

*Prof. Dr. Andreas Rabold, Technische Hochschule Rosenheim
Sandra Heinrichsberger und Stefan Bacher, ift Rosenheim*

Grünes Licht für Flachdächer

Bauakustische Untersuchungen und Planungsdaten für anspruchsvolle Ausführungen

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.

Um sichere Planungsunterlagen zu erhalten, wurden im Rahmen eines Forschungsprojektes am ift Rosenheim verschiedene Konstruktionsvarianten von Flachdächern, Dachterrassen und leicht geneigten Dächern untersucht. Die bauakustische Prüfung ergab für den Großteil der untersuchten Aufbauten erfreulich gute Werte und Planungsdaten für die Luft- und Trittschalldämmung, die nun in die Überarbeitung des Bauteilkatalogs der DIN 4109-33 einfließen.



Bild 1 Gründachaufbau
(Quelle: © janet de graaf – stock.adobe.com)

Überraschende Ergebnisse boten hingegen Gründachaufbauten, deren Schalldämmung deutlich hinter vergleichbaren Dächern mit Kiesdachaufbau zurückblieb. In einem aktuellen Projekt [Heinrichsberger 2022] lag der Fokus der Untersuchungen deshalb auf der schalltechnischen Wirksamkeit der einzelnen Bauteilschichten von Gründachaufbauten. Auf den Erkenntnissen aufbauend, wurden nun auch für Gründachaufbauten geeignete Planungsdaten für den Bauteilkatalog erarbeitet.

1 Bauakustische Untersuchungen

Gründachaufbauten unterscheiden sich von Kiesdächern, neben dem Substrat und der Begrünung, in der Ausführung der Drainage-, Speicher- und Schutzebene. Da erste Vergleiche in [Châteauvieux-Hellwig 2019] zeigten, dass diese Zusatzschichten einen negativen Einfluss auf die Schalldämmung haben können, sollten sie gezielt untersucht werden. Zusammen mit den weiteren Bauteilschichten ergaben sich folgende Einflussgrößen:

- Einfluss des Gründachsubstrats im Vergleich zum Kies
- Einfluss der Drainageebene und der Schutzlage
- Einfluss des Dachelementes (Balkenlage oder Massivholzelement)

Neben diesen konstruktiven Einflüssen wurden auch der Einfluss des Feuchtegehaltes im Substrat und die Messrichtung (Schalldämmung nach innen oder Emission nach außen) untersucht.

Die Untersuchungen wurden an praxisnahen Dachaufbauten durchgeführt, um die Einflussgrößen auf die Schalldämmung beschreiben und Planungsunterlagen gut geeigneter Konstruktionen zur Verfügung stellen zu können.

Der Vergleich zwischen Gründach-Substrat und Kies diente auch als Referenzmessung. Die Messung wurde hierzu ohne Drainage- und Schutzlage durchgeführt, um in den darauffolgenden Messungen den Einfluss dieser Schichten gegenüber dem (nicht praxistauglichen) Referenzaufbau darstellen zu können.

2 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 Bild 2). 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).

