

Empfehlungen und Standarddetails für die energetische Sanierung von geneigten Dächern





Editorial

Im Auftrag des Bundesverbandes der Deutschen Ziegelindustrie e.V. hat das Forschungsinstitut für Wärmeschutz (FIW) München Ende 2018 eine Studie über „Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050“ erstellt. Als zentrales Ergebnis haben die Autoren festgestellt, dass über 10 Millionen Dächer in Deutschland schlecht bis gar nicht gedämmt sind. Dies entspricht rund 1,5 Milliarden Quadratmetern Dachfläche.

Derzeit liegt die Sanierungsquote im Gebäudebereich insgesamt bei rund 1,0 Prozent. Die bauteilbezogene Dachsanierungsquote liegt mit 1,3 Prozent nur leicht darüber. Derartige Größenordnungen werden aber bei Weitem nicht ausreichen, um den von der Bundesregierung vorgesehenen klimaneutralen Gebäudebestand bis 2050 zu erreichen. Die Klimaschutzziele können aus Sicht der Ziegelindustrie nur durch eine rasche Anhebung der Sanierungsquote auf mindestens 2 Prozent erzielt werden. Hierzu bedarf es attraktiver Förderprogramme und spürbarer Anreize, wie etwa einer steuerlichen Förderung der energetischen Gebäudesanierung. Gerade die Erschließung des energetischen Potenzials von Dachsanierungen kann einen entscheidenden Beitrag zur Erreichung der Klimaschutzziele leisten. Eine Anhebung der Sanierungsquote auf 2 Prozent würde in der Nutzungsphase eine Reduktion um 49 Millionen Tonnen CO₂-Äquivalente bis 2030 und 94 Millionen Tonnen bis 2050 bewirken. Das wäre echter Klimaschutz!

In den folgenden Kapiteln werden technische Möglichkeiten und Wege aufgezeigt, wie die energetische Performance von Steildachkonstruktionen im Bestand grundsätzlich verbessert werden kann. Dabei wird vornehmlich auf die energetische Dachsanierung von außen eingegangen. Außerdem werden Kernaussagen zu den wesentlichen bauphysikalischen Aspekten, die bei der Wahl der Schichtenfolge und des Materials zu beachten sind, formuliert.

Dr. Matthias Frederichs
Hauptgeschäftsführer
Bundesverband der Deutschen
Ziegelindustrie e.V.

Ausgabedatum
10/2019

1	GRUNDLAGEN UND BEWERTUNGSMASSTÄBE.....	5
1.1	Energetische Sanierung.....	5
1.2	Feuchteschutz/Tauwasserschutz.....	9
1.3	Sommerlicher Wärmeschutz.....	11
1.4	Schallschutz gegen Außenlärm.....	12
1.5	Statik.....	13
1.6	Lage der Dämmung im Dachaufbau.....	14
1.7	Verlegung der Luftdichtheitsbahn.....	14
1.8	Mögliche Dämmstoffe.....	15
2	DACHAUFBAUTEN ZUR ENERGETISCHEN SANIERUNG.....	16
2.1	Unsanierter Bestand.....	18
2.2	Var.1 – MiWo-Zwischensparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).....	19
2.3	Var.2 – Hartschaum-Aufsparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).....	20
2.4	Var.3 – Kombination MiWo-Zwischen- und Hartschaum-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).....	21
2.5	Var.4 – Kombination Holzfaser-Zwischen- und Holzfaser-Aufsparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).....	22
2.6	Var.5 – Kombination Holzfaser-Zwischen- und Holzfaser-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).....	23
2.7	Var.6 – Kombination MiWo-Zwischen- und MiWo- Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).....	24
2.8	Var.7 – MiWo-Zwischensparrendämmung (EnEV-Standard, begrenzte Sparrenhöhe).....	25
3	ZUSAMMENFASSUNG UND VARIANTENÜBERSICHT.....	26
4	EMPFEHLUNGEN UND SCHLUSSBETRACHTUNG.....	27
	Quellenverzeichnis.....	31
	Impressum.....	31



1 GRUNDLAGEN UND BEWERTUNGSMASSTÄBE

© Wienerberger GmbH

1.1 Energetische Sanierung

Durch die Dämmung des Daches können Gebäudenutzer nicht nur ihren Heizwärmebedarf und damit ihre Heizkosten erheblich senken, sondern sie sorgen gleichzeitig für den Werterhalt bzw. die Wertsteigerung ihrer Immobilie. Eine effiziente Dachdämmung schließt die Wärme in der Winterperiode im Gebäude ein, in der Sommerperiode aus. Gleichzeitig bewirkt eine sinnvoll gewählte Dachdämmung in den meisten Fällen auch eine Verbesserung des Schallschutzes gegen Außenlärm; ein weiterer Vorteil, der vielen Nutzern nicht bewusst ist.

Im Sanierungsfall, z.B. bei einer Umdeckung des Daches, ist die energetische Modernisierung keine Option, sondern gesetzlich verpflichtend. In der aktuell gültigen Energieeinsparverordnung (EnEV 2016) werden hier klare Vorgaben gemacht. Bei der Ausführung von Änderungen an bestehenden Baukonstruktionen wird die Einhaltung festgelegter U-Werte gemäß EnEV 2016, Anlage 3 gefordert, welche einem aktuellen energetischen Niveau entsprechen. Für geneigte Dachkonstruktionen ist hier ein U-Wert von $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ verankert, welcher nicht überschritten werden darf. Zusätzlich enthält die Anlage 3 Ausnahmeregelungen z.B. bei begrenzter Aufbauhöhe, welche im Einzelfall geltend gemacht werden können (siehe dazu [Kap. 4.8](#)). Durch die Einhaltung eines besseren U-Wertes von mind. $0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ besteht zusätzlich die Möglichkeit einer Förderung durch die Kreditanstalt für Wiederaufbau (KfW). Hier kann durch das KfW-Förderprogramm „Energieeffizient Sanieren“ in Form eines zinsgünstigen Kredits (mit oder ohne Tilgungszuschuss) ein Teil der Mehrkosten kompensiert werden [1]. Wahlweise kann für den Nachweis der Einhaltung der EnEV-Anforderungen für bestehende Gebäude eine energetische

Bilanzierung mit den, in der Verordnung zugrunde gelegten, Berechnungsverfahren durchgeführt werden. Hierbei dürfen die Anforderungswerte der Neben- und Hauptanforderung um nicht mehr als 40 Prozent überschritten werden. Auch für diese Nachweisform besteht die Möglichkeit bei Unterschreitung der gesetzlichen Anforderungen eine KfW-Förderung, z.B. Effizienzhaus 115, zu erhalten und damit einen Teil der Mehrkosten abzudecken.

Die Planung und Durchführung von Maßnahmen der energetischen Gebäudesanierung sollte immer durch einen Fachmann begleitet werden, z.B. einen Energieberater bzw. einen Gebäudeenergieberater der Handwerkskammer (HWK). Die Inanspruchnahme der KfW-Förderung ist heute ohne einen gelisteten Fachplaner für Energieeffizienz nicht mehr möglich. Zudem wird von der KfW die fachgerechte Baubegleitung durch eine weitere Förderung bezuschusst.

So gibt es also für die Förderung einer energetischen Dachsanierung durch die KfW vielfältige Möglichkeiten zu unterschiedlichen Konditionen, welche in [Tabelle 1](#) und [Tabelle 2](#) dargestellt sind. Je nachdem, ob eine Kredit- oder eine Investitionsförderung bei der KfW-Bank in Anspruch genommen wird, unterscheiden sich die Zuschussbeträge. Der maximale Kreditbetrag für eine Kreditförderung beträgt bei der Durchführung von Einzelmaßnahmen 50.000,- € (Programm 152) und bei der Sanierung zum Effizienzhaus 100.000,- € (Programm 151) pro Wohneinheit und wird derzeit mit einem effektiven Jahreszins von 0,75 Prozent verzinst.



Nr.	Förderprogramm	betroffene Maßnahme	Anforderung		Zusatzmaßnahmen erforderlich	Zuschuss	max. Zuschuss je WE			
			H _T in % H _{T,Ref}	Q _p in % Q _{p,Ref}				mit Kredit		
Bestandsgebäude										
151	Effizienzhaus 115	Gebäude	130	115	ja, z.B. Blower-Door hydraul. Abgleich	12,5%	12.500 €			
			115	100		15,0%	15.000 €			
			100	85		17,5%	17.500 €			
			85	70		22,5%	25.000 €			
			70	55		27,5%	27.500 €			
152	Einzelmaßnahme	Dach / oberste Geschossdecke	U ≤ 0,14 W/(m²K)	keine	nein	7,5%	3.750 €			
		Außenwand	U ≤ 0,20 W/(m²K)							
		Bauteil gegen unbeheizten Raum	U ≤ 0,25 W/(m²K)							
		Fußboden geg. Erdreich	U ≤ 0,25 W/(m²K)							
		neue Fenster	U ≤ 0,95 W/(m²K)							
denkmalgeschütztes Bestandsgebäude										
151	Effizienzhaus Denkmal	Gebäude	175	160	ja, z.B. Blower-Door & hydraul. Abgleich	12,5%	12.500 €			
152	Einzelmaßnahme	Dach	begrenzte Aufbauhöhe mit λ ≤ 0,04 W/(mK)	keine	nein	7,5%	3.750 €			
		Fachwerkaußenwand (Innendämmung)	U ≤ 0,65 W/(m²K)							
		Außenwand	U ≤ 0,45 W/(m²K)							
		Fenster	U ≤ 1,40 W/(m²K) / U ≤ 1,60 W/(m²K)							
Technische Gebäudeanlagen										
152	Einzelmaßnahme Heizung	Heizung	Erst-Einbau verbesserte BW-Technik oder WP	keine	nein	7,5%	3.750 €			
			neue Heizungsanlage					ja, Optimierung der Anlage z.B. hydraul. Abgleich	12,5%	6.250 €
			neue Lüftungsanlage mit WRG					ja, z.B. 1 Maßnahme Verbesserung der Gebäudehülle		
Technische Gebäudeanlagen										
431	Baubegleitung	Fachplanung	keine	keine	Dokumentation, Beratung & Nachweisführung	50,0%	4.000 €			

Tabelle 1: Zusammenstellung der KfW-Fördermöglichkeiten für energieeffiziente Gebäudesanierung für eine Kreditförderung (mit Kredit)

Nr.	Förderprogramm	betroffene Maßnahme	Anforderung		Zusatzmaßnahmen erforderlich	Zuschuss	max. Zuschuss je WE			
			H _T in % H _{T,Ref}	Q _p in % Q _{p,Ref}				ohne Kredit		
Bestandsgebäude										
430	Effizienzhaus 115	Gebäude	130	115	ja, z.B. Blower-Door hydraul. Abgleich	15,0%	15.000 €			
			115	100		17,5%	17.500 €			
			100	85		20,0%	20.000 €			
			85	70		25,0%	25.000 €			
			70	55		30,0%	30.000 €			
430	Einzelmaßnahme	Dach / oberste Geschossdecke	U ≤ 0,14 W/(m²K)	keine	nein	10,0%	5.000 €			
		Außenwand	U ≤ 0,20 W/(m²K)							
		Bauteil gegen unbeheizten Raum	U ≤ 0,25 W/(m²K)							
		Fußboden geg. Erdreich	U ≤ 0,25 W/(m²K)							
		neue Fenster	U ≤ 0,95 W/(m²K)							
denkmalgeschütztes Bestandsgebäude										
430	Effizienzhaus Denkmal	Gebäude	175	160	ja, z.B. Blower-Door & hydraul. Abgleich	15,0%	15.000 €			
430	Einzelmaßnahme	Dach	begrenzte Aufbauhöhe mit λ ≤ 0,04 W/(mK)	keine	nein	10,0%	5.000 €			
		Fachwerkaußenwand (Innendämmung)	U ≤ 0,65 W/(m²K)							
		Außenwand	U ≤ 0,45 W/(m²K)							
		Fenster	U ≤ 1,40 W/(m²K) / U ≤ 1,60 W/(m²K)							
Technische Gebäudeanlagen										
430	Einzelmaßnahme Heizung	Heizung	Erst-Einbau verbesserte BW-Technik oder WP	keine	nein	10,0%	5.000 €			
			neue Heizungsanlage					ja, Optimierung der Anlage z.B. hydraul. Abgleich	15,0%	7.500 €
			neue Lüftungsanlage mit WRG					ja, z.B. 1 Maßnahme Verbesserung der Gebäudehülle		
Technische Gebäudeanlagen										
431	Baubegleitung	Fachplanung	keine	keine	Dokumentation, Beratung & Nachweisführung	50,0%	4.000 €			

Tabelle 2: Zusammenstellung der KfW-Fördermöglichkeiten für energieeffiziente Gebäudesanierung für eine Investitionsförderung (ohne Kredit)



Zusätzlich können mehrere Fördermaßnahmen sinnvoll miteinander kombiniert werden, im Einzelfall ist die Möglichkeit der Kombination von zwei oder mehreren Förderprogrammen durch den baubegleitenden Fachplaner entsprechend zu prüfen (siehe auch [Tabelle 3](#)).

