FORSCHUNGSINITIATIVE Zukunft BAU

F 3164

Mark Koehler; Klaus-Dieter Brandstetter; Lutz Weber

Schallschutz von Fenstern in vorgesetzter Einbaulage (vorgesetzte Fenster)

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung

Fraunhofer IRB Verlag

F 3164

Bei dieser Veröffentlichung handelt es sich um die Kopie des Abschlussberichtes einer vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR) im Rahmen der Forschungsinitiative »Zukunft Bau« geförderten Forschungsarbeit. Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die Originalmanuskripte wurden reprotechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprotechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

2019

ISBN 978-3-7388-0412-6

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag
Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon 07 11 9 70 - 25 00
Telefax 07 11 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

www.irb.fraunhofer.de/bauforschung

Fraunhofer
IBP

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Zulassung neuer Baustoffe,
Bauteile und Bauarten

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle für
Prüfung, Überwachung und Zertifizierung

Institutsleitung

Prof. Dr. Philip Leistner
Prof. Dr. Klaus Peter Sedlbauer

IBP-Bericht B-AK 1/2019

Schallschutz von Fenstern in vorgesetzter Einbaulage (vorgesetzte Fenster)

Der Forschungsbericht wurde mit Mitteln der Forschungsinitiative Zukunft Bau des Bundesinstituts für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert. (Aktenzeichen: SWD 10.08.18.7-16.38 / IBP 422495).

Die Verantwortung für den Bericht liegt beim Autor

Der Bericht umfasst
64 Seiten Text
12 Tabellen
50 Abbildungen

M.BP. Dipl.-Ing. (FH) Mark Koehler
Dipl.-Ing. (FH) Klaus-Dieter Brandstetter
Dr. rer. nat. Lutz Weber

Stuttgart, 6. Mai 2019

Institutsleiter	Abteilungsleiter	Bearbeiter
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Philip Leistner	Dr. Peter Brandstätt	M.BP. Dipl.-Ing. (FH) Mark Koehler

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Nobelstraße 12 | 70569 Stuttgart
Telefon +49 711 970-00
Telefax +49 711 970-3395
www.ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 | 83626 Valley
Telefon +49 8024 643-0
Telefax +49 8024 643-366

Inhalt

1	**Einleitung**	**4**
2	**Grundlagen**	**6**
2.1	Schallübertragung, Messverfahren und Begriffe	6
2.1.1	Luftschallübertragung	6
2.1.2	Körperschallübertragung (bei Luftschallanregung)	6
2.1.3	Schall-Übertragungspfade bei Fenstern	6
2.1.4	Einfluss der Schalldämmung von Fenstern auf die resultierende Schalldämmung einer Fassade	8
2.2	Einzahlangaben	9
2.2.1	Schalldämm-Maß	9
2.2.2	Spektrum-Anpassungswerte	10
3	**Vorgehensweise**	**11**
4	**Literaturrecherche**	**13**
5	**Versuchsaufbau**	**14**
5.1	Prüfstand	14
5.2	Auswahl der Fenster	15
5.3	Auswahl der Einbaupositionen	17
5.3.1	Referenzeinbau	17
5.3.2	Vorgesetzter Einbau	19
5.4	Auswahl und Aufbau der Montagesysteme	21
5.4.1	Montagezarge	21
5.4.2	Konsolen	23
5.4.3	Metallzarge	28
6	**Versuchsdurchführung**	**29**
7	**Messergebnisse**	**31**
7.1	Voruntersuchung zum Einfluss der Funktionsfuge	32
7.2	Referenzmessungen (Einbaupositionen »-90« und »0«)	33
7.2.1	Referenzmessungen Schallschutzklassen SSK 2 und SSK 3	33
7.2.2	Referenzmessungen Schallschutzklassen SSK 4 und SSK 5	34
7.3	Vorgesetzter Einbau – Vergleich der Einbaupositionen	34
7.3.1	Montagezarge	35
7.3.2	Konsolensystem	39
7.3.3	Metallzarge	43

7.4 Vorgesetzter Einbau – Vergleich der Systeme untereinander 47
7.4.1 Schallschutzklasse 2 47
7.4.2 Schallschutzklasse 3 48
7.4.3 Schallschutzklasse 4 49
7.4.4 Schallschutzklasse 5 50
7.5 Vorgesetzter Einbau – Einfluss der Randfuge 51
7.6 Vorgesetzter Einbau – Einfluss von Montagemängeln 52
7.7 Bauteilkatalog – Übersicht der abewerteten Schalldämm-Maße R_w und Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte $C_{tr,50\text{-}5000}$ für tieffrequente Geräusche 54
7.7.1 Schallschutzklasse 2 55
7.7.2 Schallschutzklasse 3 56
7.7.3 Schallschutzklasse 4 57
7.7.4 Schallschutzklasse 5 58

8 Anwendung der Ergebnisse in der Praxis 59

9 Zusammenfassung 60

10 Literaturverzeichnis 62

1 Einleitung

Als vielseitiges Fassadenelement dienen Fenster u.a. zur natürlichen Beleuchtung und Belüftung eines Gebäudes. Allerdings stellen Fenster sowohl in thermischer als auch in akustischer Hinsicht eine Schwachstelle in der Gebäudehülle dar. Dabei sind Maßnahmen zur Verbesserung der thermischen Eigenschaften nicht immer positiv für den Schallschutz.

Neben dem Aufbau der Verglasung und des Rahmens hängen wärme- sowie schalldämmende Eigenschaften in starkem Maße von den Einbaubedingungen (Position des Fensters in der Laibung, Befestigung und Abdichtung) ab. Für die klassische Einbauweise, bei der das Fenster im zentralen Bereich der Mauerwerkslaibung angeordnet ist, lässt sich die resultierende Schalldämmung näherungsweise aus den vorhandenen Normen und Richtlinien entnehmen. Auch alle bislang in bauakustischen Prüfständen gemessenen Schalldämm-Maße für Fenster und Verglasungen, die auf der Grundlage der international geltenden Normen (ISO, ASTM,...) ermittelt wurden, beziehen sich auf die klassische Einbauposition in der Fensterlaibung. Im Gegenzug weist jedoch die Wirkung der Wärmedämmung an der Kante zwischen Dämmschicht und Fensterrahmen eine Schwachstelle auf. Bei Gebäuden mit Außendämmung wird das Fenster deswegen aus wärmetechnischen Gründen häufig in vorgesetzter Lage eingebaut. In Bild 1 wird beispielhaft mit Hilfe von Isothermen-Verläufen an einem Beispielfenster bei zwei unterschiedlichen Einbaulagen verdeutlicht welchen hygrothermischen Vorteil die vorgesetzte Einbaulage mit sich bringt.

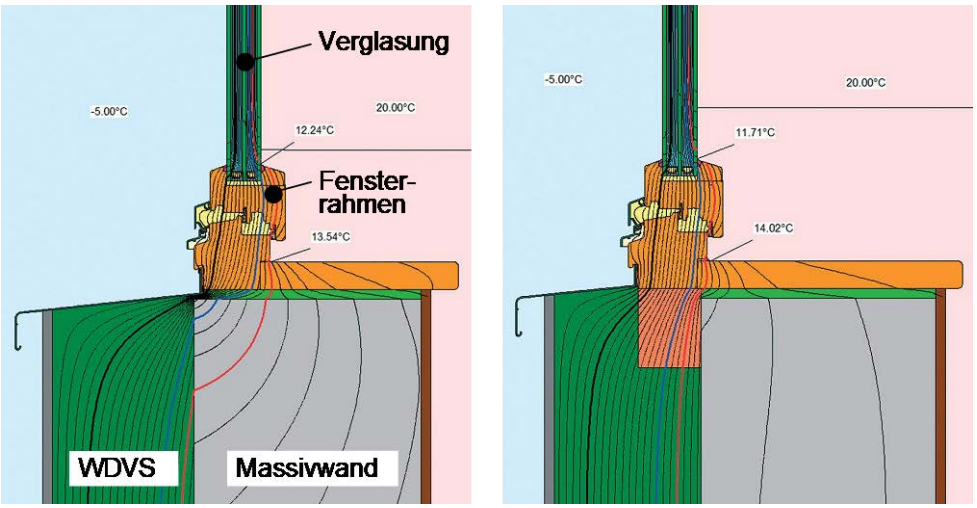


Bild 1:
Isothermenverlauf durch einen Fensteranschluss bei normaler Einbaulage in der Mauerwerkslaibung links und bei vorgesetzter Einbaulage in der Dämmebene rechts. Quelle: H. Neumeier – Glaswelt 2013 [1]

Es ist zwar bekannt, dass bei dieser Einbauweise gegebenenfalls mit einem kritischen Einfluss auf die Schalldämmung zu rechnen ist (siehe Bild 2), belastbare Daten liegen hierzu jedoch bislang nicht vor. Durch die vorhandenen Wissenslücken ergeben sich für Hersteller und Planer erhebliche Probleme, da wegen der

fehlenden Planungsgrundlagen sehr leicht Schallschutzmängel entstehen können.

Tabelle 5 — Einfluss der Außenwand- und Einbausituation auf die Schalldämmung von Fenstern Türen im Massivbau (Prinzipskizzen)

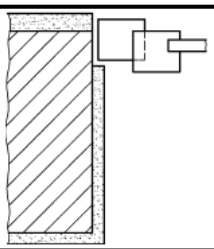
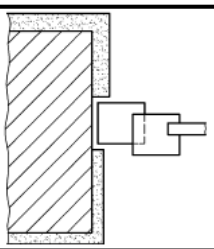
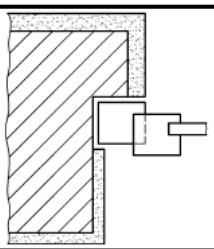
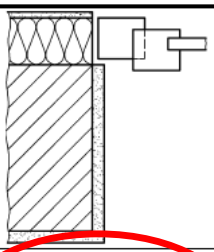
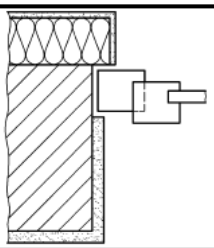
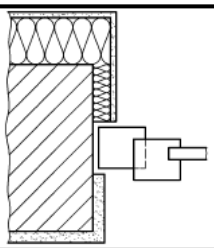
Außenwand	Einbaubeispiel 1	Einbaubeispiel 2	Einbaubeispiel 3
Monolithisches Mauerwerk			
Einbaulage	Einbau außen bündig	Einbau mittig in der Wand	Einbau gegen Anschlag
Einbausituation	schalltechnisch unkritisch	schalltechnisch unkritisch	schalltechnisch unkritisch
Mauerwerk mit WDVS			
Einbaulage	Einbau in Dämmebene	Einbau außen bündig im Mauerwerk	Einbau mittig im Mauerwerk
Einbausituation	schalltechnisch kritisch	schalltechnisch unkritisch	schalltechnisch unkritisch

Bild 2:
Auszug aus DIN 4109-2:2016 [2] – Tabelle 5

Ziel des Vorhabens ist es zum einen, zuverlässige Planungsdaten für die Schalldämmung von Fenstern in vorgesetzter Einbaulage bereitzustellen. Zum andern sollen im Rahmen des Vorhabens verbesserte Verfahren zur Befestigung und Abdichtung von Fenstern entwickelt werden. Die hierbei gewonnenen Erkenntnisse erlauben es den beteiligten Herstellern, ihre Produkte und Einbauweisen akustisch zu optimieren. Da der Schalldurchgang durch Fenster über mehrere Wege und unter Beteiligung zahlreicher verschiedener Bauelemente erfolgt, sind dem Einsatz von Berechnungsmodellen enge Grenzen gesetzt. Als Grundlage zur Vorhersage der Schalldämmung von Fenstern in vorgesetzter Einbaulage wird daher statt dessen ein Bauteilkatalog erstellt. Dies erfolgt durch eine Messreihe in einem bauakustischen Prüfstand, bei der eine repräsentative Auswahl unterschiedlicher Konstruktionen untersucht wird. Die Prüfobjekte werden so ausgewählt, dass sie ein großes Spektrum bauüblicher Systeme umfassen und so eine geeignete Basis für den Bauteilkatalog bilden. Bei Konstruktionen, die im Bauteilkatalog enthalten sind, kann die Schalldämmung bei Bedarf durch Vergleich mit bekannten Systemen oder durch Interpolation innerhalb des Bauteilkatalogs abgeschätzt werden.

2 Grundlagen

2.1 Schallübertragung, Messverfahren und Begriffe

Im baulichen Schallschutz wird zwischen verschiedenen Mechanismen bei der Schallübertragung unterschieden. Die Unterschiede liegen in der Anregung, Ausbreitung und Wirkung der Geräusche.

2.1.1 Luftschallübertragung

Wird in einem Raum Schall z.B. durch einen Lautsprecher erzeugt, wird diese Schallenergie durch die begrenzenden Bauteile (Wände, Decken) vom sogenannten »Senderaum« in benachbarte »Empfangsräume« teilweise übertragen (transmittiert). Die frequenzabhängige Luftschallübertragung kann nach Norm – DIN EN ISO 10140-2 [3] für Einzelbauteile im Labor oder DIN EN ISO 16283-1 [4] zwischen Räumen in Gebäuden messtechnisch ermittelt werden. Die Luftschalldämmung von Fenstern und Verglasungen wird normalerweise in einem Prüfstand mit einer »speziellen kleinen Prüföffnung« nach DIN EN ISO 10140-5 [5] Abschnitt 3.3.3 gemessen. Die anderen Wände und Decken dieses Prüfraumes sind dabei so hochschalldämmend ausgeführt, dass der gemessene Empfangsraumpegel maßgeblich von der Schallübertragung über das eingebaute Fenster bestimmt wird.

2.1.2 Körperschallübertragung (bei Luftschallanregung)

Wird in einem Raum Schall zum Beispiel durch einen Lautsprecher erzeugt, regt ein Teil dieser Schallenergie die den sogenannten »Senderaum« begrenzenden Bauteile zu Schwingungen an. Diese Schwingungen übertragen sich auf angrenzende (flankierende) Bauteile und breiten sich so im Baukörper aus. Alle schwingenden Bauteile strahlen nun ihrerseits wiederum Schallenergie in benachbarte »Empfangsräume« ab. Der Anteil an dieser Art der Schallübertragung, der durch die direkte Trennwand zwischen zwei Räumen übertragen wird, wird der Luftschallübertragung zugeschrieben. Der Anteil, der über flankierende Bauteile vom Sende- in den Empfangsraum übertragen wird, wird Schall-Längsleitung genannt. In einer realen Bausituation lassen sich die Übertragungspfade meist nicht mehr trennen. Im Labor kann man die einzelnen Schallübertragungspfade messtechnisch untersuchen. Durch gezieltes Unterdrücken der anderen Übertragungspfade bestimmt allein der zu untersuchende Übertragungspfad den gemessenen Schalldruckpegel im Empfangsraum. Das Ergebnis wird als Norm-Flanken(schall)pegeldifferenz bezeichnet. Die verschiedenen Schallübertragungspfade werden in der bauakustischen Planung oft getrennt betrachtet und zur Umrechnung auf eine reale Bausituation addiert.

2.1.3 Schall-Übertragungspfade bei Fenstern

Auch bei Fenstern finden die beschriebenen Mechanismen der Schallübertragung statt. Dabei entstehen auch Wechselwirkungen zwischen den einzelnen Komponenten wie der Glasscheibe, dem Blend- und Flügelrahmen, sowie der

Befestigungselemente. In Bild 3 ist dies schemenhaft dargestellt. Der rote Pfeil kennzeichnet die direkte Transmission über die Glasscheibe und den Rahmen inklusive der Funktionsfuge bei öffenbaren Fenstern. Der blaue Pfeil kennzeichnet die Schallübertragung über die Anschlussfugen mit entsprechender Abdichtung und der grüne Pfeil kennzeichnet die Körperschallübertragung vom durch Luftschall angeregten Fenster in die umgebenden Bauteile. Dazu kommen Wechselbeziehungen wie die Schallabstrahlung des Rahmens in die Anschlussfuge oder umgekehrt. Diese sind allerdings in den meisten Fällen, z.B. bei Montage des Fensters in einem Mauerwerk und bei sorgfältiger Abdichtung der Fugen, von untergeordneter Bedeutung. Dies ist insbesondere auch bei Labormessungen und Prüfungen der Fall, was dazu führen kann, dass die Art und Weise der späteren Montage des Fensters am Bau bei der Schallschutzplanung ungenügend berücksichtigt wird.

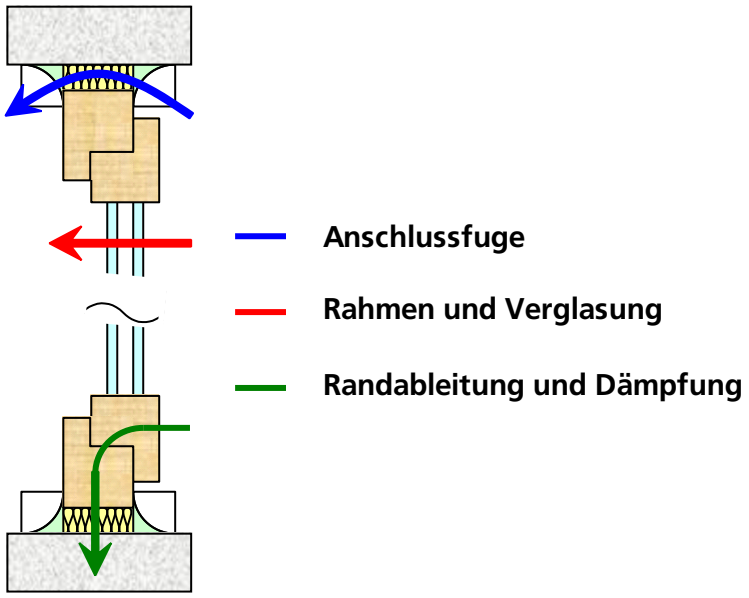


Bild 3:
Schallübertragungspfade bei Fenstern

Darüber hinaus kommt es oft zu sogenannten Nischeneffekten. So werden z.B. Schallwellen, die in einem spitzen Winkel auf die Fensteröffnung treffen, teilweise abgeschirmt und Schallwellen deren Wellenlänge in einen bestimmten Verhältnis zur Nischenbreite stehen werden durch Mehrfachreflexion verstärkt. Dieser Effekt nimmt mit zunehmender Laibungstiefe, also auch mit zunehmender Dämmstoffdicke zu. Das kann zusätzlich zu größeren Toleranzen beim Vergleich von Labor- und Baumessverfahren führen, da die Schalldämmung von Bauteilen wie Fenstern im Labor mit diffusem Schallfeld im Senderaum und am Bau mit gerichtetem Schallfeld im Außenbereich ermittelt wird (vgl. Bild 4).

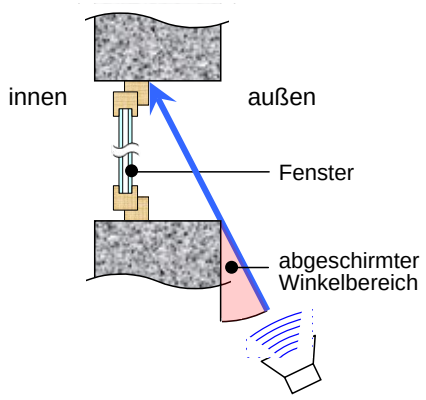


Bild 4:
Nischeneffekt – durch die besonders tiefe Laibung wird ein Teil der Schallenergie abgeschirmt

2.1.4 Einfluss der Schalldämmung von Fenstern auf die resultierende Schalldämmung einer Fassade

Da Fenster nur einen Teil einer Fassade ausmachen, stellt sich die Frage, welchen Einfluss die Schalldämmung eines Fensters auf die gesamte Schalldämmung der Fassade hat. Sicherlich ist für Schallquellen und Empfänger im Nahbereich, als unmittelbar vor dem Fenster, die Schalldämmung des Fensters maßgebend. Für die Schallschutzplanung jedoch wird die resultierende Schalldämmung der Fassade verwendet. Setzt sich ein Bauteil aus mehreren Einzelelementen mit unterschiedlicher Schalldämmung zusammen, so lässt sich die resultierende Schalldämmung nach (1) berechnen.

$$R_{res} = -10 \cdot lg\left(\frac{1}{S_{ges}} \cdot \sum_{i=1}^{n} S_i \cdot 10^{-0,1 \cdot R_i\,[dB]}\right) dB \qquad (1)$$

mit: R = Schalldämm-Maß [dB]

S = Oberfläche des Bauteils [m²]

Streng genommen gilt diese Formel für Terzwerte der Schalldämmung, sie kann jedoch mit eingeschränkter Genauigkeit auch für das bewertete Schalldämm-Maß R_w angewendet werden. Die Kurvenverläufe in Bild 5 ergeben sich, für die Kombination aus zwei Fenstern und drei Wänden mit unterschiedlicher Schalldämmung. Auf der x-Achse ist der zunehmende Fensteranteil aufgetragen und auf der y-Achse das resultierende bewertete Schalldämm-Maß berechnet nach o.g. Formel. Es ist zu erkennen, dass bereits ab einem Fensterflächenanteil von 10-20 % die resultierende Schalldämmung in allen Fällen maßgeblich vom Fenster bestimmt wird. Es macht fast keinen Unterschied mehr (1-2 dB) ob das jeweilige Fenster in einer Wand mit 45 oder 55 dB eingebaut ist, eine um 5 dB höhere Schalldämmung des Fenster macht sich hingegen deutlich bemerkbar.

Das führt in der Praxis natürlich auch dazu, dass eine reduzierte Schalldämmung eines Fensters durch die Montage zu einer deutlichen Reduzierung der resultierenden Schalldämmung der gesamten Fassade führen würde.

