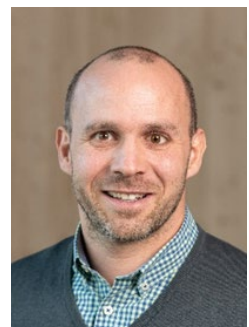


Einfluss der Gebäudehöhe auf den Schallschutz im modularen Geschossbau – aktuelle Messungen vom Luisenblock West, Berlin

Hendrik Reichelt
Kaufmann Bausysteme GmbH
Reuthe, Österreich



Einfluss der Gebäudehöhe auf den Schallschutz im modularen Geschossbau – aktuelle Messungen vom Luisenblock West, Berlin

1. Einleitung

Die Geschichte von KAUFMANN BAUSYSTEME GMBH beginnt mit Holz. Ganz natürlich. Statt von Innovation sprach man vor über 65 Jahren von Weiterentwicklung und von der bestmöglichen Nutzung des Werkstoffes Holz. Ganz im Sinne der Wirtschaftlichkeit und der Nachhaltigkeit. Daran hat sich bis heute nichts verändert.

Mit dem Projekt Hotel Ammerwald in Reutte, Österreich, gelang es 2009 das erste Großprojekt in Modulbauweise umzusetzen. Damit wurde der Startschuss für das serielle Bauen mit Holzmodulen gesetzt, wo zuvor der Holzmodulbau nur für kleine Anbauten oder Einzimmerappartements angewandt wurde. Weitere Projekte mit immer wiederkehrenden, gleichen Wohneinheiten für Hotels, Gesundheitszentren und Studentenwohnheimen konnten in der Folge umgesetzt werden. Mit dem Studentenwohnheim «Woodie», einem 6-geschossigen Gebäude mit Brettsperrholz als sichtbares Material für die Tragstruktur, konnte das erste Holzgebäude in Gebäudeklasse 5 in Hamburg errichtet werden.



Abbildung 1: Hotel Ammerwald, Reutte, AT
© Adolf Bereuter



Abbildung 2: Woodie; Hamburg, DE
© Götz Wrage

Neben den, für sich als geschlossene Appartements, eingesetzten Raummodulen hat sich die Modulbauweise auch für die Herstellung von Wohnhäusern für Mehrzimmerwohnungen, sowie Schul- und Bürogebäuden etabliert. Das bisher größte von Kaufmann Bausysteme umgesetzte Bauprojekt ist das Bürogebäude auf dem Luisenblock West in Berlin. Das Bürogebäude (17.100 GBF) mit 400 Büros, bestehend aus 455 einzelnen Raummodulen, wurde in einer Bauzeit von weniger als 15 Monaten fertiggestellt und im Dezember 2021 an den Bauherrn übergeben.



Abbildung 3: Luisenblock West, Berlin, DE
© Sauerbruch Hutton Gesellschaft von Architekten mbH

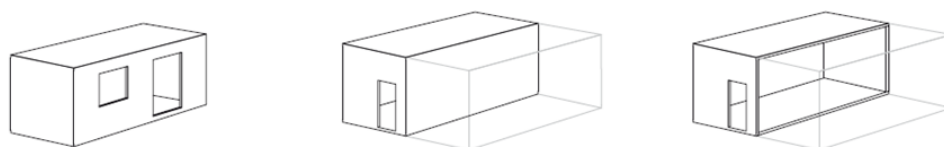
Alle diese seriell gefertigten Projekte sind für sich immer Prototypen gewesen, die für die Baugenehmigung den örtlichen Anforderungen an die Tragfähigkeit, den Brandschutz, die Energieeffizienz, ... und den SCHALLSCHUTZ entsprechen mussten.

Der Nachweis für die Erfüllung der Schallschutzanforderungen kann bisher in der Holzmodulbauweise nur über Bauschallmessungen vor Ort erbracht werden. Für einen rechnerischen Nachweis steht derzeit kein bauaufsichtlich eingeführtes Bemessungskonzept zur Verfügung. Das planerische Risiko für den Schallschutz liegt somit bei der ausführenden Firma. Um dieses Risiko für Kaufmann Bausysteme stetig zu minimieren, werden schallschutzspezifische Fragestellungen bei laufenden Bauprojekten untersucht.

