Neue Erkenntnisse zur Beurteilung von Schimmelpilzen und Stand der Normenbearbeitung.

Klaus Sedlbauer [1)], Kurt Kießl [2)]

[1)] Fraunhofer-Institut für Bauphysik
(Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)

[2)] Bauhaus-Universität Weimar

1. Hintergrund und Zielsetzung

Schimmelpilzbefall ist ein Thema, das in letzter Zeit wieder intensiv diskutiert wird. Dies hängt zum einen mit dem gestiegenen Bewusstsein für Wohnhygiene und Gesundheitsgefährdung der Bewohner bzw. den zu erwartenden Forderungen auf diesem Gebiet zusammen, zum anderen werden erstmals im Zuge der Übernahme europäischer Normen in deutsche Standards Anforderungen zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung im Bereich von Außenbauteilen bzw. Wärmebrücken formuliert. Um Pilzbildung erfolgreich zu vermeiden, müssen die Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze bekannt sein. Feuchte spielt dabei bekanntlich eine zentrale Rolle. Quantitative Angaben zu kritischen Feuchten, die möglichst nicht überschritten werden sollten, findet man in verschiedener Art und an verschiedenen Stellen. In den bisher gültigen DIN-Normen werden Hinweise zur Vermeidung von Tauwasser und, ergänzend für Holz und Holzwerkstoffe, zu Materialfeuchten genannt, bei deren Unterschreitung keine holzzerstörenden Pilze auftreten sollen. In den neuen Ausgaben von DIN 4108, Teile 2 und 3 sowie in DIN EN ISO 13788 werden für Schimmelpilzbildung kritische Oberflächenfeuchten genannt und entsprechende Anforderungen definiert.

Im Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) wurde eine eingehende Recherche durchgeführt und ein Verfahren entwickelt [1], das die Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf Basis der biologischen Wachstumsvoraussetzungen bei instationären Randbedingungen ermöglicht (siehe auch [2]). Es zeigt sich eine deutliche Abhängigkeit von der Temperatur, der relativen Feuchte und der Art des Substrates (Baustoffuntergrund) für den Beginn von Schimmelpilzbildung und für das weitere Wachstum. Zielsetzung dieses Artikels ist es, die Hinweise zur Vermeidung von Schimmelpilzen in den aktuellen Normen den neuen Erkenntnissen aus [1] gegenüberzustellen, um damit mögliche Präzisierungen von normativen Anforderungen bzw. Nachweisen abzuleiten.

2. Normvorgaben und technische Regeln zur Schimmelpilz-Beurteilung

Normative Hinweise zur Schimmelpilzthematik in Gebäuden findet man in den neuen Regelwerken zum Wärme- und Feuchteschutz. Ausgearbeitete, speziell auf die Schimmelpilzproblematik ausgerichtete Normen gibt es derzeit in Deutschland noch nicht. Es existiert jedoch ein entsprechender DIN-Arbeitskreis, der einen weiteren Teil zur DIN 4108 mit dem Thema "Schimmel" vorbereitet. Im Folgenden werden einschlägige Normen bzw. Richtlinien hinsichtlich ihrer Anwendbarkeit zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung kurz beurteilt (siehe auch [17]).

2.1. Tauwasserkriterium

Die in den Teilen 2, 3 und 5 der alten DIN 4108 [3], [5], [6] gemachten Angaben beziehen sich auf die Vermeidung von Tauwasserbildung. Kriterien zur Schimmelpilzbildung werden nicht genannt. Dies ist verständlich, bedenkt man, dass diese Normen in einer Zeit entstanden sind, in der aufgrund des damals höheren Infiltrationsluftwechsels die relativen Feuchten im Raum im Winter eher zu niedrig waren und Schimmelpilzprobleme nur selten auftraten. So wurde im damaligen Teil 2 der DIN 4108 [3] u.a. die Einhaltung eines hygienisches Raumklimas postuliert worden. Man verstand darunter vor allem die Vermeidung von Tauwasser. Dies war auch geprägt von der damaligen Vorstellung, dass Tauwasser die Voraussetzung für Schimmelpilzbildung sei.

Die feuchtetechnische Beurteilung der Tauwasserbildung im Inneren von Bauteilen mit Hilfe des grafischen Verfahrens nach Glaser war in den Teilen 3 [5] und 5 [7] geregelt. Eine allgemein formulierte Anforderung bei Tauwasserausfall lautete: „Die Baustoffe (Oberflächen), die mit dem Tauwasser in Berührung kommen, dürfen nicht geschädigt werden (Korrosion, Pilzbefall)“ [5]. Dies deutet darauf hin, dass Überlegungen bzgl. Schimmelpilzbildung angestellt worden sind.

