

Schallschutznachweis

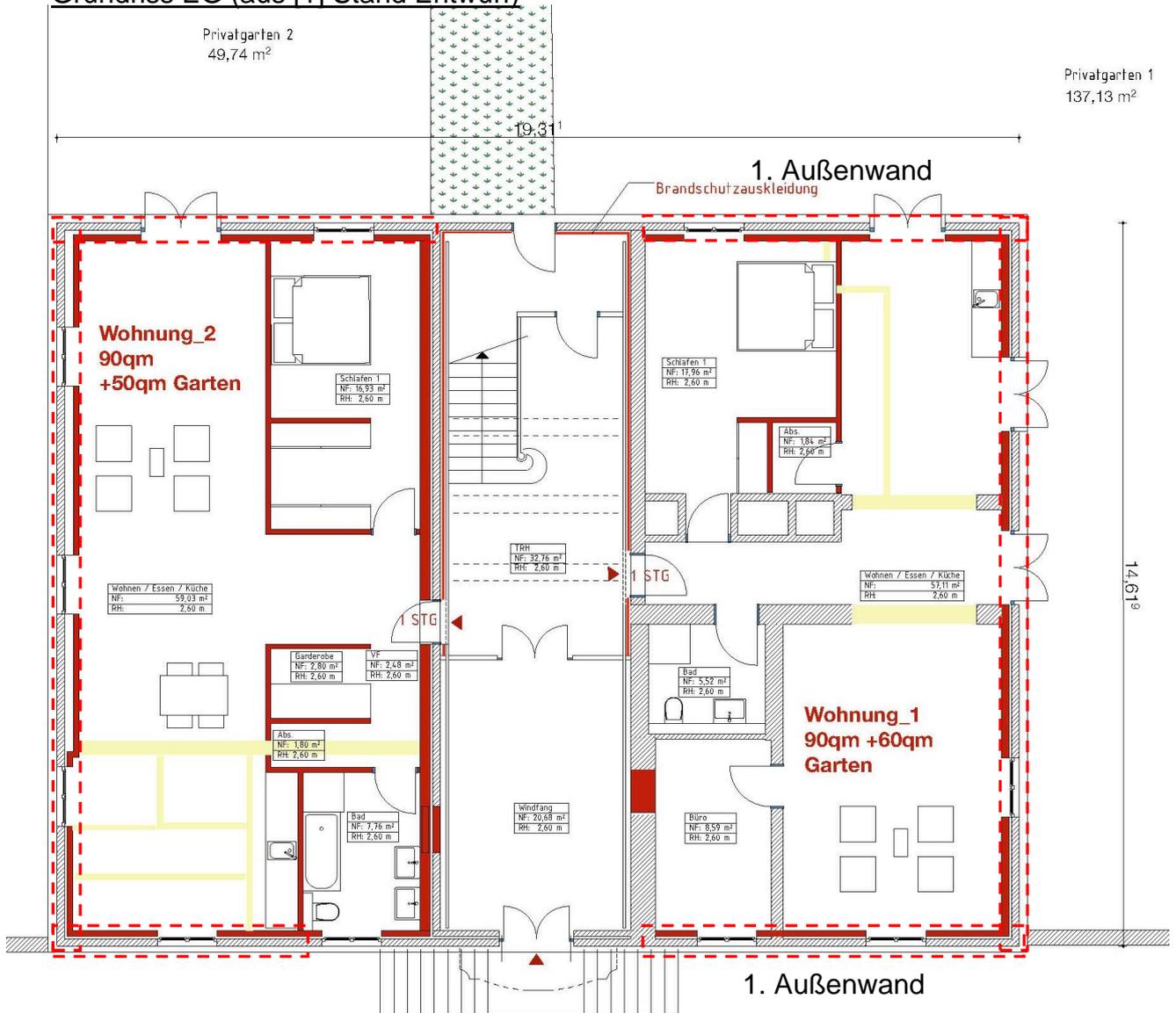
hier: Schutz gegen Außenlärm

| | |
|----------------------|--|
| Projekt: | Neubau Prinzenpark Hier: Palais |
| Liegenschaft: | Prinzenpark Usingen |
| Bauherr: | Prinzenpark Usingen GmbH + Co.KG Hirschgraben 4 63303 Dreieich |
| Objektplaner: | Ferdinand Heide Architekten Alt-Fechenheim 103 60386 Frankfurt |

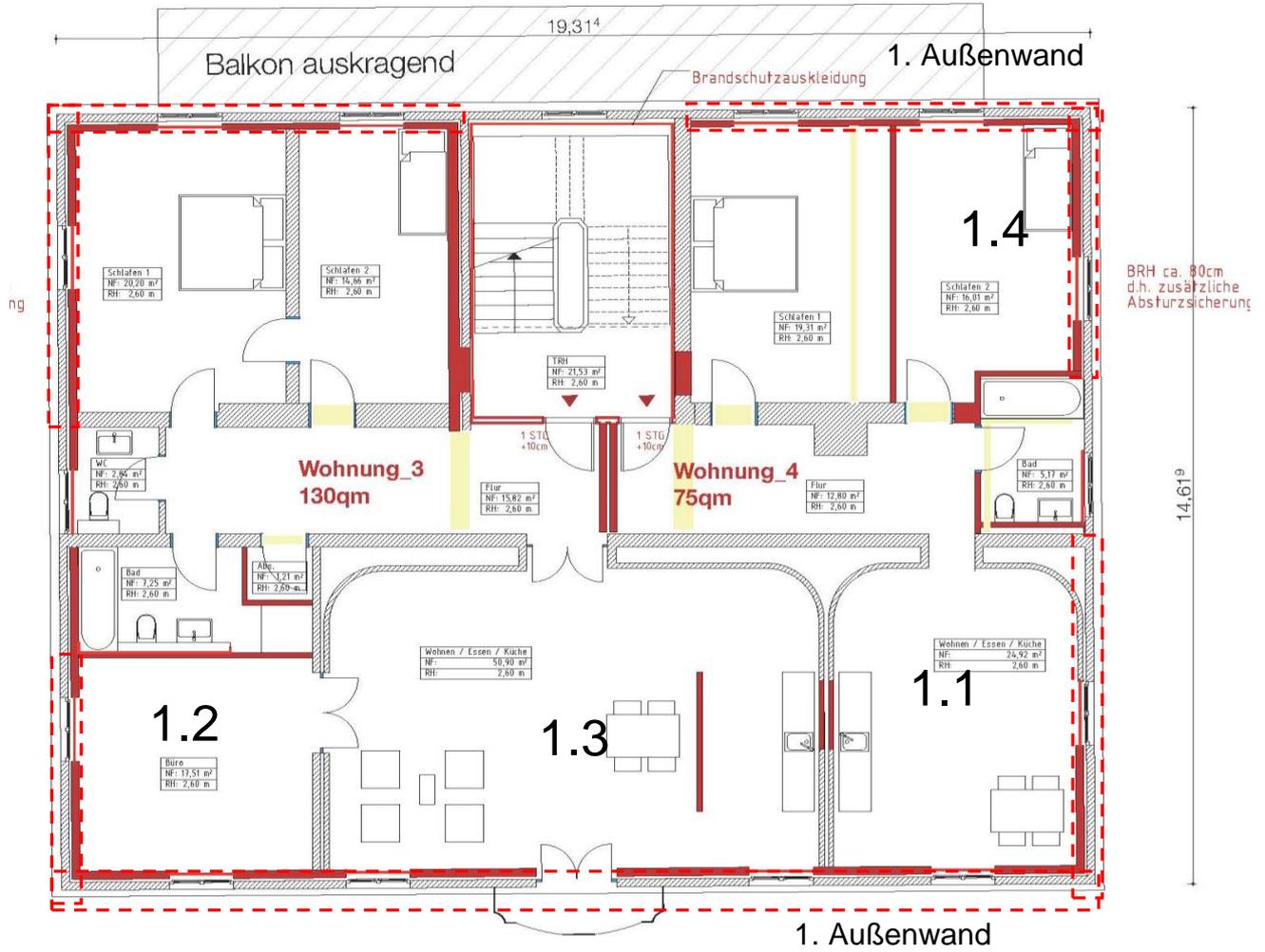
Inhalt:

| | Seite |
|-------------------------------------|-------|
| Inhalt | 2 |
| Grundrisse EG bis 2. OG und Schnitt | 3 |
| Nachweis gegen Außenlärm | 7 |
| Verortung, Lärmpegel | 7 |
| Nachweis 1.1 | 16 |
| Nachweis 1.2 | 17 |
| Nachweis 1.3 | 19 |
| Nachweis 1.4 | 21 |
| Nachweis 1.5 | 23 |
| Nachweis 1.5a | 25 |
| Ergebnisse | 27 |
| Unterlagen | 28 |

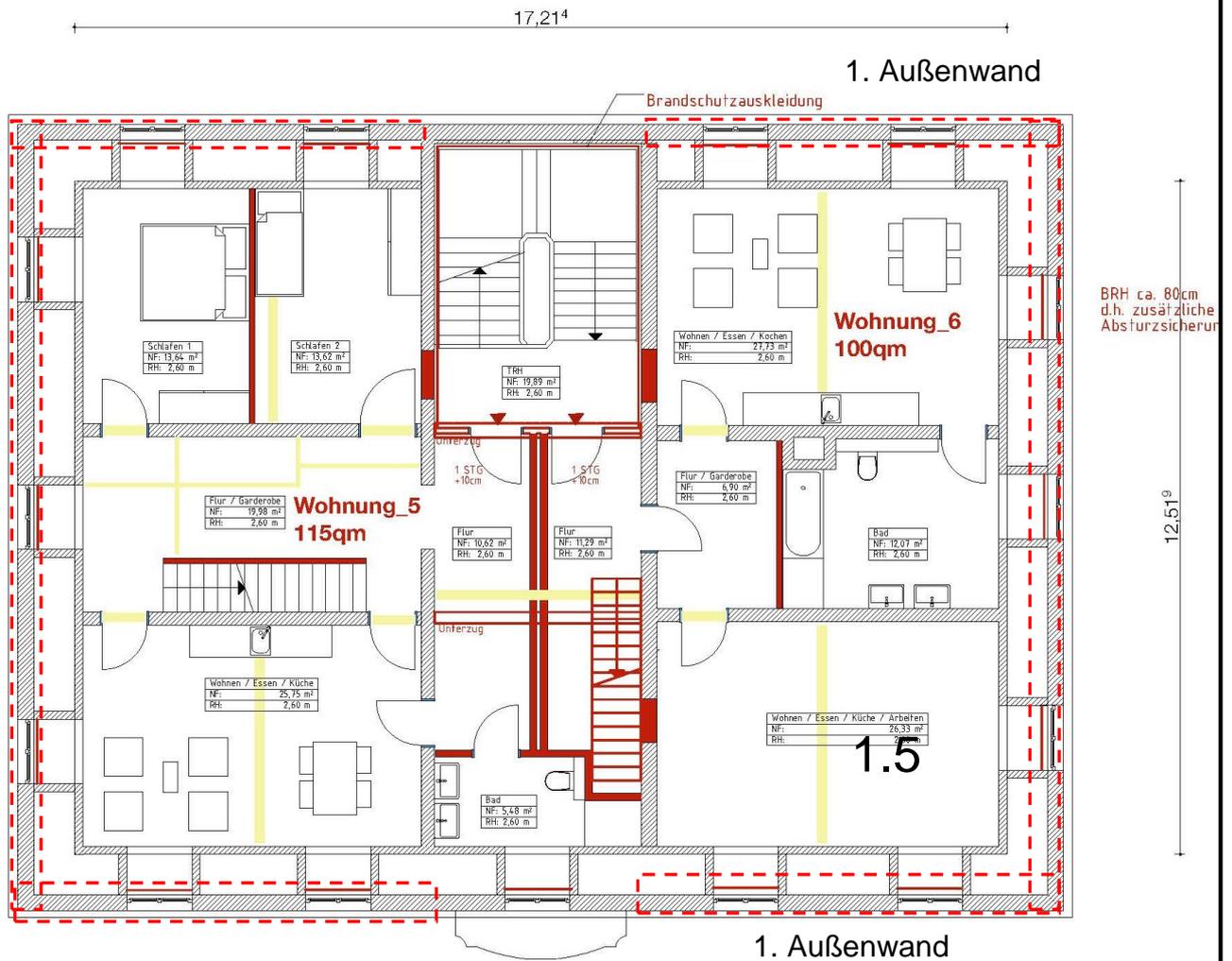
Grundriss EG (aus [1] Stand Entwurf)



Grundriss 1.OG (aus [1] Stand Entwurf)



Grundriss 2.OG (aus [1] Stand Entwurf)



DIN 4109-1 (2016) regelt den Schutz von Aufenthaltsräumen gegen Lärmbeeinträchtigung aus fremden (also nicht dem eigenen Nutzungsbereich) Räumen, auch gegen haustechnische Anlagen oder Betriebe sowie gegen Außenlärm (Straße, Luft).

Unterlagen:

[1] Entwurf Grundrisse, Schnitt Ferdinand Heide, Frankfurt, April 2021

[2] Schalltechnische Stellungnahme P 20063 - NEUBAU VON ZWEI STADTHÄUSERN MIT CA. 16-23 WOHNHEITEN SANIERUNG DES BESTANDSGEBÄUDES „PRINZENPALAIS“ IM GELTUNGSBEREICH DES BEBAUUNGSPLANES „SANIERUNGSGEBIET-S 3, 1. ÄNDERUNG“, GSA Ziegelmeyer GmbH, Hohenstein, März 21

[3] ‚Schallschutz von Fachwerkwänden‘ – Leiner, Harting, BBS Ingenieurbüro Berichte No. 12

[4] ‚Bauen im Bestand, Baulicher Schallschutz‘ – Historische Fachwerkwände, Neubauer IBN, 2007

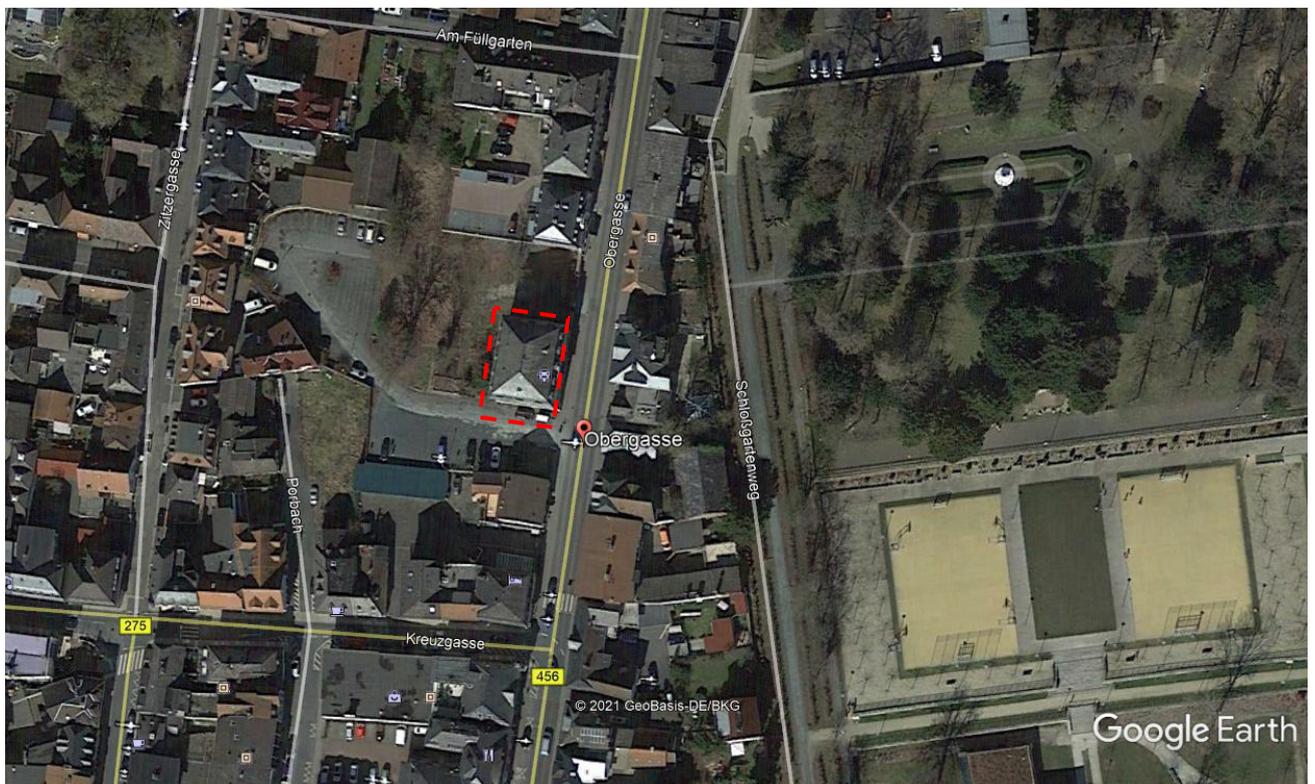
[5] Bauhistorisches Gutachten Prizenpalais – Saltenberger, Usingen, 2020

1. Schutz gegen Außenlärm

Maßgebend für die Beurteilung des Immissionsschutzes sind die Festlegungen des objektbezogenen Bebauungsplans (in Abstimmung), die auf einer schalltechnischen Untersuchung [2] basieren. Der Nachweis wird mit DIN 4109-2 (2016) geführt.

Straßenverkehr

Das Objekt liegt im Ortskern von Usingen an der Hauptdurchgangsstraße Obergasse/B456 - Gemeindestraße/Hauptverkehrsstraße mit bis 10% LKW-Anteil Typ C nach DIN 4109, Abschnitt 5.5, Bild 1.



Karte Google Earth

Neben einer Lärmkartierung aus dem Jahr 2017 (Internet map-umgebungs-laerm.rlp-umwelt.de/laermkartierung) liegt die Untersuchung [2, siehe Bild] vor, aus der die Verkehrslärmbelastung bei Nacht und Tag abgelesen werden kann (Dauerpegel). Anhand der Fassadengeräuschbelastung zur Tages- und Nachtzeit - unter Berücksichtigung der Gebäudeeigenabschirmung - ist der maßgebliche Außenlärmpegel L_a nach dem Verfahren der DIN 4109 gebildet. Die Fassadenabschnitte sind in die Lärmpegelbereiche nach DIN 4109 gegliedert. Innerhalb der Lärmpegelbereiche werden die für einzelne Fassadenabschnitte berechneten Pegelwerte L_a angegeben. Anhand der Fassadenbelastung können die Anforderungen an den passiven Schallschutz für die Gebäude zur Sicherstellung „gesunder Wohn- und Arbeitsverhältnisse“ im Sinne der DIN 4109 für das Baugenehmigungsverfahren durch einen projektbezogenen Schallschutznachweis abgeleitet werden. Die entsprechenden Anforderungen an die Verglasungen / Fassadenflächen etc. sind dann als „Mindestanforderungen“ bei der Gebäudeerstellung umzusetzen.

