

## Mit Hochhausfassaden den akustischen Stadtraum gestalten

Jochen Krimm<sup>1,2</sup>, Holger Techen<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Frankfurt University of Applied Sciences, Frankfurter Forschungsinstitut für Architektur-Bauingenieurwesen-Geomatik E-Mail: Jochen.krimm@fb1.fra-uas.de

<sup>2</sup> Delft University of Technology, Architecture and the Build Environment, Architectural Engineering + Technology

### Einleitung

Schallharte Fassaden können im umgebenden Stadtraum den Lärmpegel erhöhen. An Beispielen der aktuellen Bauproduktion läßt sich erkennen, dass der Effekt des zusätzlichen Lärmeintrags in den Stadtraum durch Reflektion an grossen schallharten Fassadenflächen nicht beachtet wird. Hier zeigen sich zum einen nach unten geneigte Fassaden oder nach unten gekrümmte Fassaden wie bei dem Gebäude der Europäischen Zentralbank im Frankfurter Ostend.



**Abbildung 1:** Hochhäuser mit nach unten geneigten Fassaden, links : Nexttower, Zeil Hoch Vier, Frankfurt am Main, Fertigstellung 2009, Höhe 136 m, rechts: Hochhaus EZB, Frankfurt am Main, Fertigstellung 2015, Höhe 185 m

Aber nicht nur bei Neubauten sollte die akustische Wirkung der Fassade auf den Stadtraum ein Thema sein, sondern auch bei Sanierungsprojekten. Viele Gebäude, darunter Hochhäuser aus den 60ern und 70ern in den Innenstädten kommen in die Sanierung.



**Abbildung 2:** Bürocenter Nibelungen Platz, Frankfurt, Höhe 110 m Fertigstellung 1966, Komplettsanierung 1993, demnach nächste Sanierung 2020?

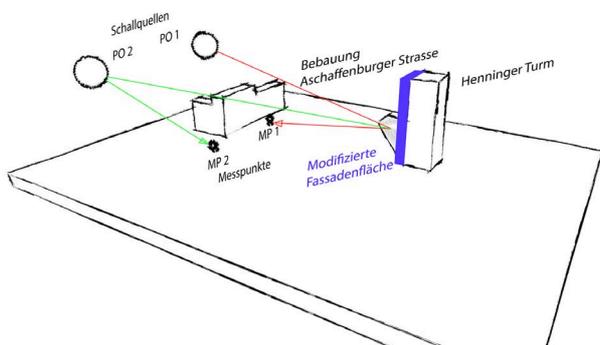
Gerade bei Fassadensanierungen ließe sich der Planungsansatz der akustischen Wirksamkeit der Fassade mit wenig Aufwand in den Bauprozess integrieren. Es kann am bestehenden Objekt in allen Höhen gemessen werden. Aus den so gewonnenen Daten können Fassadenvorschläge entwickelt werden die dann über Mock-Ups im Maßstab 1:1 am Gebäude in Einbaulage getestet werden können, bevor die Fassade in Produktion geht. Hierfür sind jedoch noch geeignete Messverfahren zu entwickeln. Um grundlegend zu Aussagen über eine mögliche akustische Wirksamkeit zu kommen wurden im Folgenden schallharte Flächen als Referenz mit modifizierten Flächen verglichen. Damit diese modifizierten Flächen bemessen werden konnten wird die Betrachtung des Fensteranteils in einer Fassade nicht Bestandteil dieses Artikels sein

### Maßnahmen und Maßstab

Die Beeinflussung des akustischen Stadtraums mit Hilfe von Fassaden lässt sich aus dem Blickwinkel der Fassadenkonstruktion in verschiedene Eingriffsfelder für die Manipulation einteilen. Diese Eingriffsfelder können, gemäß dem Maßstab der Planung, bestimmten Planungsbereichen zugeordnet werden. Im übergeordneten städtebaulichen Maßstab ist eine Steuerung des Lärmeintrags über die Gebäudestellung, die Lage der reflektierenden und beugenden Baukörper zueinander möglich. Dies wurde unter anderem von Kranendonk & Nijs (1979), Elmar Sälzer (1982) und de Ruiter (2004) [1, 2 und 3] untersucht und ist deshalb nicht Gegenstand dieser Forschung. Im Gebäudemassstab kann über die Grundgeometrie der Fassadenflächen die akustische Situation rund um das Gebäude beeinflusst werden. Dies lässt sich zum Beispiel darstellen durch Vor- und Rücksprünge der Gebäudehülle oder auch durch eine Anordnung von Balkonen nach akustischen Gesichtspunkten. Im Detailmaßstab der Fassadenkonstruktion lassen sich zwei Manipulationsmöglichkeiten abbilden. Zum einen der Einsatz von absorbierenden Materialien und zum anderen die Ausbildung von speziell gestalteten Fassadenflächen mit akustisch wirksamen Binnengeometrien. In diesen ersten, hier vorgestellten Versuchsanordnungen wurden nur Geometriebasierte Systeme betrachtet, da sich Materialien in den angewandten skalierten Messverfahren nur mit gesondertem Aufwand darstellen lassen. So können nur über Vergleichsmessungen im Realmaßstab und Modellmaßstab Ersatzmaterialien ermittelt werden. Ein deartiges Verfahren wurde für beispielhaft für Grasoberflächen beschrieben. [4]

