**Isoplethensysteme ermöglichen eine Abschätzung von Schimmelpilzbildung**

K. Sedlbauer, W. Zillig, M. Krus

## Hintergrund und Zielsetzung

Schimmelpilzbefall, insbesondere an Innenoberflächen von Außenbauteilen, aber auch an anderen Stellen auf und innerhalb von Bauteilen, hat in letzter Zeit wieder vermehrt von sich reden gemacht. Seine Beseitigung bzw. Vermeidung führt nicht nur zu erheblichen Kosten. Schimmelpilz kann auch die Gesundheit der Bewohner gefährden. Zwar besteht die Möglichkeit, durch Biozide oder ähnliche Mittel Schimmelpilzbefall in Räumen zu vermindern oder über gewisse Zeit zu verhindern. Allerdings kann eine Gesundheitsgefährdung durch diese Produkte nicht ausgeschlossen werden. Zur Vermeidung von Schimmelpilzbildung in Gebäuden muß deshalb eine Verhinderungsstrategie entwickelt werden, die von den Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze ausgeht und die komplexen bauphysikalischen instationären Vorgänge berücksichtigt. In [1] wurde daher ein Verfahren entwickelt, das die Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf Basis der biologischen Wachstumsvoraussetzungen von Schimmelpilzen bei instationären Randbedingungen ermöglicht. Das neue Verfahren besteht aus zwei aufeinander aufbauenden Vorhersagemodellen, nämlich dem Isoplethenmodell und dem instationären biohygrothermischen Modell. Die wesentlichen Merkmale werden in [2] vorgestellt, das Isoplethenmodell soll hier beispielhaft erläutert werden.

## Wachstumsvoraussetzungen und Isoplethenmodell

Es hat sich gezeigt, daß die drei wesentlichen Wachstumsvoraussetzungen „Temperatur, Feuchte und Substrat“ über eine bestimmte Zeitperiode simultan vorhanden sein müssen, um Pilzwachstum zu ermöglichen. Das Isoplethenmodell ermöglicht auf der Basis von Isoplethensystemen die Ermittlung der Sporenauskeimungszeiten und des Myzelwachstums, wobei auch der Substrateinfluß bei der Vorhersage der Schimmelpilzbildung berücksichtigt wird. Ein Isoplethensystem beschreibt die hygrothermischen Wachstumsvoraussetzungen eines Pilzes. Es besteht aus einem von der Temperatur und der relativen Feuchte abhängigem Kurvensystem, den sog. „Isoplethen“, die zur Vorhersage von Sporenkeimung Auskeimungszeiten (**Bild 1**), im Falle der Beschreibung des Myzelwachstums Wachstum pro Zeiteinheit (**Bild 2**) darstellen.

Zwischen einzelnen Pilzspezies ergeben sich bei den Wachstumsvoraussetzungen signifikante Unterschiede. Daher wurden bei der Entwicklung allgemein gültiger Isoplethensysteme nur Pilze berücksichtigt, die in Gebäuden auftreten und gesundheitsbeeinträchtigend sind. Für diese etwa 200 Spezies sind quantitative Angaben zu den Wachstumsparametern Temperatur und Feuchte zusammengestellt worden [1]. Die in den Bildern 1 und 2 gezeigten Isoplethensysteme berücksichtigen die Wachstumsvoraussetzungen dieser Pilze, für die ausreichende Literaturdaten zur Verfügung standen. Die sich dabei ergebenden untersten Grenzen möglicher Pilzaktivität werden LIM (Lowest Isopleth for Mould) genannt. Die oberen Isoplethensysteme in den Bildern 1 und 2 zeigen die Wachstumsvoraussetzungen für optimalen Nährboden. Um den Einfluß des Substrats, also des Untergrundes oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für zwei Substratgruppen (Grenzkurve $LIM_{Bau}$) vorgeschlagen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet wurden. Dazu erfolgte in [1] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme besitzen daher die anspruchslosesten Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die absolute Wachstumsgrenze.

Substratgruppe I: biologisch verwertbare Substrate, wie z.B. Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen,

Substratgruppe II: Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen.

Für diese Substratgruppen wird ein eigenes Isoplethensystem erstellt, wobei für die Substratgruppe 0 die Isoplethen für optimalen Nährboden gelten. Im Fall einer starken Verschmutzung sollte stets die Substratgruppe I zugrunde gelegt werden. Mithilfe dieser Isoplethensysteme können für Angaben der Temperatur und relativen Feuchte entweder die Sporenauskeimungszeiten oder das Myzelwachstum ermittelt werden, wie im folgenden exemplarisch erläutert werden soll.

