



## **Forschungsvorhaben „Gebäudeklima“: Schlussfolgerungen und Empfehlungen für die Praxis**

Forschungsstelle:  
Technische Universität München  
Lehrstuhl für Holzbau und Baukonstruktion  
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Stefan Winter

gefördert von:  
Forschungsinitiative Zukunft Bau  
Bundesamt für Bauwesen und Raumordnung, Bonn

Projektbearbeitung:  
Andreas Gamper M.Sc. (a.gamper@tum.de)  
Dr.-Ing. Philipp Dietsch (dietsch@tum.de)  
Dipl.-Ing. Michael Merk (merk@tum.de)

unterstützt durch:  
Scantronik Mugrauer GmbH, Zorneding.  
Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V., Wuppertal.  
Wiehag GmbH, Altheim, Österreich.  
bauart Konstruktions GmbH + Co. KG, Lauterbach.  
Konstruktionsgruppe Bauen AG, Kempten.  
IngPunkt Ingenieurgesellschaft für das Bauwesen  
mbH, Augsburg.  
BBI Bauer beratende Ingenieure GmbH, Landshut.  
Dr. Linse Ingenieure GmbH, München.  
Dr. Schütz Ingenieure, Kempten.  
Häussler Ingenieure GmbH, Kempten.

## **1 Schlussfolgerungen**

### **1.1 Allgemein**

Das Thema der Materialfeuchte von tragenden Holzbauteilen wurde bisher tendenziell vor dem Hintergrund behandelt, hohe Holzfeuchten zu vermeiden um Fäulnis oder Pilzbildung zu verhindern. Die Auswertung von Schäden an weitgespannten Holzkonstruktionen zeigt als überwiegend festgestelltes Schadensbild ausgeprägte Rissbildung in Lamellen und Klebefugen der Brettschichtholzbauteile aufgrund niedriger oder stark schwankender Holzfeuchten. Diese Schwindrisse reduzieren den verbleibenden Querschnitt zur Übertragung von Querkraft- oder Schubspannungen. Grund für derartige Holzfeuchten und Holzfeuchtegradienten sind schnelle und/oder starke Änderungen der Umgebungsbedingungen, welche sich zum einen aus konstruktiven Bedingungen, zum anderen aus der Gebäudenutzung ergeben können. Lokal können diese Änderungen verstärkt auftreten, wie z.B. im Bereich von Oberlichtern oder Lüftungsauslässen.

Ziel des Forschungsvorhabens „Gebäudeklima – Langzeitmessung“ war, mittels Langzeitmessserien die klimatischen Beanspruchungen und das sich daraus ergebende Gefährdungspotential bezogen auf holzbautypische Gebäudetypen und -nutzungen zu ermitteln. Insgesamt wurden 21 Messobjekte aus sieben unterschiedlichen Nutzungskategorien untersucht. Dazu zählen die Nutzungen Schwimmhalle, Eissporthalle, Reithalle, Sporthallen Produktions- und Verkaufshalle, landwirtschaftliche Halle und Lagerhalle.



## 1.2 Schlussfolgerungen zur Langzeitmessung von Hallenklima und Holzfeuchtegradienten

Das für dieses Forschungsvorhaben entwickelte Messsystem erwies sich als grundsätzlich geeignet, Langzeitmessungen der Holzfeuchte mit einer Genauigkeit von  $\pm 0,5\%$  und des Klimas in Hallen in Holzbauweise zu realisieren. In 21 untersuchten Objekten mit je zwei Messstellen waren nur in den Schwimmhallen Ausfälle von Klimasensoren und ein Ausleseproblem bei einem Datenlogger festzustellen. Die defekten Komponenten, an welchen Flugrostbildung festgestellt wurde, konnten ausgetauscht werden, fielen aber nach kurzer Zeit erneut aus. Es liegt die Vermutung nahe, dass die Defekte auf das für metallische Sensoren sehr aggressive, chlorhaltige Klima in den Schwimmbädern zurückzuführen sind. So korrodierten selbst die vernickelten Anschlüsse der Datenlogger und der Verbindungskabel, was in einem Fall zum kompletten Ausfall des Datenloggers führte. Abhilfe könnte durch die Verwendung von robusteren digitalen Sensoren zur Erfassung des Hallenklimas und durch die Unterbringung der Messtechnik in Installationsgehäusen geschaffen werden.

