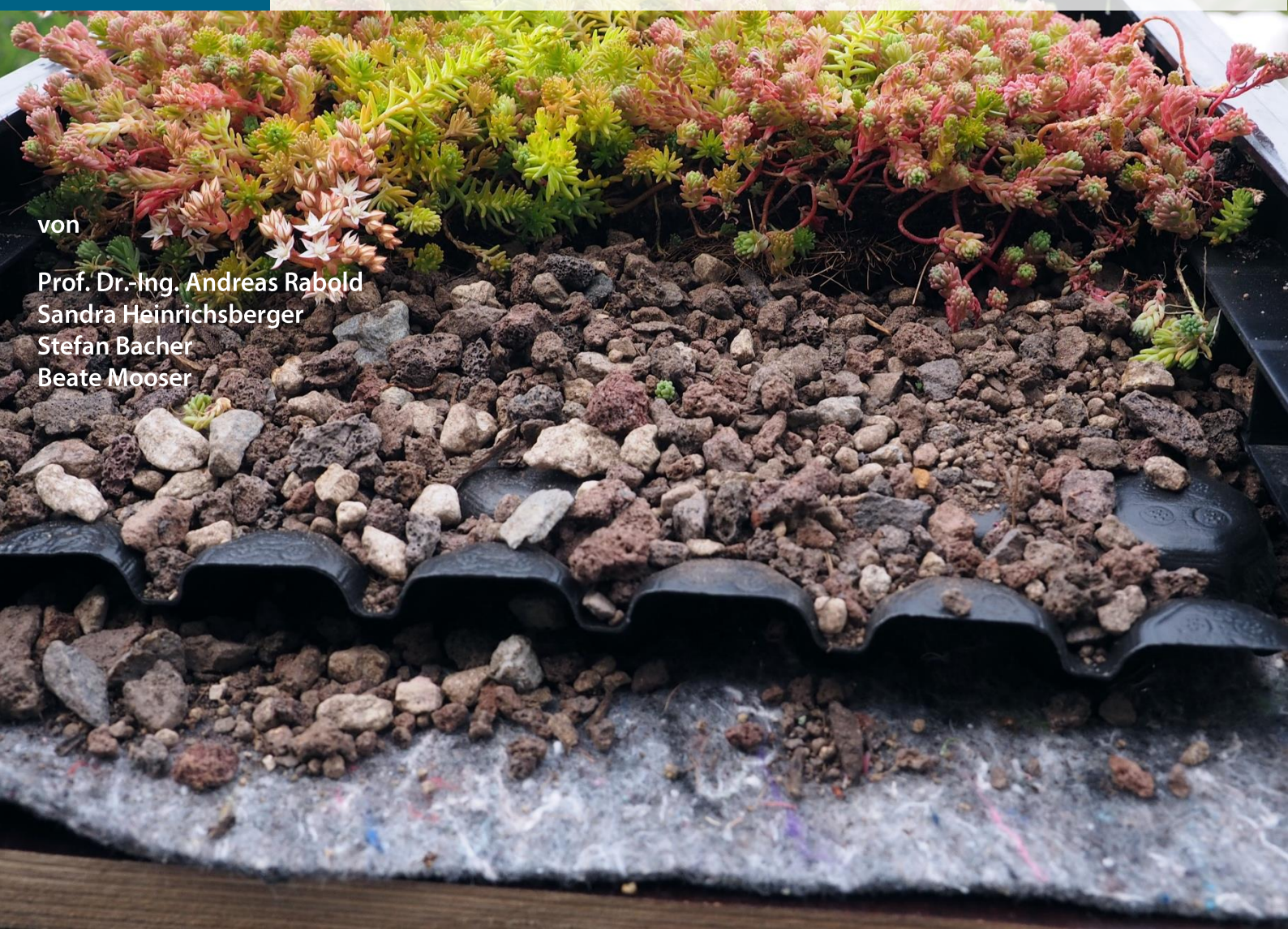


BBSR-
Online-Publikation
20/2022

Einfluss der Bauteilschichten eines Gründaches auf die Luftschall- dämmung der Dachkonstruktion

von

Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold
Sandra Heinrichsberger
Stefan Bacher
Beate Mooser



Einfluss der Bauteilschichten eines Gründaches auf die Luftschalldämmung der Dachkonstruktion

Erarbeitung von zusätzlichen Erkenntnissen zur Erweiterung des Bauteilkataloges in DIN 4109-33

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wohnen, Stadtentwicklung
und Bauwesen

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

ZUKUNFT BAU
FORSCHUNGSFÖRDERUNG

Dieses Projekt wurde gefördert vom Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR) im Auftrag des Bundesministeriums für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen (BMWSB) aus Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau.

Aktenzeichen: 10.08.18.7-20.52

Projektlaufzeit: 10.2020 bis 04.2022

IMPRESSUM

Herausgeber

Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung (BBSR)
im Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung (BBR)
Deichmanns Aue 31–37
53179 Bonn

Fachbetreuer

Dr.-Ing. Michael Brüggemann, Brüggemann Kisseler Ingenieure
im Auftrag des BBSR, Referat WB 3 „Forschung im Bauwesen“
zb@bbr.bund.de

Autorinnen und Autoren

ift Rosenheim, Rosenheim
Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold (Projektleitung)
Sandra Heinrichsberger, M. Sc.
Dipl.-Ing. (FH) Stefan Bacher
Beate Mooser, B. Eng.
www.ift-rosenheim.de/forschung

Stand

April 2022

Bildnachweis

Titelbild: Adobe Stock/Janet de Graaf
Abbildungen mit Ausnahme von Logos stammen von den Autoren.

Vervielfältigung

Alle Rechte vorbehalten

Der Herausgeber übernimmt keine Gewähr für die Richtigkeit, die Genauigkeit und Vollständigkeit der Angaben sowie für die Beachtung privater Rechte Dritter. Die geäußerten Ansichten und Meinungen müssen nicht mit denen des Herausgebers übereinstimmen.

Zitierweise

Rabold, Andreas; Heinrichsberger, Sandra; Bacher, Stefan; Mooser, Beate: Einfluss der Bauteilschichten eines Gründaches auf die Luftschalldämmung der Dachkonstruktion: Erarbeitung von zusätzlichen Erkenntnissen zur Erweiterung des Bauteilkataloges in DIN 4109-33. BBSR-Online-Publikation 20/2022, Bonn, September 2022.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
Abstract	7
1 Einleitung und Projektziel	9
2 Grundlagen	10
2.1 Grundlagen für den bauakustischen Nachweis	10
2.1.1 Luftschalldämmung	10
2.1.2 Bauakustische Anforderungen an Dächer als Außenbauteile	10
2.1.3 Nachweismöglichkeiten nach DIN 4109	11
2.2 Bauakustische Prognose für Bauteilvarianten	13
3 Messtechnik und Durchführung	15
3.1 Messung der Luftschalldämmung im Labor	15
3.2 Messung der dynamischen Steifigkeit und des Strömungswiderstandes	16
3.2.1 Dynamische Steifigkeit	16
3.2.2 Strömungswiderstand	17
4 Dachaufbauten und Prüfplan	18
4.1 Einsatzbereiche von Gründachaufbauten	18
4.2 Bauteilschichten üblicher Gründachaufbauten	18
4.3 Prüfplan Luftschalldämmung	21
4.4 Prüfplan dynamische Steifigkeit	22
5 Messergebnisse	23
5.1 Referenzmessung Substrat im Vergleich mit Kies	23
5.2 Einfluss der Schutzlage und der Drainage	24
5.3 Variation der Schutzlage	25
5.4 Variation der Drainageebene	27
5.5 Einfluss des Feuchtegehaltes im Gründachaufbau	27
5.6 Einfluss des Dachelements: Balkenlage und Massivholzelement	28
5.7 Einfluss der Messrichtung	32
6 Planungsdaten	33
6.1 Bauteilkatalog	33
6.2 Konstruktionsvarianten	34
7 Zusammenfassung	37
8 Literaturverzeichnis	39
9 Danksagung	41

Kurzfassung

Bei der Planung moderner Büro- und Wohngebäude ist vor allem im Bereich der mehrgeschossigen Bauweise i.d.R. ein Flachdach oder ein flachgeneigtes Dach mit ausgebautem Dachgeschoss vorgesehen. Um den Ansprüchen aus Wärmeschutz, Statik, Brandschutz und Schallschutz gerecht zu werden, müssen diese Dachkonstruktionen einer ganzen Reihe von Kriterien entsprechen. Auch im Bereich des Schallschutzes variieren die Ansprüche je nach Ausführung und Nutzung des Dachelementes als reines Dachelement oder als begehbare Dachterrasse.

Im Rahmen des vorgeschalteten Forschungsvorhabens "Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise - Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen" [1] wurden Planungsunterlagen für verschiedene Konstruktionsvarianten von Flachdächern, Dachterrassen und leicht geneigten Dächern für diese Einsatzbereiche erarbeitet. Die bauakustische Prüfung ergab für den Großteil der untersuchten Aufbauten erfreulich gute Werte und Planungsdaten für die Luft- und Trittschalldämmung, die nun als Vorlage für die Überarbeitung des Bauteilkatalogs der DIN 4109-33 [2] zur Verfügung stehen. Überraschende Ergebnisse boten hingegen Gründachaufbauten mit Dränelementen und Speicherschutzmatten, deren Luftschalldämmung deutlich hinter vergleichbaren Dächern mit Kiesdachaufbau zurückblieb. Erste Untersuchungen der Ursachen zeigten eine deutliche Reduzierung der Schalldämmung durch die Dränelemente und Speicherschutzmatten. Geeignete Aufbauten für diesen Dachtyp konnten im Rahmen des Projekts nicht mehr erarbeitet werden. Hier bestand noch Forschungs- und Entwicklungsbedarf.

Im vorliegenden Folgeprojekt lag der Fokus der Untersuchungen deshalb auf der schalltechnischen Wirksamkeit der einzelnen Bauteilschichten in Gründachaufbauten. Hierbei stand die Frage im Vordergrund, welche Bauteilschicht in welchem Maß zur Verringerung der Schalldämmung gegenüber einem üblichen Kiesdachaufbau beiträgt. Auf den Erkenntnissen aufbauend, sollten auch für Gründachaufbauten geeignete Planungsdaten für den Bauteilkatalog erarbeitet werden.

Mit dieser Zielsetzung wurde als Referenzaufbau zunächst ein Gründachaufbau ohne die zu untersuchenden Drain-, Speicher- und Schutzebene gewählt und die Schalldämmung im direkten Vergleich zu einem Kiesdachaufbau gleicher Masse ermittelt. Nach Bestätigung der Gleichwertigkeit, konnte als Untersuchungsmethode der schrittweise Einbau der verschiedenen Drain-, Speicher- und Schutzebenen umgesetzt werden, um den jeweiligen Einfluss auf die Schalldämmung zu ermitteln.

Vom Referenzaufbau ausgehend, wurde hierzu zunächst die Veränderung der Schalldämmung durch den Einbau der Drainageebene und der Schutzlage (Faservlies) ermittelt. Die Ergebnisse zeigten eine eindeutige Reduzierung der Schalldämmung durch den Einbau der genannten Bauteilschichten.

Zur Variation der Schutzlage wurden zwei unterschiedliche Faservliese und eine Gummigranulatmatte untersucht. Die Ergebnisse zeigten keine nennenswerten Unterschiede. Die Variation der Drainageebene ergab hingegen einen deutlicheren Einfluss. Hier wurden Drainageelemente aus tiefgezogenem Kunststoff (HDPE oder PS), Elemente aus EPS und eine mineralische Drainage verglichen. Die mineralische Drainage war gleichwertig zum Referenzaufbau und damit deutlich besser als die HDPE, PS und EPS Drainageelemente.

Durch das zusätzliche Befüllen der HDPE- und PS-Drainageelemente mit Substrat konnte auf Grund der Masseerhöhung eine Verbesserung von 1 bis 3 dB erreicht werden.

Neben dem Einfluss der Bauteilschichten wurden auch die Grundkonstruktionen untersucht. Hier wurde eine Balkenlage mit abgehängter Unterdecke und ein Massivholzelement mit Beschwerung untersucht.

Für die Gründachaufbauten auf Balkenlage mit entkoppelter Unterdecke konnten auf Basis der geprüften Aufbauten Planungsdaten mit bewerteten Schalldämm-Maßen zwischen 64 dB und 70 dB zusammengestellt werden.

Für Gründachaufbauten mit Massivholzelementen kann der Gründachaufbau mit mineralischer Drainageebene empfohlen werden. Für Drainageebenen aus tiefgezoogenem Kunststoff bietet sich eine zusätzliche Beschwerung des Dachelementes an, die sich auch positiv auf die Flankendämmung des Dachelementes bei Trennwänden im Dachgeschoss auswirkt. Gleiches kann durch eine entkoppelte Unterdecke erreicht werden, wie eine Berechnungen von Konstruktionsvarianten zeigte.

Als Forschungoutput stehen somit für beide Grundkonstruktionen Aufbauvarianten zur Verfügung, die auch für den Einsatz im innerstädtischen Bereich mit höheren Außenlärmpegeln geeignet sind. Die Planungsdaten fließen derzeit in die aktuelle Überarbeitung der DIN 4109-33 ein. Die Anwendungsmöglichkeit der Projektergebnisse wird dadurch sichergestellt.

Der Forschungsansatz, geeignete Gründachaufbauten durch eine Variation der Bauteilschichten zu erarbeiten, konnte im Rahmen des Projektes umgesetzt werden. Die Hypothese allein durch Variation der Drain-, Speicher- und Schutzebenen geeignete Aufbauten zu finden, hat sich nur in Bezug auf die Drainageebene bestätigt. Hier wurden durch den Einsatz der mineralischen Drainageebene die Werte des Referenzaufbaus erreicht. Eine Variation der Speicher- und Schutzebene hatte hingegen einen zu geringen Einfluss auf die Schalldämmung um eine Wertung in Abhängigkeit der zusätzlich gemessenen Materialparameter (dynamische Steifigkeit und Dämpfung) zu erlauben.

Abstract

In the planning of modern office and residential buildings, a flat roof or a flat pitched roof with a developed attic is usually planned, especially in the area of multi-storey construction. In order to meet the requirements of thermal insulation, statics, fire protection and sound insulation, these roof constructions must comply with a whole series of criteria. In the area of sound insulation, the requirements also vary depending on the design and use of the roof element as a pure roof element or as a walkable roof terrace.

