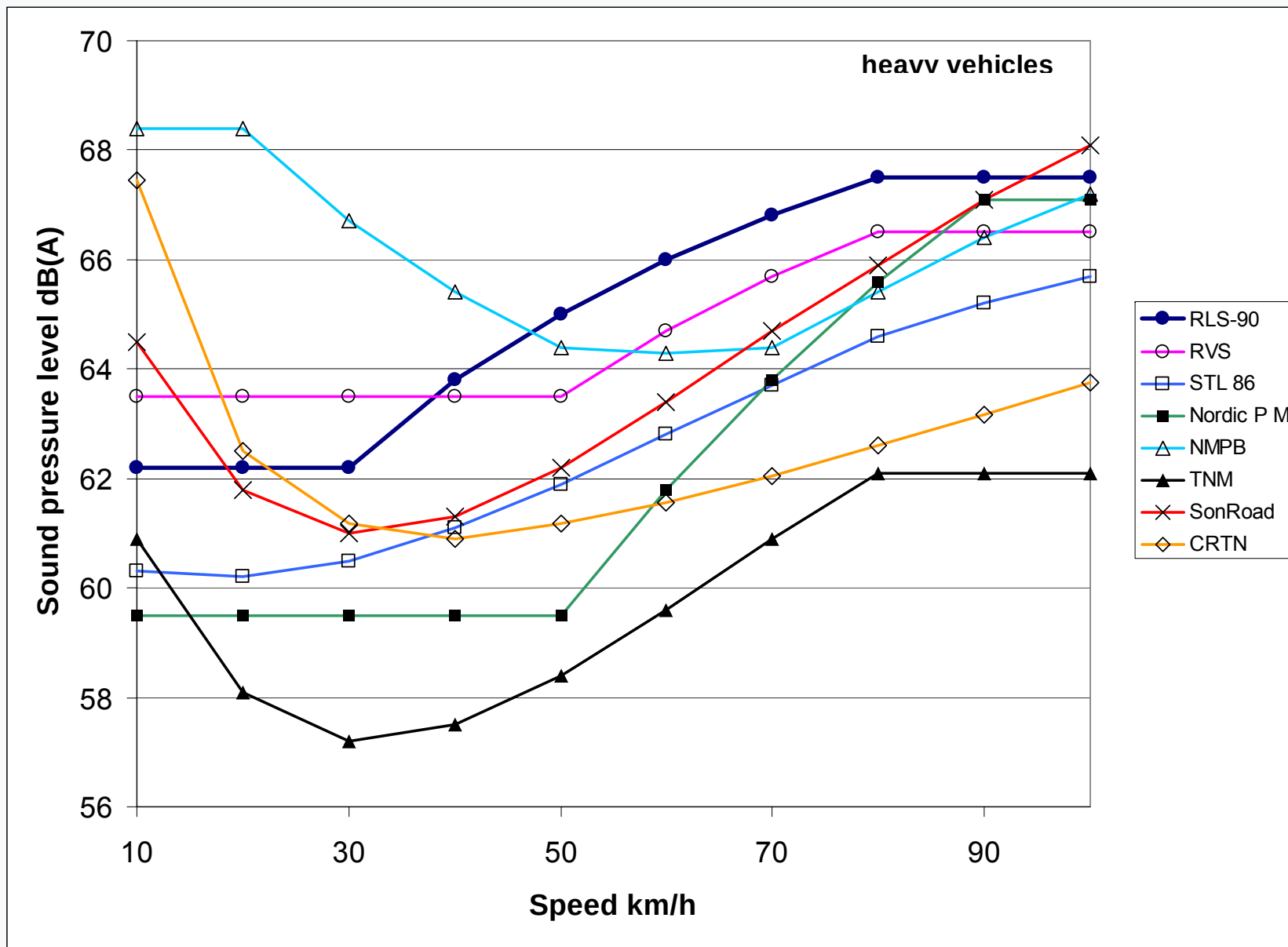


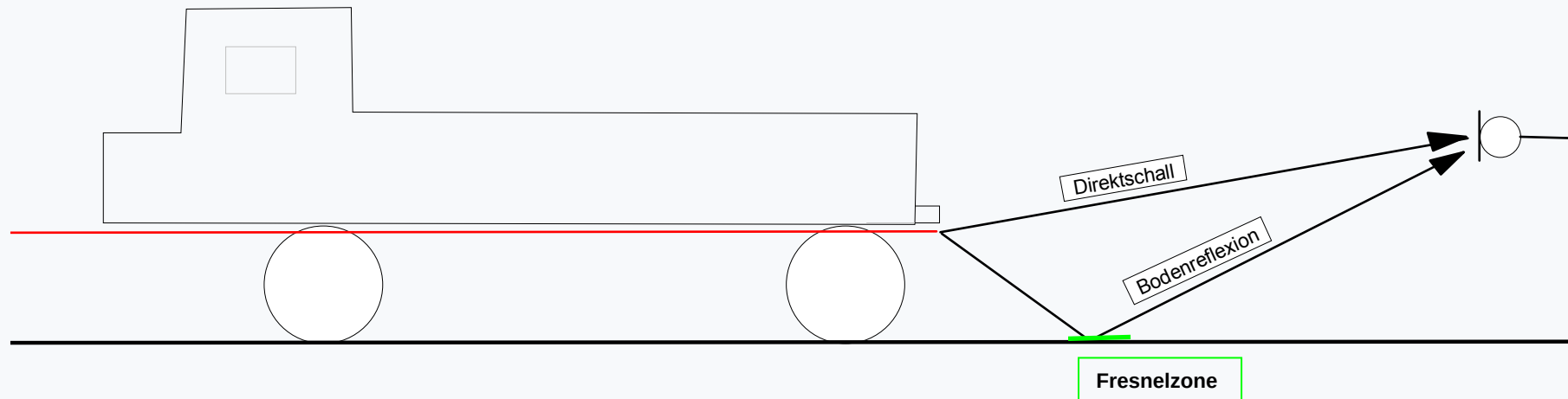
Verkehr auf alle 8
Spuren gleich verteilt
(NMPB)



Differenz







Kohärente Überlagerung Direktschall - Bodenreflexion

Rechnung in schmalen Frequenzbändern erforderlich (pro Frequenzband eine Berechnung)

Phasenlage ist zu berücksichtigen (komplexe Impedanz des Bodens erforderlich)

Räumliche Mittelung durch Fresnelzonenkonzept

Prüfung auf Reflexionsbedingung:

Reflektor

Immissionsort

d

+

Quelle

Position der Spiegelquelle:

+

d

Spiegelquelle

d

+

Position des Reflexionspunkts:

Reflexionspunkt

+

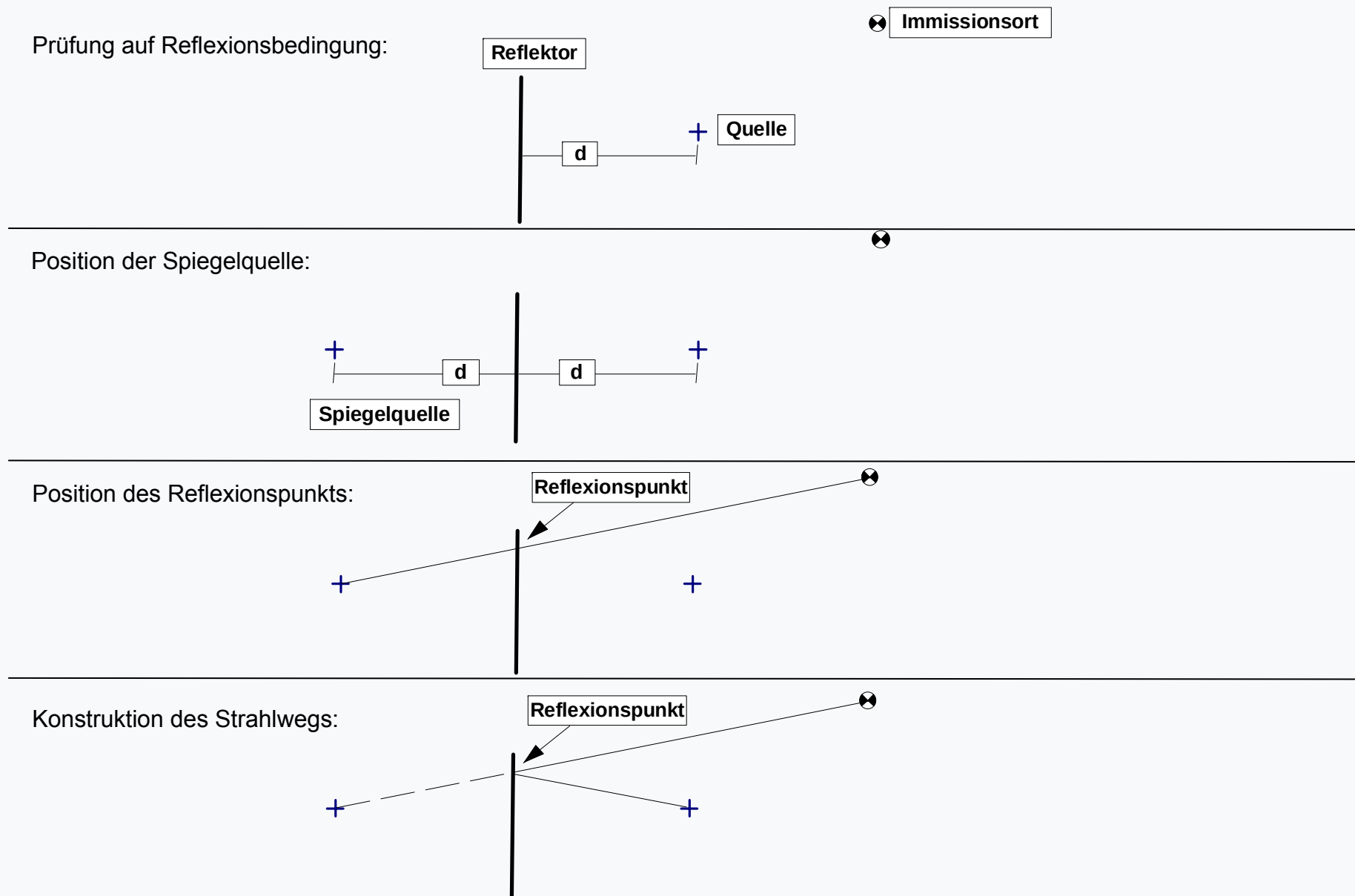
+

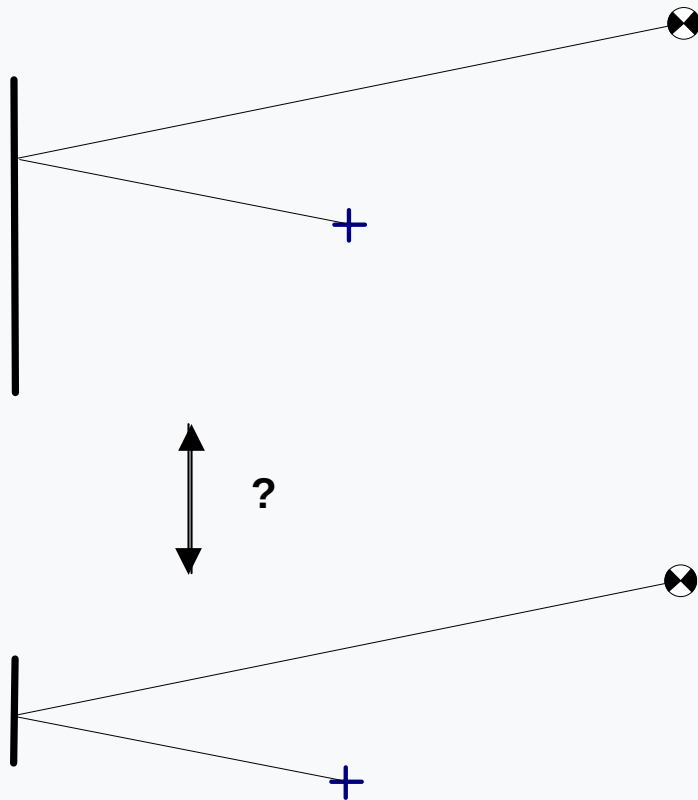
Konstruktion des Strahlwegs:

