

Die Holzbalkendecke in der thermischen Sanierung

Beurteilung von Ausführungsvarianten hinsichtlich Gebrauchstauglichkeit, Energieeffizienz sowie Wärme- und Feuchteschutz.

The wooden beam ceiling in the thermal renovation

Assessment of design variants with regard to usability, energy efficiency and heat and moisture protection.

Bachelorarbeit

Zur Erlangung des akademischen Grades

Bachelor of Science in Engineering (BSc)

der Fachhochschule FH Campus Wien

Bachelorstudiengang: Architektur - Green Building

Vorgelegt von:

Luca Pruckner

Personenkennzeichen

2010733021

Erstbegutachter:

Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Steiner

Eingereicht am:


24.06.2022

Erklärung:

Ich erkläre, dass die vorliegende Bachelorarbeit von mir selbst verfasst wurde und ich keine anderen als die angeführten Behelfe verwendet bzw. mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfe bedient habe.

Ich versichere, dass ich dieses Bachelorarbeitsthema bisher weder im In- noch im Ausland (einer Beurteilerin/einem Beurteiler zur Begutachtung) in irgendeiner Form als Prüfungsarbeit vorgelegt habe.

Weiters versichere ich, dass die von mir eingereichten Exemplare (ausgedruckt und elektronisch) identisch sind.

Datum: 24.06.2022.....Unterschrift:.....

Danksagung

An dieser Stelle möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mich während meines Studiums stets unterstützt und motiviert haben.

Zudem gebührt mein Dank Herrn Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Steiner, welcher meine Bachelorarbeit betreut und begutachtet hat. Für die professionelle Begleitung sowie die hilfreichen Ratschläge bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Luca Pruckner

Sollenau, 24.06.2022

Kurzfassung

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Evaluierung von einbindenden Holzbalkenköpfen in die tragende Wandstruktur von bestehenden Altbauten, sowie den grundsätzlichen Möglichkeiten zur Ausführung unterschiedlicher Konstruktionen im Rahmen einer thermischen Sanierung. Der Schwerpunkt hierbei konzentriert sich auf den Auflagerbereich der Balkenköpfe in Verbundwirkung mit Innendämmung, da diese im Zuge von Instandsetzungen von Holzbalkendecken häufig zum Einsatz kommt und die Ausbildung bauphysikalisch eine Herausforderung darstellt. Daher ist es wichtig eine grundlegende Übersicht über mögliche Ausführungsvarianten aufzuzeigen.

In dieser Arbeit werden die verschiedenen Konstruktionen im Bereich der Holzbalkenköpfe beschrieben und deren Umsetzbarkeit analysiert. Hierzu werden Daten anhand von Texten und Abbildungen gesammelt und daraus bereits existierende Informationen abgeleitet und neu interpretiert. Abschließend wird der aktuelle Stand der Forschung im Kontext der im Rahmen dieser Arbeit gesetzten Schwerpunkte analysiert.

Zur Erhebung der relevanten Daten sowie der anschließenden Bearbeitung dieser Thematik werden neben wissenschaftlichen Forschungsprojekten auch Publikationen, Merkblätter sowie Normen und Richtlinien herangezogen.

Um unterschiedliche Sanierungsvarianten zu analysieren werden am Ende der Arbeit zwei Praxisgebäude und die dortige Situation der Holzbalkenköpfe beschrieben, um diese anschließend innerhalb der beiden Beispiele miteinander zu vergleichen.

Die Beurteilung der in den Praxisgebäuden analysierten Balkenköpfe zeigt für alle Sanierungsvarianten des Auflagerbereichs eine unkritische Holzfeuchte. Die Ausbildung des Auflagers der Balkenköpfe hat eine eher geringe Einwirkung auf die Feuchtesituation. Ein größerer Einfluss erfolgt durch das Anbringen einer Innendämmung sowie bei generell höheren relativen Luftfeuchten im Innenraum. Dementsprechend ist auf den Luftaustausch zwischen Auflagertasche und Innenraum zu achten. Des Weiteren führt ein guter Schlagregenschutz zu einer Verringerung des Entstehungspotential von Feuchteschäden.

Abstract

This thesis deals with the evaluation of wooden beam heads that are integrated into the wall structure of existing old buildings, as well as the basic possibilities for the execution of different constructions in the context of a thermal renovation. The focus here is on the support area of the beam heads in combination with interior insulation, as this is often used in the course of repairs to wooden beam ceilings and the training represents a challenge in terms of building physics. It is therefore important to provide a basic overview of possible design variants.

In this work, the various constructions in the area of the wooden beam heads are described and their feasibility analyzed. For this purpose, data is collected using texts and images, and existing information is derived from this and reinterpreted. Finally, the current state of research is analyzed in the context of the priorities set in this work.

In addition to scientific research projects, publications, leaflets, standards, and guidelines are also used to gather relevant data and subsequently process this topic.

In order to analyze different renovation variants, two buildings and the situation of their wooden beam heads are recorded at the end of the work. These beam heads are then compared to each other within the two examples.

The assessment of the beam heads analyzed in the practice buildings shows an uncritical wood moisture content for all renovation variants of the support area. The design of the support of the beam heads has a rather small effect on the moisture situation. A greater influence occurs through the installation of interior insulation as well as generally higher relative humidity in the interior. Accordingly, attention must be paid to the exchange of air between the support pocket and the interior. Furthermore, good protection against driving rain leads to a reduction in the potential for moisture damage.

Abkürzungsverzeichnis

EC5	Eurocode 5
OSB	Oriented strand board
PE	Polyethylen

Schlüsselbegriffe

Feuchteschutz	Heat insulation
Holzbalkendecke	Wooden beam ceiling
Holzbalkenkopf	Wooden beam head
Innendämmung	Interior insulation
Thermische Sanierung	Thermal renovation
Wärmeschutz	Heat insulation

Inhaltsverzeichnis

DANKSAGUNG	I
KURZFASSUNG	II
ABSTRACT	III
ABKÜRZUNGSVERZEICHNIS	IV
SCHLÜSSELBEGRIFFE	V
INHALTSVERZEICHNIS	VI
1. EINLEITUNG	8
1.1. Forschungsfrage	9
1.2. Relevanz	9
2. METHODE	10
3. BEURTEILUNGSKRITERIEN	11
3.1. Gebrauchstauglichkeit	11
3.1.1. Durchbiegung	12
3.1.2. Schwingung	13
3.2. Energieeffizienz	17
3.3. Wärme und Feuchteschutz	21
3.3.1. Zusammenhang zwischen Wärme und Feuchte	21
3.3.2. Holzfeuchte	22
3.3.3. Feuchteschutz	24
3.3.4. Wärmeschutz	26
4. AUSFÜHRUNGSVARIANTEN	29
4.1. Auflagersituationen und konstruktive Hinweise	29
4.1.1. Balkenkopf in Außenwand	31
4.1.2. Balkenkopf in Fachwerkaußenwand	31
4.1.3. Durchbindender Balkenkopf	32
4.1.4. Balkenkopf auf Konsolauflager	32
4.1.5. Deckenbalken auf Mauerlatte	33
4.2. Varianten von Innendämmsystemen	34
4.2.1. Diffusionsdichte Innendämmungen	35
4.2.2. Diffusionshemmende Innendämmungen	35
4.2.3. Diffusionsoffene Innendämmungen	36
4.3. Varianten des luftdichten Anschlusses	38

4.3.1.	Klebeband.....	38
4.3.2.	Putzanschlussband.....	39
4.3.3.	Folien – Manschette.....	40
4.3.4.	Dickbeschichtung.....	41
4.3.5.	Butyl-Kautschuk-Klebeband.....	42
4.3.6.	Speziallösung – Reinacrylat Dispersion.....	43
4.3.7.	Injektionskanal.....	44
5.	GEGENÜBERSTELLUNG UND BEURTEILUNG	45
5.1.	Praxisbeispiel 1.....	45
5.1.1.	Objektbeschreibung.....	45
5.1.2.	Variante 1 – Aluminiumblech.....	47
5.1.3.	Variante 2 – Dämmung und Fuge.....	47
5.1.4.	Variante 3 – Dämmung und Konvektion.....	48
5.1.5.	Variante 4 – Fuge.....	48
5.1.6.	Variante 5 – Konvektion.....	49
5.1.7.	Variante 6 – Abgedichtet.....	49
5.1.8.	Vergleich und Bewertung.....	50
5.2.	Praxisbeispiel 2.....	53
5.2.1.	Objektbeschreibung.....	53
5.2.2.	Variante 1 – Überblattung mit Mörtelbett.....	56
5.2.3.	Variante 2 – Schlitzblech.....	56
5.2.4.	Variante 3 – Überblattung mit Aerogelmatte.....	57
5.2.5.	Variante 4 – Überblattung mit Elastomerauflager.....	58
5.2.6.	Variante 5 – Überblattung mit Aerogelmatte und Dämmung.....	58
5.2.7.	Variante 6 – Überblattung mit Kupferplatte.....	59
5.2.8.	Vergleich und Bewertung.....	60
6.	ZUSAMMENFASSUNG – AUSBLICK	63
	QUELLENVERZEICHNIS	65
	ABBILDUNGSVERZEICHNIS	68
	ANHANG	74

1. Einleitung

Die Ausführung von Holzbalkendecken erstreckt sich bereits über viele Epochen der Architekturgeschichte und gilt als älteste Form zur Herstellung von Geschoßdecken. Dies liegt vor allem daran, dass Holz als natürlich vorkommende Ressource leicht zugänglich ist und sich anschließend durch einen recht simplen Aufbau der Konstruktion gut verarbeiten lässt. In ihrer einfachsten Form liegen die Holzbalken auf den tragenden Wänden auf und werden mit Brettern an der Oberseite beplankt, um eine Lauffläche zu bilden. Im Lauf der Zeit erhöhten sich zunehmend die Anforderungen an den Wohn- und Nutzungskomfort sowie an die Sicherheit, was zu einer stetigen Weiterentwicklung der Decken führte. Die Folge waren neue Konstruktionsformen, wie zum Beispiel die Bohlen-Balken-Decken, welche erstmals hohle Zwischenräume aufwies und mit diversen Schüttungen befüllt werden konnte, um einen besseren Schall-, Brand- und Wärmeschutz zu gewährleisten.¹

In weiterer Folge etablierten sich die Holzbalkendecken in der Form wie sie bis in die erste Hälfte des 20. Jahrhunderts bei Wohn- und Nutzbauten ausgebildet wurden. In modernen Wohnbauten wurde die Holzbalkendecke mittlerweile von Stahlbeton- und Holz-Beton-Verbunddecken aufgrund der anwachsenden Ansprüche abgelöst. Lediglich bei Einfamilienhäusern kommt es heutzutage vereinzelt noch zu neuen Ausbildungen von Holzbalkendecken. Bei Altbauten spielen diese vor allem in der heutigen Zeit nach wie vor eine große Rolle, da sie aufgrund der alternden Gebäudestruktur oftmals in einem sanierungsbedürftigen Zustand vorgefunden werden. Hierbei bildet besonders der Bereich um den im Mauerwerk aufliegenden Balkenkopf eine bautechnische sowie bauphysikalische Herausforderung.

¹ Kayser, Christian: Bis sich die Balken biegen. In: <https://www.db-bauzeitung.de/bauen-im-bestand/historische-bautechniken/holzbalkendecken/> (letzter Zugriff: 13.04.2022)

1.1. Forschungsfrage

Diese Bachelorarbeit befasst sich im Allgemeinen mit der Holzbalkendecke im Rahmen der thermischen Sanierung und soll einen grundsätzlichen Überblick über die Thematik geben. Die wissenschaftliche Fragestellung lautet hierbei: Welchen Einfluss haben Ausführungsvarianten mit Innendämmung auf die Energieeffizienz, Luftdichtheit sowie den Wärme- und Feuchteschutz?

Im Detail fokussiert sich der Schwerpunkt dieser Aufgabenstellung auf den Bereich um den Holzbalkenkopf, welcher im Mauerwerk aufgelagert ist. Das Hauptziel dieser Arbeit umfasst die wissenschaftliche Auseinandersetzung mit den bauphysikalischen und konstruktiven Auswirkungen unterschiedlicher Sanierungsmaßnahmen auf diesen Auflagerbereich im Verbund mit Innendämmungen, da deren Ausführung bei sanierungsbedürftigen Balkenköpfen eine gewisse Herausforderung darstellt.

1.2 Relevanz

In Zukunft werden aufgrund von ökonomischen und ökologischen Aspekten immer mehr Bauten generalüberholt werden. Durch den stetig alternden Gebäudezustand von Altbauten gewinnt hierbei besonders die thermische Sanierung von tragenden Geschossdecken in Holzbalkenbauweise zunehmend an Bedeutung. Im Laufe der Zeit kann hierbei vor allem der in das Mauerwerk einbindende Balkenkopf große Schäden erleiden, wodurch das gesamte Bauteil beeinträchtigt wird.

Aus diesem Grund soll diese Arbeit eine fundierte Grundlage und Zusammenfassung für die Behandlung des Auflagerbereichs in der Planung und Ausführung bilden. Somit kann die künftige Lebensdauer wie auch die Nutzungssicherheit dieser Konstruktionen sichergestellt werden.

2. Methode

Für die wissenschaftliche Bearbeitung dieser Bachelorarbeit werden bereits bestehende Informationen gesammelt und systematisch auf deren Logik und Richtigkeit analysiert sowie neu interpretiert.

Das Sammeln der benötigten Daten zur Beantwortung der Forschungsfrage erfolgte unter Grundlage einer ausführlichen Literaturrecherche im Vorfeld der Bearbeitung. Hierbei wurden Inhalte aus Forschungsprojekten, Fachtexten, Skripten sowie von wissenschaftlich-technischen Merkblättern und gesetzlichen Normen zur allgemeinen Informationsbeschaffung herangezogen. Mithilfe des hierdurch erworbenen Grundwissens über die Thematik der Holzbalkendecke in der thermischen Sanierung, wurden die Fragestellungen in den einzelnen Kapitel bearbeitet. Bei dieser Ausarbeitung wurde eine deduktive Vorgehensweise angewandt, um den aktuell bestehenden Stand der Forschung in diesem Bereich auf seine Validität zu prüfen.

Am Ende dieser Bachelorarbeit werden die wichtigsten Erkenntnisse der Aufgabenstellung nochmals zusammengefasst und final interpretiert. Auf dieser Grundlage kann zudem noch ein kurzer Ausblick über das behandelte Themengebiet gegeben werden.

3. Beurteilungskriterien

Die Beurteilung einer Holzbalkendecke im Bestand erfolgt durch die Analyse der Kriterien Gebrauchstauglichkeit, Energieeffizienz sowie Wärme- und Feuchtschutz. In den nachfolgenden Unterkapiteln werden die Definitionen ausführlicher erläutert und eine grundlegende Übersicht über die einzelnen Punkte geschaffen.

3.1. Gebrauchstauglichkeit

Allgemein betrachtet fallen unter dem Begriff der Gebrauchstauglichkeit von Holzbalkendecken jegliche bauphysikalischen Betrachtungsweisen wie die Luftdichtheit sowie auch der Wärme- und Feuchteschutz, welche in den folgenden Kapiteln beschrieben werden. Hierzu zählt aber auch der statische Aspekt dieser Holzdeckenkonstruktionen. Grundsätzlich versteht man unter dem Begriff der Gebrauchstauglichkeit im Bereich der Tragwerkslehre die Fähigkeit eines Bauteils seine vorgesehene Nutzung ohne Einschränkungen zu ermöglichen. Durch den Fakt, dass die Grenzzustände der Tragfähigkeit und die Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit nicht proportional zueinander verlaufen, ist es nötig, auch die Gebrauchstauglichkeit einer Konstruktion nachzuweisen. Des Weiteren ist dessen Beurteilung von großer Bedeutung, da die Anforderungen der Gebrauchstauglichkeit an das Bauteil höher sind als jene der Tragfähigkeit.²

Bei der Gebrauchstauglichkeit von Holzbalkendecken im Bestand spielt das subjektive Empfinden der Nutzer eine große Rolle. Unter normal vorgesehener Nutzung auftretende Schwingungen können zu Verunsicherung und Unbehagen bei den Benutzern führen, obwohl die Konstruktion statisch gesehen gar nicht einsturzgefährdet wäre.

Besonders bei Altbauten kommt es oftmals zu dem Fall, dass die in die Jahre gekommenen Holzbalkendecken nicht mehr den heutigen Kriterien zur Erfüllung der Gebrauchstauglichkeit entsprechen. Folglich kann die Konstruktion durch unter-

² Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. In: <https://www.ingenieurkurse.de/baustatik-1/kurs-baustati/aufgaben-der-baustatik/tragwerksentwurf.html> (letzter Zugriff: 13.04.2022)

schiedliche Sanierungsmaßnahmen ertüchtigt werden, um die Gebrauchstauglichkeit wieder herzustellen und eine damit verbundene problemlose Nutzung ermöglichen zu können.³

Der rechnerische, statische Nachweis der Gebrauchstauglichkeit umfasst Berechnungen zur Durchbiegung und Schwingung, welche für die anschließende Bewertung der Konstruktion erforderlich sind. Die allgemeine Definition sowie die Vorgehensweise zur Ermittlung der beiden Nachweise wird in den nachfolgenden Punkten genauer dargestellt.

3.1.1. Durchbiegung

Grundsätzlich versteht man unter dem Begriff der Durchbiegung den Versatz zwischen belasteten und unbelasteten Balken quer zur Längsachse. Vereinfacht bedeutet dies, dass sich die Konstruktion unter Belastung in einem bestimmten Ausmaß nach unten hin durchbiegt. Im Allgemeinen setzt sich diese Verformung des Tragwerks aus folgenden fünf Anteilen zusammen:

- W_{inst} : Anfangsdurchbiegung infolge Eigengewicht und weiteren veränderlichen Verkehrslasten
- W_{creep} : Durchbiegung, welche durch das Kriechverhalten des Holzes hervorgerufen wird
- W_c : Überhöhung
- $W_{net,fin}$: gesamte Enddurchbiegung ohne Überhöhung
- W_{fin} : Enddurchbiegung, welche sich aus Eigengewichten, veränderlichen Verkehrslasten sowie Kriechen zusammensetzt

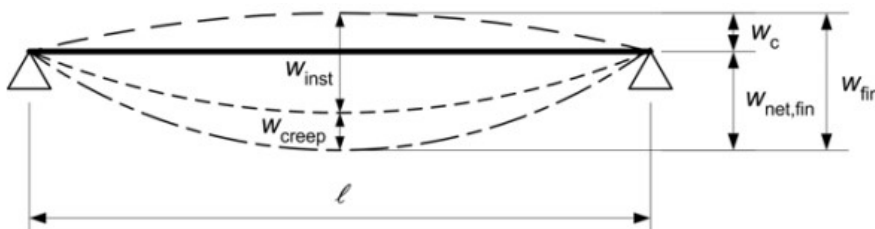


Abb. 1: Anteile der Durchbiegung

³ Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA I: Schwingungen, Durchbiegungen, Tragfähigkeit. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2013. S.3ff.

Bei der Nachweisführung der Gebrauchstauglichkeit nach EC5 sind die Anfangsdurchbiegung, Enddurchbiegung und die gesamte Enddurchbiegung getrennt zu berechnen. Die in der Abb. 2 angeführten Werte geben die Grenzwerte der Durchbiegung von Biegestäben an. Unter Annahme dieser Spannen erfolgt die Nachweisführung, welche im Anhang 1 ausführlicher erläutert wird.⁴

	w_{inst}	$w_{net,fin}$	w_{fin}
Beidseitig aufgelagerte Biegestäbe	ℓ/300 to ℓ/500	ℓ/250 to ℓ/350	ℓ/150 to ℓ/300
Auskragende Biegestäbe	ℓ/150 to ℓ/250	ℓ/125 to ℓ/175	ℓ/75 to ℓ/150

Abb. 2: Beispiele für Grenzwerte der Durchbiegungen von Biegestäben

3.1.2. Schwingung

Wenn man im Kontext der Gebrauchstauglichkeit von sogenannten Schwingungen spricht, sind damit langsame Schwingungen in einem Frequenzbereich von 0 bis circa 40 Hz gemeint. Diese können, wie in Abb. 3 zu sehen ist, von Person zu Person unterschiedlich stark wahrgenommen werden. Um diese Probleme zu verhindern, ist es wichtig bei der Untersuchung von Holzbalkendecken klaren Vorschriften und Regelungen zur Bemessung folgen zu können.⁵



Abb. 3: Subjektives Schwingungsempfinden

Grundsätzlich ist es das Ziel sicherzustellen, dass öfter auftretende Einwirkungen bzw. Belastungen auf die Decke keine Schwingungen zur Folge haben, welche die

⁴ ÖNORM B 1995-1-1:2015. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. 15.06.2015. Hrsg.: Austrian Standards Institute.

