

Schallschutzplanung und BIM im Holzbau – ein Zwischenstand

Camille Châteaueux-Hellwig
Technische Hochschule Rosenheim
Rosenheim, Deutschland



Schallschutzplanung und BIM im Holzbau – ein Zwischenstand

1. Einleitung

Die Bauindustrie gehört zu den weltweit größten Verbrauchern von Material und Energie und trägt stark zur CO₂-Emission bei [1]. Die Holzbauweise bildet eine Möglichkeit nachhaltiger zu bauen. Dies betrifft nicht nur die Produktion sondern auch die Wiederverwertung beim Rückbau [2]. Diese Bauweise stellt jedoch Architekten und Planer vor vielen planerischen Herausforderungen, da sie sich in vielen Punkten vom klassischen Betonbau unterscheidet. Aber auch hier spielen die korrekten Planungsentscheidungen eine wichtige Rolle für den Erfolg des Projekts und die Zufriedenheit der späteren Nutzer.

Eine der schwierigsten konstruktiven Entscheidungen im Holzbau betrifft den Schallschutz. Während bei der Statik und dem Brandschutz die Einhaltung von Vorschriften der Sicherheit dient, betreffen Entscheidungen zum Schallschutz neben der Zufriedenheit der späteren Nutzer auch deren Gesundheit. Die WHO hat eine Verbindung zwischen Lärm und verschiedenen Krankheiten gefunden, wie kardiovaskuläre Erkrankungen, Schlafstörungen, kognitive Beeinträchtigung bei Kindern, Tinnitus und viele mehr [3].

Um die des Schallschutzes zu erleichtern mangelt es bisher an Planungswerkzeugen, die die Vielfältigkeit der Holzbauweise berücksichtigen.

Der Trend hin zu mehr Digitalisierung bietet hier eine Lösung: indem der Holzbau für die Planung des Schallschutzes auf Bauwerkinformationsmodelle zugreift und mit diesen Daten anhand der Konstruktionsdetails relevante Kennzahlen aus bewährten Berechnungen oder Datenbanken ausliest.

2. Open BIM mit IFC

Die Nutzung von Bauwerkinformationsmodellen ist in unterschiedlicher Weise möglich. Während closed BIM Ansätze mit unterschiedlicher Software eines einzelnen Anbieters arbeiten, beschäftigen sich open BIM Ansätze mit der herstellerübergreifenden Datenübergabe. Dazu werden herstellernerneutrale Datenformate gebraucht, die von allen Softwareprodukten geschrieben und gelesen werden können.

Das Format der Industry Foundation Classes (IFC) ist ein von buildingSMART entwickeltes und standardisiertes Datenschema zum herstellernerneutralen Austausch digitaler Gebäudemodelle in deren gesamten Lebenszyklus. Das Schema ist in der ISO 16739 [4] normiert und bietet die Möglichkeit neben der geometrischen Repräsentation des Bauobjektes auch semantische Informationen zu speichern. Diese sind zum Beispiel Informationen zu Raum- und Bauteilstrukturen, sowie zu Bauteilkomponenten und ihren Eigenschaften. Somit bildet IFC als herstellernerneutrales Schema die Grundlage vieler Big Open BIM Ansätze.

Abbildung 1 zeigt die Datenstruktur einer IFC-Datei in stark vereinfachter und verkürzter Form. Die einzelnen Bauelemente liegen im Gebäude in unterschiedlichen Geschossen (`IfcBuildingStoreys`). Die Zuordnung erfolgt mit den Relationen `IfcRelAggregates` und `IfcRelContainedInSpatialStructure`. Die Informationen zur Geometrie wird in Entitäten gespeichert, die dem `IfcProductDefinitionShape` untergeordnet sind. Die Position der Elemente ist mit jeweils lokalen Koordinatensystemen (`IfcLocalPlacement`) mit dem globalen Koordinatensystem des Gebäudes verknüpft. Angaben zum Material sind bei Bauteilen ebenfalls vorhanden. Dafür sind die einzelnen Materialien (`IfcMaterial`) in Schichten aufgeteilt (`IfcMaterialLayer`). Im `IfcMaterialLayerSet` werden die einzelnen Schichten der Reihe nach aufgelistet und beschreiben so z.B. den Bauteilaufbau einer Außenwand. Diese Liste an Materialschichten wird dann über die Relation `IfcRelAssociatesMaterial` an die Bauteile angeheftet.