**Funktionsweise des Isoplethenmodells und Anwendungsbeispiel**

Um einen Vergleich der biologischen Wachstumsvoraussetzungen mit den errechneten hygrothermischen Bedingungen zu ermöglichen, müssen auf Basis des Isoplethenmodells die ermittelten instationären Verläufe von Temperatur und relativer Feuchte in der Bauteiloberfläche mit den Angaben der Sporenauskeimungszeiten bzw. des Myzelwachstums in den entsprechenden Isoplethensystemen verglichen werden. Die Wachstumsbedingungen, welche durch die zeitlichen Verläufe von Temperatur und relativer Feuchte charakterisiert werden, dienen als Eingangsdaten. Man trägt die Mikroklima-Randbedingungen als Stundenwerte in die Isoplethensysteme ein. Liegen die Wachstumsbedingungen für eine bestimmte Zeitdauer oberhalb der entsprechenden LIM-Kurve, kann es je nach Substratgruppe zu Schimmelpilzaktivität kommen.

In der Regel treten aber instationäre Temperatur- und Feuchteverhältnisse auf. Um diese Verläufe, die aus bauphysikalischen Untersuchungen stammen, mit Hilfe des Isoplethenmodells ebenfalls erfassen und bewerten zu können, werden auf Basis der entsprechenden Isoplethensysteme für Sporenauskeimung die zeitlichen Beiträge, die einzelne hygrothermische Zustände zur Sporenauskeimung liefern, aufsummiert; d.h. es wird mit Hilfe der einzelnen Isolinien (z.B. 4 Tage) angegeben, welchen Beitrag ein Stundenwert, der beispielsweise auf dieser Isolinie liegt, zur Sporenauskeimung liefert, nämlich 1 / (4 Tage · 24 Stunden) = 0,01. Diese Werte werden addiert und als zeitlicher Verlauf aufgetragen. Erreicht der Summenwert 1, so wird davon ausgegangen, daß Sporenauskeimung auftritt und der Pilz zu wachsen beginnt. Dadurch ergibt sich eine einfache Bewertungsmöglichkeit; es kann also angegeben werden, ob es in einem bestimmten Zeitraum zu Sporenauskeimung kommt.

In einem in [3] beschriebenen Schadensfall wurde im Schlafzimmer einer Wohnung im 1. Obergeschoß an der nordöstlichen Außenwand eines im Jahr 1955 gebauten und 1993/94 sanierten Gebäudes Schimmelpilzbefall hinter einem Einbauschrank festgestellt. Die innere und äußere Oberflächen- sowie Lufttemperatur wurde während einer

kalten Periode über eine längere Zeitspanne gemessen und ausgewertet. Des weiteren war die relative Feuchte im Schlafraum meßtechnisch erfaßt worden. In **Bild 3** unten sind auf Basis dieser Meßwerte die ermittelten Ergebnisse für die Sporenauskeimung an der Wandinnenoberfläche in Wandmitte, in der Raumecke und hinter einer Möblierung an der Außenwand dargestellt. Nur hinter der Möblierung ergibt sich eine rasche Sporenauskeimung. In der Raumecke wird die Sporenauskeimung erst nach wesentlich längerer Zeit erreicht.

Analog kann mit Hilfe der substratspezifischen Isoplethensysteme für Myzelwachstum angegeben werden, wie die Pilze weiterwachsen. Das Myzelwachstum wird dazu in analoger Weise auf Basis der entsprechenden Isoplethensysteme ermittelt. Liegt ein Stundenwert im Isoplethensystem beispielsweise im Bereich von 6 mm Wachstum pro Tag, so bedeutet dies, daß der Pilz im betrachteten Stundenzeitraum um 6 mm pro 24 Stunden, also um 0,25 mm/h wächst. Es erfolgt hierbei wieder die Bildung eines Summenwertes, der für den Beispielfall eines Pilzbefalls im Innenraum in der oberen Graphik des Bildes 3 dargestellt ist. In der Raumecke wird durch kurzzeitig vorhandene gute Wachstumsbedingungen die Sporenauskeimung erreicht, es kommt allerdings zu keinem nennenswerten Myzelwachstum. Dies ist hinter einer Möblierung anders. Dort wird ein großflächiger Pilzbefall prognostiziert, was auch in der Realität beobachtet werden konnte.