⁵ Hamm, Patricia: Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis. Biberach: Hochschule Biberach. Skriptum. 2012. S.3.

Funktion des Tragwerks beeinträchtigen oder den Benutzern ein unsicheres Gefühl in der Nutzung des Bauteils vermitteln.⁶

Ein stehender Mensch nimmt vor allem auftretende Frequenzen zwischen 4 und 8 Hz wahr. Bei Holzbalkendecken können drei unterschiedliche Varianten von Einwirkungen zum Auftreten von Schwingungen führen. Im Detail handelt es sich hierbei um sich wiederholende Einwirkungen wie Laufen und Tanzen, Impulse mit längerer Dauer der Einwirkung wie ein Auftritt mit dem Fuß, sowie kurze Impulse wie etwa ein Fersenimpuls. Durch das Auftreten dieser Belastungen sind für den Nachweis der Schwingung Anforderungen an die Frequenz, Steifigkeit und Masse der Deckenkonstruktion zu untersuchen.

Bei Betrachtung der Frequenzanforderung sollte beachtet werden, dass die Eigenfrequenz f_1 der Konstruktion ≥ 8 Hz beträgt, damit eine mögliche Resonanz, welche durch wiederholte Einwirkungen entsteht, vermieden werden kann. Betrachtet man die einzelnen Parameter zur Berechnung dieser Frequenz, ist zu erkennen, dass hierbei die Stützweite, Steifigkeit und Masse einer Decke einfließt. Die Formel der Eigenfrequenz eines Holzbalkens lautet:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} * \sqrt{\frac{E \cdot I}{m}} \quad (1.1)$$

Bei der Anforderung der Steifigkeit kommt es zu einem Zusammenhang zwischen der Schwingung sowie der Durchbiegung einer Decke unter Einwirkung einer Einzellast F von 1 kN. In weiterer Folge ergeben sich für die Steifigkeit drei Anforderungsbereiche. Diese reichen von schwingungsanfällig ($w_{F, \text{grenz}} = 1,00 \text{ mm} / 1 \text{ kN}$) über leicht schwingungsanfällig ($w_{F, \text{grenz}} = 0,50 \text{ mm} / 1 \text{ kN}$) bis hin zu nicht schwingungsanfällig ($w_{F, \text{grenz}} = 0,25 \text{ mm} / 1 \text{ kN}$).

Die Masseanforderung wird über Grenzen der Schwinggeschwindigkeit v definiert. Hierfür wird ein Einheitsimpuls (1 Ns) auf die Decke aufgebracht, welcher die

⁶ ÖNORM B 1995-1-1:2015. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. 15.06.2015. Hrsg.: Austrian Standards Institute.

höchste Eigenfrequenz erzeugt. Allgemein gilt, dass die Eigenfrequenz einer Decke durch eine größere Masse negativ beeinflusst wird.⁷

Allgemein ist das Schwingungsverhalten durch Messungen oder Berechnungen abzuschätzen. Hierbei sind die zu erwartende Steifigkeit sowie der Dämpfungsgrad zu berücksichtigen. Sind für die Decken keine genauen Werte vorhanden, so kann der modale Dämpfungsgrad mit $\zeta=0,01$ (1%) angenommen werden.

Schwingungen eines Bauteils oder Tragwerks, welche durch Maschinen verursacht werden, sind für ungünstig zu erwartenden Kombinationen von ständigen und veränderlichen Lasten zu begrenzen.

Für Wohnungsdecken, welche eine Eigenfrequenz von max. 8 Hz aufweisen ist eine besondere Untersuchung nötig. Liegt dieser Wert über 8 Hz besteht für Wohnungsdecken keine Problematik, wodurch diese dann mit einem Näherungsverfahren nachgewiesen werden können. Die zugehörigen Anforderungen für die besondere Untersuchung lauten wie folgt:⁸

$$\frac{w}{F} \leq a \text{ mm/kN} \quad (1.2)$$

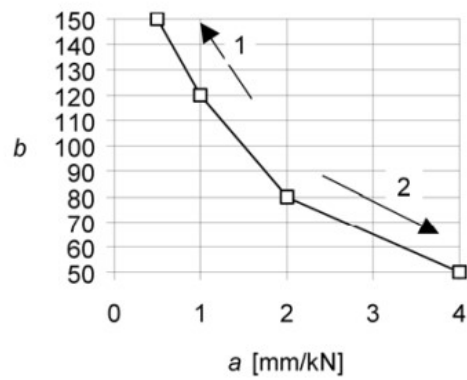
$$v \leq b^{(f_1 \zeta - 1)} \text{ m/(Ns}^2) \quad (1.3)$$

Die Bildung der Grenzwerte für die Schwinggeschwindigkeit v sowie der Beschleunigung a erfolgt aus dem Wertepaar a' und b' , dem Dämpfungsgrad sowie der Eigenfrequenz. Je nachdem, ob für ein besseres oder schlechteres Schwingungsverhalten entschieden wird, ergibt sich ein bestimmtes Wertepaar a und b .⁹

⁷ Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA I: Schwingungen, Durchbiegungen, Tragfähigkeit. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2013. S.5ff.

⁸ ÖNORM B 1995-1-1:2015. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. 15.06.2015. Hrsg.: Austrian Standards Institute.

⁹ Merkblatt 02-04 Gebrauchstauglichkeit von Holzbalkendecken. Hrsg.: bauart Konstruktions GmbH & Co. KG. Lauterbach 2017. S.4.



Legende

- 1 besseres Verhalten
- 2 schlechteres Verhalten

Abb. 4: Wertepaar a und b

Die weiteren genauen Schritte zur Berechnung des Nachweises für die Gebrauchstauglichkeit hinsichtlich der Schwingung von Holzbalkendecken nach dem Eurocode 5 sind ebenfalls im Anhang 1 dieser Arbeit ersichtlich.

3.2. Energieeffizienz

Bei der thermischen Sanierung eines Gebäudes ist eine Verbesserung der Energieeffizienz nicht nur mit einem geringeren Jahresheizwärmebedarf und einer besseren Energiekennzahl verbunden, sondern auch mit dem Erlangen von Fördermitteln für den Bauherrn. Bei sanierungsbedürftigen Altbauten besteht vor allem durch eine Dämmung der tragenden Außenwände ein gutes Energieeinsparungspotential. In diesem Kapitel wird die Auswirkung einer Innendämmung im Bereich des Holzbalkenkopfes auf die Energieeffizienz eines Gebäudes genauer beschrieben.¹⁰

Die Dimensionierung der inneren Dämmschicht hat nicht nur einen großen Einfluss auf die Energieeffizienz, sondern steht gleichzeitig in Verbindung mit der Wärme- und Feuchtesituation der Balkenköpfe, welche im anschließenden Kapitel genauer erläutert wird. Wie in Abb. 5 zu erkennen ist, beträgt die sinnvolle Stärke für eine Innendämmung ungefähr zwischen 6 und 8 cm. Alles darüber hinaus führt zu keiner weiteren signifikanten Einsparung von Energieverlusten. Zudem würde durch die Ausführung einer dickeren Innendämmung der bestehende Wohnraum verkleinert werden.

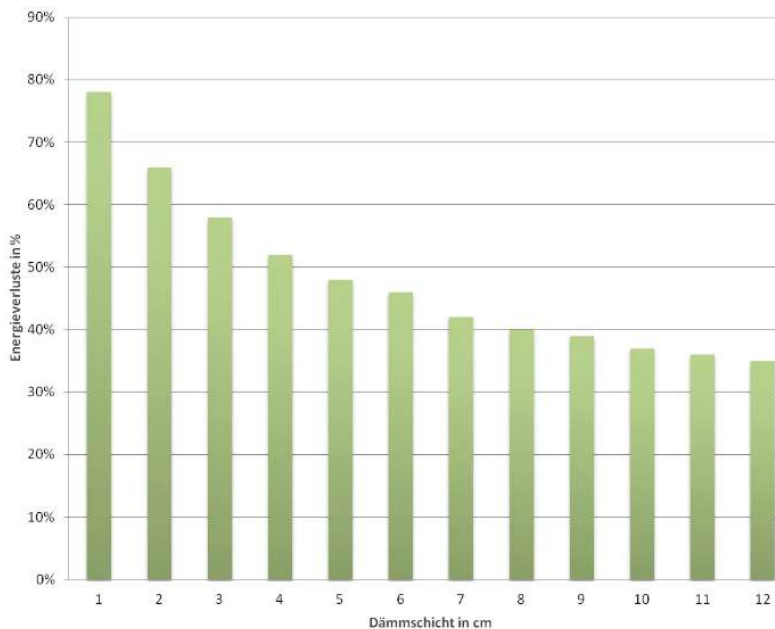


Abb. 5: Energieverluste in Abhängigkeit der Dämmstärke

¹⁰ Reiner, Erich: Umgebaute Bauernhäuser im Bregenzerwald. Energetisch-thermische Sanierung. München: Verlag DVA Architektur 2015. S.32f.

Allgemein betrachtet, nimmt die Energieeffizienz zwar mit der Stärke der angebrachten Dämmung zu, jedoch führt eine dickere Schicht gleichzeitig zu einer niedrigeren Temperatur am Balkenkopf, da die Wärme des Innenraumes nicht weit genug ausstrahlen kann. Dies führt im Anschluss zu einer erhöhten Gefahr durch Feuchteschäden. Gegenteilig betrachtet, ist bei der Wahl einer dünnen inneren Dämmschicht mit einer schlechteren Energieeffizienz zu rechnen, jedoch wird dadurch im Balkenbereich das Feuchterisiko verringert. Somit gilt es bei der thermischen Sanierung von Holzbalken beim Einsatz von Innendämmungen eine gut ausgewogene Balance zwischen der Energieeffizienz der Gebäudehülle und der Feuchtesituation der Balken in den Auflagertaschen zu finden.¹¹ Am häufigsten wird hierbei die Innendämmung bis an den Balken ausgebildet, genau wie es in dem Beispiel auf Abb. 6 der Fall ist.

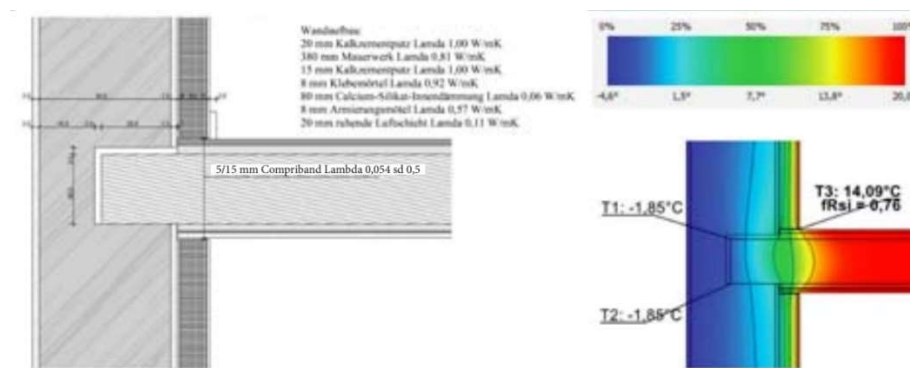


Abb. 6: Dämmung bis zum Balken herangeführt

¹¹ Innendämmung im Altbau. Probleme und Lösungen im Überblick. In: <https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/innendaemmung/innendaemmung-altbau> (letzter Zugriff: 13.04.2022)

Des Weiteren gibt es auch noch die Möglichkeit beim Anbringen einer inneren Dämmschicht den Bereich um den Balkenkopf herum gezielt auszulassen und hier größere Wärme- sowie Energieverluste ganz bewusst zu akzeptieren. Dies kann wie auf Abb. 7 einseitig oder wie auf Abb. 8 beidseitig erfolgen. Im Gegenzug hat diese Maßnahme jedoch durch den wesentlich höheren Wärmefluss in den Auflagerbereich positivere Auswirkungen auf den Zustand und die Lebensdauer des Holzbalkenkopfes. Die Temperaturen können hierbei zusätzlich mit der Installation einer Sockelheizung nochmals erhöht werden.

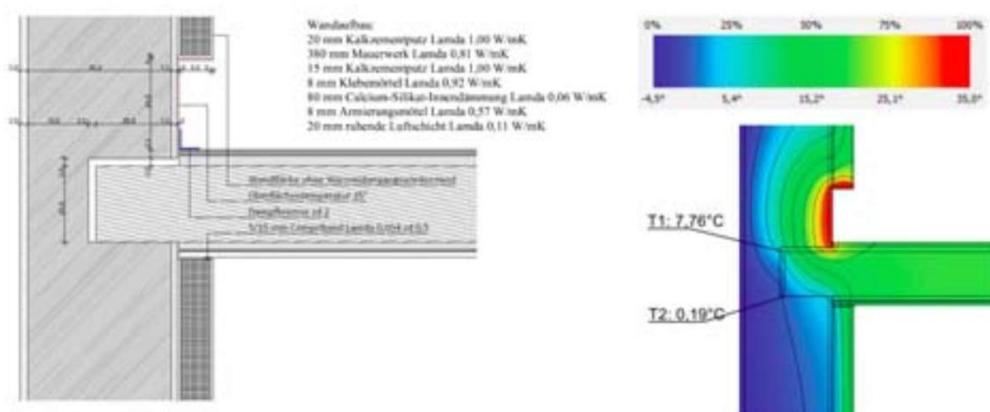


Abb. 7: Obenliegende Aussparung der Dämmung mit Sockelheizung

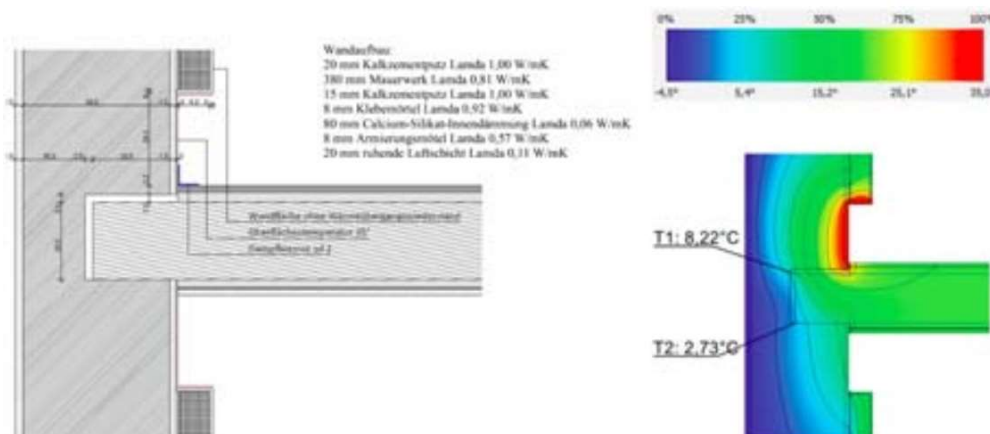


Abb. 8: Beidseitige Aussparung der Dämmung mit Sockelheizung

Wie in Abb. 9 zu erkennen ist, lassen sich mit Aussparungen viel höhere Temperaturen am Balkenaufleger erreichen als mit bis zum Balken geführten Dämmungen.

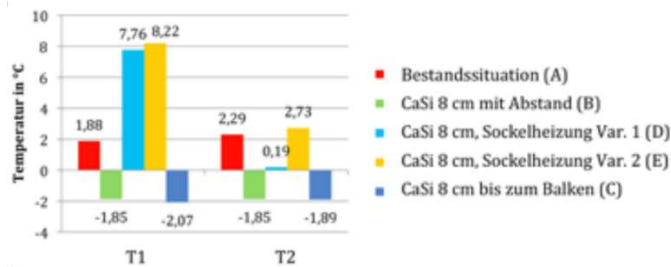


Abb. 9: Vergleich der Temperaturen am Balkenkopf

Somit gilt es, bei der thermischen Sanierung von Holzbalken im Zuge der Dimensionierung von Innendämmungen eine gut ausgewogene Balance zwischen der Energieeffizienz der Gebäudehülle und der Wärme- bzw. Feuchtesituation der Balken in den Auflagertaschen zu finden.

Auch eine entsprechend Luftdichte und möglichst genaue Ausführung des Anschlussbereiches zwischen Dämmung und Balken kann die Energieeffizienz beeinflussen. Zudem steht diese Luftdichtheit auch in direktem Zusammenhang mit der Bildung von Feuchte im Auflagerbereich. Die unterschiedlichen Ausführungsvarianten dieser Ebene werden in Kapitel 4.3 genauer erläutert.

3.3. Wärme und Feuchteschutz

Der Wärme- und Feuchteschutz spielt bei Holzbalkendecken im Bestand eine große Rolle. Besonders der Bereich des Balkenkopfes kann bei sanierungsbedürftigen Bauten durch unzureichenden Schutz anfällig für Schäden sein.

3.3.1. Zusammenhang zwischen Wärme und Feuchte

Wärme und Feuchte stehen in einem ständigen Zusammenhang und können daher bauphysikalisch nicht getrennt werden. Dies liegt an der Fähigkeit von Luft, Wasser zu binden sowie wieder abgeben zu können. Sobald sich also die Temperatur ändert, hat dies auch eine unmittelbare Änderung der relativen Luftfeuchte zur Folge. Aus diesem Grund sind stets beide Faktoren bei einer entsprechenden Beurteilung zu berücksichtigen.