Zusätzlich ordnet die Relation `IfcRelVoidsElement` Bauteilöffnungen für Fenster und Türen dem Bauteil zu und in diesen Öffnungen befinden sich dann die Tür- oder Fensterelemente (`IfcDoor`, `IfcWindow`).

Der Vorteil dieser Arbeitsweise ist die hohe Zeitersparnis durch die automatisierte Übernahme von Daten. Zusätzlich entfällt die Fehleranfälligkeit durch manuelle Eingaben. Die für open BIM erzeugten Daten sind standardisiert, sodass sich Datenbanken und Softwaretools für das Auslesen und Auswerten der Daten optimieren lassen. Große Gebäudemodelle können so effizient über regelbasierte Modellprüfungen analysiert werden. Zusätzlich sind Bauteile und Änderungen eindeutig nachvollziehbar.

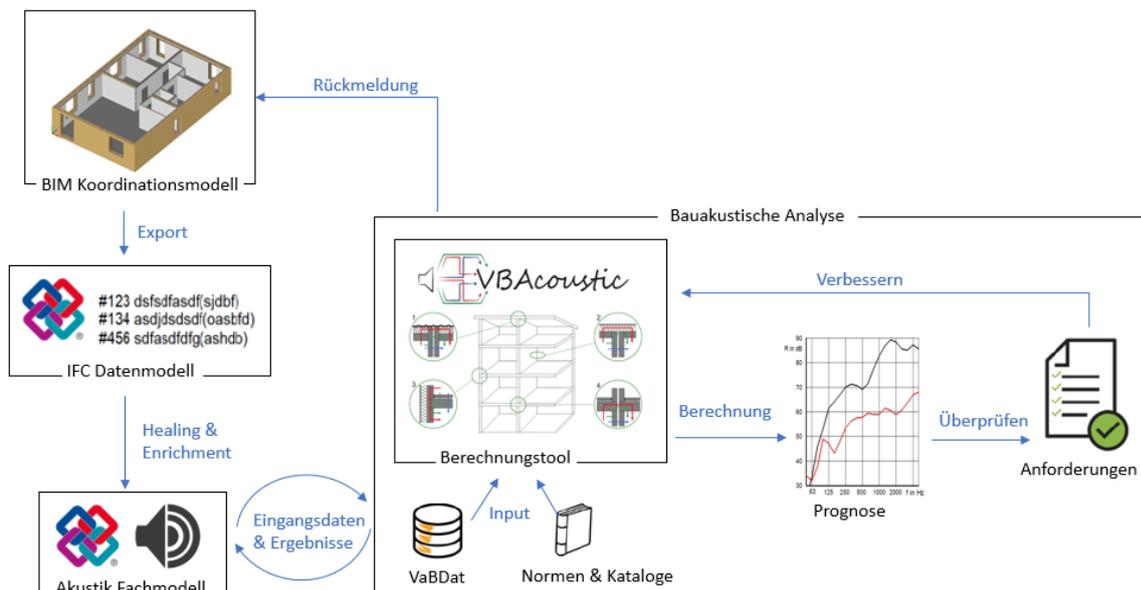


Abbildung 2: Bauakustische Analyse des Schalldämm-Maßes und des Trittschallpegels auf Grundlage eines BIM Koordinationsmodells mit Hilfe eines Akustik Fachmodells

