



Schlussbericht

Forschungsschwerpunkt

Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für
BIM-basierte Gebäudeplanung

Förderung	Bayerisches Staatsministerium für Bildung und Kultus, Wissenschaft und Kunst
Förderprogramm	Programm zur Förderung der angewandten Forschung und Entwicklung an Hochschulen für angewandte Wissenschaften – Fachhochschulen (Kap. 15 49 TG 78) Programmsäule Forschungsschwerpunkte
Förderkennzeichen	VIII.2-F1116.RO/17/2
Projektlaufzeit	1. Januar 2018 - 31. Dezember 2021 Start und Ende (tatsächlich): 1 Juli 2018 - 30. Juni 2022
Zuwendungsempfänger	Technische Hochschule Rosenheim Hochschulstraße 1 83024 Rosenheim
Projektleiter	Prof. Dr. Ulrich Schanda
Projektmitarbeiter	Camille Châteauevieux-Hellwig, M.Sc. Dr. Ekaterine Geladze Dr. Andreas Mayr Dr. Fabian Schöpfer Felix Frischmann, M.Sc. Tobias Kruse, M.Sc.
Projektbeteiligte	Prof. Dr. Rabold, Prof. Dr. Beneken, Prof. Dr. Wellisch, Prof. Dr. Grimminger
Berichtsdatum	22. November 2022

Kurzfassung

Im Zuge der Digitalisierung im Bauwesen eröffnet der Ansatz von BIM¹ die Möglichkeit, modellbasierte Berechnungsergebnisse für eine vollständige Schallschutzprognose und damit für die Einhaltung der gesetzlichen oder privatrechtlich vereinbarten Anforderungen zu einem frühen Planungsstadium und in einen digitalen Planungsprozess integriert einfließen zu lassen. Dies ist ein nächster Schritt, den Planungsprozess weiter zu digitalisieren, damit kosteneffizient zu gestalten und die Planungssicherheit zu erhöhen.

Vor diesem Hintergrund wurde an der TH Rosenheim der Forschungsschwerpunkt „Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM-basierte Gebäudeplanung“ unter dem Forschungsfeld Akustik im Bauwesen geschaffen. Der Forschungsschwerpunkt umfasst insbesondere den Schall- und Schwingungsschutz im Holzbau sowie den Körperschall aus gebäudetechnischen Anlagen. Der Fokus liegt dabei auf dem mehrgeschossigen Holzbau.

¹Building Information Modeling

Danksagung

Ausdrücklicher Dank gilt Herrn Prof. Dr. Andreas Rabold für sein unermüdliches Engagement während der gesamten Projektlaufzeit in der Erarbeitung der Inhalte. Viele Ergebnisse sind seinem Gestaltungswillen und der intensiven Betreuung vieler studentischer Arbeiten, die im Rahmen des Forschungsschwerpunktes ausgearbeitet wurden, zuzuschreiben. Großer Dank gilt auch an Prof. Dr. Gerd Beneken, der insbesondere bei der Umsetzung der Datenbank VaBDat (Vibroacoustic Building Data) stark unterstützt hat.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	iii
Danksagung	v
Abbildungsverzeichnis	ix
Tabellenverzeichnis	xi
Abkürzungsverzeichnis	xiii
1 Forschungsthema und Zielsetzung	1
1.1 Forschungsthema	1
1.2 Zielsetzung	1
2 Verwendung der Fördermittel	5
3 Stand der Wissenschaft, Forschung und Praxis	7
3.1 Anwendungsszenarien von BIM in der Praxis	7
3.2 Industry Foundation Classes (IFC)	10
3.2.1 Darstellung von Objekten in IFC	11
3.2.1.1 Geometrische Darstellung von Bauteilen und Baukonstruktionen	11
3.2.1.2 Stoßstellen von Bauteilen in IFC	13
3.2.1.3 Materialkenndaten in IFC	15
3.2.1.4 Schalltechnische Kenndaten in IFC	17
3.3 Level of Development LoD	17
3.4 BIM Software	18
3.4.1 BIM-Modellierer / Autorensoftware	20
3.4.2 Modellanalyse und Modelldarstellung	22
3.5 BIM-Integration für Schall- und Schwingungsschutz in der Praxis	23
4 Ergebnisse	27
4.1 Planungsprozesse mit BIM	27
4.2 Referenzmodelle	28
4.3 Fachmodell Akustik	33
4.4 Eingangsdaten für Prognosemodelle	35
4.4.1 Eingangsdaten für Trennbauteile	35
4.4.2 Eingangsdaten für Stoßstellen	35

4.4.3	Eingangsdaten für gebäudetechnische Anlagen	36
4.5	FEM für die Schallschutzprognose und den Schwingungsschutz im Holzbau .	37
5	Maßnahmen zum Wissenstransfer in die Praxis	43
5.1	Normungsarbeit	43
5.2	Veröffentlichungen und Fachmessen	43
5.3	Arbeitsgruppensitzungen	44
5.4	Einbindung in die Lehre	46
6	Abschlussarbeiten	47
6.1	Studentische Abschlussarbeiten	47
6.2	Kooperative Promotion	68
7	Zusammenfassung und Ausblick	71

Abbildungsverzeichnis

1	Prozess der BIM-integrierten Schallschutzplanung	3
2	Die vier Anwendungskonfigurationen von BIM	8
3	Möglichkeiten der geometrischen Modellierung.	12
4	Klassen von <i>IfcRepresentation</i> für die Darstellung von Bauteilen mit IFC	13
5	Verbindungsmöglichkeiten von zwei Bauteilen mit <i>IfcRelConnectsPathElements</i> 14	
6	Stoßstelle aus vier Elementen mit <i>IfcRelConnectsPathElements</i>	14
7	Semantische Beschreibung der Materialschichten mit <i>Material Set</i>	16
8	BIM-Modell inkl. Abb. in FEM mit LoD 400	19
9	Zusammenführung von Fachmodellen im Koordinationsmodell	29
10	Fachmodelle in Akustik und Holzbau	30
11	Darstellung eines Referenzgebäudes mit unterschiedlichen Grundrissen	31
12	Referenzgebäude mit IFC-Datenmodell direkt aus Xbim	32
13	Referenzgebäude mit IFC-Datenmodell direkt aus Xbim	32
14	BIM Referenzmodell eines realen Bauvorhabens, H4 Bad Aibling	34
15	Messbegleitende FE-Berechnungen	38
16	Klassifikation von FEM-Berechnungen	39
17	FEM-basierte Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes	40
18	Berechnung des Schallschutzes auf Grundlagen der Informationen aus BIM . .	69
19	Kombinierter Arbeitsplan für den Forschungsschwerpunkt Phasen 1 und 2 . .	73

Tabellenverzeichnis

1	Übersicht der Projektmitarbeiter	5
2	Fortbildungen und Schulungen	5
3	Besuchte Fachtagungen, Kongresse, Messen und Konferenzen	6
4	Besuchte Messen	6
5	Teilnahme an Normen- und Arbeitsgruppensitzungen	6
6	Übersicht untersuchter BIM Software	19
7	Kontakte zu weiteren Industriepartnern	24
8	Austausch und Wissenstransfer mit Partnern und Industrie	45

Abkürzungsverzeichnis

Begriffe

AWF	BIM-Anwendungsfall gemäß BIM4INFRA BAP- und AIA-Musterleitfaden des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur
BCF	BIM Collaboration Format
BRep	Boundary Representation
BIM	Building Information Modeling
CAD	Computer-Aided Design
CAM	Computer-Aided Manufacturing
CDE	Common Data Environment
CFD	Computational Fluid Dynamics - numerische Strömungssimulation
CSG	constructive solid geometry
dwg	CAD-Format (drawing)
EC5	Eurocode 5
FE	Finite Elemente
FEM	Finite Elemente Methode (auch Finite Elemente Analyse FEA)
HOAI	Honorarordnung für Architekten und Ingenieure
IFC	Industry Foundation Classes
JSON	JavaScript Object Notation
KI	Künstliche Intelligenz
LoD	Level of Development
LaSM	Labor für Schallmesstechnik
RLT	raumluftechnisch
STEP	Standard for the Exchange of Product Model data
TGA	Technische Gebäude Ausrüstung
VaBDat	Vibroakustik Bauteil Datenbank
XML	Extensible Markup Language

Namenskürzel

ChCa	Camille Châteauevieux-Hellwig
GeEk	Ekaterine Geladze
FrFe	Felix Frischmann
ScUI	Ulrich Schanda

1 Forschungsthema und Zielsetzung

1.1 Forschungsthema

Auf internationaler wie auch auf nationaler Ebene nimmt die Bedeutung von BIM¹ und die Digitalisierung im Bauwesen immer weiter zu. Die zu erwartende Effizienzsteigerung und Prozessoptimierung in allen Lebensphasen eines Gebäudes ist einer der Hauptantriebsfaktoren dieser Entwicklung. Weiterhin erhofft man sich neben der gesteigerten Prozessqualität auch eine Verbesserung der Bauqualität. Dies ist unter anderem darauf zurückzuführen, dass bei einem konsequenten BIM-Ansatz die Kommunikation und Validierung von Planungs- und Bauzielen erleichtert werden kann. Dies gilt prinzipiell auch für Themen der Bauphysik und damit ingenieurtechnische Fragestellungen rund um die Bauakustik, den Schall- und Schwingungsschutz. Eine gute bauakustische Gebäudequalität kann planungssicher am effizientesten prognostiziert und umgesetzt werden, wenn bauakustische Berechnungsmethoden bereits ab einer frühen Planungsphase und reibungsfrei bis in die Bauphase hinein in den allgemeinen Planungsablauf integriert werden. Die BIM-Methode bietet hierfür prinzipiell eine gute Basis. Dennoch zeigt es sich in der Bau- und Planungspraxis derzeit, dass die BIM-Adaption oft mit großem Aufwand und teilweise sogar Effizienzreduktionen der beteiligten Planer verbunden ist. Ein Grund hierfür ist unter anderem, dass BIM derzeit oft noch stark durch Themen der Architekturplanung sowie der Kosten- und Ablaufplanung dominiert wird. Die Schnittstellen zu ingenieurtechnischen Fachplanungsthemen sind oft noch nicht robust und effizient oder sogar noch nicht ausgearbeitet. Dies gilt insbesondere für den Bereich Bauakustik. Dieser Forschungsschwerpunkt beschäftigt sich daher mit der effizienten, robusten und praxistauglichen BIM-Adaption für Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz.

1.2 Zielsetzung

Vor diesem Hintergrund war und ist es das Ziel, unter dem Forschungsleitthema „Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM- basierte Gebäudeplanung“ die derzeit allgegenwärtigen Insellösungen für bauakustische Berechnungen und Prognosen in einen integralen BIM-basierten Planungsprozess zu überführen.

Die hierbei betrachteten Methoden umfassen Themen der Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich des Schwingungsschutzes mehrgeschossiger Holzbaukonstruktionen, Prognoseverfahren

¹Building Information Modeling

ren für den Schallschutz, sowie Schallschutz aus gebäudetechnischen Anlagen. In all diesen Bereichen sollen Geometrie- und Berechnungsrandbedingungen aus einem BIM-Modell bezogen werden. In einem nächsten Schritt sollen die zentralen BIM-Modelle der übergeordneten Planung vollständig digital mit den Fachplanungsberechnungen und Fachmodellen gekoppelt werden, so dass eine wirkliche BIM-Integration ermöglicht werden kann. Die bisherigen Insellösungen auf dem Gebiet der Bauakustik beschäftigen sich, wenn überhaupt nur mit der Datenübernahme von BIM in die Fachplanung. Eine dauerhafte Steigerung von Prozess-, Planungs- und Bauqualität kann aber nur mit einer ausreichenden BIM-Integration gelingen.

Bei den Prognoseverfahren für den Schall- und Schwingungsschutz handelt es sich im Allgemeinen um komplexe Planungsthemen. Dies gilt insbesondere für den Holzbau, da hier eine noch stärkere Verknüpfung verschiedener Gewerke und Planungsfelder notwendig ist und gleichzeitig, verglichen mit dem Massivbau, komplexere Detail- und Konstruktionslösungen anzutreffen sind. Daher war der Transfer wissenschaftlicher Erkenntnisse, insbesondere hinsichtlich des Schallschutzes im Holzbau, ein Fokus im Rahmen dieses Projektes. Aufbauend auf den Ergebnissen ist es notwendig, den Anwendungsbezug der erarbeiteten wissenschaftlichen Ergebnisse durch Anbindung an existierende Planungsplattformen zu intensivieren, durch Überführung in vereinfachte, praxistaugliche Berechnungsmodelle zu schärfen und durch Erweiterung der Eingangsdaten auf andere Holzbauweisen zu kompletieren. Neben der rein baulichen Betrachtung zum Schall- und Schwingungsschutz muss für eine vollständige Schallschutzprognose die Schallübertragung aus gebäudetechnischen Anlagen zusätzlich berücksichtigt werden. Diese ganzheitliche Betrachtung ist im Sinne der Nachweisführung zur Einhaltung der gesetzlichen Mindestanforderungen oder erhöhten Anforderungen unerlässlich. Dies gilt umso mehr, als dass der Umfang gebäudetechnischer Anlagen bei modernen, effizienten und nachhaltigen Gebäuden stetig steigt, zum Beispiel durch den Einsatz von Wärmepumpen und Lüftungsanlagen mit Wärmerückgewinnung. Gerade im Holzbau ist eine ganzheitliche nachhaltige Betrachtung ohne eine starke und frühe Integration der Bauakustik nicht umsetzbar. Eine weitere unerlässliche Voraussetzung für eine integrale, nachhaltige Planung von Gebäuden mit guten bauakustischen Eigenschaften ist die klare Formulierung und Kommunikation des Planungskonzepts. Auch hierbei bietet BIM eine gute Basis, sofern klare Prozesse, Kommunikations- und Datenschnittstellen definiert sind. Auch mit dieser Aufgabe beschäftigte sich das Forschungsvorhaben. Der Forschungsschwerpunkt baut auf Ergebnissen bisheriger, am LaSM² in Kooperation mit anderen Forschungseinrichtungen durchgeführter Forschungsvorhaben auf. Die darin erarbeiteten wissenschaftlichen Erkenntnisse zum Schall- und Schwingungsschutz wurden und werden in Folgeprojekten weiter ausgebaut und für die Anbindung an die digitale Gebäudeplanung aufbereitet. Die erarbeiteten Methoden werden in Kooperation mit den Forschungspartnern und weiteren Forschungsvorhaben weiter verbessert und zudem durch das Forschungsvorhaben einer breiteren Test- und Anwendungsbasis zugänglich gemacht.

²Labor für Schallmesstechnik

In Abbildung 1 ist der Planungsprozess schematisch vereinfacht dargestellt. In einem ersten Arbeitsschritt wurden die für den Schall- und Schwingungsschutz BIM-relevanten Daten analysiert und die notwendigen Informationen extrahiert und für die Fachmodelle und fachspezifischen Berechnungsverfahren aufbereitet. Damit ist eine Ankopplung der Bauwerksmodelle an Werkzeuge und Berechnungsverfahren möglich, die teilweise als Ergebnisse vorhergehender Forschungsvorhaben an der TH Rosenheim entwickelt wurden:

- VBAcoustic, ein Berechnungsprogramm für den Schallschutz im Holzbau
- VaBDat, eine internetbasierte Datenbank vibro-akustischer Daten zu Bauteilen in Holzbauweise
- FE-Berechnungsverfahren zur genauen Analyse des Schwingungsverhaltens für den Gebrauchstauglichkeitsnachweis von Decken nach DIN EN 1995-1-1:2010-12 (EC5³).

Eine zentrale Rolle spielt der offene und international anerkannte und genormte IFC⁴ Datenstandard, der es erlaubt, eine herstellernerneutrale Open BIM Plattform für einen breiten Anwender- und Anwendungskreis zur Verfügung zu stellen. Gerade in der mittelständisch geprägten Holzbau-Industrie und bei den Holzingenieuren mit verteilten Systemen und komplexen digitalen Umgebungen ist dies ein großer Vorteil.

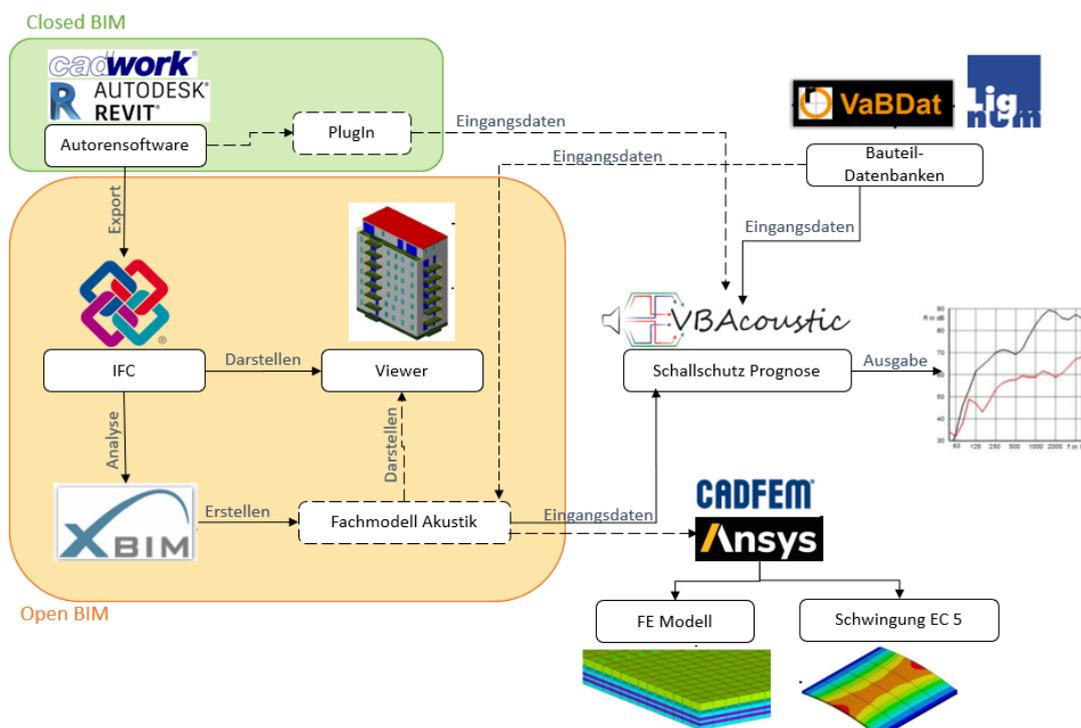


Abbildung 1 Prozess der BIM-integrierten Schallschutzplanung

³Eurocode 5

⁴Industry Foundation Classes

2 Verwendung der Fördermittel

Die Mittel für den Forschungsschwerpunkt wurden im wesentlichen für Personalkosten, aber auch Material, Fortbildungen und Dienstreisen verwendet. Im Laufe des Projekts hat sich herausgestellt, dass die Thematik aus Arbeitsschwerpunkt 2 (Anbindung der Prognoseverfahren an die digitale Gebäudeplanung, s. Abbildung 19) viel umfangreicher ist als ursprünglich eingeplant war. Für die Einarbeitung in die Thematik BIM sowie den offenen Datenstandard IFC und die Analyse der verschiedenen Software-Tools wurde deshalb mehr Zeit investiert. Eine Überarbeitung des Arbeitsplans ist in Kapitel 7 dargestellt und hat damit auch Auswirkung auf die Projektstruktur. Die Zusammenarbeit mit den im Antrag genannten Kollegen Prof. Dr. Beneken und Prof. Dr. Rabold gestaltete sich deshalb deutlich intensiver als eingeplant.

Tabelle 1 Übersicht der Projektmitarbeiter

Name	Zeitraum	Fachbereich
Prof. Dr. Ulrich Schanda	1.7.18-30.6.22	Projektleitung
Camille Châteauvieux-Hellwig	1.7.18-30.6.22 (82 %)	ASP 2, 3.3.
Dr. Ekaterine Geladze	1.7.18-30.5.22 (50 %)	Projektkoordination, ASP 3
Dr. Andreas Mayr	1.10.19-30.9.20 (50 %)	ASP 1.4, 1.5
Dr. Fabian Schöpfer	1.4.19-30.6.22 (50 %)	ASP 1.4, 1.5
Felix Frischmann	1.4.21-30.6.22 (45 %)	ASP 2.2
Tobias Kruse	1.10.20-28.2.21 (50 %)	ASP 1.4, 1.5

Tabelle 2 Fortbildungen und Schulungen

Reisegrund	Ort	Name	Zeitraum
Software Revit	Nürnberg	ChCa	07.-09.10.18
Software Revit	KirchheimTeck	GeEk	Juli 2019
Software Revit Dynamo	München	GeEk	29.-30.10.2020

Tabelle 3 Besuchte Fachtagungen, Kongresse, Messen und Konferenzen

Veranstaltung	Ort	Name	Zeitraum
DAGA 2019	Rostock	ChCa Referentin	18.03.-21.03.19
DAGA 2020	Hannover	ChCa Referentin	16.03.-19.03.20
eg-ice 2021	Berlin/Online	ChCa Referentin	18.05.21
ECCPM 2020	Moskau/Online	ChCa Referentin	15.09.-16.09.21
Euronoise 2021	Madeira/Online	ChCa Referentin	25.10.-27.10.21
DAGA 2022	Stuttgart/Online	ChCa Co-Referentin	21.03.-24.03.22
DAGA 2022	Stuttgart/Online	ScUI Referent	21.03.-24.03.22
Forum Holzbau	Rosenheim	ChCa Referentin	28.+29.4.2022
International Symposium KI und BIM	München	ScUI GeEk	20.+21.04.2021
BIM-Weeks	München	GeEk	01.10.2019
8. buildingSMART-Anwendertag	Online	GeEk	04.05.2021
buildingSMART-Thementag	Online	GeEk	Juli 2021

Tabelle 4 Besuchte Messen

Veranstaltung	Ort	Name	Zeitraum
BIM World 2019	München	GeEk Teilnehmer	27.11.2019
BIM World 2020	München	GeEk Teilnehmer	24.-25.11.2020
LOC Day 2021	München	FrFe Teilnehmer	29.10.2021
BIM World 2021	München	FrFe Aussteller ¹	23.11.-24.11.2021

¹ Mitaussteller am Stand der TUM, LOC

Tabelle 5 Teilnahme an Normen- und Arbeitsgruppensitzungen

Veranstaltung	Ort	Name	Zeitraum
buildingSMART Fachgruppe Holzbau	online	ChCa	3-4 Sitzungen pro Jahr seit 2019
CEN/TC 126 WG 12 BIM Acoustics	Padua, Italien	ScUI, GeEk	29.01.2020
CEN/TC 126 WG 12 BIM Acoustics	Berlin	ScUI, GeEk	05.11.2019
CEN/TC 126 WG 12 BIM Acoustics	Warschau, Polen	GeEk	06.06.2019
CEN/TC 126 WG 12 BIM Acoustics	Portugal/Online	ScUI, GeEk	Januar 20.01.2022
DIN Ausschuss „Normungsroadmap BIM“	Online	GeEk	06.07.2021

3 Stand der Wissenschaft, Forschung und Praxis

Dieses Kapitel gibt einen Überblick über den Stand der Wissenschaft, Forschung und Praxis im Anwendungsbereich Schall- und Schwingungsschutzplanung im Holzbau. Auch im Forschungsschwerpunkt war diese Erarbeitung einer Übersicht zum aktuellen Stand ein wichtiger Aspekt. Hier spielt die oft mittelständisch und kleinteilig geprägte Struktur der Industrie- und Planungspartner eine wichtige Rolle. Dadurch ist es einerseits schwer, den Grad der BIM-Adaption in der Praxis abzuschätzen, um gezielt einen zielgerichteten Wissenstransfer in die Praxis als weitere Zielsetzung des Projekts umzusetzen. Andererseits fällt es dadurch oft auch den Planern und Ausführenden in der Praxis schwer, ein neutrales und offenes Bild zu den Chancen, Möglichkeiten und Herausforderungen der BIM-Methode in der Bauakustik zu erlangen.

3.1 Anwendungsszenarien von BIM in der Praxis

Grundsätzlich werden bei der BIM-Adaption und den dazugehörigen vertraglichen Ausgestaltungen folgende BIM-Anwendungsfälle gemäß BIM4INFRA BAP- und AIA-Musterleitfaden des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (AWF) aufgeführt:

- AWF 1 Bestandserfassung
- AWF 2 Planungsvariantenuntersuchung
- AWF 3 Visualisierungen
- AWF 4 Bemessung und Nachweisführung
- AWF 5 Koordination der Fachgewerke
- AWF 6 Fortschrittskontrolle der Planung
- AWF 7 Erstellung der Entwurfs- und Genehmigungsplanung
- AWF 8 Planung des Arbeits- und Gesundheitsschutzes
- AWF 9 Planungsfreigabe
- AWF 10 Kostenschätzung und Kostenberechnung
- AWF 11 Leistungsverzeichnis, Ausschreibung, Vergabe

- AWF 12 Terminplanung der Ausführung
- AWF 13 Logistikplanung
- AWF 14 Erstellung von Ausführungsplänen
- AWF 15 Baufortschrittskontrolle
- AWF 16 Änderungsmanagement der Planung
- AWF 17 Abrechnung von Bauleistungen
- AWF 18 Mängelmanagement
- AWF 19 Bauwerksdokumentation
- AWF 20 Nutzung für Betrieb und Erhaltung

Die Themen und Arbeitspunkte in diesem Forschungsschwerpunkt beschäftigen sich aus dieser Auflistung nur mit den AWF¹ 2-5, 7, 14, 18, 19, 20 der BIM-Methodik.

Bei der Ausgestaltung von Konzepten, Lösungen, Werkzeugen und Prozessen inklusive der dazugehörigen Datenumgebungen und Schnittstellen in den jeweiligen Anwendungsfällen kann grundsätzlich zwischen open BIM und closed BIM unterschieden werden. Bei open BIM werden offene Datenstandards und digitale Umgebungen verwendet, wohingegen bei closed BIM nur Herstellerformate innerhalb einer Softwarelösung/ Produktfamilie (zum Beispiel Autodesk) oder eines begrenzten Anwendungsfeldes von Softwareprodukten verwendet werden. Je nachdem ob nun nur im Rahmen einer einzelnen Software oder einer oder mehrerer definierter Plattformen gearbeitet wird, resultieren daraus insgesamt vier wesentliche Kombinationen: big open BIM, little open BIM, big closed BIM und little closed BIM wie in Abbildung 2 dargestellt [Liebich 2017; Dietl, Michael 2015].

Building Information Modeling

	Open BIM	Closed BIM
Little BIM	Nur eine Plattform zur Erstellung des Modells. Datenaustausch über offene Datenstandards.	Nur eine Plattform zur Erstellung des Modells. Kein Datenaustausch.
Big BIM	Verschiedene Plattformen zur Erstellung des Modells. Datenaustausch über offene Datenstandards.	Verschiedene Plattformen zur Erstellung des Modells. Datenaustausch über native Formate.

Abbildung 2 Die vier Anwendungskonfigurationen von BIM

¹Anwendungsfälle gemäß BIM4INFRA BAP- und AIA-Musterleitfaden des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur

Der Hauptunterschied zwischen open BIM und closed BIM ist die Wahl des Dateiformats beim Datenaustausch zwischen dem Architekturmodell, dem Koordinationsmodell und den Fachmodellen. Die Datenübergabe zu Fachberechnungsprogrammen spielt ebenfalls eine Rolle. Es kann auch auf die Anwendung von CDE² zurückgegriffen werden. Auf closed BIM-basierende Ansätze bedingen nicht notwendigerweise eine vollständige Projektabwicklung innerhalb einer proprietären, herstellerebenen BIM- Softwareumgebung. Allerdings sind die wesentlichen Schnittstellen und das zentrale BIM-Modell selber durch eine proprietäre Herstellerlösung definiert und kontrolliert.

Bei open BIM funktioniert die Zusammenarbeit aller Beteiligten ohne eine herstellerebene Softwareumgebung oder Plattform, aber dafür mit dem neutralen Datenaustauschformat IFC und dem Kollaborationsformat BCF³. Auch hier wird im Grundsatz nicht der Einsatz proprietärer Lösungen einzelner Projektbeteiligter ausgeschlossen. Vielmehr aber unterliegt die Gesamtkoordination der Prozesse und Datenschnittstellen einem offenem Format und Ansatz. Neben den vielen bereits beschriebenen Vorteilen eines offenen methodischen Ansatzes, der auch stark auf dem open-source Gedanken aufbaut, ermöglicht dieser Ansatz auch eine geringere Einstiegshürde in die BIM-Thematik, gerade für kleinere und mittelständische Planungsbüros und Ausführungsfirmen.

Aufgrund der Schnittstellen-Problematik in Zusammenhang mit möglichen Problemen hinsichtlich Robustheit und Anwendungsfreundlichkeit ist gegenwärtig closed BIM die Variante mit größeren Marktanteilen in der Praxis, gerade bei Großprojekten und größeren Bau- und Planungsteams. Dennoch ist auch hier ein klarer und starker Trend einer Öffnung der damit verbundenen, proprietären BIM-Plattformen zu offenen Standards wie IFC zu beobachten. Zu erwarten ist vielmehr eine zukünftige Harmonisierung der beiden Ansätze closed und open BIM und eine Fokussierung auf praxistaugliche, teils ergänzende Lösungsansätze für die jeweiligen Anwendungsfälle im Detail. In diesem Kontext wird open BIM auch weiterhin in der wissenschaftlichen Tätigkeit und ausführenden Praxis von großem Interesse sein und bleiben. Ähnliche Entwicklungen konnten früher bereits bei offenen und proprietären CAD⁴- Datenformaten und Lösungen beobachtet werden, wie zum Beispiel dwg⁵ und STEP⁶. Diese Technologien bilden, wie im Falle von STEP und IFC, teilweise sogar eine gemeinsame technologische Entwicklung ab und erlauben eine robuste Prognose zukünftiger Entwicklungen. Ein weiterer Grund für die Notwendigkeit offener Standards ist die vertragliche Situation bei öffentlichen Auftraggebern und Bauherren im Bauwesen, die aufgrund ihrer Pflicht zur technologischen Neutralität sehr an der Weiterentwicklung offener BIM-Lösungen interessiert sind.