Die relative Luftfeuchte beschreibt grundsätzlich zu wie viel Prozent die Luft mit Wasserdampf gesättigt ist bzw. gibt sie das Verhältnis der tatsächlich vorhandenen Wasserdampfmenge zur Sättigungsmenge der Luft bei einer bestimmten Temperatur an. Beträgt die relative Luftfeuchte 100% so ist die Luft vollständig mit Wasserdampf gesättigt. Hier spricht man vom sogenannten Sättigungspunkt, bei welchem die Luft die maximale Wassermenge im gasförmigen Zustand aufgenommen hat. Wird dieser Wert überschritten, bildet sich Kondenswasser bzw. freies Wasser an den Oberflächen von Bauteilen. Generell gilt, dass warme Luft mehr Wasser aufnehmen kann als kalte Luft und somit der Sättigungsgrad je nach Temperatur variiert. Bei einer Erhöhung der Temperatur und gleichbleibendem absoluten Wassergehalt folgt eine Reduzierung der relativen Luftfeuchte. Wird die Luft jedoch abgekühlt, kommt es bei gleichbleibender Wassermenge zu einer Erhöhung der relativen Luftfeuchte und folglich zur Entstehung von Tauwasser. Allgemein lässt sich somit sagen, dass beim Abkühlen von Luft auch direkt Wasser freigegeben wird. Je grö-

Je größer die Differenz der Temperatur zwischen Raumluft und der Oberfläche von Baustoffen ist, desto höher ist das Potential zur Bildung von Tau- bzw. Kondenswasser an den Oberflächen.¹²

Lufttemperatur T (°C)	Wassermenge Sättigung c_s (g/m ³)
-10	2,150
-5	3,260
0	4,840
5	6,825
10	9,400
15	12,850
20	17,300
25	23,050
30	30,350

Abb. 10: Sättigungsmenge in Abhängigkeit von der Temperatur

Durch diesen Zusammenhang von Wärme und Feuchte spielen vor allem Wärmebrücken und nicht ausreichend gedämmte Bauteile in der Bauphysik eine große Rolle. Probleme mit der Feuchte können sich in diesen Situationen vor allem in Form von Schimmelpilzbefall äußern. Um etwaige Gesundheitsrisiken für Menschen oder Schäden der Bauteile infolge von Feuchtigkeit zu vermeiden, sollte sich die relative Luftfeuchte in einem Bereich von 30 bis 60 Prozent bewegen.¹³

3.3.2. Holzfeuchte

Bei der Bildung von Tauwasser aufgrund von Temperaturänderungen sind auch die sorptiven Eigenschaften der verwendeten Baustoffe zu beachten. Diese unterscheiden mineralische und natürliche Materialien von Baustoffen aus Kunststoff, Glas oder Metall. Während bei den drei Letztgenannten das Kondensat nur an der Oberfläche anhaftet, steht ein mineralischer Baustoff wie etwa Holz mit seiner eigenen Ausgleichsfeuchte in einem ständigen Zusammenhang zur Raumluftfeuchte. Vor allem bei diesem Baustoff nimmt dessen Feuchtegehalt eine bedeutende Stellung ein, da er ein sehr ausgeprägtes Quell- und Schwindverhalten besitzt, sowie bei übermäßiger Feuchte anfällig für Schäden durch Pilzbefall ist.¹⁴

¹² Luftfeuchte und Wasserdampfdiffusion. Relative Luftfeuchte, Kondensat und Baustoffe. In: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/feuchteschutz/luftfeuchte-und-wasserdampfdiffusion-4381921> (letzter Zugriff 13.04.2022)

¹³ Luftfeuchtigkeit. In: <https://www.energie-lexikon.info/luftfeuchtigkeit.html> (letzter Zugriff 14.06.2022)

¹⁴ Luftfeuchte und Wasserdampfdiffusion. Relative Luftfeuchte, Kondensat und Baustoffe. In: <https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/feuchteschutz/luftfeuchte-und-wasserdampfdiffusion-4381921> (letzter Zugriff 13.04.2022)

Im Allgemeinen betrachtet, ist Holz ein poröses Material mit hygrokopischen Eigenschaften. Unter dem hygrokopischen Verhalten versteht man die Fähigkeit, durch Poren und Kapillaren innerhalb der Stoffstruktur, abhängig von dem umgebendem Raumklima Feuchtigkeit aufzunehmen und wieder abzugeben. Durch diese Eigenschaft nimmt das Holz im Laufe der Zeit einen bestimmten Feuchtegehalt ein, welcher mit der umgebendem Raumluftfeuchte in einem ausgewogenen Gleichgewicht steht. Diese eigene Menge an Feuchtigkeit des Holzes wird Ausgleichsfeuchte genannt und bedeutet somit auch, dass es nie vollständig trocken sein wird. Grundsätzlich werden bei diesem Baustoff zwei Bereiche der Feuchtigkeit unterschieden. Zum einen gibt es den hygrokopischen Bereich, bei welchem der Feuchtegehalt unter dem Fasersättigungspunkt liegt und in einem Zusammenhang mit der Luftfeuchte und Temperatur der umgebenden Raumluft steht. Der zweite Bereich beschreibt den kapillaren Bereich, wo der Feuchtegehalt oberhalb des Fasersättigungspunktes des Holzes liegt.¹⁵

Der Fasersättigungsbereich bzw. Fasersättigungspunkt beschreibt einen bestimmten Zustand der Holzfeuchte, an welchem das in der Umgebung vorhandene Wasser nichtmehr gebunden in der Zellwand eingelagert werden kann, da die Zellen vollständig gesättigt sind. Wird dieser Bereich überschritten findet eine Aufnahme des Wassers, wie im oberen Absatz bereits beschrieben, nurmehr kapillar in den Poren des Stoffes statt. Üblicherweise liegt die Fasersättigungsfeuchte abhängig von der verwendeten Holzart meistens in einem Bereich von 27 bis 32 Prozent. Ist der Sättigungspunkt einmal erreicht so quillt das Holz auch bei höherer Feuchtigkeit nichtmehr weiter auf. Liegt diese jedoch darunter beginnt das Holz in Form von Quellen und Schwinden zu arbeiten, da es sich zusammenziehen und bei erneuter Aufnahme von Wasser wieder ausbreiten kann.¹⁶

¹⁵ Feuchtebedingte Größen. Holzfeuchte. In: https://ueba.elkonet.de/wbt/IMPORTER/Bautechnik/Bauwerk+_+Baustofftechnik/Feuchtebedingte+Gr%C3%B6%C3%9Fen/Holzfeuchte.html (letzter Zugriff 13.06.2022)

¹⁶ Fasersättigungsbereich. In: <https://www.holzvomfach.de/fachwissen-holz/glossar/faseraettigungsbereich/> (letzter Zugriff 12.06.2022)

3.3.3. Feuchteschutz

Ein sehr wichtiger Faktor beim Feuchteschutz des Auflagerbereichs von Holzbalkendecken ist der sogenannte Schlagregenschutz. Schlagregen entsteht aus der Kombination von starkem Niederschlag und Wind und kann zu einer Durchfeuchtung des Bauteils führen. In weiterer Folge kann die Feuchte bis zum Holzbalkenkopf vordringen und dadurch Schäden verursachen. Um dies zu verhindern, muss das Mauerwerk ausreichend gegen den Schlagregen geschützt sein. Besonders bei außen ungedämmten Bauwerken ist auf etwaige äußere Risse oder Beschädigungen in der Fassade zu achten. Um die Konstruktion und den Holzbalkenkopf ausreichend gegen Schlagregen zu schützen, gibt es unterschiedliche Maßnahmen:

- Konstruktiver Schutz in Form von Dachüberständen (nimmt jedoch mit der Höhe ab) oder dickeren Aufbauten
- Besondere wasserabweisende Putze und Beschichtungen
- Verschließen von Rissen

Bezogen auf die Feuchtesituation bei Konstruktionen mit Innendämmung ist zu erwähnen, dass die Ausführung einer inneren Dämmebene bei einer sehr hohen Schlagregenbelastung eher kritisch zu betrachten ist. Der Grund dafür ist, dass durch die Innendämmung die Wärme, welche von innen nach außen strömt erheblich reduziert wird. Dadurch kann das Mauerwerk nur noch über die Sonneneinstrahlung und Umgebungsluft austrocknen. Somit droht eine Durchfeuchtung des Bauteils und eine Schädigung des Holzbalkenkopfes, welcher dann im feuchten Mauerwerk aufgelagert ist.¹⁷

Beim Feuchtschutz von Holzbalkenköpfen ist des Weiteren auf Kondensat bildende Leitungsführungen an oder innerhalb des Mauerwerks zu achten. Auch diese können zu Feuchtigkeit und in weiterer Folge zu Schäden führen.

Ein weiterer Aspekt ist die Vermeidung von sogenannten „Luftumspülten“ Balkenköpfen, da durch den Spalt bei dieser Konstruktion ein Luftaustausch zwischen Auf-

¹⁷ Von Stein, Christoph: Schlagregenschutz verhindert Eindringen von Feuchtigkeit. In: <https://www.energiefachberater.de/daemmung/fassadendaemmung/innendaemmung/schlagregenschutz-verhindert-eindringen-von-feuchtigkeit.php> (letzter Zugriff 13.04.2022)

lagertasche und Rauminnenseite stattfindet. Um dadurch das Risiko für Feuchteschäden zu vermindern, sollte ein möglichst konvektionshemmender Anschluss ausgeführt werden. Zudem kann durch das Anbringen einer Sperrschicht im Bereich des Auflagers, also zwischen Holzbalken und Mauerwerk verhindert werden, dass Feuchtigkeit aus dem Mauerwerk in das Holz gelangt.¹⁸

Um trotz Innendämmung ein möglichst hohes Trocknungspotential zu erreichen, sollten hier diffusionsoffenerere Konstruktionen bevorzugt werden, da diffusionshemmende Dämmungen die Austrocknung nach innen stärker reduzieren. Auf diese Dämmsysteme wird in Kapitel 4.2 genauer eingegangen. Für Innendämmungen kann bei Belastung durch Tauwasser oder Schlagregen ein vereinfachter Nachweis nach dem WTA Merkblatt 6-4 durchgeführt werden. Ist dieses Verfahren nicht möglich, ist eine hygrothermische Simulation erforderlich.

Die Feuchtesituation im Auflagerbereich ist somit also von vielen verschiedenen Einflussfaktoren abhängig. Grundsätzlich gilt für den Feuchtschutz von Holzbalkenköpfen, dass deren Holzfeuchte nicht dauerhaft über 20 M-% liegen sollte. Wird dieser Wert über einen längeren Zeitraum überschritten, kann dies zu Schäden bis hin zur vollständigen Zerstörung durch Pilz- oder Schädlingsbefall führen.¹⁹

¹⁸ Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.4f.

¹⁹ Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.9.

3.3.4. Wärmeschutz

Bei der Beurteilung des Wärmeschutzes ist besonders auf die Lage der wärmedämmenden Schichten zu achten, da diese unterschiedliche Auswirkungen auf die Temperaturen in den Auflagertaschen der Holzbalkenköpfe haben. Grundsätzlich wird hier zwischen drei unterschiedlichen Dämmvarianten unterschieden:

- Außendämmung
- Innendämmung
- Kern- bzw. Zwischendämmung

Bezogen auf die Balkenköpfe stellt eine Außendämmung die einfachste und unproblematischste Lösung dar. Sie ermöglicht eine gute wärmebrückenfreie Konstruktion und führt zu einer geringeren thermischen Belastung der tragenden Struktur. Der Temperaturabfall sowie die Unterschreitung des Frostpunktes erfolgt hier nur in der Dämmebene und stellt somit keine Probleme für die Tragstruktur dar. Zudem führt die Dämmung an der Außenseite zu einer Erhöhung der Temperatur innerhalb der Bestandskonstruktion, wodurch die Luftfeuchte und der Wassergehalt im Bereich des Holzbalkenkopfes sinkt. Die warme Innenraumluft sorgt somit für einen Trocknungseffekt, wodurch das Risiko für Feuchteschäden erheblich verringert wird. Zusätzlich wird mit einer Außendämmung der Schlagregenschutz einer Konstruktion erheblich erhöht.

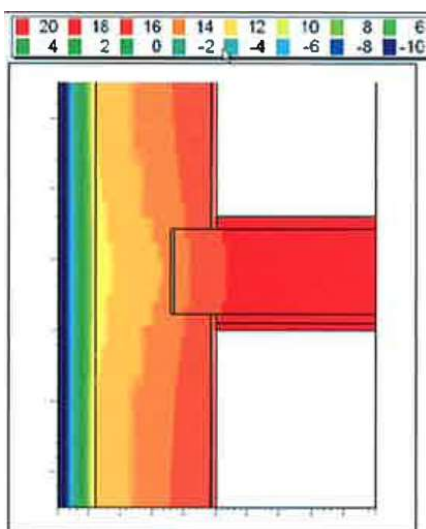


Abb. 11: Temperaturverlauf Außendämmung

Innendämmsysteme kommen üblicherweise bei denkmalgeschützten Bestandsbauten zum Einsatz, da hier eine Veränderung des Fassadenbilds durch das Anbringen einer Außendämmung nicht möglich ist. Bei diesen Konstruktionen erfolgt der Temperaturabfall raumseitig in der Dämmebene. Die tragende Struktur des Bauteils befindet sich völlig im frostgefährdeten Bereich und ist dem Frost- sowie Tauwechsel ausgesetzt. Hier kann es unter Umständen zu Frostschäden des Holzbalkenkopfes oder wasserführender Leitungen kommen. Zusätzlich ist die Ausführung einer Innendämmung mit der Bildung von Wärmebrücken verbunden, da an der Rauminnenseite kein durchgehender Anschluss ausgebildet werden kann. Diese Ausführung stellt durch mögliche Kondensatbildung an der kalten Oberfläche ein erhöhtes Risiko für Feuchteschäden der Holzbalkenköpfe dar.

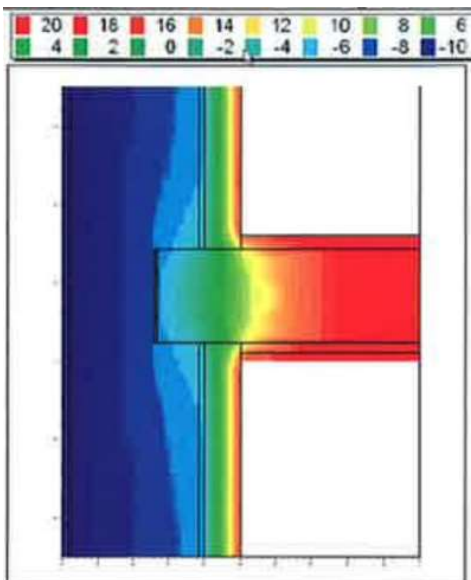


Abb. 12: Temperaturverlauf Innendämmung

Bei Konstruktionen mit Kerndämmung, also einer wärmedämmenden Schicht innerhalb des Bauteils, ist darauf zu achten, wo der Holzbalkenkopf aufliegt. Wenn dieser auf der inneren Schale und somit vor der Dämmung aufliegt, führt dies zu ähnlich guten thermischen Eigenschaften wie bei Konstruktionen mit Außendämmung. Auch hier sinkt der Feuchtgehalt des Holzes durch die erhöhten Temperaturen am Balkenkopf. Jedoch ist es auch möglich, dass der Holzbalken die wärmedämmende Schicht durchbricht und somit wiederum Bedingungen wie bei Konstruktionen mit Innendämmung hervorgerufen werden.²⁰

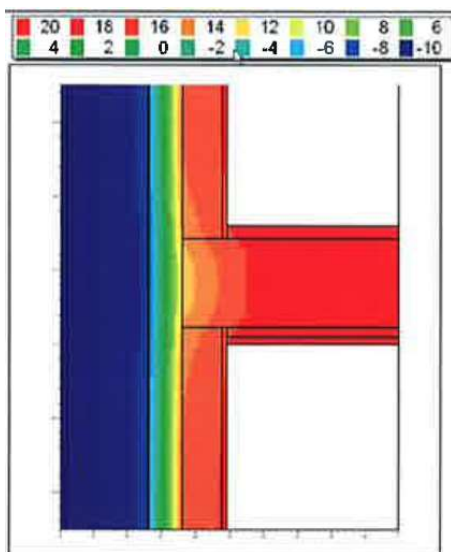


Abb. 13: Temperaturverlauf Kerndämmung

Zusätzlich kann neben der Dämmung der Wandkonstruktion auch eine Dämmung der Auflagertasche erfolgen. Hierbei können Wärmeverluste reduziert und die Temperatur innerhalb der Auflagertasche erhöht werden. Diese Dämmung sollte jedoch nicht zu stark diffusionshemmend sein und möglichst wenig flüssiges Wasser leiten. Zudem ist der Arbeitsaufwand hoch und somit im Vorfeld richtig abzuschätzen.

²⁰ Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.10f.

4. Ausführungsvarianten

In diesem Kapitel werden die unterschiedlichen Ausführungen der Bauteile am und um den Auflagerbereiche bei der thermischen Sanierung von Holzbalkenköpfen aus bautechnischer Sicht genauer erläutert. Die nachfolgenden Konstruktionen geben einen allgemeinen Überblick zur möglichen Ausbildung dieses Anschlussbereichs und deren Eigenschaften. Der Schwerpunkt hierbei beschränkt sich ausschließlich auf die raumseitig gedämmten Varianten.

4.1. Auflagersituationen und konstruktive Hinweise

Grundsätzlich ist bei Auflagervarianten in Kombination mit Innendämmung darauf zu achten, eine möglichst trockene Konstruktion zu erhalten. Durch das Anbringen einer inneren Dämmschicht ist vor allem die Änderung der Temperatur und der Feuchte innerhalb der Wandkonstruktion zu berücksichtigen. Der Balkenkopf liegt durch das verringerte Austrocknungspotential im kalten, feuchtegefährdeten Mauerwerk auf und muss im Rahmen der thermischen Sanierung entsprechend geschützt werden.

Dementsprechend sind die Holzbalken so einzumauern, dass kein direkter Kontakt zum Mörtel besteht und das Hirnholz circa 20-30mm vom Mauerwerk entfernt ist. Eine durchgehende, den Balkenkopf umschließende Dämmung ist thermisch gesehen sinnvoll, jedoch ist durch den hohen Aufwand und damit verbundene Mehrkosten die Sinnhaftigkeit dieses Vorhabens abzuwägen. Zudem ist bei allen Auflagersituationen mit Innendämmung unbedingt die Schlagregenbelastung zu beachten. Ist ein ausreichender Schlagregenschutz nicht herstellbar, muss die Dämmstärke verringert oder in Ausnahmefällen sogar gänzlich auf die innere Dämmebene verzichtet werden.²¹

²¹ Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.9.

Die nachfolgenden Beispiele geben einen ersten Überblick über die verschiedenen Varianten der Auflagersituation von Holzbalkenköpfen bei einer angebrachten Innendämmung. Je nach vorgefundener Konstruktion unterscheiden sich deren Funktionsweise und Eigenschaften, welche bei der thermischen Sanierung zu beachten sind.

4.1.1. Balkenkopf in Außenwand

Der Holzbalkenkopf liegt in einer gebildeten Aussparung direkt im massiven Mauerwerk auf und bildet dadurch eine statisch stabile Konstruktion innerhalb der Auflagentasche. Aufgrund der recht einfachen Ausführung handelt es sich hierbei um eine der am häufigsten vorgefundenen Auflagersituationen für diese Deckenkonstruktion. Je dünner die Außenwand ist, desto geringer ist der Schutz gegen Schlagregen, wodurch das Risiko für Feuchteschäden erhöht wird.

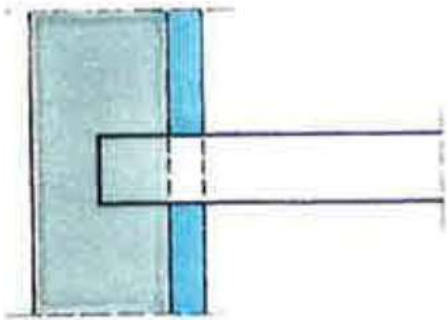


Abb. 14: Systemschnitt – Balkenkopf in Außenwand

4.1.2. Balkenkopf in Fachwerkaußenwand

Im Vergleich zu einem Massivmauerwerk liegen die Holzbalken hierbei auf einem Rahmholz als primäres Tragelement auf. Der ohnehin schon geringere Schlagregenschutz einer Fachwerkaußenwand wird durch Verwendung einer Innen- statt Außendämmung noch mehr geschwächt. Da diese Konstruktion kaum konstruktiven Puffer bis zur Außenluft aufweist, sind zudem große Temperaturschwankungen im Balkenkopf zu erwarten.

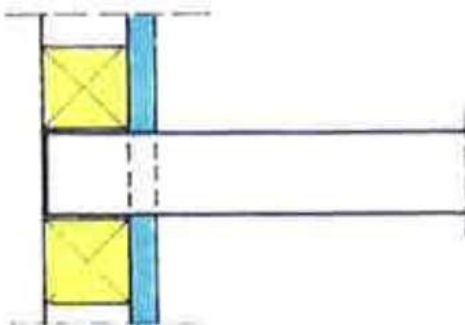


Abb. 15: Systemschnitt – Balkenkopf in Fachwerkaußenwand

4.1.3. Durchbindender Balkenkopf

Verläuft der Holzbalkenkopf nicht nur durch die innere Dämmebene, sondern auch komplett durch das tragende Mauerwerk spricht man von einer durchbindenden Konstruktion. Als Auflager der Deckenbalken dient das massive Mauerwerk selbst. Bei dieser Konstruktion ist besonders auf die direkte Feuchtebelastung des Balkenkopfes durch Niederschläge zu achten. Zudem ist durch zusätzliche Wärmebrücken mit einem erhöhten Wärmeverlust zu rechnen.

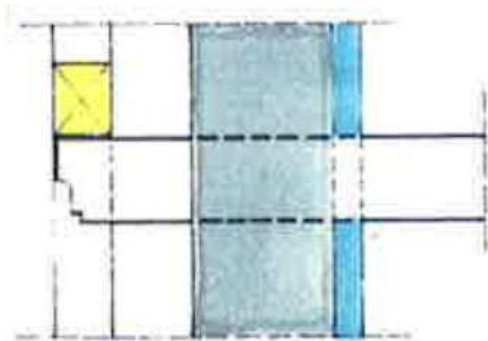


Abb. 16: Systemschnitt – Durchbindender Balkenkopf

4.1.4. Balkenkopf auf Konsolaufleger

Im Gegensatz zum Durchbindenden Balkenkopf wird das massive Mauerwerk durch Ausführung einer sogenannten Konsole nicht durchbrochen. Der Balkenkopf liegt hierbei auf einem im Mauerwerk verankerten Kragstein auf, durchdringt dieses nicht, sondern lediglich die innere Dämmebene. Die zusätzliche Aussparung der Innendämmung hat zur Folge, dass die entstehende Wärmebrückenfläche vergrößert wird.

