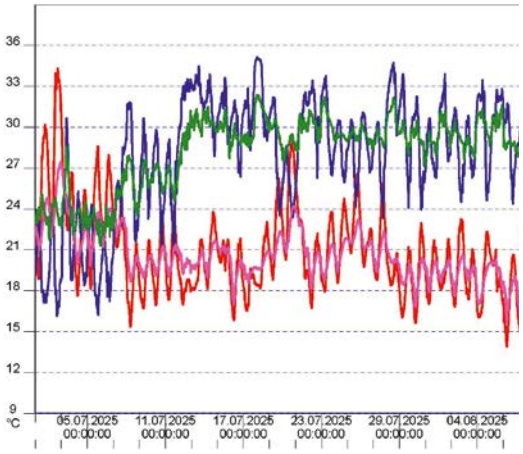
Handreichungen
des Landesamtes
für Denkmalpflege
Sachsen



Historische Holzbalkendecken im Klimastress

LANDESAMT FÜR DENKMALPFLEGE | Freistaat SACHSEN

Historische Holzbalkendecken im Klimastress

Handreichungen des Landesamtes für Denkmalpflege Sachsen

gefördert durch

DBU

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

www.dbu.de

Diese Handreichung entstand im Rahmen des Projekts »Entwicklung modellhafter Erhaltungs- und Sanierungsstrategien bei klimabedingten strukturellen Schäden an historischen Holzbalkendecken.«

Projektdurchführung:
Landesamt für Denkmalpflege Sachsen

Link zum Abschlussbericht:
www.dbu.de/projektdatenbank/38093-01

◄ Kiebitz, Kirche, Blick auf die Holzbalkendecke

S. BARTHOLOMEUS
S. MATTHÆUS
S. SIMON
S. PETRUS
S. IACOBUS MAIOR
S. PAULUS
S. IUDAS THADDEUS
S. IOHANNES
S. ANDREAS
S. PHILIPPUS
S. THOMAS
S. MATTHIAS
S. IACOBUS MINOR

Inhalt

Zum Geleit **6**

Historische Holzbalkendecken im Klimastress **9**
Checkliste: Planungs-, Kosten- und Qualitätssicherung bei Bauprojekten (in Anlehnung an HOAI) 10

Holzbalkendecken im Kulturdenkmal **12**
Checkliste: Beschreibungshilfe für Deckenkonstruktionen 13

Tragfähigkeit historischer Holzbalkendecken und Umgang mit schweren Dämmstoffen **14**
Checkliste: Standsicherheit von Geschossdecken unter Kaltdächern 16

Klimabedingte Schäden und konservatorische Maßnahmen zum Erhalt historischer Holzbalkendecken **17**
Klimabedingte Schadensprozesse an historischen Holzbalkendecken 17
Grundsätze zur Konservierung und Instandsetzung historischer Putz- und Stuckdecken 20

Dämmsysteme für den sommerlichen Wärmeschutz **22**
Lehm und mineralische Schüttung 22
Glaswolle (Mineralwolle) 23
Holzfasern 23
Zellulose 24
Checkliste: Auswahl der Dämmebene 25

Ausgewählte Messobjekte aus dem Forschungsprojekt **30**
Versuchsobjekt: Sayda, Nebengebäude des Pfarrhauses / Diakonates 32
Versuchsobjekt: Nossen, Schloss, Südflügel 37
Untersuchungsobjekt: Bockendorf, Kirche 42
Untersuchungsobjekt: Colditz, Schloss, Saalhaus, Festsaal 45
Untersuchungsobjekt: Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Rittersaal 48
Modifiziertes Untersuchungsobjekt: Kiebitz, Kirche 51
Untersuchungsobjekt: Lawalde, Kirche 54
Untersuchungsobjekt: Leipzig, Gohliser Schlösschen, Oesersaal 57
Modifiziertes Untersuchungsobjekt: Milkau, Kirche St. Martin 60
Untersuchungsobjekt: Penig, Stadtkirche Unser Lieben Frauen auf dem Berge 64
Untersuchungsobjekt: Schwarzenberg, Stadtkirche St. Georg 67

Bauklimatische Bewertung und Empfehlungen **70**
Maßnahmen zur Kompensation nicht realisierbarer Dämmvorhaben 73
Checkliste: Belüftungsmöglichkeiten eines historischen Dachraums (Kaltdachkonstruktion) 76

Hygrothermische Simulationsberechnungen **77**

Nachwort und Dank **79**

Zum Projekt **82**

◄ Dresden, Leubnitz-Neuostra, Dorfkirche, reich bemalte Deckenunterseite vom kurfürstlich-sächsischen Hofmaler Gottfried Lucas

Zum Geleit

Deutsche Bundesstiftung Umwelt

Historische Holzbalkendecken in Dorfkirchen und Profanbauten zählen zu den prägenden, oft aber unterschätzten Zeugnissen unserer Bau- und Kunstgeschichte. In den vergangenen Jahren zeigten sich an ihnen in Sachsen, Sachsen-Anhalt und weiteren Bundesländern zunehmend gravierende Schäden mit erheblichen finanziellen Folgen für Gemeinden und Eigentümerschaft.

Für die Deutsche Bundesstiftung Umwelt (DBU), eine der größten Förderstiftungen Europas, die Projekte zum Schutz von Natur, Umwelt und Kulturgütern unterstützt, war die Förderung dieses Vorhabens besonders wichtig. Als Stiftung, die sich für die Verbindung von Umweltschutz und Kulturgutbewahrung einsetzt, sieht die DBU im schonenden Umgang mit historischer Bausubstanz einen wichtigen Beitrag zur Ressourcenschonung. Der Klimawandel verändert die bauklimatischen Bedingungen in Dachräumen spürbar: Sommerliche Hitze, stärkere Temperaturschwankungen und in der Vergangenheit fehlerhaft ausgeführte Dämmungen setzen historische Holzbalkendecken zunehmend unter Stress. Bislang fehlten belastbare Grundlagen dafür, wie sich diese Einflüsse auswirken und wie ihnen denkmalgerecht begegnet werden kann. Das Projekt setzte genau hier an und untersuchte systematisch die bauklimatischen Zusammenhänge im Grenzbereich zum Kaltdach.

Blochwitz, Dorfkirche,
Deckenfeld mit goldenem Zapfen

Besonders hervorzuheben ist der interdisziplinäre, praxisnahe Ansatz: Auf Basis von Mess- und Versuchsreihen sowie hygrothermischen Simulationsberechnungen an ausgewählten Denkmalobjekten wurden vorhandene Dämmungen bewertet und mit nachhaltigen Alternativen, wie Holzfaserwerkstoffen und Lehm, verglichen. Begleitet wurde das Vorhaben von einem Fachbeirat unter Beteiligung u. a. der Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden und des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik (IBP Valley). Entstanden ist die vorliegende Handreichung, die Gemeinden, Planungs-, Handwerks- und Restaurierungsfirmen sowie Denkmalpflegenden ein praxistaugliches Instrument für sommerlichen Wärmeschutz und denkmalverträgliche Sanierungsstrategien an die Hand gibt. Sie macht die Projektergebnisse dauerhaft zugänglich und zeigt beispielhaft, wie fundierte Forschung, interdisziplinäre Zusammenarbeit und praxisnahe Vermittlung dazu beitragen, historische Holzbalkendecken auch unter sich wandelnden klimatischen Bedingungen zu erhalten.

Blochwitz, Dorfkirche, Außenansicht

Die DBU dankt allen Projektbeteiligten für ihr Engagement und die konstruktive Zusammenarbeit. Ein besonderer Dank gilt den beteiligten Fachinstitutionen und dem Beirat, die das Vorhaben fachlich begleitet und maßgeblich unterstützt haben.

Constanze Fuhrmann
Deutsche Bundesstiftung Umwelt
Referatsleitung Umwelt- und Kulturgüter

Zum Geleit

Landesamt für Denkmalpflege Sachsen

Denkmalpflege geht weit über den Kulturguterhalt hinaus. Durch ihre Nähe zu den Denkmalen und den Austausch mit den Verantwortlichen vor Ort kann sie Forschungsfragen erkennen, Fachdisziplinen auf Augenhöhe zusammenbringen und Lösungswege anstoßen. Als Schnittstelle zwischen Forschung und Praxis verbindet sie wissenschaftliche Erkenntnisse mit konkreter Anwendung.

Dieser Anspruch prägt diese Fachpublikation. Sie bildet den Abschluss unseres von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) geförderten Forschungsprojekts zur Entwicklung von Erhaltungs- und Sanierungsstrategien bei klimabedingten strukturellen Schäden an historischen Holzbalkendecken. Seit dem 1. Februar 2023 hat ein interdisziplinäres Team Schadensmechanismen untersucht und Ansätze zur Früherkennung und Vermeidung entwickelt. Für das Landesamt für Denkmalpflege Sachsen (LfD Sachsen) ist das Vorhaben ein Meilenstein: Erstmals haben wir ein Forschungsprojekt in alleiniger Trägerschaft durchgeführt. Der DBU danken wir herzlich für die Förderung und das Vertrauen.

Oybin, Bergkirche,
Deckenfeld mit Rankenornament

Um den komplexen Herausforderungen unserer Zeit gerecht zu werden, sind Forschungsprojekte wie dieses keine Option, sondern eine Resilienzstrategie. Infolge zunehmend heißer Sommer sind Schäden an Kulturdenkmalen wie Risse, herabfallender Stuck oder der Verlust von Farbfassungen keine Einzelfälle mehr. Gleichzeitig werden Fachbetriebe weniger, Normen schaffen Unsicherheiten und die Baukosten steigen. Umso wichtiger ist es, im Denkmalbereich den Mut zu bewahren, sich von starren Vorgaben zu lösen und individuelle, objektspezifische Lösungen zu finden. Viele historische Bauwerke bestehen seit Jahrhunderten – weil sie klug konstruiert wurden und in sich funktionieren. So gewinnt der »Low-Tech«-Ansatz an Bedeutung: weniger Technik, mehr Verständnis für traditionelle Handwerkskunst und gewachsene Bauweisen.

Dies bestätigen auch die Ergebnisse aus dem Forschungsprojekt, die in dieser Handreichung gebündelt und für die Praxis nutzbar gemacht werden. Sie soll Denkmaleigentümern und Fachleuten helfen, frühzeitig Maßnahmen zu ergreifen, um langfristig Schäden und hohe Sanierungskosten zu vermeiden.

Mein Dank gilt dem Projektteam, allen Projekt- und Kooperationspartnern, dem projektbegleitenden Ausschuss sowie den Kirchgemeinden und Eigentümern der Messobjekte. Ihr Engagement und ihre Bereitschaft zum fachlichen Austausch haben Projekt und Publikation erst möglich gemacht.

Alf Furkert
Sächsischer Landeskonservator

Oybin, Bergkirche, Außenansicht

Gestaltungsformen historischer Holzbalkendecken

Wechselburg, Kirche St. Otto, Putzdecke mit ornamentalem Stuckdekor

Lawalde, Kirche, einfache Bretterdecke mit monochromer Farbfassung

Rochlitz, Schloss, Lehmdecke

Rossau, Kirche, Kassettendecke mit polychromer Bemalung

Wermsdorf, Schloss Hubertusburg, Schlosskapelle, Putzdecke mit Deckengemälde

Schwarzenberg, St. Georgenkirche, Stuckdekorimitation aus Holzschnitzelementen

Historische Holzbalkendecken im Klimastress

Ein Pilotprojekt

In den vergangenen Jahren wurde in zahlreichen historischen Gebäuden – insbesondere in Kirchen – eine Zunahme von Rissbildungen und gravierenden strukturellen Schäden an holzsichtigen, verputzten oder farbig gefassten Holzbalkendecken beobachtet. Betroffen sind vor allem Decken im Übergangsbereich zu Kaltdächern.

Diese Holzbalkendecken bilden die bauliche Trennung zwischen dem massiv errichteten Gebäudekörper und einem ungedämmten, belüfteten Dachraum, der im Folgenden als Kaltdach bezeichnet wird. Kennzeichnend ist ein großvolumiger Dachraum, der mehr oder weniger stark von Außenluft durchströmt wird. Er dient als thermische Pufferzone: Im Winter verlangsamt er die Auskühlung, im Sommer dämpft er die Erwärmung der darunterliegenden Räume.

Infolge des anthropogenen Klimawandels treten seit einigen Jahren häufiger ausgeprägte und langanhaltende sommerliche Hitzeperioden auf. Dadurch erwärmen sich die Dachräume insgesamt stärker und die Temperaturspitzen und -schwankungen nehmen innerhalb der Konstruktion zu. Über längere Zeiträume hinweg besteht die Gefahr, dass sich ein Wärmestau ausbildet, welcher mit einer sehr niedrigen relativen Luftfeuchte einhergeht. Unter diesen Bedingungen geben Holzbauteile und andere hygroskopische Materialien verstärkt Feuchtigkeit ab. Dies kann bei Holzbauteilen und weiteren feuchteempfindlichen Materialien Schwindverformungen und Trockenrisse hervorrufen oder bereits vorhandene Schäden verstärken. In der Folge können wertvolle Bestandteile des Denkmals dauerhaft beeinträchtigt werden.

Bislang werden Sanierungsmaßnahmen im betroffenen Deckenbereich sehr unterschiedlich ausgeführt, häufig ohne eine systematische Berücksichtigung der jeweiligen konstruktiven und bauklimatischen Besonderheiten. Konventionelle Sanierungsmethoden sind oftmals mit großflächigen baulichen Eingriffen verbunden, bis Hin zur Entfernung ursprünglicher oder historischer Dämmung aus der Deckenkonstruktion. An der Deckenunterseite werden nicht selten ganze Putzflächen erneuert. Neben dem unwiederbringlichen Verlust wertvoller historischer Bausubstanz führen Instandsetzungsmaßnahmen, die in immer kürzeren Abständen erforderlich werden, zu erheblichen organisatorischen und finanziellen Belastungen für die betroffenen Eigentümer. Auch unter dem Gesichtspunkt der Nachhaltigkeit sind derartige Maßnahmen problematisch.

Die konstruktive Ausbildung historischer Holzbalkendecken, baupraktische Sanierungsmethoden für deren Konstruktion sowie ihre künstlerische Gestaltung wurden in der Forschung bereits umfassend behandelt. Eine gezielte vergleichende Untersuchung von Deckenkonstruktionen im Übergangsbereich zwischen Innen- und Dachraum stand bislang jedoch nicht im Mittelpunkt.

Grundlage der Projektarbeit war die Erfassung von Klimadaten, Konstruktionen und Materialkennwerten ausgewählter Kulturdenkmale im Freistaat Sachsen. Ergänzend wurden an Versuchsobjekten unterschiedliche Dämmsyteme im Vergleich getestet. Die über zwei Jahreszyklen hinweg erhobenen Klimadaten bildeten zugleich die Grundlage für bauphysikalische Simulationsberechnungen.

Ziel des Projekts war es, möglichst übertragbare Bewertungs- und Planungsstandards für diese Gebäudegruppe zu erarbeiten. Auf dieser Grundlage sollen die bauklimatischen Eigenschaften historischer Holzbalkendecken im Übergangsbereich zum Kaltdach künftig im jeweiligen Einzelfall bau- und denkmalfachlich fundierter beurteilt werden können. Die daraus abgeleiteten Handlungsempfehlungen sind in der vorliegenden Handreichung zusammengefasst.

Sehmatal-Neudorf, Kirche, Deckenfeld mit offenen Brettfugen und Fassungsverlusten

Checkliste: Planungs-, Kosten- und Qualitätssicherung bei Bauprojekten (in Anlehnung an HOAI)

1. Vorbereitung / Konzeptentwicklung: Bestands- und Zustandsaufnahme

Zu Beginn werden Bestand und Zustand des Gebäudes untersucht sowie erste Grundlagen gesammelt. Frühe Untersuchungen helfen, Schäden, Risiken und spätere Mehrkosten rechtzeitig zu erkennen.

- ☐ Durchführung vorbereitender Messungen wie Klima- und Feuchtemessungen oder Schadstoffanalysen
- ☐ Untersuchung und Dokumentation originaler oder historischer Befunde wie Spuren, Techniken oder Materialien z. B. im Rahmen restauratorischer Voruntersuchungen

2. Grundlagenermittlung / Analyse: Ziele klären, Fachstellen frühzeitig einbinden

Die wichtigsten Ziele des Projekts werden festgelegt. Gleichzeitig sollten frühzeitig Abstimmungen mit Fachleuten und Behörden erfolgen, um die Grundlage für einen geordneten Planungs- und Genehmigungsprozess zu schaffen.

- ☐ Klärung der Ziel- und Aufgabenstellung
  - Welche Maßnahmen sind geplant?
  - Was soll erhalten, verändert oder ergänzt werden?
  - Welche Nutzung ist vorgesehen?

- ☐ Frühzeitige Vorabstimmung (= Vorstufe Genehmigungsplanung)
- ☐ Empfohlen wird ein gemeinsamer Ortstermin mit
  - Eigentümerinnen und Eigentümern, deren Vertretung oder den Bauverantwortlichen eines Kulturdenkmals
  - zuständigen Behörden und Fachbehörden
  - beteiligten Fachplanerinnen und Fachplanern

- ☐ Frühzeitige Einbindung der zuständigen Genehmigungsbehörden, soweit sie für das jeweilige Projekt erforderlich sind:
  - untere Denkmalschutzbehörde, Landesamt für Denkmalpflege: denkmal- und baufachliche Beratung, Beratung zu Fördermöglichkeiten
  - untere Bauaufsichtsbehörde: bauordnungsrechtliche Fragen
  - weitere Fachbehörden wie z. B. die untere Natur- oder Wasserschutzbehörde

- ☐ Einbindung geeigneter Fachleute. Empfohlen werden Planungsbüros, Sachverständige und ausführende Fachfirmen mit Erfahrung im Denkmalbereich, beispielsweise:
  - Objektplanerinnen und Objektplaner, Architektinnen und Architekten
  - Tragwerksplanerinnen und Tragwerksplaner, Statikerinnen und Statiker
  - Fachleute für Bauphysik und Bauklimatik
  - Handwerksbetriebe unterschiedlicher Gewerke
  - Sachverständige für Holzschutz
  - Sachverständige für Brandschutz
  - Restauratorinnen und Restauratoren
  - weitere Fachplanerinnen und Fachplaner nach Bedarf

3. Vorplanung: Erste Planung und Kostenschätzung

Erste Lösungsansätze und ein Planungskonzept werden entwickelt. Auf dieser Grundlage lassen sich die voraussichtlichen Kosten und der zeitliche Rahmen erstmals abschätzen.

- ☐ Erarbeitung eines Planungskonzepts
- ☐ Entwicklung, Vergleich und Abstimmung möglicher Varianten
- ☐ Erste Einschätzung der zu erwartenden Kosten
- ☐ Aufstellung eines vorläufigen Terminrahmens

4. Entwurfsplanung: Konkrete Planung und Finanzierung

Die Planung wird weiter ausgearbeitet. Auf dieser Grundlage entstehen eine Kostenberechnung sowie ein belastbarer Kosten- und Finanzierungsplan.

- ☐ Ausarbeitung der Planung
- ☐ Erstellung einer Kostenberechnung
- ☐ Aufstellung eines Kosten- und Finanzierungsplans

Mögliche Finanzierungsbausteine:

- Eigenmittel
- Kredite
- Fördermittel (Beachtung von Förderrichtlinien und -fristen)

5. Genehmigungsplanung: Genehmigungen beantragen

Die für das Vorhaben erforderlichen Unterlagen werden zusammengestellt und bei den zuständigen Behörden eingereicht. Vor Beginn der Arbeiten muss geklärt sein, welche Genehmigungen, Zustimmungen oder Anzeigen erforderlich sind und welche Fristen eingehalten werden müssen.

- ☐ Klärung der Genehmigungs- und Anzeigepflichten
- ☐ Zusammenstellung aller erforderlichen Unterlagen
- ☐ Beantragung und Einreichung der
  - Denkmalrechtlichen Genehmigung
  - Baugenehmigung

6. Ausführungsplanung: Details und Ausführung vorbereiten

Die Planung wird technisch und handwerklich detailliert vorbereitet und so weit ausgearbeitet, dass die Maßnahmen fachgerecht und möglichst ohne vermeidbare Unklarheiten ausgeführt werden können.

- ☐ Erstellung von Ausführungs- und Detailplänen
- ☐ Abstimmung mit Fachplanern und bauausführenden Fachfirmen
- ☐ Berücksichtigung der Auflagen aus den Genehmigungsverfahren

7. Vergabe: Angebote einholen und vergeben

Die eingegangenen Angebote werden fachlich und wirtschaftlich geprüft. Anschließend werden geeignete Fachfirmen ausgewählt und beauftragt. Die Wahl der ausführenden Unternehmen beeinflusst die Qualität der Arbeiten maßgeblich.

- ☐ Einholung, Prüfung und Vergleich mehrerer Angebote
- ☐ Auswahl geeigneter Fachfirmen

Bei geförderten und öffentlichen Maßnahmen zusätzlich beachten:

- ☐ Vergabevorgaben, Nebenbestimmungen und Förderrichtlinien vor der Ausschreibung und Beauftragung prüfen und einhalten

8. Objektüberwachung: Bauausführung begleiten und dokumentieren

Der Bauablauf wird fachlich begleitet, kontrolliert und dokumentiert. Eine kontinuierliche Begleitung unterstützt die Qualitätssicherung und hilft, Probleme frühzeitig zu erkennen und gemeinsam zu lösen.

Hinweise für Eigentümerinnen und Eigentümer

- **Frühzeitige Planung lohnt sich.** Sie erleichtert die Einschätzung von Kosten und Terminen, verbessert die Fördermöglichkeiten und verringert das Risiko von Verzögerungen und Nachträgen.
- **Gute Zusammenarbeit ist entscheidend.** Denkmalgerechte Bauprojekte gelingen besonders gut, wenn Bauherrschaft, Planung, Handwerk und Behörden regelmäßig zusammenarbeiten.
- **Der Umfang ist immer vom Einzelfall abhängig.** Nicht jedes Projekt benötigt alle aufgeführten Untersuchungen und Fachplanungen. Eine frühzeitige Beratung hilft, den tatsächlich notwendigen Umfang festzulegen.

Die Checkliste bietet eine erste Orientierung. Sie ersetzt keine projektbezogene Fachplanung oder rechtliche Beratung.

Wichtige Punkte:

- ☐ Regelmäßige fachliche Begleitung und Kontrolle des Bauablaufs
- ☐ Laufende Abstimmung zwischen Bauherrschaft, Planung, Fachfirmen und weiteren Beteiligten
- ☐ Einbindung der zuständigen Behörden während der Bauausführung, soweit dies nach Bauablauf, Genehmigung und Nebenabstimmungen erforderlich ist
- ☐ bei Ablauf- oder Planungsänderungen
  - rechtzeitige Information an Genehmigungsbehörden
  - erforderliche Anpassung oder Ergänzung der Genehmigungen beantragen (Denkmalrechtliche Genehmigung, Baugenehmigung)

Außerdem wichtig:

- ☐ laufende Kosten- und Terminkontrolle
- ☐ Prüfung von Plänen und Rechnungen
- ☐ Dokumentation der Baumaßnahme entsprechend der Genehmigungsauflagen

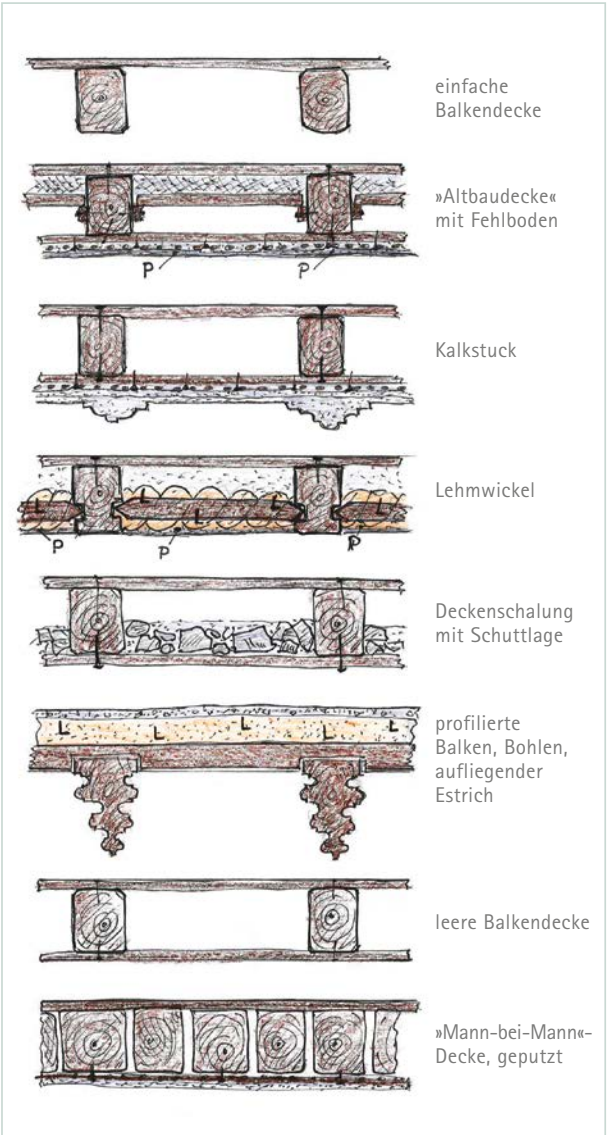
Nach Fertigstellung:

- ☐ Vertragliche Abnahme der ausgeführten Leistungen mit den beauftragten Fachfirmen
- ☐ Denkmalfachlicher Abschlusstermin oder gemeinsame Schlussbegehung mit den zuständigen Behörden, sofern dies vorgesehen, beauflagt oder im Einzelfall sinnvoll ist

Holzbalkendecken im Kulturdenkmal

Historische Konstruktions- und Gestaltungsformen

Raumdecken stellen meist die größte zusammenhängend wahrnehmbare Fläche in repräsentativen Profan- oder Sakralräumen dar. Diese Bedeutung manifestiert sich bei Holzbalkendecken in zahlreichen individuellen, formalen und artifiziellen Ausbildungen bzw. Techniken. Bei ihrer Herstellung und Ausgestaltung waren neben den praktisch tätigen Handwerksunternehmen oft auch renommierte Architekten und Künstler beteiligt. Holzbalkendecken zählen, neben Wänden und Dächern, zu den grundlegenden und ältesten Konstruktionselementen des Hausbaus. Die Thematik beinhaltet somit neben baukonstruktiven Faktoren auch ein großes kunst- und kulturgeschichtliches Potential.



Konstruktionsformen historischer Holzbalkendecken im schematischen Schnitt

Der einzelne Balken einer solchen Konstruktion wird als Dach- bzw. Deckenbalken bezeichnet, die Gesamtkonstruktion als Holzbalkendecke. Bei klassischen Sparrendächern ist der Dachbalken essentieller Bestandteil der Konstruktion: Beide Enden sind fest mit den Fußpunkten der Sparren verbunden. Statisch fungiert der Dachbalken als Zugglied des sogenannten Dachdreieckes und muss gleichzeitig als Einfeldträger (bei ausschließlicher Auflage auf den Außenwänden) oder Mehrfeldträger (bei mehr als zwei Auflagerpunkten – z. B. Auflagerung auf Zwischenwänden oder Unterzügen) betrachtet werden.

Im frühen europäischen Haus- und Sakralbau wurde der Innenraum häufig bis zur Dachkonstruktion offen ausgebildet, die Deckenbalkenebene lag frei im Raum. Sofern die Deckenebene nicht massiv eingewölbt wurde, schloss man die Dachbalkenebene mit einer Dielung, wodurch der Dachboden als separater Raum entstand. Solche Konstruktionen mit unterseitig sichtbaren, häufig auch bemalten Deckenbalken etablierten sich als eigenständiges, gestalterisch vielfältiges Architekturelement (z. B. Schiffskehlendecke).

Historische Holzbalkendecken lassen sich entsprechend in verschiedene Konstruktions- und Gestaltungsformen unterscheiden: einfache Bretterdecken, kassettierte Brett- und Felderdecken, profilierte Balkendecken mit kassettierten Füllungen sowie geputzte bzw. stuckierte Deckenflächen (Putzdecken). Erhaltene Dachwerke der sächsischen Kulturlandschaft reichen bis ins 13. Jahrhundert zurück und besaßen bereits flächig verkleidete Deckenebenen (z. B. Kirche Hayna, dendrochronologisch datiert 1255). Aus gotischer und spätgotischer Bauphase existieren nur wenige, zum Teil künstlerisch sehr hochwertig gestaltete Holzdecken (z. B. schablonierte Decke der Kirche Etzoldshain, um 1500), ab der zweiten Hälfte des 16. Jahrhunderts erhöht sich die Anzahl erhaltener Objekte. Farbige Fassungen und Malereien auf Holz weisen einen Entstehungsschwerpunkt im 15. und dem frühen 17. Jahrhundert auf und wurden in unterschiedlichen Techniken ausgeführt: Verwendet wurden Leim-, Kasein-, Tempera- und Ölfarben sowie Mischsysteme mit oder ohne Grundierung. Seit der zweiten Hälfte des 17. Jahrhunderts verdrängten geputzte bzw. stuckierte Deckenflächen zunehmend die zuvor sichtbar belassenen und bemalten hölzernen Bauelemente. Auf der geschalten Unterseite liegt meist ein Putzträger aus Schilfrohr, darauf ein flächiger Lehm- oder Kalkputz, oft ergänzt durch Kalk-/Gipsstuck mit farbiger Fassung. Ziel war dabei die Imitation einer hochwertigen massiven Deckenkonstruktion – bis hin zu Scheingewölben mit entsprechend komplexer Dachwerkskonstruktion (z. B. Schweifsparrenkonstruktion eines Scheingewölbes). Im profanen Bereich befinden sich überwiegend Lehmdecken. Dabei wurden in ihre Balkenzwischenräume mit Stroh-Lehm-Gemisch umwickelte Holzstaken eingezogen, die Untersicht geglättet, verputzt und stellenweise bemalt.

Checkliste: Beschreibungshilfe für Deckenkonstruktionen

Unverputzte Holzbalkendecken (flach oder als Tonne/Kuppel)

Deckenbalken

- ☐ unprofilierter rechteckiger Querschnitt
- ☐ einfach profiliert (z. B. gefaste Kanten)
- ☐ differenziert profiliert (z. B. mehrfache gekehlte Profilausbildung, mehrteilige Balken)
- ☐ mit Profilausläufen (z. B. Schiffskehlausläufe)

mit

- ☐ aufliegender unprofilierter Schalung (Balken dreiseitig sichtbar mit glatt gedeckten Feldern)
  - ☐ aufliegende Schalung fungiert als Dielung
  - ☐ auf Schalung aufliegender Lehm oder/und Kalkestrich
- ☐ in seitlichen Balkennuten bzw. in oberseitigen Falzen eingeschobenen/eingelegten profilierten/unprofilierten Füllbrettern (sog. »Decker-Kriecher-Decke«, »Einschubdecke«, »Bohlendecke«)
- ☐ flächig geschalter, glatter Deckenunterseite
- ☐ auf durchlaufender Schalung applizierter Kassettierung (rechteckig/polygonal)
- ☐ Rahmensystem mit eingelegten Füllungen in
  - ☐ rechteckiger Teilung
  - ☐ polygonaler Teilung
  - ☐ zentralsymmetrischer Teilung
  - ☐ sonstiger Teilung

sowie

- ☐ Applikationen
  - ☐ Schnitzwerkapplikationen
  - ☐ Stuckapplikationen
  - ☐ Leinwandapplikationen

Fassungen

- ☐ Deckenuntersicht ungefasst (holzsichtig)
- ☐ Deckenuntersicht gefasst
  - ☐ transparent oder
  - ☐ deckend
- ☐ Deckenuntersicht bemalt

Teilverputzte Holzbalkendecken (flach)

- ☐ Kassettendecken mit geputzten Füllungen
- ☐ sonstige Ausführung

Verputzte/stuckierte Holzbalkendecken (flach oder als Tonne/Kuppel)

- ☐ glatte Putzdecken (i. d. R. sog. Rohrputz)
- ☐ einfache Stuckdecken (z. B. mit Gesims, Voute, Rahmenprofil, Spiegel/Rosetten)
- ☐ differenzierte Stuckdecken (mit stark plastischer ornamentaler/figürlicher Ausformung) – gefasst/bemalt

Lehmwickeldecken (flach)

- ☐ Balkenunterseiten sichtbar, Füllungsbereiche unterseitenbündig angearbeitet (geputzt/ungeputzt)
- ☐ Deckenunterseite flächig mit Lehm geglättet ohne/mit Kalkputz
- ☐ Deckenunterseite flächig geglättet/geputzt und stuckiert
- ☐ Deckenuntersicht ungefasst (holzsichtig)
- ☐ Deckenuntersicht gefasst/bemalt

»Mann-bei-Mann«- beziehungsweise Balken-an-Balken-Decken (flach)

- ☐ glatte Putzdecken (i. d. R. sog. Rohrputz)
- ☐ einfache Stuckdecken (z. B. mit Gesims, Voute und Rahmenprofil, ggf. einfache Spiegel/Rosetten)
- ☐ differenzierte Stuckdecken (mit stark plastischer ornamentaler/figürlicher Ausformung)
- ☐ Deckenuntersicht gefasst/bemalt

Die beschriebenen Deckenausbildungen treten in der Praxis, wie auch bei den im Forschungsprojekt untersuchten Denkmalobjekten, häufig in verschiedensten Mischformen bzw. in Verbindung mit weiteren gestaltenden Elementen auf (wie integrierten Leinwandgemälden oder applizierten Drucken auf Papier). Im Zuge von Modernisierungen wurde ältere Substanz teilweise einbezogen, verdeckt oder überformt. Da sich derartige Baumaßnahmen aufgrund der Größe repräsentativer Decken und ihrer exponierten Lage im Raum aufwändig gestalten, sind die Bearbeitungsintervalle meist relativ groß – historische Substanz ist daher noch oft und umfänglich erhalten.