Within the framework of the preceding research project "Sound insulation of flat roofs in timber construction - airborne and impact sound insulation of flat roofs and roof terraces" [1], planning documents for different construction variants of flat roofs, roof terraces and slightly inclined roofs for these areas of application were developed. The building acoustics test resulted in pleasingly good values and planning data for airborne and impact sound insulation for the majority of the structures examined, which are now available as a template for the revision of the component catalogue of DIN 4109-33 [2]. Surprising results, however, were offered by green roof structures with drainage elements and storage protection mats, whose airborne sound insulation lagged significantly behind comparable roofs with gravel roof structures. Initial investigations into the causes showed a significant reduction in sound insulation due to the drainage elements and storage protection mats. Suitable superstructures for this type of roof could not be developed within the scope of the project. There was still a need for research and development here.

In the present follow-up project, the focus of the investigations was therefore on the acoustic effectiveness of the individual component layers in green roof structures. The focus was on the question of which component layer contributes to what extent to the reduction of sound insulation compared to a conventional gravel roof structure. Based on the findings, suitable planning data for the component catalogue was also to be developed for green roof structures.

With this objective, a green roof structure without the drainage, storage and protection levels to be investigated was initially selected as a reference structure and the sound insulation was determined in direct comparison to a gravel roof structure of the same mass. After confirming the equivalence, the step-by-step installation of the different drainage, storage and protection levels could be implemented as a test method to determine the respective influence on the sound insulation.

Starting from the reference structure, the change in sound insulation due to the installation of the drainage level and the protective layer (fibre fleece) was first determined. The results showed a clear reduction of the sound insulation by the installation of the mentioned component layers.

To vary the protective layer, two different fibre fleeces and a rubber granulate mat were tested. The results showed no significant differences. The variation of the drainage level, on the other hand, showed a more significant influence. Drainage elements made of thermoformed plastic (HDPE or PS), elements made of EPS and mineral drainage were compared. The mineral drainage was equivalent to the reference structure and thus significantly better than the HDPE, PS and EPS drainage elements.

By additionally filling the HDPE and PS drainage elements with substrate, an improvement of 1 to 3 dB could be achieved due to the increase in mass.

In addition to the influence of the component layers, the basic constructions were also examined. Here, a beam layer with a suspended suspended ceiling and a solid wood element with weighting were examined.

For the green roof structures on a beam layer with a decoupled suspended ceiling, planning data with weighted sound insulation values between 64 dB and 70 dB could be compiled on the basis of the tested structures.

For green roof structures with solid wood elements, the green roof structure with mineral drainage level can be recommended. For drainage levels made of deep-drawn plastic, an additional weighting of the roof element is recommended, which also has a positive effect on the flank insulation of the roof element for partition walls in the attic. The same can be achieved with a decoupled suspended ceiling, as a calculation of construction variants showed.

As a research output, construction variants are thus available for both basic constructions, which are also suitable for use in inner-city areas with higher external noise levels. The planning data is currently being incorporated into the current revision of DIN 4109-33. This will ensure the applicability of the project results.

The research approach of developing suitable green roof structures by varying the component layers could be implemented within the framework of the project. The hypothesis of finding suitable superstructures solely by varying the drainage, storage and protection levels was only confirmed with regard to the drainage level. Here, the values of the reference structure were achieved by using the mineral drainage level. A variation of the storage and protection levels, however, had too little influence on the sound insulation to allow an evaluation depending on the additionally measured material parameters (dynamic stiffness and damping).

1 Einleitung und Projektziel

Bei der Planung moderner Büro- und Wohngebäude ist vor allem im Bereich der mehrgeschossigen Bauweise in der Regel ein Flachdach oder ein flachgeneigtes Dach mit ausgebautem Dachgeschoss vorgesehen. Um den Ansprüchen aus Wärmeschutz, Statik, Brandschutz und Schallschutz gerecht zu werden, müssen diese Dachkonstruktionen einer ganzen Reihe von Kriterien entsprechen. Auch im Bereich des Schallschutzes variieren die Ansprüche je nach Ausführung und Nutzung des Dachelementes als reines Dachelement oder als begehbare Dachterrasse.

Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise– Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen" [1] wurden Planungsunterlagen für verschiedene Konstruktionsvarianten von Flachdächern, Dachterrassen und leicht geneigten Dächern für diese Einsatzbereiche erarbeitet. Die bauakustische Prüfung ergab für den Großteil der untersuchten Aufbauten erfreulich gute Werte und Planungsdaten für die Luft- und Trittschalldämmung, die nun als Vorlage für die Überarbeitung des Bauteilkatalogs der DIN 4109-33 [2] zur Verfügung stehen.

Bei den Untersuchungen ergab sich ein überraschendes Ergebnis für die Schalldämmung von nicht begehbaren Flachdächern. Für nicht begehbare Flachdächer wurden Kiesschüttungen, extensive Begrünungen und Dachabdichtungsbahnen untersucht. Die Ausführung mit Dachabdichtungsbahnen ohne weitere Zusatzmassen ergab erwartungsgemäß geringere Schalldämm-Maße. Die Vergleichsmessungen ergaben jedoch auch für Dachaufbauten mit extensiver Dachbegrünungen deutlich geringere Schalldämm-Maße als für Dachaufbauten mit Kiesauflagen gleicher flächenbezogener Masse. Als Ursache kann hier der Einfluss der Dränschicht in Kombination mit einer Faserschutzmatte genannt werden. Dies konnte durch einen direkten Vergleich für einen Flachdachaufbau mit und ohne Faserschutzmatte gezeigt werden. Da der Einsatz von Flachdächern im Holzbau mit extensiver Begrünung jedoch aus verschiedenen Gründen wünschenswert ist, besteht in Bezug auf die bauakustische Auswirkung üblicher Drän-, Speicher- und Schutzschichten noch Untersuchungsbedarf, um optimierte Materialkombinationen finden zu können.

In der Arbeitshypothese wird davon ausgegangen, dass bei einer geeigneten Kombination der unterschiedlichen Drän- und Speicher- bzw. Schutzschichten deutlich geringere Abweichungen gegenüber dem vergleichbaren Kiesdach erreicht werden können und somit der Einsatz von Begrünungen auf Holzdächern im urbanen Bereich besser planbar wird. Die zentrale Fragestellung dieses Forschungsprojektes liegt daher in der optimalen Kombination der geeigneten Bauteilschichten und -materialien, um eine möglichst gute Schalldämmung von Flachdachaufbauten mit Dachbegrünung zu erreichen. Anhand der Ergebnisse soll ein Vorschlag für eine Überarbeitung des Bauteilkatalogs der DIN 4109-33 erarbeitet werden.

2 Grundlagen

2.1 Grundlagen für den bauakustischen Nachweis

2.1.1 Luftschalldämmung

Die Luftschalldämmung bezeichnet die Schalldämmung eines Bauteils und damit den Widerstand gegenüber der Luftschallübertragung zwischen zwei angrenzenden Räumen. Zur Beschreibung der Luftschalldämmung wird das Schalldämm-Maß R in dB verwendet, das auf eine Bezugsfläche $S_0 = 10 \text{ m}^2$ und eine Bezugsabsorptionsfläche $A_0 = 10 \text{ m}^2$ normiert wird:

$$R = L_S + L_E + 10 \log \left(\frac{S A_0}{A S_0} \right) \quad \text{bzw.} \quad R = L_S + L_E + 10 \log \left(\frac{S}{A} \right) \quad (1)$$

mit

S Prüffläche des Probekörpers in m^2

A Äquivalente Schallabsorptionsfläche in m^2

L_S Schallpegel Senderaum in dB

L_E Schallpegel Empfangsraum in dB

Das Schalldämm-Maß R eines Bauteils wird im Prüfstand im bauakustisch relevanten Bereich von 50 Hz bis 5000 Hz nach EN ISO 10140-2: 2010 [4] bestimmt. Das bewertete Schalldämm-Maß R_w beschreibt die Schalldämmung über eine Einzahlangabe und wird nach EN ISO 717-1: 2013 [6] aus den frequenzabhängigen Messdaten im Frequenzbereich zwischen 100 Hz und 3150 Hz ermittelt.

Für den Nachweis der Schalldämmung von Außenbauteilen wird das so bestimmte bewertete Schalldämm-Maß R_w aller den betrachteten Raum begrenzenden Außenbauteile und deren Einbauten berücksichtigt. Das daraus resultierende $R'_{w,ges}$ wird mit den Anforderungen und den ggf. darüber hinausgehenden Zielwerten verglichen.

2.1.2 Bauakustische Anforderungen an Dächer als Außenbauteile

Im Gegensatz zu Trennbauteilen wird bei Außenbauteilen kein fester Anforderungswert für die Luftschalldämmung vorgegeben. Die Anforderungen ergeben sich vielmehr aus der tatsächlichen Lärmsituation vor dem nachzuweisenden Außenbauteil und der Nutzungsart des Raumes. Ausgehend vom vorhandenen maßgeblichen Außenlärmpegel L_a wird mittels eines Korrekturwertes für die Raumnutzung $K_{Raumart}$ die Anforderung erf. $R'_{w,ges}$ an das Außenbauteil berechnet:

$$\text{erf. } R'_{w,ges} = L_a - K_{Raumart} \quad (2)$$

Die nutzungsabhängigen Korrekturwerte K_{Raumart} berücksichtigen die unterschiedliche Störwirkung des Außenlärms in Abhängigkeit von der Raumnutzung. Sie werden in [2] vorgegeben (siehe auch Tabelle 1).

Tabelle 1 Nutzungsabhängiger Korrekturwert K_{Raumart} nach [2]

Raumnutzung	Korrekturwert K_{Raumart} in dB
Bettenräume in Krankenstationen und Sanatorien	25
Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume und Ähnliches	30
Büroräume und Ähnliches	35

Für die nach Gleichung (2) berechneten Anforderungen gelten folgende Mindestwerte:

- Für Bettenräume in Krankenanstalten und Sanatorien: *erf.* $R'_{w,ges} = 35$ dB
- Für Aufenthaltsräume in Wohnungen, Übernachtungsräume in Beherbergungsstätten, Unterrichtsräume, Büroräume und ähnliches: *erf.* $R'_{w,ges} = 30$ dB

Ergibt die Berechnung nach (2) ein *erf.* $R'_{w,ges} > 50$ dB, so sind die Anforderungen aufgrund der örtlichen Gegebenheiten durch die Bauaufsichtsbehörde festzulegen.

Da der zu erwartende Schallschutz im betrachteten Raum des Gebäudes von der Größe der schallübertragenden Außenfläche und dem Raumvolumen abhängt, wird ein zusätzlicher Korrekturwert K_{AL} ermittelt, der das Verhältnis der vom Raum aus gesehenen Außenfläche S_S zur Grundfläche des Raumes S_G berücksichtigt.

$$K_{AL} = 10 \lg \left(\frac{S_S}{0,8 S_G} \right) \quad (3)$$

Der Zahlenwert für die Anforderung an die Schalldämmung des Außenbauteils ergibt sich somit als Summe des *erf.* $R'_{w,ges}$ und des Korrektursummanden K_{AL} zu:

$$\text{erf. } R'_{w,ges} + K_{AL}$$

2.1.3 Nachweismöglichkeiten nach DIN 4109

Für Gebäude in Holzbauweise kann das gesamte bewertete Bau-Schalldämm-Maß $R'_{w,ges}$ nach DIN 4109-2 [2] als resultierende Schalldämmung nach Gleichung (4) berechnet werden:

$$R'_{w,ges} = -10 \lg[\sum_{i=1}^m 10^{-0,1 R_{e,i,w}}] \quad (4)$$

Die auf die übertragende Fläche bezogenen Schalldämm-Maße $R_{e,i,w}$ (Wand, Fenster, Dach, Rollladenkasten, Lüftungselement, etc.) berechnen sich aus dem bewerteten Schalldämm-Maß $R_{i,w}$ des Bauteils i und dem Verhältnis der vom Raum aus gesehenen Außenfläche S_s zur Bauteilfläche S_i .

$$R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg\left(\frac{S_s}{S_i}\right) \quad (5)$$

Für kleine Bauteile (Rollladenkästen, Lüftungseinrichtungen usw.) wird als Planungswert die bewertete Norm-Schallpegeldifferenz $D_{n,e,w}$ eingesetzt:

$$R_{e,i,w} = D_{n,e,w} + 10 \lg\left(\frac{S_s}{10 \text{ m}^2}\right) \quad (6)$$

Bei Räumen, die Fassadenfronten besitzen, welche unterschiedlichen Lärmpegeln ausgesetzt sind, gibt es folgende Sonderregelung: Es wird ein Korrekturwert K_{LPB} ermittelt, der den vorhandenen Außenlärmpegel vor dem betrachteten Bauteil i berücksichtigt. Ist dieser Außenlärmpegel geringer als der für die Anforderung maßgebliche Außenlärmpegel (z.B. bei Innenhöfen, abgewandten Gebäudeseiten), so kann diese Differenz durch K_{LPB} berücksichtigt werden.

$$K_{LPB} = L_a - L_{a,vorhanden} \quad (7)$$

Für diesen Fall können die Gleichungen (6) und (7) umgeschrieben werden zu

$$R_{e,i,w} = R_{i,w} + 10 \lg\left(\frac{S_s}{S_i}\right) + K_{LPB} \quad (8)$$

$$R_{e,i,w} = D_{n,e,w} + 10 \lg\left(\frac{S_s}{10 \text{ m}^2}\right) + K_{LPB} \quad (9)$$

Ein rechnerischer Nachweis der Trittschalldämmung von Dachterrassen ist derzeit nach DIN 4109 nicht möglich.

2.2 Bauakustische Prognose für Bauteilvarianten

Zur schalltechnischen Beurteilung von Varianten der geprüften Dachaufbauten bietet sich die frequenzabhängige Berechnung der zu erwartenden Schalldämmung auf Basis von Messergebnissen an. Die Verbesserung der Schalldämmung durch einzelne Bauteilschichten kann aus der frequenzabhängigen Differenz der Messwerte einer Dachkonstruktion mit und ohne der zu beurteilenden Bauteilschicht gebildet werden.

$$\Delta R = R_{mit} - R_{ohne} \quad \text{bzw.} \quad \Delta L = L_{n,ohne} - L_{n,mit} \quad (10)$$

Beispielhaft wird in Abbildung 1 die so ermittelte frequenzabhängige Verbesserung durch eine Unterdecke dargestellt.