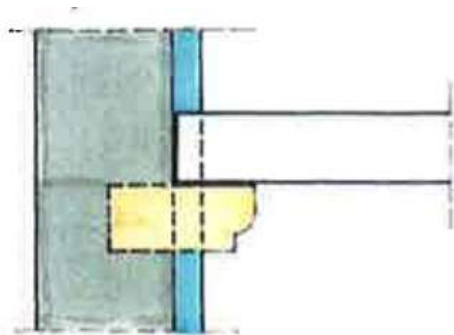
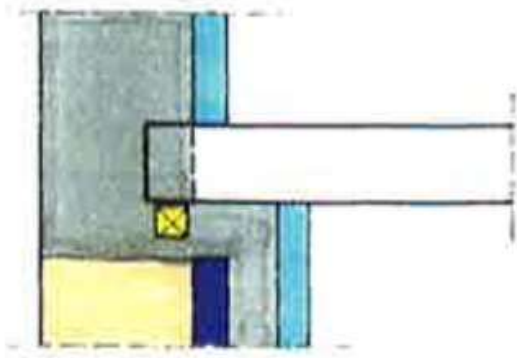


Abb. 17: Systemschnitt - Balkenkopf auf Konsolaufleger

4.1.5. Deckenbalken auf Mauerlatte

Die Holzbalken liegen auf einer Holzlatte als Auflager auf und durchstoßen das Mauerwerk nur geringfügig. Bei dieser Konstruktion muss berücksichtigt werden, dass auch die unter den Balken verlegte Latte Fäulnisschäden erleiden kann. Dies kann zu einer zusätzlichen Beeinträchtigung der Tragfähigkeit führen, da eine funktionstüchtige Mauerlatte die Lasten verteilt an das Mauerwerk nach unten abgibt.

Abb. 18: Systemschnitt – Deckenbalken auf Mauerlatte



4.2. Varianten von Innendämmsystemen

Heutzutage spielt die Verbesserung der Energieeffizienz von Gebäuden eine immer bedeutendere Rolle in der Baubranche. Dies betrifft nicht nur Neubauten, sondern auch bestehende Altbauten müssen diesem Trend für eine nachhaltigere Nutzung in der Zukunft folgen. Die Ausführung einer nachträglich angebrachten Innendämmung ist rein aus bautechnischer Sicht gesehen im Normalfall nur die zweite Wahl, jedoch bei denkmalgeschützten Bauten oftmals die einzige Lösung zur wärmetechnischen Sanierung der Gebäudehülle. Sie kann den U-Wert von den bestehenden Außenwänden um ungefähr 50-80% senken. Betrachtet man den hygrothermischen Zusammenhang hat dies weiterführende Auswirkungen auf den Feuchtegehalt aller miteinander verknüpften Konstruktionen. Wie im vorigen Kapitel bereits angeführt, durchstößt der Holzbalken die Dämmung und liegt im kalten Mauerwerk auf. Währenddessen kann die warme Raumluft durch die Innendämmung nicht in die Wandkonstruktion strömen, wodurch ein erhöhtes Feuchterisiko für den Holzbalkenkopf geschaffen wird.²²

Für die Ausbildung der inneren Dämmschicht können unterschiedliche Systeme herangezogen werden. Die Bandbreite reicht hierbei von diffusionsdichten über diffusionshemmende bis hin zu diffusionsoffenen Innendämmungen. Die Wahl des geeigneten Dämmmaterials ist stark von den Eigenschaften dieser unterschiedlichen Möglichkeiten abhängig. Aufgebracht werden die Dämmungen meist in Form von Platten. Sie können aber auch aufgespritzt werden oder aus Bahnen bestehen.²³

Die nachfolgenden Systeme weisen unterschiedliche Eigenschaften sowie Aufbauten auf und geben einen allgemeinen Überblick über die mögliche Ausführung der Innendämmung bei der thermischen Sanierung von Holzbalkendecken.

²² Kautsch, Peter/Hengsberger, Herwig/Ruisinger, Ulrich: OEKO-ID – Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung. Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen ökologischer, diffusionsoffener Dämmsysteme. Graz 2013. S.4f.

²³ Innendämmung. Anwendung und Risiken. Hrsg.: Energieinstitut Vorarlberg. Dornbirn 2012. S.10.

4.2.1. Diffusionsdichte Innendämmungen

Die wichtigste Eigenschaft der Anwendung dieses Innendämmsystems ist dessen vollständige Dampfdichtheit. Somit kann keine Feuchtigkeit aus dem Inneren in die Konstruktion gelangen und schützt diese somit gegen Beschädigungen. Der sogenannte s_d – Wert ist ein Maß für den Widerstand einer Bauteilschicht gegen den Durchgang von Wasserdampf und sollte bei diffusionsdichter Ausführung $> 1500m$ sein. Essentiell für die gewünschte Wirkung ist eine sorgfältig dichte Ausführung und das Verhindern von Schäden, nachdem das System ausgeführt wurde. Kommt es zum Eintritt von Feuchtigkeit in die Konstruktion kann sie raumseitig nicht mehr abtrocknen. Zudem ist auch auf die zum Mauerwerk orientierte Fläche Acht zu geben, da auch hier Feuchte von außen hinter den Aufbau eintreten kann und es in diesem Bereich in weiterer Folge zu Schimmelbildung kommen kann. Im Vorhinein sollte eine Analyse des Mauerwerks auf dessen ausreichenden Schlagregenschutz und aufsteigende Baufeuchte durchgeführt werden. Die gewünschte Sperrwirkung dieser Konstruktion kann durch das Dämmmaterial selbst oder durch eine raumseitig angebrachte Dampfbremse erzielt werden. Anwendung finden diffusionsdichte Innendämmungen meist bei hoch feuchtebelasteten Räumlichkeiten wie Schwimmbädern, Bäder oder Küchen.²⁴

4.2.2. Diffusionshemmende Innendämmungen

Einen Mittelweg bezogen auf die Aufnahme von Feuchtigkeit durch die Konstruktion bildet die Ausführung von diffusionshemmenden Innendämmungen. Der s_d – Wert dieser Systeme sollte in einem Bereich zwischen 0,5 und 1500m liegen. Diese Dämmungen weisen einen gewissen Widerstandsgrad gegen das Eindringen von Feuchte auf, können diese jedoch in einem bestimmten Maß aufnehmen und wieder an die umgebende Raumluft abgeben. Hier kann es je nach Hersteller zu unterschiedlichen Schwankungsbreiten der Konstruktionsdichtheit kommen. Auch bei Ausführung dieses Systems ist ein ausreichend intakter Schlagregenschutz erforderlich und zusätzlich sind die Feuchtebedingungen des Innenraumes über ein Jahr hinweg zu beachten. Die Dichtigkeit der Konstruktion ist somit auf die im Inneren

²⁴ John, Pauline: Innendämmsysteme: Sei offen - oder mach dicht. In: <https://www.ausbaupraxis.de/innendaemmsysteme-sei-offen--oder-mach-dicht-17112021> (letzter Zugriff 09.06.2022)

herrschenden Bedingungen anzupassen. Für den Aufbau eines solchen Systems können diffusionsoffeneren Materialien mit feuchteadaptiver Dampfbremse oder die meisten Dämmmaterialien mit Dampfbremse verwendet werden. Zum Einsatz kommt dieses System bei Räumen mit hoher Feuchtebelastung, welche durch die begrenzte Aufnahmefähigkeit der Konstruktion verringert werden kann.²⁵

4.2.3. Diffusionsoffene Innendämmungen

Diese Materialien weisen einen s_d – Wert von weniger als 0,5m auf. Im Gegensatz zu diffusionsdichten Systemen kann diese Art von Dämmung eine hohe Menge an Feuchtigkeit durch die Konstruktion aufnehmen und anschließend wieder zurück an die Raumluft im Inneren abgeben. Zusätzlich besitzen sie eine gute Pufferwirkung. Diese Eigenschaften machen diffusionsoffene Innendämmungen zudem toleranter gegenüber Fehlerstellen beim Einbau und entstandene Leckagen. Trotzdem sollte bei der Ausführung auf eine trockene und schimmelfreie Außenwand sowie auf luftdichte Anschlüsse geachtet werden. Raumseitig dürfen auf eine diffusionsoffene Innendämmung auch nur diffusionsoffene Putze und Anstriche angebracht werden. Grundsätzlich werden in diese Kategorie Mineralfaser-, Kork- oder Holzfaserdämmplatten ohne zusätzlicher Dampfbremse eingeordnet. Sie bestehen also meist aus plattenartigen Materialien und werden auf den Bestandsuntergrund ohne Hohlräume aufgeklebt.²⁶

Zu den diffusionsoffenen Innendämmsystemen zählt auch der Einsatz von sehr kapillaraktiven Materialien wie Kalziumsilikat oder Zellulose. Diese Konstruktion funktioniert weitgehend ohne innen liegender feuchteadaptiver Dampfbremse und ist sehr saugfähig. Das Problem von Kondensatbildung oder externem Feuchteeintrag kann durch die Kapillaren dieses Materials behoben werden. Kapillaren sind kleine Kanäle, welche die Feuchtigkeit aufnehmen und wieder abtransportieren können,

²⁵ John, Pauline: Innendämmsysteme: Sei offen - oder mach dicht. In: <https://www.ausbaupraxis.de/innendaemmsysteme-sei-offen--oder-mach-dicht-17112021> (letzter Zugriff 09.06.2022)

²⁶ John, Pauline: Innendämmsysteme: Sei offen - oder mach dicht. In: <https://www.ausbaupraxis.de/innendaemmsysteme-sei-offen--oder-mach-dicht-17112021> (letzter Zugriff 09.06.2022)

wodurch das Innenraumklima positiv beeinflusst wird.²⁷ Kalziumsilikatplatten gehören grundsätzlich zu den mineralischen Dämmstoffen und bewirken durch ihren niedrigen PH – Wert eine Verringerung der Schimmelpilzbildung an Oberflächen. Zu den diffusionsoffenen und kapillaraktiven Systemen zählt auch das Zellulose-Platz-System, bei welchem die Zellulose aufgespritzt und verputzt wird. Im Gegensatz zu den beiden anderen Systemen besteht hier auch bei hoher Schlagregenbelastung noch kein Risiko für Schimmelpilzbildung.²⁸

Dämmstoff	max. λ [W/(mK)]	μ [-]
Mineralwolle – Glaswolle	0,04	1 – 2
Mineralwolle – Steinwolle	0,045	1 – 2
Schafwolle	0,05	1 – 2
Zelluloseflocken	0,045	1 – 2
Mineraldämmplatten	0,045	3
Holzfasерplatte	0,055	5 – 10
Korkdämmplatten	0,06	5 – 20
Calciumsilikatplatten	0,07	5 – 20
Polystyrol (EPS)	0,04	20 – 100
Polyurethan (PUR)	0,035	30 – 100
Schaumglas	0,06	dicht

Abb. 19: Materialeigenschaften von Dämmstoffen

²⁷ Innendämmsysteme. Kapillaraktiv, diffusionsoffen oder mit Dampfbremse. In: <https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/innendaemmsysteme-1660707> (letzter Zugriff 09.06.2022)

²⁸ Innendämmung. Anwendung und Risiken. Hrsg.: Energieinstitut Vorarlberg. Dornbirn 2012. S.15.

4.3. Varianten des luftdichten Anschlusses

Bei sanierungsbedürftigen Altbauten kommen aufgrund des Denkmalschutzes oftmals nur Innendämmungen im Zuge der thermischen Sanierung zum Einsatz. Dies ist häufig bei erhaltenswerten Fassaden oder bei Standorten im dicht bebauten Innenstadtbereich der Fall. Die Ausbildung einer inneren Dämmschicht steht folglich direkt im Zusammenhang mit dem Durchdringen der luftdichten Ebene durch den Holzbalken. Hierbei kann es bei ungenauer Planung bzw. Ausführung zu Bauschäden kommen. Eine mangelhafte Einbindung der Balken kann zu konvektiven Feuchteintrag in das kalte Mauerwerk führen und die Konstruktion stark beeinträchtigen. Des Weiteren spielt eine sorgfältige Ausführung der Luftdichtheit eine wichtige Rolle in der Energieeffizienz von Gebäuden. Da für die sachgemäße Einbindung von Holzbalkenköpfen in die luftdichte Ebene keine festgelegten Normen vorliegen und sich die Ausführung recht schwierig gestalten kann, werden in diesem Kapitel unterschiedliche Ausführungsvarianten des Anschlussbereiches vorgestellt.²⁹

4.3.1. Klebeband

Die zur Abdichtung der luftdichten Ebene verwendeten Klebebändern bestehen aus einem Kleber auf Acrylatbasis. Als Material des Bandes kommt ein elastisches und strapazierfähiges Polyestergewebe zum Einsatz. Zur Anwendung in der Baubranche kommen sie grundsätzlich bei der Verbindung von Dampfbremsen und zur Abdichtung von etwaigen Durchdringungen bzw. Durchbrüchen.

Zuerst wird ein Klebestreifen, welcher den Übergang zwischen Balken und Dämmung verklebt, an beiden Seiten mit etwa 3cm Überstand angebracht. Dieser muss möglichst spannungsfrei aufgeklebt werden um etwaige Bauteilbewegungen aufnehmen zu können. In den weiteren Schritten werden zusätzliche überlappende Bänder angebracht und übrige Fehlstellen verklebt.

Des Weiteren sind auch modifizierte Varianten dieser Klebebandabdichtung ausführbar. So kann durch Vorbehandlung mit einer Haftgrundierung die Verklebung

²⁹ Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.3.

verbessert werden und durch Einsatz von Dichtmassen entstandene Risse in der Holzstruktur verfüllt werden.³⁰

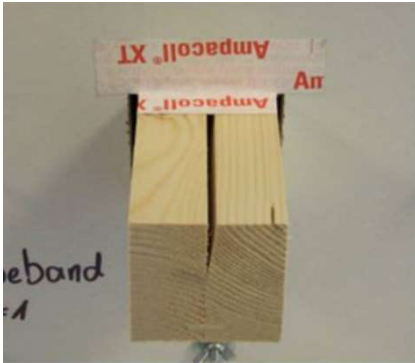


Abb. 20: Anbringen des ersten Klebestreifens



Abb. 21: Überlappung der Klebestreifen

4.3.2. Putzanschlussband

Das Material von Putzanschlussbändern setzt sich aus einem Polypropylen- oder Polyethylenvlies mit einer speziellen Membran zusammen. Anwendung finden Sie überwiegend beim Anschlussbereich von Fenstern, Türen und Holzbalken.

Durch den Einsatz von Dichtmassen werden im Vorhinein bestehende Risse verfüllt und anschließend wird das Putzanschlussband in einem Stück um den sanierungsbedürftigen Holzbalken verklebt. Zusätzlich kann das Band durch das verwendete PE-Vlies problemlos überputzt werden. Mit dem Anbringen des Putzanschlussbandes wird der Balken an die luftdichte Ebene angedichtet und der Spalt somit überklebt. Da ein Teil davon nicht selbstklebend ist wird es mit einem Luftdichtheitsklebeband zusätzlich mit dem Innenputz verklebt.³¹



Abb. 22: Anschluss mittels Putzanschlussband

³⁰ Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.32f.

³¹ Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.43f.

4.3.3. Folien – Manschette

Eine weitere Abdichtungsmöglichkeit zwischen Balken und Wandfläche stellt der Einsatz einer Folienmanschette dar. Zuerst wird ein rechteckiges Folienstück passend zugeschnitten und dann auf jeder Seite mit einem Klebestreifen ausgestattet. Dabei ist zu beachten, dass eine Hälfte des Klebestreifens auf der Folie sitzt und die andere Hälfte zur späteren Verklebung mit der Wandfläche entsprechend übersteht. Im weiteren Verfahren wird eine Folienmanschette hergestellt, welche letztlich mit einem mittigen Kreuzschnitt versehen und anschließend über den Balken gezogen wird. Die Manschette wird spannungsfrei aufgeklebt und die im vorigen Schritt entstandenen Foliendreiecke mit einem weiteren Klebeband verklebt.³²



Abb. 24: Anbringen der Folienmanschette

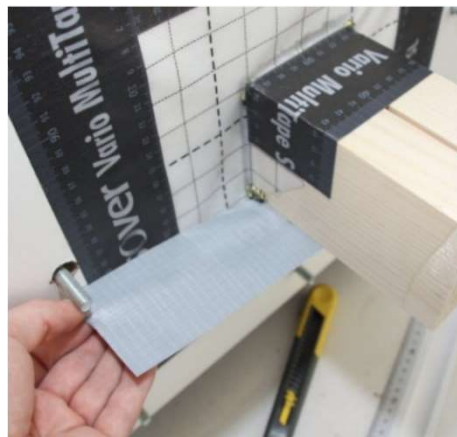


Abb. 23: Anbringen des Klebebands

³² Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.46ff.

4.3.4. Dickbeschichtung

Als Material für einen luftdichten Anschluss mittels Dickbeschichtung kommt eine Bitumen-Basis zum Einsatz. Grundsätzlich handelt es sich hierbei um industriell gefertigte Mischungen von Bitumen und polymeren Kunststoffen. Im Bau findet dieses Material vorwiegend im Bereich der Mauerwerksabdichtung Verwendung.

Zur Abdichtung des Spalts zwischen Holzbalken und Wandfläche wird die Dickbeschichtung großflächig mit einem Spachtel aufgetragen, wodurch eine sorgfältige Ausbildung der luftdichten Ebene sichergestellt werden kann. Die Konsistenz der Masse ermöglicht es, diese tiefer in etwaige Spalten und Risse zu drücken und somit eine gute Abdichtung zu erreichen. Zudem ist darauf zu achten, eine ausreichende Schichtdicke zu erzielen.³³



Abb. 25: Aufbringen der Dickbeschichtung



Abb. 26: Praxiseispiel der Dickbeschichtung

³³ Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.51.

4.3.5. Butyl-Kautschuk-Klebeband

Die besonderen Eigenschaften von Butyl-Kautschuk-Klebebändern wie etwa deren gute Verformbarkeit und Flexibilität ermöglichen eine sehr gutes Andichten von Holzbalken an die Wandfläche. Zudem weisen sie eine dicke Materialschicht auf, wodurch es bei der Ausführung einfacher gelingt die Bänder möglichst eben am Untergrund anzubringen. Zusätzliche Anwendungsgebiete dieses Materials umfassen das Abdichten von Fugen, Bauteilanschlüssen und sich gegenseitig überlappende Luftdichtheitsebenen.

Bei der Anbringung des Bandes ist auf dessen starke Klebekraft acht zu geben, da sich dadurch Fehler beim Aufkleben nur schwer wieder ausbessern lassen. Durch die enorme Dehnbarkeit des Butylkautschuks ist es möglich, das Klebeband in einem ganzen Stück um den Holzbalken herum zu verkleben. Im Vergleich zu der Ausführung mit Abdichtungsstreifen auf Acrylatbasis müssen nicht mehrere Einzelstreifen übereinander geklebt werden, wodurch Material und Arbeitszeit eingespart wird. Da sich das Band jedoch nicht in die Leckagespalten des Balkens hineindrücken lässt, ist auch hier die Ausführung mit einer Dichtmasse zur Verfüllung möglich. Des Weiteren kann ebenfalls vor dem Anbringen eine Haftgrundierung zur besseren Verklebung aufgetragen werden.³⁴



Abb. 28: Anbringen des Klebebands



Abb. 27: Geringe Eindringtiefe in den Spalt

³⁴ Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.38f.

4.3.6. Speziallösung – Reinacrylat Dispersion

Bei der Anwendung der sogenannten Speziallösung handelt es sich um eine pastöse Beschichtung. Sie wird aus einer strukturviskosen Reinacrylat Dispersion, welche eine hellblaue Farbgebung aufweist, im Zusammenspiel mit einem Spezialvlies hergestellt.

Die Anbringung dieser Abdichtungsform erfolgt grundsätzlich in drei Schritten. Zuerst wird mittels Pinsel eine erste Schicht der Dispersion auf den Holzbalken wie auch auf die Wandfläche aufgetragen und im weiteren Verlauf das Spezialvlies in einem Stück um den Balken angebracht und an die pastöse Masse angedrückt. Für eine bessere Abdichtung des Anschlussbereichs kann das Vlies in die Spalten hineingedrückt werden. Im letzten Schritt wird eine zweite Schicht der Dispersion über das Spezialvlies aufgetragen. Da die Masse zudem etwaige Risse gut verfüllt, ist bei dieser Variante keine zusätzliche Dichtmasse zur besseren Abdichtung erforderlich.³⁵

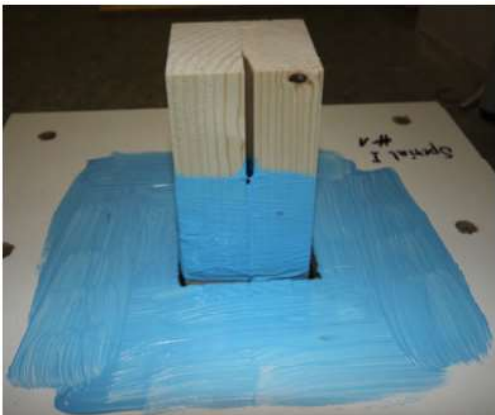


Abb. 30: Erste Schicht der pastösen Beschichtung



Abb. 29: Zweite Schicht und angebrachtes Vlies

³⁵ Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.39ff.