Literatur

Schießl, Ulrich: Untersuchen und Dokumentieren von bemalten Holzdecken und Täfelungen. Mit einer allgemeinen Einführung in die Grundlagen der Dokumentationsarbeit des Restaurators, Bern, 1991.

Scherf, Lutz: Kirchendachwerke und profilierte Holzbalkendecken in Ostthüringen, hg. vom Thüringischen Landesamt für Denkmalpflege und Archäologie, Altenburg 2015 (= Arbeitsheft des Thüringischen Landesamtes für Denkmalpflege und Archäologie N. F., Bd. 48).

Tragfähigkeit historischer Holzbalkendecken und Umgang mit schweren Dämmstoffen

Konstruktive Anforderungen bei der Bestandssanierung

Planen und Bauen im Bestand erfordern unter der Prämisse eines sensiblen, schützenden und erhaltenden Umgangs mit der Bausubstanz stets individuelle Lösungen unter Einbeziehung aller Beteiligten wie Bauherrschaft, Behörden sowie Objekt- und Fachplanung. Dabei müssen häufig gemeinsam Kompromisse gefunden werden. Dies gilt allgemein und damit auch für den Umgang mit schweren Dämmstoffen, unabhängig davon, ob diese bereits als Eigenlasten vorhanden sind oder neu eingebracht werden sollen.

Aus Sicht der Tragwerksplanung sind insbesondere die Tragfähigkeit und die Gebrauchstauglichkeit zu beachten und planerisch zu berücksichtigen. Die Standsicherheit von Gebäuden und Tragwerken muss zweifelsfrei gewährleistet und nachgewiesen werden. Bei historischen Bauwerken ist dies auf Grundlage der geltenden Regelwerke häufig nicht ohne Weiteres möglich, sodass alternative Wege beschritten oder tragfähige Kompromisse gefunden werden müssen. In jedem Fall ist es notwendig, sich zu Beginn der Planung mit der Baugeschichte und dem vorgefundenen Bestand auseinanderzusetzen. Erfahrungen im Umgang mit Bestandsbauten sind dabei ebenso hilfreich wie die Hinzuziehung von Sonderfachleuten.

Lasten können sowohl vertikal als auch horizontal auf Tragwerke einwirken. Vertikale Lasten sind in der Regel Eigen- und Nutzlasten der obersten Geschossdecke sowie gegebenenfalls Lasten aus dem Dachtragwerk, sofern dessen Konstruktion auf der Decke aufsteht. Ist der Nachweis zur Aufnahme dieser Lasten auf Grundlage des aktuellen Regelwerks nicht möglich, können einzeln oder in Kombination alternative Wege beschritten werden, beispielsweise:

- Abminderung der anzunehmenden Nutzlasten in Abstimmung mit der unteren Bauaufsichtsbehörde und den Nutzern sowie Kennzeichnung der zulässigen Lasten vor Ort,
- Schaffung lastfreier Deckenbereiche, beispielsweise durch separate Laufstege für Revision und Begehung,
- Inanspruchnahme des Bestandsschutzes, sofern die aufzunehmende Belastung bereits dauerhaft vorhanden war und die Konstruktion keine Schäden aufweist,
- Einbau leichterer Deckenaufbauten beziehungsweise Entlastung durch Lastreduzierung, beispielsweise im Bereich des Einschubs,
- Verstärkung der Konstruktion,
- Entkopplung von Nutz- und Geschossabschlussebene und
- experimentelle Traglastprüfung.

Penig, Stadtkirche, Dachboden mit Lehmschlag auf Dielung

Meißen, Albrechtsburg, Mittelbau, Schautafel zum Deckenaufbau mit Leichtlehmauflage

Horizontale Lasten entstehen in der Regel durch Windbeanspruchungen oder eine Schiefstellung des Gebäudes und sind im Rahmen der Gebäudeaussteifung zu berücksichtigen. Hinzu kommen Lasten aus nicht vertikalen Lasteinleitungen, beispielsweise durch Streben des Dachtragwerks, Stuhlsäulen oder Sparrenfußpunkte. Der jeweilige Lastfluss ist zumindest zu untersuchen und gegebenenfalls nachzuweisen.

Decken übernehmen häufig eine aussteifende Funktion und sind konstruktiv entsprechend ausgebildet. Bei historischen Konstruktionen wird diese Funktion oftmals durch die mit den Decken-

oder Kehlbalken verbundenen Dielen bzw. Holzbelägen im Zusammenwirken mit stählernen Mauerwerksankern übernommen, die ihrerseits an Pfetten, Randgespärren oder Deckenbalken angeschlossen sind. Diese Verbindungen sind aus unterschiedlichen Gründen häufig nicht mehr intakt, müssen jedoch im Zuge einer Sanierung zwingend wiederhergestellt werden. Ist dies nicht möglich, sind geeignete Ersatzlösungen zu entwickeln.

Unter dem Gesichtspunkt der Gebrauchstauglichkeit ist zu beurteilen und abzustimmen, ob vorhandene oder zu erwartende Verformungen und Unebenheiten aus nutzungs- und konstruktionsbezogener Sicht vertretbar sind. Gleiches gilt für mögliche Schwingungen. Darüber hinaus sind Aspekte des konstruktiven Holzschutzes, unter anderem die Luftumspülung, die Revisionierbarkeit, ein möglichst direkter Zugang zu Kontrollzwecken – insbesondere zu den Dachfußpunkten – sowie Bauphysik, beispielsweise die mögliche Kondensatbildung an Stahl- und Betonbauteilen, zu beachten.

Am Beispiel der Stadtkirche Penig mit ihrem historischen Lehmschlag auf der Dielungsebene des Dachbodens lässt sich dieser Zusammenhang anschaulich verdeutlichen. Die spätgotische einschiffige Hallenkirche wurde 1515 geweiht und erfuhr in ihrer mehr als 500-jährigen Geschichte zahlreiche konstruktive Eingriffe in die Dachkonstruktion, auf welche hier nicht näher eingegangen wird. Um ein Gefühl für den Einfluss des Deckenaufbaus auf das Tragwerk zu erlangen, wurde exemplarisch der prozentuale Anteil der Last des Lehmschlages im Verhältnis zum Konstruktionsgewicht der hölzernen Decken- und Dachkonstruktion ermittelt.

Die erfolgte Lastermittlung ist mit einer gewissen Unschärfe behaftet, die sich aus den variierende Holzquerschnitten und der Rohdichte des Lehmschlags ergibt. Diese Unschärfe relativiert sich jedoch auf Grund des großen Einflusses des Lehmschlags, für den ein Lastanteil von 47 % am Deckeneigengewicht und rund 25 % am Gesamteigengewicht errechnet wurde.

Festzuhalten ist, dass das Gewicht des Deckenaufbaus und damit auch das Flächengewicht etwaiger zusätzlicher oder ersetzter Dämmstofflagen, Auswirkungen auf das Tragwerk des oberen Gebäudeabschlusses (Decke und ggf. Dach) hat. Dieser Befund lässt sich auf historische Bauwerke im Allgemeinen übertragen und verdeutlicht, dass für jedes Gebäude eine Einzelbetrachtung der jeweiligen Konstruktionen notwendig ist. Das Ergebnis zeigt auch, dass vorhandene historische Lehmschläge durch die damaligen Baumeister mitberücksichtigt wurden und die Tragwerke Jahrhunderte überdauerten. Daher ist zu hinterfragen, weshalb bei manchen Sanierungsmaßnahmen der Lehm ersatzlos ausgebaut oder beispielsweise durch Mineralwolle ersetzt wird. Überlastungen und Schädigungen können auf eine Vielzahl von Ursachen zurückgeführt werden und nicht nur auf die alleinige Last des Lehmschlages.

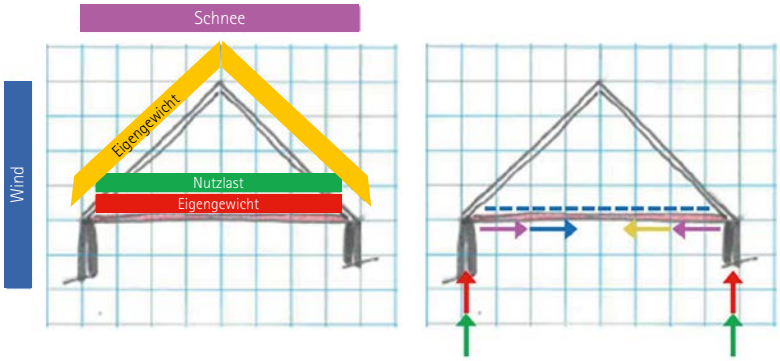
Literatur

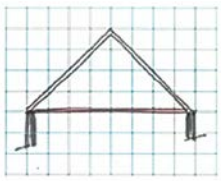
Görlacher, Rainer: Historische Holztragwerke. Untersuchen, Berechnen und Instandsetzen. Unter Mitarbeit von Volker Claus Falk, mit denkmalpflegerischen Konzepten von Hannes Eckert. Karlsruhe 1999 (= Erhalten historisch bedeutsamer Bauwerke – Empfehlungen für die Praxis, Sonderforschungsbereich 315).

Charakterisierung und Wirkweise historischer Dachkonstruktionen einschließlich der darunterliegenden Deckenbalkenlage

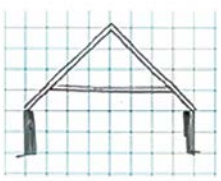
Lastbeanspruchung durch:
- Eigengewicht
- Nutzlast
- Schnee
- Wind

Funktionen:
- Vertikaler Lastabtrag
- Horizontale Lastaufnahme
- Aussteifung (Scheibenwirkung)

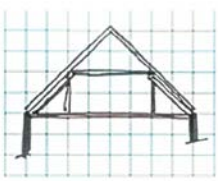




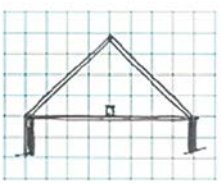
Sparrendach
Decke separat betrachtbar



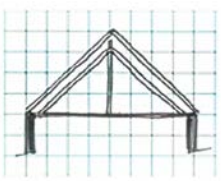
Kehlbalkendach
»Decke« zum Dach gehörig



Pfettendach
Decke mit zusätzlichen Lasten aus Dach



Über-/Unterzüge
Mit zum Tragwerk der Decken gehörend



Sprengwerke
Mit zum Tragwerk der Decken gehörend

Checkliste: Standsicherheit von Geschossdecken unter Kaltdächern

Hinweise zur Informationsbeschaffung

Als Grundlage zur Beurteilung der Tragfähigkeit von Geschoßdecken, welche gleichzeitig die Funktion des oberen Raumabschlusses haben, sind die folgenden in der Checkliste aufgelisteten Informationen soweit möglich abzufragen bzw. einzuholen. Die Antworten bzw. die vorhandenen Dokumente sind Arbeitsgrundlage für die Beurteilung der Tragfähigkeit und für die Planung der optimalen bauphysikalischen Ausbildung der obersten Geschoßdecken unter Kaltdächern. Je mehr Informationen zum Bestand vorliegen bzw. eingeholt werden, um so fundierter und wirtschaftlicher können Aussagen getroffen werden.

1. Planunterlagen

- ☐ Originalpläne (auch in Kopie)
- ☐ Pläne verschiedener Bau- bzw. Nutzungsepochen
- ☐ Aufmaße
- ☐ Fotos

2. Statische Berechnungen

- ☐ originale Unterlagen
- ☐ sonstige Unterlagen

3. Baugeschichtlicher Abriss

- ☐ Nutzungen über die Standzeit
- ☐ Durchgeführte Baumaßnahmen / Sanierungen (Anlass und bauliche Veränderungen)
- ☐ Altschäden
- ☐ Brandereignisse
- ☐ Durchnässungen

4. Bisherige Nutzungen

- ☐ Recherche

5. Konstruktiver Aufbau (Schichten / Materialien, Bauteildimensionen, Bauteilabstände)

- ☐ aktuell
- ☐ ehemals vorhandene

6. Werden Lasten des Dachtragwerkes durch die Decken abgetragen?

- ☐ Wenn ja, dann auch Antworten zu Fragestellungen gemäß 1. – 5. bezogen auf das Dachtragwerk / Dachdeckung finden.

7. Bekannte Schäden (an Decken und ggf. aufstehenden Konstruktionen)

- ☐ Sind augenscheinlich Schäden / Deformationen / Schiefstellungen erkennbar?
- ☐ Sind Deckenputze / Stuck lose bzw. herabgefallen? Gibt es Rissbildungen in diesen?
- ☐ Gibt es Nässeschäden?
- ☐ Sind Rissbildungen in Auflagerbereichen oder / und lastabtragenden Wänden erkennbar?
- ☐ Sind Deckendurchbiegungen erkennbar (unter- und oberseitig)?
- ☐ Gibt es geschädigte Verbindungen oder klaffende Fugen an diesen?
- ☐ Haben sich Bauteile der Last entzogen (Streben / Stützen)?
- ☐ Liegen Holzschutzgutachten vor?
- ☐ Sind Altsanierungen erkennbar?
- ☐ Liegen dazu Unterlagen vor?

8. Vorhandene oder ehemalige Kontaminierungen

- ☐ Gutachten
- ☐ Sanierungsdokumentationen

9. Planung (Sollzustand)

- ☐ Nutzlasten
- ☐ Deckenaufbau
- ☐ Dachaufbau

Hinweise für Eigentümerinnen und Eigentümer

Hilfreich ist oftmals die Befragung von Personen, die seit vielen Jahren mit den jeweiligen Gebäuden vertraut sind und von relevanten Dingen berichten können, zu denen es keinerlei Dokumentationen / Aufzeichnungen gibt.

Klimabedingte Schäden und konservatorische Maßnahmen zum Erhalt historischer Holzbalkendecken

Ursachen, Schadensbilder und Bearbeitungsgrundsätze

Klimabedingte Schadensprozesse an historischen Holzbalkendecken

Mit dem Klimawandel nehmen in Mitteleuropa Häufigkeit und Intensität von Hitzeperioden zu. Dabei verlängern und verstärken sich regional vor allem im Sommer Trockenphasen. Für historische Gebäude folgt daraus eine generell stärkere sommerliche Erwärmung und Austrocknung.

Kunst- und Kulturgüter stehen in einem kontinuierlichen hygrothermischen Austausch mit ihrer Umgebung. Für die Entstehung klimabedingter Schäden sind vor allem ungeeignete Werte bzw. starke Schwankungen von Lufttemperatur und relativer Luftfeuchte maßgeblich, da sie den Gleichgewichtsfeuchtegehalt und damit das Dimensionsverhalten hygroskopischer Materialien beeinflussen. Der Wertebereich sowie die zeitliche und räumliche Verteilung der Klimaparameter im Innenraum wird, verzögert und gepuffert durch die Gebäudehülle, vom Außenklima bestimmt. Ausmaß und Geschwindigkeit sind abhängig von der Feuchte- und Wärmespeicherfähigkeit der Konstruktion, der Luftdichtheit, der technischen Beeinflussung durch Lüftung / Beheizung / Klimatisierung sowie der Raumnutzung. Baugebundene Raumausstattungen wie historische Holzbalkendecken sind in nicht klimatisierten historischen Gebäuden diesen Klimaschwankungen meist direkt ausgesetzt. Das Schadensrisiko lässt sich jedoch nicht allein anhand einzelner Temperatur- oder Feuchtewerte beurteilen. Weitere Kriterien stellen Dauer, Amplitude, Häufigkeit und Geschwindigkeit der Veränderungen sowie räumliche Unterschiede innerhalb der Konstruktion dar.

Bei hygroskopischen Materialien sind temperaturbedingte Dimensionsänderungen wesentlich geringer als feuchtebedingte. Erhöhte Temperaturen beschleunigen die chemischen Alterungsreaktionen organischer Bindemittel. Bei ölgebundenen Malschichten begünstigen sie Oxidations- und Vernetzungsreaktionen, Versprödung, Kohäsionsverlust und Vergilbung. Für mechanische Schäden sind Temperaturveränderungen vor allem wegen ihrer Wirkung auf die relative Luftfeuchte relevant, an deren Änderung sich Holz zeitlich verzögert anpasst: Es quillt bei Feuchteaufnahme und schwindet bei Feuchteabgabe quer zur Faser deutlich stärker als längs – wodurch sich Bretter verwölben, Fugen öffnen und Trockenrisse bilden können.

Bei ungefassten Holzoberflächen können solche Veränderungen unmittelbar sichtbar werden. Bei bemalten, geputzten bzw. stuckierten Decken übertragen sich die Bewegungen des Holzes auf die dünnen, raumseitig applizierten Grundierungs-, Mal- und Überzugsschichten. Mit zunehmender Alterung können sie an Elastizität und Haftung verlieren; wiederkehrende Bewegungen ermüden zusätzlich bereits geschwächte Schichten und Grenzflächen. Plötzliche Änderungen der relativen Luftfeuchte erzeugen steile Feuchtegefälle, da oberflächennahe Bereiche schneller reagieren als das Materialinnere. Dadurch können Spannungen innerhalb des Holzes und an den Grenzflächen zu aufliegenden Schichten entstehen. Mögliche Folgen sind Risse, aufstehende bzw. abfallende Farbschollen und Fehlstellen. Häufig folgen diese Schadensbilder der Holzmaserung, vorhandenen Rissen, Brettfugen sowie älteren Schadens- und Reparaturstellen.

Bei verputzten oder stuckierten Decken werden die Bewegungen der Deckenbalken und Schalungsbretter über Putzträger und die Armierung in den Putzaufbau übertragen. Risse entstehen bevorzugt entlang von Balken, Brettfugen, Stößen von Putzträgern bzw. Schalungsbrettern sowie an Materialübergängen. Schwerwiegend sind Ablösungen infolge eines Kohäsionsverlustes im Putz oder eines Haftungsverlustes zwischen Putzschichten, Putzträger und Unterkonstruktion.

Bei Lehmwickeldecken bilden sich Risse häufig zwischen Deckenbalken und Lehmfüllung, da Holz und Lehm unterschiedliche feuchtebedingte Dimensionsänderungen, Steifigkeiten und Reaktionsgeschwindigkeiten aufweisen. Eine länger anhaltende oder wiederholte Durchfeuchtung kann durch Aufweichen, Auswaschung und den Abbau organischer Zuschläge den Zusammenhalt der Lehmfüllung vermindern.

Oybin, Bergkirche, Fuge mit bereits wieder gelöster Ergänzung

Tiefenau, Schlosskapelle, Riss im Deckenputz

Bei obersten Geschossdecken kann über Fugen und Durchdringungen im Sommer warme und feuchte Dachraumluft in kühlere Deckenbereiche gelangen. Unterschreitet dort die Bauteil- oder Oberflächentemperatur den Taupunkt, entsteht Kondensat. Durch wiederholte oder anhaltende Feuchteeinwirkung können metallische Teile der Armierung und ihrer Befestigung (Nägel, Klammern, Drähte) korrodieren und dadurch die Verankerung des Putzträgers beziehungsweise des Putzes schwächen. Des Weiteren besteht die Gefahr, dass durch Volumenvergrößerungen von korrodierenden Bauteilen weitere Schäden entstehen (Rostsprengung). Zudem mobilisiert die Feuchtigkeit lösliche Salze in mineralischen Schichten, die in Verdunstungszonen nahe der Deckenunterseite auskristallisieren. Wiederholte Lösungs-, Kristallisations- und Umwandlungsprozesse schwächen langfristig das Materialgefüge, sodass die Matrix der Putz-, Stuck- oder Farbfassungen ihre Bindung verliert und sich Schalen oder Schollen bilden und ablösen können.

Bei begünstigten klimatischen Bedingungen steigt das Risiko biologischer und mikrobiologischer Aktivitäten und der dadurch verursachten Schäden. So kann die Reproduktionsrate holzzerstörender Insekten zunehmen, holzzerstörende Pilze beeinträchtigen tragende und gestaltende Elemente, Schimmelwachstum führt zu materiellen, optischen und gesundheitlichen Schäden.

Auch unsachgemäße bauliche Eingriffe können das Risiko klimatisch bedingter Schäden erhöhen. Neue Leitungsdurchführungen, geöffnete Fugen und andere Undichtheiten schaffen zusätzliche Luftströmungswege und koppeln damit die Decke stärker an das Dachraumklima. Historische Schüttungen, Fehlböden und Lehmschläge dämpfen, abhängig von Material, Masse, Schichtdicke und Sorptionsfähigkeit, Temperatur- und Feuchteschwankungen. Ihre Entfernung verändert daher den Wärmehaushalt, die Luftströmung und das Feuchteverhalten des gesamten Aufbaus. Eingriffe sollten deshalb nicht nur nach statischen oder energetischen Gesichtspunkten beurteilt werden. Erforderlich ist eine gesamtheitliche fachübergreifende Betrachtung des Systems aus Gebäudehülle, Innenraum, Decke und Dachraum.

Literatur

Birkenbeul, Ina / Weyer, Angela (Hg.): Klimazone Kirche. Präventive Konservierung der Ausstattung. Tagungsband der interdisziplinären Tagung der HAWK Hochschule für angewandte Wissenschaft und Kunst vom 16. bis 18 Januar 2019 in Hildesheim, Berlin 2019 (= Schriften des Hornemann-Instituts, Bd. 20).

Holl, Kristina / Bellendorf, Paul: Schadensrisiko für Kulturgut aufgrund zu geringer relativer Luftfeuchte in Innenräumen von national wertvollen Kulturgütern. Analyse und Empfehlungen zum Umgang hinsichtlich der Auswirkungen der globalen, anthropogenen Klimaerwärmung, DBU-Projekt Klimawandel an kulturellem Erbe, Abschlussbericht, Bamberg 2022.

Kilian, Ralf / Sedlbauer, Klaus / Krus, Martin: Klimaanforderungen für Kunstwerke und Ausstattung historischer Gebäude, Stuttgart 2005 (= IBP-Mitteilungen, Bd. 462).

Eilenburg, Gasthof Zum Roten Hirsch, Lehmdecke mit typischen Fassungsverlusten entlang der Balkenlage

Lawalde, Kirche, Fassungslockerungen

Löbnitz, Kirche, Deckenuntersicht mit durchlaufenden Brettfugen

Bockendorf, Kirche, Rissnetz im Deckenputz, Zustand vor der Restaurierung

Grundsätze zur Konservierung und Instandsetzung historischer Putz- und Stuckdecken

Instandsetzungs- sowie Konservierungs-/Restaurierungsmaßnahmen an Deckenkonstruktionen sind wegen ihrer Ausdehnung, Lage und der erschwerten Zugänglichkeit technisch, logistisch, zeitlich und finanziell aufwendig. Viele Maßnahmen müssen an der Deckenunterseite über Kopf ausgeführt und Mörtel und Klebstoffe dabei entgegen der Schwerkraft appliziert werden. Alle Arbeiten sollten möglichst erschütterungs- und verformungsarm erfolgen. Akut absturzgefährdete Putz-, Stuck- oder Fassungsteile sind zunächst substanzschonend zu sichern, gefährdete Bereiche sind gegebenenfalls zu sperren.

Historische Decken mit schlicht gestalteten Putzoberflächen weisen ein erhöhtes Verlustrisiko auf, wenn ihr eigenständiger baugeschichtlicher Denkmalwert unterschätzt und der Putz lediglich als austauschbarer Untergrund betrachtet wird. Dabei stehen zur Sicherung moderne Konservierungstechnologien zur Verfügung. Die für Reparatur, Konservierung und Restaurierung verwendeten Materialien müssen mit dem historischen Bestand verträglich sein bzw. diesem weitmöglichst entsprechen. Fehlstellen in einer historischen Putzdecke mit Schilfrohrträger und Kalkmörtel sind daher mit gleichartigen, hinsichtlich Festigkeit, Schwindverhalten, Porosität und Feuchtetransport angepassten Materialien zu ergänzen.

Der festgestellte Schadensmechanismus, der Erhaltungszustand und das Bearbeitungsziel bilden die Grundlage für konservatorische Maßnahmen. Eine oberflächliche Schönheitsreparatur bleibt wirkungslos, wenn Feuchteeinträge, konstruktive Bewegungen oder geschädigte Befestigungen fortbestehen. Deshalb sind vor Beginn der Arbeiten Ursache und Umfang des Schadens zu klären.

Bockendorf, Kirche, setzen von Kohlefaserrovingen zur Rückverankerung der Putzschale und anschließendes Abstützen

Bockendorf, Kirche, Zustand des Deckenputzes nach Verschluss von Risskanälen und Rovinglöchern

Bockendorf, Kirche, Deckenputz nach Restaurierung

Bei unklarer Progression sollte entsprechende Fachkompetenz hinzugezogen und ein zeitlich begrenztes Monitoring durchgeführt werden.

Bei abgelöstem Putz oder Stuck ist zunächst die Schadensebene festzustellen. Liegt der Hohlraum zwischen einzelnen Putzschichten, kann der Verbund durch Injektionen bzw. Hinterfüllungen wiederherstellt werden, wobei Eigengewicht und erreichbare Haftung zu berücksichtigen sind. Eine strukturgeschwächte Putz-/Stuckmatrix kann durch Tränkung mit geeigneten Festigungsmitteln wieder ertüchtigt werden. Hat sich dagegen der Putzträger von der Holzkonstruktion gelöst, muss der mechanische Verbund zwischen armierter Putz-/Stuckebene und Unterkonstruktion verstärkt bzw. erneuert werden. Eine Hinterfüllung oder Verklebung ist hier in der Regel nicht zielführend. Zur Wiederbefestigung dienen etwa Schrauben mit breiten Unterlegscheiben oder großflächige untergeschraubte Sicherungsplatten. Bei ungeeigneter Anordnung oder zu starkem Anziehen der Schrauben können jedoch neue Spannungen und damit Schäden entstehen, zudem sind eine mögliche Korrosion und optische Veränderungen verdeckten Befestigungspunkten zu berücksichtigen. Alternativ oder ergänzend können faserbasierte Verankerungen (Roving- oder Hanfdübel) verwendet werden. Klebstoffe, Mörtel und Montageteile sind unter konservatorischen Gesichtspunkten wie Alterungsbeständigkeit und Reversibilität auszuwählen. Betreffen Maßnahmen den Lastabtrag oder die Verkehrssicherheit, ist die Einbeziehung eines Statikers unabdingbar.

Auch der Umgang mit Rissen ist vom jeweiligen Befund abhängig. Nicht jeder Riss muss geschlossen werden. Historische und inzwischen stabile Risse können als Spuren der Objektgeschichte erhalten bleiben. Eine Rissschließung allein aus optischen Gründen sollte wegen des damit verbundenen Aufwandes gründlich abgewogen werden. Vor einer Schließung sind die Aktivität des Risses und seine Bedeutung für den konstruktiven Verbund, ggf. im Sinne einer Dehnungsfuge oder Sollbruchstelle, zu klären. Das Verfüllen eines aktiven Risses beseitigt dessen Ursache nicht und führt bei erneuter Bewegung zu erneuter Öffnung an gleicher oder benachbarter Stelle. Eine Schließung ist angezeigt, wenn der Riss den Verbund beeinträchtigt bzw. Teil eines fortschreitenden Schadensprozesses ist. Zur Bewertung der Schadensrelevanz ist auch hier die Einbeziehung eines Tragwerkplaners oft zielführend.

Generelles Ziel bei der Instandsetzung bzw. Restaurierung einer historischen Holzbalkendecke darf nicht die Herstellung einer makellos neuen Oberfläche sein. Wesentlich sind der Erhalt der kunst- bzw. kulturhistorisch wertvollen Substanz und die sichere Nutzbarkeit des Raumes.

Faserstrang aus Kohlefaser

Fertiger Kohlefaserroving mit Besandelung

Dämmsysteme für den sommerlichen Wärmeschutz

Materialeigenschaften und Bewertungskriterien

Eine dachraumseitige, flächige Dämmung einer bislang ungedämmten bzw. nicht mehr ausreichend gedämmten obersten Geschossdecke begrenzt den sommerlichen Wärmeeintrag und die Übertragung von Klimaschwankungen aus dem Dachraum auf die Deckenkonstruktion. Zugleich verringert sie Wärmeverluste und verbessert die Energieeffizienz – dieser Aspekt wurde im Rahmen dieses Forschungsprojektes jedoch nicht explizit betrachtet.

Das Dämmsystem sollte unter Berücksichtigung des jeweiligen historischen Bestands sowie der konstruktiven und bauphysikalischen Bedingungen gewählt werden. Vorab ist zu prüfen, ob und in welcher Ebene der Einbau unter Erhaltung des historischen Deckenaufbaus, vorhandener Konstruktionselemente wie Dielungen oder auch bestehender historischer Dämmsystemen möglich ist. Dabei sind Anschlüsse, Durchdringungen, Luftströmungswege sowie das klimatische Verhalten des veränderten Aufbaus zu berücksichtigen.

Geeignete Dämmstoffe sind daher nicht nur nach Materialkennwerten auszuwählen, sondern auch hinsichtlich ihrer

- **Denkmalverträglichkeit:** substanzschonender, möglich reversibler Ein- und Rückbau
- **Nutzungsanforderungen:** Begehbarkeit und Zugänglichkeit im Dachraum und Deckenunterseite
- **Nachhaltigkeit:** Herstellung und Nutzung, inklusive Wartbarkeit, Dauerhaftigkeit und Wiederverwertbarkeit

Die Wirtschaftlichkeit eines Dämmvorhaben ist nicht allein abhängig vom Materialpreis: Ein kostengünstiger Dämmstoff kann durch aufwendige Anpassungen, zusätzliche Schutz- und Trennlagen, höheren Ausführungsaufwand, geringere Nutzungsdauer oder erschwerten Rückbau insgesamt nachteilig sein. Maßgeblich ist daher, dass der Dämmstoff anhand der objekt- und nutzungsspezifisch gegebenen Anforderungen ausgewählt wird.

Lehm und mineralische Schüttung

Königshain, Kirche, historische Lehmdämmung

Für den sommerlichen Wärmeschutz ist neben einer niedrigen Wärmeleitfähigkeit insbesondere eine hohe volumenbezogene Wärmespeicherfähigkeit von Bedeutung. Massereiche, speicherfähige Schichten können Wärme vorübergehend aufnehmen, Temperaturspitzen dämpfen und deren Weiterleitung zeitlich verzögern.

Die hygrische Pufferwirkung eines Aufbaus wird vor allem durch die Sorptionsfähigkeit der Materialien bestimmt. Lehm kann besonders viel Wasserdampf aus der angrenzenden Luft aufnehmen, zwischenspeichern und bei veränderten Randbedingungen wieder abgeben. Über direkten Kontakt und kapillaren Transport kann außerdem Feuchtigkeit aus benachbarten Baustoffen aufgenommen und innerhalb des Aufbaus umverteilt werden. Dadurch werden kurzfristige Schwankungen der relativen Luftfeuchte gedämpft.

Die hohe Sorptionsfähigkeit des Lehms wurde durch die deutliche Pufferung der relativen Luftfeuchte sowohl im Versuchsaufbau als auch bei den Messobjekten bestätigt. Die untersuchte mineralische Schüttung zeigte eine geringere Dämpfung der Feuchteschwankungen. Da Lehmsteine ohne Brennprozess lediglich getrocknet werden, weisen sie ein vergleichsweise geringen nicht erneuerbaren Primärenergieaufwand sowie Treibhauspotenzial auf. Bei mineralischen Schüttungen mit thermischer Verarbeitung liegen die Werte tendenziell höher. Durch die Dauerhaftigkeit der Materialien sind eine lange Nutzung sowie Rückbau und Wiederverwendung möglich, wodurch sich die Umweltbilanz verbessert.

Auch die Einbauweise beeinflusst die langfristige Nutzbarkeit eines Dämmsystems. Im direkten Praxisvergleich bietet eine modular aus Lehmplatten oder Lehmsteinen aufgebaute Dämmung gegenüber einer losen mineralischen Schüttung Vorteile hinsicht-

lich ihrer Revisionierbarkeit und Wiederverwendbarkeit. Einzelne Elemente können ausgebaut, gereinigt und erneut als Dämmstoff eingesetzt werden. Bei einer bestehenden Dielung kann die Lehmdämmung auch als Aufbaudämmung oder Estrich ausgeführt werden, allerdings unter Berücksichtigung von Revisionszugängen. Da massereiche Lehmdämmungen und mineralische Schüttungen zu hohen Flächenlasten führen, setzt ihr Einbau eine ausreichende Tragfähigkeit der Deckenkonstruktion voraus.

Glaswolle (Mineralwolle)

Glaswolle erzeugt einen hohen Wärmedurchlasswiderstand in Verbindung mit einer sehr geringen Flächenlast. Aufgrund ihrer niedrigen Rohdichte besitzt sie jedoch eine geringere flächenbezogene Wärmekapazität als massive Lehm- oder dichte Holzfaseraufbauten und dämpft kurzfristige Temperaturspitzen weniger stark, was im Versuchsaufbau bestätigt wurde. Das hygrische Puffervermögen von Glaswolle ist, anders als bei sorptionsfähigen Naturbaustoffen, nahezu nicht vorhanden. Vorgenannte Eigenschaften sind bei einem Einsatz im Kulturdenkmal zu berücksichtigen. Durch ihre guten Wärmedämmeigenschaften kann Glaswolle den thermischen Einfluss des Dachraumklimas auf die Deckenkonstruktion deutlich reduzieren. Bei der konstruktiven Ausführung sind insbesondere die herstellerseitigen Vorgaben zur Luftdichtheit der Deckenebene sowie zum Feuchteschutz zu beachten. Der Einbau von Trennlagen ist dringend zu empfehlen, da eine Wiederverwendung und Verwertbarkeit durch Verschmutzungen erheblich eingeschränkt werden kann. Mögliche Verwertungswege sollten daher bereits vor dem Einbau berücksichtigt werden.

