

Aussagefähigkeit von Holzfeuchtemessungen zur Beurteilung des Nutzerverhaltens

1 Einleitung

Bei der Beurteilung von Schimmelpilzschäden, aber auch für andere Fragestellungen, ist es häufig erforderlich, Kenntnisse über das mittel- bis langfristig zurückliegende Wohnverhalten von Gebäudenutzern zu erlangen. Sachverständige versuchen hierzu bisweilen den Zusammenhang zwischen dem Holzfeuchtegehalt von Möbelstücken und dem Umgebungsklima zu nutzen. Je nachdem, in welchem Umgebungsklima, gekennzeichnet durch die relative Luftfeuchte und die Lufttemperatur, Holz gelagert wird, stellt sich ein von diesem Umgebungsklima abhängiger Holzfeuchtegehalt ein. Die Feuchtespeicherfunktion von Holzbaustoffen, für den Sorptionsbereich auch als Sorptionsisotherme bekannt, zeigt diesen Zusammenhang. Jedem Holzfeuchtegehalt kann also, bei Kenntnis der entsprechenden Sorptionsisotherme, eine relative Raumluftfeuchte zugeordnet werden. Daraus werden dann Beurteilungen abgeleitet, ob ein regelgerechtes Nutzerverhalten hinsichtlich des Heizens und des Lüftens vorgelegen hat.

Ziel der Arbeit

Bei der beschriebenen Vorgehensweise stellt sich die Frage, wie schnell der Feuchtegehalt der hölzernen Möbelstücke auf die äußeren Randbedingungen, insbesondere die relative Luftfeuchte der Umgebung, reagiert. Dies ist wichtig, um einschätzen zu können, welcher Zeitpunkt oder Zeitraum des Innenklimas den Messwerten gegenübersteht. Da insbesondere kurzfristige Feuchtespitzen auch bei regelgerechtem Nutzerver-

halten nicht auszuschließen und daher auch nicht zu beanstanden sind, sollten die Auswirkungen solcher Feuchteänderungen auf die Messwerte untersucht werden. Hierbei sollten Vergleichswerte der Holzfeuchte gewonnen werden, die bei einem richtigen und falschen Wohnverhalten zu erwarten sind.

Durch Auswertung der Ergebnisse konnte erstmals näher eingeschätzt werden, ob die beschriebenen Holzfeuchtemessungen tatsächlich zur Beurteilung des zurückliegenden Wohnverhaltens geeignet sind.

2 Untersuchungsrahmen

Die Untersuchung erfolgte durch instationäre Simulation des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports (hygrothermische Simulation) mit der Software WUFI[®]PRO. Es wurde ein Holzbauteil aus Fichtenholz konstruiert, welches beidseitig einem festgelegten, zeitlichen Innenklimaverlauf ausgesetzt wird und ein im Innenraum stehendes Möbelstück simuliert.

Das Bauteil ist so aufgebaut, dass es im Kern aus 10 cm Fichtenholz besteht. In beiden Randbereichen sind Schichten, ebenfalls aus Fichtenholz, von 2, 1 und 0,5 cm angeordnet. Die Anordnung der Randschichten diente der Auswertung der Holzfeuchten in verschiedenen Tiefen, welche das Eindringen der Messsonden bei der Holzfeuchtemessung repräsentieren (2,5/10/25/85 mm). Anschließend wurden vier verschiedene Innenklimaverläufe konstruiert und aus diesen Klimadateien generiert.