4. Schallschutz im Holzbau

Die Schallschutzprognose im Holzbau wird wie für den Massivbau nach DIN EN ISO 12354 [8] gerechnet. Dabei wird neben der direkten Übertragung durch das trennende Element auch die Übertragung über die Schallnebenwege berücksichtigt. Dafür wird das Flankendämm-Maß R_{ij} verwendet:

$$R_{ij} = \frac{R_i + R_j}{2} + \Delta R_{ij} + K_{ij} - 10 \lg \frac{l_{ij}}{\sqrt{a_i a_j}} + 10 \lg \frac{S_s}{\sqrt{S_i S_j}} \quad [\text{dB}] \quad (1)$$

mit

$\overline{D_{v,ij}}$	Schnellepegeldifferenz in dB
R_i, R_j	Schalldämm-Maß des Elements i bzw. j in dB
S_s	Fläche des trennenden Elements in m^2
S_i, S_j	Fläche des Elements i bzw. j in m^2
ΔR_{ij}	Verbesserung oder Verschlechterung der Schalldämmung durch Vorsatzschalen, Estriche und abgehängte Unterdecken auf dem Übertragungsweg i-j in dB
l_{ij}	Länge der Stoßstelle zwischen Element i und j in m
a_i, a_j	Äquivalente Absorptionslänge von Element i bzw. j in m
K_{ij}	Stoßstellendämm-Maß für den Übertragungsweg i-j in dB

Je nach Situation entstehen zwei, drei oder vier mögliche Schallnebenwege. Für Trennwände sind es die gemischten Wege D_f und F_d und die reine Flankenübertragung F_f . Bei Trenndecken gibt es für die Trittschallübertragung den Weg D_f und zusätzlich im Holzbau den Weg D_{ff} , der den Einfluss des Estrichs auf die obere flankierende Wand beschreibt. Abbildung 3 verdeutlicht die genannten Übertragungswege. [9].

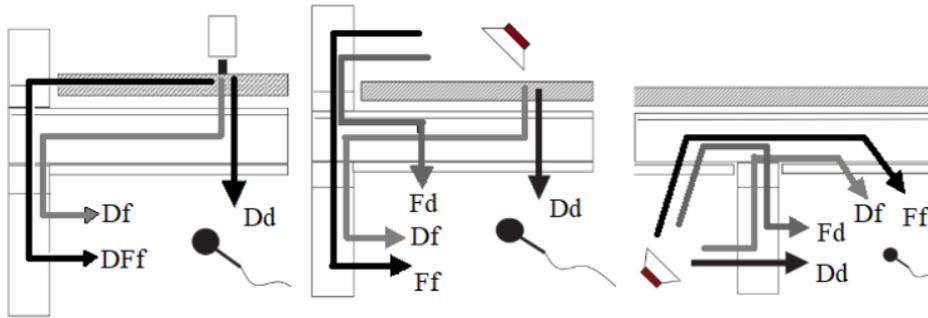


Abbildung 3: Schallübertragungswege mit den Wegen Ff, Df, Fd und DFF für die Trittschallübertragung einer Trenndecke (links), Schalldämmung einer Decke (mitte) und Schalldämmung einer Trennwand (rechts)

5. Herausforderungen für den Schallschutz

Digitale Gebäudemodelle sind nur von Vorteil, wenn die notwendigen Daten im Modell enthalten und maschinell abrufbar sind. Beim Akustik-Fachmodell bedeutet es, dass der Bauteilaufbau semantisch vorhanden sein muss (*IfcMaterialLayer*) um die korrekten Schalldämm-Maße oder Trittschallpegel der Bauteile zu ermitteln. Eine Herausforderung ist im Rahmen eines Projekts Definitionen für die Modellierung festzulegen. Zum Beispiel muss die Benennung des Materials (*IfcMaterial*) mit den genutzten Datenbanken übereinstimmen, da sonst jedes Bauteil manuell überprüft werden muss, um passende Werte aus der jeweiligen Datenbank zu ermitteln.

