

Straßenlärm bei dichter Randbebauung – Untersuchungen zur reflexionsbedingten Pegelerhöhung – Überprüfung des Korrekturterms D_{refl} der RLS-90

FA 3.467

Forschungsstelle: DataKustik GmbH, Greifenberg
 Bearbeiter: Probst, W.
 Auftraggeber: Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung, Bonn
 Abschluss: Oktober 2012

η Richtwirkungsexponent

δ Winkel Schallstrahl – Flächennormale

Üblicherweise wird entsprechend dem "Lambert'schen Gesetz" ein Richtwirkungsexponent von 1 angenommen.

1 Aufgabenstellung

Im Rahmen einer beabsichtigten Überarbeitung und Anpassung der Richtlinien für den Lärmschutz an Straßen (RLS-90) sollte der Zuschlag für Mehrfachreflexion in weitestgehend geschlossenen bebauten Straßen D_{refl} überprüft werden. Entsprechend RLS-90 werden Direktschall und Reflexionen erster Ordnung strahlbezogen und unter Berücksichtigung spiegelnder Reflexion detailliert berechnet und lediglich die darüber hinausgehende und von Mehrfachreflexionen verursachte Pegelerhöhung wird durch D_{refl} einbezogen. Dieser Zuschlag für Mehrfachreflexion ist eine einfache, nur vom Fassadenabstand und der mittleren Bebauungshöhe abhängige Korrektur. Es sollte auch geprüft werden, ob bei Annahme von diffuser Reflexion bei stark strukturierten Fassaden wesentlich andere Ergebnisse zu erwarten sind und wie in diesem Fall die bebauungsbedingte Pegelerhöhung zu berechnen wäre.

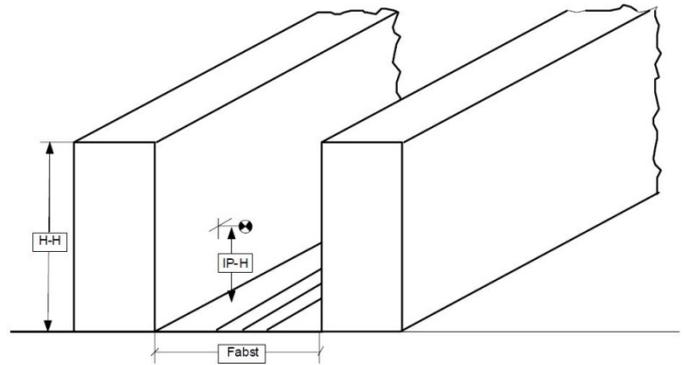


Bild 1: Modell einer Straßenschlucht

Für die numerischen Berechnungen wurde ein "virtuelles" Modell der Straßenschlucht, wie in Bild 1, verwendet, das es erlaubte, die Parameter Abstand, Höhe und Absorptionsgrad der Fassaden sowie die Höhe des Immissionsorts systematisch zu variieren.

Zusätzlich wurden flankierende Messungen durchgeführt. Der im Rahmen dieser Studie mögliche Umfang dieser Messungen war aber für belastbare Ergebnisse zu klein und sollte deshalb bei zukünftigen Untersuchungen möglichst erweitert werden, weil nur derartige Messungen eine Bestätigung – oder Richtigstellung – der in den Berechnungen enthaltenen Annahmen liefern können.

Wesentliches Ziel der Untersuchung war es, die Vor- und Nachteile von drei möglichen Strategien zur Berücksichtigung von Mehrfachreflexion in Straßenschluchten herauszufinden. Die ersten beiden Strategien betreffen die Verwendung einer Korrektur zu dem unter Berücksichtigung einer Reflexionsordnung berechneten Pegel, während die dritte Möglichkeit die detaillierte strahlbezogene Rechnung bis zu ausreichend hoher Reflexionsordnung ist.

Die bisher angewendete Methode – im genannten Sinne die Strategie 1 – ist die Anwendung einer von der Lage des Immissionsorts unabhängigen Korrektur. Sie hängt nach RLS-90 nur vom Bebauungsabstand, von der Bebauungshöhe und von den Reflexionseigenschaften der Fassaden ab und gilt für alle Immissionsorte in der Straßenschlucht in gleicher Weise. Sie kann somit rechentechnisch auch direkt durch eine entsprechende Korrektur des Emissionswerts der Straße erledigt werden.