2.2. Materialfeuchtekriterium

Um Holzbauteile vor tierischen und pflanzlichen Schädlingen – Insekten und Pilzen – oder zu hoher Feuchte zu schützen, gibt DIN 68 800 Anforderungen an den vorbeugenden baulichen und chemischen Holzschutz vor. Unter baulichem Holzschutz nach DIN 68 800-2 [11] versteht man alle konstruktiven und bauphysikalischen Maßnahmen, die vor allem eine unzuträgliche Veränderung des Feuchtegehalts von Holz- und Holzwerkstoffen verhindern sollen. Dies bedeutet auch, dass durch Begrenzung der Feuchte in Holzbauteilen chemischer Holzschutz vermieden werden kann. Als quantifizierbare Anforderung wird dabei eine Holzfeuchte kleiner 20 M.-% (bezogen auf das Trockengewicht) genannt. Bei eingebautem baufeuchten Holz mit mehr als 20 M.-% muss die überschüssige Feuchte innerhalb eines Zeitraums von 6 Monaten abgeführt sein. Die 20 %-Annahme rührt daher, dass man davon ausgeht, dass biologisches Wachstum bei Holzfeuchten unter 20 M.-% nicht auftritt. Dieser Wert stellt also eine "kritische" Materialfeuchte dar, ab der mit mikrobiologischem Bewuchs gerechnet werden muss. Diese überschlägigen praxisbewährten Grenzwerte für Holzprodukte stellen materialabhängige feuchtetechnische Kennwerte zur Vermeidung von mikrobiellem Bewuchs dar. Allerdings beziehen sich die Angaben in DIN 68 800 – 2 [11] lediglich auf holzzerstörende Pilze und nicht auf Schimmelpilze.

2.3. Schimmelpilzkriterium

<u>DIN 4108-2</u>

Der neue Teil 2 der DIN 4108 [4] schreibt gegenüber der Fassung von 1981 erhöhte Werte für den Mindest-Wärmedurchlasswiderstand (R-Wert bei Wänden und Dächern mindestens 1,20 m²K/W) vor und beinhaltet erstmals Anforderungen bzgl. Schimmelpilzbildung. Tabelle 1 zeigt die wesentlichen Unterschiede zwischen der früheren und der jetzt gültigen Ermittlung kritischer Oberflächenfeuchtebedingungen. Bei Einhaltung der neuen Mindestwerte des

Wärmeschutzes werden bei Raumlufttemperaturen und relativen Luftfeuchten, wie sie sich in nicht klimatisierten Aufenthaltsräumen bei üblicher Nutzung einstellen, Schäden durch Tauwasser- bzw. Schimmelpilzbildung im allgemeinen vermieden. Dabei wird als Wachstumsvoraussetzung für Schimmelpilze temperaturunabhängig eine relative Feuchte von 80 % an der Oberfläche angenommen.

Um das Risiko der Schimmelbildung durch konstruktive Maßnahmen zu verringern, sind verschiedene Anforderungen einzuhalten [4]. Für alle konstruktiven, formbedingten und stoffbedingten Wärmebrücken, die von DIN 4108 Beiblatt 2 [15] abweichen, muss ein sog. Temperaturfaktor an der ungünstigsten Stelle die Mindestanforderung $f_{Rsi} \geq 0{,}70$ erfüllen, d.h., eine raumseitige Oberflächentemperatur von $\theta_{si} \geq 12{,}6$ °C ist bei den folgenden in [4] angegebenen stets stationären Randbedingungen einzuhalten: Außenlufttemperatur -5 °C, Innenlufttemperatur 20 °C, relative Luftfeuchte innen 50 %. Die Wärmeübergangswiderstände betragen innen für beheizte Räume 0,25 m²K/W, für unbeheizte Räume 0,17 m²K/W sowie außen 0,04 m²K/W. Bei der Beurteilung der Schimmelpilzbildung wird eine „auf der sicheren Seite liegende kritische Luftfeuchte“ von 80 % auf der Bauteiloberfläche nach DIN EN ISO 13788 [9] zugrunde gelegt. Der Temperaturfaktor f_{Rsi} ergibt sich nach DIN EN ISO 10211-2 [10] zu:

$$f_{Rsi} = \frac{\theta_{si} - \theta_e}{\theta_i - \theta_e} \qquad (1)$$

Dabei sind:

θ_{si} [°C] die raumseitige Oberflächentemperatur;
θ_i [°C] die Innenlufttemperatur;
θ_e [°C] die Außenlufttemperatur.

Probleme treten dann auf, wenn Möbel vor den Außenwänden stehen oder Zwischentüren offen stehen und Innenluft zwischen verschiedenen Wohnungszonen ausgetauscht wird. In diesem Fall kann es trotz Einhalten

der Mindestdämmwerte zu Schimmelpilzbildung kommen. Zur Berechnung der Temperaturen an den Innenoberflächen von Außenwänden hinter Schränken oder Gardinen sollen in der künftigen DIN 4108–x (Vermeidung von Schimmelpilzbefall) [8] geeignete Wärmeübergangswiderstände vorgeschlagen werden:

- Einbauschränke: R_{si} = 1,0 m²K/W
- Freistehende Schränke: R_{si} = 0,5 m²K/W und
- Gardinen: R_{si} = 0,25 m²K/W.