Dresden, Leubnitz-Neuostra, Kirche, Mineralwolledämmung, direkt auf der Deckenoberseite verlegt mit Verschmutzung entlang der Fugen der Deckenbretter

Holzfasern

Holzfaserdämmstoffe verbinden eine geringe Wärmeleitfähigkeit mit einer für Faserdämmstoffe vergleichsweise hohen spezifischen Wärmekapazität. Bei dichten, druckfesten Platten führt die höhere Rohdichte zusätzlich zu einer größeren volumen- und flächenbezogenen Wärmekapazität, wodurch Temperaturspitzen gedämpft und die Temperaturwelle zeitlich verzögert wird. Holzfasern sind hygroskopisch und können Wasserdampf aufnehmen sowie bei veränderten Umgebungsbedingungen wieder abgeben. Dadurch sind Holzfaserdämmstoffe in der Lage, kurzfristige Luftfeuchteschwankungen in einem gewissen Maß puffern. Unter der trittfesten Holzfaserdämmungen zeigten sich im Versuchsaufbau die geringsten Dimensionsänderungen sowie bei den Messobjekten in der Praxis eine Reduzierung der aus dem Dachraum übertragenen Klimaschwankungen.

Auch der flexible Holzfaserdämmstoff verfügt über eine hohe Wärmedämmwirkung und ein sorptionsfähiges Materialgefüge. Aufgrund seiner geringeren Rohdichte ist die volumenbezogene Wärmekapazität niedriger als bei den dichteren Holzfaserplatten.

Sowohl flexible als auch druckfeste Holzfaserdämmstoffe eignen sich als Zwischenbalkendämmung oder als aufgelegte Dämmung auf einer vorhandenen Dielung. Flexible Matten passen sich gut an unregelmäßige Gefache an, ihre Wiederverwendbarkeit hängt aufgrund ihrer geringeren Formstabilität stärker von Einbauweise, Verschmutzung und Erhaltungszustand ab. Eine modulare Verlegung kann zudem abschnittsweise die Zugänglichkeit der Deckenkonstruktion sicherstellen. Bei einer Kombination aus flexiblen Matten und druckfesten Platten können die unterschiedlichen Materialeigenschaften gezielt nutzen werden: Flexible Dämmstoffe füllen Gefache und Unebenheiten aus, während trittfeste

Milkau, Kirche, Holzfaserdämmung mit aufgelegtem Maschendraht als Schutz vor Tierzugang – mit Neuschäden unter hochgerollten Abschnitten

Platten sowohl eine lastverteilende Wirkung als auch eine hinreichende Oberflächenfestigkeit für Reinigung und Revision besitzen. Die Werkstoffe lassen sich mit geeigneten Werkzeugen zuschneiden und trocken verlegen. Hierbei kann auf eine kostenintensive separate Laufebene über die gesamte Fläche verzichtet werden.

Beim Einbau der Dämmung ist ein Schutz vor Schäden durch Tiere, beispielsweise Marder, erforderlich. Vorrangig sollten mögliche Zugänge konstruktiv geschlossen und gefährdete Bereiche erforderlichenfalls mechanisch geschützt werden, z. B. durch flächig aufgelegten Maschendraht. Formstabile Platten können bei mechanisch lösbarer Befestigung, vorsichtigem sortenreinen Ausbau und ausreichendem Erhaltungszustand gereinigt und erneut verwendet werden. Unter geeigneten Randbedingungen besitzen Holzfaserdämmstoffe daher ein günstiges Potenzial für Rückbau, Wiederverwendung und damit Ressourcenschonung.

Holzfaserdämmstoffe werden aus dem nachwachsenden Rohstoff Holz hergestellt, welcher in Form von Hackschnitzeln als Nebenprodukt in Sägewerken anfällt. Wesentlich für die Umweltbilanz sind Herstellungsenergie, die eingesetzten Zusatzstoffe, Transportwege, Nutzungsdauer und Entsorgung. Umweltzeichen können zusätzliche Hinweise auf bestimmte Umweltanforderungen geben, die sich jedoch in ihren Bewertungskriterien unterscheiden. Welche Verwertungswege nach einem Rückbau möglich und zulässig sind, hängt von der Zusammensetzung, eventuellen Verunreinigungen und der abfallrechtlichen Einstufung des Materials ab. Bei einer thermischen Verwertung wird der im Material gebundene biogene Kohlenstoff wieder freigesetzt.

Zellulose

Zellulose erreicht bei geringer Flächenlast einen hohen Wärmedurchlasswiderstand und lässt sich als Schütt- oder Einblasdämmstoff in unregelmäßige Hohlräume einbringen. Darüber hinaus besitzt das Material ein gewisses Sorptionsvermögen und kann dadurch kurzfristige Feuchteschwankungen begrenzt puffern. Die thermische Speicherfähigkeit ist bei gleicher Schichtdicke geringer als bei dichten Holzfaserplatten oder massiven Lehmschichten, jedoch produktabhängig höher als bei Glaswolledämmstoffen.

Das Einbringen der Zellulose erfolgt in der Regel maschinell und setzt eine fachgerechte Ausführung voraus. Bei entsprechenden baulichen Voraussetzungen ermöglicht dieses Verfahren einen zügigen und wirtschaftlich günstigen Einbau. Es ist besonders bei zu erhaltenden Dielungen vorteilhaft, da vorhandene Hohlräume über kleine Öffnungen ausreichend gefüllt werden können. Vor der Ausführung sind jedoch die konstruktiven Randbedingungen sorgfältig zu prüfen. Insbesondere ist sicherzustellen, dass Balkenauflager und Lüftungsöffnungen im Traufbereich durch das Einblasen nicht beeinträchtigt werden.

Die mit Zellulose gefüllten Hohlräume sind nach dem Einbringen der Dämmung baulich so zu schließen, dass Luftströmungen und ein Austrag des Dämmstoffs verhindert werden. Andernfalls werden die Zelluloseflocken aus dem Balkenzwischenraum unkontrolliert in den Dachraum getragen und lagern sich dort ab. Ein offen liegender Einbau ist nur bedingt vertretbar. Hierbei ist eine geeignete diffusionsoffene Abdeckung vorzusehen, die vor Verwirbelung, Verschmutzung, Feuchteeintrag und Tierzugang schützt.

Zwingend zu vermeiden sind Feuchteeinträge, da sie Verklumpungen, Setzungen und eine Beeinträchtigung der Dämmwirkung verursachen. Eine mögliche Wiederverwendung setzt voraus, dass die Zellulose trocken, sauber und ohne Vermischung mit anderen Baustoffen ausgebaut werden kann. Ob dies nach längerer Nutzung im Denkmalbestand möglich ist, hängt von Einbauweise, Zugänglichkeit und Materialzustand ab. Demgegenüber stehen vergleichsweise günstige Umweltkennwerte bei der Herstellung, insbesondere bei der Nutzung von Recyclingrohstoffen. Diese sind anhand der Daten des konkreten Produkts und der vorgesehenen Verwertungswege zu beurteilen.

Löbnitz, Kirche, Zelluloseeinblasdämmung und Messgeräte mit laufender Klimaerfassung

Literatur

Niemz, Peter / Sonderegger, Walter Ulrich: Holzphysik. Eigenschaften, Prüfung und Kennwerte, 2., aktualisierte Auflage, München 2021.

Reyer, Eckhard / Schild, Kai / Völkner, Stefan: Kompendium der Dämmstoffe, 3., korrigierte und erw. Auflage, Stuttgart 2002.

Checkliste: Auswahl der Dämmebene

Allgemeine Anforderungen

- ☐ Bestandsaufbau, Erhaltungszustand, Denkmalrelevanz und Tragfähigkeit sind entsprechend der Entscheidungs- und Handlungshilfe geprüft
- ☐ Beachtung von Herstellervorgaben (z. B. zu erforderlicher Luftdichtheit) und anerkannter Regeln der Bautechnik
- ☐ Erhaltung erforderlicher Lüftungsöffnungen entsprechend den Herstellervorgaben und bauklimatischen Anforderungen der Gebäudehülle, fachgerechte Ausführung der Anbindung an den Traufbereich zur Verhinderung von unkontrollierter Lufteinströmung im Zwischendeckenbereich, z. B. durch Stellbretter
- ☐ Berücksichtigung von Nutzungsanforderungen (Revisionierbarkeit, Begehbarkeit) und Rückbauoptionen
- ☐ Schutz vor tierischem Befall und Verunreinigungen
- ☐ Bei kontaminierten Dachtragwerken / Dachräumen
  - ☐ Einbau eines möglichst staubdichten, diffusionsoffenen Rieselschutzes sowie Einrichtung einer Schwarz-Weiß-Abtrennung
  - ☐ Auswirkungen möglicher Kontamination auf Rückbau, Wiederverwendung und Verwertung prüfen

Auf die Dielung aufgelegte Dämmung

1. Aufbaudämmung oberhalb der Dielung

Vorteile

- keine bzw. geringe Eingriffe in den Bestand erforderlich
- einfache und vergleichsweise schnelle Ausführung
- gute Revisionierbarkeit des Deckenaufbaus bei modularer Verlegung

Nachteile

- Erhöhung der Laufebene
- Kleinteilige Anpassungen an Dachtragwerk, Treppen und anderer Einbauten erforderlich

2. Dämmung im Fehlboden beziehungsweise Zwischenbalkenraum

Dämmung im Fehlboden

Dämmung im Zwischenbalkenraum

Vorteile

- geringe Eingriffe in den Bestand erforderlich
- gute Revisionierbarkeit des Deckenaufbaus bei entsprechend modular eingebauter Laufebene oder Dielung
- vorhandener Zwischenraum wird ohne wesentliche Erhöhung der Laufebene genutzt

Nachteile

- Dielung muss gegebenenfalls teilweise geöffnet werden
- historische Schüttungen oder Einbauten können die Ausführung einschränken
- spätere Eingriffe in die Deckenunterseite sind bei direkt aufliegender Dämmung ohne Fehlboden erschwert

Voraussetzung

- ☐ Deckenzwischenraum muss leer sein bzw. kann nach Ausbau der Dielung geleert werden (abhängig von Denkmalrelevanz)
- ☐ im Bereich Fehlboden:
  - ☐ Nutzung der ursprünglichen Konstruktionen
  - ☐ im Bestand neu herzustellende Konstruktionen
- ☐ auf die Unterdecke direkt aufgelegt: Beachtung der Tragfähigkeit der Unterdecke (ggf. statisch-konstruktive Prüfung erforderlich

Anmerkungen

Dämmstoffe anorganisch / mineralisch

Dämmstoffe	**Lehm, Massiv-Lehm-Steine**	**Blähgranulat, Schüttung**	**Glaswolle, Dämmplatte**
Im Versuchsaufbau verwendetes Produkt	Grünlinge NF, Ziegelwerk Klaus Huber GmbH & Co. KG	AGEPAN Trockenschüttung, Sonae Arauco Deutschland GmbH	Akustic TP1 Lanaé, SAINT-GOBAIN ISOVER G+H AG
Rohmaterial	Lehm, Sand und Ton	Blähschiefer	Mineralische Rohstoffe und Recyclingglas sowie Binder auf Basis von Stoffen aus der Zucker- und Getreideproduktion
Herstellung	Der Lehm wird in Lehm- oder Tongruben gewonnen. Die Herstellung von Lehmsteinen umfasst die Lehmgewinnung, das Aufbereiten und Mischen des Lehms, die Formgebung sowie die Trocknung. Die Steine werden nicht gebrannt; für die Aufbereitung wird dennoch Energie benötigt.	Der Rohschiefer wird im Tagebau gewonnen, gebrochen und klassiert. Anschließend wird er gebrannt. Durch das Erhitzen bläht sich das Material zu einem leichten, porösen Granulat auf; danach folgen Abkühlung, Siebung und Verpackung.	Für Glaswolle werden Recyclingglas sowie mineralische Rohstoffe eingeschmolzen. Die Schmelze wird zu feinen Fasern verarbeitet. Diese werden mit Bindemittel versetzt und zu Dämmstoffmatten geformt, ausgehärtet, zugeschnitten und verpackt.
Rohdichte	2.000 kg/m^3	650 ± 100 kg/m^3	14 kg/m^3
Brandverhalten	A1, nicht brennbar	A1, nicht brennbar	A1, nicht brennbar
Spezifische Wärmekapazität c	ca. 1.000 J/(kg·K) (Richtwert)	ca. 1.000 J/(kg·K) (Richtwert)	1.030 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit λ	ca. 0,9 – 1,13 W/(m·K) (Richtwert)	0,16 W/(m·K)	0,040 W/(m·K)
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ	5/10 (Richtwert)	1 – 5 (Richtwert)	1
Feuchtespeicherfähigkeit	sehr gut feuchtespeichernd	gering feuchtespeichernd	keine relevante hygrische Speicherfähigkeit

Dämmstoffe organisch

Dämmstoffe	Holzweichfaser, flexibel	Holzfaser, trittfest	Zellulose, Schüttung
Im Versuchsaufbau verwendetes Produkt	UdiFLEX, UdiDÄMMSYSTEME GmbH	UdiTHERM SK, UdiDÄMMSYSTEME GmbH	isofloc LM, isofloc AG *nicht im Versuchsaufbau untersucht*
Rohmaterial	93 % Nadelholzfasern; ca. 7 % Polyolefin-Bindefaser sowie Ammoniumpolyphosphat als Brandschutzmittel	Nadelholzfasern, Lagenverklebung	mindestens 90 % Zeitungs- / Altpapierfasern; übriger Anteil Zusatz- und Brandschutzmittel, unter anderem Leichtmetallsalze und Borsäure
Herstellung	Als Ausgangsmaterial dienen überwiegend unbehandelte Nadelholzfasern aus Schwach-, Durchforstungs- und Restholz. Das Holz wird thermomechanisch aufgeschlossen und in einzelne Fasern zerlegt. Beim flexiblen Dämmstoff werden die getrockneten Fasern mit Bindefasern und einem Brandschutzmittel vermischt und zu einer formstabilen, elastischen Dämmmatte verarbeitet. Bei der trittfesten Platte tragen die holzeigenen Bindekräfte, insbesondere das Lignin, zum Zusammenhalt der unter Druck und Wärme geformten Fasern bei. Zur Herstellung größerer Plattendicken werden mehrere Plattenlagen miteinander verklebt.		Zellulosedämmung wird überwiegend aus sortiertem Zeitungspapier hergestellt. Das Papier wird zerkleinert, aufgefasert und mit mineralischen Brandschutzmitteln versetzt, entstaubt, homogenisiert und als lose Einblasdämmung verpackt.
Rohdichte	50 kg/m^3	160 kg/m^3	40 – 60 kg/m^3
Brandverhalten	E, normalentflammbar	E, normalentflammbar	E, normalentflammbar
Spezifische Wärmekapazität c	2.100 J/(kg·K)	2.100 J/(kg·K)	2.150 J/(kg·K)
Wärmeleitfähigkeit λ	0,039 W/(m·K)	0,040 W/(m·K)	0,040 W/(m·K)
Wasserdampf-Diffusionswiderstandszahl μ	1/2	5	1 – 2
Feuchtespeicherfähigkeit	diffusionsoffen und feuchtespeichernd	diffusionsdichter, größere hygrische Speicherfähigkeit als die flexible Holzweichfaser	diffusionsoffen und feuchtespeichernd

Bewertungskriterien zur Auswahl eines geeigneten Dämmsystems (anorganisch / mineralisch)

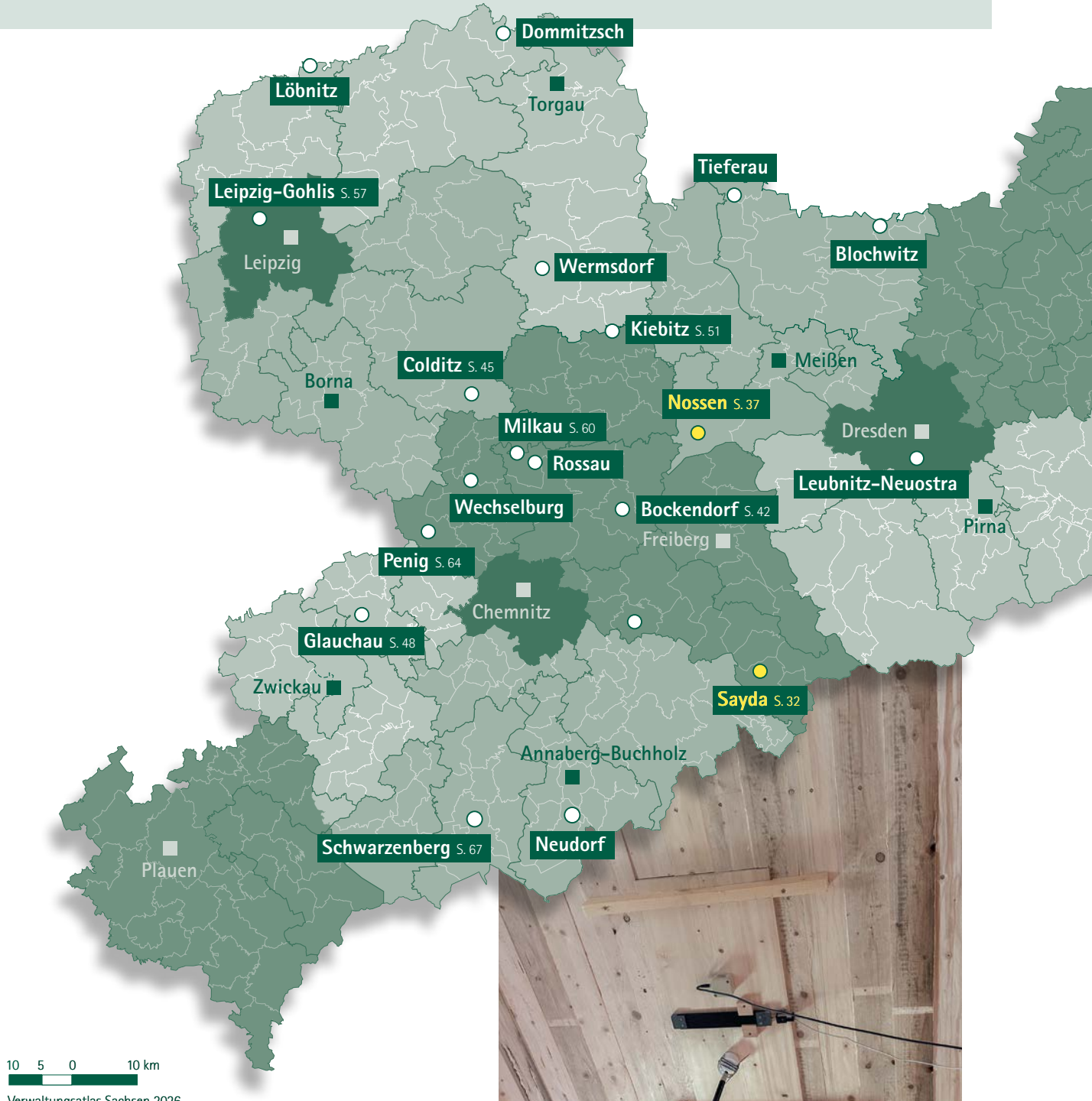
Dämmstoffe	Lehm, Massiv-Lehm-Steine	Blähgranulat, Schüttung	Glaswolle, Dämmplatte
Einbau und Nutzung			
Unterseitige Trennlage	Bei unverputzten oder fugenreichen Decken wird eine unterseitige Trennlage als Riesel- und Konvektionsschutz empfohlen	Eine Rieselschutzlage ist erforderlich. Hersteller empfehlen Rippenpappe, dampfbremsende / -sperrende Schichten sind zu vermeiden, da sie den Feuchtetransport beeinträchtigen.	Bei fehlender raumseitiger Dampfbremse empfehlen Hersteller eine von oben verlegte feuchtevariable Klimamembran, außerdem sind Deckenebene und Randanschlüsse luftdicht auszuführen.
Oberseitige Staubschutzlage bei offen liegender Dämmung	Optional, trockene Reinigung durch Abkehren oder Absaugen möglich.	Erforderlich, da Verunreinigungen nur aufwendig entfernt werden können.	Erforderlich, da Verunreinigungen kaum zerstörungsfrei und ohne Faserfreisetzung entfernt werden können
Mechanischer Schutz als Tiervergrämung	In der Regel nicht erforderlich; offene Fugen und Randbereiche sind objektspezifisch zu prüfen.	Empfohlen, da eine Reinigung des Schüttmaterials aufwendig ist.	Empfohlen, da eine Reinigung der Fasermatte aufwendig ist.
Zugänglichkeit für Kontrolle, Technik und Instandsetzung	Gute Zugänglichkeit. Formstabile Steine oder Platten können gezielt aufgenommen und wieder eingesetzt werden.	Eingeschränkte bis mittlere Zugänglichkeit. Die Schüttung kann lokal aufgenommen werden; Rieselschutz, Nachrieseln, Zwischenlagerung und erneute Verteilung sind zu berücksichtigen.	Mittlere Zugänglichkeit. Einzelne Zuschnitte sind leicht entnehmbar; beim Wiedereinbau sind Passgenauigkeit, Fugenfreiheit und Trennlage wiederherzustellen.
Rückbau und Nachnutzung			
Rückbauaufwand	Mittlerer Aufwand. Formstabile Elemente sind gezielt entnehmbar; das hohe Gewicht erhöht Arbeits- und Transportaufwand.	Mittlerer Aufwand. Aufnahme oder Absaugung sind möglich; Staubentwicklung, Materialverlagerung und Zwischenlagerung erhöhen den Aufwand.	Mittlerer Aufwand. Aufgrund des geringen Gewichts leicht ausbaubar; Schutzmaßnahmen gegen Faserfreisetzung sind erforderlich.
Wiederverwendung nach dem Ausbau bei mittlerer Verschmutzung ohne Kontamination	Hohes Potenzial, da Material unempfindlich; Lehmsteine lassen sich gut bearbeiten und anpassen. Lose Verschmutzungen können abgekehrt oder abgesaugt werden.	Hohes Potenzial, da Material unempfindlich; als Schüttung gut anpassbar. Grobe Fremdstoffe können ausgesiebt, Staub kann abgesaugt werden.	Mittleres Potenzial. Voraussetzung sind trockene, saubere, unbeschädigte und weiterhin passende Zuschnitte. Nur vorsichtiges Absaugen; Abkehren oder Abblasen ist wegen möglicher Faserfreisetzung zu vermeiden.
Stoffliche oder sonstige Verwertung bei trockenem, sortenreinem und schadstofffreiem Ausbau	Hohes stoffliches Potenzial durch Aufbereitung zu Lehmbaustoffen.	Erneute Nutzung als Schütt-, Ausgleichs- oder gegebenenfalls Zuschlagstoff möglich.	Stoffliche Verwertung nur sortenrein oder als Verschnitt über das Rücknahmesysteme als Recyclingrohstoff
Möglicher Abfallschlüssel bei sortenreinem Rückbau ohne Schadstoffkontamination	17 05 04 Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03* fallen, 17 01 02 Ziegel	17 05 04 Boden und Steine mit Ausnahme derjenigen, die unter 17 05 03* fallen, 17 06 04 Dämmmaterial ohne Asbest und gefährliche Stoffe	1 mit Herstellungsdatum vor 01.01.1996, 17 06 04 Dämmmaterial ohne Asbest und gefährliche Stoffe (SD), Herstellerrückführung für Recycling
Fazit für die Praxis	Unempfindlich, reparatur- und kreislauffähig. Gute Zugänglichkeit und Potenzial der Wiederverwendung; hohe Masse und Transportaufwand sind zu beachten.	Unempfindlich und wiederverwendbar, Rückbau und Zugänglichkeit vergleichsweise aufwendig; hohe Masse und Transportaufwand sind zu beachten	Leicht zu verarbeiten und gut entnehmbar, Rahmenbedingungen wie Luftdichtheit im Denkmalbestand eingeschränkt umsetzbar. Reinigung und direkte Wiederverwendung.

Bewertungskriterien zur Auswahl eines geeigneten Dämmsystems (organisch)

Dämmstoffe	Holzweichfaser, flexibel	Holzfaser, trittfest	Zellulose, Schüttung
Einbau und Nutzung			
Unterseitige Trennlage	Bei unverputzten oder fugenreichen Decken wird eine unterseitige Trennlage als Riesel- und Konvektionsschutz empfohlen.		Eine Rieselschutzlage ist erforderlich. Nach Herstellerangabe ist unter bestimmten Randbedingungen zusätzlich eine dampfbremsende Schicht vorzusehen.
Oberseitige Staubschutzlage bei offen liegender Dämmung	Erforderlich, da Verunreinigungen nur eingeschränkt und nicht ohne mögliche Materialschädigung entfernt werden können.	Optional; trockene Reinigung durch Abkehren oder Absaugen möglich.	Erforderlich, da Verunreinigungen des losen Fasermaterials nur eingeschränkt entfernt werden können.
Mechanischer Schutz als Tiervergrämung	Erforderlich, da bei Tierzugang mechanische Beschädigungen des Dämmstoffs auftreten können. Als Schutz wird das Auflegen eines Drahtgewebes empfohlen.		Empfohlen, da eine Reinigung des Schüttmaterials nicht möglich ist.
Zugänglichkeit für Kontrolle, Technik und Instandsetzung	Gute bis mittlere Zugänglichkeit. Matten können von Hand entnommen werden; Verformungen und Faserausbrüche sind zu vermeiden.	Gute Zugänglichkeit bei modularer, mechanisch lösbarer Verlegung.	Mittlere Zugänglichkeit. Lokaler Zugang durch Absaugen; anschließend sind Füllung, Einbaudichte und Trennlage wiederherzustellen.
Rückbau und Nachnutzung			
Rückbauaufwand	Mittlerer Aufwand. Von Hand ausbaubar; Verformungen und Faserausbrüche sind zu vermeiden.	Geringer bis mittlerer Aufwand bei lösbarer Befestigung; Gewicht und mögliche Kantenbeschädigungen sind zu berücksichtigen.	Geringer Aufwand, maschinell über den Traufbereich absaugbar; Aufwand und Materialverluste hängen von Zugänglichkeit und Verschmutzung ab.
Wiederverwendung nach dem Ausbau bei mittlerer Verschmutzung ohne Kontamination	Mittleres Potenzial. Voraussetzung sind Trockenheit, Sauberkeit und ausreichende Formstabilität. Feuchtebelastung erhöht die Gefahr von Verformung und Materialschädigung. Absaugen möglich; kräftiges Abkehren kann die Faserstruktur beschädigen.	Hohes Potenzial bei trockenen, unbeschädigten und maßlich geeigneten Platten; kräftiges Abkehren kann die Faserstruktur beeinträchtigen. Abkehren oder Absaugen grundsätzlich möglich.	Eingeschränktes bis mittleres Potenzial. Erforderlich ist trockenes, ausreichend sauberes und weiterhin schütt- oder einblasfähiges Material. Verklumpungsrisiko nach Einbau im eher feuchten Denkmalbestand. Nur eingeschränkt zu reinigen; Fremdstoffe können ausgesiebt werden.
Stoffliche oder sonstige Verwertung bei trockenem, sortenreinem und schadstofffreiem Ausbau	Thermische Verwertung mit Energierückgewinnung möglich, im Einzelfall abhängig von Bindemitteln, Fremdstoffen und Materialzustand.		Verwertungsweg abhängig von Zusätzen, Materialreinheit und regionaler Infrastruktur; gegebenenfalls energetische Verwertung.
Möglicher Abfallschlüssel bei sortenreinem Rückbau ohne Schadstoffkontamination	17 02 01 Holz	17 02 01 Holz	17 06 04 Dämmmaterial ohne Asbest und gefährliche Stoffe
Fazit für die Praxis	Leicht zu verarbeiten und gut entnehmbar. Reinigung und direkte Wiederverwendung sind aufgrund der Feuchteempfindlichkeit eingeschränkt. Revisionsmöglichkeit gegeben.	Sehr leicht zu verarbeiten, stabil, gut zugänglich und gut wiederverwendbar. Gewicht, Feuchteempfindlichkeit und Kantenbeschädigungen sind zu berücksichtigen. Revisionsmöglichkeit gegeben.	Einbau mit geringem Aufwand per Einblasmaschine. Leicht, fugenfüllend. Wiederverwendung bei sauberem Ausbau möglich, im Bestand aber häufig eingeschränkt. Einbau einer darüberliegenden Dielung wird daher empfohlen. Eingeschränkte Revisionsmöglichkeit.

Ausgewählte Messobjekte aus dem Forschungsprojekt

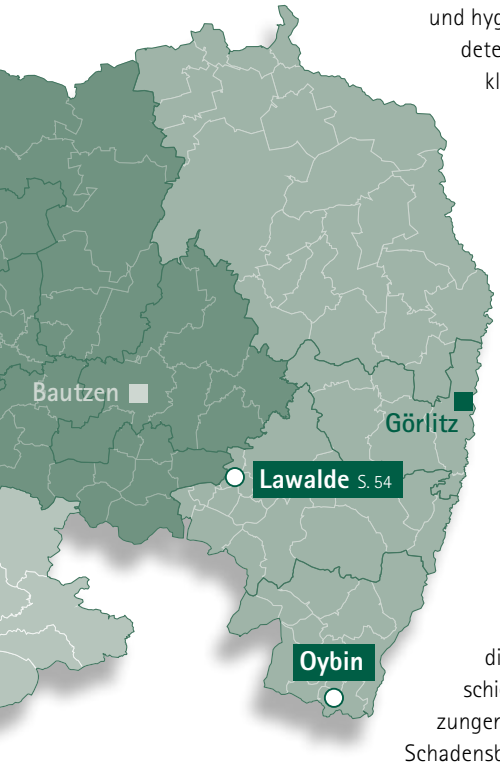
Messkonzept und Auswahl repräsentativer Untersuchungsobjekte



Standorte der Versuchsobjekte (gelb) und Untersuchungsobjekte (weiß)

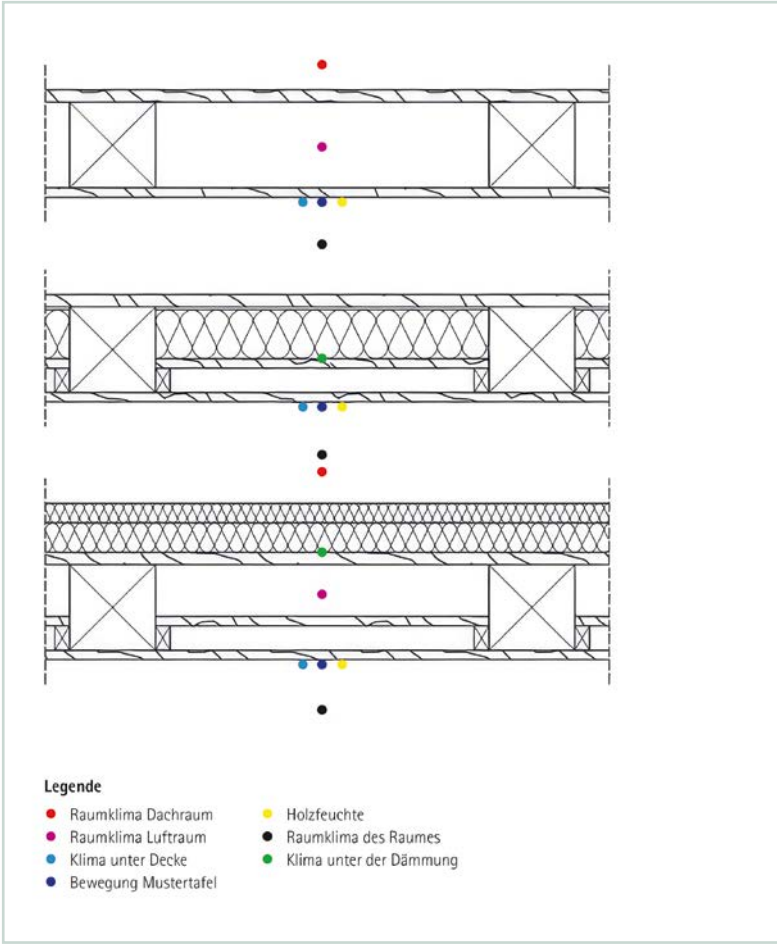
Versuchsobjekt Sayda, Holztafelmodell zur Messung der Holzdehnung

Im Rahmen des Projektes wurde untersucht, wie historische Holzbalkendecken im Übergang zwischen Innenraum und unbeheiztem Kaltdach auf die klimatischen Belastungen durch den Klimawandel reagieren und welchen Einfluss unterschiedliche Dämmstoffe auf das Temperatur- und Feuchteverhalten der Konstruktion nehmen. Der Fokus der Forschungsarbeit lag auf dem sommerlichen Wärmeschutz. Die Dokumentation konstruktiver Aspekte, Messwerterfassung und hygrothermische Simulation bildeten die Grundlage für die bauklimatische Bewertung.