Der erste Klimaverlauf stellt dabei ein konstantes Innenraumklima von 65 % re-

lativer Luftfeuchte in den Sommermonaten und 50 % relativer Luftfeuchte in der Heizperiode dar, welche vom 1. Oktober bis 31. März reicht. Die Raumtemperatur wird durchgängig mit 21 °C angenommen. Eine Nachtabsenkung wird nicht vorgesehen. Der zweite Klimaverlauf schließt Feuchtigkeitsspitzen mit ein. Dabei wird zunächst ein typisches Schlafzimmer betrachtet. Die Nachttemperaturen werden in der Heizperiode mit 18 °C, die Tagestemperaturen mit 21 °C angenommen. Der Feuchteverlauf der relativen Luftfeuchte in der Heizperiode nimmt ab 22:00 Uhr von 50 % auf 70 % stetig zu (Schlafzeit) und ab 6:00 Uhr morgens genauso stetig wieder ab auf 50 % (Lüftung). Die Zu- und Abnahme erfolgt mit fünf Prozent je Stunde. In den Sommermonaten werden eine konstante relative Luftfeuchte von 65 % sowie eine Nachttemperatur von 18 °C und eine Tagestemperatur von 21 °C angenommen. Dieser Klimaverlauf repräsentiert ein typisches und regelgerechtes Wohnverhalten in Schlafzimmern. Der dritte Klimaverlauf stellt ein falsches Nutzerverhalten dar. Die relative Luftfeuchte beträgt in den Sommermonaten wieder 65 % bei einer Tagestemperatur von 21 °C und einer Nachttemperatur von 18 °C. In den Wintermonaten liegt die relative Luftfeuchte zwischen 22:00 und 6:00 Uhr bei 80 %, zwischen 6:00 und 22:00 Uhr bei 65 %. Die Zu- und Abnahme erfolgt wieder in Schritten von 5 Prozent je Stunde. Die Tages- und Nachttemperatur während der Heizperiode wird mit 18 °C angenommen. Schließlich wird noch ein Klimaverlauf 4 eingeführt, welcher die Auswirkungen eines kurzfristigen Fehlverhaltens

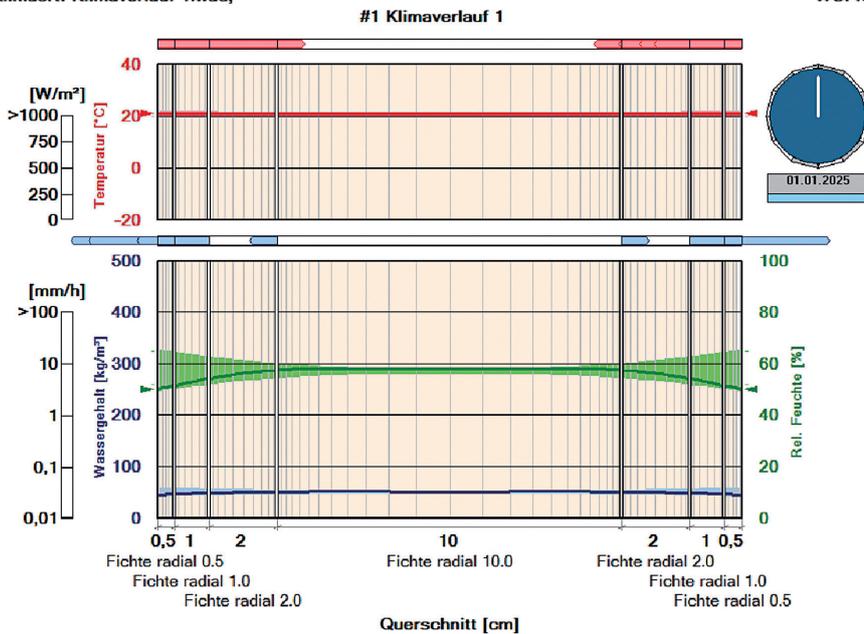


Abb. 1: Schichtenaufbau des Bauteils mit Feuchteverlauf exemplarisch für den Klimaverlauf 1

unmittelbar vor der Feuchtemessung darstellen soll. Dabei wird der Klimaverlauf 2, der ein regelgerechtes Nutzerverhalten repräsentiert, insofern modifiziert, dass fünf Tage lang vor dem Messzeitpunkt am 07.02.2022 die relative Raumluftfeuchte tagsüber auf 65 % erhöht wird. Die relative Luftfeuchten nachts bleiben bei denen des Klimaverlaufs 2. Tabelle 1 zeigt die zugrundeliegenden Randbedingungen. Abb. 1 zeigt den Schichtenaufbau mit Feuchteverlauf exemplarisch für den Klimaverlauf 1.