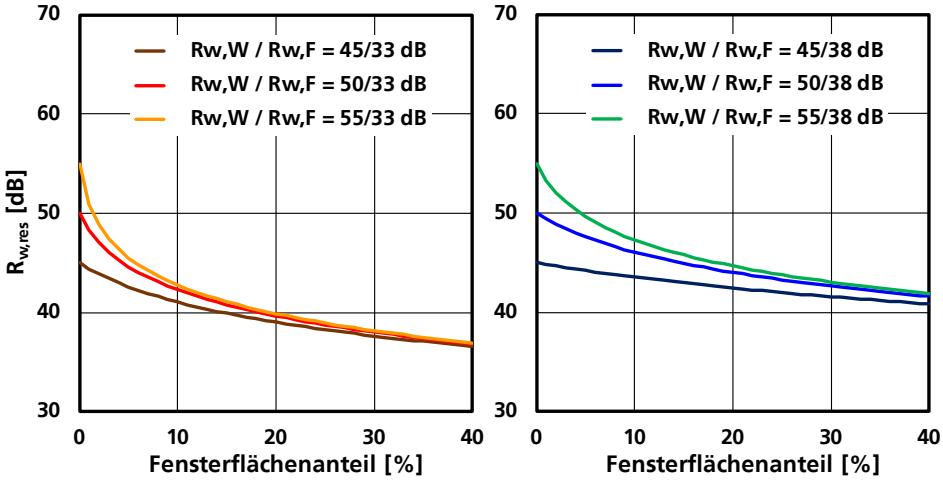


Bild 5:
Resultierende Schalldämmung einer Fassade in Abhängigkeit von der Schalldämmung der Wand, des Fensters und der entsprechenden Flächenanteile

2.2 Einzahlangaben

2.2.1 Schalldämm-Maß

Die in 2.1.1 beschriebenen Schallübertragungen sind frequenzabhängig. In der Bauakustik ist es üblich in Terzen von 100 Hz bis 3150 Hz zu messen. Der erweiterte Frequenzbereich beinhaltet zusätzlich die Frequenzen von 50 Hz bis 80 Hz und 4000 bis 5000 Hz, ist aber in Deutschland nicht rechtlich eingeführt. Ein bauakustisches Messergebnis besteht somit aus 16 einzelnen Terzwerten und ist daher für die Verwendung in der Bauplanung und Nachweisführung zu unhandlich. Aus diesem Grund werden aus den Frequenzspektren Einzahlangaben gebildet, welche es ermöglichen, Bausysteme untereinander oder mit Anforderungen auf einfache Weise zu vergleichen. Für die Luftschalldämmung wird üblicherweise das bewertete Schalldämm-Maß R_w nach DIN EN ISO 717-1:2013 [6] mit einer Nachkommastelle gebildet. Dabei wird das durch Messung ermittelte Frequenzspektrum mit einer in der Norm festgelegten Bezugskurve verglichen. Nach einer definierten Anpassung des Niveaus der Bezugskurve an die Messkurve wird der Einzahlwert bei der Frequenz von 500 Hz abgelesen. Der Wert wird zum Vergleich von Bauteilen untereinander auf eine Nachkommastelle und zum Vergleich mit Anforderungen ganzzahlig abgerundet.

Um die akustische Wirkung durch die Einbauposition des Fensters zu ermitteln, wird für jedes Fenster eine Referenzmessung durchgeführt. Daraus lässt sich frequenzabhängig und auch im Einzahlwert die Verbesserung der Schalldämmung ΔR bzw. ΔR_w ableiten. Negative Vorzeichen deuten insgesamt auf eine Verschlechterung hin, man spricht aber trotzdem von einer (negativen) Verbesserung.

2.2.2 Spektrum-Anpassungswerte

Das Verfahren zur Bestimmung des bewerteten Schalldämm-Maßes stammt aus dem Jahr 1960. Da damals noch keine kompakten elektronischen Rechner zur Verfügung standen, wurde es im Hinblick auf geringen Berechnungsaufwand konzipiert. Die damit verbundenen Vereinfachungen verursachen jedoch bei der praktischen Anwendung erhebliche Probleme:

- Das bewertete Schalldämm-Maß ist auf den Schallschutz bei wohnüblichen Geräuschen ausgerichtet. Bei Außenbauteilen, die Verkehrslärm ausgesetzt sind, liefert es keine adäquate Beschreibung der Schallschutzwirkung und korreliert nicht mit dem menschlichen Höreindruck.

- Der Frequenzbereich unterhalb von 100 Hz, der für den baulichen Schallschutz in der Praxis eine wichtige Rolle spielt, wird bei der Bewertung ausgespart.

- Einbrüche in der Schalldämmkurve, wie sie z. B. durch Bauteilresonanzen entstehen, werden nur unzureichend erfasst.

Um die angesprochenen Probleme zu beheben, wurden in DIN EN ISO 717-1 im Jahr 1997 die beiden Spektrum-Anpassungswerte C (z.B. für Wohnaktivitäten) und C_{tr} (z.B. für städtischen Verkehrslärm) eingeführt. Die Werte sind so definiert, dass die Summe aus bewertetem Schalldämm-Maß und Spektrum-Anpassungswert (also z. B. $R_w + C_{tr}$) unmittelbar der menschlichen Geräuschwahrnehmung entspricht. Da die Spektrum-Anpassungswerte aus dem gemessenen Schalldämm-Maß berechnet werden, sind keine zusätzlichen Messungen erforderlich.

Neben dem Frequenzbereich von 100 bis 3150 Hz können die Spektrum-Anpassungswerte – sofern entsprechende Messwerte für die Schalldämmung vorliegen - optional auch für die Bereiche von 100 bis 5000 Hz, 50 bis 3150 Hz und 50 bis 5000 Hz ermittelt werden. In diesen Fällen werden die Werte mit einem entsprechenden Index (also z. B. $C_{tr,50\text{-}5000}$) gekennzeichnet. Ist kein Index vorhanden, so ist immer der Bereich von 100 bis 3150 Hz gemeint.

3 Vorgehensweise

Zu Beginn des Forschungsvorhabens wird eine Literatur- und Produktrecherche über durchgeführt. Sie dient dazu, einen Überblick über die marktüblichen Konstruktionen zu gewinnen und geeignete Beispiele für die Untersuchungen auszuwählen. Des Weiteren werden vorhandene Ergebnisse zusammengetragen, aufbereitet und durch systematische Auswertung für das geplante Vorhaben nutzbar gemacht.

Um ein akustisches Planungsinstrument für Fenster in vorgesetzter Einbaulage zu schaffen, wird ein Bauteilkatalog mit repräsentativen Konstruktionen erstellt. Da bislang noch fast keine Messwerte vorliegen, werden die erforderlichen Eingangsdaten durch Messungen in einem bauakustischen Prüfstand ermittelt. Bereitstellung und Montage der Prüfobjekte erfolgen durch die Industriepartner. Außerdem werden Verfahren zur Inter- und Extrapolation des Datenbestandes entwickelt, die es ermöglichen, die Schalldämmung auch für solche Konstruktionen abzuschätzen, die nicht im Bauteilkatalog enthalten sind.

Wegen der großen Konstruktionsvielfalt am Bau kommt der Auswahl repräsentativer Prüfobjekte für die bauakustische Messreihe eine zentrale Bedeutung zu. Die Auswahl muss alle bauüblichen Systeme umfassen und darüber hinaus auch Konstruktionen, die weniger häufig zu Einsatz kommen, einbeziehen. Des Weiteren muss die Auswahl so erfolgen, dass eine ausreichende Anzahl geeigneter Stützstellen zur akustischen Interpolation der Daten zur Verfügung steht. Da für die Auswahl eine gute Marktkenntnis erforderlich ist, wird ein Architekturbüro, das über große Erfahrung auf diesem Gebiet verfügt, in das Forschungsvorhaben eingebunden. Um einen repräsentativen Datensatz für den Bauteilkatalog zu erhalten, müssen neben der Einbauposition des Fensters noch weitere Einflussgrößen untersucht werden.

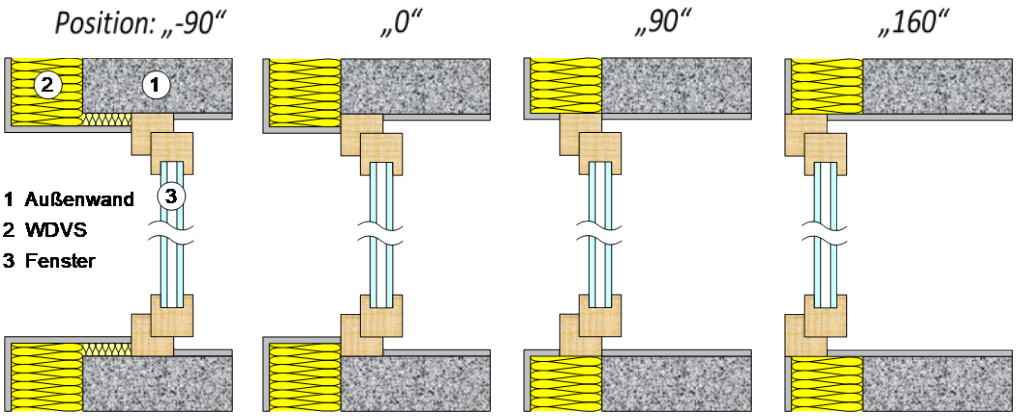


Bild 6:
Einbaupositionen und Anschluss an die Wärmedämmung der Fenster innerhalb der Wandöffnung mit Wärmedämm-Verbundsystem (WDVS).

Folgende Messungen sind vorgesehen:

- vier verschiedene Einbaupositionen gemäß Bild 6 ,
- vier verschiedene Fenster mit einem bewerteten Schalldämm-Maß von 37 bis 47 dB entsprechend den Schallschutzklassen (SSK) 2, 3, 4 und 5 nach VDI 2719.
- drei verschiedene Befestigungssysteme (Dämmzarge, Konsolen, Metallzarge),
- verschiedene Arten der Abdichtung (Kombinationen aus: Folie, Komprimierbares Dichtungsband (Multifunktionsband), Montageschaum und spritzbare Dichtstoffe),
- unterschiedliche Fugenbreite zwischen Fensterrahmen und Bauwerk (15 mm und 30 mm umlaufend).

Die Messungen finden in einem bauakustischen Fensterprüfstand nach DIN EN ISO 10140-5 statt. Dazu werden die Fenster in eine genormte Prüföffnung mit den Abmessungen B x H = 1,25 m x 1,50 m eingebaut und hochschalldämmend abgedichtet. Auf die verbleibende Trennwand wird um die Prüföffnung herum vom Senderaum aus (entspricht von der Einbaurichtung des Fensters aus gesehen der Außenseite des Gebäudes) die Wärmedämmung montiert. Anschließend wird der Senderaum mit einem bewegten Lautsprecher mit rosa Rauschen angeregt und im Sende- und Empfangsraum jeweils der mittlere Schalldruckpegel über einen Zeitraum von zweimal 64 s gemessen. Dabei werden die Mikrofone auf geneigten Kreisbahnen kontinuierlich durch den Raum bewegt. Nach der Messung wird das Fenster gemäß der vier Einbaupositionen in Bild 6 umgebaut und die Messung widerholt. Bei der Messung an Position: »-90« links im Bild ist der Fensterrahmen komplett innerhalb der Mauerwerksöffnung positioniert. Dies ist für die folgenden Messungen die Referenz zur Ermittlung der Verbesserung der Schalldämmung. Der Detaillierte Versuchsaufbau und die Details zur Durchführung der Versuche folgen in den Abschnitten 5 und 6.

4 Literaturrecherche

Zentrales Thema des Forschungsvorhabens ist der Einfluss der Einbaubedingungen auf die Schalldämmung von Fenstern. Bislang gibt es zu dieser Thematik - insbesondere im Hinblick auf die Montage in vorgesetzter Einbaulage - nur wenige Erkenntnisse, die in die Bearbeitung des Vorhabens einfließen können:

- Zur Schalldämmung von Fenstern liegen zahlreiche Untersuchungen vor [9 - 23]. Sie beziehen sich jedoch auf einheitliche, genormte Einbaubedingungen und sind daher nur von beschränktem Nutzen.

- Die zur Formatabhängigkeit der Schalldämmung und zum Nischeneffekt (siehe Abb. 7) vorhandenen Ergebnisse [24 - 30] können für das geplante Vorhaben herangezogen werden.

- Auch zum Schalldurchgang durch Fugendichtungen liegen schon umfangreiche Erfahrungen vor [31 - 36]. Da die Ergebnisse in starkem Maße von den Abmessungen und der Geometrie des Bauteilanschlusses abhängen, lassen sich aber nur begrenzt auf vorgesetzte Systeme übertragen. Gleiches gilt auch für die Ergebnisse zum akustischen Einfluss der Befestigung und Abdichtung von Fenstern [37 - 43].

- Zur Schalldämmung von Fenstern in vorgesetzter Einbaulage gibt es bislang noch kaum Erkenntnisse [44].

Die erwähnten Untersuchungsergebnisse lassen sich zwar teilweise für das Forschungsvorhaben nutzen, liefern aber nur einen kleinen Teil der erforderlichen Informationen. Um die notwendige Datengrundlage zu schaffen, sind daher zusätzlich Messungen in einem bauakustischen Prüfstand erforderlich.

5 Versuchsaufbau

5.1 Prüfstand

Die Versuche wurden in einem speziellen bauakustischen Fensterprüfstand, siehe Bild 7 und Bild 8 durchgeführt. Der Prüfstand besteht aus zwei Räumen, einem Senderaum und einem Empfangsraum, wobei bei Einbau eines Fensters der Senderaum verglichen mit einem realen Gebäude der Außenseite entspricht. Sie sind durch eine hochschalldämmende Trennwand mit einer genormten Prüföffnung für Fenster getrennt. Die Abmessungen der Prüföffnung betragen B x H = 1,25 x 1,50 m. Die Außenwände bestehen aus Stahlbeton mit einem Flächengewicht von m“ > 450 kg/m². Sie sind mit Trennfugen akustisch voneinander entkoppelt.

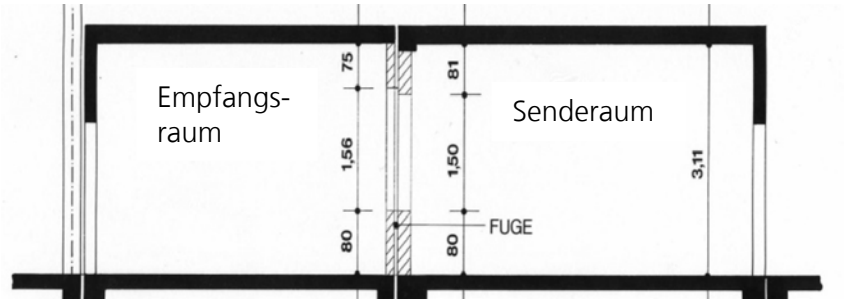


Bild 7:
Schnittansicht des Fensterprüfstands

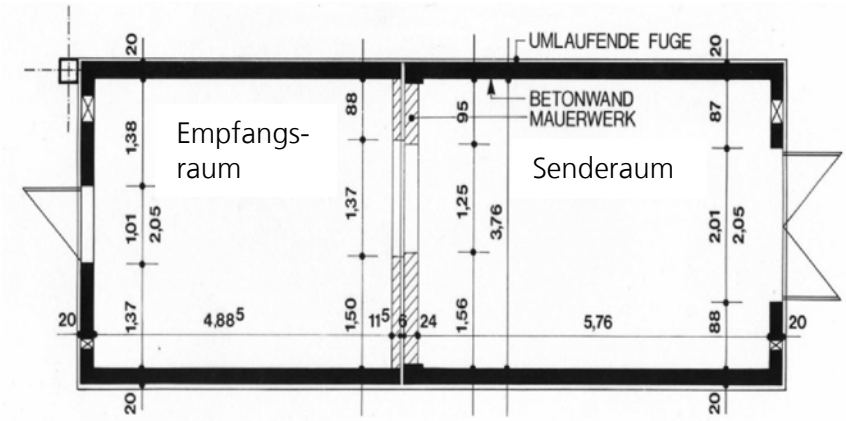


Bild 8:
Grundriss des Fensterprüfstands

In die Prüföffnung werden gemäß DIN EN ISO 10140 Fenster oder Verglasungen eingebaut und abgedichtet. Das maximal messbare bewertete Schalldämm-Maß bezogen auf die Prüföffnung ist bei sorgfältiger Abdichtung $R_{max,w}$ ≥ 72 dB. Im Senderaum befindet sich ein pneumatisch bewegter Lautsprecher, über welchen das Messsignal, im Normalfall »rosa Rauschen« abgegeben wird. Dabei wird in beiden Räumen mit Hilfe von geeigneten Messmikrofonen der mittlere Schalldruckpegel über einen bestimmten Frequenzbereich gemessen.

Aus der Differenz der gemessenen Schalldruckpegel in Sende- und Empfangsraum kann die Schalldämmung des eingebauten Fensters ermittelt werden.

5.2 Auswahl der Fenster

Die Auswahl der Fenster bezieht sich zum einen auf die akustische Qualität, zum anderen sollen praxisgerechte Montagesituationen realisiert werden und zwar sowohl für den Neubau als auch für Bestandsgebäude im Sanierungsfall. In Bezug auf die akustische Qualität orientierte sich die Auswahl an den in der Praxis üblichen Schallschutzklassen (SSK) nach VDI 2719 [7] Tabelle 2 (vgl. Bild 9). Da nach heutigem Stand der Technik Fenster der SSK 1 und SSK 6 aus verschiedenen Gründen nicht zum Standard im Büro- und Wohnungsbau zählen, wird jeweils ein Fenster der SSK 2-5 für die Untersuchungen ausgewählt. Der Unterschied zwischen Neubau und Bestandsgebäude besteht in Bezug auf die Fenster im Wesentlichen aus der Präzision der Maueröffnungen in welche die Fenster eingesetzt werden. Um hier mit vertretbarem Aufwand eine möglichst breite Spanne abzudecken wird die sogenannte Randfuge (RF) also die Fuge zwischen Fensterrahmen und Mauerwerk variiert. Für den Neubau werden Fenster mit einer umlaufenden Randfuge von 15 mm und für den Sanierungsfall von 30 mm gewählt. Eine Randfuge von 15 mm ist als gängige Praxis anzusehen, die Randfuge mit 30 mm ist bewusst relativ groß gewählt um auch eine Aussage für den Extremfall z.B. bei Altbausanierungen zu erhalten.

Spalte	1	2	3
Zeile	Schall-schutz-klasse	bewertetes Schalldämm-Maß R'_w des am Bau funktionsfähig eingebauten Fensters, gemessen nach DIN 52210 Teil 5 in dB	erforderliches bewertetes Schalldämm-Maß R_w des im Prüfstand (P-F) nach DIN 52210 Teil 2 eingebauten funktionsfähigen Fensters in dB
1	1	25 bis 29	≥ 27
2	2	30 bis 34	≥ 32
3	3	35 bis 39	≥ 37
4	4	40 bis 44	≥ 42
5	5	45 bis 49	≥ 47
6	6	≥ 50	≥ 52

Bild 9:
Schallschutzklassen Definition nach VDI 2719:1987 [7]

Insgesamt ergeben sich also acht verschiedene Fenster, die in der folgenden Tabelle noch einmal mit der in den folgenden Kapiteln verwendeten Kurzbezeichnung aufgelistet sind.

Tabelle 1: Übersicht der im Forschungsprojekt verwendeten Fenster

Bezeichnung des Fensters	Verglasung	äußere Rahmenabmessungen (B x H)	Rahmendicke Gesamtgewicht des Fensters
SSK2 – RF 15	4 mm Floatglas 16 mm SZR 4 mm Floatglas	1220 mm x 1435 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 56,0 kg
SSK3 – RF 15	8 mm Floatglas 16 mm SZR 6 mm Floatglas	1220 mm x 1435 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 75,1 kg
SSK4 – RF 15	8.2 mm VSG-SI 16 mm SZR 10 mm Floatglas	1220 mm x 1435 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 86,6 kg
SSK5 – RF 15	10.2 mm VSG-SI 20 mm SZR 8.2 mm VSG-SI	1220 mm x 1435 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 87,7 kg
SSK2 – RF 30	4 mm Floatglas 16 mm SZR 4 mm Floatglas	1190 mm x 1405 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 56 kg
SSK3 – RF 30	8 mm Floatglas 16 mm SZR 6 mm Floatglas	1190 mm x 1405 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 75 kg
SSK4 – RF 30	8.2 mm VSG-SI 16 mm SZR 10 mm Floatglas	1190 mm x 1405 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 86,6 kg
SSK5 – RF 30	12.2 mm VSG-SI 20 mm SZR 8.2 mm VSG-SI	1190 mm x 1405 mm mit 35 mm Sohlbankprofil	76 mm 87,7 kg

Theoretisch wäre es für die Untersuchung des Einflusses der Montage sinnvoll gewesen, anstelle öffenbarer Fenster, Festverglasungen zu verwenden, da bei öffenbaren Fenstern immer die Gefahr des Einflusses der Funktionsfuge auf die Schalldämmung besteht. Es wurden trotzdem wohnungsbautypische Fenster mit Dreh- und Kippflügel verwendet, da zum einen mit Bezug auf die Thematik möglichst realistische, praxisgerechte Konstruktionen untersucht werden sollten und zum anderen besteht die Möglichkeit die Variation der Schallschutzklassen

durch tauschen der Flügel in eingebautem Zustand zu realisieren, was die Montagezeiten deutlich reduziert und damit eine wesentlich größere Anzahl an Messungen im Rahmen der Projektlaufzeit ermöglicht.