Zur Orientierung für die Verkehrsbelastung aus [2]:

Für die schalltechnischen Berechnungen werden die Verkehrsdaten für die B 456 mit

$$-DTV_{2030} \sim 15.200 \text{ Kfz}/24\text{h} \quad p_{T/N} = 2,9 \%$$

berücksichtigt. Das stündliche Gesamtverkehrsaufkommen M_T und M_N der Obergasse (B 456) in Höhe des Planungsvorhabens beträgt

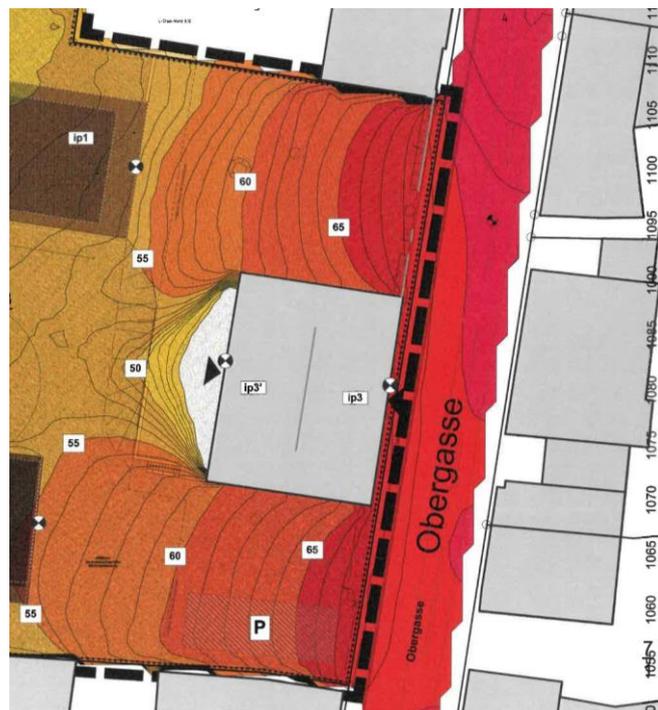
$$M_T 912 \text{ Kfz}/\text{h}, \\ M_N 167 \text{ Kfz}/\text{h}.$$

Am „Bestandsgebäude“ Prinzenpalais im Nahbereich zur B 456 betragen die Geräuschbelastungen

$$\text{Tagpegel } L_{m,T} = 68 \text{ dB(A)} \\ \text{Nachtpegel } L_{m,N} = 61 \text{ dB(A)}$$

Auf der Gebäuderückseite betragen die Pegelwerte

$$\text{Tagpegel } L_{m,T} = 40 \text{ dB(A)} \\ \text{Nachtpegel } L_{m,N} = 33 \text{ dB(A)}$$



Das Bestandsgebäude „Prinzenpalais“ ist auf der zur Obergasse [B 456] hinweisenden Fassade mit Verkehrsräuschen von $L_{m,T} \sim 68 \text{ dB(A)}$ im Tageszeitraum und $L_{m,N} \sim 61 \text{ dB(A)}$ zur Nachtzeit belastet.

Hierdurch werden die Planungsempfehlungen für Mischgebiete nach DIN 18005 - tags 60 dB(A) / nachts 50 dB(A) - deutlich überschritten. Gleiches gilt für die hier ergänzend herangezogenen Immissionsgrenzwerte der Verkehrslärmschutzverordnung von tags 64 dB(A) / nachts 54 dB(A) .

Für die Festlegung von baulichen Schallschutzmaßnahmen (passive Schallschutzmaßnahmen) der Gebäudehülle ist nach den Regelungen der DIN 4109 der „maßgebliche Außenlärmpegel“ L_a heranzuziehen. Dieser Pegelwert setzt sich aus dem berechneten Mittelungspegel für die Tages- und Nachtzeit und einem Zuschlag von $+3 \text{ dB(A)}$ zusammen. Für den Nachtzeitraum ist für die Raumgruppen, die „überwiegend zum Schlafen genutzt werden“ [Kinderzimmer/Schlafzimmer], eine eigenständige Prüfung anhand eines um $+10 \text{ dB}$ erhöhter Beurteilungspegels für die Nachtzeit plus einem Zuschlag von $+3 \text{ dB}$ die Grundlage, wenn die Tag-Nacht-Pegeldifferenz im Beurteilungspegel der Verkehrswege $< 10 \text{ dB}$ beträgt. Dies ist hier der Fall [$\Delta L \sim 7,4 \text{ dB(A)}$].

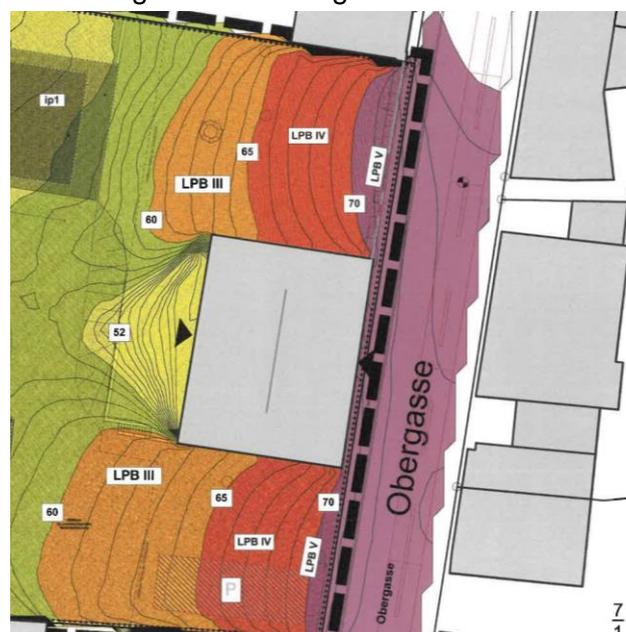
Für Räume, die „überwiegend zum Schlafen genutzt werden“ [Schlafzimmer, Kinderzimmer], sind dann die für die Nachtzeit berechneten „maßgeblichen Außenlärmpegel“ für die Festlegung der Schallschutzanforderungen heranzuziehen. Hieraus können sich für diese Raumgruppen höhere Anforderungen an den passiven Schallschutz (Schalldämmung der Fassade/Fensteranlagen, Balkontüren etc.) ergeben, als dies sich bei Berücksichtigung der Tageswert ergibt.

Denkbare bauliche Lösungen zur Minimierung (Orientierung der Schlafräume, Bildung von Querriegeln u. ä.) wurden berücksichtigt: so sind alle Schlafräume und Kinderzimmer zur Gartenseite ausgerichtet, teils aber auch an der hinteren Ecke der Seitenwände. Nur Wohnzimmer sind zur Obergasse orientiert. Hier ist jedoch ebenso eine wirkungsvolle passive Abschirmung durch die Gebäudehülle erforderlich.

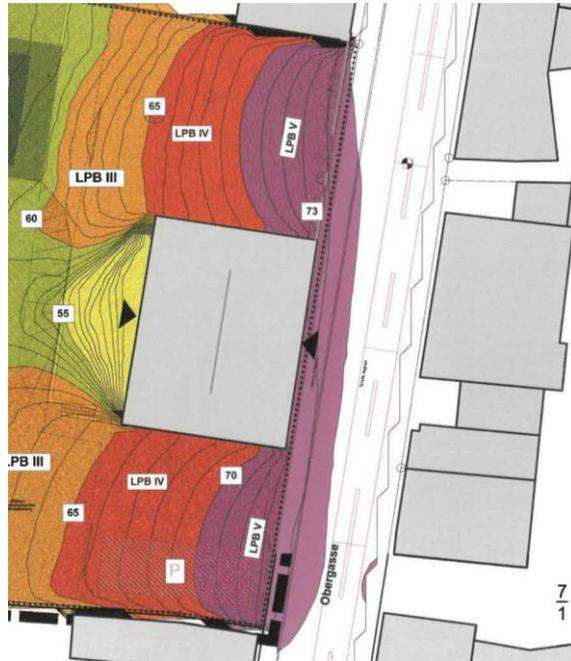
Für Wohnnutzungen ist jedoch davon auszugehen, dass diese in diesen Fassadenabschnitten nicht realisiert werden können - bzw. nur durch sehr hohe Schallschutzaufwendungen in Verbindung mit einem Lüftungskonzept, das das Geschlossenhalten der Fensteranlagen ermöglicht, umzusetzen sind.

Die Immissionen wurden Lärmpegelklassen nach DIN 4109 eingeordnet, die wiederum der folgenden Nachweisführung zu Grunde liegen.

Tags



Nachts



Maximaler Lärmpegelbereich an der Straßenseite und an den beiden Seiten:

vorn - V seitlich - ≤ III - IV (an der vorderen Ecke)

Maximaler Lärmpegelbereich an der Rückseite

hinten - I

Nachts erhöhen sich die Anforderungen an den Seitenwänden

seitlich - ≤ IV - V (an der vorderen Ecke)

Nach Tabelle 7 der DIN 4109-1 (2016) ist die Anforderung an die Fassade $R'_{w,ges}$ definiert

| | |
|--|------------------------------|
| als: Maximaler Lärmpegelbereich V | $R'_{w,ges} = 45 \text{ dB}$ |
| bzw. (71) 73 dB(A) - 30 dB(A) = (41) 43 dB bei differenzierter Betrachtung tags/nachts | |
| Maximaler Lärmpegelbereich IV | $R'_{w,ges} = 40 \text{ dB}$ |
| Maximaler Lärmpegelbereich III | $R'_{w,ges} = 35 \text{ dB}$ |
| Maximaler Lärmpegelbereich II = I | $R'_{w,ges} = 30 \text{ dB}$ |

jeweils für Wohngebäuden oder Gebäude, die wohnleich oder wohnungsähnlich genutzt sind.

Für eine Büronutzung ist in den Lärmpegelbereichen III bis V ein Abschlag von 5 dB möglich.

Die Prognosegenauigkeit wird mit +1dB/-2 dB angegeben: die Werte werden deshalb mit +1 dB angehoben.

Schienenverkehr

nicht relevant

Luftverkehr

nicht relevant

Resultierende Anforderung

Es wird wegen der Dominanz des Lärms aus Straßenverkehr keine Überlagerung nach DIN 4109-2 4.4.5.7. vorgenommen.

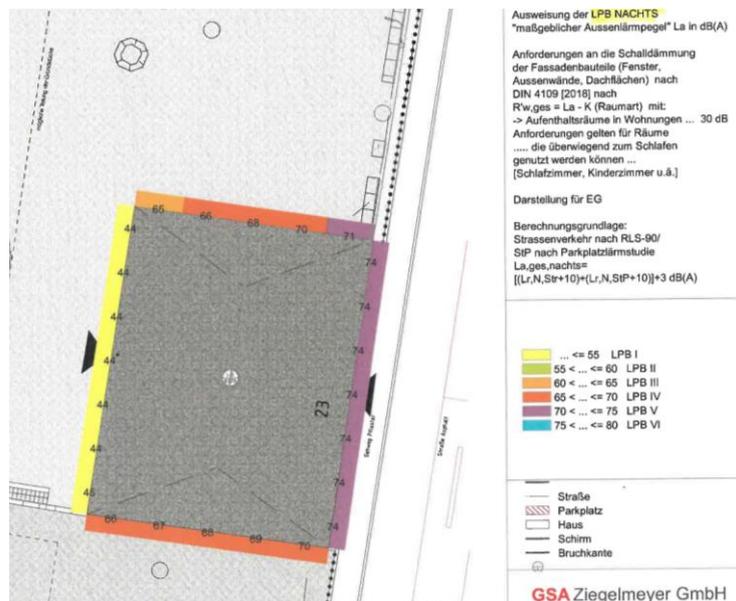
Die maßgeblichen Pegelwerte L_A sind folgende:

[2, Abschnitt 6.3] lässt für die Fassadenseiten Differenzierungen je Geschoss und genauer Ort zu. Diese sind jedoch gering, so dass Gruppierungen sinnvoll sind.

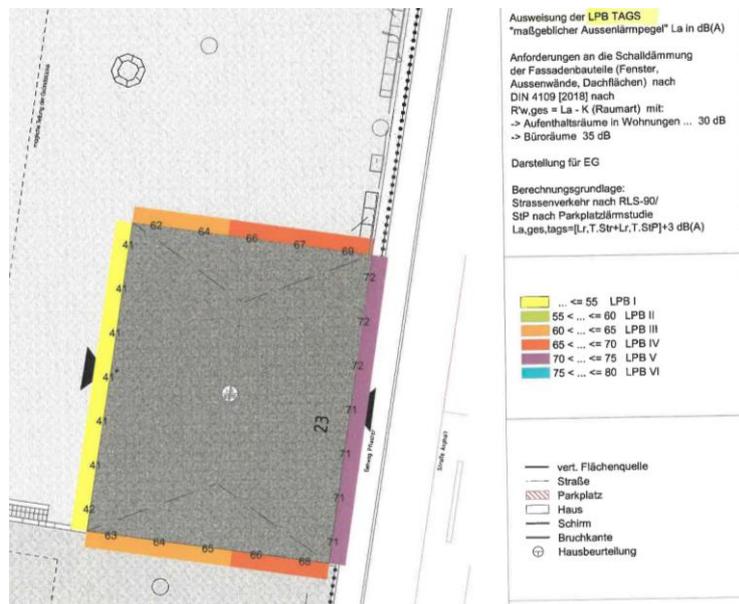
Die Tag/Nacht-Unterschiede beziehen sich auf die unterschiedliche Nutzung (Schlafen nachts bzw. Wohnen tags)

Der erforderlich Luftschallschutz für alle Fassadenteile ist jeweils $R'_{w,ges,i} = L_{A,i} - 30$ dB

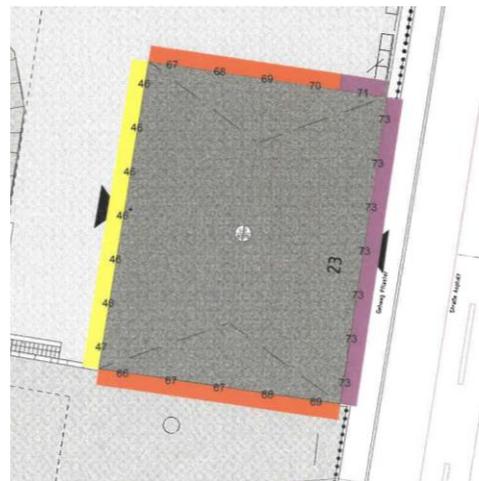
Differenzierter „maßgeblicher Pegelwert $L_{A,i}$ “ im Erdgeschoss +1dB **Nachts**:



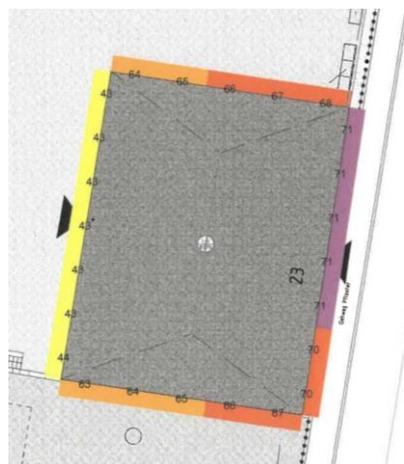
Differenzierter ‚maßgeblicher Pegelwert $L_{A,i}$ ‘ im Erdgeschoss +1dB **Tags**:



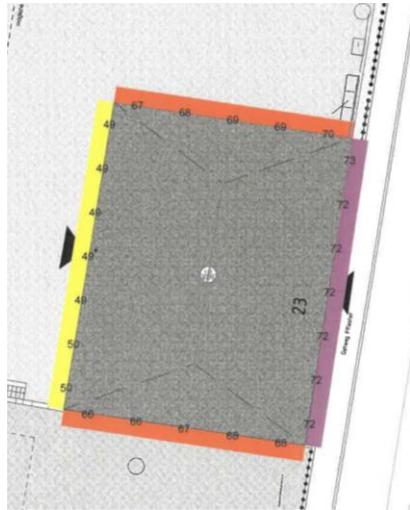
Differenzierter ‚maßgeblicher Pegelwert $L_{A,i}$ ‘ im 1.OG +1dB **Nachts**:



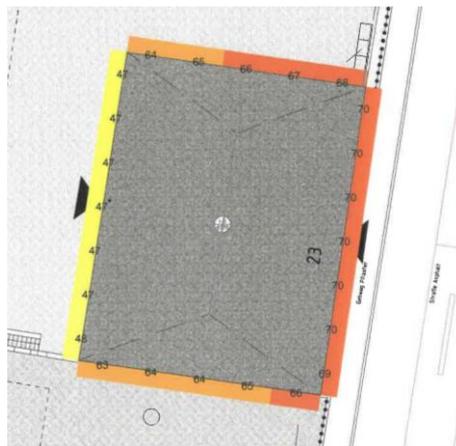
Differenzierter ‚maßgeblicher Pegelwert $L_{A,i}$ ‘ im 1.OG +1dB **Tags**:



Differenzierter ‚maßgeblicher Pegelwert $L_{A,i}$ ‘ im 2.OG (Mansarde) +1dB **Nachts**:



Differenzierter ‚maßgeblicher Pegelwert $L_{A,i}$ ‘ im 2.OG (Mansarde) <+1dB **Tags**:



Gruppierung:

1. eine Differenzierung an der Frontfassade (zur Obergasse) ist nicht sinnvoll – hier wird mit dem Tag-Wert $L_A = 72$ dB gerechnet.
2. eine Differenzierung an den beiden Seiten scheint nicht sinnvoll – hier wird mit dem Tag-Wert $L_A = 70$ dB gerechnet.
3. eine Differenzierung der Rückseite (Garten) scheint nicht sinnvoll – hier wird mit dem Nacht-Wert $L_A = 50$ dB gerechnet.
4. Dach: dazu werden keine expliziten Angaben gemacht. Dächer sind zusammen mit den anderen schallübertragenden Außenbauteilen nach 7.2 zu berücksichtigen.
Bei Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und bei Kriechböden sind die Anforderungen durch Dach und Decke gemeinsam zu erfüllen.
Räume zum Garten werden mit dem Nacht-Wert $L_A = 50$ dB gerechnet, Räume nach vorne werden mit dem Tag-Wert $L_A = 72$ dB gerechnet. Die Seiten werden vernachlässigt.