Anschließend erfolgte die Simulation des Feuchte- und Sorptionsvorgänge, insbesondere der Sorptionsvorgänge, mit der Software. Dabei wurde ein Zeitraum von 10 Jahren von 01.01.2015 bis 01.01.2025 betrachtet. Ausgewertet wurde hiervon nur der Zeitraum von 01.01.2022 bis 31.12.2023. Hierdurch sollte sichergestellt werden, dass sich die Feuchtegehalte, ausgehend von den voreingestellten Ausgangswerten, auf den Ausgleichszustand ein-

geschwungen haben. Aus den beschriebenen Innenklimaverläufen wurden Klimadateien generiert und zusammen mit den Bauteilaufbauten in das Programm eingegeben. Anschließend wurden die sich ergebenden Feuchteverläufe ausgewertet und hinsichtlich der Aussagefähigkeit von Holzfeuchtemessungen auf das Nutzerverhalten beurteilt.

Ausgewertet wurden die Minimal-, Maximal- und Mittelwerte der Holzfeuchtegehalte in Masseprozent sowie der relativen Raumluftfeuchten. Die ausgewerteten Ergebnisse der Holzfeuchten können daher unmittelbar mit den Messergebnissen vor Ort vorgenommener Holzfeuchtemessungen verglichen werden. Außerdem wurden die Holzfeuchten zu verschiedenen Zeitpunkten, nämlich am 10.01.2022, 10.02.2022 und 10.03.2022 jeweils um 11:00 und um 15:00 Uhr ausgewertet. Diese Werte simulieren Messungen, die im Rahmen von Begutachtungen vor Ort gemacht werden. Der di-

rekte Vergleich von örtlichen Messwerten mit den simulierten Holzfeuchten zu diesen Zeiten bei den unterschiedlichen Klimaverläufen (= unterschiedlichen Nutzerverhalten) gibt somit Aufschluss über die Aussagekraft der Messungen. Ein weiterer Messtermin wurde am 07.02.2022 um 11:00 Uhr ausgewählt. Dieser liegt unmittelbar nach dem 5-tägigen Fehlverhalten beim Klimaverlauf 4 und dient damit der Auswertung des Einflusses eines kurzfristigen Fehlverhaltens.

3 Ergebnisse

Zunächst zeigte sich bei den Simulationen, dass sich in nahezu allen Klimaverläufen eine Holzfeuchte oberhalb der Ausgleichsfeuchte einstellt, welche für die relative Luftfeuchte von 50 % zu erwarten wäre. Durch eine Vergleichssimulation wurde für die betrachtete Holzart bei durchweg 50 % relativer Luftfeuchte und 21 °C Lufttemperatur ein Ausgleichsfeuchtegehalt von 9,89 M-% ermittelt. Nur beim idealisierten Klimaverlauf 1 wurde dieser Wert nahezu erreicht. Die übrigen Klimaverläufe zeigten teils Werte deutlich oberhalb des Ausgleichsfeuchtegehalts. Es zeigte sich, dass nach der sommerlichen Aufwechtlung keine vollständige Rücktrocknung erfolgt, bevor der nächste Befeuchtungszeitraum wieder beginnt. Beim idealisierten Klimaverlauf 1 und beim regelgerechten Wohnverhalten des Klimaverlaufs 2 findet die Aufwechtlung in den Sommermonaten, beim regelwidrigen Nutzerverhalten in den Wintermonaten statt.

Weiterhin war an der grafischen Auswertung auffällig, dass die Holzfeuchten in der äußeren Schicht des Holzbauteils mit nur geringer zeitlicher Verzögerung der Änderung der Luftfeuchten nachfolgen. Dies kann an Klimaverlauf 2 erkannt werden (Abb. 3), wo den tageszeitlichen Änderungen der relativen Luftfeuchte (Tag/Nacht) unmittelbar eine Änderung der Holzfeuchten folgt.