Open BIM stellt weiterhin nicht nur eine gute Grundlage für eine breite Anwendbarkeit in der Baupraxis dar, sondern eröffnet auch offene Schnittstellen mit geringer Anwendungshürde für digitale Lösungen aus anderen Bereichen und Trends im Bauwesen, wie etwa KI⁷ oder

²Common Data Environment

³BIM Collaboration Format

⁴Computer-Aided Design

⁵CAD-Format (drawing)

⁶Standard for the Exchange of Product Model data

⁷Künstliche Intelligenz

computer-vision and recognition. Offene Standards wie IFC für open BIM leiden immer unter einem größeren Risiko des Datenverlusts beim Austausch von Modellinformationen, da keine strenge Kontrolle der informationstechnischen Schnittstellen durch proprietäre Hersteller umsetzbar ist. Die Komplexität der Schnittstellen, der Informationsaustausch und der Datenfluss stellen eine Herausforderung dar. Nicht zuletzt deshalb steht Open BIM im Fokus der technologischen und methodischen Umsetzung im Forschungsschwerpunkt. Gleichzeitig werden auch im Forschungsvorhaben aktiv durch die beteiligten Mitarbeiter proprietäre BIM-Lösungen und Softwareplattformen verwendet, vor allem bei der Erstellung der zentralen BIM-Architekturmodelle. Dadurch wird auch die Gefahr praxisuntauglicher Insellösungen vermieden. Vielfach standen und stehen die Beteiligten im Projekt dazu auch im engen Kontakt und Austausch zu Partnern aus Industrie und Baupraxis.

3.2 Industry Foundation Classes (IFC)

In diesem Projekt wurde ein im Kern offener BIM-Ansatz verfolgt. Hierfür wurde das auf das offene, herstellernerneutrale, erweiterbare und normierte IFC-Datenschema zur Abbildung digitaler Gebäudemodelle zurück gegriffen. IFC ist mit Abstand das, sowohl für Wissenschaft wie auch die Praxis, wichtigste offene BIM-Format mit einer breiten Entwickler- und Anwendergemeinschaft. Auch alle in der Praxis relevanten proprietären BIM-Lösungen und Plattformen bieten Austauschmöglichkeiten zu IFC an. Die Qualität des Datenaustauschs von proprietären Lösungen zu IFC aber auch innerhalb von IFC-basierten Werkzeugen nimmt kontinuierlich zu und hat den Stand der praktischen Anwendbarkeit in vielen Anwendungsfällen bereits erreicht. Im Rahmen dieses Projektes wurde im Wesentlichen mit der IFC Version 4 (in Teilen mit der vorherigen Version 2x3) gearbeitet. Die zugehörige Spezifikation und Dokumentation des IFC-Datenschemas wird durch BuildingSMART erstellt, gepflegt und publiziert.

Die *Industry Foundation Classes* sind ein offener, erweiterbarer Datenstandard zur vollständigen, standardisierten, digitalen Beschreibung von Gebäuden inklusive aller Bauteile, Konstruktionen und Produkte vom Rohbau über den Ausbau bis zur Gebäudetechnik und Möblierung. Daneben können auch informative Aspekte wie Zeit, Bauphasen und Kosten digital gespeichert und beschrieben werden. Selbiges gilt für Relationen und Prozesse im Bauwerk. Damit verfolgt IFC einen sehr breiten Ansatz über alle Gewerke, Beteiligten und Lebensphasen. Sie sind in der internationalen Norm DIN EN ISO 16739:2017-04 zugänglich. Neben der Spezifikation des eigentlichen Datenschemas zur digitalen Abbildung eines Gebäudes stellt IFC konkrete Dateiformate zur Speicherung und zum Austausch zur Verfügung. Neben dem ursprünglichen EXPRESS Format (auf dem auch STEP zum Austausch von CAD basiert), können IFC-basierte Gebäudemodelle auch im XML⁸- oder JSON⁹-Format gespeichert werden.

⁸Extensible Markup Language

⁹JavaScript Object Notation

Innerhalb einer IFC-Datei kann sowohl die Geometrie der Bauteile und Konstruktionen eines Gebäudemodells, wie auch die Semantik dieser gespeichert werden. Unter der Semantik versteht man zum Beispiel Eigenschaften, Attribute, Position und Beziehung zu anderen Elementen. Dabei ist auch denkbar, dass Objekte nur über ihre Semantik beschrieben werden, ohne eine geometrische Repräsentation. Weiterhin können einem Bauteil mehrere geometrische Repräsentationen in verschiedener Art oder Detaillierung zugewiesen werden. Vereinfacht kann man BIM und IFC als eine Art Geometrie-basierte Datenbank für Produktmodelle im Bauwesen verstehen. Weiterhin spricht man in diesem Kontext auch von einem digitalen Zwilling eines real bestehenden, in der Planung befindlichen oder fiktiven Bauvorhabens. Die technologischen Ursprünge und ersten Bauanwendungen haben einen starken Bezug zum Hochbau, was auch weiterhin bei der Anwendung von IFC bemerkbar ist. Allerdings beschränkt sich IFC nicht auf den Hochbau, sondern wird mit den letzten Weiterentwicklungen immer stärker für Anwendungen im Infrastrukturbau und Industriebau angepasst. Auch die technologischen Ursprünge im Massivbau sind weiterhin bei der Verwendung erkennbar. Dies stellt auch eine Herausforderung im Forschungsvorhaben dar. Neben der Analyse und Bewertung daraus resultierender Schwierigkeiten bei der Anwendung der IFC/BIM-Methode im Holzbau beteiligt sich das Forschungsvorhaben auch aktiv an der entsprechenden Weiterentwicklung von IFC für den Holzbau.

3.2.1 Darstellung von Objekten in IFC

In diesem Abschnitt wird die Darstellung von Objekten in IFC beschrieben. Zunächst wird die reine geometrische Abbildung von Bauteilen erläutert und anschließend werden die Möglichkeiten erörtert, semantische Informationen zu verknüpfen. Die Definition aller Klassen ist in der Dokumentation [IFC 4x3 Documentation 2022] zu finden.

3.2.1.1 Geometrische Darstellung von Bauteilen und Baukonstruktionen

Im Gegensatz zu klassischen CAD-basierten Planungsansätzen stellt die Geometrie nur eine Eigenschaft eines Bauprodukts oder einer Baukonstruktion dar. Da es sich bei BIM um einen produktbasierten Planungsansatz handelt, steht die Produktbeschreibung im Zentrum, die aus geometrischen und semantischen Informationen gebildet wird. Bei der BIM-Modellierung und digitalen Abbildung eines realen, zu planenden oder fiktiven Gebäudes, kann die Geometrie der zugehörigen Bauteile (*IfcBuiltElement*) und anderer Elemente im Modell (*IfcProduct*) im IFC-Format definiert werden. Eine Notwendigkeit der geometrischen Repräsentation besteht allerdings nicht. Auch gibt es keine Notwendigkeit einer eins zu eins Beziehung zwischen Produkt und Geometrie. Vielmehr können mehrere geometrische Repräsentationen in Detaillierung und Form gespeichert und verknüpft werden. Die geometrische Modellierung kann durch Volumenmodelle (solid modeling), durch parametrische Beschreibung oder anhand von Freiformkurven und -flächen erstellt werden (siehe Abbildung 3).

Dadurch wird zwar die Komplexität des IFC-Schemas vergrößert. Aber gerade die Abbildung unterschiedlicher Detaillierungsgrade ist in der Praxis und auch für die informations-

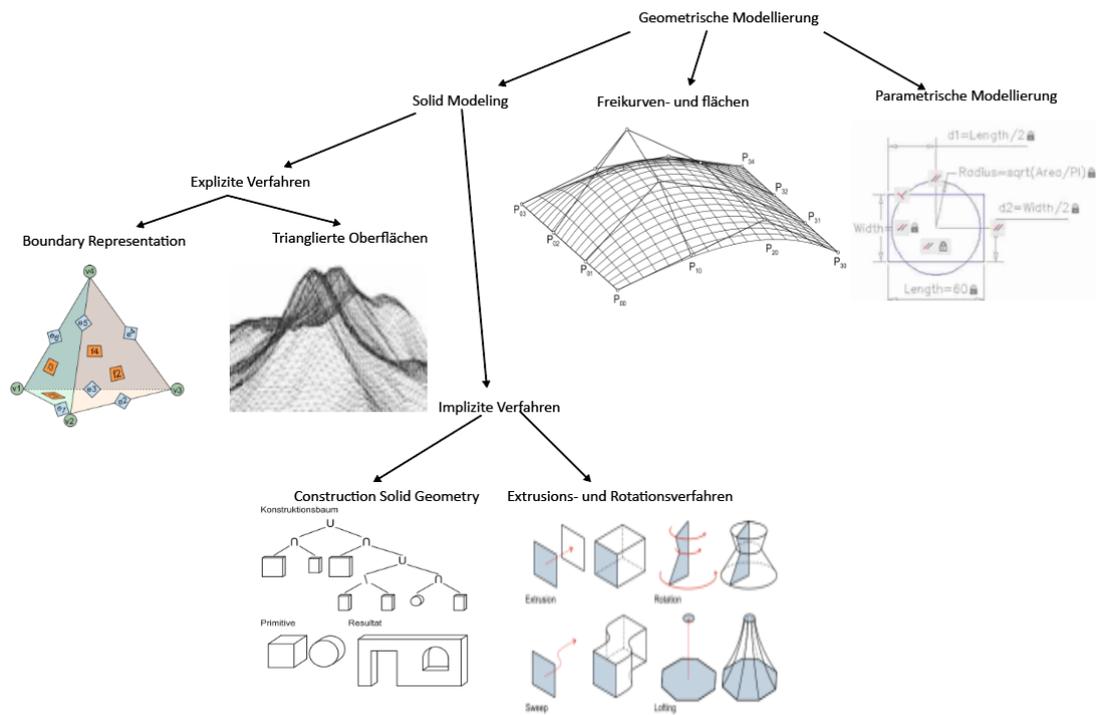


Abbildung 3 Möglichkeiten der geometrischen Modellierung. Abbildungen aus [Borrmann u. a. 2015]

technologische Umsetzung von großer Bedeutung. Auch das Schema der geometrischen Repräsentation selbst kann in verschiedener Art und Weise ausgestaltet sein, von CSG¹⁰ Ansätzen über BRep¹¹ bis hin zu Punktwolken. Dies ist vor allem im Gesamtkontext der digitalen Baustelle von Bedeutung, da Anwendungen wie etwa die digitale Erfassung mittels Laserscans und Drohneneinsatz deutlich besser mit Punktwolken interagieren können, wohingegen Planungsthemen häufig eher einen BRep-Ansatz verfolgen. Es zeigt sich dadurch, dass Produkt und Geometrie nicht immer eine triviale Einheit bilden müssen. Für die Bau- und Planungspraxis können daraus Herausforderungen entstehen. Daher stellt die Analyse, Beschreibung und Dokumentation klarer Spezifikationen und Anforderungen an das Geometriemodell für bauakustische Anwendungen auch einen Schwerpunkt im Projekt dar.

In welcher Form ein Bauteil letztlich geometrisch in IFC abgebildet wird, hängt in der Praxis oft sehr stark von der Modellierungssoftware, der Art der Modellierung und den Export-Einstellungen ab. Teilweise entziehen sich bestimmte Details der geometrischen Repräsentation auch der Kontrolle der Planer und Modellierer, gerade bei der Verwendung geschlos-

¹⁰constructive solid geometry

¹¹Boundary Representation

sener, proprietärer Softwarelösungen und Plattformen. Auch hier wurden im Rahmen des Projekts mögliche Fehlerquellen oder Schwierigkeiten für die Praxis im Holzbau aufgezeigt und nach Möglichkeit praktische Lösungsansätze erarbeitet und aufgezeigt. Die Geometrie-modellierung *IfcRepresentationItem* beinhaltet in IFC verschiedene Klassen [Borrmann u. a. 2015]:

- Geometric Model Resource (Klassen zur Beschreibung geometrischer Modelle)
- Geometry Resource (geometrische Basiselemente, *IfcGeometricRepresentationItem*)
- Topology Resource (Klassen zur Abbildung von Topologie, *IfcTopologicalRepresentationItem*)

Die geometrische Darstellung (*IfcGeometricRepresentationItem*) von 3D-Objekten kann über eine Vielzahl von Klassen erfolgen (siehe Abbildung 4). Eine genaue Beschreibung geometrischer Modellierung und der Nutzung in IFC sind in [Borrmann u. a. 2015; Daum 2018; buildingSMART International 2019] zu finden.

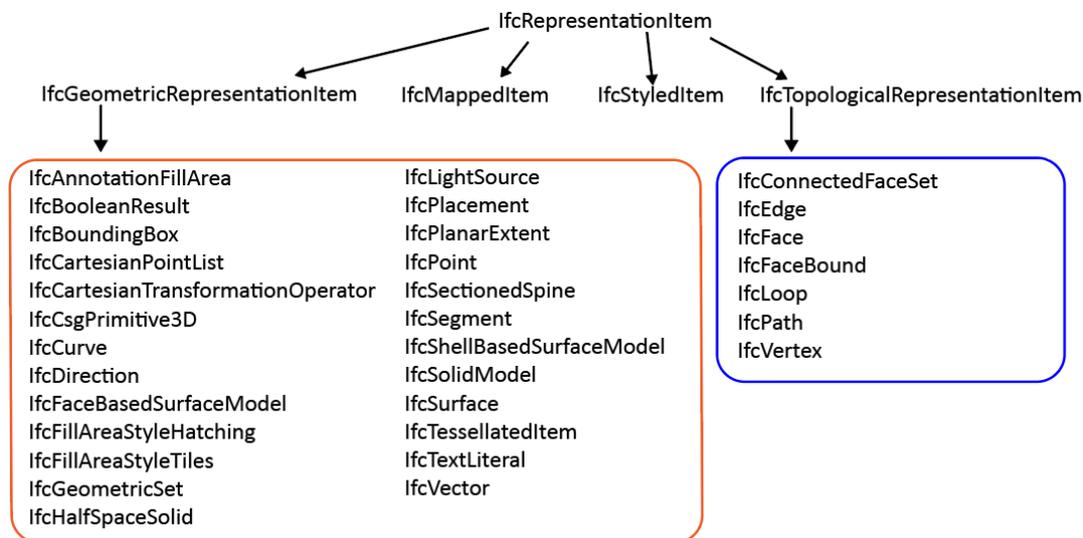


Abbildung 4 Klassen von *IfcRepresentation* für die Darstellung von Bauteilen mit IFC

3.2.1.2 Stoßstellen von Bauteilen in IFC

Vor allem im Holzbau sind geometrische Eigenschaften, Kenngrößen und Materialeigenschaften zur Beschreibung von Bauteilstößen, zum Beispiel zwischen Wänden und Trenndecken, ein wesentlicher Baustein in der bauakustischen Planung und in vielfacher Hinsicht wichtige Eingangsgrößen in bauakustische Berechnungsvorschriften. Im IFC-Standard können zwar jeweils zwei Elemente miteinander verbunden und assoziiert werden, die Abbildung einer Stoßstelle aus mehreren Bauteilen und mit einem Stoßstellentyp, wie sie für

die Bauakustik notwendig wäre, ist dadurch aber nicht umsetzbar. Es ist nur eine Verbindung zwischen jeweils zwei Bauteilen über *IfcRelConnectsElements* möglich, die jeweils aus einem *RelatedElement* und einem *RelatingElement* bestehen. Diese Einschränkung führt zu einer Vielzahl an Verbindungen zur Beschreibung von Stoßstellen, wie es in Abbildung 6 für eine Stoßstelle aus vier Bauteilen gezeigt wird. Um Stoßstellen mit mehr als zwei Elementen zu erstellen, müssen mit den bisherigen Möglichkeiten von IFC immer mehrere Verbindungen erstellt werden. Bei drei Bauteilen an der Stoßstelle werden somit drei *IfcRelConnectsElements* gebraucht, bei vier Bauteilen sind es dann sechs *IfcRelConnectsElements*.

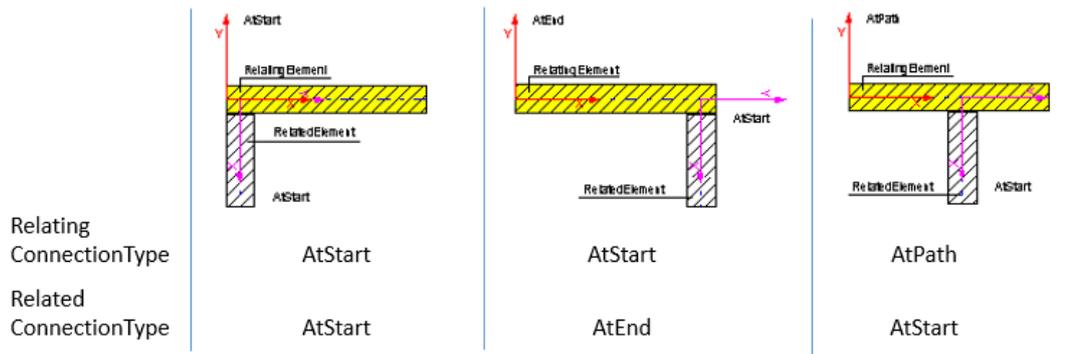
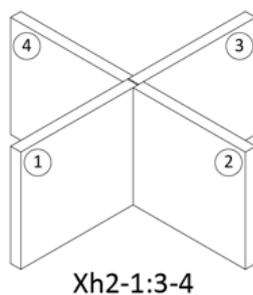


Abbildung 5 Verbindungsmöglichkeiten von zwei Bauteilen mit *IfcRelConnectsPathElements*



Related Element	Relating Element	Related ConnectionType	Relating ConnectionType
1	2	AtPath	AtStart / AtEnd
1	4	AtPath	AtStart / AtEnd
1	3	AtStart / AtEnd	AtStart / AtEnd
2	3	AtStart / AtEnd	AtPath
3	4	AtPath	AtStart / AtEnd
2	4	AtStart / AtEnd	AtStart / AtEnd

Abbildung 6 Notwendige Verbindungen mit *IfcRelConnectsPathElements* zwischen zwei Bauteilen um eine Stoßstelle aus vier Elementen zu erstellen

Von *IfcRelConnectsElements* leiten sich noch weitere Klassen ab, die eine Verbindung ermöglichen, jedoch denselben Einschränkungen unterliegen. Mit dem Subtype *IfcRelConnectsPathElements* kann zusätzlich ein Verbindungspfad zwischen diesen zwei Elementen angegeben werden, um die Stelle, an denen die Elemente verbunden werden, anzugeben (s. Abbildung 5). Die *RelatedConnectionType* und *RelatingConnectionType* geben an, an welcher Stelle die Verbindung zwischen den Elementen stattfindet. Dieses Konzept der *Path*

Connectivity kann jedoch nur für Elemente erstellt werden, die entlang einer Achse verlaufen wie Wände (*IfcWall*). Decken oder Dächer werden nicht entlang einer Achse dargestellt und können somit nicht mit diesem Konzept eingebettet werden. Als weiteren Subtype von *IfcRelConnectsElements* existiert noch die Klasse *IfcRelConnectsWithRealizingElements*. Soll eine Verbindung zwischen zwei Bauteilen mit Verbindungsmitteln gestaltet werden, werden die *IfcFastener* beziehungsweise *IfcMechanicalFastener* verwendet und die Verbindung mit *IfcRelConnectsWithRealizingElements*. Es ist eine Reihe von Verbindungselementen vordefiniert (*IfcMechanicalFastenerTypeEnum*, *IfcFastenerTypeEnum*), aber es können auch eigene Elemente mit *USERDEFINED* abgespeichert werden [*IFC 4x3 Documentation 2022*].

Dies hat vor allem auch mit dem im Holzbau üblichen konstruktiven Detailgrad und oft stark inhomogenen Aufbau zu tun. Aber auch Abhängigkeiten von der Spannrichtung, Informationen über das Frequenzspektrum der Schallübertragung, wie sie in der Bauakustik oft relevant sind, oder auch die notwendige Detailtiefe der Datenassoziation im Stoß selber, sind derzeit oft nur schwer direkt und ohne Umwege in IFC abbildbar.

3.2.1.3 Materialkenndaten in IFC

Zu jedem Bauteil in IFC kann neben der Geometrie auch die Semantik abgebildet und gespeichert werden. Sehr relevante semantische Inhalte sind meist Informationen zum Material. Hierbei kann es sich prinzipiell um Materialinformationen zu Masse, Festigkeit, thermischen oder akustischen Eigenschaften oder auch Oberflächen, Rauigkeit, Reflektion und Aussehen handeln. Neben standardisierter, vorgegebener Materialdefinitionen lassen sich Art, Detaillierung und Umfang auch durch den modellierenden Ingenieur recht gut und frei ergänzen. Dies kann aber auch schnell zu praktischen Problemen führen, wenn eine spezifische, für Fachanwendungen hinreichend eindeutige, gleichzeitig möglichst nicht redundante Informationsbasis geschaffen werden soll. Daher ist das Forschungsvorhaben auch aktiv an der weiteren Formalisierung der Materialdaten für bauakustische Anwendungen interessiert und involviert. Hierfür ist es nicht nur notwendig, den Umfang der notwendigen und hinreichenden Materialdefinitionen zur Durchführung von Schall- und Schwingungsschutzprognosen klar und eindeutig zu definieren, sondern auch die Gemeinsamkeiten und mögliche Abgrenzungen zu anderen Fachanwendungen, wie Baustatik oder thermische Betrachtungen, zu beschreiben.

Die Bauteile werden über *IfcRelAssociatesMaterial* mit ihren Materialschichten verbunden. Im *IfcMaterialLayerSetUsage* wird die Richtung der einzelnen Schichten festgelegt. Der Schichtaufbau selbst ist am jeweiligen Bauteiltyp mit *IfcMaterialLayerSet* hinterlegt. Die Dicke der Schicht steht im *IfcMaterialLayer* und das Material selbst im *IfcMaterial*. Wird ein Bauteiltyp verwendet, sollte *IfcMaterialLayerSetUsage* an dem Typ angebunden sein, da es für alle Bauteile desselben Typs gültig ist. Eine vereinfachte Darstellung des Konzepts *Material Set* ist am Beispiel einer drei-schichtigen Wand in Abbildung 7 dargestellt.

Einige Materialeigenschaften können über Property Sets angegeben werden. Es existieren von buildingSMART vordefinierte PropertySets, die zum Beispiel Angaben zum E-Modul,

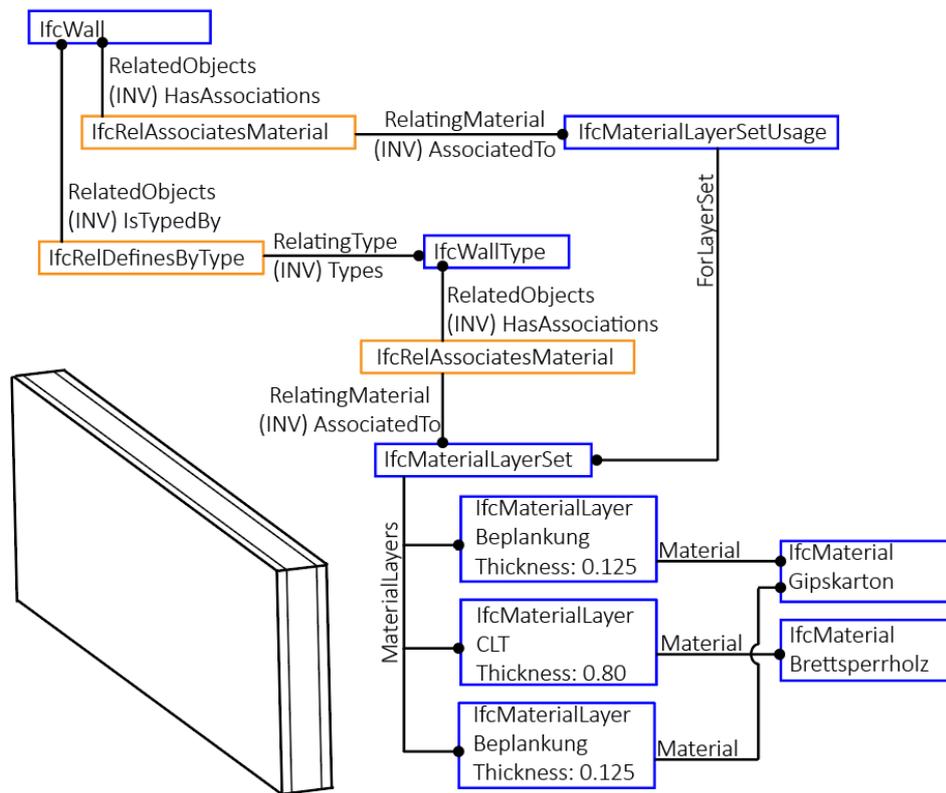


Abbildung 7 Semantische Beschreibung der Materialschichten mit dem Konzept *Material Set* am Beispiel einer drei-schichtigen Wand aus Brettsperrholz mit Gipskartonbeplankung

zum Schubmodul oder dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten vorsehen (im *Pset_MaterialMechanical*). Für den Baustoff Holz konnten in IFC4.0 mit *Pset_MaterialWoodBasedBeam* und *Pset_MaterialWoodBasedPanel* auch richtungsabhängige, statische Kennwerte gespeichert werden. Im Entwurf von IFC4x3 sind diese Property Sets nicht mehr enthalten (Stand 04.05.2022). Dort ermöglichen *Pset_MaterialWood* und *Pset_MaterialWoodBasedStructure* die Angabe von Holz-spezifischen Kennwerten. In *Pset_MaterialWood* ist enthalten:

- *Species*: Holzart,
- *StrengthGrade*: Klasse der mechanischen Festigkeit und Steifigkeit,
- *AppearanceGrade*: Klasse der Oberflächenqualität,
- *Layup*: Zusammensetzung der Schichten,
- *Layers*: Anzahl an Schichten,
- *Plies*: Anzahl an Lagen,

- *MoistureContent*: Feuchtigkeit im Verhältnis zum ofengetrockneten Gewicht des Holzes,
- *DimensionalChangeCoefficient*: Gewichteter Maßänderungskoeffizient, bezogen auf 1% Änderung des Feuchtigkeitsgehalts und
- *ThicknessSwelling*: Quellungsgrad im Verhältnis zur Bretttiefe.

In *Pset_MaterialWoodBasedStructure* ist die Eigenschaft *ApplicableStructuralDesignMethod* vorhanden. Sie legt fest, ob die mechanischen Materialeigenschaften für *ASD* (allowable stress design), also die Arbeitsspannungsauslegung oder *LSD* (limit state design), also die Grenzzustandsauslegung oder *LRFD* (load and resistance factor design), also die Last- und Widerstandsfaktorauslegung gelten.

3.2.1.4 Schalltechnische Kenndaten in IFC

Für viele Bauteile kann im jeweiligen Property Set die Schallschutzklasse (*AcousticRating*) angegeben werden. Die Definition dazu ist eine "sound transmission resistance" und es ist nur eine Angabe als *IfcLabel* möglich, also ein Text. Dies ist für Wände (*Pset_WallCommon*), Decken (*Pset_SlabCommon*), Dächer (*Pset_RoofCommon*), Bekleidungen bzw. Beläge (*Pset_CoveringCommon*) uvm. möglich. Es ist bisher keine Angabe der frequenzabhängigen Schalldämmwerte eines Bauteils vorgesehen.

Für TGA¹² existiert das Property Set *Pset_SoundAttenuation*, welches Informationen zur Frequenzbewertung (*SoundScale*), zur Frequenz (*SoundFrequency*) und zum Schalldruck (*SoundPressure*) beinhaltet. Um frequenzabhängige Werte für den Schalldruck anzugeben wird die workaround genutzt: der Schalldruck wird als *IfcTimeSeries* angegeben und die frequenzabhängigen Werte in der *IfcTimeSeries.ListValues* angegeben. Dies ermöglicht vor allem die relevanten Kenngrößen für Bauteile und Komponenten einer RLT¹³ Anlage zu hinterlegen, um die akustische Berechnung nach VDI 2081 durchzuführen. Für Gebäudetechnik und Stromverteilungssysteme gibt es noch die Eigenschaften von *Pset_SoundGeneration*, bei denen mittels *IfcPropertyTableValue* frequenzabhängige Werte des Schallleistungspegels (*IfcSoundPowerLevelMeasure*¹⁴) in einer Tabelle gespeichert werden können.

