

Zusammenfassung zur Promotionschrift

# **BIM-Based Noise Forecasting for Enhanced Noise Management in Inner-City Construction**

DISSERTATION

Zur Erlangung des akademischen Grades

Doktor-Ingenieur (Dr.-Ing.)

an der Fakultät Bau- und Umweltingenieurwissenschaften  
der Bauhaus-Universität Weimar

vorgelegt von

Nasim Babazadeh Khameneh

als externe Doktorandin

geboren am 18. August 1991 in Tabriz, Iran

Betreuer:

Prof. Dr.-Ing. Hans-Joachim Bargstädt



Weimar, 07. Oktober 2025

## **Problemstellung und Zielsetzung der Arbeit:**

1. Die Bauindustrie trägt erheblich zu Umweltbelastungen bei, verursacht durch übermäßigen Lärm, Luftverschmutzung und hohen Energieverbrauch. In städtischen Gebieten stellen Lärmbelastungen eine besondere Herausforderung dar, gerade weil bei Bau- und Renovierungsprojekten oftmals schwere Maschinen und Geräte zum Einsatz kommen.
2. Anwohner, die in der Nähe einer Baustelle wohnen, fühlen sich dadurch gestört und gesundheitlich beeinträchtigt, sie reichen Beschwerde gegen die Bautätigkeiten ein. Das kann zu Verzögerungen, zu Kostenüberschreitungen und sogar zur temporären Einstellung von Bauvorhaben führen.
3. Obwohl den Unternehmen die Bedeutung der Reduzierung von Baulärm zur Minimierung von Konflikten und Problemen bekannt ist, werden Lärmschutzaspekte selten schon in der Entwurfs- und Planungsphase von Bauprojekten integriert. Untersuchungen zum Baulärm werden nur selten durchgeführt, und das oft erst während der Ausführungsphase, wenn Konflikte auftreten.
4. Um Lärmschutzaspekte effektiv in die Planungsphase einzubinden, ist ein Vorhersagemodell erforderlich, das für alle Beteiligten sowohl verständlich als auch umfassend ist. Dabei schränkt die Komplexität herkömmlicher Zeitpläne bisher die Möglichkeit ein, Lärmquellendaten aus einem Bauablaufplan abzuleiten.
5. Building Information Modeling (BIM) bietet die Möglichkeit, verständliche Entwurfs- und Prozesspläne zu erstellen, die durch Szenarienbildung sowie verschiedene Bewertungen und Kontrollen unterstützt werden können. Anwendungsfälle umfassen derzeit primär die Akustikplanung, Energieeffizienzbewertung, Materialabfallreduzierung sowie das Zeit- und Kostenmanagement. Das Potenzial der BIM-Modellierung zur Vorhersage von Baulärm wurde jedoch bisher noch nicht gut ausgeschöpft.
6. Die Forschungsfragen dieser Arbeit befassen sich daher damit, wie BIM die erforderlichen Daten liefern kann, um Lärmvorhersagen zu unterstützen, wie Baulärm prognostiziert werden kann und wie diese Vorhersagen mittels einfacher visueller Darstellungen vermittelt werden können.

## **Stand der Wissenschaft:**

7. Die bisherige Literatur zur Vorhersage von Baulärm verwendet Ansätze, die nicht allgemein anwendbar sind. Die von einigen Forschern vorgeschlagenen Modelle verwenden sehr fallspezifische Lärmdaten zur Entwicklung mathematischer Modelle, was ihre Übertragung und breitere Anwendung in unterschiedlichen Ländern einschränkt.
8. Andere Studien haben die Modellierung von Lärmquellen auf Baustellen stark vereinfacht, indem sie die räumlich verteilten Quellen zu einer einzigen Quelle in der Mitte der Baustelle zusammenfassten. Dieser Ansatz spiegelt weder die Komplexität des Baulärms noch die Effekte der Bewegung verschiedener Baumaschinen auf dessen Ausbreitung wider.
9. Die Nutzung von BIM-Modellen zur Geräusch- und Lärmbewertung konzentrierte sich bisher vor allem auf 3D-BIM-Modelle für die akustische Berechnung in Innenräumen. 4D-BIM-Modelle, die geometrische Modelle mit Aufgaben- und Zeitplanungsinformationen kombinieren, werden jedoch nicht zur Vorhersage der Ausbreitung von Außenlärm genutzt.
10. Bestehende Lärmschutzmethoden stoßen bei der Anwendung in städtischen Gebieten ebenfalls an ihre Grenzen. So ist die Umsetzung von Rezeptor-Kontrollmaßnahmen, wie die Umsiedlung von Anwohnern, häufig nicht durchführbar oder mit hohen Kosten verbunden. Darüber hinaus erweist sich die Installation von Lärmschutzwänden oft als ineffektiv, da die geringe Distanz zwischen Quelle und Empfänger keine ausreichende Lärminderung ermöglicht.