Bei dem Projekt Luisenblock West wurde der Einfluss der Geschosshöhe auf den Luft- und Trittschallschutz der Geschosdecken durch eine systematische Messreihe untersucht, die im vorliegenden Beitrag diskutiert wird.

2. Besonderheiten der Raummodulbauweise in Bezug auf den Schallschutz

Die dreidimensionalen Raummodule werden bei Kaufmann Bausysteme ausschließlich in holzmassivbauweise errichtet und in einer Werkhalle vorgefertigt. Der Vorfertigungsgrad kann hierbei bis hin zu der fest installierten Möblierung ausgeweitet werden. Jedenfalls können alle Oberflächen, Anschlüsse und Installationen in hoher Qualität vorgefertigt und die Montagezeiten auf der Baustelle auf ein Minimum reduziert werden. Die Module werden für gewöhnlich als Quader ausgeführt und bestehen aus vier rechteckigen Wandelementen, einem Boden- und einem Deckenelement. Wird aus mehreren Modulen ein Raum errichtet, zum Beispiel für ein größeres Büro oder Klassenzimmer, so werden Wandelemente durch Träger und Stützen ersetzt.

**Einzelmodul**

1 Raummodul = 1 Haus

Kleinwohnung, Büro,
Anbau, Ausstellungsraum**geschlossenes Modul**

1 Raummodul = 1 Raum

Hotel, Pflegeheim,
Studentenheim**offenes Modul**

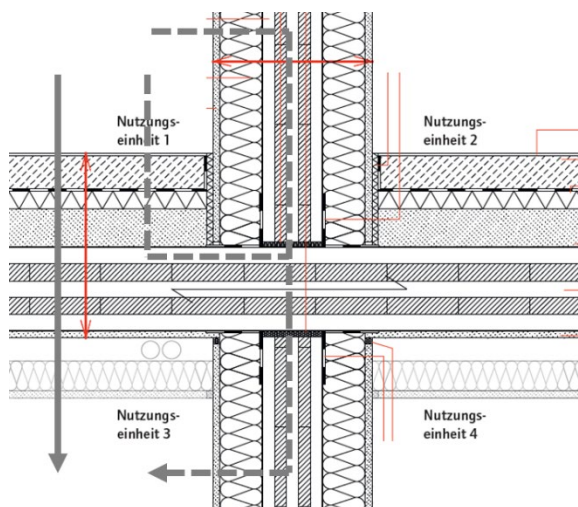
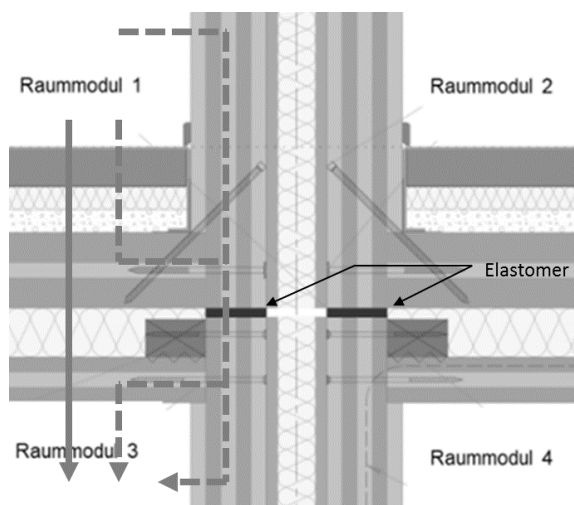
x Raummodule = 1 Raum

Wohnbau, Schule,
Kindergarten, Büro

Abbildung 4: Module mit unterschiedlichen Öffnungen (Quelle: zuschnitt 67 Raumstapel S.6; proHolz Austria)

Durch die Fügung der Module auf der Baustelle zu einem Gebäude findet man im Gegensatz zum zweidimensionalen Elementbau immer «doppelte» Trennwände und -decken, die zueinander einen bestimmten Abstand haben. Dies mag auf den ersten Blick zu Mehrkosten führen. Diese werden jedoch durch andere Vorteile, wie eine kurze Bauzeit kompensiert. Zusätzlich sind Vorsatzschalen meist überflüssig. Daraus resultiert, dass die Oberflächen der tragenden Trennwände und -decken optimaler Weise in Holz-sichtoberflächen, allenfalls mit einem Anstrich, ausgeführt werden.