3.3 Level of Development LoD

Der Detaillierungsgrad der digitalen und geometrischen Abbildung eines Bauwerks beziehungsweise seiner Bauprodukte und Baukonstruktionen im Detail wird über den LoD¹⁵ definiert. Hierbei ist es nicht zwingend notwendig, alle Bauelemente hinsichtlich ihrer Detail-

¹²Technische Gebäude Ausrüstung

¹³raumluftechnisch

¹⁴umbenannt in IFC4 (vorher *IfcSoundPowerMeasure*)

¹⁵Level of Development

lierung in einem Modell abzustimmen bzw. zu synchronisieren. Vielmehr wird in der Praxis oft ein Ansatz gewählt, in dem ein über den Verlauf der Planung zunehmender Detaillierungsgrad in einem Zentralmodell nur bis zu einem bestimmten Punkt ausgearbeitet wird, und entsprechend über verknüpfte Fachmodelle für die jeweiligen Fachanwendungen ergänzt wird. Ein Beispiel hierfür ist oft die Detaillierung der Fassade oder Gebäudetechnik. Auch im Holzbau spielt die Detaillierung (LoD) aufgrund der im Holzbau üblichen Komplexität von Detailausführungen und Verbindungsmitteln eine wichtige Rolle. An Praxis- und Referenzbeispielen analysiert und dokumentiert das Forschungsvorhaben praktische Vorschläge zum LoD für Prognoseverfahren im Schall- und Schwingungsschutz im Holzbau.

Der LoD bezieht sich dabei auf Art und Umfang der geometrischen Detaillierung (geometric LoD) und semantischen Detaillierung (information LoD) gleichermaßen. Die Bandbreite des LoD startet bei sehr vereinfachten und Detail-reduzierten Modellen, bei denen nur die Elemente mithilfe von Symbolen dargestellt werden, bei LoD 100. Ab einem LoD von 300 werden die Elemente grafisch abgebildet und es können schon zuverlässig Größe, Abmessungen, Form, Position und Orientierung angegeben werden. Wie der Detaillierungsgrad bei den einzelnen Stufen definiert ist, hängt vom Bauteil selbst ab. Auch der Zweck der Modellierung bestimmt maßgeblich den Detaillierungsgrad. So sind zum Beispiel Modelle für FEM-Simulationen extrem detailreich (siehe Abbildung 8). Eine Definition für unterschiedliche Bauelemente ist beispielsweise in [Bedrick 2018] angegeben. Mittlerweile gibt es vielfältige Unterdefinitionen für die Detaillierungsgrade bezüglich Level of Detail, Level of Geometry oder Level of Information. Eine klare Definition und Spezifikation der genutzten Levels ist Teil der für jedes Projekt notwendigen Abstimmung zu den Informationsanforderungen. In diesem Zusammenhang, vor allem aber bei der Ausgestaltung von BIM-Abwicklungsplänen für ein konkretes Vorhaben, sind auch einforderbare Ausarbeitungsfristen und nachvollziehbare Verantwortlichkeiten zu den Levels zu definieren. Dies stellt oft eine der Herausforderungen in der Projektplanung dar. Gleichzeitig bietet die BIM-Methode damit aber auch eine Chance und formalisierte Grundlage, derartige Themen, die immer schon Gegenstand der Planung und Planungsabstimmung waren, transparent und digital effizient auszugestalten. Auch hier sehen die Beteiligten im Forschungsvorhaben einen wichtigen und sehr praxisrelevanten Arbeitsschwerpunkt für BIM-basierte Schallschutzplanung.

3.4 BIM Software

Im Rahmen der Projektlaufzeit wurden mehrere, für den Forschungsschwerpunkt relevante BIM Software Produkte identifiziert, verwendet, analysiert und bewertet. Hierfür wurde teilweise auf Vorarbeiten zurückgegriffen. Bei der verwendeten Software handelt es sich um proprietäre, freie sowie offene Lösungen und Plattformen gleichermaßen. Diese sind in Tabelle 6 zusammengefasst aufgeführt und werden im Folgenden kurz beschrieben. Vor allem die Einbindung in den Planungsworkflow für Schall- und Schwingungsschutzprognosen im mehrgeschossigen Holzbau wurde untersucht. Auch hinsichtlich des Nutzungsumfangs im Planungsprozess unterscheiden sich die Softwarelösungen deutlich. Es kommen BIM-

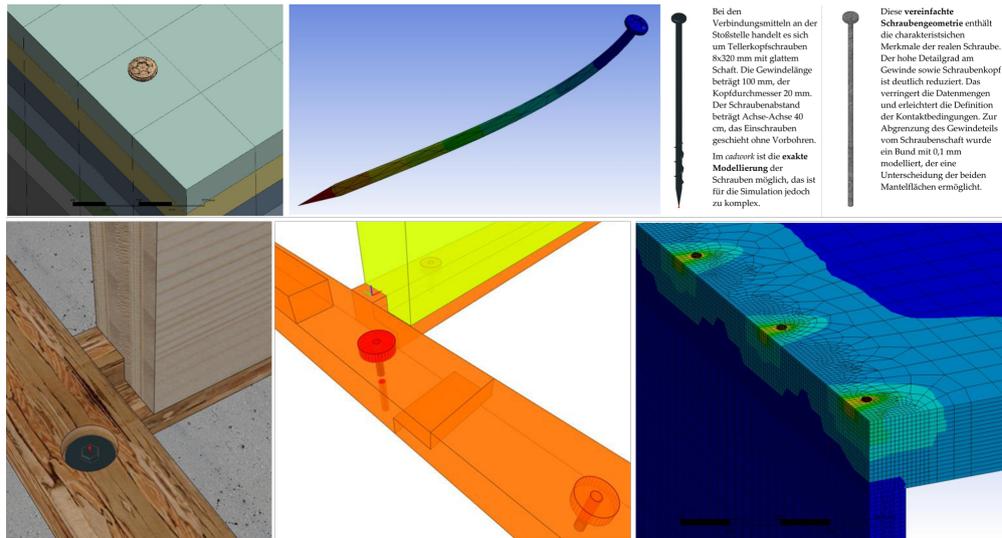


Abbildung 8 BIM-Modell inklusive Abbildung in einem FEM-Simulationsmodell in einem hohen Detaillierungsgrad (LoD 400)

Tabelle 6 Übersicht untersuchter BIM Software

Name	Kategorie	Firma	Partner
Revit	BIM-Modellierer	Autodesk	ja
cadwork	CAD/BIM-Modellierer	cadwork informatik	ja
BIMinsideAnsys / ANSYS	BIM-Analyse Schnittstelle	CADFEM GmbH / ANSYS	nein
Locis3D	BIM-Analyse Schnittstelle	Locis GmbH	ja
Solibri Model Viewer	Viewer	Solibri Inc	nein
Xbim	IFC-Analyse	Open Source	nein
SONarchitect	Simulationssoftware	Sound of Numbers S.L.	nein
Allplan / BIMPLUS	BIM-Modellierer, Kollaboration	Allplan GmbH	nein

Modellierer (Autorensoftware) zum Erstellen von digitalen Bauwerksmodellen in offenen und proprietären Standards zum Einsatz. Weiterhin wird Software als Viewer von Bauwerksmodellen aber auch zur Modellanalyse (model view and model check) verwendet. An Schnittstellen zwischen Softwareplattformen und Berechnungsmodellen wurden Plug-Ins sowie Daten- und Modellausbereitungslösungen verwendet. Auch fachspezifische Simulations- und Berechnungssoftware mit einer direkten BIM-Schnittstelle wurden untersucht. Es wurden erste Erfahrungen mit Kollaborationslösungen gesammelt, die vor allem aber im Fokus der Projektphase II des Forschungsschwerpunktes stehen.

3.4.1 BIM-Modellierer / Autorensoftware

Die Autodesk Revit-Plattform ist der weltweite Marktführer für BIM-Modellierungs-, Planungs- und Dokumentationssoftware, eingebettet in den großen Umfang der gesamten Autodesk Produktpalette für CAD, BIM und digitale Produktentwicklungssoftware. Neben Software für den Endnutzer-PC im BIM/CAD-Bereich gehören zum Gesamtumfang hier auch Cloud-basierte Kollaborationssysteme wie etwa Autodesk BIM360. Damit wird ein sehr breites Leistungsspektrum für die Digitalisierung im Bauwesen angeboten, das im Prinzip alle Leistungsphasen und Projektbeteiligten umfasst. Die Autodesk Revit-Plattform ist eine proprietäre BIM-Plattform, die primär auf closed BIM Ansätze abzielt. Innerhalb der Autodesk Revit-Plattform wird ein großer Umfang an direkt integrierten BIM-Anwendungen angeboten. Die API-Schnittstelle zur Integration von BIM-Anwendungen und Plug-Ins ist offen zugänglich und erlaubt daher auch einen hybriden closed und open BIM Ansatz. Das der Schnittstelle zugrunde liegende Datenmodell unterliegt aber weiterhin den Rechten und möglichen Nutzungseinschränkungen von Autodesk.

Im Rahmen des Projekts wurde die Autodesk Revit-Plattform intensiv für die Erstellung von Test-Referenzmodellen verwendet. Hierbei ging es nicht nur um die Erstellung von Testmodellen für den internen Gebrauch, sondern auch darum, die angeschlossenen BIM-Prozesse an realistischen Testbeispielen zu überprüfen. Es wurden weiterhin praktische Modellierungsanweisungen und Modellspezifikationen für den Holzbau untersucht und erarbeitet, um dem breiten Anwenderkreis in der Praxis für die spezifische Verwendung von Revit im Holzbau und Bauakustik praxistaugliche Arbeitshilfen an die Hand zu geben. Hier zeigen die im Rahmen des Forschungsvorhabens untersuchten Referenzbeispiele, dass Revit im Grundsatz ein sehr umfangreiches und ausgereiftes proprietäres Datenschema für Gebäudemodelle bereitstellt, und inzwischen mit den neueren Versionen auch meist gute Schnittstellen zum offenen IFC-Format anbietet. Allerdings ist Revit vom Grundsatz her eher für den Massivbau ausgelegt und dafür auch deutlich effizienter und besser einsetzbar. Die feingliedrigen Konstruktionsdetails und teils vielschichtigen Holzbaukonstruktionen sind teilweise nur mit großem Aufwand abbildbar und stören unter Umständen den parametrisch-prozeduralen Arbeitsprozess in Revit. Dies gilt besonders für eine detaillierte Abbildung von Stoßstellen, wie sie für die Schallschutzprognose wichtig wäre. Ähnlich wie im IFC-Datenformat lassen sich die Bauteilbeziehungen im Stoß nur bedingt in ihrer geometrischen und topologischen Komplexität speichern.

Im Rahmen der im Projekt erarbeiteten BIM-Prozesse für Schall- und Schwingungsschutzprognosen im Holzbau wurde daher ein Ansatz verfolgt und favorisiert, bei dem proprietäre BIM-Modellierer, wie die Autodesk Revit-Plattform, primär für die übergeordnete BIM-Koordination und das zentrale Architekturmodell zum Einsatz kommen. Für die Aufbereitung und Ausarbeitung der notwendigen Fachmodelle für den Holzbau und die Prognosemodelle für den Schall- und Schwingungsschutz wurden vielmehr spezifische Fachanwendungen und (teilweise interne) BIM-Schnittstellenlösungen und Plug-Ins verwendet.

Eine fachspezifische Planungssoftware, die im Rahmen des Projekts untersucht und verwendet wurde, ist das von der cadwork informatik AG entwickelte 3D-CAD/CAM-System cadwork. Im Holzbau ist cadwork weit verbreitet und bereits fest in zahlreiche Bauvorhaben

und etablierte Bau- und Ausführungsabläufe integriert. Der abbildbare Detaillierungsgrad übersteigt bei Weitem die technischen Möglichkeiten einer Software wie Revit und entspricht auch von der Modellierungslogik eher den gewohnten Prozessen der Holzbaukonstruktion, vor allem bei konstruktiv komplexeren Ausführungen (zum Beispiel Ständerwände oder Balkendecken). Auch die direkte Interaktion mit Ausführungsmaschinen des Holzbaus, wie etwa Abbundmaschinen, ist eine Besonderheit und Stärke von cadwork. Dies ist im Gesamtkontext der Digitalisierung im Holzbau mit einem hohen Vorfertigungsgrad ein wichtiger Punkt. Die cadwork Software selber ist intern eher mit einem CAD-Modellierer vergleichbar, bietet aber grundsätzliche Möglichkeiten, die Konstruktion um semantische Daten zu ergänzen.

Die cadwork informatik AG arbeitet intensiv an einer BIM-Integration ihrer cadwork Modellierungs Software. Dazu bietet cadwork eine IFC-Datenschnittstelle an und vertreibt eine eigenständige Software-Teillösung namens lexocad BIM, die als Schnittstelle für Open BIM Modelle zu den üblichen cadwork Modulen dient. In neueren Versionen wird außerdem ein direkt in den cadwork Modellierer integrierter BIM Manager namens BCF angeboten. In beiden Fällen liegt der Fokus auf dem Datenfluss von einem zentralen Architektur-BIM-Modell in die cadwork Software, um die Ausarbeitung des Holzfachmodells mit Fokus auf die Ausführungsplanung zu unterstützen. Dieser Weg von BIM zum Fachmodell ist für sich genommen für die Praxis durchaus sehr wichtig und hilfreich, unterstützt in dieser Art allerdings noch keine vollständige BIM-Integration.

Mit den jüngeren BIM-Entwicklungen bei cadwork in Form des BCF-BIM-Managers wurde die BIM-Integration aus Sicht der Projektbearbeiter verbessert und erlaubt es nun über eine IFC-Schnittstelle, Hüllkörper aus BIM-IFC-Modellen dauerhaft im Fachmodell zu speichern, inklusive der dauerhaft speicherbaren und dokumentierbaren Datenassoziation zum zentralen BIM-Modell in Form von IFC-GUIDs. Dies ermöglicht grundsätzlich eine programmatische Rückkopplung des Fachmodells auf das zentrale BIM-Modell sowie ein digitales Änderungsmanagement, auch wenn einige dieser Schritte zum Bearbeitungszeitpunkt des Projektes noch nicht voll automatisierbar waren. Problematisch ist jedoch vor allem die Tatsache, dass sich die Wand- oder Deckenhüllkörper des zentralen BIM-Modells bei bestimmten Konstruktionen in viele Einzelbauteile im Holzfachmodell aufteilen, und diese topologische Relation nur bedingt bzw. mit teilweise größerem manuellem Aufwand abgespeichert werden kann. Cadwork bietet auch einen Datenexport nach IFC an, der aber teilweise mit großen manuellen Nutzereingriffen verbunden ist. Dies liegt daran, dass die Zuordnung der Konstruktionsdetails in cadwork zu den IFC-Produkt-Entities sehr flexibel gestaltet ist. Für die Praxis bedingt dies aus Sicht der Projektbearbeiter für eine reibungsfreie Integration und Interaktion mit anderen Gewerken eine sehr klar ausgearbeitete und spezifische BIM-Fachmodell-Definition im Projektablauf, die in dieser Art in der Praxis derzeit oft nicht anzutreffen ist. Auch die geometrischen und topologischen Relationen der Holzbaukonstruktionen, vor allem im Stoßbereich, konnten zum Zeitpunkt der Bearbeitung im Projekt nur teilweise nach IFC in die entsprechenden IfcRelations exportiert werden. [Grießhammer 2022]

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden auch erste Versuche mit der BIM-Plattform Allplan und BIMPLUS der Nemetschek SE unternommen. Vor allem im deutschsprachigen Raum ist Allplan ein weit verbreiteter Wettbewerber im Bereich der Modellierungssoftware zu Autodesk Revit. Bei BIMPLUS handelt es sich in diesem Kontext um eine cloud-basierte Kollaborationsplattform, die sowohl innerhalb der Nemetschek Softwarelösungen (closed BIM), aber auch über IFC- und API-Datenschnittstellen extern in einer closed-open BIM-Hybridlösung genutzt werden können. Im Rahmen des Projekts wurde vor allem BIMPLUS an den Referenzmodellen getestet, um zu evaluieren, inwieweit Ergebnisse der Schallschutzprognose hier gespeichert werden könnten und damit den anderen Projektteilnehmern zugänglich gemacht werden können. Diese Untersuchungen sollen in der zweiten Projektphase fortgesetzt werden. Des Weiteren sollen die erarbeiteten Modellierungsempfehlungen mit Autodesk Revit auch gegen die Allplan-Software getestet werden.

3.4.2 Modellanalyse und Modelldarstellung

Die dreidimensionale Darstellung des BIM-Modells bildet den Kern der meisten Softwarelösungen um BIM. Zusätzlich zur reinen Visualisierung der Modelle gibt es noch Funktionen zur Modellüberprüfung und Modellaufbereitung. Vor allem für die letzten Punkte erfreut sich die Software Solibri Anywhere der Firma Solibri DACH GmbH unter dem Verbund der Nemetschek Gruppe sehr großer Beliebtheit. Die Software hat sich auf die Arbeit mit IFC-BIM-Modellen spezialisiert und bietet einen sehr großen und komplexen Funktionsumfang für die effiziente Visualisierung und visuelle Kontrolle von BIM-Modellen an. Hierfür steht auch eine kostenfreie Basisversion zur Verfügung. Im Rahmen des Forschungsschwerpunkts wurde nur mit dieser kostenfreien Viewer-Version gearbeitet, um Modelle zu überprüfen. Somit konnten keine weiteren Analysen der Modelle wie Kollisionsprüfungen damit durchgeführt werden. Diese kommerziellen Funktionen von Solibri, wie Kollisionsprüfungen verschiedener Fachmodelle und Zentralmodelle, aber auch Modell-Prüfungen gegen programmierbare Normvorgaben (z.B. Fluchtweglängen) spielen für die Praxis eine wichtige Rolle, waren aber für die BIM-Prozesse im Projekt nur von nachrangiger Wichtigkeit. Solibri bietet eine programmierbare Datenschnittstelle und kann daher gut in einen hybriden closed-open BIM-Ansatz integriert werden.

Die CADFEM GmbH hat mit ihrer BIM-Plug-In Lösung BIMinsideANSYS eine Schnittstellenlösung mit Funktionen der BIM-Modellaufbereitung für IFC-Modelle integrierbar in die ANSYS-Simulationsumgebung entwickelt. Die Entwicklungen bauen in Teilen maßgeblich auf der C++ Locis3d-Entwicklungsumgebung der Locis GmbH auf. Beide Plattformen nutzen intern die offene IFC-Schnittstelle IfcOpenShell, sowie den Geometrie-Kernel OpenCASCADE. BIMinsideANSYS ermöglicht so den Daten- und Modelltransfer von IFC-BIM-Modellen nach ANSYS, um dort für numerische Simulationen wie beispielsweise FE¹⁶-Berechnungen im Rahmen des Projekts genutzt zu werden. Im Grundsatz funktioniert diese Schnittstelle sehr ähnlich dem BFC-BIM-Manager in cadwork, mit dem Unterschied, dass diese Software direkt in das Nutzer-Frontend von ANSYS integriert werden kann und die Modellkonvertie-

¹⁶Finite Elemente

rung für die Nutzung in einer Simulationsumgebung optimiert wurde. Die Assoziation erfolgt ebenfalls mithilfe der Speicherung der IFC GUIDs aus dem Zentralmodell. Damit handelt es sich ebenfalls im Grundsatz um eine Schnittstelle, die sich auf den Import von BIM zur Simulation fokussiert. Im Rahmen dieses Projektes wurde vor allem die Anwendung in Bezug auf den Schwingungsnachweis von Decken in Holzbauweise, sowie die FE-basierte Berechnung von Koppelverlustfaktoren untersucht. In einem vorangegangenen Forschungsvorhaben an der TH Rosenheim [Kohrmann u. a. 2014] wurden Modelle entwickelt und validiert, die nun in einen Planungsworkflow in BIM integriert werden sollen.

Das Xbim Toolkit ist ein Open Source Projekt auf .NET Basis, welches den IFC-Standard unterstützt. Es ermöglicht die Verarbeitung bestehender sowie auch die Erstellung komplett neuer IFC-Dateien. Xbim Toolkit wird als CDDL Open Source Licence frei zur Verfügung gestellt. Dieses Tool wurde für die Erstellung eigener Holzbaumodelle sowie zur geometrischen, topologischen und semantischen Anreicherung bestehender Modelle aus Autorensoftware genutzt [Lauschke 2021; Lauschke 2022b; Stocker 2021]. Zusätzlich stellt es das Hauptwerkzeug im Rahmen der kooperativen Promotion dar (s. Abschnitt 6.2).

3.5 BIM-Integration für Schall- und Schwingungsschutz in der Praxis

Um den aktuellen Stand der BIM-Adaption in der Praxis zu evaluieren, wurde zusätzlich zu den Projektpartnern der direkte Kontakt und Austausch mit weiteren Industriepartnern gesucht, vor allem mit Schwerpunkt auf Industriepartnern im Planungsalltag. Ziel war es vor allem, die genauen Softwarelösungen im Einsatz und der technischen Umsetzungen in den Unternehmen und Planungsbüros kennen zu lernen, und gleichzeitig auch die Probleme und Herausforderungen bei der Nutzung der BIM Methoden zu identifizieren. Es ist festzuhalten, dass bisher vor allem die durchgehende Anwendung reiner open-BIM-Lösungen in der Praxis kaum anzutreffen ist. Lösungen, die allerdings auf hybriden open- und closed-BIM Ansätzen basieren, sind durchaus gängige Praxis und bei den Planern beliebt, da die Vielzahl unterschiedlicher Planungskonstellationen und Projektteams mit ihren diversen digitalen Ökosystemen im Mittelstand rein geschlossene BIM-Ansätze erschweren. Diese Erkenntnis der Industriekontakte bestärkt das Forschungsvorhaben in seiner BIM-Strategie. Weiterhin ist festzustellen, dass oft noch mit Insellösungen für die spezifischen Fachbereiche gearbeitet wird. Wenngleich der Mehrwert eines durchgängigen BIM-Workflows erkannt und geschätzt wird, so ist dies noch nicht gängige Alltagspraxis. Vielfach handelt es sich lediglich um einseitige Datenflüsse von zentralen BIM-Modellen in die Fachanwendungen, ohne einer vollständigen Kopplung mit beidseitigem Datenaustausch. Vor allem die Unternehmen, die auf IFC als BIM-Datenformat setzen, stellen fest, dass weiterhin oft viel manuelle Nachbearbeitung notwendig ist. Als weiterer Trend ist im Zuge dieses Austausches mit den Praxispartnern auch erkennbar gewesen, dass eine unerwartet große Anzahl an Firmen in eigene BIM-Lösungen bzw. BIM-Tools und Schnittstellenlösungen investiert, um ihre eigenen Arbeitsprozesse zu optimieren, BIM-Expertise im Unternehmen

aufzubauen und den Anschluss an die neuen Technologien nicht zu verpassen. Dabei wurde ersichtlich, dass die Anwendung und Entwicklung von Methoden, Planungsprozessen, Softwarelösungen oder Datenbanken vielfach nicht mit globalen Entwicklungsansätzen in der Normung abgestimmt wird, wodurch wieder kleine closed-BIM Insellösungen entstehen können.

Tabelle 7 Kontakte zu weiteren Industriepartnern

Firma	Themengebiet
Hottgenroth Software GMBH & CO. KG	Softwarehersteller Gebäudephysik
BIMphysics	Bauphysik und BIM
Kurz und Fischer GmbH	Bauphysikplaner und Kooperation für Masterarbeit
Sofistik	FEM ¹⁷ Fachmodellgenerierung
ModuGen GmbH	Tragwerksplanung
DIN BIM Cloud	Bauteildatenmanagement
Sound of Numbers	Bauakustiksoftware
Nemetschek	BIM Software und BIM Cloud Koordinationsstrategien
Accon	Bauphysikplanung
Bastian und Cadna, Datakustik	Akustik Software
Trimble (ehemals Stabicad)	TGA und BIM
k5-Akustik (SonArchitekt)	Akustikbüro
vrame Consult GmbH	BIM-Consulting Büro

Vor allem auf dem Fachgebiet der Bauakustik und Schallschutzprognose ist die Anwendung der open-BIM Methoden in den Berechnungsprogrammen bisher eher unüblich und wenig verbreitet. Oftmals werden die Fachmodelle für die schalltechnischen Berechnungen händisch durch den Berechnungsingenieur erstellt. So kann eines der untersuchten Praxisprogramme SONArchitect von Sound of Numbers S.L., vertrieben in Deutschland durch k5-akustik, nur Grundrisse als planare DXF-Dateien importieren, um daraus in der Software ein 3D Fachmodell als Insellösung zu generieren. CadnaB von datakustik arbeitet hingegen mit Bitmap- und PDF-Dateien. In beiden Fällen müssen die Grundrisse nachgezeichnet werden, um ein akustisches 3D-Fachmodell zu erstellen. AcouBAT von CYPE verfügt zwar über einen IFC-Import, allerdings müssen alle Informationen zu Räumen, Bauteilen und Stoßstellen ebenfalls manuell ergänzt werden. Es werden also auch keine relevanten, semantischen Informationen aus der IFC-Datei ausgelesen und verwendet. Neben dem großen Aufwand der manuellen Nachbearbeitung, Modellierung und Datenergänzung stellen die fehlende Assoziation zum BIM-Zentralmodell, die Unterbrechung der digitalen Datenkette sowie die

Notwendigkeit der manuellen Nachbearbeitung bei Änderungen sehr große Praxisprobleme dar.

Im Bereich der Technischen Gebäudeausrüstung ist die BIM-Integration in den Planungsprozess schon weiter fortgeschritten und in einigen Planungsbüros sogar schon gelebte und etablierte Alltagspraxis. Dies betrifft im Wesentlichen jedoch die Rohrnetzplanung zum Beispiel von RLT Anlagen. Hier haben sich allerdings vor allem closed-BIM Ansätze etabliert, die auch sehr stark durch die Hersteller von Modellierungssoftware gefördert werden. So bietet Autodesk Revit eine sehr umfangreiche Modellierungspalette für die TGA-Planung von der Berechnung bis zur Ausschreibung. Auch Solibri als Model Viewer und Checker kommt hier stark zum Einsatz, da BIM-basierte Kollisionsprüfungen in 3D einen sehr wichtigen Anwendungsfall darstellen. Außerdem kann im Bereich TGA festgestellt werden, dass auch die herstellernerneutrale Normung und Standardisierung weiter vorangeschritten ist. So existieren zum Beispiel umfangreiche und gut ausgearbeitete VDI-Blätter für den BIM-basierten Datenaustausch und die BIM-Modellierung. Damit wird wieder einmal der Wert und die Wichtigkeit von Normen und Standards über closed-BIM Ansätze hinaus für eine erfolgreiche BIM-Adaption in der Industrie verdeutlicht. Bezüglich des Schallschutzes sind in den closed-BIM basierten Lösungen die akustische Berechnung von RLT Anlagen basierend auf VDI 2081 Blatt 1:2019-03 aus den Baukomponenten und Geräten in vielen Softwarelösungen bereits integriert.

4 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse aus dem Forschungsschwerpunkt zusammengefasst. Während der Projektlaufzeit wurden viele Erkenntnisse über den Planungsprozess mit BIM gewonnen (s. 4.1) sowie Referenzmodelle zur vereinfachten Darstellung der Abläufe erstellt (s. 4.2). Aus diesen Prozessen wurde ein Konzept für die Erstellung eines Fachmodells Akustik entwickelt (siehe 4.3). Zusätzlich wurde im Rahmen des Forschungsschwerpunkts weiter an den Prognosemodellen für Geräusche aus gebäudetechnischen Anlagen gearbeitet. Hierfür sind neue Eingangsdaten durch Messungen entstanden (siehe 4.4). Mithilfe von FEM-Berechnungen zum Beispiel mit ANSYS[®] wurde untersucht, inwiefern zukünftig Eingangsdaten für die Schallschutzprognose wie Stoßstellendämm-Maße oder auch Schwingungsschutzberechnungen zum Nachweis der Gebrauchstauglichkeit unterstützend, ergänzend oder alternativ auf Basis numerischer Berechnungsmodelle generiert und berechnet werden können (siehe 4.5).

4.1 Planungsprozesse mit BIM

Im Rahmen des Projektes liegt der Fokus auf der akustischen Fachplanung im Holzbau. Ein definierter Planungsprozess erleichtert die Kommunikation zwischen den vielen Planungsbeteiligten und stellt die wesentliche Grundlage dar, um Missverständnisse und Fehlplanungen zu vermeiden und Zeit und Kosten des Projektes unter Kontrolle zu halten. Die Verwaltung von Informationen spielt hierbei eine zentrale Rolle. Dabei muss definiert sein, wer für die Modelle in der Gesamtkoordination verantwortlich ist, wer die Modellierungsarbeit im Detail in welcher Detailtiefe und zu welchem Zeitpunkt ausführt, welche Modellelemente für die jeweiligen sogenannten BIM-Konsumenten (zum Bsp. Fachplaner) enthalten sein müssen, wann welcher Detaillierungsgrad des Gesamtmodells gefordert ist, wie Modelle erstellt und Daten untereinander ausgetauscht werden müssen, sowie welche Auswertungen und Nachweise auf Grundlage der Modelle erstellt werden [Egger u. a. 2013].