Um diesen Zusammenhängen sowohl unter kontrollierten Bedingungen als auch im realen Denkmalbestand nachzugehen, wurde ein zweistufiges Vorgehen gewählt: Zwei eigens eingerichtete Versuchsobjekte ermöglichten den direkten Vergleich verschiedener Dämmvarianten unter weitgehend einheitlichen Bedingungen, während zwanzig weitere Untersuchungsobjekte die Vielfalt der Praxis mit unterschiedlichen Konstruktionen, Nutzungen, Sanierungsgeschichten und Schadensbildern repräsentieren. Auswahlkriterien für die zu untersuchenden Denkmalobjekte waren ein massiver, weitgehend unbeheizter Baukörper mit Kaltdach sowie eine ungedämmte bzw. in verschiedener Art und Weise gedämmte historische Holzbalkendecke, welche raumseits formell oder malerisch gestaltet ist. Neben den baulichen Aspekten zählten auch praktische Gesichtspunkte, wie eine gute Zugänglichkeit der Decken- und Dachräume, sowie zuverlässige Rahmenbedingungen für die Messwerterfassung.

Im eingeschossigen Nebengebäude des Pfarrhauses Sayda erfolgte im Sinne eines Reallabors die Einrichtung eines komplexen Versuchsaufbaus. Mit seinen massiv errichteten Wänden, einer Holzbalkendecke und dem Kaltdach entspricht das Bauwerk der untersuchten Gebäudeart. Die Erdgeschoßzone wurde durch gedämmte Holzständerwände temporär in sechs etwa gleich große, thermisch getrennte Bereiche unterteilt. In fünf Testzellen wurde jeweils ein Dämmstoff mit einer Schichtdicke von 100 mm getestet: Flexible Holzfaserdämmung als Zwischenbalkendämmung sowie trittfeste Holzfaserplatten auf der Dielung, Mineralwolle als konventioneller Dämmstoff und als schwere Varianten eine Lehmdämmung in Anlehnung an historische Lehmfüllungen sowie eine Schüttung aus Blähschiefergranulat. Eine ungedämmte sechste Testzelle diente als Referenzbereich. Ergänzend erfolgte die Betrachtung von Einblasdämmung auf Zellulosebasis anhand von Bestandsobjekten.



Versuchsobjekt Sayda, Klimamesspunkte

Als zweites Versuchsobjekt diente der Südflügel von Schloss Nossen. Hier wurden in jeweils einem Bereich die Dämmmaterialien Holzfaser und Lehm reversibel in eine bestehende historische Deckenkonstruktion eingebaut. Ein weiterer ungedämmter Bereich diente als Referenz. Zudem erfolgten in zwei weiteren Untersuchungsobjekten, den Kirchen in Kiebitz und Milkau, bereichsweise Dämmmaßnahmen. So ließen sich gedämmte und ungedämmte Deckenbereiche innerhalb derselben Gebäude unmittelbar vergleichen.

In allen Objekten erfolgte eine Aufzeichnung von Temperatur und relativer Luftfeuchtigkeit an jeweils vier Punkten: im Dachraum, in der Deckenebene zwischen den Balken, an der Deckenunterseite und im darunterliegenden Innenraum. Die Sensoren wurden substanzschonend über freistehende Stative oder in anderweitig bauseits geeigneten Situationen angebracht und die Messwerte über mindestens 24 Monate aufgezeichnet. Im Versuchsobjekt Sayda erfolgte zusätzlich die Erfassung von Materialfeuchte und Breitenänderung an Holztafelmodellen aus Fichtenholz, die in die Deckenunterseite integriert waren.

Versuchsobjekt: Sayda, Nebengebäude des Pfarrhauses/Diakonates

Adresse:	Pfarrgasse 5 – 6, 09619 Sayda
Datierung:	Mitte 19. Jh.
Gebäudetypus:	eingeschossiger Bruchsteinbau, verputzt
Nutzung/Heizung:	keine

Dach

Dachtypus:	Satteldach
Dachdeckung/-farbe:	Schiefer
Dachtragwerk:	Sparrendachstuhl mit Mittellängsverband
Dielung:	flächig
Belüftungsfaktoren:	keine Trauflüftung, Schalung
Sanierung:	um 2015

Decke

Deckenkonstruktion:	Holzbalkendecke mit Dielung
Deckengestaltung:	keine
Dämmung:	keine erhalten

Testfelder

Raum 1: leer/ohne Dämmung

Raum 2: Holzweichfaserplatte auf Fehlboden
UdiFLEX® Holzweichfaser 100 mm

Raum 3: Mineralwolle auf Fehlboden
Glaswolle ISOVER TP1 100 mm

Raum 4: Holzweichfaserplatte (flexible + trittfeste Platte) auf Dielung; UdiTHERM® SK 60 mm + UdiTHERM® strong 40 mm

Raum 5: Blähschieferschüttung über Polypropylen-Rieselschutzvlies auf Fehlboden
AGEPAN® Trockenschüttung 100 mm über Rieselschutzvlies aus 100 % Polypropylen

Raum 6: Massivlehmsteine unter Lehmbauplatte auf Fehlboden
Grünlinge Huber NF 71 mm,
Rapido Lehmbauplatte 22 mm

Sayda, Nebengebäude Pfarrhaus, Außenansicht

Sayda, Nebengebäude Pfarrhaus, Innenansicht

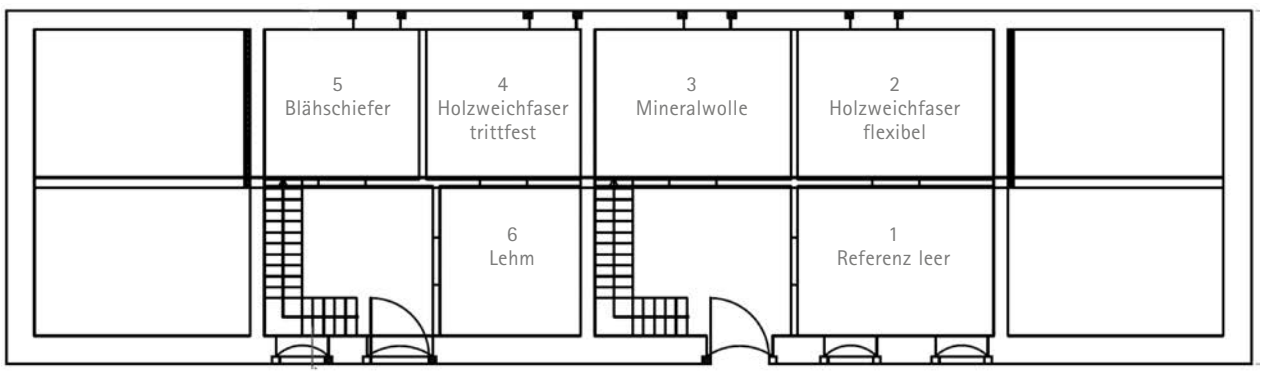
Sayda, Nebengebäude Pfarrhaus, Deckenuntersicht

Einrichtung der Testzellen im Versuchsobjekt Sayda

Gedielter Dachboden, Schalung, keine Trauflüftung

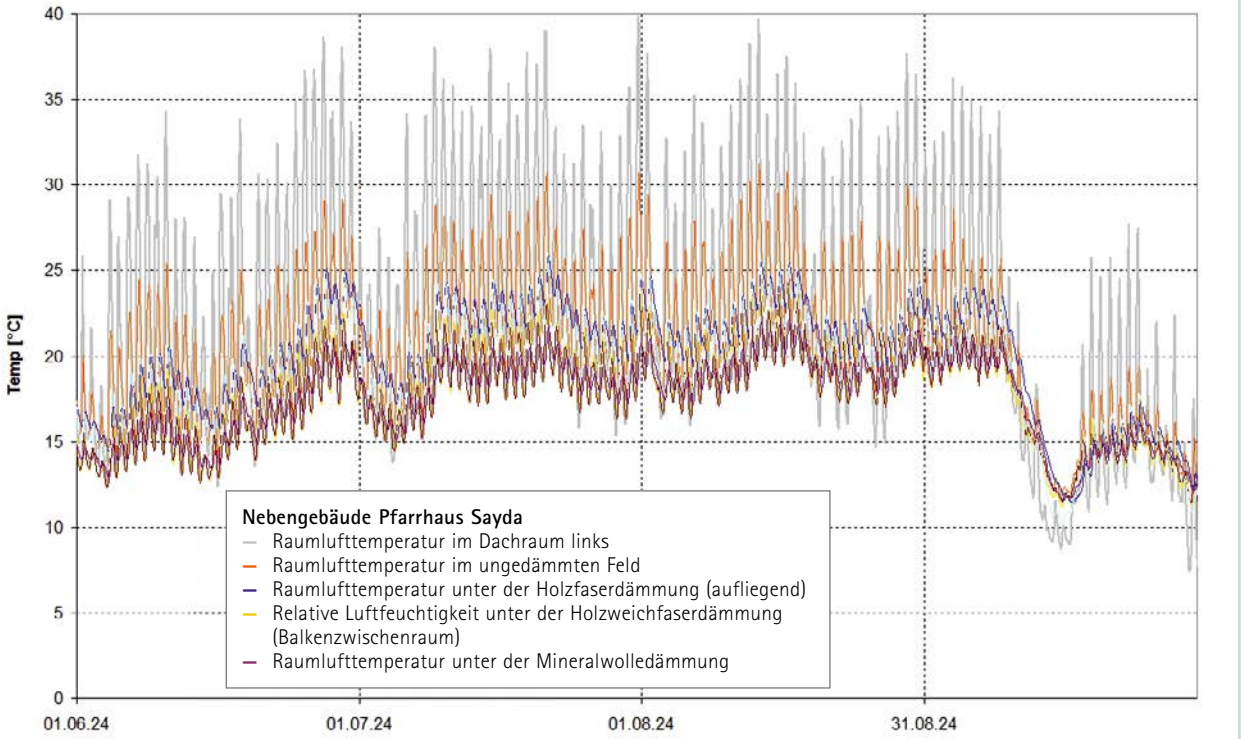
Fertige Testzellen mit OSB-Plattenbeplankung und Klimamesstechnik unter dem Holztafelmodell

Versuchsfeld über einer Testzelle mit Holzfaserdämmung auf der Deckenoberseite



Lageplan der Testzellen mit ihren jeweiligen Dämmsystemen im Untersuchungsgebäude

Versuchsfelder mit fünf getesteten Dämmsystemen



Sayda, Nebengebäude Pfarrhaus, Klimaaufzeichnung (T) im Dachraum und in den gedämmten Testfeldern + Referenzfeld

Bewertung der Dämpfung sommerlicher Temperaturschwankungen durch die Deckenaufbauten im Sommer 2024:

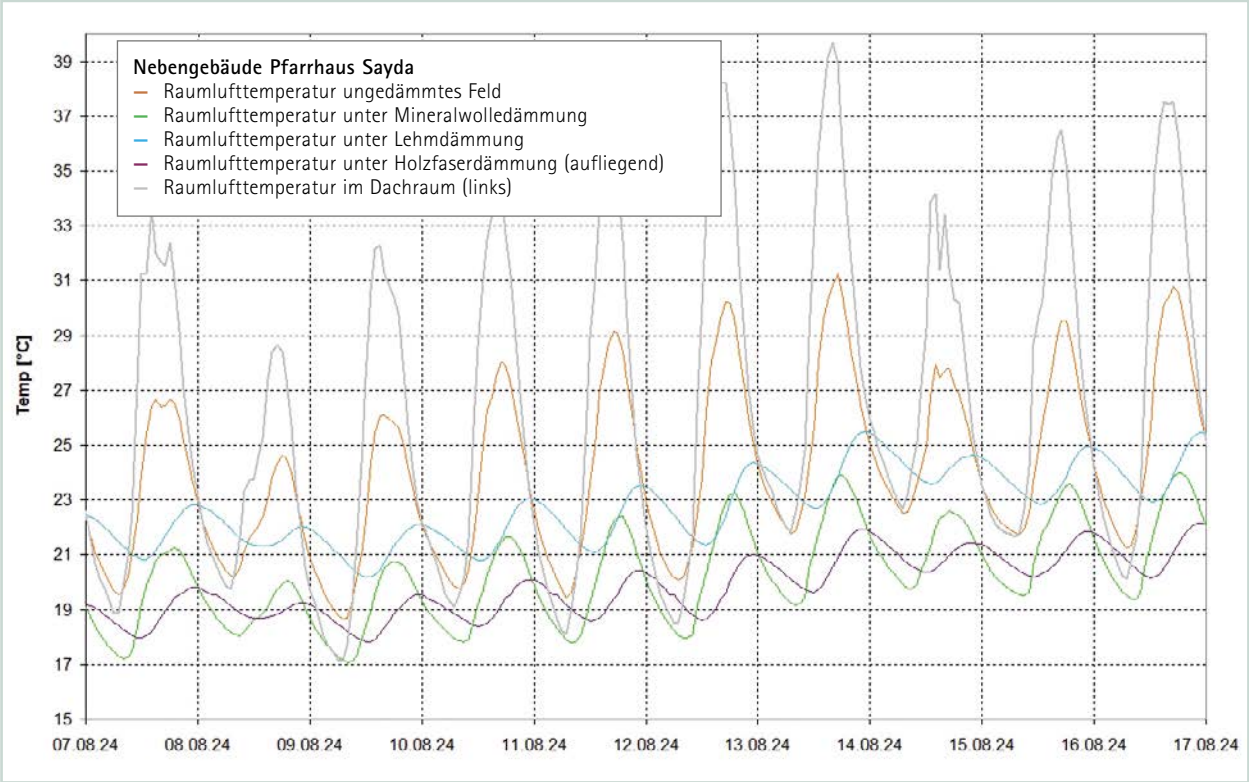
- Die starken Temperaturschwankungen im Dachraum (graue Kurve) werden beim Durchgang durch die Decke unterschiedlich stark gedämpft.
- Beim ungedämmten Deckenaufbau (orangefarbene Kurve) wird die Temperaturwelle nahezu ungedämpft bis in den darunterliegenden Raum weitergeleitet.
- Die gedämmten Deckenaufbauten bewirken eine deutlich stärkere Reduzierung der Temperaturamplitude.

Erläuterung

- Die Stärke der Dämpfung wird maßgeblich durch die Dicke der eingebauten Schicht und die Temperaturleitfähigkeit des Materials beeinflusst.
- Die Temperaturleitfähigkeit beschreibt das Verhältnis zwischen Wärmeleitung und Wärmespeicherung. Eine hohe Temperaturleitfähigkeit führt zu einer schnellen Wärmeausbreitung und einer geringeren Dämpfung der Temperaturwelle.

Versuchsfeld 1, Referenzfeld ohne Dämmung

Versuchsfeld 2, Holzweichfaserplatte im Balkenzwischenraum



Sayda, Nebengebäude Pfarrhaus, Klimaaufzeichnung (T) im Dachraum und in den gedämmten Testfeldern + Referenzfeld

Bewertung der Dämpfung sommerlicher Temperaturschwankungen durch die Deckenaufbauten (Ausschnitt von 10 Tagen im Sommer 2024):

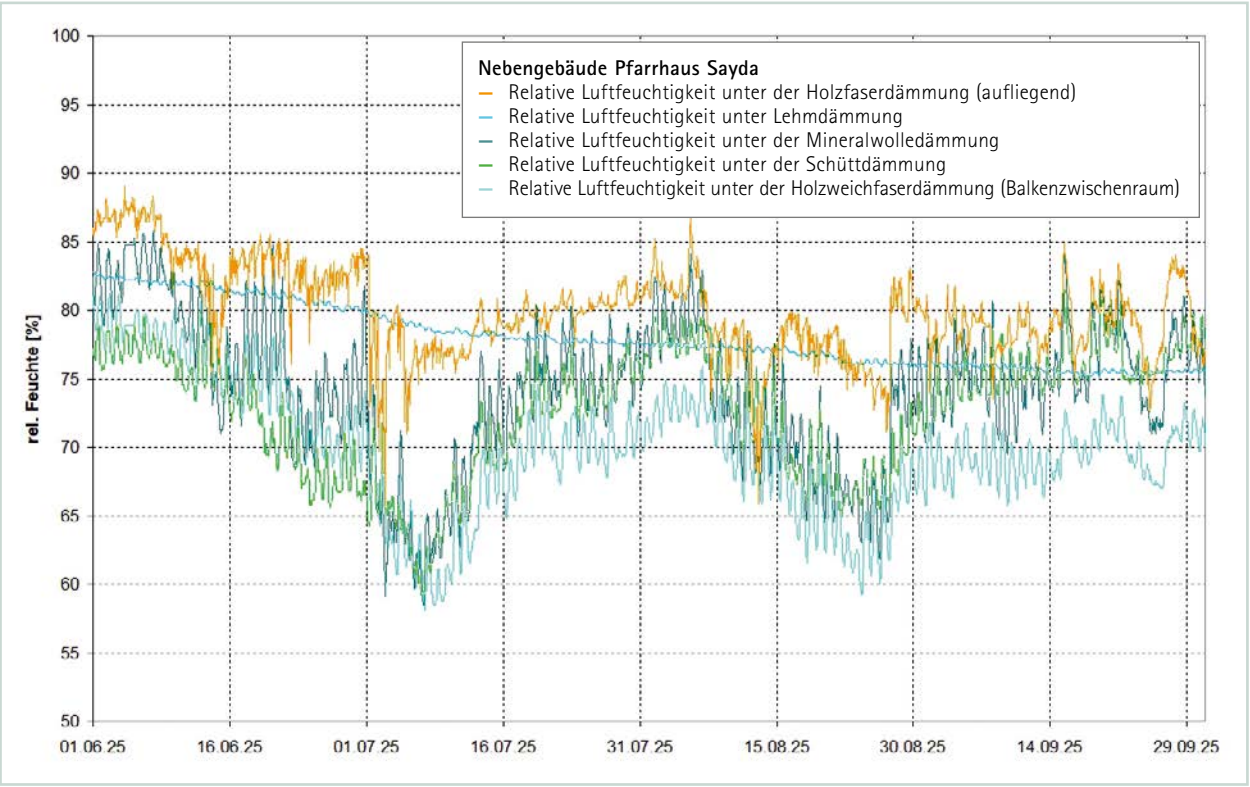
- Bei der leeren Deckenkonstruktion ist die Dämpfung der Temperaturamplitude nur gering ausgeprägt.
- Die Mineralwolle bewirkt eine stärkere Dämpfung als die leere Deckenkonstruktion, diese fällt jedoch geringer aus als bei Lehm- und Holzfaserdämmung.
- Bei den Varianten mit Lehm und Holzfaser ist zusätzlich eine deutlichere Phasenverschiebung erkennbar. Temperaturspitzen erreichen den darunterliegenden Raum zeitlich verzögert.

Erläuterung

- Für eine wirksame Dämpfung der Temperaturwelle sind sowohl eine geringe Wärmeleitfähigkeit als auch eine ausreichende Masse und Wärmespeicherfähigkeit erforderlich.
- Die Temperaturleitfähigkeit wird nicht nur durch die Wärmeleitfähigkeit, sondern auch durch die Dichte und die spezifische Wärmekapazität des Materials bestimmt.
- Leichte Dämmstoffe besitzen zwar eine geringe Wärmeleitfähigkeit, können aufgrund ihrer geringen Dichte jedoch nur vergleichsweise wenig Wärme speichern.
- Schwere Materialien weisen durch ihre hohe Dichte eine größere Wärmespeicherfähigkeit auf
  → stärkere Dämpfung und zeitliche Verzögerung der Temperaturwelle.

Versuchsfeld 3, Mineralwolle im Balkenzwischenraum

Versuchsfeld 4, Holzfaserplatte trittfest auf der Dielung aufliegend



Sayda, Nebengebäude Pfarrhaus, Klimaaufzeichnung (rLf) im Dachraum und in den gedämmten Testfeldern + Referenzfeld

Bewertung der Dämpfung sommerlicher Feuchteschwankungen durch die Deckenaufbauten, Sommer 2025:

- Bei der Lehmfüllung zeigt die relative Luftfeuchtigkeit einen besonders gleichmäßigen Verlauf ohne ausgeprägte Tagesschwankungen, obwohl die täglichen Temperaturschwankungen bis unter die Lehmschicht vordringen.
- Bei den untersuchten leichten Dämmvarianten treten deutlichere Tagesschwankungen der relativen Luftfeuchtigkeit auf → geringere Feuchtepufferung gegenüber der Lehmfüllung und stärkere Reaktion auf Temperaturänderungen.
- Der Messfühler im ungefüllten Deckenaufbau fiel infolge eines Marderverbisses aus. Eine durchgehende Bewertung und ein vollständiger Vergleich mit den übrigen Varianten waren dadurch erschwert.

Erläuterung

- Neben der Dämpfung der Temperaturwelle beeinflussen die hygrischen Eigenschaften der eingebauten Materialien den Feuchtehaushalt der Decke und insbesondere der unteren Deckenebene.
- Feuchtepuffernde Materialien können Wasserdampf aufnehmen und zeitversetzt wieder abgeben → Verringerung kurzfristiger Feuchteschwankungen innerhalb der Deckenkonstruktion.
- Ein gleichmäßiger Feuchteverlauf bei Lehmfüllung ist auf das hohe Feuchtepuffervermögen des Lehms zurückzuführen. Historische Lehmfüllungen wurden bzw. werden bei Sanierungen häufig entfernt, wodurch zugleich ihre feuchteregulierende Wirkung verloren geht.

Versuchsfeld 5, Blähschieferschüttung über Rieselschutzvlies im Balkenzwischenraum

Versuchsfeld 6, Massivlehmsteine mit Lehmbauplatte im Balkenzwischenraum

Versuchsobjekt: Nossen, Schloss, Südflügel

Adresse:	Am Schloss 3, 01683 Nossen Südflügel R 1.006, 2. OG
Datierung:	1629/30
Gebäudetypus:	dreigeschossiger Appartement-Bau innerhalb einer mehrflügeligen, im Ursprung mittelalterlichen Schlossanlage
Aktuelle Nutzung/ Heizung:	keine

Dach

Dachtypus:	Satteldach mit Zwerchhäusern
Dachdeckung/-farbe:	Ziegel (Biberschwanz)
Dachtragwerk:	Sparrendachstuhl mit Mittellängsverband
Dielung:	flächig
Belüftungsfaktoren:	keine Trauflüftung, Luftwechsel durch undichte Bauweise
Sanierung:	div. konstruktive Instandsetzungen

Decke

Deckenkonstruktion:	Balkendecke mit Einschubbrettern und kassettenartig aufgesetzten Profilen
Deckengestaltung:	monochrome Bisterlasur
Erhaltungszustand:	Verformungen, Durchbiegung zur Raummitte, Trocknungsrisse, Bisterlasur erhalten
Letzte Konservierung:	nicht bekannt
Dämmung:	im Testbereich keine (vermutlich im Zuge konstruktiver Instandsetzung entfernt), in diversen angrenzenden Bereichen erhaltener bauzeitlicher Aufbau (ca. 10 – 12 cm Lehmschlag/ -schüttung im Fehlboden)

Testfelder

Versuchsfeld 1: leer/ohne Dämmung

Versuchsfeld 2: Massivlehmsteine im Balkenzwischenraum
unter Lehmbauplatte
Grünlinge Huber NF 71 mm,
Rapido Lehmbauplatte 22 mm

Versuchsfeld 3: Holzweichfaserplatte (flexibel + trittfest)
auf Dielung
UdiTHERM® SK 60 mm +
UdiTHERM® strong 40 mm

Nossen, Schloss, Südflügel, Außenansicht

Nossen, Schloss, Innenansicht mit Messtechnik

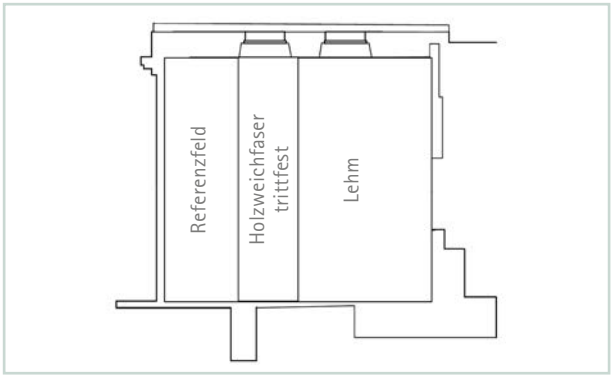
Nossen, Schloss, Deckenuntersicht mit Messtechnik

Dachboden mit Ziegeldeckung auf Lattung

Versuchsaufbau Deckenoberseite mit unterschiedlich gedämmten Testfeldern, Aufnahme bei der fotografischen Dokumentation für die Handreichung

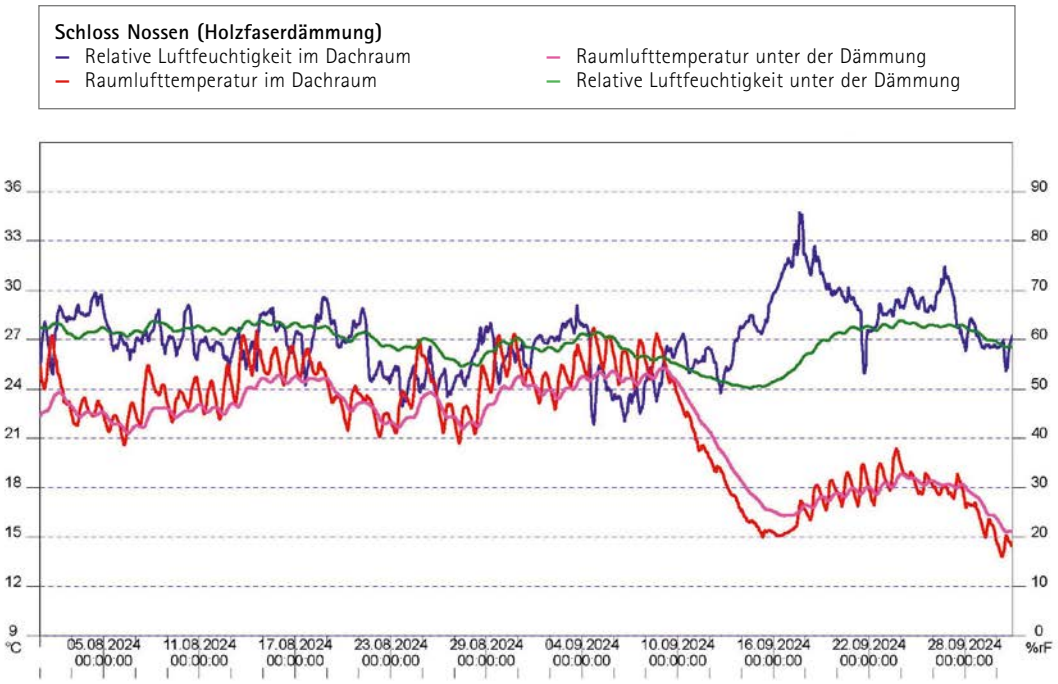
Einschubbretter gerissen und verformt, Schüttung Deckenoberseite

Lehmschlag an angrenzender baugleicher Decke

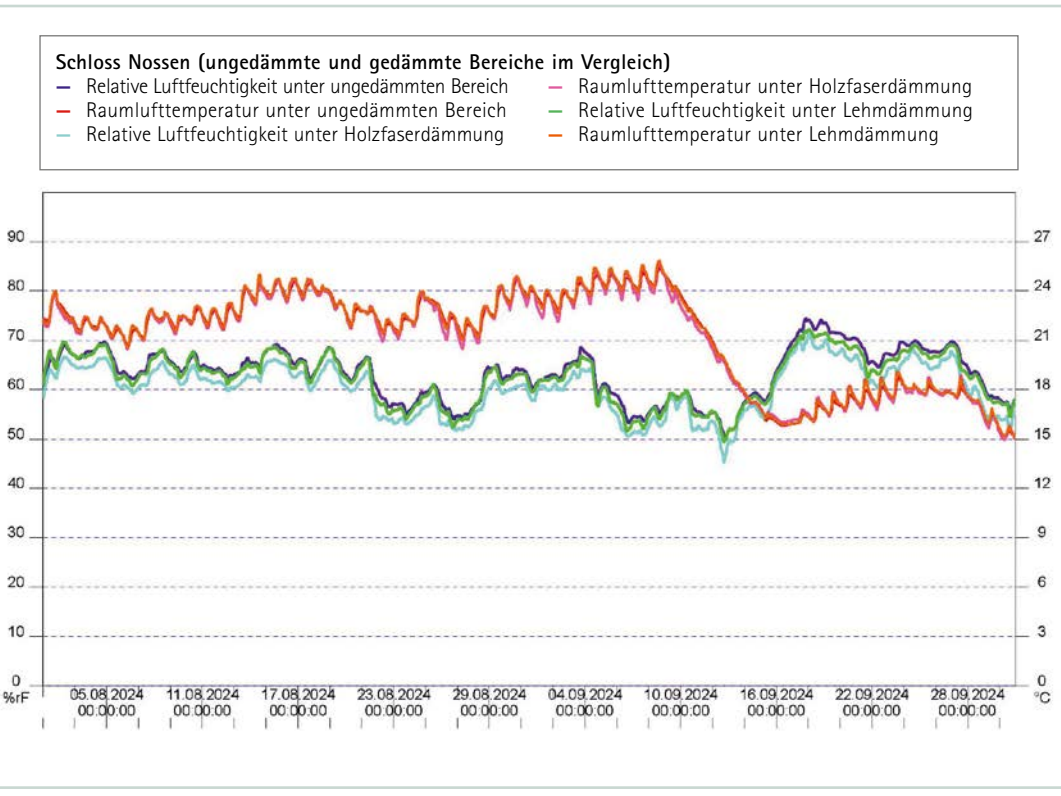


Lageplan Versuchsfelder, Schloss Nossen 1. DG

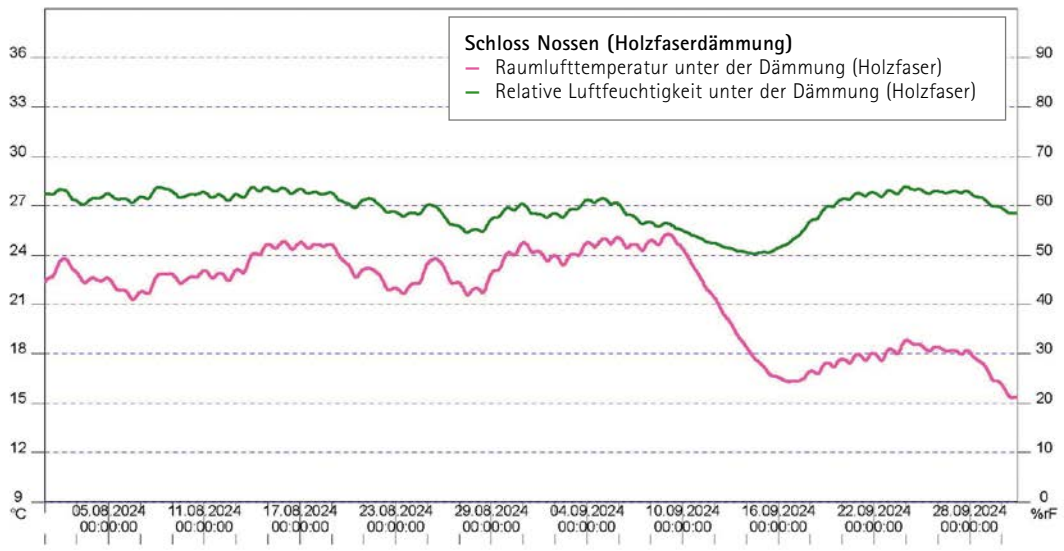
Versuchsfeld, vorne Lehmbauplatte, hinten Holzweichfaserplatte



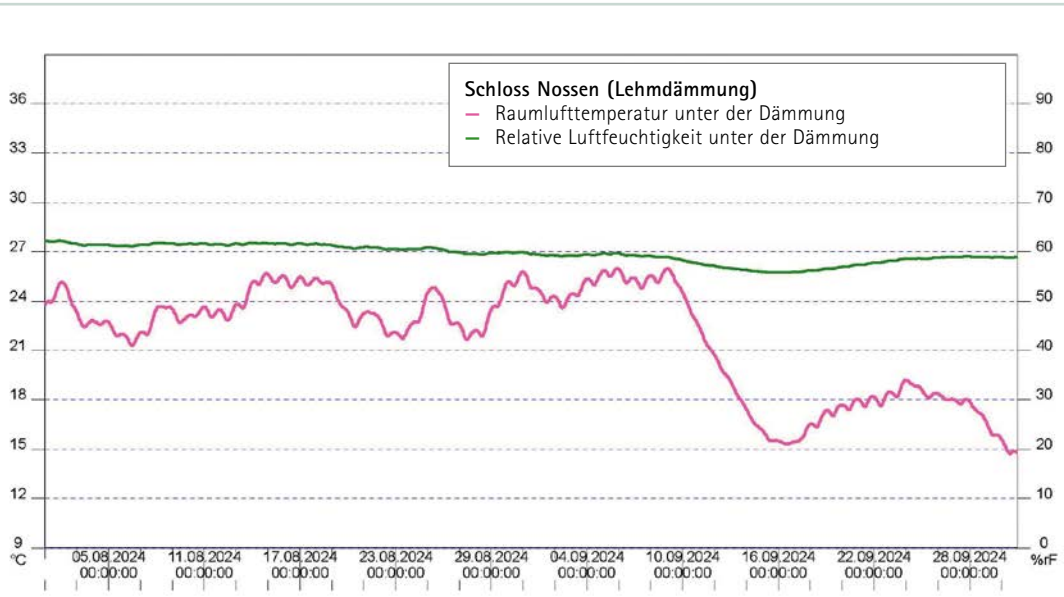
Nossen, Schloss, Klimaaufzeichnung unter der Holzfaserdämmung und im Dachraum



Nossen, Schloss, Klimaaufzeichnung an der Deckenunterseite, ungedämmte und gedämmte Bereiche im Vergleich



Nossen, Schloss, Klimaaufzeichnung unter der Holzfaserdämmung



Nossen, Schloss, Klimaaufzeichnung unter der Lehmdämmung

Bauklimatische Bewertung:

- Die tageszeitlichen Klimaschwankungen im Dachraum sind relativ ausgeglichen, was auf den aktuell recht offenen Zustand der Konstruktion zurückgeführt werden kann. Dachverkleidungen oder Unterspannbahnen fehlen, Entlüftungsöffnungen über den Fenstern sind permanent offen.
- Die Temperaturverläufe unterhalb der ungedämmten Decke sowie der Holzfaser- und Lehmdämmung stimmten jedoch weitgehend überein. Es ist kein eindeutiger thermischer Vorteil der Lehmdämmung erkennbar.
- Der Verlauf der relativen Luftfeuchtigkeit unterhalb der Lehmdämmung ist vergleichsweise gleichmäßig und das Feuchteverhalten tendenziell ausgeglichen.

