

# **Analyse von Forschungsergebnissen zum hygrothermischen Bauteilverhalten von Holzbalkenköpfen**

## **Analysis of research results on the hygrothermal behaviour of timber beam heads**

### **Bachelorarbeit**

Zur Erlangung des akademischen Grades

**Bachelor of Science in Engineering (BSc)**

der Fachhochschule FH Campus Wien

Bachelorstudiengang: Architektur - Green Building

**Vorgelegt von:**

Mariam Shrief

**Personenkennzeichen**

1810733055

**Erstbegutachter:**

Dipl.-Ing. Dr.techn. Tobias Steiner

Eingereicht am:

25.06.2021



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: 25.06.2021

Unterschrift:.....

A handwritten signature in black ink, consisting of a stylized, cursive script. The signature is written over a horizontal dotted line that serves as a baseline for the signature field.



## **Danksagung**

An dieser Stelle möchte ich mich bei all denjenigen bedanken, die mich auf dem Weg der Anfertigung dieser Bachelorarbeit begleitet und unterstützt haben.

Zuerst gebührt mein Dank der Dipl.-Ing. Dr. techn. Steiner, der meine Bachelorarbeit betreut und begutachtet hat. Für die hilfreichen Anregungen und die konstruktive Kritik bei der Erstellung dieser Arbeit möchte ich mich herzlich bedanken.

Ebenfalls möchte ich mich bei meiner Familie und meinen Freunden bedanken, die mir mein Studium durch ihre Unterstützung ermöglicht haben und stets ein offenes Ohr für mich hatten.

## **Kurzfassung**

Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Analyse des hygrothermischen Bauteilverhaltens von Holzbalkenköpfen.

Holzbalkenköpfe sind die Enden einer Holzbalkendecke, die im Auflager in einer Außenwand liegen, genauer gesagt, die an die massive Wand anschließen. Besonders bei den Holzbalkenköpfen, sollte beachtet werden, welche Dämmung einzusetzen ist, denn es sehr leicht zu Wärmebrückenbildung, Wasserschäden, Tauwasserbildung und Schädlingsbefall kommen kann.

Das erste Kapitel befasst sich mit den holzwirtschaftlichen Grundlagen. Hier werden ebenso sämtliche Holzschädlinge, sowie tierische als auch pflanzliche Schädlinge, und der Holzschutz näher beschrieben.

Weiters wird auf die Feuchteanalyse von Holzbalkenköpfen näher eingegangen. Dabei ist es wichtig zu wissen, bis zu welchem Feuchtegehalt der Baustoff schadensfrei ist, was die Ursachen sind und wie man die zu hohe Feuchte vermeiden kann.

Abschließend wurden im letzten Kapitel Wärmeanalyse von Holzbalkenköpfen verschiedene Wärmedämmungen verglichen und analysiert, wobei besonders ein Augenmerk auf die Innendämmung gerichtet wurde.

## **Abstract**

This thesis deals with the analysis of the hygrothermal component behavior of wooden beam heads.

Wooden beam heads are the ends of a wooden beam ceiling that lie in the support in an outer wall, more precisely, which connect to the solid wall. Particularly with the wooden beam heads, it should be noted which insulation is to be used, because thermal bridges, water damage, condensation and pest infestation can very easily occur.

The first chapter deals with the basics of the wood industry. All wood pests, as well as animal and plant pests, and wood protection are also described in more detail here.

Furthermore, the moisture analysis of wooden beam heads is dealt with in more detail. It is important to know up to what moisture content the building material is free of damage, what the causes are and how to avoid excessive moisture.

Finally, in the last chapter, thermal analysis of wooden beam heads, various types of thermal insulation were compared and analyzed, with particular attention being paid to the interior insulation.

## Schlüsselbegriffe

Bauschaden	Structural damage
Feuchte	Humidity
Holzbalkendecke	Wooden beam ceiling
Holzbalkenkopf	Wooden beam head
Holzschutz	Wood preservation
Holzschädlinge	Wood pests
Wärme	Heat
Wärmebrücken	Thermal bridges
Wärmedämmungen	Thermal insulation



# Inhaltsverzeichnis

<b>DANKSAGUNG</b> .....	<b>I</b>
<b>KURZFASSUNG</b> .....	<b>II</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>III</b>
<b>SCHLÜSSELBEGRIFFE</b> .....	<b>IV</b>
<b>INHALTSVERZEICHNIS</b> .....	<b>V</b>
<b>1. EINLEITUNG</b> .....	<b>1</b>
<b>2. HOLZWISSENSCHAFTLICHE GRUNDLAGEN</b> .....	<b>3</b>
2.1. Hauptbestandteile des Holzes .....	3
2.2. Weltweite Holzproduktion .....	3
2.3. Eigenschaften von Holz .....	4
2.4. Witterungseinflüsse .....	5
2.5. Holzschädlinge .....	7
2.5.1. Pflanzliche Schädlinge .....	8
2.5.1.1. Holzverfärbende Pilze .....	8
2.5.1.2. Holzzerstörende Pilze .....	10
2.5.2. Tierische Schädlinge.....	11
2.5.2.1. Bockkäfer – Hausbock .....	12
2.5.2.2. Nagekäfer – Bunter Nagekäfer.....	13
2.5.2.3. Splintholzkäfer – Brauner Splintholzkäfer.....	13
2.5.2.4. Bohrkäfer – Kapuzinerkäfer.....	14
2.6. Holzschutz.....	15
<b>3. FEUCHTEANALYSE VON HOLZBALLENKÖPFEN</b> .....	<b>16</b>
3.1. Holzbalkendecken .....	16
3.2. Die Problematik der Holzbalkendecken und Holzbalkenköpfe .....	17
3.3. Bewertung von Holzfeuchte .....	19
3.4. Mögliche Ursachen für zu hohe Feuchte in Holzbalkenköpfen .....	21
3.5. Trocknung von Holzbalkendecken.....	24
3.5.1. Versuch 1: Natürliche Trocknung.....	27
3.5.2. Versuch 1: Einsatz von Trocknungstechniken .....	28
3.5.3. Versuch 1: Modifizierter Einsatz von Trocknungstechniken .....	28
<b>4. WÄRMEANALYSE VON HOLZBALLENKÖPFEN</b> .....	<b>30</b>
4.1. Auswirkungen von Wärmedämmmaßnahmen .....	30

<b>4.2. Vergleich von Verschiedenen Dämmsystemen.....</b>	<b>31</b>
4.2.1 Vor- und Nachteile von Außendämmungen .....	31
4.2.2 Vor- und Nachteile von Kerndämmungen .....	33
4.2.3 Vor- und Nachteile von Innendämmungen .....	33
<b>4.3. Problematik der Innendämmung .....</b>	<b>34</b>
4.3.1 Wärmebrücken.....	35
4.3.2 Tauwasser.....	36
4.3.3 Trocknungsbehinderung .....	36
<b>5. FAZIT .....</b>	<b>38</b>
<b>QUELLENVERZEICHNIS .....</b>	<b>39</b>
A. Gedruckte Quellen .....	39
B. Digitale Quellen .....	40
<b>ABBILDUNGSVERZEICHNIS .....</b>	<b>41</b>

## 1. Einleitung

Holz, ein nachwachsender und pflanzlicher Rohstoff, der von Bäumen gebildet wird, wird sowohl zum Bauen, aber auch gleichzeitig als Brennmaterial verwendet. Bäume wachsen Großteils in Wäldern, die ungefähr ein Viertel der Landfläche betragen. Rund 97% der Wälder zählen zu den natürlichen oder forstlich bewirtschafteten Wäldern, 3% gehören zu den künstlich angelegten Wäldern.<sup>1</sup>

Holz zählt, aufgrund seiner günstigen und baubiologischen Eigenschaften, weltweit zu dem am häufigsten verwendeten Material. Das Material kann man vielfältig gestalten, weist eine hohe Tragfähigkeit bei geringem Gewicht auf und ist zudem schön und ästhetisch. Außerdem ist es einfach zu recyceln, trennen und zu entsorgen.

Der Baustoff besitzt aber sowohl Vorteile wie auch Nachteile. Das Holz verändert sich negativ, wenn zum Beispiel ein dauerhafter Kontakt mit Wasser und der UV-Strahlung vorliegt. Aber auch die mechanische Beanspruchung, die Verschmutzung und die Feuchtigkeit spielen eine wichtige Rolle. Zudem ist Holz im Außenraum besonders gefährdet, da es den Witterungseinflüssen ausgesetzt ist. Dazu zählen Niederschläge, eine stark veränderte Luftfeuchtigkeit, sowie große Temperaturunterschiede (Frost), Sonne und Wind.

Dabei stellt sich die Frage wie sich Holz, speziell Holzbalkenköpfe, gegenüber Feuchte,- oder Wärmeeinwirkung verhalten. Da die Struktur des Baustoffes offenporig ist, gelingt es der Feuchte leicht einzudringen und dort abzutrocknen, was zu einem Quell,- und Schwindverhalten führt. Grundsätzlich muss das Holz schon vor der Montage auf der Baustelle der Schutz vor Feuchtigkeit sicherstellen. Auch während der Bauphase ist dies einzuhalten. In der DIN 68800 zum Thema Holzbau sind fünf Gebrauchsklassen festgelegt, die den geeigneten Einbau des Holzes darlegen, welche im Kapitel 3. Feuchteanalyse von Holzbalkenköpfen näher beschrieben werden.

---

<sup>1</sup> Thomas, Oyen: Holz im Außenraum. Grundlagen, Materialien, Beispiele. 1. Auflage. Köln: Bruderverlag 2011. S.13.

Sowohl die Bauschäden, die durch die vermehrte Feuchte,- und Wärmeeinwirkung geschehen, werden auch die Reparaturen der Holzbalkendecken und deren Holzbalkenköpfe näher dargelegt. In meiner Arbeit wurden drei Trocknungsverläufe mit unterschiedlichen Trocknungstechniken untersucht und analysiert, um herauszufinden welcher Weg am effektivsten ist.

Im letzten Kapitel Wärmeanalyse von Holzbalkenköpfen werden die verschiedenen Dämmsysteme näher erläutert, wobei besonders ein Augenmerk auf die Innendämmung gerichtet wird. Die Holzbalkendecken sind in Verbindung mit der Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht nicht optimal, da der Holzbalkenkopf die Dämmschicht durchdringt und sich dadurch in der kalten, feuchten Seite der Wandkonstruktion befindet. Außerdem sorgt die Innendämmung für eine Wärmenbrücken,- und einer Tauwasserbildung in der Konstruktion.

## 2. Holzwissenschaftliche Grundlagen

### 2.1. Hauptbestandteile des Holzes

Die Hauptbestandteile des Holzes sind die Holocellulose und das Lignin. Ungefähr 60 bis 85% der Holocellulose sind im Holz enthalten. Sie besteht aus der eigentlichen Cellulose und den Holzpolyosen. Sie stellt den Gesamtkomplex der Gerüstsubstanz der Holzzellwand dar.

Mit 40% bis 50% gilt Cellulose als Hauptbestandteil des Holzes. Cellulose setzt sich aus Glucosemolekülen zusammen, die eine lange Kette bilden und dafür verantwortlich sind, dass das Holz zugfest ist.

Holzpolyosen, auch Hemicellulosen genannt, sind das Bindungsmittel zwischen Cellulose und Lignin. Gemeinsam entwickeln sie die Gerüstsubstanz der Holzzellwand. Holzpolyosen werden unterteilt in Hexosane, die in Nadelhölzern vorkommen, und in Pentosane, die in Laubhölzern vorkommen. Der Gesamtanteil der Holzpolyosen im Holz beträgt 20 bis 35%.

Lignin, das häufig auch als Kittsubstanz oder Verholzungstoff beschrieben wird, besteht aus Phenylpropan-Einheiten. Umhüllt von Cellulose und Holzpolyosen, durchzieht es die Holzzellwand. Die Druckfestigkeit des Holzes ist vom Lignin geprägt, dessen Anteil 15 bis 35% ausmacht. Bei Nadelhölzern ist der Anteil an Lignin deutlich höher als bei Laubhölzern.<sup>2</sup>

### 2.2. Weltweite Holzproduktion

Von allen Materialien wird Holz weltweit am häufigsten verwendet. Ungefähr mehr als fünf Billionen Tonnen Holz werden jährlich produziert. Platz zwei geht an die Zementproduktion mit rund drei bis vier Billionen Tonnen im Jahr, gefolgt von Stahl mit circa eineinhalb Billionen Tonnen. Deutlich geringer ist der Anteil an Plastik und Aluminium mit weniger als einer Billion Tonne.