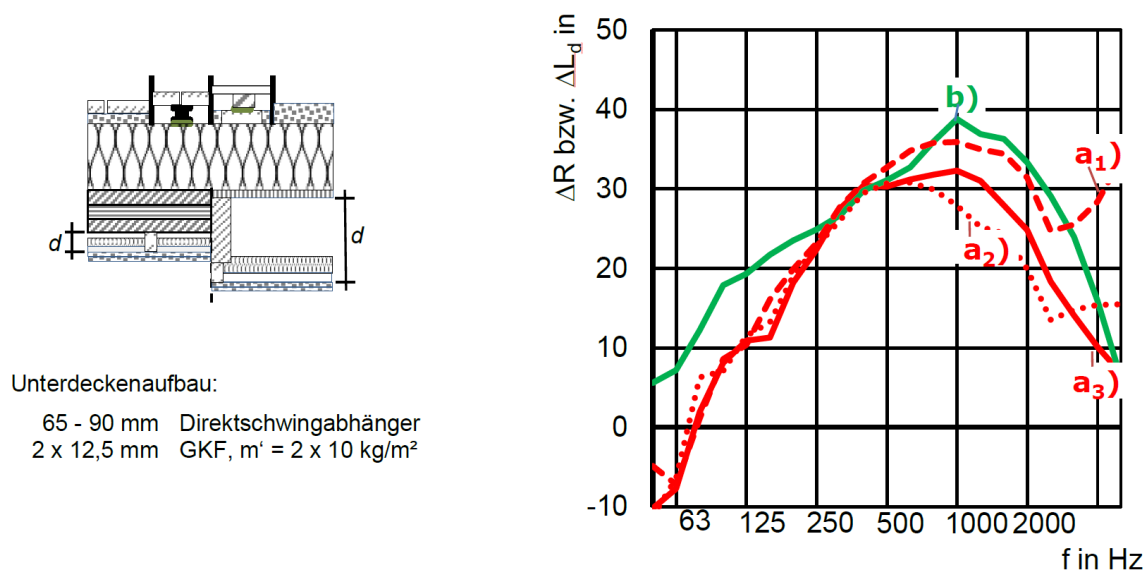


Abbildung 1 Verbesserung der Luft- und Trittschalldämmung durch Unterdecken mit unterschiedlich großen schalltechnisch wirksamen Luftschichtdicken d zwischen 90 mm und 285 mm. Die Eigenfrequenz des Unterdeckenabhängers betrug in beiden Fällen $f_0 < 30 \text{ Hz}$

a) Unterdecke unter Massivholzelement, $d = 90 \text{ mm}$,

a1: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am Grundelement

a2: Verbesserung der Luftschalldämmung ΔR , gemessen am vollständigen Dachaufbau

a3: Verbesserung der Trittschalldämmung ΔL_d , gemessen am vollständigen Dachaufbau

b) Unterdecke unter Balkenelement, $d = 285 \text{ mm}$, aus [9]

Anhand der ermittelten Verbesserung kann nun der Einfluss der Bauteilschicht auf die Luft- und Trittschalldämmung einer anderen Dachkonstruktion prognostiziert werden.

$$R_{Prognose} = R + \Delta R \quad \text{bzw.} \quad L_{n,Prognose} = L_n - \Delta L \quad (11)$$

Mit den so gewonnenen frequenzabhängigen Prognosewerten wird der Einzahlwert nach EN ISO 717-1 [6] ermittelt.

Bei der Vorgehensweise ist zu berücksichtigen, dass die Verbesserung durch die Bauteilschicht immer eine gewisse Abhängigkeit von dem Bauteil aufweist, auf dem sie gemessen wurde. Seien dies geringfügigere, messtechnisch bedingte Abweichungen, wie in Abbildung 1, a₁) und a₂) dargestellt, oder deutliche, konstruktionsbedingte Unterschiede, wie sie der Vergleich von Abbildung 1, a) und b) zeigt. Die Vorgehensweise entspricht sinngemäß der Vorgehensweise aus den Berechnungsvorschriften der EN ISO 12354-1 und EN ISO 12354-2, wurde aber in Deutschland auf Grund der zu erwartenden Unsicherheiten nicht in DIN 4109 übernommen.

Für die Prognose ist es somit wichtig, eine Unsicherheit mit anzugeben. Die zu erwartende Unsicherheit der so durchgeführten Prognose liegt i.d.R. bei ± 3 dB für den Einzahlwert R_w und $L_{n,w}$, sofern die Verbesserungen auf ähnliche Bauteile übertragen werden.

3 Messtechnik und Durchführung

3.1 Messung der Luftschalldämmung im Labor

Die Luftschallmessungen wurden nach den derzeit gültigen deutschen und europäischen Messnormen durchgeführt. Diese Mess- und Auswertungsnormen sind im Einzelnen in nachstehender Tabelle 2 aufgeführt. Die zur Messung verwendeten Prüfmittel werden in Tabelle 3 aufgelistet.

Tabelle 2 Normative Grundlage zur Messung der Luftschalldämmung

	Europäische Norm
Prüfstand für Schallmessungen an Decken (Flachdächern) ohne Nebenwege	EN ISO 10140-5 [5]
Messung der Luftschalldämmung von Bauteilen im Prüfstand	EN ISO 10140-1 [3] EN ISO 10140-2 [4]
Bewertung der Luftschalldämmung	EN ISO 717-1 [6]

Tabelle 3 Prüfmittel zur Messung der Luftschalldämmung

Gerät	Typ	Hersteller
Integrierende Messanlage	Typ Nortronic 840	Fa. Norsonic-Tippkemper
Mikrofon-Vorverstärker	Typ 1201	Fa. Norsonic-Tippkemper
Mikrofonkapseln	Typ 1220 / 40 AF	Fa. Norsonic-Tippkemper
Kalibrator	Typ 1255	Fa. Norsonic-Tippkemper
Lautsprecher Dodekaeder	Eigenbau	-
Verstärker	Typ E120	Fa. FG Elektronik
Mikrofon-Schwenkanlage	Nor269	Fa. Norsonic-Tippkemper

Die Messung der Schallpegeldifferenz erfolgte über 2 Lautsprecherpositionen und auf 2 Kreisbahnen bewegten Mikrofonen. Die Nachhallzeit wurde aus insgesamt 12 Messungen arithmetisch gemittelt (jeweils 6 Messungen von 2 Lautsprecherpositionen). Zur Messgleichung für die Luftschalldämmung siehe Abschnitt 2.1.1.

Die Dachelemente (Abmessung ca. 5 m × 4,6 m) wurden im Deckenprüfstand ohne Schallnebenwege des ift Rosenheim eingebaut. Der Einbau des Daches erfolgt ohne Kontakt zu den flankierenden Wänden. Die Ablasten wurden über ein außenliegendes Tragwerk abgetragen. Abbildung 2 zeigt eine Skizze des Deckenprüfstandes mit eingebautem Element.

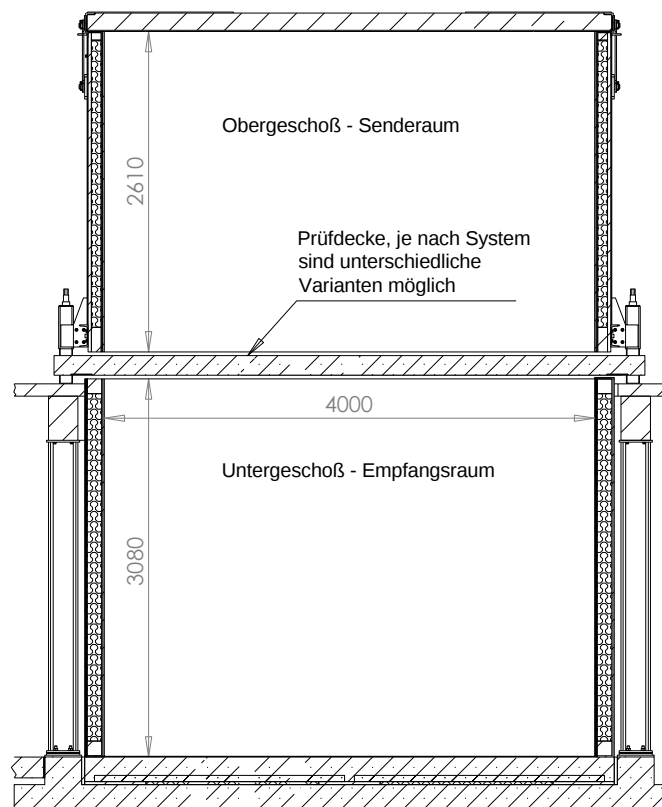


Abbildung 2 Skizze des Deckenprüfstandes, der für die Messungen der Flachdächer verwendet wurde; dargestellt zur Messung ohne Nebenwege (Senderraumvolumen $V_S = 52,7 \text{ m}^3$, Empfangsraumvolumen $V_E = 65,2 \text{ m}^3$ bzw. $66,0 \text{ m}^3$ (mit bzw. ohne Unterdecke); Trennfläche $S = 20 \text{ m}^2$)

3.2 Messung der dynamischen Steifigkeit und des Strömungswiderstandes

Neben den Luftschallmessungen wurden auch Zusatzprüfungen zur Charakterisierung der Materialeigenschaften der verwendeten Faserschutzmatten durchgeführt. Hierzu wurden die dynamische Steifigkeit nach DIN EN 29052-1 [7] sowie der Strömungswiderstand nach DIN EN ISO 9053 [8] messtechnisch bestimmt.

3.2.1 Dynamische Steifigkeit

Die scheinbare dynamische Steifigkeit pro Flächeneinheit wird nach Gleichung (12) für drei gemessenen Proben ermittelt.

$$s'_t = 4 \cdot \pi^2 \cdot m'_t \cdot f_r^2 \quad (12)$$

mit

m'_t die während der Prüfung verwendete Gesamtmasse je Flächeneinheit in kg/m^2

f_r die gemessene Resonanzfrequenz des Systems

Die dynamische Steifigkeit s' des Dämm-Materials wird in Abhängigkeit des arithmetisch gemittelten längenbezogenen Strömungswiderstands r (gemessen an allen Probekörper) wie folgt ermittelt:

- (i) Für hohe längenbezogene Strömungswiderstände $r \geq 100 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

$$s' = s'_t \quad (13)$$

- (ii) Für mittlere längenbezogene Strömungswiderstände $100 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2 > r \geq 10 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

$$s' = s'_t + s'_a \quad \text{mit} \quad s'_a = \frac{p_0}{d \cdot \varepsilon} \quad (14)$$

mit

s'_a die dynamische Steifigkeit des eingeschlossenen Gases in MN/m^3

p_0 der atmosphärische Ruhedruck in Pa

d die Dicke des Probekörpers in m

ε die Porosität des Probekörpers

- (iii) Für niedrige längenbezogene Strömungswiderstände $r < 10 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$

$$s' = s'_t \quad (15)$$

Anmerkung zu (iii):

Der durch Vernachlässigung von s'_a entstehende Fehler ist im Prüfbericht zu vermerken. Der Wert von s' kann mit Hilfe dieser Methode nicht bestimmt werden, wenn $r < 10 \text{ kPa}\cdot\text{s}/\text{m}^2$ und im Vergleich zu s'_t nicht vernachlässigbar ist.

3.2.2 Strömungswiderstand

Die Bestimmung des längenbezogenen Strömungswiderstandes erfolgte im Gleichstromverfahren an je 3 Proben eines Probenmaterials. Die Probenabmessungen für die Prüfeinrichtung des ift Rosenheim Labor Bauakustik beträgt 200 mm x 200 mm.

4 Dachaufbauten und Prüfplan

4.1 Einsatzbereiche von Gründachaufbauten

Im Rahmen des Forschungsvorhabens wurden zunächst Systemaufbauten von Flachdächern mit Extensivbegrünung zum Einsatz im Wohnungsbau recherchiert. Der Fokus lag dabei auf mehrschichtigen Gründachaufbauten für Dachneigungen zwischen 1° und 5°.

Hinweis:

Gemäß DIN 18531-1 [12] sollten Flachdächer ein Mindestgefälle von 2 % aufweisen um die Ableitung von Niederschlagswasser zu ermöglichen, Pfützenfreiheit sei ab einem Gefälle von etwa 5 % (3°) erreicht. Nach der Begriffserklärung des BuGG für Gefälle [11] können normale Begrünungsaufbauten bei Dachneigungen zwischen 1° (2%) und 5° (9%) eingesetzt werden. Bei Dachneigungen unter 1° (2%) seien Sonderkonstruktionen notwendig, bei Dachneigungen ab 15° (27%) seien Hilfskonstruktionen notwendig, da hier Erosions- und Schubkräfte auftreten und abzuleiten sind.

Laut einer Erhebung des Bundesverbandes GebäudeGrün e.V. (BuGG) [10] wurden im Jahr 2019 etwa 7,2 Millionen Quadratmeter Dachbegrünung neu angelegt. Davon etwa 83,5 % als Extensiv- und etwa 16,5 % als Intensivbegrünung. Der Anteil der Extensivbegrünung unterteilt sich hinsichtlich des Aufbaus in etwa 27,5 % Einschichtaufbau und etwa 72,5 % Mehrschichtaufbau. Bei geschätzten 80 Millionen Quadratmetern neu entstandener Flachdachfläche in 2019 betrug der Anteil der Gründachfläche etwa 9 %.

4.2 Bauteilschichten üblicher Gründachaufbauten

Der grundsätzliche Aufbau einer Extensivbegrünung im Mehrschichtaufbau besteht in der Schichtfolge von oben nach unten:

- Pflanzebene (Vegetation)
- Substrat (Vegetationstragschicht)
- Filtervlies
Hindert Kleinteile des Substrats vor dem Eindringen in die Drainage und sichert somit die dortige Wasser- und Luftzirkulation
- Drainage
Die Dränschicht (in Verbindung mit dem Filtervlies) wirkt als Wasserspeicher, leitet überschüssiges Niederschlagswasser ab, ermöglicht eine Diffusionsbewässerung und eine Belüftung des Wurzelraumes

- Schutz- und Speichermatte
schützt die Dachabdichtung vor mechanischen Einwirkungen aus dem Gründachaufbau, dient als zusätzlicher Wasserspeicher
- (Dachabdichtung, gehört nicht zum Gewerk der Dachbegrünung)

Bei der Extensivbegrünung im Mehrschichtaufbau lassen sich vier Systemaufbauten nach der Ausbildung der Drainage unterscheiden (Abbildung 3).

- Typ A enthält ein Kombinationsprodukt aus Filterschicht, Drainage und Schutzschicht. In diesem Aufbau ist keine zusätzliche Schutz- und Speichermatte vorgesehen.
- Die Aufbauten Typ B und C unterscheiden sich ausschließlich in der Drainageschicht. Die Drainageelemente bei Typ B bestehen aus tiefgezogenem Kunststoff mit dem Ausgangsmaterial z.B. High-Density-Polyethylen (HDPE) oder Polystyrol. Bei Typ C bestehen die Elemente aus Expandiertem Polystyrol (EPS). Eine Schutz- und Speichermatte ist bei beiden Aufbauten vorhanden.
- In Typ D wird die Drainage aus einem mineralischen Schüttstoff gebildet. Da die Drainage hier auch als Vegetationstragschicht fungiert, kann die reguläre Vegetationstragschicht dünner ausgeführt werden als bei Typ B und C. Zusätzlich ist eine Schutz- und Speichermatte vorhanden.