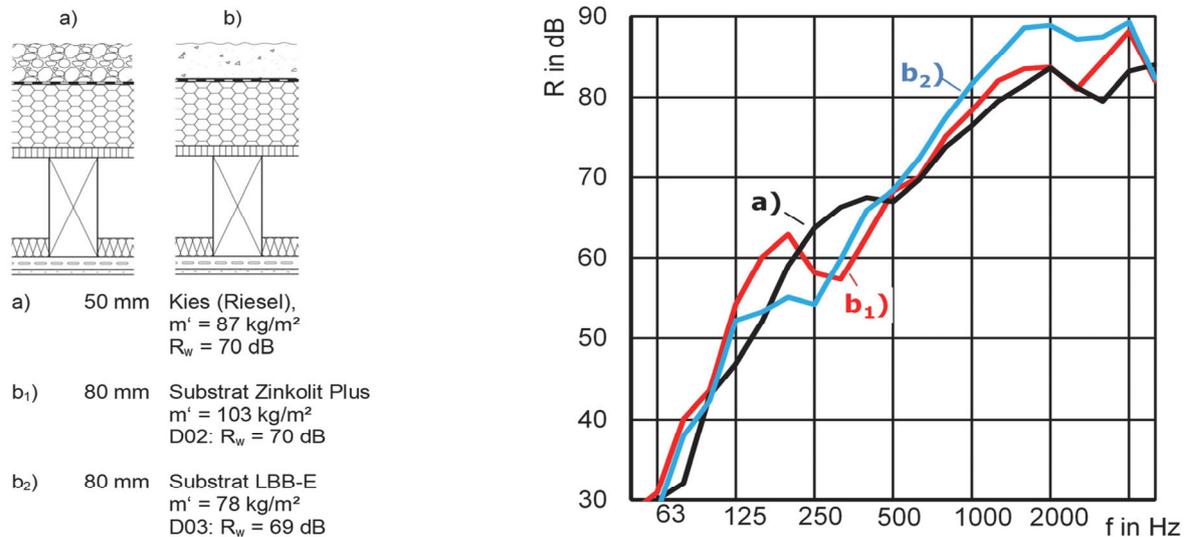


Bild 2 Vergleich zwischen Kies (Riesel) und Gründach-Substrat auf: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF. Referenzaufbau ohne Drainageebene

3 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. Bild 3 zeigt im Vergleich zum Referenzaufbau (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.

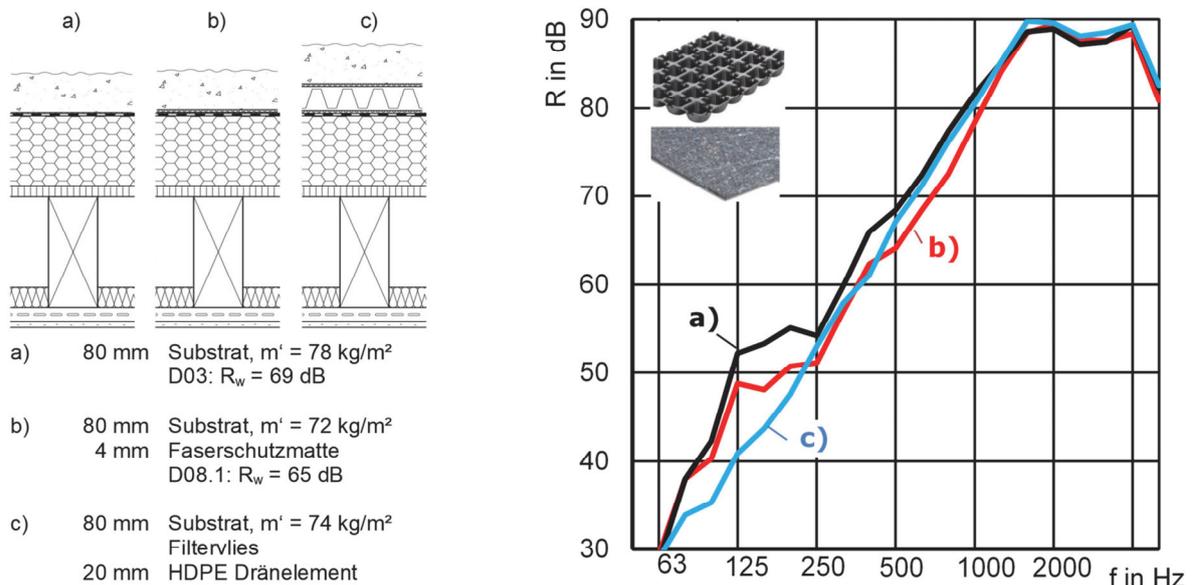
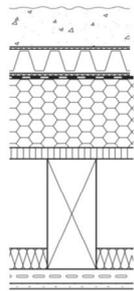


Bild 3 Einfluss der Schutzlage und der Drainage unterhalb des Gründach-Substrats. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