4.3.7. Injektionskanal

Alle bisher vorgestellten Abdichtungsvarianten zielten auf das Andichten des Holzbalkens an die Wandfläche ab. Eine weitere nötige Maßnahme zur Verringerung des Leckagestromes stellt jedoch die Abdichtung von Rissen und Spalten im Holzquerschnitt des Balkens dar. Durch diese kann nämlich warme Raumluft trotz äußerer Abdichtung in die luftdichte Ebene vorstoßen.

Durch eine Injektionsbohrung wird der bestehende Riss aufgebohrt und anschließend die Öffnung gänzlich mit einer Spritzfüllung verfüllt. Diese Methode lässt sich mit allen Abdichtungsarten, welche die Spalten nicht selber verdichten kombinieren. Bohrungen im Balken können dessen Struktur schwächen, wodurch im Vorhinein die Statik des Holzbalkens zu überprüfen ist.³⁶



Abb. 31: Ausfüllen mit Injektionsmasse



Abb. 32: Andichtung mit Klebeband

³⁶ Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.45f.

5. Gegenüberstellung und Beurteilung

In diesem Teil erfolgt die Analyse und Einschätzung von bestehenden Holzbalkenköpfen und gibt somit einen ersten, allgemeinen Überblick über die möglichen Ausführungsvarianten in der Realität. In diesem Kapitel werden zwei Forschungsansätze aus Praxisbeispielen der thermischen Sanierung von Holzbalkendecken genauer vorgestellt und daraus Erkenntnisse zur Beurteilung derer gesamtheitlichen Umsetzbarkeit gewonnen. Hierbei wird zudem auf die bauphysikalischen Aspekte der Wärme- und Feuchtesituation in Verbindung mit den Raumklimabedingungen der Balkenkonstruktionen eingegangen und deren Zusammenwirkung analysiert.

Um eine möglichst brauchbare und gut fundierte Grundlage zur Bewertung der jeweiligen Beispiele zu schaffen, wird in den nachfolgenden Unterkapiteln zuerst die Gebäudestruktur und anschließend die unterschiedlichen Einbausituationen der Holzbalkenköpfe erläutert.

5.1. Praxisbeispiel 1

Das Projekt befindet sich in Deutschland auf einem Versuchsgelände des Fraunhofer – Institutes für Bauphysik (IBP). Genauer gesagt ist es in der Markt Holzkirchen im Bundesland Bayern situiert.³⁷

5.1.1. Objektbeschreibung

Wie auf den Abbildungen 34 und 35 zu erkennen ist, handelt es sich hierbei um ein Gebäude mit einem Flachdachelement auf der Attika. Darunter befindet sich im Inneren des Bauwerks eine Holzbalkenkonstruktion sowie mehrere Mess- und Versuchsräume zur Untersuchung der Bauteile.

³⁷ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.68.



Abb. 33: Ansicht des Versuchsgebäudes

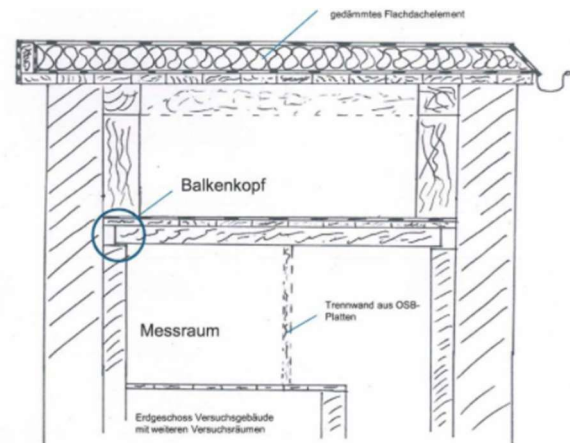


Abb. 34: Schnitt der Testkonstruktion

Diese Räumlichkeiten wurden nachträglich mit OSB – Platten geschaffen und können mittels Heizmatten am Boden sowie Verdunstungsgeräten unterschiedliche klimatische Raumluftbedingungen hervorrufen. Die im Inneren erzeugte Temperatur liegt bei ungefähr 19 bis 22°C, während die relative Luftfeuchte in Raum 1 bei 40 Prozent und in Raum 2 bei 60 Prozent liegt. Somit ist es möglich, Erkenntnisse über die eingebundenen Balken bei normaler sowie erhöhter Feuchtelast des Innenraums zu gewinnen. Insgesamt befinden sich in jedem dieser beiden Versuchsräumen sechs Holzbalkenköpfe, welche in dem tragenden Ziegelmauerwerk aufliegen. Zudem ist zu erwähnen, dass die Holzfeuchte der Balken durch Sensoren erfasst werden und jeder einer unterschiedlichen Einbausituation unterliegt. Um eine möglichst große Bandbreite an Daten zur Gegenüberstellung unterschiedlicher Systeme zu erlangen, wurden sogar bei einigen Holzbalken erzwungene Konvektionen hervorgerufen.³⁸

In den nachfolgenden Unterkapiteln werden einige ausgewählte Forschungsansätze der ausgeführten Varianten aus diesem Gebäude genauer beschrieben und die Feuchtesituation derer Konstruktionen verglichen und beurteilt.

³⁸ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.69ff.

5.1.2. Variante 1 – Aluminiumblech

Bei diesem Balken wurde ein Aluminiumblech angebracht, welches bis in die Auflagentasche hineingeführt wird und eine Wärmebrücke darstellt. Durch das Blech entsteht ein erhöhter Wärmeübertrag vom Innenraum bis zum Balkenkopf. Die Stärke des angebrachten Aluminiumteil beträgt 3mm.



Abb. 35: Balkenanschluss mit Aluminiumblech

5.1.3. Variante 2 – Dämmung und Fuge

Die in Abb. 37 dargestellte Konstruktion zeigt eine gedämmte Ausführung des einbindenden Holzbalkenkopfes mit einer Fuge, welche mit 2mm bis zum Holz ausgebildet wurde. Hierbei wurde zuerst ein Blechstreifen eingesetzt und anschließend zur Ausbildung der Fuge wieder entfernt. Die Ausführung der Dämmung des Balkenkopfes erfolgte seitlich sowie stirnseitig.³⁹



Abb. 36: Balkenanschluss mit Dämmung und Fuge

³⁹ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.73.

5.1.4. Variante 3 – Dämmung und Konvektion

Die Ausführung bei dieser Einbausituation erfolgte gleich wie bei der vorher beschriebenen Variante mit Dämmung und Fuge. Die erzwungene Konvektion wird bei dieser Konstruktion durch zwei verlegte Schläuche, welche an beiden Seiten des Balkens angebracht sind, erzeugt. Sie dienen zum Transport der warmen und feuchten Luft vom Rauminnenen in den Auflagerbereich des Holzbalkens. Eine Membranpumpe sorgt für einen Luftstrom von $4\text{m}^3/\text{h}$ und m Fugenlänge.



Abb. 37: Balkenanschluss mit Dämmung und erzwungener Konvektion

5.1.5. Variante 4 – Fuge

Eine recht simple Ausbildung des Auflagerbereichs ist die Ausführung einer einfachen 2mm Fuge rund um den Holzbalkenkopf herum. Auf Dämmungen oder Abdichtungen wird bei dieser Einbausituation gänzlich verzichtet.⁴⁰



Abb. 38: Balkenanschluss mit Fuge

⁴⁰ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.74.

5.1.6. Variante 5 – Konvektion

Eine erzwungene Konvektion wurde wie in Abb. 40 zu sehen ist, auch bei dieser Variante, jedoch diesmal ohne zusätzliche Dämmung ausgeführt. Hier lassen sich die beidseitigen Bohrungen für die luftführenden Schläuche gut erkennen.⁴¹



Abb. 39: Balkenanschluss mit erzwungener Konvektion

5.1.7. Variante 6 – Abgedichtet

Des Weiteren wurde auch eine abgedichtete Einbausituation der Holzbalken konstruiert. Diese wurde mit einem Baukleber ausgeführt.⁴²



Abb. 40: Abgedichteter Balkenanschluss

⁴¹ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.75.

⁴² Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.76.

5.1.8. Vergleich und Bewertung

Als Grundlage der folgenden Bewertung werden die Verläufe der gemessenen, massebedingten Holzfeuchte in Abhängigkeit von der Zeit herangezogen. Die hierzu in Betracht gezogenen Diagramme zeigen die einzelnen Feuchten der sechs beschriebenen Einbausituationen in den Versuchsräumen 1 und 2.

Abb. 42 stellt die Holzfeuchten im ersten Raum bei 20°C Raumtemperatur und 40% relativer Luftfeuchte dar. Auf den ersten Blick ist klar zu erkennen, dass keine der Einbausituationen über die Gesamtdauer der Messung hinweg den kritischen Wert von 20 M-% überschreitet. Der hellblau markierte Bereich zeigt den Einbau einer Innendämmung. Die Anbringung einer nachträglich installierten inneren Dämmebene führt zu einem allgemeinen Anstieg der Holzfeuchte.

In diesem Diagramm lässt sich erkennen, dass die höchste Feuchte in der Tiefe bei der Einbausituation mit erzwungene Konvektionen und ohne Dämmung mit einem maximalen Wert von circa 15 M-% nach Applikation der Innendämmung erreicht wurde. Am besten schnitt die Ausführungsvariante mit Dämmung und Fuge sowie die abgedichtete Variante ab. Die Feuchte dieses Holzbalkens betrug am Ende der Messungen lediglich etwas mehr als 5 M-%.

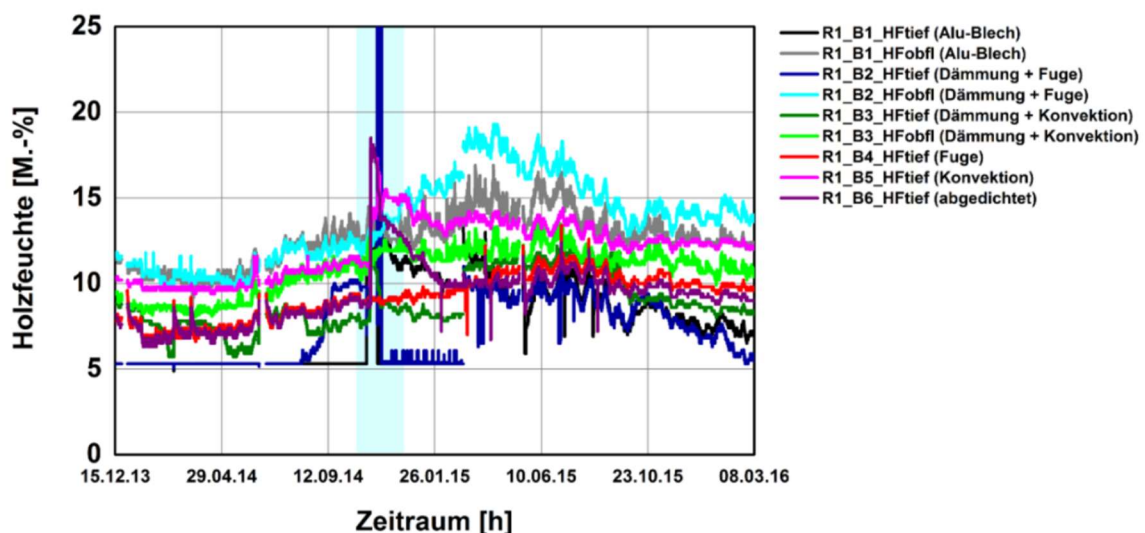


Abb. 41: Verlauf der Holzfeuchten in Raum 1

Die Feuchtesituation der Balkenköpfe in Raum 2 bei erhöhter Feuchtelast von 60% relativer Luftfeuchte und einer Innentemperatur von 20°C werden in Abb. 43 dargestellt. Aus dem Diagramm kann grundsätzlich herausgelesen werden, dass die Holzfeuchte aller Varianten vor dem Einbau der Innendämmung in einem Bereich von 5 bis ungefähr 13 M-% liegt. Danach steigen diese Werte bei jeder Einbausituation an. Bei höherer relativer Luftfeuchte erreicht die abgedichtete Variante im Gegensatz zu Raum 1 mit einer maximalen Holzfeuchte von circa 18 M-% den höchsten Feuchtwert. Auch die erzwungene Konvektion erreicht um die 15 M-%, obwohl diese vor Anbringung der Dämmung einen der geringsten Prozentsätze aufweisen konnte. Die Einbausituationen mit Fuge sowie Dämmung und Fuge haben in Raum 2 den geringsten Feuchtwert in der Tiefe erreicht. Sie performten nach Installation der Innendämmung mit ca. 10 und 13 M-% am Ende der Messungen am besten.

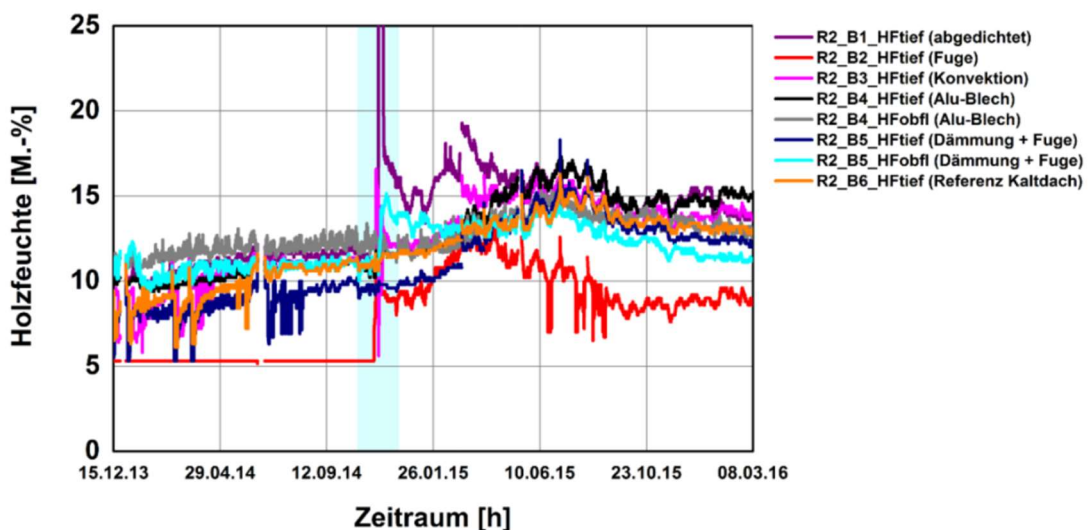


Abb. 42: Verlauf der Holzfeuchten in Raum 2

Insgesamt liegen die Holzfeuchten aller Einbausituation in beiden Räumen über die gesamte Dauer der Untersuchung in einem unkritischen Bereich, wodurch sich kein nennenswertes Risiko zur Entstehung von Pilz. Bzw. Fäulnisschäden ergab.

Bei der Gegenüberstellung der Varianten beider Räume lässt sich feststellen, dass eine hervorgerufene Konvektion durch Bauteilschäden oder Undichtigkeit bei Räumen mit höherer Feuchtelast einen größeren Einfluss auf die Holzfeuchte hat als bei Räumen mit niedriger Luftfeuchte. Zudem führt eine Innendämmung zu einem allgemeineren Anstieg der Feuchtwerte aller Konstruktionen. Zurückzuführen ist

dies auf die Einbaufeuchte sowie auf das durch die Dämmung reduzierte Austrocknungsverhaltens des massiven Mauerwerks und Holzbalkenkopfes. Der Wärmestrom wird von innen nach außen reduziert, wodurch die Feuchte hinter der Dämmung zunimmt und auch die Temperatur reduziert wird.

Grundsätzlich kann somit behauptet werden, dass bei diesem Projekt innerhalb der Untersuchungslaufzeit durch Maßnahmen wie der Anbringung einer Innendämmung oder die am Holzbalkenkopf erzwungene Konvektion mit warmer Raumluft nur zu einem geringen Anstieg der Feuchtigkeit des Holzes geführt hat. Somit ergab sich kein nennenswertes Risiko zur Entstehung von Pilz- bzw. Fäulnisschäden.

5.2. Praxisbeispiel 2

Bei diesem Altbaubestand handelt es sich um die Alte Schäfllerei, welche Teil des über 1250 Jahre alten Klosters der bayrischen Gemeinde Benediktbeuern ist.

5.2.1. Objektbeschreibung

Die Alte Schäfllerei entstand ungefähr in der Zeit von 1750 bis 1800 und dient heutzutage als gläserne Baustelle, wodurch moderne Konzepte zur Verbesserung der Energieeffizienz sowie nachhaltige Sanierungsprojekte an einem Altbau durchgeführt und getestet werden können. Wie in Abb. 44 zu sehen ist, setzt sich das Gebäude aus einem großen Kopfbau sowie einem im Norden angeschlossenen Bau zusammen.



Abb. 43: Ansicht Alte Schäfllerei

Die bestehende Holzbalkenkonstruktion wurde im Zuge der thermischen Sanierung geöffnet und die Balkenköpfe zur Beurteilung freigelegt. Hierbei ist zu erkennen, dass annähernd jeder Balkenkopf unter dem Problem des Pilzbefalls steht.⁴³



Abb. 44: Beschädigter Balkenkopf und Überblattung

⁴³ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.34ff.

Anhand der Möglichkeit zur thermischen Sanierung mehrerer Holzbalkenköpfe wurden schließlich unterschiedliche Varianten getestet. Für die insgesamt 24 beschädigten Balken wurden sechs verschiedene Sanierungstechniken ausgeführt, welche sich in deren Auflagersituation, Dämmausführungen sowie deren hygrischen Eigenschaften unterschieden. Zur allgemeinen Veranschaulichung ist in Abb. 46 eine schematische Übersicht aller ausgebildeten Auflagerbereiche zu sehen.⁴⁴







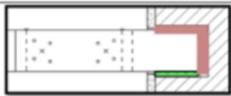

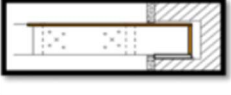
Var	Schematische Darstellung	Sanierung	Auflager	Dämmung/ Luftspalt	Besonderheiten Auflager	Sensorik
1		Überblattung	Mörtelbett	Rundum Dämmung / Kein Luftspalt	Guter thermischer und hygrischer Kontakt	Holzfeuchte ; Temperatur
1b		Überblattung	Mörtelbett	Keine Dämmung/ Luftspalt	Guter thermischer und hygrischer Kontakt	Holzfeuchte ; Temperatur
2		Schlitzblech	Mörtelbett	Rundum Dämmung / Kein Luftspalt	thermischer Kontakt	Holzfeuchte
2b		Schlitzblech	Mörtelbett	Keine Dämmung/ kein Luftspalt	thermischer Kontakt	Holzfeuchte
3		Überblattung	Nanogel	Keine Dämmung/ Luftspalt	weder thermischer noch hygrischer Kontakt	Holzfeuchte ; Temperatur
4		Überblattung	Elastomer	Keine Dämmung/ Luftspalt	Guter thermischer Kontakt	Holzfeuchte ; Temperatur
4		Überblattung	Elastomer	Keine Dämmung/ kein Luftspalt	Guter thermischer Kontakt	Holzfeuchte ; Temperatur
5		Überblattung	Nanogel	Rundum Dämmung / Kein Luftspalt	weder thermischer noch hygrischer Kontakt	Holzfeuchte ; Temperatur
6		Überblattung + Kupferplatte	Mörtelbett	Keine Dämmung/ Luftspalt	Guter thermischer und hygrischer Kontakt	Holzfeuchte ; Temperatur

Abb. 45: Übersicht Sanierungsvarianten des Auflagerbereichs

⁴⁴ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.38f.