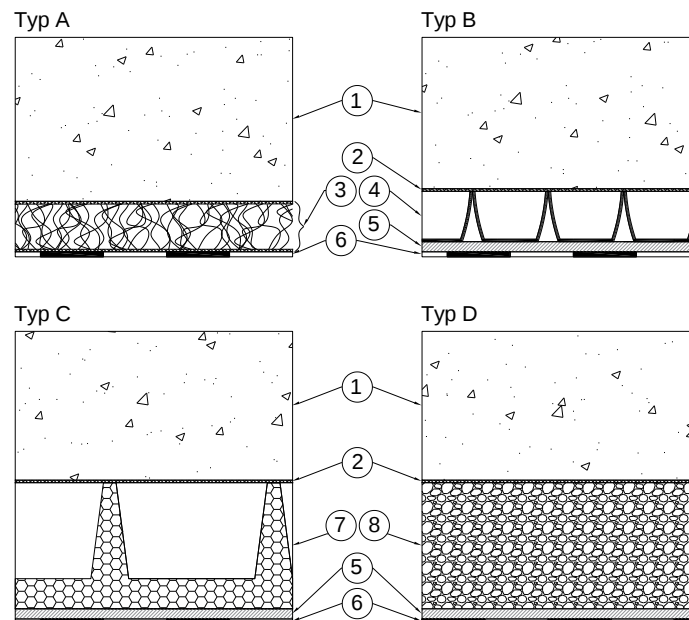


Abbildung 3 Systemaufbauten von Extensivbegrünungen im Mehrschichtaufbau. 1 Substrat, 2 Filtervlies, 3 Kombinationsprodukt, 4 Drainage aus tiefgezogenem Kunststoff, 5 Speicherschutzmatte, 6 Abdichtung, 7 EPS-Drainage, 8 Mineraldrainage

Nach Aussage der Projektpartner wird Typ A nicht im Wohnungsbau eingesetzt, da die dort nachgefragten Bewuchsformen mit diesem Aufbau nicht realisierbar sind. Häufig im Wohnungsbau eingesetzt würden die Varianten Typ B und Typ C. Typ D wird aufgrund der realisierbaren Bewuchsformen seltener im Wohnungsbau eingesetzt, die Schüttstoff-Drainage könnte sich jedoch positiv auf die Luftschalldämmung auswirken.

Ein Vergleich der Produkte verschiedener Hersteller von Gründächern ergab:

- Bei den Speicherschutzmatten variiert die Schichtdicke zwischen 3 mm und 6 mm sowie die Widerstandsfähigkeit gegenüber mechanischen Einwirkungen. Als Material werden Fasern aus Polyester (PES) und/oder Polypropylen (PP) eingesetzt mit einem Flächengewicht $> 300 \text{ g/m}^2$.
- Die Drainageschichten aus tiefgezogenem Kunststoff und EPS variieren leicht in der Formgebung und in der Schichtdicke.

Die Schichtdicke liegt bei den Elementen aus tiefgezogenem Kunststoff zwischen 20 mm und etwa 40 mm für Extensiv-Mehrschichtaufbauten. Höhere Dicken werden z.B. bei Extensivbegrünungen auf Schrägdächern oder für einfache Intensivbegrünungen eingesetzt.

Bei Elementen aus EPS liegt die Schichtdicke bei etwa 50 mm. Höhere Dicken z.B. 75 mm werden z.B. bei Intensivbegrünungen, bei Leichtdächern und bei gefällelosen Dächern eingesetzt.

- Kombinationsprodukte aus Filterschicht, Drainage und Schutzschicht finden sich bei verschiedenen Herstellern in ähnlicher Ausführung mit einer Schichtdicke von etwa 20 mm.

Nach DIN 18531-3 [14] ist bei nicht genutzten Dächern (z.B. bei extensiv begrünten Dächern) oberhalb der Abdichtung eine Schutzlage nach DIN 18531-2 [13] auszuführen, um die Abdichtung vor mechanischen Einwirkungen zu schützen. Nach DIN 18531-2 sind dazu verschiedene Materialien geeignet z.B. Vliese aus synthetischen Fasern mit einem Flächengewicht von mind. 300 g/m^2 .

Gegenüber weiteren nach [13] geeigneten Materialien wie z.B. Folien und Gummigranulatmatten verfügen Vliese aus synthetischen Fasern über ihre Schutzwirkung hinaus über eine Wasserspeicherkapazität, die für Gründachaufbauten positiv ist.

Bei Verzicht oder Kompensation der Wasserspeicherfähigkeit der Schutzlage, muss die Schutzlage dennoch im Stande sein, die Abdichtung beim Einbringen des Substrates, welches unter hohem pneumatischem Druck erfolgt, zu schützen.

4.3 Prüfplan Luftschalldämmung

Aufbauend auf den Recherchen (Kapitel 4.1 und 4.2) wurde in der ersten Projektgruppensitzung in enger Abstimmung mit den Projektpartnern eine Prüfmatrix erstellt. Folgende Gründachaufbauten wurden hierbei berücksichtigt:

- Typ B, C, D nach Abbildung 3.
Der Schwerpunkt liegt aufgrund der Verbreitung auf Typ B.
- sowie messtechnisch notwendige Referenzaufbauten.

Die Prüfmatrix der Gründachaufbauten auf den unterschiedlichen Grundelementen ist in Abbildung 4 dargestellt. Auf Basis der Vergleichsergebnisse mit einem Kiesdachaufbau (Spalte 2 in Abbildung 4) wurden auf dem Dachelement mit Balkenlage zunächst Referenzmessungen mit einem Gründachaufbau ohne Drainageebene durchgeführt, um die Wirksamkeit der Substrate zu überprüfen. Danach wurden unterschiedliche Schutzlagen und Drainageausführungen untersucht. Anhand der Ergebnisse auf dem Dachelement mit Balkenlage wurden die Aufbauten auf dem Massivholz-Dachelement festgelegt. Für den Gründachaufbau mit Drainage aus HDPE bzw. tiefgezogenem Kunststoff wurde eine zusätzliche Beschwerung auf dem Element vorgesehen. Zusätzlich zu den Bauteilvarianten wurde der Einfluss der Durchfeuchtung des Substrats und der Schallübertragungs-Richtung untersucht. Der Einfluss der Bepflanzung / Durchwurzelung wurde auf Grund der üblicherweise nicht flächendeckenden Ausführung nicht näher untersucht. Eine Überprüfung des abdichtenden Einflusses mit einem Rollrasen wurde von der AG als nicht zielführend angesehen. Eine detaillierte tabellarische Auflistung der Prüfaufbauten und Ergebnisse ist in Anhang A dargestellt.

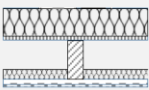
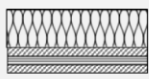
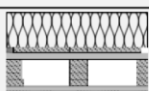
	50 mm Kies	Gründach ohne Drainageebene	Gründach HDPE Drainage	Gründach EPS Drainage	Gründach Mineral Drainage
	Ergebnis aus Flachdachprojekt: $R_w = 70 \text{ dB}$	$R_w = \text{ dB}$	$R_w = \text{ dB}$	$R_w = \text{ dB}$	$R_w = \text{ dB}$
	$R_w = 55 \text{ dB}$		$R_w = \text{ dB}$ + Beschwerung ¹⁾		$R_w = \text{ dB}$
	$R_w = 55 \text{ dB}$		$R_w = 39 \text{ dB}$		

Abbildung 4 Übersicht Prüfmatrix der Gründachaufbauten auf den unterschiedlichen Grundelementen mit eingetragenen Ergebnissen aus dem Flachdach-Vorgängerprojekt [1].

¹⁾ Beschwerung aus 60 mm Riesel 4/16 (Kies) als Beschwerung auf dem Massivholzelement

4.4 Prüfplan dynamische Steifigkeit

Da Vergleichsmessungen im vorausgegangenen Flachdachprojekt den starken Einfluss der Schutzlage und der Drainage auf die Schalldämmung vermuten ließen, wurde festgelegt, übliche Ausführungen der Schutzlagen auf ihre dynamische Steifigkeit zu untersuchen. Die Messergebnisse haben orientierenden Charakter, da das Messverfahren nach DIN EN 29052 [7] für Trittschalldämmplatten in Estrichaufbauten ausgelegt ist. Die Ergebnisse sollen einen Überblick über die Bandbreite der dynamischen Steifigkeit der Materialien geben und bei der Auswahl der optimalen Gründachaufbauten unterstützen. Folgende sechs Schutzlagen wurden untersucht.

Tabelle 4 Produktübersicht und Prüfplan der Schutzlagen

Produktbezeichnung	Hersteller	Kurzzeichen	Material	Nenn-dicke in mm
Faserschutzmatte FSM 1100	Paul Bauder GmbH & Co. KG	P01	Polyester-, Polypropylen-Regenerat	8
Faserschutzmatte FSM 600	Paul Bauder GmbH & Co. KG	P02	Polyester-, Polypropylen-Regenerat	4
Speicherschutzmatte SSM 45	ZinCo GmbH	P03	Polyester, Polypropylen	5
Trenn- und Schutzmatte TSM 32	ZinCo GmbH	P04	Polyester	3
Systemfilter PV	ZinCo GmbH	P05	Polypropylen	1,6
Gummigranulat-Schutzmatte GGM 6	Paul Bauder GmbH & Co. KG	P09	PUR gebundenes Gummigranulat	6

5 Messergebnisse

Die Untersuchungen wurden an praxisnahen Dachaufbauten durchgeführt, um die Einflussgrößen auf die Schalldämmung von Flachdächern mit Extensivbegrünung in Mehrschichtbauweise beschreiben und Planungsunterlagen gut geeigneter Konstruktionen zur Verfügung stellen zu können. Nachfolgend werden diese konstruktiven Einflüsse beschrieben und ihre Auswirkung auf die Schalldämmung aufgezeigt. Einen Überblick über die Messergebnisse befindet sich in Anhang A, die verwendeten Baustoffe sind in Anhang B gelistet. Die Datenblätter der Messergebnisse sind in Anhang C aufgeführt.

5.1 Referenzmessung Substrat im Vergleich mit Kies

Die Messergebnisse von zwei untersuchten Substraten konnten vorhandenen Messdaten eines Kiesdachs gegenübergestellt werden, um Rückschlüsse auf den Einfluss des Substratgefüges sowie der Schüttdichte ziehen zu können (siehe Abbildung 5). Bei diesen Referenzaufbauten ohne Drainageebene zeigt sich die Gleichwertigkeit der Aufbauten mit Substrat (Mineralische Schüttungen) gegenüber dem Kiesdachaufbau. Durch die Zusatzmasse von 80 – 100 kg verbessert sich das bewertete Schalldämm-Maß um rund 15 dB gegenüber der Grundkonstruktion ohne Dachaufbau ($R_w = 55$ dB).

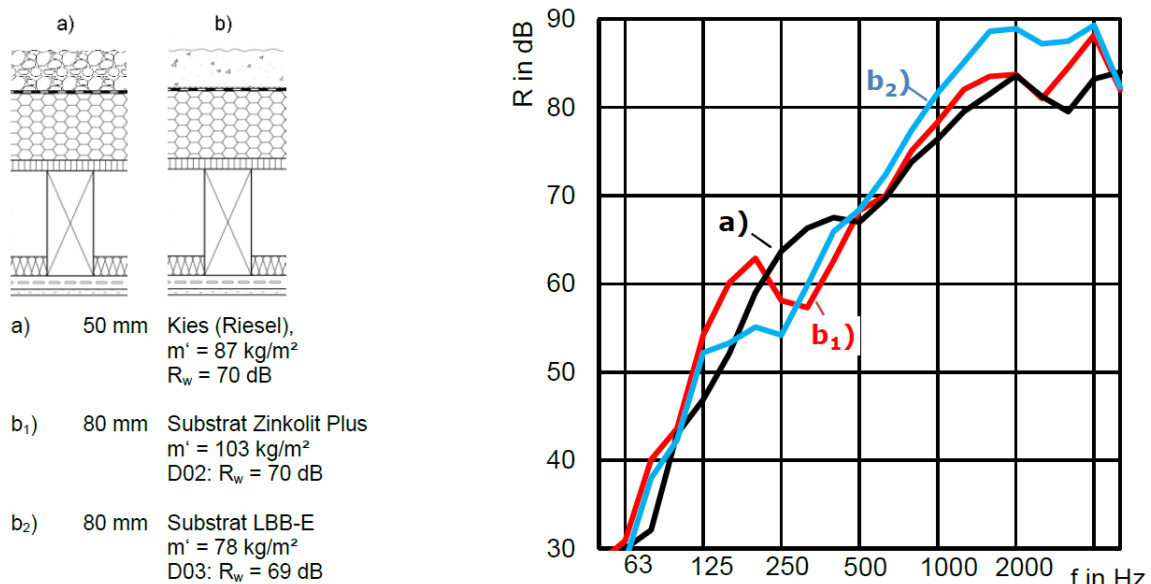


Abbildung 5 Vergleich zwischen Kies (Riesel) und Gründach-Substrat auf: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF. Referenzaufbau ohne Drainageebene

5.2 Einfluss der Schutzlage und der Drainage

Nach dem Vergleich zwischen dem Kiesdach-Aufbau und dem Gründachaufbau ohne Drainageebene, der nun als Referenz dient, wurde im nächsten Schritt der Einfluss der Schutzlage und der Drainageelemente untersucht. Abbildung 6 zeigt im Vergleich zum Referenz- aufbau (Kurve a) die Ergebnisse für den Gründachaufbau mit einer 4 mm Faserschutzmatte (Kurve b) und mit zusätzlicher Drainageebene aus tiefgezogenem Kunststoff (Kurve c). Die Reduzierung der Schalldämmung durch die Schutzlage beträgt im Einzahlwert 4 – 5 dB, mit zusätzlichem Drain- und Speicherelement 6 - 7 dB. Frequenzabhängig zeigen sich die stärksten Unterschiede bei 63 bis 250 Hz.

