



# IBP-MITTEILUNG

513

## 38 (2011) NEUE FORSCHUNGSERGEBNISSE, KURZ GEFASST

Martin Krus, C. M. Seidler,  
Klaus Sedlbauer

### Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Nobelstraße 12, 70569 Stuttgart  
Telefon +49 711 970-00  
info@ibp.fraunhofer.de

Standort Holzkirchen  
Fraunhoferstraße 10, 83626 Valley  
Telefon +49 8024 643-0  
info@hoki.ibp.fraunhofer.de

Standort Kassel  
Gottschalkstraße 28a, 34127 Kassel  
Telefon +49 561 804-1870  
info-ks@ibp.fraunhofer.de

[www.ibp.fraunhofer.de](http://www.ibp.fraunhofer.de)

### Literatur:

- [1] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001)
- [2] Viitanen H., Ritschkoff A.: Mould growth in pine and spruce sapewood in relation to air humidity and temperature. Uppsala: Swedish University of Agriculture Sciences, Department of Forest Products, 1991
- [3] Viitanen, H. Modelling the time factor in development of mould fungi – Effect of critical humidity and temperature conditions on pine and spruce sapwood. s.l.: Accepted for publication in Holzforschung, 1996.
- [4] Viitanen, H.: Mathematical modelling of moisture behaviour and mould growth in building envelopes. Espoo Finland : VTT/TTY, 2005-2009
- [5] Künzel, H.M. (1999): Praktische Beurteilung des Feuchteverhaltens von Bauteilen durch moderne Rechenverfahren. WTA-Schriftenreihe, Heft 18, Aedificatio Verlag

© Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP  
Nachdruck oder Verwendung von Textteilen oder Abbildungen nur mit unserer schriftlichen Genehmigung

## ÜBERTRAGUNG DES MOULD-INDEXES AUF DAS BIOHYGROTHERMISCHE MODELL ZUR SCHIMMELPILZVORHERSAGE

### HINTERGRUND

Das von Sedlbauer in [1] beschriebene biohygrothermische Modell ist ein neuartiges Berechnungsverfahren, um für instationäre Randbedingungen das Wachstumsrisiko von Schimmelpilzen auf Innenraumbooberflächen zu beurteilen. Das Ergebnis ist ein allerdings wenig anschauliches Schimmelpilzwachstum in mm. Im skandinavischen Bereich hat sich ein sechsstufiges Bewertungsmodell etabliert: der von Viitanen eingeführte Mould-Index, der auf einer prozentualen Flächenbelegung beruht, ergänzt um eine verbale Beschreibung. Da der Mould-Index wesentlich anschaulicher ist, erfolgt im Folgenden eine Übertragung des Wachstums in mm in den Viitanenschen Mould-Index.

### BESCHREIBUNG DER BEIDEN MODELLE

#### Biohygrothermisches Modell WUFI®-Bio

Sogenannte Isoplethensysteme beschreiben die Abhängigkeit der Sporenkeimung bzw. des Myzelwachstums von der Oberflächentemperatur und -feuchte. Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrundes oder ggf. eventueller Verunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, wurden Isoplethensysteme für drei unterschiedliche Substratgruppen vorgeschlagen:

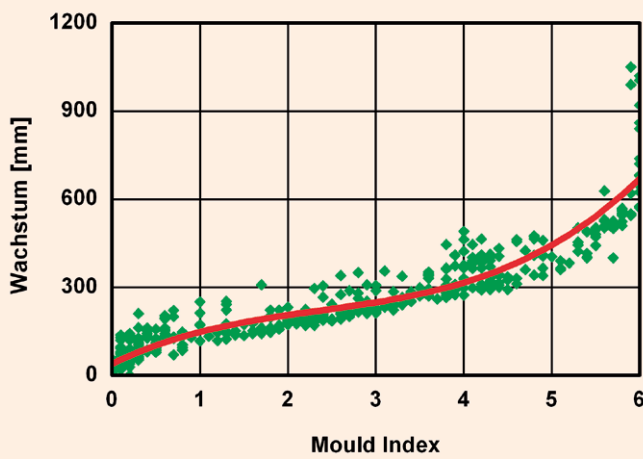
- 0 = optimaler Nährboden,
- I = biologisch gut verwertbar,
- II = biologisch kaum verwertbare Substrate.