Es wird explizit gefordert, im Falle dezentraler Lüftungseinrichtungen schalldämmende Anlagen zu installieren, wenn der nächtliche Pegel 50 dB überschreitet. Bei zentraler Lüftungsanlage gilt dies nicht, wenn damit ein ausreichend schalldämmter Luftaustausch gewährleistet ist.

Hinweise zu den Fenstern:

Das Gebäude ist dem Denkmalschutz unterworfen. Momentan ist der Umgang mit den Kastenfenstern im Bestand noch nicht abschließend geklärt. Es werden zwei Varianten berücksichtigt:

Ein neues Fenster Schallschutzklasse 4 nach VDI-Ri 2719 mit $R_w = 42$ dB. Dieses Fenster könnte das Bestandsfenster ersetzen oder zusätzlich eingebaut werden (womit sich ein Kastenfenster aus neu und saniertem Bestand ergibt – ihre gemeinsame Wirkung müsste im Test ermittelt werden: es wird aus diesem Grund hier mit dem Basiswert des neuen Fensters allein gerechnet).

Ein neues Kastenfenster Schallschutzklasse 5 nach VDI-Ri 2719 mit $R_w = 47$ dB.

Fenster mit CE-Zeichen: dort wird der Prüfstandswert $R_{w,R}$ angegeben. $R_{w,R}$ kann durch Abzug von 2 dB Vorhaltungswert und durch angegebenen Korrekturwert C_r für Wohnlärm bzw. C_{tr} für Fluglärm ermittelt werden.

Hinweis: Das Umweltbundesamt empfiehlt, zum Schutz des Klimas auf den Einbau von Schallschutzscheiben mit SF6 zu verzichten. Gasfüllungen mit Schwefelhexafluorid (SF6) in Schallschutz-Isolierglasscheiben fördern den Treibhauseffekt.

Eventuell in den Fensterrahmen eingebaute Schwächungen müssen in der schallschutztechnischen Bewertung des Fensters enthalten sein. Die Anforderungen an die Schalldämmung bezieht sich auf die gesamte Einheit. Die Fenster sind streng nach Herstellerangaben von Fachfirmen einzubauen, ihre Eignung ist anschließend nachzuweisen.

Diese Angaben gelten selbstverständlich nur für geschlossene Fenster.

Hinweise zu den Außenwänden:

Aus der detaillierten Bestandsaufnahme [5] ist erkennbar, dass nicht nur die Außenwände Fachwerkstrukturen sind (siehe Bild aus [5]), sondern dass auch im Laufe der Zeit etliche Gefache nicht mehr die Originalfüllung haben, sondern durch verschiedene Materialien ausgemauert wurden. Grundsätzlich können Lehmfüllungen, Ziegel unterschiedlicher Dichte, Naturstein eingesetzt sein. Ein rechnerischer Ansatz ist unmöglich, da auch die Ausfachungen nicht überall frei liegen.

In der Literatur [3,4] wurden verschiedene Typen von Fachwerkwänden im Prüfstand gemessen. Es zeigt sich dort, dass vor allem Störstellen wie Fugen/Abrisse vom Holzquerschnitt etc. den Luftschallwert beeinflussen. Eine vergleichsweise gleichmäßig ausgemauerte FW-Wand mit Ziegeln $d=11,5$ cm und $\rho=1,8$ ergab einen Messwert von nur 26 dB, mit flächig verputzten Gefachen jedoch schon 44dB (einseitig) oder 46 dB (beidseitig). Mit Trockenbau-Vorsatzschale – z. Bsp. Typ Knauf 623, einlagig – erhöhte sich der Messwert auf 59 dB.

Die im Bestand des Palais vorhandenen Wände sind in ihren Gefachen unterschiedlich und teilweise, wo erkennbar, in keinem guten Zustand. Subjektiv ist ein sehr geringer Luftschallwert zu erwarten. Durch beidseitiges Instandsetzen der Ausfachung (Schließen von Hohlstellen, Durchbrüchen, Ersatz von Fremdmaterialien, durchgehende Fugen sowie das beidseitige Verputzen) lässt sich der Luftschalldämmwert der Wand deutlich heben. Der Luftschall wird jedoch

von seinen schlechtesten Teilen beeinflusst. Ohne Messung, aus einer Abschätzung der Literatur-Recherche, wird der Wert der bedarfsweise reparierten und beidseits verputzten Wand zu

$$R_w = 38 \text{ dB angenommen}$$

Die Eigenfrequenz einer inneren biegeweichen Vorsatzschale liegt mit 50 – 65 Hz im für die Bauakustik günstigen Bereich von unter 125 Hz und führten zu wesentlichen Verbesserungen der Schalldämmung gegenüber der "rohen Fachwerkwand".

Mit einer inneren Vorsatzschale z. Bsp. Knauf W623, Platte Diamant 12,5 mm und MF-Dämmung lässt sich so eine Verbesserung im Bereich von vorsichtig geschätzten 10 dB erzielen.

$$R_w = 38+10 = 48 \text{ dB}$$

Mit diesem Wert, der als auf der sicheren Seite liegend angesehen wird, wird weiterhin nachgewiesen



1.1 geschlossene Fassadenteile mit Fenstern 1.OG – Wohnküche rechts

Es wird das Berechnungsverfahren nach DIN 4109-1 (2016) gewählt.

$$R'_{w,res} - u_{prog} \geq erf R'_{w,res} + K_{AL}$$

Raumhöhe ca. 3,80 m, $S_G = 25 \text{ m}^2$

Korrekturfaktor $K_{AL} = 10 \lg * S_{(W+F)} / (0,8 * S_G)$ mit $S_{(W+F)} = (4,55+4,75) * 3,8 = 35,3 \text{ m}^2$
 $S_G = 25 \text{ m}^2$

$$K_{AL} = 10 \lg * 35,3 / (0,8 * 25) = 2,45$$

vereinfachtes Verfahren für $R'_{w,res} \leq 40 \text{ dB}$

$$R'_{w,res} = - 10 \lg (\sum 10^{-R_{e,i,w}/10})$$

mit $R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg(S_s/S_i)$

Dazu werden die einzelnen bewerteten Schalldämmmaße Fenster und Wand benötigt.

Hinweis: Flankierende Bauteile dürfen bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden, wenn $R'_{w,res} > 40 \text{ dB}$ – wird mit einem Abschlag von 2 dB in Näherung berücksichtigt.

Hinweis: Die beiden Seiten der Fassade gehört zu verschiedenen Lärmschutzklassen – die wird nach DIN 4109-2 4.4.1 berücksichtigt.

1. Fenster

Siehe vor: alternativer Ansatz neues Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierverglasung $R_w = 42 \text{ dB}$
bzw. neues Kastenfenster mit Isolierverglasung und Einfachverglasung $R_w = 47 \text{ dB}$

1.1 Fenster Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0 \text{ dB}$

Fensterfläche $S_{1.1} = 1,2 * 2,30 = 2,76 \text{ m}^2$

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.1}) = 42 + 10 \lg * (35,3/2,76) = 53 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.1}) = 47 + 10 \lg * (35,3/2,76) = 58 \text{ dB}$

1.2 Fenster Seite

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 42-40 = 2 \text{ dB}$ (Differenz max – anliegend)

Fensterfläche $S_{1.2} = 1,2 * 2,30 = 2,76 \text{ m}^2$

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.2}) = 42 + 10 \lg * (35,3/2,76) + 2 = 55 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.2}) = 47 + 10 \lg * (35,3/2,76) + 2 = 60 \text{ dB}$

2. Wand massiv

Siehe vor: Annahme mit einer inneren Vorsatzschale z. Bsp. Knauf W623, Platte Diamant 12,5 mm und MF-Dämmung $R_w = 48$ dB (Dicke der Vorsatzschale min 80 mm).

2.1 Wand massiv Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0$ dB

Wandfläche $S_{2,1} = 4,55 \cdot 3,8 - 2,76 = 14,5$ m²

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2,1}) + K_{LPB} = 48 + 10 \lg(35,3/14,5) + 0 = 51,9 \text{ dB}$$

2.2 Wand massiv auf der Giebelseite

Wie unter 2.1: $R_{2,w} = 48$ dB

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 42 - 40 = 2$ dB (Differenz max – anliegend)

Wandfläche $S_{2,2} = 4,75 \cdot 3,8 - 2,76 = 15,3$ m²

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2,2}) + K_{LPB} = 48 + 10 \lg(35,3/15,3) + 2 = 53,6 \text{ dB}$$

Addition: $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg(10^{-5,3} + 10^{-5,5} + 10^{-5,19} + 10^{-5,36}) = 47,1$ dB

$$47,1 - 2 - 2 = 43,1 \text{ dB} < 42 + 2,5 = 44,5 \text{ dB}$$

bzw. $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg(10^{-5,8} + 10^{-6,0} + 10^{-5,19} + 10^{-5,36}) = 48,7$ dB

$$48,7 - 2 - 2 = 44,7 \text{ dB} > 42 + 2,5 = 44,5 \text{ dB}$$

Damit lässt sich der Nachweis nur für das verbesserte Kastenfenster erbringen.

1.2 geschlossene Fassadenteile mit Fenstern 1.OG – Raum links

Es wird das Berechnungsverfahren nach DIN 4109-1 (2016) gewählt.

$$R'_{w,res} - u_{prog} \geq erf R'_{w,res} + K_{AL}$$

Raumhöhe ca. 3,80 m, $S_G = 18$ m²

Korrekturfaktor $K_{AL} = 10 \lg(S_{(W+F)} / (0,8 \cdot S_G))$ mit $S_{(W+F)} = (4,0 + 4,4) \cdot 3,8 = 31,9$ m²
 $S_G = 18$ m²

$$K_{AL} = 10 \lg(31,9 / (0,8 \cdot 18)) = 3,45$$

vereinfachtes Verfahren für $R'_{w,res} \leq 40$ dB

$$R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10})$$

mit $R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg(S_s / S_i)$

Dazu werden die einzelnen bewerteten Schalldämmmaße Fenster, Wand, Decke benötigt.

Hinweis: Flankierende Bauteile dürfen bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden, wenn $R'_{w, \text{res}} > 40$ dB – wird mit einem Abschlag von 2 dB in Näherung berücksichtigt.

Hinweis: Die beiden Seiten der Fassade gehört zu verschiedenen Lärmschutzklassen – die wird nach DIN 4109-2 4.4.1 berücksichtigt.

Hinweise zu den Fenstern:

Wie unter 1.1

1. Fenster

Siehe vor: alternativer Ansatz neues Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierverglasung $R_w = 42$ dB bzw. neues Kastenfenster mit Isolierverglasung und Einfachverglasung $R_w = 47$ dB

1.1 Fenster Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0$ dB

Fensterfläche $S_{1.1} = 1,2 \cdot 2,30 = 2,76$ m²

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.1}) = 42 + 10 \lg^*(31,9/2,76) = 52,6 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.1}) = 47 + 10 \lg^*(31,9/2,76) = 57,6 \text{ dB}$

1.2 Fenster Seite

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 42 - 40 = 2$ dB (Differenz max – anliegend)

Fensterfläche $S_{1.2} = 1,2 \cdot 2,30 = 2,76$ m²

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.2}) = 42 + 10 \lg^*(31,9/2,76) + 2 = 54,6 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.2}) = 47 + 10 \lg^*(31,9/2,76) + 2 = 59,6 \text{ dB}$

2. Wand massiv

Siehe vor: Annahme mit einer inneren Vorsatzschale z. Bsp. Knauf W623, Platte Diamant 12,5 mm und MF-Dämmung $R_w = 48$ dB (Dicke der Vorsatzschale min 80 mm).

2.1 Wand massiv Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0$ dB

Wandfläche $S_{2.1} = 4,4 \cdot 3,8 - 2,76 = 14,0$ m²

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2.1}) + K_{LPB} = 48 + 10 \lg^*(31,9/14,0) + 0 = 51,6 \text{ dB}$$

2.2 Wand massiv auf der Giebelseite

Wie unter 2.1: $R_{2,w} = 48 \text{ dB}$

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 42 - 40 = 2 \text{ dB}$ (Differenz max – anliegend)

Wandfläche $S_{2,2} = 4,0 \cdot 3,8 - 2,76 = 12,5 \text{ m}^2$

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2,2}) + K_{LPB} = 50 + 10 \lg(31,9/12,5) + 2 = 54,1 \text{ dB}$$

Addition: $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg(10^{-5,26} + 10^{-5,46} + 10^{-5,16} + 10^{-5,41}) = 47 \text{ dB}$

$$47 - 2 - 2 = 43,0 \text{ dB} < 42 + 3,5 = 45,5 \text{ dB}$$

bzw. $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg(10^{-5,76} + 10^{-5,96} + 10^{-5,16} + 10^{-5,41}) = 48,6 \text{ dB}$

$$48,6 - 2 - 2 = 44,6 \text{ dB} < 42 + 3,5 = 45,5 \text{ dB}$$

Damit lässt sich der Nachweis knapp nicht erbringen.

1.3 geschlossene Fassadenteile mit Fenstern 1.OG – Raum zentral

Es wird das Berechnungsverfahren nach DIN 4109-1 (2016) gewählt.

$$R'_{w,res} - u_{\text{prog}} \geq \text{erf } R'_{w,res} + K_{AL}$$

Raumhöhe ca. 3,80 m, $S_G = 51 \text{ m}^2$

Korrekturfaktor $K_{AL} = 10 \lg(S_{(W+F)} / (0,8 \cdot S_G))$ mit $S_{(W+F)} = 9,15 \cdot 3,8 = 34,7 \text{ m}^2$
 $S_G = 51 \text{ m}^2$

$$K_{AL} = 10 \lg(34,7 / (0,8 \cdot 51)) = -0,7$$

vereinfachtes Verfahren für $R'_{w,res} \leq 40 \text{ dB}$

$$R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10})$$

mit $R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg(S_s / S_i)$

Dazu werden die einzelnen bewerteten Schalldämmmaße Fenster und Wand benötigt.

Hinweis: Flankierende Bauteile dürfen bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden, wenn $R'_{w,res} > 40 \text{ dB}$ – wird mit einem Abschlag von 2 dB in Näherung berücksichtigt.

Hinweis: Die beiden Seiten der Fassade gehört zu verschiedenen Lärmschutzklassen – die wird nach DIN 4109-2 4.4.1 berücksichtigt.

Hinweise zu den Fenstern:

Wie unter 1.1

1. Fenster

Siehe vor: alternativer Ansatz neues Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierverglasung $R_w = 42$ dB
bzw. neues Kastenfenster mit Isolierverglasung und Einfachverglasung $R_w = 47$ dB

1.1 Fenster Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0$ dB

Fensterfläche $S_{1.1} = 2 \cdot 1,2 \cdot 2,30 + 1,5 \cdot 3,2 = 10,3$ m²

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.1}) = 42 + 10 \lg(34,7/10,3) = 47,3 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1.1}) = 47 + 10 \lg(34,7/10,3) = 52,3 \text{ dB}$

2. Wand massiv

Siehe vor: Annahme mit einer inneren Vorsatzschale z. Bsp. Knauf W623, Platte Diamant 12,5 mm und MF-Dämmung $R_w = 48$ dB (Dicke der Vorsatzschale min 80 mm).

s. vor

2.1 Wand massiv Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0$ dB

Wandfläche $S_{2.1} = 34,7 - 10,3 = 24,4$ m²

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F}/S_{2.1}) + K_{LPB} = 48 + 10 \lg(34,7/24,4) + 0 = 45,2 \text{ dB}$$

Addition: $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg(10^{-4,73} + 10^{-4,95}) = 47,1 \text{ dB}$

$$45,2 - 2 - 2 = 43,2 \text{ dB} > 42 - 0,7 = 41,3 \text{ dB}$$

bzw. $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg(10^{-5,23} + 10^{-4,95}) = 47,6 \text{ dB}$

$$47,6 - 2 - 2 = 43,6 \text{ dB} > 42 - 0,7 = 41,3 \text{ dB}$$

Damit lässt sich der Nachweis erbringen.

1.4 geschlossene Fassadenteile mit Fenstern 1.OG –Schlafraum hinten rechts

Es wird das Berechnungsverfahren nach DIN 4109-1 (2016) gewählt.

$$R'_{w,res} - u_{prog} \geq erf R'_{w,res} + K_{AL}$$

Raumhöhe ca. 3,80 m, $S_G = 16,1 \text{ m}^2$

Korrekturfaktor $K_{AL} = 10 \lg * S_{(W+F)} / (0,8 * S_G)$ mit $S_{(W+F)} = (3,3+4,55)*3,8 = 29,8 \text{ m}^2$
 $S_G = 16,1 \text{ m}^2$

$$K_{AL} = 10 \lg * 29,8 / (0,8 * 16,1) = 3,7$$

vereinfachtes Verfahren für $R'_{w,res} \leq 40 \text{ dB}$

$$R'_{w,res} = - 10 \lg (\Sigma 10^{-R_{e,i,w}/10})$$

mit $R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg(S_s/S_i)$

Dazu werden die einzelnen bewerteten Schalldämmmaße Fenster, Wand, Decke benötigt.

Hinweis: Flankierende Bauteile dürfen bei der Berechnung vernachlässigt werden, wenn $R'_{w,res} < 40 \text{ dB}$ – hier gegeben.

Hinweis: Die beiden Seiten der Fassade gehört zu verschiedenen Lärmschutzklassen – dies wird nach DIN 4109-2 4.4.1 berücksichtigt.