---

<sup>2</sup> Aichberger, Stella: Holzschädlinge und Holzschutz im Terminologievergleich Deutsch – Tschechisch. Wien: Universität Wien. Diplomarbeit 2009. S.18f.

Von den insgesamt fünf Billionen Tonnen produziertem Holz wird eine Vielzahl an Kubikmetern zur Verbrennung bereitgestellt. In Europa zum Beispiel ist die Brennholzproduktion vom Jahr 1993 bis 2013 um 27 Prozent gestiegen, und zwar von 114,9 Millionen Kubikmetern auf 146,2 Millionen Kubikmetern. Im Vergleich dazu ist die Produktion von Industrierundholz um 35 Prozent gestiegen, und zwar von 406,7 Millionen Kubikmetern auf 550,1 Millionen Kubikmeter. Der Kontinent, der den größten Anteil an Holz verbrennt, ist Asien. Die Brennholzproduktion ist zwar zwischen den Jahren 1993 und 2013 um 15 Prozent gesunken, liegt aber trotzdem, und vor allem im Vergleich zu den anderen Kontinenten, sehr hoch. Sie ist von 873,2 Millionen Kubikmetern auf 747,9 Millionen Kubikmeter gesunken, während die Industrierundholzproduktion um 38 Prozent gestiegen ist. Einen deutlichen Unterschied zwischen der Brennholz- und Industrierundholzproduktion ist in Afrika erkennbar. Dort ist die Produktion von Brennholz sehr hoch, verglichen mit der von Industrierundholz. In Nordamerika ist das Gegenteil zu erkennen. Dort ist die Industrierundholzproduktion wesentlich höher als die Brennholzproduktion.

Verschiedene Holzwerkstoffe werden rund um die Welt produziert, wobei die Quantität in den einzelnen Kontinenten differiert. Asien, der Kontinent, der im Jahr 2013 am meisten Holzwerkstoffe produzierte, lag bei 29,7 Millionen Kubikmetern Spanplatten, bei 75,2 Millionen Kubikmetern Faserplatten und 109,7 Millionen Kubikmetern Sperrholz. In Europa werden die meisten Spanplatten angefertigt, nämlich 45,8 Millionen Kubikmeter, wohingegen Sperrholz deutlich weniger gefragt ist. Die Produktion von Holzwerkstoffen ist in Nordamerika höher als in Südamerika, wobei dies besonders bei der Herstellung von Spanplatten zu erkennen ist. In sehr geringen Mengen werden sowohl Spanplatten und Faserplatten als auch Sperrholz in Afrika und in Ozeanien produziert.<sup>3</sup>

### **2.3. Eigenschaften von Holz**

Holz ist aus mehreren Gründen weltweit einer der beliebtesten Baustoffe. Das Material ist schön und ästhetisch, ist sehr einfach zu bearbeiten und hat günstige

---

<sup>3</sup> Wimmer, Rupert: Holzwissenschaftliche Grundlagen. Wien: Universität für Bodenkultur Wien. Skriptum. SS 2020. S.5f.

baubiologische und bauphysikalische Eigenschaften. Außerdem hat Holz eine sehr hohe Tragfähigkeit bei geringem Gewicht. Weitere Gründe für den Einsatz von Holz ist die hohe Vielfalt an Gestaltungsmöglichkeiten die Tatsache, dass es ein nachwachsender Rohstoff ist. Weiters kann man dieses Baumaterial leicht recyceln, trennen und entsorgen. Neben seinen vielen Vorteilen weist Holz auch Nachteile auf.

Die Lebensdauer von Holz und Holzbauteilen ist von mehreren Aspekten abhängig, wie zum Beispiel von der Holzart und der Intensität der Beanspruchung. Weiters zählen dazu die mechanische Beanspruchung, die Verschmutzung, sowie die Feuchtigkeit. Das heißt, eine große Rolle spielen der Kontakt mit Wasser beziehungsweise mit der Erde und der UV-Strahlung. <sup>4</sup>

## **2.4. Witterungseinflüsse**

Das Holz im Außenraum ist ständig Witterungseinflüssen ausgesetzt, die dem Bauholz schaden können. Die negativen Veränderungen des Holzes im Außenraum geschehen sowohl durch Niederschläge, eine stark veränderte Luftfeuchtigkeit, große Temperaturunterschiede (Frost), als auch durch Sonne und Wind. Die Witterungseinflüsse bewirken Quell,- und Schwindverhalten, und dadurch verändern sich Form und Querschnitt. Feuchteaufnahme und Feuchteabgabe durch das Holz sind die Ursachen für das Quellen und Schwinden. Durch die Struktur des Holzes nämlich seine Offenporigkeit gelingt es der Feuchte, leicht ins Holz einzudringen und dort abzutrocknen. Regen, Schnee und der Wechsel der Luftfeuchte sorgen dafür, dass das Holz der Feuchtigkeit unterliegt.

Das Quellen und Schwinden des Holzes, auch Arbeiten des Holzes genannt, erfolgt in drei verschiedenen Richtungen. Die Formänderung des Materials kann sich parallel zur Faserrichtung, tangential zu den Jahresringen und radial zu den Jahrringen entwickeln. Einige Holzarten können die Formstabilität bewahren, also den Schwind,- und Quellprozess möglichst geringhalten.

---

<sup>4</sup> E, Halmschlager: Holzschädlinge und Holzschutz. Wien: Universität für Bodenkultur Wien. Skriptum. SS 2020. S.3f.

Die Holzkonstruktion im Außenraum wird stark durch das Umgebungsklima beeinflusst. Es treten sowohl regionale also auch jahreszeitliche Unterschiede auf. Aber auch im Laufe eines Tages unterliegt es enormen Temperaturschwankungen. Hier spielt der Querschnitt des Konstruktionsteils eine wesentliche Rolle, denn je größer er ist, desto geringer ist die Wahrscheinlichkeit, dass das Holz durch kurzzeitige Klimaschwankungen geschädigt wird. Je nach Holzart und Holzbehandlung unterscheidet sich die Reaktionsgeschwindigkeit. Durch eine richtig getroffene Wahl des Holzes kann die Reaktion sehr träge sein, was sich positiv auf die Konstruktion auswirkt. Grundsätzlich spielen Holzinhaltstoffe, wie Harze oder Wachs, für die Stabilität eine wesentliche Rolle, denn sie erschweren oder verhindern sogar die Aufnahme von Wasser, dass durch Poren in die Zellen dringt. Holz hat auch eine gewisse Eigenfeuchte. Gemeinsam mit der Temperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit, strebt sie ein Feuchtegleichgewicht an. Nichtsdestotrotz blockieren die Holzinhaltstoffe die Feuchteaufnahme.

Beim Transport und bei der Verarbeitung des Baustoffes sollte die empfohlene Feuchte nach Norm eingehalten werden. Ein großer Nachteil des Holzes besteht darin, dass es ein anisotroper und inhomogener Baustoff ist. Das heißt, dass seine physikalischen, mechanischen und chemischen Eigenschaften richtungsabhängig und seine Festigkeit sowie sein Dehnverhalten parallel oder quer zur Faserrichtung vollkommen ungleich sind. Als Folge davon kann der Baustoff ungleichmäßig quellen, schrumpfen und sogar reißen, was zu einer ungleichmäßigen Feuchteverteilung führt. Wie sehr sich das Holz verformt, hängt ebenso davon ab, wie groß der Querschnitt des ursprünglichen Holzstammes ist. Außerdem macht es einen großen Unterschied, ob das verwendete Holz Teil des Splintholzes oder Kernholzes ist, die Schnittart ist genauso von großer Bedeutung. Es wird unterschieden zwischen Radialschnitt und Tangentialschnitt. Bei größeren Querschnitten verformt sich das Bauholz in unterschiedliche Richtungen.

Die Quell- und Schwindverformungen können sich erst dann ausgleichen, wenn der Feuchtegehalt des Holzes annähernd der mittleren Jahresausgleichsfeuchte entspricht. Dennoch entstehen häufig langfristige Formveränderungen. Auch bei zu feuchtem Holz, das in der Konstruktion austrocknet, kommt es zu ständigen Veränderungen, was die gesamte Konstruktion verändern kann. Ebenso wird die



Rissbildung durch das Arbeiten des Holzes stark beeinflusst. Bei zu raschem Austrocknen, zu hoch auftretenden Spannungen in der Holzstruktur oder bei Frost kommen Risse vor. Hier gelangt das Wasser in das Holz, gefriert und taut anschließend auf. Dabei wird das Volumen verändert, sprengt die Holzfasern auseinander und es entsteht ein Riss. Bei Vollhölzern sind kleinere Risse ein Normalfall und sind aus statischer Sicht bis zu einer bestimmten Grenze akzeptabel und müssen nicht ausgetauscht werden. Tatsächlich hängt dies auch vom Bereich der auftretenden Risse in Bezug auf spätere Belastung des Holzteils in der Konstruktion ab. Bauhölzer mit starken, größeren und tieferen Rissen sollten ausgetauscht werden, weil sie statisch gesehen geschwächt sind. Auch Hölzern deren Risse im zulässigen Bereich liegen sollten ausgetauscht werden, weil sie sich im Laufe der Jahre vertiefen könnten.

Der Baustoff leidet bei trockener Witterung am wenigsten, dennoch bewirkt die Sonnenstrahlung eine Veränderung der Farbe des jeweiligen Holzes. Durch den photochemischen Abbau von Lignin vergraut sich das Holz und löst sich auf, dabei kommen die abgebauten Substanzen an die Oberfläche und werden dort ausgewaschen. Die Folge für den Abbau von Lignin ist die verminderte Festigkeit und das Magern des Holzkörpers. Dadurch kann das Wasser zunehmend eindringen und somit ist Wasser wieder die Hauptschadensursache.

Im Wesentlichen besteht Holzschutz darin, Wasser aus den Verbindungstellen und von den Oberflächen der Holzkonstruktion fernzuhalten oder schnell abzuführen.<sup>5</sup>

### **2.5. Holzschädlinge**

Holzschädlinge sind pflanzliche und tierische Organismen, die wegen ihrer Eigenschaften, in das Holz eindringen, sich dort zu vermehren und anschließend den Baustoff abzubauen. Holzschädlinge werden durch den hohen Feuchtegehalt im Holz angelockt. Sehr selten kommt es zu einem Insektenbefall in trockenem Holz, Pilze dahingegen nie. Grundsätzlich ist festzustellen, dass wenn in einem

---

<sup>5</sup> Thomas, Oyen: Holz im Außenraum. Grundlagen, Materialien, Beispiele. 1. Auflage. Köln: Bruderverlag 2011. S.43f.

Gebäude ein Feuchteschaden erkannt wird, davon auszugehen soll, dass das Gebäude durch den Befall von Schädlichen möglich ist. <sup>6</sup>

### **2.5.1. Pflanzliche Schädlinge**

Pilze zählen zur größten Gruppe der pflanzlichen Holzschädlinge. Man unterscheidet zwischen zwei Hauptgruppen, nämlich den Holzverfärbenden und den Holzzerstörenden Pilzen. Die Holzverfärbenden Pilzarten beschädigen das Holz zwar nicht, aber stellen ein ästhetisches Problem dar. Holzzerstörende Pilze hingegen zerstören die Holzsubstanz und beeinträchtigen die Holzfestigkeit.

Ein Pilzkörper setzt sich zusammen aus einem Geflecht fadenförmigen beziehungsweise röhrenartiger Pilzfäden, den sogenannten Hyphen. Diese sind sehr präzise mit Durchmessern von circa zwei Nanometer reich verzweigt. Die Aufgabe der Hyphen ist, den Pilz mit Nährstoffen zu versorgen. Das Myzel, was die Gesamtheit der Hyphen bildet, breitet sich auf das Holz aus und durchdringt die Holzzellen. Je älter das Myzel und progressiver der Holzschaden, desto eher kommt es zur Ausbildung der Fruchtkörper. Nach Erreichen der Fruchtreife, bildet jeder Pilz charakteristische Fruchtkörper, an denen sie identifiziert werden können. Die Pilze pflanzen sich über Sporen fort, die die Fruchtkörper bilden. Diese sind feiner, farbiger Staub, aus denen neue Pilze entstehen.