Reflexionspunkt

+

+

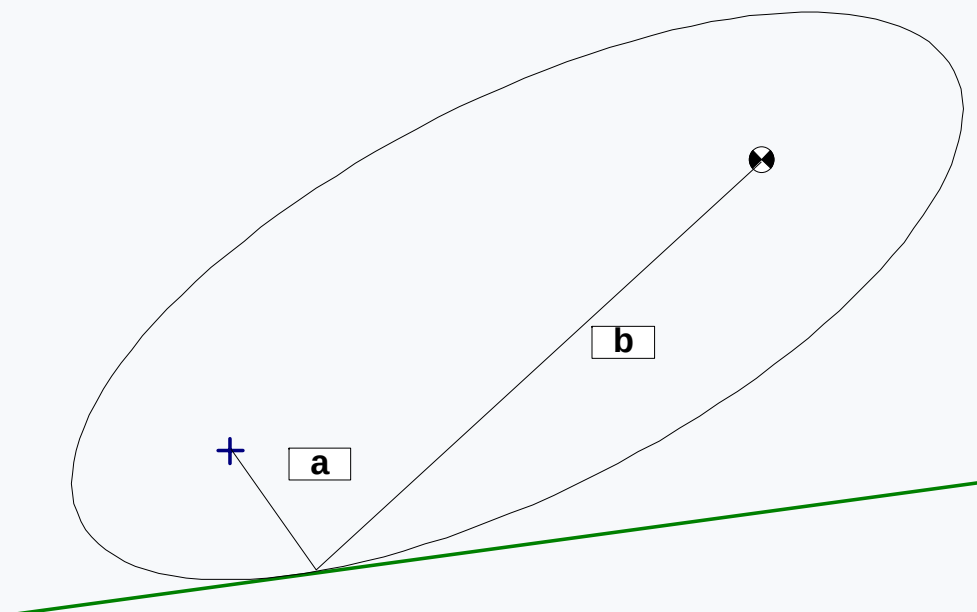
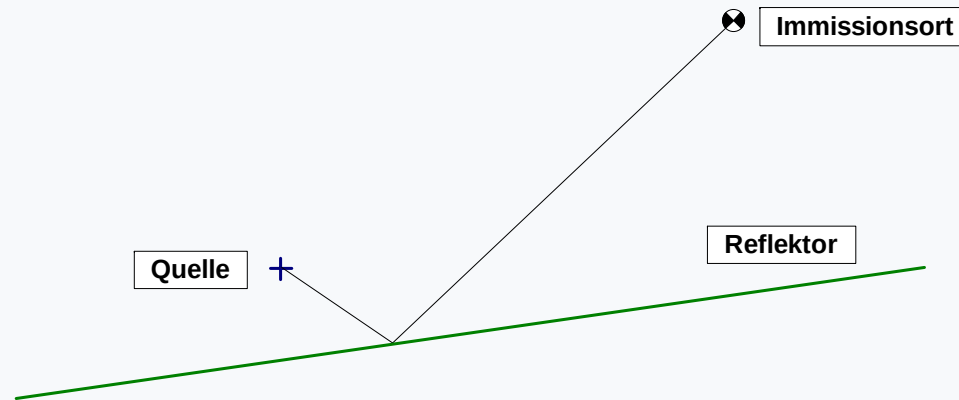




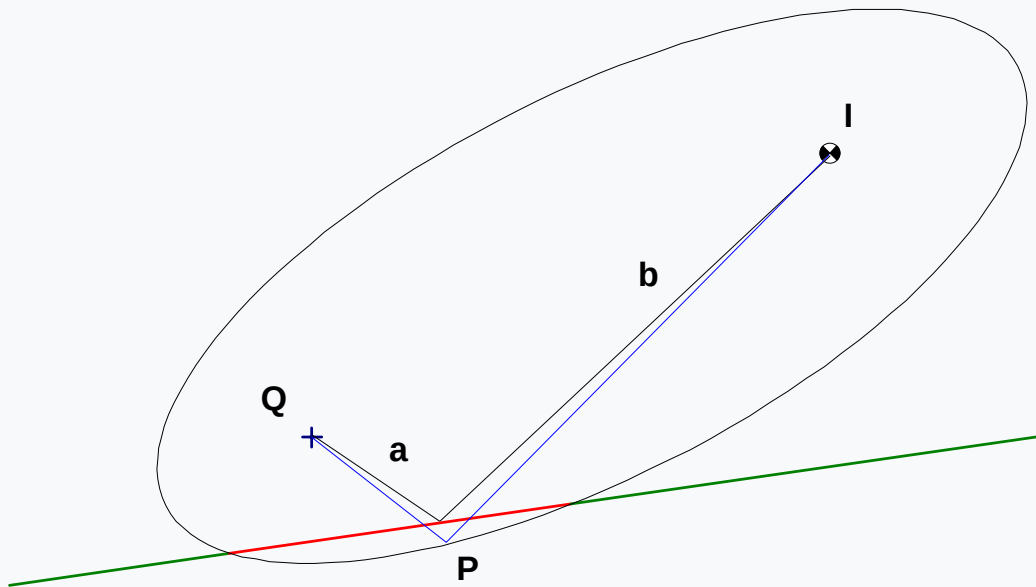
- 3 unterschiedliche Möglichkeiten:
- Prinzipiell keine Breitenbeschränkung
 - Mindestbreite evtl. frequenzabhängig
 - Fresnelzonenkonstruktion

Neuere Verfahren:

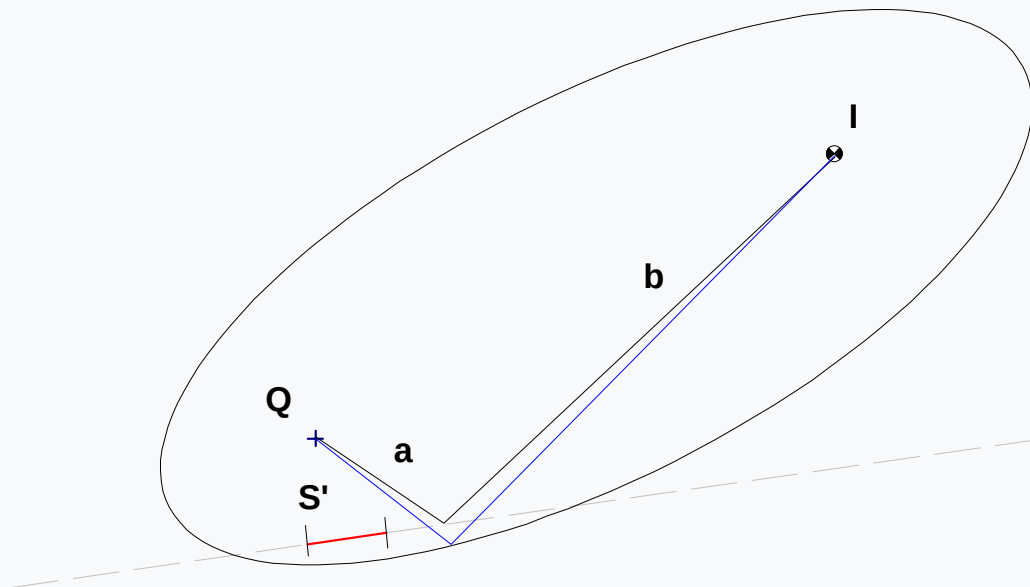
Fresnelzonenkonzept zur Berücksichtigung der Ausdehnung der Reflexionsfläche



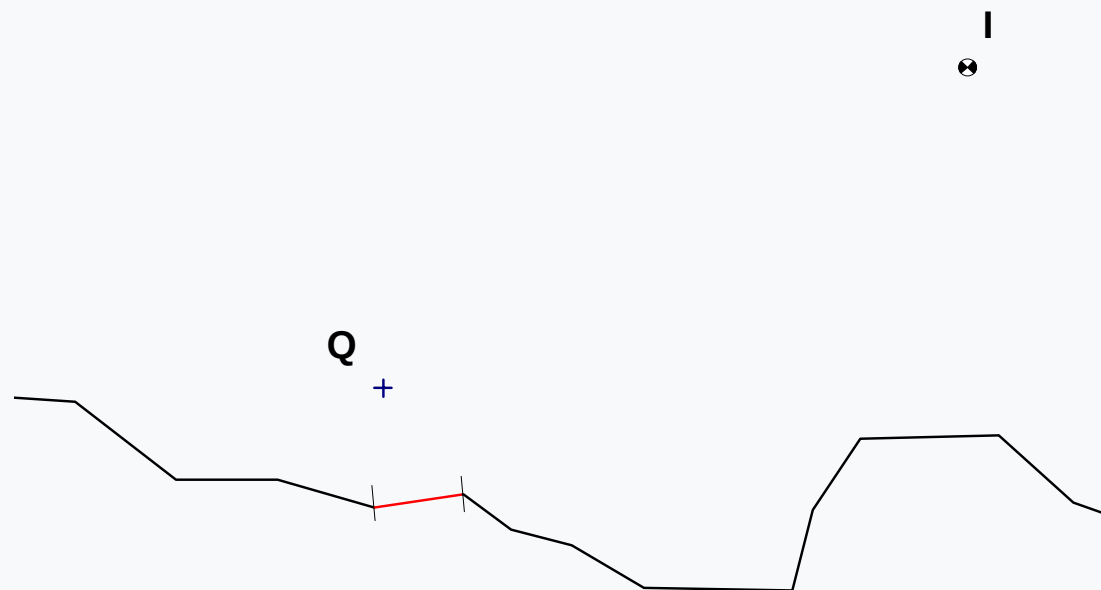
Alle Punkte, über die der Weg von Q zu I die Länge $a + b$ hat, liegen auf einer Ellipse mit Q und I als Brennpunkte