5.3 Auswahl der Einbaupositionen

5.3.1 Referenzeinbau

Um die akustischen Auswirkungen der Einbaulage von Fenstern untersuchen zu können, ist es notwendig einen Referenzaufbau, also der Einbau desselben Fensters ohne vorgesetzte Einbaulage zu definieren und von diesem Aufbau die Schalldämmung zu ermitteln. Im Anschluss kann die gemessene Schalldämmung bei vorgesetzter Einbaulage mit der Referenz verglichen werden. Üblicherweise werden Fenster innerhalb der Mauerwerkslaibung eingebaut. Dies entspricht auch der Vorgehensweise bei Norm-Messungen der Schalldämmung nach DIN EN ISO 10140. Die Größe des Fensters wird dabei an die Prüföffnung im Fensterprüfstand angepasst, sodass sich eine umlaufende Fuge von 15 mm ergibt. Dies ist ein typisches Maß für neue Gebäude. Um auch den Einfluss der Fugenbreite auf die Schalldämmung durch das »Vorsetzen« eines Fensters untersucht werden soll, wird dieselbe Untersuchung auch mit einem Fenster mit 30 mm umlaufender Fuge durchgeführt.

Bei der Referenzmessung wird das Fenster ausgehend vom Senderaum innerhalb der Prüföffnung um 90 mm zurückversetzt befestigt. Anschließend wird die Fuge mit absorbierendem Schaumstoff ausgefüllt. Zum Schluss werden die Fugen jeweils Sende- und Empfangsraumseitig mit plastischem Kitt abgedichtet. Da diese Einbauvariante der Messung nach Norm entspricht, wird hier bewusst auf die Montage eines Wärmedämmverbundsystems verzichtet. Zur Abdichtung werden Referenzmaterialien verwendet, damit eventuelle Einflüsse der Abdichtung auf die Schalldämmung des Referenzaufbaus ausgeschlossen werden können. Die Randfuge zwischen Prüfstand und Blendrahmen des Fensters wird mit besonders elastischem Polyurethan (PU) – Schaumstoff ausgefüllt und anschließend beidseitig mit dauerplastischem Kitt Terostat IX abgedichtet.

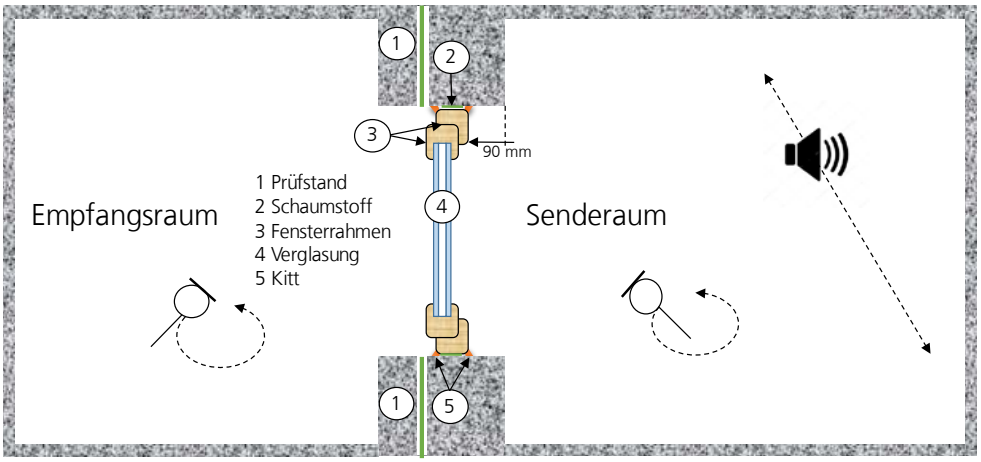


Bild 10
Schematische Darstellung des Referenzaufbaus – Einbauposition »-90 mm«

In Bild 11 und Bild 12 sind Fotos von der Montage der Referenzaufbauten dargestellt.

Bild 11
Foto von der Montage eines Fensters mit 30 mm Randfuge im Prüfstand, links: Ansicht vom Empfangsraum, rechts: Nahaufnahme der Fuge

Bild 12:
Foto Referenzeinbau des Fensters, links: Ansicht vom Senderaum, rechts: Ansicht vom Empfangsraum

Abschließend wurden Sende- und Empfangsraumseitig Fensterbänke gesetzt und umlaufend abgedichtet. Die Funktion der Fensterbänke bestand im Wesentlichen darin, die Montagesituation abzuschließen und eine unerwünschte Schallübertragung über das Sohlbankprofil zu verhindern. Aus diesem Grund wurden hierfür passend zugeschnittene massive 160 mm dicke Holzbalken verwendet. Diese Auswahl hat keinen Einfluss auf die folgenden Untersuchungen.

5.3.2 Vorgesetzter Einbau

Ausgehend vom Referenzaufbau sollen drei vorgesetzte Einbaupositionen untersucht werden. Zur Unterscheidung wird hier eine Bezeichnung eingeführt, die sich am Abstand zwischen Außenkante der Prüföffnung und der Außenkante des Fensterrahmens orientiert. Eine Übersicht der Einbaupositionen befindet sich in der folgenden Tabelle:

Tabelle 2: Bezeichnung der Einbaupositionen der Fenster

Bezeichnung	Abstand zwischen der Außenkante des Fensterrahmens und der Prüföffnung in mm
Referenzeinbau Einbauposition -90	-90
Einbauposition 0	0
Einbauposition 90	90
Einbauposition 160	160

Die erste vorgesetzte Einbauposition ist aus akustischer Sicht dem Referenzaufbau sehr ähnlich, da sich das Fenster immer noch vollständig innerhalb der Mauerwerksöffnung befindet (Bild 13). Die Außenkante des Fensters schließt bündig mit der Öffnung im Mauerwerk im Senderaum ab. Aus diesem Grund werden keine zusätzlichen Befestigungsmittel benötigt, die Abdichtung erfolgt wie bei der Referenzmessung.

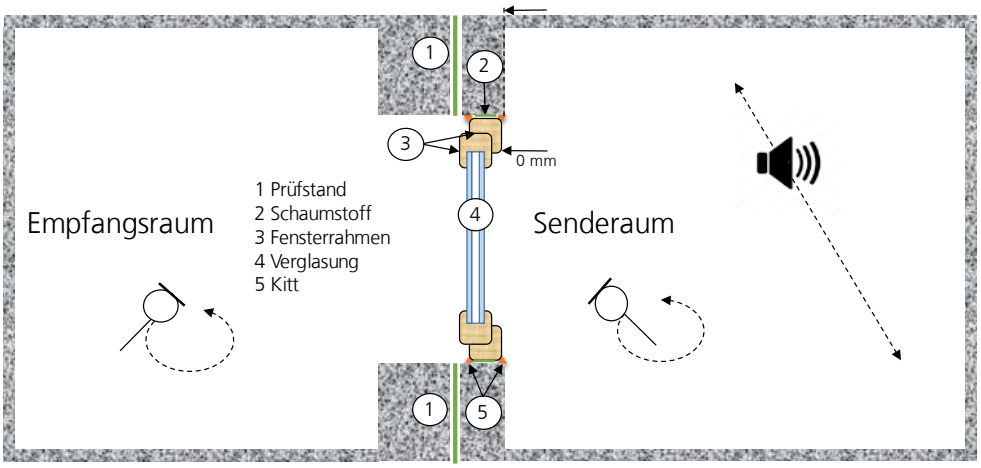


Bild 13
Schematische Darstellung vorgesetzter Einbau bündig mit der Außenkante – Einbauposition »0 mm«

Bei der Einbauposition »90« ist das Fenster gemessen von der Außenkante des Rahmens zur Außenkante der Prüfstandsöffnung um 90 mm vorgesetzt. Bei dieser Einbauvariante ist das Fenster bereits vollständig innerhalb der Dämmebene montiert, sodass spezielle statisch geeignete Systeme notwendig sind um das Fenster an der Wand zu befestigen (Bild 14). Der Anschluss des Fensters auf

der Innenseite (Empfangsraumseitig) sollte so realistisch wie möglich gestaltet werden. Da in der Praxis Gipsputz die am häufigsten verwendete Variante des Fensterinnenanschlusses ist, hierfür aber durch den Trocknungsprozess nach jedem Umbau unangemessen lange Montagezeiten entstehen würden, wurde der Gipsputz durch aufkleben einer Gipsbauplatte realisiert. Die Fugen und der Anschluss an das Wärmedämmverbundsystem wurden systemspezifisch mit PU-Schaum oder Multifunktionsband und verschiedenen Dichtfolien ausgeführt. Auf der Außenseite (Senderaum) wurde das Wärmedämmverbundsystem unabhängig vom Montagesystem immer mit Gewebeanputzleisten und Glasgewebe an das vorgesetzte Fenster angeschlossen. Dämmung und Putz überlappten dabei jeweils um 2-3 cm den Blendrahmen des Fensters. Es wurde besonderes Augenmerk darauf gelegt, diese Schritte bei allen Konstruktionen identisch auszuführen.

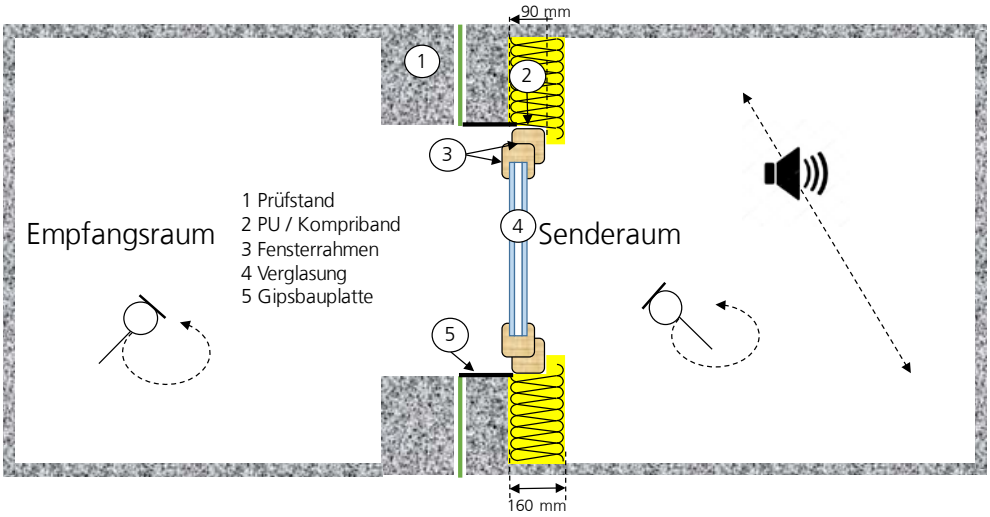


Bild 14
Schematische Darstellung vorgesetzter Einbau Einbauposition »90 mm«

Bei der in Bild 15 dargestellten Einbauposition »160« ist das Fenster gemessen von der Außenkante des Rahmens zur Außenkante der Prüfstandsöffnung um 160 mm vorgesetzt. Bei dieser Einbauvariante ist das Fenster bündig mit der Außenkante der Dämmung und hat keinen Kontaktpunkt mehr zur eigentlichen Prüfstandsöffnung. Anschluss Innen und außen wurde identisch mit der Einbauposition »90« mm durchgeführt. Da allerdings das Fenster Bündig mit der Außenkante der Wärmedämmung eingesetzt wurde, konnte die Wärmedämmung nicht mehr über den Fensterrahmen hinaus überlappen. Hier wurde lediglich der Armierungsputz mit Gewebe und Anschlussleiste angeschlossen. Abschließend wurden dieselben Fensterbänke wie bei der Referenzmessung eingesetzt und umlaufend abgedichtet.

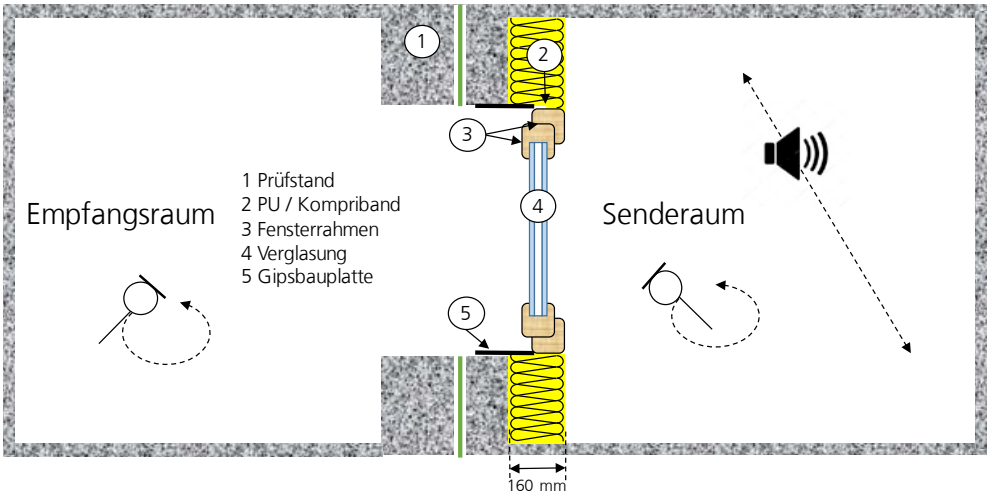


Bild 15:
Schematische Darstellung vorgesetzter Einbau Einbauposition »160 mm«

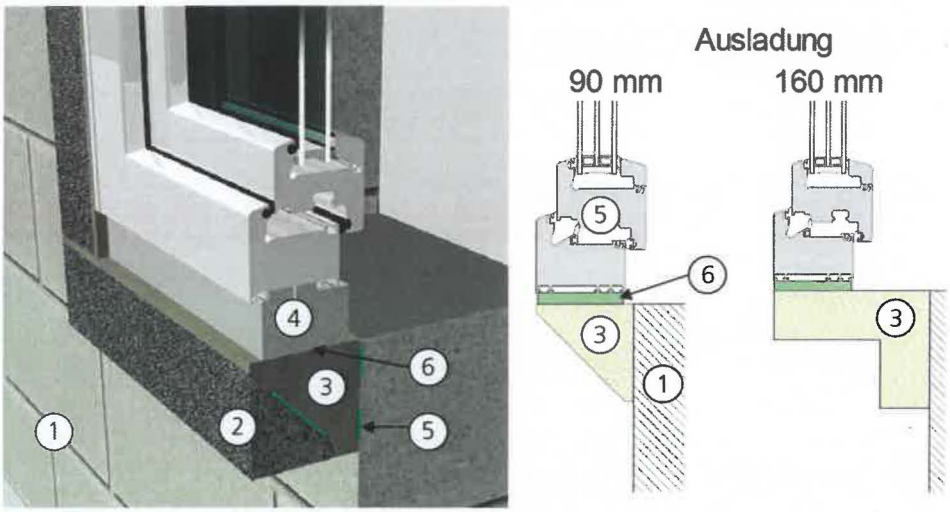
5.4 Auswahl und Aufbau der Montagesysteme

5.4.1 Montagezarge

Neben dem Einfluss der Einbauposition und der Größe der Anschlussfuge soll auch der Einfluss verschiedener Befestigungssysteme auf die Schalldämmung der vorgesetzten Fenster untersucht werden. Hierzu werden drei gängige, verschiedene Systeme der Industriepartner des Forschungsprojekts ausgewählt und nacheinander in Kombination mit den verschiedenen Fenstern kombiniert.

Das erste System besteht im Wesentlichen aus einer umlaufenden Montage-Zarge die auf die vorhandene Fensteröffnung aufgesetzt wird. Sie wird mit Hilfe von systemspezifischem Klebstoff, Dichtungen und Schrauben an der Wand befestigt. Anschließend wurde das Fenster eingesetzt. Die Anschlussfuge wurde dabei einmal mit PU-Schaum und einmal mit Multifunktions-Dichtband, beides vom Hersteller der Zarge, abgedichtet. Anschließend wurde außenseitig eine Winddichte Fensterfolie aufgeklebt und das Wärmedämmverbundsystem mit Fensteranputzleisten und Armierungsmörtel über die Monatezarge hinweg an das Fenster bauüblich angeschlossen.

In Bild 16 ist links eine 3D Grafik und rechts zwei Schnittzeichnungen von diesem System mit unterschiedlichen Einbaupositionen (Ausladungen) des Fensters dargestellt.



(1) Mauerwerk
(2) Dämmkeil
(3) Montagezarge
(4) Sohlbankprofil
(5) Systemklebstoff
(6) Dichtungsmaterial
(PU Schaum oder Kompriband)

Bild 16:
Montagezarge als Vorwandmontagesystem.

In den folgenden Bildern sind Fotos vom Aufbau der Montagezarge dargestellt. Bild 17 zeigt ein Foto während der Montage der 90 mm Montagezarge. Das Wärmedämmverbundsystem war bereits an der Wand befestigt und nur ein schmaler Bereich um das Fenster frei gelassen. Hier wurde nun die Montagezarge mit Systemklebstoff uns zusätzlich mit ca. 2 Schrauben pro Laufmeter befestigt. Anschließend wurden die Dämmkeile aufgeklebt und verbleibende Hohlräume zwischen Zarge und Wärmedämmung mit PU-Schaum ausgeschäumt. Über die Anschlussfuge, die im Beispiel von Bild 18 mit Systemspezifischen Multifunktions-Dichtband abgedichtet war, wurde eine Abdichtfolie geklebt und anschließend die Wärmedämmung angeschlossen.

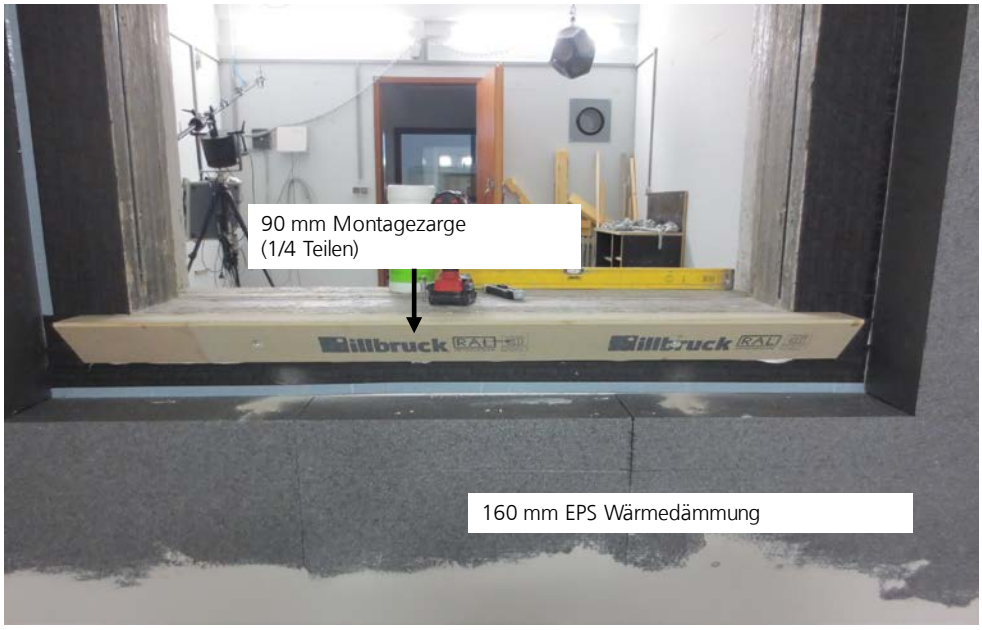


Bild 17:
Foto vom Einbau der 90 mm Montagezarge an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Senderaum während der Montage.

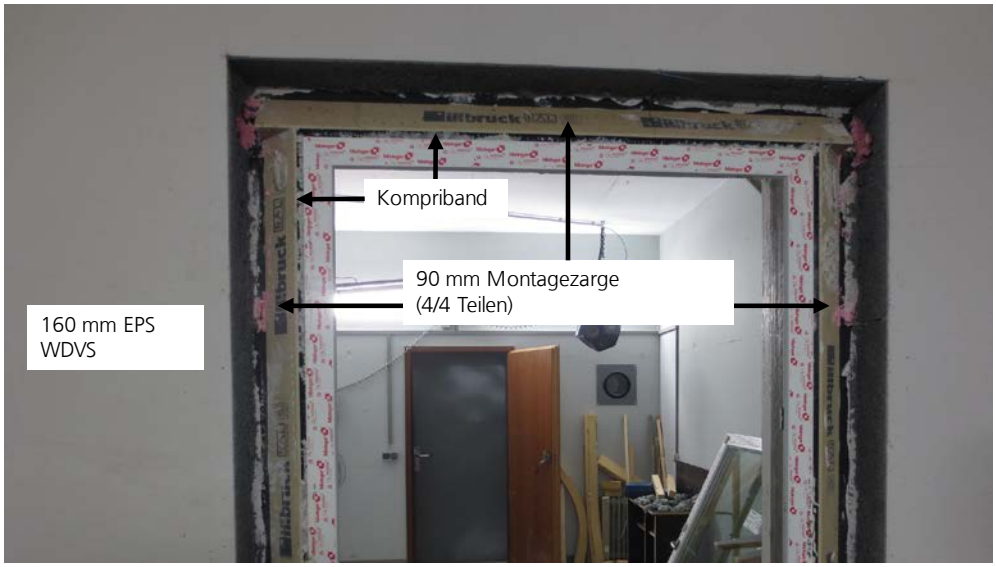
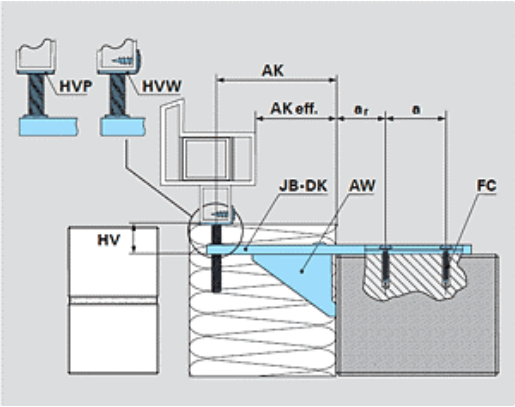


Bild 18:
Foto vom Einbau der 90 mm Montagezarge an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Senderaum, während der Demontage nach der Messung, nach Aufschneiden der Wärmedämmung um das Fenster und nach Entfernen der winddichten Folie.

5.4.2 Konsolen

Im Gegensatz dazu besteht das zweite System aus einzelnen Konsolen. Diese werden mit Schrauben an der Wand befestigt, bilden aber keinen umlaufenden Rahmen. Die dadurch entstehenden Fugen werden mit systemspezifischen

dichtbändern und Dämmstoffen verschlossen. Bild 19 zeigt ist links Grafiken und rechts eine Schnittzeichnungen von dem Konsolen-System.