Eine weitere Herausforderung ist die Identifizierung der Stoßstellen. Hier muss neben den flankierenden Bauteilen auch der Typ der Stoßstelle erkannt werden (siehe Abbildung 4). Dieser Typ wird dann verwendet, um die Datenbankabfrage in VaBdat¹ durchzuführen und die richtigen Übertragungswege für das Stoßstellendämm-Maß K_{ij} zu ermitteln. Die Datenbank VaBdat wurde an der TH Rosenheim entwickelt und beinhaltet neben Einzahlangaben vor allem frequenzabhängige Werte für die Schalldämm-Maße und Trittschallpegel von Bauteilen. Zusätzlich sind für verschiedene Stoßstellen aus Messungen die Stoßstellendämm-Maße angegeben.

Da das IFC-Format bisher keine ausreichenden Möglichkeiten bietet, Stoßstellen zu erstellen, müssen die Stoßstellen über verschiedene Abfragen am Gebäudemodell ermittelt werden. So wird aus der Position und der Geometrie der Bauteile die Stoßstelle nachgebildet und der Stoßstellentyp definiert. Im letzten Schritt werden anhand des Schichtaufbaus und des Stoßstellentyps noch die Übertragungswege ermittelt. Hier spielen auch Vorsatzschalen, Unterdecken oder schwimmende Estriche eine Rolle.

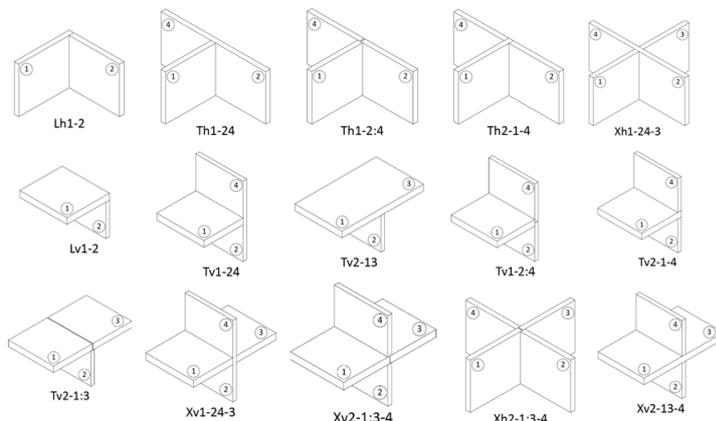


Abbildung 4: Für den Schallschutz relevante Stoßstellentypen in der Datenbank VaBdat [10]

¹ <https://www.vabdat.de/>: Datenbank mit frequenzabhängigen, vibroakustischen Kennwerten zu Bauteilen und Stoßstellen

Eine weitere Herausforderung ist, dass flankierende Elemente nicht über eine übliche Kollisionsabfrage ermittelt werden können, da die Bauteile an Stoßstellen nicht unbedingt eine Überlappung aufweisen. Sie können sogar konstruktionsbedingt einen Abstand zueinander aufweisen, sodass auch die Definition mit topologischen Operatoren wie berührt, beinhaltet, innerhalb nicht zielführend ist [11]. Abbildung 5 zeigt wie Elemente in einer Stoßstelle zusammentreffen können.