Untersuchungsobjekt: Bockendorf, Kirche

Adresse:	Hauptstraße, hinter Nr. 29, 09661 Hainichen OT Bockendorf
Datierung:	1. H. 19. Jh. Anstelle eines mittelalterlichen Vorgängerbaues
Gebäudetypus:	Saalkirche mit geradem Chorabschluss, Westvorhalle mit Dachreiter
Heizung:	Bankheizung mit Bedarfsnutzung
Aktuelle Nutzung:	regelmäßig durch Kirchgemeinde

Dach

Dachtypus:	Walmdach
Dachdeckung:	Schiefer
Dachtragwerk:	Sparrendach mit liegendem Stuhl und Hängewerk
Dielung:	flächig
Belüftungsfaktoren:	keine Trauflüftung, Schalung bis zur Mauerkrone, Dachfenster mit permanent offenen Belüftungsschlitzen versehen
Sanierung:	2008 Dachneudeckung und Tragwerkssanierung

Decke

Deckenkonstruktion:	flache Putzdecke mit kleiner Voute (Brettschalung, Schilfrohr, mehrlagiger Putzaufbau), im Verlauf der Emporenbrüstungen bzw. -säulenstellungen durchlaufende Unterzüge
Deckengestaltung:	polychrome Bemalung auf glatter Putzfläche
Erhaltungszustand:	vor letzter Konservierung ausgeprägtes Rissbild, u.a. entlang der Deckenbalken und Schalungsstöße. Ursache waren konstruktions- und temperaturbedingte Spannungen sowie Bewegungen in der Deckenebene bzw. im Tragwerk. Reparaturen gab es bereits in den 1920er-Jahren, Fotovergleiche aus den Befunduntersuchungen von 2009 mit 2020 belegen Schadensprogression
Maßnahmen:	2023 statisch-konstruktive Sicherungsmaßnahmen an Deckenkonstruktion sowie Konservierung / Restaurierung der Putz- / Farbfassung
Dämmung:	seit 2023 Zellulose-Einblasdämmung

Bockendorf, Kirche, Außenansicht

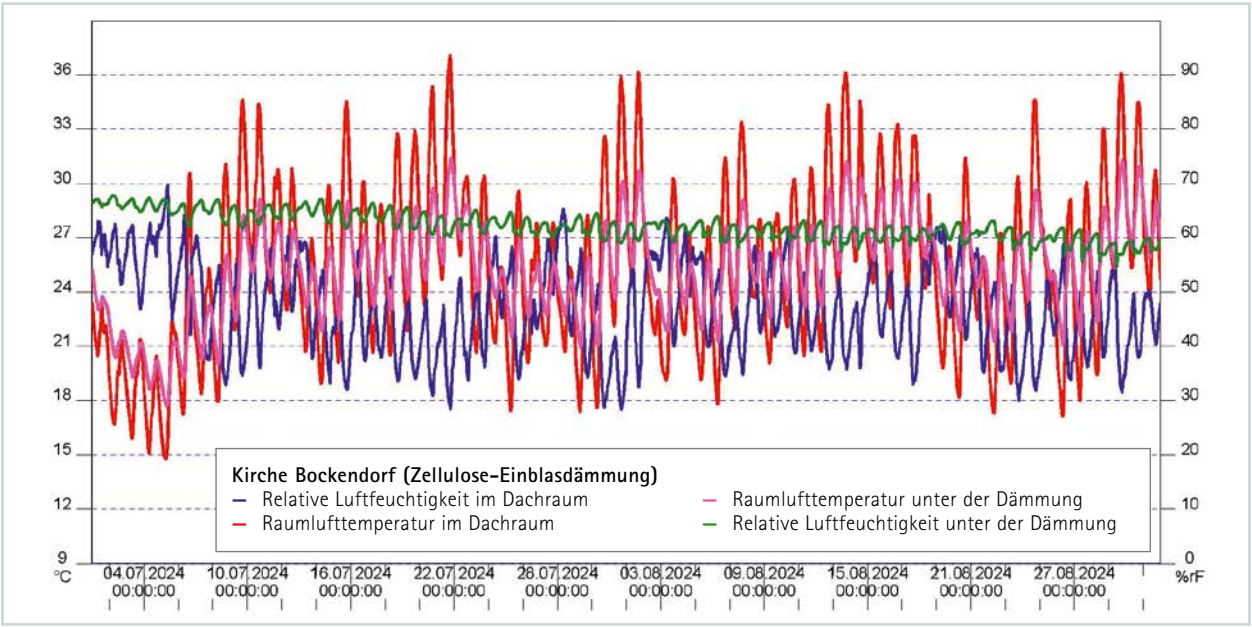
Bockendorf, Kirche, Innenansicht

Bockendorf, Kirche, Deckenuntersicht nach Restaurierung

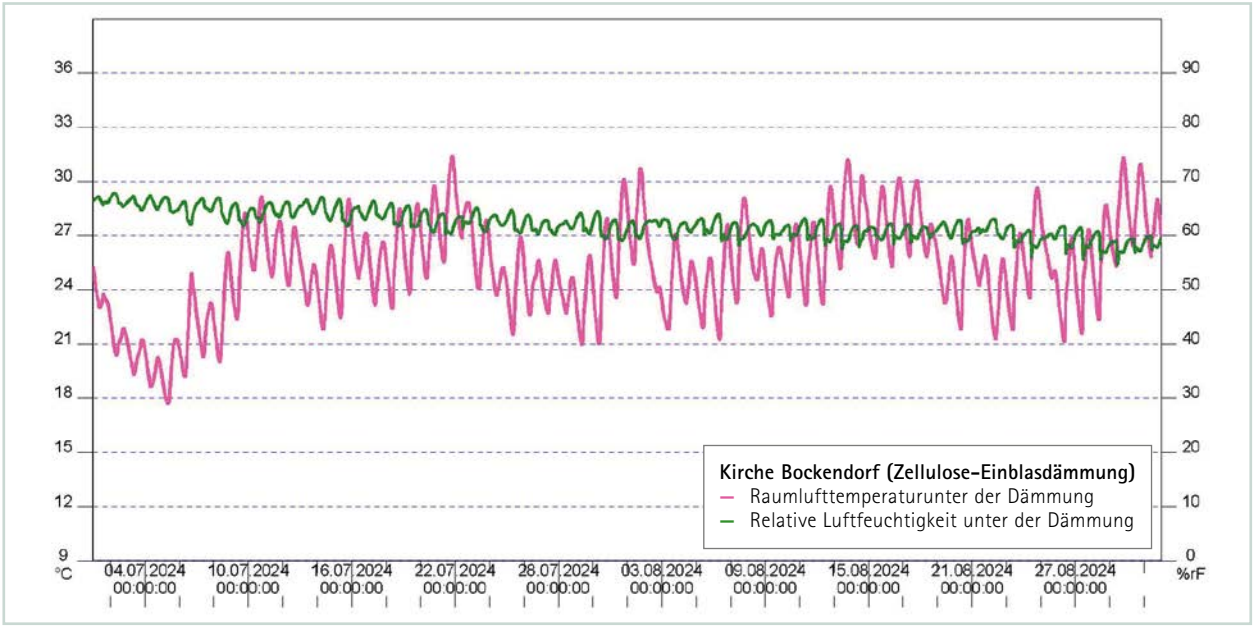
Gedielter Dachboden, Schalung, gedämmte Fensterkuppeln

Mit Einblasdämmung verschlossener Traufbereich

Schieferdachdeckung



Bockendorf, Kirche, Klimaaufzeichnung im Dachraum und unter der Dämmung



Bockendorf, Kirche, Klimaaufzeichnung unter der Dämmung

Bauklimatische Bewertung:

- Es bestanden ausgeprägte tageszeitliche Temperaturschwankungen im Dachraum (Temperaturspitzen > 35°C Mitte August → starke sommerliche Aufheizung) mit einer daraus folgenden starken Austrocknung bei sehr niedriger relativer Luftfeuchtigkeit (ca. 20–30%). Dies weist auf unzureichende Wärmeabfuhr durch vorhandene Dachraumbelüftung hin.
- Unterhalb der Dämmung waren die Klimaschwankungen deutlich geringer, insbesondere mit einer deutlichen Stabilisierung der relativen Luftfeuchtigkeit.

Empfehlungen

Die bestehenden Entlüftungspunkte sind nicht ausreichend, eine Wiederherstellung der Traufentlüftung zur Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum wird empfohlen.

Untersuchungsobjekt: Colditz, Schloss, Saalhaus, Festsaal

Adresse:	Schlossgasse 1, 04689 Colditz
Datierung:	1876 Umbau Saalhaus in/auf älterer, z.T. mittelalterlicher Substanz
Gebäudetypus:	mehrgeschossiger verputzter Massivbau
Heizung:	keine, seltene Bedarfsheizung mit mobiler Heizung
Aktuelle Nutzung:	seltene Nutzung

Dach

Dachtypus:	Satteldach
Dachdeckung:	Ziegel (rote Biberschwanzdeckung)
Dachtragwerk:	Sparrendach, Saalkuppel konstruktiv in Dachebene integriert
Dielung:	flächig
Belüftungsfaktoren:	Trauflüftung, relativ dichte Dachdeckung mit Unterspannbahn, Firstentlüftung über unvermörtelte Firststeine, freier Boden
Sanierungen:	1993 Sanierung des Dachstuhls und der Dachdeckung nach Wasserschäden

Decke

Deckenkonstruktion:	gekuppelte Putzdecke/abgeflachtes Holztonnengewölbe mit Rohrputz
Deckengestaltung:	polychrome Bemalung mit illusionistischer Darstellung einer Stuckdecke (1870er-Jahre)
Erhaltungszustand:	Rissbildung und Ablösungen von bemaltem Putz im halbrunden südlichen Raumabschluss, andauernde Schadensprogression
Letzte Konservierung:	2023 Notsicherung von Putz und Malerei, ab 2026 Fortsetzung der Sicherungsarbeiten im Zuge eines studentischen Projektes
Dämmung:	teilweise lose Mineralwolle, direkt auf Kuppeloberseite aufgelegt

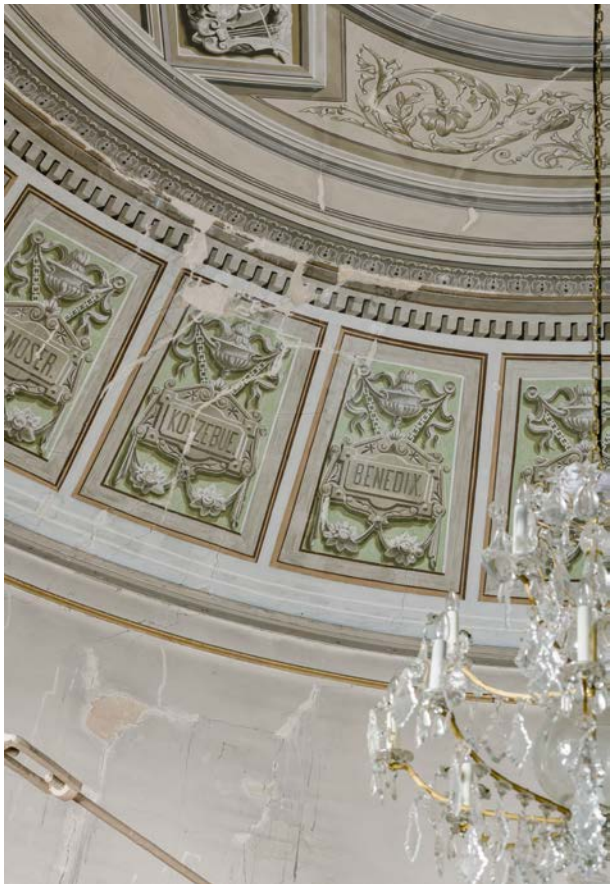
Colditz, Schloss, Außenansicht

Colditz, Schloss, Innenansicht

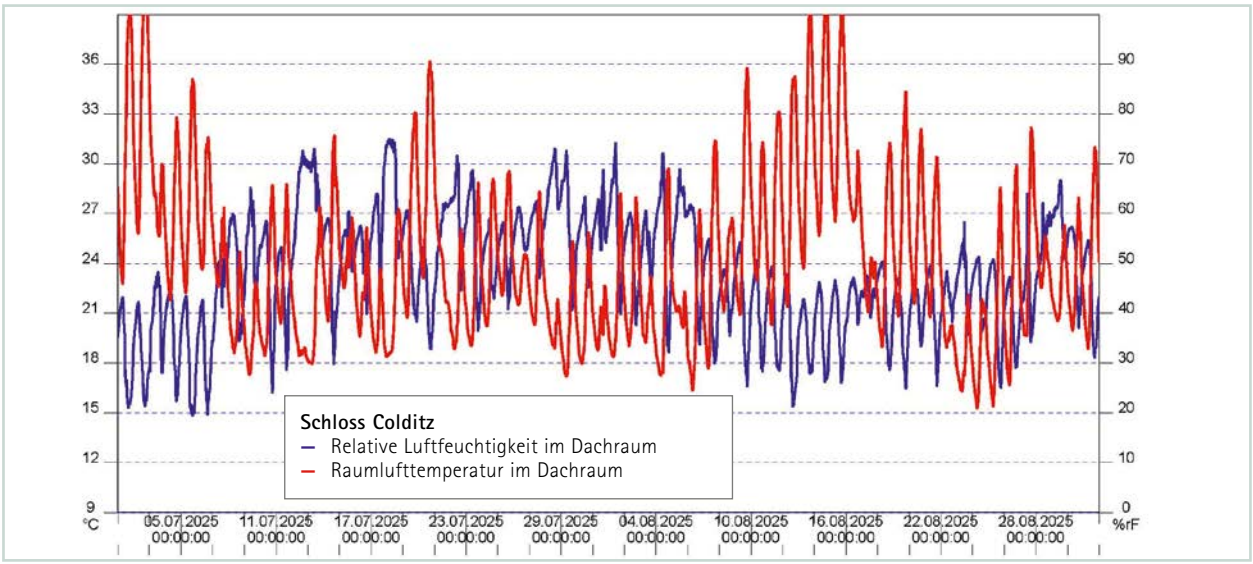
Colditz, Schloss, Deckenuntersicht

Dachboden mit Dielung und Holztonnengewölbe

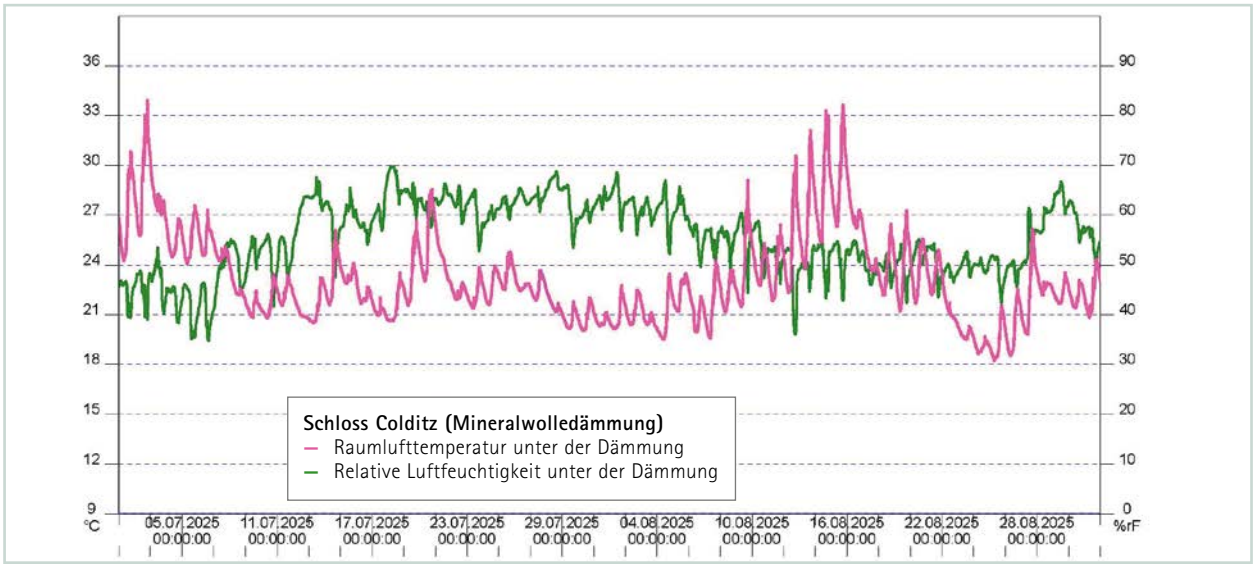
Unterspannbahn, teilweise schadhaft, schmale Trauflüftung



Colditz, Schloss, Risse mit Kittmassen im Deckenputz



Colditz, Schloss, Saalhaus, Klimaaufzeichnung im Dachraum



Colditz, Schloss, Saalhaus, Klimaaufzeichnung unter der Mineralwolledämmung

Bauklimatische Bewertung:

- Die ausgeprägten tageszeitlichen Temperaturschwankungen im Dachraum mit Temperaturspitzen > 35°C (Mitte August) führten zu einer starken sommerlichen Aufheizung. Ursache war insbesondere eine unzureichende Wärmeabfuhr mittels Dachraumbelüftung.
- Aus der temporär starken Erwärmung resultierte ein zeitweise sehr trockenes Dachraumklima mit niedriger relativer Luftfeuchtigkeit (ca. 20 – 30 %).
- Unterhalb der Dämmung/der Deckenebene waren die Temperatur- und Feuchteschwankungen aufgrund einer leicht dämmenden/puffernden Wirkung des Deckenaufbaus geringer, jedoch mit deutlicher Reaktion auf den Klimaverlauf im Dachraum.

Empfehlungen

Eine deutliche Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum kann nur durch Einbau einer regulären Dachraumentlüftung (Öffnungen im Traufbereich sowie firstnahen Bereich) erzielt werden.

Untersuchungsobjekt: Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Rittersaal

Adresse:	Schloßplatz 5a, 08371 Glauchau
Datierung:	Ostflügel: um 1200 (älteste bauliche Substanz), diverse prägende Bauphasen: Ende 15. Jh., 16. und 19. Jh.
Gebäudetypus:	mehrgeschossiger Massivbau, Decken z.T. als Holzbalkendecken, z.T. gewölbt
Heizung:	Konvektionsheizung (seit 1980er-Jahre)
Nutzung:	museal sowie temporär für Veranstaltungen

Dach

Dachtypus:	Satteldach
Dachdeckung/-farbe:	Ziegel (rote Biberschwanzdeckung)
Dachtragwerk:	Sparrendach mit sekundärem Sprengwerk und Hängesäulen
Dielung:	mittlerer Bereich flächig bzw. Laufgänge
Belüftungsfaktoren:	keine Trauflüftung, relativ dichte Dachdeckung
Sanierung:	diverse ältere Instandsetzungsmaßnahmen (u.a. Einbau Spreng-/Hängewerk sowie Eisenträger)

Decke

Deckenkonstruktion:	stark profilierte spätgotische Balkendecke (doppelte Balkenlage, Schiffskehlprofile), vermutlich über mehrere Felder laufende profilierte Deckenbretter als Decker/Kriecher.
Deckengestaltung:	lasierender brauner Überzug
Datierung:	1483/84
Sanierung:	1970er- und 1990er-Jahre
Erhaltungszustand:	partiell Trocknungsrisse, Bretter vereinzelt ergänzt
Letzte Konservierung:	unbekannt
Dämmung:	bauzeitlicher Kalk-Ziegelsplitt-Estrich (vermutlich auch zur Fixierung der aufliegenden Deckenbretter), Dicke: ca. 40 mm

Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Außenansicht

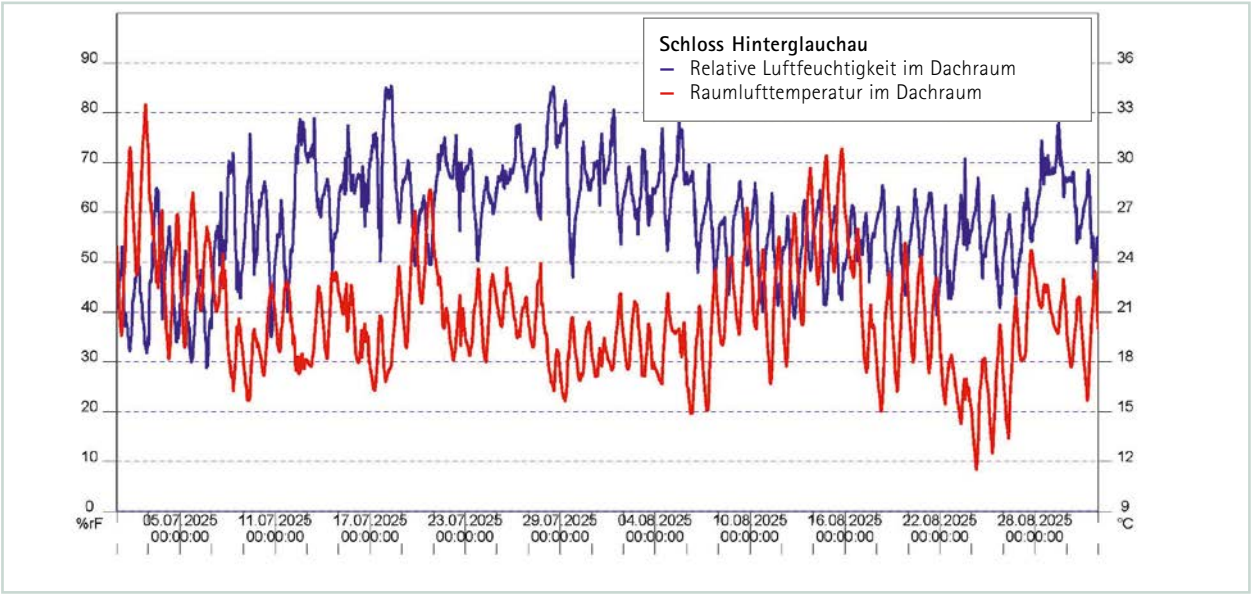
Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Rittersaal, Innenansicht, Deckenuntersicht

Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Rittersaal, Innenansicht

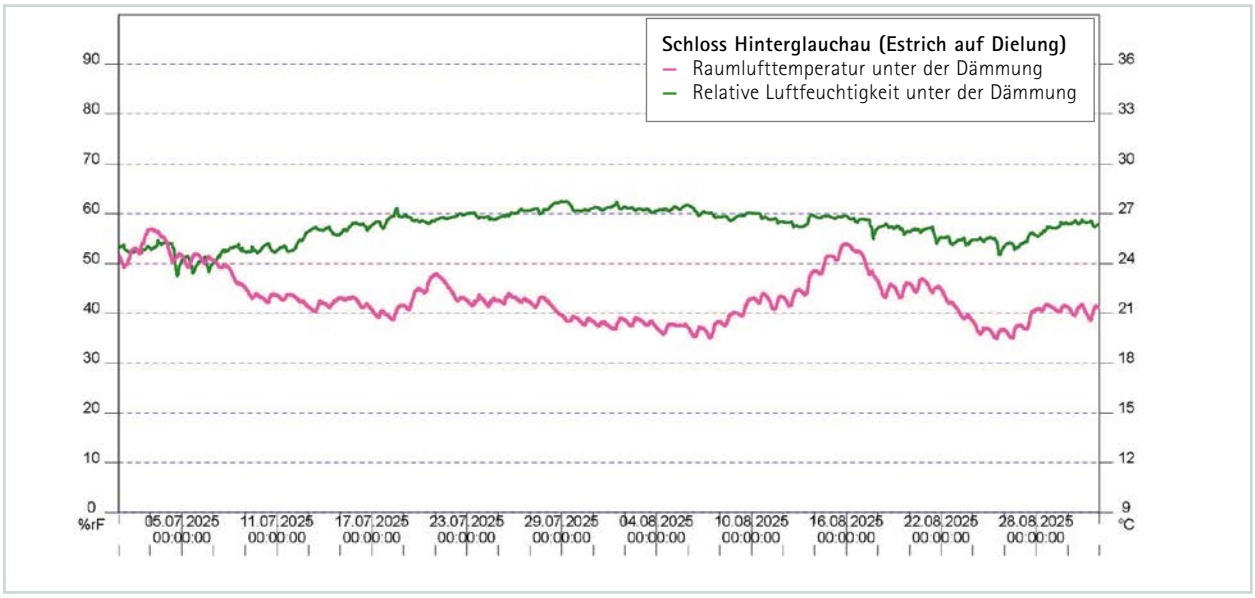
Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Dachboden, bereichsweise gedielt

Fehlende Trauflüftung, vermörtelte Ziegeldeckung auf Lattung

Bauzeitlicher Kalk-/Ziegelsplittestrich auf Deckenoberseite



Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Rittersaal, Klimaaufzeichnung im Dachraum



Glauchau, Schloss Hinterglauchau, Rittersaal, Klimaaufzeichnung unter der Dämmung

Bauklimatische Bewertung:

- Das Dachraumklima ist vergleichbar mit dem relativ stabilen Referenzklima des Dachbereiches der Kirche Schwarzenberg.
- Unterhalb der Dämmung treten nur geringe Temperatur- und Feuchteschwankungen auf, was auf eine sehr gute dämmende/puffernde Wirkung des Deckenaufbaus mit dem auf der Dielung liegenden bauzeitlichen Kalk-/Ziegelsplittestrich zurückzuführen ist.

Empfehlungen

Eine weitere Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum kann durch eine Verbesserung der Dachraumentlüftung (Öffnungen im Traufbereich sowie firstnahen Bereich) erzielt werden.

Modifiziertes Untersuchungsobjekt: Kiebitz, Kirche

Adresse:	An der kleinen Jahna, 04749 Kiebitz
Datierung:	1673/74 Erbauung
Gebäudetypus:	verputzter Massivbau, Saalkirche mit eingezogenem Chor und polygonalem Ostabschluss sowie Dachreiter
Heizung:	elektrische Bankheizung, Bedarfsnutzung
Nutzung:	temporär durch Kirchgemeinde

Dach

Dachtypus:	steiles Walmdach
Dachdeckung:	vermörtelte Ziegeldeckung auf Lattung (rote Biberschwanzdeckung)
Dachtragwerk:	Sparrendach mit liegendem Stuhl und integriertem Hängewerk aus zwei Hängehölzern
Dielung:	keine
Belüftungsfaktoren:	Trauflüftung, freier Boden, fehlende Firstentlüftung
Sanierung:	1987 Dachneudeckung, 2013 Tragwerkssanierung und Teilerneuerung der Dachdeckung

Decke

Deckenkonstruktion:	Aufgrund großer Spannweite (12 m) aufwendige Konstruktion: doppelt gelegte Deckenbalken, Felderdecke mit zwei durch Hängewerk gehaltenen Längsunterzügen. Jedes der insgesamt 147 Bildfelder erstreckt sich in der Breite über drei Deckenbretter, die stumpf miteinander verleimt sind. Die Kassettierung erfolgt durch aufgesetzte Profilleisten.
Deckengestaltung:	polychrome Malerei mit Szenen aus dem Alten und Neuen Testament (Bilderbibel)
Erhaltungszustand:	leichte Durchbiegung, Bretter mit vereinzelter Rissbildung und Verformung; partiell Malschichtablösungen bzw. Malschichtverlust
Letzte Konservierung:	nicht bekannt
Dämmung:	keine (nur Rieselschutzvlies), in der Projektlaufzeit Teildämmung im Orgelbereich mit Holzfaser

Kiebitz, Kirche, Außenansicht

Kiebitz, Kirche, Innenansicht

Kiebitz, Kirche, Deckenfeld mit offenen Fugen, Verformungen und Malschichtverlusten

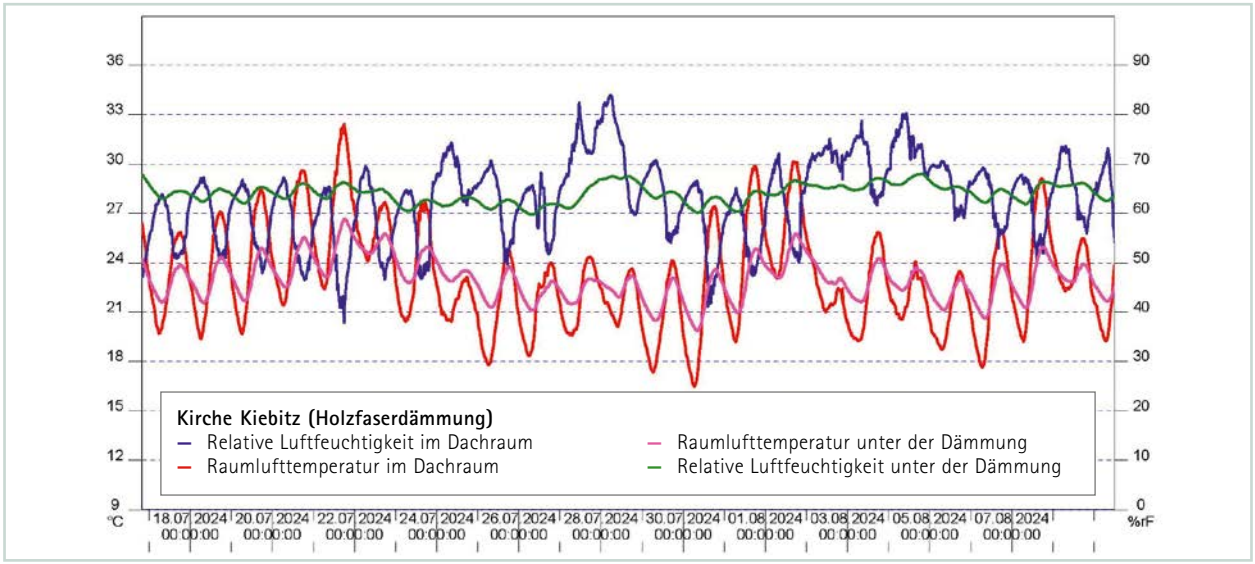
Dachboden, doppelte Balkenlage, keine Dielung

Rieselschutzvlies auf der Deckenoberseite

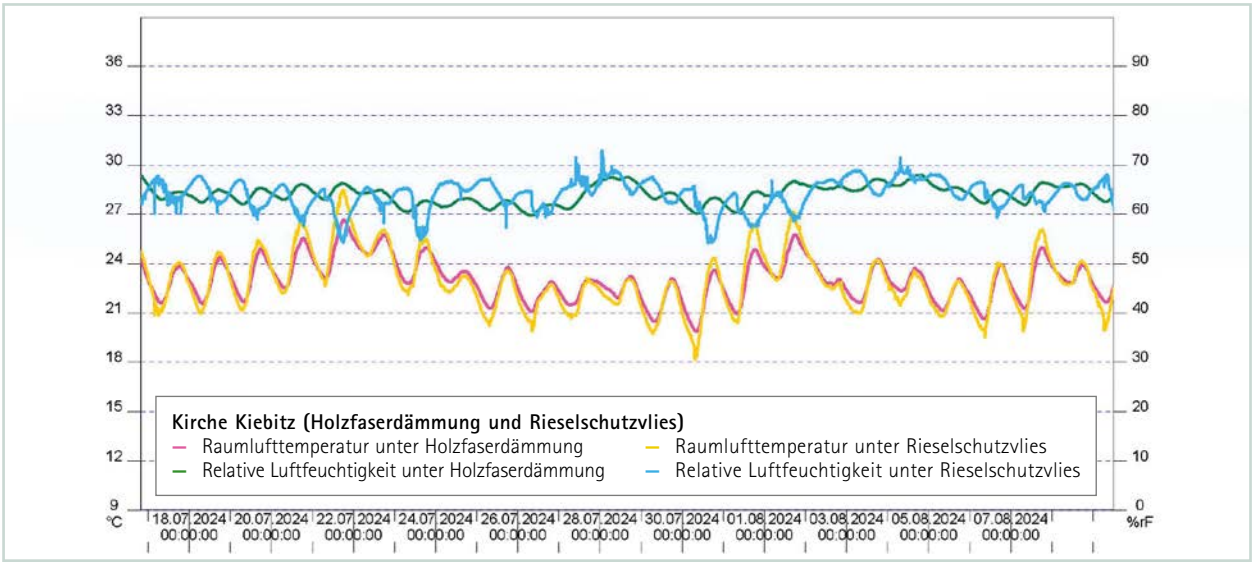
Links Rieselschutzvlies, rechts Holzweichfaserdämmung

Detail Hängewerk, Trauflüftung, vermörtelte Ziegeldeckung auf Lattung

Deckenunterseite, laufende Klimaaufzeichnung mit jeweils einem Sensor für die Bereiche unter der Dämmung und dem Rieselschutzvlies



Kiebitz, Kirche, Klimaaufzeichnung im Dachraum und unter der Holzfaserdämmung



Kiebitz, Kirche, Klimaaufzeichnung unter dem Rieselschutzvlies und der Holzfaserdämmung

Bauklimatische Bewertung:

- Das Dachraumklima ist vergleichbar mit dem relativ stabilen Referenzklima des Dachbereiches der Kirche Schwarzenberg. Die relative Luftfeuchtigkeit im Kirchenraum liegt allerdings durchgehend auf hohem Niveau.
- Sowohl unter dem Vlies als auch unter der Dämmung sind geringere Temperatur- und Feuchteschwankungen festzustellen, was auf die leicht dämmende/puffernde Wirkung des Deckenaufbaus zurückzuführen ist. Im direkten Vergleich zeigt das Vlies an der Deckenunterseite durch schnelleren Amplitudenwechsel eine stärker erkennbare Reaktion auf Klimaveränderungen im Dachraum.