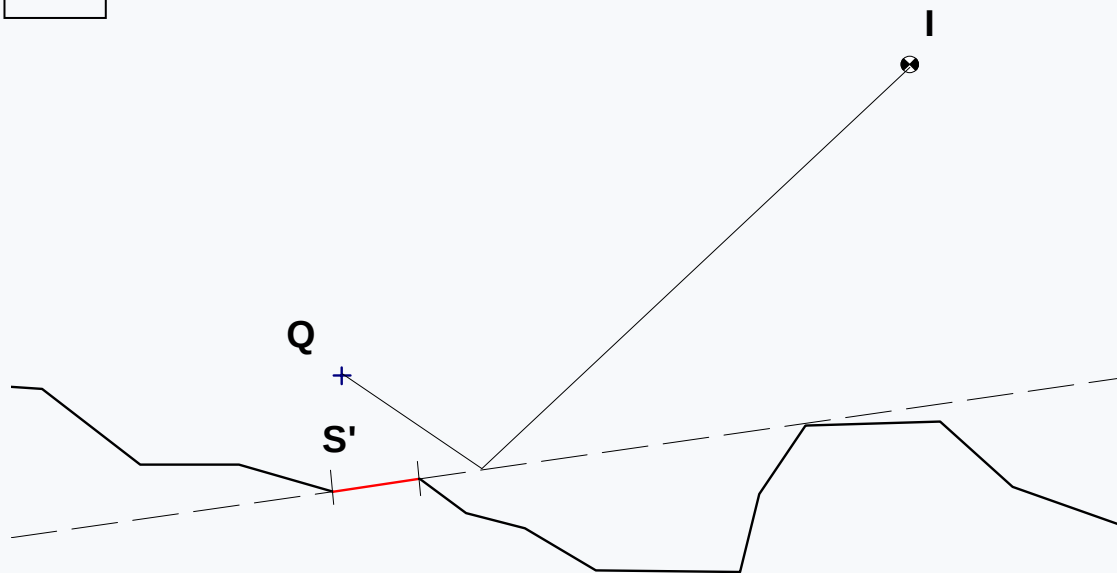
Alle Punkte der Reflexionsfläche, für die der Strahlweg etwas länger (Bruchteil der Wellenlänge) ist, tragen auch zur Reflexion bei (rot)



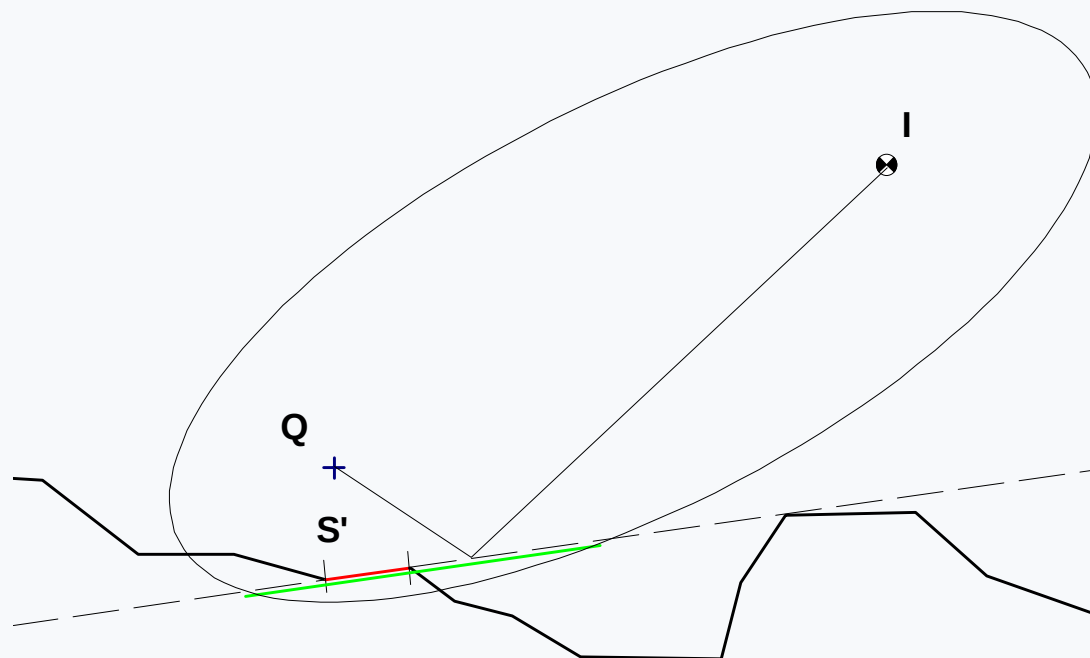
Soll der Beitrag einer kleinen Fläche S' am Immissionsort berechnet werden, so wird nur der mit dem Faktor S'/S multiplizierte (geschwächte) Anteil berücksichtigt.



Prüfung, was der Abschnitt S'
durch Reflexion am
Immissionsort I beiträgt



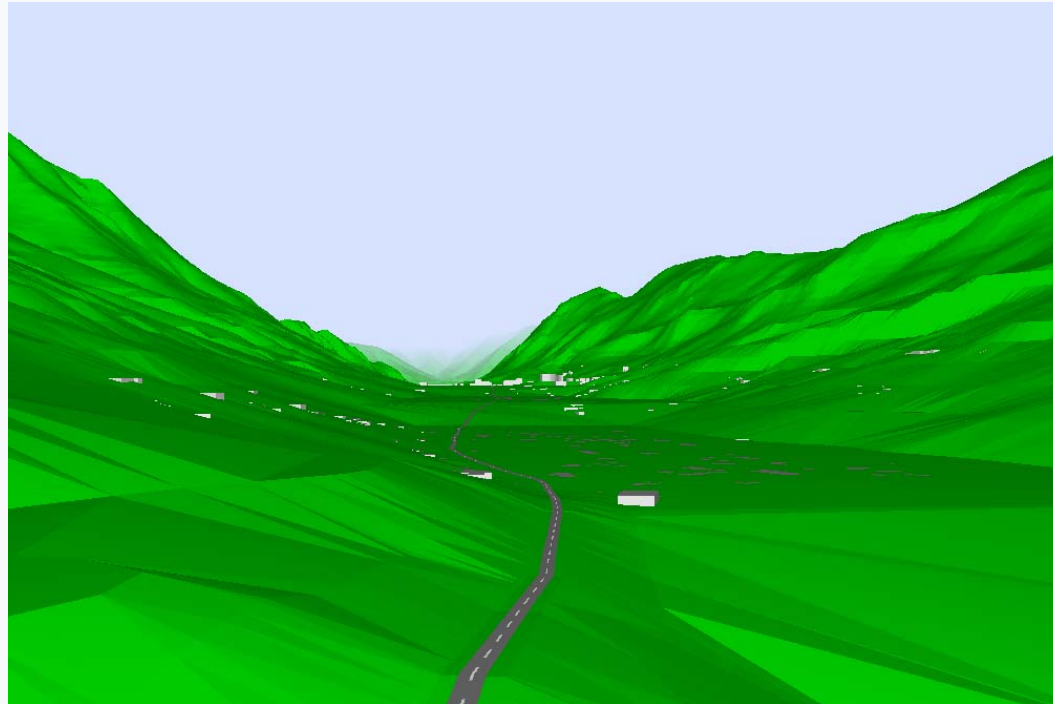
Verlängerung des Abschnitts
und Berechnung der Reflexion
an dieser Ebene (Impedanz wie
innerhalb S')



Berechnung der Länge der
Ausdehnung der Fresnelzone
 S (grün) und somit des
Reflexionsbeitrags von S' (rot)

Problem:

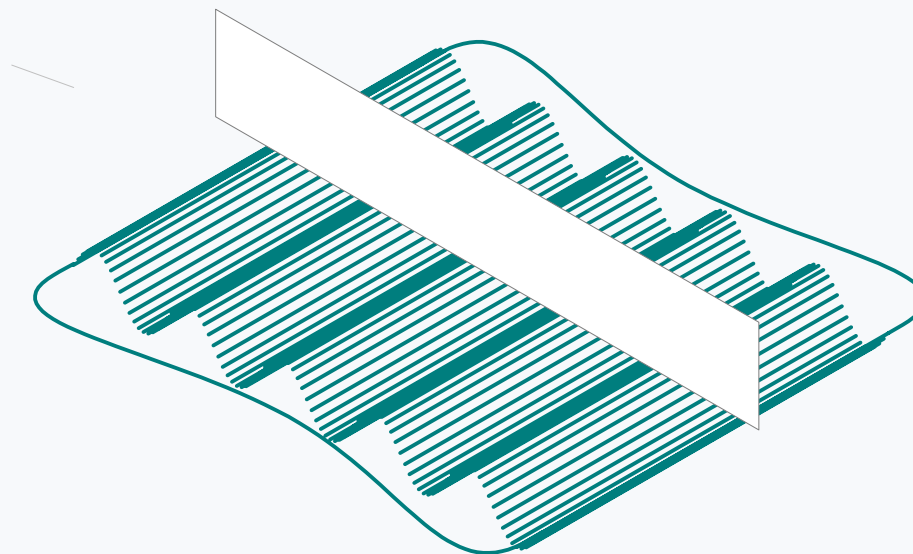
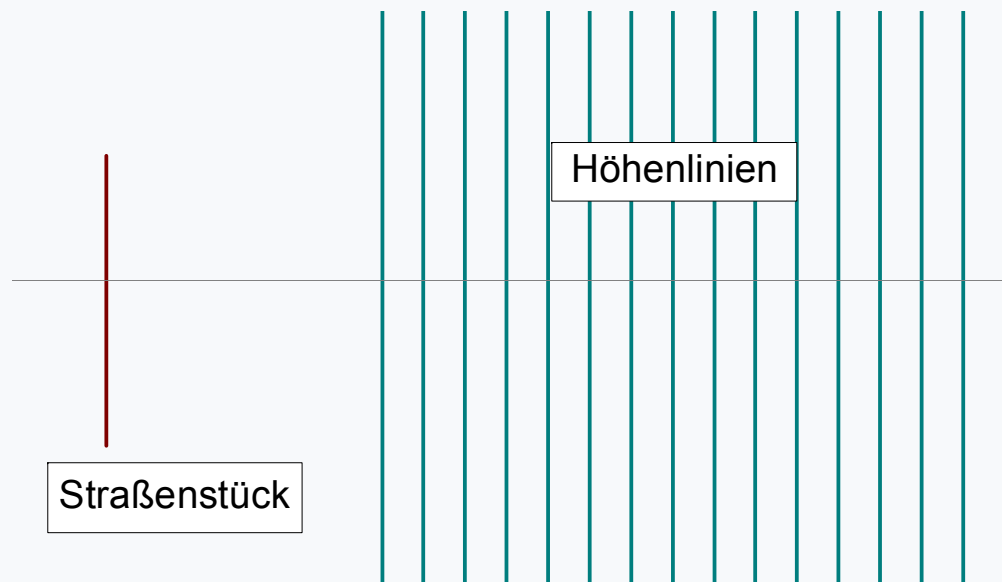
Bei stark gegliedertem Boden muss mit einigen komplexeren Verfahren erheblich vereinfacht werden.