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. Als Grundelement wurde hierzu neben der Balkenlage mit abgehängter Unterdecke ($R_w = 55$ dB) ein Massivholzelement ($R_w = 38$ dB) verwendet. Während bei der hier untersuchten Balkenlage lediglich 6 bis 7 dB Reduzierung des bewerteten Schalldämm-Maßes auftraten, betrug die Reduzierung bei dem Massivholzelement in [Châteauvieux-Hellwig 2019] bis zu 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 Bild 4, 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 3, 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
1,6 mm Faservlies
D09: $R_w = 66 \text{ dB}$

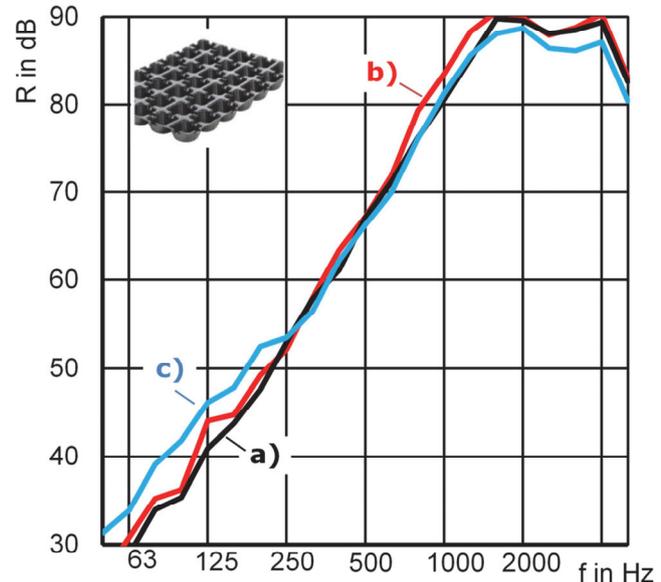


Bild 4 Vergleich der Drainageelemente aus tiefgezogenem Kunststoff mit Filtervliesabdeckung gegenüber substratgefüllten Drainageelementen unterschiedlicher Höhe. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

4 Variation der Schutzlage

Eine Variation der als Schutzlage zur Verfügung stehenden Materialien sollte das Optimierungspotenzial durch eine geeignete Materialwahl aufzeigen. Hierzu wurden bauübliche Materialien als Schutzlage zunächst in Bezug auf ihre dynamische Steifigkeit und Materialdämpfung untersucht. Tabelle 1 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 , der Dämpfungsgrad D zwischen 0,05 und 0,12.

Für die Luftschallmessung 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 Bild 5 gezeigt. Die Messergebnisse der Schalldämm-Maße sind nahezu deckungsgleich. Eine Variation der Schutzlage scheint somit keinen wesentlichen Einfluss auf die Schalldämmung zu haben.

Tabelle 1 Materialkennwerte der Schutzlagen

Produkt-bezeichnung	Nenndicke in mm	Strömungs-widerstand r 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

- a) 80 mm Substrat, m' = 74 kg/m²
Filtervlies
20 mm HDPE Dränelement
4 mm Faserschutzmatte
D04: R_w = 63 dB
- b) 80 mm Substrat, m' = 74 kg/m²
Filtervlies
20 mm HDPE Dränelement
1,6 mm Faservlies (Systemfilter)
D05: R_w = 62 dB
- c) 80 mm Substrat, m' = 74 kg/m²
Filtervlies
20 mm HDPE Dränelement
6 mm Gummigranulat-Schutzmatte
D06: R_w = 63 dB

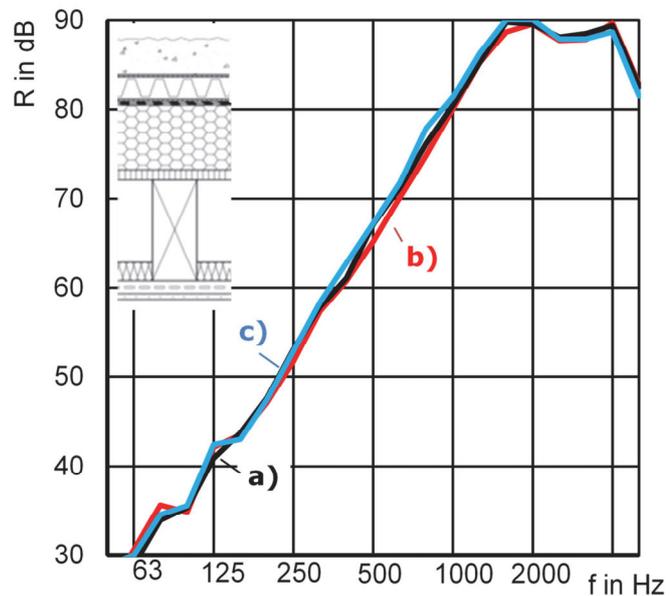


Bild 5 Vergleich verschiedener Schutzlagen unterhalb der HDPE-Drainageelemente. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