11. Die wissenschaftliche Literatur zeigt, dass Lärmkarten zuverlässige Instrumente sind, um die Ausbreitung von Lärm und den Schalldruckpegel in einem Gebiet visuell zu vermitteln. Die Methode der Lärmkartierung wird derzeit jedoch nicht für die Vorhersage von Baulärm eingesetzt, sondern findet Anwendung bei der Bewertung von Verkehrslärm, Flughafenlärm sowie städtischem Lärm und bei Windkraftanlagen. Das bislang ungenutzte Potenzial der Lärmkartierung zur Unterstützung eines Lärmmanagements in den frühen Planungs- und Bauphasen, die zunehmend BIM-basiert sind, ist daher eine Forschungslücke.

### **Die eingesetzten Methoden:**

12. Um diese Forschungslücke zu schließen, entwickelt die vorliegende Arbeit einen BIM-gestützten Ansatz zur Vorhersage von Baulärm, der der Aufgabenplanung von Bauarbeiten eine zusätzliche Dimension hinzufügt.
13. Die Vorhersage von Baulärm erfolgt mithilfe der Lärmkartierungsmethode unter Verwendung der Software CadnaA, die den Schalldruckpegel an Gebäudefassaden und Standorten in der Umgebung der Baustelle berechnet und anschließend visuell aufbereitet ausgibt.
14. Die Erstellung einer Lärmkarte erfordert drei Datensätze und entsprechende Modifikationen: Erstens die Erfassung der Lärmquellendaten, insbesondere Standort, Lärmpegel und Betriebsdauer der zum Einsatz kommenden Baumaschinen. Daten zu Lärmquellen und Baumaschinen müssen aus einem 4D-BIM-Modell exportiert werden. Zweitens muss ein georeferenziertes Modell des Gebiets mit mindestens LoD1 (Level of Detail 1) in das digitale Modell importiert werden. Drittens müssen die lokal zulässigen Schalldruckwerte für Tages- und Nachtzeiten entsprechend den Richtlinien eingearbeitet werden.
15. Die Industry Foundation Classes (IFC) ist ein herstellerneutrales Datenschema für den Informationsaustausch zwischen BIM-Software und wird zur Analyse sowie Identifikation der Entitäten, die Lärmquellen darstellen, genutzt. Außerdem wurde die Möglichkeit evaluiert, eine automatisierte Lärmquellenidentifizierung über eine IFC4D-Datei anstelle einer manuellen Erkennung und eines manuellen Imports zu implementieren. Dabei handelt es sich um eine aus dem 4D-BIM-Modell exportierte IFC-Datei, die IfcTask-Entitäten enthalten muss.
16. Nachdem die Entitäten identifiziert waren, die die Baumaschinen, die Dauer der Aufgaben und den Ort der zu verrichtenden Aufgaben darstellen, wurde aus unterschiedlicher 4D-BIM-Software eine entsprechende IFC4D-Datei exportiert. Vergleichend wurden Blender BIM, DESITE BIM und Synchro 4D Pro hinsichtlich der Qualität ihrer exportierten IFC4D-Dateien und des Umfangs der darin enthaltenen lärmbezogenen Daten untersucht.
17. Angesichts des Informationsverlustes während der Export- und Umwandlungsvorgänge zu IFC4D-Dateien wurde ein Ansatz weiterverfolgt, bei dem Lärmquellendaten aus der proprietären Datenstruktur eines 4D-BIM-Modells exportiert und manuell in die Lärmkartierung importiert werden. Die Lärmkartierung wurde anschließend für ein städtisches Projekt in einer Fallstudie umgesetzt. Zur Validierung des Ansatzes wurden Lärmdaten verwendet, die über Sensoren auf der untersuchten Baustelle aufgezeichnet wurden.