Maße und Bezeichnungen
AK max. Auskragung
AK eff. Auskragung effektiv
HV Höhenverstellung max. 30 mm
A Achsabstand min. 25 mm (gültig für SFS Befestiger)
a_r Randabstand min. 30 mm (gültig für SFS Befestiger)
AW Abstützwinkel ab 80 mm Auskragung
ALW Ablenkwinkel für Lochsteinmauerwerk (HLZ)
HVW Höhenverstellungswinkel
HVP Höhenverstellungsplatte

Bild 19
Konsolensystem mit HDPE-Dichtfolie

Tabelle 3: Technische Daten der systemspezifischen Fensterfolien nach Angaben des Herstellers

	überputzbare Dichtfolie vollflächig selbstklebend (Hotmelt)	HDPE-Dichtfolie vollflächig selbstklebend (Hotmelt & Kautschukbasis)
Dicke	0,4 mm	1,1 mm
Flächengewicht	ca. 250-350 g/m²	ca. 1000 g/m²
Sd-Wert	1 m < S_d < 50 m	ca. 150 m

Nach Positionierung des Fenster in der jeweiligen Einbauposition wurde Empfangsraumseitig zwischen Fenster und Mauerwerk eine systemspezifische überputzbare Folie aufgeklebt. Hierbei wurde variiert zwischen einer überputzbaren Fensterfolie und einer Fensterfolie auf HDPE-Basis, die wesentlichen technischen Daten sind in Tabelle 3 aufgeführt. Anschließend wurde die Fuge zwischen Fenster und Wärmedämmung mit PU-Schaum ausgeschäumt nach dem

Aushärten des Schaums wurde Senderaumseitig ebenfalls eine systemspezifische Fensterfolie aufgeklebt und zum Schluss das Wärmedämmverbundsystem angeschlossen. Auf der Innenseite wurde wie beim System mit Montagezarge der Anschluss mit Gipsplatten als Ersatz für einen Innenputz innerhalb der Laibung ausgeführt. In den folgenden Bildern sind Fotos von der Montage des Konsolensystems dargestellt.

Bild 20
Foto vom Einbau der 90 mm Konsolen an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Senderaum, während der Montage, nach Positionierung des Fensterrahmens.

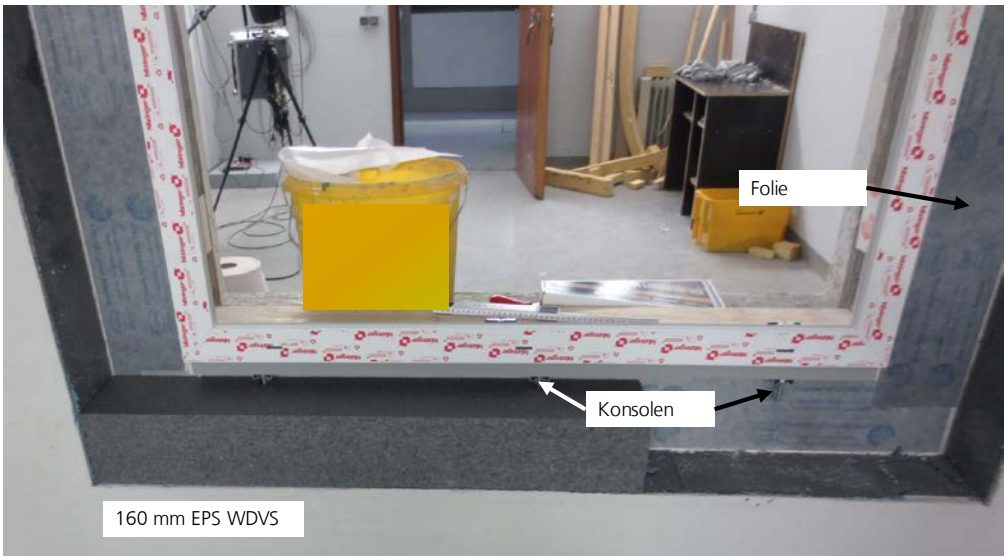


Bild 21:
Foto vom Einbau der 90 mm Konsolen an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Senderaum, während der Montage, nach Aufkleben der überputzbaren Dichtfolie

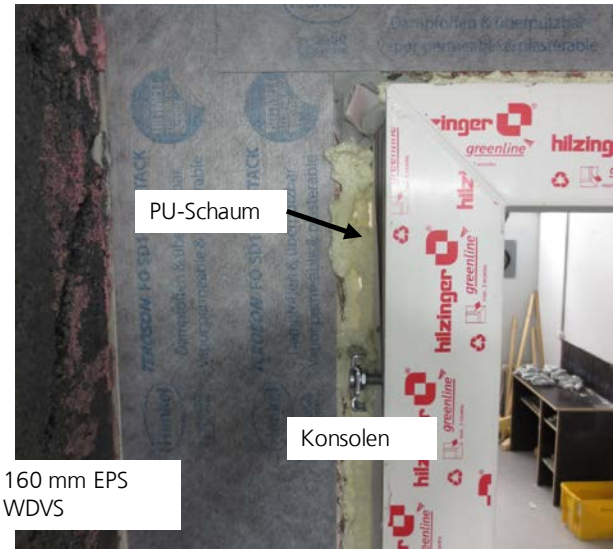


Bild 22
Foto vom Einbau der 90 mm Konsolen an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Senderaum, während der Montage, während des Ausschäumens der Anschlussfuge.

Bild 23
Foto vom Einbau der 90 mm Konsolen an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Empfangsraum, während der Montage, nach dem Ausschäumen der Anschlussfuge, während des Anbringens der HDPE-Folie.

Bild 24
Foto vom Einbau der 90 mm Konsolen an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Empfangsraum, während der Montage, nach Anbringen der HDPE-Folie.

Bild 25
Foto vom Einbau der 90 mm Konsolen an der Prüföffnung im Fensterprüfstand, Ansicht vom Empfangsraum, während der Montage, nach Anbringen der Gipskartonplatten als Ersatz für Putz und Fensterbank.

5.4.3 Metallzarge

Das dritte System besteht wiederum aus einer umlaufenden Zarge, allerdings besteht diese aus 3,0 mm dickem verzinkten Stahlblech. Die letzte Variante wurde gewählt da sie preisgünstig und Herstellerunabhängig ist und daher erfahrungsgemäß oft von Fenster-Montage-Firmen als Alternative zu den zertifizierten Systemen eingesetzt wird. Es wurde dabei für beide vorgesetzten Einbaupositionen (90 und 160 mm) jeweils eine Zarge mit 160 mm Einbautiefe verwendet. Bild 26 zeigt schematisch die Einbausituation 90 mit Metallzarge, Bild 27 ein Foto während der Montage. Nach Fixierung des Fensters wird das Wärmedämmverbundsystem an den Fensterrahmen angeschlossen, sodass die Metallzarge von der Wärmedämmung umschlossen wird. Die Anschlüsse im Sende- und Empfangsraum wurden auf die gleiche Art ausgeführt wie bei den vorangegangenen Systemen.

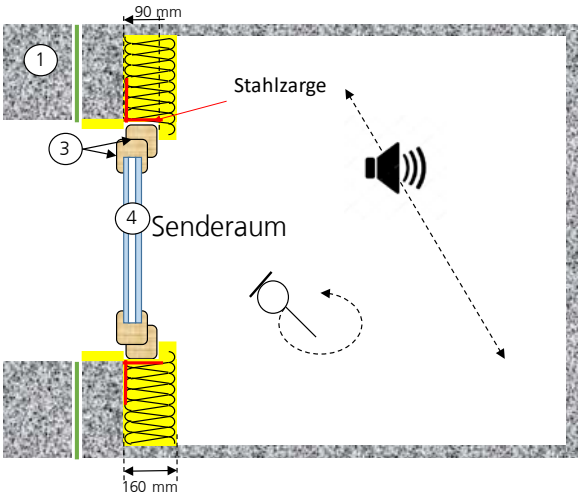


Bild 26:
Einbausituation des Fensters in vorgesetzter Lage mit Metallzarge.

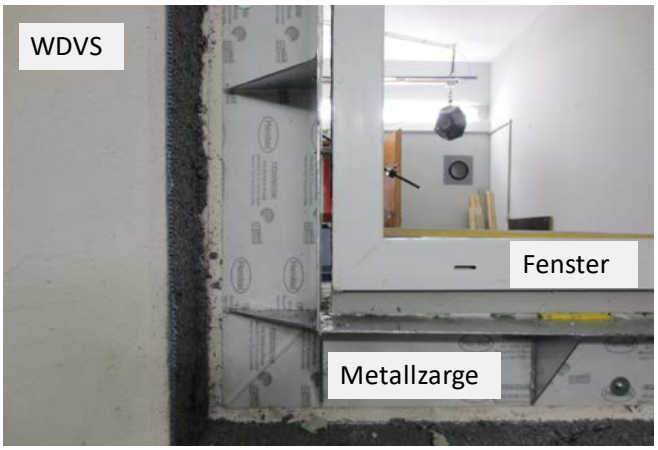


Bild 27
Foto vom Einbau des Fensters mit 15 mm Randfuge, Einbauposition 90 in die Metallzarge

6 Versuchsdurchführung

Die Messungen werden in einem bauakustischen Wandprüfstand (siehe Abschnitt 5.1) durchgeführt. Der Prüfstand und die verwendete Ausrüstung entsprechenden Anforderungen aus DIN EN ISO 10140-4 und 5 [5;8]. Es wurde gemäß DIN EN ISO 10140-2 im Senderaum mit Hilfe eines bewegten Lautsprechers in Dodekaeder-Form angeregt. Das Anregesignal war rosa Rauschen. Der Schalldruckpegel im Sende- und Empfangsraum wurde mit einer Messausrüstung der Genauigkeitsklasse 1 ermittelt. Dabei wurden die Messmikrofone auf geneigten Kreisbahnen bewegt. Nach der Montage der zu untersuchenden Fenster wurde jeweils zunächst die Nachhallzeit im Empfangsraum im Frequenzbereich von 100 bis 5000 Hz auf 1 bis 2 s eingestellt. Danach wurde die Schalldämmung des Fensters bei abgedichteter Funktionsfuge gemessen.

Die Messungen wurden für alle Systeme gleich durchgeführt. Begonnen wurde mit dem Referenzeinbau, Einbauposition »-90«. In dieser Position wurden die Schalldämmung aller acht Fenster ermittelt. Um die Montagezeiten so kurz wie möglich zu gestalten, wurde der Blendrahmen in der entsprechenden Position im Prüfstand fixiert und nach jeder Messung der Fensterflügel getauscht. Die Verglasung des Flügels ist letztlich entscheidend für die Schallschutzklasse des Fensters.

Die Schallübertragung durch die Funktionsfuge stellt dabei eine unbekannte Größe dar. Beim Tausch des Flügels kann es aufgrund von Montagetoleranzen dazu kommen, dass die eingebaute Dichtung nicht mehr perfekt anliegt und eine zufällige Schallübertragung stattfindet. Aus diesem Grund wurde der Einfluss des Effekts mit einer zusätzlichen Vergleichsmessung untersucht. Da sich im Ergebnis herausstellte, dass ein Einfluss vorhanden ist, wurden im Folgenden alle Messungen mit zusätzlich abgedichteter Funktionsfuge durchgeführt.

Anschließend wurde diese Prozedur für die Einbaupositionen »0«, »90« und »160« wiederholt, wobei die Messungen bei den letzten beiden Positionen jeweils einmal mit dem Montagezargensystem, mit dem Konsolensystem und mit der Metallzarge durchgeführt wurden. Mit allen Varianten und einigen Zusatzmessungen ergaben sich daraus insgesamt 62 Messungen, die Folgende Tabelle zeigt eine Übersicht.

Tabelle 4:
Übersicht der durchgeführten Referenzmessungen und bewertetes Schalldämm-Maß

Anzahl	Nr.	Datum	Einbauposition	Fenster	Fuge	System	WDVS	Bemerkung	Rw
1	1a	01.06.2017	-90	SSK 5	30	Referenz	kein	Funktionsfähig	48,0
2	1b	01.06.2017	-90	SSK 5	30	Referenz	kein	Wdh.	48,0
3	1c	02.06.2017	-90	SSK 5	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	48,0
4	2a	05.06.2017	0	SSK 5	30	Referenz	kein	Funktionsfähig	47,9
5	2b	05.06.2017	0	SSK 5	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	48,0
6	3a	06.06.2017	-90	SSK 4	30	Referenz	kein	Funktionsfähig	45,9
7	3b	06.06.2017	-90	SSK 4	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	45,9
8	4a	07.06.2017	0	SSK 4	30	Referenz	kein	Funktionsfähig	45,6
9	4b	07.06.2017	0	SSK 4	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	45,8
10	5a	08.06.2017	-90	SSK 3	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	39,0
11	6a	08.06.2017	0	SSK 3	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	39,3
12	7a	08.06.2017	-90	SSK 2	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	35,5
13	8a	09.06.2017	0	SSK 2	30	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	35,3
14	9a	09.06.2017	-90	SSK 5	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	47,7
15	10a	12.06.2017	0	SSK 5	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	48,1
16	11a	12.06.2017	-90	SSK 3	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	39,1
17	12a	12.06.2017	0	SSK 3	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	39,6
18	13a	12.06.2017	-90	SSK 2	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	35,4
19	14a	13.06.2017	0	SSK 2	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	36,0
20	15a	13.06.2017	-90	SSK 4	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	46,2
21	16a	13.06.2017	0	SSK 4	15	Referenz	kein	Flügel abgedichtet	46,6

Tabelle 5:
Übersicht der durchgeführten Messungen mit Montagezargensystem und bewertetes Schalldämm-Maß

Anzahl	Nr.	Datum	Einbauposition	Fenster	Fuge	System	WDVS	Bemerkung	Rw
22	17a	29.11.2017	90	SSK 2	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Funktionsfähig	35,4
23	18a	29.11.2017	90	SSK 3	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Funktionsfähig	38,7
24	19a	29.11.2017	90	SSK 4	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Funktionsfähig	42,2
25	20a	29.11.2017	90	SSK 5	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Funktionsfähig	39,5
26	20b	29.11.2017	90	SSK 5	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	46,5
27	21a	14.12.2017	160	SSK 3	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	41,6
28	21b	14.12.2017	160	SSK 3	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	38,7
29	21c	14.12.2017	160	SSK 3	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	39,4
30	21d	14.12.2017	160	SSK 3	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	39,2
31	22a	14.12.2017	160	SSK 4	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	44,2
32	23a	14.12.2017	160	SSK 5	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	46,3
33	24a	14.12.2017	160	SSK 2	15	Zarge Kompriband	EPS 160	Flügel abgedichtet	35,5
34	25a	20.12.2017	160	SSK 2	15	Zarge PU-Schaum	EPS 160	Flügel abgedichtet	34,8
35	26a	20.12.2017	160	SSK 3	15	Zarge PU-Schaum	EPS 160	Flügel abgedichtet	38,6
36	27a	20.12.2017	160	SSK 4	15	Zarge PU-Schaum	EPS 160	Flügel abgedichtet	44,6
37	28a	20.12.2017	160	SSK 5	15	Zarge PU-Schaum	EPS 160	Flügel abgedichtet	45,4

Tabelle 6:
Übersicht der durchgeführten Messungen mit Konsolensystem und bewertetes Schalldämm-Maß

Anzahl	Nr.	Datum	Einbauposition	Fenster	Fuge	System	WDVS	Bemerkung	Rw
38	29a	16.02.2018	90	SSK 3	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	39,2
39	30a	16.02.2018	90	SSK 2	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	35,0
40	31a	19.02.2018	90	SSK 4	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	44,9
41	32a	19.02.2018	90	SSK 5	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	47,5
42	33a	20.02.2018	90	SSK 5	15	Konsole Schaum Butyl	EPS 160	Flügel abgedichtet	47,7
43	34a	22.02.2018	90	SSK 2	15	Konsole Schaum Butyl	EPS 160	Flügel abgedichtet	34,8
44	35a	21.02.2018	90	SSK 4	15	Konsole Schaum Butyl	EPS 160	Flügel abgedichtet	45,3
45	36a	21.02.2018	90	SSK 3	15	Konsole Schaum Butyl	EPS 160	Flügel abgedichtet	39,4
46	37a	27.02.2018	160	SSK4	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	45,4
47	38a	27.02.2018	160	SSK5	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	47,8
48	38b	27.02.2018	160	SSK5	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	43,2
49	38c	27.02.2018	160	SSK5	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	46,0
50	39a	27.02.2018	160	SSK2	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	35,0
51	40a	27.02.2018	160	SSK3	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	39,5
52	40b	27.02.2018	160	SSK3	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	39,9
53	40c	27.02.2018	160	SSK3	15	Konsole Schaum Folie	EPS 160	Flügel abgedichtet	38,6

Tabelle 7:
Übersicht der durchgeführten Messungen mit Metallzarge und bewertetes Schalldämm-Maß

Anzahl	Nr.	Datum	Einbauposition	Fenster	Fuge	System	WDVS	Bemerkung	Rw
54	41a	09.04.2018	160	SSK2	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	35,1
55	42a	10.04.2018	160	SSK4	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	43,6
56	43a	10.04.2018	160	SSK3	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	39,0
57	44a	10.04.2018	160	SSK5	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	44,8
58	45a	16.04.2018	90	SSK5	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	44,9
59	46a	16.04.2018	90	SSK3	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	38,9
60	47a	16.04.2018	90	SSK4	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	43,4
61	48a	16.04.2018	90	SSK2	15	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	35,3
62	49a	18.04.2018	90	SSK5	30	Metallzarge	EPS 160	Flügel abgedichtet	45,0

7 Messergebnisse

In der eigentlichen Hauptuntersuchung wurde jeweils das Schalldämm-Maß der Fenster in den verschiedenen Einbauvarianten gemessen.

Folgende Abkürzungen werden in den Diagrammen verwendet:

RF	Randfuge
Pos	Einbauposition
SSK	Schallschutzklasse
PU	Fuge mit Polyurethanschaum mit Schaumpistole ausgeschäumt
Kompri	Fuge mit komprimierbarem Multifunktions-Dichtungsbandband
HDPE	selbstklebende Dichtfolie aus HDPE & Kautschukbasis
Folie	selbstklebende, überputzbare Dichtfolie

7.1 Voruntersuchung zum Einfluss der Funktionsfuge

Wie in Abschnitt 5.2 beschrieben wäre es für die Untersuchungen aus akustischer Sicht sinnvoll gewesen anstelle von öffenbaren Fenstern Festverglasungen zu verwenden. Dadurch hätten sich allerdings die Montagezeiten deutlich verlängert, da kein Austauschen des Flügels zum Wechsel der Schallschutzklassen möglich gewesen wäre. Da die Funktionsfuge von Fenster üblicherweise eine Schwachstelle in der Schalldämmung darstellt, muss deren Einfluss vorab untersucht werden. Die Fenster hatten bis auf die Verglasung einen identischen Aufbau, also ist davon auszugehen, dass bei den Fenstern mit hoher Schalldämmung der Einfluss der Funktionsfuge am größten ist. Daher wurde beim Fenster mit SSK 5 in den Einbaupositionen -90 und 0 jeweils einmal die Schalldämmung des Fensters in funktionsfähigem Zustand (das Fenster ließ sich also normal öffnen und schließen) und einmal mit abgedichteter Funktionsfuge (das Fenster ließ sich nicht mehr öffnen) gemessen. Zur Abdichtung wurde jeweils Sende- und Empfangsraumseitig eine dünne Lage Terostat IX auf die Fuge gelegt und mit der Hand angedrückt. Die Ergebnisse sind in Bild 28 rechts dargestellt. Es ist zu erkennen, dass durch die Funktionsfuge zwar kein deutlicher Einfluss auf das bewertete Schalldämm-Maß vorhanden ist, allerdings weichen die Frequenzverläufe der Schalldämm-Spektren vor allem hochfrequent systematisch voneinander ab. Ab ca. 630 Hz und darüber ist die Schalldämmung der Fenster in funktionsfähigem Zustand, also ohne Abdichtung der Funktionsfuge geringer. Bei 3150 Hz und 4000 Hz beträgt der Einfluss bis zu 4 dB. Aus diesem Grund sollen die folgenden Untersuchungen grundsätzlich mit nachträglich abgedichteter Funktionsfuge durchgeführt werden.

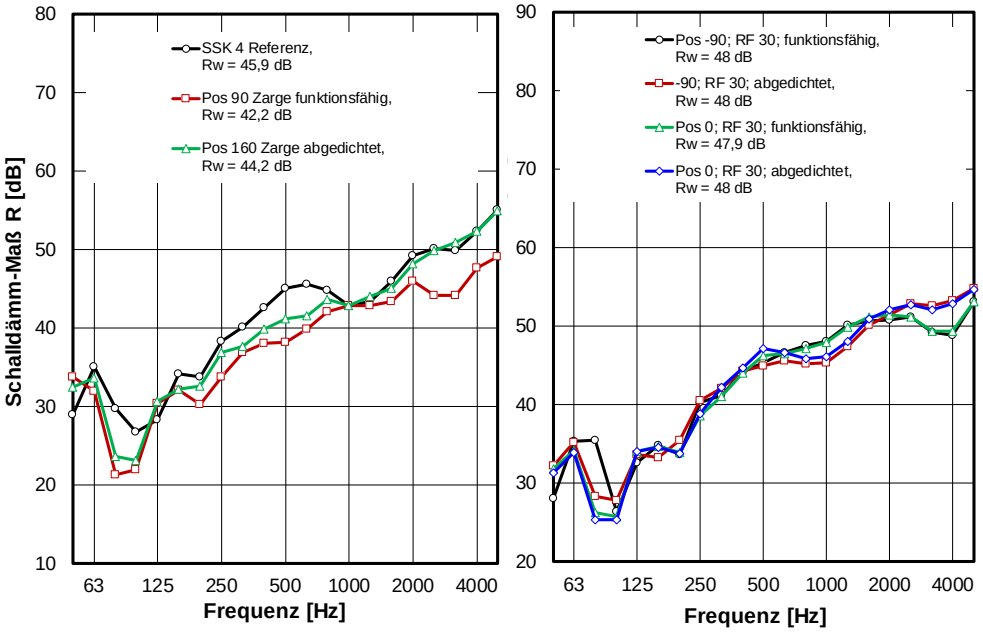


Bild 28:
Schalldämm-Maß der Fensters mit SSK 4 links und SSK 5 rechts, verschiedene Einbaupositionen, Funktionsfuge funktionsfähig und abgedichtet.