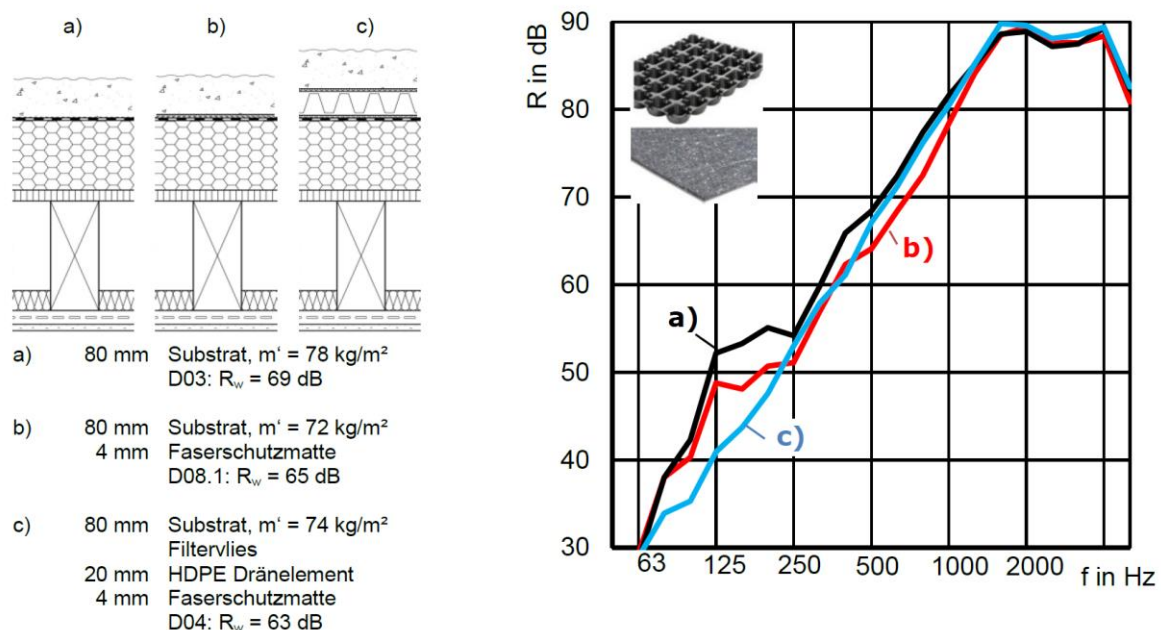
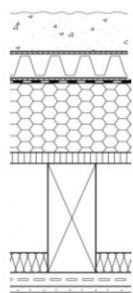


Abbildung 6 Einfluss der Schutzlage und der Drainage unterhalb des Gründach-Substrats. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

Die schalltechnischen Unterschiede zwischen Kies- und Gründächern sind somit eindeutig auf die zusätzlichen Funktionsschichten der Drain- Speicher- und Schutzebene zurückzuführen. Des Weiteren ist ersichtlich, dass sich die Einflüsse, in Abhängigkeit von der Schalldämmung des Grundelements, unterschiedlich stark ausbilden. Während bei der hier untersuchten Balkenlage (Grundelement mit $R_w = 55 \text{ dB}$) lediglich 6 bis 7 dB Reduzierung des bewerteten Schalldämm-Maßes auftraten, betrug die Reduzierung bei dem Massivholzelement (Grundelement mit $R_w = 38 \text{ dB}$) im Flachdachprojekt 16 dB.

Auf dem Drainageelement wird üblicherweise ein Filtervlies angeordnet. Es ist aber auch eine Ausführung ohne das Vlies möglich. Ein Vergleich der Standard-Ausführung mit Filtervlies gegenüber der Ausführung mit substratgefüllten Drainageelementen wird in

Abbildung 7, Kurve a) und Kurve b) dargestellt. Es ist ersichtlich, dass sich die Schalldämmung durch die Befüllung der Drainageelemente mit Substrat zunächst nur geringfügig verbessert. Die Verbesserung ist im Wesentlichen auf die etwas höhere flächenbezogene Masse des Aufbaus zurückzuführen. Ein Einfluss des Filtervlieses ist nicht erkennbar. Wird die flächenbezogene Masse weiter erhöht, verbessert sich die Schalldämmung des Dachaufbaus entsprechend. In Abbildung 7, Kurve c) wird dies durch die Wahl eines Substrats mit höherer Schüttdichte kombiniert mit höheren Drainageelementen erreicht.



- | | | |
|----|--------|-------------------------------------|
| a) | 80 mm | Substrat, $m' = 74 \text{ kg/m}^2$ |
| | | Filtervlies |
| | 20 mm | HDPE Dränelement |
| | 4 mm | Faserschutzmatte |
| | | D04: $R_w = 63 \text{ dB}$ |
| b) | 80 mm | Substrat, $m' = 81 \text{ kg/m}^2$ |
| | 20 mm | HDPE Dränelement, gefüllt |
| | 4 mm | Faserschutzmatte |
| | | D08: $R_w = 64 \text{ dB}$ |
| c) | 80 mm | Substrat, $m' = 119 \text{ kg/m}^2$ |
| | 32 mm | PS Dränelement, gefüllt |
| | | Faservlies |
| | 1,6 mm | |
| | | D09: $R_w = 66 \text{ dB}$ |

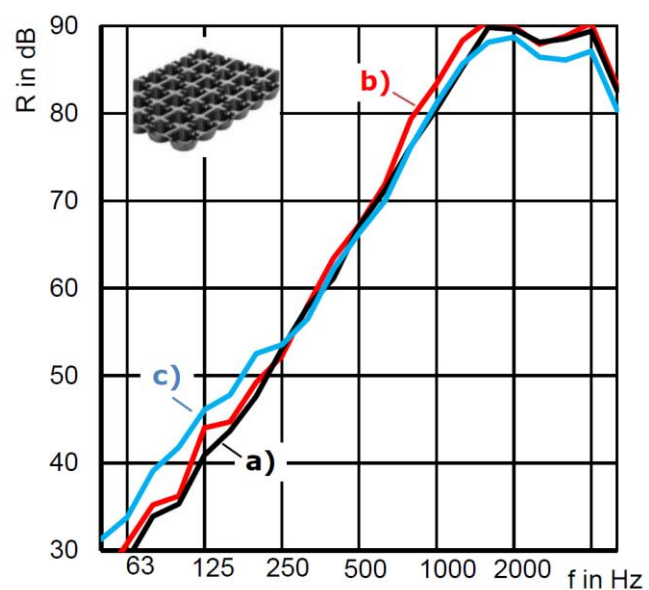


Abbildung 7 Vergleich der Drainageelemente aus tiefgezogenem Kunststoff mit Filtervliesabdeckung gegenüber substratgefüllten Drainageelementen unterschiedlicher Höhe. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

5.3 Variation der Schutzlage

Eine Variation der als Schutzlage zur Verfügung stehenden Materialien sollte das Optimierungspotenzial durch eine geeignete Materialwahl aufzeigen. Hierzu wurden die in Abschnitt 4.4 beschriebenen Materialien als Schutzlage zunächst in Bezug auf Ihre dynamische Steifigkeit und Materialdämpfung untersucht. Tabelle 5 zeigt für diese Schutzlagen die Messergebnisse der Materialprüfungen. Die dynamische Steifigkeit s' der Schutzlagen variiert zwischen 104 MN/m^3 und 225 MN/m^3 .

Für die Luftschalldämmung am kompletten Dachaufbau wurden auf Basis der

Materialprüfungen im Vergleich zur bereits gemessenen 4 mm Faserschutzmatte FSM 600 das 1,6 mm Systemfilter-Vlies und die 6 mm Gummigranulat-Schutzmatte ausgewählt. Die Ergebnisse werden in Abbildung 8 gezeigt. Die Messergebnisse der Schalldämm-Maße sind nahezu deckungsgleich. Eine Variation der Schutzlage scheint somit keinen wesentlichen Einfluss auf die Schalldämmung zu haben.

Tabelle 5 Materialkennwerte der Schutzlagen

Produktbezeichnung	Nennstärke in mm	Strömungs-widerstand σ in kPa·s/m ²	Dynamische Steifigkeit s' in MN/m ³	Dämpfungs-grad D -
Faserschutzmatte FSM 1100	8	71	104	0,055
Faserschutzmatte FSM 600	4	50	140	0,056
Speicherschutzmatte SSM 45	5	48	172	0,050
Trenn- und Schutzmatte TSM 32	3	75	216	0,070
Systemfilter PV	1,6	145	225	0,113
Gummigranulat-Schutzmatte GGM 6	6	21	107	0,121

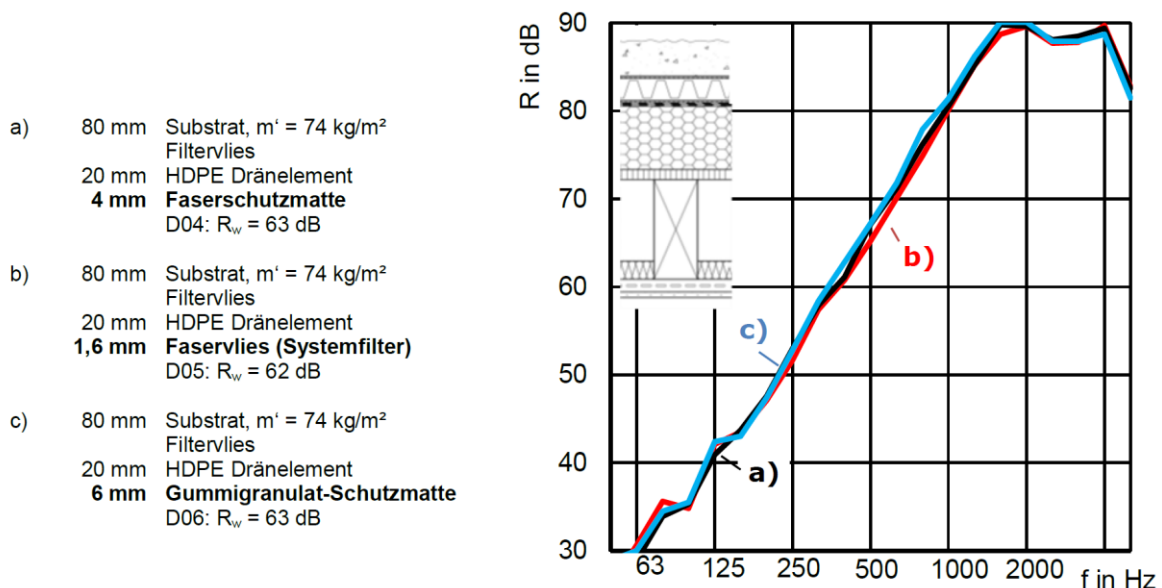


Abbildung 8 Vergleich verschiedener Schutzlagen unterhalb der HDPE Drainageelemente. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

5.4 Variation der Drainageebene

Zur Untersuchung des Einflusses der Drainage wurden drei Aufbauten untersucht, die sich hauptsächlich im Drainagetyp unterscheiden. Neben der bisher dargestellten HDPE-Drainage wurde eine EPS-Drainage und eine mineralische Schüttung als Drainageebene geprüft. Wie Abbildung 9 zeigt, ergaben die EPS-Drainageelemente (Kurve b) im Vergleich zu den HDPE-Drainageelementen (Kurve a) geringfügig bessere Werte. Eine deutliche Verbesserung ergab der Einsatz der mineralischen Drainage (Kurve c). Der Aufbau mit mineralischer Drainage ist gleichwertig zum Referenzaufbau bzw. zum Kiesdachaufbau.

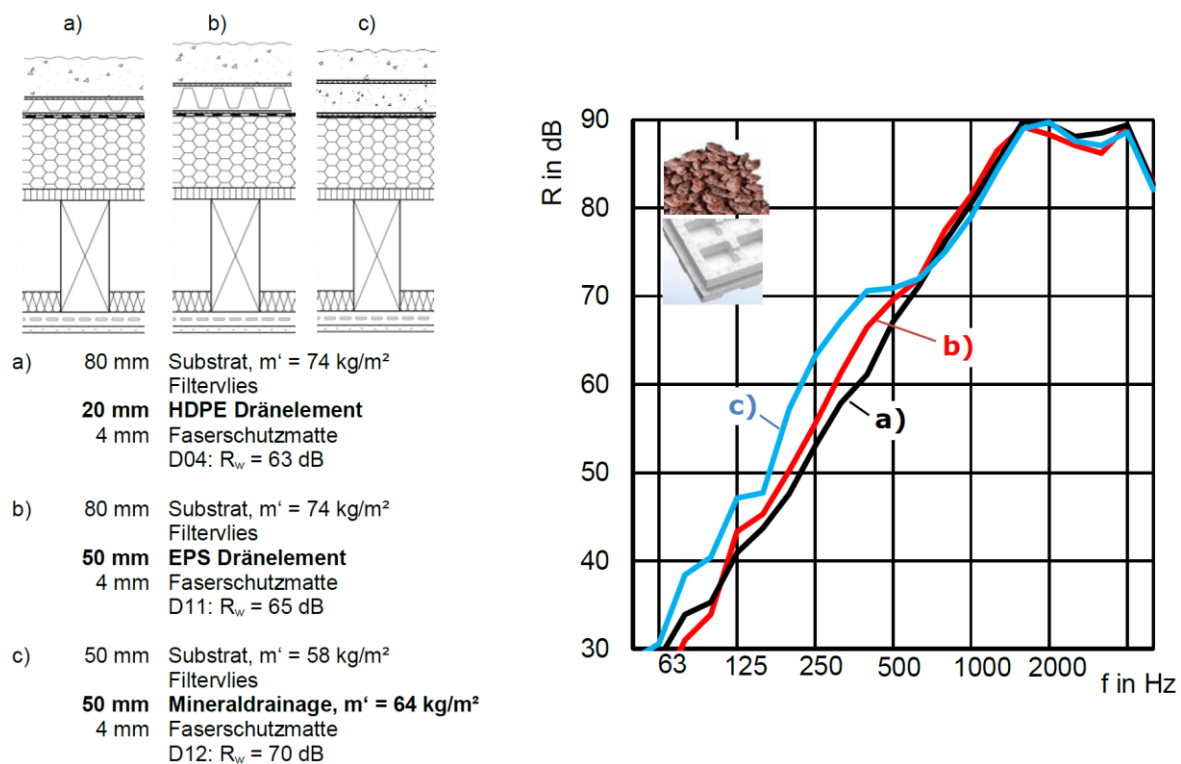


Abbildung 9 Variation der Drainageebene. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

5.5 Einfluss des Feuchtegehaltes im Gründachaufbau

Da die Gründachaufbauten in der Bausituation i.d.R. einen feuchten Zustand aufweisen, im Labor aber trocken (mit Lieferfeuchte) eingebaut werden, sollte der Einfluss einer Durchfeuchtung zusätzlich untersucht werden. Zur Untersuchung dieser Durchfeuchtung auf die Luftschalldämmung, wurde der zu erwartende durchschnittliche Feuchtegehalt eines Aufbaus durch eine Bewässerung mit 10 l/m^2 nachgestellt.

Abbildung 10 zeigt den Vergleich eines Dachaufbaus direkt vor und nach der Bewässerung. Die frequenzabhängige Schalldämmung verändert sich durch die Zusatzmasse von 10 kg/m^2 nur geringfügig. Das bewertete Schalldämm-Maß blieb unverändert. Ein Einfluss der

Durchfeuchtung auf die Schalldämmung des Dachaufbaus ist bei durchschnittlichem Feuchtegehalt somit nicht zu erwarten.