Das ist ein Hinweis dafür, dass eine störungsfreie Holzfeuchtemessung, die nur die Holzfeuchten der äußersten Schicht erfasst, für eine Aussage über das langfristig zurückliegende Nutzerverhalten eher weniger geeignet ist. Genauso verhält es sich bei einer Eindringtiefe des Messgerätes von etwa 2,5 Millimeter (Messung mit nur geringen Beschädigungen). Ein hierbei erhöhter Feuchtegehalt könnte möglicherweise auf eine kurzfristige Feuchtespitze in naher Ver-

Tabelle 1: Klimarandbedingungen

		Klimarandbedingungen							
Klima-verlauf	Nutzer-verhalten	Sommer				Winter			
		Tag		Nacht		Tag		Nacht	
		Temp. [°C]	r.H. [%]	Temp. [°C]	r.H. [%]	Temp. [°C]	r.H. [%]	Temp. [°C]	r.H. [%]
KV 1	idealisiert	21	65	21	65	21	50	21	65
KV 2	Korrektes Wohnverhalten	21	65	18	65	21	50	18	70
KV 3	Falsches Wohnverhalten	21	65	18	65	18	65	18	80
KV 4	Korrektes Wohnverhalten mit kurzfristigem Fehlverhalten	21	65	18	65	18	50 / 65 (für 5 d)	18	70

gangenheit, z. B. einen Dusch- oder Kochvorgang, zurückzuführen sein, der im Rahmen des regelgerechten Wohnverhaltens nicht zu beanstanden ist.

Bei den tiefer liegenden Schichten zeigt sich eine zunehmend verzögerte Reaktion auf die Änderungen der Raumlufffeuchte. Außerdem sinkt der Unterschied zwischen den Minimal- und Maximalwerten (Amplitude) und der Mittelwert liegt auf einem höheren Niveau. Damit wird es mit zunehmender Messtiefe immer schwieriger, einen nennenswerten Unterschied zwischen feuchten und trockenen Perioden der Raumlufffeuchte festzustellen. Andererseits ist die Feuchteänderung in größerer Messtiefe so träge, dass hier gut auf die langfristige mittlere Raumlufffeuchte geschlossen werden kann.

Schicht 5 mm

Es zeigte sich, dass im Bereich der äußersten Schicht die Amplitude, also der Unterschied zwischen der niedrigsten und der größten Holzfeuchte, für alle Klimaverläufe um 2 bis 2,5 M-% beträgt. Für den Klimaverlauf 2, also das regelgerechte Wohnverhalten, liegt der Mittelwert der relativen Feuchte knapp 1,5 M-% über dem des falschen Wohnverhaltens. Das kurzfristige Fehlverhalten bleibt für den Mittelwert nahezu ohne Auswirkungen.

Die Holzfeuchten an den drei fiktiven Messzeitpunkten zeigen für das falsche Wohnverhalten eine um etwa 3 M-% erhöhte Holzfeuchte im Vergleich zum regelgerechten Wohnverhalten an. Allerdings zeigt die Messung am 7.2.2022, dass ein nur kurzfristiges Fehlverhalten bereits eine Verringerung des Unterschieds um mehr als ein Masseprozent bewirkt. Hinsichtlich der äußeren Schicht des Möbelstücks sind daher die Unterschiede der Feuchtegehalte zwischen einem richtigen und einem falschen Wohnverhalten groß, jedoch mit erheblichen Unsicherheiten im Hinblick auf kurzfristig einwirkende Feuchte behaftet.

Schicht 10 mm

Bei der Auswertung dieser Schicht dürfte es sich um die übliche Messtiefe bei Messung mit einer Einstechelektrode handeln, wenn an dem Mobiliar keine sehr großen Schäden verursacht werden sollen. Eine Messtiefe von 10 mm ist hierbei erreichbar. Es zeigte sich, dass sich die Amplituden der Feuchtegehalte bei den maßgeblichen Klimaverläufen 2 bis 4 nur noch zwischen etwa 1,5 bis 2 M-% bewegen. Der Unterschied im Feuchtege-