## Untersuchungen im Gebäudemaßstab

Die Untersuchungen wurden an der Technischen Universität Delft durchgeführt (Laboratory of Acoustical Wavefield Imaging vom Department of Imaging Physics (ImPhys)). Das Messsystem bestand aus einem 1/4 " Mikrofon an einem 3D Positionierungs - System und einem Computer mit einer 192 kHz Soundkarte. Als Schallquelle kam ein Plasmahochtöner mit einem Frequenzbereich von 4kHz bis 140 kHz zum Einsatz. Die Messungen wurden über ein Matlab Interface gesteuert, gespeichert und ausgewertet. Gegenstand der Untersuchung war die Situation am Henninger Turm in Frankfurt hinsichtlich des Verhaltens auf den Eintrag von Fluglärm in den Stadtraum. Ziel war es die 1:1 Messungen von 2013 [5] im skalierten Messverfahren im Maßstab 1:50 nach zu vollziehen um dann die Effekte von Geometriemodifikationen an dieser Stelle zu untersuchen.



**Abbildung 3:** Grundanordnung im Messraum, Nachbau der städtebaulichen Anordnung (Henninger Turm in Frankfurt) im Maßstab 1:50, siehe auch [5]

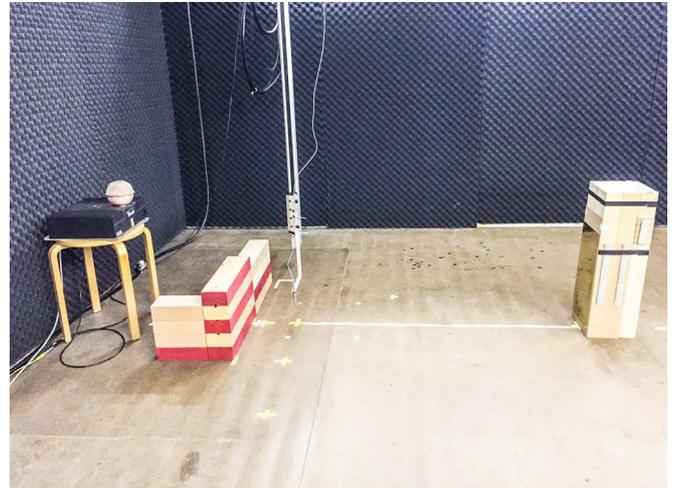
Im Versuchsaufbau wurde die Grundgeometrie der Bebauung durch massive, glatte, gehobelte Hartholzklötze gebildet. Siehe Abbildung 4. Auf die, für die Fassadenmodifizierung vorgesehenen Fläche des Turmes, können mit Adapterplatten verschiedene Anordnungen aufgebracht werden. Tabelle 1 zeigt eine Liste der Anordnungen.

**Tabelle 1:** Anordnungen

| Anordnungen | Abk.    | Beschreibung   |
|-------------|---------|--|
| Anordnung 1 | ref0_0  | Turm ist nicht vorhanden                                       |
| Anordnung 2 | ref01   | Messingblech, plan, 1 mm stark<br>450 mm x 200 mm Ansicht      |
| Anordnung 3 | ref02_1 | Holzklötze, versetzt,<br>30 mm tief,<br>100 mm x 20 mm Ansicht |
| Anordnung 4 | ref3_1  | Holzklötze, versetzt,<br>30 mm tief,<br>100 mm x 10 mm Ansicht |

Messwerte aus Anordnung 1 werden an anderer Stelle verwendet, um die Messeinrichtung mit den in Situ Messungen am Henninger Turm zu vergleichen und sind

deshalb hier nicht weiter betrachtet. Die Messwerte der Anordnung 2, "Fassadenfläche stark reflektierend", bilden den Vergleichswert zu den Messwerten der anderen Anordnungen. So ist eine Einordnung der Wirkungen von Geometriemodifikationen gegenüber der Wirkung einer flächigen, stark reflektierenden Fassadenoberfläche möglich.