Für den Holzbau kommt, verglichen etwa mit dem klassischen Massivbau, erschwerend hinzu, dass eine größere Detailtiefe der konstruktiven Ausarbeitung bereits zu einer früheren Planungsphase gemäß den in der HOAI¹ definierten Leistungsphasen benötigt wird, vor allem, um Anforderungen an Vorfertigung und eine reibungsfreie Logistikkette von der Fabrik bis zur Baustelle zu ermöglichen [Kaufmann et al. 2017]. Auch die personellen und organisatorischen Konstellationen können sich verglichen mit dem Massivbau unterscheiden, was

¹Honorarordnung für Architekten und Ingenieure

die BIM-Adaption nicht immer erleichtert. So ist es zum Beispiel oft notwendig, dass bauphysikalische Anforderungen bereits im Raumkonzept des Vorentwurfs berücksichtigt werden, die Anforderungen in der Entwurfsphase mit der gewählten Holzbauweise abgestimmt werden und bei der Ausführungsplanung auch der Montageablauf samt Elementstöße und Fugen bearbeitet wird [Kaufmann et al. 2017].

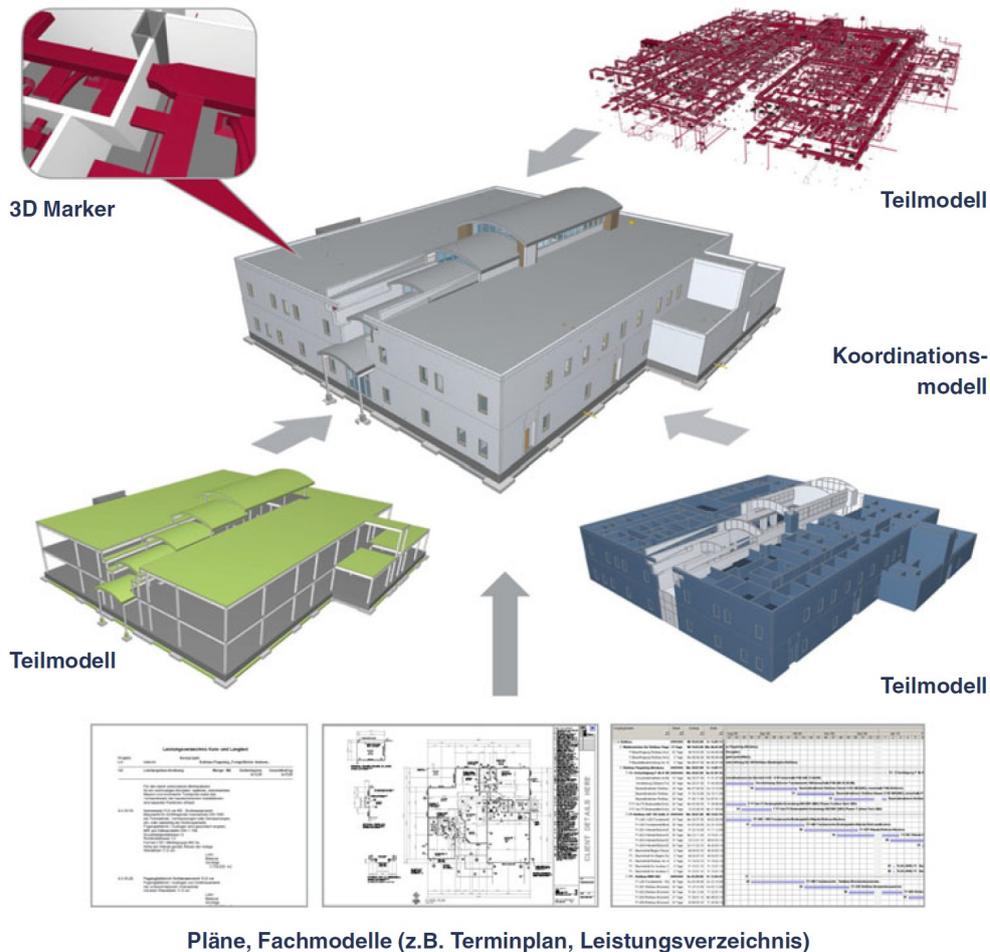
Unter Berücksichtigung dieser Anforderungen bietet sich die BIM-Methode prinzipiell als Methode für den Planungsprozess an. Es besteht die Möglichkeit, ein Modell bereits in früheren Projektphasen detailliert zu bearbeiten und bereits in einer frühen Phase der Modellierung wesentliche semantische Informationen und Planungsvorgaben abzuspeichern, um auf diese durchgängig während der Planung zuzugreifen. Allerdings stellt die bauphysikalische Planung gesonderte und oft komplexe Anforderungen an die Fachmodelle. Deshalb wurde im Rahmen des Projekts ein Prozess mit Nutzung eines separaten Akustik-Fachmodells untersucht und favorisiert, das an ein zentrales Architektur-Koordinationsmodell angekoppelt wird.

Fachmodelle haben den Vorteil, an die jeweiligen fachspezifischen Anwendungen angepasst zu sein. So gibt es beispielsweise Tragwerksmodelle, Bewehrungsmodelle, Bauablaufmodelle oder Bestandsmodelle [Borrmann et al. 2019]. Dies reduziert die Datenmenge bei der Verarbeitung, Speicherung und Weitergabe der Modelle erheblich, erfordert aber eine regelmäßige Konsistenzprüfung der Daten. Dazu wird ein Koordinationsmodell verwendet, in welchem die Daten aus verschiedenen Fachmodellen sowie Dokumente zusammengeführt (s. Abbildung 9) und beispielsweise Kollisionsprüfungen durchgeführt werden.

Abbildung 10 zeigt einen Vorschlag für einen open-BIM Workflow für die bauakustische Planung im Holzbau. Dabei nimmt das Koordinationmodell eine zentrale Rolle ein, um die Fachmodelle einzubeziehen.

4.2 Referenzmodelle

Im Rahmen des Projekts wurden unterschiedliche Referenzmodelle erstellt. An diesen Modellen wurden verschiedene Vorgehensweisen hinsichtlich Modellierung, Detaillierung und Weitergabe an Berechnungsprogramme zur Verwendung in Schall- und Schwingungsschutzprognoseverfahren durchgespielt. Zusätzlich konnte so die Verwendung kommerzieller BIM-Modellierungssoftware wie zum Beispiel Autodesk Revit oder cadwork für den Holzbau intensiv getestet und bewertet werden. Vor allem die Grenzen der Modellierung und sinnvollen Verwendung von Revit für diese Art von Anwendung waren von besonderem Interesse für das Projektteam und die Praxispartner. Auch der Export der Modelle nach IFC wurde anhand der Referenzmodelle intensiv untersucht und bewertet. Möglicher Datenverlust wurde dabei ebenso analysiert wie die Möglichkeiten des Nutzereingriffs beim Export und damit verbundene Schwierigkeiten für die Praxis.



Pläne, Fachmodelle (z.B. Terminplan, Leistungsverzeichnis)

Abbildung 9 Zusammenführung von Fachmodellen und Dokumenten im Koordinationsmodell.
Abbildung aus [Borrmann u. a. 2015]

Die Schwierigkeiten bei der Modellierung von Gebäuden im Holzbau entstehen durch die besonderen Verbindungsarten der Holzbauteile untereinander. Ist ein Modell mit erhöhtem Detaillierungsgrad notwendig, bei dem zum Beispiel die unterschiedlichen Stoßstellen im Detail abgebildet werden, führt das in Revit zu größeren Problemen, da die automatische Verbindung von Wandbauteilen nur bedingt gesteuert werden kann und letztlich auf einem automatisierten Vorgehen basierend auf einem mehr oder weniger homogenen Schichtaufbau zweier angrenzender Wände beruht.

Für den Massivbau kann so eine große Bandbreite praxisrelevanter Konstruktionen einfach und schnell modelliert werden. Weiterhin bleibt so der Modellierungsgedanke einer prozedural-parametrischen Modellierung erhalten, der von den Softwarenutzern geschätzt wird. Auch eignet sich der prozedural-parametrische Modellierungsprozess sehr gut, um mit wenigen manuelle Arbeitsschritte auf Modelländerungen zu reagieren. Sobald diese Art

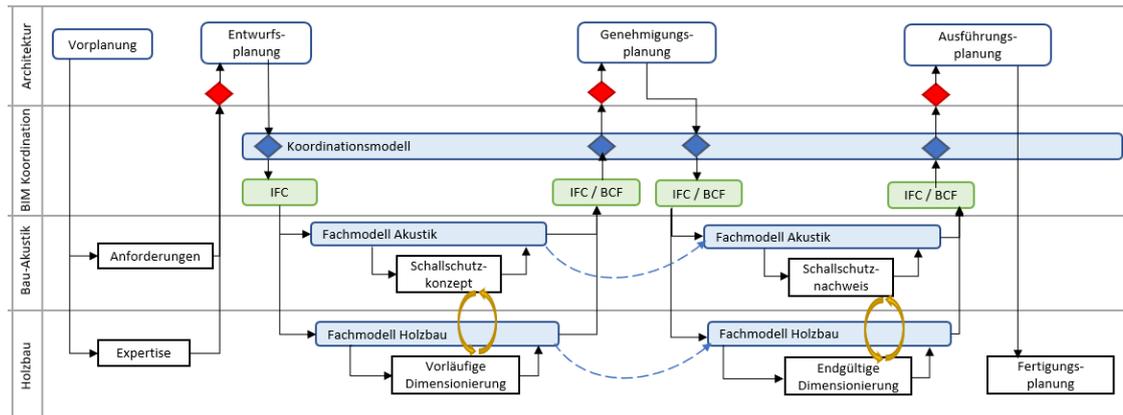


Abbildung 10 Darstellung des open-BIM Workflows mit der Nutzung eines Koordinationsmodells und unter Einbeziehung von Fachmodellen für die Bauakustik und den Holzbau (gekürzte Ausführung)

der automatisierten Verbindung nicht verwendet werden kann, weil etwa es der Ausführung im Holzbau nicht gerecht wird, entstehen im Modellierungsprozess viele kleine Hürden für den Softwareanwender. Diese Schwierigkeiten existieren in der für den Holzbau spezifischeren Software cadwork in dieser Form zwar nicht, jedoch ist hier das Modellierungsverfahren sehr eigen und stark den Bedürfnissen des Holzbaus angepasst. Es benötigt softwarespezifisches Fachwissen und umfangreiches Softwaretraining. Es kann sogar zum rückwärtsgerichteten Effekt kommen, dass eine grobe, übergeordnete Modellierung für frühe Phasen nicht möglich ist, da eine zu detaillierte Modellierung erzwungen wird. Diese Detaillierungstiefe berücksichtigt die konstruktiven Besonderheiten des Holzbaus und ist dann für die Werkplanung unerlässlich. Dieser Vergleich legte bei der Definition passender BIM-Prozesse für den Holzbau nahe, eine geeignete Kombination und Koordination von BIM-Architektur bzw. BIM-Koordinationsmodellen und BIM-Fachmodellen zu wählen, und diese auch physisch in der digitalen Infrastruktur auf zwei Modelle und oft auch zwei Softwarelösungen (wie Revit und cadwork) aufzuteilen.

Eine weitere Herausforderung stellt der Export der Modelle aus der kommerziellen BIM-Modellierungssoftware (Autorensoftware) in ein sinnvolles, verlustfreies IFC-Modell dar, welches hinreichende Informationen für alle Fachanwendungen liefern kann. Hierfür können Standardeinstellungen oder auch explizite, sogenannte Model-View-Definitions (MVD) in Revit verwendet werden. Bisher gibt es aber keine MVD für IFC4, welche die Anforderungen an ein Akustikfachmodell erfüllen. Im Gegensatz dazu muss in cadwork allen Bauteilen händisch ein entsprechendes IFC-Element zugeordnet werden. Dies ist im Zweifel sehr aufwändig und erfordert Fachwissen, wenngleich auch hier brauchbare Standardeinstellungen in der Software vorliegen. Komplexere Verbindungen und Relationen zwischen Elementen wie Aggregations (IfcAggregates), Relations (IfcRelations) oder auch Räumen (IfcSpace) können nicht erzeugt und in IFC gespeichert werden.

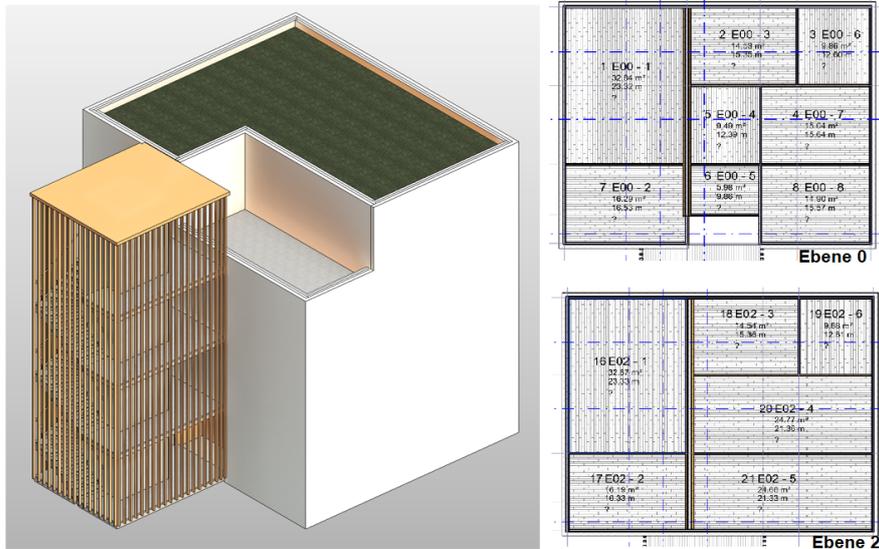


Abbildung 11 Darstellung eines Referenzgebäudes mit unterschiedlichen Grundrissen je Stockwerk, um eine Vielzahl an Stoßstellensituationen zu simulieren (nicht maßstabsgetreu)

Um die verschiedenen Herausforderungen zu verstehen, wurden mehrere Modelle in Revit erzeugt. Eines dieser Modelle aus Holzbauerelementen dient als Referenzmodell, um verschiedene Stoßstellensituationen sowie verschiedene Raumanordnungen mit schalltechnischen Anforderungen darzustellen (s. Abbildung 11). In diesem Modell mussten die Verbindungen zwischen den Bauteilen nach Bedarf gelöst und noch weitere Optimierungen des exportierten IFC-Modells durchgeführt werden, um es als Akustik-Fachmodell durch das Berechnungsprogramm VBAcoustic verwenden zu können. Zwei weitere Modelle wurden mit dem Xbim Toolkit erstellt (s. Abbildung 12 und 13). Die Besonderheit hierbei ist, dass mit Xbim direkt und ohne Umwege eines IFC-Exports und den damit verbundenen Fehlerquellen ein BIM-Modell im IFC-Schema modelliert werden kann. Anhand dieser Modelle können die Zusammenhänge der IFC-Klassen genau untersucht werden und Klassen, die beim Export aus Autorensoftware wie Revit nicht erstellt werden können, genutzt werden. So konnte auf die detaillierte Darstellung einzelner Schichten eingegangen und das IFC-Schema vollständig ausgenutzt werden, ohne auf die Einschränkungen durch einen IFC-Export in einer Autorensoftware zu stoßen. Zum Beispiel wurde bei der detaillierten Darstellung (ab LoD300) von Holzbauteilen wie Ständerwänden, Vorsatzschalen oder Unterdecken auf die semantische Zugehörigkeit der einzelnen Elemente zu einem Hauptbauteil geachtet, d.h. die Pfosten, Riegel, Lattungen wurden einzeln erstellt, aber immer einem Hauptelement wie *IfcWall* oder *IfcSlab* zugeordnet.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Qualität der IFC-Modelle stark von der Modellierung selbst, aber auch von den Exportmöglichkeiten abhängig ist. Die Struktur von IFC entspricht nicht unbedingt der Art der Modellierung in der Autorensoftware. Dies zeigt sich in

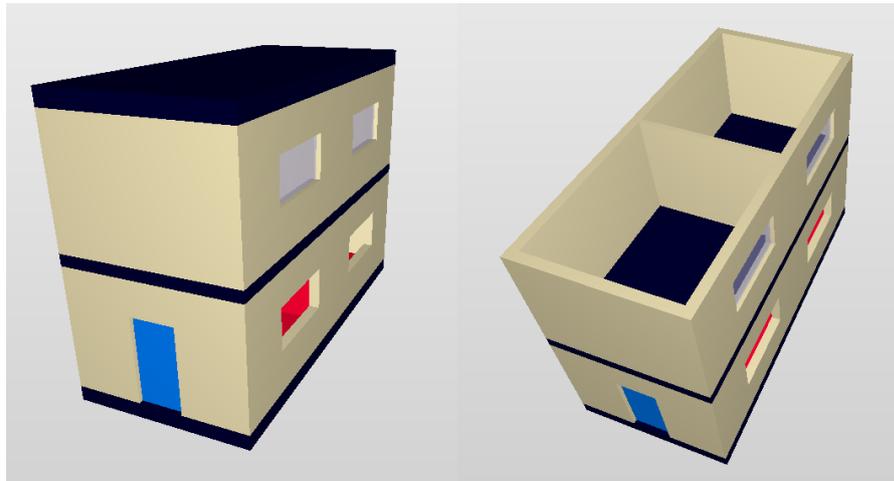


Abbildung 12 Darstellung eines Referenzgebäudes, dessen IFC-Datenmodell direkt in Xbim erstellt wurde [Lauschke 2021]

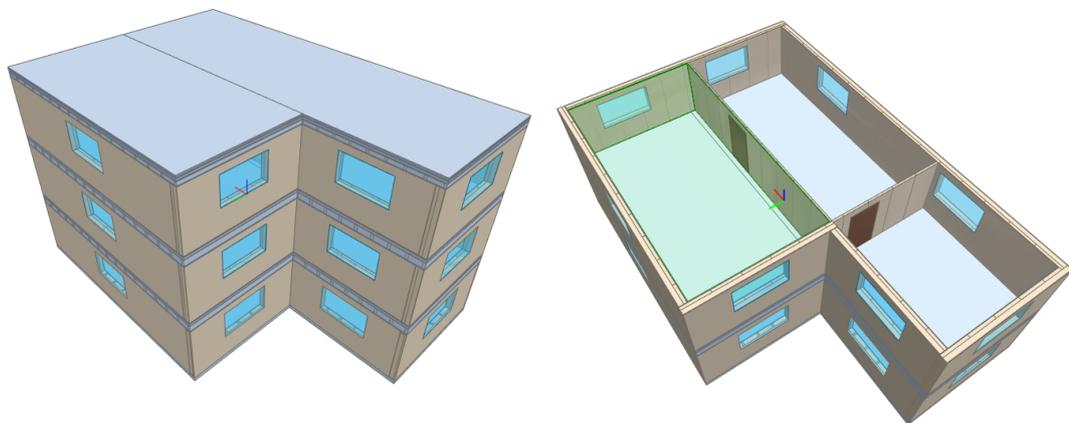


Abbildung 13 Darstellung eines Referenzgebäudes, dessen IFC-Datenmodell direkt in Xbim erstellt wurde [Stocker 2021]

Revit zum Beispiel daran, dass Revit die Ebenen, an denen die Elemente angebonden sind und die die Höhe der Bauteile bestimmen, deutlich feingliedriger nutzt, als es für den Export in IFC sinnvoll ist. So entstehen leichte Ungenauigkeiten in der Zuordnung der Gebäudegeschosse in dem IFC-Modell. Das würde bedeuten, dass die Personen, welche die Modelle erstellen, explizit den Export nach IFC modellieren und dabei viele nützliche und sinnvolle Modellierungshilfen ausschalten müssen. Die Nutzung von Xbim zur direkten Erstellung von IFC-Modellen hat zwar den Vorteil der vollen Kontrolle über das IFC-Modell, es erfordert jedoch gute Programmierkenntnisse. Die Erstellung größerer Modelle ist damit quasi unmöglich und nicht praxistauglich oder relevant. Es stellt sich jedoch als wertvolles Werkzeug im Forschungsvorhaben zur Aufwertung von IFC-Modellen heraus, um aus guten IFC-Modellen qualitativ hochwertige Akustik-Fachmodelle zu erstellen.

Neben den stark vereinfachten Referenzmodellen (s. Abbildungen 11 und 12), die keinen realen oder realisierbaren Planungsstand darstellen sollen, sondern vielmehr den Fokus auf Modellierungsdetails und beispielhafte Raumanordnungen legen, wurde auch ein reales Bauvorhaben in mehrgeschossiger Holzbauweise – H4 Bad Aibling –, welches bisher klassisch mithilfe einer 2D und teilweise 3D CAD-basierten Planung umgesetzt wurde, in eine BIM-basierte Holzfachplanung überführt (s. Abbildung 14). Hierfür wurde ein Autodesk Revit BIM-Modell ausgehend von den bisherigen Planungsunterlagen erstellt. Dieses Modell spielte damit im erprobten BIM-Planungsprozess die Rolle eines zentralen Architektur- bzw. Koordinationsmodells. Die Detaillierung spiegelt nicht den ausführungsfähigen Grad eines Holzfachmodells wider, wie er in Abschnitt 4.3 beschrieben wird. Wichtige praxisrelevante Erkenntnisse zu den Modellierungsmöglichkeiten im Holzbau, die an diesem realistischen Referenzmodell gewonnen wurden, wurden einerseits in die anderen Testreferenzmodelle überführt, und haben weiterhin auch Eingang in praxisrelevante Modellierungstipps und BIM-Modellspezifikationen gefunden, wie sie als Ergebnis des Forschungsvorhabens erarbeitet wurden. Anschließend wurde dieses BIM-Modell aus Autodesk Revit mithilfe des IFC-Datenschemas in die Holzbau-spezifische Fachplanungssoftware cadwork überführt, um auf dieser Basis eine ausführungsfähige Holzfachplanung mit Fokus auf den Anschlussdetails umzusetzen (s. Kapitel 6). Hierbei wurde insbesondere untersucht, inwieweit mit den bestehenden technischen Möglichkeiten die Modell- und Datenassoziation zwischen zentralem BIM-Koordinationsmodell und Holzfachmodell realisiert werden kann. Erkannte Schwierigkeiten oder fehlende technische Lösungen wurden für zukünftige Entwicklungen analysiert, dokumentiert und beschrieben. Beide Modelle (Koordinationsmodell und Fachmodell) zusammen wurden verwendet, um die Rückführung relevanter Detailberechnungen wie beispielsweise der detaillierten Bauteilmasse der Holzkonstruktionen zur Verwendung in der Schallschutzprognose, oder Ergebnisse aus abgeleiteten FE-Berechnungen zur Bestimmung der Flankenschallübertragung zu testen.

4.3 Fachmodell Akustik

Die Notwendigkeit der Generierung, Aufbereitung und Verwendung eines Akustik Fachmodells ergibt sich aus der Analyse des Planungsprozesses. Fachmodelle werden jeweils nur



Abbildung 14 BIM Referenzmodell eines realen Bauvorhabens, H4 Bad Aibling

für eine Fachplanung genutzt. Sie beinhalten somit nicht alle Informationen aus dem Bauwerkinformationsmodell, sondern nur einen Teil davon. Das Akustik-Fachmodell soll in Zukunft die Eingangsdaten für die Schallschutzprognose und den Schwingungsschutz beinhalten. Es soll folgende Inhalte aufweisen:

- Property Sets für bauakustische Kennwerte, die je nach Bauteiltyp zugeordnet werden können.
- Eine semantische Gliederung der Bauteilschichten in drei akustisch relevante Schichten.
- Eine semantische Abbildung von Stoßstellen und Stoßstellentypen mit den dazugehörigen flankierenden Bauteilen und Übertragungswegen.
- Eine Bauteilstruktur, die Informationen aus Bauteildatenbanken speichern kann und eine Verbindung zu Berechnungstools ermöglicht.

Für die automatische Erstellung des Akustik-Fachmodells aus dem Koordinationsmodell müssen feste Modellierungsanweisungen erstellt werden bzw. Vorgaben für die Qualität der IFC-Datei definiert sein. Nur dann können aus dem Modell die benötigten Informationen extrahiert und in der Form gespeichert werden, dass sie für die akustischen Berechnungen nützlich sind. Die Erstellung des Fachmodells wird voraussichtlich mit dem Xbim Toolkit erfolgen, da sich dieses Tool bisher als recht umgänglich erwiesen hat. Die Erstellung des gesamten Fachmodells ist Bestandteil des zweiten Teils des Forschungsschwerpunktes bzw. Inhalt der kooperativen Promotion (siehe Kapitel 6.2) sein.

4.4 Eingangsdaten für Prognosemodelle

4.4.1 Eingangsdaten für Trennbauteile

Planungsdaten für Trenn- und Außenbauteile bilden die wesentlichen Eingangsdaten für den bauakustischen Nachweis. Sie können den Bauteilkatalogen der Norm oder einem Prüfbericht des gewünschten Bauteils entnommen werden. Da die Bauteilentwicklung im Holzbau ein sehr dynamischer Prozess ist, hinken die normativen Bauteilkataloge durch den langwierigen Überarbeitungsprozess dem Stand der Technik hinterher. So enthält der aktuell gültige Bauteilkatalog der DIN 4109-33:2016 Bauteildaten aus Prüfungen, die bis zum Jahr 2004 durchgeführt wurden. Aktuellere Trenn- und Außenbauteile wurden in [Rabold und Bacher 2018], [Huber u. a. 2020] und [Châteauvieux-Hellwig u. a. 2019] geprüft und in [Blödt u. a. 2019] veröffentlicht und durch Untersuchungen zu Vorsatzschalen ergänzt [Mecking u. a. 2022]. Die in [Blödt u. a. 2019] enthaltenen Bauteilkataloge werden derzeit in DIN 4109-33 übernommen. Eine zeitnahe Aktualisierung der Planungsdaten in den Bauteilkatalogen kann durch Online-Datenbanken erreicht werden. So wurden die o.g. Forschungsergebnisse noch während der Projektlaufzeit in VaBDat übernommen und für den Planungsprozess zur Verfügung gestellt. Zusätzlich wurden vielfältige Wartungs- und Pflegearbeiten an der Datenbank vorgenommen: Datensätze wurden überprüft, freigegeben und fehlerhafte Daten entfernt. Es wurden auch viele Vereinheitlichungen von Beschriftungen und Benennungen vorgenommen, um die Suchfunktion in VaBDat zu optimieren.

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes wurden Fachmodelle erstellt, die die Möglichkeit bieten, in einem open-BIM Workflow auf Datenbanken zuzugreifen. Dieser Zugriff erfolgt durch das Auslesen vom Bauteiltyp und seinem Material. Das Excel-basierte Tool VBAAcoustic nutzt hierzu die Anbindung an VaBDat mit XML und einem Restclient. In [Lauschke 2022b] und [Stocker 2021] wurden zusätzlich anhand einer JSON-Datei Bauteile aus der Datenbank Lignumdata ausgelesen. Die JSON-Datei hat sich als gut lesbar innerhalb von selbst programmierten C#-Anwendungen herausgestellt, wenn diese korrekt mit Daten gefüllt wird. Das Auslesen in Excel bleibt hier noch eine Herausforderung und ist bisher mit einfach strukturierten XML-Dateien leichter.

4.4.2 Eingangsdaten für Stoßstellen

Stoßstellendämm-Maße von Massivholzbauteilen wurden bislang nur unzureichend durch normative Planungsdaten abgedeckt. Für T- und X-Stöße finden sich in DIN EN ISO 12354-1 einige Planungswerte, die jedoch auf einer sehr begrenzten Datenbasis aufbauen. In DIN 4109 sind bisher keine Planungsdaten enthalten. Zur Gewinnung von Planungsdaten wurde deshalb ein Kooperationsprojekt zwischen der TU-München, der TH-Rosenheim und dem ift-Rosenheim durchgeführt [Rabold u. a. 2018] und im Rahmen einer Masterarbeit [Timpte 2016] mit zusätzlichen Messdaten europäischer und kanadischer Institute ergänzt. Die so gewonnenen Planungsdaten wurden in VaBDat eingepflegt und für die praxisnahe Anwendung veröffentlicht [Timpte u. a. 2017; Rabold u. a. 2017].

Bestehende Lücken wurden im Rahmen des Forschungsschwerpunktes aufgegriffen und ein Konzept zur messtechnischen Bestimmung fehlender Datensätze erarbeitet. So wurde für ergänzende Messungen eine Prüfmatrix für Messungen am Prüfstand der TH-Rosenheim erstellt. Dabei wurde vor allem der Einfluss von Beschwerungen auf Decken oder Wänden untersucht. Beschwerden sind ein etabliertes Instrument um den Schall- und Schwingungsschutz im Holzbau zu optimieren. Zusätzliche Beplankungslagen und damit gleichzeitig Beschwerden auf Wänden sind zum Teil auch aus Brandschutzgründen erforderlich. Um die Vielfalt an möglichen Zusatzmassen abzubilden wurde der Einfluss messtechnisch untersucht [Pfattheicher 2022]. Dabei wurde der Einfluss von Schüttungen auf Decken aber auch von Beplankungslagen an Wänden sowohl für starre als auch für entkoppelte Bauteilstöße untersucht. Weitere Untersuchungen betrachteten die Überbrückung der Stoßentkopplung mit Windrispenbändern, wie sie in der Praxis zum Teil aus statischen Gründen verbaut werden.

Im Rahmen der Untersuchungen wurden zudem bereits gemessene Situationen unabhängig validiert, wodurch die hohe Qualität der Daten bestätigt werden konnte.

4.4.3 Eingangsdaten für gebäudetechnische Anlagen

Bei der Prognose von Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen ist im Gegensatz zur Prognose der Luft- und Trittschalldämmung zu beachten, dass nicht nur die Schallübertragung über Bauteile und Bauteilstöße betrachtet wird, sondern auch die Geräuschursache, also die Schallquelle selbst. Somit unterscheidet sich der Prognoseansatz maßgeblich, da nun auch Eingangsdaten von der Quelle und die Kenntnis über das Verhalten der Quelle im eingebauten Zustand vorhanden sein müssen.

