

„Schallteilchen - Beugung“ – möglich und sinnvoll ?

Vergleich und Diskussion des „Stuttgarter“ und des „Trondheimer“ Modells

Uwe M. Stephenson

Hochschule für angewandte Wissenschaften, Hamburg; email: U.M.Stephenson@t-online.de

Problematik

Die aus der raumakustischen Simulation bekannten effizienten Strahlen- bzw. Teilchenmodelle [1] versagen naturgemäß, wenn Welleneffekte wie Beugung wichtig werden. Die Berechnung der Abschirmwirkung von einfachen Schirmen im Freien andererseits ist zwar kein Problem (Umwegmodell [2]) - aber nicht bei Mehrfachbeugungen an Gebäudekanten nach- oder nebeneinander. Hier ergeben sich zahlreiche Widersprüche (wie viele Wege ? welche ? [3]). Das Spiegelquellenmethode könnte zwar im Prinzip damit kombiniert werden (weil sie entsprechend dem Fermat'schen Prinzip auch nach kürzesten Wegen sucht), jedoch würde wegen der noch weiter wachsenden Anzahl zu prüfender Kombinationen die Rechenzeit noch weiter exponentiell steigen. Geometrische Theorien der Beugung (als hochfrequente Näherungen) sind zwar auch bekannt [4], können jedoch nicht mit einem Strahlenmodell kombiniert werden, weil sie exaktes Treffen von Kanten voraussetzen, was jedoch bei Teilchenmodellen nie eintritt. Ziel ist deshalb seit langem die Kombination von Strahlverfolgungsalgorithmen mit einem Beugungsmodell bzw. die Erweiterung auf niedrigere Frequenzen, m.a.W. das Schließen der „Wellenlängenlücke“ zu FEM/BEM-Methoden für Räume, die zwar groß, aber nicht mehr sehr groß gegen die Wellenlänge sind. Gesucht ist ein einheitlicher, universeller Algorithmus für Raumakustik und auch Lärmimmissionsprognose im Freien, der die beliebige Kombination von Reflexionen und Beugungen höherer Ordnung ohne Rechenzeitexplosion ermöglicht. Im Folgenden sollen zwei bereits veröffentlichte Schallteilchenbeugungsmodelle (aus Platzgründen nur) qualitativ vorgestellt und hinsichtlich Eignung zum Einbau in Strahlverfolgungsprogramme verglichen werden.

Arbeitshypothesen waren in beiden Modellen:

- Grundelement der Beugung sind Kanten.
- Teilchen oder Strahlen spalten sich in der Nähe einer Kante auf oder werden entsprechend einer Ablenkwinkelwahrscheinlichkeitsdichtefunktion (AWWD) gebeugt ;
- zur Konsistenz soll mindestens das Umweg-Gesetz erfüllt werden;
- es bleibt beim Strahlenmodell bzw. energetischer (inkohärenter) Addition;** im Falle des „Vorbeiflugs“ an Kanten soll also nur ein „Ausflug“ in die Wellentheorie unternommen werden;
- gleichzeitige Beugung an mehreren Kanten, neben- oder nacheinander, soll aus jener baukastenartig zusammengesetzt werden.

Das „Stuttgarter“ Schallteilchen-Beugungs Modell [5]

Idee dieses heuristischen Modells war, inspiriert von der Unschärferelation („je kleiner die Ortsunschärfe, desto größer die Richtungsunschärfe“): Desto kleiner der Vorbeiflugabstand a , desto breiter die AWWD, genauer:

- bei Vorbeiflug an einer Kante „sieht“ ein Schallteilchen einen Spalt; aus einer Selbstkonsistenzüberlegung (im Mittel muss sich ja bei Vorbeiflug an zwei Kanten eines Spaltes dessen tatsächliche Beugungswirkung ergeben): Die Spaltbreite b (in Wellenlängen) ist gleich **der sechsfachen Breite seines Vorbeiflugabstands**: $b=6a$.
- eine „Kantenbeugungswirkung“ (KBW) ist: $B(a)=1/b=1/(6a)$
- die KBW mehrere naher Kanten sollen addierbar sein zu einer gesamten: $B_{ges} = \sum B_i$ dann ist $b_{ges}=1/B_{ges}$.