DIN 4108-x (Schimmelpilze)

Dieser noch in der Entwicklung befindliche Teil der DIN 4108 [8] soll sich mit der Vermeidung von Schimmelpilzbildung befassen, wobei folgende Überlegungen diskutiert werden. Zunächst werden häufig vorkommende Pilzspezies aufgezählt. Als hauptsächliche Bedingung für das Schimmelpilzwachstum wird die Feuchte angegeben. Dabei wird davon ausgegangen, dass an der Bauteiloberfläche bei Auftreten von 80 % relativer Luftfeuchte an mindestens 6 Stunden pro Tag Schimmelpilzbildung eintreten kann. Das Optimum für Pilzwachstum wird zwischen 90 % und 98 % relativer Feuchte angegeben. Ebenfalls wird auf xerophile Pilze verwiesen, die ab 65 % gedeihen können. Hinsichtlich der Nährstoffanforderungen wird darauf hingewiesen, dass Schimmelpilze genügsam sind und eine oberflächliche Verschmutzung für das Wachstum ausreicht. Es werden keine weiteren Unterscheidungen in Bezug auf den Einfluss von Untergrundmaterialien getroffen. Zusammenfassend kann der Neuentwurf dieses Teils der DIN 4108 zwar als ein relativ weitgehender Norm-Ansatz für die Verhinderung von Schimmelpilzbildung angesehen werden, für die angegebenen bauphysikalischen und materialtechnischen Anforderungen zur Vermeidung mikrobieller Besiedelung erscheint das vorliegende Entwurfsmanuskript aber noch nicht ausreichend.

Sonstige Angaben

In DIN EN ISO 13 788 [10] wird, wie in DIN 4108 – 2 [4] ein Verfahren beschrieben, das die Berechnung der raumseitigen Oberflächentemperatur von Bauteilen oder Bauelementen mit anschließender Bewertung der Tau-

wasser- und Schimmelpilzbildung vorgibt. Als Risikogrenze für den Schimmelpilzbefall wird auch hier eine relative Oberflächenfeuchte von mindestens 80 % über mehrere Tage festgelegt. Zur Berechnung des Faktors f_{Rsi}, der die wärmeschutztechnische Güte eines Bauteils beschreibt, sind monatliche Mittelwerte nach einem im Teil 1 der ISO 15 927 – 1 [16] beschriebenen Verfahren zu ermitteln und anzuwenden. Als Wärmeübergangswiderstand wird für äußere Oberflächen ein Wert von 0,04 m²K/W und für innen von 0,25 m²K/W verwendet. Zur Bewertung der Tauwasser- oder Schimmelpilzsituation ist eine niedrigste zulässige raumseitige Oberflächentemperatur zu ermitteln, bei der im ungünstigsten Monat eine relative Feuchte von 80 % nicht überschritten wird. Daraus leitet sich dann der erforderliche Wärmeschutz eines Bauteils ab.

Hinweise auf kritische Temperaturen und relative Oberflächenfeuchten zur Vermeidung von Schimmelpilzen gehen auch aus [12] und [13] hervor. Die Werte sind vergleichbar mit den Angaben im Entwurfsteil „Schimmelpilze“ der DIN 4108 [4]. Dagegen findet man z.B. in [14] Angaben, die davon ausgehen, dass bereits ab 70 % relativer Feuchte mikrobielles Wachstum möglich wird. Dies widerspricht nicht nur den o.g. Normangaben, sondern weist darauf hin, dass das Problem der unteren Wachstumsgrenzen differenzierter zu betrachten ist.

3. Erweiterte Beurteilungsmethode: Das Isoplethenmodell

Wie aus [1] hervorgeht, müssen die drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen „Temperatur, Feuchte und Substrat“ über eine bestimmte Zeitperiode simultan vorhanden sein, damit Schimmelpilzsporen keimen bzw. ein Myzel wachsen kann. Ein sog. Isoplethensystem beschreibt diese Wachstumsvoraussetzungen. Es besteht aus einem temperatur- und feuchteabhängigen Kurvenscharen, den sog. „Isoplethen“, die zur Vorhersage von Sporen-Auskeimungszeiten und zur Beschreibung des Myzelwachstums dienen (siehe Bild 1). Dabei werden die untersten Grenzen möglicher Pilzaktivitäten durch die sog. LIM-Kurven (Lowest Isopleth for Mould) wiedergegeben. Zwischen

einzelnen Pilzspezies liegen bezüglich der Wachstumsvoraussetzungen signifikante Unterschiede vor. Daher werden in [1] bei der Entwicklung allgemein gültiger Isoplethensysteme nur Pilze berücksichtigt, die in Gebäuden auftreten und gesundheitsbeeinträchtigend sein können. Für diese etwa 200 Spezies sind quantitative Literaturangaben zu den Wachstumsparametern Temperatur und Feuchte ausgewertet worden. Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrundes oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für unterschiedliche Substratgruppen vorgeschlagen, die aus experimentellen Untersuchungen abzuleiten sind. Dazu erfolgt in [1] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche "nahrhafte" Materialien und jeweils eigene Isoplethensysteme zugeordnet werden:

Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); das dafür gültige Isoplethensystem gibt die minimalen Wachstumsvoraussetzungen an, also auch die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Es bildet für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die unterste Wachstumsgrenze (Bild 1 links).

Substratgruppe I: Biologisch gut verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen, stark verschmutztes Material; die unteren Grenzkurven im Isoplethensystem ($LIM_{Bau\ I}$; Bild 1 Mitte) zeigen erhöhten Feuchtebedarf.

Substratgruppe II: Biologisch kaum verwertbare Substrate, wie z.B. mineralische Baustoffe mit porigem Gefüge (Putze etc., manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen; die unteren Grenzkurven im Isoplethensystem ($LIM_{Bau\ II}$; Bild 1 rechts) zeigen weiter erhöhten Feuchtebedarf.