Fördermaßnahme	Kombinationsmöglichkeiten																											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28
Effizienzhaus 160																												
Effizienzhaus 115																												
Effizienzhaus 100																												
Effizienzhaus 85																												
Effizienzhaus 70																												
Effizienzhaus 55																												
Einzelmaßnahme Gebäudehülle																												
Einzelmaßnahme Heizungsanlage																												
Heizungspaket																												
Lüftungspaket																												
Zuschuss Baubegleitung																												
Einzelmaßnahme Einbruchschutz																												
Einzelmaßnahme Altersgerechte Sanierung																												

Tabelle 3: Kombinationsmöglichkeiten verschiedener KfW-Förderprogramme

So lässt sich beispielsweise eine energetische Dachsanierung als Einzelmaßnahme Gebäudehülle mit dem Heizungspaket, dem Zuschuss zur Baubegleitung und dem Einbau einer einbruchhemmenden Haustür als Einzelmaßnahme Einbruchschutz kombinieren (siehe [Kombination 12](#)).

Bestimmung des U-Wertes

Die Kenngröße für die Beurteilung des Wärmeschutzes ist der sog. Wärmedurchlasswiderstand R, der für jede Bauteilschicht berechnet wird. R ermittelt sich aus dem Verhältnis der Dicke einer Materialschicht in [m] und dem Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit λ in [W/(mK)]. Hohe λ -Werte stehen für eine gute Wärmeleitfähigkeit und somit für einen schlechten Wärmeschutz, z.B. Metalle, Beton, etc. Demnach weisen Dämmstoffe niedrige λ -Werte auf und sind daher von entscheidender Bedeutung für einen guten Wärmeschutz. Die Wärmeleitfähigkeit von Dämmstoffen variiert aufgrund von material- und herstellungsbedingten Unterschieden stark und beeinflusst damit erheblich den U-Wert eines Bauteils. In den nachfolgend betrachteten Bauteilvarianten stellen die PUR-Dämmstoffplatten mit einem λ -Wert = 0,024 W/(mK) verglichen mit Mineralfaserdämmstoffen (λ = 0,035 W/(mK)) und Holzfaserdämmstoffen (λ = 0,042 W/(mK)) den leistungsfähigsten Dämmstoff dar.

Der U-Wert einer Baukonstruktion (= Wärmedurchgangskoeffizient) entspricht dem Kehrwert der Summe aller Wärmedurchlasswiderstände der einzelnen Schichten sowie der sog. Wärmeübergangswiderstände auf der Bauteilaußen- und -innenseite. Bei der U-Wert-Berechnung wird zwischen homogenen und inhomogenen Baukonstruktionen unterschieden. Geeignete Dachkonstruktionen entsprechen mit ihrer Unterteilung in Sparren- und Zwischensparrenbereiche einer inhomogenen Bauweise. Die Berechnung des U-Wertes ist für derartige Konstruktionen nach DIN EN ISO 6946 durchzuführen, wobei der Flächenanteil der Bereiche Sparren (= Rahmen) und Zwischensparren (= Gefach) sowie die Querleitung in zwei Grenzfällen berücksichtigt werden.

1.2 Feuchteschutz/Tauwasserschutz

Zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit und Dauerhaftigkeit von Baukonstruktionen sowie zur Vermeidung eines hygienisch bedenklichen Raumklimas (Schimmelpilzwachstum) in Gebäuden sind ein ausreichender Feuchte- und Mindestwärmeschutz nach den maßgebenden Normen DIN 4108-3 - „Klimabedingter Feuchteschutz“ in Kombination mit DIN 68800-2 - „Baulicher Holzschutz“ nachzuweisen. Die baukonstruktiven Grundprinzipien können auch in Anlehnung an die Regelwerke des Zentralverbandes des Deutschen Dachdeckerhandwerks (ZVDH) eingehalten werden, siehe „Merkblatt Wärmeschutz bei Dach und Wand“ (Ausgabedatum 2018-05).

Grundsätzlich darf es weder zu Tauwasserbildung auf Bauteilinnenoberflächen noch zu unzulässigen Feuchteinträgen im Bauteilinneren kommen. In der DIN 4108-3 ist für den Nachweis des Feuchteschutzes das vereinfachte (stationäre) Periodenbilanzverfahren – in Fachkreisen bisher als Glaser-Verfahren bekannt – zulässig. Dieses Verfahren berücksichtigt die Wasserdampfdiffusion bei festgelegten Klimarandbedingungen in bzw. aus einer Konstruktion während der Tau- bzw. Verdunstungsphase. Eine Berücksichtigung von feuchtespeichernden Effekten findet an dieser Stelle nicht statt.

Um im Hinblick auf den Feuchteschutz die Vorteile von Feuchtespeichermechanismen z.B. durch kapillaraktive Innendämmssysteme, mit einzubeziehen, müssen instationäre Verfahren nach DIN EN 15026 (z.B. WUFI) mit standortabhängigen Klimadaten zur Anwendung kommen.

Bei der Verwendung von Holz- bzw. Holzwerkstoffen ist für beidseitig mit diffusionsbremsenden oder diffusionshemmenden Materialien bekleidete Baukonstruktionen – bei Anwendung des Periodenbilanzverfahrens – gemäß DIN 68800-2 zusätzlich eine Trocknungsreserve von 250 g/m² gefordert. Unter diffusionsbremsenden Materialien sind solche mit einer diffusionsäquivalenten Luftschichtdicke s_d zwischen 0,5m und 10,0m zu verstehen, während diffusionshemmende Materialien einen s_d -Wert von 10m bis 100m aufweisen können. Die vereinfachte Nachweisführung ist darauf ausgelegt, die



© Braas GmbH

schadensfreie Funktionsfähigkeit auch unter Berücksichtigung von ungeplanten, konvektiven Feuchteinträgen und Anfangsfeuchtegehalten der eingesetzten Baumaterialien sicherzustellen. Alternativ zu den bereits genannten Verfahren ist der Nachweis des erforderlichen Feuchteschutzes in Form der Einhaltung des konstruktiven Grundprinzips für in der DIN 4108-3, Abs. 5.3 definierte nachweisfreie Konstruktionen möglich.

Bei der Ausführung von herstellerbezogenen Systemlösungen bei Modernisierungen, z.B. kapillaraktive Innendämmung mit System-Grundierung und -Putz, ist auf die Anwendungs- und Verarbeitungshinweise sowie auf die technischen Daten des jeweiligen Herstellers zu achten. Ggf. kann durch eine fachspezifische Bauberatung des Herstellers oder eines Bauphysikers eine substanzschonende und energetisch optimierte Sanierungsvariante entwickelt werden.

1.3 Sommerlicher Wärmeschutz

Mit der Durchführung einer energetischen Sanierung wird i.d.R. auch der sommerliche Wärmeschutz verbessert. Beim Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes geht es um die Reduktion der Überhitzungsstunden durch bauliche Maßnahmen und damit um eine Verringerung bzw. Vermeidung des Kühlenergiebedarfs in den Sommermonaten. Entscheidenden Einfluss haben dabei die Fläche der transparenten Bauteile, die Raumgeometrie sowie die thermische Speicherkapazität der raumumschließenden Flächen. Vereinfachend lässt sich sagen, dass eine Erhöhung der Masse immer auch eine Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes zur Folge hat (Speichermasse). Je größer die (Speicher-)Masse eines Materials, desto besser kann Wärmestrahlung zwischenzeitlich aufgenommen und bei abgekühlten Raumklimabedingungen wieder an die Umgebung abgegeben werden.

Die Vergrößerung der Speichermasse eines Materials kann entweder durch Erhöhung der Rohdichte oder durch eine höhere Wärmespeicherkapazität c_p erreicht werden. Auch wenn hinsichtlich der Rohdichte zwischen den verschiedenen Dämmstoffen Unterschiede vorhanden sind, ist die spezifische Wärmespeicherkapazität diejenige Materialeigenschaft, die einen – wenn auch geringen – Vorteil beim sommerlichen Wärmeschutz bringt. So weisen Zellulose- und Holzfaserdämmstoffe beispielsweise einen c_p -Wert von ca. 2100 J/(kgK) auf, während Polyurethandämmplatten nur eine spez. Wärmespeicherkapazität von ca. 1500 J/(kgK) und Mineralfaserdämmstoffe sogar nur einen c_p -Wert von < 1000 J/(kgK) besitzen.

Eine Optimierung des sommerlichen Wärmeschutzes ist gleichbedeutend mit einer Optimierung der wärmespeichernden sowie

wärmedämmenden Materialeigenschaften. Hier gilt grundlegend folgendes Funktionsprinzip: Baustoffe mit wärmedämmenden Eigenschaften sollten möglichst außenseitig, Baustoffe mit wärmespeichernden Eigenschaften möglichst innenseitig angeordnet werden.

Als Kenngröße für die Beurteilung der verschiedenen Dämmstoffe hinsichtlich ihrer thermischen Speichereffekte sind an dieser Stelle zwei Begriffe zu nennen:

1. Die **Temperaturamplitudendämpfung** beschreibt das Verhältnis der Schwankungen von Bauteilaußenoberflächentemperatur und Bauteilinnenoberflächentemperatur. Ein Wert von 11 bedeutet demnach, dass die äußere Oberfläche einer Konstruktion eine Temperaturschwankung aufweist, die 11-mal größer ist als die der inneren Oberfläche. Dieser Wert ergibt sich als Einzahlwert aus dem Verhältnis der Temperaturamplituden, wenn beispielsweise die Temperaturen außen zwischen 14°C und 36°C (Amplitude = 22 K) und innen zwischen 23°C und 25°C (Amplitude = 2 K) schwanken, folglich $22^\circ\text{C}/2^\circ\text{C} = 11$. Grundsätzlich ist hier ein möglichst hoher Wert anzustreben, aus der gängigen fachspezifischen Literatur geht hervor, dass gute Werte für die Temperaturamplitudendämpfung bei 20 und höher liegen.