Das vorgestellte Isoplethenmodell kann eine durch Trockenperioden auftretende Austrocknung bzw. Absterben der Sporen nicht berücksichtigen. Um auch diese Effekte korrekt beschreiben zu können wurde in [1] das bereits erwähnte, auf dem Isoplethenmodell aufbauende, biohygrothermische Modell entwickelt.

**Ausblick**

Grundprinzip der neuen Methode der Isoplethensysteme ist es, immer vom ungünstigsten Fall auszugehen, also mit der Vorhersage im Hinblick auf eine Vermeidung von Schimmelpilzen auf der sicheren Seite zu liegen. Eine differenziertere als die hier vorgenommene Festlegung der für alle Schimmelpilzarten geltenden substratspezifischen Isoplethen sollte (für stationäre wie instationäre hygrothermische Randbedingungen) durch weitere systematische Messungen der Sporenauskeimungszeiten bzw. der Wachstumsraten des Pilzmyzels für unterschiedliche Substrate erfolgen.

**Literatur**

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

[2] Sedlbauer, K.; Krus, M.: Neue Methode zur Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Wesensmerkmale, Validierung und Anwendung an typischen Beispielen. Erscheint demnächst in der Fachzeitschrift Bauphysik.

[3] Reiß, J.; Erhorn, H.: Beurteilung von Feuchteschäden. IBP-Bericht WG 47/1997 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1997).