Strategie 2 betrifft eine ähnliche Vorgehensweise – allerdings wird hier die erfahrungsgemäß vorhandene Abhängigkeit der reflexionsbedingten Pegelerhöhung von der Höhe des Immissionsorts berücksichtigt. Es ist zu prüfen und bleibt dann abzu-

2 Untersuchungsmethodik

Das grundsätzliche Verfahren zur Klärung dieser Fragen bestand darin, die von einer Straße verursachten Schalldruckpegel vor den zugewandten Fassaden bis zu ausreichend hoher Reflexionsordnung strahlbezogen und im Detail zu berechnen. Das Ergebnis kann dann mit jenem verglichen werden, das sich bei Anwendung der RLS-90 Näherung mit der Mehrfachreflexionskorrektur D_{refl} ergibt. Die aus der Vernachlässigung der detaillierten geometrischen und akustischen Parameter resultierenden Abweichungen und Unsicherheiten können parameterabhängig bestimmt und quantifiziert werden.

Die erforderlichen Berechnungen wurden mithilfe der Software CadnaA unter Einbeziehung der Rechenverfahren RLS-90, ISO 9613-2, NMPB 2008 (Frankreich) durchgeführt. Mit einer schon früher für derartige Untersuchungen entwickelten Software, die nicht kommerziell vertrieben wird, wurde die Radiosity-Methode zur Einbeziehung von diffuser Reflexion angewendet. Bei spiegelnder Reflexion schließen einfallender und reflektierter Schallstrahl denselben Winkel mit der Normalen der reflektierenden Fläche ein.

Bei diffuser Reflexion erfolgt die Verteilung der reflektierten Schalleistung entsprechend

$$J = \frac{P}{2\pi r^2} \cdot (1 + \eta) \cdot \cos^{\eta}(\delta)$$

mit

J Schallintensität am Empfangsort

P abgestrahlte Schalleistung

r Abstand Abstrahlelement – Empfänger

wägen, ob die damit verbesserte Genauigkeit den offensichtlichen Nachteil, dass die Korrektur nicht mehr als Emissionserhöhung in pauschaler Weise berücksichtigt werden kann, aufwiegt. Es ist dann auch zu klären, wie diese lageabhängige Pegelerhöhung im Straßenraum bei der Berechnung der Immission außerhalb der Straßenrandbebauung einbezogen werden soll.

Strategie 3 ist die strahlbezogene Rechnung bis zu ausreichend hoher Reflexionsordnung. Hier kommen unterschiedliche Näherungsstrategien in Betracht, weil die Zahl der erforderlichen Berechnungen und damit die Rechenzeit mit sehr vielen reflektierenden Objekten schon bei wenigen Reflexionsordnungen "explodiert". Dieser mit dem "Projektionsverfahren" gegebene Nachteil ist mit dem "Winkelscanverfahren" – zumindest was die Immissionsorte innerhalb der Straßenrandbebauung angeht – nicht in diesem Maße gegeben. Andererseits hat dieses letztgenannte Verfahren wieder andere gravierende Nachteile, die dann letztlich die resultierende Genauigkeit vermindern.

3 Untersuchungsergebnisse

In einem ersten Schritt wurde die Schallausbreitung längs der Achse einer Straßenschlucht ausgehend von einer kleinen Schallquelle bzw. von einem 1 m langen Straßenstück unter Anwendung unterschiedlicher Berechnungsmethoden ermittelt. Der Abstand der gegenüberliegenden Fassaden ist 20 m. Die Pegel sind durch Anwendung der folgenden Beziehung normiert und zeigen somit die gegenüber einer reinen Freifeldausbreitung durch Boden und Bebauung sowie Luftabsorption verursachte Pegeländerung.