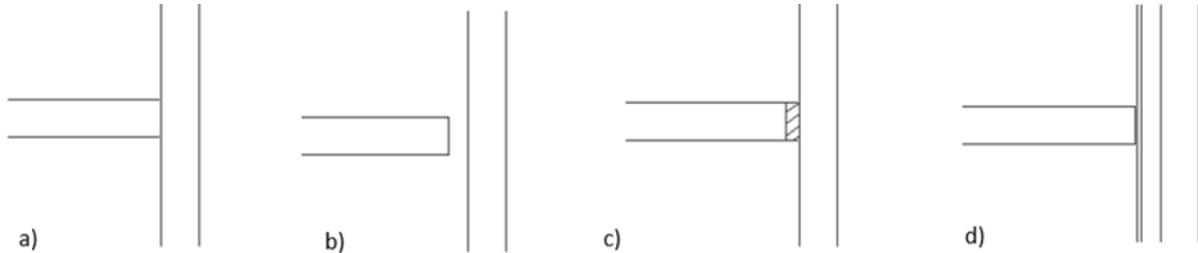


Abbildung 5: Erkennung der Stoßstelle für Elemente, die a) das Trennelement berühren ($d=0$) oder an das Trennelement angrenzen ($0 \text{ m} \leq d \leq 0,3 \text{ m}$) mit b) Luft, c) einer elastischen Schicht oder d) einer Vorsatzschicht dazwischen

6. Lösungsansatz mit IFC

An einer open BIM Lösung zur Implementierung des Schallschutzes in den Planungsprozess wird im Projekt der TH Rosenheim gearbeitet [12]. Als Gebäudemodell wird ein IFC-Datenmodell verwendet mit einem Detaillierungsgrad, der Bauteile in ihrer richtigen Position zueinander sowie ihren Bauteilaufbau enthält. Der Detaillierungsgrad von BIM Modellen kann über das Level of Development (LOD) beschrieben. Das BIM Forum gibt hierzu regelmäßige Richtlinien heraus, die Bauteilabhängig diese LODs beschreiben [13]. Der LOD beschreibt, bis zum welchem Grad die Geometrie von Bauteilen in einem Modell bedacht wurde und stellt den zuverlässigen Informationsgehalt eines Modells dar. Bei einem LOD 100 sind keine zuverlässigen geometrischen Angaben über das Bauteil vorhanden. Bei einem LOD 200 werden Bauteile mit ihrer Form und Position dargestellt, ohne dabei eine genaue Aufgliederung beispielsweise in Materialschichten zu enthalten. Sie können jedoch bereits semantische Informationen enthalten. Materialschichten und eine detaillierte Modellierung sollte ab einem LOD 300 vorhanden sein.

Für die akustische Analyse existieren idealerweise die Bauteile Wand, Decken und Fassaden mit einem LOD von 300. Aber auch ab einem LOD von 200 ist eine schalltechnische Analyse denkbar, da hier bereits die Stoßstellen ermittelt werden können, die aus geometrischen Abfragen des Trennbauteils mit seinen Flanken ermittelt und in Stoßstellentypen unterteilt werden. Das Schalldämm-Maß oder der Trittschallpegel der einzelnen Bauteile wird aus Herstellerangaben oder Datenbanken abgerufen. Aus dem BIM Model werden so Eingangsdaten für weitere Berechnungstools ausgelesen. Dazu gehören die Bauteilabmessungen, die Stoßstellenlängen und den genauen Aufbau der Bauteile, genauso wie die Stoßstellentypen.

Ein Tool für den Holzbau ist das Excel-basierten Tool VBAcoustic², das die Möglichkeit bietet die Prognose nach EN 12354 frequenzabhängig zu berechnen. Sollten Daten in VaBdat nicht vorhanden sein, kann auch auf Bauteile aus dem TH Katalog der Hochschule Rosenheim zurückgegriffen werden oder wenn vorhanden auch eigene Werte eingetragen werden.

Die Ergebnisse aus der Modellanalyse und Prognoseberechnung sollten in Form eines Fachmodells gespeichert werden. Dadurch können bei Änderungen im Koordinationsmodell schneller Entscheidungen zu Änderungen oder Neuberechnungen getroffen werden. Das Fachmodell Akustik wird aus dem Koordinationsmodell erstellt und beinhaltet alle Informationen, die zur Berechnung des Schallschutzes im Gebäude relevant sind.