Die Mehrschaligkeit der Wände und Decken wirkt sich auf die Direktschallübertragung (durchgezogene Linie) positiv aus. Das Fehlen von Vorsatzschalen ist für die Schallübertragung über die Schallnebenwege (gestrichelte Linie) bei den Decken von Nachteil. Aus diesem Grund werden übereinanderliegende Module auf Elastomerlager gestellt. Der Vergleich der Regeldetails der konventionellen Brettsperrholzbauweise in Abbildung 5 und der Holzmodulbauweise in Abbildung 6 verdeutlicht wie bedeutend das Elastomerlager für die Unterbindung der Schallübertragung über die Schallnebenwege ist.

Abbildung 5: Knotendetail Massivholzbauweise
(Quelle: Bauteilfügung twmxgdm02 www.dataholz.eu)Abbildung 6: Knotendetail Holzmodulbauweise
(Quelle: Kaufmann Bausysteme GmbH)

Um eine optimale Entkopplung durch die Elastomerlager erzielen zu können, müssen diese aufgrund der vorherrschenden statischen Belastung nach ihrer statischen Belastbarkeit ausgewählt werden. Als Modell für die Auslegung der Lager wird das Prinzip des Ein-Massenschwingers herangezogen und die vorherrschende Eigenfrequenz f_0 bestimmt, die wiederum als Indiz für die Wirksamkeit der Entkopplung herangezogen wird. Auf die genaue Schwingungslehre wird an dieser Stelle nicht eingegangen und auf [1] verwiesen. Die Eigenfrequenz f_0 ist bekanntermaßen proportional von der mitschwingenden Masse m (Gewicht der Module) und der Federsteifigkeit k (dyn. Steifigkeit des Elastomerlagers) abhängig. Dies bedeutet, dass mit steigender Auflast die Steifigkeit des Elastomerlagers erhöht werden kann um die gleiche Abstimmfrequenz zu erhalten. In der Baupraxis werden in einem Gebäude deshalb je Etage unterschiedlich steife Lager eingebaut, von weicher oben nach steifer unten.

Ob diese Theorie des Ein-Massenschwingers auf die Holzmodulbauweise anzuwenden ist wurde mit der im Folgenden diskutierten Messreihe untersucht.

3. Beschreibung der Messreihe am Bürogebäude Luisenblock West

Der Luisenblock West ist ein 7-geschossiges Bürogebäude (EG + 6 OG) in Massivholzmodulbauweise, das in einer H-Form orientiert ist. An dem Erschließungskern in Beton-Massivbauweise (Querstich im H) schließen die Holzmodule in alle vier Richtungen an.