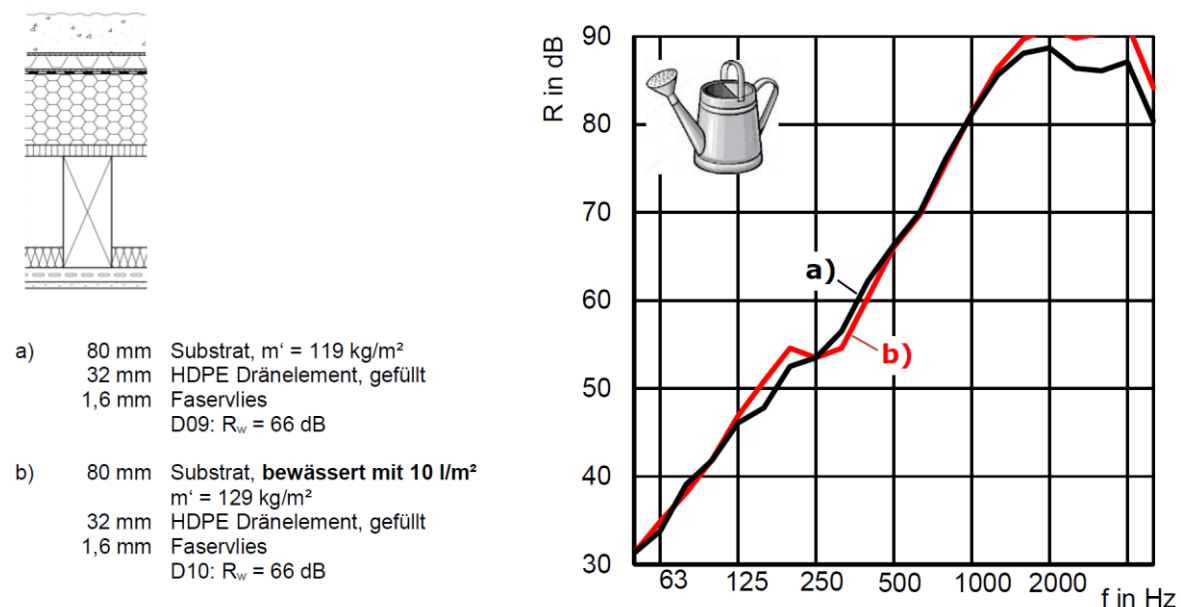


Abbildung 10 Einfluss des Feuchtegehaltes im Gründachaufbau. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

5.6 Einfluss des Dachelements: Balkenlage und Massivholzelement

Die Gründachaufbauten sollten auf unterschiedlichen Grundkonstruktionen untersucht werden. Betrachtet wurden ein Balkentragwerk mit Unterdecke sowie ein Massivholzelement aus Brettsperholz. Eine Gegenüberstellung der Messergebnisse für die Grundkonstruktionen erfolgt in Abbildung 11. Während sich bei dem Massivholzelement die höhere Masse unterhalb von 100 Hz positiv bemerkbar macht, ist die Balkenlage mit entkoppelter Unterdecke durch den zweischaligen Aufbau oberhalb von 100 Hz deutlich besser. Die bewerteten Schalldämm-Maße betragen für das Massivholzelement $R_w = 39 \text{ dB}$ und für die Balkenlage mit entkoppelter Unterdecke $R_w = 55 \text{ dB}$. Wird auf den Grundelementen der Gründachaufbau mit mineralischer Drainageebene angeordnet, so zeigt er auch auf dem Massivholzelement die volle Verbesserung, wodurch auch das Massivholzelement mit diesem Gründachaufbau gleichwertig zum Kiesdachaufbau ist (vergleiche Abbildung 4, Seite 21). Beide Konstruktionen werden um ca. 15 dB verbessert. Die frequenzabhängige Verbesserung gegenüber der Grundkonstruktion wird in Abbildung 13 dargestellt. Die Resonanz zwischen Grundelement und Aufbau bei 100 – 125 Hz zeichnet sich bei dem Massivholzelement viel deutlicher ab als bei der Balkenlage mit entkoppelter Unterdecke.

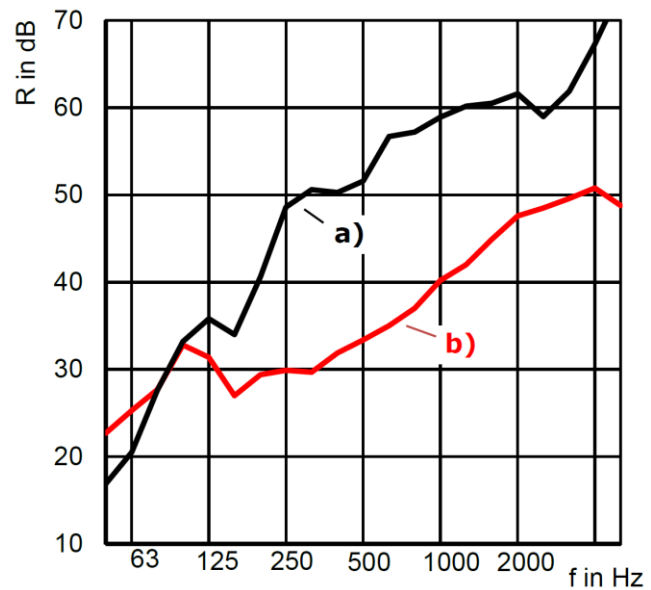
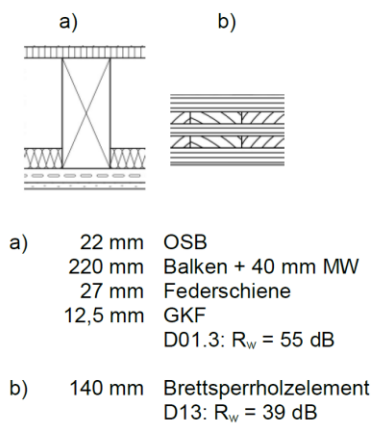


Abbildung 11 Vergleich der Grundelemente. Balkenlage mit entkoppelter Unterdecke und Massivholzelement

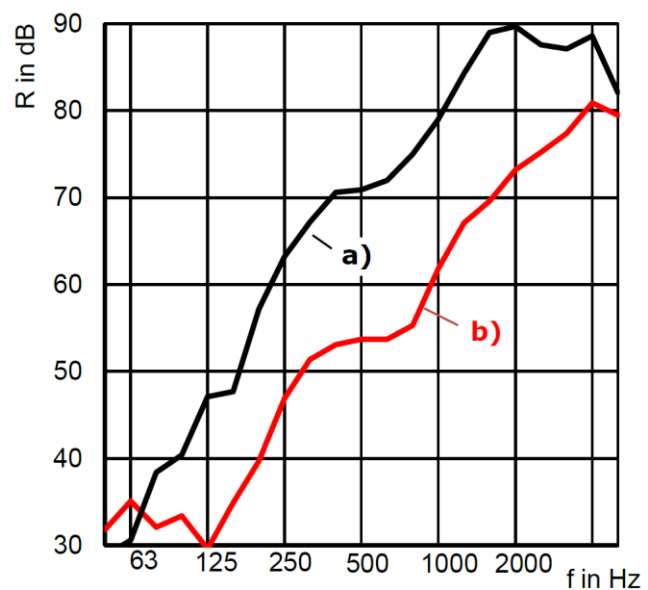
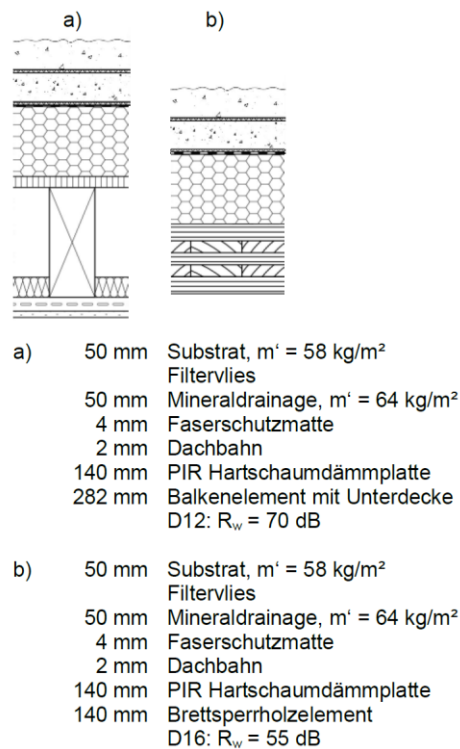
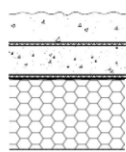


Abbildung 12 Gründachaufbau mit mineralischer Drainageebene auf Balkenelement und Massivholzelement.

**Gründachaufbau:**

- 50 mm Substrat, $m' = 58 \text{ kg/m}^2$
- Filtervlies
- 50 mm Mineraldrainage, $m' = 64 \text{ kg/m}^2$
- 4 mm Faserschutzmatte
- 2 mm Dachbahn
- 140 mm PIR Hartschaumdämmplatte

a) auf:
282 mm Balkenelement mit Unterdecke
 $\Delta R_w = 14,9 \text{ dB}$

b) auf:
140 mm Brettsperrholzelement
 $\Delta R_w = 15,9 \text{ dB}$

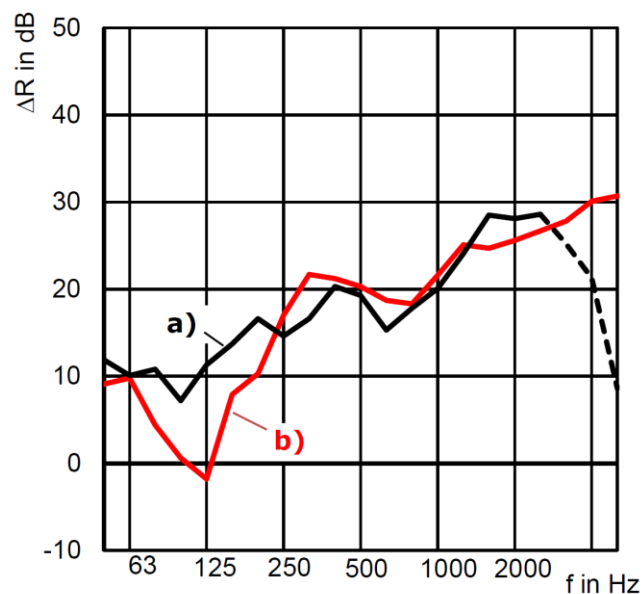


Abbildung 13 Verbesserung der Schalldämmung ΔR durch einen Gründachaufbau mit mineralischer Drainageebene auf dem Balkenelement und dem Massivholzelement (Messdaten der Kurve a) ab 3150 Hz durch den Grundgeräuschpegel beeinflusst)

Ein Vergleich des Gründachaufbaus mit HDPE – Drainageelementen auf den beiden Grundelementen wird in Abbildung 14 gezeigt. Um das Massivholzelement zu ertüchtigen, wurde eine Beschwerung von 75 kg/m^2 als Kiesschüttung zwischen Vierkanthölzern aufgebracht.

Dadurch werden auch mit diesem Aufbau Planungswerte erreicht, die den Einsatz bei höheren Außenlärmpegeln ermöglichen. Die in Abbildung 15 dargestellte Verbesserung der Schalldämmung durch den Aufbau zeigt einen sehr ähnlichen Verlauf auf der Balkenlage und dem ertüchtigten Massivholzelement. Die zum Vergleich ebenfalls dargestellte Verbesserung auf einem Kastenelement aus [1], fällt deutlich geringer aus.

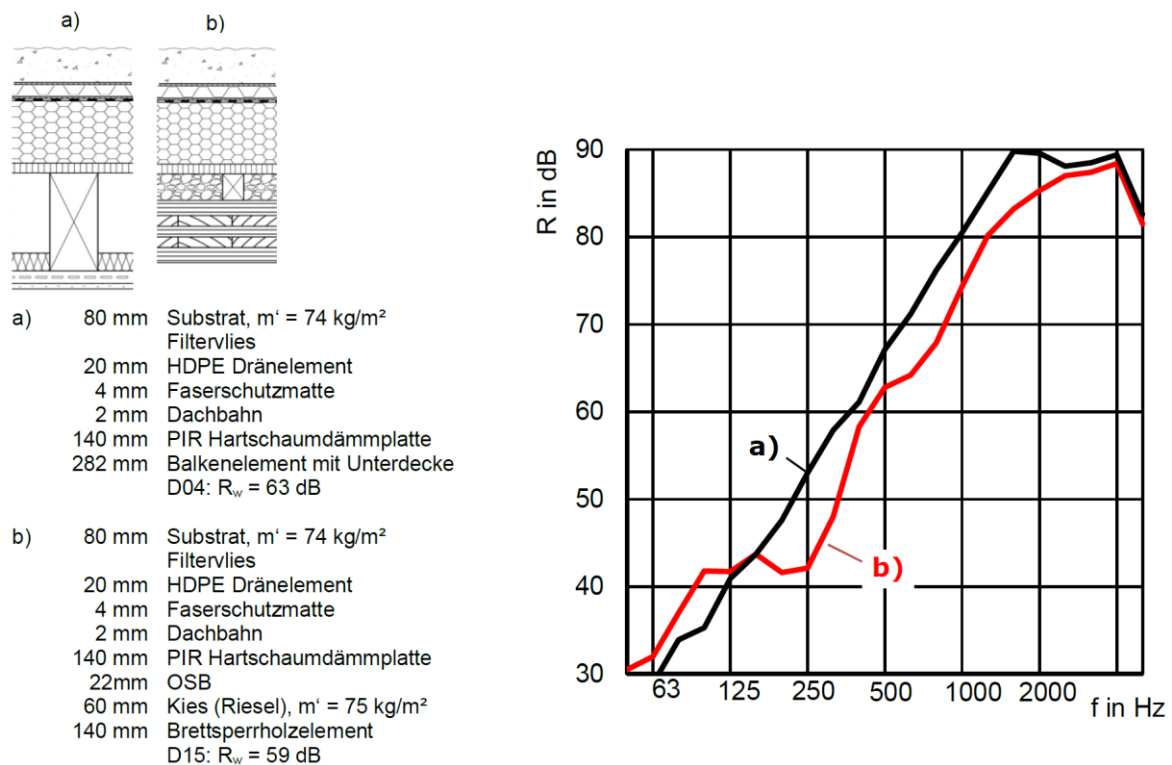


Abbildung 14 Gründachaufbau mit HDPE Drainageelementen auf dem Balkenelement und dem Massivholzelement mit Beschwerung