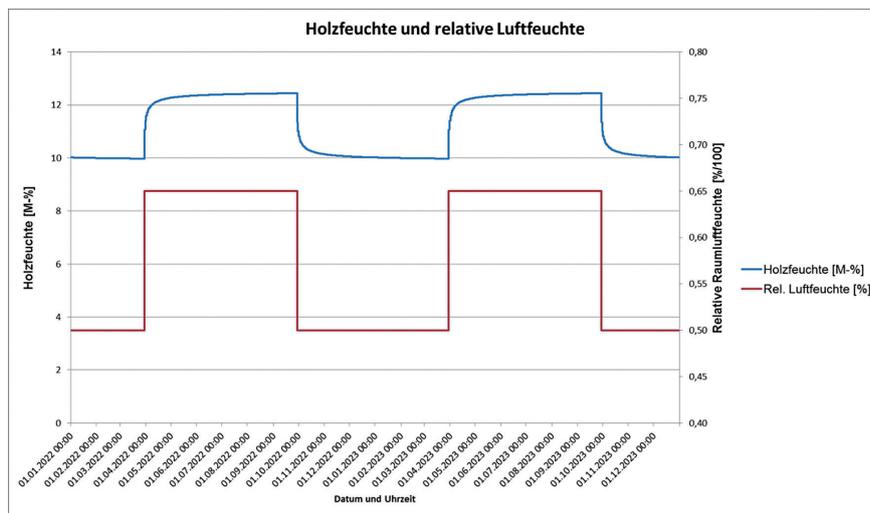


Abb. 2: Holzfeuchteverlauf für den Zweijahreszeitraum für die äußerste Schicht beim Klimaverlauf 1

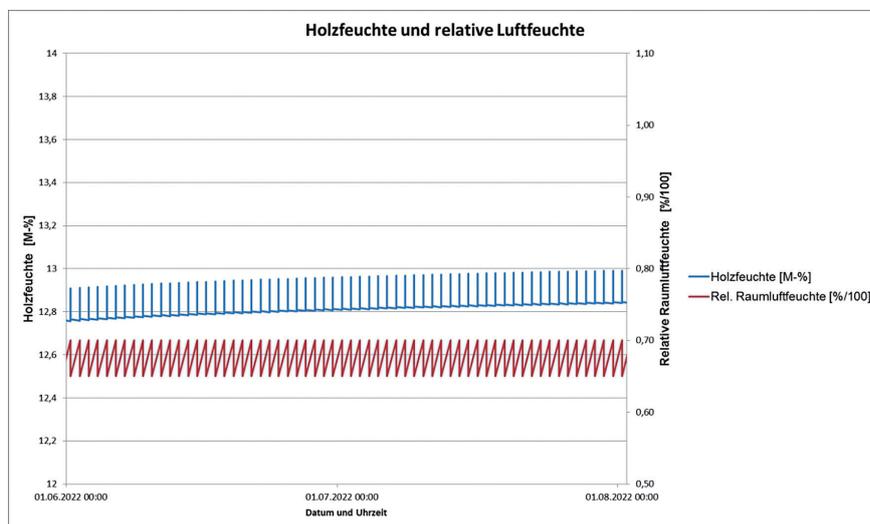


Abb. 3: Darstellung eines Zweimonatszeitraums aus der Sommerperiode im Klimaverlauf 2. Deutlich zu erkennen ist, dass den tageszeitlichen Spitzen der relativen Raumlufffeuchte unmittelbar Ausschläge im Feuchtegehalt folgen.