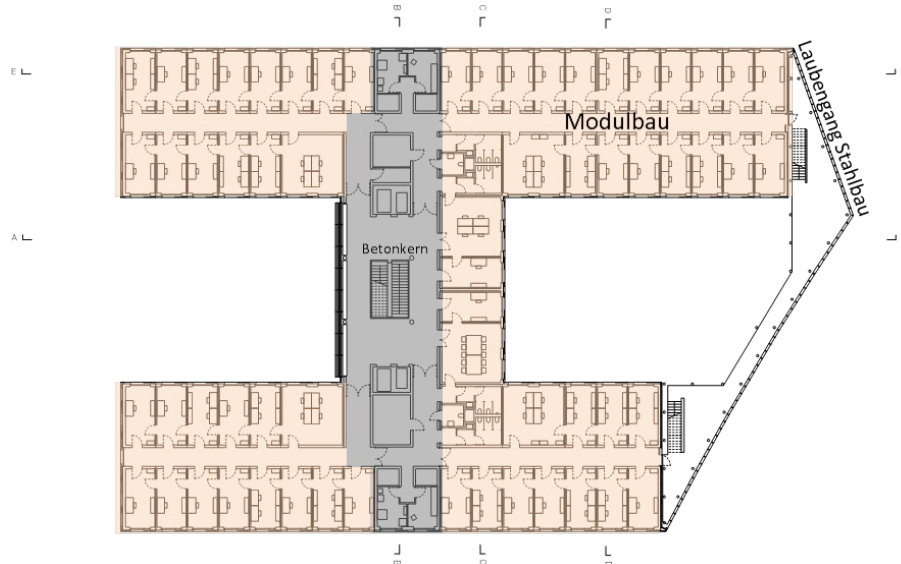


Abbildung 7: Grundriss Luisenblock West © Kaufmann Bausysteme GmbH



Abbildung 8 Längsschnitt Luisenblock West © Kaufmann Bausysteme GmbH

Zur Untersuchung des Einflusses der Gebäudehöhe auf den Luft- und Trittschallschutz in der Geschößtrennung wurden insgesamt 44 Trittschallmessungen und 14 Luftschallmessungen an jeweils übereinanderliegende Büros durchgeführt (Siehe ↓ in Abbildung 8). Bei der Auswahl der übereinanderliegenden Räume für die Schallmessung wurde darauf geachtet, dass Module mit unterschiedlicher Orientierung im Gebäude ausgesucht wurden. Die Anforderungen an den Trittschall wurden mit einem bewerteten Normtrittschallpegel $L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$ und für den Luftschall mit einem bewerteten Bau-Schalldämmmaß $R'_{(w)} \geq 54 \text{ dB}$ vom Bauherren festgelegt.

Das holzbau handbuch Reihe 5 Teil 3 Folge 1 Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung [2] definiert das Schallschutzniveau mit Basis, Basis+ und Komfort in Tabelle 2 auf Seite 13. Anhand dieser Tabelle ist die Qualität der verbauten Situation im vorliegenden Projekt besser einzuordnen. Für sämtliche Messungen werden deswegen die Messergebnisse inkl. der Spektrumsanpassungswerte zur Berücksichtigung der Frequenzen ab 50 Hz mit ausgewertet.

Tabelle 2 Normative Anforderung und Empfehlung für wichtige Zielwerte			
1	Schallschutzniveau		
	2	3	4
Bauteil / Übertragungsweg:	BASIS \triangle DIN 4109-1:2018	BASIS +	KOMFORT
1 Wohnungstrennwand	$R'_{w} \geq 53$ dB	$R'_{w} \geq 56$ dB	$R'_{w} \geq 59$ dB
2 Reihenhaustrennwand	$R'_{w} \geq 62$ dB	$R'_{w} \geq 62$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 62$ dB ^{1) 5)}	$R'_{w} \geq 67$ dB $R_w + C_{50-5000} \geq 65$ dB ^{1) 5)}
3 Wohnungstrenndecke	$R'_{w} \geq 54$ dB	$R'_{w} \geq 57$ dB	$R'_{w} \geq 60$ dB
4 Wohnungstrenndecke Trittschallpegel	$L'_{n,w} \leq 53$ dB ³⁾	$L'_{n,w} \leq 50$ dB $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 50$ dB ²⁾	$L'_{n,w} \leq 46$ dB $L_{n,w} + C_{1,50-2500} \leq 47$ dB ²⁾
5 Dachterrassen und Loggien mit darunterliegenden Wohnräumen	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
6 Decken unter Laubengängen (in alle Schallausbreitungsrichtungen)	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
7 Treppenlauf und Treppenpodest	$L'_{n,w} \leq 53$ dB	$L'_{n,w} \leq 50$ dB	$L'_{n,w} \leq 46$ dB
8 Außenlärm nach Lärmpegelbereich und Anforderungen der DIN 4109			Anforderungen nach DIN 4109 inkl. Berücksichtigung $c_{tr,50-5000}$ für das opake Bauteil ⁴⁾
9 Weitere Bauteile	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-1:2018	nach DIN 4109-5:2019 ⁶⁾