#### **2.5.1.1. Holzverfärbende Pilze**

Die Holzverfärbenden Pilze werden zu der Gruppe der Ascomyceten eingeordnet. Diese Pilzart ernähren sich von Zellinhalten und hinterlassen eine Verfärbung vor allem im Splintholz, greifen aber die Zellwände nicht an. Die Grundlagen für die Bildung der Holzverfärbenden Pilze sind eine optimale Feuchtigkeit sowie Temperatur, idealen Nährboden, Licht Sauerstoff und pH-Wert des Holzes. Die meistverbreiteten Holzverfärbenden Pilzarten sind die Schimmelpilze und die Bläuepilze.

---

<sup>6</sup> Bogusch, Norbert/ Jörg Brandhorst: Sanieren oder Abreißen?. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2012. S. 83.

Schimmelpilze befinden und verbreiten sich nur an der Oberfläche des Holzes. Man erkennt sie durch eine schwarze, braune, grüne, rote oder gelbe Verfärbung. Die physikalischen Eigenschaften werden durch die Schimmelpilze nicht beeinträchtigt und bauen gewöhnlich die Holzbestandteile, nämlich Cellulose und Lignin nicht ab. Sie wachsen am besten bei einer Temperatur zwischen 24 und 28°C und einer Feuchtigkeit zwischen 30 und 150%.



(Quelle:  
<https://www.bm-online.de/wissen/technik/lebendefarben/#slider-intro-3>  
[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Abb. 1: Holzverfärbende Pilze

Im Gegensatz zu Schimmelpilzen haben Bläuepilze im inneren des Holzes ihren Sitz. Bläuepilzhyphen durchwachsen die Holzstrahlen und Tracheiden und erreichen über die Tüpfel von einer Holzzelle zur anderen. Dabei werden keine Zellwände abgebaut, oder das Holz zerstört. Durch die dunkle Farbe der Bläuepilzhyphen, färbt sich das Holz ebenso in eine dunkle schwarze bis blaue Farbe, der als Bläue klassifiziert wird.

Diese Pilzart vermehrt sich besonders schnell im Temperaturrahmen zwischen 18 und 25°C und einer Holzfeuchte von 30 bis 120%.

### 2.5.1.2. Holzerstörende Pilze



(Quelle:

[https://www.t-online.de/heimgarten/haushaltstipps/id\\_70396474/hausschwamm-gefahr-fuer-die-gesundheit-.html](https://www.t-online.de/heimgarten/haushaltstipps/id_70396474/hausschwamm-gefahr-fuer-die-gesundheit-.html)

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Abb. 2: Holzerstörende Pilze

Holzerstörende Pilze sind in drei Gruppen gegliedert: Moderfäulepilze, Braunfäulepilze und Weißfäulepilze. Die Moderfäulepilze sind wie die Holzverfärbenden Pilze den Ascomyceten zuzuordnen, wohingegen die Braun- und Weißfäulepilze zu den Basidiomyceten gehören. Der Schaden, der durch die holzerstörenden Pilze zugeführt wird, nennt man Fäule. Hier unterscheidet man zwischen den Moderfäulen, den Braunfäulen und den Weißfäulen.

Moderfäule werden auch als Mikropilze bezeichnet. Sie dringen in die Sekundärwände der Zellwände ein, bewirken so den Abbau von Cellulose und hinterlassen pilzarttypische Kavernen. Anfangs wird hauptsächlich Cellulose abgebaut und folgend erfolgt der Abbau des Lignins, wobei dieser im Verlauf des Schadens zunimmt. Dabei wird das Holz geschädigt und geschwächt, denn es verliert an Volumen, Masse, Rohdichte und Biegefestigkeit.

Braunfäule ist die wesentlichste Art der holzerstörenden Pilze im Innenbereich und werden von den Basidiomyceten erzeugt. Braunfäulepilze weilen am häufigsten in den Zellhohlräumen der Nadelhölzer, wo sie ebenso die Sekundärwand mit Hilfe des Cellulose-Enzym abbauen. Dabei bleibt das Lignin unverändert aber verursacht die Braunfärbung im Holz. Durch den Abbau der Cellulose verringert sich die Masse, Rohdichte und Festigkeit.

Weißfäule, die zweite Fäulnisart, die durch Basidiomyceten verursacht wird, wird auch Korrosionsfäule genannt. Weißfäule, die sich in Laubhölzer verbreiten, zerstören das Holz durch die Auflösung von Lignin und übrig bleibt die weiße, faserige Cellulose. Die Farbe des Baustoffes verfärbt sich weiß, daher der Name Weißfäule, und verliert an Volumen, Masse, Rohdichte und Zugfestigkeit.

### 2.5.2. Tierische Schädlinge

Bei den tierischen Holzschädlingen, also den holzerstörenden Insekten sind vor allem die Käfer betroffen, die man nach ihren Feuchtigkeitsansprüchen unterteilen kann. Während die Frischholzinsekten nur im frischen Holz leben, befinden sich die Trockenholzinsekten entweder in halbtrockenes, verbautes Holz oder in trockenes Bauholz. Die Faulholzinsekten hingegen dringen in faulendes, pilzbefallenes Holz ein. Aber auch Holzwespen, Ameisen und Termiten zählen zu den Holzschädlingen.

Der eigentliche Käfer durchläuft bei seiner Entwicklung vier Stadien: Ei – Larve – Puppe – Käfer. Bei manchen Käferarten kann der Entwicklungszyklus sich bis zu mehreren Jahren erstrecken. Die zwei kürzeren Stadien sind das Ei- und das Puppenstadium, sie umfassen wenige Wochen oder sogar Tage und die Lebenszeit des fertig entwickelten Käfers beträgt drei bis fünf Wochen. Das Larvenstadium dahingegen kann bis zu mehreren Jahren lang dauern. Je günstiger die Lebensbedingung und das gute Nähstoffangebot, desto schneller entwickeln sich die Larven und nur diese fressen das Holz. Wenn dies nicht der Fall ist, verlängert sich das Larvenstadium um Jahre.

Die Weibchen legen ihre Eier, je nach Käfer sind die Anzahl und die Form unterschiedlich, in Ritzen und Spalten des Holzes ab. Innerhalb von drei Wochen schlüpfen diese, die Larven bohren sich sofort ins Holz ein und halten sich dort zwischen drei bis zwölf Jahren auf. Währenddessen versorgen sie sich von Eiweißbestandteilen des Holzes und lösen den eigentlichen Schaden aus. In der Zeit der Entwicklung häuten sich die Larven, um die ideale Verpuppungsgröße zu erreichen. Die Puppe entsteht durch eine weitere Häutung aus dem letzten Larvenstadium, welches als das Ruhestadium der Käferentwicklung bezeichnet wird. Der fertig entwickelte Käfer schlüpft nach drei bis vier Wochen aus der Puppe. Holzerstörende Insekten werden in vier Familien gegliedert: Bockkäfer, Nagekäfer, Splintholzkäfer und Bohrkäfer.

### 2.5.2.1. Bockkäfer – Hausbock



(Quelle:

<http://www.focusnatura.at/cerambycidae-bockkaefer/>

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Abb. 3: Hausbock

Der Hausbockkäfer, beziehungsweise dessen Larve, wird als das gefährlichste holzerstörende Insekt angesehen. Er ernährt sich hauptsächlich von Eiweiß, daher greift er ausschließlich Nadelhölzer an. Der Hausbock befindet sich aufgrund des geringen Eiweißgehaltes eher weniger in Laubhölzer.

Der Körperbau des Insektes ist flach und ist ausgezeichnet durch seine typischen, weißen Tomentflecken auf seinen fein grauweiß behaarten Flügeln. Das Halsschild des Weibchens ist breiter des vom Männchen und ist herzförmig, liegt quer und besitzt eine glatte Mittellinie. Durchschnittlich werden die Käfer von 7 Millimeter bis zu 21 Millimeter lang, wobei die Männchen deutlich kleiner sind als die Weibchen.

Mithilfe einer langen Legeröhre legt das Weibchen nach der Paarung, Eier in Rissen und Spalten trockener Nadelhölzer. Nach zwei bis vier Wochen schlüpfen die kleinen Larven und markieren das gefressene Holz mit ihren Fraßgängen. Das Larvenstadium beginnt bei drei Jahren und kann bis zu 10 Jahren erstrecken, wenn die Bedingungen mit der Lebensweise der Larve übereinstimmen. Hier spielt vor allem die Beschaffenheit des Holzes eine wichtige Rolle, die optimale Luftfeuchte von 25 bis 40% und die Temperatur zwischen 28 und 30°C und dem Eiweißgehalt des Holzes. Für die Verpuppung, der meist im Frühling einen Monat stattfindet, bohrt die Larve einen Verpuppungsgang unter die Oberfläche. Letztlich verlässt der Käfer das Holz ein Ausflugloch.

### 2.5.2.2. Nagekäfer – Bunter Nagekäfer



(Quelle:

<https://www.umweltbundesamt.de/bunter-nagekaefer-totenuhr>

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Abb. 4: Bunter Nagekäfer

Nagekäfer sind sehr üblich, sogar in den Tropen und Subtropen. Die größten Nagekäferarten Europas sind die bunten Nagekäfer, diese werden zwischen fünf und acht Millimeter lang. Hier sind die Weibchen, wie beim Hausbock, wieder größer als die Männchen.

Die Weibchen legen durch die Legeröhre zitronenförmige Eier in bereits pilzbefallenes Holz ab. Fünf Wochen später schlüpfen sehr lebhaft Larven. Bevor die Larven das Holz befallen und sich einbohren, halten sie sich auf der Holzoberfläche auf. Im Normalfall dauert das Larvenstadium bei den bunten Nagekäfern drei bis sechs Jahren, im Extremfall auch bis zu 10 Jahren oder mehr. Im Sommer findet das Puppenstadium statt, welches ungefähr drei Wochen dauert. Die Ausflugslöcher, die die Insekten verursachen sind kreisrund und betragen zwei bis vier Millimeter.

### 2.5.2.3. Splintholzkäfer – Brauner Splintholzkäfer



(Quelle:

<https://schaedlingskunde.de/schaedlinge/st-eckbriefe/kaefer/brauner-splintholzkaefer-lyctus-brunneus/brauner-splintholzkaefer-lyctus-brunneus/>

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Abb. 5: Brauner Splintholzkäfer

Der Körperbau der braunen Splintholzkäfer ist schlank, stäbchenförmig und wird von drei bis sieben mm lang. Große Käfer sind rotbraun und kleine braungelb und schwach glänzend. Das Halsschild ist hinten breiter als vorne. Die Flügeldecken sind mit einer kurzen, sehr feinen Behaarung bedeckt.

Hier werden die Eier in den Poren oder in feine Risse und Spalten von Laubhölzern von den Weibchen gelegt. Innerhalb von zehn Tagen schlüpfen die Larven und bohren sich in das Holz ein. Das Larvenstadium verläuft zwischen drei bis 18 Monaten und kann sogar bis zu zwei Jahre lang dauern. Der Durchmesser des Fraßgänge beträgt zwei Millimeter und verlaufen unregelmäßig.

#### 2.5.2.4. Bohrkäfer – Kapuzinerkäfer



(Quelle:

[https://www.naturspaziergang.de/Kaefer/Bostrichus\\_capucinus.htm](https://www.naturspaziergang.de/Kaefer/Bostrichus_capucinus.htm)

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Abb. 6: Kapuzinerkäfer

Die Kapuzinerkäfer wachsen bis zu 16 Millimeter, deren Flügeldecken sind geldorange bis rot und der Kopf schwarz gefärbt. Das Halsschild ist vorne zeckenförmig an der Oberseite mit kleinen Höckern ausgestattet.

Vor allem Laubholz wird von dieser Bohrkäferart befallen. Die Larven verursachen kreisrunde Bohrlöcher, die mit feinem Bohrmehl gestopft sind. Fraßgänge durchbrechen normalerweise die Oberfläche, außer bei Bohrkäfern, ihre befinden sich im Holz. Je größer der Käfer, desto größer sind die runden Flüglöcher, diese erreichen einen Durchmesser bis fünf Millimeter.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Aichberger, Stella: Holzschädlinge und Holzschutz im Terminologievergleich Deutsch – Tschechisch. Wien: Universität Wien. Diplomarbeit 2009. S.20ff.