Zudem wurde neben der Sanierung der Holzbalken im späteren Verlauf auch eine innere Dämmung auf das tragende Mauerwerk angebracht, wobei auch hier unterschiedliche Dämmsysteme zur Gegenüberstellung derer Eigenschaften verwendet wurden. Wie in Abb. 47 zu erkennen ist, wurden alt bewährte wie auch innovative Dämmungen eingesetzt. Die Bandbreite reicht von Schilfrohrplatten über kapillarakkive Mineralschaumplatten, welche Feuchte aufnehmen und wieder abgeben können, bis hin zu Aerogel Putzen mit sehr hohen Dämmeigenschaften.⁴⁵

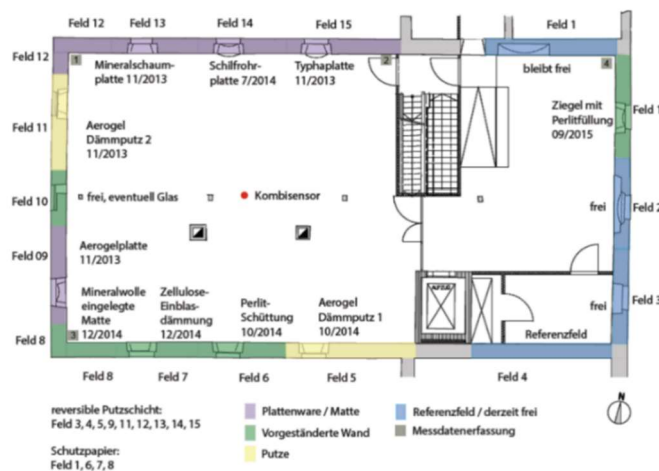


Abb. 46: Übersicht der angebrachten Innendämmvarianten

Zur besseren Übersicht der Lage der einzelnen Holzbalken wurde, wie in Abb. 48 dargestellt, ein entsprechender Lageplan angefertigt.

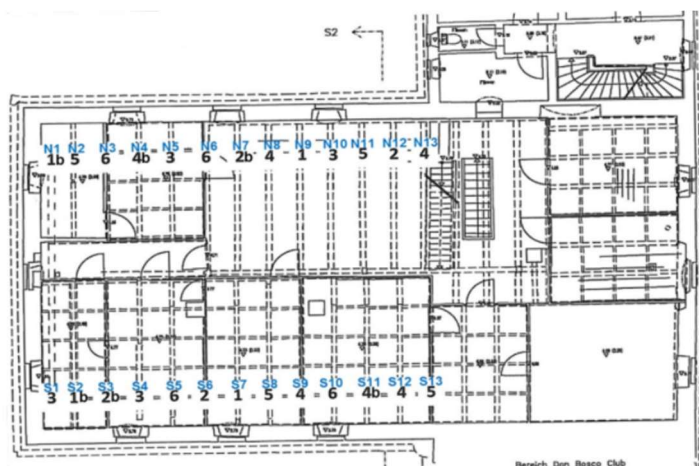


Abb. 47: Lageplan der Deckenbalken und deren Sanierungsmaßnahmen

⁴⁵ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.48f.

In den nachfolgenden Punkten werden sechs Varianten dieser Konstruktionen genauer erläutert sowie deren Auswirkungen verglichen und beurteilt.

5.2.2. Variante 1 – Überblattung mit Mörtelbett

Am häufigsten wird zur Sanierung von morschen Balkenköpfen die Variante der Überblattung gewählt. Hierbei erfolgt ein weitflächiger Ausschnitt des beschädigten Holzes, welches in der Auflagertasche aufliegt. Anschließend wird dieses durch ein Neues ersetzt. Wie auf Abb. 49 zu sehen ist, wird das neue Holz auf einem Mörtelbett aufgelagert und zusätzlich um den Balkenkopf herum sowie auf der Stirnseite eine Dämmung aus Mineralwolle angebracht. Folglich entsteht dadurch eine thermische und hygri-sche Verbindung zu dem massiven Ziegelmauerwerk.⁴⁶



Abb. 48: Überblattung mit Mörtelbett und Dämmung

5.2.3. Variante 2 – Schlitzblech

Ausgebildet wird die zweite Variante ebenfalls durch das Entfernen des befallenen Holzbalkenkopfes, jedoch wird anschließend kein neues Holz verlegt, sondern stattdessen ein Schlitzblech auf ein Mörtelbett aufgelegt. Das Blech wird in den restlichen Balkenbestand eingeführt und befestigt und dient somit als neues Auflager.

⁴⁶ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.40.

Des Weiteren wird um diese Konstruktion herum eine Gipskartonbox angebracht, welche mit einer Dämmung aus Mineralwolle verfüllt wird.⁴⁷



Abb. 50: Schlitzblech



Abb. 49: Gipskartonbox um Schlitzblech

5.2.4. Variante 3 – Überblattung mit Aerogelmatte

Hier erfolgt der Vorgang des Balkenkopftausches analog zur Variante 1 mit der Überblattung im Mörtelbett. Jedoch unterscheidet sich dieses Konzept durch eine Aerogelmatte als Auflager für den neuen Balken. Durch die hydrophoben Eigenschaften sowie der hochdämmenden Wirkung dieser Auflage wird keine Dämmung benötigt und auch kein thermischer oder kapillarer Anschluss zum tragenden Ziegelmauerwerk hergestellt. Durch die Struktur des Materials können sich Luftmoleküle nicht berühren, was eine Weitergabe von Wärme nicht ermöglicht. Zudem erfolgt hierbei auch eine Ausführung eines Luftspaltes zur Mauer.⁴⁸



Abb. 51: Überblattung mit Aerogelmatte

⁴⁷ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.41.

⁴⁸ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.42.

5.2.5. Variante 4 – Überblattung mit Elastomerauflager

Erneut kommt das System einer Überblattung zum Einsatz, diesmal liegt der neu angebrachte Holzbalkenkopf auf einem Elastomerauflager auf. Hierbei wird kein hygrischer, aber thermischer Anschluss sowie ein Luftspalt zum Mauerwerk hergestellt. Diese Konstruktion wird als einzige ohne dämmende Materialien am Balkenkopf ausgeführt.⁴⁹



Abb. 52: Überblattung mit Elastomerauflager

5.2.6. Variante 5 – Überblattung mit Aerogelmatte und Dämmung

Zusätzlich zum Aerogelaufleger und der Überblattung kommt bei dieser Variante eine Dämmung um den Balken herum zum Einsatz, was zu einer fast vollständigen Isolation des Holzbalkenkopfes vom Mauerwerk führt. Das Wärme- und Feuchtverhalten der tragenden Ziegelkonstruktion hat somit nur einen sehr geringen Einfluss.⁵⁰



Abb. 53: Überblattung mit Aerogelmatte und Dämmung

⁴⁹ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.43.

⁵⁰ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. 2017. S.44.

5.2.7. Variante 6 – Überblattung mit Kupferplatte

Bei dieser Ausführung handelt es sich erneut um eine Überblattung sowie einem Mörtelbett als Auflager für den Holzbalkenkopf. Wie in Abb. 55 zu erkennen ist, wurde hierbei keine Dämmung um das Holz angebracht, jedoch ähnlich wie bei einer Variante im Praxisbeispiel Holzkirchen, eine Platte aus Kupfer montiert. Diese wird an der Oberseite des Balkens angebracht, reicht bis in die Auflagertasche hinein und umschließt sogar die Stirnseite des Balkenkopfes. Die Idee ist eine künstliche Wärmebrücke zu erzeugen, wodurch der in den Balkenkopfbereich strömende Wärmestrom eine Verringerung der Holzfeuchte bezwecken soll.⁵¹



Abb. 54: Überblattung mit Mörtelbett und Kupferplatte

⁵¹ Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsgb: Projektträger Jülich. 2017. S.45f.

5.2.8. Vergleich und Bewertung

Die Interpretation und Analyse der Funktionalität der einzelnen Konstruktionen erfolgt auch bei diesem Projekt auf Grundlage der Datenerhebung der spezifischen Holzfeuchten.

Die Diagramme in Abb. 56 zeigen neben der Kern- und Oberflächenfeuchte der nördlich aufliegenden Hölzer auch die Projektdauer auf der unteren Achse an. Die Bezeichnungen der einzelnen Balkenköpfe in der Legende sind auf die Lage der Hölzer in der oben angeführten Abb. 47 zurückzuführen. Gekennzeichnet sind unter anderem Meilensteine wie der Einbau der Konstruktion, die nachträgliche Anbringung einer Innendämmung und die Sanierung des Außenputzes zur Verbesserung der Schlagregensicherheit. Die relative Luftfeuchte des Innenraums wurde ab Beginn des Bereichs mit Schraffur stetig bei 50% gehalten.

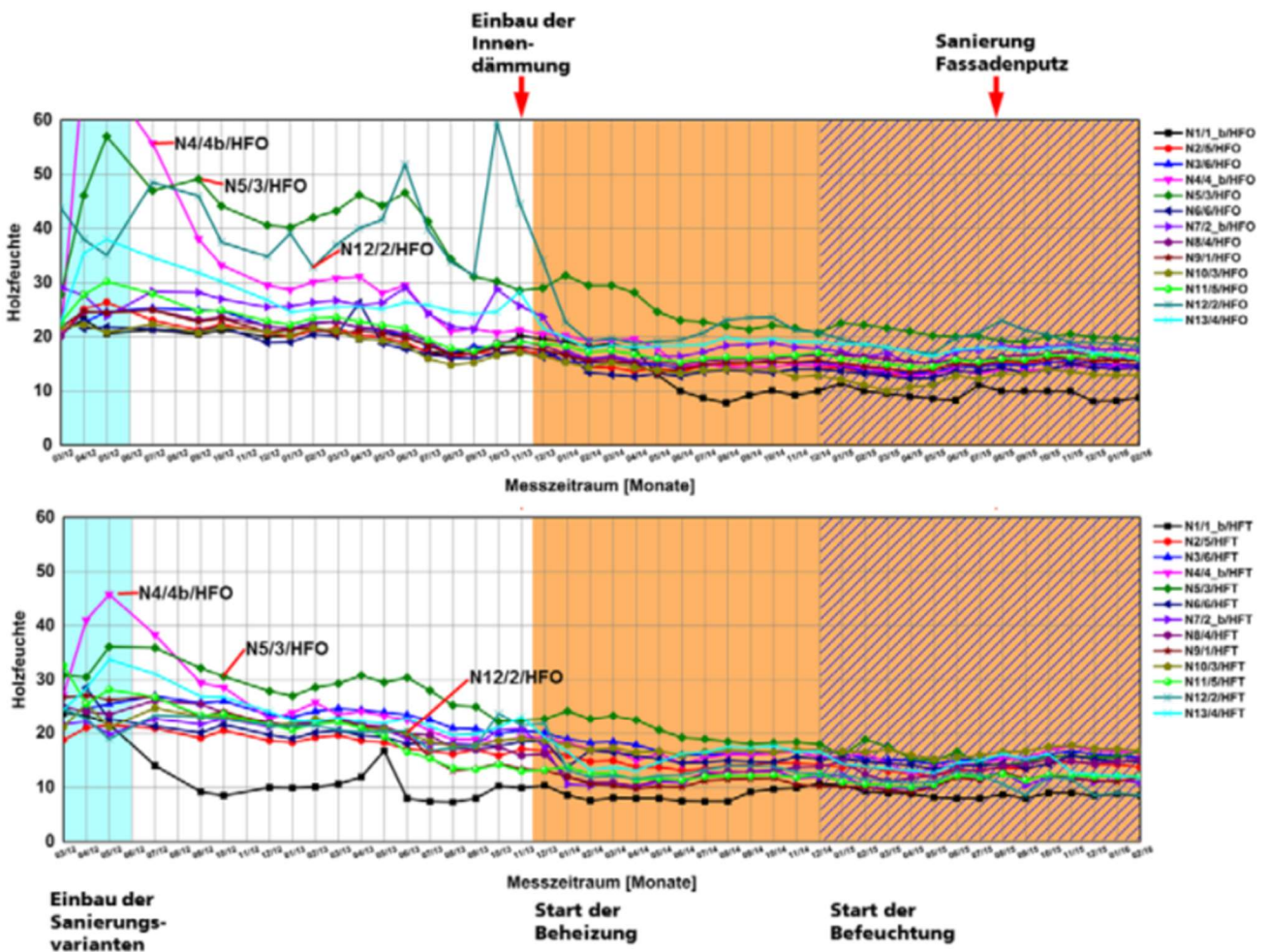


Abb. 55: Verlauf der Holzfeuchten an der Oberfläche und im Kern

Allgemein ist in beiden Diagrammen klar zu erkennen, dass die Holzfeuchte während dem Einbau der Konstruktionen am höchsten ist, nach deren Fertigstellung kontinuierlich abfällt und die Schwankungsbreiten mit der Zeit reduziert werden. Während der Anbringung der Innendämmung ist an der Oberfläche sowie auch im Kern ein Anstieg der Feuchte infolge der Einbaufeuchte zu verzeichnen.

Insgesamt liegen die Feuchtwerte an der Oberfläche zu Beginn der Messungen bei einem Großteil der Balken im Bereich von 20-30 M-%. Die einzelnen Ausreißer nach oben sind hierbei auf die erhöhte Einbaufeuchte bei diesen Konstruktionen zurückzuführen, welche im Laufe der Zeit jedoch merkbar abtrocknen. Auffällig ist hierbei die Konstruktion mit Schlitzblech im Vergleich zu allen anderen Varianten. Hier erfolgen an der Oberfläche höhere Schwankungen ohne sichtliche Besserung, jedoch bessert sich die Feuchtsituation nach Anbringung einer Dämmung aus Typhapplatten sowie durch die höheren Raumtemperaturen und Luftfeuchten merklich. Dadurch lässt sich ableiten, dass die Schlitzblechkonstruktion anfälliger für Feuchtebildung infolge von Temperatur- und Feuchtschwankungen ist als andere Konstruktionen.

Die Feuchtesituation im Kern der Balken korreliert bei allen Balken grundsätzlich mit der Oberfläche, wenn auch in einem geringeren Ausmaß. Betrachtet man das Kollektiv, erfolgt nachdem Einbau der Sanierungsvarianten ein allgemeiner Abfall der Holzfeuchten im Mittel auf ungefähr 20-25 M-%. Der Start der Beheizung führt im Durchschnitt zu einer weiteren Reduzierung, da die höheren Temperaturen zu einem besseren Austrocknungsverhalten der Konstruktion hinter der Innendämmung führen. Die fassadenseitige Sanierung scheint in Anbetracht des Holzfeuchteverlaufs ebenfalls eine Wirkung zu haben, da sich die Werte aller Balken am Ende zwischen 10 und 18 M-% einpendeln. Die zusätzliche Befeuchtung des Innenraumes zeigt keine großartigen Änderungen der Luftfeuchte, was jedoch an der dafür recht kurzen Messdauer liegen könnte.

Feuchtetechnisch betrachtet, schneidet über den gesamten Verlauf der Messungen eine von Variante 1 abgeleitete Konstruktion am besten ab. Hier erfolgte eine Überblattung mit Mörtelbett und Luftspalt, jedoch ohne Dämmung. Die Holzfeuchte dieses Balkens liegt beim Großteil der Messdauer unter der Marke von 10 M-%. Den

schlechtesten Durchschnittswert von 18 M-% am Ende weist die Variante 3 mit Aerogelmatte ohne Dämmung auf. Im Großen und Ganzen befinden sich alle ausgeführten Balkenkopfkonstruktionen im Norden nach der Zeit in einem Bereich unter 20 M-%. Somit lässt sich schlussfolgern, dass diese Balken auf lange Sicht gesehen, keinem Risiko durch Pilz- bzw. Fäulnisbefall ausgesetzt sind.

Zur Beurteilung der Wärmetechnischen Auswirkungen der einzelnen Konstruktionen wurden an ausgewählten Balkenauflagern Messungen durchgeführt. Wie in Abb. 57 erkennbar ist, liegen in den Winterperioden wesentlich höhere Schwankungsbreiten als im Sommer vor. Dies ist unmittelbar auf die größeren Temperaturunterschiede zwischen Innen- und Außenraum im Winter zurückzuführen. Die Auflagerkonstruktionen ohne Dämmungen weisen die niedrigsten Temperaturen im Winter auf. Im Gegensatz dazu schneiden die gedämmten Varianten besser ab. Die Variante mit Aerogelmatte mit Dämmung schneidet leicht besser ab als die Konstruktion mit Mörtelbett und Dämmung. Im Vergleich zur hochdämmenden Matte besitzt der Mörtel weniger gute Dämmeigenschaften. Die höchste Temperatur tritt bei der Kupferblechkonstruktion mit Mörtelbett auf. Grund dafür ist die durch das Kupferblech erzeugte Wärmebrücke, welche für eine höhere Temperatur im Auflagerbereich sorgt.

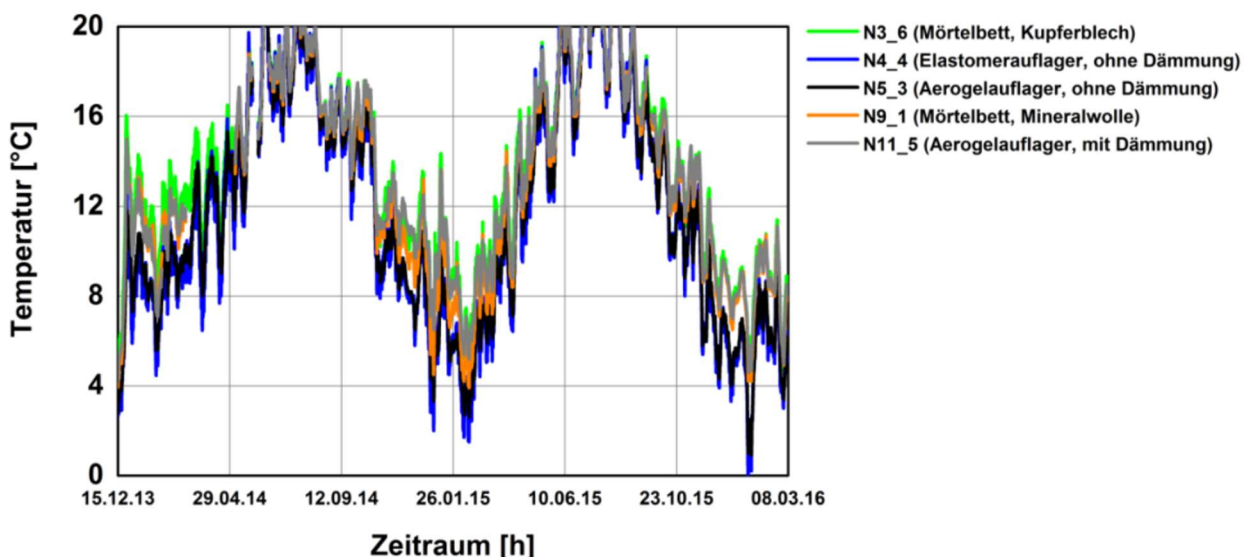


Abb. 56: Temperaturverlauf am Balkenkopf

6. Zusammenfassung – Ausblick

In diesem Kapitel werden die wichtigsten gewonnenen Erkenntnisse aus der Bearbeitung aller grundlegenden Punkte dieser Arbeit sowie aus der Analyse der beiden Praxisbeispielen erläutert und zusammengefasst. Hierbei wird darauf eingegangen, was bei der thermischen Sanierung von Holzbalkenköpfen konstruktiv zu beachten ist, um die Entstehung von etwaigen Schäden zu unterbinden.

Die Beobachtungen aus den Gebäuden in Holzkirchen und Benediktbeuern zeigen grundsätzlich, dass die Art der konstruktiven und dämmtechnischen Ausbildung des Auflagerbereichs einen Einfluss auf die Holzfeuchte hat, dieser jedoch geringer als gedacht zur Austrocknung beiträgt. Eine größere Auswirkung auf die Feuchtesituation haben die um den Balkenkopfaulagerbereich umliegenden Konstruktionen bzw. Bauteile. Bei diesem Bereich ist eher auf die Einbaufeuchte der Konstruktionen zu achten. Beim Einbau sollte die Dauer möglichst gering gehalten werden und das Eintreten von Niederschlagswasser verhindert werden.

Des Weiteren lässt sich feststellen, dass ein ausreichender Schlagregenschutz der tragenden Mauerstruktur einen wichtigen Beitrag zur Verringerung der Holzfeuchte liefert. Er steht zudem in direkter Verbindung mit einer angebrachten Innendämmung. Da durch ein Dämmsystem im Rauminnen das Austrocknungspotential im Mauerwerk und damit auch im Bereich um den Holzbalkenkopf verringert wird, ist es wichtig dass der Schlagregenschutz intakt ist, damit keine zusätzliche Feuchte von außen in die Konstruktion eintreten kann. Ist dies nicht der Fall, kann die eingedrungene Feuchte nur schlecht trocknen, wodurch eine Durchfeuchtung des Bauteils droht. Verhindert werden kann dies durch eine rissfreie Fassade und der Anwendung spezieller Putze oder Konstruktionen.