2. Die **Phasenverschiebung** gibt die zeitliche Verzögerung in Stunden zwischen dem Anfall der maximalen Oberflächentemperatur außen und innen an. Die Phasenverschiebung beschreibt die Temperaturänderung im Bauteilinneren innerhalb eines Tages, wobei hier hohe Werte im Hinblick auf den sommerlichen Wärmeschutz positiv zu bewerten sind. Da in Europa normalerweise die maximale Temperatur auf der Außenoberfläche in den Sommermonaten am frühen Nachmittag auftritt, ergibt sich als Idealfall für die Phasenverschiebung ein Wert von 10 bis 12 Stunden. D.h. in der kühlen zweiten Nachthälfte ist auf der Innenseite infolge des Wärmetransportes die maximale Oberflächentemperatur erreicht, welche sich dann wiederum zum Bsp. durch den Einsatz von (erhöhter) Nachtlüftung reduzieren lässt.

Grundsätzlich spielt die Wahl des Dämmstoffes für den Nachweis des sommerlichen Wärmeschutzes nur eine untergeordnete Rolle, da andere Faktoren wie Verschattung, Wärmespeicherkapazität und Geometrie des betrachteten Raumes, Nachtlüftung, Fensterflächenanteil sowie interne Lasten den wesentlich größeren Ausschlag geben. Die Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen hinsichtlich des sommerlichen Wärmeschutzes wird folglich im Zuge dieser Ausarbeitung nicht überprüft. Für die Bewertung der in dieser Empfehlung aufgeführten Dachaufbauten werden dennoch die oben genannten Kenngrößen Temperaturamplitudendämpfung und Phasenverschiebung ermittelt und für einen direkten, bauteilbezogenen Vergleich herangezogen.



1.4 Schallschutz gegen Außenlärm

Ähnlich wie beim sommerlichen Wärmeschutz gilt auch beim Schallschutz: je höher die Masse einer Konstruktion desto besser der Schallschutz. Nun stellen Steildächer aus schalltechnischer Sicht leichte Konstruktionen dar, bei denen eine geringfügige Erhöhung der Masse – in Abhängigkeit des gewählten Dämm-Materials – keine nennenswerte schalltechnische Verbesserung bewirkt. Vielmehr lässt sich das schalltechnische Verhalten durch folgende Parameter beeinflussen [2]:

- Dacheindeckung (Masse)
- Materialwahl für die Dämmung (Strömungswiderstand)
- Mehrschaligkeit (unter Berücksichtigung von Resonanzeffekten)

- Ausführungsart der raumseitigen Bekleidung (Masse, Installationsebene, abgehängte Decke mit und ohne Schallentkopplung)
- Achsabstand der Sparren
- Ggf. zusätzliche Beschwerungselemente (Masse)

Bei der Wahl des Dämm-Materials sind faserförmige Dämmstoffe (wie Mineral-, Holz- und Zellulosefasern) wegen ihres großen Strömungswiderstandes und ihrer geringen dynamischen Steifigkeit im Vorteil gegenüber den Hartschäumen (wie Polyurethan und Phenolharz). Zum Ausgleich der ungünstigen schalltechnischen Eigenschaften von Hartschaum-Platten gibt es seitens einiger Hersteller Kombinationsprodukte mit Holzfaserdämmung in Form von Verbundplatten.

Die Kenngröße zur Bewertung verschiedener Dachaufbauten im Hinblick auf den Luftschallschutz ist das (Bau-)Schalldämm-Maß $R_{w,R}$, welches entweder in Anlehnung an die DIN 4109-33 zu ermitteln ist oder in Form von Bauteilkatalogen durch Hersteller zur Verfügung gestellt werden kann. Das Schalldämm-Maß stellt eine Widerstandsgröße dar, somit stehen hohe Werte für einen guten Schallschutz. Die im Folgenden näher untersuchten Dachaufbauten lassen lediglich einen Vergleich auf Bauteilebene (= Direktschalldämm-Maße) zu, die vorliegenden Konstruktionen geben keinen Aufschluss über die Erfüllung bzw. Nichterfüllung der normativen Anforderungen für den Nachweis des Luftschallschutzes. Um den Nachweis des Schallschutzes nach Norm zu führen ist eine konkrete Raumsituation zu betrachten und die flankierenden Bauteilkonstruktionen mit ihren schalltechnischen Eigenschaften zu berücksichtigen. Um die bauakustischen Eigenschaften der verschiedenen Dachkonstruktionen bewerten zu

können, kann der folgende Maßstab zugrunde gelegt werden: Ein Verbesserungsmaß der Schalldämmung, sprich eine Erhöhung des Schalldämm-Maßes $R_{w,R}$ um 3 dB, bewirkt bei gleich bleibendem Schallpegel in etwa eine Reduktion der Hörbarkeit (für den Menschen) um die Hälfte.

1.5 Statik

Bei der energetischen Dachsanierung werden im Zuge der Verbesserung der bauphysikalischen Eigenschaften zusätzliche Bauteilschichten und damit zusätzliches Gewicht auf das Dachtragwerk aufgebracht und somit in die Statik des Gebäudes eingegriffen.

Daher ist, schon allein aus Haftungsgründen, jeder Handwerker gut beraten, immer einen Tragwerksplaner zu Rate zu ziehen, der die Standsicherheit der gesamten Konstruktion beurteilt.

Dabei ist es wichtig, nicht nur die Tragfähigkeit der Sparren zu prüfen, sondern aller am Lastabtrag beteiligten Bauteile, da sich an Anschlussbauteilen wie Pfetten, Stützen oder Unterzügen die Lasten konzentrieren und somit aus geringen Flächenlasten schnell Einzellasten von weit über 500 kg entstehen können. Erfahrungsgemäß haben die meisten Steildächer im Bestand ausreichend Reserven, um zumindest das Zusatzgewicht leichter Dämmstoffe (z.B. Polyurethan, Phenolharz, teilweise auch Mineralwolle) aufnehmen bzw. abtragen zu können. Leichte Dämmstoffe werden daher unter statischen Gesichtspunkten als positiv bewertet, während zunehmendes Gewicht bei geringen Tragfähigkeitsreserven zu einer negativen Bewertung führen kann.

Bestandsgebäude weisen aufgrund ihres unterschiedlichen Alters und ihrer verschiedenen Konstruktionen unterschiedlichste Ausgangssituationen (vorhandener Aufbau, historische Materialien, einbindende Bauteile, Bauteilanschlüsse, etc.) auf. Daher sollte vor jeder Dachsanierung eine gründliche Bestandsaufnahme durchgeführt werden. Damit kann eine sichere und wirtschaftliche Lösung, mit zusätzlichen Reserven hinsichtlich der Luftdichtheit und des Tauwasserschutzes, gefunden werden [3]. Es gilt dabei zum einen den einzelnen Dämmstoff sinnvoll auszuwählen. Zum anderen stellt die Anordnung der Dämmschicht(-en) und der Luftdichtheitsebene in der Baukonstruktion eine wichtige Grundlage für die Wahl des Dachaufbaus dar.

1.6 Lage der Dämmung im Dachaufbau

Die neue und/oder zusätzliche Dämmung kann grundsätzlich als Aufsparrendämmung, Zwischensparrendämmung oder Untersparrendämmung ausgeführt werden. Für die Sanierung eines bereits ausgebauten Daches scheidet die Untersparrendämmung als Sanierungsvariante in den meisten Fällen aus, da diese eine Erneuerung der innenseitigen Verkleidung(en) nach sich zieht und den Dachraum und folglich auch die Wohnfläche merklich reduziert.

Die – technisch und handwerklich – einfachste und kostengünstigste energetische Sanierungsvariante stellt die Zwischensparrendämmung dar. Da die vorhandene Sparrenhöhe bei bestehenden Gebäuden in der Regel nicht ausreicht, um die energetisch

erforderliche Dämmstärke zur Einhaltung der gesetzlichen Anforderungen einbauen zu können, wird sie meist mit einer Aufsparrendämmung kombiniert. Auch eine reine Aufsparrendämmung ist als einfache Sanierungsvariante denkbar, bewirkt jedoch insgesamt eine große Aufbauhöhe. Daher ist in vielen Fällen eine Kombination von Auf- und Zwischensparrendämmung zur Einhaltung der energetischen Anforderungen bei gleichzeitiger baukonstruktiver Einschränkung die sinnvollste Lösung.

1.7 Verlegung der Luftdichtheitsebene

Neben der Anordnung der Dämmung im Bauteilaufbau ist auch die Ausbildung der Luftdichtheitsebene = diffusionsbremsende Schicht (gemäß DIN 4108-3) ein wichtiges Unterscheidungsmerkmal. Die durchgängige Luftdichtheit eines Gebäudes bzw. eines Bauteils ist nicht nur eine gesetzliche Forderung (EnEV), sondern vielmehr eine Grundvoraussetzung, damit aus einer energetischen Sanierung von heute keine Vollsanierung von morgen wird.

Für die Sanierung des Daches von außen existieren prinzipiell zwei Möglichkeiten, die Luftdichtheitsebene auszubilden: Bei der **geschlauften Verlegung** wird eine geeignete Luftdichtheitsebene (LDB) schlaufenförmig um den Sparren herum und in den Gefachbereichen auf der Außenseite der bestehenden Beplankung verlegt (siehe **Abbildung 1**).

Bei der **flächigen Verlegung** hingegen wird die LDB oberhalb der Sparren und Gefache verlegt und mit einer geeigneten Aufsparrendämmung abgedeckt. Die Überdämmung ist für diese Ausführungsvariante aus bauphysikalischer Sicht durchweg positiv zu beurteilen. Je näher nämlich die LDB in Richtung der Bauteilinnenoberfläche angeordnet wird, je dicker also die Aufsparrendämmung ist, desto größer sind die Sicherheitsreserven hinsichtlich des Tauwasserschutzes.

Hieraus ergibt sich auch die Empfehlung in diverser Fachliteratur sowie einzelner Hersteller für die 2:1- bzw. 3:1-Überdämmung. Bei der 2:1-Lösung werden 2/3 der Gesamtdämmschichtdicke eines beliebigen Faserdämmstoffes zwischen den Sparren und 1/3 als Holzfaserunterdeckplatte auf den Sparren und oberhalb der LDB angeordnet. Bei der 3:1-Variante sind 3/4 Faserdämmstoff als Zwischensparrendämmung und 1/4 Holzfaserdämmplatte ober-

halb der LDB als Aufsparrendämmung anzuordnen. Manche Hersteller von Holzfaserdämmplatten wiederum weichen von dieser Empfehlung ab. Es gelten also in jedem Fall die Empfehlungen und Vorgaben der Dämmplattenhersteller, wobei derartige Angaben, wenn sie nicht als einzelvertragliche Sonderleistung inkl. schlüssigem Nachweis vereinbart sind, kein adäquater Ersatz für die Berechnung nach DIN 4108-3, DIN 68800 oder DIN EN 15026 sind.

Generell ist es empfehlenswert bzw. von den Herstellern gefordert, direkt unterhalb der LDB mind. 40 mm sorptionsfähige Dämmung anzuordnen [4]. Weiterhin ist eine flächige Verlegung mit Aufsparrendämmung unbedingt regensicher/wasserdicht auszuführen, entweder durch die Anordnung einer Unterdeckbahn oder einer passenden – als sog. Unterdeckplatte zugelassene – Dämmplatte.