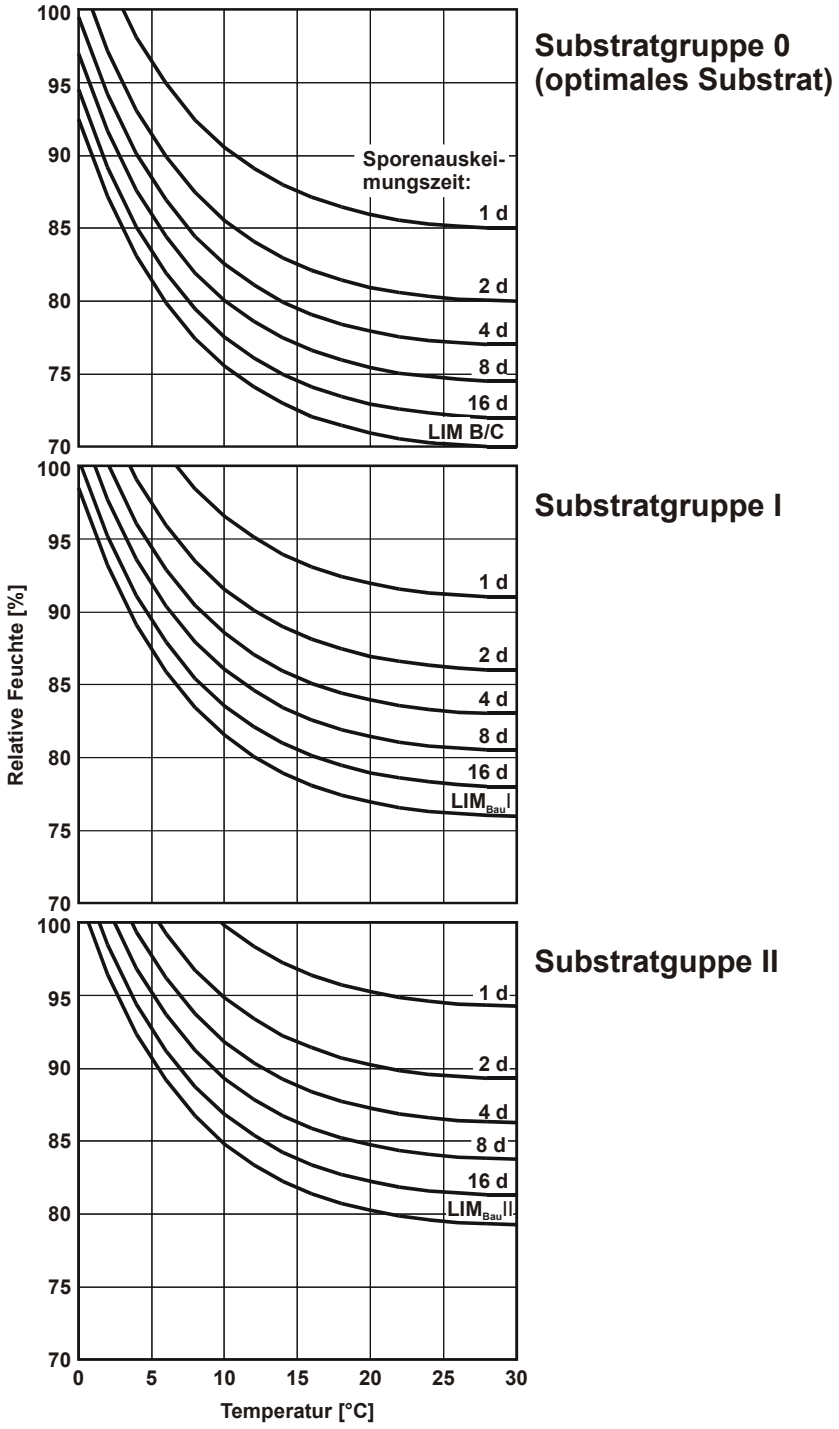



**Bild 1:** Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung, das für alle im Bau auftretende Pilze gilt. Bild oben gilt für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und Bild unten für II. Die angegebenen Werte charakterisieren die Zeitdauer, nach welcher eine Keimung abgeschlossen ist.
LIM: Lowest Isopleth for Mould