Im Fachmodell selbst werden die Bauteile in drei akustisch relevante Schichten unterteilt. Dies ermöglicht ein schnelles Zuordnen der Schalldämm-Maße der Grundbauteile sowie der Verbesserungen durch Vorsatzschalen ΔR . Die drei Schichten sind wie folgt: eine Kernschicht mit dem tragenden Element und zwei äußere Schichten (siehe Abbildung 2). Die

² Download unter: <https://www.th-rosenheim.de/die-hochschule/fakultaeten-institute/fakultaet-fuer-angewandte-natur-und-geisteswissenschaften/ansprechpartner/professoren/prof-dr-andreas-rabold/>

Kernschicht muss dabei immer vorhanden sein, wohingegen die zwei äußeren Schichten optional sind. Für Wände sind diese äußeren Schichten außen zum Beispiel die Fassadenverkleidung und das Wärmedämmverbundsystem. Bei Innenwänden ist diese Schicht zum Beispiel eine Vorsatzschale. Die Kernschicht von Decken oder Dächern beinhaltet auch die Beschwerung und der Fußbodenaufbau ab der Trittschalldämmung ist dann bereits die äußere Schicht, genauso wie eine abgehängte Unterdecke. Für die Stoßstellenanalyse ist es ebenfalls wichtig, vor allem die Kernschicht zu betrachten. Diese bestimmt maßgeblich den Stoßstellentypen, wie in Abbildung 7 dargestellt ist.

Zum aktuellen Forschungsstand wird in IFC-Modellen die Lage von Stoßstellen an einem trennende Bauteil erkannt und flankierende Elemente richtig in ihre zugehörigen Stoßstellen eingefügt. Die Identifizierung der Stoßstellentypen nach Abbildung 4 wurde erfolgreich an einem Use Case demonstriert [12].

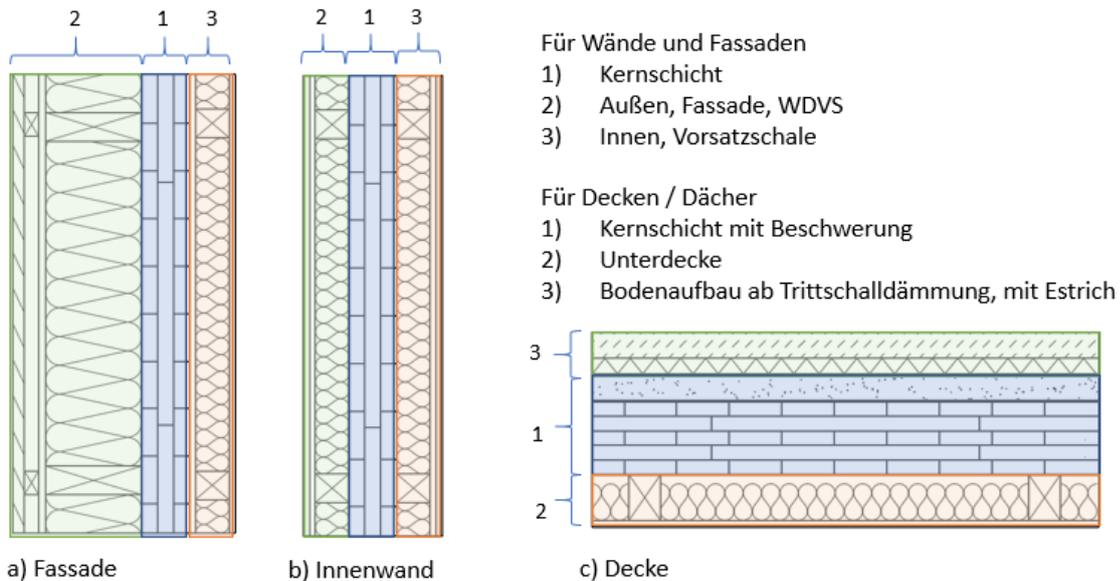


Abbildung 6: Beispiele im Schichtaufbau von a) Fassaden, b) Innenwänden, c) Decken