Die AWWD ergibt sich dann aus einer oktavbandgemittelten Spaltbeugungsfunktion ($\propto \sin^2(u)/u^2$ mit $u = \pi b \epsilon$, ϵ =Ablenkwinkel.).Mit diesem frühen, einfachen Modell ergaben sich im numerischen Experiment mit ca. 100, dicht an den Kanten „vorbeigeschossenen Schallteilchen“, gezählt in Detektoren [1] hinter dem Schirm und verglichen mit den Immissionen ohne Schirm

erstaunlich gute Übereinstimmungen (0.5dB) mit den bekannten Winkelfunktionen des Transmissionsgrades [2] am Schirm **und** gleichzeitig auch am Spalt – und zwar für eine breiten Abstandsreich Quelle –Kante(n) R von 3- 300 Wellenlängen.

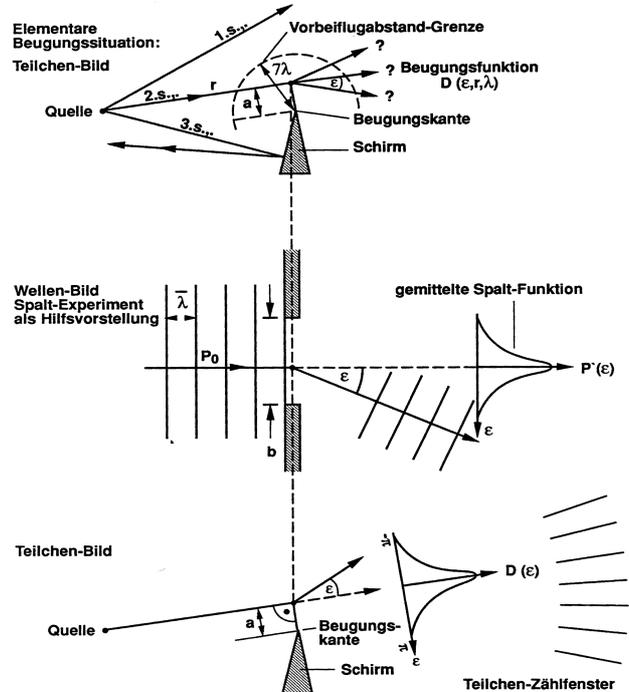


Abbildung 1. Zum „Stuttgarter“ Schallteilchen-Beugungsmodell:

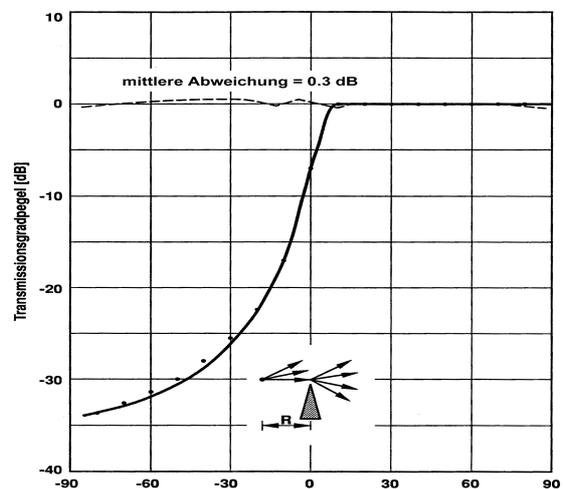


Abbildung 2. Gute Übereinstimmung mit der Winkelfunktion des Schirms, nach rechts aufgetragenen Beugungswinkel, im „Schatten“ negativ

Das „Trondheimer“ Schallteilchen-Beugungs Modell [6]

Hierbei sollte nun die AWWD analytisch hergeleitet werden, und zwar, obwohl bekanntlich auch nur Näherung, aus der Fresnel-Kirchhoff'schen Theorie des durch die Kante ungestörten Schalleinfalls unter Verzicht auf die Erfüllung der Randbedingungen; denn es war ja ein reines Beugungsmodell gewünscht: Reflexionen bzw. Spiegelquellen sollten ja außerhalb abgehandelt werden. Zunächst wurde noch einmal der Transmissionsgrad des einfachen Schirmes hergeleitet, allerdings unter Verzicht auf übliche Näherungen auch für größere Beugungswinkel. Es ergibt sich ein modifiziertes Umweg-Gesetz, ähnlich [7], wie in [8] vergleichend darge-