Im Folgevorhaben „Gebäudeklima – Validierung“ wurden die Langzeitmessungen von klimatischen Bedingungen und resultierender Holzfeuchtegradienten an ausgewählten Messobjekten mit stark schwankenden Umgebungsbedingungen fortgeführt, um die im ersten Forschungsvorhaben gewonnenen Messergebnisse zu verifizieren. Von den ursprünglich sieben Nutzungskategorien und 21 Messobjekten wurden aus fünf ausgewählten Nutzungen je zwei Objekte weiter untersucht. Schwimm- und Sporthallen wurden wegen ihres sehr konstanten und vom Außenklima unabhängigen Hallenklimas für die Fortführung der Langzeitmessung nicht weiter in Betracht gezogen. Von besonderem Interesse im Rahmen der Fortführung war die Anpassung der Messtechnik an bislang gewonnene Erkenntnisse. Getroffene Annahmen bei der Auswertung der bisherigen Ergebnisse wurden durch Messungen realer Werte der entsprechenden Parameter ersetzt. So wurde die Verteilung der Materialtemperatur über den Holzquerschnitt, die für die Kompensation des Temperatureinflusses auf die Holzfeuchtemessung benötigt wird, mittels zweier in den Querschnitt eingebrachter Temperatursensoren ermittelt. Im ersten Forschungsvorhaben wurde der Temperaturverlauf aus der gemessenen Oberflächentemperatur abgeleitet. Im Vergleich der beiden unterschiedlichen Methoden zur Ermittlung der Materialtemperaturen wurde bei sonnenbeschienenen Messstellen eine nicht unerhebliche Abweichung festgestellt. Eine Temperaturkompensation mit aus der gemessenen Lufttemperatur berechneten Temperaturverläufen im Querschnitt resultiert in Holzfeuchteverläufen mit geringeren und weniger sprunghaften, kurzzeitigen Änderungen. Bei Verwendung der in den Trägern in 20 mm und 40 mm Tiefe gemessenen Temperaturen, ergeben sich für Zeiten, in der die Trägeroberfläche von der Sonne direkt beschienen wird, relativ große Sprünge in den Verläufen der Holzfeuchte. Für das betrachtete Beispiel lagen diese Sprünge im Untersuchungszeitraum bei ca. 1,5 % Holzfeuchte. Der Grund für diese Abweichung wurde mittels zweier hierfür durchgeführter Untersuchungen eingegrenzt. Hierbei wurde festgestellt, dass ein nicht unerheblicher Teil der auf die Trägeroberfläche auftreffenden thermischen Energie aus den Sonnenstrahlen durch Wärmeleitung über den Kabelquerschnitt des Sensors in das Querschnittsinnere und damit zum Temperatursensor hin transportiert wird. Dies führt dazu, dass die Materialtemperatur für sonnenbeschienene Messstellen mit der bisherigen Methode der Temperaturermittlung überschätzt wird. Gleichzeitig konnte gezeigt werden, dass eine Messung der Materialtemperatur von der sonnenabgewandten Trägereite aus realistische Messwerte liefert.



Mit der zweiten Untersuchung konnte anhand von Laborversuchen bestätigt werden, dass der verwendete analytische Ansatz zur Kompensation des Temperatureinflusses auf die Holzfeuchtemessung Ergebnisse liefert, die innerhalb der zu erwartenden Messgenauigkeit liegen. Eine Berechnung der im Querschnitt vorhandenen Temperaturverläufe mittels der expliziten Euler Methode unter Verwendung von im direkten Umfeld der Messstelle durch Klimasensoren gemessenen Lufttemperaturen resultiert in realistischen, für die Praxis ausreichend genauen Ergebnissen.