## Das im Wesentlichen erzielte Ergebnis:

18. Die Ergebnisse dieser Studie zeigen, dass Lärmkarten ein umfassenderes Verständnis der Schalldruckpegel in der Umgebung von Baustellen ermöglichen. Sie helfen, potenzielle Lärmkonflikte zu identifizieren und die Orte vorherzusagen, an denen die Schalldruckpegel die zulässigen Werte überschreiten werden.
19. Der vorgeschlagene Ansatz stellt visuell und leicht verständlich aufbereitete Ergebnisse für alle am Projekt beteiligten Parteien bereit und trägt so frühzeitig zu deren Verständnis für potenzielle Lärmkonflikte bei. Dies unterstützt nicht nur die Entscheidungsfindung bei der Planung des Geräteeinsatzes, sondern auch die Bewertung von Strategien zur Lärmreduzierung, wie etwa der Aufstellung von Lärmschutzwänden oder der zeitlichen bzw. räumlichen Verlagerung von lärmintensiven Arbeiten.
20. Das für den vorgeschlagenen Ansatz erforderliche BIM-Modell muss bestimmte Detaillierungsgrade (Levels of Detail, LODs) erfüllen. Da für 4D-Modelle noch kein Standard festgelegt wurde, wurde eine Definition aus der Literatur übernommen. 3D-BIM-Modelle erfordern mindestens LOD 200, um eine ausreichende Grundlage für 4D-BIM zu ermöglichen. Darüber hinaus sind die zur Aufgabenplanung hinzugefügten Details wichtig, um Lärmquellen besser zu erkennen und korrekt zuzuordnen.
21. Eine Analyse des IFC-Datenschemas zeigt, dass es alle notwendigen Entitäten enthält, um den Einsatz von Baumaschinen als Lärmquellen zu identifizieren. Das kann insbesondere über die Entitäten `IfcTask`, `IfcTaskTime` und `IfcConstructionEquipmentResource` erfolgen.
22. Ein Vergleich der drei unter Ziffer 16 genannten BIM-Software liefert heterogene Ergebnisse hinsichtlich des Umfangs der exportierten IFC4D-Dateien, was auf Unterschiede im Grad der Integration der IFC-Exportfunktionalität durch die Softwarehersteller zurückzuführen ist.
23. Infolgedessen ist ein software-übergreifender Ansatz nicht ohne softwareseitige Änderungen umsetzbar. DESITE BIM schreibt bspw. keine `IfcTask`-Entität in die exportierten IFC4D-Datei. Synchro 4D Pro übergibt `IfcTask` in der IFC4D-Datei, aber Baumaschinen werden nur als `IfcBuildingElementProxy` ausgegeben, was die erforderlichen Anforderungen nicht erfüllt. Die Open-Source Software Blender BIM, die `IfcOpenShell` verwendet, lieferte dagegen den notwendigen Datenumfang. Ein halbautomatisierter Ansatz ist daher bisher nur software-spezifisch möglich.
24. Der in einem Pilotversuch verfolgte Ansatz (sh. Ziffer 14 und 17) zeigt vielversprechende Ergebnisse. Die berechneten Schalldruckpegel aus den Lärmkarten wurden mit den Messdaten der auf der Baustelle installierten Sensoren verglichen, um die Validierung durchzuführen. Es konnte gezeigt werden, dass 90% der berechneten Werte innerhalb der Validierungsgrenze von  $\pm 6$  dB(A) liegen. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die Berechnungswerte für Sensor WS 003 deutlich von dessen Messwerten abweichen und daher nicht für die durchschnittliche Übereinstimmung herangezogen wurden. Bezüglich der Abweichung wird von einer notwendigen Kalibrierung bzw. von einem nahegelegenen Störgeräusch ausgegangen.
25. Die Berechnungsergebnisse liefern eine wertvolle Vorschau über potenzielle lärmbedingte Konfliktzonen. Weiterhin ließe sich ein Lärmmanagementansatz, der die Vorhersage mit einem sensorgestützten Monitoring von Lärmbelastungen auf einer Baustelle verbindet, realisieren. Auf Basis der vorliegenden Studienergebnisse kann dies über die Reduzierung von Konflikten mit benachbarten Bewohnern hinaus auch zur Prävention lärmbedingten Hörverlusts bei Bauarbeitern beitragen und sollte planmäßig angewendet werden.