Hinweise zu den Fenstern:

Wie unter 1.1

1. Fenster

Siehe vor: alternativer Ansatz neues Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierverglasung $R_w = 42 \text{ dB}$
bzw. neues Kastenfenster mit Isolierverglasung und Einfachverglasung $R_w = 47 \text{ dB}$

1.1 Fenster Seitenwand

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0 \text{ dB}$

Fensterfläche $S_{1.1} = 1,2 * 2,30 = 2,76 \text{ m}^2$

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.1}) = 42 + 10 \lg * (29,8 / 2,76) = 52,3 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.1}) = 47 + 10 \lg * (29,8 / 2,76) = 57,3 \text{ dB}$

1.2 Fenster Garten

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 38 - 30 = 8 \text{ dB}$ (Differenz max – anliegend)

Fensterfläche $S_{1.2} = 1,2 * 2,30 = 2,76 \text{ m}^2$

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.2}) = 42 + 10 \lg * (29,8 / 2,76) + 8 = 60,3 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1,2}) = 47 + 10 \lg *(29,8/2,76) + 8 = 65,3 \text{ dB}$

2. Wand massiv

Siehe vor: Annahme mit einer inneren Vorsatzschale z. Bsp. Knauf W623, Platte Diamant 12,5 mm und MF-Dämmung $R_w = 48 \text{ dB}$ (Dicke der Vorsatzschale min 80 mm).

s. vor

2.1 Wand massiv Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0 \text{ dB}$

Wandfläche $S_{2,1} = 4,55 * 3,8 - 2,76 = 14,5 \text{ m}^2$

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2,1}) + K_{LPB} = 48 + 10 \lg *(29,8/14,5) + 0 = 51,1 \text{ dB}$$

2.2 Wand massiv auf der Giebelseite

Wie unter 2.1: $R_{2,w} = 48 \text{ dB}$

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 38 - 30 = 8 \text{ dB}$ (Differenz max – anliegend)

Wandfläche $S_{2,2} = 3,3 * 3,8 - 2,76 = 9,8 \text{ m}^2$

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2,2}) + K_{LBP} = 48 + 10 \lg *(29,8/9,8) + 8 = 60,8 \text{ dB}$$

Addition: $R'_{w,res} = -10 \lg (\sum 10^{-Re,i,w/10}) = -10 \lg * (10^{-5,23} + 10^{-6,03} + 10^{-5,11} + 10^{-6,08}) = 48,1 \text{ dB}$

$$48,1 - 2 = 46,1 \text{ dB} > 38 + 3,7 = 41,7 \text{ dB}$$

bzw. $R'_{w,res} = -10 \lg (\sum 10^{-Re,i,w/10}) = -10 \lg * (10^{-5,73} + 10^{-6,53} + 10^{-5,11} + 10^{-6,08}) = 49,7 \text{ dB}$

$$49,7 - 2 = 47,7 \text{ dB} > 38 + 3,7 = 41,7 \text{ dB}$$

Damit lässt sich der Nachweis erbringen.

1.5 geschlossene Fassadenteile mit Fenstern 2.OG – Raum vorne rechts

Die Grundfläche des Raums wird auf die Mittellinie der Mansardschräge bezogen, bzw. auf die untere Abmauerung. Bedeutet Abzug $1,70/2=0,85$ m von der Außenkante.

Maßgeblich ist der Tag-Wert von $L_{A,i} = 70$ bzw. 68 dB an der rechten Gebäudeecke/Straße.

Es wird das Berechnungsverfahren nach DIN 4109-1 (2016) gewählt.

$$R'_{w,res} - u_{prog} \geq erf R'_{w,res} + K_{AL}$$

Raumhöhe ca. $3,05$ m, $S_G = (7,5-0,85) \cdot (5,4-0,85) = 30,2$ m² Neigung Mansarddach $\approx 62^\circ$

Korrekturfaktor $K_{AL} = 10 \lg * S_{(W+F)} / (0,8 * S_G)$
mit $S_{(W+F)} = ((7,5-0,85) + (5,4-0,85)) * 3,05 / \cos 28^\circ = 38,9$ m²

$$K_{AL} = 10 \lg * 38,9 / (0,8 * 30,2) = +2,1$$

vereinfachtes Verfahren für $R'_{w,res} \leq 40$ dB

$$R'_{w,res} = - 10 \lg (\sum 10^{-Re_{i,w}/10})$$

mit $Re_{i,w} = R_{i,w} + 10 \lg(S_s/S_i)$

Dazu werden die einzelnen bewerteten Schalldämmmaße Fenster und Wand benötigt.

Hinweis: Flankierende Bauteile dürfen bei der Berechnung nicht vernachlässigt werden, wenn $R'_{w,res} > 40$ dB – ist genau 40 dB, Verfahren ist ohne Abschlag ok.

Hinweis: Die beiden Seiten der Fassade gehört zu verschiedenen Lärmschutzklassen – die wird nach DIN 4109-2 4.4.1 berücksichtigt.

Hinweise zu den Fenstern:

Wie unter 1.1

1. Fenster

Siehe vor: alternativer Ansatz neues Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierverglasung $R_w = 42$ dB
bzw. neues Kastenfenster mit Isolierverglasung und Einfachverglasung $R_w = 47$ dB

Die Fenstergröße wird hier in der Schräge gemessen $AF = 1,2 * 1,2 / \cos 28^\circ \approx 1,65$ m²

1.1 Fenster Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0$ dB

Fensterfläche $S_{1.1} = 2 * 1,65 = 3,3$ m²

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.1}) = 42 + 10 \lg * (38,9 / 3,3) = 52,7 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.1}) = 47 + 10 \lg * (38,9 / 3,3) = 57,7 \text{ dB}$

1.2 Fenster Seite

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 40-38 = 2 \text{ dB}$ (Differenz max – anliegend)

Fensterfläche $S_{1,2} = 1,65 \text{ m}^2$

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1,2}) = 42 + 10 \lg^*(38,9/1,65) + 2 = 57,7 \text{ dB}$$

bzw. $R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1,2}) = 47 + 10 \lg^*(38,9/1,65) + 2 = 62,7 \text{ dB}$

2. Mansarde

Es handelt sich um einen hölzernen Dachstuhl, der nur eingeschränkt ertüchtigt werden kann. Bei den Mansardflächen liegt ein Zwischending zwischen Wand und geneigtem Dach vor. Nach DIN 4109 (1989) Beiblatt 1 Tabelle 37 bzw. 39 wird der Aufbau nach Zeile 1 zu $R'_{w,R} = 35 \text{ dB}$ geschätzt.

Durch eine auf den vorhandenen Aufbau abgestimmte Vorsatzschale muss eine Verbesserung erzielt werden, die im Minimum ein Luftschalldämmmaß von $R'_{w,R} \geq 42 \text{ dB}$ erbringt.

Dieser Zielwert wird im Nachweis angesetzt.

2.1 Mansardfläche Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0 \text{ dB}$

Wandfläche $S_{2,1} = (7,5-0,85)*3,05/\cos 28^\circ - 3,3 = 19,7 \text{ m}^2$

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F}/S_{2,1}) + K_{LPB} = 42 + 10 \lg^*(38,9/19,7) + 0 = 45 \text{ dB}$$

2.2 Mansardfläche auf der Giebelseite

Wie unter 2.1: $R_{2,w} = 42 \text{ dB}$

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 40-38 = 2 \text{ dB}$ (Differenz max – anliegend)

Wandfläche $S_{2,2} = (5,4-0,85)*3,05/\cos 28^\circ - 1,65 = 14,2 \text{ m}^2$

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F}/S_{2,2}) + K_{LPB} = 42 + 10 \lg^*(38,9/14,2) + 2 = 48,4 \text{ dB}$$

Addition: $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg^*(10^{-5,27} + 10^{-5,77} + 10^{-4,5} + 10^{-4,84}) = 42,8 \text{ dB}$

$$42,8 - 2 = 40,8 \text{ dB} < 40 + 2,1 = 42,1 \text{ dB}$$

bzw. $R'_{w,res} = -10 \lg(\sum 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg^*(10^{-5,77} + 10^{-6,27} + 10^{-4,5} + 10^{-4,84}) = 43,1 \text{ dB}$

$$43,1 - 2 = 41,1 \text{ dB} < 40 + 2,1 = 42,1 \text{ dB}$$

Damit lässt sich der Nachweis nicht erbringen.

1.5a geschlossene Fassadenteile mit Fenstern 2.OG – Raum vorne rechts

Hier: im Fall einer Decke unter einem nicht ausgebauten Dachraum

Geometrie ist gleich wie unter 1.5, die ‚Fassadenfläche‘ erhöht sich um die Deckenfläche

$$\text{mit } S_{(W+F)} = 38,9 + ((7,5-1,7)*(5,4-1,7)) = 60,4 \text{ m}^2$$

$$\text{Korrekturfaktor } K_{AL} = 10 \lg * S_{(W+F)} / (0,8 * S_G)$$

$$K_{AL} = 10 \lg * 60,4 / (0,8 * 30,2) = +4,0$$

Nach DIN 4109-1 7.3 gilt

Bei Decken unter nicht ausgebauten Dachräumen und bei Kriechböden sind die Anforderungen durch Dach und Decke gemeinsam zu erfüllen. Die Anforderungen gelten als erfüllt, wenn das Schalldämm-Maß der Decke allein um nicht mehr als 10 dB unter dem erforderlichen gesamten Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ liegt.

$$\text{Erf. } R'_{w,res} = 40 + 4,0 = 44,0 \text{ dB}$$

Das Schalldämmmaß der Decke darf dann nicht weniger als $44-10 = 34$ dB betragen.

Nach DIN 4109 (1989) Beiblatt 1 Tabelle 34 sind alle Konstruktionen der Zeilen 1-4 geeignet. Als Minimallösung ist Zeile 1 zu betrachten, $R'_{wR} = 50 \text{ dB} \gg 34 \text{ dB}$.

Andere Konstruktionen sind durch Eignungsprüfungen zu beurteilen.

Auch wenn der geforderte Parameter erfüllt ist, muss die Gesamtbilanz ebenfalls rechnerisch erfüllt sein:

1. Fenster

Siehe vor: alternativer Ansatz neues Einfachfenster mit Mehrscheiben-Isolierverglasung $R_w = 42 \text{ dB}$
bzw. neues Kastenfenster mit Isolierverglasung und Einfachverglasung $R_w = 47 \text{ dB}$

Die Fenstergröße wird hier in der Schräge gemessen $AF = 1,2 * 1,2 / \cos 28^\circ \approx 1,65 \text{ m}^2$

1.1 Fenster Straße

$$\text{Korrekturfaktor } K_{LPB} = 0 \text{ dB}$$

$$\text{Fensterfläche } S_{1.1} = 2 * 1,65 = 3,3 \text{ m}^2$$

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.1}) = 42 + 10 \lg * (60,9 / 3,3) = 54,6 \text{ dB}$$

$$\text{bzw. } R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.1}) = 47 + 10 \lg * (60,9 / 3,3) = 59,6 \text{ dB}$$

1.2 Fenster Seite

$$\text{Korrekturfaktor } K_{LPB} = 40-38 = 2 \text{ dB} \quad (\text{Differenz max – anliegend})$$

$$\text{Fensterfläche } S_{1.2} = 1,65 \text{ m}^2$$

$$R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)} / S_{1.2}) = 42 + 10 \lg * (60,9 / 1,65) + 2 = 59,7 \text{ dB}$$

$$\text{bzw. } R_{e,1,w} = R_{1,w} + 10 \lg(S_{(W+F)}/S_{1,2}) = 47 + 10 \lg *(38,9/1,65) + 2 = 64,7 \text{ dB}$$

2. Mansarde

Es handelt sich um einen hölzernen Dachstuhl, der nur eingeschränkt ertüchtigt werden kann. Bei den Mansardflächen liegt ein Zwischending zwischen Wand und geneigtem Dach vor. Nach DIN 4109 (1989) Beiblatt 1 Tabelle 37 bzw. 39 wird der Aufbau nach Zeile 1 zu $R'_{w,R} = 35 \text{ dB}$ geschätzt.

Durch eine auf den vorhandenen Aufbau abgestimmte Vorsatzschale muss eine Verbesserung erzielt werden, die im Minimum ein Luftschalldämmmaß von $R'_{w,R} \geq 42 \text{ dB}$ erbringt.

Dieser Zielwert wird im Nachweis angesetzt.

2.1 Mansardfläche Straße

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 0 \text{ dB}$

$$\text{Wandfläche } S_{2,1} = (7,5-0,85)*3,05/\cos 28^\circ - 3,3 = 19,7 \text{ m}^2$$

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2,1}) + K_{LPB} = 42 + 10 \lg *(60,9/19,7) + 0 = 46,9 \text{ dB}$$

2.2 Mansardfläche auf der Giebelseite

Wie unter 2.1: $R_{2,w} = 42 \text{ dB}$

Korrekturfaktor $K_{LPB} = 40-38 = 2 \text{ dB}$ (Differenz max – anliegend)

$$\text{Wandfläche } S_{2,2} = (5,4-0,85)*3,05/\cos 28^\circ - 1,65 = 14,2 \text{ m}^2$$

$$R_{e,2,w} = R_{2,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{2,2}) + K_{LBP} = 42 + 10 \lg *(60,9/14,2) + 2 = 50,3 \text{ dB}$$

3.1 Decke zum Spitzboden

Hier können beide Bauteile Dach und Decke gemeinsam angesetzt werden. Es wird mangels belastbarer Daten angenommen, dass die Verbesserung der Decke durch das unbedeckte Dach nicht mehr als 5 dB beträgt.

$$\Sigma R_{3,w} = 50+5 = 55 \text{ dB}$$

$$\text{Deckenfläche } S_{3,1} = ((7,5-1,7)*(5,4-1,7)) = 21,5 \text{ m}^2$$

$$R_{e,3,w} = R_{3,w} + 10 \lg(S_{W+F} / S_{3,1}) + K_{LPB} = 55 + 10 \lg *(60,9/21,5) + 0 = 59,5 \text{ dB}$$

$$\text{Addition: } R'_{w,res} = -10 \lg (\Sigma 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg * (10^{-5,46} + 10^{-5,97} + 10^{-4,69} + 10^{-5,03} + 10^{-5,95}) = 44,5 \text{ dB}$$

$$44,5 - 2 = 42,5 \text{ dB} < 40 + 4 = 44 \text{ dB}$$

$$\text{bzw. } R'_{w,res} = -10 \lg (\Sigma 10^{-R_{e,i,w}/10}) = -10 \lg * (10^{-5,96} + 10^{-6,47} + 10^{-4,69} + 10^{-5,03} + 10^{-5,95}) = 44,9 \text{ dB}$$

$$44,9 - 2 = 42,9 \text{ dB} < 40 + 4 = 44 \text{ dB}$$

Damit lässt sich der Nachweis nicht erbringen.

Ergebnisse

Die Ergebnisse zeigen unter Berücksichtigung der Unwägbarkeit des Bestands und damit auch der Wirksamkeit der erforderlichen Verbesserungsmaßnahmen, dass an der Vorderseite in relativ kleinen Räumen der Nachweis eines wirksamen Schallschutzes gegen Außenlärm im ungünstigen Fall (1.2) rechnerisch nicht möglich ist. Alternativ ist die Verbesserung der Außenwand zu optimieren. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass diese Optimierung nicht nur rechnerisch begründet sein muss, sondern auch einer Vor-Ort-Messung genügen muss. Im Fall (1.1) ist der Nachweis mit einem Kastenfenster Schallschutzklasse 5 knapp zu erbringen, in (1.3) ist die Situation wegen der Raumgröße entspannter.

Auf der Rückseite/hinteren Ecken sind die Nachweise zu führen (1.4).

Im Bereich der Mansarde ist der Nachweis unter den realistischen Annahmen des Bestands mit normalen Verbesserungsmaßnahmen nicht zu führen. Alternativ ist die Verbesserung der Mansardflächen und der Holzbalkendecke zu optimieren. Auch hier ist jedoch zu beachten, dass diese Optimierung nicht nur rechnerisch begründet sein muss, sondern auch einer Vor-Ort-Messung genügen muss.

| | | | |
|--|--|----------------------------------|---------------------------------|
| | Dipl.-Ing. Jörg van Kann TRAGWERKSBERATUNG | Auftr. Nr.: 21 PP Contr. No.: | Kapitel: SS/Entwurf Section: |
| | | Name: vK | Seite: 28 Page: |
| | Schallschutz Palais (Entwurf) | Datum: 7.7.21 Date: | Revision: |

Unterlagen

Schalltechnische Stellungnahme P 20063 - *NEUBAU VON ZWEI STADTHÄUSERN MIT CA. 16-23 WOHNHEITEN SANIERUNG DES BESTANDSGEBÄUDES „PRINZENPALAIS“ IM GELTUNGSBEREICH DES BEBAUUNGSPLANES „SANIERUNGSGEBIET-S 3, 1. ÄNDERUNG“*, GSA Ziegelmeyer GmbH, Hohenstein, März 21

‚Schallschutz von Fachwerkwänden‘ – Leiner, Harting, BBS Ingenieurbüro Berichte No. 12

‚Bauen im Bestand, Baulicher Schallschutz‘ – Historische Fachwerkwände, Neubauer IBN, 2007

Schallschutzprüfstelle

Waldstraße 1
65329 Hohenstein
Telefon: (0 61 28) 93 73 28-0
Telefax: (0 61 28) 93 73 28-3
E-Mail: kontakt@gsa-ziegelmeier.de

Reinhard Ziegelmeier St. gepr. Techniker

Schallschutz im Städtebau
Gewerblicher Schallimmissionsschutz
Sport- und Freizeitanlagen
Schallschutz am Arbeitsplatz
Bau- und Raumakustik

SCHALLTECHNISCHE STELLUNGNAHME

Sachbearbeiter:
Reinhard Ziegelmeier

Datum:
25. März 2021

P 20063

NEUBAU VON ZWEI STADTHÄUSERN MIT CA. 16-23 WOHNEINHEITEN
SANIERUNG DES BESTANDSGEBÄUDES „PRINZENPALAIS“
IM GELTUNGSBEREICH DES BEBAUUNGSPLANES
„SANIERUNGSGEBIET-S 3, 1. ÄNDERUNG“

STADT USINGEN

AUFTRAGGEBER:

Prinzenpark Usingen GmbH & Co. KG
c/o JS Baukonzept GmbH
Hirschgraben 4
63303 Dreieich-Buchschlag

Schallschutz von Fachwerkwänden

Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Leimer

Dipl.-Ing. Antje Harting

1 Einleitung

Die Erhaltung historischer Bausubstanz führt zu einem gesteigerten Sanierungsbedarf. Vor allem im ländlichen, aber auch im innerstädtischen Bereich, stehen Fachwerkgebäude zur Sanierung an. Neben statischen und denkmalpflegerischen Gesichtspunkten nimmt die Bauphysik einen wesentlichen Aspekt im Umgang mit historischer Bausubstanz ein. Dabei gilt es den Wärme-, Feuchte-, Brand- und Schallschutz auf der Grundlage der gültigen Gesetze und Verordnungen zu bewerten und letztlich zu gewährleisten.

