

# Untersuchung der akustischen Performance von einem Kastenfenster mit Vakuumisolierverglas (VIG)

Christian Lux<sup>1</sup>, Bernd Nusser<sup>1</sup>, Peter Schober<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Holzforschung Austria, 1030 Wien, E-Mail: c.lux@holzforschung.at

## 1. Einleitung

Die Holzforschung Austria und die TU Wien forschen seit mehreren Jahren an der Integration von Vakuumglas in neuartige Fenstersysteme und historisch wertvolle Fensterkonstruktionen, wie z. B. Kastenfenster [1, 2, 3 4]. Der Fokus dieser Untersuchungen lag in den Bereichen Wärmedämmung, akustische Performance, Gebrauchstauglichkeit und mechanische Beanspruchbarkeit. Die gegenständliche Untersuchung wurde im Rahmen des Projektes „VAMOS“ [4] durchgeführt und behandelt die akustische Performance von Vakuumglas bei der Integration in Kastenfenster. Zum Vergleich wurden verschiedene Standardverglasungen verwendet. Da ein zweiflügeliges Kastenfenster verwendet wurde, werden auch einzelne Vergleiche zu reinen Verglasungen angestellt. Die Verglasungsfläche in den Flügeln des Kastenfensters sind deutlich kleiner gegenüber den reinen Verglasungen.

## 2. Aufbau und Systematik der untersuchten Prüfkörper

Für diese Untersuchung wurde ein 2-flügeliges Leistenposten-Kastenfenster ohne Oberlichte benutzt. Bei diesem Kastenfenster bestand der Flügel- und der Blendrahmen aus Holz. Beide Flügelpaare, Außen- (A) und Innenflügel (I), waren empfangsraumseitig öffnend (d. h. zur nicht bewitterten Seite) und besaßen eine Dichtungsebene im Innenbereich. Das Stockaußenmaß (STAM) betrug  $(1230 \times 1480) \text{ mm}^2$ .

Der Blendrahmen (BR) war so gefertigt, dass seine Einzelteile verschieden kombiniert werden konnten. Durch diese Möglichkeit konnten folgende verschiedene Scheibenabstände (SA) eingestellt werden:

- SA(1) mit 121 mm und BR aus Holz
- SA(2) mit 171 mm und BR aus Holz
- SA(3) mit 271 mm und BR aus Holz
- SA(4) mit 271 mm und BR aus Heraklith

Der Scheibenabstand läuft in diesem Fall von der Innenseite der Außenverglasung zur Außenseite der Innenverglasung. Zusätzlich war es durch den modularen Aufbau des Kastenfensters möglich den BR aus Holz durch einen BR aus Heraklith zu ersetzen. Der Heraklith-BR war roh, d. h. nicht verputzt. Diese Messungen sind mit einem <sup>H</sup> gekennzeichnet. Bei einzelnen Messungen des Kastenfensters mit SA(2) waren die Außenflügel mit Malercreppband abgeklebt um eine Dichtungsebene im Außenbereich zu simulieren. Das Klebeband wurde gewählt, um keine Änderung der Flächenmasse der A zu erzeugen und damit das Messergebnis zu beeinflussen. Diese Messungen sind mit einem \* gekennzeichnet.

Für die Untersuchung wurden verschiedene Verglasungen verwendet (siehe Abbildung 1). Zum einen Standardverglasungen wie Einfachgläser (EG),

Verbundsicherheitsgläser mit Akustikfolie (VSGa) und Mehrscheibenisoliervergläser (MIG). Zum anderen Vakuumgläser in drei Konfigurationen (siehe Abbildung 1). Der Aufbau der Vakuumgläsern kann [2, 3] entnommen werden. Zum Teil waren die Flügel sowohl außen und innen mit Sprossen (Glasteiler) ausgeführt.