5 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 wurden eine EPS-Drainage und eine mineralische Schüttung als Drainageebene

geprüft. Wie Bild 6 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.

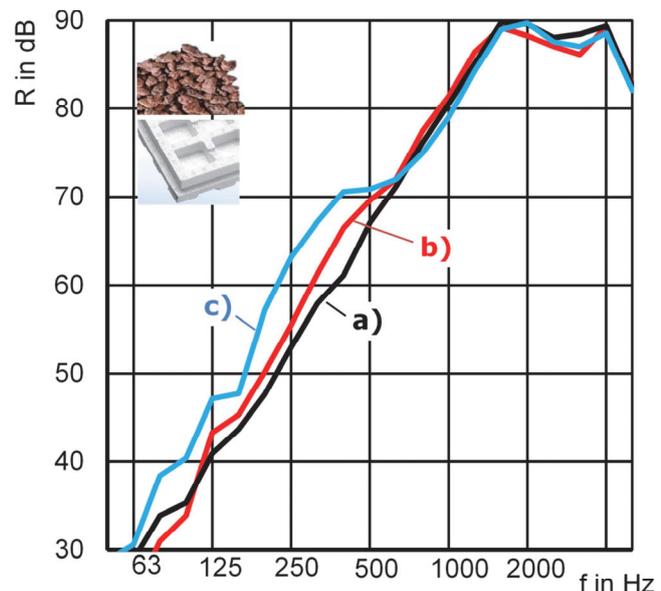
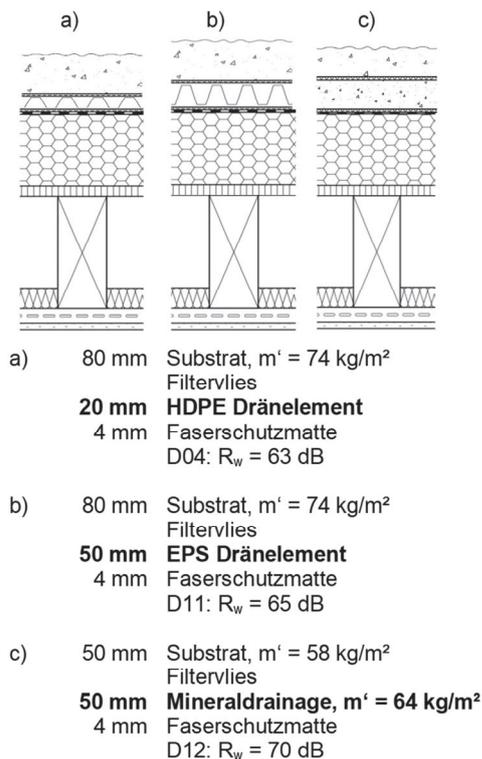


Bild 6 Variation der Drainageebene. Weiterer Aufbau: Dachbahn, 140 mm Hartschaum-Dämmplatten, Holzwerkstoffplatte, 220 mm Balkenlage mit 40 mm Faserdämmstoff, Federschiene, 12,5 mm GKF

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 Brettsperrholz. 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 (siehe Bild 7). Beide Konstruktionen werden um ca. 15 dB verbessert.