7.2 Referenzmessungen (Einbaupositionen »-90« und »0«)

Um festzustellen, ob sich die Schalldämmung der Fenster durch den vorgesetzten Einbau verändert, muss zunächst festgestellt werden, welche Schalldämmung die Fenster beim Referenzeinbau haben. Die Messung dient u.a. auch dazu um festzustellen, ob die gelieferten Fenster tatsächlich der vorgegebenen Schallschutzklasse entsprechen. Da aus akustischer Sicht kein wesentlicher Unterschied zwischen Einbauposition »-90« und »0« mm besteht, werden die Ergebnisse in den folgenden Diagrammen gemeinsam dargestellt. Die Messungen wurden jeweils für die Fenster mit 15 mm und 30 mm Randfuge durchgeführt. Da wie in Abschnitt 7.1 beschrieben ein nicht prognostizierbarer Einfluss durch die Funktionsfuge zu erwarten ist, wurden alle Messungen mit nachträglicher Abdichtung durchgeführt.

7.2.1 Referenzmessungen Schallschutzklassen SSK 2 und SSK 3

In Bild 29 sind die Referenzmessungen der Fenster mit SSK 2 links dargestellt. Weder beim bewerteten Schalldämm-Maß, noch im Frequenzverlauf sind wesentliche Unterschiede zu erkennen. Lediglich bei der 200 Hz Terz ist beim Fenster mit 30 mm Randfuge ein kleiner Einbruch in der Schalldämmung von ca. 4 dB zu erkennen.

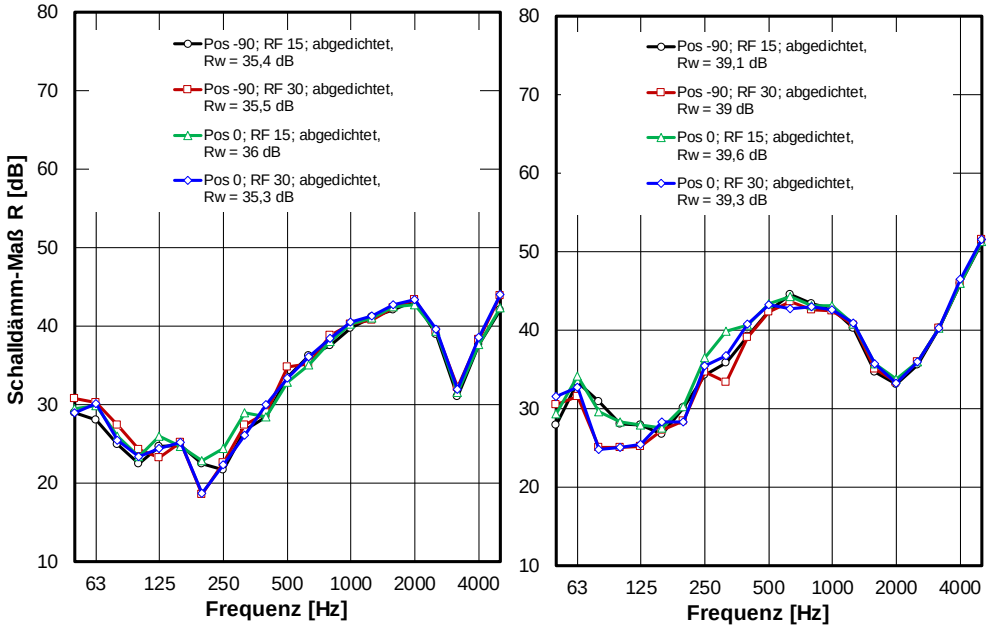


Bild 29
Schalldämm-Maß der Fensters mit SSK 2 links und SSK 3 rechts, 15 mm und 30 mm Randfuge, Einbauposition »Referenz -90« und »0«, Funktionsfuge abgedichtet.

Mit einem bewerteten Schalldämm-Maß von R_w = 35 dB entsprechen die Fenster SSK 2 nach VDI 2719:1987 Tabelle 2. Rechts sind die Referenzmessungen der Fenster mit SSK 3 dargestellt. Auch hier gibt es im Einzahlwert keine nennenswerten Unterschiede. Die Fenster entsprechen SSK 3. Das Fenster mit

Randfuge 30 mm hat einen Einbruch in der Schalldämmung gegenüber dem mit Randfuge 15 mm im Frequenzbereich zwischen 80 und 125 Hz. Zwischen den Einbaupositionen »-90« und »0« mm gibt es keine Unterschiede.

7.2.2 Referenzmessungen Schallschutzklassen SSK 4 und SSK 5

In Bild 30 sind die Referenzmessungen der Fenster mit SSK 4 links und SSK 5 rechts dargestellt. Zwischen der Einbauposition »-90« und »0« mm und zwischen den Randfugen 15 und 30 mm sind keine wesentlichen Unterschiede zu erkennen. Sie liegen mit maximal 0,7 dB Unterschied innerhalb der Messtoleranz für bauakustische Messungen. Alle vier Fenster entsprechen der vorgegebenen Schallschutzklasse.

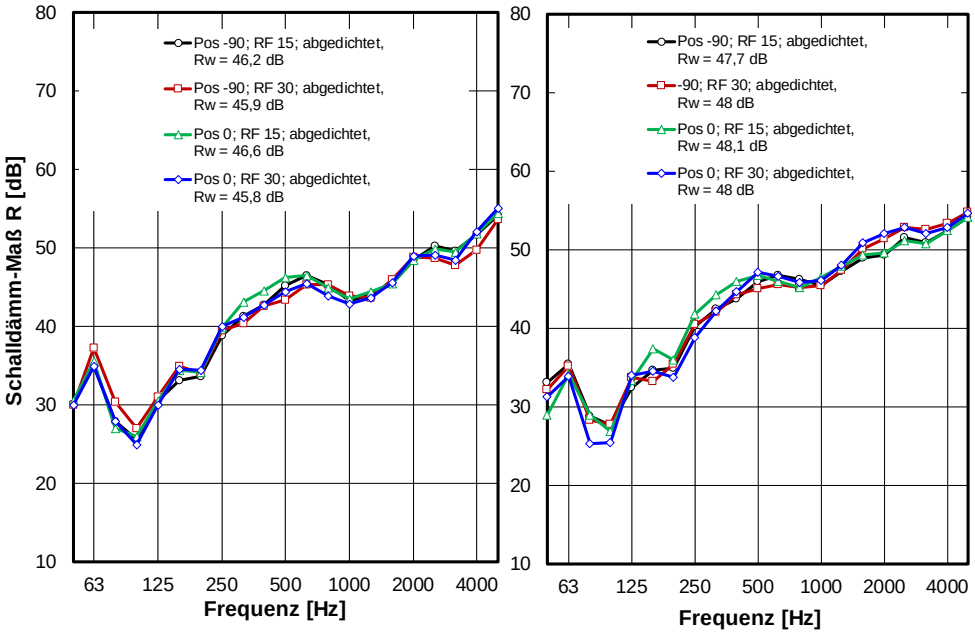


Bild 30:
Schalldämm-Maß der Fensters mit SSK 4 links und SSK 5 rechts, 15 mm und 30 mm Randfuge, Einbauposition »Referenz -90« und »0«, Funktionsfuge abgedichtet.

7.3 Vorgesetzter Einbau – Vergleich der Einbaupositionen

Im folgenden Abschnitt werden jeweils zunächst die gemessenen Schalldämm-Maße und die Verbesserungen der Schalldämm-Maße frequenzabhängig grafisch dargestellt. Die Verbesserungen können ein negatives Vorzeichen haben und werden damit zu einer Verschlechterung der Schalldämmung. Gemäß DIN EN ISO 10140-1 wird dennoch das Wort Verbesserung verwendet. In den Legenden der folgenden Diagramme ist jeweils das bewertete Schalldämm-Maß mit angegeben, welches auch zum Vergleich mit Anforderungen und der Eingruppierung in die Schallschutzklassen dient. Da die Anforderungen in aller Regel ganzzahlig, Messwerte jedoch mit einer Dezimalstelle angegeben werden, muss zum Vergleich beider der Messwert immer abgerundet werden.

Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit der Messergebnisse werden nur Ergebnisse des Fensters mit 15 mm Randfuge dargestellt. eine Auswertung zum Einfluss der Randfuge folgt in Abscnitt 7.5.

7.3.1 Montagezarge

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse der Fenster in verschiedenen Einbaupositionen mit Montagezarge dargestellt und mit den Messergebnissen der Referenzmessungen verglichen.

Schallschutzklasse 2

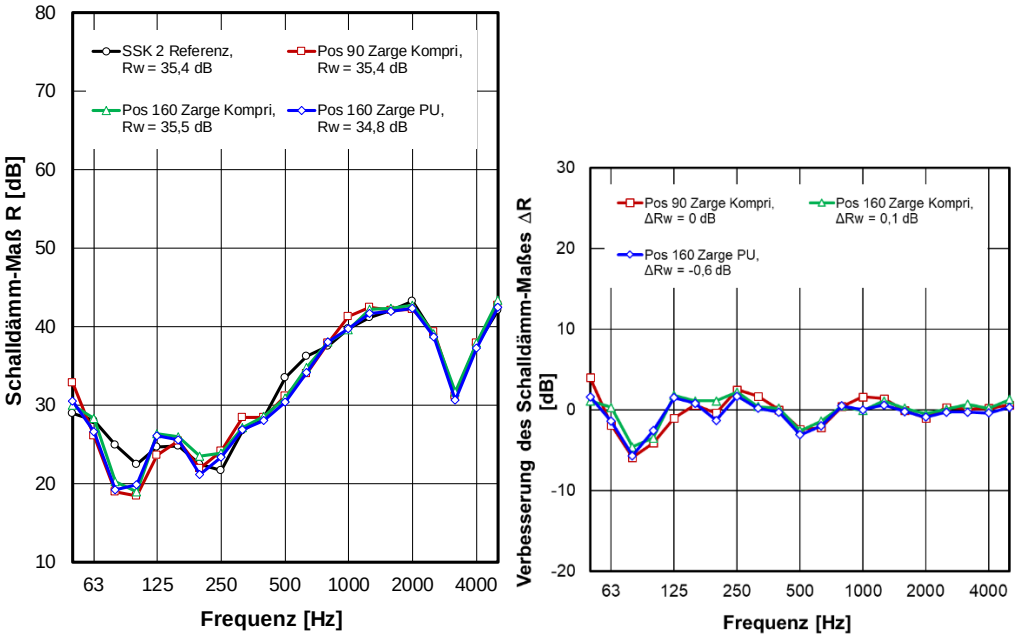


Bild 31:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 2, 15 mm Randfuge mit PU bzw. Kompriband, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, in der Montagezarge, Funktionsfuge abgedichtet.

In Bild 31 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 2 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit R_w = 34-35 dB alle im Bereich von SSK 2 (≥ 32 dB). Im Frequenzverlauf der Verbesserung der Schalldämmung (rechts) ist bei beiden Einbaupositionen (90 und 160 mm vorgesetzt) unabhängig von der Art der Abdichtung ein Einbruch bei 80 Hz bis 100 Hz und bei 500 Hz zu erkennen. Das heißt die Verbesserung ist deutlich im negativen Bereich. Der Einbruch wirkt sich mit maximal ΔRw = -0,6 dB nur unwesentlich auf das bewertete Schalldämm-Maß aus.

Schallschutzklasse 3

In Bild 32 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 3 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit R_w = 38-39 dB alle im Bereich von SSK 3 (≥ 37 dB). Auch hier sind zwei Einbrüche in der Schalldämmung durch die vorgesetzte Einbaulage zu erkennen. Beide Einbrüche sind hier breiter, sie erstrecken sich über 3 Terzen. Der Einbruch bei 80 bzw. 100 Hz beträgt jetzt bis zu 10 dB. Trotzdem ist auch hier der Einfluss auf die Einzahlwerte mit ΔR_w = -0,5 dB nicht größer.

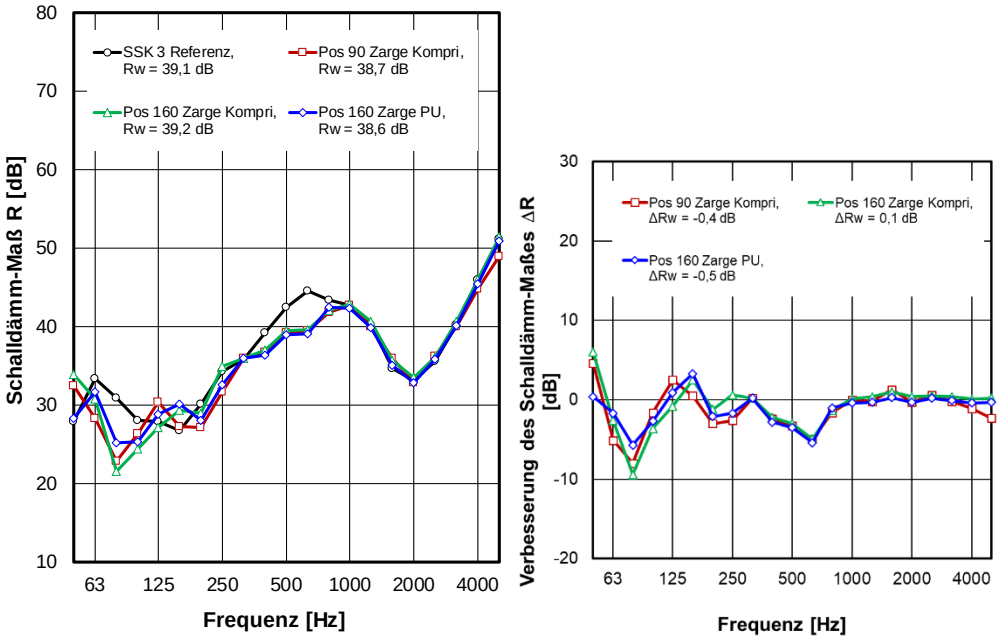


Bild 32:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 3, 15 mm Randfuge mit PU bzw. Kompriband, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, in der Montagezarge, Funktionsfuge abgedichtet.

Schallschutzklasse 4

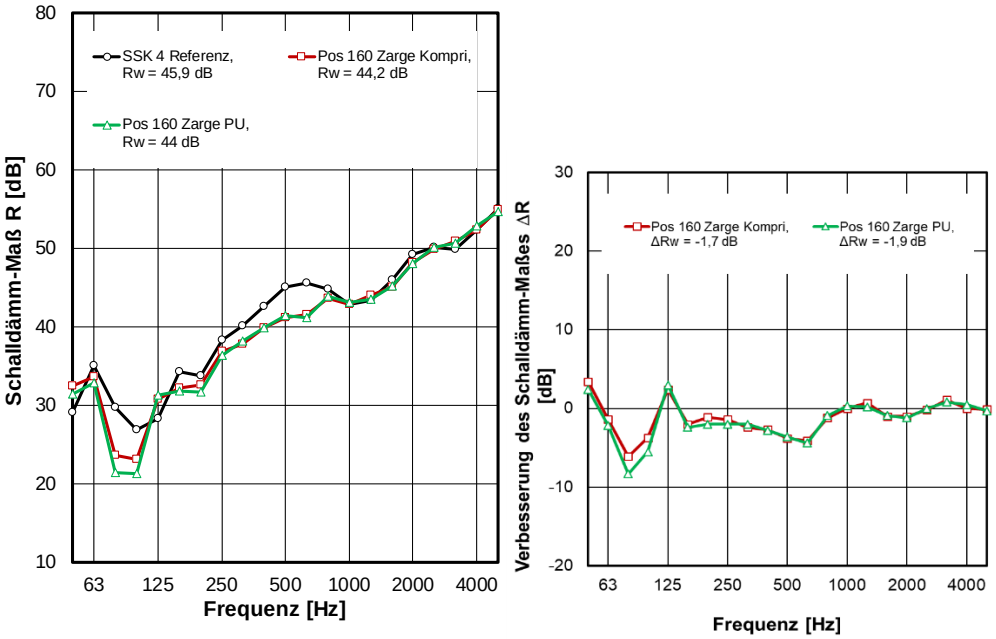


Bild 33
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 4, 15 mm Randfuge mit PU bzw. Kompriband, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, in der Montagezarge, Funktionsfuge abgedichtet.

In Bild 33 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 4 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die Werte bei Einbauposition »90« werden bewusst nicht aufgeführt, da hier bei der Messung versehentlich die Funktionsfuge nicht abgedichtet war, was zu falschen Ergebnissen führt (vgl. Abschnitt 7.1) Im rechten Diagramm ist zu erkennen, dass der Einbruch in der Schalldämmung jetzt fast durchgehend von ca. 80 bis 800 Hz vorhanden ist. Die breitbandige Verschlechterung der Schalldämmung hat nun auch einen Einfluss auf den Einzahlwert. Die negative Verbesserung der Schalldämmung von ΔRw ≈ -2 dB kann unter Umständen, unabhängig von der Art der Abdichtung der Randfuge, zur Eingruppierung in eine niedrigere Schallschutzklasse führen. Bei diesem Beispiel ist dies nicht der Fall, da das Fenster in der Referenz mit Rw = 45 dB im oberen Bereich der SSK4 (≥ 42 dB) liegt.

Schallschutzklasse 5

In Bild 34 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 5 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Auch hier ist, genau wie bei SSK 4, ein breitbandiger Einbruch in der Schalldämmung von ca. 80 bis 800 Hz zu erkennen. Während die Verbesserung der Schalldämmung in den einzelnen Terzen zwischen von $\Delta R \approx 0$ bis -5 dB liegt, beträgt sie im Einzahlwert $\Delta R_w \approx -1$ bis -2 dB und kann zur Eingruppierung in eine niedrigere Schallschutzklasse führen, was in diesem Beispiel auch der Fall ist. Das bewertete Schalldämm-Maß des Fenster fällt von R_w = 47 dB auf R_w = 45 dB, gemessen im Prüfstand und damit ist die Anforderung an SSK 5 (≥ 47 dB) nicht mehr erfüllt.

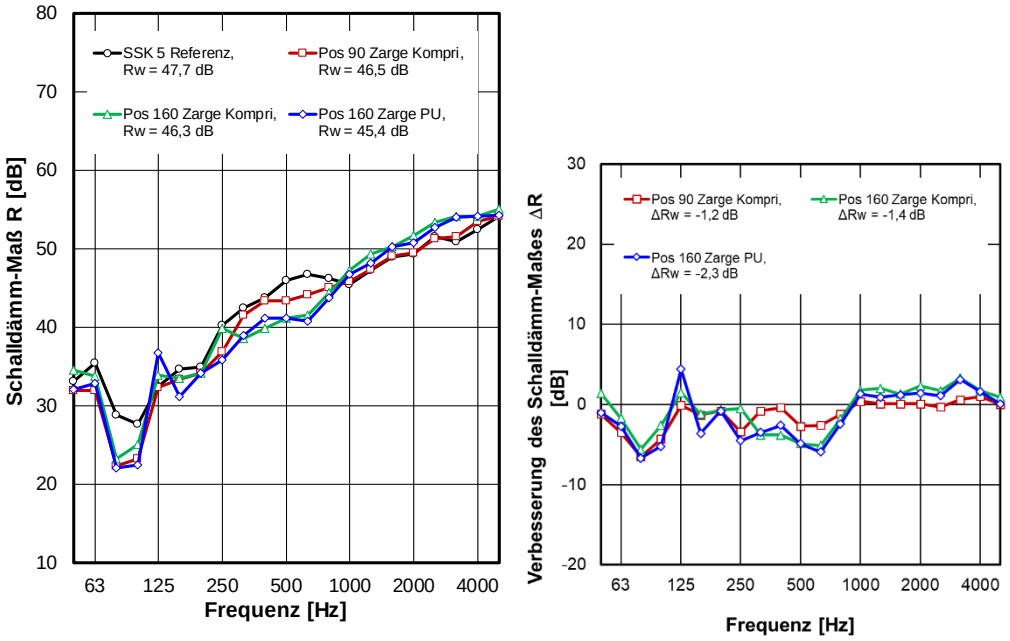


Bild 34:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 5, 15 mm Randfuge mit PU bzw. Kompriband, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, in der Montagezarge, Funktionsfuge abgedichtet.

7.3.2 Konsolensystem

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse der Fenster in verschiedenen Einbaupositionen mit Konsolensystem dargestellt und mit den Messergebnissen der Referenzmessungen verglichen. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit der Messergebnisse werden nur Ergebnisse des Fensters mit 15 mm Randfuge verglichen.

Schallschutzklasse 2

In Bild 35 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 2 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit R_w = 34-35 dB alle im Bereich von SSK 2 (≥ 32 dB). Im Frequenzverlauf der Verbesserung der Schalldämmung (rechtes Diagramm) ist auch beim Konsolensystem jeweils ein deutlicher Einbruch von bis zu 5 dB bei 80-100 Hz und bei 500 Hz zu sehen. Der Einfluss auf das bewertete Schalldämm-Maß ist gering. Es gibt keinen nennenswerten unterschied durch die Art der verwendeten Folie oder die Tiefe der Ausladung 90 oder 160 mm zum Referenzwert.