Verglasung (Benennung)	SZR	Beschreibung	Flügel	Flächenmasse (Flügel) in kg/m <sup>2</sup>
	in mm			
4(S)	--	EG mit Sprossen	außen	15,3
6(S)	--	EG mit Sprossen	außen	19,5
6	--	EG ohne Sprossen	außen	19,4
33.8a	--	VSGa ohne Sprossen	außen	20,2
4	--	EG ohne Sprossen	innen	16,8
44.8a	--	VSGa ohne Sprossen	innen	27,5
4-10-4(S)	10	MIG mit Sprossen	innen	27,7
6-10-4(S)	10	MIG mit Sprossen	innen	32,4
6-10-4	10	MIG ohne Sprossen	innen	31,2
33.8a-10-4	10	MIG ohne Sprossen mit VSGa	innen	32,1
4v4	0.5	Vakuumglas symmetrisch ohne Sprossen, Pillarabstand (20 × 20) mm <sup>2</sup>	innen	26,5
6v4	0.5	Vakuumglas asymmetrisch ohne Sprossen, Pillarabstand (20 × 20) mm <sup>2</sup>	innen	32,6
4v4L3a	0.5	Vakuumglas laminiert (L) mit EG (VSGa), Pillarabstand (20 × 20) mm <sup>2</sup>	innen	33,8

**Abbildung 1:** Übersicht der untersuchten Verglasungen für die Außen- und Innenflügel. (mit SZR: Scheibenzwischenraum; EG: Einfachglas; VSGa: Verbundsicherheitsglas mit Akustikfolie; MIG: Mehrscheibenisolierverglas; v: Vakuum; L: Laminier: a: Akustikfolie; S: Sprossen)

Der Einbau in den Prüfstand erfolgte gemäß ÖNORM EN ISO 10140-1:2016, Anhang C. Das Kastenfenster wurde in eine Prüföffnung mit dem Öffnungsmaß  $(1250 \times 1500) \text{ mm}^2$  eingebaut. Daraus ergibt sich mit dem STAM des Fensters eine umlaufende Fuge von 10 mm zwischen dem Stock und der Laibung der Öffnung. Auf der unteren und oberen Laibung wurden je zwei Abstandhalter mit einer Dicke von 10 mm ca. 300 mm von den senkrechten Laibungen eingelegt. Diese dienen zur Fixierung des Stocks in der Öffnung. Die restliche Fuge wurde mit gestopfter Dämmung (Isover TW-KF 5/10 TWIN) ausgefüllt und mit Fensterkitt (Illbruck OS201) ausgespritzt. Der Stock wurde so eingebaut, dass der Außenflügel bündig mit der Prüfwanne im Senderraum war (siehe Abbildung 2, links). Die Prüföffnung befindet sich in einer doppelschaligen Prüfwanne bestehend aus zwei 190 mm dicken Stahlbetonwänden, welche durch einen 30 mm dicken, mit Mineralwolle ausgedämmten, Spalt körperschallbrückenfrei getrennt sind. Auf der Empfangsraumseite betrug die Prüföffnung  $(1620 \times 1310) \text{ mm}^2$ . Bei dem Einbau des Kastenfensters mit SA(3) 271 mm war die Einbautiefe größer als die Tiefe der ersten Schale der Prüfwanne. Somit ragte der Stock in die Prüföffnung des Empfangsraumes. Damit war der Spalt zur Laibung größer als im Senderraum. Dieser wurde mit Trittschalldämmung ausgefüllt und Fensterkitt abgeschlossen (siehe Abbildung 2, rechts).



**Abbildung 2:** Einbausituation des Kastenfensters in der Prüfwand (links senderraumseitig und rechts empfangsraumseitig)

Die Luftschallmessungen wurden gemäß ÖNORM EN ISO 10140-2:2010 im Akustik Center Austria, dem Schalllabor der Holzforschung Austria, durchgeführt. Die Bewertung der Messergebnisse erfolgte nach ÖNORM EN ISO 717-1:2013 im normativ relevanten Frequenzbereich von 100 Hz bis 3150 Hz. Alle Messungen erfolgten aber im bauakustischen Frequenzbereich von 50 Hz bis 5000 Hz.