Im Fall einer starken Verschmutzung sollte stets die Substratgruppe I zugrunde gelegt werden. Im Folgenden soll die Funktionsweise des Isoplethenmodells an einem Beispiel exemplarisch erläutert werden.

4. Vergleich mit den Normangaben und Ansätze für eine Erweiterung

Wie oben erläutert, existieren in den gängigen Baunormen neben Angaben zur Vermeidung von Tauwasser auch Kriterien zur Beurteilung von mikrobieller Aktivität an und in Bauteilen. Genannt werden 80 % relative Feuchte in DIN 4108 [4] und DIN EN ISO 13 788 [10] als untere Wachstumsgrenze für Schimmelpilzbildung sowie Materialfeuchtekriterien (z.B. 20 M.-%) für Bauprodukte aus Holz bzw. Holzwerkstoffen in DIN 68 800-2 [11]. Der 20 %-Wert bezieht sich auf holzzerstörende Pilze. Vergleicht man diese beide Zahlenwerte mit den kritischen Feuchten (LIM) aus [1], so erkennt man in Bild 2, dass sich die Angaben in den Isoplethensystemen für Substratgruppe II bei Temperaturen über 20 °C gut mit dem 80 %-Kriterium für Schimmelpilzbildung übereinstimmen. Der LIM für Substratgruppe I liegt etwa 4 % r.F. darunter. Bei tieferen Temperaturen bis zu 10 °C, z.B. typisch für Wärmebrücken in Altbauten, entsprechen die Normbedingungen in etwa dem LIM der Substratgruppe I. Dieser liegt nur geringfügig unterhalb des in Bild 3 angegebenen Zustandes (80 % relative Feuchte bei 12,6 °C) an einer Außenwandinnenoberfläche, ab dem mit Pilzbildung gemäß Norm gerechnet werden muss, bei 20 °C und 50 % relativer Feuchte im Raum. Bei Temperaturen von weniger als 10 °C sind die Angaben in den Normen „schärfer“. Sie würden sogar Schimmelpilzbildung im Winter an Außenbauteilen „vorhersagen“. Ebenfalls dargestellt ist in Bild 2 das in DIN 68 800-2 [11] genannte Materialfeuchtekriterium von 20 M.-%, das sich mithilfe einer Sorptionsisotherme für Holz (Bild oben) als relative Feuchte angeben lässt. Daraus erkennt man, dass für holzzerstörende Pilze offenbar höhere relative Feuchten von etwa 90 % erforderlich sind (Bild unten).

5. Bauphysikalische Ursachen für Schimmelpilze in Wohnräumen

Bei Gerichtsprozessen beschäftigt man sich häufig mit den Ursachen für Schimmelpilzbefall in Gebäuden. Dabei steht meist die Frage im Vordergrund, ob die Baukonstruktion, also letztlich der Eigentümer, verantwortlich ist oder ob falsches Nutzerverhalten vorliegt. Prinzipiell kann Schimmelpilzbildung nur dann auftreten, wenn die Wachstumsvoraussetzungen (siehe Bild 1) erfüllt sind. Feuchte spielt dabei die wesentliche Rolle. Es ist bekannt, dass Feuchte- und Schimmelpilzschäden vor allem hervorgerufen werden durch

- ungenügendes Wärmedämmniveau und Wärmebrücken,
- erhöhte Wärmeübergangswiderstände, z.B. durch vorgestellte Schränke,
- erhöhte Feuchteproduktion in Innenräumen,
- mangelhaftes Lüftungsverhalten der Bewohner
- sowie Baufeuchte in Konstruktionen.

<u>Wärmebrücken, Ecken und Schränke</u>

Wärmebrücken sind örtlich begrenzte Stellen in den Umfassungsflächen eines Gebäudes, durch die nach außen ein größerer Wärmeabfluss als in den angrenzenden Bereichen stattfindet, was zu einer Erniedrigung der inneren Oberflächentemperatur führt. Sie können durch die geometrischen Verhältnisse bedingt sein (z.B. Ecken) oder durch die Aneinanderreihung von Baustoffen unterschiedlicher Wärmeleitfähigkeit (z.B. Tragpfeiler in einer Wand). Die Folgen von Wärmebrücken sind (neben den höheren Energieverlusten) ein Absinken der Temperatur, eine Erhöhung der Feuchte an der Innenoberfläche und die Gefahr der Unterschreitung der Taupunkttemperatur und damit einer Schimmelpilzbildung. Bild 3 zeigt eine schematische Darstellung eines Raumes mit Angabe der sich einstellenden Innenoberflächentemperaturen in Wandmitte, in den Ecken mit bzw. ohne Schrank und die sich bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C bei einer Außenlufttemperatur von –10 °C ergebenden relativen Feuchten an diesen Stellen bei einer angenommenen Raumluftfeuchte von 50 % (grüne Ziffern) bzw. 60 % (rote Ziffern). Der Wärmedurchlasswiderstand für die Wand beträgt im Regelquerschnitt mit 3,5 m²K/W. Man erkennt, dass bei einer angenommenen relativen Raumluft-

feuchte von 50 % sich in Wandmitte eine relative Feuchte von 53 % einstellt, während sich in der freien Ecke 62 %, hinter dem Schrank 55 % bzw. 78 % ergeben. Alle diese Werte sind in Bezug auf Schimmelpilzbildung aber unkritisch, wie ein Vergleich mit den Angaben der Wachstumsvoraussetzungen in Bild 1 zeigt. Andere Verhältnisse entstehen im Fall einer auf 60 % erhöhten relativen Feuchte im Raum. Hier kann es hinter dem Schrank in der Ecke zu Pilzbildung kommen. Grund dafür ist ein erhöhter Wärmeübergangswiderstand durch das Möbelstück sowie die sich dort bemerkbar machende Wärmebrückenwirkung.