Diese Vereinfachungen führen oft zu schwer überprüfbaren Ergebnissen

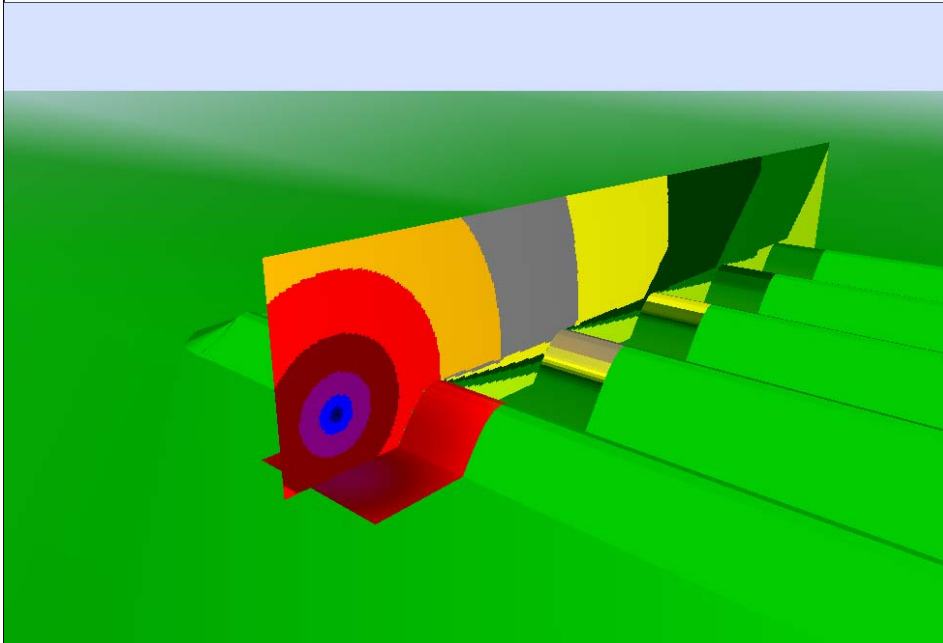
→ Wenn der Bodeneinfluss so detailliert einbezogen werden soll, sind noch viele zusätzliche Festlegungen zur Modellvereinfachung erforderlich (Präzision)

Rechenzeiten verlängern sich extrem.

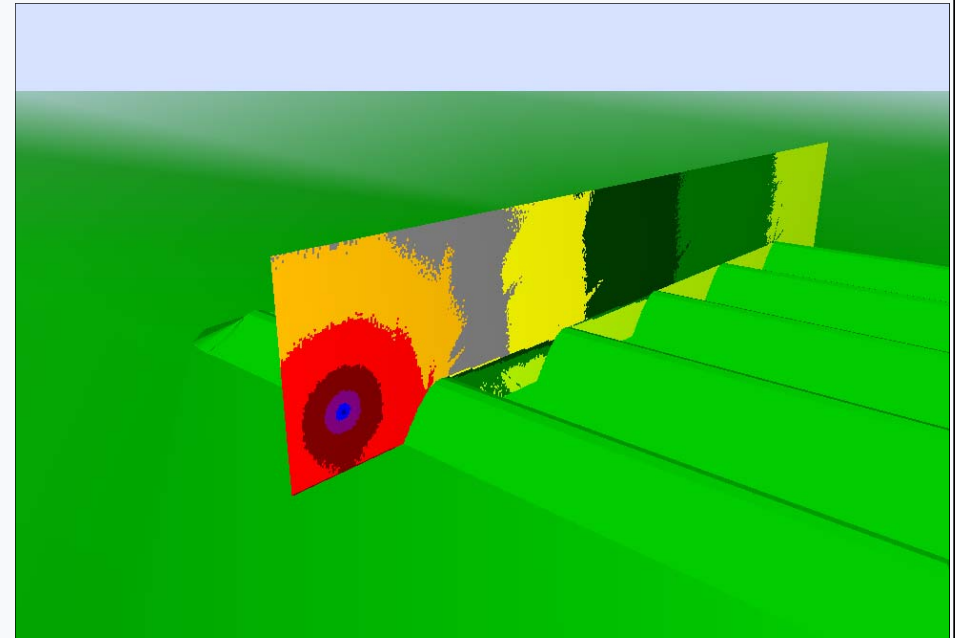


RLS

Har



RLS / ISO 9613 konventionell



Fresnelzonenkonzept und
kohärente Überlagerung
Direktschall – Bodenreflexion
Sehr feine Frequenzaufteilung
Zeit: Faktor x00

P_P

P_10p



Technische
Parameter
(Verkehrstrom)



L_{WA}'

(RLS-90)

+

$\Delta L_{WA}'$



1

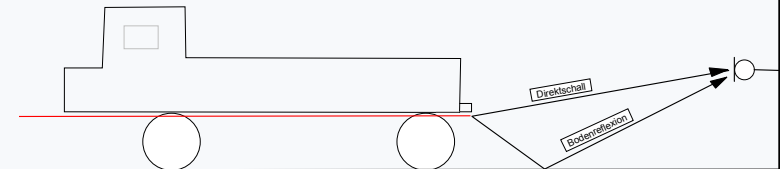
$L_W(f)$

Oktaven (RVS.....)

9

1/3 Oktaven (NMPB2008, NORD2000..)

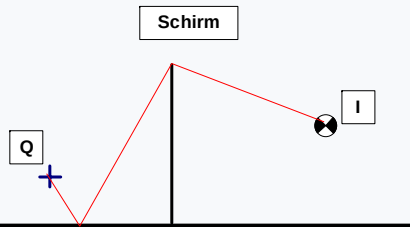
27



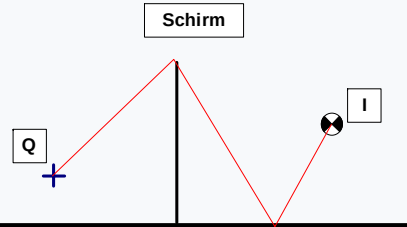
→ Die spektrale Information ist „nicht viel wert“ bzw. ungenau, wenn dann für einzelne Effekte wie Straßenoberfläche oder Steigung pauschale Zuschläge > 3 dB als Einzahlwerte verwendet werden.

→ Für alle Korrekturen müsste dieselbe Auflösung im Frequenzbereich gewählt werden (und dies ist kaum möglich)

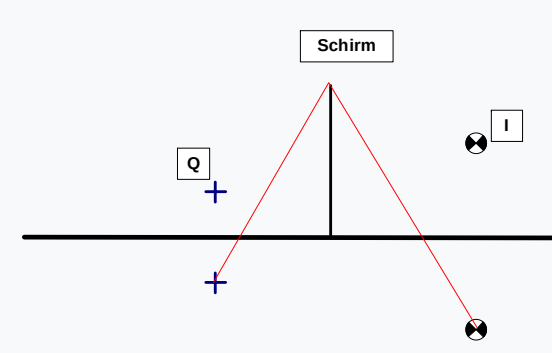
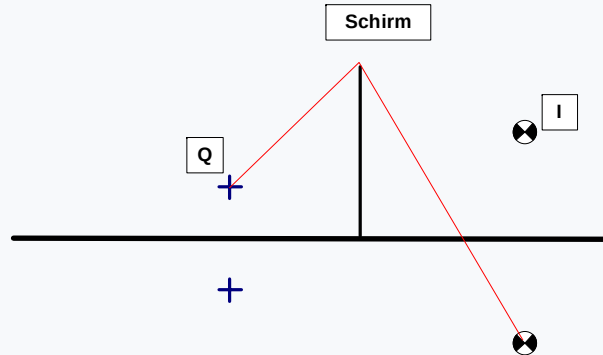
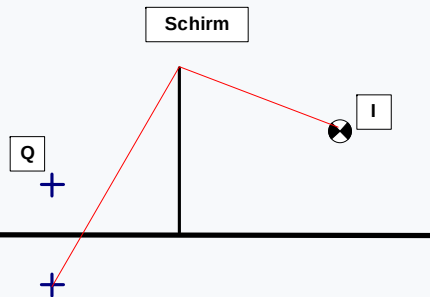
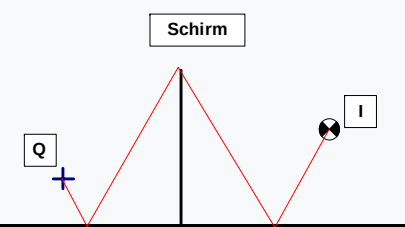
Bodenreflexion vor Schirm



Bodenreflexion nach Schirm

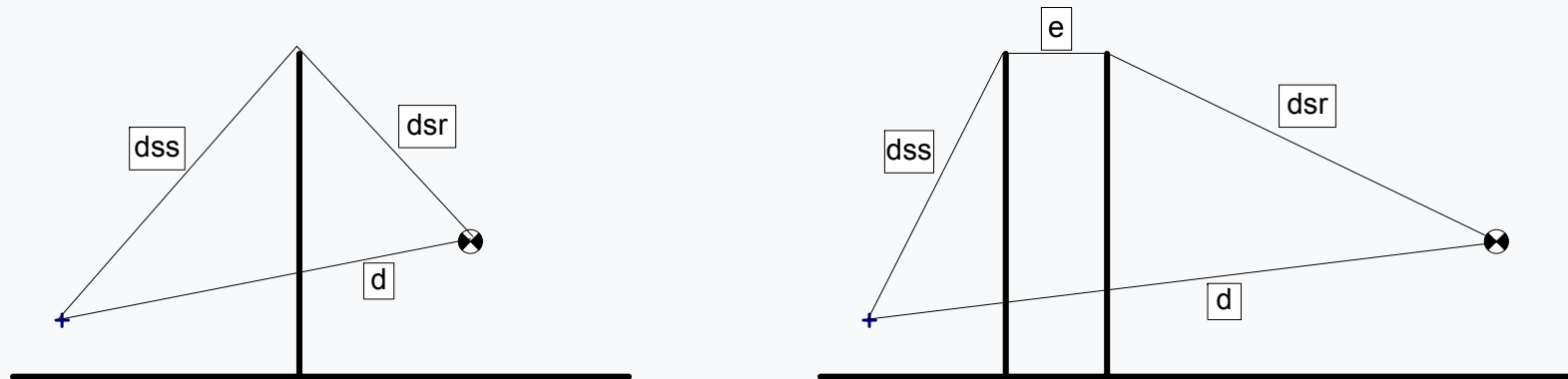


Bodenreflexion beidseitig



Bei SonRoad je eine Bodenreflexion vor und hinter dem Schirm – bei TNM auch Reflexionsanteile von der Quellenseite des Schirms

Sowohl nach konventionellen wie auch nach neueren Verfahren ist der kürzeste Umweg um den Schirm maßgeblich