### 3. Ergebnisse und Diskussion

Im Rahmen dieser Untersuchung, die sich aufgrund der Verglasungen und der SA ergaben, wurden insgesamt 83 Messungen ausgeführt. Für die Darstellung der Ergebnisse wurden nur einzelne Verglasungsvarianten ausgewählt, welche sich aus akustischer Sicht in zwei Gruppen einteilen lassen:

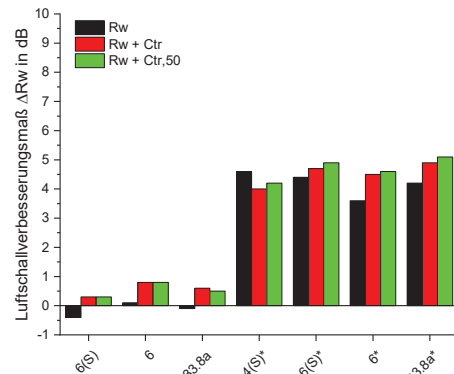
- „schwach“  
Außenflügel (A) 4 mm EG mit Sprossen  
Innenflügel (I) 4 mm EG ohne Sprossen und 4-10-4 MIG mit Sprossen
- „stark“  
Außenflügel (A) 33.8a (VSGa) ohne Sprossen  
Innenflügel (I) 33.8a-10-4 MIG und 4v4L3a Vakuumglas mit VSGa ohne Sprossen

Um die akustische Performance besser darstellen zu können wird die Verbesserung des bewerteten Luftschalldämmmaßes  $R_w$  (Einzahlwert) ohne und mit Spektrum-Anpassungswerten verwendet. Da es sich bei einem Kastenfenster um ein Außenbauteil handelt werden zwei tieffrequente Anpassungswerte benutzt. Zum einen  $C_{tr}$  ( $C_{tr,100-3500}$ ) der den gesamten normativen Bereich abdeckt und die tiefen Frequenzen bis 100 Hz stärker gewichtet. Zum anderen  $C_{tr,50}$  ( $C_{tr,50-5000}$ ) der zusätzlich den Frequenzbereich von 50 Hz bis 80 Hz gewichtet. Alle Werte, die zur Berechnung der Verbesserung dienten, wurden mit einer Genauigkeit von 0,1 dB verwendet. Neben den Verbesserungen der Einzahlkennwerte werden auch einige Frequenzverläufe der Schalldämm-Maße gezeigt, um die Vergleiche zu den reinen Verglasungen zu ermöglichen bzw. Effekte bei den Kastenfenstern zu zeigen, die im Einzahlwert nicht ersichtlich sind.

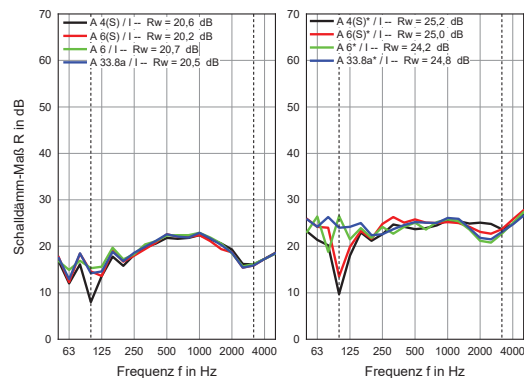
#### 3.1 Außenflügel (A) allein

Im ersten Schritt wurden die A allein, also ohne I untersucht. Die erzielten Verbesserungen sind in Abbildung 3 angegeben. Auf der linken Seite ist die Standardvariante und auf der

rechten Seite mit zusätzlicher Dichtungsebene dargestellt. Im Standardfall zeigen sich leichte Schwankungen im Einzahlwert, die aufgrund der verwendeten Genauigkeit zustande kommen. Leichte Verbesserungen zeigen sich, wenn die tieffrequenten Anpassungen verwendet werden. Betrachtet man die rechte Seite mit der zusätzlichen Dichtungsebene ist eine deutliche Verbesserung des Einzahlwertes ohne und mit Anpassungen sichtbar.



**Abbildung 3:** Außenflügel allein – Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf den Referenzflügel A: 4 mm EG (mit Sprossen). \*zusätzliche Dichtung



**Abbildung 4:** Außenflügel allein – Frequenzverläufe der einzelnen Außenflügel (links Standard und rechts \*Dichtung)

In Abbildung 4 werden die Frequenzverläufe der einzelnen A dargestellt. Links ist ersichtlich, dass die Kurven eng zusammen liegen und nur eine Abweichung bei 100 Hz auftritt. Die Koinzidenz zeigt sich bei allen Verglasungen an der gleichen Stelle. Rechts dagegen in der abgeklebten Variante werden mehr und größere Abweichungen ersichtlich. Sowohl im tieffrequenten als auch im hochfrequenten Bereich. Zusätzlich verschiebt sich die Koinzidenz des 4 mm EG (schwarz) zu höheren Frequenzen. Prinzipiell ist aber anzumerken, dass bei beiden Varianten relativ wenig Scheibencharakteristik auftritt. Dies liegt an der Einbausituation der A, da diese bündig mit der Innenseite der Prüfwand im Senderraum sind. Wegen dieses Einbaus in die Prüfföffnung stellt sich ein Nischeneffekt ein, der die Messung der Schalldämmung stark beeinflusst.