### **1.3 Schlussfolgerungen aus den Messergebnissen**

In den beiden betrachteten Auswertezwischenräumen vom 1. Oktober 2010 mit 30. September 2011 bzw. vom 1. April 2013 mit 31. März 2014 wurden insgesamt über 3,6 Millionen Messwerte erfasst und mit Hilfe eines eigens entwickelten Programmes ausgewertet. Für jedes Messobjekt wurden Diagramme zum Verlauf der Holzfeuchte und des Hallenklimas erstellt. Aus letzterem wurde die sich einstellende Ausgleichsfeuchte des Holzes errechnet. Diese wurde zum Zwecke der Vergleichbarkeit in die Verläufe der gemessenen Holzfeuchten eingefügt. Die Verwendung von unterschiedlich langen Messelektroden ermöglichte klare Aussagen über den Verlauf der Holzfeuchte in den Querschnitten. Aus den für jede Messstelle erstellten Querschnittsverläufen der Holzfeuchte kann die Größe der vorliegenden Feuchtegradienten abgelesen sowie die Differenz der Holzfeuchte zwischen Bauteiloberfläche und Querschnittsinneren ermittelt werden. Beide Parameter bilden die Grundlage, um Rückschlüsse auf die Größe der feuchteinduzierten Spannungen und damit potentieller Rissentstehung zu ziehen.

Ein Vergleich der Ergebnisse der einzelnen Nutzungen bestätigt die große Bandbreite der möglichen klimatischen Bedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte) in Gebäuden mit Holztragwerken. Diese resultiert, über alle Nutzungen und Messzeiträume hinweg betrachtet, in mittleren Holzfeuchten zwischen 4.4 % und 17.1 %. Aus den Verläufen der Holzfeuchte lässt sich mit zunehmender Messtiefe im Holzquerschnitt sowohl eine gedämpfte als auch eine zeitliche Verzögerung der Anpassung der Holzfeuchte an die Umgebungsbedingungen erkennen. Daraus ergeben sich über die Trägerbreite unterschiedliche Holzfeuchten welche aufgrund der zugehörigen Schwind- und Quellverformungen zu Spannungen im Holzquerschnitt führen.

Die Holzfeuchtegradienten fallen in der Gruppe der gedämmten und geheizten Gebäude geringer aus als in der Gruppe von Gebäuden mit stärkerem Einfluss des jahreszeitlich schwankenden Außenklimas.

Schwimmhallen fallen in die erstgenannte Gruppe. Für sie wurden im Forschungsvorhaben sehr konstante, hinsichtlich der Ausgleichsfeuchte der Holzbauteile unkritische Randbedingungen festgestellt. Ausnahme bilden Übergangsbereiche zum Außenklima, in denen aufgrund des Absinkens der Temperatur, sehr hohe Luftfeuchten auftreten können, die zudem stärkeren Schwankungen unterworfen sind. Der gleichen Gruppe (geschlossene, gedämmte und geheizte Gebäude) sind Sporthallen zuzurechnen. Für diese wurde durchgängig ein konstantes aber trockenes Klima festgestellt. Verstärkt wurde der Effekt trockenen Klimas in Bereichen direkter Sonneneinstrahlung z.B. im Bereich von Lichtbändern. Die für Sporthallen gemachten Feststellungen treffen auch auf Verkaufshallen zu. Produktionshallen können, in Abhängigkeit der



speziellen Nutzung, unterschiedliche klimatische Bedingungen aufweisen. Die Klimarandbedingungen sind dementsprechend objektspezifisch zu ermitteln. Meist werden diese jedoch einem konstanten und trockenen Klima zuzurechnen sein. Bei einigen der dieser Gruppe zugeordneten Messobjekte wurden erhebliche Schwindrisse an den Holzbauteilen des Dachtragwerkes festgestellt. Der hinsichtlich des Gefährdungspotentials für die Entstehung dieser Schwindrisse kritischste Zeitraum wird in den meisten Fällen der erste Winter nach Inbetriebnahme des Gebäudes sein. Durchschnittlich stellten sich in der Gruppe der gedämmten und geheizten Gebäude Temperaturen  $\geq 20^{\circ}\text{C}$  (für Schwimmbäder bei ca.  $30^{\circ}\text{C}$ ) und relative Luftfeuchten  $< 50\%$  ein. Die aus diesen klimatischen Randbedingungen resultierenden Holzfeuchten lagen im Bereich von 6 – 10 % bei jährlichen Amplituden von  $< 2\%$  (vgl. Tabelle 1).