ISO 9613-2:

$$D_Z = 10 \cdot \lg \left[3 + \frac{C_2}{\lambda} \cdot C_3 \cdot z \cdot K_{\text{met}} \right]$$

$$z = d_{\text{ss}} + e + d_{\text{sr}} - d$$

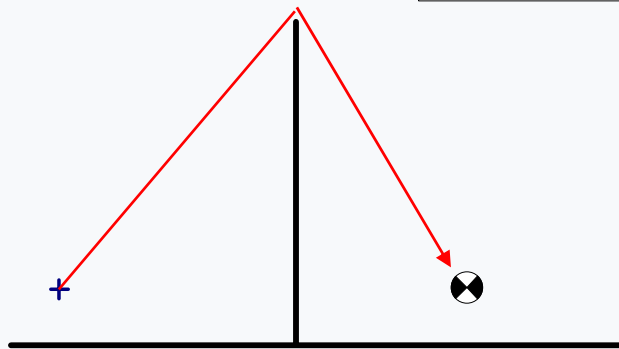
Aber nur, wenn Q-I senkrecht zur Schirmkante

33

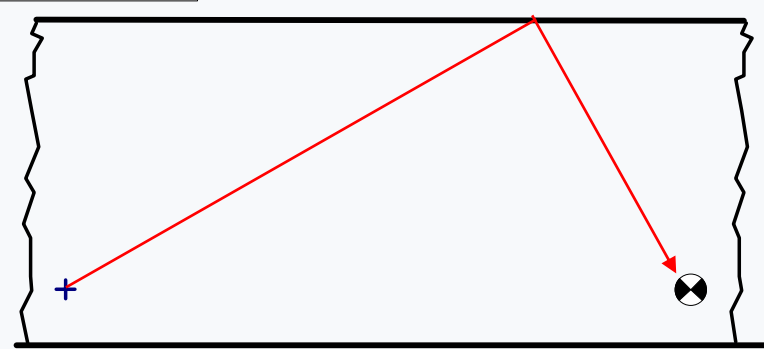
Schirm mit horizontaler Oberkante

Höhen QP und IP gleich

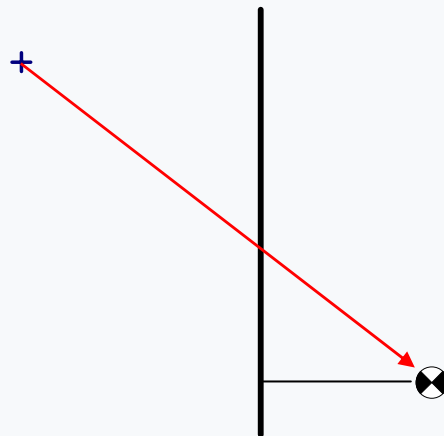
Seitenansicht



Vorderansicht



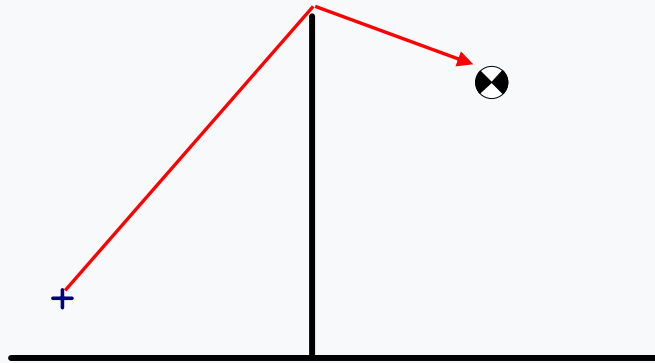
Aufsicht



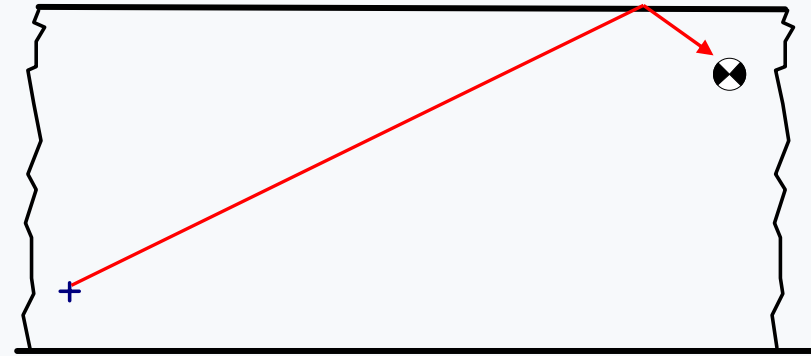
→ In Aufsicht eine Gerade

Schirm mit horizontaler Oberkante
Höhen QP und IP unterschiedlich

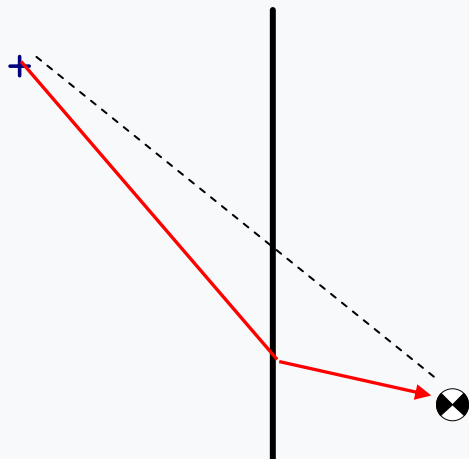
Seitenansicht



Vorderansicht



Aufsicht

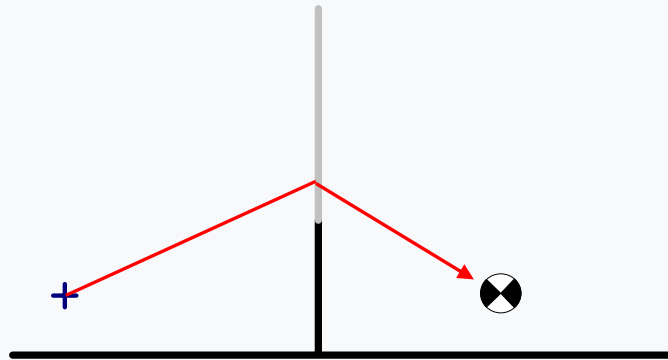


→ In Aufsicht keine Gerade

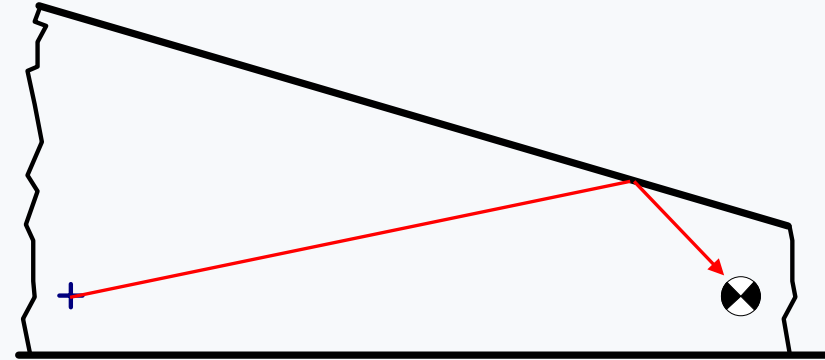
36

Schirm mit schräger Oberkante
Höhen QP und IP gleich

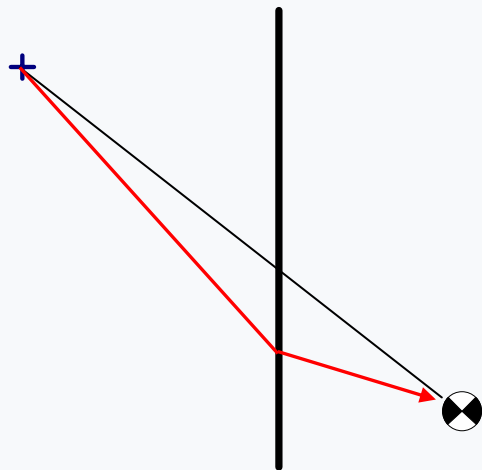
Seitenansicht



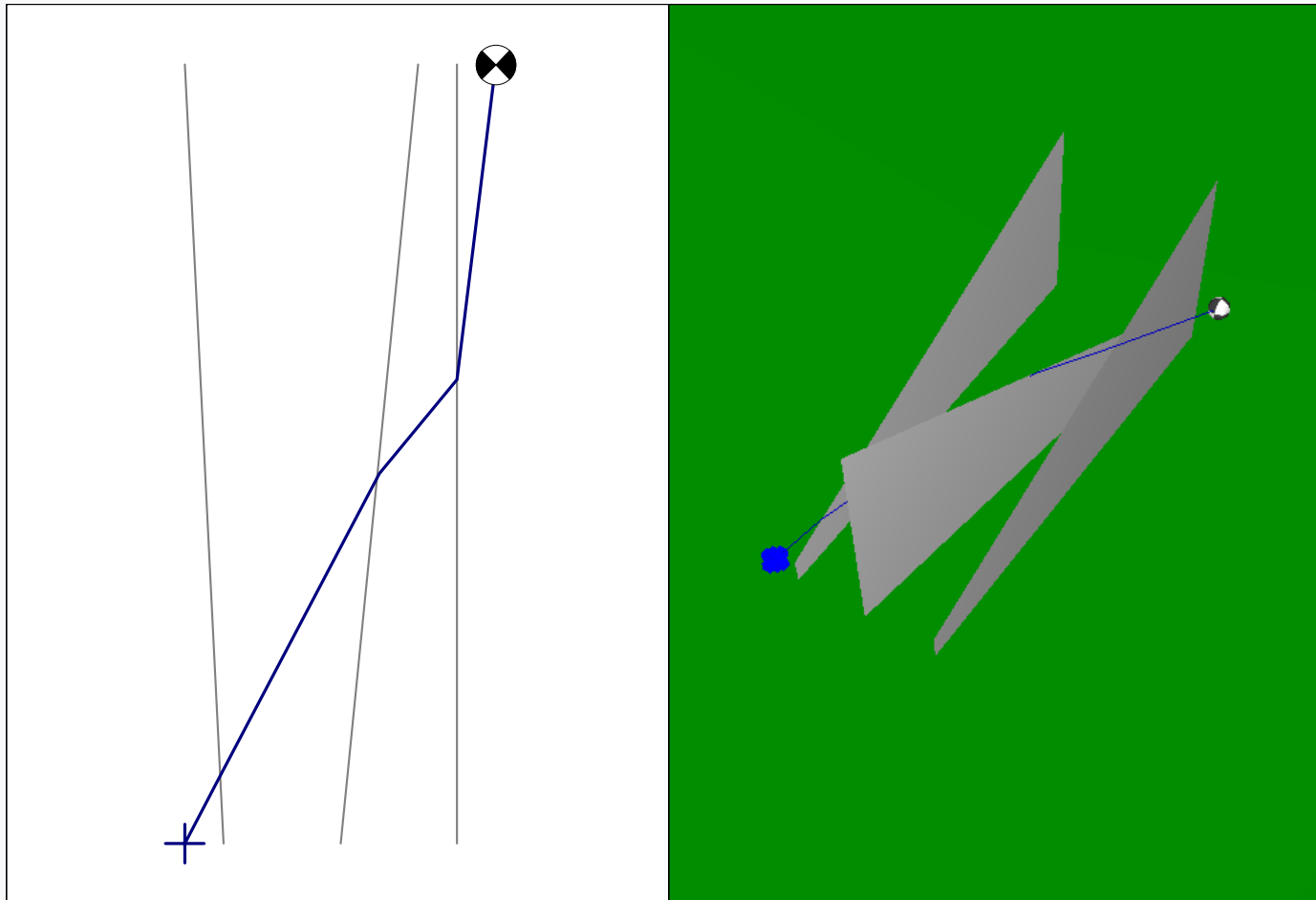
Vorderansicht



Aufsicht