$$L(norm) = L_{calc} - (L_W - 11 - 20 \lg(\frac{r}{r_0})) \quad (G1)$$

mit

L_W Schalleistungspegel

r Abstand Quelle – Immissionsort

r_0 Bezugsabstand 1 m

Bild 2 zeigt die schon bei freier Ausbreitung über reflektierendem Boden mit unterschiedlichen Berechnungsmethoden sich ergebenden unterschiedlichen Einflüsse. Bei Voraussetzung diffuser Reflexion ergibt sich nach Bild 4 der größte Pegelanstieg in ca. 50 m Abstand von der Quelle. Bei spiegelnder Reflexion ist dieser Einflussbereich praktisch nicht beschränkt – der von der Bebauung verursachte Pegelanstieg beträgt noch in 300 m Abstand ca. 10 dB(A).

Ein ähnliches Szenario wurde auch mit orientierenden Messungen untersucht. Der mit diesen Messungen in einer 20 m breiten Straßenschlucht (Bild 5) festgestellte Pegelanstieg ist in Bild 6 zusammen mit den berechneten Ergebnissen dargestellt.

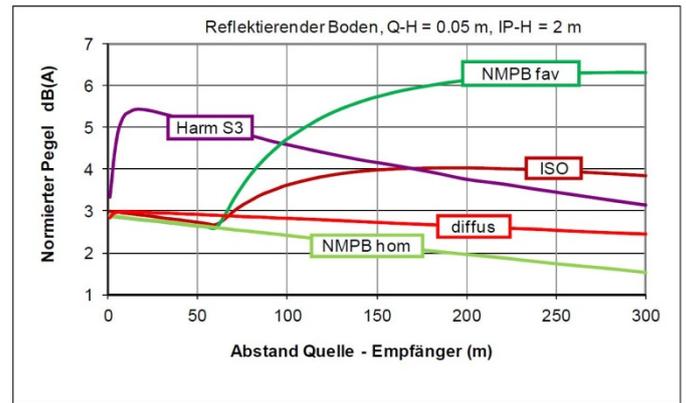


Bild 2: Nur Boden – keine Bebauung

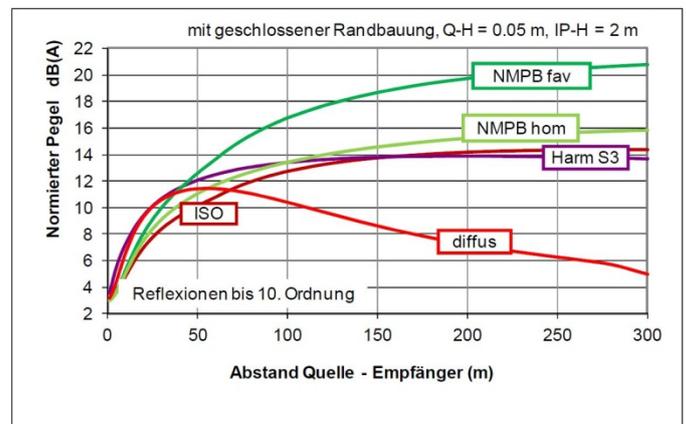


Bild 3: Gesamtpegel (bis Reflexionsordnung 10)