## 2.6. Holzschutz

Durch geeignete Maßnahmen soll der baulich-konstruktive Holzschutz schädliche Veränderung von Holz und Holzwerkstoffen und/oder das Auftreten von holzerstörenden Pilzen verhindert werden. Eine negative Veränderung des Feuchtegehaltes liegt dann vor, wenn die Voraussetzung für einen Pilzbefall hervorgerufen wird oder durch auffällige Verformungen, wie Quellen oder Schwinden, die Brauchbarkeit der Konstruktion beeinträchtigt werden kann.

Wichtige baulich-konstruktive Maßnahmen sind zum Beispiel die Ausführung weiter Dachüberstände, um das Gebäude und deren Fassade vor Feuchtigkeit zu schützen. Ebenso spielt die schnelle Abführung von Regenwasser durch konstruktive Maßnahmen eine wesentliche Rolle. Hierbei sollen vor allem waagrechte Flächen vermieden werden, rissanfällige Seiten des Holzes nicht nach oben legen und Tropfnasen ausgebildet werden. Um zu verhindern, dass sich Staunässe bilden, sollten Wasserablaufbohrungen angelegt und die Kanten vom Holz abgeschrägt werden. Weitere wichtige Kriterien, um das Holz zu schützen sind, dass die Hölzer oberhalb der Grenze des Spritzwasserbereichs (mindestens 30 cm) angeordnet werden sollen, dass die Konstruktion keinem Tauwasser ausgesetzt wird und dass eine Hinterlüftung von Verbretterung stattfindet.<sup>8</sup>

---

<sup>8</sup> Veit, Jürgen: Fragen und Antworten zur Vermeidung von Feuchteschäden. In: [http://www.schadis.de/dokument.jsp?id=fragen\\_24.htm](http://www.schadis.de/dokument.jsp?id=fragen_24.htm) (letzter Zugriff: 23.05.2021)

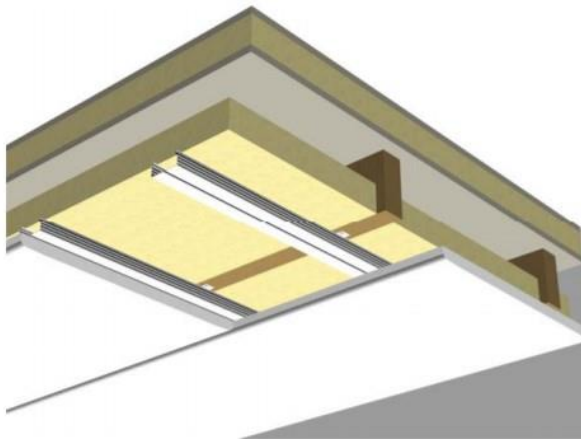
## 3. Feuchteanalyse von Holzbalkenköpfen

### 3.1. Holzbalkendecken

Holzbalkendecken, also eine horizontal geordnete Balkenlage, dienen in erster Linie als eine Trennung zweier Geschoße. Als Balkenlage wird die Summe der tragenden und der horizontalen Holzbalken verstanden.

Heutzutage werden Holzbalkendecken für Geschoßdecken der Holzhäuser in konventioneller oder Fertigbauart konstruiert. Balkenlagige Holzdecken waren bei mehrgeschoßigen Gebäuden bis circa 1940 und bis ungefähr 1960 bei Einfamilienhäusern üblich. Anders ist es bei den Bauten in Massivbauweise, hier wurden und werden die Decken meistens aus Stahlbeton hergestellt.

Der Bereich zwischen den Balken wird mit Sand, Lehm, Schlacke oder Asche gefüllt, um die Schalldämmung (Trittschall und Luftschall) zu verbessern. Die Auffüllung der obersten Geschoßdecke besteht aus Strohlehm oder Mineralwolle, um die Decke zusätzlich wärmetechnisch zu verbessern.



(Quelle:

[https://www.bundesbaublatt.de/download/486480/ta\\_innendaemmung\\_bei\\_holzbalkendecken.pdf](https://www.bundesbaublatt.de/download/486480/ta_innendaemmung_bei_holzbalkendecken.pdf)

(letzter Zugriff: 21.06.2021))

Abb. 7: Aufbau einer Holzbalkendecke

Die Balkenebene wird bei innovativen Holzbalkendecken von der Untersicht der Deckenebene schalltechnisch entkoppelt, ebenso wird der Luftschall vermindert, indem die Hohlräume durch Faserdämmstoffen gedämpft werden. Auf der oberen Seite wird ein Trittschallschutz und/ oder ein Teppichboden aufgebracht, um den Schallschutz zu verbessern.

Die Abstände der Balken einer Holzbalkendecke liegen zwischen einem halben Meter und 1,30 Metern. Die Abstände hängen ab von der Konstruktionsart der Decke, den abzutragenden Lasten, die Dicke des Fußbodens, sowie der Balkendimensionierung.

Um bei einer Holzbalkendecke eine Innendämmung einzuplanen, müssen die Bereiche der Holzbalkenköpfe und der Streichbalken gut untersucht werden. Streichbalken, sind Balken die vorwiegend parallel und nahe zu einer Innenwand oder Außenwand, aber diese nicht berühren, verlaufen. Als Balkenkopf versteht man die Enden eines Balkens, die im Auflager einer Außenwand liegen beziehungsweise an die massive Außenwand anschließen.<sup>9</sup>

### **3.2. Die Problematik der Holzbalkendecken und Holzbalkenköpfe**

Die Planung der Innendämmung verläuft komplizierter und aufwendiger, wenn sich die Holzbauteile in der Außenwandkonstruktion befinden. Grund dafür ist die Veränderung des hygrothermischen Zustandes durch die Innendämmung. Die Außenwand des Gebäudes und somit auch die Holzbauteile, die sich in der Wand befinden, sind im Winter kühler, was zu hohen Feuchtegehalten führt. Diese sind vor allem für Holzbauteile sehr kritisch und es kann zu Holzschäden führen. Außerdem durchdringen viele Holzbauteile die Luftdichtheitsebene des Bauwerkes, die als Folge Angriffsflächen für einen konvektiven Feuchteeintrag sind. Dabei ist der Feuchteeintrag in Verbindung mit einer Innendämmung sehr gefährlich.

Die Hauptquellen der Feuchte eines Gebäudes sind der Schlagregen, der von außen wirkt, der Feuchtetransport durch die Luftströmung und die Dampfdiffusion von innen. Der Feuchteeintrag wird beeinflusst durch die Belastung und den Schutz des Schlagregens.

---

<sup>9</sup> Bialas, Adam: Technik aktuell. Innendämmung bei Holzbalkendecken. In: [https://www.bundesbaublatt.de/download/486480/ta\\_innendaemmung\\_bei\\_holzbalkendecken.pdf](https://www.bundesbaublatt.de/download/486480/ta_innendaemmung_bei_holzbalkendecken.pdf) (letzter Zugriff: 21.06.2021)

Beanspruchungsgruppe I geringe Schlagregenbeanspruchung	Beanspruchungsgruppe II mittlere Schlagregenbeanspruchung	Beanspruchungsgruppe II starke Schlagregenbeanspruchung
Außenputz ohne besondere Anforderungen an den Schlagregenschutz nach DIN 18550-1 auf	Wasserhemmender Außenputz nach DIN 18550-1 auf	Wasserabweisender Außenputz nach DIN 18550-1 bis DIN 18550-4 oder Kunstharzputz nach DIN 18558 auf
Außenwänden aus Mauerwerk, Wandbauplatten, Beton u. ä.		
Einschaliges Sichtmauerwerk nach DIN 1053-1 mit einer Dicke von 31 cm (mit Innenputz)	Einschaliges Sichtmauerwerk nach DIN 1053-1 mit einer Dicke von 37,5 cm (mit Innenputz)	Zweischaliges Verblendmauerwerk nach DIN 1053-1 mit Luftschicht und Wärmedämmung oder mit Kerndämmung (mit Innenputz)

Abb. 8: Schlagregenbeanspruchung

(Quelle:

<https://docplayer.org/37586179-Holzbalkenkoepfe-bei-innengedaemmtten-mauerwerk-ursachen-der-holzerstoerung-und-beurteilung-von-holz-zerstoerenden-pilzen.html>

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Der Schlagregenschutz ist bei der Innendämmung in Mauerwerksbauten von großer Bedeutung, da durch die Dämmung der Austrocknungsverlauf verlangsamt wird. Die Aufbauten eines Gebäudes beziehungsweise die Qualität der verwendeten Putze werden durch die Schlagregenbeanspruchung definiert.

Innen ist der Feuchteintrag meist einfacher zu begegnen, da er lediglich an eine fachgerechte Planung und die saubere Ausführung gekoppelt ist. Für den Holzbalkenkopf ist der konvektive Feuchteintrag kritischer als die Dampfdiffusion, weil durch die Konvektion viel mehr Feuchtigkeit die Konstruktion erreicht als durch die Dampfdiffusion. Ebenso zählt die Konvektion als gefährlicher, weil der Balkenkopf, der sich im Mauerwerk befindet, nicht luftdicht ist. Die Druckunterschiede zwischen innen und außen sorgen für einen Druckausgleich und somit für eine Luftbewegung.

Deshalb ist sowohl für die Planung als auch für die Ausführung der Deckenanschlüsse die luftdichte Anbindung des Deckenbalkens an die Wandkonstruktion wichtig. Dies kann leicht mit einem Ausgleichsputz gelöst werden oder mit einem Innendämmsystem eine neue Luftdichtheitsebene erstellt werden. Anschließend werden die Deckenbalken über Klebebänder an den Putz beziehungsweise an die OSB-Platte angeschlossen. Die Innendämmung verläuft bis an den Balken.

Problematisch wird es, wenn auf der Bestandswand kein luftdichter Anschluss möglich ist oder wenn durch die Deckenebene nicht gedämmt werden kann. Hier

muss dann mit der Innendämmung eingebauten Bauteilschichten vollständig abgedichtet werden. Die Deckenebene muss ein bestimmtes Maß an Luftdichtheit haben und zudem muss sie an die Luftdichtheitsebene angeschlossen sein. Wenn dies nicht der Fall ist, gelangt die warme Innenraumluft über den Deckenzwischenraum bis zur ungedämmten Außenwand innerhalb der Deckenebene und es kann dort sowie am Balkenaufleger zu einer Feuchteanreicherung kommen.<sup>10</sup>

### **3.3. Bewertung von Holzfeuchte**

Der Schutz vor Feuchtigkeit bei Konstruktionen aus Holz muss schon vor der Montage auf der Baustelle sichergestellt werden. Zusätzlich sollte während der Bauphase das Holz auch geschützt sein, außer es liegt ein Nachweis vor, dass das Holz der Bewitterung ausgesetzt werden kann. Ebenso ist während der Bauzeit zu beachten, dass neben dem Witterungsschutz auch die relative Luftfeuchte geringgehalten wird. Falls der Feuchtegehalt nicht niedrig gehalten werden kann, sei es durch die Baufeuchte, durch den Witterungseinflüssen oder durch die relative Luftfeuchte, dann muss der Raum, indem sich das Holz befindet, kontinuierlich ventilieren und gegeben falls beheizt werden.

Laut DIN EN 13986 werden Holzwerkstoffe in 3 Bereiche aufgeteilt, nämlich dem Trockenbereich, dem Feuchtebereich und dem Außenbereich. Bei der DIN EN 1995-1-1 wurden 3 Nutzungsklassen festgesetzt: Nutzungsklasse 1, 2 und 3. Der Trockenbereich entspricht der Nutzungsklasse 1 und die zulässige Feuchte beträgt 15%. Der Feuchtebereich wird der Nutzungsklasse 2 zugeordnet. Hier sind 18% Feuchte zulässig. Der Feuchteanteil im Außenbereich, also der Nutzungsklasse 3, liegt bei ungefähr 21%.

Die DIN 68800 zum Thema Holzbau hat fünf Gebrauchsklassen festgelegt, die den richtigen Einbau des Holzes beschreiben:<sup>11</sup>

---

<sup>10</sup> Scheffler, Georg: Bauphysik der Innendämmung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2016. S.99f.

<sup>11</sup> Bogusch, Norbert/Duzia, Thomas: Basiswissen Bauphysik. Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2012. S. 152f.