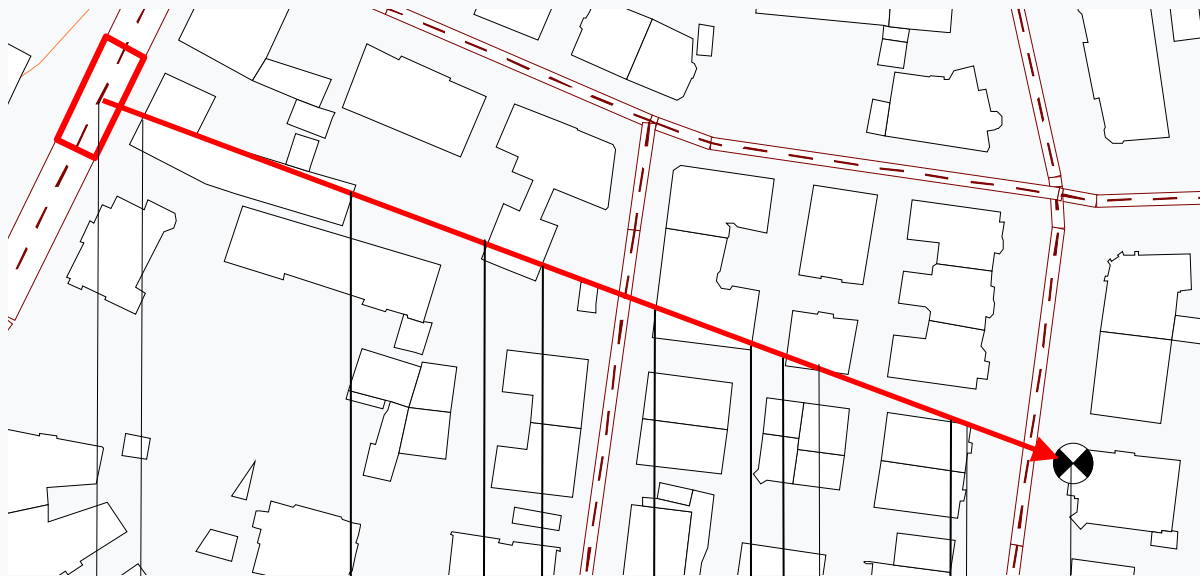


→ In Aufsicht keine Gerade

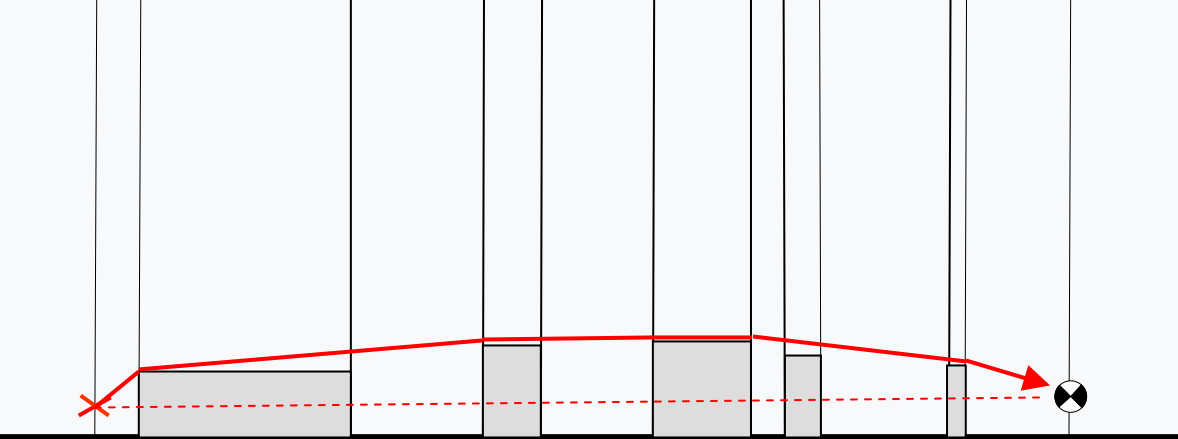


Windschiefe Schirmkanten: keine „ausreichend schnelle“
Lösung in Sicht

Zur Berechnung des Beitrags einer Quelle an einem Immissionsort



wird die Ausbreitung des Direktschalls im Grundriß als Gerade angenommen

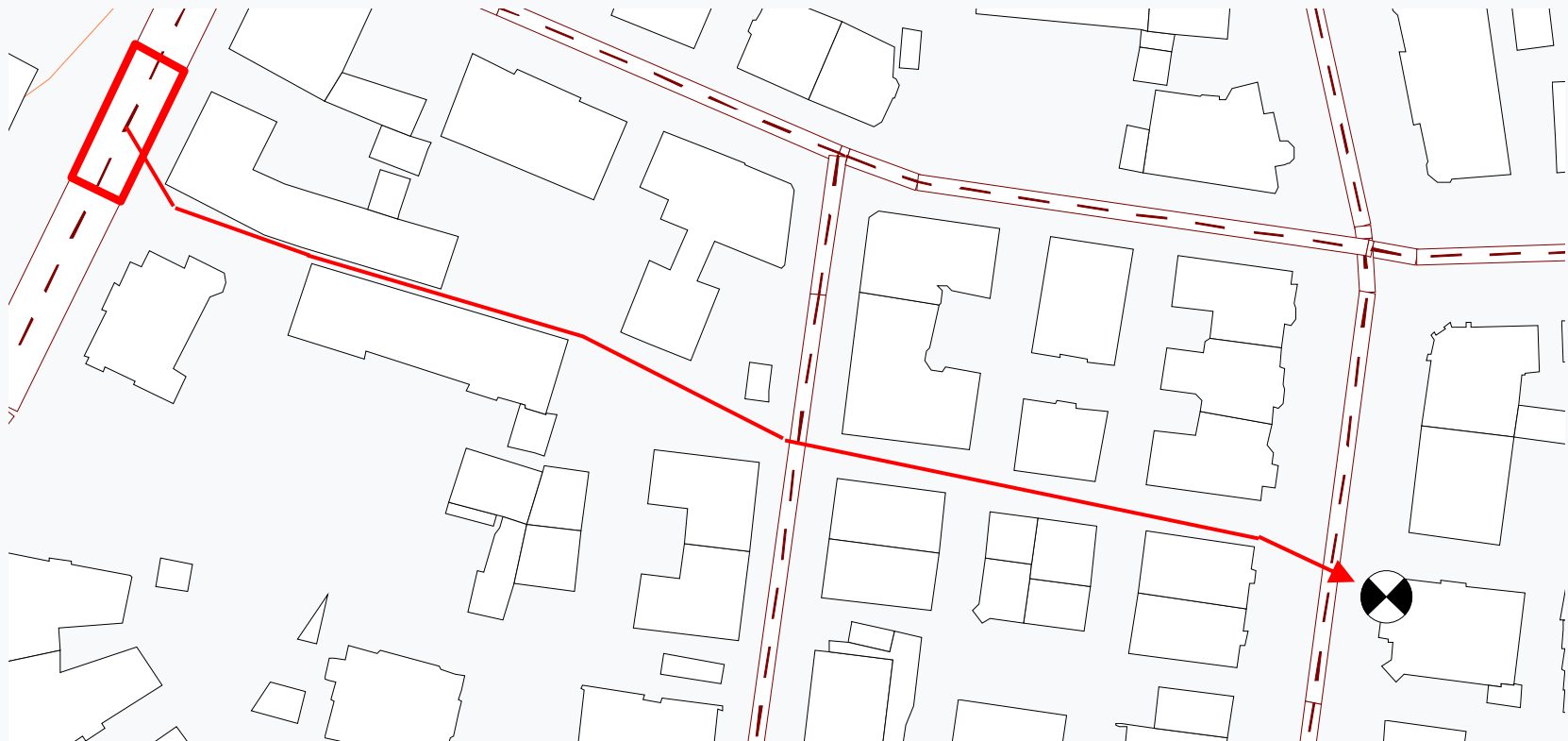


Damit ergibt sich das Ausbreitungsprofil in einer vertikalen Ebene

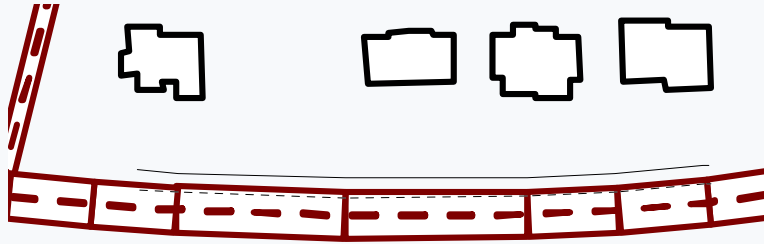
Geeigneter Kompromiss zur Schirmrechnung bei derart komplexer Geometrie:

Umweg über die konvexe Hülle (Gummiband)

Diese Methode der im Grundriss geraden Strahlwege zur Berechnung der Abschirmung ist eine Näherung – tatsächlich gibt es bei bebauten Gebieten zahlreiche weitere abgeschirmte und unabgeschirmte Strahlwege.

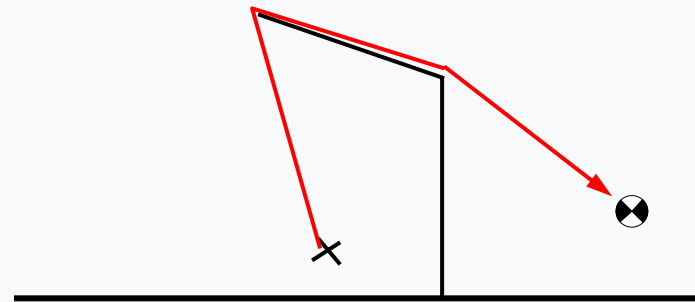


Problem geknickter Schirm mit Quelle unter Auskragung

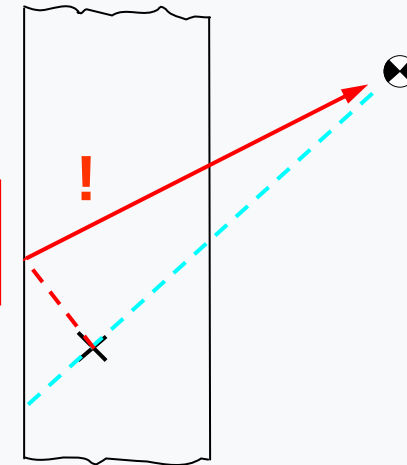


Wie zu berechnen, wenn Quelle unter Schirm?