¹⁾ ergänzender Luftschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken
²⁾ ergänzender Trittschallanforderungswert nur ans Bauteil ohne Flanken
³⁾ Sonderregelung für Deckenkonstruktionen, die der DIN 4109-33:2016 zuzuordnen sind, ansonsten $L'_{n,w} \leq 50$ dB
⁴⁾ Für Fensterflächenanteile über 30% gesonderte Betrachtung, reine Bauteilanforderung
⁵⁾ Anforderung an die Doppelschalenwand, beide Wände
⁶⁾ nach jeweils gültiger Fassung oder E-DIN 4109-5:2018

Abbildung 9: Tabelle 2 Normative Anforderungen und Empfehlungen für wichtige Zielwerte aus holzbau handbuch R3T3F1 [2]

3.1. Auswertung Trittschallmessungen

Für die Trittschallmessungen wurde an 7 Positionen (vgl. Abbildung 9) übereinanderliegenden Räumen vom 6. bis zum 1.(wo möglich auch ins EG) ausgewählt.



Abbildung 10: Positionen der Trittschallmessungen ©Kaufmann Bausysteme GmbH

Die Auswahl der Messpositionen wurde so getroffen, dass neben dem Einfluss der Geschöböhe weiter Faktoren untersucht werden können, die möglicherweise das Trittschallmessergebnis beeinflussen. Es wurde darauf geachtet, dass vergleichbare Situationen mindestens an zwei unterschiedlichen Stellen im Gebäude gemessen wurden.

- TS .233 Büro als Eckmodul mit Anschluss an die Fluchttreppe
- TS .277 Büro als Modul mit Anschluss an die Brandwand
- TS .241 Büro aus zwei Modulen mit Anschluss an Beton Kern
- TS .338 Büro aus zwei Modulen mit Anschluss an Beton Kern
- TS .330 Büro als Modul zwischen anderen Modulen
- TS .335 Büro als Modul zwischen anderen Modulen
- TS .333 Büro als Eckmodul

Zusätzlich wurden zur Kontrolle auch noch Stichprobenmessungen an weiteren Stellen im Gebäude gemacht.

Für die Auswertung der Messergebnisse wurden folgende Vergleiche angestellt und auf den Einfluss der Geschöböhe geachtet.

1. TS .233 mit TS .333 und TS .227
2. TS .330 mit TS .335
3. TS .241 mit TS .338
4. TS .233, .277, .330, .333, .335 mit TS .241, .338

Beispielhaft wird an dieser Stelle die Auswertung für den ersten Vergleich dargestellt. Die Tabelle 1, Tabelle 2 und Tabelle 3 zeigen die bewerteten Einzahlwerte der Messungen. Die Ergebnisse sind in Bezug zur Gebäudeausrichtung in absteigender Richtung angeführt. (oberste Zeile Messung vom 6. ins 5. Geschoss, nächste Zeile Messung vom 5. ins 4. Geschoss usw.)

Tabelle 1: Einzahlwerte Trittschallmessungen Position .233

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennteil	Lage der Räume zueinander	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w}+Ci$	$L'_{n,w}+Ci50$
TS	001	6.233	6	51 m ³	5.233	5	49 m ³	18 m ²	übereinander	41	43	51
TS	002	5.233	5	49 m ³	4.233	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	42	44	49
TS	003	4.233	4	49 m ³	3.233	3	49 m ³	18 m ²	übereinander	44	44	51
TS	004	3.233	3	49 m ³	2.233	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	41	43	51
TS	005	2.233	2	49 m ³	1.233	1	49 m ³	18 m ²	übereinander	42	43	50
TS	006	1.233	1	49 m ³	0.233	0	49 m ³	18 m ²	übereinander	43	44	49
							Anzahl	6	Mittelwert	42,167	43,5	50,2
									Max	44	44	51
									Min	41	43	49
									Standardabw.	1,169	0,548	0,98