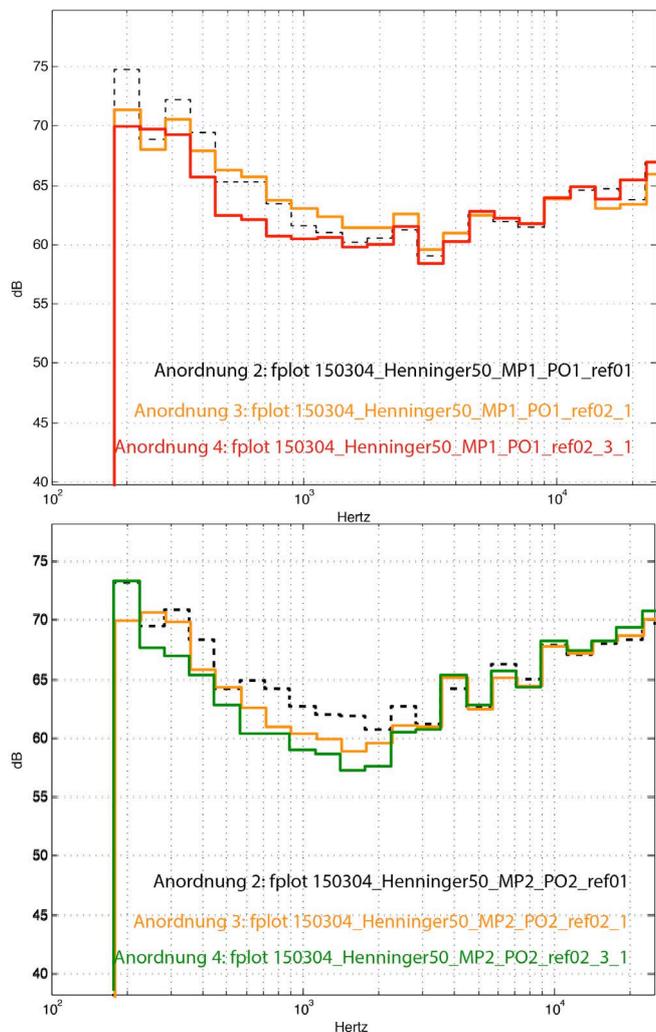


**Abbildung 4:** Grundaufbau im Messraum, Nachbau der städtebaulichen Anordnung im Maßstab 1:50, hier Anordnung 2, "stark reflektierend". Die bemessene Fläche ist mit einem 1 mm Messingblech vollflächig belegt.

In Anordnung 3 wurden im Modell vor die Fassadenfläche Elemente mit einer Ansichtsbreite von 100 mm (5 m) x 20 mm (1 m) und einer Tiefe von 30 mm (1,5 m) vorgebaut. Anordnung 4 zeigt eine Anordnung von Elementen mit einer Ansichtsbreite von 100 mm (5 m) x 10 mm (0,5 m) bei einer Bauteiltiefe von 30 mm (1,5 m). Die Maße in Klammern entsprechen den Maßen im Maßstab 1:1. Siehe Abbildung 5.



**Abbildung 5:** Verschiedene Anordnungen von Elementen auf der Modifikationsfläche: Anordnung 3 (links) und Anordnung 4 (rechts).



**Abbildung 6:** Messwerte für Anordnungen 2, 3 und 4. Der obere Graph bezieht sich auf die Messungen der Schallquelle PO1 an Messpunkt MP1. Der untere Graph bezieht sich auf die Messungen im Messpunkt MP2 wenn die Schallquelle an Position PO2 ist. Die Positionsangaben beziehen sich auf Abbildung 3

An den Messwerten lässt sich die Wirkung der Anordnungen 3 und 4 gegenüber der stark reflektierenden Fläche gut ablesen: Der Großteil der Wirkung liegt im Bereich von 0,5 kHz bis 2 kHz. Schmale Ansichtsflächen (Anordnung 4) erzeugen an beiden Messpunkten deutlich weniger gemessene Reflektionen. Oberhalb von 3 kHz lassen sich kaum Differenzen zu Anordnung 2 feststellen. Mit diesen sehr groben Aussagen lassen sich Entscheidungen im Designprozess von Gebäudehüllen schon in einem sehr frühen Stadium bestimmen. Hier kann schnell deutlich gemacht werden, dass Entscheidungen bezüglich der Hüllengeometrie, immer bestimmte akustischen Folgen nach sich ziehen.