Bei den Quellen ist zudem zu unterscheiden ob es sich um eine Einzelquelle handelt, also um ein kompaktes Gerät wie zum Beispiel eine Wärmepumpe oder um ein ganzes System wie eine raumluftechnische Anlage. Desweiteren ist zwischen der Luft- und Körperschallanregung ausgehend von der zu betrachteten Quelle zu unterscheiden.

Im Gegensatz zur Prognose der Luft- und Trittschalldämmung sind die normativen Prognoseverfahren noch nicht oder nur zum Teil vorhanden und zu großen Teilen noch nicht etabliert. Für RLT-Anlagen ist in der VDI 2081 ein Verfahren beschrieben, auf das so auch in der DIN 4109-36 verwiesen wird. Hier stehen auch bereits kommerzielle Softwarelösungen zur Verfügung.

Einzelschallquellen sind in der DIN 4109 aktuell noch nicht geregelt. Auf europäischer Ebene ist mit Teil 5 der EN 12354 ein normatives Verfahren vorhanden, das bis zur Überarbeitung 2022 [E DIN EN 12354-5:2022-02] nur sehr eingeschränkt für den Massivbau anwendbar war.

An der TH-Rosenheim wurde in den vergangenen Jahren ein empirisches Prognoseverfahren für die Körperschallübertragung entwickelt, das in der Überarbeitung der EN 12354-5 berücksichtigt wurde. Das Verfahren betrachtet die gesamte Übertragung als black-box. Daten hierfür können entweder in-situ gemessen oder wenn möglich vorausberechnet und

für die Prognose katalogisiert werden. Zur Bestimmung von Eingangsdaten für den Körperschall steht mit der DIN EN 15657:2017-10 ein normiertes Laborverfahren zur Verfügung.

Für die Luftschallübertragung ist in der Überarbeitung der EN 12354-5 ebenfalls ein Verfahren für alle Bauweisen aufgezeigt. Eingangsdaten für Quellen können mit seit Jahrzehnten bewährten Verfahren zur Bestimmung der Luftschalleistung erfasst werden.

Der Prognoseweg ist somit von der Quelle bis zur Einwirkung aufgezeigt. Benötigt werden Eingangsdaten von der Quelle und der Übertragung im Gebäude. Vor allem in Bezug auf Daten zur Übertragung im Holzbau wurden an der TH-Rosenheim umfangreiche Baumessungen durchgeführt und die Daten für die Prognose aufbereitet [Schöpfer u. a. 2021].

Im Rahmen einer Masterarbeit [Bayer 2022] (s. Kapitel 6) wurde das Konzept verfeinert und in Bezug auf die Anwendung im BIM Planungsprozess optimiert. Direkt darauf aufbauend wurde im Rahmen einer weiteren Masterarbeit die Tauglichkeit dieses Prognoseansatzes für eine digitale Planung in Fallstudien an Referenzmodellen konzipiert und getestet [Lauschke 2022b] (s. Kapitel 6).

4.5 FEM für die Schallschutzprognose und den Schwingungsschutz im Holzbau

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden mehrere FEM-Berechnungen an Detailkonstruktionen des Holzbaus, aber auch an Gesamtmodellen, wie dem Holzfachmodell aus Abschnitt 4.3 durchgeführt. Zahlreiche Berechnungen sind im Rahmen studentischer Arbeiten entstanden (s. auch Kapitel 6). In vielen Fällen bauen die FE-Berechnungen auch auf Vorarbeiten zu diesem Forschungsvorhaben auf [Rabold u. a. 2018; Horger u. a. 2014].

Im Zusammenhang mit dem Gesamtumfang der Arbeitspakete im Forschungsvorhaben gibt es mehrere Anwendungsfelder der FE-Methode im Zusammenhang mit BIM-basierter Schall- und Schwingungsschutzprognose im Holzbau, wie im Folgenden aufgeführt:

- Unterstützende FE-Berechnung zur Abstimmung von Messaufbauten und Randbedingungen bei der Durchführung von Messreihen.
- Mess- oder praxisbegleitenden Sensitivitätsanalysen zur Beurteilung schwankender Materialparameter oder Ausführungsqualitäten.
- Generierung von Eingangsdaten in Berechnungsverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz, z. B. Stoßstellendämm-Maße oder Eigenfrequenzen.
- Bewertung der Gültigkeit verschiedener Berechnungsverfahren, z. B. notwendige Modendichte für die SEA-Methode.

4 Ergebnisse

- FE-basierte Nachweisverfahren im Schall- und Schwingungsschutz, z. B. Gebrauchstauglichkeitsnachweis Schwingung und Durchbiegung nach EC5.
- Generierung verallgemeinerter Planungsdaten aus FE-Berechnungen für die Sicherstellung einer guten vibro-akustischen Bauqualität bereits ab der frühen Entwurfs- und Planungsphase, z. B. Vorgaben zu Anschlusssteifigkeiten und Entkopplungen.

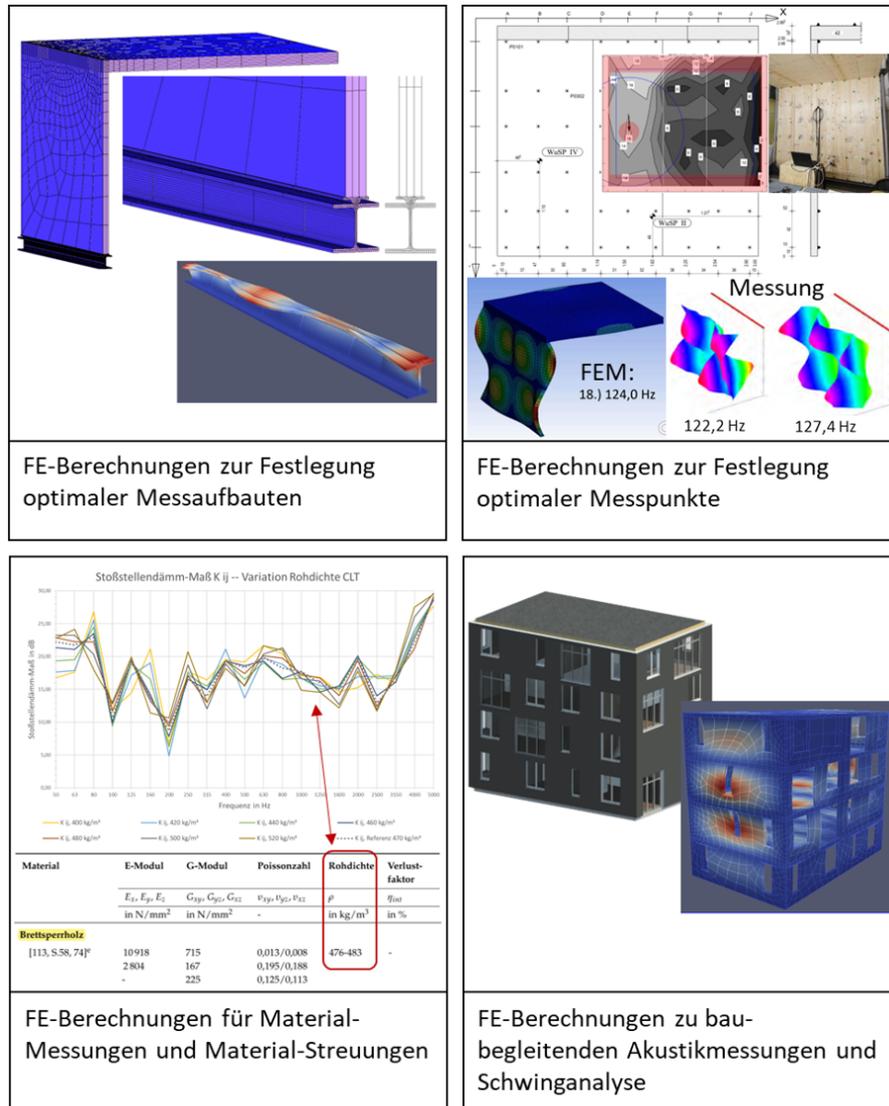


Abbildung 15 Messbegleitende FE-Berechnungen

Zu allen aufgeführten Anwendungsfällen wurden Berechnungen und Untersuchungen im Forschungsvorhaben getätigt, bzw. auf Basis von Vorarbeiten untersucht und weiterentwickelt. Die FE-Berechnung als Unterstützung zu Messaufbauten und Messreihen bietet sich

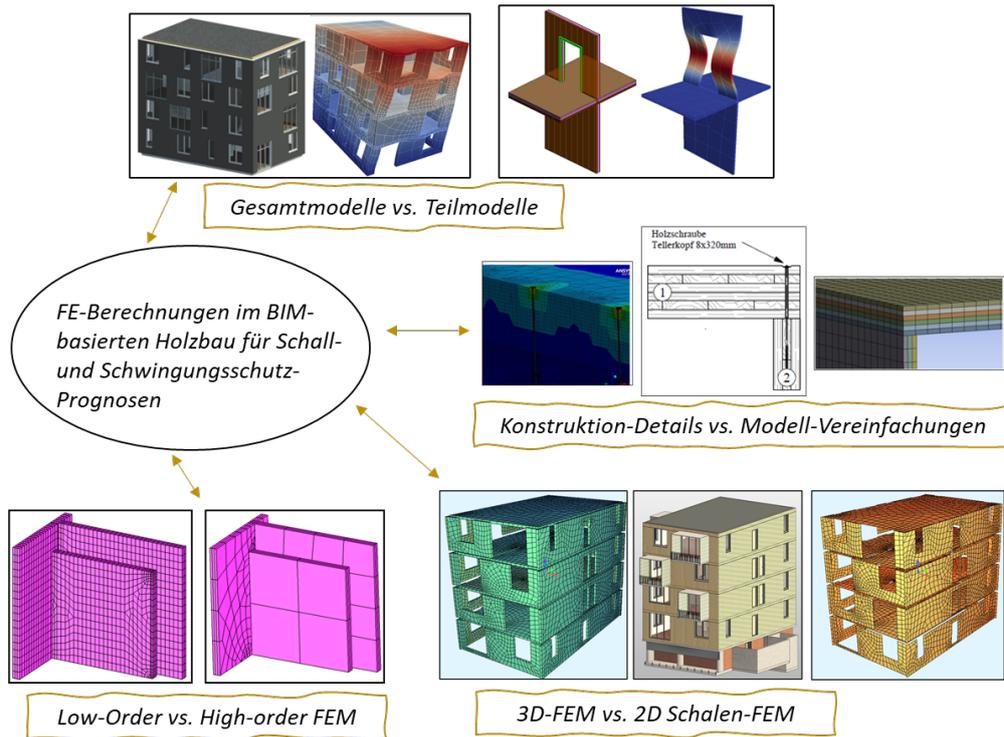


Abbildung 16 Klassifikation von FEM-Berechnungen

an, da Varianten und deren Auswirkungen am FE-Modell verglichen mit realen Messdurchführungen einfach, meist schneller und kostengünstiger untersucht werden können (s. auch Abbildung 15). So wurde etwa die detaillierte Auflagerausbildung des Stoßes zur Messreihe der Stoßstellendämm-Maße im Rahmen von [Rabold u. a. 2018] vorab an einem FE-Modell untersucht. Auch die Lage von Anrege- und Auswertepunkten sowie deren Sensitivität wurde vorab mittels FE-Berechnungen bewertet. Die Bedeutung von messbegleitenden FE-Berechnungen wird auch in zukünftigen Messreihen im Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben und Arbeiten am LaSM weiter zunehmen. Im Fokus wird dabei in Zukunft vor allem auch die Übertragung der Methoden und Erkenntnisse auf reale Bauvorhaben und Planungsprozesse spielen, etwa bei der Unterstützung baubegleitender Messungen und Sensitivitätsanalyse von Praxisausführungen inklusive deren praxisrelevanter Ausführungsungenauigkeiten.

Hierbei bieten sich die FE-Methode im Zusammenhang mit einem BIM-basierten Planungsprozess an, da so einerseits Ergebnisse aus numerischen Berechnungen und Messungen durchgängig an einem Modell abgespeichert bzw. darauf assoziiert werden können, und damit den Beteiligten in allen Planungs- und Bauphasen einfacher, transparenter und schneller zur Verfügung stehen. Davon ist zukünftig eine Steigerung der Planungs- und Bauqualität zu erhoffen. Andererseits können bereits in einer frühen Planungs- und Entwurfsphase FE-Berechnungen eingebunden werden, um Vorgaben der weiteren Planung und Ausführung

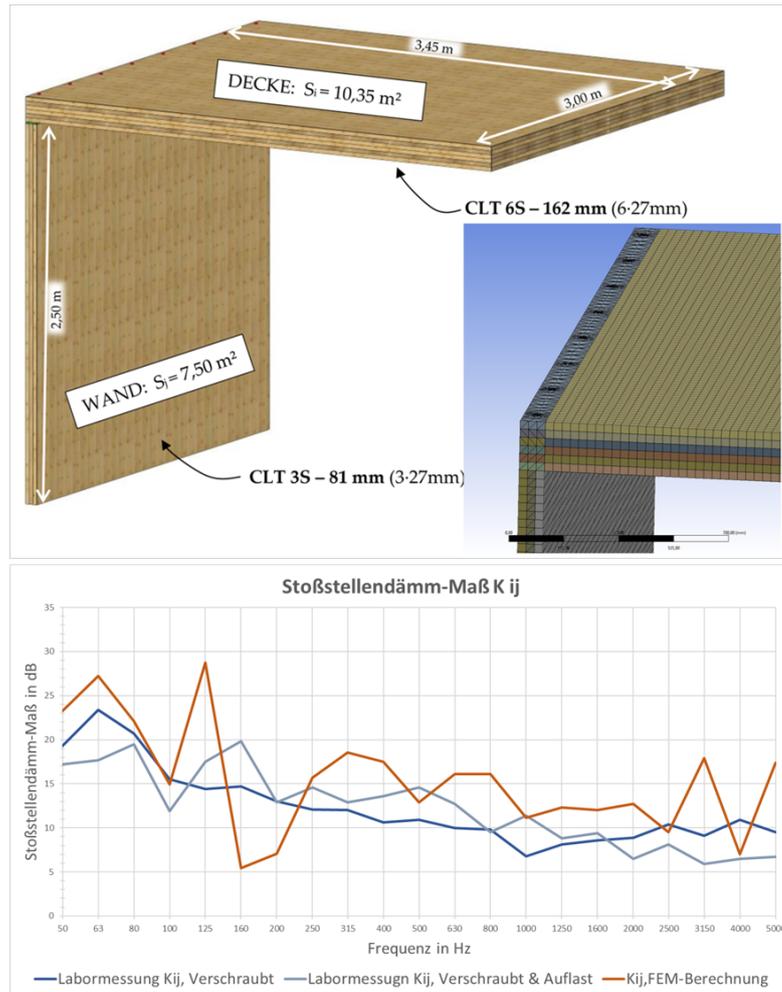


Abbildung 17 FEM-basierte Ermittlung des Stoßstellendämm-Maßes

zu generieren, wie etwa notwendige Steifigkeit von Verbindungsmitteln und Verbindungs-konstruktionen. Diese Ergebnisse können effizient in einen BIM-Prozess in Form eines Pro- duktkatalogs integriert werden, um schnell Ausführungsvarianten durchzuspielen und auch mit anderen Randbedingungen wie Ausführungskosten abzugleichen.

Grundsätzlich lassen sich die im Zusammenhang mit dem Forschungsvorhaben relevan- ten FE-Berechnungen anhand von Eigenschaften wie der Abbildungsdimension, Modellie- rungsdetaillierung, Modellabgrenzung oder Genauigkeit der Ansatzfunktionen gliedern. Ein Fokus des Forschungsvorhabens bzgl. FEM ist die Bestimmung optimaler Verfahren, ba- sierend auf dieser Untergliederung für die jeweiligen Arbeitspakete im Projekt und für den Planungsprozess in der Praxis, da hierdurch große Effizienzsteigerungen bei der Berech- nung und Bearbeitungszeit erzielt werden können (s. Abbildung 16).

Im Fokus der FEM-Arbeitspakete innerhalb der Projektlaufzeit stand die FEM-basierte Ermittlung von Stoßstellendämm-Maßen als Eingangsgröße in die Berechnungsverfahren der Schallschutzprognose, siehe auch Abschnitt 6.1 und Abbildung 17. Ein Schwerpunkt lag dabei auf der Validierung der FEM Berechnungsverfahren gegen vorangegangene und parallel zur Projektlaufzeit am LaSM stattfindende Messreihen an Einzelbauteilen und Bauteilstößen. In ersten darauf aufbauenden Arbeitsschritten wurden diese FE Berechnungsergebnisse bereits in Ansätzen in allgemeine Planungswerkzeuge überführt. In der weiteren Projektlaufzeit und folgenden Förderphase soll dieser Ansatz schwerpunktmäßig weiterverfolgt werden, um neben den planungs- und den baubegleitenden Messungen und Herstellerangaben ein weiteres mächtiges Werkzeug für die Schall- und Schwingungsschutzplanung vor allem in der frühen Projektphase zur Verfügung zu stellen. Ziel ist es dabei vor allem, diese Werkzeuge gut in den BIM-Workflow und BIM-Bauproduktgedanken zu integrieren, so dass dem Planer als Planungshilfe eine Planungsvorauswahl an funktionalen Konstruktionen und Konstruktionsdetails auf Basis bereits erstellter Kataloge als Ergebnis von FEM-Berechnungen zur Verfügung gestellt werden kann.

5 Maßnahmen zum Wissenstransfer in die Praxis

5.1 Normungsarbeit

BIM-basierte Prognoseverfahren sind Gegenstand aktiver Forschung und wissenschaftlicher Diskussion auf nationaler wie internationaler Ebene. Mitarbeiter des Forschungsschwerpunktes arbeiten aktiv in relevanten Normungsausschüssen mit, und leisten damit aktiv einen Beitrag beim Transfer der gewonnenen Forschungsergebnisse in die Praxis, der ohne Normung und Standardisierung nicht gelingen kann. Speziell im Holzbau mit seiner oft mittelständisch geprägten Struktur der Bau- und Planungsbeteiligten sind Normen und standardisierte Schnittstellen sowie Werkzeuge der Digitalisierung von großer Bedeutung. So befasst sich eine Arbeitsgruppe des CEN mit dem Thema BIM in der Akustik. In der Zwischenzeit ist der Projektleiter Prof. Ulrich Schanda vom Spiegelausschuss des DIN zur Mitarbeit in der Arbeitsgruppe CEN/TC126 WG12 entsandt worden.

Diese Arbeitsgruppe unter der Leitung von Bart Ingelaere (Belgian Building Research Institute, BBRI) mit dem Titel *BIM Acoustics* soll die Grundlagen definieren, um bauakustisch relevante Größen in einer Datenbank zur Nutzung in BIM bereitzustellen. Dabei wird auch in Betracht gezogen, welche Detailtiefe für die Planungspraxis erforderlich ist. Diese Erkenntnisse sollen direkt in die Arbeit von CEN/TC 442/WG 4 - Support Data Dictionaries einfließen.

Zusätzlich ist die Hochschule Mitglied bei buildingSMART. Camille Châteaueux-Hellwig, M.Sc. arbeitet in der Fachgruppe Holzbau als aktives Mitglied mit.

5.2 Veröffentlichungen und Fachmessen

Im Rahmen des Forschungsschwerpunktes wurden mehrere Beiträge auf Konferenzen veröffentlicht. Im deutschsprachigen Raum sind vor allem die Jahrestagung für Akustik (DAGA) sowie das Forum Holzbau zwei renommierte und wichtige Konferenzen für den wissenschaftlichen Austausch im Bereich Akustik und BIM für bauakustische Anwendungen. Auf beiden Konferenzen wurde der Stand im Forschungsvorhaben präsentiert und um drei Veröffentlichungen ergänzt. Im internationalen Umfeld wurde auf der Internoise, der EG-ICE und der ECPPM präsentiert und veröffentlicht.

Folgende Veröffentlichungen sind entstanden:

- Bodenschlägel K., BIM-gestützte Schallschutzplanung, DAGA 2022, Stuttgart
- Châteaueux-Hellwig C., Geladze E., Mayr A., Schanda U., Schöpfer F., „Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM-basierte Gebäudeplanung“, DAGA 2020, Hannover
- Châteaueux-Hellwig C., Abualdenien J., Borrmann A., "Towards semantic enrichment of early-design timber models for noise and vibration analysis", ECPPM 2020/21, Moskau
- Châteaueux-Hellwig C., Abualdenien J., Borrmann A.: "Analysis of the early-design timber models for sound insulation analysis", EG-ICE 2021, Berlin (Online)
- Châteaueux-Hellwig C., Schanda U., Geladze E., Schöpfer F., Frischmann F., Rabold A., Mayr A.: "An open BIM workflow for the prediction of sound insulation in timber constructions", EuroNoise 2021, Madeira (Online)
- Châteaueux-Hellwig C., Schallschutzplanung und BIM im Holzbau – ein Zwischenstand, Tagung Bauphysik und Gebäudetechnik, Forum Holzbau 2022, Rosenheim

Für den Wissenstransfer in den Planungsalltag spielen im mittelständisch geprägten Holz-Bausektor neben Fachveröffentlichungen auch Fachmessen und Anwendermessen bzw. -tage eine wichtige Rolle. In diesem Kontext zeigt das Projektteam des Forschungsschwerpunktes auch hier Präsenz, um mit Ingenieuren aus dem Planungsalltag sowie potenziellen Industriepartnern in den Austausch zu kommen und Potentiale der BIM-Adaption in der Praxis zu besprechen. Hier haben sich in der Projektlaufzeit vor allem Formate wie die *BIM Weeks*, *BIM World Munich*, *LOC Center Day* und *buildingSMART-Anwendertage* als sehr interessante Plattformen zum Gedankenaustausch mit Partnern aus der Praxis erwiesen. Auf der *BIM World Munich 2021* konnte das Projekt am Messestand der TUM München unter dem Dach des Leonhard Obermeyer Centers (LOC) präsentiert werden, wodurch ein intensiver Austausch mit nationalen und internationalen Vertretern der Baubranche ermöglicht wurde, der in weiteren direkten Austauschgesprächen u.a. mit der Allplan GmbH mündete. Die dabei entstandenen Netzwerke werden auch zukünftig im Rahmen des Forschungsvorhabens weiter gepflegt und ausgebaut.

5.3 Arbeitsgruppensitzungen

Es finden regelmäßige Arbeitsgruppensitzungen im Forschungsvorhaben an der TH Rosenheim statt. Neben der direkten Abstimmung innerhalb des Projektteams werden auch regelmäßig Gäste, Interessierte und externe Beteiligte am Forschungsschwerpunkt von der TH Rosenheim und Industriepartnern für einen Austausch zu BIM in Wissenschaft und Praxis eingeladen. Das Interesse am gegenseitigen Austausch sowie auch konkreten Ideen und Absichtserklärungen einer Kooperation ist ungebrochen groß, sowohl vonseiten anderer wissenschaftlicher Kollegen und Teams mit Bezug oder Anknüpfungspunkten zu BIM

und Akustik wie auch von Seiten der Industrie. Aufgrund der durch die Covid-Pandemie bedingten Einschränkungen war es nicht möglich, gemeinsame Termine und Arbeitsgruppensitzungen für sämtliche Projektpartner in Präsenz durchzuführen. Der damit verbundene Umstieg auf verteilte Arbeitsumgebungen und Arbeitsweisen mit Home-Office sowie virtuelle Meetings ist erfolgreich umgesetzt worden, sowohl innerhalb des Teams als auch im direkten Austausch mit externen Projektbeteiligten und Industriepartnern. Die bilaterale Einbindung von externen Beteiligten in die regelmäßigen Arbeitsgruppensitzungen wurde daher gestärkt und vertieft. Darüber hinaus wurden diverse direkte Gespräche mit Unternehmen und Planern geführt. Mit zahlreichen Industriepartnern findet im Rahmen des Projekts (teilweise regelmäßig) ein Austausch zur Implementierung von BIM und BIM-basierten Planungswerkzeugen der Bauakustik und Schallschutzprognose in der Praxis im Holzbau statt. Auch zu Themen der informationstechnologischen Umsetzung wurden interessierte Partner und Softwareunternehmen gewonnen. Unter anderem mit folgenden Partnern und Unternehmen wurden direkte Gespräche oder ein Austausch im Rahmen der regelmäßigen Arbeitsgruppensitzungen geführt (s. Tabelle 8).

Tabelle 8 Austausch und Wissenstransfer mit Partnern und Industrie

Partner, Kontakt	Themengebiet
Sound of Numbers S.L., Santiago de Compostella A Coruña	Softwareimplementierung für bauphysikalische Prognosen (SONarchitect und VBAcoustic)
Kurz und Fischer GmbH, Winnenden	Implementierung von bauphysikalischen Prognosen in den BIM Planungsprozess
ModuGen GmbH, Karlsruhe	Generierung von Fachmodellen aus BIM und Softwareimplementierungen
DIN Bauportal GmbH, Dynamische BauDaten, Berlin	BIM Properties und Implementierung für bauakustische Prognoseverfahren
Allplan GmbH, München	Kommunikation von Ergebnissen der Schallschutzprognose auf BIM-Kollaborationslösungen (BIMPLUS)
SOFiSTiK AG, Nürnberg	BIM-basierte Kopplung von Fachmodellen für Bau- statik und Bauakustik im Holzbau
cadwork informatik AG, Stuttgart	cadwork IFC-Schnittstelle und Ankopplung an kommerzielle BIM-Modellierer und VBAcoustic im Projekt
CADFEM GmbH, Grafing	FEM & Akustik in ANSYS und Möglichkeiten der BIM-Ankopplung
vrame Consult GmbH, Berlin	Beratung und Planung von BIM-Projekten

5.4 Einbindung in die Lehre

Die Projektbeteiligten des Forschungsfeldes *Akustik im Bauwesen* sowie die eng mit dem Forschungsvorhaben assoziierten Mitarbeiter des LaSM sind aktiv in der Lehre und Weiterbildung junger Ingenieure im Bereich BIM und Akustik involviert. Vor allem im *Masterstudiengang Gebäudephysik* werden Forschungserkenntnisse, Wissen und Erfahrungen an die Studierenden vermittelt. Dazu wurde in der Projektlaufzeit der Wissenstransfer aus dem Forschungsfeld in die Lehre in der Vorlesung *BIM und numerische Gebäudesimulation* des Studiengangs vertieft und ausgebaut. Im Fokus steht dabei, den Studierenden fundiertes Wissen zu BIM, Anknüpfung von Ingenieur Anwendungen an BIM sowie Digitalisierung im Holzbau und Ingenieurwesen in Forschung und Praxis zu vermitteln. Bestehende Lehraktivitäten der Projektbeteiligten, wie etwa Kurse zu *Schallschutz im Holz- u. Leichtbau* wurden in Teilen inhaltlich um Themen der Gebäudemodellierung und Effizienzsteigerung in Ingenieur Anwendungen durch BIM und Digitalisierung ergänzt. Neben dem Wissenstransfer in die Lehre ist auch die aktive Einbindung studentischer Unterstützung in das Forschungsvorhaben erklärtes Ziel der Projektbeteiligten. So konnten zahlreiche Studierende der Hochschule, vor allem aus dem Masterstudiengang Gebäudephysik, in Form von studentischen Tätigkeiten, Studienarbeiten und Abschlussarbeiten für eine engagierte und aktive Mitwirkung im Forschungsvorhaben gewonnen werden (siehe Kapitel 6).

6 Abschlussarbeiten

Studentische Arbeiten wurden aktiv in den Forschungsschwerpunkt eingebunden. Dies erfolgte in Form von Studienarbeiten, Bachelorarbeiten und Masterarbeiten durch Studenten verschiedener Studiengänge und Fachrichtungen mit Bezug zum Forschungsvorhaben. Durch die studentische Mitwirkung und dem damit verbundenen aktiven Wissenstransfer konnten zahlreiche Themenfelder bearbeitet und wissenschaftlich voran getrieben werden. Teilweise wurden die studentischen Arbeiten kooperativ zusammen mit Industrie- und Praxispartnern betreut, um den Wissenstransfer mit der Praxis weiter zu stärken. Zusätzlich entsteht im Rahmen des Forschungsschwerpunktes eine kooperative Promotion zwischen der TH Rosenheim und der TU München. In Abschnitt 6.1 sind die Inhalte von Studienarbeiten, Bachelorarbeiten und Masterarbeiten auf jeweils einer Seite zusammengefasst. In Abschnitt 6.2 ist die im Rahmen des Forschungsschwerpunktes bearbeitete kooperative Promotion beschrieben.

6.1 Studentische Abschlussarbeiten

In diesem Abschnitt findet sich eine Übersicht der im Zusammenhang mit dem Forschungsschwerpunkt entstandenen studentischen Abschlussarbeiten aus verschiedenen Studiengängen (SG) und Themengebieten wieder.