Empfehlungen

Eine weitere Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum kann durch eine Verbesserung der Dachraumentlüftung (Öffnungen im Traufbereich sowie firstnahen Bereich) erzielt werden. Aufgrund des Zustands der Malschicht auf der Deckenunterseite (Farbschicht partiell ablösungsgefährdet bzw. bereits abgelöst) sollte baldmöglichst eine Festigung erfolgen. Langfristig wird eine Dämmung der Deckenebene empfohlen.

Untersuchungsobjekt: Lawalde, Kirche

Adresse:	Dorfaue, Nr. 4 gegenüber, 02708 Lawalde
Datierung:	2. H. 18. Jh. unter Verwendung des Vorgängerbaus (17. Jh.)
Gebäudetypus:	barocke Saalkirche mit Dachreiter
Heizung:	Bankheizung in den ersten 4 Reihen
Nutzung:	temporär durch Kirchgemeinde

Dach

Dachtypus:	Walmdach
Dachdeckung:	Ziegel (rote Biberschwanzdeckung), vermörtelte Ziegeldeckung auf Lattung
Dachtragwerk:	Sparrendach mit Mittellängsverband (Hängewerk)
Dielung:	flächig
Belüftungsfaktoren:	fehlende Trauf-/Firstlüftung, freier Boden, relativ dichte Deckung
Sanierung:	Anfang 2000er-Jahre Dachneudeckung

Decke

Deckenkonstruktion:	Bretterdecke Die Bretter sind mit Nut/Feder verbunden und an die Deckenbalken genagelt
Deckengestaltung:	mehrschichtiger Fassungsaufbau, Sichtfassung: hellblauer Fond, umlaufendes Band und zentrale Rosetten
Erhaltungszustand:	Brettverformung mit Verwerfungen sowie Fugen- und Rissbildung, massive Fassungslockerungen
Letzte Konservierung:	2016 Fassungsfestigung
Dämmung:	keine (Rieselschutzvlies auf der Deckenoberseite aufliegend)

Lawalde, Kirche, Außenansicht

Lawalde, Kirche, Innenansicht

Fehlende Trauflüftung, vermörtelte Ziegeldeckung

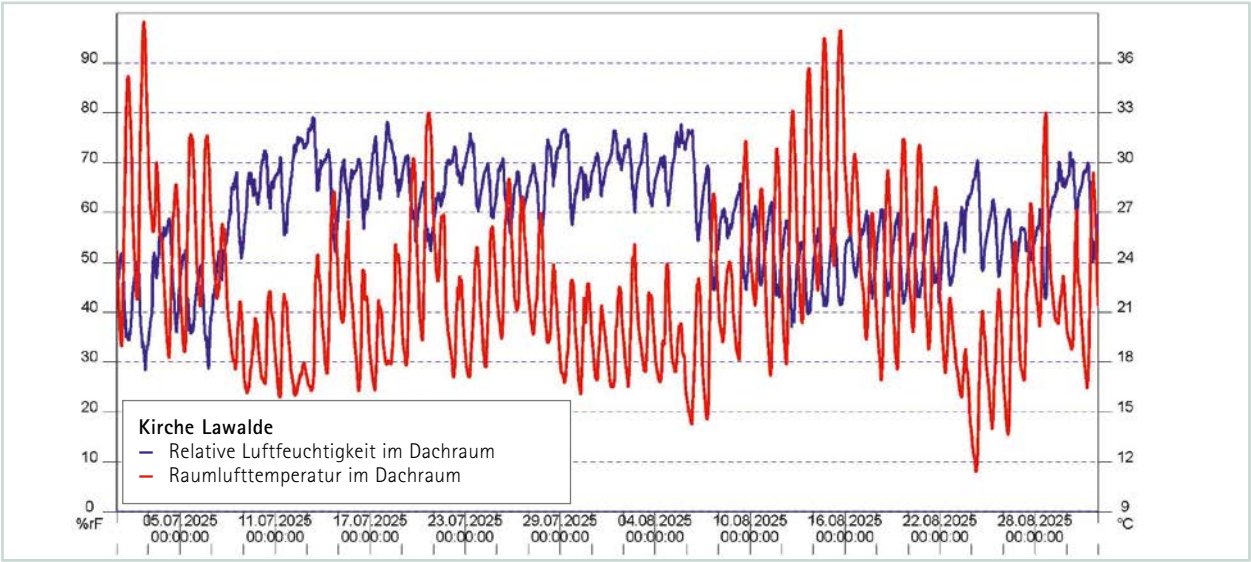
Dachboden, gedielt, Sparrendach mit Mittellängsverband und Überzug

Rieselschutzvlies auf der Deckenoberseite

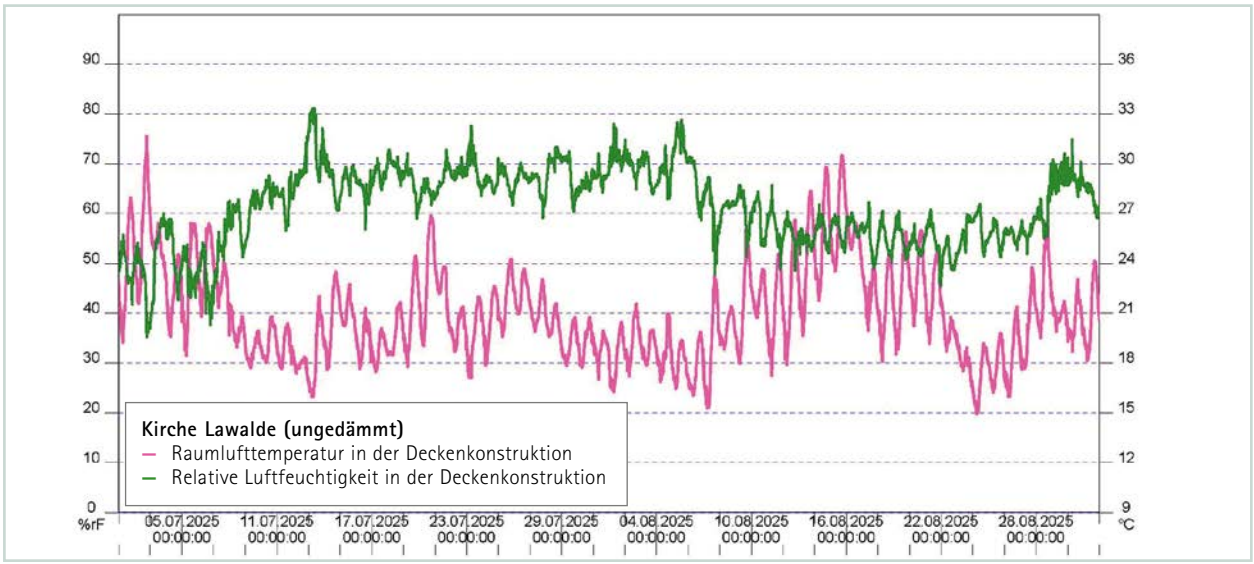
Brettverformung und Fugenbildung

Rissbildung in den genagelten Deckenbrettern

Fassungslockerungen und -ablösungen



Lawalde, Kirche, Klimaaufzeichnung im Dachraum



Lawalde, Kirche, Klimaaufzeichnung in der Deckenkonstruktion

Bauklimatische Bewertung:

- Festzustellen waren ausgeprägte tageszeitliche Temperaturschwankungen im Dachraum mit Temperaturspitzen > 39°C (Anfang Juli, Mitte August) mit der Folge einer starken sommerlichen Aufheizung und einem sehr trockenen Dachraumklima mit niedriger relativer Luftfeuchtigkeit (ca. < 30%). Ursache ist eine zu geringe Wärmeabfuhr trotz der vorhandenen Dachraumbelüftung (Lüfterziegel im Firstbereich).
- In der Deckenkonstruktion sind ausgeprägte und schnell wechselnde Temperatur- und Feuchteschwankungen festzustellen, die den Klimaveränderungen im Dachraum folgen.
  Das Vlies (Rieselschutz) führt zu keiner hinreichenden Dämpfung des Klimaverlaufes.

Empfehlungen

Eine weitere Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum kann durch eine Verbesserung der Dachraumentlüftung (Öffnungen im Traufbereich sowie firstnahen Bereich) erzielt werden. Aufgrund des Zustandes der Malschicht auf der Deckenunterseite (Farbschicht partielle ablösungsgefährdet bzw. bereits abgelöst) sollte baldmöglichst eine Festigung erfolgen. Langfristig wird eine Dämmung der Deckenebene empfohlen.

Untersuchungsobjekt: Leipzig, Gohliser Schlösschen, Oesersaal

Adresse:	Menckestraße 23, 04155 Leipzig
Datierung:	2. H. 18. Jh. Erbauung
Gebäudetypus:	dreiflügelige Guts- und Schlossanlage im Rokokostil (Massivbau), Hauptflügel zweigeschossig, Mansarddach, dreigeschossiger Mittelrisalit
Heizung:	Konvektionsheizung unter Fenstern
Nutzung:	intensive Veranstaltungsnutzung im Sommerhalbjahr, im Winterhalbjahr wenig geheizt

Dach

Dachtypus:	Mansarddach
Dachdeckung/-farbe:	Kupferdach, Ziegel (rote Biberschwanzdeckung), trockene Ziegeldeckung auf Lattung
Dachtragwerk:	Zweite Dachebene (Oberdach) als Sparrendach mit zweifach stehendem Stuhl
Dielung:	flächig
Belüftungsfaktoren:	fehlende Trauf-/ Firstlüftung, Trockendeckung ohne Schalung, Unterspannbahn, Gaubenfenster
Sanierung:	2. H. 20. Jh.: Ertüchtigung der Deckenbalken durch Einbau von Eisenträgern und Abhängung der Deckenbalken, 1990 – 1998 Sanierung

Decke

Deckenkonstruktion:	flache Putzdecke mit Voute, Deckenfläche geschalt, mit Draht/Nägeln befestigte Schilfrohrbewehrung, Putzaufbau
Deckengestaltung:	Deckengemälde »Triumph der Psyche« von Adam Friedrich Oeser (1717 – 1799), Ölmalerei auf Kalkputz
Datierung:	1779
Erhaltungszustand:	Rissbildung im Putz und partieller Verlust im halbrunden südlichen Raumabschluss
Letzte Konservierung:	2008 und 2016 nach neuen Putzablösungen
Dämmung:	Mineralwolle, im Balkenzwischenraum

Leipzig, Gohliser Schlösschen, Kupferdach auf Mittelrisalit

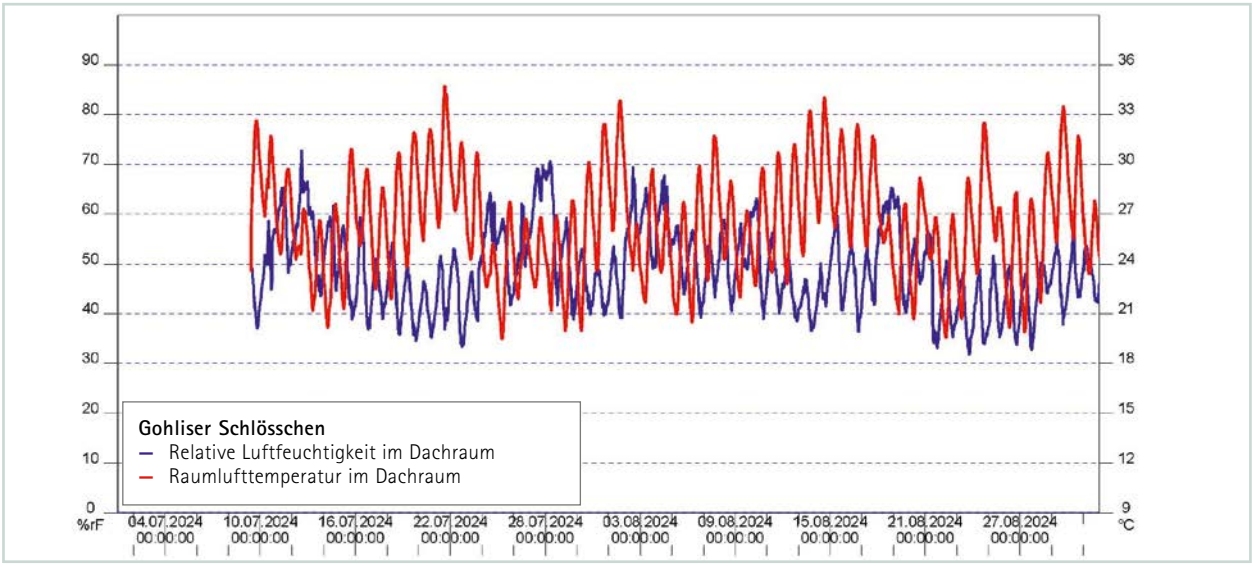
Leipzig, Gohliser Schlösschen, Oesersaal, Deckenuntersicht

Leipzig, Gohliser Schlösschen, Außenansicht

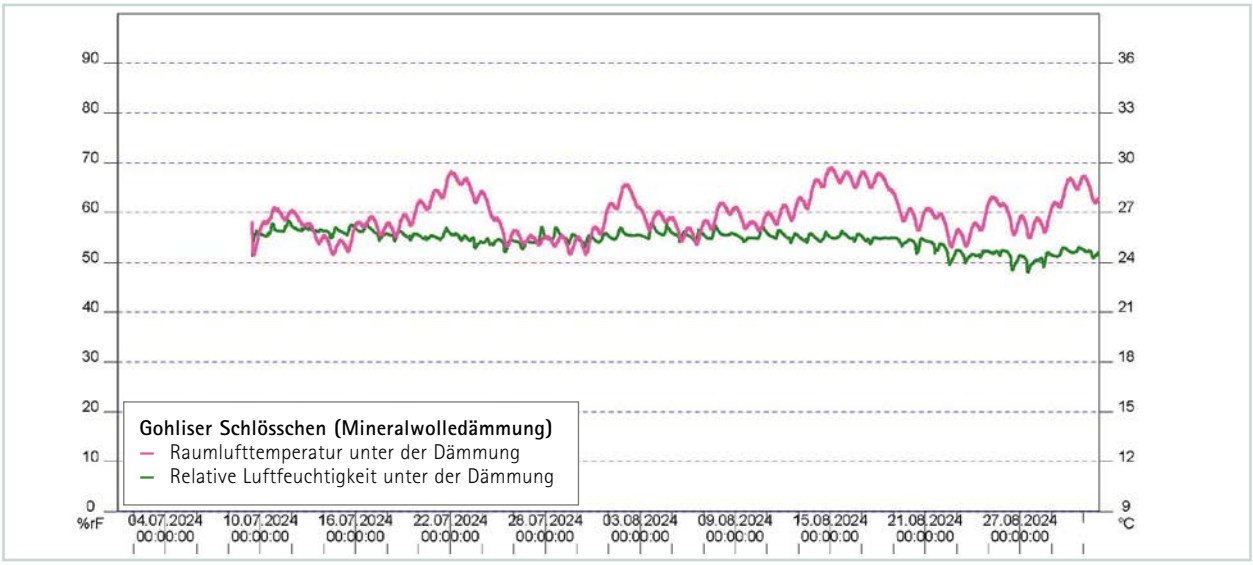
Leipzig, Gohliser Schlösschen, Oesersaal, Innenansicht

Keine Trauflüftung, Dämmebene bis an die Traufe, Schalung

Mineralwolle-Dämmung im Balkenzwischenraum



Gohliser Schlösschen, Klimaaufzeichnung im Dachraum



Gohliser Schlösschen, Klimaaufzeichnung unter der Mineralwolledämmung

Bauklimatische Bewertung:

- Das Dachraumklima ist vergleichbar mit dem relativ stabilen Referenzklima des Dachbereiches der Kirche Schwarzenberg. Dabei liegt die relative Luftfeuchtigkeit durchgehend auf hohem Niveau.
- Unter der Dämmung sind nur geringe Temperatur- und Feuchteschwankungen festzustellen, was auf eine gute dämmende/puffernde Wirkung des Deckenaufbaus schließen lässt.

Empfehlungen

Eine weitere Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum kann durch eine Verbesserung der Dachraumentlüftung (Öffnungen im Traufbereich sowie firstnahen Bereich) erzielt werden.

Modifiziertes Untersuchungsobjekt: Milkau, Kirche St. Martin

Adresse:	Kirchstraße 7, 09306 Erlau, OT Milkau
Baujahr:	1618
Gebäudetypus:	gestaffelter Baukörper, Kirchenschiff mit Dachreiter, eingezogener Chor, Anbauten
Heizung:	Infrarotheizung umlaufend am Emporengesims und unter Sitzbänken
Nutzung:	regelmäßige Nutzung durch Kirchgemeinde

Dach

Dachtypus:	Satteldach
Dachdeckung:	Schiefer
Dachtragwerk:	Chordach als Sparrendach mit liegendem Stuhl, Schiffsdach mit Mittelunterzug
Dielung:	als Laufgang
Belüftungsfaktoren:	teils Trauflüftung (nur entlang der Südfassade), Schalung, kleine Fenster
Sanierung:	2009 Restaurierung der Decke, 1960er- bis 1970er-Jahre umfassende Renovierung, letzte Innenraumsanierung 2023

Decke

Deckenkonstruktion:	flache Putzdecke, Anschlüsse an Wände und Unterzüge mit Vouten / Profilen, Deckenfläche geschalt, mit Draht / Nägeln befestigte Schilfrohrbewehrung, Putz- / Stuckaufbau; profilierte Deckenbalken und Unterseite der Dielung farbig gefasst mit frühbarocker Rankenmalerei (ehemalige Deckengestaltung)
Deckengestaltung:	geputzt / stuckiert, monochrom weiß
Erhaltungszustand:	um / vor 2017 großflächige Putzablösung, klimatisch bzw. konstruktionsbedingte Rissbildung, Schäden durch früheren Feuchteeinträge
Letzte Konservierung:	2023 Rissstabilisierung
Dämmung:	Chorbereich mit trittfesten Holzfaserplatten gedämmt, Kirchenschiff ungedämmt

Milkau, Kirche, Außenansicht

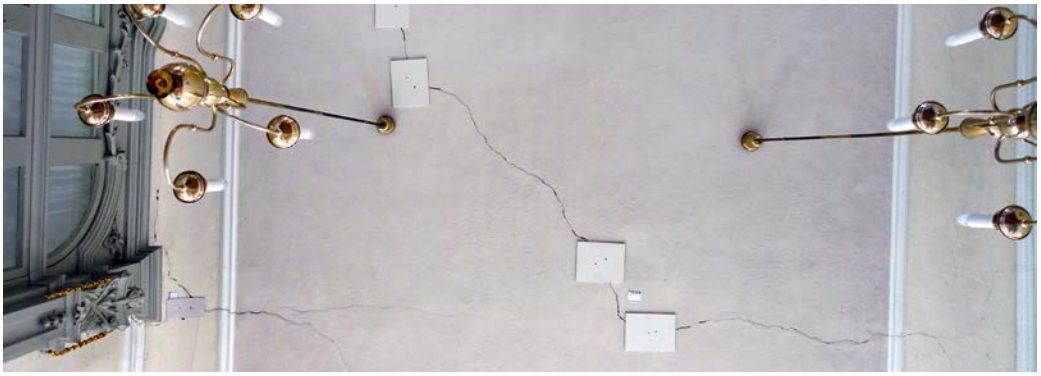
Milkau, Kirche, Innenansicht

Milkau, Kirche, Deckenuntersicht

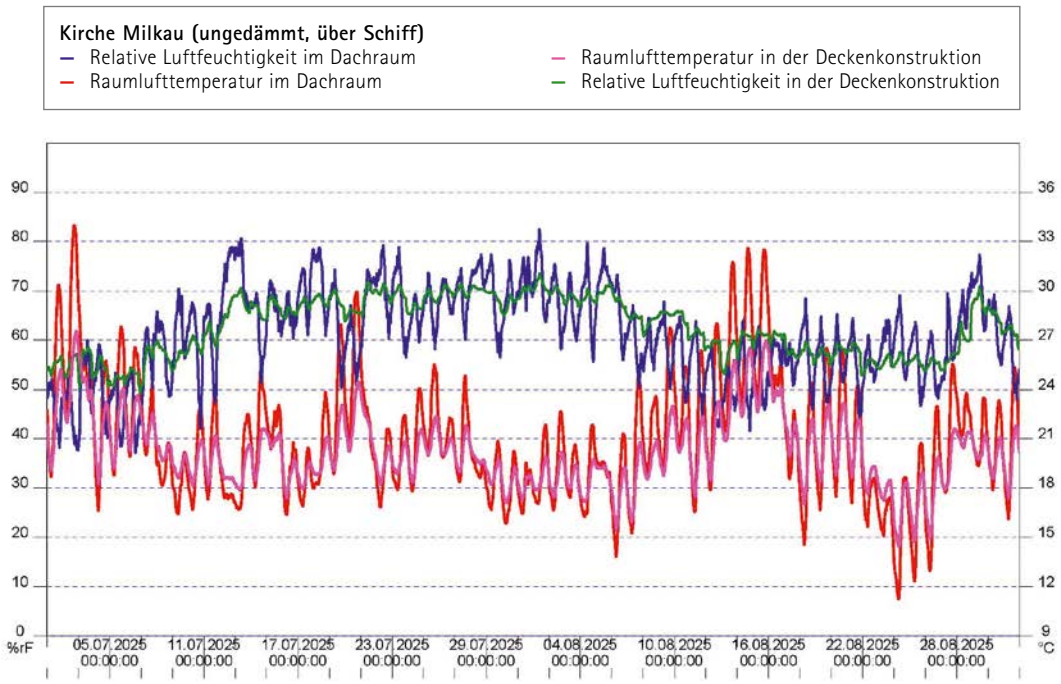
Dachboden im Chorbereich mit Laufgang und Dämmung, darüber Maschendraht

Leerer Fehlboden mit erhaltener frühbarocker Deckengestaltung

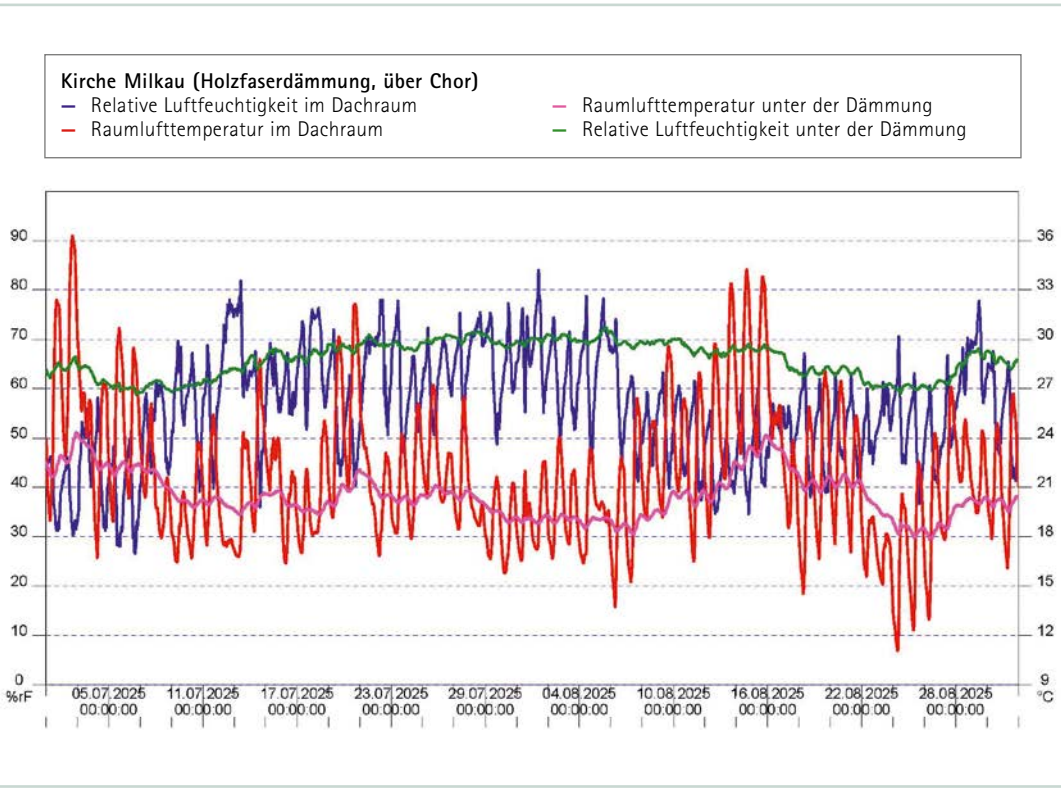
Dielung mit ehemals sichtbarer bemalter Unterseite



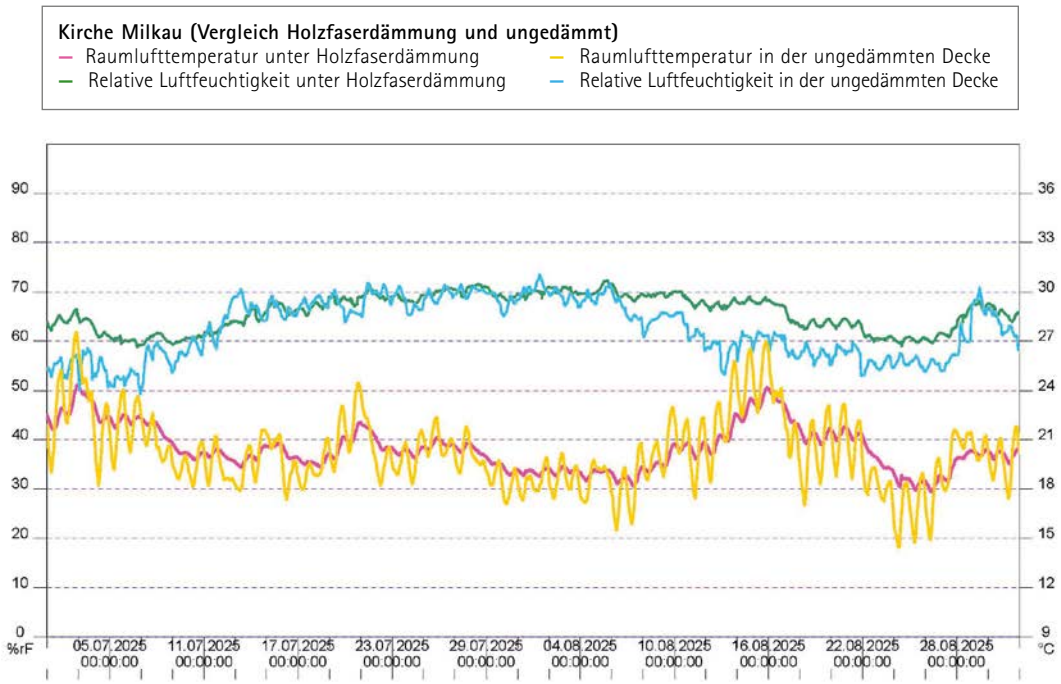
Rissbildung im Deckenputz, Notsicherung 2023



Milkau, Kirche, Bereich über dem Schiff, Klimaaufzeichnung im Dachraum und in der ungedämmten Deckenkonstruktion



Milkau, Kirche, Bereich über dem Chor, Klimaaufzeichnung im Dachraum und in der gedämmten Deckenkonstruktion



Milkau, Kirche, Klimaaufzeichnung in der ungedämmten Deckenkonstruktion und unter der Holzfaserdämmung

Bauklimatische Bewertung:

- Das Dachraumklima ist vergleichbar mit dem relativ stabilen Referenzklima des Dachbereiches der Kirche Schwarzenberg. Dabei liegt die relative Luftfeuchtigkeit durchgehend auf hohem Niveau.
- Im gedämmten Deckenbereich im Chor gibt es gegenüber dem Bereich über dem Kirchenschiff deutlich geringere Temperatur- und Feuchteschwankungen. Im direkten Vergleich zeigt der ungedämmte Deckenbereich über dem Schiff einen schnelleren Amplitudenwechsel sowie insbesondere im Temperaturverlauf ausgeprägtere Peaks.

Empfehlungen

Eine weitere Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum kann durch eine Verbesserung der Dachraumentlüftung (Öffnungen im Traufbereich sowie firstnahen Bereich) erzielt werden. Für den dauerhaften Erhalt der kürzlich instandgesetzten Putz- und Farbfassung im Bereich des Kirchenschiffs wird eine Dämmung der Deckenfläche mit Holzfaserplatten analog dem Chorbereich empfohlen.