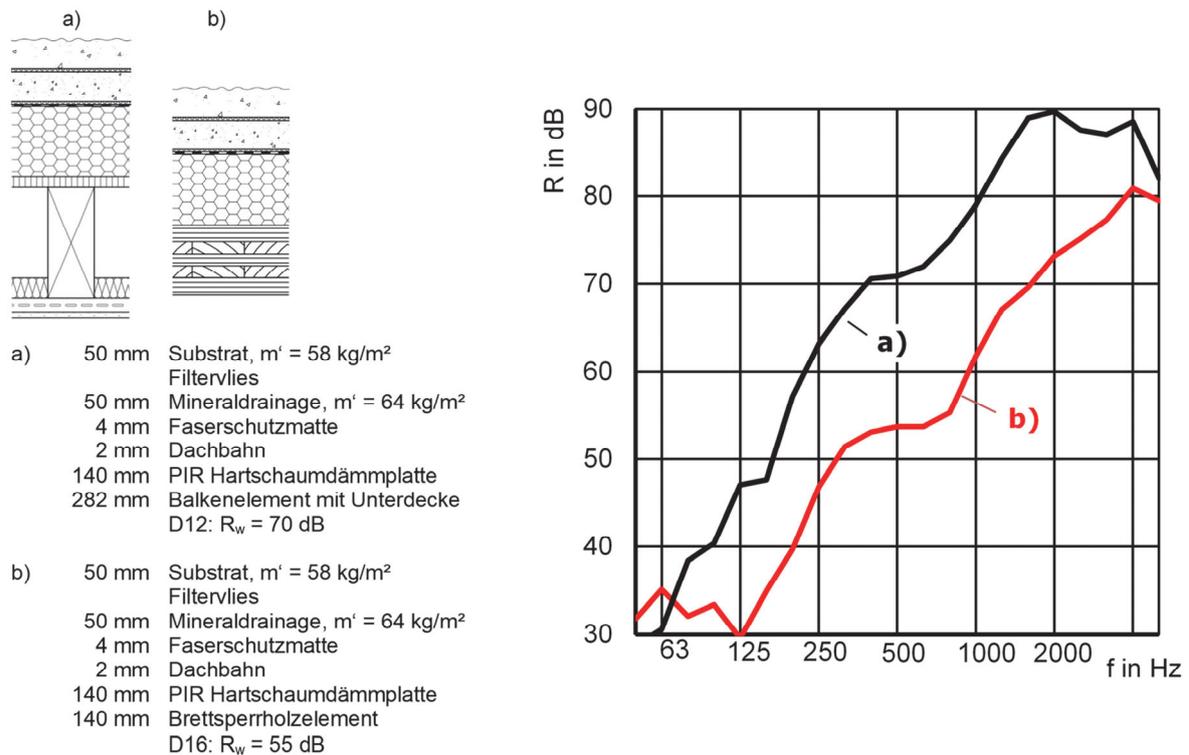


Bild 7 Gründachaufbau mit mineralischer Drainageebene auf Balkenelement und Massivholzelement

Ein Vergleich des Gründachaufbaus mit HDPE-Drainageelementen auf den beiden Grundelementen wird in Bild 8 gezeigt. Um das Massivholzelement zu ertüchtigen, wurde eine Beschwerung von 75 kg/m² als Kiesschüttung zwischen Vierkanthölzern aufgebracht. Dadurch werden auch mit diesem Aufbau Planungswerte erreicht, die den Einsatz bei höheren Außenlärmpegeln ermöglichen.