Um die wesentliche Einflussgröße auf die Auskeimung, nämlich die bei bestimmten Temperaturen verfügbare Feuchte, bauphysikalisch korrekt zu beschreiben, wurde das biohygrothermische Modell entwickelt. Damit kann der Feuchtehaushalt einer Spore in Abhängigkeit von instationären Randbedingungen rechnerisch ermittelt werden, auch ein zwischenzeitliches Austrocknen der Pilzsporen.

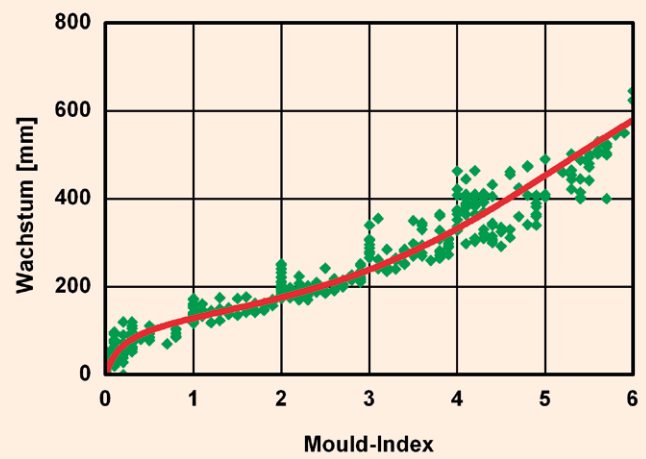
#### Viitanen-Modell (VTT-model)

Die Grundlagen des VTT-Modells wurden von Viitanen und Ritschkoff in [2] unter Laborbedingungen entwickelt. Auf Basis dieser Ergebnisse wurden Regressions-Modelle als Grundlage für ein mathematisches Modell entwickelt. Sowohl vorgegebene, stationäre Randbedingungen als auch periodische Feuchtigkeitsbelastungen und die Auswirkungen von Holzarten und Oberflächenqualitäten sind in diesem Modell als Randbedingung auswählbar. Die Studien dazu wurden ausschließlich im Labor durchgeführt. Dieses Modell wurde ebenfalls kontinuierlich weiterentwickelt (siehe z. B. [3, 4]) und dabei die Verzögerung des Schimmelpilzwachstums durch schwankende Feuchtebedingungen und weitere Materialien implementiert. Die Ergebnisausgabe erfolgt in Form des Mould-Indexes:

- 0 = kein Wachstum
- 1 = ein wenig Wachstum (mikroskopisch)
- 2 = mäßiges Wachstum (mikroskopisch) Be-  
deckung > 10 %



1 Gegenüberstellung der mit beiden Modellen berechneten Ergebnisse



2 Gegenüberstellung der mit beiden Modellen nach Modifikation der Auswertung berechneten Ergebnisse

- 3 = wenig sichtbares Wachstum
- 4 = sichtbares Wachstum
- 5 = Bedeckung > 50 %
- 6 = dichte Bedeckung 100 %

### Grundlegende Unterschiede beider Modellansätze

Die Unterschiede zwischen beiden Modellen sind in den jeweils gewählten Ansätzen begründet. Das VTT-Modell ist ein rein empirisches Modell, ausschließlich basierend auf Laboruntersuchungen. Dem Biohygrothermischen Verfahren liegt dagegen ein physikalisch begründetes Modell zugrunde. Bei diesem Modell stehen verschiedene Substratgruppen zur Auswahl, die auch um spezielle gemessene Materialsubstratgruppen erweitert werden können. Beim Viitanen-Modell kann nur zwischen zwei Holzarten oder mineralischem Substrat unterschieden werden. Im Gegensatz zum Biohygrothermischen Modell kann beim Viitanen Modell unter ungünstigen Bedingungen das berechnete Wachstum abnehmen. Beim biohygrothermischen Modell ergibt sich zu diesen Zeiten ein Wachstumsstillstand. Im Viitanen-Modell steigt je nach Klimarandbedingung das prognostizierte Schimmelpilzwachstum nicht über einen Grenzwert, während bei WUFI-BIO®, das Wachstum zunimmt, so lange es die Randbedingungen zulassen.

### ÜBERTRAGUNG DES BERECHNETEN WACHSTUMS IN DEN MOULD-INDEX

Die Übertragung erfolgt auf Basis rechnerisch bestimmter Randbedingungen. Damit werden reale instationäre an Innenoberflächen auftretende Randbedingungen zugrunde gelegt und dies erlaubt vielfältige Parametervariationen. Die Berechnungen werden mit dem am Fraunhofer IBP entwickelten hygrothermischen Simulationsverfahren WUFI® durchgeführt [5]. Die damit berechneten Oberflächenbedingungen dienen als Eingangsgröße für das Biohygrothermische Modell und das VTT-Modell, das von Herrn Viitanen für diese Untersuchungen zur Verfügung gestellt wurde.