Fußpunkt des Daches mit Trauflüftung, nur an der Südseite vorhanden

Fehlende Trauflüftung Nordseite

Untersuchungsobjekt: Penig, Stadtkirche Unser Lieben Frauen auf dem Berge

Adresse:	Friedensstraße 23, 09322 Penig
Datierung:	Erbauung um 1500, 1515 geweiht
Gebäudetypus:	stützenfreie Hallenkirche, verputzter Bruchsteinbau mit siebenseitigem Chorpolygon
Heizung:	Dampfheizung, Lüftungsgitter umlaufend um das Gestühl
Nutzung:	regelmäßige Nutzung durch Kirchgemeinde

Dach

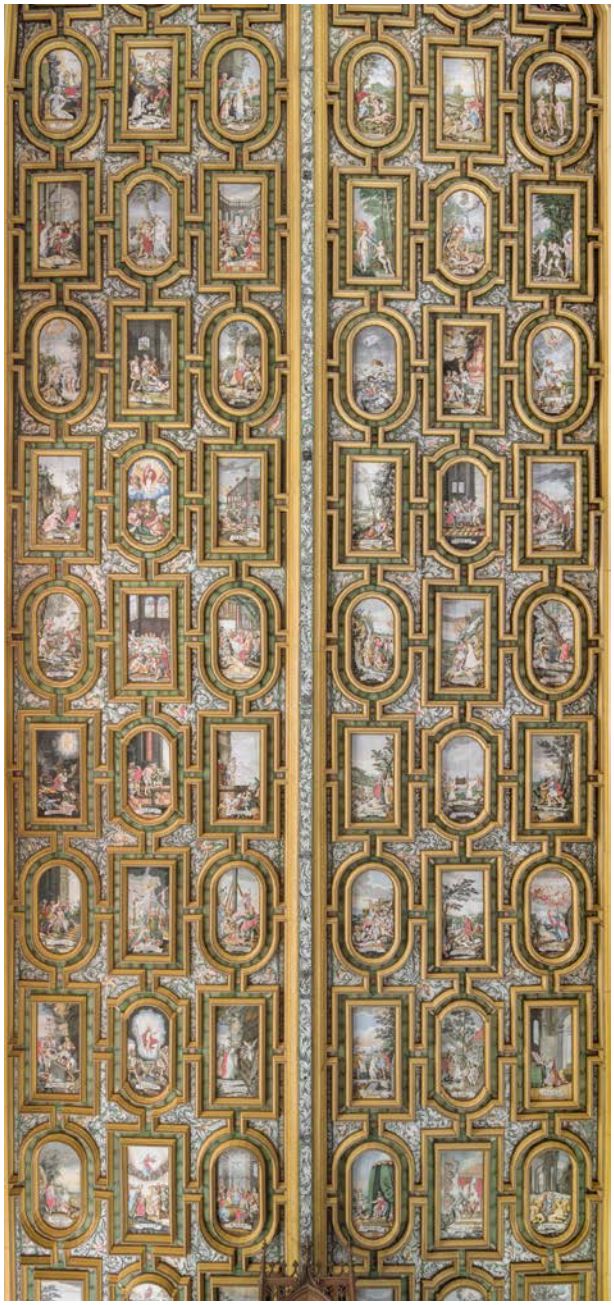
Dachtypus:	Satteldach
Dachdeckung:	Schiefer
Dachtragwerk:	Sparrendach mit liegendem Stuhl und Hängewerk
Dielung:	vollflächig
Belüftungsfaktoren:	Trauflüftung, Schalung mit Zwischenlage (Bitumenbahn), Lüfteröffnungen im firstnahen Bereich
Sanierung:	2008 Dacherneuerung

Decke

Deckenkonstruktion:	sehr differenziert ausgebildete Felderdecke, Rahmensystem aus gezapften profilierten Rahmenhölzern mit eingelegten Füllungen (Tafeln aus jeweils drei stumpf gestoßenen / verleimten Einzelbrettern), Rahmensystem ist an Deckenbalken befestigt und wird vom abgehangenen Mittelunterzug unterstützt
Deckengestaltung:	polychrome Malerei (70 Bildtafeln mit biblischen Szenen) und ornamentale Gestaltung der rahmenden Bereiche
Künstler:	Constantin Seitz d. Ä.
Datierung:	1688
Erhaltungszustand:	teilweise offene Brettfugen bzw. -risse, geringe Fassungsschäden / -verluste
Letzte Konservierung:	2013
Dämmung:	Lehmschlag auf Dielung, im Fehlboden Reste einer historischen Schüttdämmung

Penig, Stadtkirche, Außenansicht

Penig, Stadtkirche, Innenansicht

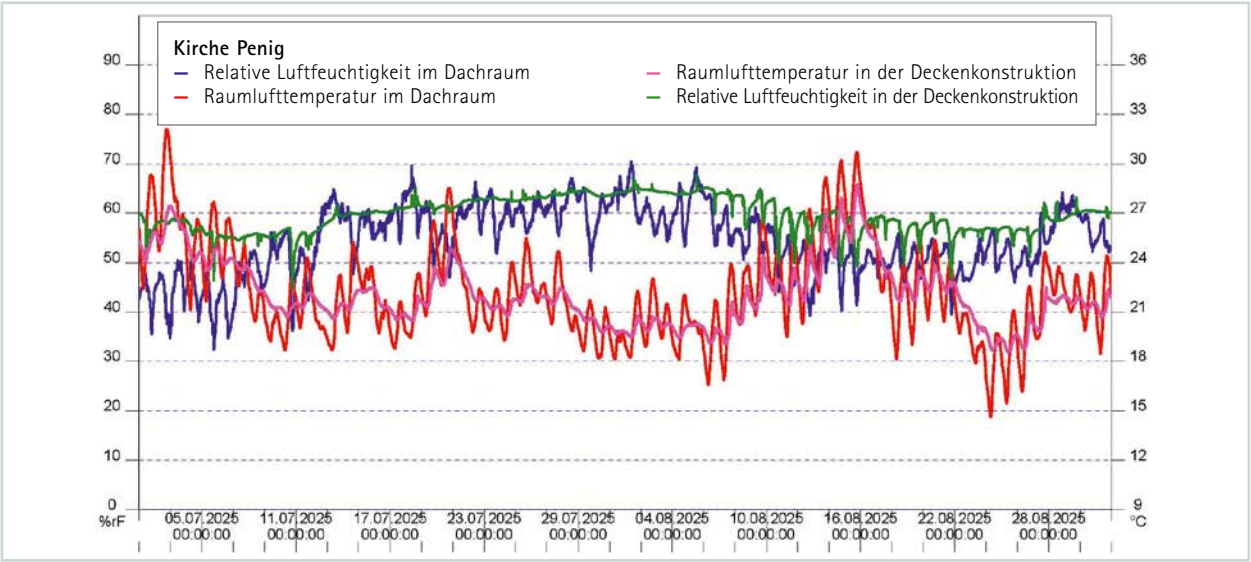


Penig, Stadtkirche, Deckenuntersicht

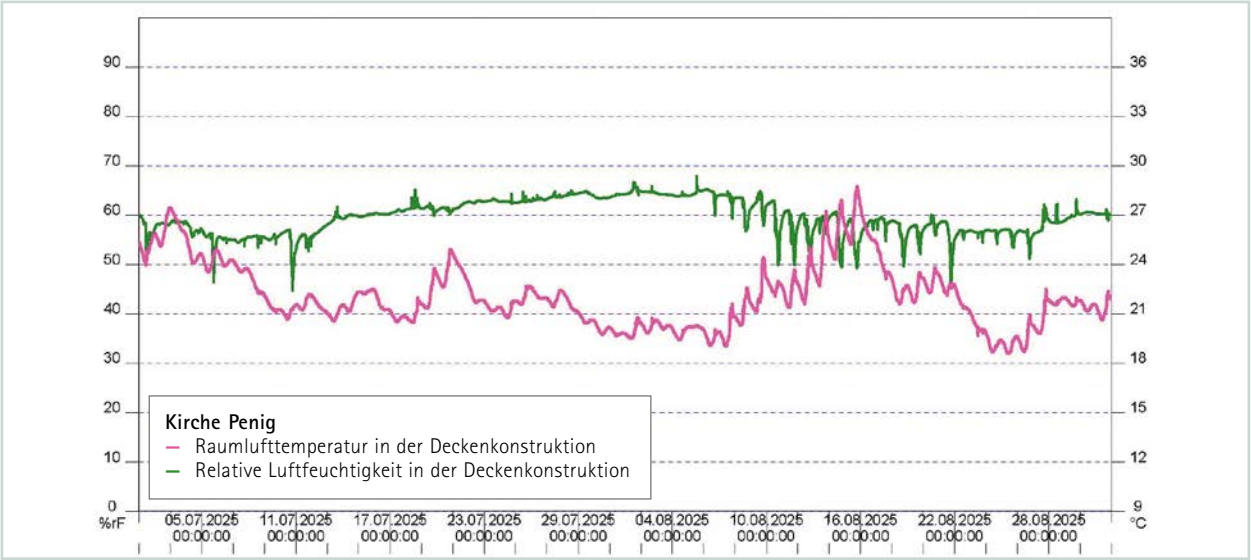
Bildfeld mit offenen Fugen bzw. Rissen

Dachfuß mit schmaler Trauflüftung

Bauzeitlicher Lehmschlag auf Dielung



Penig, Stadtkirche, Klimaaufzeichnung im Dachraum und in der Deckenkonstruktion



Penig, Stadtkirche, Klimaaufzeichnung in der Deckenkonstruktion

Bauklimatische Bewertung:

- Das Dachraumklima ist vergleichbar mit dem relativ stabilen Referenzklima des Dachbereiches der Kirche Schwarzenberg. Dies ist u.a. auf eine gut funktionierende Dachentlüftung zurückzuführen.
- Unterhalb des Deckenaufbaus sind vor allem aufgrund des flächig auf der Dielung liegenden Lehmschlages relativ geringe Temperatur- und Feuchteschwankungen zu verzeichnen. Der Werteverlauf folgt dem des Dachraums mit stark verminderten Amplituden.

Empfehlungen

Die Herstellung einer regulären Traufentlüftung könnte zu einer weiteren Reduzierung von Temperaturspitzen im Dachraum beitragen.

Untersuchungsobjekt: Schwarzenberg, Stadtkirche St. Georg

Adresse:	Obere Schloßstraße 34, Schwarzenberg
Datierung:	2. H. 17. Jh.
Gebäudetypus:	Saalkirche mit polygonalem Ostabschluss und Westturm
Heizung:	Bankheizung
Nutzung:	regelmäßige Nutzung durch Kirchgemeinde

Dach

Dachtypus:	Satteldach mit Vollwalm nach Osten
Dachdeckung:	Schiefer
Dachtragwerk:	Sparrendach mit Mittellängsverband auf Überzug und Hängewerk
Dielung:	flächig
Belüftungsfaktoren:	hohe umlaufende Trauflüftung, flächige Schalung, mehrere Dachfenster und Gauben
Sanierung:	1993 Instandsetzung des Daches (u. a. Instandsetzung von Auflagerbereichen und Fußpunkten, neue Dachdeckung mit Naturschiefer)

Decke

Deckenkonstruktion:	flache Bretterdecke, reich geschmückt mit aufgenageltem, hölzernem Schnitz- und Profilwerk, in Deckenebene originaler Fehlboden mit überfälzten Einschubbrettern
Deckengestaltung:	weiß gefasste Ornamentik, zentral ein von starkem Profil gerahmter längsrechteckiger Spiegel mit Polygonausformung der Schmalseiten, in Spiegelbinnenfläche freischwebende Engelsfiguren mit Spruchbändern und illusionistischer Wolkenmalerei, zentral von gemalten Engelsköpfen umgebene Gloriole
Datierung:	1668
Erhaltungszustand:	Bretter z. T. gerissen und verformt; (inaktiver) Anobienbefall, Fassung geringfügig gelockert
Letzte Konservierung:	1963 – 1970 Wiederherstellung der barocken Raumfassung
Dämmung:	keine

Schwarzenberg, Kirche, Außenansicht

Schwarzenberg, Kirche, Innenansicht

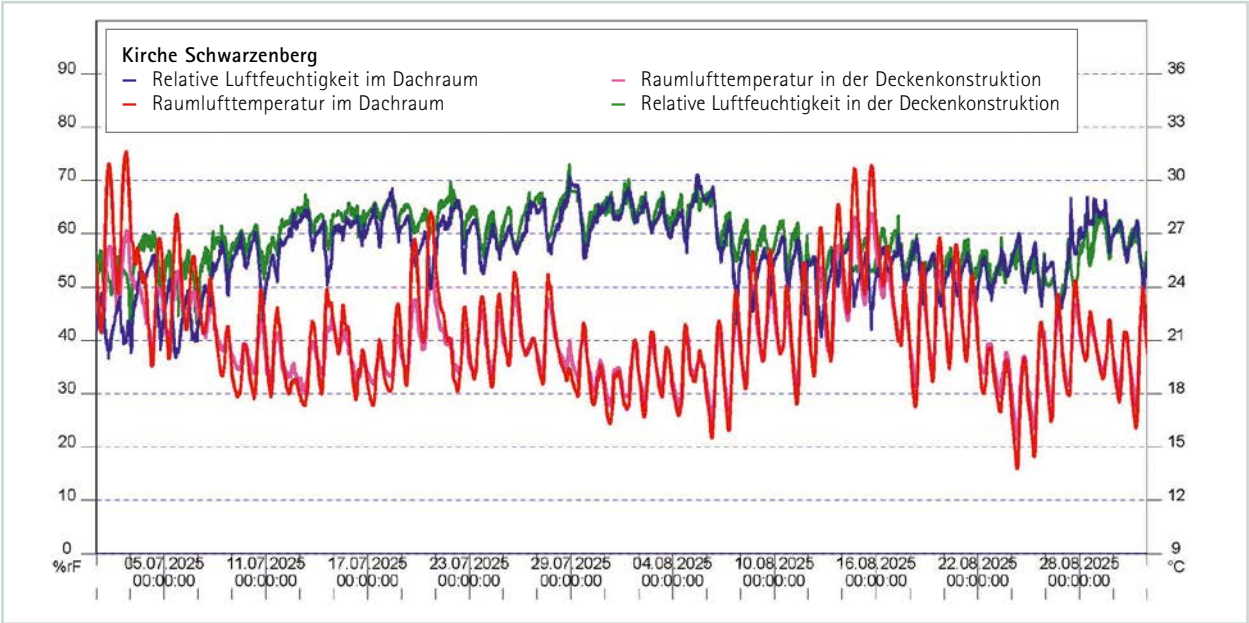
Weitläufiger Dachboden mit historischer Dielung, umlaufende Trauflüftung mit Lüftungsgittern und Schalung unter der Schieferdeckung

Schieferdeckung ohne Lüfterziegel, Schiebefenster mit Bedarfsöffnung

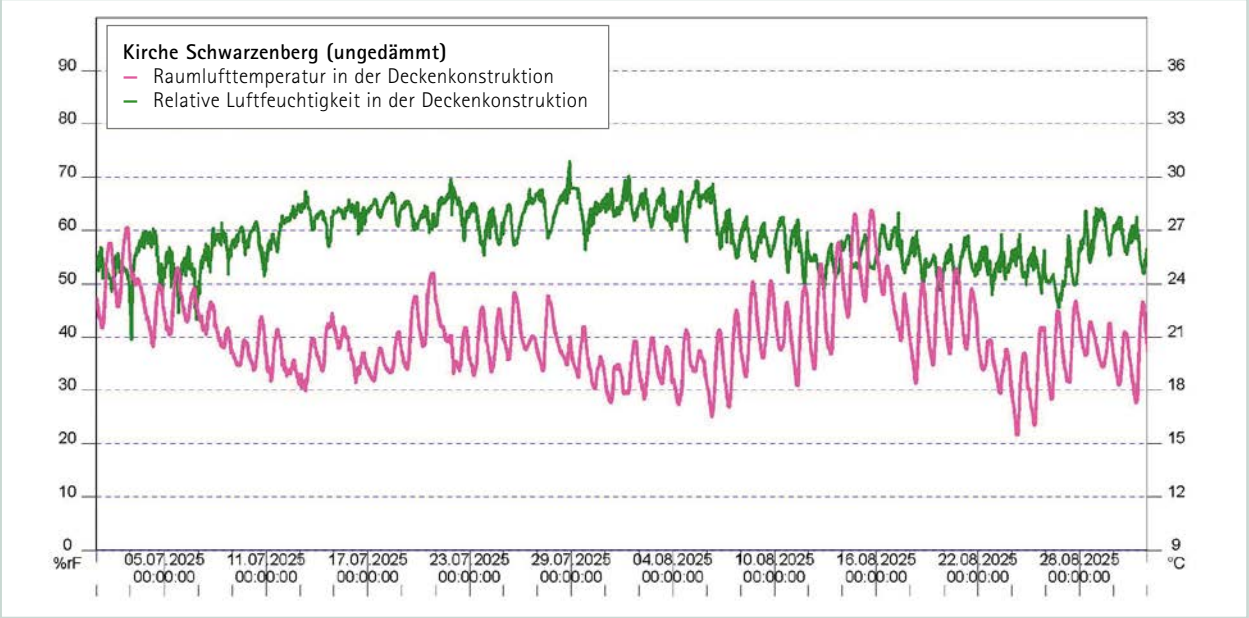
Originaler Fehlboden mit gefälzten Einschubbrettern, darüber gedielter Laufgang

Westlicher Bereich des zentralen Spiegelmotivs

Vereinzelte Rissbildung und Verformung der Deckenbretter



Schwarzenberg, Kirche, Klimaaufzeichnung im Dachraum und in der Deckenkonstruktion



Schwarzenberg, Kirche, Klimaaufzeichnung in der ungedämmten Deckenkonstruktion

Bauklimatische Bewertung:

- Das Dachraumklima in dem gut belüfteten Dachraum weist von allen Untersuchungsobjekten die geringsten Schwankungen und das stabilste Klima auf.
- Die Temperatur- und Feuchtewerte in der Deckenkonstruktion, welche denen des Dachraumklimas folgen, erscheinen relativ unkritisch.

Empfehlungen

Die Klimaschwankungen in der Deckenkonstruktion bzw. an der Deckenunterseite könnten durch den Einbau eines geeigneten Dämmsystems weiter verbessert werden.

Bauklimatische Bewertung und Empfehlungen

Zusammenhänge zwischen Dämmung und Lüftung

Die objektübergreifende Auswertung zeigt, dass eine Dämmschicht in jedem Fall die Übertragung kurzfristiger Temperatur- und Feuchteschwankungen aus dem Dachraum in die Deckenkonstruktion und den darunterliegenden Raum vermindert. Eine allgemeingültige Rangfolge der untersuchten Dämmstoffe lässt sich aus den Klimamessungen in den Versuchs- und Untersuchungsobjekten nicht ableiten. Die Eignung wird neben den Materialeigenschaften wesentlich durch konstruktive Aspekte, klimatische Randbedingungen sowie die Schichtdicke der Dämmebene bestimmt. Die in allen Fällen gleichfalls maßgeblichen Einflüsse wirtschaftlicher und organisatorischer Faktoren konnten im Projektrahmen nicht explizit betrachtet werden.

Die Grenzen eines unmittelbaren Materialvergleichs werden insbesondere am Versuchsobjekt in Sayda sowie bei den vergleichenden Klimamessungen im historischen Bestand deutlich. Selbst kleine Unterschiede in der Lage bzw. Ausrichtung der Testbereiche, der Anzahl bzw. Größe von Fensteröffnungen sowie abweichende Luftwechselraten und Feuchtequellen überlagerten den Einfluss der Dämmsysteme auf die Deckenkonstruktion in nicht unwesentlichen Größenordnungen. Einzelne Wirkungszusammenhänge lassen sich daher nur isoliert betrachten, sodass die Messergebnisse einen gewissen Toleranzbereich aufweisen. Dieser ist allerdings nicht ausschließlich als methodische Unsicherheit zu bewerten, sondern bildet zugleich die große Bandbreite möglicher Einflüsse ab, die beim Baubestand in der denkmalpflegerischen Praxis zu erwarten sind.

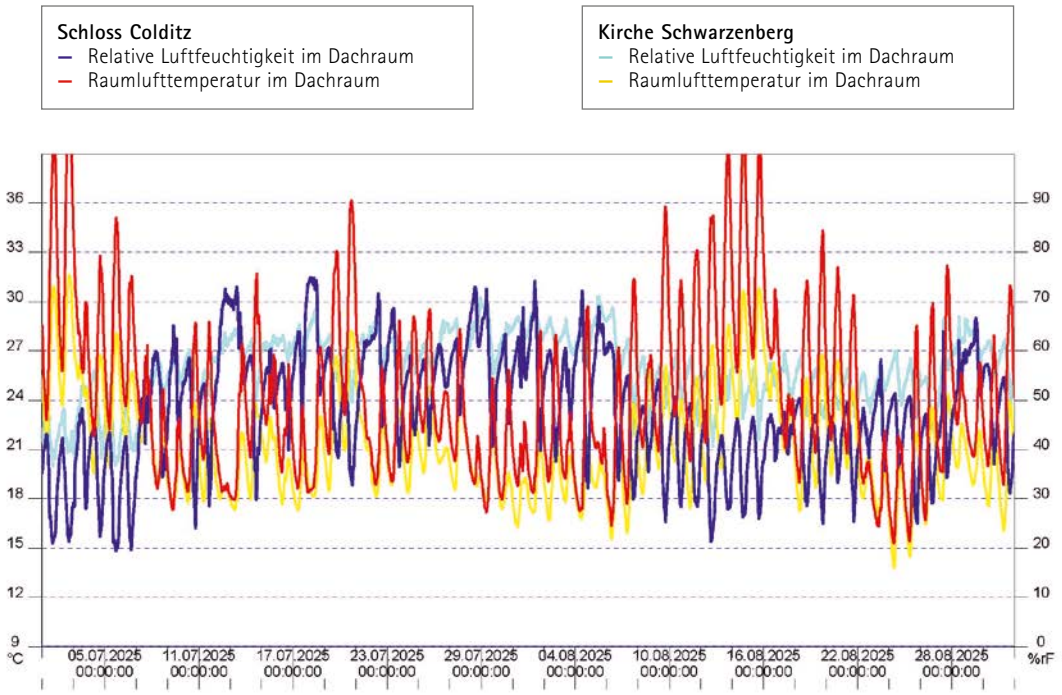
Bei der vergleichenden Klimamessung unter der Holzfaserdämmung im Untersuchungsobjekt Kirche Milkau zeigte sich im gedämmten Bereich ein deutlich stabileres Klima als im ungedämmten Bereich. Im Untersuchungsobjekt Kiebitz lassen sich dagegen zwischen dem mit Holzfaserdämmung versehenen Feld und dem lediglich mit einem Rieselschutzvlies abgedeckten Bereich nur marginale Unterschiede nachweisen. Die abweichenden Befunde verdeutlichen die starke Abhängigkeit der Messergebnisse von objektspezifischen Randbedingungen.

Einen deutlichen Einfluss auf die relative Luftfeuchtigkeit an der Deckenunterseite zeigen hingegen die untersuchten Lehmdämmungen in den Messobjekten Nossen, Glauchau und Penig. Unterhalb dieser Schichten fallen die Schwankungen des Feuchtegehalts und damit die zu erwartenden Quell- und Schwindprozesse besonders gering aus. Tagesperiodische Schwankungen der relativen Luftfeuchte werden erheblich gedämpft.

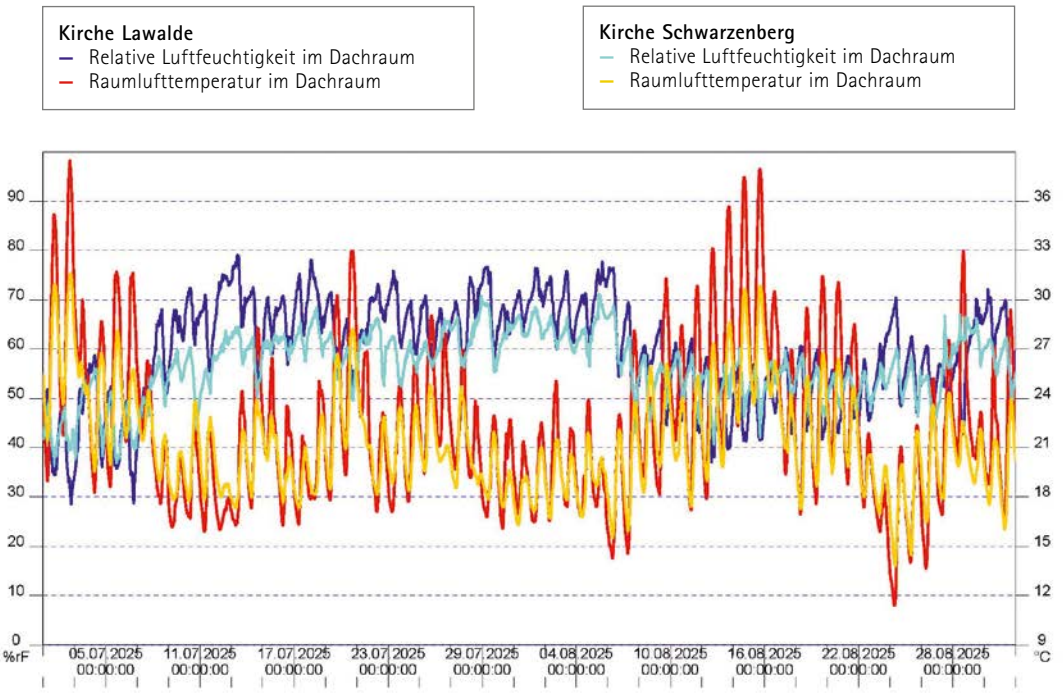
Die Ergebnisse der Klimamessungen zeigen zudem, was für die bauklimatischen Bewertungen von Dach und Decke als zwei miteinander gekoppelte Wirkebenen maßgeblich ist: Zum einen bestimmen Art der Dachdeckung und Dachraumbelüftung die klimatische Beanspruchung im Kaltdach. Zum anderen entscheiden Art, Aufbau und Lage der Dämmebene der obersten Geschossdecke, in welchem Umfang eine klimatische Beanspruchung an die historische Deckenunterseite und den darunterliegenden Raum weitergegeben wird.

Dachboden einer Dorfkirche mit dichter Tragkonstruktion

Weitläufiger Dachboden einer dreischiffigen spätgotischen Hallenkirche



Colditz, Schloss / Schwarzenberg, Kirche: Vergleichende Klimaaufzeichnung im Dachraum



Lawalde, Kirche / Schwarzenberg, Kirche: Vergleichende Klimaaufzeichnung im Dachraum

Holzbalkendecken unter unbeheizten Dachböden sind unmittelbar dem dort herrschenden Raumklima ausgesetzt. Dieses wird vor allem durch die Außenlufttemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit und die Sonneneinstrahlung bestimmt. Da Dachräume meist ein großes Luftvolumen, geringe Speichermassen und nur kleine oder keine Fensteröffnungen besitzen, können sie sich an sonnigen Tagen stark aufheizen. An mehreren Untersuchungsobjekten wurden innerhalb der Projektlaufzeit in den Sommermonaten Temperaturspitzen von etwa 35°C bis annähernd 40°C gemessen. Die relative Luftfeuchte lag zwischen minimal 25 % und maximal mehr als 90 %. Vor allem in den Kirchen Bockendorf und Lawalde sowie im Schloss Colditz zeigten die Messergebnisse deutlich den Zusammenhang zwischen eingeschränkten beziehungsweise unwirksamen Lüftungswegen und einem ungünstigeren Dachraumklima. Im Gegensatz dazu konnte für die Stadtkirche Schwarzenberg ein funktionsfähiges historisches Kaltdach nachgewiesen werden. Die hier vorhandene breite, umlaufende und weitgehend offene Traufe ermöglicht einen gleichmäßig verteilten Luftaustausch. Dabei bildet die vollflächige Schalung unter der Schieferdeckung zugleich eine durchgehende Zwischenschicht mit zusätzlichem Wärmewiderstand und thermischer Speicherwirkung. Kurzzeitige Wärmeeinträge von der durch direkte Sonneneinstrahlung stark erwärmten Dachdeckung werden verzögert und gedämpft. Durch die Kombination aus wirksamer Trauflüftung und vollflächiger Schalung werden der Wärmestau begrenzt und gleichzeitig die Trocknungsfähigkeit des Dachraums unterstützt. Das Dach der Kirche von Schwarzenberg stellt somit im Projektrahmen den Referenzfall eines ausreichend belüfteten und klimatisch relativ stabilen Kaltdachs dar.

Für eine Verbesserung des sommerlichen Wärmeschutzes in den Dachräumen der betrachteten Gebäudekategorie kommen grundsätzlich folgende Maßnahmen infrage: eine höhere Luftwechselrate innerhalb des Dachraums sowie ein größerer Wärmewiderstand der Dachflächen, beispielsweise durch eine Holzschalung oder Dämmung. Zudem kann durch eine hellere Dachoberfläche ein geringerer Absorptionsgrad erreicht werden.

Um die Größenordnung der möglichen Wirkungen abzuschätzen, wurden der Luftwechsel, unterschiedliche Dachdeckungen und Dachaufbauten mit beziehungsweise ohne Holzschalung mit dem Gebäudesimulationsprogramm TRNSYS untersucht. Eine zusätzliche Wärmedämmung in der Dachfläche war nicht Bestandteil der berechneten Varianten. Die Ergebnisse stellen eine allgemeine Modellbetrachtung dar und können deshalb nicht ohne Prüfung der jeweiligen Bauweise, Lage und Nutzung auf ein konkretes Gebäude übertragen werden.

Als Modell diente ein 10 × 30 m großer Dachraum mit einem Volumen von 1.500 m^3 und einem 60° geneigten Satteldach in Nord-Süd-Ausrichtung. Verglichen wurden rote Dachziegel auf Lattung, rote Dachziegel auf einer zwei Zentimeter starken Holzschalung sowie Schiefer auf Schalung. Für die Ziegel wurde ein Absorptionsgrad von 65 % und für den dunkleren Schiefer von 85 % angesetzt. Der Luftwechsel variiert zwischen 1- und 16-fach pro Stunde. Innere Wärmequellen wurden nicht berücksichtigt.

Als Außenklima dienten die Testreferenzjahre (TRY) des Deutschen Wetterdienstes für das Mitteldeutsche Tiefland mit dem Referenzstandort Potsdam. Ausgewertet wurde jeweils der Monat Juli des TRY 2010 und des Zukunfts-TRY 2035. Das Zukunfts-TRY beschreibt nicht das Wetter eines konkreten Jahres 2035, sondern ein synthetisch zusammengesetztes mittleres Jahr für den Zeitraum 2021 bis 2050. Eine ebenfalls verfügbare extreme Sommerperiode wurde nicht verwendet. Die Untersuchung bildet daher ein mittleres und kein besonders ungünstiges Sommerszenario ab.

Im TRY 2010 beträgt die mittlere Julitemperatur 19,0°C, im Zukunfts-TRY liegt sie bei 20,3°C. Auch die maximale Außentemperatur steigt von 33,4°C auf 34,7°C. Dieser Anstieg zeigt sich deutlich im Dachraum: Die berechneten Monatsmittel erhöhen sich je nach Variante um etwa 1,2 bis 1,3 K. Bei den maximalen Dachbodentemperaturen fällt die Zunahme mit etwa 0,5 bis 1,5 K weniger einheitlich aus.

Den größten beeinflussbaren Effekt hat die Lüftung. Mit zunehmendem Luftwechsel wird die durch Sonneneinstrahlung eingetragene Wärme schneller abgeführt. Dadurch fallen insbesondere die täglichen Temperaturspitzen geringer aus. Während häufiges Lüften in Wohnräumen innerhalb heißer Tagesstunden nachteilig sein kann, ist die Situation im unbeheizten Dachraum anders: Dort liegt die Innenlufttemperatur infolge der aufgeheizten Dachflächen zeitweise deutlich über der Außenlufttemperatur. Ein höherer Luftwechsel führt sie daher näher an das Außenklima heran. Bei einer Verdopplung des Luftwechsels sinken die maximalen Temperaturen in den untersuchten Varianten um etwa 0,8 bis 2,0 K. Die Monatsmitteltemperaturen verringern sich jeweils um etwa 0,4 bis 1,0 K.

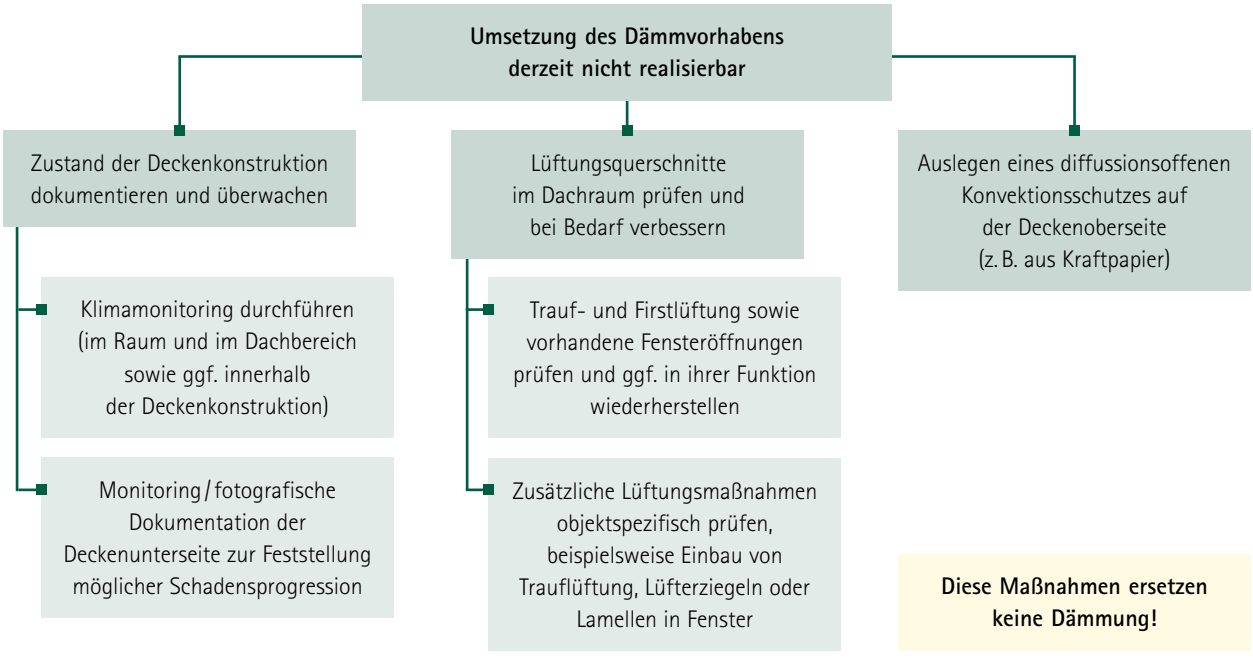
Neben der Lüftung ist der Dachaufbau entscheidend. Ein dunkles Schieferdach nimmt mehr Sonnenenergie auf als eine traditionelle rote Ziegeldeckung. Die unter den Schiefern befindliche Holzschalung bremst jedoch den Wärmeeintrag in den Dachraum und begrenzt dadurch kurzfristige Temperaturspitzen. Deshalb liegen die maximalen Temperaturen beim Ziegeldach auf offener Lattung etwas höher als beim Schieferdach auf Schalung. Für die Monatsmitteltemperaturen gilt dieser Vorteil dagegen nicht durchgängig: Bei geringem Luftwechsel ist das Mittel unter dem Schieferdach teilweise höher. Die niedrigsten mittleren und maximalen Temperaturen wurden insgesamt für Dachziegel auf Holzschalung berechnet. Bei einem einfachen Luftwechsel pro Stunde lag die maximale Temperatur im Zukunfts-TRY bei 39,4°C, gegenüber 43,8°C bei Ziegeln auf Lattung.

Vor einer baulichen Umsetzung sind grundsätzlich die reellen Parameter des Gebäudes hinsichtlich des Standorts, der Konstruktion und der Materialität zu betrachten. Zudem sind konservatorisch-restauratorische Aspekte, Feuchteschutz, Schlagregensicherheit, Brandschutz und Schädlingssicherheit zu berücksichtigen. Falls sich ein Dämmvorhaben aus wirtschaftlichen Gründen nicht zeitnah realisieren lässt, sollten zumindest kompensierende Maßnahmen zur Begrenzung klimabedingter Belastungen ergriffen werden.