Beide Varianten haben ihre Vor- und Nachteile, die es abzuwägen gilt. Den universell einsetzbaren Dachaufbau gibt es nicht, da neben den baulichen Gegebenheiten des Bestandes auch die Wünsche sowie das Budget des Bauherren eine entscheidende Rolle spielen. Vor allem im Hinblick auf die Ausbildung der LDB können erhebliche Mehrkosten entstehen. Für die Abwägung der beiden Verlegungsweisen und als Entscheidungshilfe gibt es fachspezifische Literatur, so z.B. in [3].

Da der Titel und die Aufgabenstellung der vorliegenden Ausarbeitung Empfehlungen für die Dachsanierung von außen fordern, sollte zu diesem Thema auch eine Bewertung vorgenommen werden: Ist die Ausführung einer Aufsparrendämmung baulich und aus feuchtetechnischer Sicht möglich, überwiegen die Vorteile der flächigen Verlegung. Sämtliche Anschlüsse auf der Ebene über den Sparren sind somit gegenüber der schlaufenförmigen Verlegung handwerklich einfacher und damit weniger fehleranfällig ausführbar. Unabhängig vom gewählten Dämmstoff wird – mit Ausnahme von Einblasdämmstoffen (i.d.R. Zellulose, seltener Holzfasern) – die sichere Funktionsfähigkeit deutlich gesteigert, z.B. Minimierung von Wärmebrücken. Bei der Verwendung von Einblasdämmstoffen ist die schlaufenförmige Verlegung zu bevorzugen, da die Einblasöffnungen in einer oben liegenden, flächigen LDB im Nachhinein schwierig abzudichten sind.

1.8 Mögliche Dämmstoffe

Neben der Anordnung der Dämmung und der LDB im Bauteil, ergeben sich vielfältige Möglichkeiten für den Dachaufbau allein durch die verschiedenen marktüblichen Dämmstoffe und deren Kombinationsmöglichkeiten untereinander. In breiten Kreisen finden folgende gängige Dämmstoffe Anwendung:

Für die Zwischensparrendämmung

- Mineralwolle
- Zellulosefasern
- Holzfasern
- weitere Naturfasern wie z.B. Hanf, Stroh, Flachs usw. (keine nähere Betrachtung, da nur ein sehr geringer Marktanteil)

Für die Aufsparrendämmung

- Holzfaserdämmplatten
- Phenolharzdämmplatten (Resolharz-Dämmplatten)
- Polyurethandämmplatten (PUR/PIR)
- Dämmplatten aus Mineralwolle (Glas-/Steinwolle)

Zellulose- und Holzfasern sind diffusionsoffene Baustoffe mit sorptiven Eigenschaften, d.h. der Baustoff ist durch diese Eigenschaft in der Lage seine Gleichgewichtsfeuchte der ihn umgebenden (relativen) Luftfeuchte anzupassen. Kurzzeitige oder vorübergehende Veränderungen der umgebenden Feuchtigkeit haben nahezu keine Auswirkung. Mineralfaserdämmstoffe sind ebenfalls diffusionsoffen, besitzen jedoch keine sorptiven Eigenschaften. Dämmplatten aus Phenolharz oder Polyurethan weisen zwar einen deutlich höheren Widerstand gegen Wasserdampfdiffusion auf, werden jedoch gleichermaßen als diffusionsfähig bezeichnet.

Abbildung 1:
Prinzipdarstellung geschlaupte Verlegung

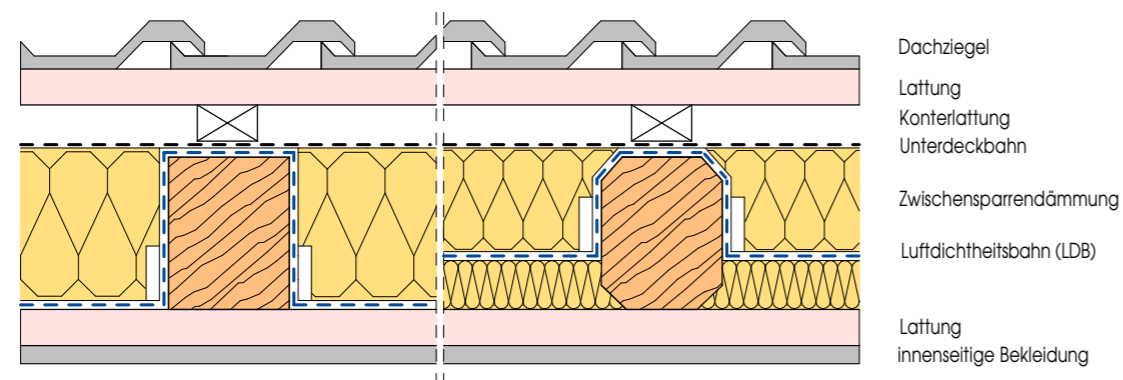
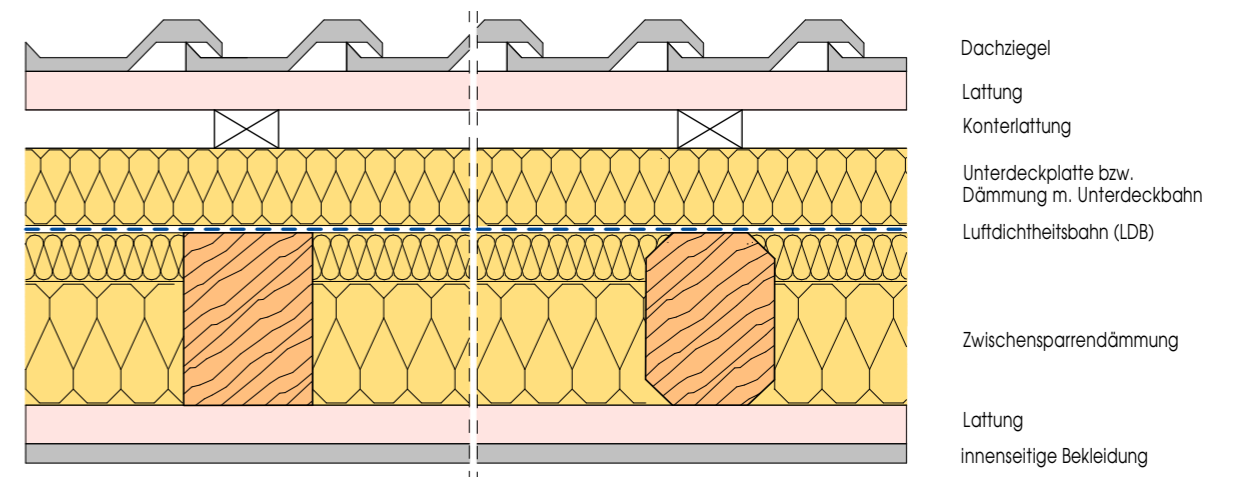


Abbildung 2:
Prinzipdarstellung flächige Verlegung



2 DACHAUFBAUTEN ZUR ENERGETISCHEN SANIERUNG

Für eine vergleichende Aussage zu den betrachteten Steildachaufbauten wurde ein vorhandener Dachstuhl für das geneigte Dach mit einem Sparrenquerschnitt von $b/h = 10/14$ cm und einem Zwischensparrenabstand von 65 cm als Referenzbauteil angenommen. Daraus ergibt sich ein Holzanteil von 13 Prozent. Raumseitig wird eine verputzte Holzwole-Leichtbauplatte (HWL) angesetzt. Alternativ kann für die raumseitige Ausführung auch eine Gipskarton- / Gipsfaserplatte auf Traglattung angesetzt werden.

Sämtliche Berechnungen, auf die nachfolgend Bezug genommen wird, wurden – Berechnungen zum Schallschutz ausgenommen – mit Hilfe der Bauphysiksoftware [5] erstellt. Für die Berechnungen zum winterlichen Wärmeschutz wurden die U-Werte für inhomogene Baukonstruktionen gemäß DIN EN ISO 6946 ermittelt. Die Berechnungen zum Feuchteschutz wurden gemäß DIN 4108-3 mit dem vereinfachten Periodenbilanzverfahren (stationär für Rahmen- und Gefachbereich) durchgeführt. Zusätzlich wurde eine instationäre Berechnung durchgeführt, so dass auch hier inhomogene Dachaufbauten realistischer dargestellt werden. Dabei wurde die Einhaltung einer Trocknungsreserve für einen angemessenen Holzschutz gemäß DIN 68800-2 berücksichtigt. Beide Nachweisformen des Feuchteschutzes berücksichtigen lediglich Diffusionsprozesse, welche im instationären Fall zusätzlich durch feuchtespeichernde Prozesse ergänzt werden.

Für die Bewertung der thermischen Speicherfähigkeit wurden die Temperaturamplitudendämpfung, deren Kehrwert das Temperaturamplitudenverhältnis (TAV), sowie die Phasenverschiebung berechnet. Die Ergebnisse sind unabhängig von den angenommenen Minimal- und Maximalwerten der Außentemperatur und vom Zeitpunkt des Maximums. Sie dienen lediglich der Vergleichbarkeit der verschiedenen Baukonstruktionen untereinander. Sie lassen keine Aussagen über die tatsächlich zu erwartenden Innentemperaturen zu, da diese zusätzlich entscheidend durch den grundflächenbezogenen Fensterflächenanteil sowie das nutzerbedingte Lüftungsverhalten beeinflusst werden.

Auf Grund der Empfehlung einer flächigen Verlegung der Luftdichtheitsbahn (siehe Seite 15) werden im Folgenden alle Dachkonstruktionen auf die Möglichkeit eben dieser Anordnung hin überprüft, und ggf. bei feuchtetechnischen Bedenken mit der schlaufenförmigen Verlegung ausgeführt. Tabelle 4 gibt einen Überblick über die berechneten und bewerteten Bauteilvarianten, die Reihenfolge und Nummerierung der Aufbauten stellt jedoch keinerlei Wertung dar.