### Untersuchung im Detailmaßstab

Da sich Oberflächen von Fassaden im Modell nicht in jeden Maßstab darstellen lassen muss in der Untersuchung des akustischen Verhaltens ein Maßstabsprung stattfinden hin zum Detailmaßstab von 1:10 bis 1:1. Für diese Messungen wurden Mockups im Maßstab 1:2. mit einer wirksamen Fläche von 1,5 m x 1,5 m gebaut.



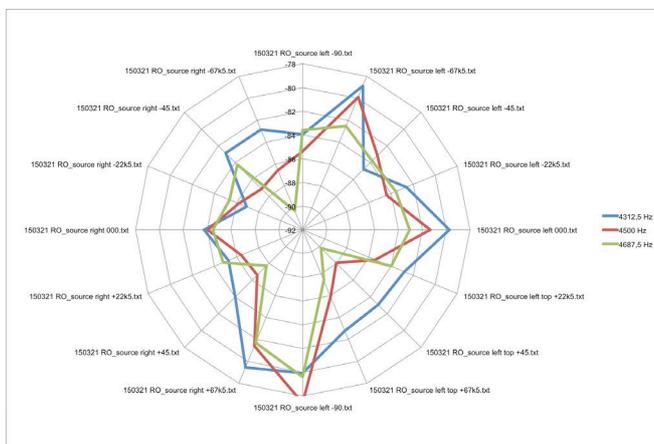
**Abbildung 7:** Mockup Typ 2 mit Lamellenanordnung zur Messung. Die Fassadenfläche misst 1,5 m auf 1,5 m .



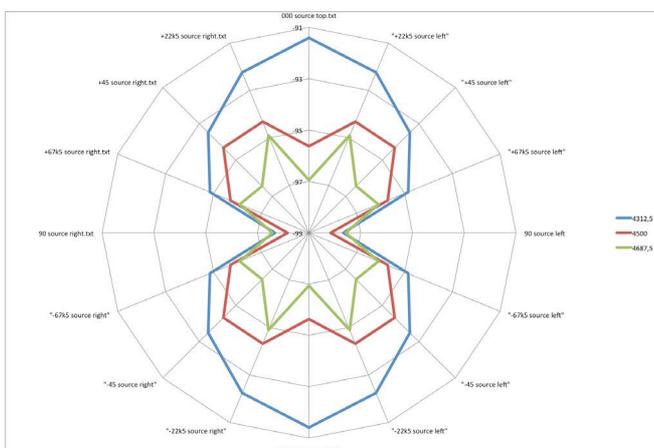
**Abbildung 8:** Verwendete Oberflächen: Links die Lamellenanordnung, Typ 2, rechts das perforierte Blech, Typ 1, als mögliche Fassadenfläche.

Es wurden zwei Grundtypen untersucht: der Typ 1 "perforierte Fassadenoberfläche" und der Typ 2 "Lamellen Konstruktion". Die flächige Anordnung von Typ 1 hat in regelmäßigen Abständen Ausstanzungen in Dreieckiger Form mit 20 mm Schenkellänge. Die Fläche der Ausstanzung wurde nach 35° nach innen geklappt. Siehe Abbildung 8, rechts. Die perforierten Bleche befinden sich im Abstand von 10 cm vor der Wandfläche. Die wellenförmigen Lamellen von Typ 2 stehen im Abstand von 8 bis 12 cm lotrecht zur Fassadenfläche. Sie weisen eine Tiefe von 15 bis 25 cm auf. Siehe Abbildung 8, linke Seite. Die bisher eingeführten Messverfahren die das akustische Verhalten von Bauteilen im Hinblick auf Reflektion und Absorption untersuchen sind aus verschiedenen Gründen für die Architekturpraxis nicht geeignet. Die Hallraum Messung zum Beispiel erfordert grosse Messräume mit umfangreicher Ausstattung. Andere Messverfahren, wie zum Beispiel die Methode "Adrienne" [6] haben hohe Anforderungen an das zu verwendende Equipment. Für die Arbeit in der Designphase eines Fassadenplanungprojektes wurde nach einer Lösung gesucht, die realisierbar ist mit handelsüblichen Computern und Programmen. Es wurde eine Messanordnung gewählt bestehend aus 1/4 Zoll