*Tabelle 1: Aus den Messwerten des gesamten Messzeitraums abgeleitete Anhaltswerte für die Gruppe der gedämmten und beheizten Gebäude unter Normalbetrieb.*

Kategorie	Holzfeuchte		Temperatur	rel. Luftfeuchte	
	MW [%]	max. A [%]	MW [ $^{\circ}\text{C}$ ]	MW [%]	
A	Schwimmbäder	8-9	$< 1,5$	$\approx 30$	$< 50$
D	Sporthallen	8-10	$< 2$	$\approx 20$	$< 50$
E	Produktions- und Verkaufshallen	6-7	$< 2$	15-25	$< 40$
Ø	gedämmt, beheizt	6-10	$< 2$	$> 20$	$< 50$

Der zweitgenannten Gruppe (teiloffene, ungedämmte, unbeheizte Gebäude) sind die Reithallen zuzuordnen. Das Hallenklima in diesen ist starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. In den Wintermonaten führt das Zusammenspiel von kalter Luft und der von den Sprinkleranlagen eingebrachten Feuchte häufig zu Tauwasserausfall. Ähnlich starke jahreszeitliche Schwankungen des Hallenklimas wurden für landwirtschaftliche Hallen ermittelt. Viehbetrieb bedingt einen zusätzlichen Feuchteeintrag und damit eine erhöhte Luftfeuchte. Ähnlich wie bei Reithallen führt in den Wintermonaten kalte, von außen einströmende Luft und die erhöhte Luftfeuchte im Gebäude zu hohen Holzfeuchten und teilweise zu Tauwasserausfall. Wie in anderen vom Außenklima beeinflussten Nutzungen ergeben sich starke Schwankungen der Holzfeuchte, die aufgrund des jahreszeitlichen Charakters der Schwankungen in merklichen, nicht jedoch in außergewöhnlich hohen Holzfeuchtegradienten resultieren. Die in Lagerhallen im Mittel festgestellten Holzfeuchten liegen in einem für Holzbauteile günstigen Bereich von 9.5 % bis 14.0 %. Zum Teil bedingt durch die gelagerten Güter wurden für die Lagerhallen jedoch die stärksten jahreszeitlichen Schwankungen der Umgebungsbedingungen in diesem Forschungsvorhaben ermittelt.

Für die Kategorie der teiloffenen, ungedämmten und unbeheizten Gebäude konnten im Mittel Temperaturen im Bereich von  $10^{\circ}$  -  $15^{\circ}\text{C}$  und relative Luftfeuchten größer 65 % beobachtet werden. Die mittlere Holzfeuchte stellt sich zwischen 12 und 16 % ein. Durch die schwankenden klimatischen Randbedingungen ergibt sich eine durchschnittliche Amplitude der Holzfeuchte von 4 % (vgl. Tabelle 2).



Tabelle 2: Aus den Messwerten des gesamten Messzeitraums abgeleitete Anhaltswerte für die Gruppe der teiloffenen, ungedämmten und unbeheizten Gebäude unter Normalbetrieb.

Kategorie	Holzfeuchte		Temperatur	rel. Luftfeuchte	
	MW [%]	max. A [%]	MW [°C]	MW [%]	
C	Reithallen	14-17	3-5	10-15	70-80
F	Landwirtschaftliche Hallen	14-17	4-5	10-15	65-75
G	Lagerhallen	11-14	4-5	10-15	60-75
Ø	teiloffen, ungedämmt, unbeheizt	12-16	4	10-15	> 65