#### 3.2 Innenflügel (I) allein

Im zweiten Schritt wurden die I allein, ohne Außenflügel gemessen. Diese Messung wurde bei einem theoretischem SA(2) von 171 mm ausgeführt. Bezogen auf den Referenzflügel werden bei allen verwendeten Verglasungen

Verbesserungen im Einzahlwert ohne und mit Anpassungen ersichtlich (siehe Abbildung 5). Diese fallen für die Vakuumverglasungen günstiger aus als vergleichbare MIG Systeme.

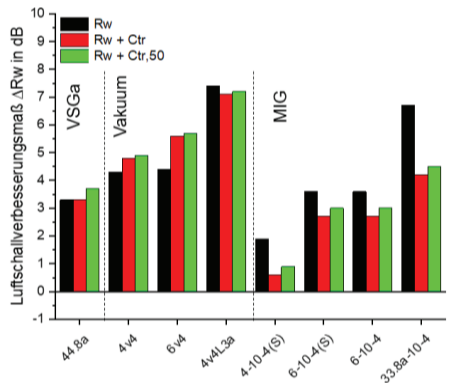


Abbildung 5: Innenflügel allein – Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf den Referenzflügel A: 4 mm EG (ohne Sprossen).

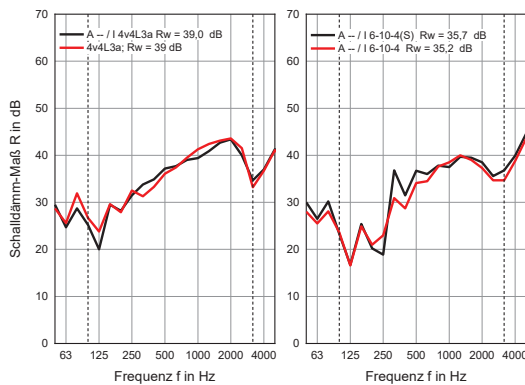


Abbildung 6: Innenflügel allein – Frequenzverläufe von einzelnen Innenflügeln (links Vergleich von I mit reiner Verglasung und rechts)

In Abbildung 6, links, wird der Frequenzverlauf eines I (schwarz) mit dem einer reinen Verglasung (rot, [2]) des gleichen Aufbaus verglichen. Beispielhaft wird ein Vakuumglas dargestellt und es zeigen sich leichte Abweichungen im tief- und mittelfrequenten Bereich. Des Weiteren passt der Koinzidenzeinbruch gut zusammen [2]. Dies ist bei allen hier verwendeten Verglasungen gleich. Auf der rechten Seite in Abbildung 6 sind zwei I mit der gleichen Verglasung aber mit bzw. ohne Sprossen dargestellt. Hier zeigen sich Unterschiede im Bereich von 200 Hz bis 600 Hz, die sich durch die Sprossen ergeben. Im Einzahlwert, mit der angegebenen Genauigkeit, ergibt sich ein Unterschied von 0,5 dB. Außerhalb dieser Genauigkeit ist ein Unterschied im Einzahlwert erkennbar.

### 3.3 Vom I zu Kastenfenster mit SA(1)

Setzt man vor den I einen A ergeben sich Verbesserungen, entsprechend Abbildung 7. Bezogen auf den Referenzflügel (I 4 EG) zeigen sich hohe Verbesserungen, im Bereich von 6 dB bis 14 dB, des Einzahlwertes ohne und mit tieffrequenten Anpassungen.