Übliche Darstellung:



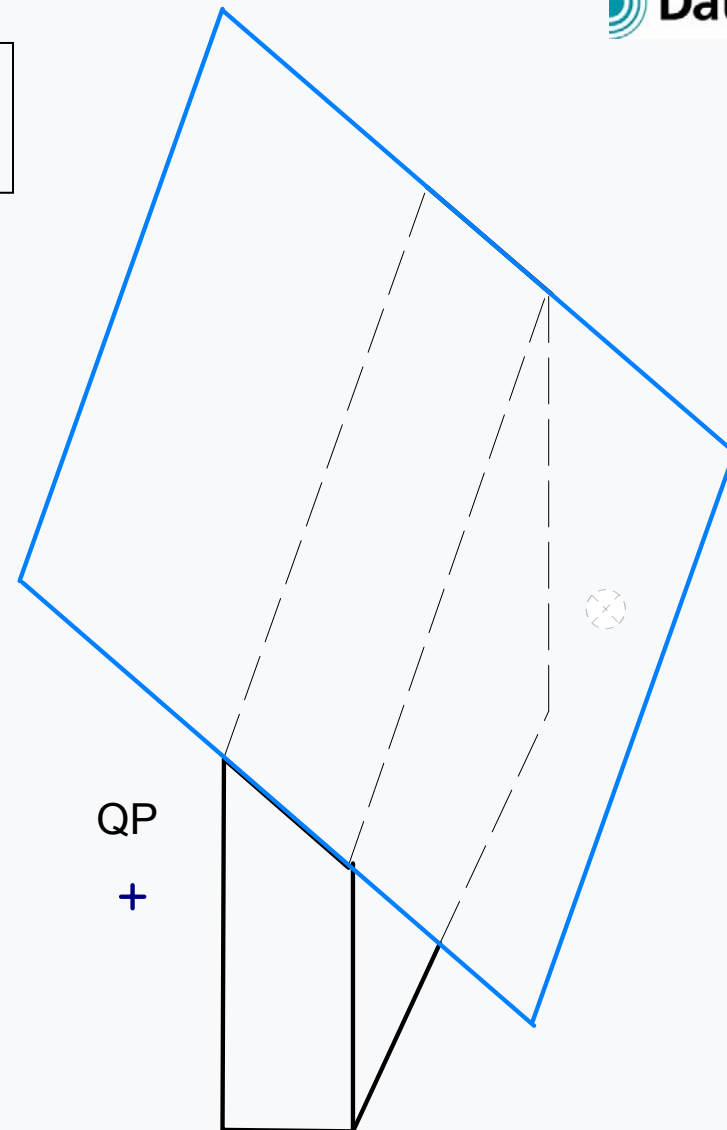
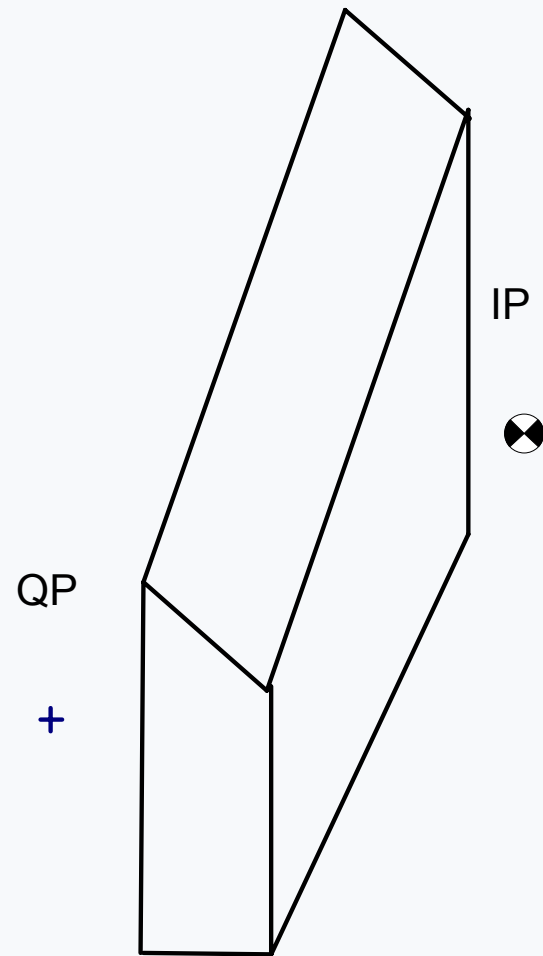
Kürzester
Strahlweg



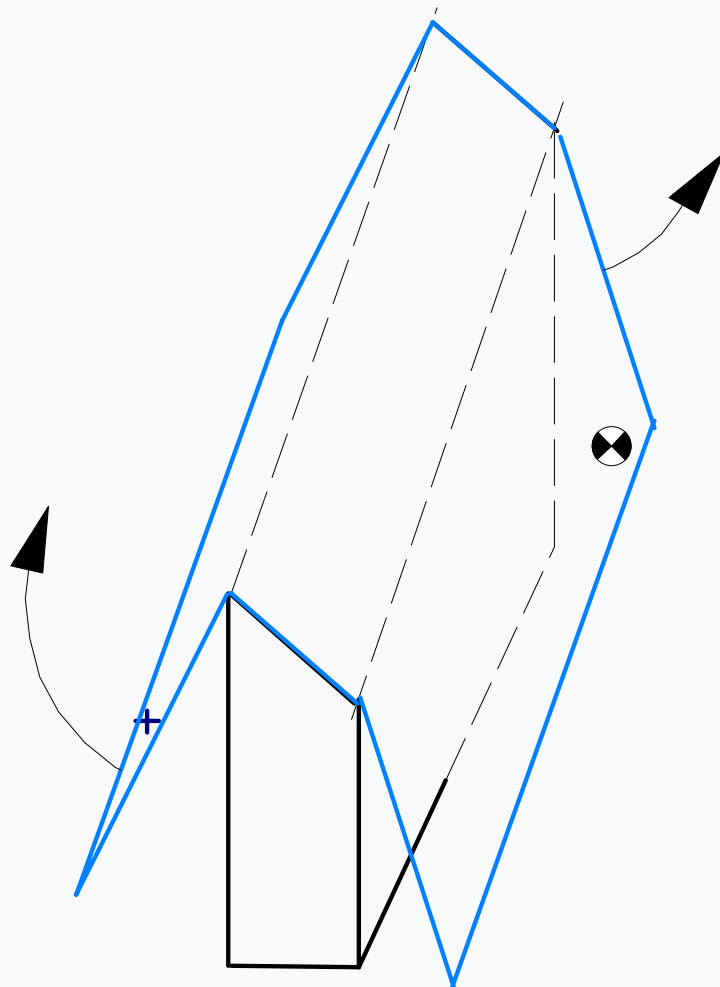
Strahlweg im Grundriß geradlinig

41

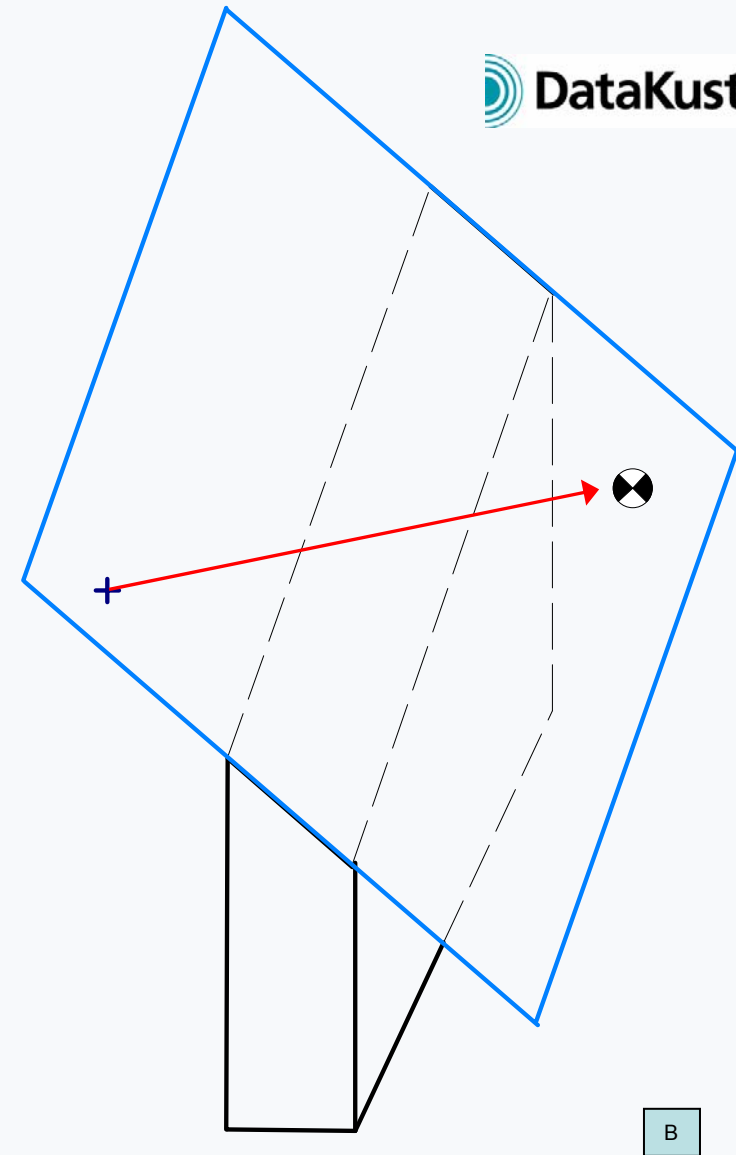
2 beliebig schräge, aber parallele Kanten
Höhen QP und IP beliebig



Gedachte Ebene, die beide Kanten enthält



Gedachte Ebene um die Kanten so geknickt, dass sie QP und IP enthält und mit diesen Punkten zurückgedreht



In dieser Ebene Gerade als kürzeste Verbindung eintragen und die Ebene wieder so knicken, dass QP und IP richtig liegen

Beschreibung der Meteorologie in NMPB

1 – für die Stadt Brest

Meteorology

Percentage of 'favorable conditions' Brest

	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°
Day:	46	43	40	38	37	37	38	39	42	46	49	51	52	53	52	52	51	49
Evening:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Night:	75	73	73	73	74	76	78	79	80	81	82	83	84	85	84	83	81	78