Löffler, Bachelorarbeit 2018

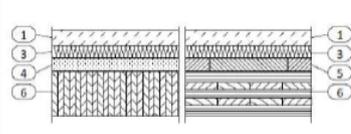
Thema: Bauteilkatalog für Holzdecken zur Überarbeitung der DIN 4109-33; Prüfung, Zusammenstellung, Validierung [Löffler 2018]

Bearbeiter: Sebastian Löffler

Bachelor Holzbau und Ausbau, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: Diese Bachelorarbeit hatte zum Ziel, den Bauteilkatalog für Holzdecken mit Ergebnissen aus Forschungsarbeiten zu erweitern. Der überarbeitete und erweiterte Katalog sollte die Grundlage für Planungsunterlagen in der Fachliteratur und Normen darstellen. Zudem wurden die Daten in die digitale Bauteildatenbank VaBDat eingepflegt und stehen so für einen digitalen Planungsprozess zur Verfügung. Ergänzend zu der Arbeit am Bauteilkatalog wurden die normativen Berechnungsverfahren auf der Grundlage der katalogisierten Daten mit VBAcoustic validiert, wobei die Anwendung des Programms im Rahmen eines Tutorials dokumentiert wurde.

Tabelle 8: Massivholzdecken						
Massivholzdecken mit Aufbauten aus mineralisch gebundenen Estrichen:						
Spalte	1	2	3	4	5	
Zeile	Schnitt	Dämmplatte d in mm s' in MN/m ³	Beschwerung d in mm m' in kg/m ²	L _{n,w} (C _{1,50-2500}) dB	R _w (C ₅₀₋₅₀₀₀ ; C _{tr,50-5000}) dB	
1		MW (DES-sh) d ≥ 40 s' ≤ 6	Schüttung	-	56 ^a (3)	62 ^a (-6;-18)
2				d ≥ 40 m' ≥ 60	46 ^a (5)	68 ^a (-7;-20)
3				d ≥ 60 m' ≥ 90	40 ^c (8)	72 ^c (-8;-21)
4				d ≥ 100 m' ≥ 150	38 (4)	77 (-13;-28)
5				Platten	d ≥ 40 m' ≥ 100	45 ^a (4)

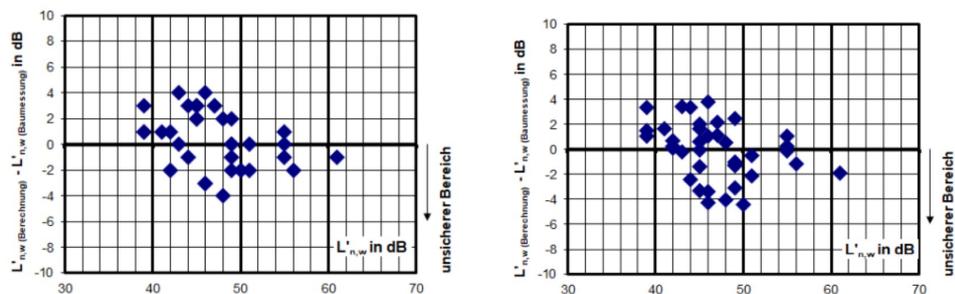


Abbildung 5.1 Schematische Darstellung der Beiträge zur Schallübertragung im Holzbau: Bild links: Verteilung nach DIN 4109; Bild rechts: Verteilung nach DIN EN ISO 12354

Abschlussarbeit 1 Oben: Auschnitt aus dem Vorschlag für einen Bauteilkatalog als Planungswerkzeug. Unten: Abweichungen zwischen Prognose nach DIN 4109 bzw. DIN EN 12354 und Messung.

Huber, Studienarbeit 2018

Thema: Ermittlung von Planungsdaten für den Schallschutz von Außenwänden in Holzbauweise mit unterschiedlichen Dämmstofftypen: Datensammlung - Bauteilmessung - Simulation [Huber 2018]

Bearbeiter: Anton Huber

Bachelor Holzbau und Ausbau, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: Im Rahmen dieser Arbeit wurden bereits vorhandene Planungsdaten aufbereitet und ein Bauteilkatalog zur Ablage konzipiert. Durch Messungen der Schalldämmung von Trennbauteilen und der experimentellen Bestimmung von Materialparametern wurden die bereits vorhandenen Daten weiter ergänzt und Lücken aufgezeigt. Zudem wurden frequenzabhängige Schalldämm-Maße von Massivholzwänden numerisch mit FEM modelliert und mit Messwerten verglichen.

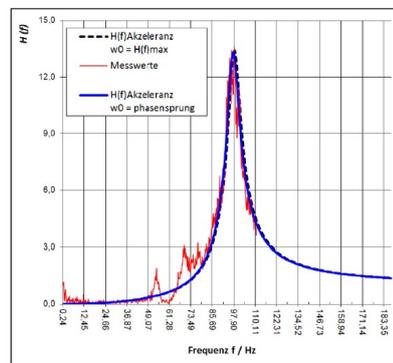
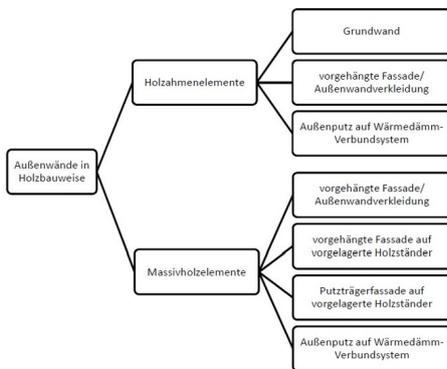


Tabelle 1	Abkürzungen & Produktspezifikationen	
Tabelle 2	verwendete Dämmstoffe	
Tabelle 3	Hilfsmittel für die akustische Entkopplung	
Tabelle 4	Holzrahmenbau	Grundwand
Tabelle 5	Holzrahmenbau	Außenverkleidung
Tabelle 6	Holzrahmenbau	Außenputz auf WDVS
Tabelle 7	Massivholzbau	Außenverkleidung
Tabelle 8	Massivholzbau	Außenputz auf WDVS
Tabelle 9	Massivholzbau	Außenverkleidung auf vorgelegerte Holzständer
Tabelle 10	Massivholzbau	WDVS auf vorgelegerte Holzständer

Abschlussarbeit 2 Oben links: Strukturierung der Konstruktionen als Grundlage für den Bauteilkatalog. Oben rechts: Ermittlung der dynamischen Steifigkeit von Dämmstoffen aus der Messung der Vergrößerungsfunktion. Unten links: Messung der Schalldämmung einer zweischaligen Trennwand. Unten rechts: Gliederung des Bauteilkataloges in Tabellen.

Zehetmayr, Bachelorarbeit 2018

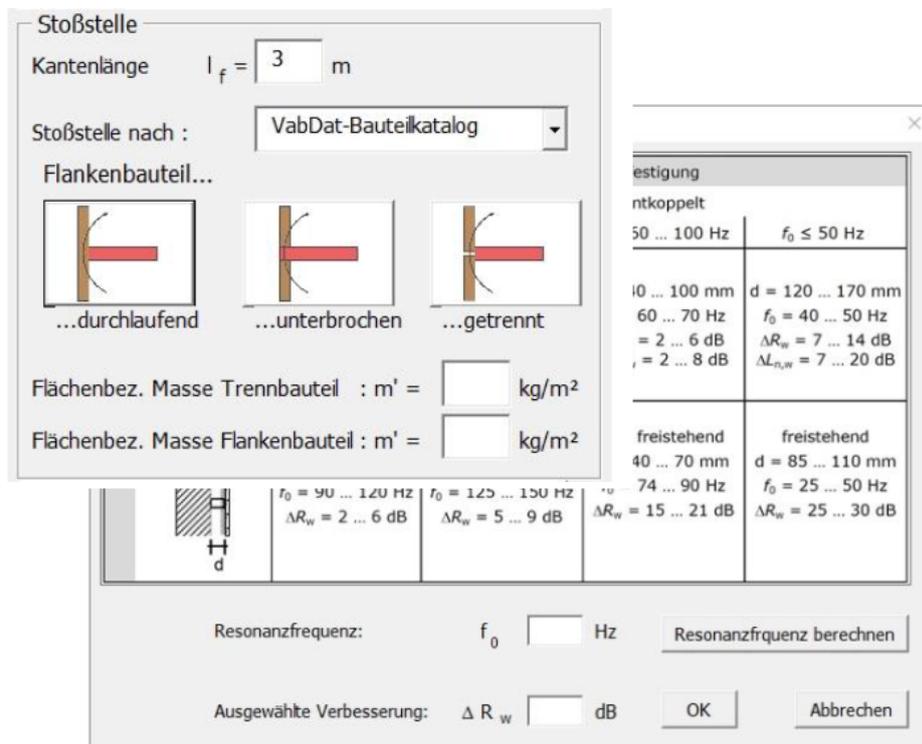
Thema: Rechnergestützte Visualisierung eines Berechnungsverfahrens zur Prognose des Bau-Schalldämm-Maßes von Trennwänden auf Grundlage eines Bauteilkatalogs [Zehetmayr 2018]

Bearbeiter: Robert Zehetmayr

Bachelor Holztechnik und Bau, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Wolfgang Schmidt

Zusammenfassung: Diese Arbeit stellt die normativen Grundlagen für die Berechnung des Bau-Schalldämm-Maßes von Trennwänden zusammen und erweitert mit VBA das existierende Tool VBAcoustic um die Benutzerfreundlichkeit durch Visualisierungen zu erhöhen. Es wurden Beispiele verifiziert und validiert und ein User Guide für VBAcoustic verfasst.



Abschlussarbeit 3 Oberfläche des Programms zur Visualisierung des Berechnungsverfahrens zur Prognose des Bau-Schalldämmmaßes aus der Abschlussarbeit Zehetmayr 2018

Scheuerpflug, Bachelorarbeit 2019

Thema: Messung der schalltechnischen Eigenschaften von Holzbalkendecken mit optimierten abgehängten Unterdecken zur Erweiterung des Bauteilkatalogs und vergleichenden Analyse der Wirtschaftlichkeit [Scheuerpflug 2019]

Bearbeiter: Michael Scheuerpflug

Bachelor Holzbau und Ausbau, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Hans-Jürgen Dormayer

Zusammenfassung: Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein Bauteilkatalog als Werkzeug für die Schallschutzplanung hinsichtlich Holzbalkendecken überarbeitet und aktualisiert. Dabei wurden sowohl Grundkonstruktionen als auch Abhängesysteme für Unterdecken ergänzt. Die ergänzenden Daten wurden in der Bauteildatenbank VaBDat eingepflegt und stehen somit für einen digitalen Planungsprozess zur Verfügung. Zudem wurde in dieser Arbeit der Aspekt der Wirtschaftlichkeit von Maßnahmen zur Erhöhung der Schalldämmung von Holzdecken untersucht.

Seite	1	2
Zeile	Ansicht und Schnitt	Anwendungsbeschreibung
Direktbefestiger (Rigips Klick-Fix Direktbefestiger für C-Deckenprofil, schallentkoppelt)		
4		Abhängertyp zur schalltechnischen Entkopplung und Befestigung von Holztaattung oder CD-Profilen mit einem integrierten Schwingelement zur Schallentkopplung. Maximale Traglast: 0,4 kN pro Abhänger; weitere Detailangaben beim Hersteller
VF-Abhänger (Knauf VF-Abhänger 8 für CD 60/27)		
5		Abhängertyp zur schalltechnischen Entkopplung und Befestigung von Holztaattung oder CD-Profilen mit einem integrierten Schwingelement zur Schallentkopplung. Maximale Traglast: 0,16 kN pro Abhänger; weitere Detailangaben beim Hersteller
QH-F-Abhänger (Regifoam® QH.F 220 plus)		
6		Abhängertyp zur schalltechnischen Entkopplung und Befestigung von CD-Profilen mit einem integrierten Schwingelement zur Schallentkopplung. weitere Detailangaben beim Hersteller
Befestigungs-Clip (Knauf Befestigungs-Clip für CD 60/27)		
7		Abhängertyp zur schalltechnischen Entkopplung und Befestigung von CD-Profilen; weitere Detailangaben beim Hersteller

Id	Kürzel	Dicke in m	Einsatzort	Bauweise	Export
210	B_CEO0_pMF7_bOSB22_JWS220(MW200_1M44_SGP12_SGP12)	0.4135	Trenndecke	timber frame construction (TFC)	XML
207	B_CEO0_pMF7_bOSB22_JWS220(MW200_1T57_SGP12_SGP12)	0.414	Trenndecke	timber frame construction (TFC)	XML
204	B_CEO0_pMF8_bOSB22_JWS220(MW200_1M70_SGP12_SGP12)	0.417	Trenndecke	timber frame construction (TFC)	XML
206	B_CEO0_pMF8_bOSB22_JWS220(MW200_1T57_SGP18_SGP18)	0.415	Trenndecke	timber frame construction (TFC)	XML
205	B_CEO0_pMF8_bOSB22_JWS220(RW100_1M35_SGP12)	0.3695	Trenndecke	timber frame construction (TFC)	XML
209	B_CEO0_pMF7_bOSB22_JWS220(MW200_1M44_SGP12_SGP12)	0.4435	Trenndecke	timber frame construction (TFC)	XML

Frequenzband	Norm-Trittschallpegel L _n in dB
50 Hz	68.7
63 Hz	69.6
80 Hz	63.6
100 Hz	60.2
125 Hz	59.3
160 Hz	60.1
200 Hz	55.9
250 Hz	51
315 Hz	49.2
400 Hz	44.8
500 Hz	40.4
630 Hz	36.1
800 Hz	33.7
1000 Hz	35.8
1250 Hz	35.6
1600 Hz	33.5
2000 Hz	30.7
2500 Hz	34.6
3150 Hz	29.8
4000 Hz	23
5000 Hz	18.3

Frequenzband	Schalldämm-Maß R in dB
50 Hz	24.5
63 Hz	25.5
80 Hz	33.3
100 Hz	38.1
125 Hz	48.3
160 Hz	52.4
200 Hz	61.6
250 Hz	66.7
315 Hz	70.9
400 Hz	75
500 Hz	75.7
630 Hz	78.2
800 Hz	80.8
1000 Hz	83.2
1250 Hz	86.7
1600 Hz	87.6
2000 Hz	88.5
2500 Hz	86.8
3150 Hz	88
4000 Hz	89.4
5000 Hz	85.5

Kennzahl zu (Bauteil):
 Herkunftsart: Messung
 Methode zur Verlustfaktorbestimmung: keine Angaben
 Verlustfaktor η (Einzahlwert):
 Bauteilfläche S in m²: 20
 Bauteildimension L_x in m: 4
 Bauteildimension L_y in m: 5
 flächenbezogene Masse m' in kg/m²: 169.9
 bewertetes Schalldämm-Maß R_w in dB: 72
 Spektrumanpassungswert C₅₀₋₅₀₀₀ in dB: -13
 Spektrumanpassungswert C₅₀₋₅₀₀₀ (Traffic) in dB: -27
 bewerteter Norm-Trittschallpegel L_{n,w} in dB: 50
 Spektrumanpassungswert C_{1,50-2500} (Impact) in dB: 9
 Quelle: ift Rosenheim
 Quellenart: Messdatenblätter, Holzbau Deutschland
 Quellenreferenznummer: 17002083_X07X08
 Jahr der Datenerhebung: 2018
 Kommentar:

Abschlussarbeit 4 Oben links: Überarbeitete Tabelle mit Abhängesystemen aus dem Bauteilkatalog. Oben rechts: Neue Holzdecken in der Bauteildatenbank VaBDat. Unten links: Frequenzabhängige Werte für die Luft- und Trittschalldämmung in VaBDat. Unten rechts: Kennzahlen für ein Bauteil.

Kratzer, Bachelorarbeit 2019

Thema: Rechnergestützte Visualisierung eines Berechnungsverfahrens zur Prognose des Bau-Schalldämm-Maßes von Außenbauteilen [Kratzer 2019]

Bearbeiter: Marinus Kratzer

Bachelor Holztechnik und Bau, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Wolfgang Schmidt

Zusammenfassung: Im Rahmen dieser Arbeit ist eine Berechnungshilfe inklusive Bedieneroberfläche entstanden, um das Außenbauteil-Schalldämmmaß zu berechnen, auf Basis bereitgestellter Berechnungsgrundlagen durch die Norm DIN 4109-33 oder datenbankbasierter Eingabewerte der Quellen VaBDat, Huber&Sohn und dataholz.com. Damit ermöglicht das Programm einerseits schnelle Berechnungen und Abschätzungen im Forschungsfeld oder für Praxisprojekte. Andererseits dient es der Verdeutlichung des zugrundeliegenden Berechnungsverfahrens für die Anwender und in der Lehre.

Abschlussarbeit 5 Oberfläche des Programms zur Visualisierung des Berechnungsverfahrens zur Prognose des Außenbauteil-Schalldämmmaßes aus der Abschlussarbeit Kratzer 2019

Huber, Masterarbeit 2020

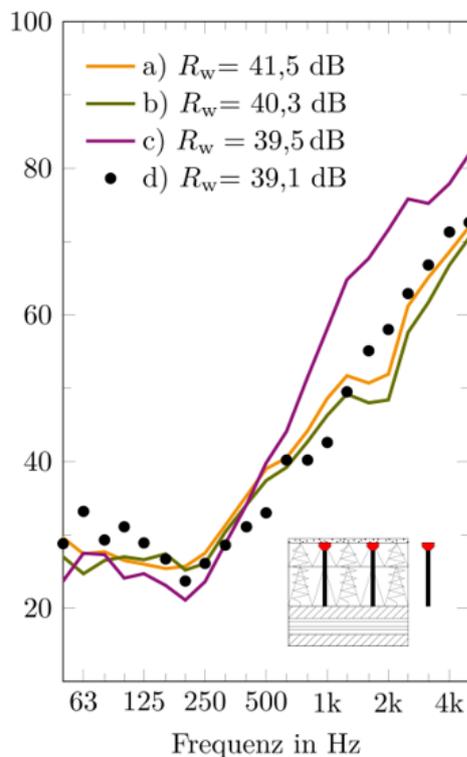
Thema: Entwicklung FEM basierter Modelle zur Vorhersage schalltechnischer Eigenschaften von Massivholzelementen mit Wärmedämmverbundsystemen aus nachwachsenden Rohstoffen [Huber 2020]

Bearbeiter: Anton Huber

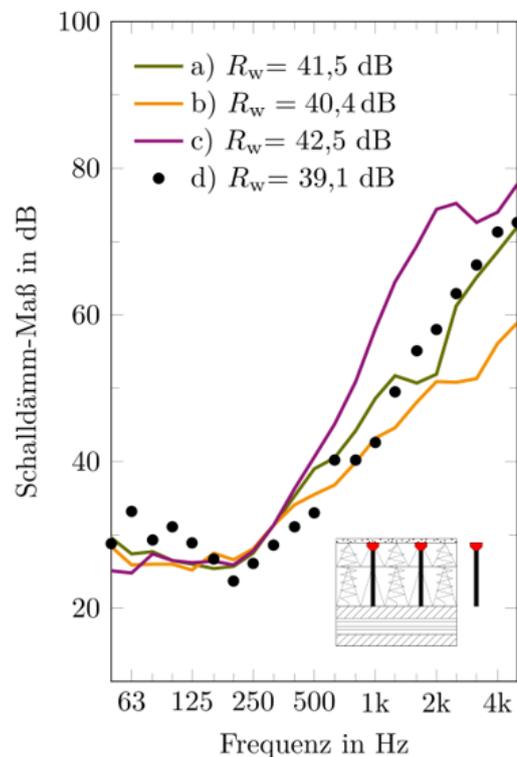
Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: Inhalt der Masterarbeit war die Berechnung der Luftschalldämmung von Massivholzelementen mit Wärmedämmverbundsystem anhand der FEM. Die berechnete Schalldämmung wurde mit Messergebnissen aus Prüfstandmessungen verglichen. Die Werte werden für die Entwicklung der Prognoseberechnungen und als Grundlage zur Handhabung des Programms ANSYS verwendet.



(a) Variation der Anzahl an Schraubdübel: a) keine; b) sechs mit Kunststoffteller je m^2 ; c) zwölf mit Kunststoffteller je m^2



(b) Variation der Putzankopplung bei 6 Stahl-Schraubdübel je m^2 : a) ohne Kunststoffteller; b) mit Kunststoffteller; c) um 50 mm mit Dämmstoff versenkte Kunststoffteller

Abschlussarbeit 6 Untersuchung des Einflusses auf das Schalldämm-Maß der Dübel und Putzankopplungen mithilfe von FE-Berechnungen aus der Abschlussarbeit Huber u. a. 2020

Rathfelder, Masterarbeit 2020

Thema: Messtechnische Ermittlung von Stoßstellendämm-Maßen von Wohnmodulen in Holzmassivbauweise [Rathfelder 2020]

Bearbeiter: Jan Georg Rathfelder

Master Holzbau und Energieeffizienz, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wurde das Stoßstellendämm-Maß von Modulen in Holzmassivbauweise anhand von Messungen ermittelt. Da die Berechnungsmodelle nach DIN EN 12354 für Modulbauweisen nur unzureichend sind, wurde mit den Messungen im Rahmen dieser Arbeit an der Schaffung einer größeren Datengrundlage mitgewirkt. Da die Holzmodulbauweise mit Massivholz im mehrgeschossigen Bau und bei der Aufstockung von Bestandsgebäuden eine günstige und hocheffiziente Bauweise darstellt, trägt diese Arbeit ihren Anteil zur breiten Anwendung des Holzbaus in der Baupraxis bei, dem auch das Forschungsvorhaben als Ganzes verpflichtet ist.

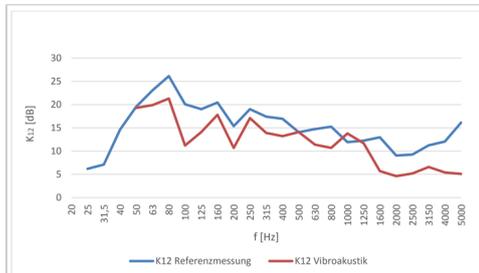


Abbildung 25: Frequenzabhängiger Verlauf Stoßstellendämmmaß K_{12} , Forschungsbericht Vibroakustik und Referenzmessung

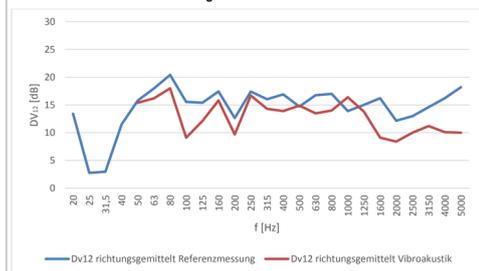


Abbildung 26: Frequenzabhängiger Verlauf richtungsgemittelte Schnellepegeldifferenz $D_{v,12}$, Forschungsbericht Vibroakustik und Referenzmessung

Abschlussarbeit 7 Messaufbau der Wohnmodule zur Ermittlung von Stoßstellendämm-Maßen und Stoßstellendämm-Maß aus der Abschlussarbeit Rathfelder 2020

Silberbauer, Studienarbeit 2020

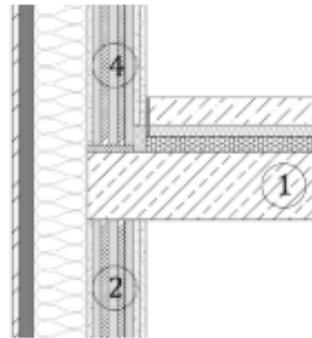
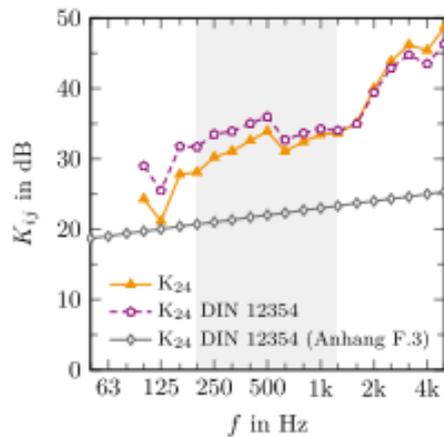
Thema: Stoßstellendämm-Maße in der Hybridbauweise [Silberbauer 2020]

Bearbeiter: Veronika Silberbauer

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Hybridbauweise, bei der Decken aus Beton und Wände aus Holzmassivbauteilen bestehen. Es wurden Stoßstellendämm-Maße für die Prognose der Luftschalldämmung im Rahmen von In-situ-Messungen ermittelt.



Abschlussarbeit 8 Schnittdarstellung untersuchter Holz-Hybridbauweisen mit den ermittelten Stoßstellendämm-Maßen aus der Abschlussarbeit Silberbauer 2020

Bodenschlägel, Studienarbeit 2020

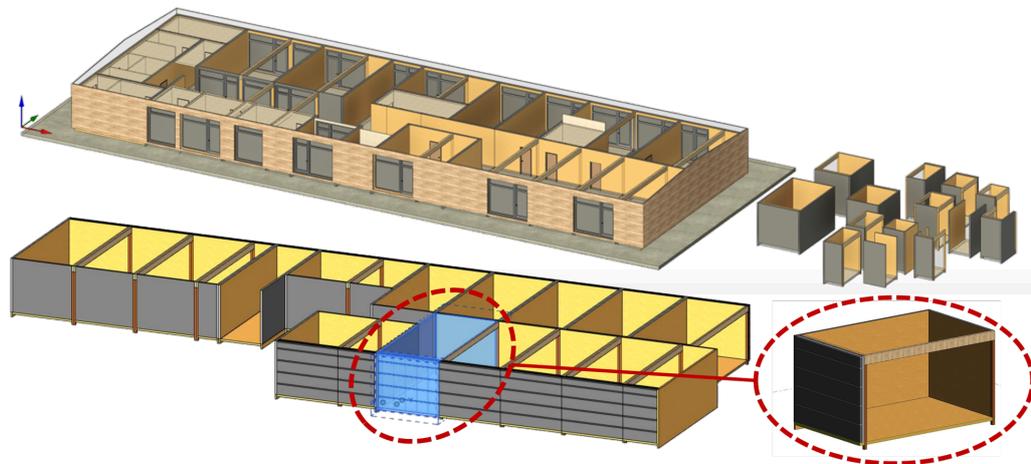
Thema: BIM-gestützte Prozesse und Bauphysik-Berechnungen für einen Kindergarten in Modulbauweise [Bodenschlägel 2020]

Bearbeiter: Kay Bodenschlägel

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Felix Frischmann, intrect KG (Industriepartner)

Zusammenfassung: Diese Studienarbeit beschäftigt sich mit der Ausarbeitung eines digitalen Gebäudemodells (BIM) für Kindergärten in Holzmodulbauweise. Ein wichtiger Aspekt der Arbeit war die Anwendbarkeit und technische Nutzbarkeit von Autodesk Revit für vorgefertigte Modulbaukomponenten. Hierbei wurde untersucht, inwieweit ein notwendiger Detaillierungsgrad sinnvoll abgebildet werden kann, und wie Modulbauweisen im Holzbau praxistauglich in einem kommerziellen BIM-Modellierer umsetzbar sind. Die Arbeit geht auf eine reale Planungsinitiative der intrect KG für Modulkindergärten zurück. Neben der Umsetzung in BIM und Revit wurde auch die Verwendung und Datenweitergabe der Gebäudemodelle für die Nutzung in Berechnungsprogrammen zur Nachhaltigkeit (Ökobilanz und EneV) und FEM/CFD¹ in ANSYS untersucht. Hierbei wurde unter anderem eine Ökobilanz zusammen mit der HOINKA GmbH und ffr Engineering erstellt. Letztendlich haben die Erkenntnisse der Arbeit Eingang in die Ausarbeitung von BIM-Prozessen gefunden, wie etwa einem beispielhaften BIM-Abwicklungsplan als Vorlage für die Projektbeteiligten. Im Forschungsvorhaben konnten die Erkenntnisse für die Ausarbeitung allgemeiner BIM-Planungsprozesse verwendet werden. Weiterhin konnten Schulungsunterlagen für die Arbeit mit Revit gewonnen werden.