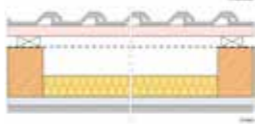
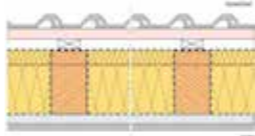
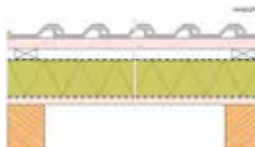
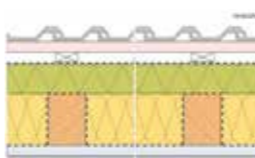
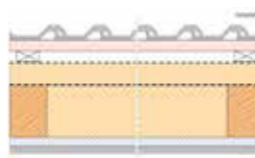

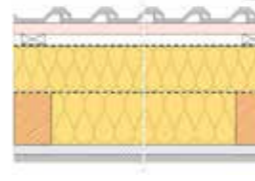
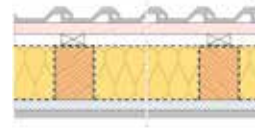
Bezeichnung	Grafik	Energetischer Standard	Ausführungsmerkmale
Bestand unsaniert		>EnEV	<ul style="list-style-type: none"> keine LDB Dämmung zwischen den Sparren 60mm MiWo 040
Variante 1		EnEV	<ul style="list-style-type: none"> schlaufenförmige LDB Aufdopplung der Sparren notwendig Dämmung zwischen den Sparren 180mm MiWo 035
Variante 2		EnEV	<ul style="list-style-type: none"> flächig verlegte LDB sichtbare Sparren Dämmung auf den Sparren 100mm PU-Hartschaum 024
Variante 3		KfW	<ul style="list-style-type: none"> schlaufenförmige LDB Dämmung zwischen den Sparren 140mm MiWo 035 Dämmung auf den Sparren 100mm PU-Hartschaum 024
Variante 4		EnEV	<ul style="list-style-type: none"> flächig verlegte LDB Dämmung zwischen den Sparren 140mm Holzfaser 042 Dämmung auf den Sparren 60mm Holzfaser 042
Variante 5		KfW	<ul style="list-style-type: none"> flächig verlegte LDB Dämmung zwischen den Sparren 140mm Holzfaser 042 Dämmung auf den Sparren 160mm Holzfaser 042
Variante 6		KfW	<ul style="list-style-type: none"> flächig verlegte LDB Dämmung zwischen den Sparren 140mm MiWo 035 Dämmung auf den Sparren 160mm MiWo 035
Variante 7		>EnEV	<ul style="list-style-type: none"> schlaufenförmige LDB Dämmung zwischen den Sparren 140mm MiWo 035

Tabelle 4: Übersicht Bauteilvarianten

2.1 Unsaniertes Bestand

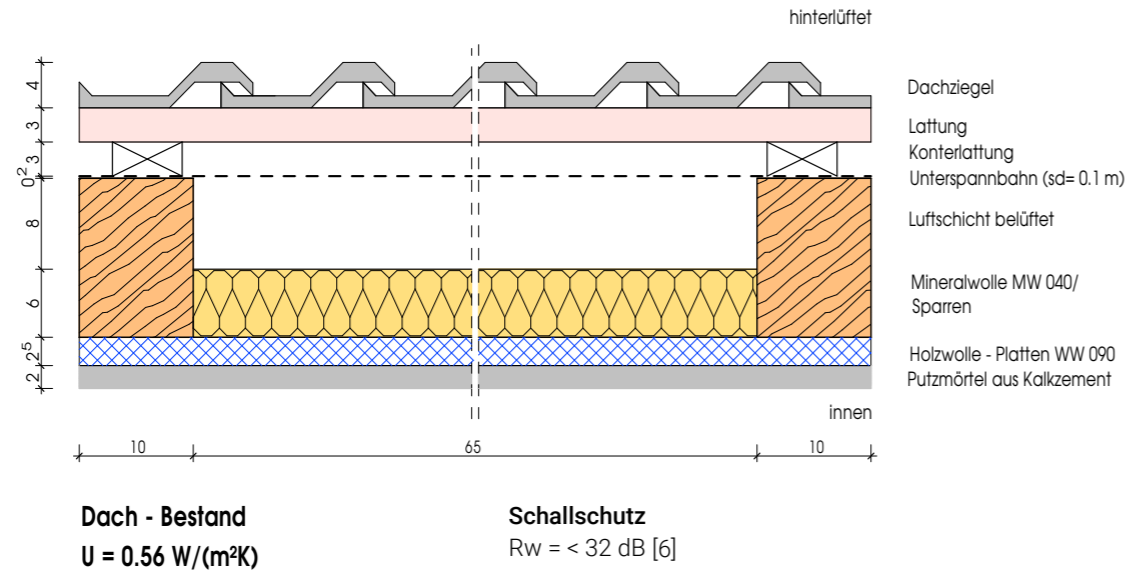
Als Referenz und Vergleichsgrundlage dient der unsanierte Bestand mit den Schichten von innen nach außen:

- verputzte Holzwolle-Leichtbauplatte (hier ist auch eine Ausführung mit Gipskartonplatte 1- oder 2-lagig auf einer Traglattung denkbar)
- 60 mm Mineralwolle als Zwischensparrendämmung
- Dachziegel/Betondachsteine

Auf diesem Aufbau basieren, mit Ausnahme der Variante 2, die nachfolgenden Dachkonstruktionen. Prinzipiell ist es möglich, die vorhandene Dämmung in der Konstruktion zu belassen und durch zusätzliche Zwischensparrendämmung zu ergänzen. Voraussetzung dafür ist, dass sie intakt, also

weder durchfeuchtet, noch stark zusammengefallen oder durch Schädlinge in ihrer Struktur zerstört ist. Dabei gilt es zu bedenken, dass erst seit 1996 nach und nach und seit 2000 ausschließlich Mineralwolleprodukte mit biologischen Fasern, welche gesundheitlich unbedenklich sind, auf den Markt gebracht wurden. Diese regelkonformen Mineralwolle-Dämmstoffe sind, wenn sie neu verbaut werden, am RAL Gütezeichen zu erkennen, im eingebauten Zustand ist diese Unterscheidung jedoch nicht möglich. Stößt man also im Zusammenhang mit Sanierungsarbeiten auf vor dem Jahr 1996 hergestellte Mineralwolle-Dämmstoffe, sollte unbedingt in Erwägung gezogen werden diese, unter Beachtung der Maßnahmen zum Arbeitsschutz, auszutauschen. Somit kann nur eine intakte Dämmung aus der Zeit ab 2000 mit Sicherheit im Bauteil verbleiben. Zur Klärung dieser Fragen ist es sinnvoll einen Sonderfachmann einzuschalten und sich fachlich beraten zu lassen.

Abbildung 3: Schnittdarstellung „unsaniertes Bestand“



winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,56 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ > $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	kein Tauwasseranfall im Bauteil	Amplitudendämpfung (TAV): 7,0 Phasenverschiebung: 6,1 h Wärmekapazität innen: $47 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$	< 32 db

Tabelle 5: Berechnungsergebnisse unsaniertes Bestand nach [5]

Die Darstellung und Bewertung der Berechnungsergebnisse in den Tabellen 5 - 12 der vorgestellten Varianten erfolgt anhand der untenstehenden Farbgebung:

- rot = schlecht bis sehr schlecht
- blau = mäßig
- grün = gut bis sehr gut

2.2 Variante 1 – MiWo-Zwischensparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Als Referenz und Vergleichsgrundlage für die sanierten Varianten dient eine klassische Zwischensparrendämmung mit Mineralwolle (WLG 035). Der gegebene Aufbau ist für eine Sanierung von außen geeignet: In

diesem Fall ist eine geeignete LDB in schlaufenförmiger Verlegung anzuordnen, um einen zu hohen Feuchteintrag in das Bauteil aufgrund der sehr diffusionsoffenen Mineralfaserdämmung zu vermeiden.

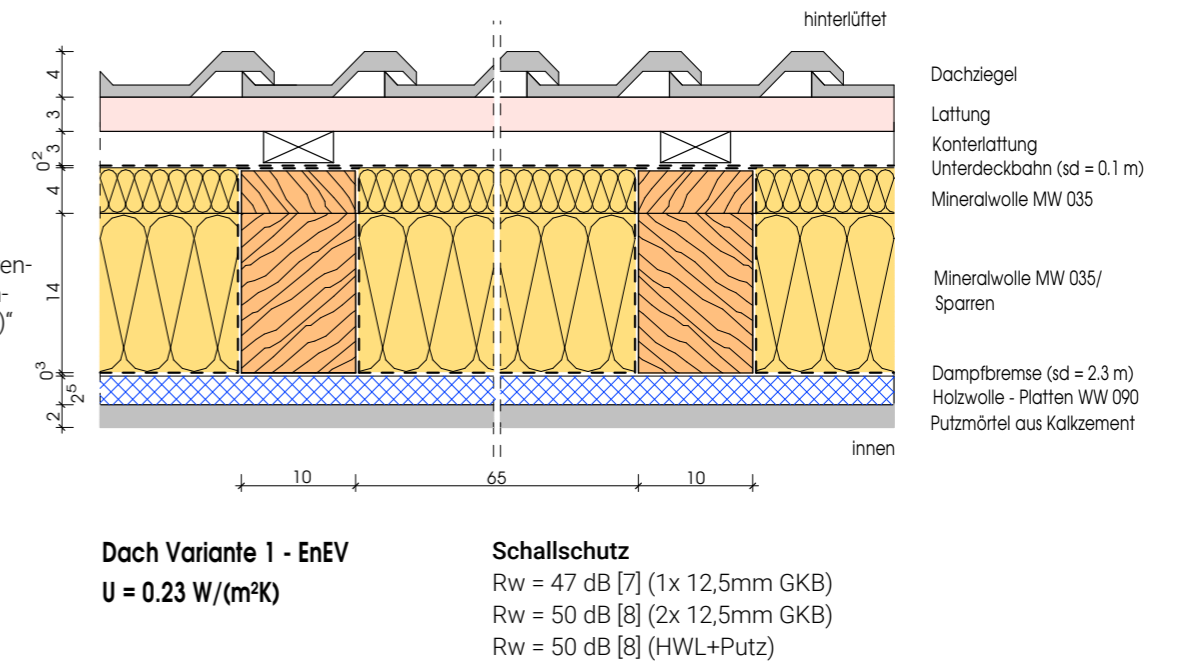
Vorteile:

- guter Wärmeschutz
- geringes Gewicht
- merkliche Verbesserung des Schallschutzes gegen Außenlärm (Steinwolle)
- geringe Aufbauhöhe

Nachteile:

- sehr geringe thermische Speicherfähigkeit
- Sparren als materialbedingte Wärmebrücke (durch die Ausführung einer Aufsparrendämmung wird dieser Wärmebrückeneffekt erheblich minimiert)

Abbildung 4: Schnittdarstellung „MiWo-Zwischensparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)“



winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,23 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ < $0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	kein Tauwasseranfall im Bauteil	Amplitudendämpfung (TAV): 8,0 Phasenverschiebung: 6,4 h Wärmekapazität innen: $20 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$	50 dB

Tabelle 6: Berechnungsergebnisse Variante 1 nach [5]

2.3 Variante 2 – Hartschaum-Aufsparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Grundsätzlich bietet sich als Ausführungsvariante auch eine reine Aufsparrendämmung aus Hartschaumdämmplatten (PUR/PIR oder Phenolharz) an.

Je nach Hersteller liegen die Werte für die Wärmeleitfähigkeit marktüblicher Hartschaumdämmplatten zwischen $\lambda = 0,021$ bis $0,029 \text{ W}/(\text{mK})$. Bei dem hier dargestellten Aufbau wurde ein Material mit einem Bemessungswert für $\lambda = 0,024 \text{ W}/\text{mK}$ angesetzt. Eine geringere Wärmeleitfähigkeit führt zu einem verbesserten Wärmeschutz bzw. einer geringeren Aufbauhöhe bei gleichbleibendem U-Wert. EnEV-konforme Aufbauten sind bereits ab einer Plattendicke von 80 mm realisierbar. Zu einem

späteren Zeitpunkt können ggf. durch die Anordnung einer zusätzlichen Zwischensparrendämmung die energetischen Anforderungen der KfW erreicht und damit der energetische Standard nachgerüstet werden (siehe Variante 3).

Die Ausführungsvariante mit einer reinen Aufsparrendämmung (d.h. mit sichtbarem Dachtragwerk) ist grundsätzlich möglich (siehe **Abbildung 5**), bringt dabei jedoch nur eine sehr geringe thermische Speicherfähigkeit sowie einen sehr schlechten Schallschutz mit sich. Abhilfe kann in diesem Fall durch eine raumseitige Bekleidung, z.B. mit Gipskartonplatten oder verputzten HWL-Platten, geschaffen werden.