☒ Evening Values = Day Values

OK Cancel Help

2 – für die Stadt Nantes

Meteorology

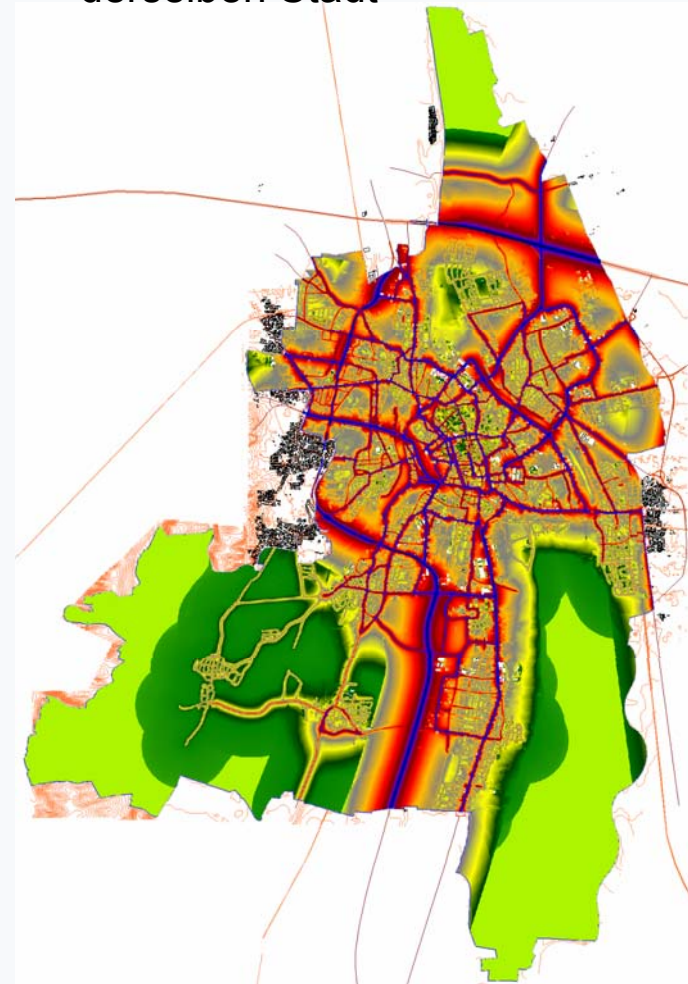
Percentage of 'favorable conditions' Nantes

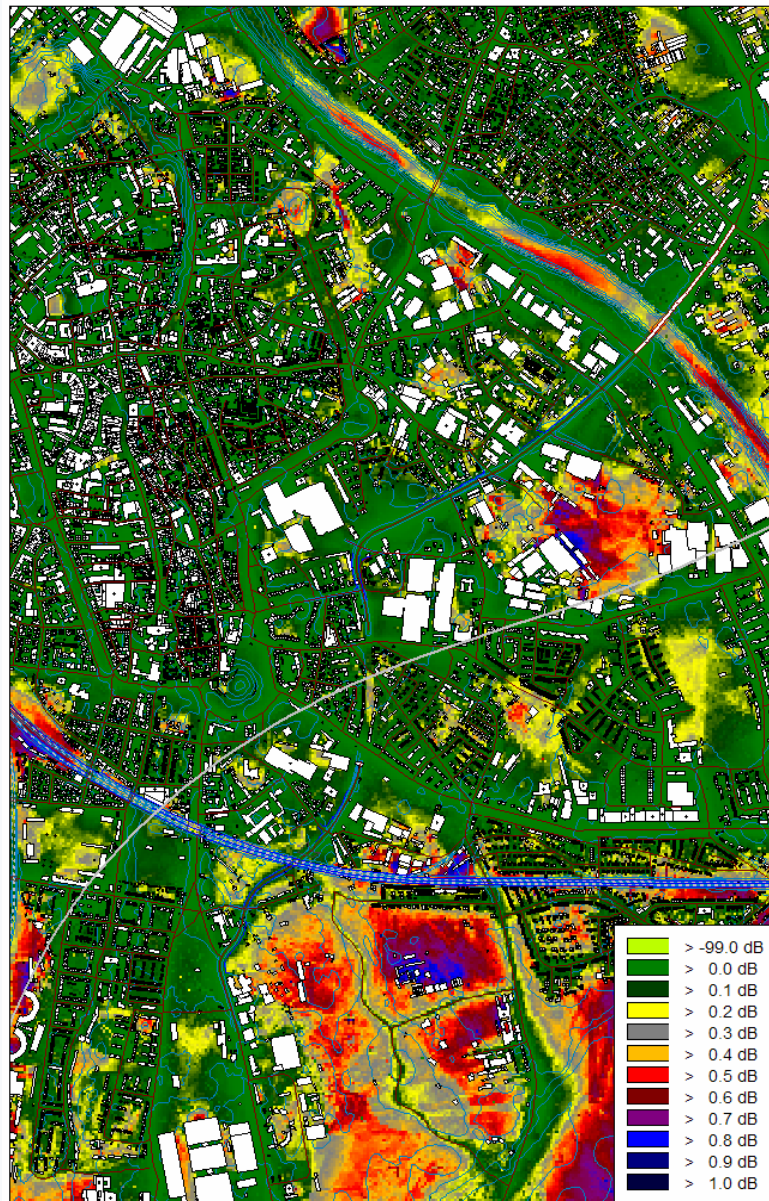
	20°	40°	60°	80°	100°	120°	140°	160°	180°	200°	220°	240°	260°	280°	300°	320°	340°	360°
Day:	33	33	33	33	32	32	33	34	38	41	43	43	42	41	40	39	37	35
Evening:	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Night:	85	84	85	86	88	89	91	91	91	91	90	90	90	90	90	89	88	87

☒ Evening Values = Day Values

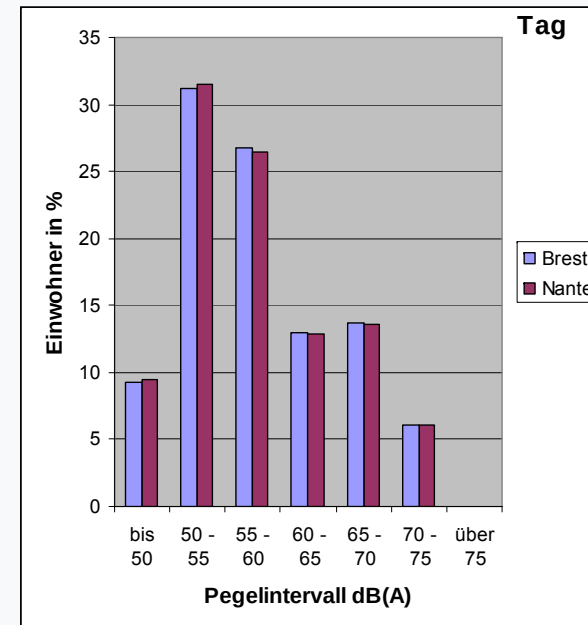
OK Cancel Help

...angewendet bei der
Berechnung der Lärmkarte
derselben Stadt

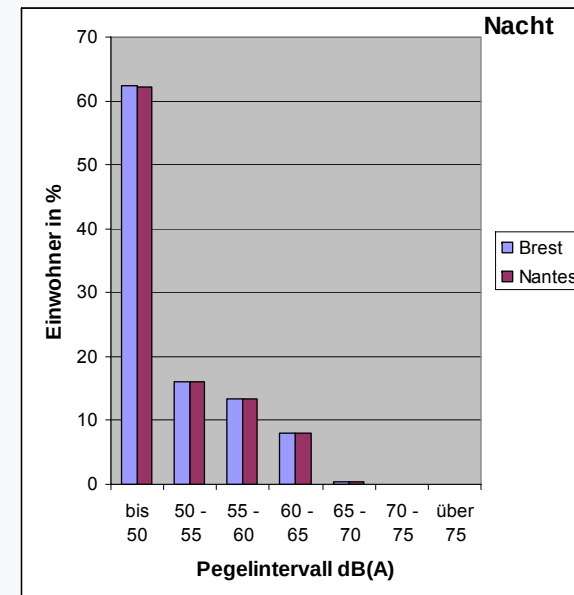




Pegeldifferenzkarte mit Meteo Brest - Nantes



Verteilung
Tag



Verteilung
Nacht

Wesentlicher Unterschied
konventionelle Verfahren $\leftrightarrow$ neuere Verfahren

Aspekt	Konventionelle Verfahren	Neuere Verfahren
Quelle (Straße)	Eine Emissionslinie	Mehrere Emissionslinie (Höhen) 1/3 Oktaven oder feiner
	A-Pegel oder Oktavbänder	
Bodeneffekt	Empirisch: mittl. Höhe und Abs.	Reflexionsberechnung
		Räumliche Mittelung: Ausgleichsebene
		Räumliche Mittelung: Fresnelzonen
		Kohärente Überlagerung Direkt - Boden
Reflexion an Objekten	Spiegelquelle und scharfer Reflpkt.	Spiegelquelle und Fresnelzone
Beugung an Objekten	Einfacher Umweg $\rightarrow$ Maekawa	Zwei wirksamste Schirme $\rightarrow$ Pierce....
	Mit Seitenbeugung	Ohne Seitenbeugung
	Mit Spezialfällen wie Kantilever	Spezialfälle wie Kantilever nicht behandelt
Rechenzeiten	kurz	extrem lang

Lärberechnung zur
Prüfung gesetzlich
geregelter
Anforderungen

?

Harmonisiertes
Verfahren nach
2002/49/EC



Wichtige Eigenschaften einer Berechnungsmethodik:

Genauigkeit

Indikator:

Abweichung der
Berechnungsergebnisse
von jenen, die sich mit
einer „idealen“ Messung
ergeben würden

1. Priorität

Harmonisierte Verfahren nach
2002/49/EC (neue Techniken)

Präzision

Indikator:

Übereinstimmung der
Berechnungsergebnisse, die von
unterschiedlichen Anwendern des
Verfahrens bei genau gleicher
Aufgabenstellung erzielt werden

Transparenz

Indikator:

Überprüfbarkeit und
Nachvollziehbarkeit der
Methodik und möglichst
auch der einzelnen
Verfahrensschritte.

Nationale Verfahren im gesetzlich
geregelten Bereich (konventionell)

Zusammenfassung:

Das geplante harmonisierte EU-Berechnungsverfahren wie auch einige neuere nationale Berechnungsmethoden (Imagine/Harmonoise, NORD 2000...)

versuchen die Genauigkeit zu erhöhen, indem viele Details und Techniken einbezogen werden (mehrere Quellhöhen, schmale Frequenzbänder, kohärente Überlagerung, Fresnelzonenkonzept, Meteorologie usw.).

Dies verringert die Präzision und Transparenz der Verfahren und verschlechtert die Performance der Rechenprogramme.

Leistungsfähige Verfahren zur Anwendung in gesetzlich geregelten Bereichen

Sollten der Präzision und Transparenz einen hohen Stellenwert einräumen. Die von unterschiedlichen Experten bei Anwendung des Verfahrens erzielten Ergebnisse sollten identisch sein.

Die Qualitätskontrolle von Softwareimplementierungen ist wichtig. Das Verfahren muss deshalb klar und eindeutig beschrieben sein und darf keine großen Spielräume für Interpretationen offen lassen.

Details und weitere physikalische Phänomene sollten nur einbezogen werden, wenn eine entsprechende Verbesserung der Genauigkeit durch Messergebnisse bestätigt werden kann und wenn die obengenannten Ziele dadurch nicht gefährdet werden.

Aufgrund der extrem gestiegenen Bedeutung von Computern in der praktischen Anwendung kommt es nicht nur auf Expertenwissen in der Akustik, sondern auch auf Expertenwissen in den Umsetzungsstrategien an (Programmierkenntnisse alleine reichen nicht!)

Entscheidungen über gesetzlich festgelegte softwareunterstützte Verfahren benötigen die Zusammenarbeit der Akustikexperten, „Umsetzungsexperten“ und vor allem der anwendenden Ingenieure
→ **Normungsprozess**