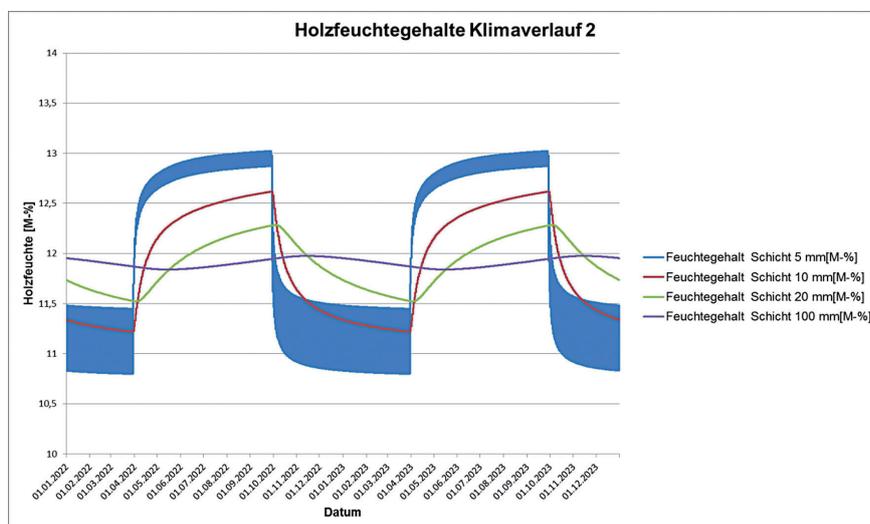


Abb. 4: Darstellung der Holzfeuchteverläufe der verschiedenen Schichten beim Klimaverlauf 2

halt zwischen dem falschen und dem richtigen Wohnverhalten liegt nur noch um 2,5 M-%.

Aufgrund der größeren Trägheit in der tieferen Bauteilschicht macht sich die kurzfristige Feuchtespitze des Klimaverlaufs 4 am 7.2.2022 nur noch mit einem Anstieg der Holzfeuchte um etwa 0,2 M-% bemerkbar. Auch dies spricht dafür, dass eine Eindringtiefe des Messgerätes um 10 Millimeter am geeignetsten für derartige Messungen ist. Hier liegt mit etwa 2,5 M-% noch eine ausreichende Differenz zwischen dem richtigen und dem falschen Wohnverhalten vor, um bei ausreichend genauer Messung ein aussagekräftiges Ergebnis zu erhalten.

Schicht 20 mm

Bei einer Messtiefe bis in die Mitte dieser Schicht, was eine Eindringtiefe der Elektroden von etwa 25 Millimeter bedeutet, ist schon mit deutlichen Beschädigungen des Mobiliars zu rechnen, sodass diese Messung in der Praxis eher die Ausnahme bilden dürfte. Es zeigte sich, dass die Amplituden der Messungen weiter zurückgehen. Auch die Differenz der Holzfeuchten zwischen dem falschen und richtigen Wohnverhalten betragen nur noch um 1,5 M-% und bewegen sich damit im Bereich der baupraktischen Messtoleranzen. Aus diesem Grund dürfte hier eine einfache Baustellenmessung nur noch bei grob falschem Wohnverhalten, welches zu einem deutlich höheren Holzfeuchtegehalt führt, zu aussagekräftigen Messergebnissen führen. Die Auswirkungen kurzzeitiger Erhöhungen der Raumluftfeuchte sind, wie der Vergleich zwischen dem Klimaverlauf 2 und 4 am 7.2.2022 zeigt, kaum mehr vorhanden.

Schicht 100 mm

Hierbei handelt es sich um den Kernbereich des Möbelstücks. Eine Eindringtiefe der Messelektroden von etwa 85 mm ist erforderlich. Mit entsprechenden Beschädigungen ist zu rechnen, sodass auch hier Messungen im Alltag eher die Ausnahme bilden werden. Mit einer Differenz der Holzfeuchten von weniger als 1,5 M-% zwischen falschem und richtigem Wohnverhalten ist eine Beurteilung mit bauüblichen Messgeräten kaum sinnvoll möglich. Andererseits bietet der Kernbereich, aufgrund seiner großen Trägheit, die Möglichkeit einen langfristigen Mittelwert der relativen Raumluftfeuchte abzulesen.