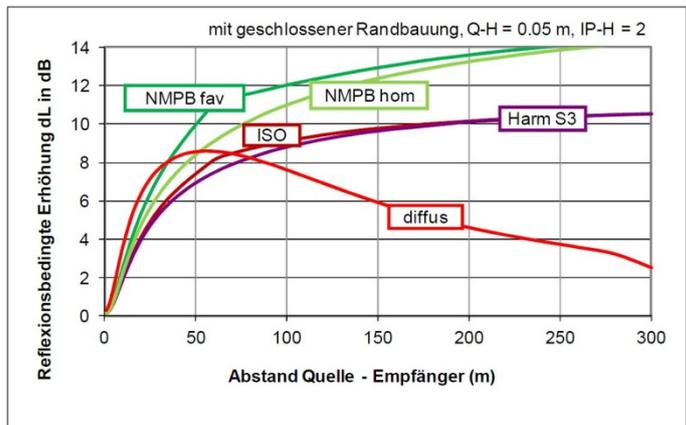


Bild 4: Reflexionsbedingter Pegelanstieg



Bild 5: Messung mit Referenzschallquelle in der Straßenschlucht

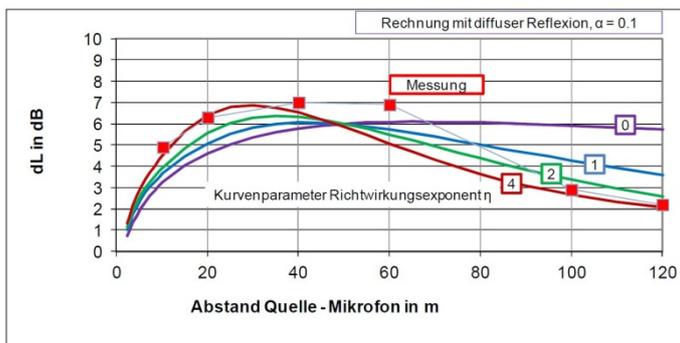


Bild 6: Vergleich Messung – Rechnung

Diese – aufgrund der geringen Zahl sicher nicht repräsentativen – Messungen stimmen in Quellennähe besser mit spiegelnder, in größerem Abstand mit diffuser Reflexion überein.

Um den Pegelanstieg bezogen auf den von einer Straße verursachten Mittelungspegel L_{eq} zu untersuchen, wurde eine lange Straße als 0,05 m über dem Boden befindliche Linienquelle modelliert. Das Emissions-Frequenzspektrum und die Quellhöhe entsprechen den Vorgaben der französischen Berechnungsvorschrift NMPB.

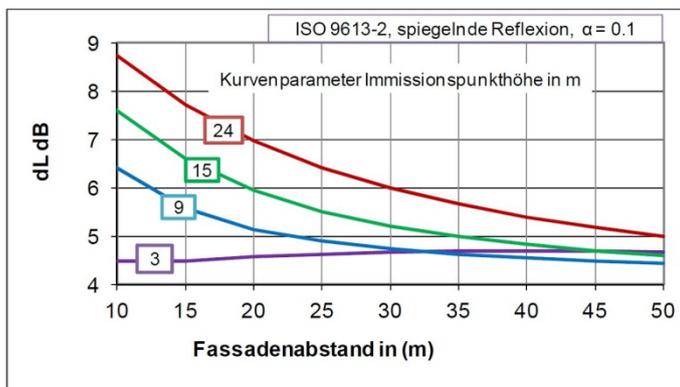


Bild 7: Durch spiegelnde Reflexion verursachter Pegelanstieg

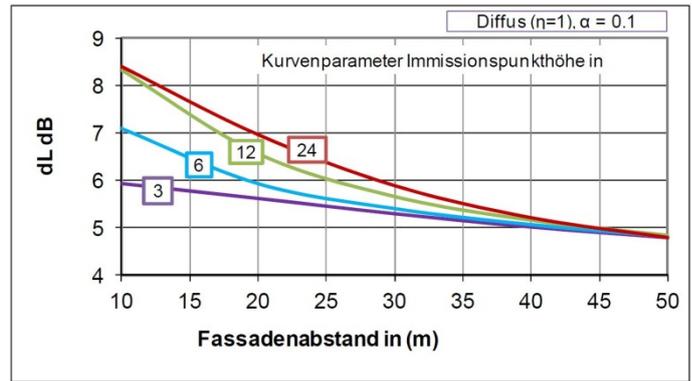


Bild 8: Durch diffuse Reflexion verursachter Pegelanstieg

Die Ergebnisse (Bild 7 und 8) zeigen eine wesentliche Abhängigkeit der reflexionsbedingten Pegelerhöhung von der Höhe des Immissionsorts über Straßenniveau. Dagegen ist der mit spiegelnder und diffuser Reflexion sich ergebende Unterschied bei realistischen Bebauungsabständen (> 20 m) vernachlässigbar. Mit dem in Bild 9 dargestellten parametrisierten Modell wurde der Einfluss von Gebäudelücken untersucht.