Für Neubauten sind einzuhaltende Mindestwerte für die Schalldämmung von Bauteilen festgelegt. Bei der Sanierung von Fachwerkgebäuden hingegen, die früher nach den damals geltenden Regeln der Baukunst erstellt wurden, ist es schwierig, die Konstruktion zu bewerten und nachträglich den vorgegeben DIN-Normen und Vorschriften anzupassen. Für historische Konstruktionen, wie etwa Fachwerkwände liegen keine Einzahlangaben über deren Schalldämmvermögen vor, sie wurden bisher abgeschätzt oder rechentechnisch angenähert. Im Rahmen des Forschungsprogramms "Verbesserung des Wärmeschutzes von Baudenkmalern"^{1/} der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, wurden Schallmessungen an einer Fachwerkwand durchgeführt und Schalldämmmaße ermittelt.

2 Physikalische Grundlagen

Unter **Schall** werden mechanische Schwingungen und Wellen eines elastischen Mediums insbesondere im Frequenzbereich des menschlichen Hörens von etwa 16 Hz bis 16000 Hz verstanden (Bild 1).

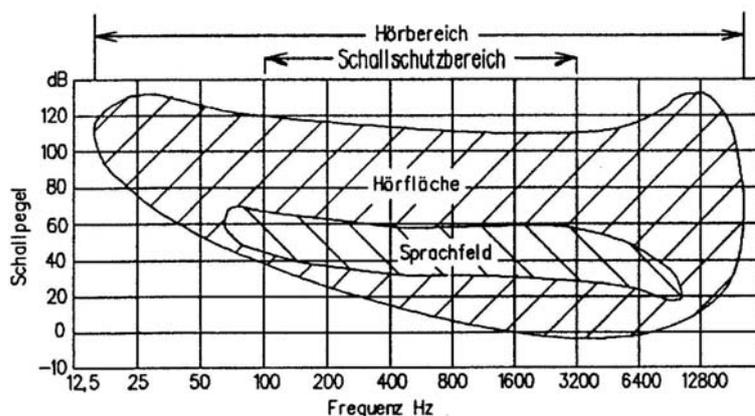


Bild 1 Hörbereich des menschlichen Ohres^{2/}

¹Die Untersuchungen erfolgten im Auftrag des Deutschen Zentrums für Handwerk u. Denkmalpflege (ZHD) durch das BBS INGENIEURBÜRO mit freundlicher Unterstützung der Firmen Knauf, Colfirmat Rajasil und Mamorit t.

²Schallschutz mit Knauf 1992

Darunter befindet sich der **Infraschall** (0 Hz bis 16), der vom Menschen gespürt, aber nicht gehört werden kann. Schwingungen oberhalb 16000 Hz zählen zum **Ultraschall** und sind für den Menschen unhörbar.

In der Akustik werden je nach schallübertragendem Medium unterschieden:

- **Luftschall**: In Luft sich ausbreitender Schall
- **Körperschall**: In festen Stoffen sich ausbreitender Schall

Die Anzahl der Druckänderungen pro Sekunde wird **Frequenz** des Schalls genannt und in Hertz (Hz) gemessen. Die Frequenz des Schalls bestimmt die Höhe eines Tons. Mit zunehmender Frequenz nimmt die Tonhöhe zu.

Schall mit nur einer Frequenz wird als **reiner Ton** bezeichnet. In der Praxis setzt sich Schall jedoch aus verschiedenen Frequenzen zusammen, und reine Töne treten nur selten auf. Der industrielle Lärm besteht meist aus einer Vielzahl von Frequenzen, bekannt als **Breitbandgeräusch**. Sind die Frequenzanteile gleichmäßig dicht verteilt über den gesamten hörbaren Bereich, wird dies als **weißes Rauschen** bezeichnet.

Die Stärke des Schalls, der **Schalldruck**, wird durch den Wechseldruck (Druckschwankungen) gekennzeichnet, der sich mit dem atmosphärischen Druck der Luft überlagert. Der **Schallpegel** wird als logarithmisches Maß mit der Einheit Dezibel (dB) verwendet und kann mit Hilfe von Schallpegelmessern gemessen werden.

Um der Eigenart des menschlichen Ohres Rechnung zu tragen, Töne mit gleichem Schalldruck, aber unterschiedlicher Frequenzhöhe, unterschiedlich laut zu empfinden, wurde der **A-Schalldruckpegel** eingeführt. Er ist ein Maß für die Stärke eines Störgeräusches.

3 Luftschalldämmung

3.1 Bestimmung des Schalldämmmaßes

Den Widerstand, den ein Bauteil dem Durchgang von Schallenergie entgegensetzt, wird als **Schalldämmung** bezeichnet.

Wird in einem Raum Luftschall, durch z.B. Sprechen oder Singen erzeugt, so werden die trennenden Bauteile zu angrenzenden Räumen durch die periodisch auftretenden Ober- und Unterdrücke der Schallwellen in Biegeschwingungen senkrecht zur Wandfläche versetzt.

Ein Maß für den Luftschallschutz von Bauteilen ist das **Schalldämmmaß R** bzw. **R'**. Hierbei wird unterschieden zwischen **R** als "Labor-Schalldämmmaß", das durch Messungen im Prüfstand **ohne bauübliche Nebenwege** erhalten wird (Bild 2), und **R'** als "Bau-Schalldämmmaß", das durch Messungen am Bau oder im Prüfstand **mit Schallnebenwegen** ermittelt wird (Bild 3).

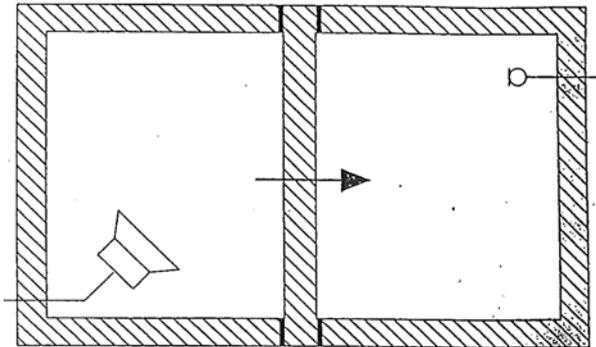


Bild 2 Prüfstand zur Bestimmung des Schalldämmmaßes R

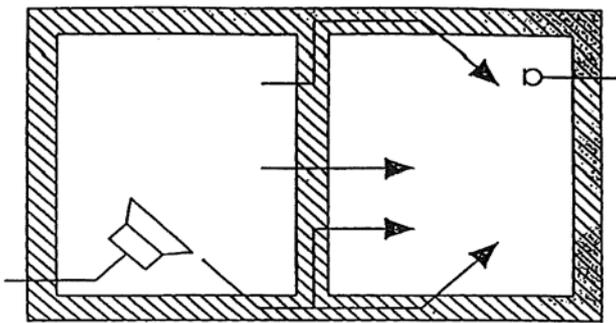


Bild 3 Prüfstand zur Bestimmung des Schalldämmmaßes R'

Zur Bestimmung des Schalldämmmaßes R wird die Schallpegeldifferenz zwischen Sende- (L_S) und Empfangsraum (L_E) bestimmt und mit einem Korrekturfaktor versehen, der die Bauteilfläche S und die äquivalente Absorptionsfläche A im Empfangsraum berücksichtigt.

$$R = L_S - L_E + 10 \lg S/A \quad [\text{dB}] \quad (16).$$

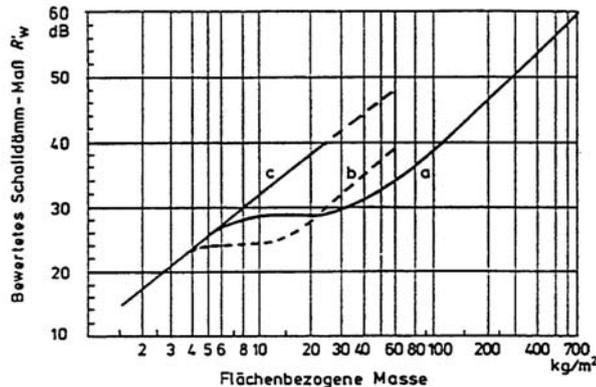
Als **Schallnebenwege** werden alle Schallübertragungen bezeichnet, die nicht über das trennende Bauteil selbst erfolgen. Dazu gehört die Übertragung über flankierende Bauteile, Rohrleitungen, Kanäle, Öffnungen und Undichtigkeiten.

Das **bewertete Schalldämmmaß R_w** bzw. **R'_w** kennzeichnet die schalldämmende Eigenschaft eines Bauteils bzw. den Schallschutz zwischen zwei Räumen mit nur einem einzigen Zahlenwert. Zur Ermittlung dieses Wertes wird die Messkurve bestehend aus 16 Einzelwerten, nach einem vorgeschriebenen Verfahren mit der Bezugskurve der DIN 52 210 Teil 4 verglichen.

3.2 Verhalten von Bauteilen

3.2.1 Einschalige Wände

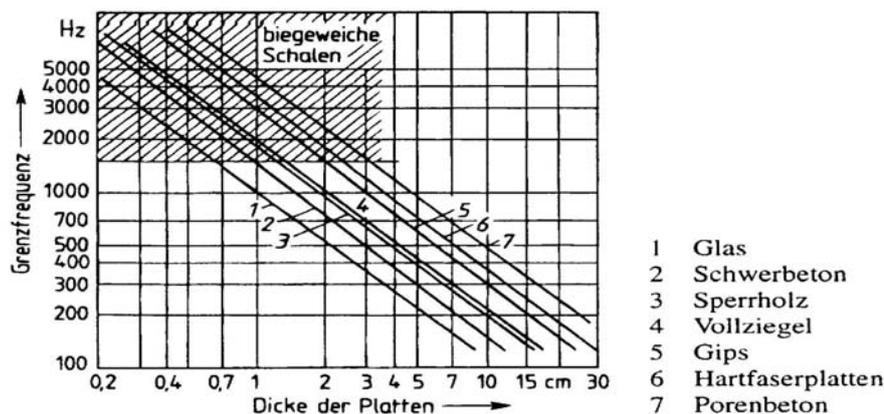
Die Luftschalldämmung einer einschaligen Wand ist im Wesentlichen von ihrer flächenbezogenen Masse abhängig. Bei senkrechtem Schalleinfall nimmt nach dem Bergerschen Gesetz das Schalldämmmaß um ungefähr 6 dB je Verdopplung der Masse zu (Bild 4).



- a für Beton, Mauerwerk, Gips, Glas
- b für Holz und Holzwerkstoffe
- c für Stahlblech bis 2 mm Dicke, Bleiblech

Bild 4 Abhängigkeit des bewerteten Schalldämmmaßes R'_{w} von der flächenbezogenen Masse m' für einschalige Bauteile

Fallen die Schallwellen schräg auf ein Bauteil ein, so kann es unter bestimmten Bedingungen zu einem verstärkten Schalldurchgang kommen. In diesem Fall entspricht, auf der Grundlage des Spuranpassungseffektes, die Spur einer schräg einfallenden Schallwelle der Wellenlänge und Ausbreitungsgeschwindigkeit der freien Biegeschwingung des Bauteils. Die niedrigste Frequenz, bei der eine Übereinstimmung der Wellenlängen auftritt wird Koinzidenzgrenzfrequenz oder kurz Grenzfrequenz f_g genannt. Die Grenzfrequenzen für Platten aus verschiedenen Baustoffen, in Abhängigkeit von ihrer Dicke, sind in Bild 5 dargestellt.



- 1 Glas
- 2 Schwerbeton
- 3 Sperrholz
- 4 Vollziegel
- 5 Gips
- 6 Hartfaserplatten
- 7 Porenbeton

Bild 5 Grenzfrequenz für Platten aus verschiedenen Baustoffen ^{3/}

Im Bereich der Grenzfrequenz zeigt die Schalldämmung eines Bauteils einen starken Einbruch. Um einen solchen Einbruch der Luftschalldämmung in dem für Menschen besonders hörbaren Bereich

³Gösele, K.; Schüle, W.; Schall, Wärme, Feuchte ; Wiesbaden/Berlin: Bauverlag

zwischen 200 Hz und 1600 Hz auszuschließen, sollte in der Baupraxis die Lage der Grenzfrequenz für schwere, biegesteife Bauteile unterhalb 160 Hz, für leichte biegeweiche Bauteile oberhalb 1600 Hz liegen.

3.3 Zweischalige Bauteile

Zweischalige Bauteile, zum Beispiel eine Wand mit einer biegeweichen Vorsatzschale oder einem Wärmedämmverbundsystem verhalten sich akustisch wie ein Masse-Feder-System (Bild 6).

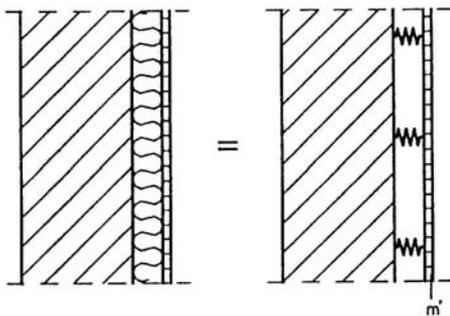


Bild 6 Masse-Feder-System einer zweischaligen Wand

Kennzeichnend für diese Bauteile ist ihre Eigenfrequenz (Resonanzfrequenz) f_0 , bei der ein starker Einbruch der Schalldämmung auftritt. Die Schalldämmung der Wand kann wie folgt charakterisiert werden: oberhalb von f_0 wird der Schallschutz der Wand verbessert, bei f_0 verschlechtert und unterhalb von f_0 entspricht er der Schalldämmung der einschaligen Wand mit der Gesamtmasse beider Schalen.

Die Lage der Resonanzfrequenz ist abhängig von der Masse der biegeweichen Vorsatzschale und der dynamischen Steifigkeit s' der Dämmschicht. Grundsätzlich gilt, je weicher die Dämmschicht und je größer die Masse der biegeweichen Schale ist, desto kleiner ist f_0 (Bild 7).

Die Resonanzfrequenz sollte somit unter 125 Hz liegen, damit keine Verschlechterung der Schalldämmung gegenüber einem einschaligen Bauteil auftritt.

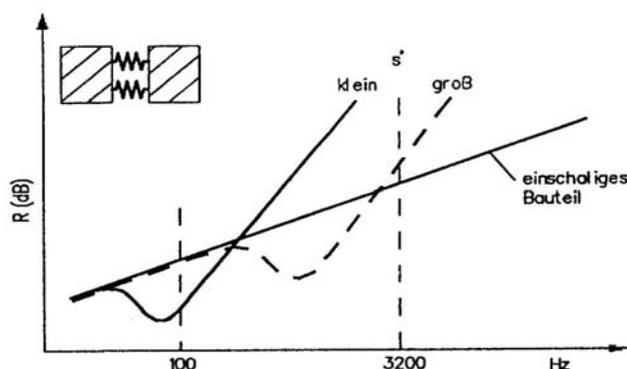


Bild 7 Einfluss der Steifigkeit s' des Dämmstoffes oder der Luft zwischen beiden Schalen eines zweischaligen Bauteils auf die Schalldämmung R ^{4/}

⁴Schulze, H.; Feuchteschutz in Wohngebäuden - ein aktuelles Problem; Mitteilungen der TU Braunschweig Jahrgang 10101 Heft 1 1986

Sind beide Schalen über die Dämmschicht punktförmig verbunden so gilt für f_0 /⁵:

$$f_0 = \sqrt{\frac{1}{a} \left(\frac{1}{m_1''} + \frac{1}{m_2''} \right)} \quad [\text{Hz}] \quad (1)$$

Ist die Dämmschicht vollflächig mit beiden Schalen verbunden so gilt:

$$f_0 = 160 \sqrt{s' \left(\frac{1}{m_1''} + \frac{1}{m_2''} \right)} \quad [\text{Hz}] \quad (2)$$

mit

| | |
|-------------------|---|
| f_0 | Resonanzfrequenz in [Hz] |
| m_1'' , m_2'' | Flächenbezogene Masse der Schalen 1 und 2 in [kg/m ²] |
| a | Schalenabstand in [m] |
| s' | Dynamische Steifigkeit der Dämmschicht in [MN/m ³]. |

3.4 Längsleitung

Wie in Bild 8 dargestellt erfolgt die Schallübertragung nicht nur über das trennende Bauteil (Dd) sondern auch über die flankierenden Bauteile (Df, Fd, Ff). Durch die Schalllängsleitung wird die Schalldämmung des Bauteils trotz etwaiger vorhandener hoher Dämmung des Einzelbauteils stark reduziert.

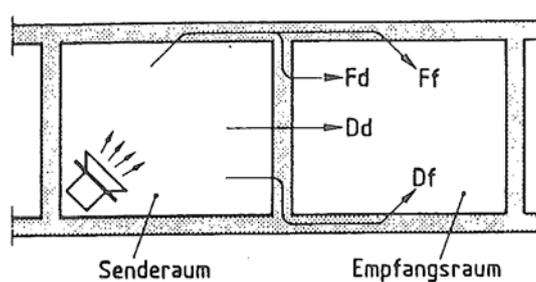


Bild 8 Wege der Schallübertragung nach DIN 52210

Die Längsleitung über flankierende Wände ist nach Gösele⁶ bei historischen Fachwerkgebäuden geringer als bei Massivwänden. Dieses gilt jedoch nur für historische Bausubstanz, bei der offenbar durch feine Risse eine hohe Dämpfung erreicht wird.

4 Anforderungen an den Schallschutz

Die Anforderungen an die Luftschalldämmung von Außenbauteilen zum Schutz der Aufenthaltsräume gegen störende Geräusche sind in der DIN 4109 zusammengefasst. In Abhängigkeit von einem maßgeblichen Außenlärmpegel und der Raumnutzungsart werden Mindestwerte für das resultierende bewertete Schalldämmmaß des Außenbauteils festgesetzt. Die Lärmquellen für den Außenlärmpegel bilden z.B. der Straßen-, Schienen- und zivile Luftverkehr oder Gewerbe- und Industrieanlagen. Die DIN 4109 legt erforderliche Werte für den Mindestschallschutz sowie Vorschläge für einen erhöhten

⁵Leschnik, W.; Schallschutz bei der Sanierung von Außenbauteilen an Fachwerkgebäuden - Anforderungen und Möglichkeiten; WTA - Berichte 10/1994, Baierbronn 1994

⁶Gösele, K.; Schallschutz von Holzbalkendecken; EGH holzbau handbuch 1993

Schallschutz für Bauteile im Inneren von Gebäuden fest, die fremde und eigene Wohn-/Arbeitsbereiche voneinander trennen.