- „GK 0 unter Dach eingebaut und nicht der Bewitterung oder Befeuchtung ausgesetzt; ständig trocken  $\leq 20\%$  Holzfeuchte; mittlere Luftfeuchte bis 85%
- GK 1 wie GK 0, jedoch der Befall durch Insekten wird nicht ausgeschlossen
- GK2 unter Dach und nicht bewittert. Es kann zu einer gelegentlichen hohen Umgebungsfeuchte kommen, die nicht dauerhaft ist
- GK 3 nicht unter Dach, aber ohne ständigen Erd- oder Wasserkontakt. Gelegentlich bis häufig feucht  $>20\%$  Holzfeuchte
- GK 4 in Kontakt mit Erde oder Süßwasser, vorwiegend bis ständig feucht  $>20\%$  Holzfeuchte
- GK 5 ständig Meerwasser ausgesetzt  $>20\%$  Holzfeuchte“<sup>12</sup>

Holz aus der Gebrauchsklasse 0 wird im Dachstuhl verwendet. Balken, die im ungeheizten Dachstuhl zum Einsatz kommen, werden der Gebrauchsklasse 1 zugeordnet. Beispielweise Balkenköpfe im Altbau, die eine schlechte Wärmedämmung besitzen werden der Gebrauchsklasse klassifiziert.

Der Holzschutz muss bei Holzwerkstoffen während einem Tauwasserausfall Möglichkeiten gegen den Pilzbefall enthalten. Pilze verbreiten und vermehren sich am liebsten bei einer Holzfeuchte von 28 bis 30%. Der Befall der holzerstörenden Pilze sorgt für eine Schwächung der Festigkeit des Holzes.<sup>13</sup>

Um die Entstehung von Pilzen zu generieren, spielen drei Faktoren eine große Rolle: die Art des verwendeten Holzes, die Temperatur und die relative Luftfeuchte. Wenn zuerst die Grenze der Ausgleichsfeuchte überschritten wird, beginnen sich die holzerstörenden Pilze, wie der Echter Hausschwamm und der Kellerschwamm usw., sich zu bilden und zu vermehren. Die Grenze liegt hier bei 95% relative

---

<sup>12</sup> Bogusch, Norbert/Duzia, Thomas: Basiswissen Bauphysik. Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2012. S. 153.

<sup>13</sup> Bogusch, Norbert/Duzia, Thomas: Basiswissen Bauphysik. Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2012. S. 153.

Luftfeuchte, was ungefähr 25 bis 28% des Holzes ausmacht. Erst bei der Überschreitung des Limits der Ausgleichsfeuchte beginnen sich die Keime und die Pilzporen sich auszukeimen. Gleich darauf entwickeln sich die Hyphen, die das Holz schädigen und abbauen. Je nach Bedingungen wachsen Pilze unterschiedlich schnell und auf unterschiedlicher Art. Das heißt, die holzerstörenden Pilze bilden sich nicht automatisch nach Überschreiten der Ausgleichsfeuchte, es kann bis zu einigen Tagen dauern bis sich die Sporen keimen.

Der Pilzwachstum entsteht bei einer gewissen Holzfeuchte. Damit die Pilze sich aber weiterhin vermehren, weiterwachsen und das Holz abbauen können, muss die Feuchte beibehalten werden. Sollte nicht die optimale Holzfeuchte für den Pilzwachstum vorherrschen, so hören die Insekten auf weiterzuwachsen.

#### **3.4. Mögliche Ursachen für zu hohe Feuchte in Holzbalkenköpfen**

Die Fragen, ob die Innendämmung der Hauptauslöser für den Schaden an Holzbalkenköpfen ist und mit welchen Problemen die Konstruktion konfrontieren muss, wird seit einigen Jahren in Studien untersucht.

Jedes Gebäude hat seine eigene Konstruktions- und Einbauart für die Innendämmung. Wenn die Innendämmung an einem Gebäude einwandfrei eingesetzt wird und sicher funktioniert, kann sie an anderen Bauwerken aufgrund unterschiedlichen Materialien oder klimatischen Bedingungen problematisch sein.

Um eine kapillare Trennung von der Feuchte des Mauerwerks herzustellen, wird eine Fuge um den Balkenkopf, der im Mauerwerk liegt, gelegt. Ein Luftumspülter Balken ist, wenn die Fuge mit der Raumluft verbunden ist. Früher hatte das keine Auswirkungen auf das Gebäude, weil ohnedies der Wasserdampfgehalt der Luft zum Beispiel wegen der nicht dichten Fensteranschlüsse und der niedrigen Produktion von Feuchte, niedriger war als heute.

Der Balken sollte zum Beispiel durch Kompressionsbänder oder Mörtel, konvektionshemmend angeschlossen sein, um zu verhindern, dass die warme Raumluft im Balken abkühlt und kondensiert. Er kann durch die Raumluft nicht trocknen, weil sie nicht die geeignete Strömungsgeschwindigkeit besitzt.

Unabhängig von einer Innendämmung sollte ein Schlagregenschutz immer eingebaut werden, um die Konstruktion nicht zu schädigen.

Die Tragfähigkeit der Holzbalken und Holzbalkenköpfe wird schon immer von Feuchteschäden stark beeinflusst. Die Innendämmung wird meistens als die Hautschadensursache an den Balkenköpfen von Geschoßdecken gesehen.<sup>14</sup>

Daniel Kehl hingegen meinte, dass die ersten Schäden, die an Holzbalkenköpfen verursacht werden, die eingebaute Holzfeuchte und die hohe Mauerwerksfeuchte ist. Während der langen Bauzeiten, existierte wenig Regenschutz, was dazu verursacht hat, dass die Holzfeuchte lange bestehen bleibt. Somit erhöhte sich das Risiko der Holzzerstörung rasant.<sup>15</sup>

Unabhängig von der Innendämmung können sich im Nachhinein auch Schäden am Balkenköpfen entwickeln, wenn zum Beispiel der Feuchteschutz vom Innenraum nicht mehr gewährleistet wird.

Es wurden angesichts mit dieser Studie zwei Gebäude mit verschiedenen Innendämmkonstruktionen analysiert und untersucht und Messungen durchgeführt.

1. Modell: Ein zweigeschossiges Bauwerk in Brieske, deren Holzbalken auf der nordwestlichen Außenwand liegen. Der Originalputz der Außenwand konnte beibehalten werden, es wurde jedoch eine 2,5 cm dicke Calciumsilikatplatte aufgebracht. Zwischen den beiden Geschoßen wurde eine Messung der Holzfeuchte durchgeführt.

Ergebnis: Um den Balken lag die relative Luftfeuchte zwischen 50 bis 80%, wohingegen die Holzfeuchte 10 bis 17% betrug. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass der Balken sich in einem unkritischen Bereich befindet.

---

<sup>14</sup> Steffens, Oliver: RENARHIS: Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere. Schriftenreihe Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, Band 3. 2. Auflage. Bonn: Selbstverlag 2016. S.173f.

<sup>15</sup> Kehl, Daniel: Holzbalkenköpfe im Mauerwerk. In: <http://docplayer.org/21984407-Holzbalkenkoepfe-im-mauerwerk-stand-der-erkenntnisse.html> (letzter Zugriff: 21.06.2021)



2. Modell: Beim zweiten Modell wurde ein dreigeschossiges Gebäude in Waidhofen untersucht. Das Ziegelmauerwerk der Außenwand betrug zwischen 45 bis 60cm und wurde zusätzlich mit einer 10cm dicken Calciumsilikaplatte gedämmt.

Ergebnis: Die raumlufffeuchte um den Balkenkopf im gemessenen Zeitraum betrug zwischen 45 und 70%. Sie war um 15 bis 25% höher als die der Raumluff. Die Ausgleichsfeuchte lag bei 10 bis 14%.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Innendämmung für den Schutz der Balkenköpfe eher weniger eine Rolle spielt, wohl eher der Schlagregenschutz und der diffusionsoffener Außenputz. Bei den sanierten Bestandsgebäuden ist das Sichtmauerwerk Großteiles feuchtegefährdet. Hier sind die Kapillarkräfte der Ziegelsteine ohne Putz deutlich höher und sorgen für erhöhte Feuchteinträge. Die Holzfeuchte kann für kritische Sonderfälle durch aktive und oder passive Maßnahmen für die Beheizung des Balkens verringert werden. Für alle anderen Gebäuden wird eine Neuerung des Schlagregenschutzes empfohlen.<sup>16</sup>

Weiters können Holzbalkenköpfe viele weitere Schäden aufweisen, die zu untersuchen und zu beseitigen sind. Auch hier sind die Gründe der Schadensursache, die Feuchte. Anschließend werden mögliche Gründe für zu hohe Feuchte in Holzbalkenköpfen aufgelistet:

- Die Außenwandfassade ist für die Schlagregenbelastung nicht richtig bestimmt oder umfasst Schäden, was zu einer Durchfeuchtung führt.
- Bereiche, wo sich wasserführende Leitungen an Fassaden befinden oder im Querschnitt der Außenfassade, sind stark von Kondensatbildung betroffen. Die Folge davon ist eine langfristige Befeuchtung der Wand.

---

<sup>16</sup> Steffens, Oliver: RENARHIS: Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere. Schriftenreihe Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, Band 3. 2. Auflage. Bonn: Selbstverlag 2016. S.174.

- Wenn die Wand saltzbelastet ist, ist sie ständig feucht.
- Dampfdichte Materialien, wie zum Beispiel Bitumenbahnen umhüllen den Balkenkopf und stoppen die Weiterleitung der Feuchtelast von Gebäudeinneren an das umgebende Mauerwerk.
- Wenn der Balken luftumspült ist, das heißt wenn der Luftspalt mit der Raumluft verbunden ist, werden durch Luftströmungen hohe Feuchtekonzentrationen hervorgerufen.
- Falls die Fassade diffusionsdicht ist, kann es zu einer Feuchteanreicherung im Mauerwerk kommen. Diese Feuchte kann nicht austrocknen.
- Maueranker schädigen ebenso den Balkenkopf und sorgen für Feuchte, weil sie wie Wärmebrücke wirken. Es entsteht nämlich Kondensat am kalten Eisen.
- An manchen Gebäuden aus der Kriegszeit können immer noch Schäden erkannt werden, da sie zum Teil mehrere Jahre der Witterung ausgesetzt waren, ohne jeglichen Schutz. Die Reparaturen waren teilweise auch nicht ausreichend.<sup>17</sup>

### **3.5. Trocknung von Holzbalkendecken**

Ob historische Balkendecken von der Nässe gerettet werden können, beschäftigt seit Jahren Gutachter, Sanierer und Versicherer. Laut mehreren Trocknungsexperten haben speziell die lehmgefüllten Holzbalkendecken den schwersten

---

<sup>17</sup> Hecht, Clemens/Steiner Tobias: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. 1. Auflage 2015. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2014. S 4f.

Trockenverlauf. Es wurden daher einige Versuche von durchfeuchteten Holzbalkendecken mit Lehmfüllung aufgestellt, um herauszufinden welcher Trocknungsweg am effektivsten ist.

Anschließend werden drei unterschiedliche Trocknungsverläufe von nassen Holzbalkendecken vorgestellt und analysiert, welche unterschiedliche Trocknungstechniken und Randbedingungen aufweisen.

- 1. Versuch: Hier wurde beobachtet, wie die nassen Holzbalkendecken ohne jegliche maschinelle Trocknung im Umgebungsklima aus natürlicher Art trocknen.
- 2. Versuch: Beim 2. Versuch kam der Einsatz von Maschinen im Vorschein, nämlich Strahlungsheizplatten. Außerdem wurden zusätzlich konditionierte Luftströme eingesetzt und die Trocknung zu beschleunigen.
- 3. Versuch: Versuch 3 ist ähnlich wie Versuch 2, außer dass hier zusätzlich die Temperaturen erhöht wurden.

Diese Versuche fanden in einem Versuchsraum in Stuttgart statt, wo sich die lehmgefüllten Holzbalkendecken befanden. Die Untersuchungen erfolgten mittels einem Klimasimulator, der vom Fraunhofer IBR bereitgestellt wurde. Dabei wurde ein Mauerwerk aus Vollziegel gebaut, dessen Stirnfläche der Holzbalkendecke von Vollziegeln umschlossen war. Die Holzbalkendecke setzte sich aus drei Balken zusammen, dessen Blindboden aus Fichtenbrettern bestand. Es wurde auf der Unterseite des Balkens als Putzträger eine Lattung und ein Schilfrohr eingesetzt. Der eine Balkenzwischenraum wurde mit Gipsputz, und der andere mit Kalkzementputz verputzt.