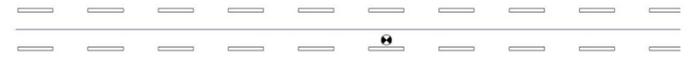


Bild 9: Modell zur Untersuchung des Einflusses von Bebauungslücken

Das Diagramm Bild 10 ist nur ein Beispiel stellvertretend für zahlreiche der erstellten Ergebnisdiagramme – es zeigt die funktionelle Abhängigkeit des reflexionsbedingten Pegelzuwachses bei spiegelnder Reflexion vom prozentualen Lückenanteil.

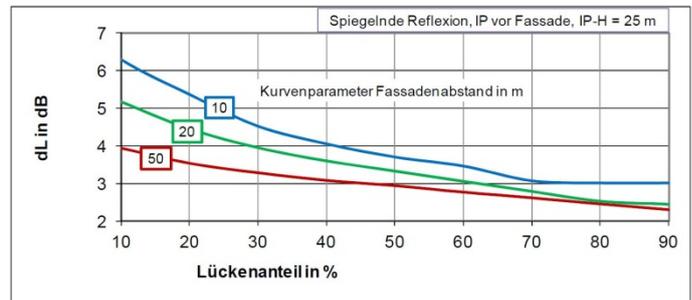


Bild 10: Reflexionsbedingter Pegelanstieg in Abhängigkeit vom Lückenanteil

Auch die Ausdehnung des Teils der Bebauung mit Lücken wurde systematisch variiert, um herauszufinden, welche Länge beidseitig vom Immissionsort zur Bestimmung des relevanten Lückenanteils heranzuziehen ist (Bild 11).

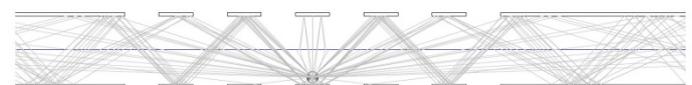


Bild 11: Modell mit variabler Länge des lückenbehafteten Teils der Bebauung

Das Ergebnis zeigt, dass der Lückenanteil der Bebauung bei spiegelnder Reflexion ungefähr ± 125 m beidseitig vom Immissionspunkt berücksichtigt werden sollte. Bei diffus reflektierenden Fassaden beträgt diese Länge nur etwa ± 50 m. Die detaillierten Ergebnisse dieser Untersuchung sind dem Gesamtbericht zu entnehmen.

Alle genannten und auf die reflexionsbedingte Pegelerhöhung dL bezogenen Beziehungen und Ergebnisse werden im Gesamtbericht auch für die auf den Direktschall und die erste Reflexionsordnung hinausgehende Pegelzunahme – dies ist der Zuschlag D_{refl} nach RLS-90 – untersucht und dargestellt. Dabei zeigt sich, dass D_{refl} recht gut als Funktion des Quotienten aus Immissionspunkthöhe und Bebauungsabstand wie in Bild 12 dargestellt werden kann.

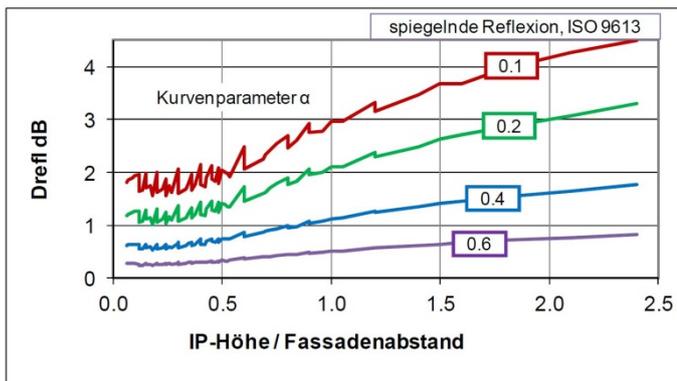


Bild 12: Zuschlag für Mehrfachreflexion D_{refl} in Abhängigkeit von h' für unterschiedliche Absorptionsgrade

Mit dem bei üblichen Fassaden angemessenen Absorptionsgrad von G1 kann D_{refl} ausgedrückt werden durch

$$D_{refl} = (1,8 \cdot h' - 0,5 \cdot h' + 1,8) \text{ dB} \quad (G2)$$

mit

$$h' = \frac{\text{Immissionspunkthöhe}}{\text{Bebauungsabstand}}$$

Allerdings muss für den Fall, dass diese Korrektur von der Immissionspunkthöhe abhängt, eine Lösung gefunden werden, wie dieses räumlich unterschiedliche D_{refl} innerhalb der Straßenschlucht bei der Berechnung der Abstrahlung in den Bereich außerhalb der Straßenschlucht berücksichtigt werden soll.