Tabelle 2: Einzahlwerte Trittschallmessungen Position .333

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennteil	Lage der Räume zueinander	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w}+Ci$	$L'_{n,w}+Ci50$
TS	028	6.333	6	51 m ³	5.333	5	49 m ³	18 m ²	übereinander	41	43	51
TS	031	5.333	5	49 m ³	4.333	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	43	45	52
TS	039	4.333	4	49 m ³	3.333	3	49 m ³	18 m ²	übereinander	44	45	51
TS	042	3.333	3	49 m ³	2.333	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	44	46	52
TS	045	2.333	2	49 m ³	1.333	1	49 m ³	18 m ²	übereinander	42	43	50
							Anzahl	5	Mittelwert	42,8	44,4	51,2
									Max	44	46	52
									Min	41	43	50
									Standardabw.	1,3038	1,342	0,84

Tabelle 3: Einzahlwerte Trittschallmessungen Position .227

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennteil	Lage der Räume zueinander	$L'_{n,w}$	$L'_{n,w}+Ci$	$L'_{n,w}+Ci50$
TS	007	6.227	6	51 m ³	5.227	5	49 m ³	18 m ²	übereinander	40	42	50
TS	008	5.227	5	49 m ³	4.227	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	41	44	53
TS	009	4.227	4	49 m ³	3.227	3	49 m ³	18 m ²	übereinander	44	45	52
TS	010	3.227	3	49 m ³	2.227	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	43	44	51
TS	011	2.227	2	49 m ³	1.227	1	49 m ³	18 m ²	übereinander	44	45	51
							Anzahl	5	Mittelwert	42,4	44	51,4
									Max	44	45	53
									Min	40	42	50
									Standardabw.	1,8166	1,225	1,14

Vergleicht man die Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w}$ dieser 16 Trittschallmessungen sieht man, dass zwischen dem maximalen Wert mit 44 dB und dem minimalen Wert von 40 dB gerade einmal 4 dB unterschied sind. Eine Tendenz, dass die Gebäudehöhe eine Rolle spielt, kann aus diesen Messungen nicht wirklich abgeleitet werden. Vergleicht man die Norm-Trittschallpegel inkl. Spektrumanpassungswert $L'_{n,w} + C_{150-2500}$ ist ein Zusammenhang mit der Geschoßhöhe in keinsten Weise herzustellen. Die gleichen Erkenntnisse konnten bei den Vergleichen 2. bis 4. auch festgestellt werden.

3.2. Auswertung der Luftschallmessungen

Für die Luftschallmessungen wurde an 2 Positionen übereinanderliegender Räume vom 6. bis zum 1. Geschoß (wo möglich auch ins EG) ausgewählt:

- LS. 335 Büro als Modul zwischen anderen Modulen
- LS. 241 Büro aus zwei Modulen mit Anschluss an Beton Kern

Zusätzlich wurden noch Stichprobenmessungen an anderer Stelle im Gebäude gemacht (LS .227 und LS .330). Die Positionen sind im Grundriss in Abbildung 11 dargestellt.



Abbildung 11: Positionen der Luftschallmessungen ©Kaufmann Bausysteme GmbH

Der Vergleich aller 14 Luftschallmessungen (siehe Tabelle 4 und Tabelle 5) zeigt für das bewertete Bau-Schalldämmmaß $R'_{(w)}$ einen maximalen Wert mit 66 dB und einen minimalen Wert von 58 dB. Die Messungen liegen somit bis zu 8 dB auseinander. Wird in der Bewertung der Spektrumsanpassungswert $C_{50-5000}$ mit betrachtet, liegt das Schalldämmmaß mit einem Maximum von 61 dB und einem Minimum von 55 dB 6 dB auseinander. Etwas verwunderlich ist, dass sich bei den Büros aus 2 Modulen beim $R'_{(w)}$ die größte Streuung (66 dB bis 58 dB) zeigt, jedoch unter Betrachtung des $C_{50-5000}$ der Unterschied nur noch bei 2 dB liegt (57 dB bis 56 dB). Grundsätzlich ist bei den Luftschallmessungen ein geringer Zusammenhang zwischen dem Bau-Schalldämmmaß und der Gebäudehöhe erkennbar.