### 3. Feuchteanalyse von Holzbalkenköpfen

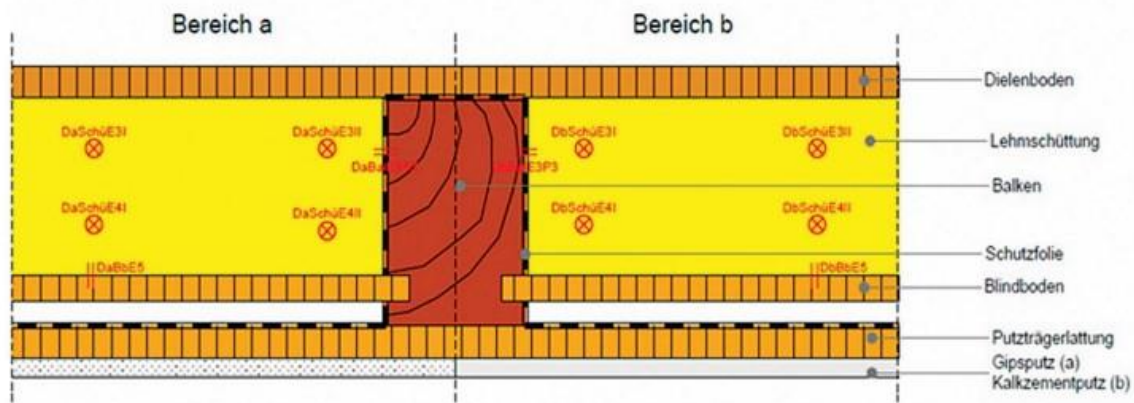


Abb. 9: Modell der Holzbalkeendecke

(Quelle:

Zegowitz, Andreas/ Zirkelback, Daniel/ Künzel, Hartwig: Trocknung von historischen Holzbalkendecken nach Wasserschäden. In: Bausubstanz. Deutschland. Nr. 2/2017. S.40)

Um einen Wasserschaden auf die Holzbalkeendecke zu erzeugen, wurde eine speziell entwickelte Bewässerungsmaschine, aus der ungefähr sechs bis sieben Stunden ein Liter pro Minute Leitungswasser fließt, angebracht. 20 Minuten später waren die ersten Wasserflecken auf der Holzbalkeunterseite zu erkennen. Des Weiteren entwickelte sich aus den Wasserflecken eine komplett nasse, tropfende Decke.



Abb. 11: Erzeugung des Wasserschadens



Abb. 10: Durchfeuchtung der Holzbalkeendecke

(Quelle:

Zegowitz, Andreas/ Zirkelback, Daniel/ Künzel, Hartwig: Trocknung von historischen Holzbalkendecken nach Wasserschäden. In: Bausubstanz. Deutschland. Nr. 2/2017. S.38)

### 3.5.1. Versuch 1: Natürliche Trocknung

Der erste Versuch, bei dem der natürlicher Trocknungsverlauf untersucht wurde, streckte sich auf zwei Monate bei stetigem Umgebungsklima. Bei dieser Untersuchung wurden keine speziellen Maßnahmen zur Trocknung gesetzt. Dabei wurden das Trocknungsverhalten der lehmgefüllten Holzbalkendecke, die einzelnen Schichten der Decke sowie die angrenzenden Bauteile als auch der Holzbalken und dessen Kopf, dokumentiert.

Trocknungsverlauf:

Zuerst wurden die nassen Holzbalkendecken einen Monat lang an ein klar definiertes Umgebungsklima von 20°C und 60% relativer Luftfeuchte gesetzt. Die Datenanalyse jedoch zeichnen keine positiven Ergebnisse auf, was dazu geführt hat, dass die natürliche Trocknung einen weiteren Monat laufen musste. Im zweiten Monat wurden die Decken dem trockenen Laborklima ausgesetzt, da die künstliche Klimatisierung abgeschaltet und die Türen nicht geschlossen wurden.

Ergebnisse:

Die Balkenzwischenräume, die einerseits mit Gipsputz und andererseits mit Kalkzementputz verputzt waren, waren nach dem ersten Trocknungsversuch, also nach einem Monat, trocken. Es waren keine feuchten Bereiche zu erkennen und die Oberfläche des Putzes war ebenso trocken. Die Lehmfüllung der Holzbalkendecken war sowie nach der ersten Trocknung als auch nach der zweiten Trocknung weitgehend nass. Die Balsaholzplättchen, die im Lehm enthalten waren, zeigten einen Feuchtegehalt nach dem Wasserschaden von 100%. Ein Monat nach der Trocknung sank er um ein Prozent und im nächsten Monat um noch ein weiteres Prozent. Die Holzbalkenköpfe sind im Gegensatz zum Lehm nicht beschädigt worden. Das Wasser suchte sich andere Wege durch die Decke, um nach unten zu gelangen. Ebenso wurde der mittlere Holzbalken genauer angeschaut und es stellte sich heraus, dass der Feuchtegehalt der Längsseiten vor der Trocknung bei 74% lag. Nach einem Monat erreichte er 50% und nach zwei 47%. Somit lässt sich

sagen, dass nach der Trocknung der Balken immer noch deutlich über der Grenze lag.

### **3.5.2. Versuch 1: Einsatz von Trocknungstechniken**

Beim zweiten Versuch wurden Trocknungstechniken verwendet. Die beiden Balkenzwischenräume der Decke wurden mit einer Unterdrucktrocknung mithilfe einer Turbine getrocknet. An der Unterseite der Decke entstand ein Luftstrom, die Absaugung erfolgte jedoch von der Deckenoberseite. Eine Heizplatte mit der Temperatur von 50 bis 60°C wurde zusätzlich an der Deckenunterseite des Balkenzwischenraum mit dem Gipsputz, gelegt.

Ergebnisse:

Die Holzbalkenunterseite sah trocken aus und fühlte sich auch trocken an. Die Lehmfüllung blieb weiterhin nass, jedoch war sie trockener als beim Versuch 1. Nach der Trocknung lag der Feuchtegehalt der Balsaholzplättchen bei 53%. Am Ende des Trocknungszeitraumes war der Blindboden der Decke trocken und der Feuchteanteil betrug nur noch 12%. Wie beim 1. Versuch waren hier auch die Holzbalkendecken nicht vom Wasserschaden betroffen. Der mittlere Holzbalken konnte beim Trocknungsprozess mithilfe von Trocknungstechniken leichter trocknen als auf natürlicher Art. Hier sank der Feuchtegehalt von 80% auf 14%. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass alles gut trocknen konnte, bis auf die Lehmfüllung.

### **3.5.3. Versuch 1: Modifizierter Einsatz von Trocknungstechniken**

Beim letzten Versuch wurde die Trocknung der Lehmfüllung als Ziel gesetzt. Dabei wurde hier auch der Balkenzwischenraum wie beim Versuch 2 mit einer Unterdrucktrocknung getrocknet, jedoch mit einer Intervallschaltung, das heißt die Trocknungsgeräte waren zwölf Stunden betriebsbereit und zwölf Stunden ausgeschaltet. Bei den Balkenzwischenräumen mit dem Gipsputz und dem Kalkzementputz wurde von unten zusätzlich durch eine Heizplatte getrocknet. Die Strahlungsheizplatte war aber um 40°C höher als beim Versuch 2. Sie wurde mit

einer Temperatur von 100°C an der Unterseite der Holzbalkendecke gesetzt. Der Balkenzwischenraum mit dem Kalkzementputz wurde mit niedrigem Überdruck getrocknet. Ebenso der Trocknungsverlauf des Deckenabschnittes erfolgte mithilfe von Intervalltrocknungen. Allerdings wurden hier die Geräte in einem sechs Stunden Intervall ein- und ausgeschaltet.

Ergebnisse:

Da bei den letzten zwei Versuchen immer die Lehmschüttung nicht trocken wurde, war dies beim dritten Versuch im Vordergrund. Die Deckenunterseiten konnten, wie erwartet, wieder komplett trocknen. Aber auch bei den Untersuchungen trockneten die beiden Lehmschüttungen zwischen den Balkenzwischenräumen ausreichend. Durch den Feuchtegehalt der Balsaholzplättchen, die sich in der Lehmfüllung befanden, war dies ersichtlich. Die Werte betragen nämlich 12%. Zudem ergaben laut Messungen auch der Blindboden einen Feuchtegehaltwert von 9% und die Längsseiten der Balken einen auch einen Feuchtegehalt von ungefähr 9%. Die Holzbalkenköpfe blieben wieder unbeschädigt. Somit war die ganze Holzbalkendecke wieder in einem unbeschädigten Zustand.<sup>18</sup>

---

<sup>18</sup> Zegowitz, Andreas/ Zirkelback, Daniel/ Künzel, Hartwig: Trocknung von historischen Holzbalkendecken nach Wasserschäden. In: Bausubstanz. Deutschland. Nr. 2/2017. S.36-41.

## 4. Wärmeanalyse von Holzbalkenköpfen

### 4.1. Auswirkungen von Wärmedämmmaßnahmen

Eine Wärmedämmung verändert die hygrothermischen Verhältnisse im Querschnitt der Wand im Vergleich zu einer nicht gedämmten Konstruktion. Die Wärmedämmung sorgt dafür, dass sich die Wärmeverluste reduzieren. Wenn ein Temperaturunterschied vom Innenraum und vom Außenraum herrscht, fließt je nach Abhängigkeit der Eigenschaften der Materialien und dem Aufbau des Bauteils, die Wärme von warmen Temperaturen nach kalten. Dabei stellt sich ein Temperaturverlauf in Abhängigkeit der Zeit. Baustoffe, die eine hohe Wärmeleitfähigkeit besitzen, leiten Wärme sehr gut weiter und es herrschen in den Bauteilschichten nur geringe Temperaturunterschiede. Wohingegen Baustoffe, die eine geringe Wärmeleitfähigkeit aufweisen, leiten Wärme sehr schlecht und zeigen große Temperaturunterschiede.

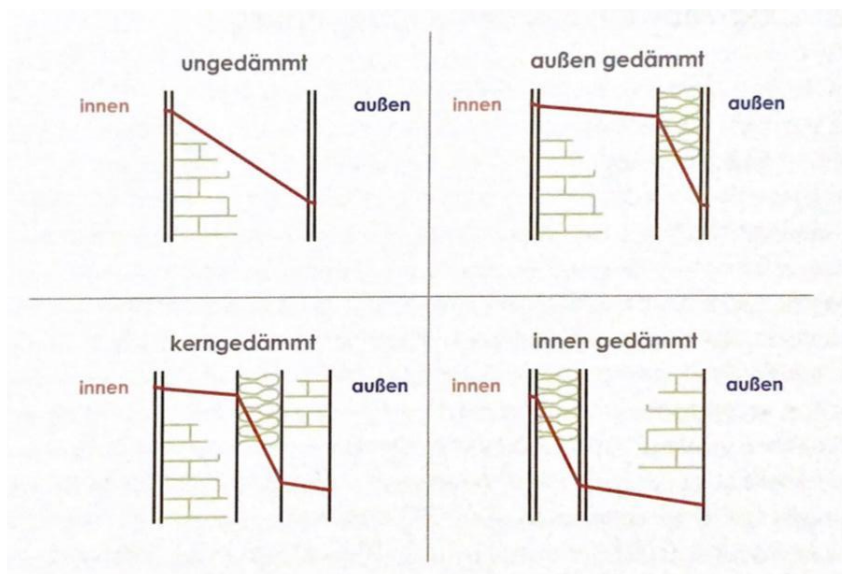


Abb. 12: Wandkonstruktionstypen

(Quelle:

Scheffler, Georg: Bauphysik der Innendämmung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2016. S.12

Die Temperaturunterschiede stellen sich, in Abhängigkeit von der Lage der Dämmschicht in der Konstruktion, in der Dämmebene ein. Die verschiedenen Temperaturverteilungen sind abhängig von der Position der Dämmschicht.



Wenn die Wärmedämmung an der Außenseite positioniert ist, zeigt sich der große Temperaturabfall an der Außenseite. Ist die Dämmung in der Mitte der Konstruktion, findet der Temperaturabfall in der Mitte statt. Und ist die Dämmung an der Innenseite der Konstruktion platziert, liegt der Abfall innen.