Abschlussarbeit 9 Holzmodul-Baugruppen in Revit als Vorlage für Kindergärten und eingeschossige Bildungsbauten in Holzbauweise, aus Bodenschlägel 2020

Zehetmayr, Masterarbeit 2021

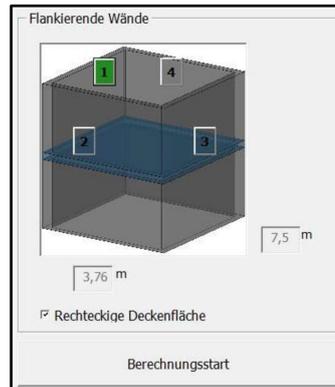
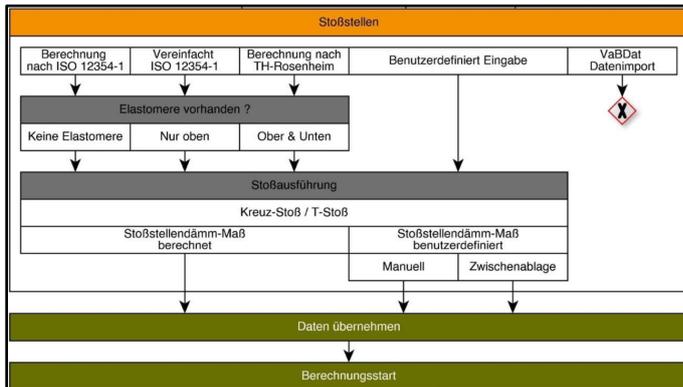
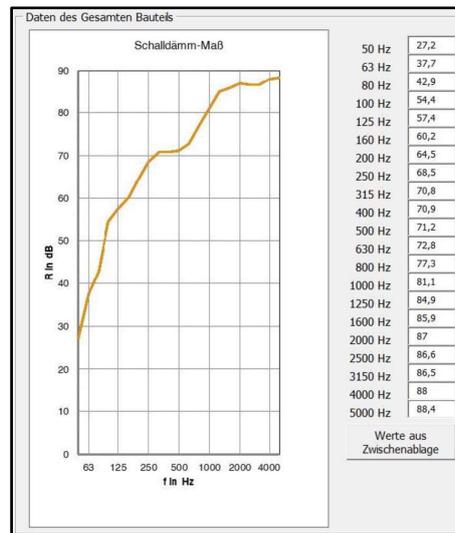
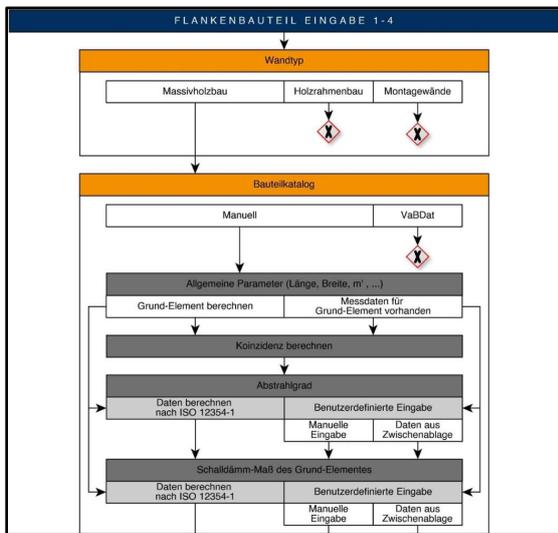
Thema: Datenbankgestütztes Berechnungstool zur frequenzabhängigen Schallschutzprognose im Holzbau [Zehetmayr 2021]

Bearbeiter: Robert Zehetmayr

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Andreas Mayr

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wird das Excel-basierte Berechnungstool VBAcoustic um die Berechnung mit frequenzabhängigen Werten und die Verbindung mit der Bauteil-datenbank VaBDat erweitert. Ein Bauteilkatalog für die TH Rosenheim wurde anhand der Bauteilkennwerte aus der Datenbank erstellt. Der neue Programmablauf wurde sowohl verifiziert als auch an einem Beispiel validiert. Zusätzlich wurde ein ausführliches User Guide zur Anwendung von VBAcoustic erstellt.



Abschlussarbeit 10 Ausschnitte aus der Masterarbeit Zehetmayr 2021

Lauschke, Studienarbeit 2021

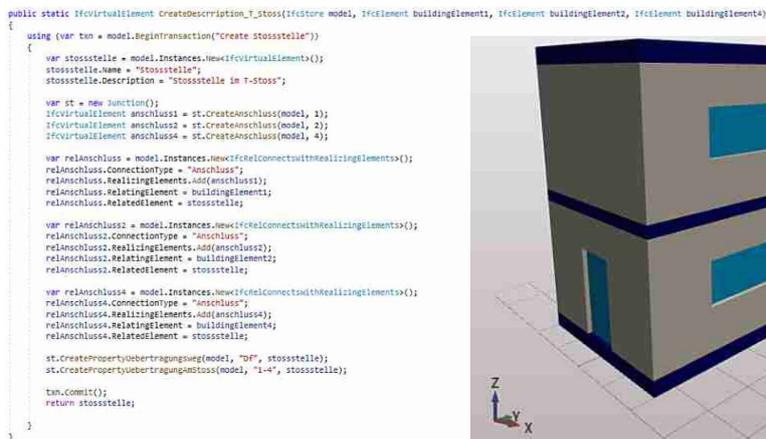
Thema: BIM im Holzbau und Schallschutz - Erstellung eines Holzbau-Modells in IFC4 mit dem Xbim-Toolkit [Lauschke 2021]

Bearbeiter: Muriel Lauschke

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Ulrich Schanda, Camille Châteauvieux-Hellwig

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wurde mit Hilfe der .NET Open Source Library Xbim Toolkits ein Beispielgebäude im Holzbau erstellt, um darauf aufbauend einen Leitfaden für die Modellierung eines akustischen Fachmodells im Holzbau auszuarbeiten. Das erstellte Modell wird mit einem in der Autorensoftware Revit erstellten Modell verglichen und zeigt, dass durch die direkte Erstellung von IFC-Daten eine deutliche Steigerung der Modellqualität zu erreichen ist. In dieser Arbeit wurden Erkenntnisse über das IFC-Schema erweitert und die Grundlagen zur Erstellung von Modellen mit Xbim gelegt.



Abschlussarbeit 11 Ausschnitt der IFC-Datei mit zugehöriger Modellvisualisierung eines Testreferenzmodells in Xbim aus der Abschlussarbeit Lauschke 2021

Bodenschlägel, Masterarbeit 2021

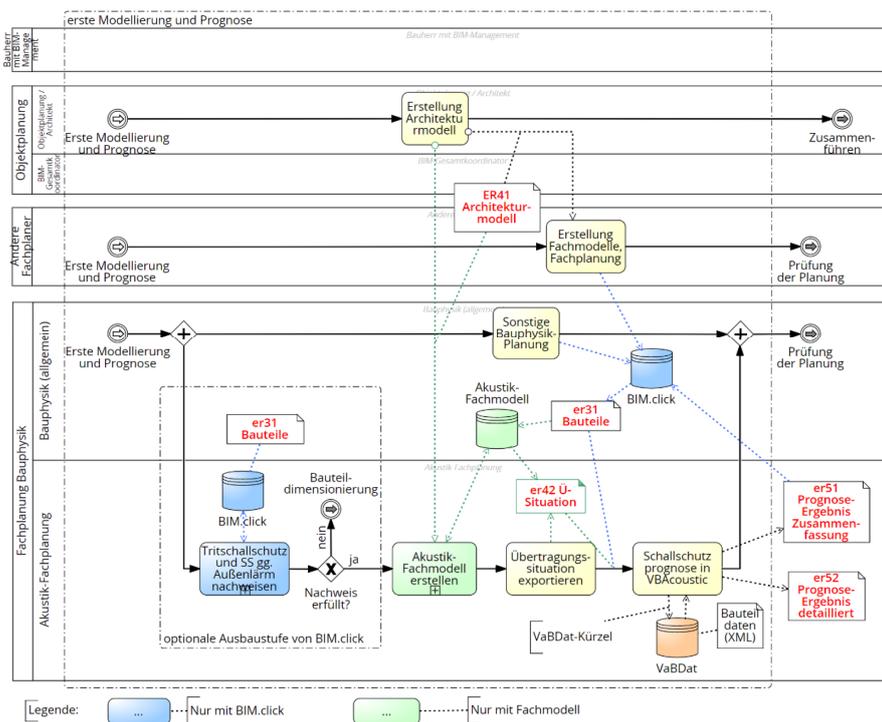
Thema: BIM-gestützte Schallschutz Planung mit BIM.click und VBAcoustic [Bodenschlägel 2021]

Bearbeiter: Kay Bodenschlägel

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Felix Frischmann, Kurz & Fischer (Industriepartner)

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wurde die technische und prozesstechnische Anbindung von Softwarelösungen zur Schallschutzplanung an Softwarelösungen zur Bauphysikplanungsbegleitung aus dem Hause Kurz & Fischer untersucht. Die untersuchten und erarbeiteten Lösungen waren alle in einen BIM-Workflow integriert, der die gesamte Projektphase von der Entwurfsplanung bis zur Ausführung und Bauüberwachung bzw. Messungen auf der Baustelle begleiten soll und kann. In diesem Zusammenhang erfolgte eine erste methodische Ausarbeitung und prototypische Umsetzung eines Akustik-Fachmodells, wie es im Laufe des Forschungsvorhabens weiter ausgearbeitet und spezifiziert wurde. Dabei wurden verschiedene Möglichkeiten untersucht und bewertet, wie für den Holzbau relevante Stoßstellen geometrisch und semantisch im IFC-Schema abgebildet werden können. Es wurden weiterhin konkrete BIM-basierte Planungsprozesse und Abläufe dargestellt und veröffentlicht, und zusammen mit den Industriepartnern auf ihre Praxistauglichkeit hin untersucht. Hierbei wurde das Zusammenspiel verschiedener BIM-Zentralmodelle und Fachmodelle untersucht. Inhalte der Masterarbeit wurden auf der Jahrestagung für Akustik, DAGA 2022 veröffentlicht [Bodenschlägel et al. 2022].



Abschlussarbeit 12 Ablaufdiagramm eines BIM-basierten Planungsprozesses im Holzbau aus der Abschlussarbeit Bodenschlägel 2021

Griesshammer, Studienarbeit 2021

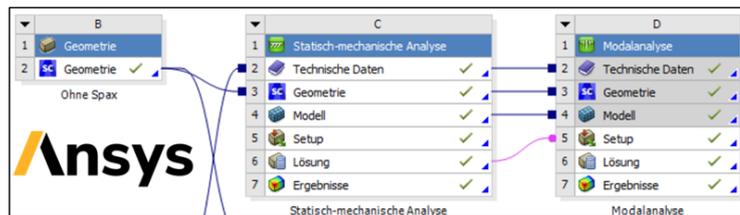
Thema: FEM-Berechnungen für Stoßstellendämm-Maße [Grießhammer 2021]

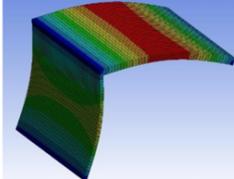
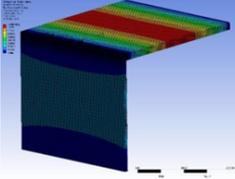
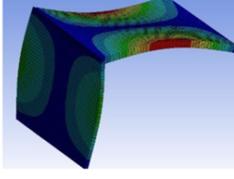
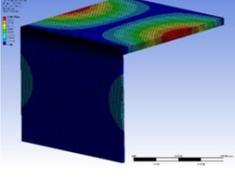
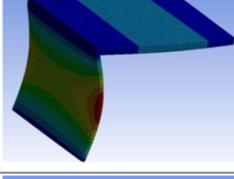
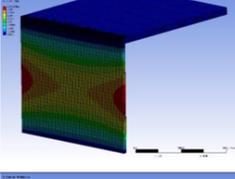
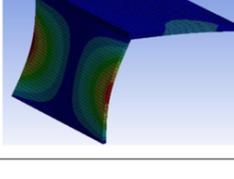
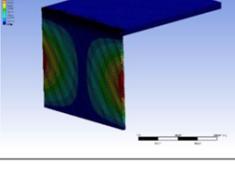
Bearbeiter: Stefan Grießhammer

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold

Zusammenfassung: Ziel der Arbeit war es, eine messbegleitende FE-Simulation zur Bestimmung des Stoßstellendämm-Maßes in den Schallschutzprognoseverfahren an einem L-Stoß in Brettsperrholzbauweise durchzuführen. Dabei wurde die numerische Simulationsumgebung ANSYS verwendet. Das prinzipielle Vorgehen dieses Ansatzes wurde gegen die vorhandenen Messreihen validiert. Weiterhin wurden die verschiedenen Methoden der Eingabe von Materialdaten und Randbedingungen untersucht, vor allem im Hinblick auf eine spätere gute Integration in einen BIM-basierten Planungsworkflow. Ein weiterer Aspekt war die Bestimmung des notwendigen Detaillierungsgrades der FE-Berechnung im Hinblick auf Verbindungsmittel und Kontaktformulierungen. Die Ergebnisse der Arbeit wurden verwendet, um die Anwendung der FE-Simulation im Kontext der Schallschutzprognoseverfahren im Projekt weiter auszubauen, zu validieren und zu festigen.



Nr.	Verbund	Vorgespannt mit Auflast
1		
	24 Hz	12,9 Hz
2		
	28,7 Hz	14,8 Hz
3		
	31,4 Hz	17,9 Hz
4		
	32,7 Hz	18,9 Hz

Lauschke, Studienarbeit 2022

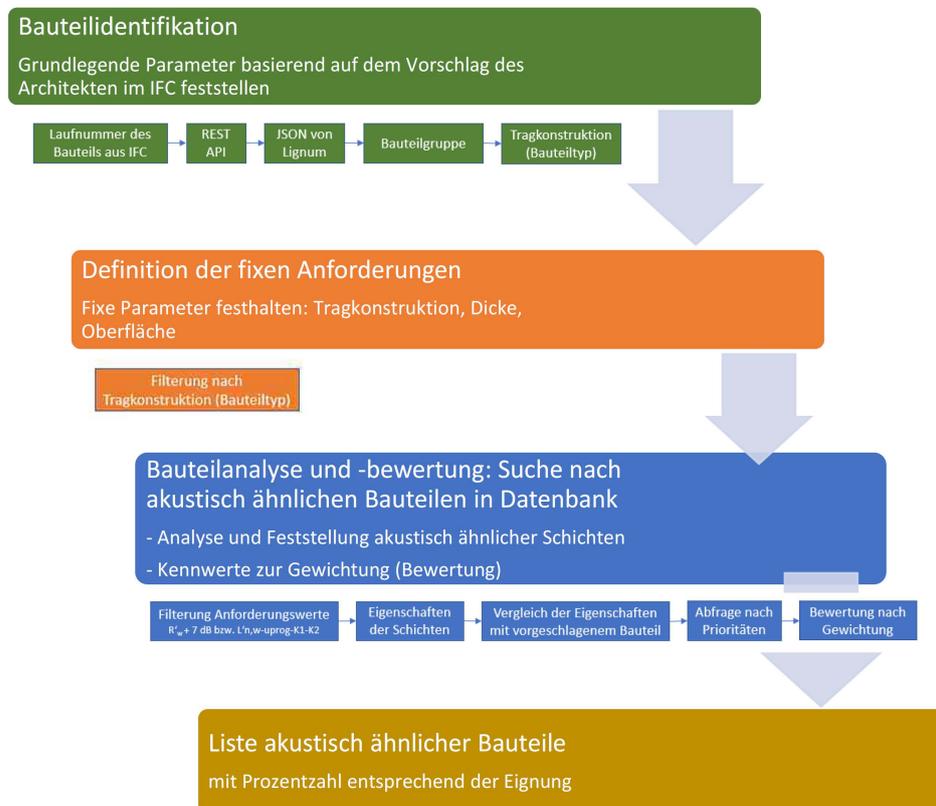
Thema: BIM-basierte Schallschutzplanung im Holzbau - Akustische Bauteilanalyse und -bewertung mit der Bauteil-Datenbank LignumData [Lauschke 2022a]

Bearbeiter: Muriel Lauschke

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Camille Châteauvieux-Hellwig, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: Das Ziel dieser Arbeit war es, anhand von physikalischen und bauakustischen Gesetzmäßigkeiten sowie Forschungsergebnissen zur akustischen Wirksamkeit einzelner Bauteile aus Holz und ihrer Schichten Kriterien für die schallschutztechnische Eignung zu formulieren und sie für eine automatisierte Bauteilanalyse und -bewertung anzuwenden. Ein in dieser Arbeit entwickelter Algorithmus sucht mit diesen Prüfkriterien auf Basis eines vorgeschlagenen Bauteils akustisch ähnliche Bauteile in einer Holzbaudatenbank (LignumData). Diese Arbeit ist ein erster Schritt in Richtung Nutzung von KI-Verfahren zur schalltechnische Prognose.



Abschlussarbeit 14 Programmatischer Ablauf der akustischen Bauteilanalyse und -bewertung aus der Studienarbeit Lauschke 2022b

Griesshammer, Studienarbeit 2021/2022

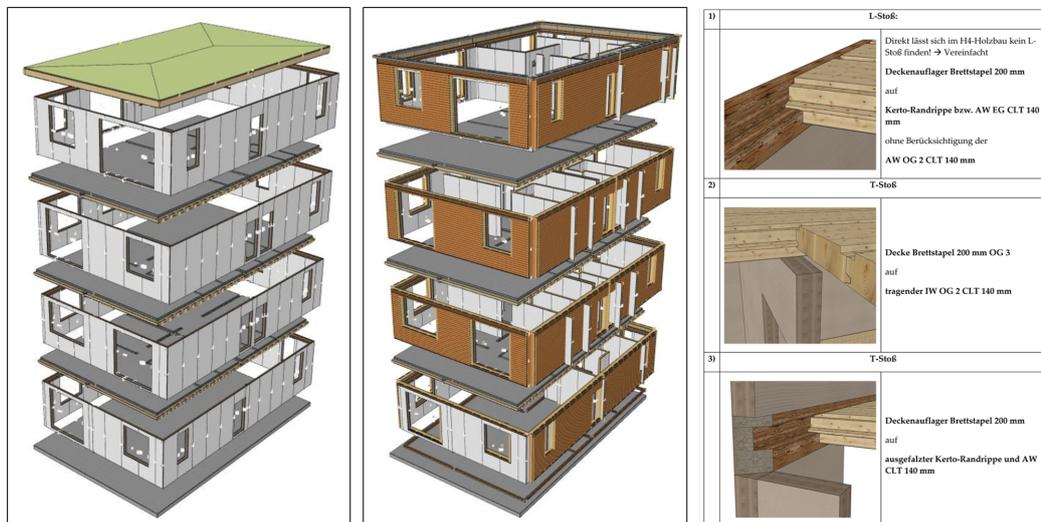
Thema: BIM-basierte Fachplanung von Stoßstellen und Konstruktionsdetails im mehrgeschossigen Holzbau [Grießhammer 2022]

Bearbeiter: Stefan Griesshammer

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Felix Frischmann

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wurde ein reales Bauvorhaben in mehrgeschossiger Holzbauweise – H4 Bad Aibling –, welches bisher klassisch mithilfe einer 2D und teilweise 3D CAD-basierten Planung umgesetzt wurde, in eine BIM-basierte Holzfachplanung überführt. Dazu wurde ein vorhandenes BIM-Modell aus Autodesk Revit, welches im Rahmen des Forschungsvorhabens erarbeitet wurde, mithilfe des IFC-Datenschemas in die Holzbau-spezifische Fachplanungssoftware cadwork überführt, um auf dieser Basis eine ausführungsbereite Holzfachplanung mit Fokus auf den Anschlussdetails umzusetzen. Hierbei wurde insbesondere untersucht, inwieweit mit den bestehenden technischen Möglichkeiten die Modell- und Datenassoziation zwischen zentralem BIM-Koordinationsmodell und Holzfachmodell realisiert werden kann. Hierbei erkannte Schwierigkeiten oder fehlende technische Lösungen wurden für zukünftige Entwicklungen dokumentiert und beschrieben. Es wurde die Rückführung relevanter Detailberechnungen, wie beispielsweise die detaillierte Bauteilmasse der Holzkonstruktionen, die in dieser Art im zentralen BIM-Modell nicht ermittelbar sind, an den zentralen BIM-Planungsprozess zur Verwendung in der Schallschutzprognose untersucht. Weiterhin wurde die Verwendung des Holzfachmodells in ANSYS für FE-Berechnungen untersucht und getestet. Hierbei stand vor allem die zukünftige Datenweitergabe für Materialien, Randbedingungen und mechanische Abbildung von Verbindungsmitteln im Vordergrund. Für die Darstellung der Verbindungsmittel wurden extra mehrere Detaillierungsgrade in cadwork abgebildet und untersucht.



Abschlussarbeit 15 BIM-Holz-Fachmodell des H4-Referenzbauwerks modelliert in cadwork im Rahmen der Studienarbeit Grießhammer 2022

Mutter, Bachelorarbeit 2022

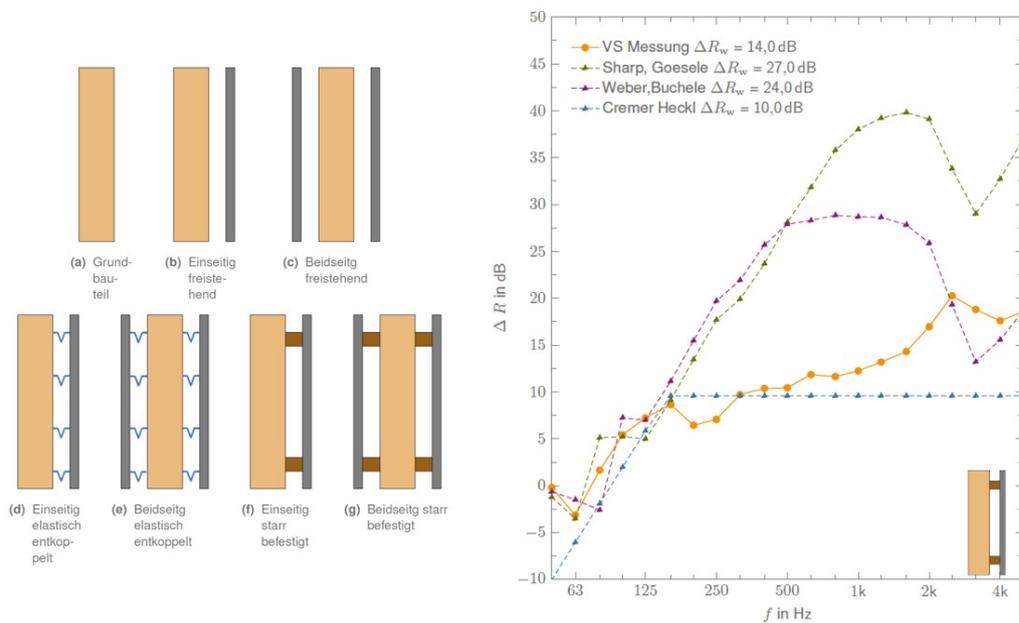
Thema: Betrachtung von vereinfachten und frequenzabhängigen Modellen zur Berechnung des Luftschallverbesserungsmaßes von Vorsatzkonstruktionen vor Holzmassivbauelementen [Mutter 2022]

Bearbeiter: Tobias Mutter

Bachelor Innenausbau, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wurde die Verbesserung der Schalldämmung von Holzmassivbauelementen durch Vorsatzschalen betrachtet. Dabei wurden verschiedene Berechnungsmodelle betrachtet und mit Prüfstandsmessungen verglichen. Bisher in der Planungspraxis verwendete Modelle beruhen auf der Theorie einer freistehenden Vorsatzschale ohne mechanische Verbindung zum Grundbauteil. Aus diesem Grund wurde untersucht, ob eine Erweiterung der Modelle für Konstruktionen mit elastisch gekoppelten, einseitigen Vorsatzschalen über punktförmige Verbindungen oder Federschienen möglich ist. Mit den Ergebnissen können Lücken in der Schallschutzprognose geschlossen werden.



Abschlussarbeit 16 Ausschnitt aus der Abschlussarbeit Mutter 2022

Griesshammer, Masterarbeit 2022

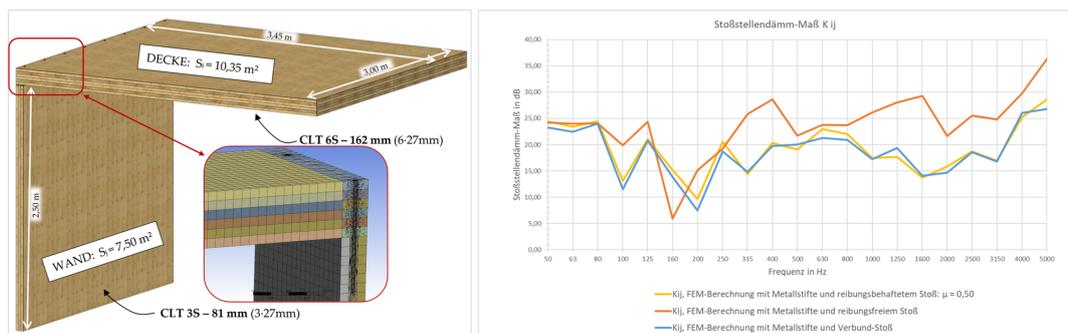
Thema: Entwicklung und Validierung eines FEM-Modells zur Berechnung und Prognose des Stoßstellendämm-Maßes von Brettsperrholz-Elementen [Grießhammer 2022]

Bearbeiter: Stefan Griesshammer

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Andreas Rabold, Felix Frischmann

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wurde aufbauend auf vorherigen Untersuchungen im Forschungsvorhaben sowie auch vorangegangenen Vorarbeiten die FE-basierte Bestimmung von Stoßstellendämm-Maßen für die BIM-integrierte Schallschutzplanung bzw. -prognose weiterentwickelt. Einerseits stand die Daten- und Modellintegration in den BIM-Planungsprozess mit den zugehörigen Schnittstellen zum zentralen BIM-Koordinationsmodell und Holzfachmodell im Vordergrund. Weiterhin wurde die Test- und Validierungsbasis ausgeweitet, um die Gültigkeit und mögliche Anwendungsgrenzen der Methode zu untersuchen. Auch die Rückführung von Ergebnissen in Form von katalog- und produktbasierter Planungsvorgaben zu Anschlussausführungen, Steifigkeiten von Verbindungsmitteln und akustischen Entkopplungen wurde untersucht und beschrieben. Damit wurde ein Grundstein für die im Forschungsvorhaben im Weiteren angestrebte Einbettung der numerischen Verfahren in die frühe Entwurfsphase in realen Bauvorhaben gelegt.



Abschlussarbeit 17 Stoßstellendämm-Maße als Ergebnis einer FE-Berechnung am L-Stoß in Holzbauweise aus der Masterarbeit Griesshammer 2022

Pfattheicher, Bachelorarbeit 2022

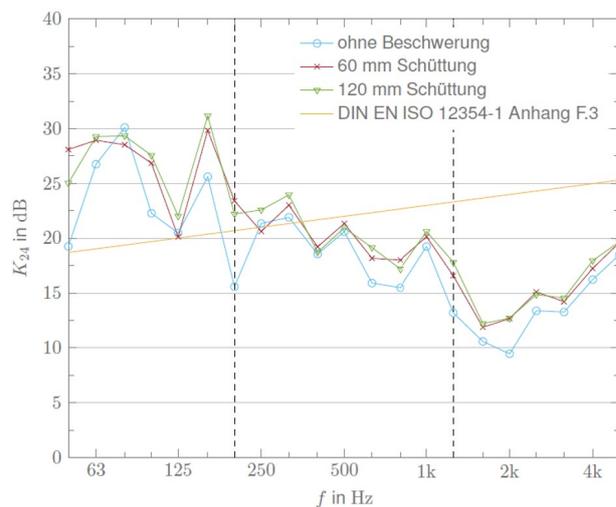
Thema: Experimentelle Untersuchungen verschiedener Einflussfaktoren zu Stoßstellendämm-Maßen von Massivholzelementen [Pfattheicher 2022]

Bearbeiter: Silas Pfattheicher

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Ulrich Schanda, Andreas Rabold

Zusammenfassung: In dieser Arbeit wurden Stoßstellendämm-Maße hinsichtlich unterschiedlicher Beschwerung von Bauteilen experimentell untersucht. Im Rahmen der Untersuchungen konnten zudem Ergebnisse aus vorangegangenen Abschlussarbeiten und Forschungsprojekten hinsichtlich der Auflast also der Stoßpressung bestätigt werden. Die zusätzlichen Untersuchungen zur Beschwerung von Decken- und Wandbauteilen zeigten einen Einfluss, der mit zunehmender Masse in eine Sättigung läuft. Für den Übertragungsweg zwischen Decke und Wand konnte das Verfahren nach DIN EN 12354-1 bestätigt werden. Auf diesem Weg hat die zusätzliche Beschwerung des nicht am Übertragungsweg beteiligten Bauteils einen vernachlässigbaren Einfluss. Auf dem Übertragungsweg zwischen der oberen und unteren Wand mit Beschwerung der Decke konnten die Erkenntnisse aus der Abschlussarbeit [Silberbauer 2021] bestätigt werden.



Abschlussarbeit 18 Messaufbau und Ausschnitt von Messergebnissen an Massivholzelementen zur Untersuchung von Einflussfaktoren auf das Stoßstellendämm-Maß in der Abschlussarbeit Pfattheicher 2022

Bayer, Masterarbeit 2022

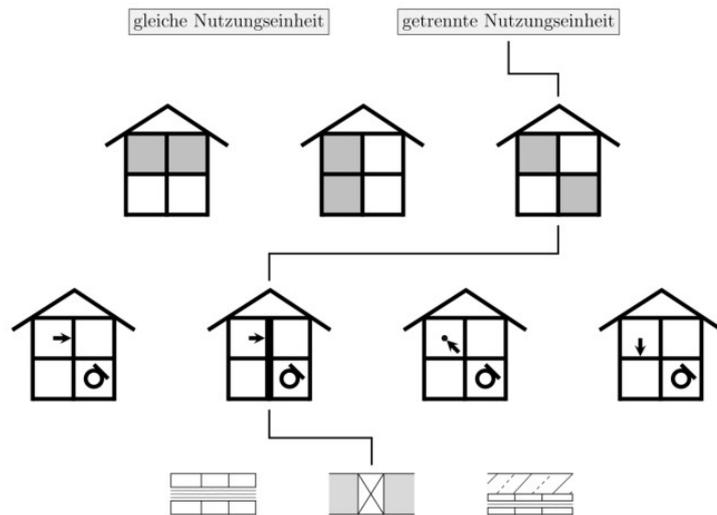
Thema: Übertragungsfunktionen zur Prognose von Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen [Bayer 2022]

Bearbeiter: Jeremias Bayer

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Fabian Schöpfer, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: Diese Arbeit führt die Arbeit an der Messung und Kategorisierung von Übertragungsfunktionen zur Prognose von Geräuschen aus gebäudetechnischen Anlagen aus den vorangegangenen Projekten an der TH-Rosenheim fort. Im Fokus stand dabei die Einführung einfacher Kategorien zur Katalogisierung von Übertragungsfunktionen als Grundlage für eine Einbindung in die Normung. Diese Kategorisierung schafft dabei die Möglichkeit im Rahmen eines digitalen Planungsprozesses die relevanten Informationen aus einem BIM auszulesen, um für definierte Übertragungssituationen den Nachweis für gebäudetechnische Anlagen zu führen.