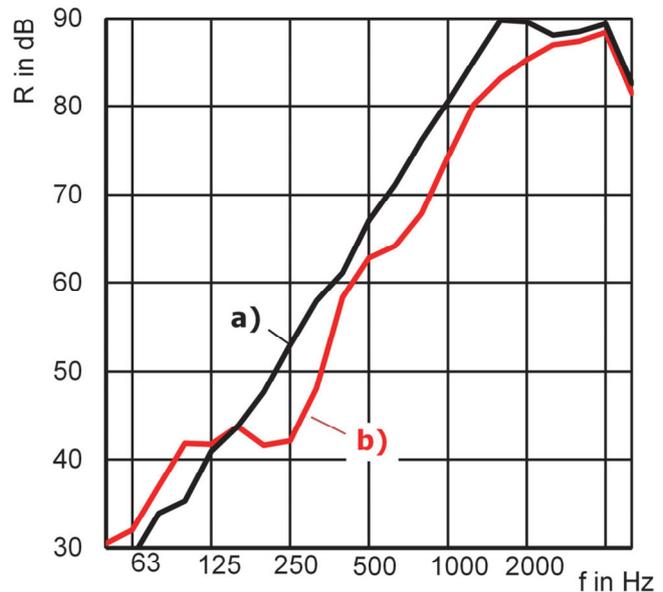
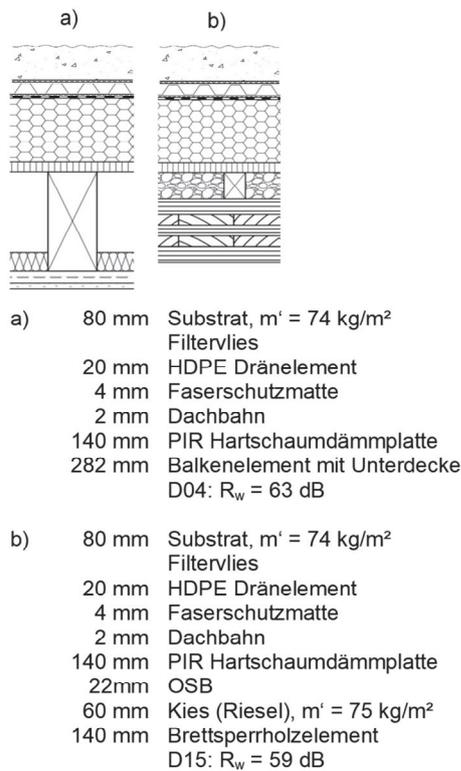


Bild 8 Gründachaufbau mit HDPE-Drainageelementen auf dem Balkenelement und dem Massivholzelement mit Beschwerung

7 Planungsdaten

Die Ergebnisse der geprüften Gründachaufbauten wurden mit den Ergebnissen des Flachdachprojektes 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 [Mooser 2021]. Die darin enthaltenen Gründachaufbauten sind in Tabelle 2 gelistet.

Tabelle 2 Auszug aus dem Entwurf für den Bauteilkatalog der DIN 4109-33

Sp.	1	2	3	4
Z.	Bauteil	Grundbauteil d in mm	Aufbau d in mm	R _w (C; C _r) (C ₅₀₋₅₀₀₀ ; C _{r,50-5000}) in dB
1	Z. 1	140 PU DAA dh 140 Brettsperr-, Brettschichtholz bzw. Brettstapelelement, m' ≥ 63 kg/m ²	50 Mineralischer Schüttstoff, m' ≥ 58 kg/m ² 1 Filtervlies 50 Mineraldränage m' ≥ 64 kg/m ² 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	55 (-4; -9) (-3; -10)
	Z. 2	140 PU DAA dh 22 Holzwerkstoffplatte HW 60 Riesel, dazwischen Holzlatten 40/60 zur Lagesicherung, e ≥ 750 mm, m' ges ≥ 75 kg/m ² Brettsperr-, Brettschichtholz bzw. Brettstapelelement, 140 m' ≥ 63 kg/m ²	80 Mineralischer Schüttstoff, m' ≥ 74 kg/m ² 1 Filtervlies 20 Dränelement HDPE 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	59 (-2; -7) (-2; -10)
3	Z. 3	≥ 140 PU DAA dh ≥ 22 Holzwerkstoffplatte HW ≥ 220 Balken 80/220, e ≥ 625 mm ≥ 40 Faserdämmstoff 28 Federschielen, e ≥ 500 mm 12,5 GKF	80 Mineralischer Schüttstoff 20 Dränelement HDPE, verfüllt mit Schüttstoff, m' ges ≥ 81 kg/m ² (inkl. 80 mm Schüttung) 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	64 (-3; -10) (-4; -16)
	Z. 4		80 Mineralischer Schüttstoff, m' ≥ 74 kg/m ² 1 Filtervlies 50 Dränelement EPS 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	65 (-5; -12) (-8; -20)
	Z. 5		50 Mineralischer Schüttstoff, m' ≥ 58 kg/m ² 1 Filtervlies 50 Mineraldränage, m' ≥ 64 kg/m ² 4 Fasermatte als Schutzlage 2 Dachbahn	70 (-5; -12) (-8; -20)

8 Zusammenfassung

Der Fokus der bauakustischen Untersuchungen im vorgestellten Projekt lag auf dem Einfluss der einzelnen Bauteilschichten in einem Gründachaufbau. Von einem Referenzaufbau ohne Drain-, Speicher- und Schutzebene ausgehend, wurde hierzu zunächst die Veränderung der Schalldämmung durch den Einbau der Drainageebene und der Schutzlage (Fasermatte) 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.