Bauphysikalisch optimal wäre die Position der Wärmedämmung im Inneren der Konstruktion, weil wenn sie sich Außen befindet, sie von den Witterungseinflüssen ausgesetzt wird. Die Außenschale schützt die Innendämmung vor Witterungseinflüssen. Ebenso ist die Innendämmung von Vorteil, weil sich die Tragkonstruktion und deren Fenster-, Decken-, Wandanschlüssen etc. im warmen befindet. Daraus folgt, dass die Anzahl der Wärmebrücken reduziert wird.

Auch bei der Außendämmung geht die Anzahl der Wärmebrücken stark zurück. Bei Verwendung einer Außendämmung ist unbedingt ein Witterungsschutz notwendig, da diese direkt an die Witterung ausgesetzt ist. Sowohl die Dämmung als auch der Witterungsschutz, müssen an den Witterungsbedingungen angepasst sein.<sup>19</sup>

## **4.2. Vergleich von Verschiedenen Dämmsystemen**

### **4.2.1 Vor- und Nachteile von Außendämmungen**

Beim Einsatz einer Außendämmung wird die thermische Beanspruchung deutlich reduziert, was dazu führt, dass die Schäden durch die thermischen Spannungen vermindert werden. Um Wärmebrücken, vor allem bei den Bereichen der Decken-, und den Fensteranschlüssen, zu vermeiden, ist die Dämmung an der Außenseite des Gebäudes ideal. Bezüglich des sommerlichen Wärmeschutzes ist die Außendämmung besonders vorteilhaft, denn die Wärmespeicherfähigkeit nicht weggedämmt wird.

Die Außendämmung hat aber auch Nachteile. Ein wichtiger Punkt, ist der Witterungsschutz an der Außenseite, da die Außenwand von den Witterungseinflüssen ständig ausgesetzt ist. Es sollte entweder eine vorgehängte Fassade oder ein wasserabweisender Putz angebracht werden, um vor Feuchtigkeit zu

---

<sup>19</sup> Scheffler, Georg: Bauphysik der Innendämmung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2016. S.11.

schützen. Jedoch muss der Putz an der Fassade hohe thermische Spannungen verkraften. Ebenso kommt es zu hohem Temperaturwechsel im Tag-Nachtverhältnis durch eine thermische Entkoppelung von der tragenden Wand durch die Dämmung. Die Folge der thermischen Entkoppelung ist, dass in der Nacht die Temperatur des Taupunktes an der Fassade wegen der langwelligen Abstrahlung die Grenze überschreitet. Dadurch erhöht sich das Risiko des Pilz,- oder Algenbefalls. Des Weiteren wird durch eine außengelegte Dämmung zum Beispiel in einer Reihenhausanlage das städtebauliche Bild gestört. Außerdem muss man mit dem nachträglichen Anbringen einer Außendämmung mit hohen Kosten rechnen.<sup>20</sup>

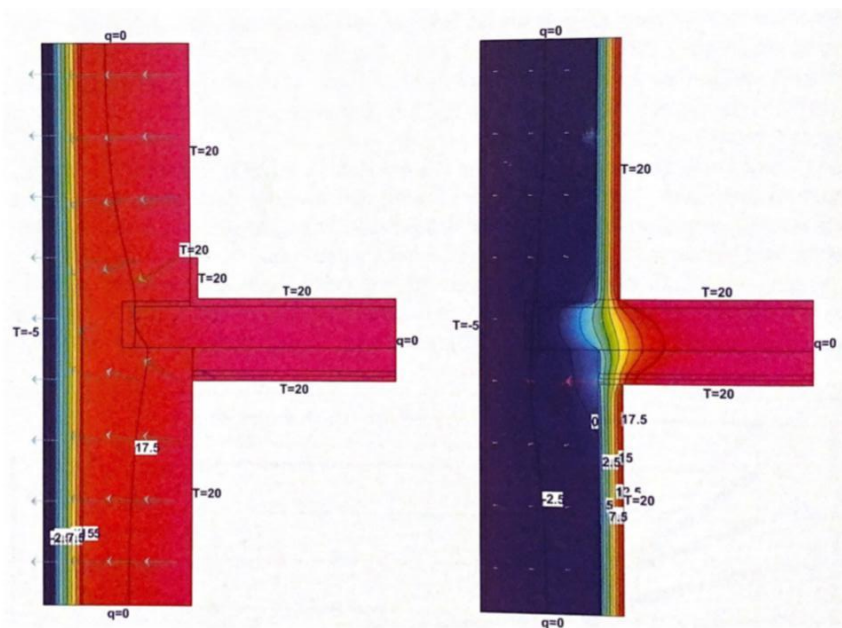


Abb. 13: Außen- und Innendämmte Wand

(Quelle:

Bogusch, Norbert/Duzia, Thomas: Basiswissen Bauphysik. Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag, 2012.

In der linken Abbildung ist Wandkonstruktion durch eine Außendämmung gedämmt, und wärmt daher komplett durch. Hier liegt die Temperaturabsenkung in der Außendämmung, was keine Probleme aufweist. Zu erkennen ist ebenso, dass der Holzbalkenkopf im sicheren, warmen Bereich liegt.

<sup>20</sup> Krus, Martin/ Sedlbauer, Klaus/ Künzel, Hartwig: Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht. In: <https://www.krubitze.de/download/Innendaemmung.pdf> (letzter Zugriff: 20.06.2021)

Die rechte Wandkonstruktion zeigt eine nachträglich angebrachte Innendämmung. Der Holzbalkenkopf liegt im kalten Bereich der Wand und es befindet sich um den Kopf ein Luftspalt. Dadurch dass sich der Balkenkopf im kühlen befindet und nicht thermisch geschützt ist, kann es sein, dass die feuchte und warme Luft, Tauwasserbildung entwickeln kann.

Die Außendämmung sorgt ebenso dafür, dass die gedämmte Fassade gelegentlich mit Wärme von innen auftrifft. Dadurch erwärmen sich die Außenputze nicht, und bleiben langfristig kalt.<sup>21</sup>

#### **4.2.2 Vor- und Nachteile von Kerndämmungen**

Die Kerndämmung ist die, die sich zwischen der tragenden Wand und einer Vormauerschale befindet. Sie ist aus bauphysikalischer Sicht eine optimale Dämmung, da sie wie die Außendämmung einen guten sommerlichen Wärmeschutz darstellt und ebenso die thermische Beanspruchung des Dämmstoffes deutlich reduziert.

Falls die Vormauerschale nicht regendicht ist, ist zu beachten, dass eine Gefahr zur kapillaren Befeuchtung der Dämmung besteht, deswegen ist hier ein hydrophober Dämmstoff vorteilhaft. Ein weiterer Nachteil ist, dass wenn die Vormauerschale feucht ist und daraufhin sie von der Sonne erwärmt wird, dass die Möglichkeit besteht, dass es zu einer starken Umkehrdiffusion kommt. Nachträgliches Anbringen einer Kerndämmung ist kaum möglich, deswegen zählt diese Art der Dämmung als teuerste.

#### **4.2.3 Vor- und Nachteile von Innendämmungen**

Da sich die Innendämmung an der Innenseite des Gebäudes befindet, kann sie kostengünstig und bequem angebracht werden. Sehr optimal ist sie für große Räume, wie Versammlungsräume oder Festsäle, da sich der Raum relativ rasch erwärmt, weil die massiven Außenwände nicht zuerst erwärmt werden müssen.

---

<sup>21</sup> Bogusch, Norbert/Duzia, Thomas: Basiswissen Bauphysik. Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2012. S. 176f.

Anders als bei der Außendämmung und der Kerndämmung zählt hier der sommerliche Wärmeschutz nicht zu einem Vorteil. Wenn aber das Gebäude gut von thermisch massiven Innenwänden ausgestattet ist, ist der sommerliche Wärmeschutz nicht von Bedeutung. Auch eine hohe Brandschutzgefahr liegt beim Einsatz einer Innendämmung vor, wenn brennbare Dämmstoffe verwendet werden. Die giftigen Brandgase, die sich, während einem Brandfall entwickeln, kann in manchen Fällen sogar eine Lebensgefahr bedeuten. Außerdem vermindert sich die Wohnfläche und es kommen zu Mieterbeeinträchtigungen wegen des Befestigens von Bilderrahmen oder Regalen an den innengedämmten Wänden. Jedoch sind die wichtigsten Nachteile einer Innendämmung, Wärmebrücken,- und Tauwasserbildung und die Einschränkung des Trockenpotentials.<sup>22</sup>

### 4.3. Problematik der Innendämmung

Wenn in einem Gebäude mit Holzbalkendecken eine Innendämmung aufgebracht wird, durchdringt der Holzbalkenkopf die Dämmschicht. Dabei gelangt er in die kältere und feuchtere Seite der Wandkonstruktion. Die feuchtesensiblen Holzbalkendecken, die zusätzlich noch tragende Bauteile sind, werden durch den Einsatz einer Innendämmung der Gefahr von Feuchte ausgesetzt. Das Thema der Innendämmung in Verbindung mit Holzbalkendecken wird bis heute noch diskutiert. Viele Planer raten von einer Innendämmung ab, aufgrund der möglichen auftretenden Feuchteschäden, und einige empfehlen eine großzügige Dämmschicht aufzubringen.

Der Begriff „luftumspült“ ist nicht eindeutig erklärt worden. Die Interpretationen des Begriffes lauten einerseits, dass unter „luftumspült“ der Luftspalt um den Balkenkopf verstanden wird. Andererseits, dass der Luftspalt über einer Fuge mit dem Innenbereich verbunden ist. Die feuchtwarme Luft aus dem Rauminnen strömt durch die Fuge in den Luftspalt und erwärmt so die Außenseite des Balkenkopfes. Danach kühlt sie ab und verursacht ein Feuchteschaden. Deshalb empfiehlt das WTA Merkblatt einen konvektionshemmenden Anschluss, zum Beispiel durch

---

<sup>22</sup> Krus, Martin/ Sedlbauer, Klaus/ Künzel, Hartwig: Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht. In: <https://www.krubitze.de/download/Innendaemmung.pdf> (letzter Zugriff: 20.06.2021)

Kompressionsbänder oder Mörtelverstrich um das Strömen von der Raumluft in den Stellen um den Balkenkopf zu verhindern. Obwohl Mörtel weniger elastisch ist, kann man damit auch Risse im Holzbalken verschließen.<sup>23</sup>

#### 4.3.1 Wärmebrücken

Wenn eine Innendämmung nachträglich angebracht wird, werden durch die niedrigen Außentemperaturen, die Temperatur der Außenwand gesenkt. Im Altbau sind die Decken und die Innenwände ohne thermische Trennung an die Außenwand gebunden. Das führt dazu, dass die Temperatur der Außenwand davon deutlich geringer ist.

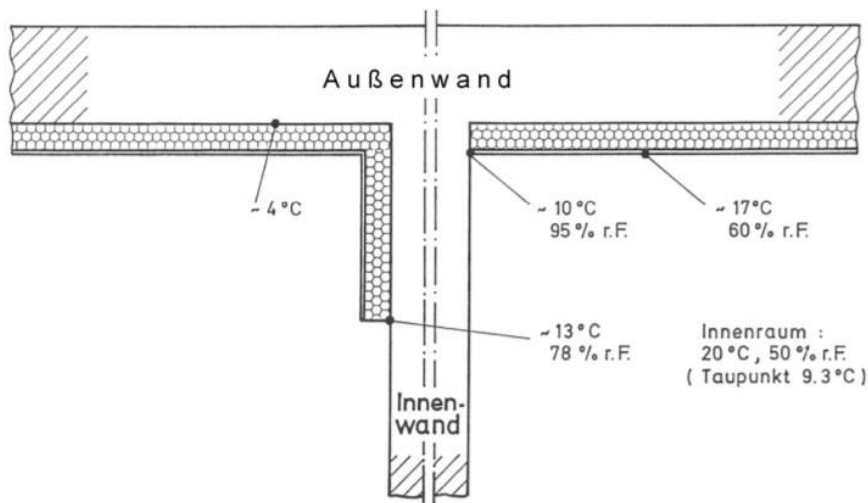


Abb. 14: Wärmebrückenproblematik

(Quelle:

<https://www.krubitzer.de/download/Innendaemmung.pdf>

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

In der Abbildung ist zu erkennen, dass die Innendämmung durch die Bedingungen des Außenklimas, die Temperatur der Oberfläche auf der Innenseite des Mauerwerkes auf rund  $4^{\circ}\text{C}$  gesunken ist. An der Oberfläche, wo sich die Dämmschicht

<sup>23</sup> Ruisinger, Ulrich: Risikofaktor Holzbalkenkopf?. Holzbalkendecken und die Innendämmung. In: <https://docplayer.org/20841299-Risikofaktor-balkenkopf-holzbalkendecken-und-die-innendaemmung.html> (letzter Zugriff: 24.06.2021)

befindet, liegt die Temperatur dahingegen bei knapp 17°C. Während die Raumluftfeuchte von 50% relative Feuchte ist, ergibt sich eine Oberflächentemperatur von 60%. Die Innenwandoberflächen werden über die Außenwand gekühlt. Der Übergang zur gedämmten Stelle ergibt deswegen eine abgesenkte Oberflächentemperatur von rund 10°C, was als Folge zu einer Oberflächenfeuchte von 95°C geführt hat. Der Schimmelpilz kann sich daher leicht, sehr gut und rasch vermehren. Um das Problem zu lösen, kann die Dämmung einen Teil der Innenwand umkleiden.