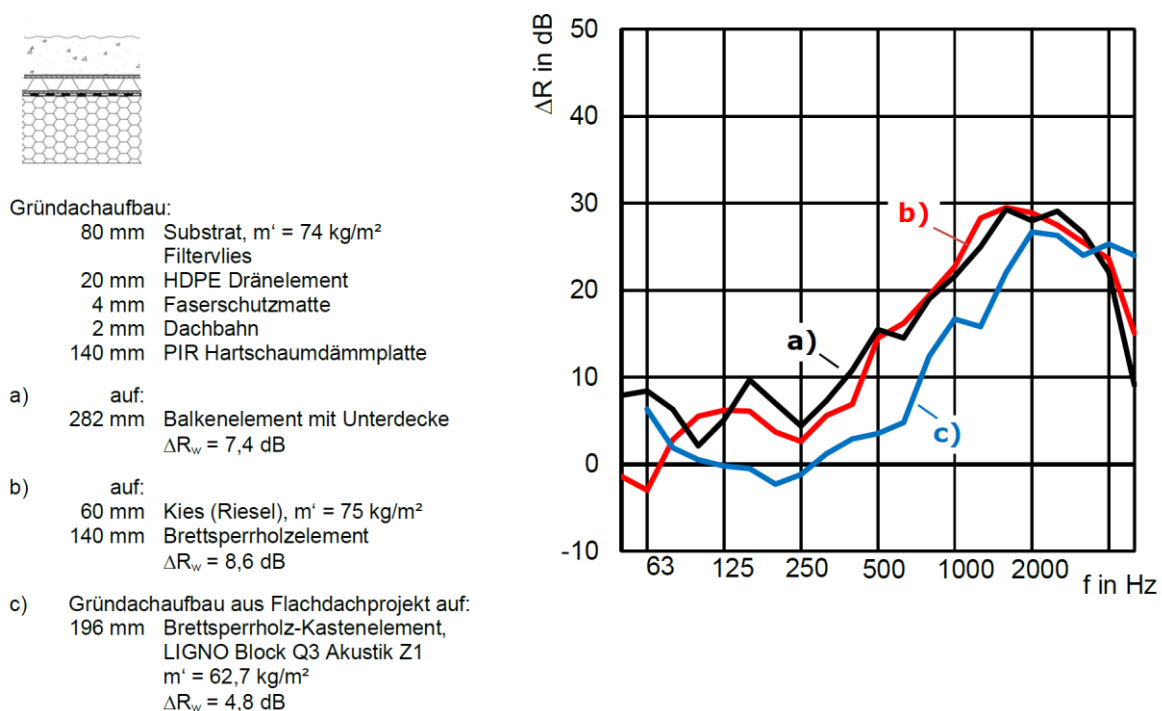


Abbildung 15 Verbesserung der Schalldämmung ΔR durch einen Gründachaufbau mit HDPE Drainageebene auf dem Balkenelement und dem Massivholzelement mit Beschwerung, sowie einem Brettsperrholz-Kastenelement aus [1]

5.7 Einfluss der Messrichtung

Die Gründachaufbauten wurden als Außenbauteile, zum Schutz des Bewohners vor dem vorhandenen Außenlärmpegel geprüft. Die Messungen erfolgten, wie in Abschnitt 3.1 beschrieben, im Deckenprüfstand von Außen nach Unten (Außen nach Innen). Zum Vergleich wurde die Messrichtung bei einem Aufbau zusätzlich von innen nach außen durchgeführt. Wie Abbildung 16 zeigt, führt dies entgegen dem üblicherweise vorausgesetzten Reziprozitätsprinzip, zu besseren Ergebnissen. Dies kann unter anderem an dem stark unsymmetrischen Aufbau des Daches liegen. Die teilweise Parallelverschiebung der Messkurven spricht dafür, dass die Beschwerung durch das Substrat eine bessere Wirkung zeigt, wenn sie auf der Empfangsraumseite erfolgt. Für die Anwendung in der Praxis bedeutet dies, dass der Planungswert des Dachaufbaus für Fragestellungen des Emissionsschutzes eher auf der sicheren Seite liegt.

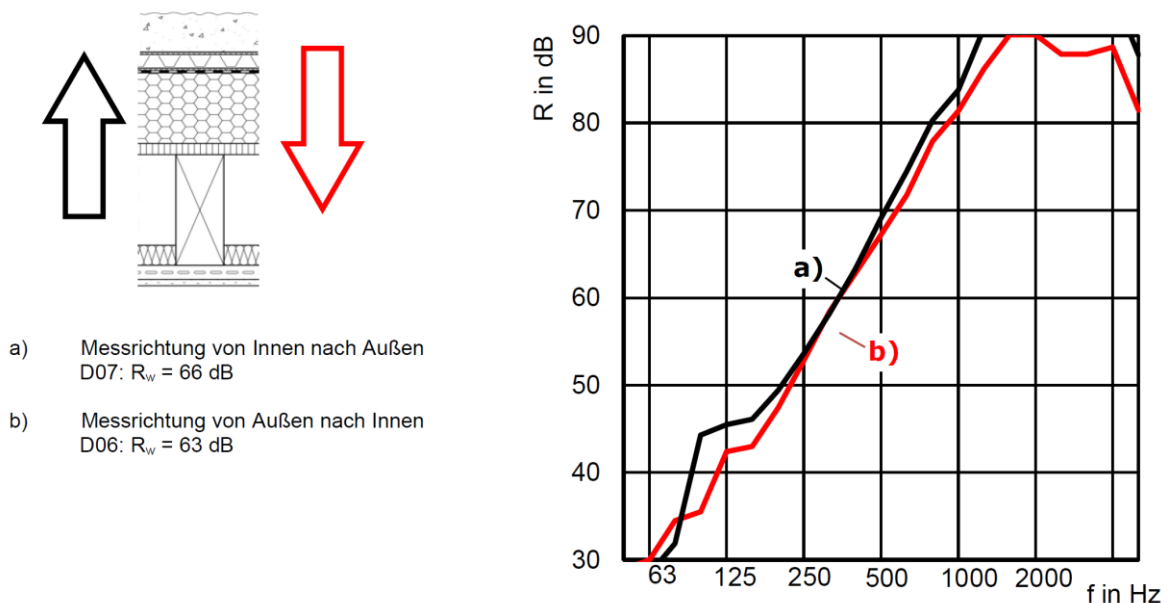


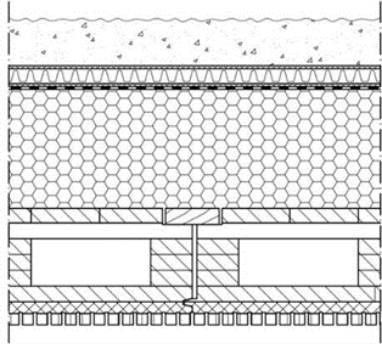
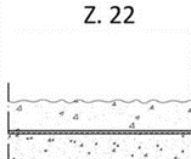
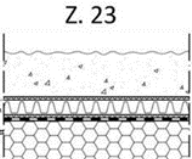
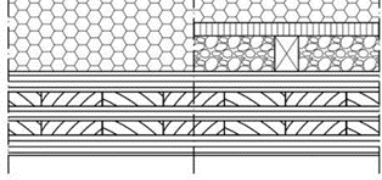
Abbildung 16 Einfluss der Messrichtung auf die Schalldämmung des Gründachaufbaus

6 Planungsdaten

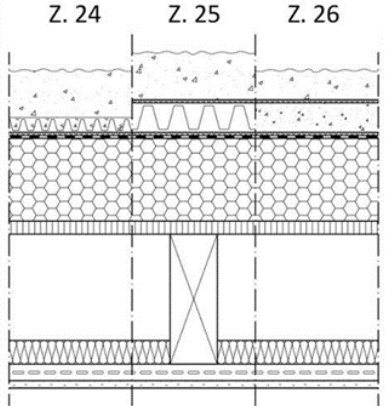
6.1 Bauteilkatalog

Die Ergebnisse der geprüften Gründachaufbauten wurden mit den Ergebnissen des Flachdachprojektes [1] und den bisherigen Planungsdaten für Steil- und Flachdächer in DIN 4109-33 zusammengeführt und dem Normungsausschuss für die aktuelle Überarbeitung von Teil 33 zur Verfügung gestellt [16]. Die darin enthaltenen Gründachaufbauten sind in Tabelle 6 und im Anhang D gelistet. Dort befinden sich auch die Ergänzungsvorschläge für die Material- und Abkürzungstabellen.

Tabelle 6 Auszug aus dem Entwurf für den Bauteilkatalog der DIN 4109-33 [16]

Sp.	1	2	3	4
Z.	Bauteil	Grundbauteil d in mm	Aufbau d in mm	R_w ($C; C_{tr}$) ($C_{50-5000}$; $C_{tr,50-5000}$) in dB
Flachdächer mit extensiver Dachbegrünung				
21		≥ 200 EPS 035 DAA dh ≥ 196 Ligno Block Q3 Akustik, $m' \geq 63 \text{ kg/m}^2$	80 Mineralischer Schüttstoff, $m' \geq 97 \text{ kg/m}^2$ 0,6 Filtervlies 25 Dränelement POF 5 Fasermatte als Schutzlage 1,5 Dachbahn	39 ^a (0; -3) (1; -3)
22	Z. 22  Z. 23 	140 PU DAA dh 140 Brettsperr-, Brettschichtholz bzw. Brettstapelelement, $m' \geq 63 \text{ kg/m}^2$	50 Mineralischer Schüttstoff, $m' \geq 58 \text{ kg/m}^2$ 1 Filtervlies 50 Mineraldränage $m' \geq 64 \text{ kg/m}^2$ 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	55 ^e (-4; -9) (-3; -10)
23		140 PU DAA dh 22 Holzwerkstoffplatte HW 60 Riesel, dazwischen Holzlatten 40/60 zur Lagesicherung, $e \geq 750 \text{ mm}$, $m'_{\text{ges}} \geq 75 \text{ kg/m}^2$ 140 Brettsperr-, Brettschichtholz bzw. Brettstapelelement, $m' \geq 63 \text{ kg/m}^2$	80 Mineralischer Schüttstoff, $m' \geq 74 \text{ kg/m}^2$ 1 Filtervlies 20 Dränelement HDPE 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	59 ^e (-2; -7) (-2; -10)

Fortsetzung Tabelle 6:

24		≥ 140 PU DAA dh ≥ 22 Holzwerkstoffplatte HW ≥ 220 Balken 80/220, $e \geq 625$ mm ≥ 40 Faserdämmstoff FD 28 Federschienen, $e \geq 500$ mm 12,5 GKF	80 Mineralischer Schüttstoff 20 Dränelement HDPE, verfüllt mit Schüttstoff, $m'_{\text{ges}} \geq 81 \text{ kg/m}^2$ (inkl. 80 mm Schüttung) 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	64 ^e (-3; -10) (-4; -16)
25			80 Mineralischer Schüttstoff, $m' \geq 74 \text{ kg/m}^2$ 1 Filtervlies 50 Dränelement EPS 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	65 ^e (-5; -12) (-8; -20)
26			50 Mineralischer Schüttstoff, $m' \geq 58 \text{ kg/m}^2$ 1 Filtervlies 50 Mineraldränage, $m' \geq 64 \text{ kg/m}^2$ 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	70 ^e (-5; -12) (-8; -20)

Hinweis: Das in Tabelle 6 angegebene Hochzeichen a verweist auf [1], während e auf den vorliegenden Forschungsbericht verweist.

6.2 Konstruktionsvarianten

Zur Beurteilung von Konstruktionsvarianten verschiedener Gründachaufbauten auf Massivholzelementen und Balkenlagen wurden die von der begleitenden Arbeitsgruppe festgelegten Aufbauten nach dem in Abschnitt 2.2 beschriebenen Verfahren prognostiziert.

Bei den Aufbauvarianten wurden folgende Einflüsse der Bauteilschichten berücksichtigt:

- Zusätzliche Unterdecke unter einem Massivholzelement
- Zusätzliche Beschwerung auf bzw. in einem Massivholzelement
- Austausch der Federschiene durch eine Lattung bei der Balkenlage

Die frequenzabhängigen Einflüsse dieser Maßnahmen auf die Schalldämmung des Bauteils werden in Abbildung 17 gezeigt. Lagen unterschiedliche Werte für die Verbesserung einer Bauteilschicht vor, so wurden die Varianten berechnet und der Mittelwert ermittelt. Die angegebene Prognoseunsicherheit von ± 3 dB berücksichtigt die zu erwartende Streuung der so ermittelten Ergebnisse.

Die nach Abschnitt 2.2 berechneten Aufbauvarianten können Tabelle 7 entnommen werden. Es handelt sich dabei um nicht nachweisfähige Planungsdaten.

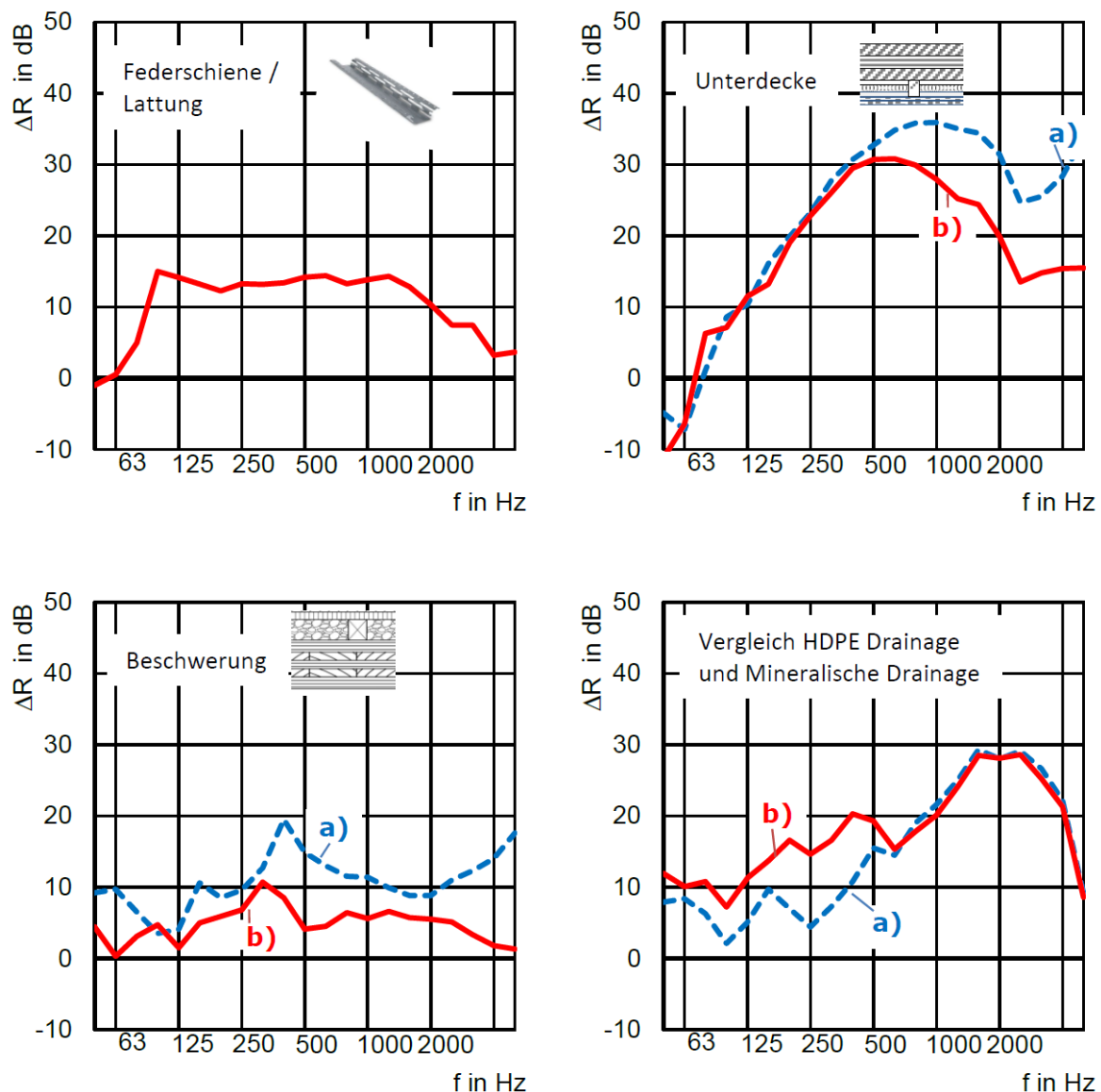


Abbildung 17 Verbesserung der Luftschalldämmung durch Zusatzmaßnahmen.