Einen Auszug aus DIN 4109 für die Schalldämmmaße unterschiedlicher Wände zeigt Tabelle I.

| Bauteile | Mindestschallschutz | | Erhöhter Schallschutz | |
|---|---------------------|-----------------|-----------------------|-----------------|
| | R'_w [dB] | $L'_{n,w}$ [dB] | R'_w [dB] | $L'_{n,w}$ [dB] |
| Decken | | | | |
| Wohnungstrenndecke | 54 | 53 | 55 | 46 |
| Decken unter Dachräumen | 53 | 53 | 55 | 46 |
| Decken unter Bad und WC | 54 | 53 | 55 | 46 |
| Decken über Durchfahrten | 55 | 53 | - | 46 |
| Wände | | | | |
| Wohnungstrennwände | 53 | - | 55 | - |
| Wände neben Durchfahrten | 55 | - | - | - |
| Treppenraumwände / Wände neben Hausfluren | 52 | - | 55 | - |

Tabelle I Anforderungen für normalen und Vorschläge für erhöhten Schallschutz für Decken und Wände nach DIN 4109

Der subjektive Schalleindruck, der durch ein trennendes Bauteil mit unterschiedlichem bewertetem Schalldämmmaß wahrgenommen wird zeigt die folgende Tabelle:

| trennendes Bauteil bewertetes Schalldämmmaß R'_w in dB | Subjektive Wirkung von Sprache und Radio im benachbarten Raum |
|--|--|
| 62 | laut eingeschalteter Radioapparat unhörbar |
| 57 | normal eingestellter Radioapparat unhörbar; lauter Apparat gerade hörbar |
| 52 | Radio normaler Lautstärke gerade hörbar |
| 47 | laute Sprache gerade verständlich, Melodien erkennbar |
| 42 | normale Sprache gerade verständlich |
| 37 | normale Sprache verständlich |
| 32 | gleich leisem Radio in demselben Raum |

Tabelle II Schalldämmwerte einer Wand oder Decke und zugehörige subjektive Wirkung (nach Perkins und Humphreys)

5 Bauakustische Messungen von Fachwerkwänden

5.1 Meßaufbau und Meßprogramm

Der für die Untersuchungen benutzte Prüfstand gewährleistet eine Prüfung von Trennwänden ohne Flankenübertragung nach DIN 52210-P-W. Die Raumteile sind durch zwei umlaufende, 6 cm breite, dauerelastisch verschlossene Baufugen getrennt. Den Grundriss und Schnitt des Prüfraums zeigt Bild 9.

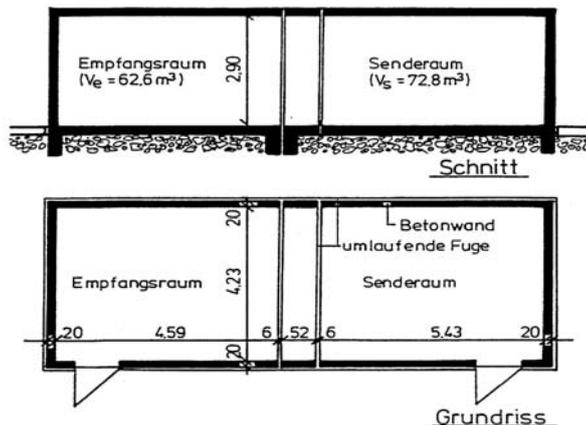


Bild 9 Grundriss und Schnitt des Prüfraums

Das Volumen des Senderraums beträgt $73,7 \text{ m}^3$, das des Empfangsraums $62,6 \text{ m}^3$. Die zu prüfende Trennwand hat eine Fläche von $12,3 \text{ m}^2$ und ist als Fachwerkkonstruktion erstellt. Die Rippen bestehen aus Nadelholz, die Gefache sind mit Voll-Mauerziegeln der Rohdichte $\rho = 1800 \text{ kg/m}^3$ ausgemauert. Den Grundriss und die Ansicht der Fachwerkwand zeigt Bild 10.

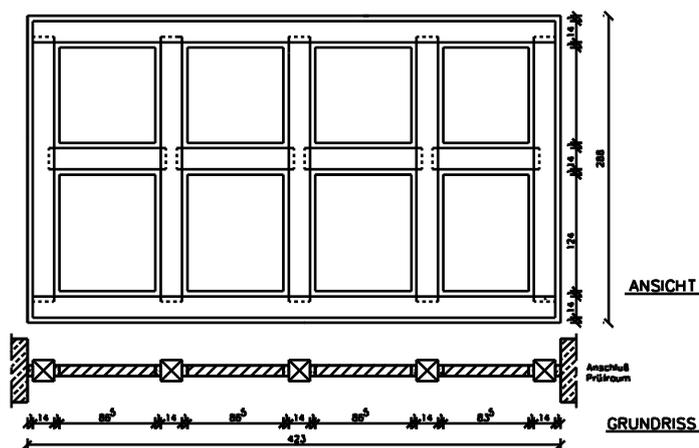


Bild 10 Grundriss und Ansicht der Fachwerkwand

Zur sicheren Verankerung des Gefaches an das Holz wurde umlaufend an die Rippen eine Dreiecksleiste mit einer Schenkellänge von 1,4 cm angebracht. Die Anschlüsse an den Ecken und Wänden sind mit einem dauerelastischen Kitt versiegelt worden.

5.2 Einzelmessungen

Die Messungen erfolgten nach DIN 52210. Im Sende- und Empfangsraum, die zu Testzwecken auch vertauscht wurden, wurden je drei Diffusoren aufgestellt, um ein möglichst diffuses Schallfeld zu erreichen (Bild 11). Der Prüfschall bei der Luftschallmessung war Terzrauschen, das Schallfeld wurde mit einem Drehmikrofon abgetastet.



Bild 11 Mikrofon, Schallquelle, Diffusor

5.2.1 Fachwerkwände ohne Vorsatzschale

Die Fachwerkwand wurde mit ein- und beidseitigen Putzschichten untersucht. Die Kennwerte der verwendeten Materialien sind in Tabelle III zusammengestellt.

| Material | Dicke d [mm] | Rodichte ρ [kg/m ³] | flächenbezogene Masse m' [kg/m ²] | Grenzfrequenz f _g [Hz] |
|--|--------------------|--|---|---|
| Vollmauerziegel NF 24/11 ⁵ /7 ¹ | 115 | 1800 | 147 | ~200 |
| Holz 14/14 | 240 | 600 | 24 | ~140 |
| Kalkmörtel | - | 1520 | - | - |

Tabelle III Kennwerte der Materialien der Prüfwand

Die flächenbezogene Masse wurde anteilig über die Flächen der Gefache (71%) und der Rippen (29%) ermittelt. Die Grenzfrequenzen für Mauerwerk und Holz sind Bild 2 entnommen.

Als Variante 1 wurde die ausgemauerte Fachwerkwand (Bild 12) geprüft. Die Messung ergab ein Schalldämmmaß von $R_{w,P} = 27$ dB.



Bild 12 Fachwerkwand

Der Verlauf der Messkurve entspricht nicht dem typischen Verlauf einer einschaligen Wand (Bild 13). In der Regel nimmt die Luftschalldämmung für einschalige Bauteile mit der Frequenz des Luftschalls zu, für diese Wandkonstruktion ist ein Einbruch der Luftschalldämmung im hochfrequenten Bereich vorhanden.

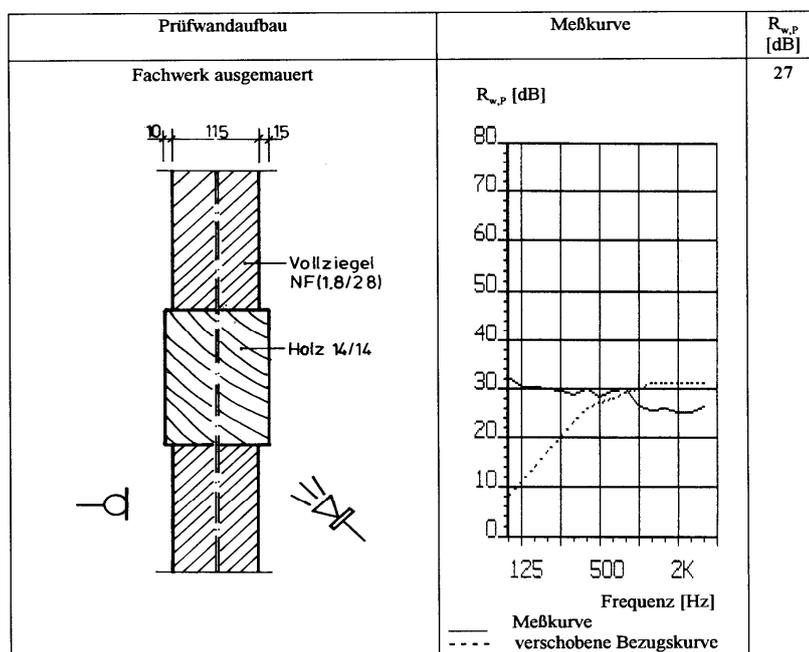


Bild 13 Aufbau und Messkurve von Variante 1

Der gemessene Verlauf der Schalldämmung deutet eher auf Fugen hin. Weitere Ursachen für den abweichenden Verlauf können im Materialwechsel der Wand von Holz zu Ziegel bestehen, aber auch im akustisch unterschiedlichen Verhalten der einzelnen Konstruktionsglieder begründet sein.

Das Gefach verhält sich statisch wie eine Scheibe, es bilden sich Biegewellen und die Holzrippe verhält sich wie ein Stab, es bilden sich Torsionswellen.



Bild 14 Variante 2 Fachwerk verputzt

In Variante 2 werden die Fugen vollflächig geschlossen, indem die Ausmauerung einseitig mit einem 10 mm dicken Kalkputz überputzt wird, das Fachwerk bleibt sichtbar (Bild 14).

Bei dieser Wand treten Verbesserungen in der Schalldämmung von 17 dB auf. Das Schalldämmmaß liegt bei $R_{w,P} = 44$ dB. Die Messkurve zeigt, nachdem die Fugen geschlossen wurden einen typischen Verlauf für ein einschaliges Bauteil. Die ungünstige Lage der Grenzfrequenz des Vollziegels ($f_g \sim 200$ Hz) zeigt einen Dämmeinbruch in der Messkurve bei 250 Hz. Weitere Resonanzerscheinungen sind bei 400 und um 1000 Hz erkennbar (Bild 15).

Durch das vollflächige Verputzen der anderen, noch steinsichtigen Seite der Wand, Variante 3, mit einem 30 mm starken Kalkputz wird eine weitere Erhöhung des Schalldämmmaßes um 2 dB auf $R_{w,P} = 46$ dB bewirkt (Bild 15).

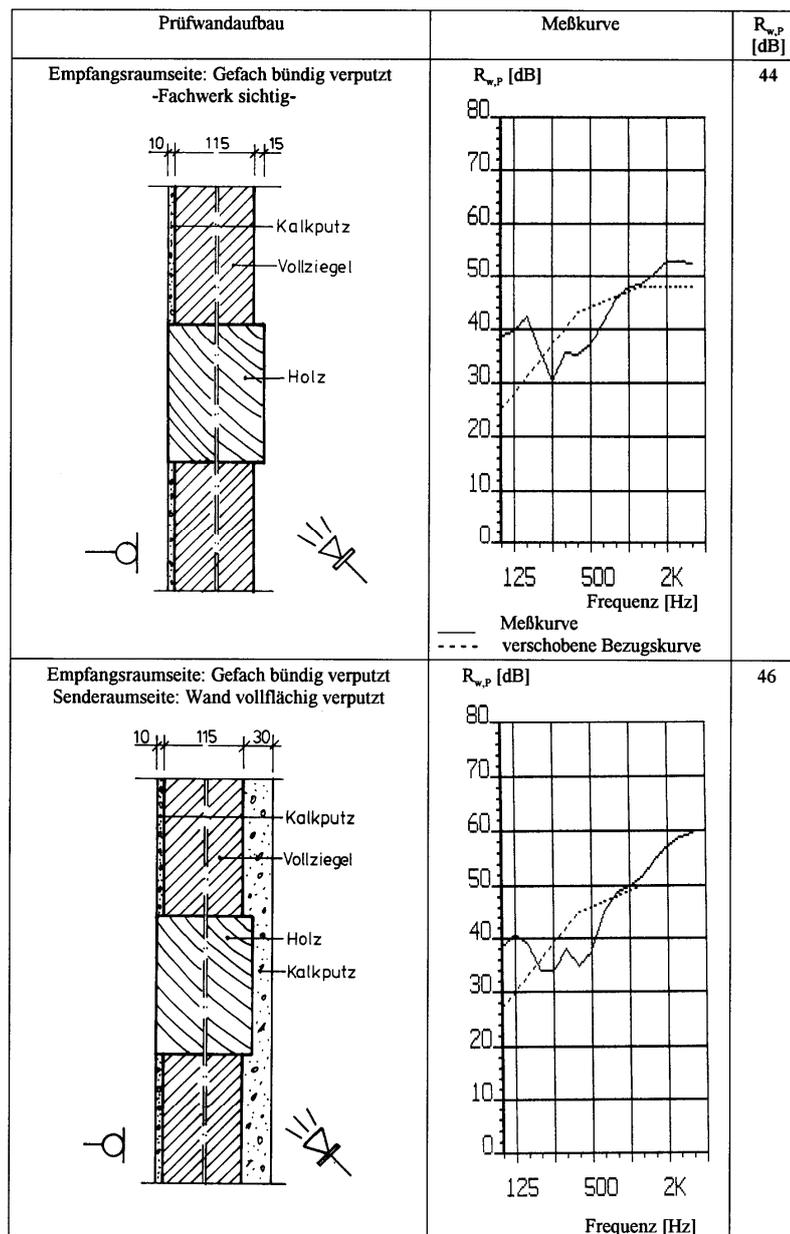


Bild 15 Aufbau und Messkurve von Variante 2 und 3

Einen wärmetechnisch verbesserten Aufbau der Fachwerkwand liefert ein 60 mm starker Wärmedämmputz (WD-Putz) aus mineralisch gebundenem Polystyrol auf einem Putzträgergewebe, der vollflächig auf die verputzte Wand aufgebracht wird (Variante 4). Der WD-Putz wird mit einem 10 mm starken Kalkoberputz versehen.

Die zusätzliche Masse des Wärmedämmputzes hat keinen Einfluss auf die Schalldämmung, das Schalldämmmaß ergibt sich zu $R_{w,P} = 45$ dB. Wie Bild 16 zeigt führt der Wärmedämmputz gegenüber der reinen verputzten Wand zu zusätzlichen Resonanzerscheinungen. Diese können durch das Masse-Feder-System (Oberputz-Wärmedämmputz) hervorgerufen worden sein

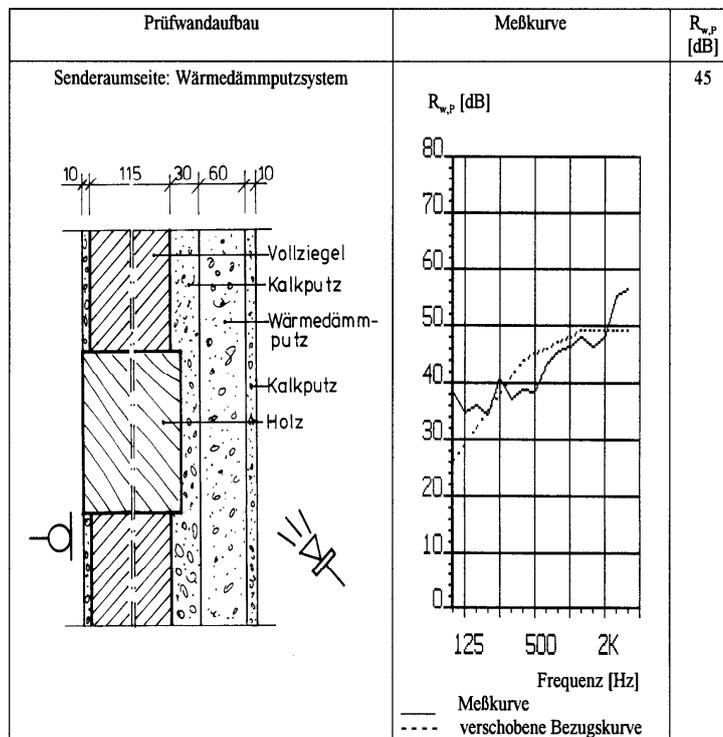


Bild 16 Aufbau und Messkurve von Variante 4

5.2.2 Fachwerkwände mit biegeweicher Vorsatzschale

Der Einfluss von biegeweichen Vorsatzschalen, z. B. bei Gebäudetrennwänden, auf die Schalldämmung, wurde sowohl im unverputzten als auch verputzten Zustand der Fachwerkwand untersucht. Grundlage der Prüfung bildet einerseits die unverputzte Fachwerkwand (Variante 1), sowie die beidseitig verputzte Fachwerkwand (Variante 3). Hierbei wird jeweils eine Vorsatzschale, System W 623 [I], mit einlagiger Beplankung vor die Prüfwand gesetzt (Variante 5 bzw. 6). Der Einfluss einer doppelten Beplankung wird mit den Varianten 5a bzw. 6a untersucht.

Die Vorsatzschale wird auf einer Metallunterkonstruktion aus UD- und CD-Profilen befestigt und ein Mineralfaserdämmstoff, $d = 40$ mm, zwischen Wand und Unterkonstruktion eingelegt. Abschließend wird die Unterkonstruktion mit einer Gipskartonplatte, $d = 12,5$ mm, beplankt.

Den Aufbau der Prüfwand und den Messkurvenverlauf der Varianten 5 und 6 zeigt Bild 17.