Weniger durch das Außenklima als vielmehr bedingt durch die Nutzung ist auch das Klima in Eissporthallen starken jahreszeitlichen Schwankungen unterworfen. Durchschnittlich konnte bei Eishallen eine mittlere relative Luftfeuchte zwischen 60 und 70 % bei aufgrund der Nutzung schwankenden Temperaturen festgestellt werden. Die Holzfeuchte ist mit durchschnittlich 15,5 % über der Eisfläche um 1,5 % höher als die Holzfeuchte im Randbereich der Halle. Die Amplitude der Holzfeuchte stellt sich im Mittel bei ca. 3,5 % ein (vgl. Tabelle 3). Die Holzfeuchte in Eissporthallen ist generell hoch und schwankt stark. Die stärkste Änderung der klimatischen Bedingungen, resultierend in größeren Holzfeuchtegradienten, ergab sich zum Zeitpunkt der Eisherstellung nach der Sommerpause.

Tabelle 3: Aus den Messwerten des gesamten Messzeitraums abgeleitete Anhaltswerte für die Objekte der Kategorie Eissporthallen.

Kategorie	Holzfeuchte		Temperatur	rel. Luftfeuchte		
	MW [%]	max. A [%]	MW [°C]	MW [%]		
B	Eissporthallen	über Eisfläche Randbereich	15,5 14	3-6	8-16	60-70

Neben den vorab beschriebenen, nutzungsbedingten Klimabedingungen und dessen Beanspruchungspotential für die Holzbauteile, verdeutlichen die Ergebnisse des Forschungsvorhabens einen weiteren wichtigen Aspekt. Temporäre Eingriffe, wie Renovierungsarbeiten oder Nutzungsänderungen (temporär oder dauerhaft) können zu stark veränderten klimatischen Bedingungen führen, die sich in ausgeprägten Holzfeuchteänderungen niederschlagen. So wurden im Rahmen dieses Forschungsvorhabens sowohl ein starkes Austrocknen von Holzbauteilen (temporäre Umnutzung einer Eissporthalle sowie Renovierung eines Hallenbades) wie auch das starke Auffeuchten von sehr trockenen Holzbauteilen (Umnutzung eines ehemals metallverarbeitenden Betriebes) festgestellt. Das sich dabei ergebende Gefährdungspotential für die Entstehung von Schäden durch Risse in Brettschichtholzbauteilen ist entsprechend hoch. Daher sollte bei derartigen Eingriffen auf eine schonende Änderung des Klimas geachtet werden.



## 2 Empfehlungen für die Praxis

In der praktischen Anwendung des Baustoffs Holz ist die Kenntnis seines feuchteabhängigen Materialverhaltens von entscheidender Bedeutung. Dazu zählen neben der Planung und dem Neubau von auch die Nutzung bzw. temporäre oder dauerhafte Umnutzung sowie die gutachterliche Untersuchung. Die im Folgenden gegebenen Empfehlungen für die Praxis werden für die genannten drei Bereiche getrennt aufgeführt:

### 2.1 Planung / Neubau

In gedämmten, beheizten Gebäuden (u.a. Schwimmhallen, Sporthallen, Verkaufs- und Produktionshallen) mit relativ konstanten aber trockenen Umgebungsbedingungen sollte schon bei Produktion, Transport, Einbau und Baustellenbetrieb darauf geachtet werden, dass die Holzfeuchte von (speziell großvolumigen) Holzbauteilen nur um wenige Prozent von der späteren Ausgleichsfeuchte abweicht ( $u \leq 12\%$ ). Mögliche Maßnahmen sind u.a. ein abgestimmtes Baustellenregime (u.a. Verhindern einer Befeuchtung bei längerer Lagerung, Reduktion unnötiger Baufeuchte) und/oder ein Holzfeuchtemonitoring während der Bauzeit in Verbindung mit vorab festgelegten Handlungsanweisungen. Beim Entwurf derartiger Tragwerke sollte darauf geachtet werden, Sperreffekte gegenüber dem freien Schwinden und Quellen der Bauteile (z.B. Verbindungsmittel mit großem Abstand senkrecht zur Faser, in geringem Abstand angeordnete Quersugverstärkungen) weitestgehend zu vermeiden.