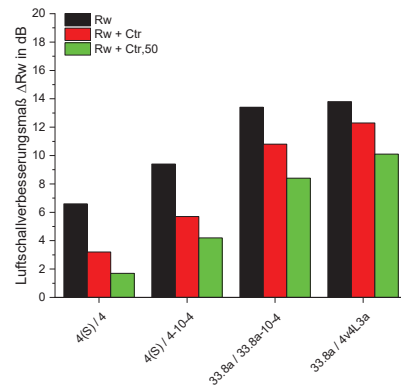


Abbildung 7: Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf den Referenzflügel A: 4 mm EG (ohne Sprossen) bei Kastenfenster mit SA(1)

### 3.4 Kastenfenster mit SA(1)

Bezieht man die Verbesserungen auf ein Kastenfenster fallen diese geringer aus (siehe Abbildung 8). Stellt man dies Abbildung 7 gegenüber zeigen sich Veränderungen bei den jeweiligen Scheibenkonfiguration von -7 dB bis -6 dB. In diesem und den folgenden Fällen ist das Referenzkastenfenster wie folgt aufgebaut A: 4 mm EG (mit Sprossen) und I: 4 mm EG (ohne Sprossen) mit SA(1) bei 121 mm. Die Kurzform ist (A 4(S) / I 4).

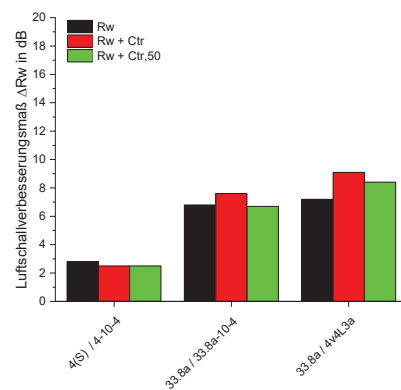


Abbildung 8: Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf das Referenzkastenfenster (A 4(S) / I 4) bei Kastenfenster mit SA(1)

### 3.5 Vom Kastenfenster mit SA(1) zu SA(2)

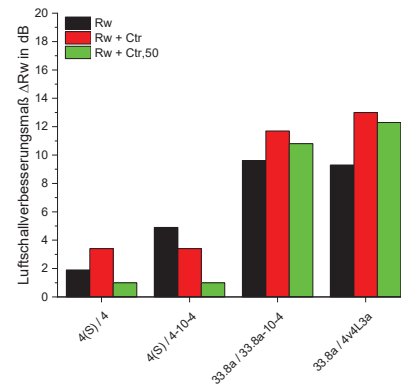


Abbildung 9: Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf das Referenzkastenfenster (A 4(S) / I 4) bei Kastenfenster mit SA(2)

Wird der SA um 50 mm vergrößert werden erneut Verbesserungen sichtbar. Bei den starken Verglasungen fallen diese deutlicher aus (siehe Abbildung 9). Des Weiteren

erfolgt eine große Verbesserung bei den tieffrequenten Anpassungen, die über dem Einzahlwert liegen. Bezieht man dies auf Abbildung 8 ergeben sich für die jeweilige Verglasung Änderungen im Bereich von 2 dB bis 4 dB für den Einzahlwert.

### 3.5 Vom Kastenfenster mit SA(1) zu SA(2)\*

Bei gleichem SA aber zusätzlich eingebrachter Dichtung ergeben sich die Verbesserungen in Abbildung 10. Bezieht man die Verbesserung auf Abbildung 9 ergeben sich Veränderungen der jeweiligen Scheibenkonfiguration im Bereich 4 dB bis 5 dB für den Einzahlwert.

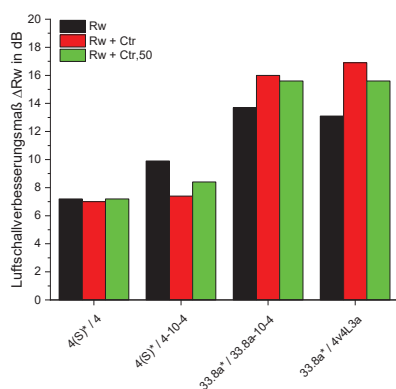


Abbildung 10: Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf das Referenzkastenfenster (A 4(S) / I 4) bei Kastenfenster mit SA(2)\* mit Dichtung