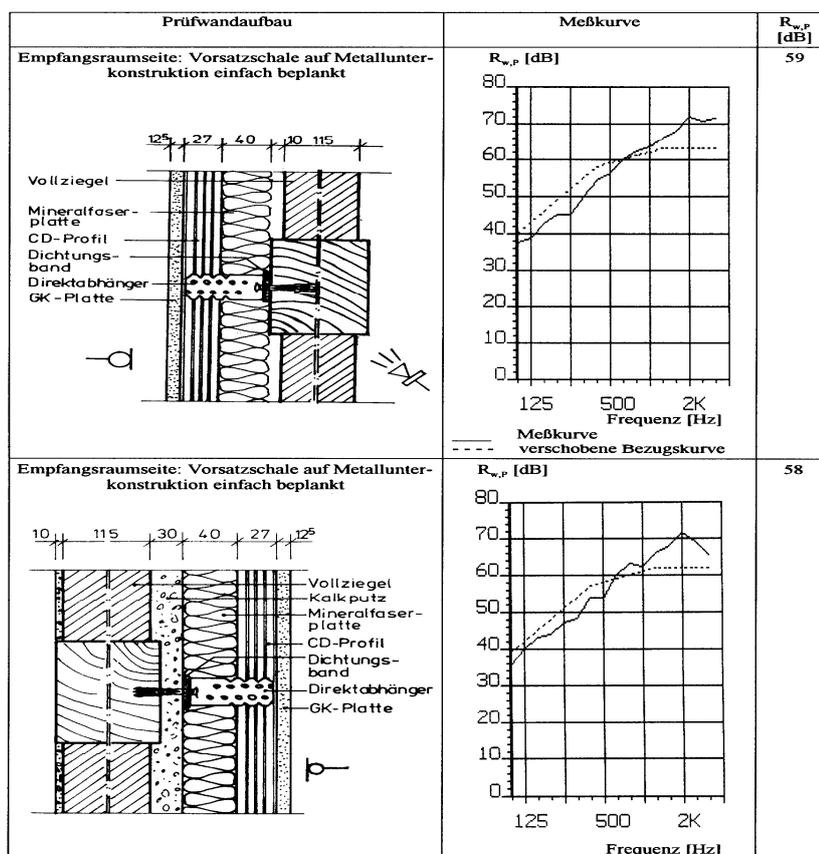


Bild 17 Aufbau und Messkurve von Variante 5 und 6

Die Eigenfrequenz der biegeweichen Vorsatzschalen liegt mit 48 Hz und 62 Hz (Tabelle IV) im für die Bauakustik günstigen Bereich von unter 125 Hz und führten zu wesentlichen Verbesserungen der Schalldämmung gegenüber der "rohen Fachwerkwand".

| Bauteil | Flächenbezogene Masse m'' [kg/m ²] | Schalenabstand a [m] | Eigenfrequenz f_0 [Hz] |
|-----------------|--|------------------------|--------------------------|
| Wand verputzt | 228 | - | nach Gleichung (1) |
| Vorsatzschale | | | |
| Bepl. einlagig | 15 | 0,067 | |
| Bepl. zweilagig | 26 | 0,067 | 48 |

Tabelle IV Baustoffkennwerte Variante 5 bzw. 5a und 6 bzw. 6a

Die unverputzte Wand mit Vorsatzschale, einlagig beplankt (Variante 5), lieferte eine Verbesserung des Schalldämmmaßes von 13 dB auf $R_{w,P} = 59$ dB. Die verputzte Wand mit Vorsatzschale, einlagig beplankt (Variante 6), lieferte eine Verbesserung des Schalldämmmaßes von 12 dB auf $R_{w,P} = 58$ dB. Der Verlauf des Schalldämmmaßes über die Frequenz ist hierbei nahezu identisch. Die zweilagige Beplankung der Varianten 5a bzw. 6a bewirkt lediglich eine Erhöhung des Schalldämmmaßes um 1 dB.

5.2.3 Fachwerkwände mit Verbundsystem

Aufgrund von wärmetechnischen Anforderungen kann bei einer Sanierung der Einbau zusätzlicher Dämmschichten erforderlich werden. Bei der hier untersuchten Variante 7 wird eine Polystyrol-Verbundplatte, System W 631 [I], auf die Außenseite der Wand aufgebracht. Die Platte besteht aus einer 12,5 mm dicken Gipskartonplatte mit einer 40 mm dicken Polystyrol-Hartschaum Dämmstoffeinlage (PS 15). Sie wird mittels Ansetzmörtel an die Wand gesetzt. Die flächenbezogene Masse der Bekleidung beträgt $11,4 \text{ kg/m}^2$, die Eigenfrequenz der Konstruktion liegt bei 406 Hz (Tabelle V).

| Bauteil | Flächenbezogene Masse m'' [kg/m^2] | Dyn. Steifigkeit der Dämmschicht s' [MN/m^3] | Eigenfrequenz f_0 [Hz] |
|---------------------------------|---|---|--------------------------|
| Wand verputzt | 228 | - | nach Gleichung (2) |
| Verbundplatte PS + GK-Platte | 11,4 | ~ 70 | ~ 406 |

Tabelle V Baustoffkennwerte der Variante 7

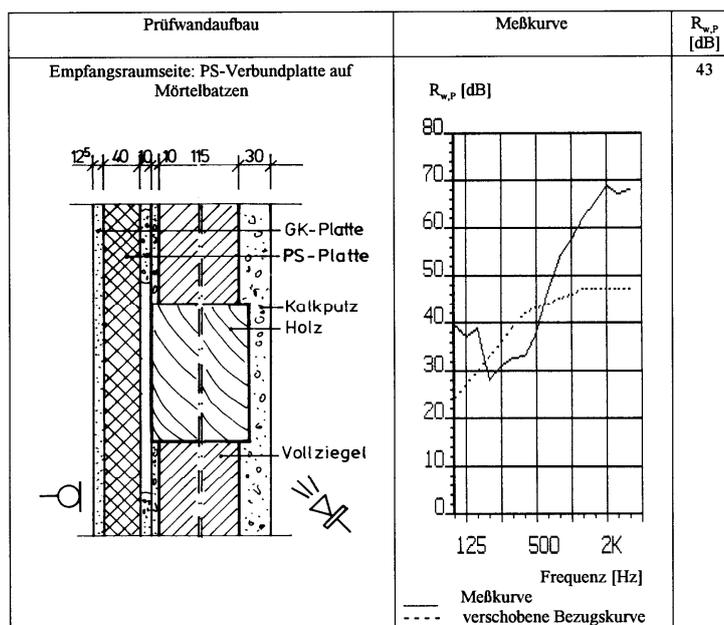


Bild 18 Aufbau und Messkurve von Variante 7

Die Messung ergab eine Reduzierung der Schalldämmung gegenüber der verputzten Wand um 3 dB auf 43 dB (Bild 18). Da der Einbruch der Schalldämmung in einem Bereich von 200 Hz liegt, ist die Reduzierung der Schalldämmung auf die hohe dynamische Steifigkeit der Dämmschicht und die daraus resultierende ungünstige Lage der Eigenfrequenz der zweischaligen Konstruktion zurückzuführen.

Eine weitere, auch ggf. wärmetechnisch erforderliche Bekleidung bildet ein mineralisches Wärmedämmverbundsystem [II] (Variante 8). Dieses System besteht aus einem 80 mm dicken Mineralfaserdämmstoff mit 10 mm Kalkputz auf einem Glasfaserträgergewebe. Der Dämmstoff wird hierbei über Alu-Halteschienen an der Wand befestigt. Die flächenbezogene Masse erhöht sich durch das Wärmedämmverbundsystem gegenüber der verputzten Wand um 18 kg/m^2 , die Eigenfrequenz liegt

bei ungefähr 196 Hz (Tabelle VI).

| Bauteil | Flächenbezogene Masse m'' [kg/m ²] | Dyn. Steifigkeit der Dämmschicht s' [MN/m ³] | Eigenfrequenz f_0 [Hz] |
|---------------------------------|--|--|--------------------------|
| Wand verputzt | 228 | - | nach Gleichung (2) |
| WDV-System Mineralfaser+Putz | 18 | ~ 25 | ~ 196 |

Tabelle VI Baustoffkennwerte der Variante 8

Eine Prüfung dieser Variante führt zu einer Verbesserung der Schalldämmung gegenüber der verputzten Wand von 8 dB, auf $R_{w,P} = 54$ dB. Die Messkurve zeigt den typischen Verlauf eines zweischaligen Bauteils. Ein erster Dämmeinbruch tritt bei der Eigenfrequenz des Bauteils bei ungefähr 196 Hz ein, ein zweites Minimum befindet sich bei der Grenzfrequenz von ungefähr 500 Hz.

5.3 Zusammenstellung und Interpretation der Ergebnisse

Die Versuchsmatrix der durchgeführten Versuche sowie deren Messergebnisse sind in Tabelle VII zusammengestellt.

Es bedeuten:

- E = Empfangsraum
- S = Senderraum
- R_w = bewertetes Schalldämmmaß aus einer nebenwegfreien Prüfung.

| Variante | Putz | | | Bepankung | | | Messung R_w [dB] |
|----------|---------------------------------|-----------------------------------|-------------|---|--------------------------------|--|--------------------------|
| | Kalkputz Fachwerk sichtig | Kalkputz Fachwerk überputzt | WD- Putz | GK-Platte auf Metall- konstruktion | Verbundplatte PS geklebt | WD- Verbund- system mineralisch | |
| 1 | | | | | | | 27 |
| 2 | E | | | | | | 44 |
| 3 | E | S | | | | | 46 |
| 4 | E | S | S | | | | 45 |
| 5 | | | | E - 1lagig | | | 59 |
| 5a | | | | E - 2lagig | | | 60 |
| 6 | E | S | | E - 1lagig | | | 58 |
| 6a | E | S | | E - 2lagig | | | 59 |
| 7 | E | S | | | E | | 43 |
| 8 | E | S | | | | E | 54 |

E = Empfangsraum, S = Senderraum

Tabelle VII Versuchsmatrix: Fachwerkwand mit Ziegelausfachung ($\rho = 1800\text{-kg/m}^3$)

Die Messungen an der Prüfwand haben gezeigt, dass eine ausgemauerte **Fachwerkwand** ohne Putzschicht(en) mit einem Schalldämmmaß von $R_{w,P} = 27$ dB die Anforderungen für eine Außenwand, selbst für einen geringen Lärmpegelbereich nicht erfüllen kann. Erst durch das Schließen der Fugen durch einseitige und/oder beidseitige Putzschichten kann die Schalldämmung auf $R_{w,P} = 44$ dB und $R_{w,P} = 46$ dB erhöht werden. Die Wände sind somit als Außenwände bis zu einem hohen Schalldämmmaß geeignet.

Der Einsatz eines **Wärmedämmputzsystems** führt zu keiner Verbesserung der Schalldämmung der Wand. Die Wand verhält sich wie ein einschaliges Bauteil mit zusätzlichen resonanzartigen Erscheinungen. Daher sollte bei der Massenermittlung des Bauteils zur Bestimmung der Schalldämmung die Masse des Wärmedämmputzes nicht berücksichtigt werden ⁷[8].

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass wie bei massiven Wänden **biegeweiche Vorsatzschalen** vor Fachwerkwänden zu Schalldämmmaßen führen, die ohne Berücksichtigung der Schallängsleitung eine Eignung der Wände als Wohnungstrennwände möglich macht. Die biegeeweiche Vorsatzschale vor der Fachwerkwand führt zu einer Erhöhung der Schalldämmung gegenüber der unverputzten Wand von 32 dB auf $R_{w,P} = 59$ dB. Eine zweilagige Beplankung führt bei diesen schon sehr hohen Schalldämmmaßen zu keinen entscheidenden Verbesserungen. An Hand der Messungen wurde auch deutlich, dass Putzschichten auf den Fachwerkwänden zusammen mit der Vorsatzschale keinen Einfluss auf die Schalldämmung der Wand haben.

Beim Einsatz von **Wärmedämmverbundsystemen** sollte die dynamische Steifigkeit s' der Dämmschicht möglichst gering sein. Um eine Verschlechterung der Schalldämmung zu vermeiden sollte die Resonanzfrequenz 125 Hz nicht überschreiten, um eine merkliche Verbesserung zu erreichen sollte sie deutlich unter 125 Hz liegen..

Ein **Vertauschen** von Sende- und Empfangsraum, während der Versuche begleitend durchgeführt, zeigt keinen signifikanten Einfluss auf die gemessenen Schalldämmmaße, jedoch auf die Verläufe der Messkurven der Fachwerkwand.

6 Ausblick

Die durchgeführten Versuche liefern erstmals Anhaltswerte und Größenordnungen der Schalldämmmaße von Fachwerkwänden. Die Messungen haben gezeigt, dass eine entscheidende Reduzierungen der Schalldämmung auf Undichtigkeiten durch Fugen und das schalltechnisch unterschiedliche Verhalten zwischen Holzrippe und Gefachausmauerung zurückzuführen sind. Aus diesem Grund sollten weiterführende Messungen mit definierten Schlitz/Fugen durchgeführt werden, um genauere Aufschlüsse über den Einfluss auf die Durchlässigkeit von Wandsystemen zu erhalten.

Im Weiteren scheint es notwendig eine möglichst große Bandbreite der historischen Konstruktionen zu erfassen. Daher sollten Wände mit unterschiedlichen Gefachausfüllungen und Fachwerkkonstruktionen mit variierendem Gefach- und Holzanteil untersucht werden.

7 Verwendete Materialien

- [I] Knauf, Iphofen
- [II] Colfirmat Rajasil GmbH, Marktredwitz
- [III] Koch Marmorit GmbH, Bollschweil

⁷Leschnik, W.; Leimer, H.-P.; Harting, A.; Schalldämmung von Fachwerkaußenwänden - Theorie und Praxis; Vortrag zur 21.Deutschen Jahrestagung für Akustik DAGA 95

Bauen im Bestand

- Baulicher Schallschutz -

Bayerische Architektenkammer, Architektenseminar 2007

München, Haus der Architekten, 11. Oktober 2007

Dr. Reinhard O. Neubauer

IBN, Theresienstr. 28, D-85049 Ingolstadt

dr.neubauer@ibn.de

INHALTSVERZEICHNIS

| | | |
|-------|--|----|
| 1 | Einleitung..... | 4 |
| 2 | Schallschutz im Bestand: Mensch..... | 6 |
| 2.1 | Subjektive Bewertung | 7 |
| 2.2 | Erwartungshorizont..... | 7 |
| 2.3 | Ruhebedürfnis..... | 7 |
| 3 | Zielsetzung: Schallschutzanforderung..... | 8 |
| 3.1 | Das rechtliche Beurteilungs-Maß des Luftschallschutzes..... | 9 |
| 3.1.1 | Der Schallschutz nach den Regelwerken | 9 |
| 3.1.2 | Der Schallschutz im Bestand (Bestandsschutz) | 10 |
| 3.2 | Das subjektive Beurteilungs-Maß des Luftschallschutzes | 11 |
| 4 | Bestandsanalyse: Objekt..... | 14 |
| 4.1 | Bauweise | 15 |
| 4.2 | Örtliche Lage..... | 15 |
| 4.3 | Möglichkeiten | 15 |
| 4.4 | Feststellung des Schallschutzniveaus | 15 |
| 5 | Planung: Ausführung..... | 16 |
| 5.1 | Verbessern..... | 17 |
| 5.2 | Erneuern | 17 |
| 5.3 | Ergänzen..... | 17 |
| 5.4 | Gewährleistung des Schallschutzniveaus..... | 18 |

| | |
|--|----|
| 6 Beispiele | 18 |
| 6.1 Wände..... | 20 |
| 6.1.1 Leichte Wandkonstruktionen (Ständerkonstruktionen) | 20 |
| 6.1.2 Massive Wandkonstruktionen mit Wärmedämmung | 20 |
| 6.1.4 Historische Fachwerkwände | 22 |
| 6.2 Dächer | 27 |
| 6.3 Decken..... | 29 |
| 6.4 Türen..... | 31 |
| 6.5 Fenster..... | 32 |
| 7 Zusammenfassung | 34 |
| 8 Literatur..... | 35 |

6.1.4 Historische Fachwerkwände

Nach der Erhebung zum 3. Bauschadensbericht der Bundesregierung existieren in Deutschland mehr als 2 Millionen historischer Fachwerkgebäude und der überwiegende Teil wird als Wohnhäuser genutzt. Die mehrheitliche Anzahl der Gebäude wurde vor 1870 errichtet und 80 % der Fachwerkgebäude in den neuen Bundesländern bestehen im Originalzustand.

Im Allgemeinen können aufgrund der kontinuierlich gestiegenen Anforderungen und Ansprüche an den Schall- und Wärmeschutz historische Fachwerkgebäude bzw. Wohngebäude, ohne eine weitergehende Ertüchtigung, die Anforderungen nach den derzeit geltenden Richtlinien und Verordnungen nicht erfüllen. Die Schalldämmung von historischen Fachwerkwänden ist vergleichsweise zur Massivbauweise wenig bekannt und soll deshalb an dieser Stelle etwas detaillierter behandelt werden. Die nachgenannten Darstellungen erheben jedoch nicht den Anspruch auf Vollständigkeit und dienen ausschließlich zur Verdeutlichung der Problematik von Fachwerkkonstruktionen die im Wesentlichen eine Mischbauweise darstellen mit Bezug zum Schallschutz. Andere bauphysikalische Belange werden an dieser Stelle nicht behandelt.

Fachwerk besteht aus der tragenden Holzkonstruktion und den Ausfachungen.

Gefach ist ein Teil der Fachwerkwand und bezeichnet den Raum zwischen den Hölzern. Im verschlossenen Zustand wird es als Ausfachung bezeichnet.

Holzkonstruktion

Die Holzkonstruktion übernimmt die tragende Funktion und besteht aus waagerechten, senkrechten und diagonalen Holzbalken aus Eichen bzw. Nadelholz, die miteinander verblattet bzw. verzapft sind. Die Holzbalken können sehr dicht oder weniger dicht angeordnet sein.

Man unterscheidet zwischen:

Waagerechte Balken: Schwellen, Riegel und Rähm

Senkrechte Balken: Ständer

Diagonale Balken: Streben bzw. Bänder

Ausfachung

Für die Ausfachung der Wände wurden im Wesentlichen Baustoffe verwendet wie: Lehmziegel, Stakung mit Holzgeflecht und Lehmbewurf, ungebrannter Lehmstein (Grünlinge), Ziegelwerk, Backsteinmauerwerk, Bruchsteinmauerwerk.

Die Abbildung 11 zeigt eine Prinzipskizze eines Fachwerks ohne gefülltem Gefachbereich.