Möbel, Gardinen und dgl. stellen kaum einen Widerstand für die Feuchte dar. Durch verringerten konvektiven und strahlungsbedingten Wärmeübergang erhöhen sich aber die Wärmeübergangswiderstände und damit die relativen Feuchten aufgrund der sich hinter den Gardinen einstellenden niedrigeren Temperaturen. Die Lösung des Problems besteht in einer besseren Dämmung der Wand bzw. der Wärmebrücken, Wegrücken des Schrankes und verringerte Feuchteproduktion im Raum sowie gute Lüftung.

Feuchteproduktion im Raum

Die sich an Innenoberflächen von Außenbauteilen einstellende relative Feuchte hängt nicht nur von der Temperaturdifferenz zwischen Raumluft und Oberfläche ab, sondern auch maßgeblich von der Feuchtproduktion im Wohnraum. Eine hohe Feuchteproduktion im Wohnraum führt bei gleicher Lüftung zu höheren Raumluftfeuchten und damit gekoppelt auch zu höheren Innenraumoberflächenfeuchten. Daher verwundert es nicht, dass Schimmelpilzbefall vor allem dann auftreten kann, wenn Fenster erneuert wurden, aber keine wärmetechnische Fassadensanierung erfolgte. Dabei kommt es durch die Reduktion des Luftwechsels aufgrund höherer Dichtheit der Fensterfugen zu erhöhten Feuchtelasten in den Räumen, da meist das Lüftungsverhalten nicht verändert wird. Auch wenn die Fensterindustrie moderne Fenster mit hoher Fugendichtheit herstellen kann, muss im geschlossenen Fensterzustand ein gewisser Grundluftwechsel möglich sein.

Lüftung

Die Lüftung des Wohnraumes stellt das wirksamste Mittel dar, um Feuchte aus dem Raum abzuführen. Vor allem im Winter enthält die Außenluft trotz hoher relativer Feuchte eine geringe absolute Feuchte. Bei Winterlüftung wird die relative Feuchte im Raum erniedrigt. Ein Beispiel soll dies verdeutlichen. Tabelle 2 zeigt bei unterschiedlichen Außenlufttemperaturen und einer typischen relativen Außenluftfeuchte von 80 % die relativen Feuchten der Luft, wenn sie auf jeweils 20 °C erwärmt wird. Beispielsweise bei –10 °C außen wird durch die Erwärmung auf 20 °C die Luftfeuchte auf 9 % gesenkt.

6. Zusammenfassung

Bekanntlich kommt es in bewohnten Gebäuden an gefährdeten Stellen bei ungünstigen hygrothermischen Randbedingungen zu Schimmelpilzwachstum. Für den Bewohner kann dies eine potentielle Gesundheitsgefährdung bedeuten. Um Pilzwachstum zu vermeiden, ist eine Verhinderungsstrategie zu entwickeln, die zum einen die Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze berücksichtigt und zum anderen aber auch die realen instationären Randbedingungen. Die wesentlichen Einflussgrößen sind dabei die Temperatur, die Feuchte und das Substrat, wobei alle drei Parameter für gewisse Zeitperioden in einem günstigen Bereich liegen müssen. Für die Beurteilung von Schimmelpilzwachstum geben die gängigen Normen vereinfachte stationäre Kriterien an. Meist wird temperaturunabhängig eine relative Feuchte von 80 % als Wachstumsgrenze genannt. Um realistische instationäre hygrothermischen Randbedingungen bei der Beurteilung von Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, wurde ein Verfahren entwickelt [1], das auf dem Vergleich instationärer Randbedingungen mit den Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze beruht. Es werden dabei Isoplethensysteme angegeben, die für unterschiedliche Substratgruppen Temperaturen und relative Feuchten an der Bauteiloberfläche Sporenauskeimungszeiten bzw. Angaben zu einem möglichen Myzelwachstum benennen.

7. Literatur

[1] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).

[2] Sedlbauer, K.: Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen – Erläuterung der Methode und Anwendungsbeispiele. Bauphysik 24 (2002), H. 3, S. 167 - 176.

[3] DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau. Teil 2: Wärmedämmung und Wärmespeicherung; Anforderungen und Hinweise für Planung und Ausführung (1981 - 08).

[4] DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz (2001 - 03).

[5] DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz. (1981 - 08).

[6] DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Teil 3: Klimabedingter Feuchteschutz, Anforderungen, Berechnungsverfahren und Hinweise für Planung und Ausführung (2001 - 07).

[7] DIN 4108 – Wärmeschutz im Hochbau. Teil 5: Berechnungsverfahren (1981 - 08).