Je nach Wahl des Innendämmsystems werden hinter der Dämmebene unterschiedliche Bedingungen erzeugt. Diffusionsoffene Materialien wie Kalziumsilikatplatten können entstandene Feuchte aufnehmen und wieder abgeben. Im Gegensatz dazu kann diese bei dichten Systemen kaum abgeleitet werden, wodurch schnell Feuchteschäden entstehen können. Betrachtet man die Energieeffizienz, liegt die sinnvolle Dämmstärke bei ungefähr sechs bis acht Zentimeter. Umso geringer die Dicke

ist, desto höhere Temperaturen können in der Auflagertasche erreicht werden. Hierbei muss eine gute Balance zwischen Energieverlusten und Dämmstärke gefunden werden.

Zudem ist die Ausführung von Hohlräumen um den Balkenkopf herum zu beachten. Grundsätzlich wird durch die Luftschicht der kapillare Kontakt mit dem Mauerwerk verhindert, wodurch keine Feuchte aus der Wandkonstruktion in das Holz eindringen kann, jedoch sollte ein Austausch mit der Raumluft im Inneren der Auflagertasche verhindert werden. Durch die Luftkonvektion kann die warme einströmende Luft zu erhöhten Luftfeuchten im Bereich des Balkenkopfes führen. Die Ausbildung eines gut ausgeführten luftdichten Anschlusses kann hierbei Abhilfe schaffen und ist zu empfehlen.

Des Weiteren ist zu erwähnen, dass hohe Holzfeuchten auch durch eventuelle Undichtigkeiten von Bauteilen oder Brüchen von wasserführenden Leitungen innerhalb des Mauerwerks hervorgerufen werden. Vor allem bei Altbauten ist dies ein häufiger Grund von Feuchtschäden. Zusammenfassend gesehen, ist eine richtige Funktion von Sanierungsvarianten somit sehr von der fehlerfreien Ausführung der umliegenden Bauteile und Konstruktionen abhängig.

Künftig wird die thermische Sanierung von Gebäuden mit Holzbalkendecken eine immer größere Rolle in der Baubranche spielen. Die Gründe hierfür liegen in den laufend alternden Konstruktionen der Bestandsgebäude sowie den Anforderungen an Nachhaltigkeit und Energieeffizienz, die in die Ausführung von thermischen Sanierungen münden. Dadurch, dass es hierbei noch keine einheitlich geltenden normativen Regelungen gibt, stellt die hier durchgeführte Sammlung und Analyse eine wertvolle Hilfestellung für künftige Sanierungsprojekte dar.

Quellenverzeichnis

Publikationen

- Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014.
- Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017.
- Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA I: Schwingungen, Durchbiegungen, Tragfähigkeit. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2013.
- Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014.
- Innendämmung. Anwendung und Risiken. Hrsg.: Energieinstitut Vorarlberg. Dornbirn 2012.
- Kautsch, Peter/Hengsberger, Herwig/Ruisinger, Ulrich: OEKO-ID – Innendämmungen zur thermischen Gebäudeertüchtigung. Untersuchung der Möglichkeiten und Grenzen ökologischer, diffusionsoffener Dämmsysteme. Graz 2013.
- Merkblatt 02-04: Gebrauchstauglichkeit von Holzbalkendecken. Hrsg.: bauart Konstruktions GmbH & Co. KG. Lauterbach 2017.
- Reiner, Erich: Umgebaute Bauernhäuser im Bregenzerwald. Energetisch-thermische Sanierung. München: Verlag DVA Architektur 2015.

Skripten

- Hamm, Patricia: Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis. Biberach: Hochschule Biberach. Skriptum. 2012.

Gesetze und Normen

- ÖNORM B 1995-1-1:2015. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. 15.06.2015. Hrsg.: Austrian Standards Institute.

Internet

- Fasersättigungsbereich. In:
<https://www.holzvomfach.de/fachwissen-holz/glossar/faseraettigungsbe-reich/> (letzter Zugriff 12.06.2022)
- Feuchtebedingte Größen. Holzfeuchte. In:
https://ueba.elkonet.de/wbt/IMPORTER/Bautechnik/Bauwerk+_+Baustoff-technik/Feuchtebedingte+Gr%C3%B6%C3%9Fen/Holzfeuchte.html (letzter Zugriff 13.06.2022)
- Innendämmsysteme. Kapillaraktiv, diffusionsoffen oder mit Dampfbremse. In:
<https://www.baunetzwissen.de/daemmstoffe/fachwissen/daemmstoffe/in-nendaemmsysteme-1660707> (letzter Zugriff 09.06.2022)
- Innendämmung im Altbau. Probleme und Lösungen im Überblick. In:
<https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/innendaemmung/innendaemmung-altbau>
(letzter Zugriff: 13.04.2022)
- John, Pauline: Innendämmsysteme: Sei offen - oder mach dicht. In:
<https://www.ausbaupraxis.de/innendaemmsysteme-sei-offen--oder-mach-dicht-17112021> (letzter Zugriff 09.06.2022)
- Kayser, Christian: Bis sich die Balken biegen. In:
<https://www.db-bauzeitung.de/bauen-im-bestand/historische-bautechniken/holzbalkendecken/> (letzter Zugriff: 13.04.2022)
- Luftfeuchte und Wasserdampfdiffusion. Relative Luftfeuchte, Kondensat und Baustoffe. In:
<https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/feuchteschutz/luft-feuchte-und-wasserdampfdiffusion-4381921> (letzter Zugriff 13.04.2022)
- Paschotta, Rüdiger: Luftfeuchtigkeit. In:
<https://www.energie-lexikon.info/luftfeuchtigkeit.html> (letzter Zugriff 14.06.2022)

- Tragfähigkeit und Gebrauchstauglichkeit. In:
<https://www.ingenieurkurse.de/baustatik-1/kurs-baustati/aufgaben-der-baustatik/tragwerksentwurf.html> (letzter Zugriff: 13.04.2022)
- Von Stein, Christoph: Schlagregenschutz verhindert Eindringen von Feuchtigkeit. In:
<https://www.energiefachberater.de/daemmung/fassadendaemmung/in-nendaemmung/schlagregenschutz-verhindert-eindringen-von-feuchtigkeit.php> (letzter Zugriff 13.04.2022)

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Anteile der Durchbiegung	12
(Quelle: ÖNORM B 1995-1-1:2015. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. 15.06.2015. Hrsg.: Austrian Standards Institute. S.74.)	
Abb. 2: Beispiele für Grenzwerte der Durchbiegungen von Biegestäben	13
(Quelle: ÖNORM B 1995-1-1:2015. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. 15.06.2015. Hrsg.: Austrian Standards Institute. S.74.)	
Abb. 3: Subjektives Schwingungsempfinden	13
(Quelle: Hamm, Patricia: Schwingungen bei Holzdecken – Konstruktionsregeln für die Praxis. Biberach: Hochschule Biberach. Skriptum. S.3.)	
Abb. 4: Wertepaar a und b	16
(Quelle: ÖNORM B 1995-1-1:2015. Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten. 15.06.2015. Hrsg.: Austrian Standards Institute. S.78.)	
Abb. 5: Energieverluste in Abhängigkeit der Dämmstärke	17
(Quelle: Innendämmung im Altbau. Probleme und Lösungen im Überblick. In: https://www.energie-experten.org/bauen-und-sanieren/daemmung/innendaemmung/innendaemmung-altbau (letzter Zugriff: 13.04.2022))	
Abb. 6: Dämmung bis zum Balken herangeführt	18
(Quelle: Renarhis. Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere. Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn 2016. S.54.)	
Abb. 7: Obenliegende Aussparung der Dämmung mit Sockelheizung	19
(Quelle: Renarhis. Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere. Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn 2016. S.56.)	
Abb. 8: Beidseitige Aussparung der Dämmung mit Sockelheizung	19
(Quelle: Renarhis. Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere. Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn 2016. S.56.)	
Abb. 9: Vergleich der Temperaturen am Balkenkopf	20

(Quelle: Renarhis. Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere. Hrsg.: Bundesinstitut für Bau-, Stadt- und Raumforschung. Bonn 2016. S.56.)

Abb. 10: Sättigungsmenge in Abhängigkeit von der Temperatur 22
 (Quelle: Luftfeuchte und Wasserdampfdiffusion. Relative Luftfeuchte, Kondensat und Baustoffe. In:

<https://www.baunetzwissen.de/bauphysik/fachwissen/feuchteschutz/luftfeuchte-und-wasserdampfdiffusion-4381921> (letzter Zugriff 13.04.2022))

Abb. 11: Temperaturverlauf Außendämmung 26
 (Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.13.)

Abb. 12: Temperaturverlauf Innendämmung 27
 (Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.13.)

Abb. 13: Temperaturverlauf Kerndämmung 28
 (Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.13.)

Abb. 14: Systemschnitt – Balkenkopf in Außenwand 31
 (Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.6.)

Abb. 15: Systemschnitt – Balkenkopf in Fachwerkaußenwand 31
 (Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.7.)

Abb. 16: Systemschnitt – Durchbindender Balkenkopf..... 32
 (Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.7.)

Abb. 17: Systemschnitt - Balkenkopf auf Konsolauflager	32
(Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.8.)	
Abb. 18: Systemschnitt – Deckenbalken auf Mauerlatte	33
(Quelle: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. Hrsg.: Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V. (WTA). Stuttgart 2014. S.8.)	
Abb. 19: Materialeigenschaften von Dämmstoffen	37
(Quelle: Innendämmung. Anwendung und Risiken. Hrsg.: Energieinstitut Vorarlberg. Dornbirn 2012. S.12.)	
Abb. 20: Anbringen des ersten Klebestreifen	39
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.32.)	
Abb. 21: Überlappung der Klebestreifen.....	39
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.33.)	
Abb. 22: Anschluss mittels Putzanschlussband.....	39
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.44.)	
Abb. 23: Anbringen des Klebebands	40
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.48.)	
Abb. 24: Anbringen der Folienmanschette.....	40
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.48.)	
Abb. 25: Aufbringen der Dickbeschichtung.....	41
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.51.)	
Abb. 26: Praxiseispiel der Dickbeschichtung	41
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.52.)	

Abb. 27: Geringe Eindringtiefe in den Spalt.....	42
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.38.)	
Abb. 28: Anbringen des Klebebands	42
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.38.)	
Abb. 29: Zweite Schicht und angebrachtes Vlies	43
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.40.)	
Abb. 30: Erste Schicht der pastösen Beschichtung.....	43
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.40.)	
Abb. 31: Ausfüllen mit Injektionsmasse.....	44
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.46.)	
Abb. 32: Andichtung mit Klebeband	44
(Quelle: Einbindung von Holzbalken in die luftdichte Ebene. Hrsg.: PASSIVHAUS INSTITUT. Darmstadt 2014. S.46.)	
Abb. 33: Ansicht des Versuchsgebäudes.....	46
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.68.)	
Abb. 34: Schnitt der Testkonstruktion.....	46
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.69.)	
Abb. 35: Balkenanschluss mit Aluminiumblech	47
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.73.)	
Abb. 36: Balkenanschluss mit Dämmung und Fuge.....	47
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.73.)	
Abb. 37: Balkenanschluss mit Dämmung und erzwungener Konvektion.....	48

(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.74.)	
Abb. 38: Balkenanschluss mit Fuge	48
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.74.)	
Abb. 39: Balkenanschluss mit erzwungener Konvektion	49
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.75.)	
Abb. 40: Abgedichteter Balkenanschluss	49
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.76.)	
Abb. 41: Verlauf der Holzfeuchten in Raum 1.....	50
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.83.)	
Abb. 42: Verlauf der Holzfeuchten in Raum 2.....	51
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.84.)	
Abb. 43: Ansicht Alte Schäflerei	53
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.35.)	
Abb. 44: Beschädigter Balkenkopf und Überblattung	53
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.36.)	
Abb. 45: Übersicht Sanierungsvarianten des Auflagerbereichs.....	54
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.39.)	
Abb. 46: Übersicht der angebrachten Innendämmvarianten	55
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.49.)	
Abb. 47: Lageplan der Deckenbalken und deren Sanierungsmaßnahmen	55
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.47.)	

Abb. 48: Überblattung mit Mörtelbett und Dämmung	56
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.40.)	
Abb. 49: Gipskartonbox um Schlitzblech	57
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.41.)	
Abb. 50: Schlitzblech	57
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.41.)	
Abb. 51: Überblattung mit Aerogelmatte	57
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.43.)	
Abb. 52: Überblattung mit Elastomerauflager	58
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.43.)	
Abb. 53: Überblattung mit Aerogelmatte und Dämmung	58
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.45.)	
Abb. 54: Überblattung mit Mörtelbett und Kupferplatte	59
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.46.)	
Abb. 55: Verlauf der Holzfeuchten an der Oberfläche und im Kern	60
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.58.)	
Abb. 56: Temperaturverlauf am Balkenkopf	62
(Quelle: Energetisches Bewertungsverfahren für Bestandsgebäude mit Holzbalkendecken. Hrsg.: Projektträger Jülich. Jülich 2017. S.60.)	

Anhang

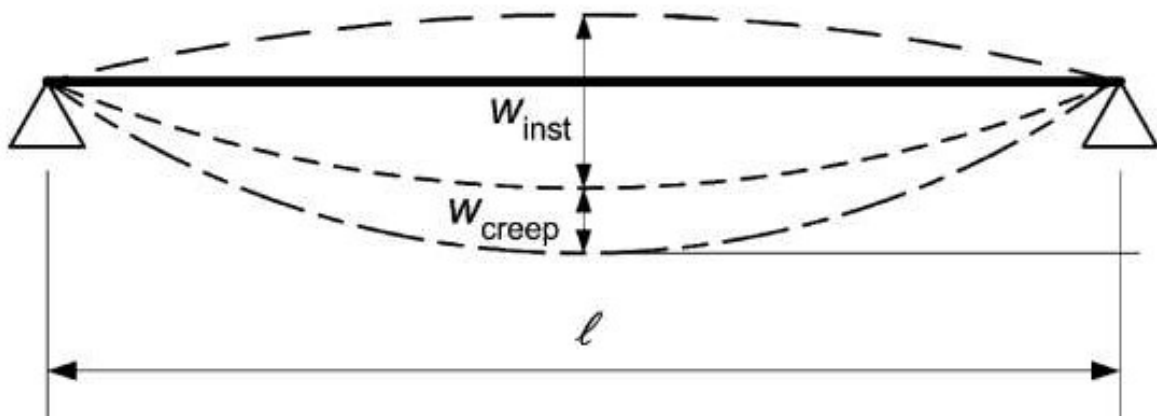
Anhang 1

BDF Merkblatt 02-04: Gebrauchstauglichkeit von Holzbalkendecken



BDF-Merkblatt 02-04

Stand 04.09.2017



**Gebrauchstauglichkeit von
Holzbalkendecken**

Merkblatt zu Durchbiegungs- und Schwingungsnachweisen von Holzbalkendecken nach Eurocode 5 und aktuellen Forschungserkenntnissen

1. Einleitung

Die hier aufgeführten Nachweise sind für die Anwendung von Holzbalkendecken konzipiert. Die Gebrauchstauglichkeitsnachweise (Durchbiegung und Schwingung) werden häufig maßgebend für die Dimensionierung der Konstruktion. Besonders der Schwingungsnachweis des Eurocode 5 (EC 5) [2] stellt hohe Anforderungen an die Konstruktion einer Holzbalkendecke. Im Nationalen Anhang zum EC 5 [3] wird allerdings angemerkt, dass das Schwingungsverhalten von Decken und die Begrenzung von Durchbiegungen im Hinblick auf die vorgesehene Nutzung zu beurteilen ist und die Anforderungen in Abstimmung mit dem Bauherrn festgelegt werden können. Forschungserkenntnisse [4] und [6] bieten die Grundlage für besondere Untersuchungen, die zu wirtschaftlicheren Lösungen führen können und als Branchenlösung für die üblichen Hausgrundrisse anwendbar sind.

Dieses Merkblatt gilt für Standard-Deckenaufbauten im Holzbau mit direkter Auflagerung des Deckentragwerks. Es gilt im Wesentlichen für die Ausführung von Decken im Wohnungsbau, Büros, Versammlungsstätten und Verkaufsflächen mit Nassestrichen.

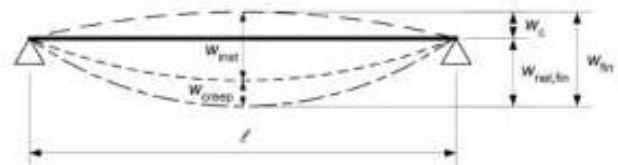
Besondere Grundrissituationen (z.B. sehr große Stützweiten, Trägerroste, Auflagerung auf Stahlträgern, etc.), die Ausführung von Trockenestrichen oder durch besondere Nutzung erforderliche höhere Anforderungen sind ggf. gesondert zu berücksichtigen.

2. Quellen

- [1] DIN EN 1990:2010-12: Eurocode 0: Grundlagen der Tragwerksplanung
- [2] DIN EN 1995-1-1:2010-12: Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten – Teil 1-1: Allgemeines - Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau
- [3] DIN EN 1995-1-1/NA:2013-08: Nationaler Anhang - National festgelegte Parameter – Eurocode 5: Bemessung und Konstruktion von Holzbauten - Teil 1-1: Allgemeines – Allgemeine Bemessungsregeln für den Hochbau
- [4] Abschlussbericht: „Schwingungstechnische Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ AiF-Vorhaben-Nr.: 15283 N; Winter, S.; Hamm, P.; Richter, A.
- [5] Erläuterungen zu DIN 1052:2004-2008, Entwurf, Bemessung und Berechnung von Holztragwerken, H.J. Blaß, J. Ehlbeck, H. Kreuzinger, G. Steck
- [6] Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz; Abschlussbericht Januar 1999; Kreuzinger, H.; Mohr, B.

3. Nachweis der Durchbiegung nach EC5 [2] und NA [3]

Für den Nachweis der Gebrauchstauglichkeit sind nach Eurocode 5 [2] die elastische Anfangsdurchbiegung w_{inst} , die Enddurchbiegung w_{fin} sowie die gesamte Enddurchbiegung $w_{net,fin}$ separat zu begrenzen. Die folgenden Formeln setzen einen linearen Zusammenhang zwischen Einwirkung und Verformung voraus. Die Einspannwirkung von Nachbarfeldern bei Mehrfeldträgern kann berücksichtigt werden.



- | | |
|---------------|---|
| w_{inst} | Anfangsdurchbiegung aus Eigengewicht, der ersten und weiteren veränderlichen Verkehrslasten |
| w_{creep} | Verformungsanteil hervorgerufen durch Kriechen |
| w_{fin} | Enddurchbiegung resultierend aus Eigengewicht, veränderlichen Verkehrslasten und Kriechen |
| w_c | Überhöhung (falls vorhanden) |
| $w_{net,fin}$ | Enddurchbiegung abzüglich Überhöhung |

Anfangsdurchbiegung $w_{inst} \leq w_{inst,grenz}$

w_{inst} berechnet sich aus der charakteristischen Einwirkungskombination: $\sum_{j \geq 1} G_{k,j} + Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$

$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i}$ $\psi_{0,i}$ nach [1] Tab. A 1.1 (= 0,7 für Wohnen, Büro, Versammlung, Verkauf; = 1,0 für Lagerflächen)

Die Verformungen sind mit den Mittelwerten der entsprechenden Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmodule zu berechnen (E_{mean} , G_{mean} , K_{ser}).

$w_{inst,grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{300} \text{ bis } \frac{l}{500}$ $\text{Kragträger: } \frac{l}{150} \text{ bis } \frac{l}{250}$ ([2] Tab. 7.2) **Empfehlung:**

$w_{inst,grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{300} \leq 15\text{mm}$ $\text{Kragträger: } \frac{l}{150} \leq 10\text{mm}$ (negative Verformungen bleiben unberücksichtigt)

JA

NEIN

Nachweis nicht erfüllt!

Enddurchbiegung $w_{fin} \leq w_{fin,grenz}$

w_{fin} berechnet sich aus w_{inst} überlagert mit w_{creep} infolge der quasiständigen Einwirkungskombination
Materialspezifische Verformungsbeiwerte k_{def} nach [3] Tab. NA.5

Tragwerke aus Bauteilen oder Komponenten mit gleichen Kriecheigenschaften

Werden Holzbauteile mit gleichem zeitabhängigen Verhalten über Verbindungen angeschlossen, sollte der Wert für k_{def} verdoppelt werden.