Eine Durchfeuchtung des Gründachaufbaus zeigte bei den Vergleichsmessungen im Projekt keinen Einfluss.

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 tiefgezogenem 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 Berechnungen in [Heinrichsberger 2022] zeigten.

INFOKASTEN

Der **längenbezogene Strömungswiderstand r** wird als Maß für die bauakustische Eignung eines Dämmstoffes verwendet. Ist der Strömungswiderstand zu gering, so wird der Dämmstoff von der Schallwechseldruckwelle nahezu ungehindert durchdrungen. Bei einem zu hohen Strömungswiderstand ist die Durchdringung zu gering. Im optimalen Bereich (i.d.R. für $5 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2 \leq r \leq 100 \text{ kPa} \cdot \text{s/m}^2$) wirkt der Dämmstoff durch Reibung der Schallwechseldruckwelle an den Porenoberflächen und Reibung zwischen den Fasern.

Die **dynamische Steifigkeit s'** gibt die Federsteifigkeit eines Materials bei dynamischer Belastung an. s' wird flächenbezogen in MN/m^3 (MN/m pro m^2) angegeben. Geringe dynamische Steifigkeiten verschieben die Masse-Feder-Masse Resonanz, ab der zwei Bauteilschichten ein entkoppeltes Schwingverhalten zeigen, zu tiefen Frequenzen. Sehr weiche Trittschalldämmplatten beginnen ab $s' = 6 \text{ MN/m}^3$

Der **Dämpfungsgrad D** beeinflusst maßgeblich die Schwingungsamplituden bei der Resonanz. Ist der Dämpfungsgrad D groß, so fällt der Resonanzeinbruch der Schalldämmung einer zwei- oder mehrschaligen Konstruktion geringer und damit weniger störend aus.

Dämpfungsgrade üblicher Bauteile liegen bei $D = 0,005$ bis $0,01$. Dämpfungsgrade von Dämmstoffen und Schüttungen können deutlich höher ausfallen und damit z.T. maßgeblich zur Bedämpfung des Bauteils beitragen.

9 Literaturverweise

[Châteauvieux-Hellwig 2019] Châteauvieux-Hellwig C., Bacher, S., Rabold, A., Schallschutz von Flachdächern in Holzbauweise – Luft- und Trittschalldämmung von Flachdächern und Dachterrassen, Forschungsprojekt ift Rosenheim, 2019

[Heinrichsberger 2022] Heinrichsberger, S., Bacher, S., Mooser, B., Rabold, A., Einfluss der Bauteilschichten eines Gründaches auf die Luftschalldämmung der Dachkonstruktion – Erarbeitung von zusätzlichen Erkenntnissen zur Erweiterung des Bauteilkataloges in DIN 4109-33, Forschungsprojekt ift Rosenheim, 2022

[Mooser 2021] Mooser, B., Untersuchung und Zusammenstellung schalltechnischer Kenndaten verschiedener Dachkonstruktionen – Materialprüfung, Bauteilprüfung und Bauteilkatalog, Bachelor Thesis TH Rosenheim, 2021

Autor



Prof. Dr.-Ing. Andreas Rabold war von 1996 bis 2014 während und nach seinem Holztechnik-Studium und der Promotion im Bauingenieurwesen als Prüfingenieur, Produktioningenieur und Prüfstellenleiter am ift Rosenheim tätig. Seit 2014 lehrt er hauptberuflich an der Technischen Hochschule Rosenheim im Bereich Bauphysik und Bauinformatik. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in der Bauakustik für den Holzbau.