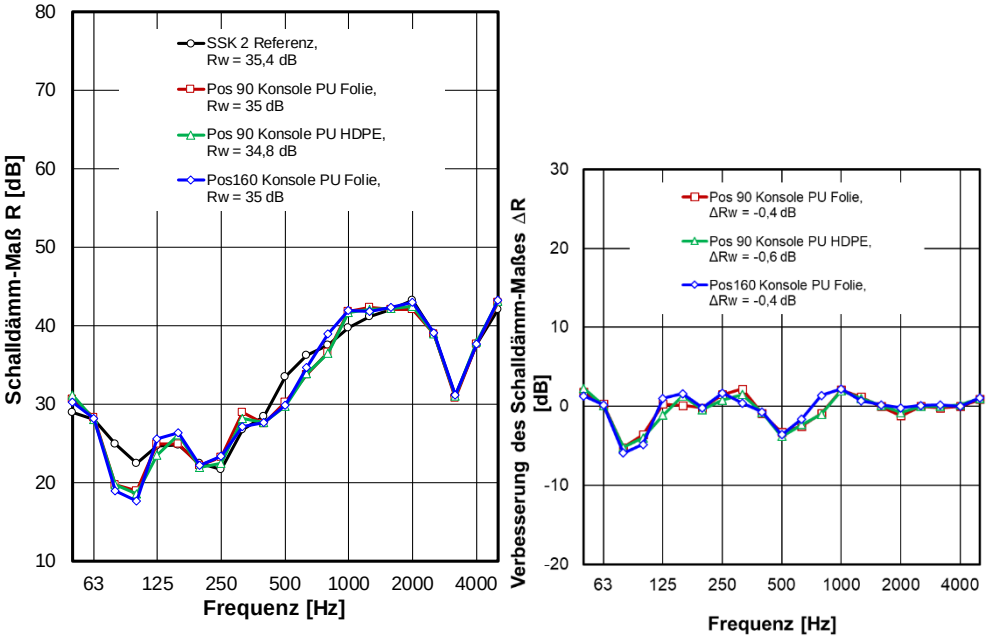


Bild 35:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 2, 15 mm Randfuge mit PU und Folie bzw. HDPE, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, mit Konsolensystem, Funktionsfuge abgedichtet.

Schallschutzklasse 3

In Bild 36 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 3 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit Rw = 39 dB alle im Bereich von SSK 3 (≥ 37 dB). Ähnlich wie beim System mit Montagezarge ist auch beim Konsolensystem bei den Fenstern mit Schallschutzklasse 3 der Einbruch in der Schalldämmung bei 80 Hz mit bis zu 10 dB deutlich größer. Der Einbruch bei 500 Hz ist breitbandiger als bei Schallschutzklasse 2. Der Einfluss auf das bewertete Schalldämm-Maß ist mit ΔRw ≤ 0,4 dB zwar sogar positiv, aber dennoch vom Betrag unwesentlich.

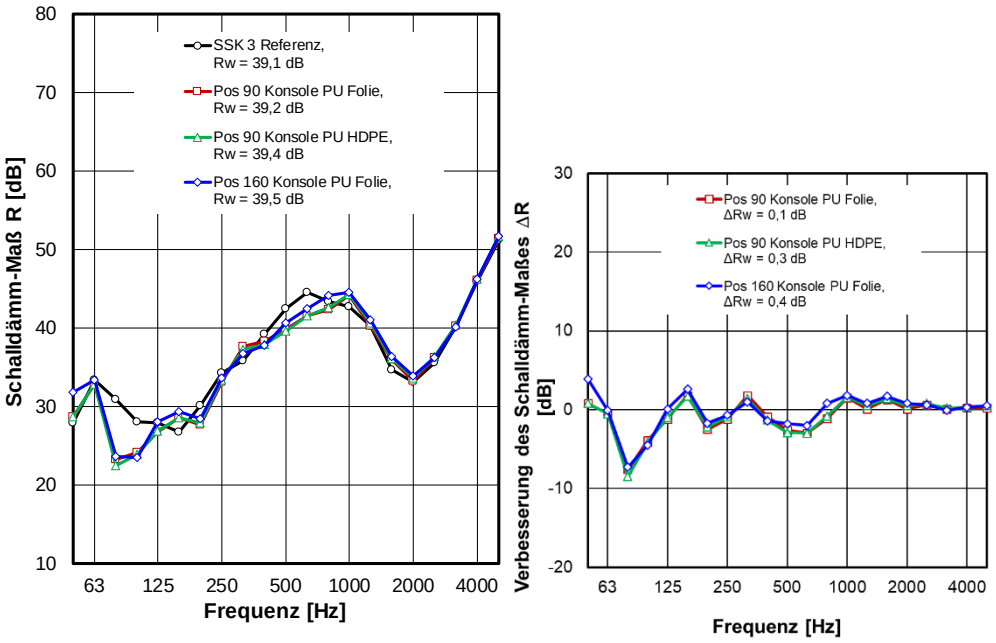


Bild 36:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 3, 15 mm Randfuge mit PU und Folie bzw. HDPE, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, mit Konsolensystem, Funktionsfuge abgedichtet.

Schallschutzklasse 4

In Bild 37 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 4 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit R_w = 44-45 dB alle im Bereich von SSK 4 (≥ 42 dB). Die Verbesserung der Schalldämmung (rechtes Diagramm) ist nun bis auf zwei Terzen im kompletten Frequenzbereich von 80 bis 500 Hz negativ. Die Beträge sind allerdings relativ gering und in den meisten Fällen zu vernachlässigen. Auch der Einfluss auf die Einzahlwerte ist mit bis zu ΔR_w = -1,0 dB etwas größer als bei SSK 3 aber immer noch innerhalb der Größenordnung bauakustischer Messtoleranzen. Mit dem Verlust einer Schallschutzklasse wäre normalerweise nicht zu rechnen. Ausnahme: Wenn die Schalldämmung des Fensters in der Referenzposition die Anforderung an SSK 4 ohnehin nur knapp erfüllt.

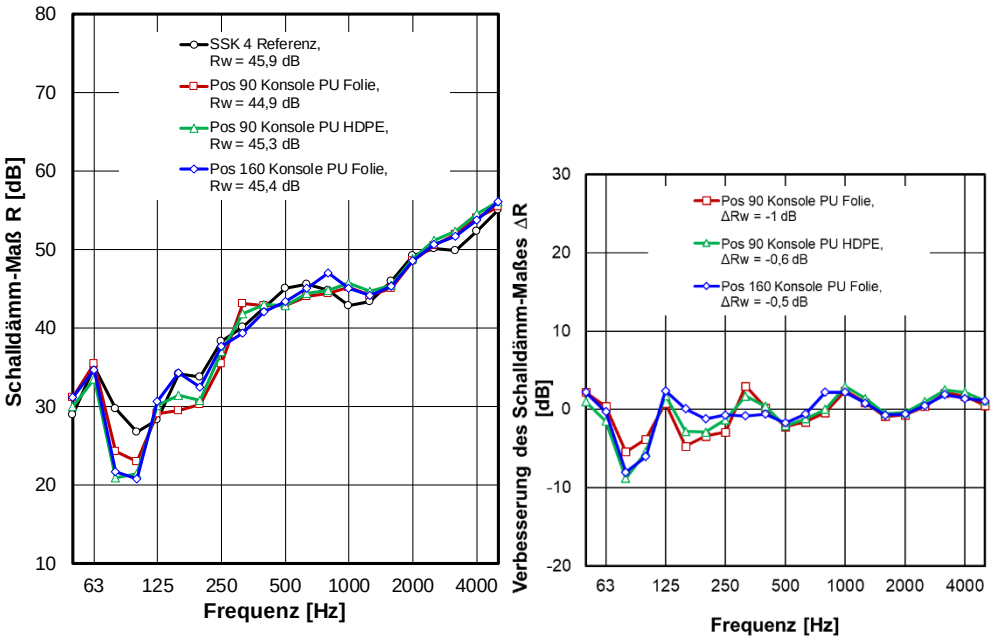


Bild 37:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 4, 15 mm Randfuge mit PU und Folie bzw. HDPE, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, mit Konsolensystem, Funktionsfuge abgedichtet.

Schallschutzklasse 5

In Bild 38 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 5 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit R_w = 47 dB alle im Bereich von SSK 5 (≥ 47 dB).Ein deutlicher Einbruch in der Schalldämmung ist hier nur im Frequenzbereich von 80 bis 100 Hz zu erkennen. Oberhalb von 630 Hz kommt es sogar zu positiven Verbesserungen der Schalldämmung. Durch die Art der verwendeten Folie zur Abdichtung des Fensters ist kein Einfluss auf die Schalldämmung erkennbar und der Einfluss auf das bewertete Schaldämm-Maß ist mit ΔR_w = 0 bis -0,2 dB äußerst gering. Das bedeutet, dass bei dieser Befestigungsvariante auch bei SSK 5 keine Abnahme der Schallschutzklasse festgestellt wurde.

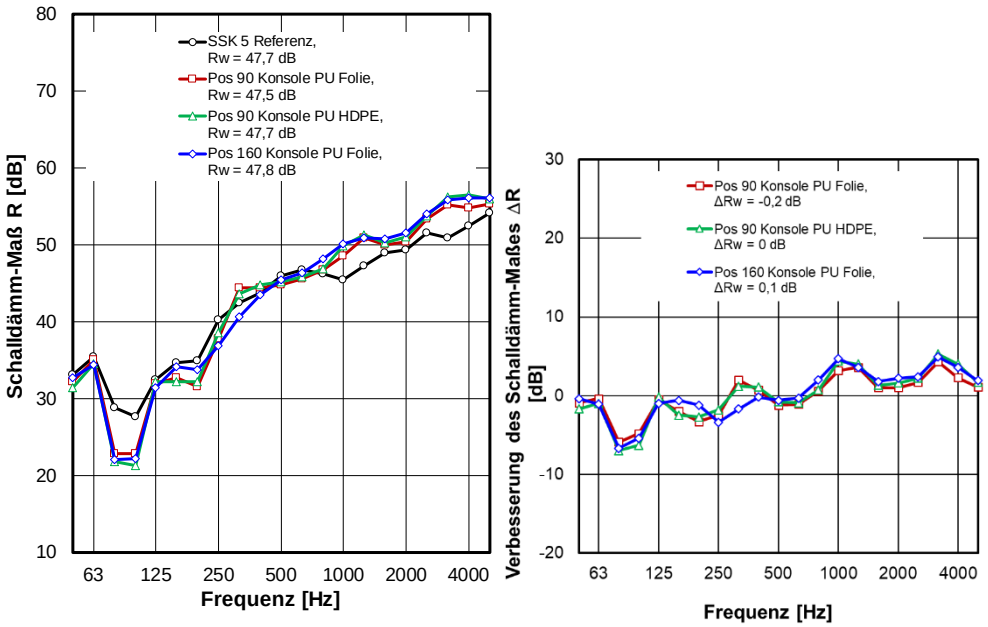


Bild 38:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 5, 15 mm Randfuge mit PU und Folie bzw. HDPE, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, mit Konsolensystem, Funktionsfuge abgedichtet.

7.3.3 Metallzarge

In diesem Abschnitt werden die Messergebnisse der Fenster in verschiedenen Einbaupositionen mit Metallzarge dargestellt und mit den Messergebnissen der Referenzmessungen verglichen. Aufgrund der besseren Vergleichbarkeit der Messergebnisse werden nur Ergebnisse des Fensters mit 15 mm Randfuge verglichen.

Schallschutzklasse 2

In Bild 39 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 2 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit R_w = 34-35 dB alle im Bereich von SSK 2 (≥ 32 dB).Im Frequenzverlauf der Verbesserung der Schalldämmung (rechts) ist bei beiden Einbaupositionen (90 und 160 mm vorgesetzt) ein Einbruch bei 80 Hz bis 100 Hz und bei 500 Hz bis 630 Hz zu erkennen. Der Einbruch wirkt sich, genau wie bei den anderen Konstruktionen, bei SSK 2 mit maximal ΔR_w = -0,6 dB nur unwesentlich auf das bewertete Schalldämm-Maß aus.

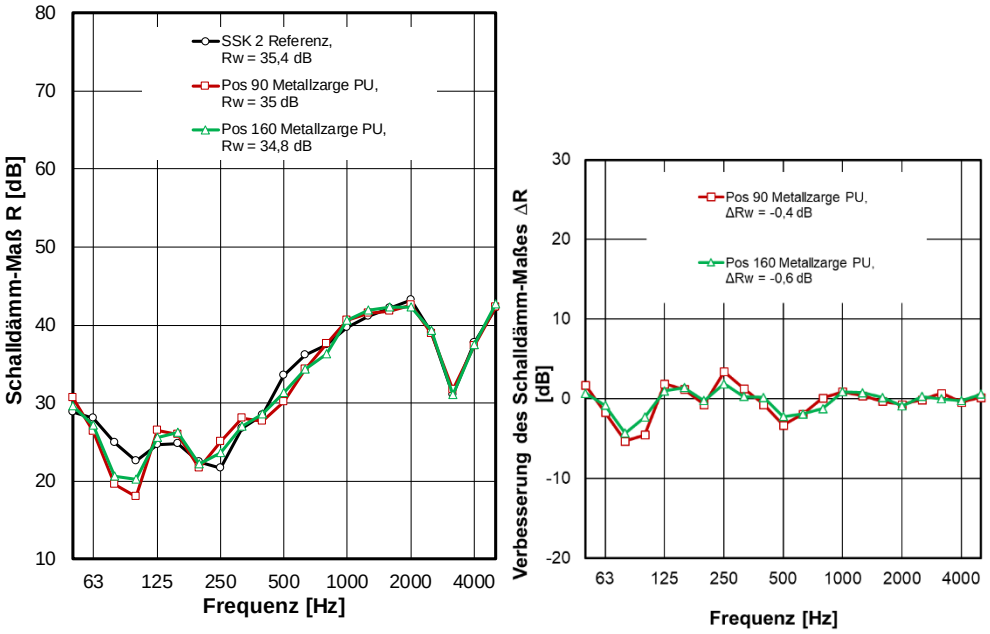


Bild 39:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 2, 15 mm Randfuge mit PU, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, mit Metallzarge, Funktionsfuge abgedichtet.

Schallschutzklasse 3

In Bild 40 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 3 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Die bewerteten Schalldämm-Maße liegen mit R_w = 38-39 dB alle im Bereich von SSK 3 (≥ 37 dB). Wie bereits bei den anderen Konstruktionen festgestellt werden auch bei der Metallzarge die Einbrüche in der Schalldämmung von SSK 2 zu SSK 3 breitbandiger. Auch hier ist noch kein wesentlicher Einfluss auf das bewertete Schalldämm-Maß vorhanden, sodass auch nicht mit dem Verlust einer Schallschutzklasse gerechnet werden muss.

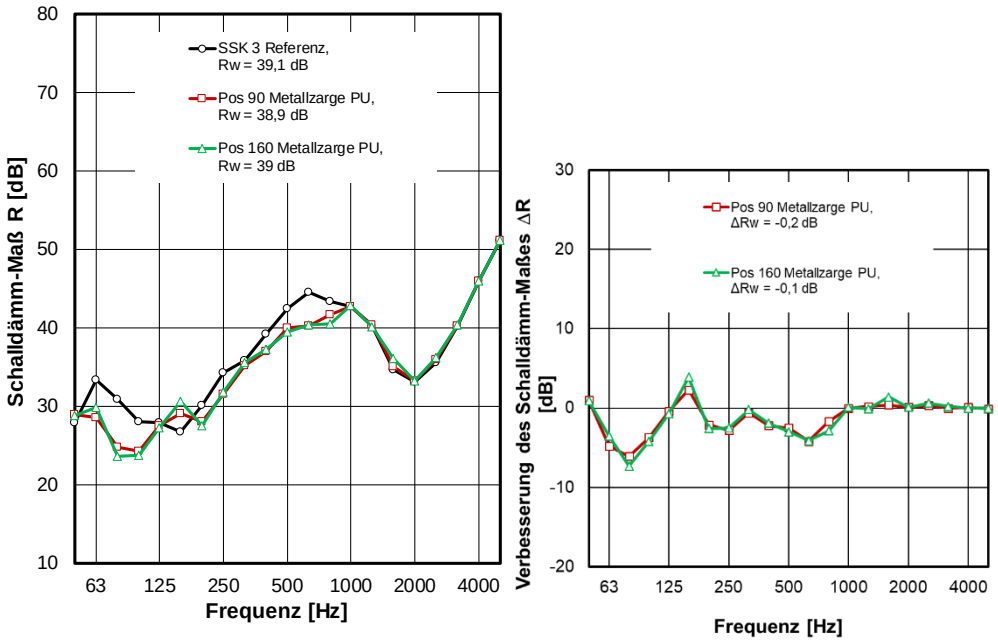


Bild 40:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 3, 15 mm Randfuge mit PU, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, mit Metallzarge, Funktionsfuge abgedichtet.

Schallschutzklasse 4

In Bild 41 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 4 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Wie bei der Montagezarge bei SSK 4 ist der Einbruch in der Schalldämmung jetzt durchgehend mit etwa 3-4 dB von ca. 200 Hz bis 800 Hz vorhanden und wirkt sich auf die Einzahlwerte aus. Mit $\Delta R_w \leq -2{,}3$ dB kann im mit dem Verlust einer Schallschutzklasse gerechnet werden. Dass dies hier nicht der Fall ist, liegt daran, dass das Referenzfenster mit $R_w = 45{,}9$ dB im oberen Bereich von SSK 4 (≥ 42 dB) liegt. Außerdem beträgt der Einbruch bei tiefen Frequenzen um 80 Hz und 100 Hz fast 10 dB. Die bewerteten Schalldämm-Maße fallen mit $R_w = 43$ dB von allen Systemen bei SSK 4 am niedrigsten aus.

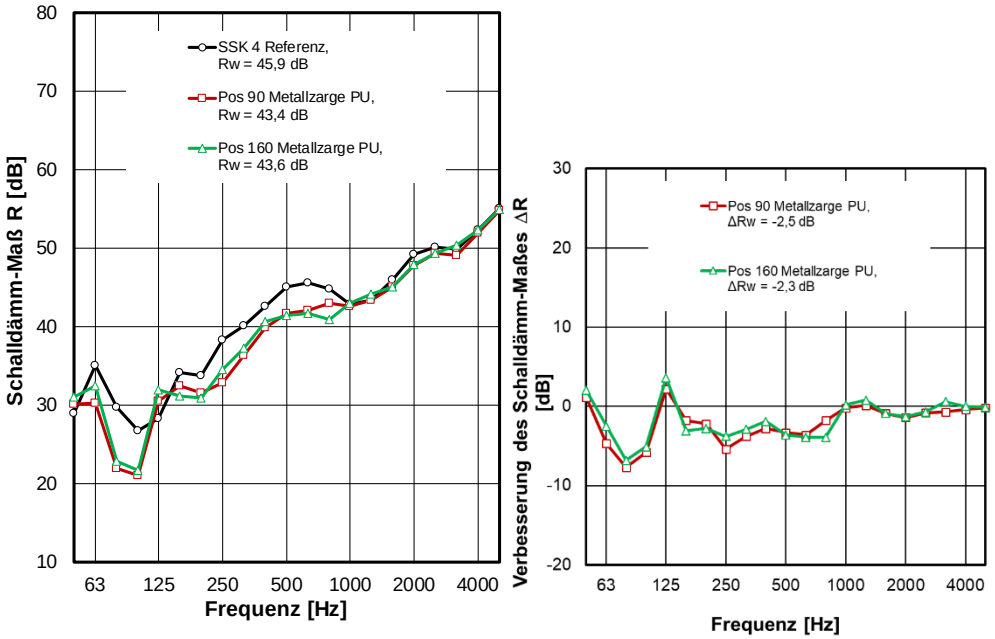


Bild 41:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 4, 15 mm Randfuge mit PU, Einbaupositionen »Referenz -90, 90« und 160, mit Metallzarge, Funktionsfuge abgedichtet.

Schallschutzklasse 5

In Bild 42 ist die Schalldämmung der Fenster mit SSK 5 links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts dargestellt. Auch bei SSK 5 ist eine Einbruch in der Schalldämmung in vorgesetzter Einbaulage von 50 Hz bis 80 Hz 200 Hz bis 800 Hz zu erkennen. Die Werte des Einbruchs sind mit $\Delta R_w \approx$ 4-8 dB noch etwas größer als bei SSK 4. Der Einfluss auf das bewertete Schalldämm-Maß liegt bei ca. 3 dB. Damit ist in diesem Fall eine Reduktion der Schallschutzklasse von SSK 5 (≥ 47 dB) auf SSK 4 (≥ 42 dB) festzustellen. Die gerundeten bewerteten Schalldämm-Maße fallen mit R_w = 44 dB von allen Systemen bei SSK 5 am niedrigsten aus.

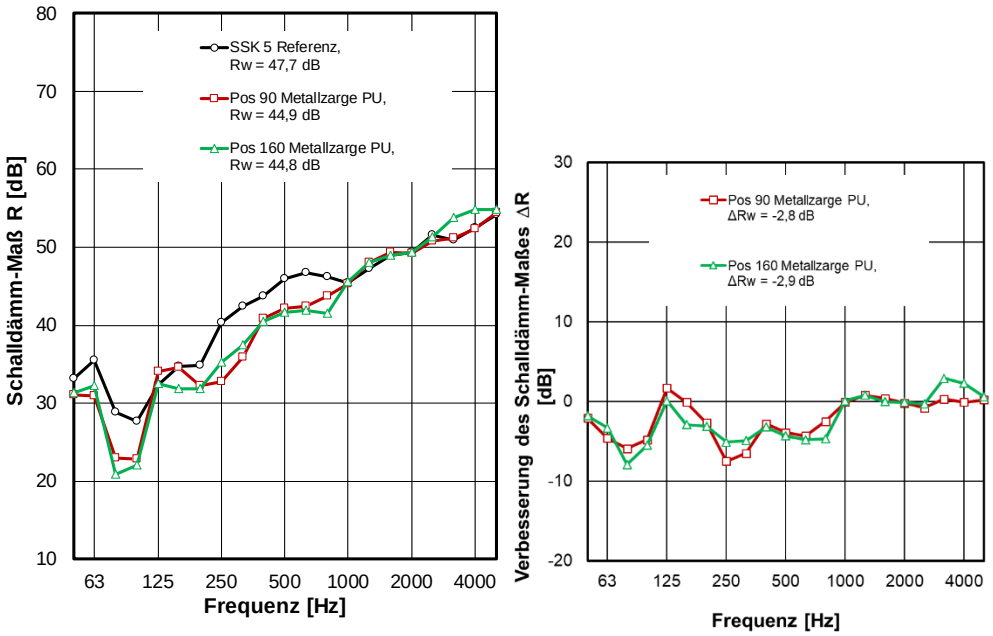


Bild 42:
Schalldämm-Maß (links) und Verbesserung des Schalldämm-Maßes (rechts); Fenster mit SSK 5, 15 mm Randfuge mit PU, Einbaupositionen »Referenz -90, 90 und 160«, mit Metallzarge, Funktionsfuge abgedichtet.