$w_{fin} = w_{inst} + w_{creep}$

$w_{inst} = w_{inst,G} + w_{inst,Q,1} + \sum_{i > 1} \psi_{0,i} \cdot w_{inst,Q,i}$
siehe auch Anfangsdurchbiegung

$w_{creep} = (w_{inst,G} + \sum_{i > 1} \psi_{2,i} \cdot w_{inst,Q,i}) \cdot k_{def}$ \square
Kriechverformungen

Tragwerk aus Bauteilen oder Komponenten mit unterschiedlichen Kriecheigenschaften

Werden Holzbauteile mit unterschiedlichem zeitabhängigen Verhalten über Verbindungen angeschlossen, sollte die Berechnung der Endverformung mit dem folgenden Verformungsbeiwert k_{def} für die Verbindung durchgeführt werden:

$$k_{def} = 2 \cdot \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$$

Die Endverformungen sind mit den Endwerten der Mittelwerte der entsprechenden Elastizitäts-, Schub- und Verschiebungsmoduln zu berechnen.

$$E_{mean,fin} = E_{mean} / (1 + k_{def})$$

$$G_{mean,fin} = G_{mean} / (1 + k_{def})$$

$$K_{ser,fin} = K_{ser} / (1 + k_{def})$$

$w_{fin,grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{150} \text{ bis } \frac{l}{300}$ $\text{Kragträger: } \frac{l}{75} \text{ bis } \frac{l}{150}$ ([2] Tab. 7.2)

Empfehlung:

$w_{fin,grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{200}$ $\text{Kragträger: } \frac{l}{100}$

JA

NEIN

Nachweis nicht erfüllt!

Gesamte Enddurchbiegung $w_{net,fin} \leq w_{net,fin,grenz}$

$w_{net,fin} = w_{fin} - w_c$

$w_{net,fin,grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{250} \text{ bis } \frac{l}{350}$ $\text{Kragträger: } \frac{l}{125} \text{ bis } \frac{l}{175}$ ([2] Tab. 7.2)

Empfehlung:

$w_{net,fin,grenz} = \text{Feld: } \frac{l}{300}$ $\text{Kragträger: } \frac{l}{150}$

JA

NEIN

Nachweis erfüllt!

Nachweis nicht erfüllt!

4. Schwingungsnachweis

Es ist sicherzustellen, dass häufig zu erwartende Einwirkungen auf Bauteile oder Tragwerke keine Schwingungen verursachen, welche die Funktion des Bauwerks beeinträchtigen oder bei den Nutzern unzulässiges Unbehagen verursachen. Grundsätzlich gelten die Regelungen nach EC5 [2] und Nationalem Anhang (NA) [3]. Die in [2] Abs. 7.3.3 (1) aufgeführten besonderen Untersuchungen für Decken mit einer ersten Eigenfrequenz $f_1 \leq 8$ Hz können nach den Erkenntnissen aus den Forschungsberichten [4] und [6] geführt werden. Die Erkenntnisse aus dem Forschungsbericht [6] sind in die Erläuterungen zur DIN 1052 [5] eingeflossen. Die folgenden Anwendungsschemata beziehen die Plattenwirkung eines auf der Holzbalkendecke befindlichen Estrichs mit ein. Die verwendeten Formelzeichen werden auf Seite 6 erläutert.

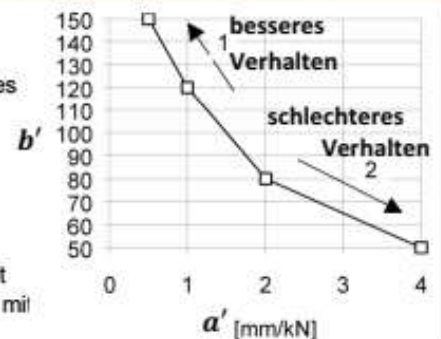
4.1 Nachweis nach EC5 [2], NA [3] und Erläuterungen zur DIN 1052 [5]

Definition der Anforderung an das Schwingverhalten und Ermittlung des Grenzwertepaars a' und b'

Die Grenzwerte der Schwinggeschwindigkeit v und der Beschleunigung a werden aus dem variablen Wertepaar a' und b' , der Eigenfrequenz f_1 sowie des Dämpfungsgrades ζ bestimmt.

Das Wertepaar a' und b' ergibt sich aus der Entscheidung für ein **besseres** oder **schlechteres** Schwingverhalten. Die Ausführung mit **besserem** Schwingverhalten wird hierbei empfohlen.

Anmerkung: In diesem Merkblatt wird das Wertepaar abweichend vom EC5 mit a' und b' bezeichnet, da die Raumbreite bereits mit b und die Beschleunigung mit a bezeichnet werden.



Eigenfrequenzkriterium

Die Ermittlung der Eigenfrequenz f_1 [Hz] kann durch Messungen am System oder durch Berechnung erfolgen.

Für rechteckige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Decken mit den Gesamtmaßen $l \cdot b$ und Holzbalken bzw. Massivholzdecken der Spannweite l darf die Eigenfrequenz f_1 näherungsweise berechnet werden zu:

$$f_1 = \frac{\pi}{2 \cdot l^2} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{m}}$$

Für Einfeldträger kann die Eigenfrequenz direkt aus der Durchbiegung aus ständiger Einwirkung berechnet werden:

$$f_1 = \frac{5}{\sqrt{0,8 \cdot w_g [cm]}}$$

Umrechnung Einfeld- zu Zweifeldbalken mit k_f ($l_1 < l$) $\rightarrow f_{1,Zweifeld-Balken} = f_{1,Einfeld-Balken} \cdot k_f$

l_1 / l	1,0	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,1	0,0
k_f	1,0	1,09	1,15	1,20	1,24	1,27	1,3	1,33	1,38	1,42	1,56
γ	2,0	1,40	1,15	1,05	1,00	0,969	0,951	0,934	0,927	0,918	0,912

aus [5] Tab. 9/3, 9/4

γ = Beiwert zur Berücksichtigung der mitschwingenden Masse, siehe unten.

Nach Forschungserkenntnissen von [4] und [6] darf die Steifigkeit des Estrichs mit in die Frequenzberechnung einfließen. Bei Holzbalkendecken mit Estrich ergibt sich dabei auch eine Steifigkeit in Querrichtung (EI_b), welche mit der Steifigkeit der Estrichschicht gleichzusetzen ist. Besitzt die Tragkonstruktion bereits auch eine Steifigkeit in Querrichtung so darf diese addiert werden. Die Plattentragwirkung kann mit dem Beiwert α berücksichtigt werden.

$$f_{1,Platte} = f_{1,Balken} \cdot \sqrt{1 + \frac{1}{\alpha^4}}; \quad \text{mit: } \alpha = \frac{b}{l} \cdot \sqrt[4]{\frac{EI_l}{EI_b}}$$

$f_1 \geq 8$ Hz

$f_1 < 8$ Hz

$f_1 \geq 8 \text{ Hz}$

$f_1 < 8 \text{ Hz}$

Nachweisschema EC5 [2]

Steifigkeit: $w_{1kN} < w_{\text{grenz},1kN}$

w_{1kN} bezeichnet die größte vertikale Anfangsdurchbiegung infolge einer konzentrierten vertikalen statischen Einzellast $F (= 1kN)$, an ungünstigster Stelle wirkend und unter Berücksichtigung der Lastverteilung ermittelt.

Für eine Holzbalkendecke ergibt sich vereinfachend:

$$w_{1kN} = \frac{l^2}{48 \cdot EI \cdot b_{w(1kN)}} \quad \text{mit: } b_{w(1kN)} = \min \left\{ \frac{b_{ef}}{b} \right\}$$

$$b_{ef} = \frac{b}{1,1 \cdot \alpha} ; \quad \alpha = \frac{b}{l} \cdot \sqrt{\frac{EI_l}{EI_b}} \quad b_{w(1kN)} \text{ muss nicht kleiner als der Balkenabstand gewählt werden!}$$

$$w_{\text{grenz},1kN} = \alpha' \left[\frac{mm}{kN} \right]$$

Schwinggeschwindigkeit $v_{\text{(Einheitsimpuls)}} < v_{\text{Grenz}}$

v bezeichnet die Einheitsimpuls geschwindigkeitsreaktion, d. h. der maximale Anfangswert der vertikalen Schwingungsgeschwindigkeitsamplitude der Decke (in m/s) infolge eines an derjenigen Stelle der Decke aufgetragenen idealen Einheitsimpulses (1 Ns), der die größte Eigenfrequenz erzeugt. Anteile über 40 Hz dürfen vernachlässigt werden.

Für rechteckige, an allen Rändern gelenkig gelagerte Decken mit den Gesamtmaßen $l \cdot b$ und Holzbalken der Spannweite l darf der Wert v näherungsweise berechnet werden zu:

$$v \cong \frac{4(0,4 + 0,6n_{40})}{m \cdot b \cdot l + 200}$$

$$\text{mit: } n_{40} = \left\{ \left(\left(\frac{40}{f_1} \right)^2 - 1 \right) \cdot \left(\frac{b}{l} \right)^4 \cdot \frac{(EI)_l}{(EI)_b} \right\}^{0,25}$$

Für Balken näherungsweise:

$$v \cong \frac{1}{m \cdot e \cdot l - 0,5 \cdot \gamma + 50}$$

$$v_{\text{grenz}} \leq b' (f_1 \cdot \zeta - 1) \text{ [m/Ns}^2\text{]}$$

Der modale Dämpfungsgrad ζ kann auf der sicheren Seite zu $\zeta = 0,01$ (bzw. 1%) angenommen werden.

JA

NEIN

Nachweis erfüllt

Nachweis nicht erfüllt

Besondere Untersuchungen nach [5]

Die „besonderen Untersuchungen“ umfassen Untersuchungen der Schwinggeschwindigkeit v infolge Fersenauftritt sowie Resonanzuntersuchungen (evtl. spezifische Untersuchungen).

Schwinggeschwindigkeit: $v_{\text{(Fersenauftritt)}} < v_{\text{Grenz}}$

Für Platten:

$$v = \frac{950 \cdot \alpha}{f_1 \cdot m \cdot b \cdot l \cdot \gamma}$$

Für Balken:

$$v = \frac{55}{m \cdot e \cdot l \cdot 0,5 \cdot \gamma + 50}$$

$$v_{\text{Grenz}} \leq 6 \cdot b' (f_1 \cdot \zeta - 1) \left[\frac{m/s}{1 \text{ Ns}} \right]$$

Beschleunigung: $a < a_{\text{Grenz,vertikal}}$

Ausgehend von einer beim Gehen auftretenden Schrittfrequenz und einer Mannlast von 700N kann die Beschleunigung vereinfachend abgeschätzt werden:

$$a \cong \frac{56}{m \cdot b \cdot l \cdot \gamma \cdot \zeta}$$

(γ bei Zweifeldträger; siehe Tabelle oben)

Der Dämpfungsgrad ζ kann angenommen werden zu:

Deckenaufbau	ζ
Decken ohne schwimmenden Estrich	0,01
Decken aus verleimten Brettstapel-Elementen mit schwimmendem Estrich	0,02
Holzbalkendecken und mechanisch verbundene Brettstapel-Decken mit schwimmendem Estrich	0,03

aus [5] Tab. 9/8

Bewertung:

$$a \leq 0,1 \text{ m/s}^2$$

$$0,1 < a < 0,4 \text{ m/s}^2$$

Wohlbefinden

spürbare Resonanz,
nicht störend

JA

NEIN

Nachweis erfüllt

Nachweis nicht erfüllt

4.2 Erkenntnisse aus AiF-Forschungsvorhaben „Schwingungstechnische Optimierung von Holz- und Holz-Beton-Verbunddecken“ [4] und Abschlussbericht „Gebrauchstauglichkeit von Wohnungsdecken aus Holz“ [6]

Nach [4] sind an Wohnungsdecken in Mehrfamilienhäusern, Decken in Büros oder Besprechungsräumen – diese Decken werden nachfolgend vereinfachend als Trenndecken bezeichnet – oder auch Flure mit kurzen Spannweiten höhere Anforderungen an das Schwingungsverhalten zu stellen als an Decken innerhalb einer Nutzungseinheit, z.B. Decken in Einfamilienhäusern. Handelt es sich bei den Trenndecken um Durchlaufträger, so ist gemäß [6] eine weitere Unterscheidung erforderlich. Die Anforderungen an das Steifigkeitskriterium (w_{1kN}) sind bei Durchlaufträgern mit verschiedenen Nutzungseinheiten bzw. „Nutzungszonen“ – z.B. unterschiedliche Büroräume oder angrenzende Flur etc. – in den einzelnen Deckenfeldern höher als bei Trenndecken mit einer Nutzungseinheit über die komplette Balkenlänge, wie z.B. Mehrfamilienhaus mit einer Wohnung je Geschoss. Der günstige Einfluss der Durchlaufwirkung darf auch beim Steifigkeitskriterium berücksichtigt werden, vgl. Abschnitt 4.4.

Nach Meinung der Autoren von [4] und [6] darf die Biegesteifigkeit des Estrichs (ohne Verbund) sowie bei zweiachsig gespannten Decken die Drillsteifigkeit bei der Berechnung der Eigenfrequenz berücksichtigt werden. Die Grenzgeschwindigkeit v_{Grenz} wird bei Decken mit üblichen Schallschutzaufbau nicht maßgebend, der Nachweis kann vereinfachend entfallen. Wie bereits im Eurocode 5 wird auch in [4] aufgeführt, dass bei der Ermittlung der Eigenfrequenz der Ansatz von ausschließlich ständigen Einwirkungen ausreichend ist, quasi-ständige Lastanteile müssen nicht berücksichtigt werden. Es wird empfohlen bei hohen quasiständigen Anteilen von Nutzlasten, wie sie beispielsweise bei Büro- oder Archivnutzung vorzufinden sind, diese ebenfalls zu berücksichtigen!

Neben den Anforderungen des Eurocodes 5 wird das Schwingungsverhalten wesentlich von der Art der Konstruktion und dem Ausbau beeinflusst. Die Anordnung einer schwimmenden Estrichschicht (insbesondere Nassestrich, ggf. auf Schüttung) wirkt sich positiv auf das Schwingverhalten aus. Holzbalkendecken (oder Trägerroste) als Trenndecken sollten stets mit einem schwimmenden Nassestrich, möglichst in Kombination mit einer Schüttung, ausgeführt werden. Die Schüttung bewirkt hierbei eine Erhöhung der Masse und der Dämpfung. Dies kann auch durch Beschwerungen der Rohdecken oder durch schwere Unterdecken erfolgen. Für Decken unter Räumen, die für rhythmische Bewegungen genutzt werden, wie z.B. Turnhallen, sollten genauere Untersuchungen durchgeführt werden. Eine nachgiebige Lagerung auf Unterzügen sollte über die Berechnung der Eigenfrequenz und der Durchbiegung am Gesamtsystem berücksichtigt werden. Für Unterzüge kann näherungsweise eine Mindeststeifigkeit festgelegt werden, die Verformung der Unterzüge unter einer Einzellast von 1 kN sollte maximal $w_{1kN} = 0,25$ mm betragen.

Hinweis: Die Erfahrungen der letzten Jahre haben gezeigt, dass bei der Verwendung von Trockenestrich-Systemen Schwingungsüberlagerungen der Estrichkonstruktion mit der eigentlichen Rohdecke erfolgen können. Diese können von den Nutzern als unangenehm empfunden werden, obwohl die hier genannten Anforderungen an die Rohdecke eingehalten werden. Ein Eigenschwingungsverhalten macht sich insbesondere dann bemerkbar, wenn durch das Wandern von Schüttungen, Verlegefehler oder intensive Leitungsinstallationen unterhalb des Estrichs geringfügige Hohlstellen auftreten. Es wird daher dringend empfohlen, die Querbiegesteifigkeit von Trockenestrichen nur bei der Verwendung großformatiger Estrichelemente rechnerisch anzusetzen, nur geprüfte Systeme zu verwenden und die Verlegeanleitungen der Systemhersteller strikt einzuhalten. Ein Mischen von Systemen ist zu vermeiden.

4.3 Formelzeichen

- m die Masse je Flächeneinheit aus ständigen Einwirkungen (nicht quasi-ständig) [kg/m²];
- l die Deckenspannweite [m];
- l₁ die Deckenspannweite [m] des kleineren Feldes eines Zweifeldträgers;
- b die Deckenbreite [m];
- e Balkenabstand [m];
- E_I die äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse rechtwinklig zur Balkenrichtung (in Spannrichtung der Decke) je lfm. [MNm²/m]

- E/b die äquivalente Plattenbiegesteifigkeit der Decke um eine Achse längs zur Balkenrichtung (in Querrichtung der Decke) je lfm. [MNm²/m]
- n_{40} die Anzahl der Schwingungen 1. Ordnung mit einer Resonanzfrequenz bis zu 40 Hz;
- w Durchbiegung [mm]
- a_t Beschleunigung zum Zeitpunkt t ;
- a_{max} maximale Beschleunigung;
- a', b' Grenzwertepaar

4.4 Nachweisschema nach Forschungsbericht [4] in Verbindung mit den Erkenntnissen aus Forschungsbericht [6]

Frequenzkriterium: $f_1 > f_{1,grenz}$

Die Ermittlung der Eigenfrequenz kann durch Messungen oder Berechnung erfolgen. Die Frequenzberechnung verläuft auch hier analog zu den zuvor beschriebenen Berechnungen des EC5 [2].

Trenndecken: $f_{1,grenz} \geq 8$ Hz

Decke innerhalb einer Nutzungseinheit: $f_{1,grenz} \geq 6$ Hz

JA

NEIN

Steifigkeitskriterium: $w_{1kN} < w_{grenz,1kN}$

w_{1kN} bezeichnet die Durchbiegung analog EC5 [2]. Bei Durchlaufträgern erfolgt der Nachweis ebenfalls am beidseitig gelenkig gelagerten Träger mit der Spannweite des größten Feldes l . Die Biegesteifigkeit des Estrichs darf angerechnet werden.

Formeln: (siehe linkes Nachweisschema EC5, Steifigkeit)

Trenndecken	$w_{grenz,1kN}$
Einfeldträger	0,50 mm
Durchlaufträger, eine Nutzungseinheit in Etage	0,70 mm
Durchlaufträger, mehrere Nutzungseinheiten in Etage (nicht empfohlen!)	0,25 mm
Decken innerhalb einer Nutzungseinheit	
Einfeldträger	1,00 mm
Durchlaufträger	1,40 mm

Anmerkung: Die Grenzwerte sind gültig für eine Dämpfung $\zeta = 0,01$. Bei einer Dämpfung von $\zeta = 0,02$ dürfen die Grenzwerte mit dem Faktor 1,15 multipliziert werden, und für eine Dämpfung von $\zeta = 0,03$ mit einem Faktor 1,25.

JA

Massenkriterium: $v \leq v_{grenz}$

v bezeichnet die Schwinggeschwindigkeit der Decke bei einem Impuls mit kürzerer Einwirkungsdauer. Berechnungsgleichungen nach Nachweisstruktur aus [5] (siehe 4.1). Bei Nassestrichen kann dieser Nachweis vereinfachend entfallen, da dieser in der Regel eingehalten ist.

JA

NEIN

Nachweis erfüllt!

genauere Untersuchungen

Die genaueren Untersuchungen sind i. A. nur bei schweren Decken, z.B. bei Holz-Beton-Verbunddecken Erfolg versprechend

Eigenfrequenz: $f_1 > 4,5$ [Hz] (nach [4])

Beschleunigungskriterium: $a < a_{grenz}$ (nach [6])

Beschleunigung a vereinfachend nach Nachweisstruktur aus [5] (siehe 4.1) oder ausführlich:

$$a \approx \frac{0,4 \cdot P_0 \cdot \alpha_2}{M_{gen}} \cdot \frac{1}{\sqrt{\left[\left(\frac{f_1}{f_f}\right)^2 - 1\right]^2 + \left(2 \cdot \zeta \cdot \frac{f_1}{f_f}\right)^2}} \leq 0,10 \frac{m}{s^2}$$

$P_0 = 700N$ (üblicher Wert Personenlast)

$\zeta = 0,01$ bis $0,03$ (siehe oben aus Tab. 9/8 [5])

$\alpha_2 =$ Fourierkoeffizient aus Tab. 8 [6]

$f_f =$ Anregungsfrequenz aus Tab. 8 [6]

$M_{gen} =$ generalisierte Masse $M_{gen} \approx m \cdot \frac{1}{2} \cdot h_w(1kN)$

Frequenzbereich	Fourierkoeffizient α_2	Anregungsfrequenz f_f
$3,4 < f_1 \leq 5,1$ Hz	0,2	$f_f = f_1$
$5,1 < f_1 \leq 6,9$ Hz	0,06	$f_f = f_1$
$f_1 > 6,9$ Hz	0,06	$f_f = 6,9$ Hz

aus [6] Tab. 8

NEIN

Nachweis nicht erfüllt!