[8] DIN 4108 – Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Manuskript Teil x: Vermeidung von Schimmelpilzen (Entwurfsfassung: 1999 - 05).

[9] DIN EN ISO 10 211 – Wärmebrücken im Hochbau. Berechnung der Wärmeströme und Oberflächentemperaturen. Teil 2: Linienförmige Wärmbrücken. (2001 - 6).

[10] DIN EN ISO 13 788 – Berechnung der Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchten und Berechnung der Tauwasserbildung im Bauteilinneren (2001 – 11).

[11] DIN 68 800 – Holzschutz. Teil 2: Vorbeugende bauliche Maßnahmen im Hochbau (1996 - 05).

[12] International Energy Agency IEA-Annex 14, Vol. 1: Condensation and Energy, Sourcebook. Leuven (März 1991).

[13] T 2914: Gewährleistung einer guten Raumluftqualität bei weiterer Sen-

kung der Lüftungswärmeverluste. Fraunhofer-IRB Verlag, Stuttgart (Jan. 1999).

[14] Verband der Bausachverständigen Norddeutschlands: Sonderheft zum Topthema Schimmelpilze. VBN-Verlag, Bremerhaven (2001).

[15] DIN 4108 - Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden. Beiblatt 2: Wärmebrücken, Planungs- und Ausführungsbeispiele (1998 - 08).

[16] E DIN EN ISO 15 927 – Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Gebäuden – Klimadaten. Teil 1: Monatswerte einzelner meteorologischer Elemente (1999).

[17] Sedlbauer, K.; Kießl, K.: Stand der Bewertung von Schimmelpilzbildung. Eingereicht bei der Zeitschrift Arconis. Erscheint demnächst.

Tabelle 1 Unterschiede zwischen der früheren [3], [5], [7] und der jetzt gültigen DIN 4108 [4], [6] bei der Ermittlung der kritischen Oberflächenfeuchte.

Anforderungsparameter	frühere DIN 4108-2 [3], [5], [7]	jetzt gültige DIN 4108-2 [4], [6]
Ziel	Tauwasservermeidung	Tauwasser- und Schimmelpilzvermeidung
Kritische Oberflächenfeuchte	100 %	80 %
Kritische Oberflächentemperatur	9,3 °C	12,6 °C
Raumluftbedingungen	20 °C/50 % r.F.	20 °C/50 % r.F.
Außenlufttemperatur	-15 °C	- 5 °C
Wärmeübergangs-widerstand innen	0,17 m²K/W	0,25 m²K/W
Mindestwert für den Wärmedurchlasswider-stand (Außenwand)	0,55 m²K/W	1,20 m²K/W

Tabelle 2 Relative Innenluftfeuchte bei unterschiedlichen Außenluft-temperaturen durch Erwärmen auf 20 °C von 80 % feuchter Außenluft bei jeweils gleichbleibender absoluter Feuchte.

Außenluft-temperatur [°C]	Relative Feuchte außen [%]	Absolute Feuchte [1)] [g/m³]	Relative Luftfeuchte bei 20 °C [%]
-10	80	1,7	9
0		3,9	21
10		7,5	42
20		13,5	80

1) Absolute Feuchte ist außen und innen gleich.