### Parametervariationen

Für die Untersuchungen wurden der Standort, die Baukonstruktion sowie das Innenklima und damit auch die Feuchtelast variiert. Es wurden insgesamt 32 unterschiedliche Standorte ausgewählt. Durch 14 Innenklimavarianten sollen möglichst viele Nutzergewohnheiten abgebildet werden, bewusst auch im negativen Sinne. Bei den Außenwandkonstruktionen wurden 14 unterschiedliche Varianten aus Massiv- und Leichtbau mit einem U-Wert von 0,3 bis 1,9 W/(m<sup>2</sup>K) eingesetzt. Dabei fanden schlecht dämmende Außenwände überproportional Berücksichtigung, da gerade diese besonders anfällig für mikrobiellen Befall sind.

### Entwicklung der Umrechnungsfunktion

Insgesamt wurden auf diese Weise etwa 350 Berechnungen durchgeführt, die als Grundlage für die Entwicklung der Umrechnungsfunktion dienen. Die Auswertung der Ergebnisse erfolgt durch Vergleich der jeweiligen Maximalwerte (Mould-Index und mm-Wachstum) im Verlauf der 365-tägigen Laufzeit. Es wird bewusst kein Stichtag gewählt, da beide Verfahren unter bestimmten Klimarandbedingungen unterschiedliche Intensitäten im Schimmelwachstum zu verschiedenen Zeitpunkten aufweisen. Bild 1 zeigt das Ergebnis dieser Vorgehensweise.

Dabei fällt auf, dass vor allem im Bereich des Mould-Index 6 eine hohe Variationsbreite gegeben ist. Bei niedrigerem Mould-Index finden vor allem einzelne Abweichungen nach oben statt, aber fast keine nach unten. Diese Abweichungen sind in spezifischen Unterschieden beider Modelle begründet. Während beim VTT-Modell ein Maximalwert (MI=6) existiert, können beim biohygrothermischen Modell bei günstigen Wachstumsbedingungen extrem hohe Werte resultieren. Abweichungen nach oben bei niedrigerem Mould-Index treten immer dann auf, wenn es bei Perioden ungünstiger Randbedingungen im Viitanen-Modell zu einem Wachstumsrückgang kommt,

der beim Biohygrothermischen Modell nicht auftreten kann. Um dies zu berücksichtigen, werden zwei Modifikationen durchgeführt. Ergibt sich beim Viitanen-Modell zu einem bestimmten Zeitpunkt der MI 6, wird bei dem Biohygrothermischen Modell die Berechnung nur bis zu diesem Zeitpunkt durchgeführt. Außerdem wird bei allen Varianten, bei denen es nach dem VTT-Modell zu Wachstumsrückgängen kommt, dies dadurch korrigiert, dass die Summe der Rückgänge auf das Ergebnis aufaddiert wird. Trägt man diese Ergebnisse beider Modelle in ein Diagramm auf (Bild 2), ergibt sich eine bessere Korrelation.

### ZUSAMMENFASSUNG

Einen wesentlichen Beitrag zur Vermeidung von Schimmelpilzwachstum oder zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen können rechnerische Modelle zur Prognose des Schimmelpilzwachstums liefern. Vor allem zwei Modelle sind inzwischen allgemein bekannt und verbreitet, das VTT-Modell und WUFI-BIO®. Während das VTT-Modell ein rein empirisches Modell ist, ausschließlich basierend auf Laboruntersuchungen, liegt dem Biohygrothermische Verfahren ein physikalisch begründetes Modell zugrunde. Das Ergebnis von WUFI-BIO® ist ein Schimmelpilzwachstum in mm, das allerdings wenig anschaulich ist. Vor allem im skandinavischen Bereich hat sich inzwischen ein deutlich anschaulicheres sechsstufiges Bewertungsmodell etabliert, der sogenannte Mould-Index, der auf einer prozentualen Flächenbelegung, ergänzt um eine verbale Beschreibung, beruht.

Durch die Verknüpfung der Ergebnisse des Biohygrothermischen Modells mit dem Mould-Index des Viitanen-Modells wird erreicht, dass ein inzwischen anerkanntes und vor allem anschauliches Bewertungsmaß auch bei WUFI-BIO® genutzt werden kann.