Berechnete Temperaturen im Dachboden in Abhängigkeit des Luftwechsels

Luft-wechsel [1/h]	Dachdeckung / Absorptionskoeffizient	Maximale Temperatur Dachboden Sommer [°C]		Mittlere Temperatur Dachboden Sommer [°C]	
		2035	2010	2035	2010
1	Dachziegel auf Lattung (0,65)	43,8	42,3	23,6	22,3
1	Schiefer auf Schalung (0,95)	42,8	42,2	24,6	23,4
2	Dachziegel auf Lattung (0,65)	42,3	40,8	23,1	21,8
2	Schiefer auf Schalung (0,95)	41,2	40,4	23,7	22,4
4	Dachziegel auf Lattung (0,65)	40,4	38,9	22,4	21,1
4	Schiefer auf Schalung (0,95)	39,4	38,4	22,7	21,4
8	Dachziegel auf Lattung (0,65)	38,5	37,0	21,7	20,4
8	Schiefer auf Schalung (0,95)	37,7	36,6	21,8	20,5
16	Dachziegel auf Lattung (0,65)	37,0	35,6	21,2	19,9
16	Schiefer auf Schalung (0,95)	36,4	35,3	21,2	19,9

Maßnahmen zur Kompensation nicht realisierbarer Dämmvorhaben



Kirche, Dachbelüftung über Fenster, mit Maschendraht geschützt

Kirche, Dachbelüftung über Lamelleneinsatz statt Verglasung

Kirche, Dachbelüftung über Lüftungsschlitze in der Verglasung

Schloss, Dach mit verschlossener Traufe, vermörtelte Ziegeldeckung

Lüfterziegel entlang eines Firsts

Kirche, Dach mit funktionierender Traufe

Kirche, Dach mit verschlossener Trauflüftung

Kirche, Einblasdämmung ohne eingebautes Stellbrett verschließt die Traufe

Kirche, Stellbrett vor Einblasdämmung, Traufe zusätzlich verschlossen

Checkliste: Belüftungsmöglichkeiten eines historischen Dachraums (Kaltdachkonstruktion)

1. Allgemeine Anforderungen

- ☐ Vorhandene Öffnungen an Traufe, First, Giebeln und Dachfenstern erfassen
- ☐ Lüftungsbedarf, Lage und freie Querschnitte objektspezifisch festlegen
- ☐ Denkmalpflegerische, bauklimatische und konstruktive Anforderungen abstimmen, ggf. Beachtung von artschutzrechtlichen Belangen
- ☐ Möglichst gegenüberliegende Zu- und Abluftöffnungen und freie Strömungswege vorsehen
- ☐ Unkontrollierte Luftströmungen in den Deckenaufbau vermeiden
- ☐ Detailplanung des Traufbereiches (Vermeidung von Taupunktunterschreitung)
- ☐ Öffnungen gegen Schlagregen, Flugschnee und Tierzugang schützen
- ☐ Reversible und wartungsfähige Lösungen bevorzugen

2. Lüftungsvarianten

Lamelleneinsätze in Dachfenstern

- ☐ Erhaltungswert der vorhandenen Verglasung prüfen
- ☐ Historische Glasscheiben möglichst erhalten und Lamelleneinsätze reversibel ausführen
- ☐ Lamellen zum Schutz vor Schlagregen und Flugschnee ausrichten bzw. mit Schutzgaze ausrüsten

Lüftungsöffnungen in Fensterscheiben

- ☐ Nur geeignete oder neue Scheiben verwenden
- ☐ Historische Scheiben möglichst durch reversible Einsätze ersetzen
- ☐ Größe und Anordnung der Schlitze auf den erforderlichen Lüftungsquerschnitt abstimmen

Offene Traufe mit Lüftungsgitter

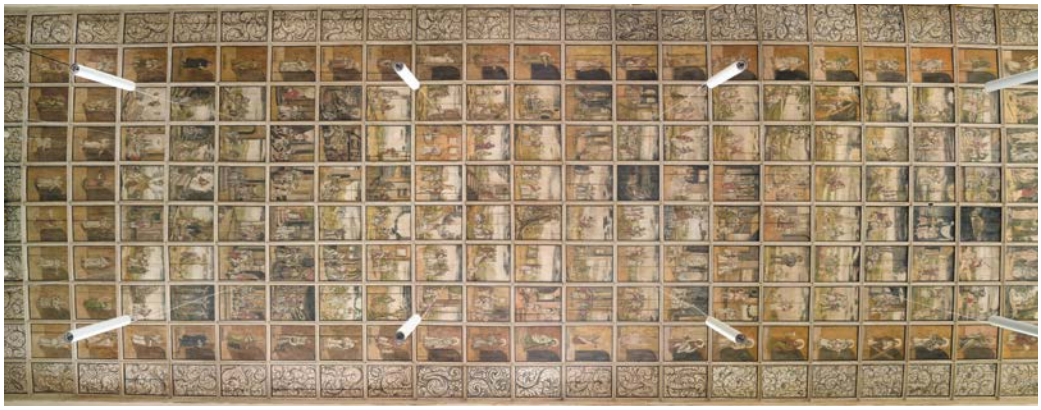
- ☐ Trauföffnungen herstellen oder vorhandene Öffnungen freilegen
- ☐ Lüftungswege dauerhaft von Dämmstoffen, Schutt und Einbauten freihalten
- ☐ Korrosionsbeständige Lüftungsgitter einbauen
- ☐ Dachraum gegenüber dem Zwischendeckenraum abgrenzen

Lüfterziegel in der Dachfläche

- ☐ Grundsätzliche gestalterische/denkmalpflegerische Abstimmung zur Verwendung von Lüftungsziegeln
- ☐ Zur vorhandenen Dachdeckung passende Lüfterziegel verwenden
- ☐ Anzahl und Verteilung entsprechend der technischen und gestalterischen Aspekte festlegen
- ☐ Lüfterziegel möglichst im oberen Dachbereich anordnen und mit Zuluftöffnungen im Traufbereich kombinieren, um den thermischen Auftrieb zu nutzen

3. Kontrolle und Wartung

- ☐ Auswirkung der Maßnahmen durch Temperatur- und Feuchtemessungen überprüfen
- ☐ Öffnungen und Schutzgitter regelmäßig kontrollieren, reinigen und freihalten
- ☐ Dachraum nach Starkregen, Flugschnee und Sturm auf Feuchteeinträge prüfen



Löbnitz, Kirche, Felderdecke mit figürlicher Bemalung

Hygrothermische Simulationsberechnungen

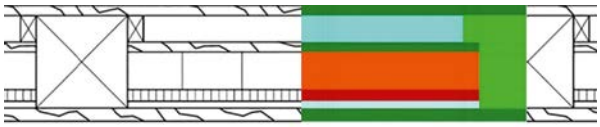
Feuchteverhalten und Verformung von Holzbalkendecken

Hygrothermische Simulationen berechnen numerisch die Zustandsgleichungen eines Wärme- und Feuchtehaushalts in einem festgelegten Konstruktionsquerschnitt. Sie zeigen, welchen Einfluss zeitlich veränderbare Randbedingungen, wie das Klima im Dachraum oder im darunterliegenden Innenraum, auf Temperatur und Feuchte in einer Holzbalkendecke haben. Zudem können zukünftige Entwicklungen sowie unterschiedliche Materialien und Konstruktionsvarianten, wie der Einbau einer Dämmebene, abgeschätzt werden.

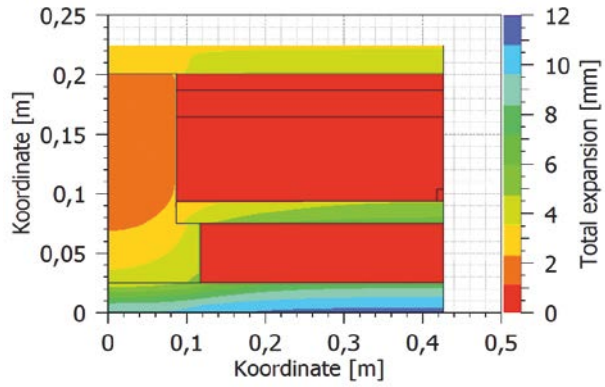
Für die Berechnungen müssen die Materialparameter bzw. Funktionen wie Feuchteaufnahmen oder Sorptionsisothermen möglichst genau bekannt sein. Da entsprechende Kennwerte für historische Baustoffe wie unterschiedliche Hölzer, Ziegel, Schüttungen oder Putze meist unbekannt sind, wird auf veröffentlichte Daten vergleichbarer Materialien zurückgegriffen, beispielsweise aus der Datenbank »masea« oder aus den bauklimatischen Simulationsprogrammen DELPHIN und WUFI. Hygrothermische Simulationen zeichnen sich dadurch aus, dass eine große Anzahl nicht genau bekannter Kenngrößen (z. B. Materialparameter) und Randbedingungen einzustellen ist, die das Ergebnis entscheidend beeinflussen. Aus diesem Grund werden die Simulationsergebnisse mit realen Messergebnissen abgeglichen. Wenn es gelingt, den gemessenen Verlauf simulativ nachzuvollziehen, besteht die Sicherheit, dass die Randbedingungen und Kenngrößen des Rechenmodells richtig gewählt wurden. Im Anschluss können belastbare Varianten berechnet werden. Eine gute Übereinstimmung erhöht die Verlässlichkeit des Modells, auch wenn sie keine vollständige Sicherheit bietet.

Eine wesentliche Grundlage für die Erstellung der projektbezogenen Simulationen war die Einrichtung eines Versuchsaufbaus mit vergleichbaren Testräumen im Nebengebäude des Pfarrhauses von Sayda. Die dort über einen Zeitraum von zwei Jahreszyklen erfassten Werte von Temperatur, relativer Luftfeuchte, Materialfeuchte und Längenänderungen dienen als Datengrundlage für die Simulationsrechnung. Diese erfolgte mit dem am Institut für Bauklimatik der TU Dresden entwickelten Programm DELPHIN (coupeld heat, air, moisture and salt transport). Das Programm wird seit vielen Jahren kontinuierlich weiterentwickelt, ist im internationalen Vergleich validiert und verfügt über eine große Materialdatenbasis. Im Ergebnis konnten die verschiedenen Aufbauten rechnerisch miteinander verglichen werden.

Entscheidend für eine Schadensbildung sind nicht der sich einstellende Feuchtegehalt oder die Temperaturen, sondern die sich daraus entwickelnden Dehnungs- und Schrumpfungsprozesse. Anhand von Messungen an Holztafelmodellen im Deckenaufbau



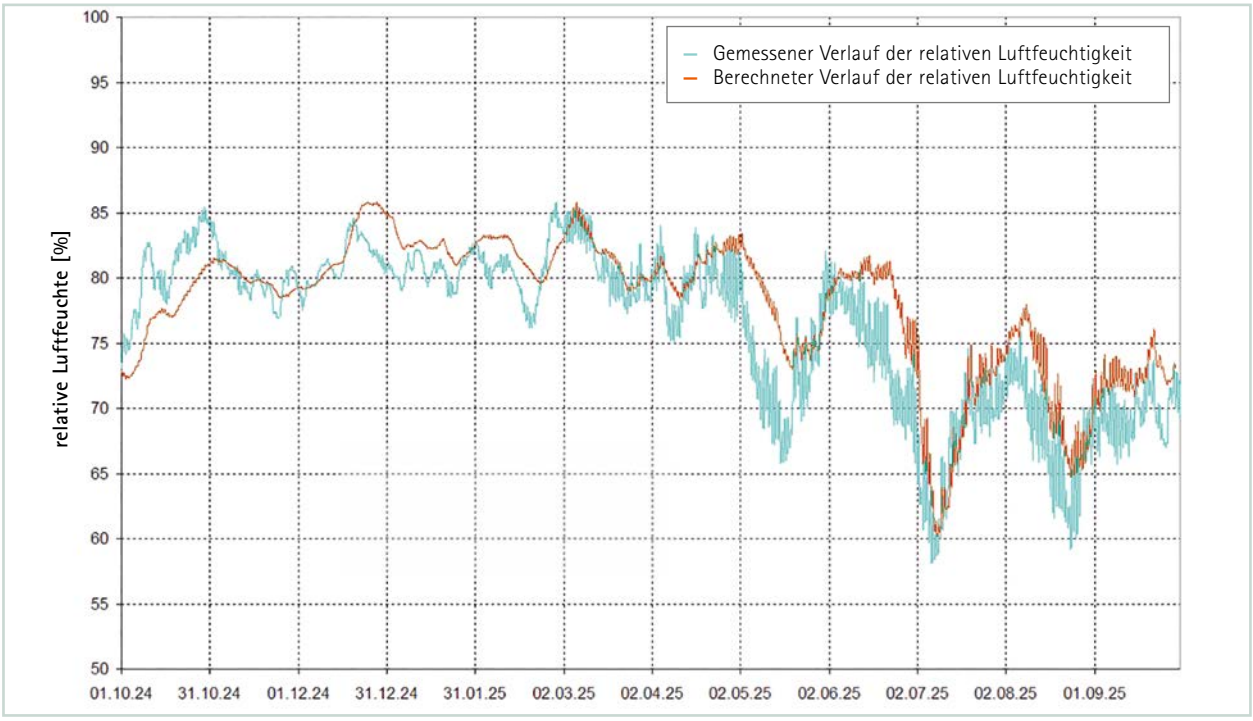
Für die Simulation gewählter Berechnungsausschnitt (halbes Deckenfeld)



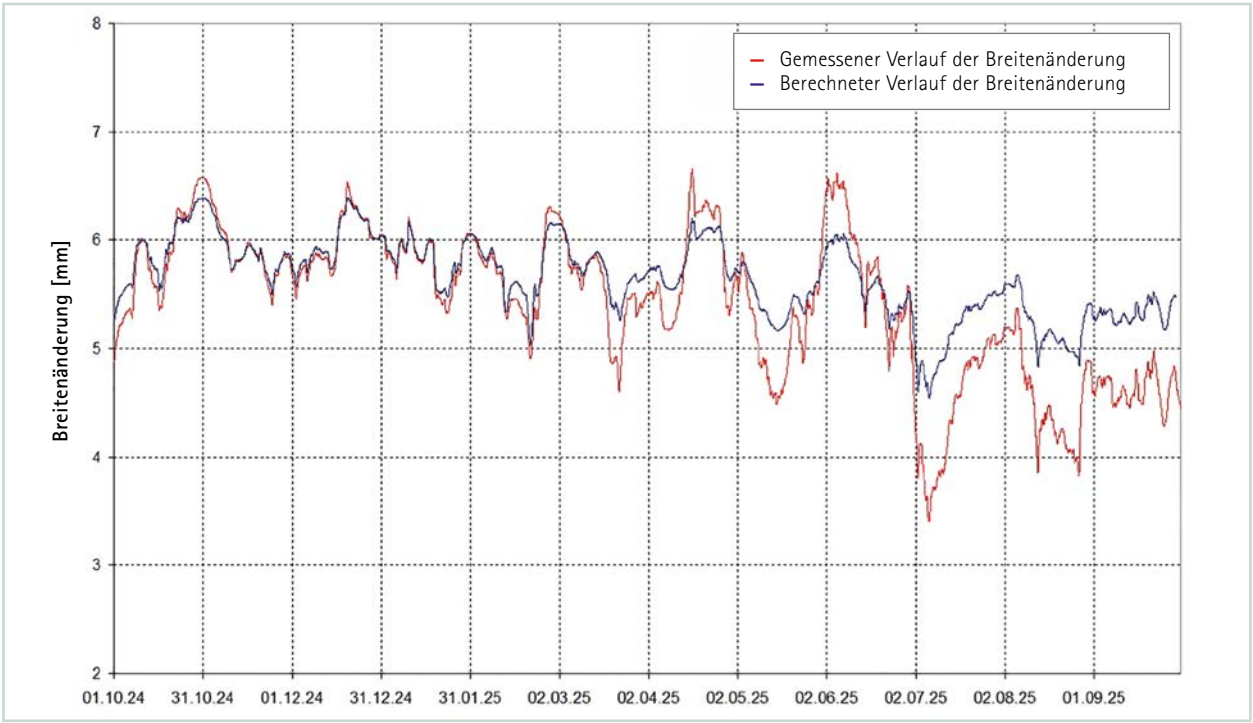
Zweidimensionale Darstellung der Längendehnung im Deckenquerschnitt

konnte das feuchtebedingte Quell- und Schwindverhalten modellhaft betrachtet werden. DELPHIN wurde daher um die Ausgabe feuchte- und temperaturbedingter Längenänderungen erweitert, so dass Bewegungen innerhalb der Bauteile in Millimetern dargestellt werden konnten. Diese Werte wurden ebenfalls mit Messdaten abgeglichen und zweidimensional über den Deckenquerschnitt dargestellt, wodurch Bereiche besonders großer oder gegenläufiger Verformung sichtbar wurden.

Die Variantenberechnungen zeigen, dass eine durchgehende Dämmschicht die klimatische Kopplung zwischen Dachraum und empfindlicher Deckenunterseite vermindert. Dabei ist es eher zweitrangig, welcher Dämmstoff hierfür eingesetzt wird. Die Dämmstoffe mit einer hohen Wärmedämmwirkung weisen aufgrund ihrer kleinen Dichte geringe oder keine hygrischen Speichereigenschaften auf. Dämmstoffe mit größeren hygrischen Speicherkapazitäten (z. B. Lehm) halten den Feuchtehaushalt in der Decke hervorragend konstant, werden jedoch aufgrund ihrer Masse bei Bestandsdecken eher entfernt als neu eingebaut. Die Entscheidung, welche Dämmung zur Verbesserung der Situation eingebaut wird, bleibt der individuellen Situation am jeweiligen Bauwerk vorbehalten.



Vergleich von Rechnung und Messung am Beispiel der relativen Luftfeuchtigkeit unterhalb der Holzweichfaserdämmung



Vergleich zwischen gemessener und gerechnete Breitenänderung der Deckenkonstruktion unter der trittfesten Holzfaserdämmung

Weiterführende Recherche

MASEA Datenbank: www.masea-ensan.com

www.bauklimatik-dresden.de

Nachwort und Dank

Erkenntnisse und fachlicher Austausch in der Praxis

Ziel des Projekts war es, die Auswirkungen der in den letzten Jahren zu verzeichnenden Klimaveränderungen auf historische Holzbalkendecken im Grenzbereich zum Kaltdach für möglichst viele Individualfälle auf einer normierten Grundlage zu untersuchen und daraus bauklimatische Bewertungskriterien sowie bau- und denkmalfachlich fundierte Handlungsempfehlungen für Sanierungs- und Restaurierungsmaßnahmen abzuleiten.

Dazu wurden exemplarisch in Denkmalobjekten Versuchsaufbauten eingerichtet und über einen Zeitraum von zwei Jahreszyklen Materialkennwerte und Klimadaten sowie zusätzlich Dehnungsparameter von Holztafelmodellen aus abgelagertem Fichtenholz erfasst. Durch die auf dieser Basis erstellten hygrothermischen Simulationsrechnungen konnten die jeweiligen Deckenkonstruktionen in Bezug auf den Einsatz von Dämmungen hinsichtlich des Grads der präventiven Schutzwirkung, Denkmalverträglichkeit und Nachhaltigkeit sowie unter wirtschaftlichen Aspekten bewertet werden. Dabei zeichnete sich für künftige Dämmlösungen ein erhebliches Potential in der Entwicklung von Verbundwerkstoffen aus Holz und Lehm ab, die die hygrische Speicherfähigkeit von Lehm mit der Dämmwirkung leichterer Baustoffe Holzfaser verbinden könnten. Weiteres Potential birgt auch die erarbeitete Datengrundlage, welche den Vergleich unterschiedlicher bauklimatischer Situationen ermöglicht. Durch die gemessenen Dehnungsparameter und die damit einhergehende fundierte Basis zur Validierung der Simulationsergebnisse konnte gleichzeitig die Weiterentwicklung des Berechnungsprogramms DELPHIN unterstützt werden. Damit bestehen künftig neue Möglichkeiten zur Analyse von Materialspannungen und Schadensprozessen. Die gewonnenen Daten stehen für weitere Untersuchungen und künftige Simulationsrechnungen zur Verfügung.

Der Vergleich der Versuchsaufbauten in den einzelnen Objekten verdeutlicht, dass sich auf Grund unterschiedlicher Parameter wie Standort, Baukonstruktion oder Materialität keine allgemeingültige Standardlösung für eine nachträgliche Dämmung historischer Holzbalkendecken ableiten lässt. Die Ergebnisse zeigen auch, dass sich die klimatische Belastung historischer Deckenkonstruktionen oft bereits durch vergleichsweise einfache und kostengünstige Maßnahmen reduzieren lässt. Neben einer fachgerecht geplanten Dämmung der obersten Geschossdecke kommt insbesondere einer funktionsfähigen Belüftung des Kaltdachs eine hohe Bedeutung zu, da sie zur Begrenzung von Temperatur- und Feuchtespitzen beitragen kann.

Ein wichtiger Bestandteil des Projekts war der interdisziplinäre fachliche Austausch. Zwei Workshops mit etwa 50 beziehungsweise 100 Teilnehmerinnen und Teilnehmern boten Gelegenheit,

Eröffnung des zweitägigen Abschlusskolloquiums am 16. – 17. April 2026 durch Staatssekretär Sören Trillenberg, Sächsisches Staatsministerium für Infrastruktur und Landesentwicklung

Thomas Löther bei der Vorstellung der Ergebnisse der Klimamessungen bei der Führung im Messobjekt Schloss Hinterglauchau

Projektpartner der Zimmerei Arnswald, und Firma UdiDÄMMSYSTEME sowie des Versuchsobjekts Sayda bei der Einrichtung des Versuchsaufbaus (v. l. n. r.: Kay Arnswald, Robby Fitzner, Moritz Arnswald, Dietmar Seidel)

Podiumsdiskussion v. l. n. r.: Robby Fitzner / Fa. UdiDämmsysteme, Claudia Ochocki / LfD Sachsen, Tobias Wolf / LfD Sachsen, Michael Lange / Restaurator, Uwe Meinhold / IB Bauklimatik, Maximilian Kunze / Architekt, Nils Kugelstadt / EvLKS, Thomas Löther / IDK, Stefan Reuther / LfD Sachsen

Zwischenergebnisse und praktische Erfahrungen vorzustellen und gemeinsam zu diskutieren. Eine begleitende Presse- und Öffentlichkeitsarbeit trug zudem dazu bei, die Aufmerksamkeit verstärkt auf gefährdete Denkmalobjekte im ländlichen Raum zu lenken.

Ein Vorhaben dieses Umfangs wäre ohne die Unterstützung zahlreicher Institutionen, Unternehmen und Einzelpersonen nicht möglich gewesen. Besonders hervorzuheben ist die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, die das Projekt großzügig förderte und es von der Projektskizze bis zum erfolgreichen Abschluss eng begleitete. Darüber hinaus dankt das Projektteam allen Beteiligten für ihr großes Engagement und ihre fachliche Expertise.

Wesentlich zum Gelingen des Projekts trugen darüber hinaus mehrere mittelständische Unternehmen und fachliche Partner aus der Region bei. Zu danken ist insbesondere

- dem Dämmstoffhersteller UdiDÄMMSYSTEME GmbH aus Chemnitz, Geschäftsführerin Anka Unger und Prokurist Robby Fitzner, die für die Test- und Versuchsobjekte in großzügigem Umfang Dämmmaterialien zur Verfügung stellten,
- dem Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e. V., Geschäftsführer Thomas Löther, für das Einbringen der erforderlichen Messtechnik,
- Uwe Meinhold vom Ingenieurbüro Bauklimatik aus Dresden für die Bearbeitung der bauklimatischen Fragestellungen sowie die Berechnung der hygrothermischen Simulationen,
- Bernd Eckoldt vom Büro Engelbach + Partner Ingenieurgesellschaft Dresden mbH für die Beratung in statischen Fragen und
- Kay Arnswald von der Zimmerei Kay Arnswald für die bauliche Ausstattung der Versuchsobjekte.
- Besonderer Dank gilt auch den drei großen Denkmaleigentümern im Freistaat Sachsen, die durch die Bereitstellung ihrer Objekte die Untersuchungen erst ermöglichten:
    - dem Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien- und Baumanagement,
    - der Evangelisch-Lutherischen Landeskirche Sachsens und
    - der Evangelischen Kirche in Mitteldeutschland.

Außerdem zu danken ist der Kirchgemeinde Kreuztanne in Sayda sowie Dietmar Seidel für die Zusammenarbeit bei der Einrichtung des Versuchsaufbaus in Sayda.

Da das Vorhaben als Kuratoriumsprojekt von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt gefördert wurde, wurde es während seiner Laufzeit von einem projektbegleitenden Ausschuss unterstützt. Neben den bereits genannten Projektpartnern gehörten diesem an:

- für den Bereich Lehre die Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden,
- für den Bereich Praxis der Verband der Restaurator:innen e. V. und der Restaurator im Handwerk e. V. sowie
- für den Bereich Forschung das Fraunhofer-Institut für Bauphysik.

Ihnen allen gilt der ausdrückliche Dank des Projektteams für die konstruktive fachliche Begleitung und die wertvollen Impulse.

Für weitere Informationen finden Sie den Abschlussbericht des Projekts unter: **www.dbu.de/projektdatenbank/38093-01**

Oybin, Bergkirche, Holzbalkendecke mit polychromer ornamentaler Bemalung ▸

Zum Projekt

Projektname:	Entwicklung modellhafter Erhaltungs- und Sanierungsstrategien bei klimabedingten strukturellen Schäden an historischen Holzbalkendecken
Projektdurchführung:	Landesamt für Denkmalpflege Sachsen Schlossplatz 1 01067 Dresden
Fördersumme:	305.867,00 €
Förderzeitraum:	01.02.2023 – 30.09.2026
Link zum Abschlussbericht:	**www.dbu.de/projektdatenbank/38093-01**

Antragsteller und Projektträger

Landesamt für Denkmalpflege Sachsen
Schlossplatz 1, 01067 Dresden,
vertreten durch Landeskonservator Dipl.-Ing. Architekt Alf Furkert

Projektteam

Dipl.-Rest. Julia Zahlten (Projektkoordination 03/25 – 09/26)
Dipl.-Rest. Katja Matauschek (Projektkoordination 02/23 – 10/24)
Dipl.-Ing. M. Sc. Claudia Ochocki (Gebietsreferentin)
Dipl.-Rest. Stefan Reuther (Referatsleiter Referat II.4 / Restaurierung)

Projektbeteiligte

STAATSBETRIEB IMMOBILIEN- UND BAUMANAGEMENT SIB | Freistaat SACHSEN

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien und Baumanagement (SIB), Niederlassung Dresden I
Königsbrücker Straße 80, 01099 Dresden,
vertreten durch Dipl.-Ing. Kai-Uwe Beger

EVANGELISCHE KIRCHE IN MITTELDEUTSCHLAND

Evangelische Kirche in Mitteldeutschland (EKM)
Kreiskirchenamt Eilenburg (Referat F3 Bau),
Nikolaiplatz 3/4, 04838 Eilenburg,
vertreten durch Dipl.-Ing. (FH) Anja Töpler

Evangelisch-Lutherische Landeskirche Sachsens

Evangelisch-Lutherische Landeskirche Sachsens (EvLKS)
Lukasstraße 6, 01069 Dresden,
vertreten durch Baureferent Dipl.-Ing. Nils Kugelstadt

IDK Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V.

Institut für Diagnostik und Konservierung an Denkmalen in Sachsen und Sachsen-Anhalt e.V. (IDK e.V.)
Schlossplatz 1, 01067 Dresden,
vertreten durch Dipl.-Ing. (FH) Thomas Löther

Engelbach + Partner Ingenieurgesellschaft Dresden mbH
Dipl.-Ing. Bernd Eckoldt
Glasewaldtstraße 6, 01277 Dresden

Ingenieurbüro Bauklimatik (IB Bauklimatik)
Dipl.-Ing. Uwe Meinhold
Glasewaldtstraße 44, 01277 Dresden

UdiDÄMMSYSTEME GmbH
Oberfrohnaer Straße 2, 09117 Chemnitz,
vertreten durch Geschäftsführerin Anka Unger,
Prokurist Robby Fitzner

Zimmerei Kay Arnswald
Kay Arnswald, Geprüfter Sachverständiger für Holzschutz
Talstraße 2, 01723 Wilsdruff, OT Helbigsdorf

Projektbegleitender Ausschuss

Landesamt für Denkmalpflege Sachsen
Schlossplatz 1, 01067 Dresden,
vertreten durch den Sächsisches Landeskonservator
Dipl.-Ing. Architekt Alf Furkert

Staatsbetrieb Sächsisches Immobilien und Baumanagement (SIB), Niederlassung Dresden I
Königsbrücker Straße 80, 01099 Dresden,
vertreten durch Dipl.-Ing. Kai-Uwe Beger

Evangelisch-Lutherische Landeskirche Sachsens (EvLKS)
Lukasstraße 6, 01069 Dresden,
vertreten durch Baureferent Dipl.-Ing. Nils Kugelstadt

Verband der Restaurator:innen e.V.
Geschäftsstelle Bonn, Haus der Kultur,
Weberstraße 61, 53113 Bonn,
vertreten durch Dipl.-Rest. Sven Taubert,
Präsident Verband der Restaurator:innen e.V. (bis November 2025)

Restaurator im Handwerk e.V. (Landesgruppe Sachsen/Sachsen-Anhalt/Thüringen)
vertreten durch Bernd Bubnick,
Geprüfter Restaurator im Maurerhandwerk,
Sachverständiger für Putz

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP
Prof. Dr.-Ing. Ralf Kilian, Gruppenleiter Kulturerbe-Forschung,
Abt. Forschungsmanagement,
Fraunhofer-Straße 10, 83626 Valley

Hochschule für Technik und Wirtschaft Dresden
Fakultät Bauingenieurwesen,
Lehrstuhl Baukonstruktion/Bauwerkserhaltung,
Prof. Dr.-Ing. Thomas Naumann,
Friedrich-List-Platz 1, 01069 Dresden

Herausgeber
Landesamt für Denkmalpflege Sachsen
Schloßplatz 1, 01067 Dresden
Telefon: +49 351 48430-402
Telefax: +49 351 48430-499
E-Mail: post@lfd.sachsen.de
Website: www.denkmalpflege.sachsen.de

Diese Veröffentlichung wird finanziert mit Steuermitteln auf Grundlage des vom Sächsischen Landtag beschlossenen Haushaltes. Sie entstand im Rahmen des von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt geförderten Forschungsprojekts »Entwicklung modellhafter Erhaltungs- und Sanierungsstrategien bei klimabedingten strukturellen Schäden an historischen Holzbalkendecken«.

Redaktion
Landesamt für Denkmalpflege Sachsen: Julia Zahlten unter Mitarbeit von Dr. Konstantin Hermann, Claudia Ochocki, Stefan Reuther, Dr. Torsten Sander

Texte
Autoren aus dem Projektteam: Bernd Eckoldt (E+P), Thomas Löther (IDK e.V.), Uwe Meinhold in Zusammenarbeit mit Lisa Sophie Ahnert (IB Bauklimatik), Claudia Ochocki (LfD Sachsen), Stefan Reuther (LfD Sachsen), Julia Zahlten (LfD Sachsen)

Fotos
Abbildungen vom Landesamt für Denkmalpflege Sachsen 2023 – 2026:
Sven Pank: S. 1, 2, 4, 6, 7 außer Portraits, 8 außer »Rochlitz«, 9, 14, 18, 19 außer »Eilenburg«, 21 »Deckenputz nach Restaurierung«, 23 »Milkau«, 24, 26, 27, 32, 33 »Gedielter Dachboden« und »Fertige Testzellen«, 34 – 36 Fotos Versuchsfelder, 37, 38 »Innenansicht« und »Deckenuntersicht«, 39 »Versuchsfeld«, 42, 43, 45 »Innenansicht«, 46 außer »Unterspannbahn«, 48, 49, 51, 52 »Rieselschutzvlies und Holzweichfaserdämmung« und »Deckenunterseite«, 54, 55 »Dachboden«, 57, 58 »Außenansicht« und »Innenansicht«, 60, 61 »Deckenuntersicht« und »Dachboden«, 63 »Trauflüftung vorhanden«, 64, 65 außer »Trauflüftung«, 67, 68 außer »Fehlboden«, 70, 74 außer »Dachfenster mit Maschendraht«, 75 »Schloss, Dach mit verschlossener Traufe« und »Kirche, Dach mit verschlossener Traufe« und »Einblasdämmung ohne Stellbrett«, 79 außer »Projektpartner«, 80, 81); sowie das Projektteam Katja Matauschek, Claudia Ochocki, Stefan Reuther und Julia Zahlten (S. 12, 19 »Eilenburg«, 22, 23 »Dresden«, 30, 33 »Versuchsfeld« und »Lageplan«, 38 »Dachboden« und »Versuchsaufbau«, 39 alle außer »Versuchsfeld«, 45 »Außenansicht«, 46 »Unterspannbahn«, 52 alle außer »Rieselschutzvlies und Holzweichfaserdämmung« und »Deckenunterseite«, 55 alle außer »Dachboden«, 58 »Trauflüftung« und »Dämmung«, 61 außer »Deckenuntersicht« und »Dachboden«, »Fehlende Trauflüftung«, 65 »Trauflüftung«, 68 »Fehlboden«, 74 »Dachfenster mit Maschendraht«, 75 »Lüfterziegel« und »offene Trauflüftung« und »Stellbrett vor Einblasdämmung«, 79 »Projektpartner«)
Abbildungen und Diagramme von Projektbeteiligten 2023 – 2026:
Bernd Eckoldt (E+P): S. 14 »Meißen«, S. 15; Uwe Meinhold (IB Bauklimatik): Diagramme auf S. 34 – 36, 78 sowie Bilder S. 77; Thomas Löther (IDK e.V.): Diagramme auf S. 1, 40, 41, 44, 47, 50, 53, 56, 59, 62, 63, 66, 69, 71
Weitere Abbildungen: Deutsche Bundesstiftung Umwelt: S. 6 »Portrait«; Michael Lange (langestammlange RESTAURATOREN GbR): S. 20, 21 außer »Deckenputz nach Restaurierung«; Christine Starke: S. 7, »Portrait«

Gestaltung und Satz
Ö GRAFIK agentur für marketing und design

Druck
Lößnitz Druck GmbH

Redaktionsschluss
Oktober 2026

Auflagenhöhe
1.000 Stück

Bezug
Diese Druckschrift kann kostenfrei bezogen werden bei:
Zentraler Broschürenversand der Sächsischen Staatsregierung
Hammerweg 30, 01127 Dresden
Telefon: +49 351 21036-71 oder +49 351 21036-72
E-Mail: publikationen@sachsen.de

Hinweis
Diese Publikation wird im Rahmen der Öffentlichkeitsarbeit vom LfD Sachsen kostenlos herausgegeben. Sie ist nicht zum Verkauf bestimmt und darf nicht zur Wahlwerbung politischer Parteien oder Gruppen eingesetzt werden.