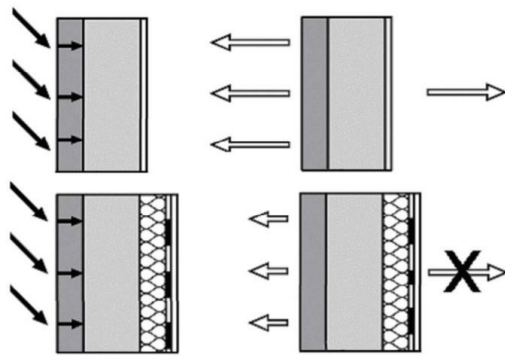
#### **4.3.2 Tauwasser**

Wenn bei einer normalen Wohnraumnutzung der Schutz vor Oberflächentauwasser und Bildung von Schimmelpilzen durch einen hohen Feuchtegehalt der Oberfläche, gewährleistet wird, so ist der Mindestwärmeschutz eingehalten worden. Unter normaler Wohnraumnutzung versteht man eine relative Luftfeuchte von unter 50%, die im Winter herrscht. Die Temperatur kann nach dem Einsatz einer Dämmung, hinter der Dämmschicht unter den Taupunkt der Raumluft sinken. Zu einer Feuchteerhöhung kommt es durch eine Wasserdampfdiffusion oder einer Luftkonvektion aus dem Wohnraum. Luftkonvektionen können verhindert werden, indem der komplette Wandaufbau luftdicht ist. Da die Außenwände im Altbau meistens uneben sind, sind Dämmstoffe zu empfehlen die sich an die Oberfläche anpassen wie zum Beispiel Dämmputze oder Faserdämmstoffe. Auch bei der Innendämmung ist die Verwendung von Leichtlehm möglich, solange während der Applikationsphase kein zu hoher Feuchteeintrag wirkt. Bei den starren Dämmplatten können sich hingegen Hohlräume bilden. Um diese zu vermeiden ist genaue Arbeit gefragt. In manchen Fällen wachsen in den Hohlräumen sogar Schimmelpilze.

#### **4.3.3 Trocknungsbehinderung**

Der Trocknungsverlauf kann durch eine zusätzlich angebrachte Innendämmung stark beeinflusst werden. Bei einem Wandaufbau ohne eine Dämmung, ist es leicht, dass sie Feuchte in beiden Richtungen trocknet. Das ist von besonderer Bedeutung, wenn die Fassade keinen Schlagregenschutz besitzt. Die Trocknung wird dann gestoppt, wenn die Innendämmung weder dampfdicht ist (zum Beispiel Hart-

schaumplatten) noch eine Dampfsperre beinhaltet. Außerdem wird auch die Trocknung nach außen durch die Innendämmung die Temperatur des dahinter liegenden Mauerwerks (außer im Hochsommer), verlangsamt. Deswegen sollte der sd-Wert der raumseitigen Dämmschicht und zusätzlich minimiert werden, jedoch ohne den Tauwasserschutz zu schaden.



(Quelle:

<https://www.krubitzer.de/download/Innendaemmung.pdf>

[letzter Zugriff: 21.06.2021])

Abb. 15: Darstellung der Befeuchtung und Trocknung

In der Abbildung ist die Schematische Darstellung der Befeuchtung der Außenwand und die Trocknung, einmal unten mit einer Innendämmung und die oberen Abbildungen ohne Dämmung, zu sehen. Durch Absenkung der Temperatur, verlangsamt die Innendämmung den Trocknungsprozess nach außen und nach innen wird er von der Dampfsperre unterbunden.

Die durch die Innendämmung führende Absenkung der Temperatur und als Folge zur Verschlechterung der Trocknung, können sich allerdings nicht durch die Anpassung des sd-Wertes an der Raumseite lösen. Es ist daher von großer Bedeutung, dass der Schlagregenschutz verbessert wird.

Außerdem wird eine wasser,- und dampfdichte Innendämmung, wie zum Beispiel Schaumglas, zur Instandsetzung von feuchten Wänden, empfohlen. Dadurch wird der Innenraum gut vor der Kälte,- und Feuchteeinwirkung an die Außenwand geschützt. Ist aber die vorkommende Feuchte, aufsteigende Grundfeuchte, so ist zu beachten, dass wegen der Trocknungsbehinderung der Innendämmung es zu einer Befeuchtung der Wände kommen wird.<sup>24</sup>

<sup>24</sup> Krus, Martin/ Sedlbauer, Klaus/ Künzel, Hartwig: Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht. In: <https://www.krubitzer.de/download/Innendaemmung.pdf> (letzter Zugriff: 20.06.2021)

## 5. Fazit

Das Ziel der Arbeit war die Analyse von Forschungsergebnissen zum hygrothermischen Bauteilverhalten von Holzbalkenköpfen. Dabei waren die Fragestellungen, wie sich Holzbalkenköpfe gegenüber Feuchte und Wärme verhalten und ab welchem Maß von Feuchte man von Bauschäden sprechen kann. Außerdem wurden auf die Wärmebrückenbildung näher eingegangen und was sie auf Holzbalkendecken bewirken. Die Frage, ob sich Holzbalkendecken „reparieren“ lassen, zum Beispiel durch verschiedene Trocknungstechniken wurde ebenso in meiner Arbeit beantwortet.

Holzbauteile, die sich in der innengedämmten Außenwandkonstruktion befinden und dadurch eine komplizierte und aufwendige Planung aufweisen, sind vor allem im Winter, von einem hohen Feuchtegehalt betroffen. Der Grund dafür ist eine Veränderung des hygrothermischen Zustandes aufgrund des Einsatzes einer Innendämmung. Aufgrund des zu hohen Feuchtegehaltes werden Holzschädlinge dazu angeregt, in das durchfeuchtete Holz einzudringen und es abzubauen.

Anschließend wurde die Bewertung der Holzfeuchte näher dargelegt. Und hier zeigen sich laut der DIN EN 13986 3 Nutzungsklassen, nämlich der Trockenbereich, der Feuchtebereich und der Außenbereich. Der zulässige Feuchteanteil ist abhängig von den Nutzerklassen. Wird der festgelegte Feuchteanteil überschritten, so kommt es zu einem Bauschaden. Holz beziehungsweise Holzbalkendecken können aber mithilfe von verschiedenen Trocknungstechniken wieder „repariert“ werden. In meiner Arbeit wurden 3 verschiedene Versuche mit jeweils unterschiedlichen Techniken erläutert. Nur der letzte Versuch, durch den modifizierten Einsatz von Trocknungstechniken, konnte die Holzbalkendecke vollständig trocknen. Dabei wurde intervallweise mit einer Unterdrucktrocknung getrocknet und zusätzlich bei den Balkenzwischenräumen durch eine Heizplatte getrocknet.

Im letzten Kapitel wurden verschiedene Dämmsysteme verglichen und dabei gezeigt welche von den Dämmungen optimal in Verbindung eines Holzbalkenkopfes ist. Es hat sich herausgestellt, dass die Innendämmung bei einem Gebäude mit Holzbalkendecken zu vermeiden ist, da der Balkenkopf die Dämmebene durchdringt und sich so in der kalten, feuchten Seite des Wandkonstruktion befindet und sich dadurch Wärmebrücken bilden.



## Quellenverzeichnis

### A. Gedruckte Quellen

Aichberger, Stella: Holzschädlinge und Holzschutz im Terminologievergleich. Deutsch – Tschechisch. Wien: Universität Wien. Diplomarbeit 2009.

Bogusch, Norbert/ Duzia, Thomas: Basiswissen Bauphysik. Grundlagen des Wärme- und Feuchteschutzes. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2012.

Bogusch, Norbert/ Jörg Brandhorst: Sanieren oder Abreißen? Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2012.

Halmschlager, Erhard: Holzschädlinge und Holzschutz. Wien: Universität für Bodenkultur Wien. Skriptum. SS 2020.

Hecht, Clemens/ Steiner Tobias: Ertüchtigung von Holzbalkendecken nach WTA II: Balkenköpfe in Außenwänden. 1. Auflage 2015. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2014.

Oyen, Thomas: Holz im Außenraum. Grundlagen, Materialien, Beispiele. 1. Auflage. Köln: Bruderverlag 2011.

Scheffler, Georg: Bauphysik der Innendämmung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag 2016.

Steffens, Oliver: RENARHIS: Nachhaltige energetische Modernisierung und Restaurierung historischer Stadtquartiere. Schriftenreihe Zukunft Bauen: Forschung für die Praxis, Band 3. 2. Auflage. Bonn: Selbstverlag 2016.

Wimmer, Rupert: Holzwissenschaftliche Grundlagen. Wien: Universität für Bodenkultur Wien. Skriptum. SS 2020.

Zegowitz, Andreas/ Zirkelback, Daniel/ Künzel, Hartwig: Trocknung von historischen Holzbalkendecken nach Wasserschäden. In: Bausubstanz. Deutschland. Nr. 2/2017. S.36-41

## **B. Digitale Quellen**

Bialas, Adam: Technik aktuell. Innendämmung bei Holzbalkendecken. In: [https://www.bundesbaublatt.de/download/486480/ta\\_innendaemmung\\_bei\\_holzbalkendecken.pdf](https://www.bundesbaublatt.de/download/486480/ta_innendaemmung_bei_holzbalkendecken.pdf) (letzter Zugriff: 21.06.2021)

Kehl, Daniel: Holzbalkenköpfe im Mauerwerk. In: <http://docplayer.org/21984407-Holzbalkenkoepfe-im-mauerwerk-stand-der-erkenntnisse.html> (letzter Zugriff: 21.06.2021)

Krus, Martin/ Sedlbauer, Klaus/ Künzel, Hartwig: Innendämmung aus bauphysikalischer Sicht. In: <https://www.krubitzer.de/download/Innendaemmung.pdf> (letzter Zugriff: 20.06.2021)

Ruisinger, Ulrich: Risikofaktor Holzbalkenkopf? Holzbalkendecken und die Innendämmung. In: <https://docplayer.org/20841299-Risikofaktor-balkenkopf-holzbalkendecken-und-die-innendaemmung.html> (letzter Zugriff: 24.06.2021)

Veit, Jürgen: Fragen und Antworten zur Vermeidung von Feuchteschäden. In: [http://www.schadis.de/dokument.jsp?id=fragen\\_24.htm](http://www.schadis.de/dokument.jsp?id=fragen_24.htm) (letzter Zugriff: 23.05.2021)

**Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1: Holzverfärbende Pilze .....	9
Abb. 2: Holzzerstörende Pilze .....	10
Abb. 3: Hausbock .....	12
Abb. 4: Bunter Nagekäfer .....	13
Abb. 5: Brauner Splintholzkäfer .....	13
Abb. 6: Kapuzinerkäfer .....	14
Abb. 7: Aufbau einer Holzbalkendecke .....	16
Abb. 8: Schlagregenbeanspruchung .....	18
Abb. 9: Modell der Holzbalkendecke .....	26
Abb. 10: Durchfeuchtung der Holzbalkendecke .....	26
Abb. 11: Erzeugung des Wasserschadens .....	26
Abb. 12: Wandkonstruktionstypen.....	30
Abb. 13: Außen- und Innengedämmte Wand .....	32
Abb. 14: Wärmebrückenproblematik .....	35
Abb. 15: Darstellung der Befeuchtung und Trocknung.....	37