Dieses letztgenannte Problem würde durch die Strategie 3 – die detaillierte strahlbezogene Rechnung bis zu hohen Reflexionsordnungen – eliminiert.

Mit den bestehenden "Engineering-Verfahren" werden derzeit im Wesentlichen zwei softwaretechnisch unterschiedliche Methoden zum Auffinden möglicher Strahlwege angewendet – dies ist das Projektionsverfahren mit Spiegelquellen (RT) und das Winkelscanning-Verfahren (mit dem AS-Verfahren werden Suchstrahlen ausgehend vom Immissionsort verwendet, um die relevanten Quellen zu finden). Diese Techniken sind im Anhang B des Gesamtberichts zusammenfassend dargestellt.

Die RT-Methode ist genauer, da räumlich unterschiedlichen Ausbreitungsbedingungen durch eine adäquate feine Aufteilung mit dem Projektionsverfahren Rechnung getragen werden kann. Theoretisch können alle geometrisch möglichen Strahl-

wege gefunden werden – praktisch scheitert dies schon nach einigen Reflexionsordnungen an der noch akzeptablen Rechenzeit aufgrund der "explodierenden" Zahl zu prüfender Strahlwege. Allerdings kann die Reflexionsberechnung beim RT-Verfahren auf Reflexionsflächen mit einem vorgegebenen Maximalabstand von Quellen und Immissionsorten beschränkt werden.

Beim AS-Verfahren ergibt sich eine mit wachsendem Abstand vom Immissionsort schlechtere Auflösung, sodass Gebäudelücken und Objekte ab einem von der Dichte der Suchstrahlen abhängigen Abstand nicht mehr gefunden und richtig einbezogen werden. Da sich der Suchstrahl bei jedem Kreuzen eines Objekts – ausgehend vom Immissionspunkt – in einen gebeugten und einen reflektierten Schallstrahl aufspaltet, muss diese Reflexionsberechnung auf einen kleinen Bereich um den Immissionsort beschränkt werden. Dies führt dann aber zu einem Nichterkennen von wichtigen, direkt neben den Quellen befindlichen Reflexionsflächen, wenn sich mehrere auch niedrige Objekte im Strahlweg befinden. Der Vorteil des AS-Verfahrens ist das schnelle Berechnen auch hoher Reflexionsordnungen, wenn sich keine Objekte zwischen Quelle und Immissionsort befinden.

Eine Möglichkeit zur Lösung dieses Konflikts bestünde in der Anwendung beider Methoden (HPF – Hybrid Path Finding method). Dabei wird die Berechnung bis zur 1. Reflexionsordnung unter Anwendung des Projektionsverfahrens (RT) durchgeführt – dies entspricht der bisher nach RLS-90 angewendeten Methode. Die Reflexionsberechnung kann sinnvollerweise auf einen Abstand von 100 m um Quelle und Immissionsort zum Auffinden von Reflexionsflächen beschränkt werden.

Statt der Anwendung eines Zuschlags für Mehrfachreflexion D_{refl} wird dann im zweiten Schritt die AS-Methode angewendet, wobei nur Reflexionen von der 2. bis zur 10. Reflexionsordnung einbezogen werden. Der Parameter "Reflexionstiefe" – das ist die Zahl der zu kreuzenden Objekte, bei denen eine Aufspaltung in direkten und reflektierten Strahlweg erfolgt – wird auf den Mindestwert 1 gesetzt.

Die so erhaltenen Teilpegel werden energetisch addiert. Selbstverständlich erfordert eine normative Festlegung dieser Verfahrensweise zur Anwendung im gesetzlich geregelten Bereich noch weitere detaillierte Untersuchungen.