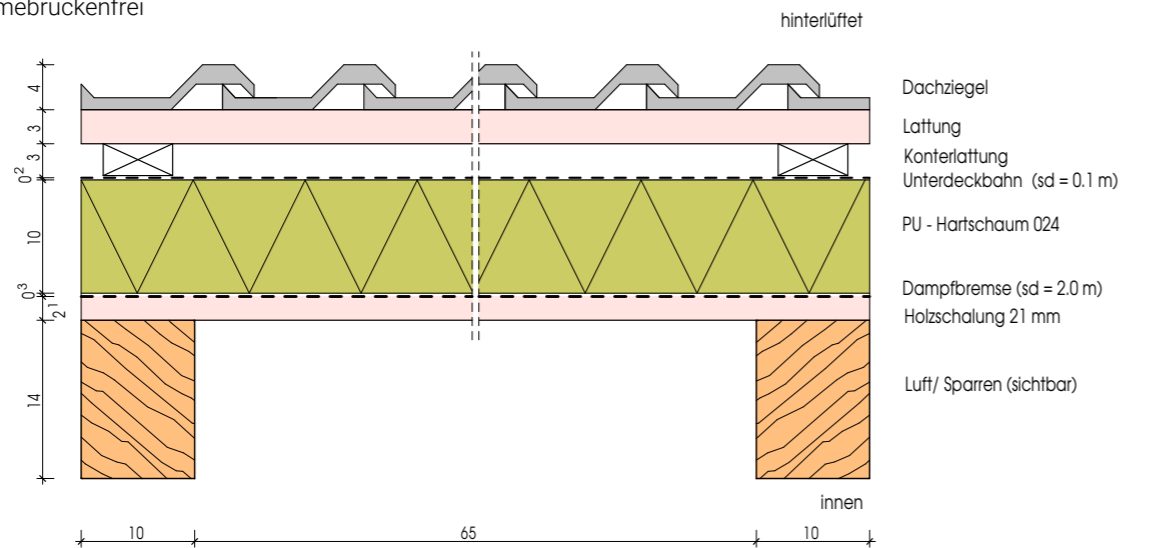
Vorteile:

- sehr guter winterlicher Wärmeschutz, in Kombination ab ca. 160 mm Aufsparrendämmung KfW-Förderung (Einzelmaßnahme) möglich
- sehr geringes Gewicht
- nahezu wärmebrückenfrei

Nachteile:

- sehr geringe thermische Speicherfähigkeit
- sehr schlechter Schallschutz gegen Außenlärm
- relativ hoher Aufbau

Abbildung 5: Schnittdarstellung „Hartschaum-Aufsparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)“



Dach Variante 2 - EnEV
 $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Schallschutz
 $R_w = 32 \text{ dB}$ [9] (Tragwerk sichtbar) $R_w = 42 \text{ dB}$ [6] (Gika-Platte, 2-lagig)
 $R_w = 39 \text{ dB}$ [6] (Gika-Platte, 1-lagig) $R_w = 42 \text{ dB}$ [6] (HWL-Platte, verputzt)

winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $< 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	kein Tauwasseranfall im Bauteil	Amplitudendämpfung (TAV): 9,0 Phasenverschiebung: 6,6 h Wärmekapazität innen: $26 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$	32 db

Tabelle 7: Berechnungsergebnisse Variante 2 nach [5]

2.4 Variante 3 – Kombination MiWo-Zwischen- und Hartschaum-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Der gegebene Aufbau ist für eine Sanierung von außen geeignet: In diesem Fall ist eine geeignete LDB in schlaufenförmiger Verlegung anzuordnen, um einen zu hohen Feuchte-

eintrag in das Bauteil aufgrund der sehr diffusionsoffenen Mineralfaserdämmung zu vermeiden.

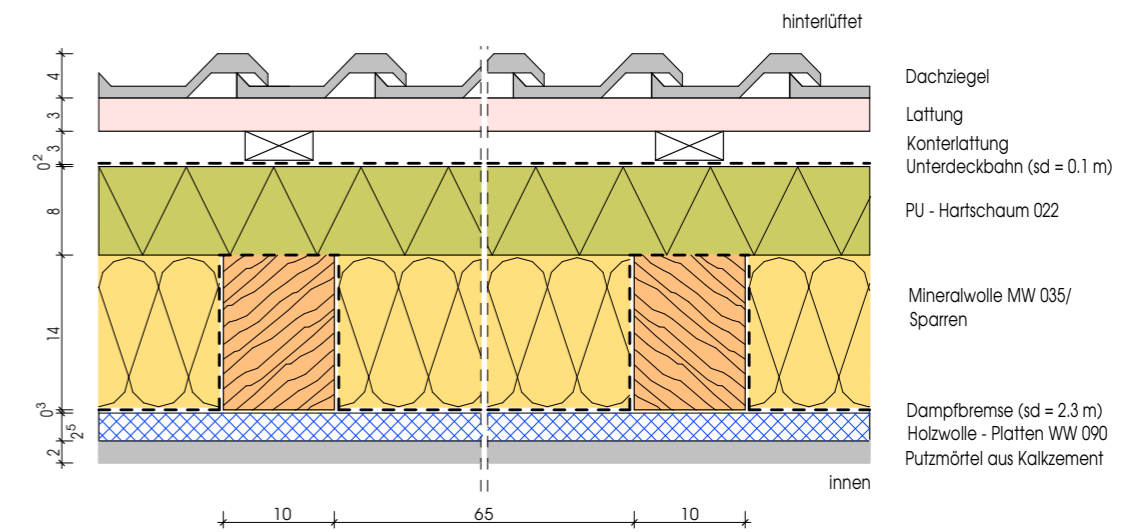
Vorteile:

- sehr guter Wärmeschutz, bereits ab 80 mm Aufsparrendämmung wird KfW-Förderung (Einzelmaßnahme) erreicht
- mittlere Aufbauhöhe
- Verbesserung des Schallschutzes gegen Außenlärm
- geringes Gewicht
- nahezu wärmebrückenfrei
- Erhöhung der thermischen Speicherfähigkeit

Nachteile:

- wenig „Reserven“ hinsichtlich Feuchteschutz/Tauwasserfreiheit (insbesondere in Hinblick auf zusätzlichen Feuchteeintrag)

Abbildung 6: Schnittdarstellung „Kombination MiWo-Zwischen- und Hartschaum-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)“



Dach Variante 3 - KfW
 $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Schallschutz
 $R_w = 50 \text{ dB}$ [6]

winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Tauwasseranfall zulässig	Amplitudendämpfung (TAV): 35,0 Phasenverschiebung: 8,6 h Wärmekapazität innen: $50 \text{ kJ}/(\text{m}^2\text{K})$	50 dB

Tabelle 8: Berechnungsergebnisse Variante 3 nach [5]

2.5 Variante 4 – Kombination Holzfaser-Zwischen- und Holzfaser-Aufsparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Die Durchführung einer flächigen Verlegung der LDB ist in Abhängigkeit der herstellerspezifischen Materialkennwerte der Holzfaserdämmung ggf. zu prüfen. Als Zwischensparrendämmung sind auch Zellulosefasern oder ähnliche Naturfasern

möglich, die dann jedoch mithilfe der schlaufenförmigen Verlegung der LDB vor unzulässig hohen Feuchteinträgen geschützt werden müssen.

Vorteile:

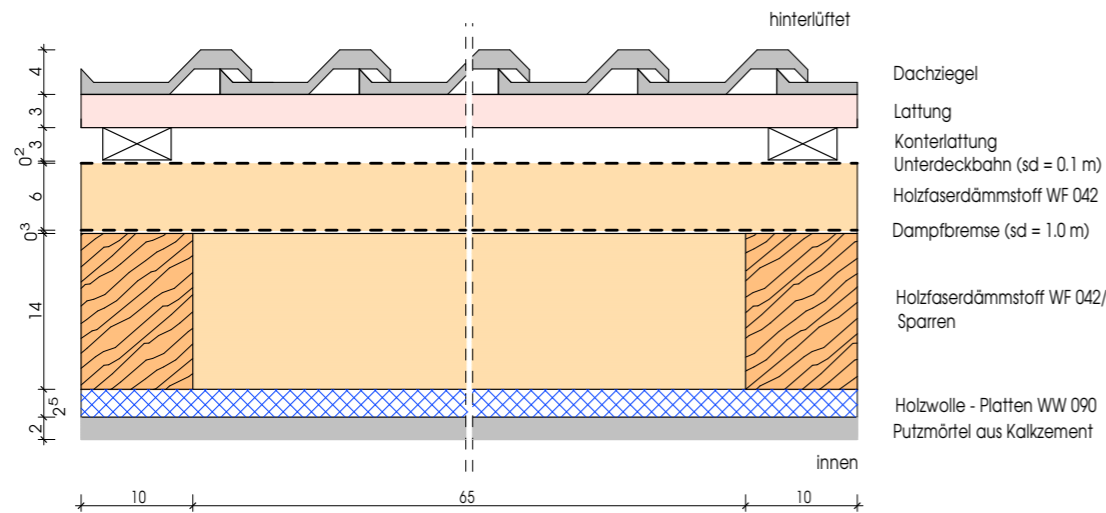
- guter Wärmeschutz, ab 60 mm Aufsparrendämmung wird EnEV-Anforderung erfüllt
- deutliche Erhöhung der thermischen Speicherfähigkeit
- deutliche Verbesserung des Schallschutzes gegen Außenlärm (Die Messergebnisse der Hersteller und in [8] von der Rohdichte der Platten)
- nahezu wärmebrückenfrei

Nachteile:

- zum Teil größere Aufbauhöhen erforderlich (abhängig vom vorhandenen Sparrenquerschnitt)
- höheres Gewicht
- aufgrund von herstellerbedingten Kenngrößen kann es im Bereich des Feuchteschutzes zu großen Schwankungen kommen, hier wird daher immer auch eine Überprüfung der feuchtetechnischen Anforderungen mit WuFi empfohlen

Abbildung 7:

Schnittdarstellung „Kombination Holzfaser-Zwischen- und Holzfaser-Aufsparrendämmung (EnEV-Standard, $U \leq 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)“



Dach Variante 4 - EnEV
 $U = 0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Schallschutz
 $R_w = 52 \text{ dB}$ [10] (ACHTUNG: große Streuung möglich [8])

winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,22 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $< 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Tauwasseranfall zulässig	Amplitudendämpfung (TAV): 78,0 Phasenverschiebung: 16,3 h Wärmekapazität innen: 50 $\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$	52 db

Tabelle 9: Berechnungsergebnisse Variante 4 nach [5]

2.6 Variante 5 – Kombination Holzfaser-Zwischen- und Holzfaser-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Als Zwischensparrendämmung können auch Zellulosefasern oder ähnliche Naturfasern unter Berücksichtigung des

Einflusses auf den Nachweis des Feuchteschutzes verwendet werden.