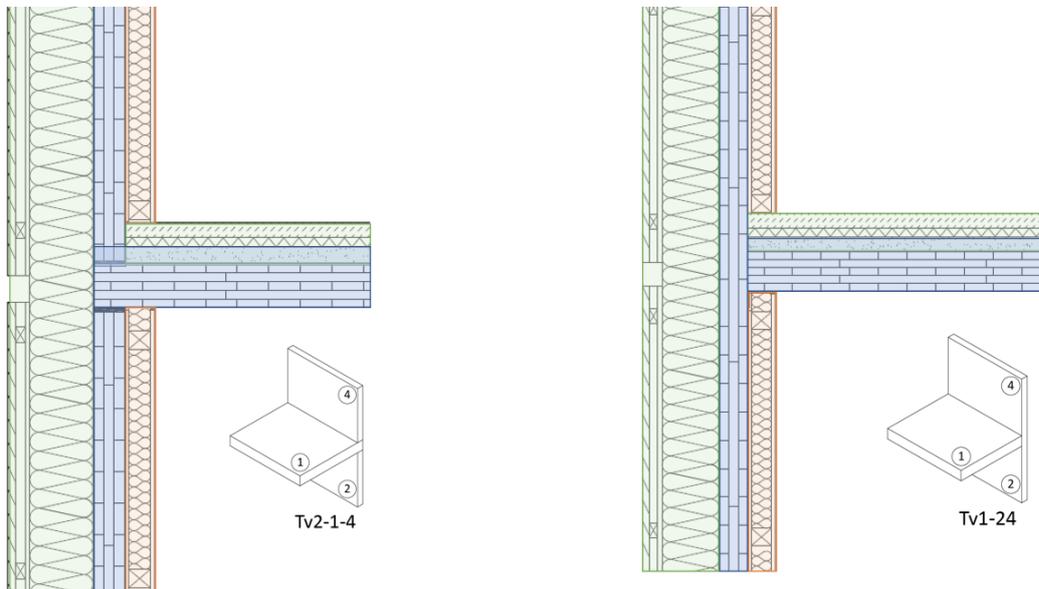


Abbildung 7: Beispiel eines Stoßstellendetails: die Kernschicht in blau aus Massivholzelementen ist für die Einteilung in die Stoßstellentypen relevant

7. Fazit und zukünftige Arbeiten

Die Planung des Schallschutzes ist eine wesentliche Herausforderung beim Entwurf von Holzbauten, da für die Anwendung der bisherigen Berechnungsmethoden viele Details beachtet werden müssen und so viele unterschiedliche Eingangsdaten zustande kommen. Bislang gibt es hierfür keine geeigneten Software-Tools, die sich in einen digitalen Planungsablauf integrieren und aus BIM-Modellen die richtigen Eingangsdaten automatisiert auslesen. Daher läuft an der TH Rosenheim ein Forschungsprojekt, welches diese Lücke schließen möchte. Dazu wird ein Open BIM Planungsprozess nachgestellt und ein digitales Gebäudemodell als herstellernerutrales IFC-Datenmodell verwendet. Durch die Umwandlung in ein Akustik Fachmodell können Bauteile und Bauteilanschlüsse analysiert werden und zu für die akustische Analyse interpretiert werden.

Dieses Forschungsprojekt zeigt, dass die Nutzung von BIM Modellen noch weiter optimiert werden kann. Die bisherigen Grenzen der Anwendung liegen vor allem an fehlenden computerbasierten Methoden, insbesondere in hochspezialisierten Teilgebieten wie die Betrachtung Schallschutz im Holzbau. Hier zeigt sich, dass die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Bau-Informatikern mit Fachleuten aus Holzbau und Akustik ein großes Potenzial hat.