4 Schlussfolgerungen, Zusammenfassung und Ausblick

Die durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass es unter gewissen Voraussetzungen möglich ist, über Messungen der Holzfeuchte von Einrichtungsgegenständen Rückschlüsse auf das mittel- und/oder langfristige Wohnverhalten zu ziehen. Diese Möglichkeit ist jedoch eng begrenzt und setzt die genaue Kenntnis des im Möbelstück verbauten Materials und dessen Feuchteverhalten voraus. Es ist nicht zielführend und führt zu falsch positiven Ergebnissen, wenn Messwerte der Holzfeuchte einfach mit dem Ausgleichsfeuchtegehalt für ein langfristig gleichbleibendes Klima von 50%/21°C verglichen werden bzw. wenn durch Vergleich mit der Sorptionsisotherme eine relative Luftfeuchte abgelesen wird. Bedingt durch die sommerlichen hohen Luftfeuchten und die in der Nutzung nicht vermeidbaren und zulässigen Feuchtespitzen, liegt der Feuchtegehalt der Möbelstücke auch bei regelgerechtem Nutzerverhalten ein bis zwei Masseprozent über dem Ausgleichsfeuchtegehalt.

Eine genaue Beurteilung ist daher nur möglich, wenn das im konkreten Fall vorhandene Material parallel zur Messung mittels hygrothermischer Simulation im Sinne einer Vergleichsrechnung betrachtet und somit ermittelt wird, welche Holzfeuchte bei richtigem Wohnverhalten zu erwarten wäre. Nur wenn dies bekannt ist, können die gemessenen Werte angemessen eingeordnet werden.

Andererseits war aber auch zu erkennen, dass bei sehr hohen Messwerten der Holzfeuchte durchaus eine Aussage zum langfristigen Wohnverhalten möglich ist. Für das hier untersuchte Fichtenholz wird wohl oberhalb eines Feuchtegehaltes von etwa 14 bis 15 M-% kaum ein Zweifel am falschen Wohnverhalten möglich sein. Dabei sollten die Messungen wenigstens in einer Tiefe von etwa 10 Millimetern durchgeführt werden, um Einflüsse aus kurzfristigen Änderungen der relativen Raumluftfeuchte gering zu halten.

Bei Durchführung und Auswertung der Messungen ist im Übrigen der Standort der Möbelstücke und der Ort der Messung zu berücksichtigen. In der Nähe von Außenwänden und Fußböden herrscht, bedingt durch die hier niedrigere Raumlufttemperatur, eine höhere relative Luftfeuchte. Die als regelgerecht anzusetzende Luftfeuchte, welche im Wege der

sachverständigen Beurteilung zu ermitteln ist, muss jedoch für den »Normalbereich« des Raums, also außerhalb des Einflussbereichs der erniedrigten Temperaturen im Bereich der Raumbegrenzungsflächen gelten. Dies ist bei der Bewertung der Messergebnisse zu berücksichtigen.

Die vorstehenden Untersuchungen wurden für massives Fichtenholz durchgeführt. Ein Großteil der üblichen Möbelstücke besteht jedoch aus anderen Holzarten und/oder aus furnierten oder mit Kunststoffen beschichteten Produkten mit unterschiedlichen Materialien im Kern. Dabei kommen häufig mit Bindemitteln verklebte Span- und Holzfaserverprodukte zur Anwendung. Das Feuchteverhalten dieser Produkte ist in Bezug auf den Einfluss der Raumluftfeuchte teilweise völlig unbekannt bzw. nicht wie im vorliegenden Fall untersucht. Nur wenn die vorstehende Untersuchung auf eine möglichst breite Palette der handelsüblichen Holzwerkstoffe ausgedehnt wird, ist in Zukunft eine wirklichkeitsnahe Beurteilung des Wohnverhaltens durch Messung der Holzfeuchten möglich.

Hinweis: Die vollständige Fassung der Untersuchung finden Sie unter www.ib-silberhorn.de/bauphysik

Der Autor



**Dipl.-Ing. (FH),
Master of Building
Physics (M.BP)
Michael Silberhorn**

Ingenieurbüro für Bauphysik und Hygrothermik;
von der Industrie- und Handelskammer Regensburg öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für Schäden an Gebäuden

Frankenstraße 152, 90461 Nürnberg
Marktplatz 17, 92342 Freystadt
Tel. 09179/9653-08
info@ib-silberhorn.de

www.ib-silberhorn.de