In Gebäuden mit erhöhtem Einfluss des Außenklimas auf das Innenraumklima (z.B. in Reithallen, landwirtschaftliche Hallen und Lagerhallen) könnte das Aufbringen einer Dachdämmung helfen, die starken Schwankungen des Innenraumklimas und dementsprechend die Holzfeuchtegradienten zu dämpfen. Bei teiloffenen Bauwerken reduziert sich der Effekt einer solchen Maßnahme mit zunehmendem Anteil an dauerhaft geöffneten Bereichen in der Außenhülle. Holzbauteilen die aufgrund lokaler Gegebenheiten wie Oberlichtern oder Lüftungsauslässen verstärkten Änderungen des Umgebungsklimas ausgesetzt sind sollte erhöhte Aufmerksamkeit hinsichtlich potentieller Rissentstehung aufgrund eines zu schnellen Austrocknens nach einer Feuchteperiode geschenkt werden. In diesen Bereichen bietet die Verwendung von außen auf die Holzbauteile aufgebrachten, austauschbaren Holzwerkstoffplatten eine Möglichkeit, die saisonalen Holzfeuchteänderungen zu dämpfen. Dieses Prinzip wird zurzeit von den Autoren im Rahmen eines weiteren, in Zusammenarbeit mit der Studiengemeinschaft Holzleimbau e.V. durchgeführten Projekts untersucht.

### 2.2 Nutzung / Umnutzung

Der hinsichtlich des Gefährdungspotentials für die Entstehung von Schwindrissen kritischste Zeitraum wird bei gedämmten und beheizten Gebäuden in den meisten Fällen der erste Winter nach Erstellung des Gebäudes sein. In diesem Zeitraum sollte beim Einsatz der Heizanlagen darauf geachtet werden, die relative Luftfeuchte nicht schnell und stark abzusinken. Eine künstliche Luftbefeuchtung, z.B. in Form von Verdunstungsbecken ist eine weitere Möglichkeit, die Geschwindigkeit der Austrocknung der Holzquerschnitte zu dämpfen. Eine Alternative stellt eine Oberflächenbehandlung der Holzquerschnitte, z.B. in Form von Feuchteschutzmitteln dar, welche die Feuchteaufnahme und -abgabe für die ersten Jahre nach der Erstellung des Gebäudes dämpft.



Zum momentanen Zeitpunkt können noch keine konkreten Angaben hinsichtlich anwendbarer, diffusionshemmender Produkte zur Oberflächenbehandlung gegeben werden.

In teiloffenen, ungedämmten und unbeheizten Gebäuden ist der Einfluss des Nutzers auf das Innenklima wesentlich geringer. Dennoch kann die Entstehung hoher relativer Luftfeuchten durch verschiedene Maßnahmen reduziert werden. In Reithallen würde sich der aus dem Zusammenspiel von kalter Luft und der von den Sprinkleranlagen eingebrachten Feuchte auftretende Tauwasserausfall reduzieren, wenn die Sprinkleranlagen in der kalten Jahreszeit nur eingesetzt werden, sofern dies für den Reitbetrieb unbedingt erforderlich ist. In Lagerhallen sollte während der generell feuchteren Wintermonate darauf geachtet werden, dass durch die gelagerten Güter keine hohe, zusätzliche Feuchte eingebracht wird. In Eissporthallen ergab sich die stärkste Änderung der klimatischen Bedingungen zum Zeitpunkt der Eisherstellung nach der Sommerpause. Durch eine kontrollierte Lüftung und Heizung der Eissporthallen kann die Auswirkung dieses Effekts deutlich gedämpft werden.

Neben den vorab beschriebenen, nutzungsbedingten Klimarandbedingungen und deren Beanspruchungspotential für die Holzbauteile, verdeutlichen die Ergebnisse dieses Forschungsvorhabens, dass temporäre Eingriffe, wie Renovierungsarbeiten oder Nutzungsänderungen zu stark veränderten klimatischen Bedingungen führen können. Diese können in ausgeprägten Holzfeuchteänderungen resultieren. Dementsprechend sollte bei derartigen Eingriffen auf eine schonende Änderung des Klimas geachtet werden und die Verwendung von Hilfsmaßnahmen (z.B. Verdunstungsbecken, Oberflächenbehandlung) für eine zeitlich kontrollierte Änderung des Raumklimas in Betracht gezogen werden. Idealerweise sind solche Eingriffe von einem im Holzbau kundigen Fachplaner zu begleiten.