Vorteile:

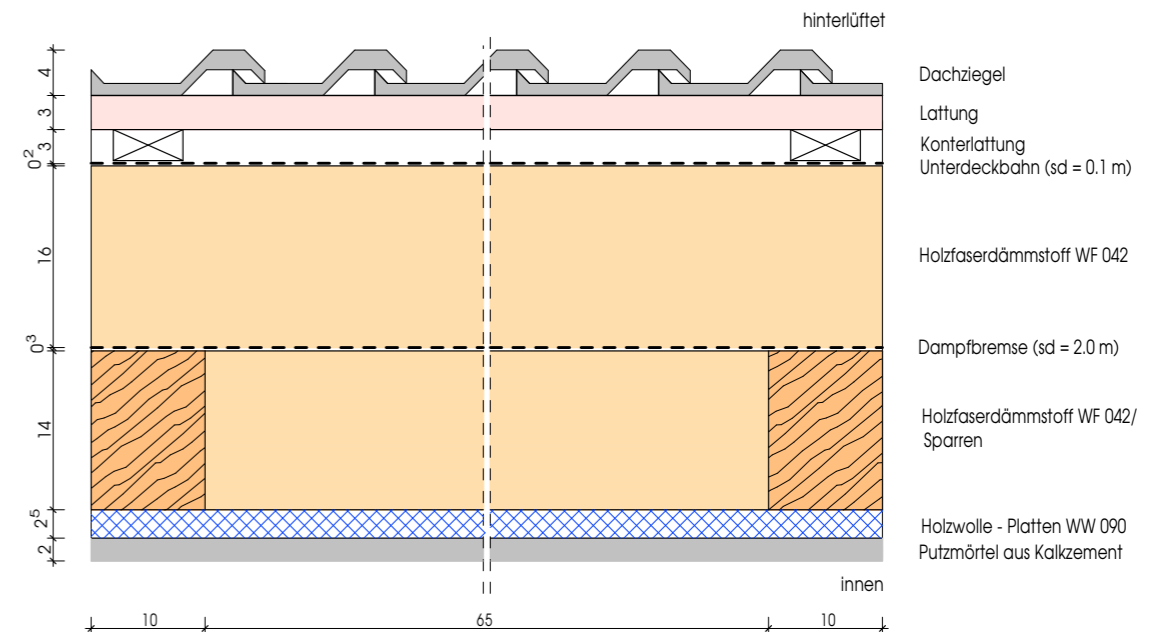
- hohe thermische Speicherfähigkeit
- sehr deutliche Verbesserung des Schallschutzes gegen Außenlärm (Die Messergebnisse der Hersteller und in [8] zeigen teilweise große Schwankungen, unabhängig von der Rohdichte der Platten)
- nahezu wärmebrückenfrei

Nachteile:

- sehr große Aufbauhöhe bei Erzielung der KfW-Anforderungen
- KfW-Anforderungen werden erst ab einer (vorhandenen) Sparrenhöhe von 140 mm erreicht, bei geringeren Sparrenhöhen ist eine zusätzliche Aufdopplung der Sparren erforderlich
- sehr hohes Gewicht

Abbildung 8:

Schnittdarstellung „Kombination Holzfaser-Zwischen- und Hartschaum-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)“



Dach Variante 5 - KfW
 $U = 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$

Schallschutz
 $R_w = 54 \text{ dB}$ [6] (ACHTUNG: große Streuung möglich [8])

winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	kein Tauwasser	Amplitudendämpfung (TAV): > 100 Phasenverschiebung: 22,3 h Wärmekapazität innen: 49 $\text{kJ}/(\text{m}^2\text{K})$	54 dB

Tabelle 10: Berechnungsergebnisse Variante 5 nach [5]

2.7 Variante 6 – Kombination MiWo-Zwischen- und MiWo-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)

Als Zwischensparrendämmung können auch Zellulosefasern oder ähnliche Naturfasern unter Berücksichtigung

des Einflusses auf den Nachweis des Feuchteschutzes verwendet werden.

Vorteile:

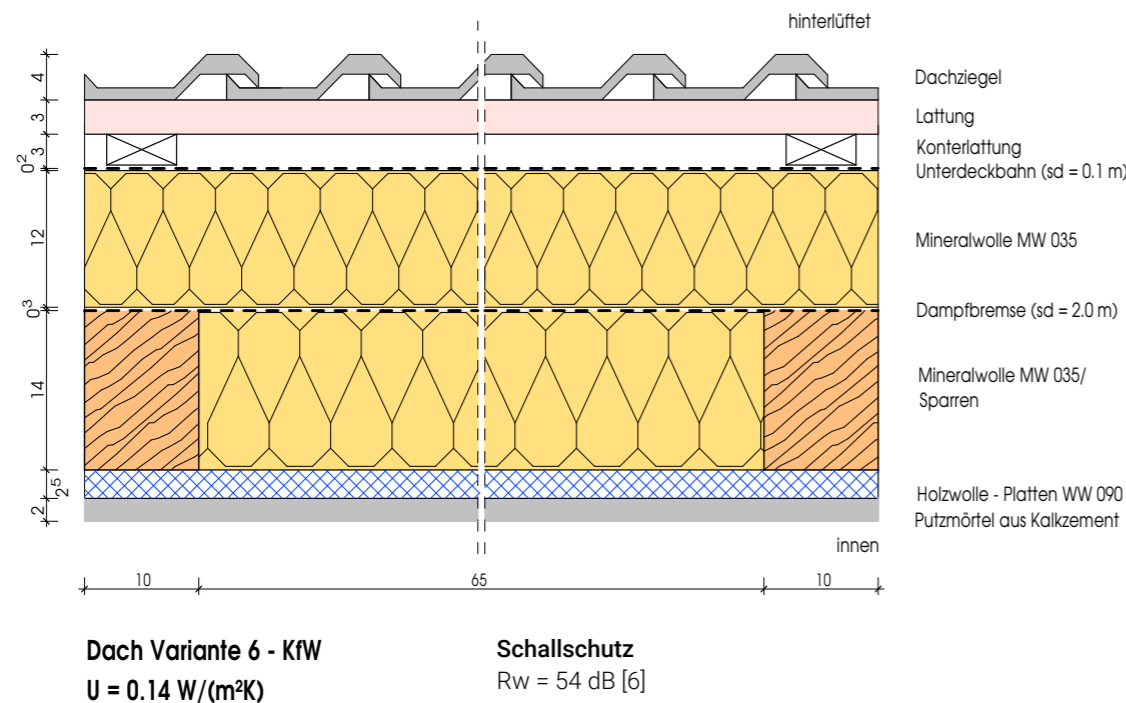
- geringes Gewicht bei hoher Dämmleistung
- Erhöhung der thermischen Speicherfähigkeit
- Verbesserung des Schallschutzes gegen Außenlärm
- nahezu wärmebrückenfrei

Nachteile:

- große Aufbauhöhe bei Erzielung der KfW-Anforderungen

Abbildung 9:

Schnittdarstellung „Kombination MiWo-Zwischen- und MiWo-Aufsparrendämmung (KfW-Standard, $U \leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$)“



winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $\leq 0,14 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Tauwasseranfall zulässig	Amplitudendämpfung (TAV): 33 Phasenverschiebung: 8,0 h Wärmekapazität innen: 50 kJ/(m²K)	54 dB

Tabelle 11: Berechnungsergebnisse Variante 6 nach [5]

2.8 Variante 7 – MiWo-Zwischensparrendämmung (EnEV-Standard, begrenzte Sparrenhöhe)

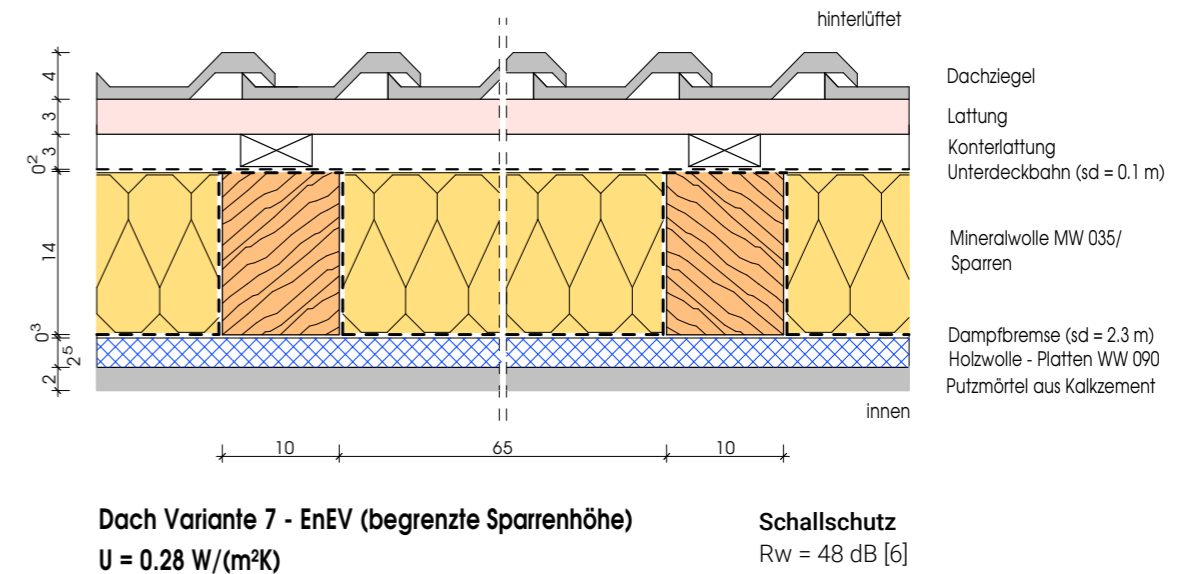
In Ausnahmefällen kommt es bei der energetischen Dachsanierung vor, dass aufgrund von standort- und/oder objektspezifischen Gegebenheiten (z.B. Einhalten der Abstandsflächen oder Denkmalschutz) die Aufdopplung der vorhandenen Sparren oder das Aufbringen einer Aufsparrendämmung nicht möglich ist und damit die gesetzlichen Anforderungen an den U-Wert nicht eingehalten werden können. Anlage 3 der aktuellen EnEV beinhaltet daher für solche

Fälle eine Ausnahmeregelung, wonach eine maximal mögliche Dämmschichtdicke im Zwischensparrenbereich mit einem vorgegebenen Bemessungswert für die Wärmeleitfähigkeit $\lambda = 0,035 \text{ W}/(\text{mK})$ vorzusehen ist. Die Anforderungen können damit als erfüllt betrachtet werden. Variante 7 bildet diesen Fall ab und wird der Vollständigkeit halber ebenfalls aufgeführt.

Die Vor- und Nachteile entsprechen im Wesentlichen denen der Variante „MiWo-Zwischensparrendämmung EnEV-Standard“ (Variante 1).

Abbildung 10:

Schnittdarstellung „MiWo-Zwischensparrendämmung (EnEV-Standard, begrenzte Sparrenhöhe)“



winterlicher Wärmeschutz	klimabedingter Feuchteschutz	bauteilbezogene Kennwerte der thermischen Speicherfähigkeit	Schallschutz $R_{w,R}$
$U=0,28 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ $> 0,24 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$	Tauwasseranfall zulässig	Amplitudendämpfung (TAV): 17 Phasenverschiebung: 6,8 h Wärmekapazität innen: 49 kJ/(m²K)	48 dB

Tabelle 12: Berechnungsergebnisse Variante 7 nach [5]

3 ZUSAMMENFASSUNG UND VARIANTENÜBERSICHT

Zur übersichtlichen Darstellung der verschiedenen Berechnungsvarianten dient die **Tabelle 13**. Dabei beziehen sich die Angaben auf die in **Kapitel 3** vorgestellten Varianten. Die Ermittlung der Kosten erfolgte auf der Datengrundlage des Baukosteninformationszentrums Deutscher Architekten (BKI) und der SIRADOS Bau-daten. Zusätzlich wurden die Berechnungen aller Varianten unter Berücksichtigung einer alternativen innenseitigen Bekleidung mit Gipskartonplatten (2-lagig) auf Traglattung (22 mm), wie sie im Bestand gleichermaßen vorzufinden sind, ermittelt und bewertet. Die Ergebnisse finden sich ebenfalls in **Tabelle 13** wobei eine Darstellung bei abweichender Bewertung im Vergleich zur Variante mit einer verputzten HWL-Platte nach **Abbildung 11** zu interpretieren ist. Dies betrifft lediglich die Varianten 1 und 3 sowie Variante 6.