Messmikrofon, 48 kHz USB Audio Interface und PC. Als Schallquelle wurde ein 7 cm Breitbandlautsprecher in einem 0,3 l Volumen verwendet, positioniert in 15 cm Abstand vom Messobjekt.. Das Messsignal wurde durch den Lautsprecher als Gleitsinus, logarithmisch, von 200 Hz bis 8 kHz ausgespielt Das Messmikrofon wurde in 20 cm Abstand zur Schallquelle und mit 14 cm Abstand zur Oberfläche positioniert. Die Messanordnung wurde parallel zur Oberfläche für 16 Einzelmessungen in 22,5 Grad Winkelschritten um einen fixen Mittelpunkt bewegt. Die Messaufnahmen wurden mit dem Programm Audacity durchgeführt. Dieses Programm kann eine Testsignalspur wiedergeben und simultan zwei Spuren aufzunehmen. Auf Spur 1 wurde der abgespielte Gleitsinus aufgenommen, auf Spur 2 das Messmikrofonsignal. In der Nachbearbeitung wurden Fenster so gesetzt, dass Gleitsinus und Impulsantwort Sequenzen gleicher Länge bildeten. Mit diesen Audiosequenzen wurde eine Deconvolution mit dem Programm LogicX durchgeführt. Die so nachbearbeiteten Audodateien wurden mittels Audacity analysiert und graphisch dargestellt. Siehe Abbildung 9 und 10.



**Abbildung 9:** Polargraph der Frequenzen 4312 Hz, 4500 Hz und 4687 Hz (2156 Hz, 2250 Hz und 2343,5 Hz im Maßstab 1:1) gemessen am Typ 1 Eine Abhängigkeit der Reflektionspegel und der Lage der Öffnung ist erkennbar.



**Abbildung 10:** Polargraph der Frequenzen 4312 Hz, 4500 Hz und 4687 Hz (2156 Hz, 2250 Hz und 2343,5 Hz im Maßstab 1:1) gemessen am Typ 2. Eine deutliche Abhängigkeit zwischen der Richtung der Lamellen und den gemessenen Reflektionspegeln ist erkennbar.

Die hier vorgestellten Polargraphen zeigen immer den Wert des Pegels bei gegenüber positioniertem Lautsprecher. Für beide Fassadentypen lässt sich eine unterschiedliche Wirkung in Abhängigkeit der Richtung und der Frequenz ablesen. Diese Richtungsabhängigkeit kann man in Bezug setzen zur Lage der Öffnungen von Typ 1 oder der Orientierung der Lamellen von Typ 2. Das heißt es ist mit beiden Typen möglich durch gezielten Einbau auf Richtung und Weiterleitung des Eingangssignals Einfluß zu nehmen.

## Ergebnisse

Mit beiden Messverfahren lassen Entscheidungen im Entwurfs- und Konstruktionsprozeß hinreichend untermauern. Der grosse Vorteil dieser Lösungen liegt in der Einfachheit der Messmodelle.

Darüberhinaus war das Ziel Messverfahren zu finden die es in der Architektur- und Ingenieurspraxis möglich machen, im Designprozess mit einem realisierbaren Aufwand das akustische Verhalten von Fassadenoberflächen und Fassadengeometrien zu erfassen. Diese Messverfahren sollen nicht in Konkurrenz stehen zu den etablierten Verfahren, sie sollen zur qualifizierten Entscheidungsfindung im Designprozess beitragen. Die etablierten Verfahren stehen dann am Ende des Entwurfsprozesses zur validierten Prüfung der auszuführenden Planung im Maßstab 1:1.

## Literatur

- [1] Kranendonk, F & Nijs, L. Akoestisch optimale oriëntering van bouwmassa's nabij verkeerswegen, Delft: Z. Uitg, 1979
- [2] Sälzer, E.: Städtebaulicher Schallschutz, Bauverlag GmbH Wiesbaden und Berlin, 2. Auflage 1984
- [3] De Ruiter, E. P. J., Reclaiming land from urban traffic noise impact zones. Delft: University of Technology, Delft, 2004
- [4] Nijs, L.: The prediction of traffic noise levels with the aid of a scale model, Institute for town planning research, group of acoustics, Delft University of Technology, Delft, 1977
- [5] Techen, H., Krimm, J., Akustische Fassaden, Fortschritte der Akustik - DAGA 2014 S846-847, Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V. (DEGA), Berlin, 2014
- [6] Adrienne Research Team, Test methods for the acoustic performance of road traffic noise reducing devices – Final report - European Commission – DGXII – SMT Project MAT1-CT94049, 1998/2014