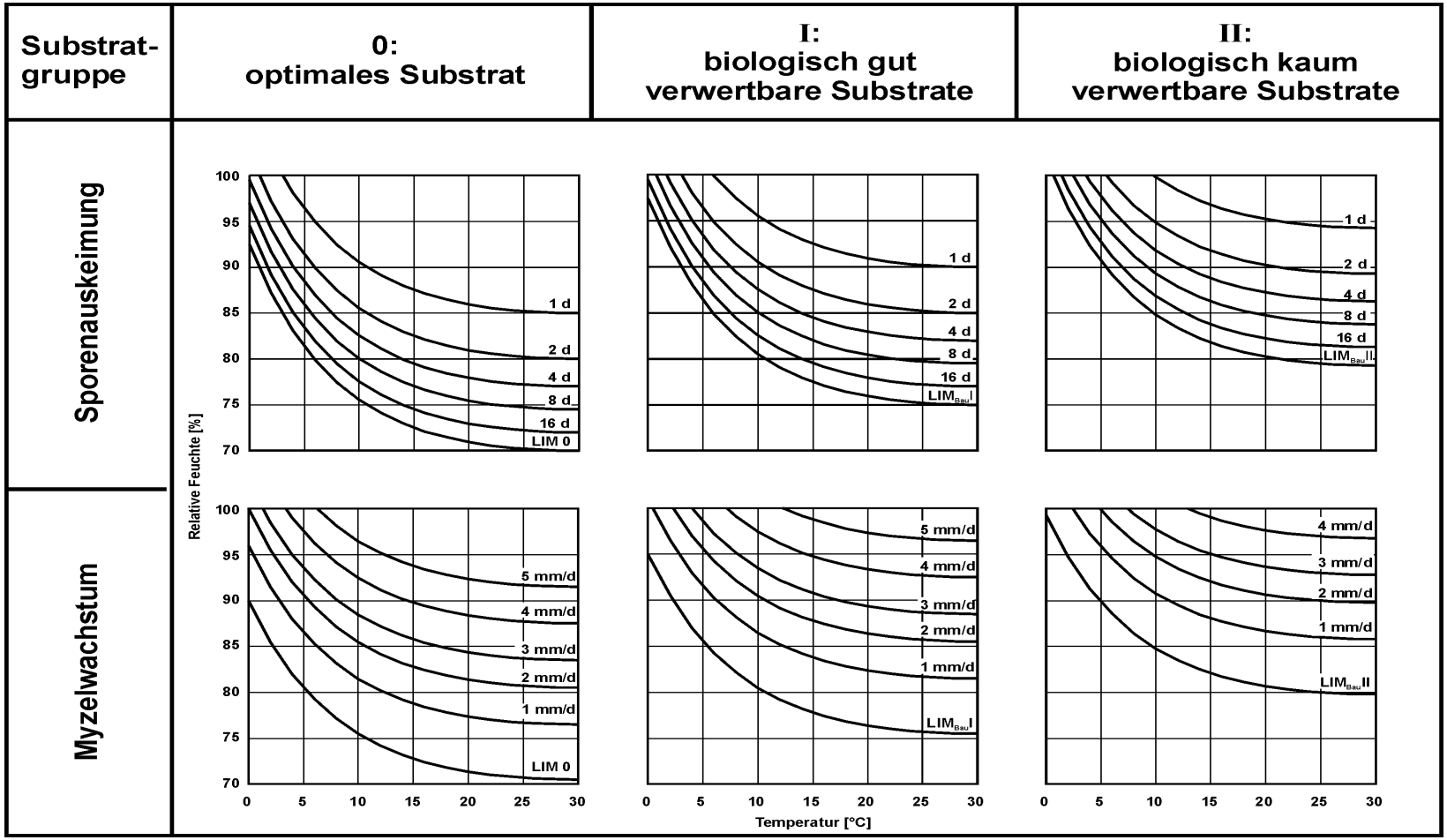

Bild 1 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung (oben) bzw. für Myzelwachstum (unten) nach [1], das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt. Die im Bild dargestellten Diagramme gelten links für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und rechts für Substratgruppe II. Die angegebenen Kurvenscharparameter charakterisieren für die Sporenauskeimungszeit (oben) die Dauer in Tagen, nach welcher eine Keimung abgeschlossen ist und für das Myzelwachstum (unten) die zu erwartende Wachstumsrate in mm/d.