7.4 Vorgesetzter Einbau – Vergleich der Systeme untereinander

Im folgenden Abschnitt werden die verschiedenen Systeme zum vorgesetzten Einbau untereinander Verglichen. Da die Unterschiede im Allgemeinen nicht besonders groß sind und die größten Abweichungen bei Einbauposition »160« aufgetreten sind, wird hier nur diese Ergebnisse eingegangen.

7.4.1 Schallschutzklasse 2

In Bild 43 ist die Schalldämmung links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts des Fensters mit SSK 2 in der Einbauposition 160 mm bei Verwendung der verschiedenen Vorwand-Montagesysteme grafisch dargestellt. Die Unterschiede sind im Allgemeinen nicht besonders groß und liegen innerhalb der bauakustischen Messtoleranzen bei Labormessungen. Die Verbesserungen der bewerteten Schalldämm-Maße liegen im Bereich zwischen $-0{,}6 \leq \Delta R_w \leq 0{,}1$ dB. Auffällig ist, dass alle Systeme bei tiefen Frequenzen um 100 Hz und bei 500 Hz einen Einbruch in der Schalldämmung haben. Dieser ist beim Konsolensystem am größten. Demgegenüber haben die Zargensysteme bei Abdichtung mit PU-Schaum die niedrigsten bewerteten Schalldämm-Maße, die Montagezarge mit Kompriband hat allerdings den höchsten Einzahlwert.

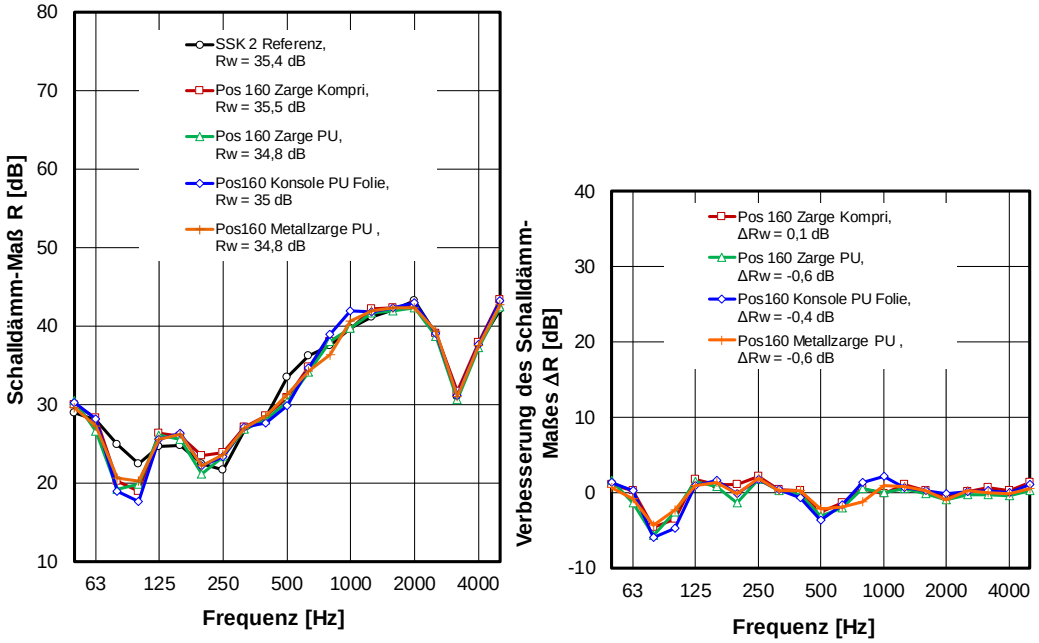


Bild 43
Vergleich der verschiedenen Systeme bei Schallschutzklasse 2 bei Einbauposition 160 Schalldämmung links und Verbesserung der Schalldämmung rechts

7.4.2 Schallschutzklasse 3

In Bild 44 ist die Schalldämmung links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts des Fensters mit SSK 3 in der Einbauposition 160 mm bei Verwendung der verschiedenen Vorwand-Montagesysteme grafisch dargestellt. Auch bei SSK 3 liegen die Differenzen der einzelnen Systeme untereinander sowie zum Referenzwert innerhalb der Messtoleranzen. Die Verbesserungen der bewerteten Schalldämm-Maße liegen im Bereich zwischen $-0{,}5 \leq \Delta R_w \leq 0{,}4$ dB. Auffällig ist, dass das Konsolensystem hier sowohl im Einzahlwert, als auch im Frequenzverlauf etwas bessere Werte liefert.

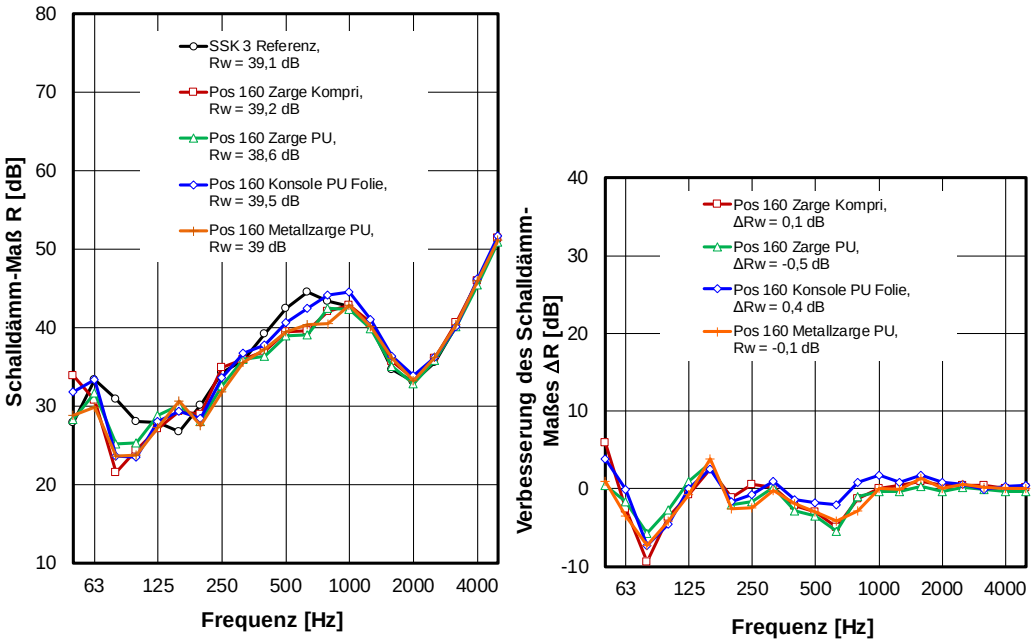


Bild 44
Vergleich der verschiedenen Systeme bei Schallschutzklasse 3 bei Einbauposition 160 Schalldämmung links und Verbesserung der Schalldämmung rechts

7.4.3 Schallschutzklasse 4

In Bild 45 ist die Schalldämmung links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts des Fensters mit SSK 4 in der Einbauposition 160 mm bei Verwendung der verschiedenen Vorwand-Montagesysteme grafisch dargestellt. Die Verbesserungen der bewerteten Schalldämm-Maße liegen im Bereich zwischen $-2{,}3 \leq \Delta R_w \leq -0{,}5$ dB und sind damit für alle Systeme negativ. Auffällig ist, dass das Konsolensystem mittelfrequent keinen so deutlichen Einbruch hat und damit den besten Einzahlwert. Alle Systeme haben einen Einbruch im tieffrequenten Bereich bei 80 Hz hat. Die Metallzarge hat mit R_w = 43 dB den niedrigsten Einzahlwert. Die Montagezarge liegt zwischen den beiden erstgenannten, wobei diesmal kein Unterschied beim verwendeten Abdichtungsmaterial zu erkennen ist.

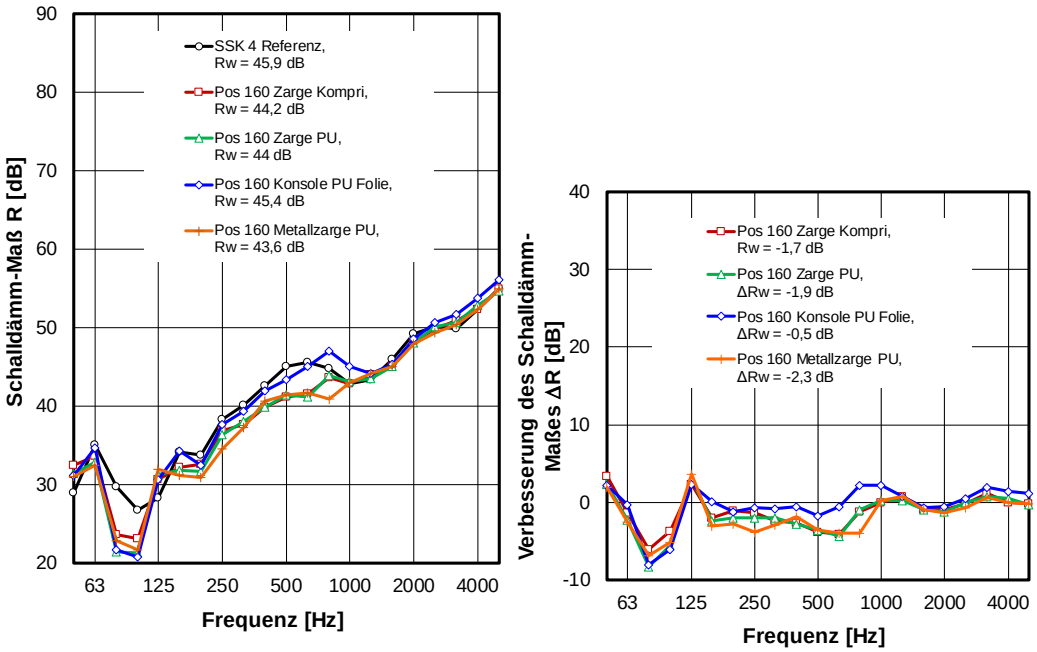


Bild 45
Vergleich der verschiedenen Systeme bei Schallschutzklasse 4 bei Einbauposition 160 Schalldämmung links und Verbesserung der Schalldämmung rechts

7.4.4 Schallschutzklasse 5

In Bild 46 ist die Schalldämmung links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts des Fensters mit SSK 5 in der Einbauposition 160 mm bei Verwendung der verschiedenen Vorwand-Montagesysteme grafisch dargestellt. Die Verbesserungen der bewerteten Schalldämm-Maße liegen im Bereich zwischen $-2{,}9 \leq \Delta R_w \leq 0{,}1$ dB. Während die Zargensysteme alle eine negative Verbesserung haben, ist die des Konsolensystems im Prinzip gleich null. Tieffrequent ist der Einbruch in der Schalldämmung beim Konsolensystem und der Metallzarge am größten. Die Metallzarge hat mit R_w = 44 dB den niedrigsten Einzahlwert. Die Montagezarge liegt wieder zwischen der Metallzarge und dem Konsolensystem, wobei die Variante mit Kompriband eine um 1 dB bessere Schalldämmung hat, als die Variante mit PU-Schaum.

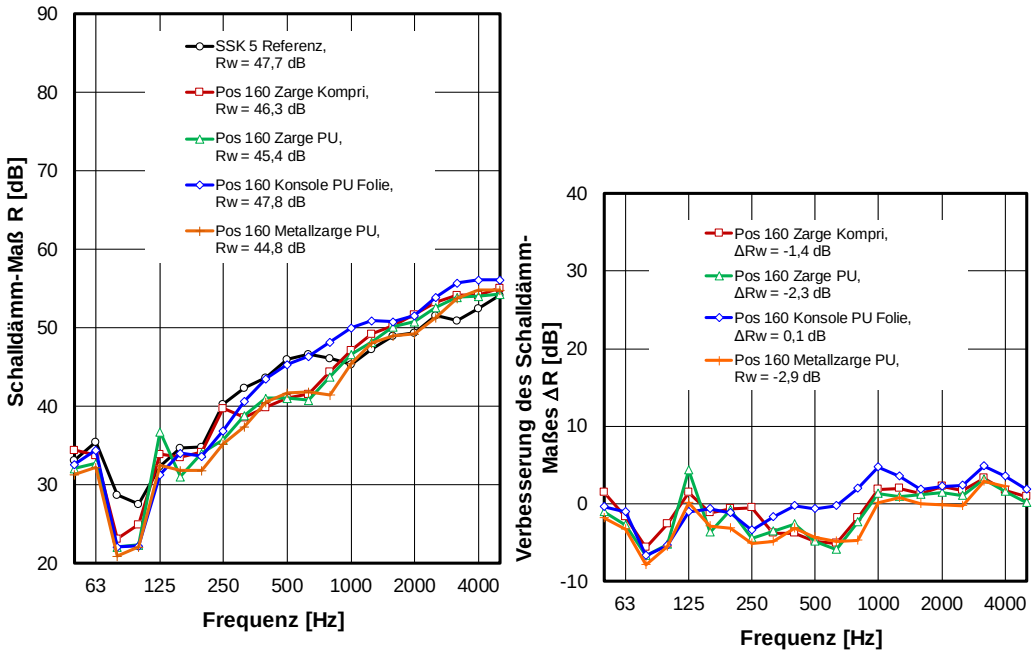


Bild 46
Vergleich der verschiedenen Systeme bei Schallschutzklasse 5 bei Einbauposition 160 Schalldämmung links und Verbesserung der Schalldämmung rechts

7.5 Vorgesetzter Einbau – Einfluss der Randfuge

In Bild 47 ist die Schalldämmung links und die Verbesserung der Schalldämmung rechts der Fenster mit SSK 5 in der Einbauposition 90 mm bei den Randfugen 15 mm und 30 mm dargestellt. Die Randfuge wurde mit PU-Montageschaum ausgeschäumt und ferner wie in Abschnitt 5.3.2 beschrieben montiert. Diese Untersuchung wurde für alle Fenster einmal in der Referenzposition und für die Fenster mit SSK 5 bei vorgesetztem Einbau durchgeführt. Weder im Frequenzspektrum noch auch beim Einzahlwert sind nennenswerte Einflüsse erkennbar. Es ist davon auszugehen, dass der Einfluss mit zunehmender Schallschutzklasse größer wird, daher kann man im Umkehrschluss davon ausgehen, dass bei den niedrigeren Schallschutzklassen ebenfalls kein Einfluss durch die Randfuge vorhanden ist, sofern diese fachgerecht abgedichtet wird.

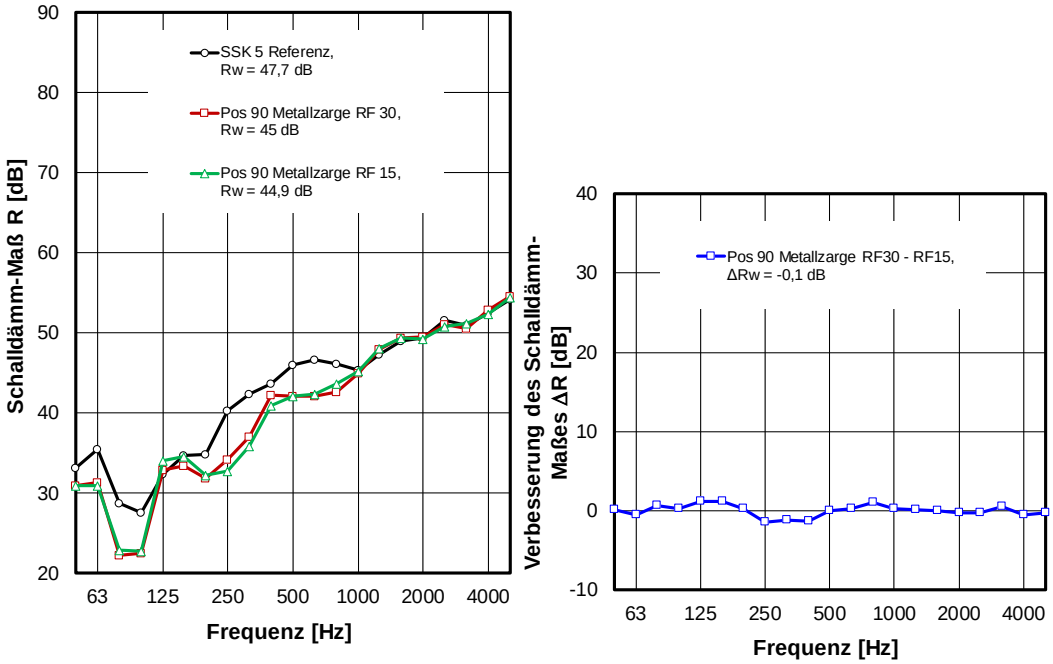


Bild 47:
Vergleich der Fenster mit SSK 5 in der Einbauposition 90 in der Metallzarge bei Randfuge mit 15 und 30 mm.

7.6 Vorgesetzter Einbau – Einfluss von Montagemängeln

Insgesamt fällt der Einfluss der vorgesetzten Einbaulage bei allen Systemen deutlich geringer aus als erwartet. Während bei Voruntersuchungen zum Projektantrag durchschnittliche Einflüsse von ca. 4 dB bei Fenstern der Schallschutzklasse 4 ermittelt wurden, betragen die Einflüsse hier bei Schallschutzklasse 5 gerade noch 3 dB im schlechtesten Fall und unabhängig von der Größe Randfuge. Das Ergebnis lässt allerdings die Frage offen, ob die unterschiedlichen Einflüsse mit der Sorgfalt der Abdichtung eben dieser Randfuge einhergehen. Aus diesem Grund wurden bei einem Aufbau mit dem Konsolensystem sowie dem Fenster mit SSK 5 und Randfuge 15 mm, der Montageschaum mangelhaft aufgetragen sodass sich größeren Lufteinschlüsse innerhalb der Fuge bildeten (vgl. Bild 48).

Solche Fehler können auch in der Praxis bei der Montage von Fenstern auftreten, z.B. wenn das empfohlene Haltbarkeitsdatum des Produkts überschritten wurde oder der Untergrund keine ausreichende Feuchtigkeit zur Reaktion von 1-Komponenten-Montageschaum bietet. Bei Multifunktions-Dichtbändern kommt es dagegen häufiger zu vergleichbaren ungewollten Lufteinschlüssen, wenn die Fensteröffnungen bauseits nicht ausreichend begradigt sind, oder durch Verwendung von Reststücken unnötige Stoßstellen eingebaut werden. (vgl. Bild 49).

Bild 48
Foto von Hohlräumen bei der Abdichtung des Fensters SSK 5 RF 15 in Einbauposition 160 durch mangelhaft aufgeschäumtem Montageschaum im Fugenbereich, Ansicht vom Senderaum.

Bild 49
Foto von Hohlräumen bei der Abdichtung des Fensters SSK 5 RF 15 in Einbauposition 160 durch mangelhaft aufgeschäumtem Montageschaum im Fugenbereich, Ansicht vom Senderaum.

Die erste Messung erfolgte nach Fertigstellung der Montage wie bisher mit Fensterbänken auf beiden Seiten, sowie Gipskartonplatten als Ersatz für den Innenputz und Anschluss an das WDVS außen. In diesem Einbauzustand sind die Montagemängel abschließend optisch nicht mehr erkennbar gewesen, da sich die Hohlräume innerhalb der Fuge hinter der Fensterbank befinden. Bei der zweiten Messung wurde zusätzlich die innenliegende Fensterbank wieder demontiert, um den Effekt einer unsachgemäßen Abdichtung in dem Bereich zu überprüfen.

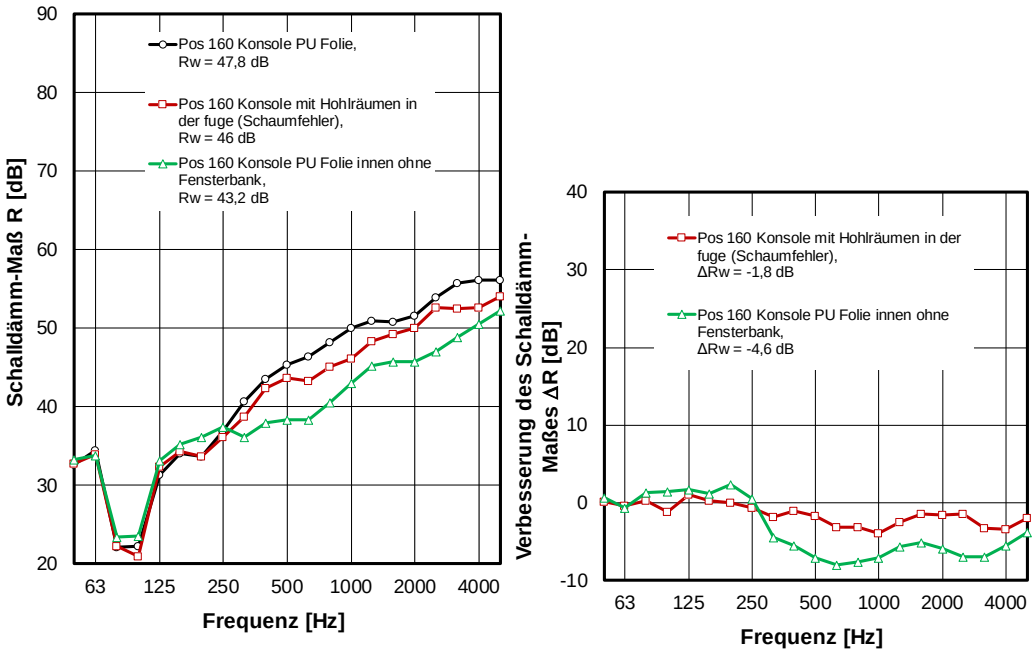


Bild 50
Schalldämm-Maß links und Verbesserung des Schalldämm-Maßes rechts des Fensters mit SSK 5 bei Einbauposition 160 mit Montagemängeln im Vergleich zum sorgfältigen, fachgerechten Einbau.