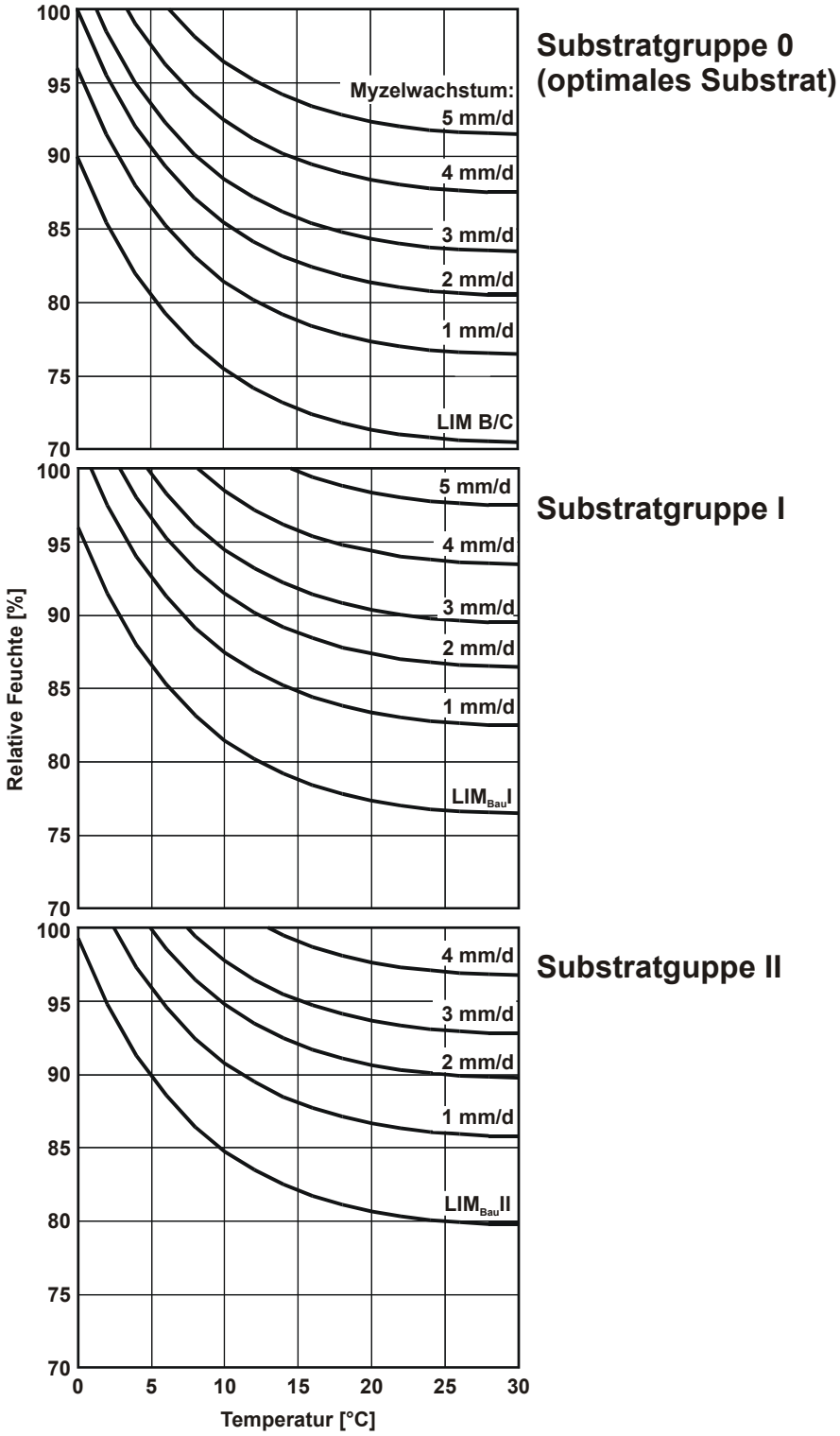



**Bild 2:** Verallgemeinertes Isoplethensystem für Myzelwachstum, das für alle im Bau auftretende Pilze gilt. Bild oben gilt für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und Bild unten für II. Die angegebenen Werte in mm/d charakterisieren das zu erwartende Wachstum.
LIM: Lowest Isopleth for Mould

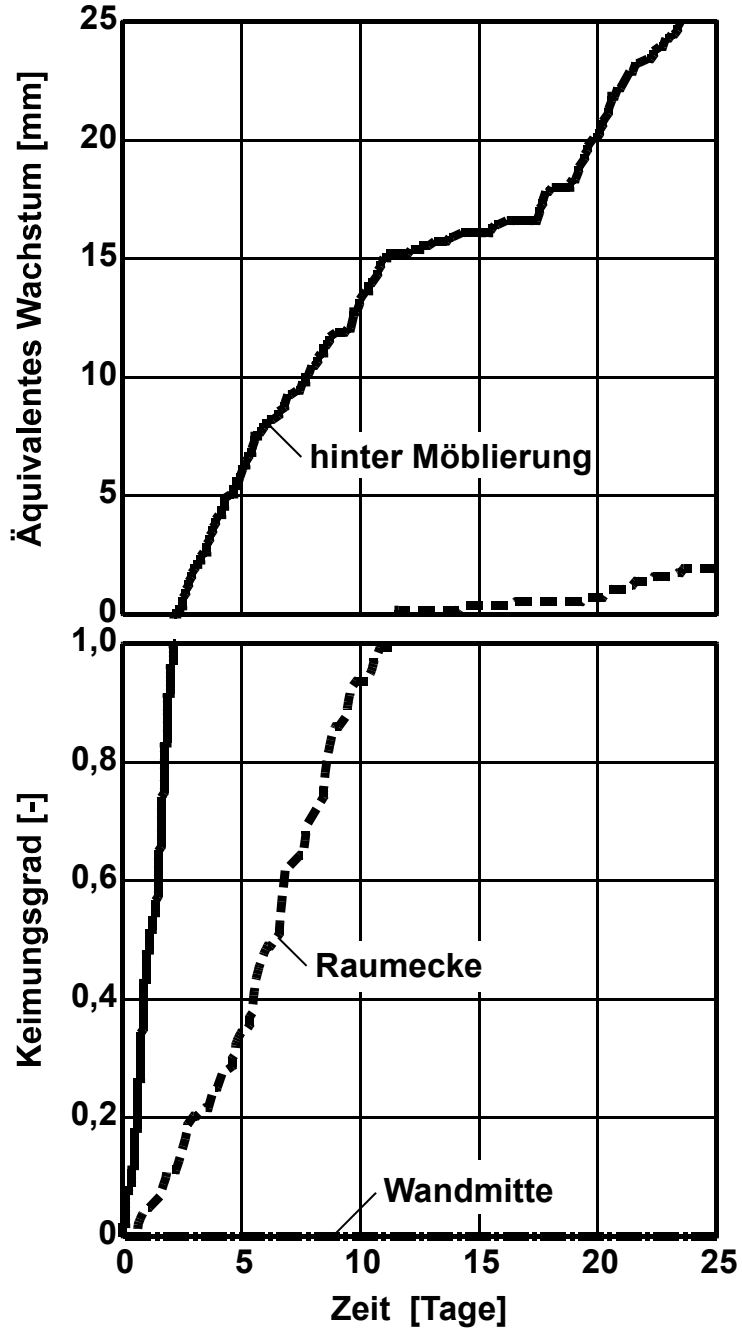



**Bild 3**: Mit dem Isoplethenmodell ermittelte Zeitverläufe von Keimung und Wachstum der Spore nach dem Isoplethenmodell für 3 verschiedene Stellen (Wandmitte, Ecke und hinter Möblierung).