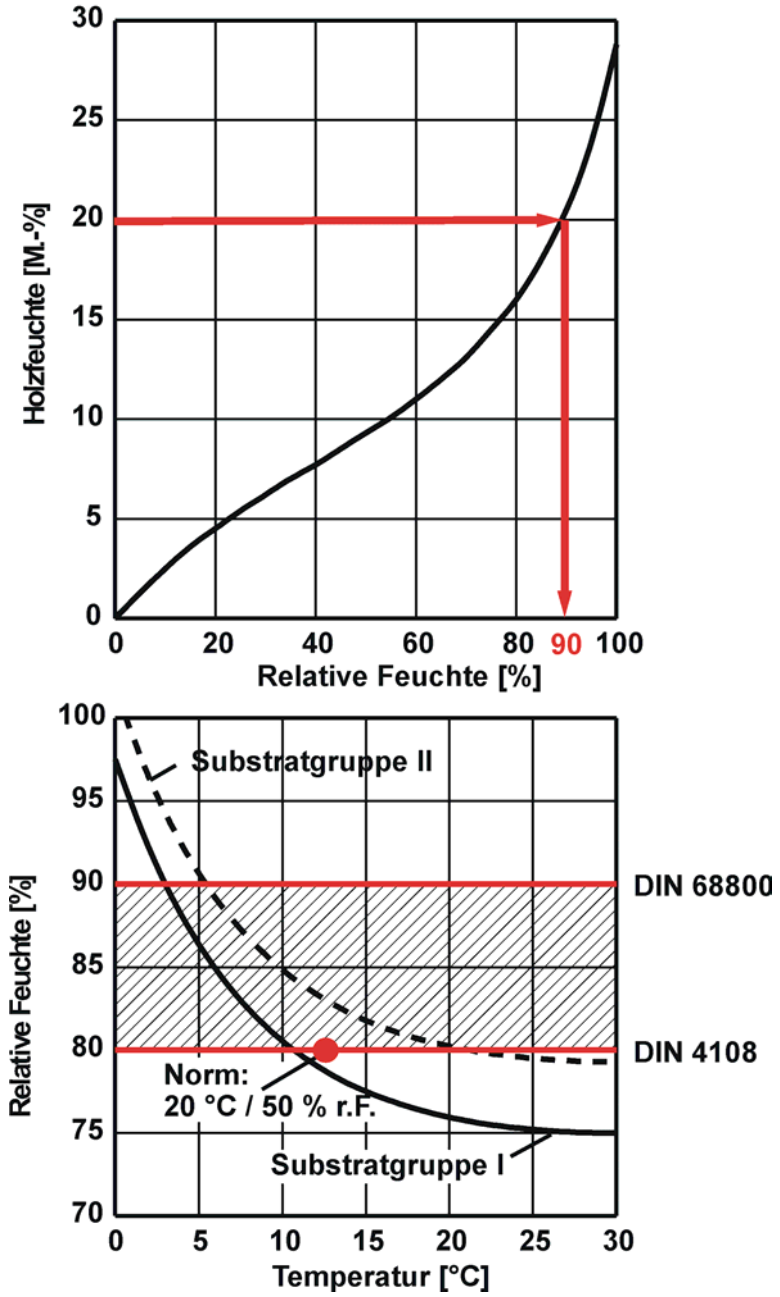

Bild 2 Vergleich der in DIN 4108 [4] und DIN EN ISO 13 788 [10] als untere Wachstumsgrenze genannten relativen Feuchte von 80 % mit den LIM des Isoplethensystems für Sporenauskeimung bei einer angenommenen Substratgruppe II nach [1] (Bild unten). Ebenfalls dargestellt ist das in DIN 68 800-2 [11] genannte Materialfeuchtekriterium von 20 M.-%, das sich mithilfe einer Sorptionsisotherme für Holz (Bild oben) als relative Feuchte (Bild unten: 90 %; gilt für holzzerstörende Pilze) angeben lässt.

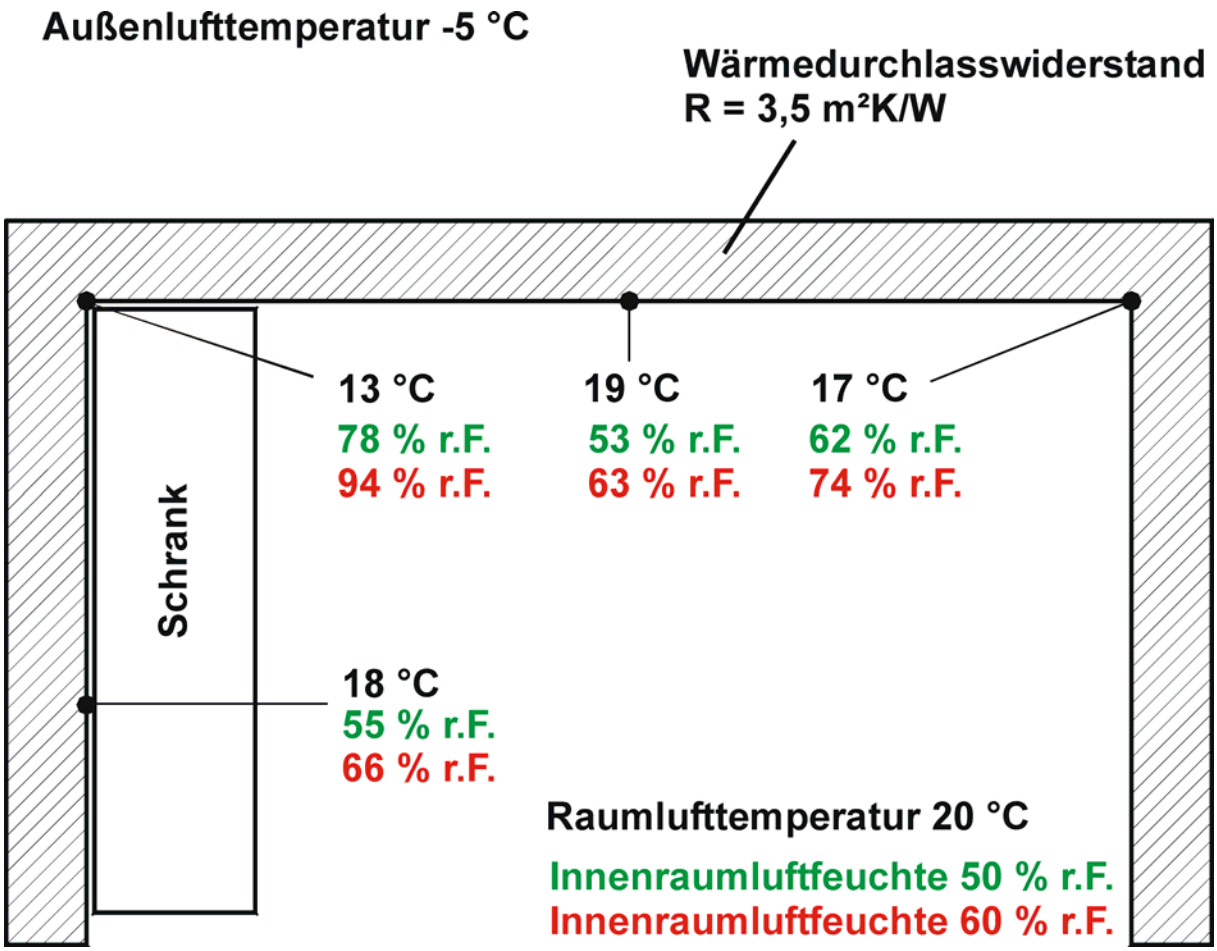

Bild 3 Schematische Darstellung eines Raumes mit Angabe der sich einstellenden Innenoberflächentemperaturen in Wandmitte, in den Ecken mit bzw. ohne Schrank und die sich bei einer Raumlufttemperatur von 20 °C bei einer Außenlufttemperatur von –10 °C ergebenden relativen Feuchten an diesen Stellen bei einer angenommenen Raumluftfeuchte von 50 % (grüne Ziffern) bzw. 60 % (rote Ziffern). Der Wärmedurchlasswiderstand für die Wand beträgt im Regelquerschnitt mit 4,5 m²K/W.