7.7 Bauteilkatalog – Übersicht der abewerteten Schalldämm-Maße R_w und Berücksichtigung der Spektrum-Anpassungswerte $C_{tr,50\text{-}5000}$ für tieffrequente Geräusche

Bei der frequenzabhängigen Betrachtung der Messergebnisse in Abschnitt 7.4 ist aufgefallen, dass bei allen Messungen in vorgesetzter Einbaulage ein Einbruch in der Schalldämmung gegenüber der Referenzmessung bei den Terzwerten 63 Hz und 80 Hz vorhanden ist. Dieser Einbruch wird durch den Vergleich des bewerteten Schalldämm-Maßes nicht berücksichtigt. Aus diesem Grund sind in den folgenden Tabellen nicht nur die bewerteten Schalldämm-Maße, sondern auch die Spektrum-Anpassungswerte Ctr,50-5000 aufgeführt. Es werden dabei jeweils Messungen der verschiedenen Systeme bei der Einbauposition 160 verglichen. Zusätzlich wird für die Verbesserungen der bewerteten Schalldämm-Maße ohne und mit Spektrum-Anpassungswert Ctr,50-5000 der Mittelwert und die maximale Abweichung eines Messwertes vom Mittelwert angegeben.

7.7.1 Schallschutzklasse 2

Tabelle 8:
Bewertetes Schalldämm-Maß ohne und mit Spektrum Anpassungswert Ctr,50-5000 sowie Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ohne und mit Spektrum-Anpassungswert Ctr,50-5000 Fenster der Schallschutzklasse 2, Einbauposition 160.

Konstruktion	R_w [dB]	$R_w+C_{tr,50-5000}$ [dB]	ΔR_w [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr,50-5000})$ [dB]
SSK2 Referenz	35,4	31,4	-	-
SSK2 Zarge Kompri Pos 160	35,5	31,5	0,1	0,1
SSK2 Zarge PU Pos 160	34,8	30,8	-0,6	-0,6
SSK2 Konsole Folie Pos 160	35,0	30,0	-0,4	-1,4
SSK2 Metallzarge Pos 160	35,1	31,1	-0,3	-0,3
Mittelwert	-	-	-0,3	-0,6
Maximale Abweichung	-	-	±0,4	±0,8

7.7.2 Schallschutzklasse 3

Tabelle 9:
Bewertetes Schalldämm-Maß ohne und mit Spektrum Anpassungswert Ctr,50-5000 sowie Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ohne und mit Spektrum-Anpassungswert Ctr,50-5000 Fenster der Schallschutzklasse 3, Einbauposition 160.

Konstruktion	R_w [dB]	$R_w+C_{tr,50-5000}$ [dB]	ΔR_w [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr,50-5000})$ [dB]
SSK3 Referenz	39,1	36,1	-	-
SSK3 Zarge Kompri Pos 160	38,7	35,7	-0,4	-0,4
SSK3 Zarge PU Pos 160	39,2	35,2	0,1	-0,9
SSK3 Konsole Folie Pos 160	39,5	35,5	0,4	-0,6
SSK3 Metallzarge Pos 160	39,0	35,0	-0,1	-1,1
Mittelwert	-	-	0	-0,8
Maximale Abweichung	-	-	±0,4	±0,4

7.7.3 Schallschutzklasse 4

Tabelle 10:
Bewertetes Schalldämm-Maß ohne und mit Spektrum Anpassungswert Ctr,50-5000 sowie Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ohne und mit Spektrum-Anpassungswert Ctr,50-5000 Fenster der Schallschutzklasse 4, Einbauposition 160.

Konstruktion	R_w [dB]	$R_w+C_{tr,50-5000}$ [dB]	ΔR_w [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr,50-5000})$ [dB]
SSK4 Referenz	46,2	40,2	-	-
SSK4 Zarge Kompri Pos 160	44,2	38,2	-2,0	-2,0
SSK4 Zarge PU Pos 160	44,0	36,0	-2,2	-4,2
SSK4 Konsole Folie Pos 160	45,3	38,3	-0,9	-1,9
SSK4 Metallzarge Pos 160	43,6	37,6	-2,6	-2,6
Mittelwert	-	-	-1,9	-2,7
Maximale Abweichung	-	-	±1,0	±1,5

7.7.4 Schallschutzklasse 5

Tabelle 11:
Bewertetes Schalldämm-Maß ohne und mit Spektrum Anpassungswert Ctr,50-5000 sowie Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ohne und mit Spektrum-Anpassungswert Ctr,50-5000 Fenster der Schallschutzklasse 5, Einbauposition 160.

Konstruktion	R_w [dB]	$R_w+C_{tr,50-5000}$ [dB]	ΔR_w [dB]	$\Delta(R_w+C_{tr,50-5000})$ [dB]
SSK5 Referenz	47,7	41,7	-	-
SSK5 Zarge Kompri Pos 160	46,3	39,3	-1,4	-2,4
SSK5 Zarge PU Pos 160	45,4	38,4	-2,3	-3,3
SSK5 Konsole Folie Pos 160	47,5	38,5	-0,2	-3,2
SSK5 Konsole HDPE Pos 160	47,7	37,7	0	-4,0
SSK5 Metallzarge Pos 160	44,8	37,8	-2,9	-3,9
Mittelwert	-	-	-1,4	-3,4
Maximale Abweichung	-	-	±1,5	±1,0

8 Anwendung der Ergebnisse in der Praxis

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass durch den Einbau von Fenstern in vorgesetzter Einbaulage in Wänden mit außenliegendem Wärmedämmverbundsystem mit einer Veränderung der Schalldämmung gegenüber der Referenzposition im zentralen Bereich der Laibung zu rechnen ist. Insgesamt fällt der Einfluss auf die bewerteten Schalldämm-Maße jedoch deutlich geringer aus, als dies Voruntersuchungen zum Projekt im Jahr 2015 vermuten ließen. Daraus resultiert nun die Frage, wie die Erkenntnisse aus diesem Projekt in der Praxis angewendet werden können. Auch wenn die Einflüsse nicht das erwartete Ausmaß angenommen haben, kann eine Nichtbeachtung insbesondere bei Bauten mit hohen Anforderungen an die Schalldämmung zu Schallschutzmängeln führen.

Andererseits sind die akustischen Einflüsse jedoch zu gering und die Systeme zu unterschiedlich, um aus den Ergebnissen ein verlässliches Prognoseverfahren zu erstellen. Aus den genannten Gründen bietet sich eine pauschalisierte Betrachtung in Anlehnung an die Normen und Regelwerke, in denen die Nachweisverfahren geführt werden an. In DIN 4109:2018 und VDI 4100:2012 werden zum Beispiel pauschale Sicherheitsbeiwerte verwendet, um die Toleranzen zwischen der Einbausituation von Bauteilen im Labor und im Gebäude zu berücksichtigen. Die Sicherheitsbeiwerte sind abhängig von der Art des Bauteils. Die Eingruppierung in Schallschutzklassen nach VDI 2719:1987 ergibt sich aus dem bewerteten Schalldämm-Maß des Fensters im Labor oder im Gebäude und kann daher direkt daraus abgeleitet werden.

Damit nicht jede Konstruktion einzeln bewertet werden muss, was im Prinzip dazu führen würde, dass grundsätzlich für jedes System eine erneute Prüfung durchgeführt werden muss, würde es sich anbieten, die in diesem Forschungsvorhaben ermittelten Mittelwerte der Verbesserung der bewerteten Schalldämm-Maße zu den Sicherheitsbeiwerten zu addieren. Eine Unterscheidung nach der jeweiligen Schallschutzklasse des Fensters erscheint dabei mit Blick auf die üblichen Messunsicherheiten bei bauakustischen Messungen sinnvoll und ausreichend. Eine Unterscheidung der Einbauposition scheint aufgrund der geringen Unterschiede zwischen den Positionen 90 und 160 hingegen wenig sinnvoll. Befindet sich allerdings der Fensterrahmen noch innerhalb der Mauerwerksöffnung, wie bei der Einbauposition 0, so muss kein zusätzlicher Sicherheitsbeiwert berücksichtigt werden, da die Messergebnisse mit denen der Referenzmessung nahezu identisch sind.

Für das bewertete Schalldämm-Maß ohne und mit Berücksichtigung des Spektrum-Anpassungswerts $C_{tr,50\text{-}5000}$ wären dadurch bei vorgesetztem Einbau die in Tabelle 12 Sicherheitsbeiwerte zu berücksichtigen. Nur bei geprüften Systemen, für die ein messtechnischer Nachweis existiert, dass die Schalldämmung auch im vorgesetzten Einbau der Referenzschalldämmung des Fensters entspricht, kann auf die Verwendung der Sicherheitsbeiwerte verzichtet werden.

Tabelle 12:
Sicherheitsbeiwerte bei vorgesetztem Einbau in Abhängigkeit von der Schallschutzklasse des Fensters:

SSK	zusätzlicher Sicherheitsbeiwert R_w [dB]	zusätzlicher Sicherheitsbeiwert $R_w+C_{tr,50\text{-}5000}$ [dB]
2	-1	-1
3	-1	-1
4	-2	-3
5	-2	-4

9 Zusammenfassung

Im Rahmen des durchgeführten Forschungsprojekts wurde der Einfluss der vorgesetzten Einbaulage von Fenstern bei Außenwänden mit Wärmedämmverbundsystem auf die Schalldämmung untersucht. Ziele der Untersuchung waren u.a., Messergebnisse für verschiedene Befestigungssysteme und unterschiedliche Einbaupositionen im Prüfstand zu ermitteln und mit einem Referenzeinbau, wie er auch bei bauakustischen Prüfungen im Labor verwendet wird, zu vergleichen. Aus diesem Grund wurden alle Messungen im Fensterprüfstand gemäß DIN EN ISO 10140-1 bis 5 durchgeführt.

In dem durchgeführten Messprogramm wurden insgesamt drei verschiedene Montagesysteme mit vier verschiedenen Einbaupositionen und Fenstern mit den Schallschutzklassen 2 bis 5 kombiniert. Die Auswahl der Fenster und Systeme erfolgte gemeinsam mit den Industriepartnern und einem Ingenieurbüro, welches über besondere Erfahrungen bei der Ausführung vorgesetzter Fenstersysteme verfügte. Die Auswahl sollte ein möglichst breites Spektrum an bauüblichen Varianten zur vorgesetzten Fenstermontage abdecken. Als Dämmstoff für das WDVS wurde expandiertes Polystyrol verwendet, da dieser Dämmstoff im Wohnungsbau besonders häufig verwendet wird und im Vergleich mit Mineralwolle oder Holzweichfaserplatten üblicherweise die geringsten Schalldämmungen aufweist.

Messung und Auswertung der Ergebnisse erfolgten frequenzabhängig in Terzen von 50 bis 5000 Hz. Als Maß für die akustische Wirkung im Hinblick auf die praktische Anwendung (rechnerischer Schallschutznachweis nach DIN 4109) wurden Einzahlangaben, nämlich die Verbesserung des bewerteten Schalldämm-Maßes ΔR_w verwendet. Darüber hinaus wurde auch der Spektrum-Anpassungswert $C_{tr,50\text{-}5000}$ für tieffrequenten Lärm berücksichtigt.

Im Frequenzverlauf zeigen sich bei allen Messungen negative Einflüsse durch die vorgesetzte Lage im Bereich von 63 bis 100 Hz. Diese Einbrüche sind bei der Metallzarge und den Konsolensystemen am größten. Bei den Schallschutzklassen 4 und 5 kommen darüber hinaus vor allem bei den Zargensystemen noch Einbrüche im Bereich um 500 Hz hinzu. Bei den Konsolensystemen sind diese nicht so bedeutend. Daraus ergeben sich die folgenden zentralen Ergebnisse:

- Bei Fenstern mit niedriger Schalldämmung (Schallschutzklassen 2 und 3) hat die Einbauposition nur einen sehr geringen Einfluss maximal ca. -1 dB auf das bewertete Schalldämm-Maß.

- Bei Fenstern mit hoher Schalldämmung, (Schallschutzklassen 4 und 5) kann die vorgesetzte Einbaulage zu einer deutlichen Verschlechterung der Schalldämmung mit Werten bis zu -3 dB führen. Das gilt vor allem bei Montage mit einer unspezifizierten Metallzarge. Bei herstellerspezifischen Systemzargen und bei Konsolensystemen ist die Gefahr einer Verschlechterung geringer. Idealerweise liegen hierfür Prüfergebnisse vor.

- Berücksichtigt man den Spektrum-Anpassungswert $C_{tr,50\text{-}5000}$ für tieffrequente Geräusche wie z.B. Straßenlärm, steigen die negativen Einflüsse in etwa auf -2 bis -4 dB an. Insgesamt rücken die zuvor gemessenen Unterschiede zwischen den Konstruktionen wieder zusammen, da das System mit den besten Werten im mittleren Frequenzbereich die größten tieffrequenten Einbrüche hat.

- Die möglichen Verschlechterungen können bei einem rechnerischen Schallschutznachweis z.B. durch Einführung zusätzlicher Sicherheitsbeiwerte in Anlehnung an DIN 4109 berücksichtigt werden.

- Grundsätzlich wurde bei sorgfältiger Abdichtung kein nennenswerter Einfluss der Größe der Fuge zwischen Fensterrahmen und Wandöffnung festgestellt. Demgegenüber wurde allerdings ein erheblicher Einfluss von bis zu -5 dB durch Montagemängel wie z.B. Hohlräume infolge von unzureichend ausreagiertem Montageschaum festgestellt. Es ist anzunehmen, dass diese Einflüsse bei größeren Fugen zunehmen. Selbstverständlich sind Hohlräume auch aus hygrothermischen Gründen zu vermeiden. Deshalb sollte grundsätzlich darauf geachtet werden, dass sämtliche Arbeiten den systemspezifischen Anforderungen der Hersteller entsprechend durchgeführt werden.

10 Literaturverzeichnis

[1] H. Neumeier – Glaswelt 2013

[2] DIN 4109-2:2016 – Schallschutz im Hochbau – Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen

[3] DIN EN ISO 10140-2:2010

[4] DIN EN ISO 16283-1:2018

[5] DIN EN ISO 10140-5:2014

[6] DIN EN ISO 717-1:2013

[7] VDI 2719:1987 Schalldämmung von Fenstern und deren Zusatzeinrichtungen

[8] DIN EN ISO 10140-4:2010

[9] Lakatos, B.; Schumacher, R.; Koch, S.; Mechel, F. P.: Der Einfluss des Rahmens auf die Schalldämmung von Fenstern. Kurzberichte aus der Bauforschung, Bd. 25, Nr. 10, S. 811 - 818 (1981).

[10] Gösele, K.: Berechnung der Schalldämmung von Fenstern. Bericht 139/83 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (1983).

[11] Koch, S.: Einflüsse von Rahmen und Rolladenkästen auf die Schalldämmung von Fenstersystemen - Rahmenmaterial, Rolladenkastenkonstruktionen, Laibungs- und Funktionsfugen. Fraunhofer-Institut für Bauphysik, Fenster- und Glaskonstruktionen, Konferenzbeitrag (1987).

[12] Ford, R. D.: Predicting the sound reduction index of laminated glass. Applied Acoustics, Bd. 43 (1), S. 49 - 55 (1994).

[13] Kötz, W.-D.: Baulicher Schallschutz gegen Verkehrslärm - Wissenswertes über die Schalldämmung von Fenstern. Umweltbundesamt (o. D.).

[14] Veit, I.: Schalldämmung von Fenstern. TrockenBau Akustik 9/08, S. 30 - 31 (2008).

[15] Saß, B.: Sound insulation of triple insulating glaze units. Fortschritte der Akustik, DAGA 2009, S. 1335 - 1338 (2009).

[16] Veit, I.: Schwachstellen am Fenster. TrockenBau Akustik 9/08, S. 34 - 37 (2009).

[17] Link, A.; Rolf, O.: Vom Einkammerprofil zum Passivhaus-Fenster - Kunststoff-Fenster im Wandel. Das Bauzentrum, Bd. 48 (7), S. 80 - 82 (2000).

[18] Saß, B.: Schalldämmung von Verbundglas. Fortschritte der Akustik, DAGA 2011, S. 745 - 746 (2011).

[19] Elstner, M.; Häuser, K.; Schmid, R. W.; Walk, R.: Gestalten Mit Glas, Interpane, 8. Auflage (2011).

[20] Elstner, M.; Broich, M.; Goldau, D.; Schäfer, S.: Schallschutz mit Glas. Glasbau 2013, 1. Aufl., S. 303 - 325 (2013).

[21] Pietrzko, S.; Mao, Q.: Vibration identification and sound insulation of triple glazing. Noise Control Engr. J. 61 (3), S. 345 - 354 (2013).

[22] Shimizu, T.; Toyoda, M.; Takahashi, D.; Kawai, Y.: Numerical analysis of the influence of acoustic resonance in air cavities between window panes on sound transmission loss. Appl. Acoustics 74, S. 1010 - 1017 (2013).

[23] Demel, M.; Benitz-Wildenburg, J.: Fenster und Fassaden für die Energiewende. Glas + Rahmen, H. 08.14, S. 18 - 21 (2014).

[24] Derner, P.; Mertin, D.: Untersuchung der Schalldämmung von Isolierglasscheiben in Abhängigkeit von deren Seitenabmessungen. Glastechn. Ber. 54, Nr. 6, S. 157 - 161 (1981).

[25] Derner, P.; Reichmann, P.: Einfluss der Scheibengröße auf die Schalldämmung von Isolierglas. Glastechn. Ber. 55, 183 - 186 (1982).

[26] Michelsen, N.: Effect of Size on Measurements of the Sound Reduction Index of a Window or a Pane. Appl. Acoustics, Vol. 16, S. 215 - 234 (1983).

[27] Froelich, H.: Einfluss von Größe und Format auf MIG mit unterschiedlichem Scheibenaufbau. Vortrag, Technische Akademie Esslingen (1995).

[28] Kuster, J.; Pfefferkorn, H.: Schallschutz von Fassaden in Abhängigkeit von Geometrie und Temperatur. Lärmbekämpfung Bd. 8, Nr. 4, 160 - 162 (2013).

[29] Dietz, D.: Formatabhängigkeit der Schalldämmung von Isolierglasscheiben. BSc-Thesis am Fraunhofer-Institut für Bauphysik und der Universität Stuttgart (2013).

[30] Weber, L.; Dietz, D.; Brandstetter, K.-D.: Formatabhängigkeit der Schalldämmung von Verglasungen. Fortschritte der Akustik, DAGA 2014, S. 652 - 653 (2014).

[31] Ertel, H.: Die Schalldämmung von Fugen - Möglichkeiten ihrer Verbesserung. IBP-Mitteilung 41, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (1979).

[32] Mechel, F. P: Schalldämmung von ausgestopften und/oder versiegelten Fugen. IBP-Mitteilung 127, Fraunhofer-Institut für Bauphysik (1986).

[33] Froelich, H.; Saß, B.: Schalldämmung von Fugen - Bändigung schlüpfriger Wellen. ifz info SC-06/1, Informationszentrum Fenster und Fassaden, Türen und Tore, Glas und Baustoffe e.V. (ifz Rosenheim) (2008).

[34] Saß, B.: Schalldämmung von Fugen und Schlitzen. Fortschritte der Akustik, DAGA 2010, S. 753 - 754 (2010).

[35] Saß, Bernd: Bewertung der Schalldämmung von Einbaufugen. Glas + Rahmen, Jg. 62, Nr. 3, S. 32 - 35 (2011).

[36] DIN EN ISO 11600: Hochbau - Fugendichtstoffe - Einteilung und Anforderungen von Dichtungsmassen (2011).

[37] Scholze, J.: Einfluss der Prüföffnung für Scheiben und Fenster auf das Ergebnis von Schalldämmungsmessungen im Zwei-Raum-Prüfstand. Wissenschaft, Theorie und Praxis der TU Dresden, Bd. A, S. 156 - 159 (1987).

[38] Technische Richtlinie Nr. 20 der Bundesverbände der Fensterbranche: Einbau und Anschluss von Fenstern und Fenstertüren mit Anwendungsbeispielen. Verlagsanstalt Handwerk GmbH, 3. Aufl. (2002).

[39] BINE Informationsdienst: Fenster optimal einbauen. Projektinfo 10/03, Fachinformationszentrum Karlsruhe (2003).

[40] Gierga, M.: Fensteranschlüsse im Ziegelmauerwerk - Hinweise zur Planung und Bauausführung. Unipor Ziegel Marketing GmbH (2004).

[41] Saß, B.: Ringversuch zur Schalldämmung von Mehrscheiben-Isolierglas. Fortschritte der Akustik, DAGA 2008, S. 693 - 694 (2008).

[42] Jehl, W.; Benitz-Wildenburg, J.: Fenster richtig montieren und abdichten. Fachinformation des Instituts für Fenstertechnik e. V. (2014).

[43] Jehl, W.; Benitz-Wildenburg, J.: Fachgerechte Fenstermontage - Praktische Tipps zur Planung und Dimensionierung der notwendigen Befestigungen. Fachinformation des Instituts für Fenstertechnik e. V. (2014).

[44] Prüfbericht Nr. 12-000746-PR01 der ift Rosenheim GmbH über Schalldämm-Messungen an einer Montagezarge für Fenster (2012).