Links oben: Austausch der Lattung gegenüber einer Federschiene als Unterdeckenabhängung bei Balkendecken [15].

Rechts oben: Einsatz einer abgehängten Unterdecke unter einem Massivholzelement [1] (Aufbau siehe Tabelle 7).

a) Verbesserung beim Grundlelement.

b) Verbesserung beim vollständigen Dachaufbau.

Links unten: Verbesserung der Luftschalldämmung durch Beschwerungen.

a) Verbesserung durch 75 kg/m² Kies zwischen Lagerhölzern auf einem CLT-Element.

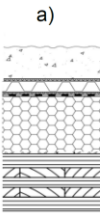
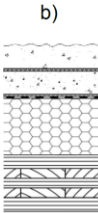
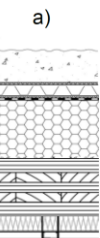
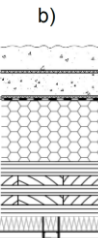
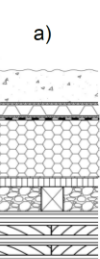
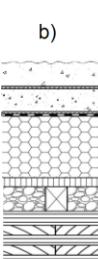
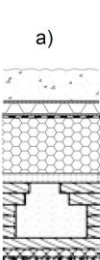
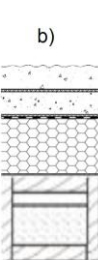
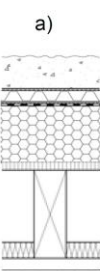
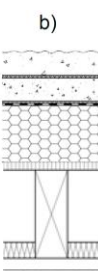
b) Verbesserung durch 50 kg/m² Splitt in einem Kastenelement.

Rechts unten: Verbesserung durch Gründachaufbau auf Balkenlage.

a) Gründachaufbau mit 20 mm HDPE Drainage (Aufbau siehe Tabelle 7)

b) Gründachaufbau mit Mineralischer Drainage (Aufbau siehe Tabelle 7)

Tabelle 7 Prognosewerte für die Konstruktionsvarianten der Gründachaufbauten

Zeile	Bauteil	Dicke d in mm	Grundbauteil	Dicke d in mm	Aufbau	Bewertetes Schalldämm-Maß
1	 	4 ≥ 140 ≥ 140	4 Faserschutzmatte 2 Dachbahn PIR Hartschaumdämmplatte Massivholzelement ³⁾	a) 80 20 b) 50 50	Substrat, $m' = 74 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Dränelement ²⁾ Substrat, $m' = 58 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Mineraldrainage, $m' = 64 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 43 \pm 3 \text{ dB}$ $R_w = 55 \text{ dB}$ (Messwert)
2	 	4 ≥ 140 ≥ 140 90 2 × 12,5	4 Faserschutzmatte 2 Dachbahn PIR Hartschaumdämmplatte Massivholzelement ³⁾ Abhänger ¹⁾ + CD-Profil, $e = 500 \text{ mm}$ mit 60 mm Faserdämmstoff Gipskartonfeuerschutzplatten	a) 80 20 b) 50 50	Substrat, $m' = 74 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Dränelement ²⁾ Substrat, $m' = 58 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Mineraldrainage, $m' = 64 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 64 \pm 3 \text{ dB}$ $R_w = 69 \pm 3 \text{ dB}$
3	 	4 ≥ 140 22 60 ≥ 140	4 Faserschutzmatte 2 Dachbahn PIR Hartschaumdämmplatte OSB Kies (Riesel), $m' = 75 \text{ kg/m}^2$ Massivholzelement ³⁾	a) 80 20 b) 50 50	Substrat, $m' = 74 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Dränelement ²⁾ Substrat, $m' = 58 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Mineraldrainage, $m' = 64 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 59 \text{ dB}$ (Messwert) $R_w = 63 \pm 3 \text{ dB}$
4	 	4 ≥ 140 22 ≥ 200	4 Faserschutzmatte 2 Dachbahn PIR Hartschaumdämmplatte OSB Platte Massivholz Rippen- oder Kastenelement mit Splitt- füllung, $m'_{\text{Splitt}} \geq 75 \text{ kg/m}^2$	a) 80 20 b) 50 50	Substrat, $m' = 74 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Dränelement ²⁾ Substrat, $m' = 58 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Mineraldrainage, $m' = 64 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 50 \pm 3 \text{ dB}$ $R_w = 60 \pm 3 \text{ dB}$
5	 	4 ≥ 140 22 ≥ 220 24 12,5	4 Faserschutzmatte 2 Dachbahn PIR Hartschaumdämmplatte OSB Platte Balken 80/220, $e = 625 \text{ mm}$ mit 40 mm MW-Dämmung Lattung, $e = 500 \text{ mm}$ Gipskartonfeuerschutzplatte	a) 80 20 b) 50 50	Substrat, $m' = 74 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Dränelement ²⁾ Substrat, $m' = 58 \text{ kg/m}^2$ Filtervlies Mineraldrainage, $m' = 64 \text{ kg/m}^2$	$R_w = 49 \pm 3 \text{ dB}$ $R_w = 56 \pm 3 \text{ dB}$

¹⁾ Abhänger, schallentkoppelt, Raster 750 mm x 500 mm, Eigenfrequenz $f_0 \leq 30 \text{ Hz}$
²⁾ Drainageelemente aus tiefgezogenem Kunststoff

³⁾ Brettsperrholz-, Brettstapel- oder Brettschichtholzelement

7 Zusammenfassung

Der zunehmende Anteil an Mehrgeschossen in Holzbauweise und leichten Aufstockungen im urbanen Bereich fordert Planungswerte für die eingesetzten Bauteile. Insbesondere für die dort häufig verwendeten Flachdächer und leichtgeneigten Dächer lagen bislang kaum Planungsdaten vor. Im Rahmen des Forschungsvorhabens "Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise–Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen" [1] wurden Planungsunterlagen für verschiedene Konstruktionsvarianten von Flachdächern, Dachterrassen und leicht geneigten Dächern für diese Einsatzbereiche erarbeitet und für die Überarbeitung des Bauteilkatalogs der DIN 4109-33 zur Verfügung gestellt.

Überraschende Ergebnisse boten bei diesen Untersuchungen Gründachaufbauten mit Dränelementen und Speicherschutzmatten. Erste Ergebnisse zeigten deutliche Reduzierungen der Schalldämmung durch diese Bauteilschichten, die noch genauer zu untersuchen waren. Im vorliegenden Folgeprojekt lag der Fokus der Untersuchungen deshalb auf der schalltechnischen Wirksamkeit der einzelnen Bauteilschichten in Gründachaufbauten. Auf den Erkenntnissen aufbauend, sollten durch geeignete Kombinationen der Bauteilschichten Planungsdaten für den Bauteilkatalog erarbeitet werden.

Von einem Referenzaufbau ohne Drain-, Speicher- und Schutzebene ausgehend, wurde hierzu zunächst die Veränderung der Schalldämmung durch den Einbau der Drainageebene und der Schutzlage (Faservlies) ermittelt. Die Ergebnisse zeigten eine eindeutige Reduzierung der Schalldämmung durch den Einbau der genannten Bauteilschichten.

Zur Variation der Schutzlage wurden zwei unterschiedliche Faservliese und eine Gummi-granulatmatte untersucht. Die Ergebnisse zeigten keine nennenswerten Unterschiede. Die Variation der Drainageebene ergab hingegen einen deutlicheren Einfluss. Hier wurden Drainageelemente aus tiefgezogenem Kunststoff (HDPE oder PS), Elemente aus EPS und eine mineralische Drainage verglichen. Die mineralische Drainage war gleichwertig zum Referenzaufbau und damit deutlich besser als die HDPE, PS und EPS Drainageelemente.

Durch das zusätzliche Befüllen der HDPE- und PS-Drainageelemente mit Substrat konnte auf Grund der Masseerhöhung eine Verbesserung von 1 bis 3 dB erreicht werden.

Für die Gründachaufbauten auf Balkenlagen mit entkoppelten Unterdecken konnten auf Basis der geprüften Aufbauten Planungsdaten mit bewerteten Schalldämm-Maßen zwischen 64 dB und 70 dB zusammengestellt werden, die auch für den Einsatz im innerstädtischen Bereich mit höheren Außenlärmpegeln geeignet sind.

Für Gründachaufbauten mit Massivholzelementen kann der Gründachaufbau mit mineralischer Drainageebene empfohlen werden. Für Drainageebenen aus tiefgezo- genem Kunststoff bietet sich eine zusätzliche Beschwerung des Dachelementes an, die sich auch positiv auf die Flankendämmung des Dachelementes bei Trennwänden im Dachgeschoss auswirkt. Gleiches kann durch eine entkoppelte Unterdecke erreicht werden, wie die Berechnungen der Konstruktionsvarianten in 6.2 zeigten.

8 Literaturverzeichnis

- [1] Châteaueux-Hellwig C., Bacher, S., Rabold, A., Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise – Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen, Forschungsprojekt ift Rosenheim, 2019
- [2] DIN 4109-1:2018-01 Schallschutz im Hochbau
Teil 1: Mindestanforderungen
Teil 2: Rechnerische Nachweise der Erfüllung der Anforderungen
DIN 4109-33:2016-07 Schallschutz im Hochbau
Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau
- [3] DIN EN ISO 10140-1:2016, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte, Dezember 2016
und
DIN EN ISO 10140-1:2021, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 1: Anwendungsregeln für bestimmte Produkte, September 2021
- [4] DIN EN ISO 10140-2:2010, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung, Dezember 2010
und
DIN EN ISO 10140-2:2021, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 2: Messung der Luftschalldämmung, September 2021
- [5] DIN EN ISO 10140-5:2010 + A1:2014, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen, September 2014
und
DIN EN ISO 10140-5:2021, Akustik – Messung der Schalldämmung von Bauteilen im Prüfstand – Teil 5: Anforderungen an Prüfstände und Prüfeinrichtungen, September 2021
- [6] DIN EN ISO 717-1:2013, Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung, Juni 2013
und
DIN EN ISO 717-1:2021, Akustik – Bewertung der Schalldämmung in Gebäuden und von Bauteilen – Teil 1: Luftschalldämmung, Mai 2021
- [7] DIN EN 29052-1:1992, Bestimmung der dynamischen Steifigkeit – Teil 1: Materialien, die unter schwimmenden Estrichen in Wohngebäuden verwendet werden, August 1992
- [8] DIN EN ISO 9053-1:2019, Akustik – Bestimmung des Strömungswiderstandes – Teil 1: Verfahren mit statischer Luftströmung, März 2019
- [9] Rabold, A., Mecking, S., Huber, A., Kohrmann, M., „Mehr als nur Dämmung – Zusatznutzen von Dämmstoffen aus nachwachsenden Rohstoffen“, Teilbereich Bauakustik, Forschungsprojekt Technische Hochschule Rosenheim, in Bearbeitung
- [10] Mann, G., Gohlke, R., Wolff, F., „BuGG-Marktreport Gebäudegrün 2020 – Dach-, Fassaden- und Innenraumbegrünung – Deutschland“, Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG), 2020

- [11] Bundesverband GebäudeGrün e.V. (BuGG), „Begriffserklärungen“, [Online]
<https://www.gebaeudegruen.info/gruen/begriffserklaerung>; [Zitat vom: 15.12.2021.]
- [12] DIN 18531-1:2017, Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 1: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Anforderungen, Planungs- und Ausführungsgrundsätze, Juli 2017
- [13] DIN 18531-2:2017, Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 3: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Stoffes, Juli 2017
- [14] DIN 18531-3:2017, Abdichtung von Dächern sowie von Balkonen, Loggien und Laubengängen – Teil 3: Nicht genutzte und genutzte Dächer – Auswahl, Ausführung und Details, Juli 2017
- [15] Holtz, F., Rabold, A., Hessinger, J., Bacher, S., Ergänzende Deckenmessungen zum laufenden Vorhaben: Integration des Holz- und Skelettbaus in die neue DIN 4109, Forschungsbericht ift Rosenheim, 2005
- [16] Mooser, B., Untersuchung und Zusammenstellung schalltechnischer Kenndaten verschiedener Dachkonstruktionen – Materialprüfung, Bauteilprüfung und Bauteilkatalog, Bachelor Thesis TH Rosenheim, 2021

9 Danksagung

Das diesem Forschungsbericht zugrundeliegende Vorhaben wurde dankenswerter Weise mit Mitteln des Innovationsprogramms Zukunft Bau des Bundesinstitutes für Bau-, Stadt- und Raumforschung gefördert (Aktenzeichen: SWD-10.08.18.7-20.52). Das Forschungsprojekt wurde durch eine projektbegleitende Arbeitsgruppe aus Beratern und Industriepartnern betreut, die das gesamte Projekt sowohl ideell als auch finanziell unterstützten und somit maßgeblich zum Gelingen beitrugen. Den Mitgliedern der Arbeitsgruppe gilt besonderer Dank:

	Innovationsprogramm Zukunft Bau Dr. Brüggemann, Michael
	Bundesverband Deutscher Fertigbau e.V. Lange, Georg Müller, Martin
	Deutscher Holzfertigbau Verband e.V. Schäfer, Wolfgang Trefz, Micha
	Holzbau Deutschland Niedermeyer, Johannes Broßat, Maxi
	Alwitra Löcherbach, Josef Deckert, Christian
	Bauder Krüger, Holger

	Stora Enso WP Bad St. Leonhard GmbH Kumer, Nico
Leben auf dem Dach 	ZinCo GmbH Appl, Roland Walker, Ralf