### 3.6 Vom Kastenfenster mit SA(1) zu SA(3)

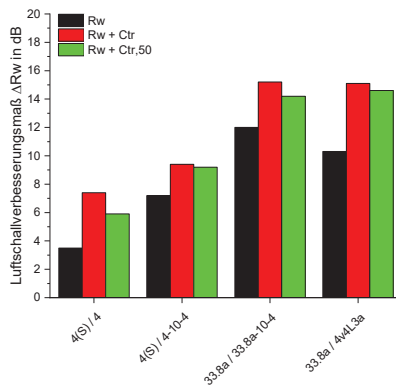


Abbildung 11: Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf das Referenzkastenfenster (A 4(S) / I 4) bei Kastenfenster mit SA(3)

Wird der SA um weitere 100 mm vergrößert ergeben sich die Verbesserungen in Abbildung 11. Vergleicht man diese mit:

- Abbildung 9, SA(2) ergeben sich Veränderungen für die jeweilige Verglasung im Bereich vom 1 dB bis 2 dB
- Abbildung 8, SA(1) ergeben sich Veränderungen bei der jeweiligen Verglasung im Bereich vom 3 dB bis 6 dB
- Abbildung 10, SA(2)\* ergeben sich Veränderungen für die jeweilige Verglasung im Bereich vom -3 dB bis -2 dB

### 3.7 Vom Kastenfenster mit SA(1) zu SA(4)<sup>H</sup>

Bei der letzten Variante wurde der SA mit 271 mm beibehalten und der BR von Holz zu Heraklith getauscht.

Dadurch konnten die hohen Verbesserungen in Abbildung 12 erzielt werden. Vergleicht man diese mit:

- Abbildung 11, SA(3) ergeben sich Veränderungen für die jeweilige Verglasung im Bereich von 5 dB bis 7 dB
- Abbildung 9, SA(2) ergeben sich Veränderungen für die jeweilige Verglasung im Bereich vom 7 dB bis 9 dB
- Abbildung 8, SA(1) ergeben sich Veränderungen für die jeweilige Verglasung im Bereich vom 9 dB bis 11 dB
- Abbildung 10, SA(2)\* ergeben sich Veränderungen für die jeweilige Verglasung im Bereich vom 2 dB bis 4 dB

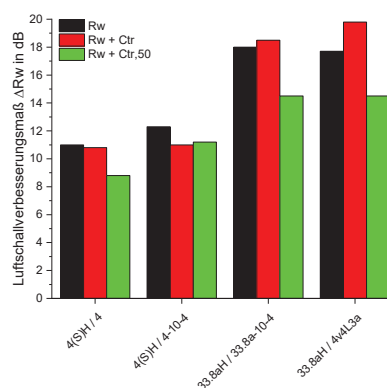


Abbildung 12: Verbesserung von  $R_w$  ohne und mit Anpassungen bezogen auf das Referenzkastenfenster (A 4(S) / I 4) bei Kastenfenster mit SA(4)<sup>H</sup> BR Heraklith

## 4. Zusammenfassung

Durch die Vergrößerung des SA im Kastenfenster wird eine Verbesserung der Schalldämmung erreicht, vor allem im tieffrequenten Bereich. Wird eine zweite Dichtungsebene (außen) verwendet, wird die Schalldämmung ebenfalls verbessert. Der Einfluss der zweiten Dichtebene ist dabei höher gegenüber dem eines größeren SA. Wird für den BR ein geeignetes Material verwendet, oder der BR getrennt, kann die Schalldämmung weiter gesteigert werden. In vielen Fällen wird die Schalldämmung durch Kastenfenster, auch im tiefen Frequenzbereich, gegenüber eines „Standardfensters“ verbessert. Aus akustischer Sicht bringt die Verwendung von Vakuumglas in Kastenfenstern keine Vorteile gegenüber einer Verglasung mit MIG.

## 5. Literatur

- [1] Pont U, *et al.* Modellierung, Optimierung, und technische Integration von Vakuumglas-Elementen (MOTIVE). Stadt der Zukunft Wien, 2017
- [2] Pont U, *et al.* Fensterprototypen mit integriertem Vakuumglas (FIVA). Stadt der Zukunft Wien, 2020
- [3] Lux C, *et al.* Untersuchung der akustischen Performance von Vakuumisoliervlas (VIG). In: DAGA2020
- [4] Pont U, *et al.* Vakuumglas-Kastenfenster: Performance - Monitoring in Sanierungsprojekten (VAMOS). Stadt der Zukunft Wien, 2021 (Abschlussbericht in Bearbeitung)