### **2.3 Untersuchung im Schadensfall**

Bei der Begutachtung von Schäden an Holztragwerken ist eine nähere Betrachtung der klimatischen Randbedingungen und der resultierenden Holzfeuchte der Bauteile von entscheidender Bedeutung. Herrschen am zu untersuchenden Tragwerk unterschiedliche klimatische Randbedingungen, so sollten über das Tragwerk hinweg an mehreren Orten Messungen der Holzfeuchte in unterschiedlichen Tiefen durchgeführt werden. Da die Kenntnis der zum Zeitpunkt der Untersuchung vorhandenen Holzfeuchteverteilung in den meisten Fällen nicht ausreicht um die Schadensursache vollständig zu klären sollte angestrebt werden, die Feuchtehistorie der Bauteile zu rekonstruieren. Dies kann durch Recherche in Dokumenten wie dem Leimbuch, dem Baustellentagebuch oder früheren Inspektionsberichten erfolgen, sofern diese vorhanden sind. Ist keine solche Dokumentation der Feuchteketten vorhanden oder wurde das Gebäude umgenutzt, können gegebenenfalls über eine Nutzerbefragung Informationen über die klimatischen Randbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte) gesammelt werden.

Bei der Sanierung klimatisch bedingter Risse ist sich die Fachwelt über den richtigen Zeitpunkt für eine Rissverpressung bzw. Sanierung noch uneinig. In diesem Zusammenhang ist der Einfluss der Superposition der Spannungen vor und nach der Sanierung, ein möglicher Rissfortschritt an der Bauteiloberfläche bzw. im Bauteilinneren, die inhomogene Verteilung des Steifigkeit quer zur Faser über die Lamellenbreite (innen meist steifer als außen) sowie die unterschiedliche Geschwindigkeit



einer Feuchteaufnahme bzw. Feuchteabgabe von Holz zu berücksichtigen. Für belastbare Aussagen hinsichtlich des richtigen Zeitpunktes zur Rissanierung sind noch eingehende Untersuchungen, gepaart mit Versuchen an Prüfkörpern mit baupraktisch relevanten Querschnittsabmessungen, notwendig. Die in diesem Forschungsvorhaben ermittelten klimatischen Umgebungsbedingungen können die Grundlage solcher weiterführender Untersuchungen darstellen.

## **2.4 Empfehlungen für die Umsetzung in Lehrbüchern, Richtlinien und Normen**

Es sollte angestrebt werden, das Bewusstsein von Planern und Ausführenden zum Thema der Umgebungsbedingungen und resultierender Holzfeuchte während der Errichtung und Nutzung wie auch temporärer Eingriffe und Nutzungsänderungen ihres Gebäudes zu erhöhen. Erreicht werden könnte dies über die Angabe wesentlicher Informationen in Kommentaren zu Normen sowie Lehrbüchern. Dazu zählt Holzbauteile mit einer Holzfeuchte einzubauen, die der Gleichgewichtsfeuchte im fertig gestellten Bauwerk entspricht. Des Weiteren wird empfohlen, Beispiele der Klassifizierung von Gebäuden in Nutzungsklassen (z.B. Reithallen, Eissporthallen) anzugeben. Gleichzeitig ist jedoch darauf hinzuweisen, dass die erwarteten Ausgleichsfeuchten von Holzbauteilen für jedes Gebäude objektspezifisch aus den erwarteten Klimarandbedingungen zu ermitteln sind. Vor allem sollte das Bewusstsein der Planer und Ausführenden gegenüber trockenen Umgebungsbedingungen erhöht werden. Dementsprechend wird empfohlen, künftig in den Normen zur Bemessung und Konstruktion von Holzbauten darauf hinzuweisen, dass die Ausgleichsfeuchte von Bauteilen aus Nadelholz in beheizten und gedämmten Gebäuden (Nutzungsklasse 1) in den meisten Fällen unter 10 % liegt.