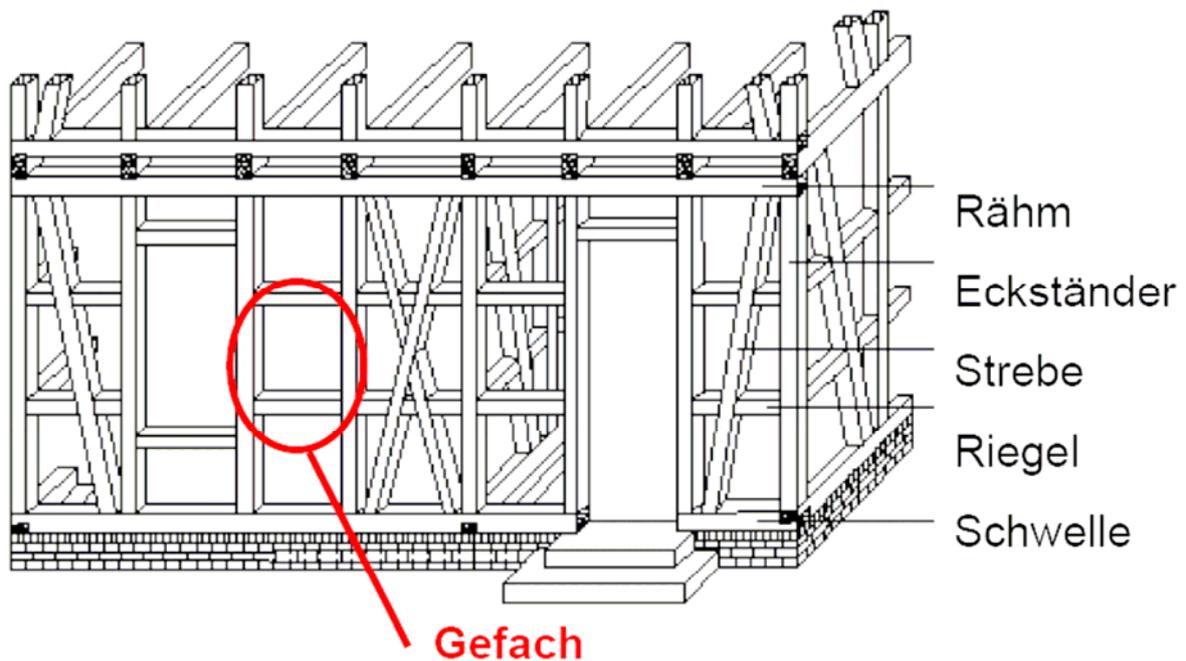


Abb. 11: Prinzipskizze mit Darstellung eines historischen Fachwerks mit Bezeichnungen

Ausfachungen

Die Füllung des Gefachs kann typischerweise wie nachfolgend dargestellt in drei Typen charakterisiert werden.

Typ I: Lehmziegeln

Typ II: Lehmausfachung mit Stakung

Typ III: Ziegelausfachung

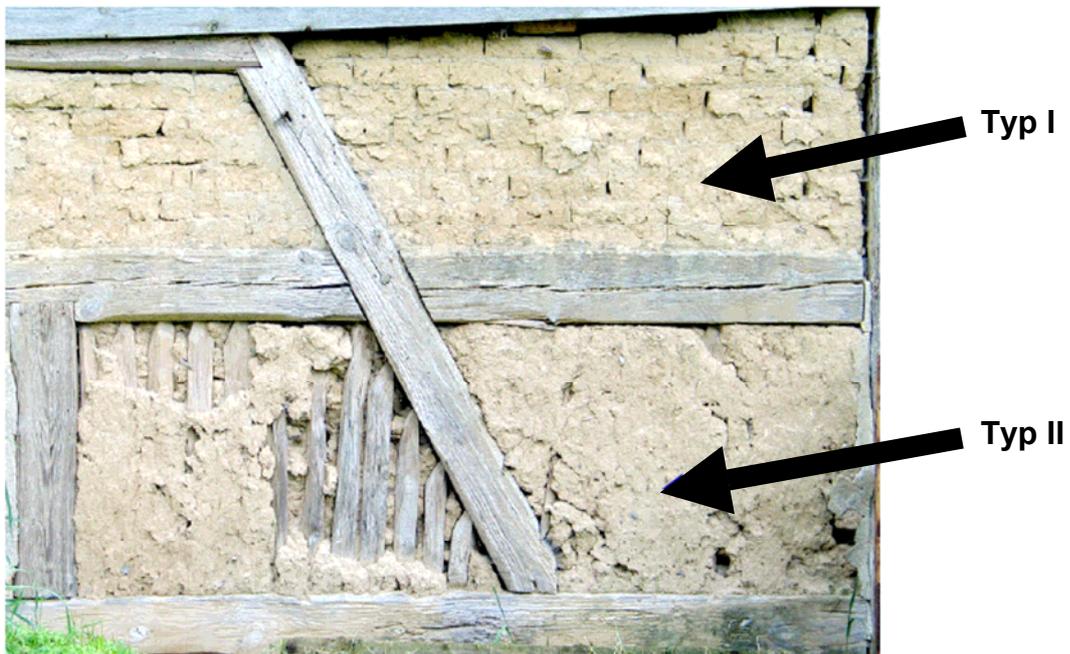


Abb. 12: Darstellung eines historischen Fachwerks mit Ausfachungen des Typs I +II

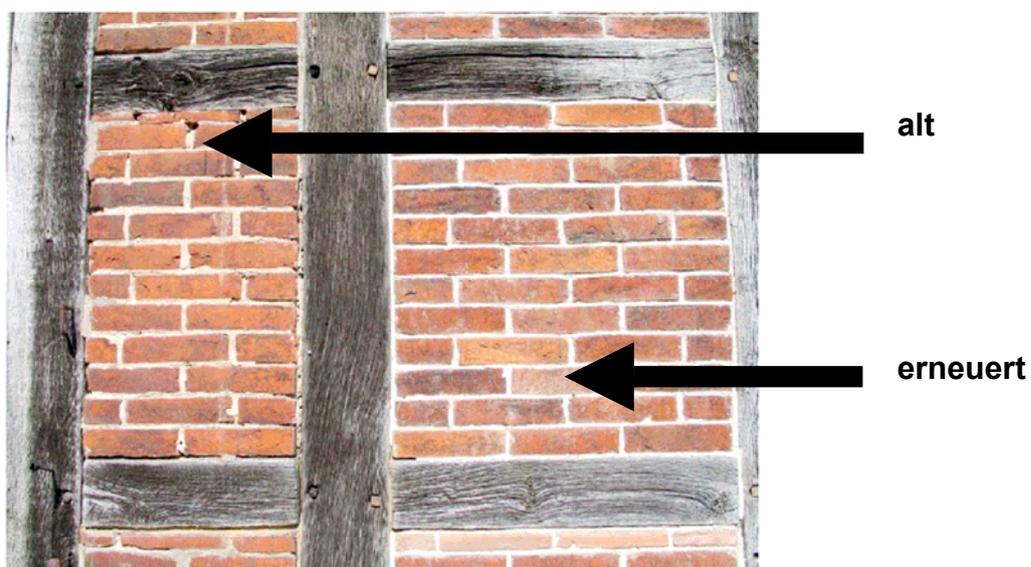


Abb. 13: Darstellung eines historischen Fachwerks mit Ziegelausfachung des Typs III

Die Schalldämmung von historischen Fachwerkwänden ist im Wesentlichen abhängig von:

- der flächenbezogenen Masse der Materialien
- der Biegesteifigkeit der Materialien

- der Frequenz des anregenden Schalls
- der Schall-Längsleitung über flankierende Bauteile
- der Undichtheiten, wie z.B. Risse im Gefach, Abrissfugen an der Anbindung Gefach-Fachwerkholz, etc.

Eine schematische Darstellung der Schallübertragungswege ist nachstehend in Abbildung 14 wiedergegeben.

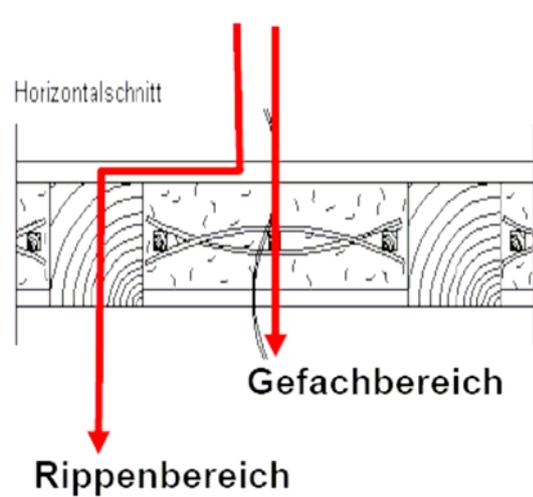
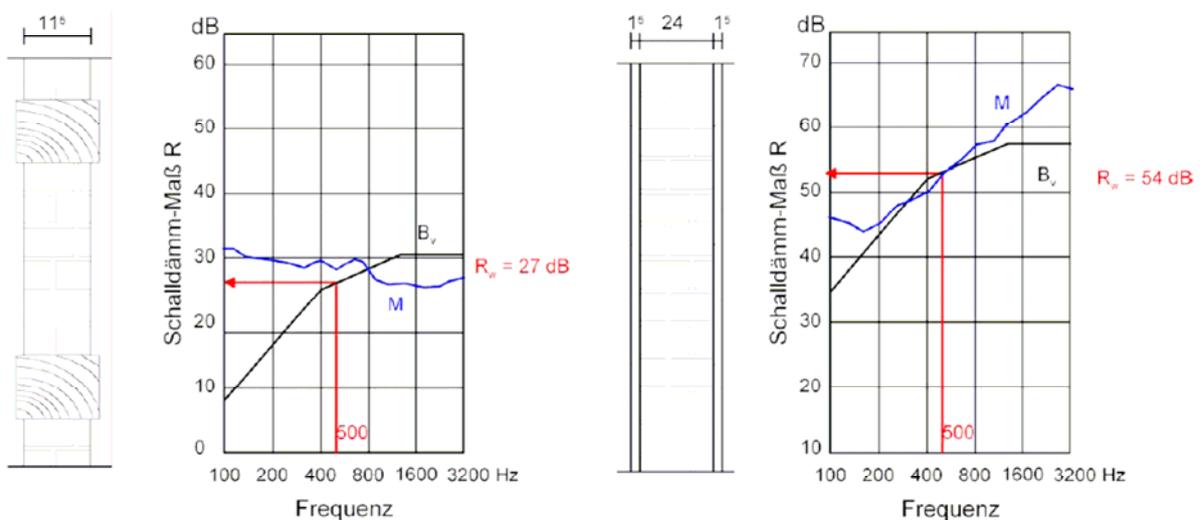


Abb. 14: Schematische Darstellung der Schallübertragungswege bei Fachwerkwänden

Typ I: Berechnet: $R'_{w,FW} = 42,9 \text{ dB}$

KS-Wand: Berechnet: $R_w = 54 \text{ dB}$

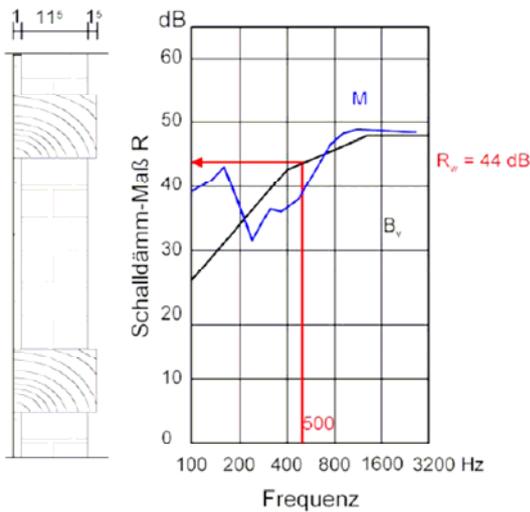


M Messkurve

B_v Vershobene Bezugskurve

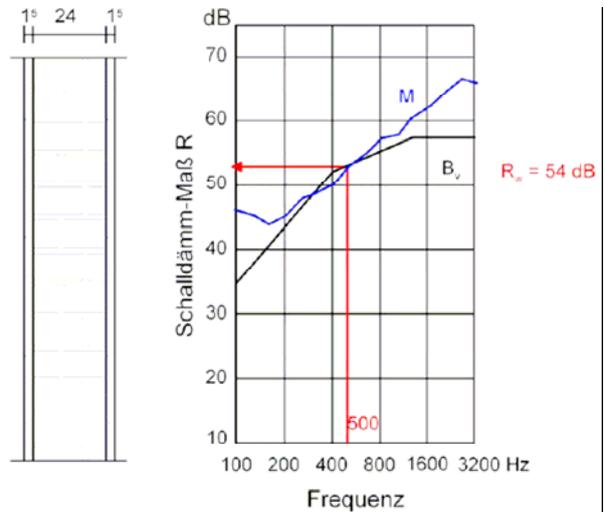
Abb. 15: Vergleich gemessener und berechneter Luftschalldämm-Maße, Fachwerk Typ I

Typ II: Berechnet: $R'_{w,FW}=43,3$ dB



M Messkurve
 B_v Vershobene Bezugskurve

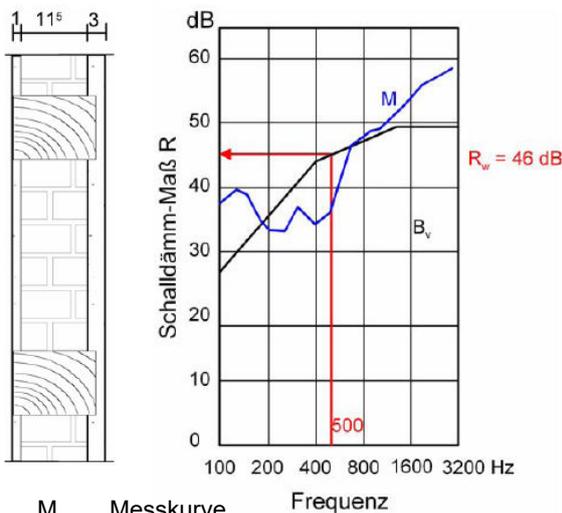
KS-Wand: Berechnet: $R_w=54$ dB



(vgl. KS d=11,5 cm $R_w=47$ dB)

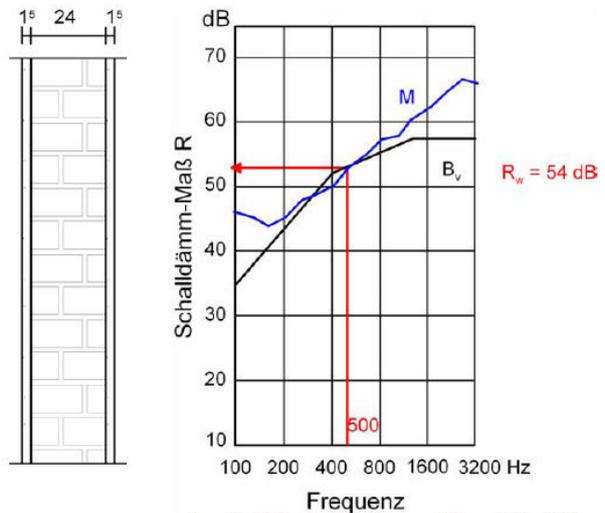
Abb. 16: Vergleich gemessener und berechneter Luftschalldämm-Maße, Fachwerk Typ II

Typ III: Berechnet: $R'_{w,FW}=44$ dB



M Messkurve
 B_v Vershobene Bezugskurve

KS-Wand: Berechnet: $R_w=54$ dB



(vgl. KS d=11,5 cm $R_w=47$ dB)

Abb. 17: Vergleich gemessener und berechneter Luftschalldämm-Maße, Fachwerk Typ III

Historische Fachwerkgebäude besitzen nur einen geringen Schallschutz. Im Rahmen von wärmeschutztechnischen Instandsetzungs- und Modernisierungsmaßnahmen lässt sich auch eine Verbesserung des Schallschutzes erzielen. Die Spannweite der möglichen Veränderungen des bewerteten Schalldämm-Maßes R'_w ist erheblich.

Der Berechnungsvorschlag nach WTA Fachwerkinstandsetzung kann vielfach nicht den tatsächlichen Schallschutz ausreichend genau prognostizieren. Es sollten deshalb messtechnische Bestimmungen des Schallschutzes im Bestand erfolgen und zwar bevor Überlegungen zu bestimmten Maßnahmen getroffen werden.

6.2 Dächer

Dachräume werden in zunehmendem Maße, besonders in Ballungsgebieten, zu Wohnzwecken ausgebaut. Gerade dort ist wegen der hohen Verkehrsbelastung mit einem hohen Außenlärmpegel zu rechnen. Damit gewinnt der Schallschutz auch für das Bauteil Dach an Bedeutung, so dass geeignete Konstruktionen zur Einhaltung der Anforderungen an den Schallschutz erforderlich werden. Bei geneigten Dächern können je nach Ausführung der Dachkonstruktion bewertete Schalldämm-Maße zwischen 35 dB und 50 dB erreicht werden. Werden, z.B. bei Beanspruchung durch Fluglärm höhere Werte gefordert, empfehlen sich massive Dachkonstruktionen, mit Schalldämm-Maßen von 60 dB und mehr.

Geneigte Dächer sind üblicherweise mehrschalige Bauteile und bestehen aus mindestens zwei durch eine Luft- oder Dämmschicht getrennten Schalen. Die Schalldämmung des Bauteils ist umso besser, je höher die Fugendichtheit der Konstruktion, je größer das Flächengewicht, je kleiner die Biegesteifigkeit der Schalen und je besser das Schallabsorptionsvermögen der Wärmedämmschicht ist. Die Dicke der Wärmedämmschicht, bzw. der Schalenabstand, spielt dabei auch eine wichtige Rolle.

Maßnahmen für das geneigte Dach hinsichtlich der Verbesserung des Schallschutzes:

- Für die Beplankung von Sparren gilt, dass eine mehrlagige Anordnung eines Plattenwerkstoffes wie Gips-Platten, Spanplatten etc. ein besseres Schalldämm-Maß erzielt, als es mit dem Anbringen einer einlagigen dickeren Einzelschale möglich ist.
- Bei Aufdach-Konstruktionen lassen sich durch das Auflegen von Plattenwerkstoffen - z.B. zwei 12 mm starken Faserzementtafeln - auf die sichtbare Bekleidung Verbesserungen des Luftschallschutzes von bis zu 10 dB erzielen.