Abbildung 11:

Darstellung der Varianten für die innenseitige Bekleidung bei unterschiedlich zu bewertendem Ergebnis



Dach-aufbau	Zwischen-sparrendäm-mung	Aufsparren-dämmung	U-Wert [W/(m²K)]	Wärme-brücken	Verlegung Luftdicht-heitsbahn	Feuchte-schutz	thermische Speicher-fähigkeit	Statik Zusatzge-wicht	Schallschutz [dB]	Kosten in €/m²
Bestand unsaniert	MiWo 040	keine	0,56	vorh.	keine	kein Tauwasser	gering	kein	<32	-
Var.1 - EnEV	MiWo 035	keine	0,23	vorh.	schlaufen-förmig	kein Tauwasser	mittel / gering	mittel	50	120
Var.2 - EnEV	keine	PUR 024	0,22	keine	flächig	kein Tauwasser	gering	sehr gering	32	80
Var.3 - KfW	MiWo 035	PUR 022	0,14	keine	schlaufen-förmig	Tauwasser zulässig	hoch / mittel	sehr gering	50	134
Var.4 - EnEV	Holzfasern 042	Holzfasern 042	0,22	keine	flächig	Tauwasser zulässig	hoch	hoch	52	119
Var.5 - KfW	Holzfasern 042	Holzfasern 042	0,14	keine	flächig	kein Tauwasser	hoch	hoch	54	166
Var.6 - KfW	MiWo 035	MiWo 035	0,14	keine	flächig / schlaufen-förmig	Tauwasser zulässig	hoch	mittel	54	110
Var.1 - EnEV (begrenzte Sparren-höhe)	MiWo 035	keine	0,28	vorh.	schlaufen-förmig	Tauwasser zulässig	gering	mittel	48	91

Tabelle 13: Übersicht der Varianten inkl. Bewertung

4 EMPFEHLUNG UND SCHLUSSBETRACHTUNG

Der rechnerische Vergleich der untersuchten Dachkonstruktionen hinsichtlich der verschiedenen Aspekte sommerlicher und winterlicher Wärmeschutz, Feuchte- und Schallschutz zeigt deutlich, dass durch die energetische Dachsanierung gegenüber dem unsanierten Bestand viele bauphysikalische Eigenschaften einer vorhandenen Konstruktion deutlich verbessert werden können.

Generelle Empfehlungen auszusprechen ist dennoch schwierig, da die Gegebenheiten vor Ort einen nicht unerheblichen Einfluss auf die zu treffende Wahl haben. So ist es z.B. denkbar, dass bei einem Objekt auf dem (ruhigen) Lande, der Außenlärm nicht die entscheidende Rolle spielt und daher ein geringer Schallschutz gegen Außenlärm leichter hinnehmbar ist. Es muss demzufolge im Vorfeld eine Prioritätenliste erstellt und ggf. vertraglich vereinbart werden, um nicht zuletzt den individuellen Wünschen des Bauherrn gerecht zu werden.

Nichtsdestotrotz hat diese Ausarbeitung die konkrete Aufgabe, Empfehlungen für die Dachsanierung auszusprechen:

Erstens ist für die Erreichung des EnEV-Standards die Dachkonstruktion mit einer Kombination von Zwischen- und -aufsparrendämmung (Variante 4 und 6) dicht gefolgt von der Dachkonstruktion mit einer reinen Aufsparrendämmung aus PU-/PF-Hartschaum (Variante 2) zu empfehlen. Im direkten Vergleich liegen die Varianten 4 und 6 ökonomisch gesehen im Mittelfeld, es muss jedoch hinsichtlich des klimabedingten Feuchteschutzes Sorgfalt gelten (Leckagen in der LDB oder in anderweitige, zusätzliche Feuchteinträge sind hier unbedingt zu vermeiden). Auch aus statischer Sicht kann es aufgrund des höheren Gewichts bei Variante 4 ggf. zu Einschränkungen kommen, weshalb unbedingt ein Tragwerksplaner hinzugezogen werden sollte.

Variante 2 ist aus ökonomischer Sicht der Spitzenreiter, hat jedoch in den Bereichen thermische Speicherfähigkeit und Schallschutz seine Grenzen. Hier kommt es stark auf die örtlichen Gegebenheiten an.

Zweitens: Wird vom Bauherren die Einhaltung höherer Anforderungen an die energetische Ausführung gewünscht, z.B. durch die Inanspruchnahme einer KfW-Förderung für die Sanierung, ergeben sich bei der Verwendung von nachwachsenden Dämmstoffen wie Holzfasern im Vergleich zu den anderen Varianten sehr große Aufbauhöhen. Ist eine große Aufbauhöhe baupraktisch nicht umsetzbar (z.B. Statik, Denkmalschutz, Begrenzungsfläche, etc.), empfiehlt sich eine Dachkonstruktion mit



einer Zwischensparrendämmung aus Mineralwolle und kombiniert mit einer PU-/PF-Hartschaum-Aufsparrendämmung (Variante 3). Neben der geringen zusätzlichen Aufbauhöhe ist diese Ausführungsvariante sehr leicht und bietet daher Vorteile für Objekte mit geringen Tragfähigkeitsreserven. Die Nachteile beim sommerlichen Wärmeschutz und beim Schallschutz lassen sich ggf. durch die Kombination mit schweren Dämmstoffen reduzieren (z.B. Zwischensparrendämmung mit Holzfasern und Aufsparrendämmung mit PUR/PF-Hartschaumplatten). Einige Hersteller bieten für solche Anwendungsfälle auch Verbundplatten als Aufsparren-System an.

Abschließend wird – unabhängig vom gewählten Aufbau – die Einhaltung folgender Grundsätze immer empfohlen:

- gründliche Bestandsaufnahme als Planungsgrundlage
- im System der Hersteller bleiben bzw. innerhalb deren Empfehlungen
- sorgfältige Ausführung der Stöße sowie Anschlüsse der LDB und der Dämmung

Auf diese Weise können alle am Bau Beteiligten (Bauherr, ausführende Firmen und Planer) sicher gehen, dass eine energetische Sanierung nicht zu einer späteren Vollsanierung führt.



bibliothek

Quellenverzeichnis

- [1] KfW Bankengruppe. www.kfw.de. Abgerufen am 30. November 2018 von <https://www.kfw.de/kfw.de.html>
- [2] DIN 4109-33. (2016-07). Abs. 4.2.1.2.
- [3] Hückstädt, Dipl.-Ing. (FH) Stefan. (Mai 2015). Dachsanierung von außen - Wohin mit der Folie. Der Zimmermann, Rudolf-Müller-Verlag, Köln, S. 14-18.
- [4] MOLL bauökologische Produkte GmbH. (Februar 2016). Systembroschüre „Luftdichtung innen - Sanierung“. Abgerufen am 12. November 2017 von <https://de.proclima.com/systeme/sanierung>
- [5] DÄMMWERK 2019. (November 2018).
- [6] DIN 4109-33. (2016-07). Tabelle 13.
- [7] DIN 4109-33. (2016-07). Tabelle 12.
- [8] ITA Ingenieurgesellschaft für Technische Akustik mbH, Beratende Ingenieure VBI. (2008). Forschungsarbeit – Schallschutz von geneigten Dächern und Dachflächenfenstern – Abschlussbericht. Wiesbaden.
- [9] DIN 4109-33. (2016-07). Tabelle 9.
- [10] PAVATEX GmbH. (Dezember 2012). www.pavatex.de. Abgerufen am 5. Dezember 2017 von https://www.pavatex.de/uploads/tx_sbdowloader/130103_Schallschutzloesungen-Dach_small_03.pdf

Literaturverzeichnis

Das wirtschaftliche und energetische Potenzial der Dachsanierung zur Erreichung der Klimaschutzziele 2030/2050. Forschungsinstitut für Wärmeschutz e.V. München. Gräfelfing 2018.

EnEV 2016 – Energieeinsparverordnung zur zweiten Verordnung zur Änderung der Energieeinsparverordnung vom 18. November 2013.

FMI Fachverband Mineralwolleindustrie e.V. www.der-daemmstoff.de. Abgerufen am 30. November 2017 von <http://www.der-daemmstoff.de/#geneigtes-dach-aufsparren>

IVPU – Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (Juni 2010). [www.daemmt-besser.de](http://www.ivpu.de). Abgerufen am 13. Dezember 2017 von http://www.ivpu.de/cms/upload/pdf/Planungshilfe_Steildach_2009_03.pdf

MOLL bauökologische Produkte GmbH. www.blog.proclima.de. Abgerufen am 30. November 2017 von <https://blog.proclima.com/de/2016/08/luftdichtung-dachsanierung/>

dataholz. www.dataholz.eu. Abgerufen am 30. November 2018 von <https://www.dataholz.eu/bauteile/daecher.htm>

WuFi - Fraunhofer IBP - Leitfaden & Handbücher. www.wufi.de. Abgerufen am 30. November 2018 von <https://wufi.de/de/service/downloads/>

Dachkonstruktionen in Holzbauweise mit Polyurethan-Dämmung - IVPU - Industrieverband Polyurethan-Hartschaum e.V. (2016). www.ivpu.de.

DIN 4108-2. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz; Ausgabe Februar 2013; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.), Berlin 2013

DIN 4108-3. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz – Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung; Ausgabe Oktober 2018; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.), Berlin 2018

DIN 4109-33. Schallschutz im Hochbau – Teil 33: Daten für die rechnerischen Nachweise des Schallschutzes (Bauteilkatalog) – Holz-, Leicht- und Trockenbau; Ausgabe Juli 2016; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.), Berlin 2016

DIN 68800-2. Holzschutz – Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau, Ausgabe Februar 2012; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.), Berlin 2012

DIN EN 15026. Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen – Bewertung der Feuchteüberwachung durch numerische Simulation; Deutsche Fassung, Ausgabe Juli 2007; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.), Berlin 2007

DIN EN ISO 6946. Bauteile – Wärmedurchlasswiderstand und Wärmedurchgangskoeffizient – Berechnungsverfahren; Deutsche Fassung, Ausgabe März 2018; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.), Berlin 2018

DIN V 4108-6. Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden – Teil 6: Berechnung des Jahresheizwärme- und des Jahresheizenergiebedarfs; Ausgabe Juni 2003; Deutsches Institut für Normung e.V. – DIN (Hrsg.), Berlin 2003



Impressum

Herausgeber:

Bundesverband der Deutschen Ziegelindustrie e.V.
Reinhardtstraße 12-16
10117 Berlin

Recherche & Grundlagenermittlung:

Ift – Ingenieurbüro für Tragwerksplanung
Dipl.-Ing. M.A. Michael Bemmlott
Ibergrandweg 2
37308 Heilbad Heiligenstadt

Redaktion:

Dipl.-Ing. Juliane Nisse

Titelfoto:

Röben Tonbaustoffe GmbH

Bildquelle technische Zeichnungen

Ingenieurbüro für Baustatik und Sanierungsplanung PartGmbH. (2019)



ZIEGEL^{.DE}

Bundesverband der Deutschen
Ziegelindustrie e.V.
Reinhardtstraße 12-16
10117 Berlin