Tabelle 4: Einzahlwerte Luftschallmessungen bei Büros aus einem Modul

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennbauteil	Lage der Räume zueinander	R'_{w}	$R'_{w}+C_{50}$
LS	036	6.330	6	51 m ³	5.330	5	49 m ³	18 m ²	übereinander	63	61
LS	053	5.335	5	49 m ³	4.335	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	64	61
LS	052	5.330	5	49 m ³	4.330	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	65	60
LS	051	5.227	5	49 m ³	4.227	4	49 m ³	18 m ²	übereinander	61	58
LS	057	4.330	4	49 m ³	3.330	3	49 m ³	18 m ²	übereinander	61	58
LS	062	3.330	3	49 m ³	2.330	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	59	57
LS	059	3.227	3	49 m ³	2.227	2	49 m ³	18 m ²	übereinander	59	56
LS	064	2.330	2	49 m ³	1.330	1	49 m ³	18 m ²	übereinander	59	57
							Anzahl		8 Mittelwert	61,375	58,5
									Max	65	61
									Min	59	56
									Standardabw.	2,3867	1,93

Tabelle 5: Einzahlwerte Luftschallmessungen bei Büros aus zwei Modulen

Messung	M-Nr.	Senderraum (SR)	SR Stockwerk	SR Volumen	Empfangsraum (ER)	ER Stockwerk	ER Volumen	Fläche Trennbauteil	Lage der Räume zueinander	R'_{w}	$R'_{w}+C_{50}$
LS	020	6.241	6	106 m ³	5.241	5	101 m ³	37 m ²	übereinander	66	57
LS	050	5.241	5	101 m ³	4.241	4	101 m ³	37 m ²	übereinander	58	56
LS	056	4.241	4	101 m ³	3.241	3	101 m ³	37 m ²	übereinander	62	57
LS	058	3.241	3	101 m ³	2.241	2	101 m ³	37 m ²	übereinander	62	57
LS	063	2.241	2	101 m ³	1.241	1	101 m ³	37 m ²	übereinander	59	55
LS	065	1.241	1	101 m ³	0.241	0	101 m ³	37 m ²	übereinander	59	55
							Anzahl		6 Mittelwert	61	56,2
									Max	66	57
									Min	58	55
									Standardabw.	2,9665	0,98

4. Schlussfolgerung

Die Frage ob die Geschoßhöhe auf den Luft- und Trittschallschutz in einem Modulgebäude von Kaufmann Bausysteme einen Einfluss hat konnte geklärt werden.

Im Bereich des Luftschallschutzes kann eine leichte Tendenz erkannt werden, dass die Gebäudehöhe einen Einfluss auf die Schalpegeldifferenz hat. Die Basis + Anforderung konnte jedoch für alle Luftschallmessungen bestätigt werden.

Die Ergebnisse der Trittschallmessungen haben gezeigt, dass der Einfluss der Geschoßhöhe auf die Qualität des Trittschalls keinen signifikanten Einfluss hat. Die Ergebnisse liegen deutlich unter dem, vom Bauherrn geforderten, bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w} \leq 53 \text{ dB}$. Mit dieser Bauweise sollte auch das Schallschutzniveau Basis + erreichbar sein da der bewerteten Norm-Trittschallpegel $L'_{n,w} + C_{150-2500}$ inkl. Schallnebenwege im Bereich des geforderten Norm-Trittschallpegel $L_{n,w} + C_{150-2500} \leq 50 \text{ dB}$ für das reine Bauteil liegt. Die geringe Abweichung der Trittschallmesswerte von gesamt 4 dB deutet auf eine sehr robuste Bauweise hin und bestätigt die Leistungsfähigkeit der Modulbauweise.

5. Literaturverzeichnis

- [1] Characteristics of acoustic layers for structural design of timber constructions; Hendrik Reichelt et al.; WCTE 2016 WIEN
- [2] Schallschutz im Holzbau – Grundlagen und Vorbemessung; holzbau handbuch Reihe 3 / Teil 3 / Folge 1; 1. Auflage 03/2019; Holzbau Deutschland-Institut e.V