Abschlussarbeit 19 Untersuchte Mess- und Senderraum-Konfigurationen für Übertragungsfunktionen aus gebäudetechnischen Anlagen in der Abschlussarbeit Bayer 2022

Lauschke, Masterarbeit 2022

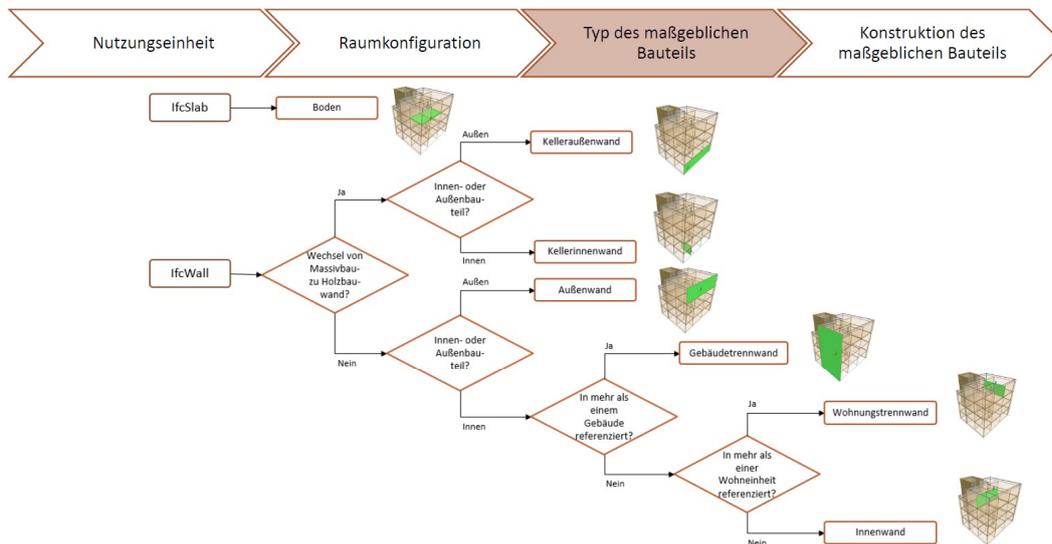
Thema: Konzept einer auf open-BIM-basierten Prognose des Körperschalls von gebäudetechnischen Anlagen im Holzbau [Lauschke 2022b]

Bearbeiter: Muriel Lauschke

Master Gebäudephysik, Technische Hochschule Rosenheim

Betreuung: Camille Châteauvieux-Hellwig, Ulrich Schanda

Zusammenfassung: Basierend auf der Masterarbeit von [Bayer 2022] wurden die notwendigen Eingangsparameter für die Einbindung einer Prognose der Schallübertragung von gebäudetechnischen Anlagen in einem open-BIM Planungsprozess definiert. Neben der notwendigen Process Map, die den Datenaustausch im Laufe der Prognose verdeutlicht, wurden auch die Exchange Requirements der Daten und ihr jeweiliges Format dokumentiert. Zusätzlich wurde eine Methode entickelt, um die Übertragungswege anhand eines Gebäudemodells in IFC zu ermitteln. Anhand einer Implementierung in .NET mit der Open Source Library Xbim wurde die Anwendbarkeit der entwickelten Methode demonstriert.



Abschlussarbeit 20 Visualisierung des Programmablaufs zur open-BIM-basierten Prognose des Körperschalls von gebäudetechnischen Anlagen im Holzbau aus der Masterarbeit Lauschke 2022b

6.2 Kooperative Promotion

Ein Teil des Arbeitsschwerpunkts *ASP 2: Anbindung der Prognoseverfahren an die digitale Gebäudeplanung* (s. Abbildung 19) wurde im Rahmen einer kooperativen Promotion von Camille Châteaueux-Hellwig, M.Sc. mit dem Arbeitsthema *BIM gestützter Planungsprozess zur Berechnung des Schall- und Schwingungsschutzes im Holzbau* an der TU München angemeldet. Die Betreuer sind Prof. Dr. André Borrmann vom Lehrstuhl für Computergestützte Modellierung und Simulation der TU München und Ulrich Schanda von der TH Rosenheim. Die Aufnahme in die Promotionsliste der TU München erfolgte im Juni 2019; die Promotion soll voraussichtlich Ende des Jahres 2023 abgeschlossen werden.

Die Promotion beschäftigt sich mit der Prognoseberechnung für den Schallschutz auf Grundlage von IFC-Dateien. Im Mittelpunkt steht dabei die Analyse der Stoßstellen zwischen Bauelementen aus IFC Datenmodellen, um die korrekten Übertragungswege und Stoßstellendämm-Maße zu ermitteln (s. Abbildung 18). Für das richtige Stoßstellendämm-Maß müssen der Typ der Stoßstelle, die Verbindungsmittel und eventuelle Entkopplungen aus dem Modell ausgelesen werden. Die Herausforderung ist dabei, dass die Informationen im ursprünglichen IFC Modell nicht semantisch sondern nur geometrisch vorhanden sind. Dies jedoch auch nur, wenn die Modellierung den Aspekt des Holzbaus und der Stoßstellen berücksichtigt und die Exporteinstellungen der Modellierungssoftware in der Lage sind, korrekte IFC-Dateien zu erstellen. Die benötigten Informationen sind nicht explizit hinterlegt und müssen aus vorhandenen Informationen durch geometrische und semantische Untersuchungen abgeleitet werden.

Im Rahmen der Promotion entstanden studentische Arbeiten, die von Camille Châteaueux-Hellwig, M.Sc. betreut wurden, zusätzlich zu einigen Veröffentlichungen im Rahmen von Konferenzen. In den studentischen Arbeiten [Stocker 2021] und [Lauschke 2021] wurde die Erstellung von IFC Modellen aus rein programmiertechnischer Sicht untersucht. D.h. es wurde keine Modellierungssoftware im herkömmlichen Sinne verwendet, sondern auf rein programmatischer Ebene mit dem Xbim Toolkit in der Sprache C# eine .NET Anwendung erstellt, die IFC Datenmodelle erstellt. Diese Arbeiten unterstützen die Promotion durch ein vertieftes Verständnis des IFC-Schemas und der programmiertechnischen Arbeit mit Xbim. Zusätzlich wurden erste Konzepte zur Anbindung an Datenbanken, Abfrage von Anforderungen (code compliance check) und die akustische Bewertung von Bauteilen erstellt [Lauschke 2022b].

In der Arbeit [Bodenschlägel 2021] wurde ein Planungsprozess betrachtet und ein Vorschlag für die Erstellung von Stoßstellen mit bestehenden IFC Entitäten erarbeitet. Diese Arbeit wurde auf der Jahrestagung für Akustik vorgestellt [Bodenschlägel et al. 2022]. In der Arbeit [Grießhammer 2022] wurde auf die Modellierung von BIM Modellen für einen hohen Detaillierungsgrad im Holzbau eingegangen.

Die Veröffentlichung [Châteaueux-Hellwig et al. 2020] wurde im Rahmen der Jahrestagung für Akustik 2020 zur Projektvorstellung genutzt. Hier stand die Vorstellung des open-

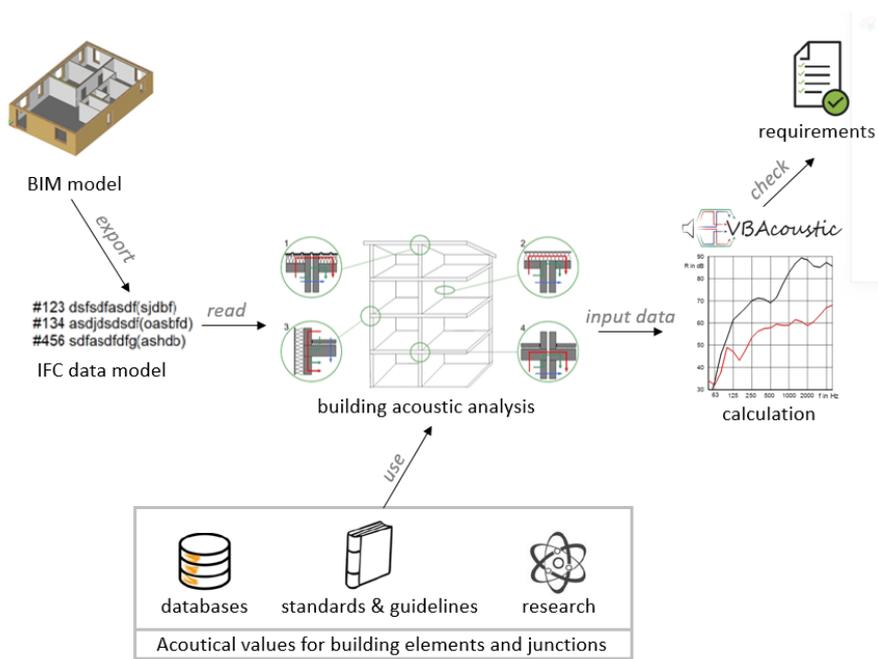


Abbildung 18 Berechnung des Schallschutzes auf Grundlagen der Informationen aus BIM

BIM Workflows im Zusammenhang mit Schallschutz im Holzbau im Vordergrund. Ergänzend wurde auf der Eurnoise 2021 das Projekt auf internationaler Ebene vorgestellt [Châteauvieux-Hellwig et al. 2021]. Auch hier wurde den Schallschutzexperten das Thema open-BIM mit IFC im Planungsprozess näher gebracht.

In den Veröffentlichungen zur ECPPM2020/21 [Châteauvieux-Hellwig und Borrmann 2020] und zur EG-ICE2021 [Châteauvieux-Hellwig u. a. 2021a] wurden die technischen Aspekte vorgestellt und mit einem Fachpublikum aus dem Bereich der Bauinformatik diskutiert. Im Jahr 2022 erfolgten eine Veröffentlichung im Journal Advanced Engineering Informatics [Châteauvieux-Hellwig u. a. 2022b] sowie die Diskussion der Arbeit auf der ECPPM 2022 in Trondheim [Châteauvieux-Hellwig u. a. 2022a].

7 Zusammenfassung und Ausblick

Im Laufe der Phase 1 des Forschungsschwerpunktes Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM¹-basierte Gebäudeplanung wurden zahlreiche Erkenntnisse und Ergebnisse im Bereich BIM und BIM-gekoppelte Schall- und Schwingungsschutzprognose gewonnen. Der Forschungsschwerpunkt wird mit der Anschlussförderung der Phase 2 fortgeführt.

Mit dem Fokus der Forschungstätigkeit auf den Schallschutz im mehrgeschossigen Holzbau wurden BIM-basierte Planungsprozesse analysiert, beschrieben und systematisiert aufbereitet. Die gewonnenen und veröffentlichten Erkenntnisse stehen den Planern im Holzbau damit zur Verfügung. Mit diesem Wissenstransfer ermöglicht das Forschungsteam eine zukünftig fortlaufende Validierung gegen die Planungspraxis mit dem aufgebauten Netzwerk aus Industriepartnern und Planungsbüros. Diese Ergebnisse bilden weiterhin eine wesentliche Grundlage für die Entwicklung von Schnittstellen vorhandener Berechnungs- und Planungswerkzeuge sowie der Neuentwicklung notwendiger BIM-gekoppelter Planungswerkzeuge. Hierzu wurde der Austausch und die Schnittstellen zwischen BIM Modellierungslösungen (z.B. Autodesk Revit und Allplan) und kommerziellen wie eigenen Planungswerkzeugen untersucht, bewertet und im Detail gegen Referenzgebäudemodelle validiert. In allen Arbeitsschritten wurde ein open-BIM Ansatz verfolgt. Dazu wurde das offene IFC²-Datenschema für digitale Gebäudemodelle hinsichtlich der Verwendbarkeit für Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz im mehrgeschossigen Holzbau analysiert und validiert. Eine reibungsfreie Nutzung von IFC ist derzeit in diesem Kontext noch nicht gegeben. Daher wurden notwendige Erweiterungen des IFC-Schemas für den Holzbau aufgezeigt und entsprechend mit den Arbeitsgruppen von buildingSMART diskutiert. Erste IFC-Erweiterungen für den Holzbau wurden prototypisch innerhalb der Prozesskette im Projekt implementiert und getestet.

Eine weitere Hürde im Planungsalltag bezüglich robuster Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz sind Eingangsdaten zu den vorhandenen Berechnungsverfahren. Die Ungenauigkeiten und teilweise fehlenden Berechnungsgrundlagen umfassen bauakustische Eigenschaften von Einzelbauteilen, Bauteilstoßstellen, Materialunsicherheiten und Einflüssen gebäudetechnischer Anlagen. Aufbauend auf Vorarbeiten wurde die Datengrundlage hierzu in der Projektlaufzeit weiter verbessert und ausgebaut. Dies erfolgte in enger Abstimmung mit dem LaSM³ und weiteren hier angegliederten Forschungsarbeiten. Die gewonnenen Erkenntnisse werden den Planern in der Praxis mithilfe von Veröffentlichungen,

¹Building Information Modeling

²Industry Foundation Classes

³Labor für Schallmesstechnik

Normungsarbeit und der an der TH Rosenheim entwickelten, internetbasierten Datenbank VaBData zugänglich gemacht. Neben der Generierung von Eingangsdaten stand in diesem Projekt auch die reibungs- und verlustfreie informationstechnologische Verknüpfung der Daten mit den Bauwerksmodellen im Fokus.

Die mittelständisch geprägte Struktur der Bau- und Planungsfirmen im Holzbau zusammen mit der hohen Projektauslastung und einem Fachkräftemangel in der Branche stellen eine weitere Herausforderung für die BIM-Adaption in der Praxis dar. Die Vielzahl von digitalen Werkzeugen und Softwarelösungen ist nur schwer überschaubar, da diese oft arbeitsintensiv gegen den Planungsalltag validiert werden muss. Unter anderem aus diesem Grund wurde mit dem Forschungsvorhaben wiederholt der Wert offener Standards und offener digitaler Umgebungen (open-BIM) aufgezeigt. Wesentlicher Teil hiervon ist die klare Definition und Spezifikation von Schnittstellen und Fachmodellen für Schall- und Schwingungsschutz. Teil der erzielten Forschungsergebnisse ist eine Definition eines BIM-Fachmodells für den Holzbau in bauakustischen Anwendungen und Prognoseverfahren inklusive des hierfür notwendigen LoD⁴ (Level of Geometry, Level of Information).

Zahlreiche Studierende konnten aktiv in das Forschungsvorhaben in Form von Studien- und Abschlussarbeiten eingebunden werden. Themen der BIM-basierten Schallschutzplanung wurden im Gegenzug in den Lehrbetrieb integriert. Dieser wichtige Wissenstransfer an junge angehende Ingenieure wird in der anschließenden Forschungsphase des Projekts ausgebaut und vertieft werden. Weiterhin werden Weiterbildungsmaßnahmen für Ingenieure anvisiert, um gerade mittelständische Planungsbüros auf dem Weg zur BIM-Adaption und BIM-Expertise zu unterstützen.

Der Austausch mit Wissenschaftlern auf Konferenzen, Fachmessen und mit Industriepartnern aus dem Fachbereich zeigte, dass das Thema topaktuell ist und zukünftig noch an Bedeutung gewinnen dürfte. Die aufgezeigten Herausforderungen der Branche im Bereich Holzbau, BIM und Schallschutzplanung zeigen den Bedarf für Forschungsergebnisse, praxistaugliche Lösungen und robuste Eingangsdaten in diesem Bereich auf. Die weitere Projektphase setzt mit der vorhandenen und im Projekt weiter ausgebauten Expertise in diesen Disziplinen an der Technischen Hochschule Rosenheim und im Forschungsschwerpunkt an. Die erarbeiteten BIM-basierten Prozesse und Spezifikationen zu Schnittstellen und Fachmodellen für den Schall- und Schwingungsschutz werden weiter verfeinert und ausgearbeitet werden. Weiterhin wird die Validierungsbasis und Robustheit der Lösungen im Netzwerk aus Forschungs- und Industriepartnern vergrößert und verbessert. Die neu erarbeiteten Methoden für die Schallschutzprognose werden gegen weitere Bau- und Planungsszenarien getestet, validiert und weiterentwickelt werden. Ein Schwerpunkt der weiteren Forschungstätigkeit wird in einer katalog- und wissensbasierten Aufbereitung der gewonnenen Erkenntnisse und Ergebnisse liegen. Damit sollen Prognosemodelle für den Schall- und Schwingungsschutz in BIM-basierten Planungsprozesse bereits in einer frühen Projektphase zugänglich gemacht werden und über die Planungs- und Bauphase reibungsfrei dem Grad der planerischen Ausarbeitungstiefe folgen können. In diesem Kontext sollen die Methoden für den Schall- und Schwingungsschutz in der weiteren Projektphase um KI-basierte

⁴Level of Development

Literatur

- Bayer, J. (2022). „Übertragungsfunktionen zur Prognose von Geräuschen aus gebäude-technischen Anlagen: von der Messung bis zur normativen Verwendung“. Masterarbeit. Technische Hochschule Rosenheim.
- Bedrick, J. J. (2018). *2018 LOD Specification: July 2018 Public Comment Draft*. Hrsg. von BIMForum.
- Blödt, A., A. Rabold und M. Halstenberg (2019). *Schallschutz im Holzbau: Grundlagen und Vorbemessung: Holzbauhandbuch, Reihe 3, Teil 3, Folge 1*. Hrsg. von Holzbau Deutschland-Institut e.V.
- Bodenschlägel, K. (2020). „BIM-gestützte Prozesse und Bauphysik-Berechnungen für einen Kindergarten in Modulbauweise“. Studiengang Gebäudephysik. Studienarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
- (2021). „BIM gestützte Schallschutz Planung mit BIM.click und VBAcoustic“. Studiengang Gebäudephysik. Masterarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
- Bodenschlägel, K., F. Frischmann, A. Rabold und C. Châteauevieux-Hellwig (2022). „BIM-gestützte Schallschutz-Planung“. In: *DAGA* (Stuttgart).
- Borrmann, A., R. Elixmann, K. Eschenbruch, C. Forster, K. Hausknecht, D. Hecker, M. Hochmuth, C. Klempin, M. Kluge, M. König, T. Liebich, G. Schäferhoff, I. Schmidt, M. Trzeciak, J. Tulke, S. Vilgertshofer und B. Wagner (2019). „Teil 7 - Handreichung BIM - Fachmodelle und Ausarbeitungsgrad (engl. Level of Development - LOD)“. In: *BIM4INFRA2020. Handreichungen und Leitfäden*. Hrsg. von Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur.
- Borrmann, A., M. König, C. Koch und J. Beetz (2015). *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. VDI-Buch. Wiesbaden: Springer Vieweg.
- buildingSMART International (2019). *IFC4 Documentation*.
- Châteauevieux-Hellwig, C., J. Abualdenien und A. Borrmann (2021a). „Analysis of the early-design timber models for sound insulation analysis“. In: *EG-ICE 2021*.
- (2022a). „A proposed IFC extension for timber construction buildings to enable acoustics simulation“. In: *ECPPM 2022*.
- (2022b). „Analysis of early-design timber models for sound insulation“. In: *Advanced Engineering Informatics*.
- Châteauevieux-Hellwig, C., S. Bacher, M. Martin, T. Ecker, M. Rudolph und A. Rabold (2019). *Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise - Luft und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen, Forschungsbericht ift Rosenheim*. Rosenheim.
- Châteauevieux-Hellwig, C. und A. Borrmann (2020). „Towards semantic enrichment of early-design timber models for noise and vibration analysis“. In: *Proceedings of the 13th European Conference on Product and Process Modelling (ECPPM 2020)*.

- Châteauvieux-Hellwig, C., E. Geladze, A. R. Mayr, U. Schanda und F. Schöpfer (2020). „Prognoseverfahren zum Schall- und Schwingungsschutz für BIM-basierte Gebäudeplanung“. In: *Fortschritte der Akustik - DAGA* (Hannover, 16.–19. März 2020). Hrsg. von Deutsche Gesellschaft für Akustik e.V.
- Châteauvieux-Hellwig, C., U. Schanda, E. Geladze, F. Schöpfer, F. Frischmann, A. Rabold und A. Mayr (2021b). „An open BIM workflow for the prediction of sound insulation in timber constructions“. In: *EuroNoise 2021* (Madeira, Portugal).
- Daum, S. (2018). *Konzeption einer raum-zeitlichen Anfragesprache für die Analyse und Prüfung von 4D-Gebäudeinformationssystemmodellen: Dissertation*. Hrsg. von Technische Universität München, Ingenieur fakultät Bau Geo Umwelt. München.
- Dietl, Michael (2015). „Analyse von BIM-basierten Kollaborationswerkzeugen“. Bachelor's Thesis im Studiengang Bauingenieurwesen zur Erlangung des akademischen Grads eines Bachelor of Science (B. Sc.) München: TU München.
- DIN EN 15657:2017-10. *Akustische Eigenschaften von Bauteilen und von Gebäuden - Messung des Körperschalls von haustechnischen Anlagen im Prüfstand für alle Installationsbedingungen*.
- DIN EN 1995-1-1:2010-12. *Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten: Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Regeln und Regeln für den Holzbau: Deutsche Fassung EN 1995-1-1:2004 + AC:2006 + A1:2008*.
- DIN EN ISO 16739:2017-04. *Industry Foundation Classes (IFC) für den Datenaustausch in der Bauindustrie und im Anlagenmanagement*.
- E DIN EN 12354-5:2022-02 (2022). *Bauakustik - Berechnung der akustischen Eigenschaften von Gebäuden aus den Bauteileigenschaften: Teil 5: Installationsgeräusche*.
- Egger, M., K. Hausknecht, T. Liebich und J. Przybylo (2013). *BIM-Leitfaden für Deutschland: Information und Ratgeber, Endbericht*. Hrsg. von Z. Forschungsprogramm.
- Grießhammer, S. (2021). „FEM-Berechnungen für Stoßstellendämm-Maß“. Studienarbeit. TH Rosenheim und Hochschule für Technik Stuttgart.
- (2022). „BIM-basierte Fachplanung von Stoßstellen und Konstruktionsdetails im mehrgeschossigen Holzbau“. Studienarbeit. TH Rosenheim und Hochschule für Technik Stuttgart.
- Horger, T., S. Kollmannsberger, F. Frischmann, E. Rank und B. Wohlmuth (2014). „A new mortar formulation for modeling elastomer bedded structures with modal-analysis in 3D“. In: *Advanced modeling and simulation in engineering sciences* 1.1.
- Huber, A. (2018). „Ermittlung von Planungsdaten für den Schallschutz von Außenwänden in Holzbauweise mit unterschiedlichen Dämmstofftypen: Datensammlung - Bauteilmessung - Simulation“. Bachelorarbeit. Hochschule Rosenheim.
- (2020). „Entwicklung FEM basierter Modelle zur Vorhersage schalltechnischer Eigenschaften von Massivholzelementen mit Wärmedämmverbundsystemen aus nachwachsenden Rohstoffen“. Masterarbeit. Technische Hochschule Rosenheim.
- Huber, A., S. Mecking, A. Rabold und V. Wittstock (2020). *Verbundvorhaben: Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen (NawaRo-Dämmstoffe): Teilvorhaben Arbeitsbereich 2 „Schallschutz“: Forschungsbericht. IFC 4x3 Documentation* (2022).

- Kaufmann, H., W. Huß, S. Schuster und M. Stieglmeier (2017). *Optimierte Planungsprozesse für Gebäude in vorgefertigter Holzbauweise*. leanWOOD. Hrsg. von TU München. München.
- Kohrmann, M., R. Vörtl, G. Müller, U. Schanda und M. Buchschmid (2014). *Planungshilfen zur schall- und schwingungstechnischen Beschreibung von Holzdecken und zur Bewertung und Dimensionierung von angepassten Schwingungsschutzsystemen: Abschlussbericht zum AiF Forschungsvorhaben VibWood*.
- Kratzer, M. (2019). „Rechnergestützte Prognoseverfahren für die Schalldämmung von Außenbauteilen“. Bachelorarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
- Lauschke, M. (2021). „BIM im Holzbau und Schallschutz - Erstellung eines Holzbau-Modells in IFC4 mit dem xBIM-Toolkit“. Studienarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
- (2022a). „BIM-basierte Schallschutzplanung im Holzbau - Akustische Bauteilanalyse und -bewertung mit der Bauteil-Datenbank LignumData“. Studienarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
 - (2022b). „Konzept einer auf openBIMbasierten Prognose des Körperschalls durch gebäudetechnische Anlagen im Holzbau“. Masterarbeit. Rosenheim: Technische Hochschule Rosenheim.
- Liebich, T. (2017). *Normen und technische Regelwerke als Leitplanken der BIM-Anwendung*.
- Löffler, S. (2018). „Bauteilkatalog für Holzdecken zur Überarbeitung der DIN 4109-33; Prüfung, Zusammenstellung, Validierung“. Bachelor. Rosenheim: TH Rosenheim.
- Mecking, S., T. Mutter und A. Rabold (2022). „Verbesserung des Schalldämm-Maßes durch Vorsatzschalen im Holzmassivbau“. In: *Bauphysik & Gebäudetechnik* (28.–29. Apr. 2022). Hrsg. von Forum Holzbau. Rosenheim, Deutschland.
- Mutter, T. (2022). „Betrachtung von vereinfachten und frequenzabhängigen Modellen zur Berechnung des Luftschallverbesserungsmaßes von Vorsatzkonstruktionen vor Holzmassivbauelementen“. Bachelorarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
- Pfattheicher, S. (2022). „Experimentelle Untersuchungen verschiedener Einflussfaktoren zu Stoßstellendämm-Maßen von Massivholzelementen“. Bachelorarbeit. Technische Hochschule Rosenheim.
- Rabold, A. und S. Bacher (2018). *Praxishandbuch zum Schallschutz im Holzbau, Projektkoordination: Holzbau Deutschland - Zentralverband des Deutschen Baugewerbes, Projektbericht ift Rosenheim*. Rosenheim.
- Rabold, A., C. Châteauvieux-Hellwig und S. Mecking (2017). „Optimierung von Holzdecken in Bezug auf die DIN 4109“. In: *8. HolzBauSpezial*. Hrsg. von Forum Holzbau.
- Rabold, A., B. Wohlmuth, T. Horger, E. Rank, S. Kollmannsberger, F. Frischmann, A. Paolini, U. Schanda, S. Mecking, T. Kruse, C. Châteauvieux-Hellwig, M. Schramm, G. Müller, M. Buchschmid und C. Winter (2018). *Vibroakustik im Planungsprozess für Holzbauten: Modellierung, numerische Simulation, Validierung, Dachbericht zum Forschungsvorhaben*. München und Rosenheim.
- Rathfelder, G. (2020). „Messtechnische Ermittlung von Stoßstellendämm-Maßen von Wohnmodulen in Holzmassivbauweise“. Masterarbeit. Technische Hochschule Rosenheim.
- Scheuerpflug, M. (2019). „Messung der schalltechnischen Eigenschaften von Holzbalkendecken mit optimierten abgehängten Unterdecken zur Erweiterung des Bauteilkatalogs

- und vergleichenden Analyse der Wirtschaftlichkeit“. Bachelorarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
- Schöpfer, F., A. R. Mayr und U. Schanda (2021). „Schallschutz bei gebäudetechnischen Anlagen planen: Praxistaugliches Prognoseverfahren nutzt Übertragungsfunktionen im Holzbau“. In: *Bauen+* 5, S. 21–25.
- Silberbauer, V. E. (2020). „Stoßstellendämm-Maße in der Hybridbauweise“. Studienarbeit. Rosenheim: Technische Hochschule Rosenheim und Hochschule für Technik Stuttgart.
- (2021). „Stoßstellen im Hybridbau: Theoretischer Vergleich, Simulation und messtechnische Validierung in der Bausituation“. Masterarbeit. Technische Hochschule Rosenheim.
- Stocker, T. (2021). „Schallschutzoptimierung im Holzbau: Erstellung von IFC-Datenmodellen und Entwicklung eines Automated Code Compliance Checks“. Masterarbeit. München: TU München.
- Timpte, A. (2016). „Stoßstellen im Massivholzbau: Konstruktionen, akustische Kenngrößen, Schallschutzprognose“. Masterarbeit. Berlin: Technische Universität Berlin und Hochschule Rosenheim.
- Timpte, A., S. Mecking, U. Schanda und A. Rabold (2017). „Vibration reduction indices of CLT junctions“. In: *Proceedings of ICSV24*.
- VDI 2081 Blatt 1:2019-03. *Raumlufttechnik - Geräuscherzeugung und Lärminderung*. Hrsg. von Verein Deutscher Ingenieure.
- Zehetmayr, R. (2018). „Rechnergestützte Visualisierung eines Berechnungsverfahrens zur Prognose des Bau-Schalldämm-Maßes von Trennwänden auf Grundlage eines Bauteilkatalogs“. Bachelorarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.
- (2021). „Datenbankgestütztes Berechnungstool zur frequenzabhängigen Schallschutzprognose im Holzbau“. Masterarbeit. Rosenheim: TH Rosenheim.