Der nächste Schritt besteht darin, aufwendigere Bauteilaufbauten und komplexere Stoßstellen, wie sie in EN 12354-1 dargestellt sind, zu erkennen. Die Analyse von Elementen, die ein ΔR , also eine Verbesserung oder Verschlechterung des Schalldämm-Maßes herbeiführen, wie z. B. Vorsatzschalen und Unterdecken müssen in Zukunft ebenfalls berücksichtigt werden. Zusätzlich muss das Model Healing im Rahmen der Model Analyse sowie die Erzeugung des Fachmodells aus einem beliebigen BIM Modell vollständig implementiert werden.

8. Danksagung

Der Dank geht an die Unterstützung des bayerischen Staatsministeriums für Wissenschaft und Kunst für die Finanzierung des Forschungsschwerpunkts «Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM-basierte Gebäudeplanung» (Kap. 15 49 TG 78, Förderzeitraum 2017-2021) an der Hochschule Rosenheim, sowie an Herr Prof. Dr.-Ing. André Borrmann der TU München für die Unterstützung.

9. Literaturverzeichnis

- [1] J. K. Wong, H. Li, H. Wang, T. Huang, E. Luo, and V. Li; Toward low-carbon construction processes: the visualisation of predicted emission via virtual prototyping technology, *Autom. Constr.*, 33, 2013, pp 72–78.
- [2] Gerard Finch, Guy Marriage, Antony Pelosi, and Morten Gjerde; Building envelope systems for the circular economy; Evaluation parameters, current performance and key challenges, *Sustainable Cities and Society*, 64, 2021, pp 102561.
- [3] WHO European Centre for Environment and Health: *Burden of disease from environmental noise. Quantification of healthy life years lost in Europe*. World Health Organization, Copenhagen, 2011.
- [4] *Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. Part 1: Data schema*, ISO 16739-1:2018. Beuth Verlag, 2018.
- [5] Ioannis Anagnostopoulos, Ioannis Brilakis, and Patricio Antonio Vela, Eds., 2015: *A Review on Methods for Generating As-built Building Information Models*.
- [6] J. Bogdahn and Volker Coors; TOWARDS AN AUTOMATED HEALING OF 3D URBAN MODELS, *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Science, Volume 38-4/W15*.
- [7] Eric Fichter, Veronika Richter, Jérôme Frisch, and Christoph van Treeck, 2021; Automatic generation of second level space boundary geometry from IFC models. In *Building Simulation 2021*.
- [8] *Bauakustik – Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften. Teil 1: Luftschalldämmung zwischen Räumen*, DIN EN ISO 12354-1. Beuth Verlag, 2017.
- [9] Camille Châteauevieux-Hellwig, Andreas Rabold, and Markus Schramm: *Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten - Modellierung, numerische Simulation, Validierung. Teilprojekt 4: Bauteilprüfung, FEM Modellierung und Validierung*, Forschungsbericht, Rosenheim, 2017.
- [10] Aline Timppte, 2016: *Stoßstellen im Massivholzbau. Konstruktionen, akustische Kenngrößen, Schallschutzprognose*, Masterarbeit. Architektur. Technische Universität Berlin und Hochschule Rosenheim, Berlin.
- [11] André Borrmann, 2007: *Computerunterstützung verteilt-kooperativer Bauplanung durch Integration interaktiver Simulationen und räumlicher Datenbanken*. Fakultät für Bauingenieur- und Vermessungswesen, Lehrstuhl für Bauinformatik. Technische Universität München.
- [12] Camille Châteauevieux-Hellwig, Jimmy Abualdenien, and André Borrmann, 2021; Analysis of the early-design timber models for sound insulation analysis. In *EG-ICE 2021. 28th international workshop on intelligent computing in engineering*.
- [13] Jim Bedrick, Will Ikerd, and Jan Reinhardt: *2021 level of development (LOD) specification for Building Information Models*, 2021.