

Brauchen wir Gefährdungsklassen für Schimmelpilze zur Beurteilung von Baukonstruktionen?

Martin Krus, Klaus Sedlbauer

Fraunhofer-Institut für Bauphysik (Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis), krus@hoki.ibp.fhg.de; sedlbauer@hoki.ibp.fhg.de

1. Zusammenfassung

Die Beseitigung von Schimmelpilzen 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 auch 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. Anzustreben ist natürlich, dass Schimmelpilzwachstum überhaupt nicht auftritt. Gerade im Baubestand wird dies aber nicht immer mit sinnvollem Aufwand erreichbar sein. Aus diesem Grund ist eine Beurteilung der gesundheitlichen Gefährdungssituation unbedingt erforderlich. Nach derzeitigem Kenntnisstand sind für stark gesundheitsgefährdende Pilze als Wachstumsvoraussetzungen temperaturabhängig höhere Feuchten anzunehmen als für weniger gesundheitsschädliche Schimmelpilze.

Es wurde ein Verfahren entwickelt, das die Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf Basis der biologischen Wachstumsvoraussetzungen von Schimmelpilzen bei instationären Randbedingungen ermöglicht. Das neue Verfahren [1] besteht aus zwei aufeinander aufbauenden Vorhersagemodellen, nämlich dem Isoplethenmodell und dem instationären biohygrothermischen Modell. Anhand eines Beispiels wird die Anwendung des Schimmelpilzvorhersagemodells in diesem Zusammenhang gezeigt.

2. Gesundheitsgefährdung

Die Schimmelpilze können sich auf die folgenden unterschiedlichen Weisen gesundheitlich auswirken [2]:

Allergene Wirkung

Der Dosis-Wirkungszusammenhang ist in diesem Falle komplex. Er hängt u. a. von der individuellen Prädisposition sowie vom allergenen Potential der Schimmelpilzsporen ab.

Toxische Wirkung

Die Stoffwechselprodukte von Schimmelpilzen (z. B. Mykotoxine) sowie die Zellwandbestandteile (Glukane) wirken toxisch. Ausgelöst durch Innenraumbelastungen ist allerdings kaum mit einer solchen Wirkung zu rechnen. Die Ausprägung der toxischen und allergenen Wirkungen u.a. durch Mykotoxine ist erheblich von der Art der Schimmelpilze (Spezies) und von der aufgenommenen Gesamtmenge abhängig.

Infektiöse Wirkung

Die infektiöse Wirkung spielt vor allem bei immungeschwächten Menschen eine Rolle. Ausgelöst durch Innenraumbelastungen ist allerdings ebenfalls kaum mit einer solchen Wirkung zu rechnen.

Außerdem liegt beim verstärkten Auftreten von Schimmelpilzen allgemein ein hygienisches Problem vor. Da der Dosis-Wirkungs-Zusammenhang aufgrund der unterschiedlichen gesundheitlichen Gefährdung, die von Schimmelpilzen ausgeht, äußerst komplex ist, ist eine eindeutige Beurteilung von Schimmelpilzbelastungen in Innenräumen aus gesundheitlicher Sicht zur Zeit nicht möglich [3]. So ist es nicht verwunderlich, dass in der Fachwelt meist keine Einigkeit darüber besteht, welche Gefahren von einem Schimmelpilzbefall ausgehen. Dies führt z.T. zu überzogenem Aktivismus. So wird z.B. in den USA beim Verkauf eines Gebäudes ein Zeugnis verlangt, in dem garantiert wird, dass im Haus der Schimmelpilz "Stachybotrys chartarum" nicht vorhanden ist. Andererseits wird das Problem der Belastung von Innenräumen mit Schimmelpilzen in vielen Fällen nicht ernst genommen und bagatellisiert. Es ist nach derzeitigem Wissensstand schwer möglich, eine Wichtung der einzelnen Schimmelpilze aus gesundheitlicher Sicht vorzunehmen [3]. Die in der Literatur häufig aufgrund ihrer toxischen Wirkung als gesundheitlich problematisch eingeschätzten Schimmelpilze, wie z.B. *Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus* und *Stachybotrys chartarum*, sollten allerdings beachtet werden [3].

3. Vorhersagemodell

In [1] wurde ein neuartiges Verfahren entwickelt, das die Beurteilung von Schimmelpilzbildung auf Basis aller drei wesentlichen biologischen Wachstumsvoraussetzungen von Schimmelpilzen – Feuchte, Temperatur, Zeit - bei instationären Randbedingungen ermöglicht. Sonstige untergeordnete Einflussgrößen, wie Licht, Sauerstoff und Sporenflug, werden bei der Beurteilung berücksichtigt, indem von optimalen Bedingungen ausgegangen wird. Da das Modell auf die generelle Vermeidung von Pilzbefall abzielt, spielt es keine Rolle, ob eine Spezies durch andere verdrängt wird. Derartige Einflüsse werden daher nicht berücksichtigt. Das neue Verfahren besteht aus zwei aufeinander aufbauenden Vorhersagemodellen, nämlich dem Isoplethenmodell und dem

instationären biohygrothermischen Modell. Da im Zusammenhang mit der Diskussion einer Gesundheitsgefährdung durch Schimmelpilze ... das Isoplethenmodell von Bedeutung ist, wird dieses im Folgenden näher erläutert.

3.1 Entwicklung der Isoplethensysteme

Mit Hilfe des Isoplethenmodells soll ein Vergleich der in Gebäuden auftretenden hygrothermischen Bedingungen mit den Wachstumsvoraussetzungen für Sporenceimung und Myzelwachstum ermöglicht werden. Dazu werden sogenannte "Isoplethensysteme" verwendet. Diese beschreiben die Sporenceimungszeiten bzw. Wachstumsraten in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte. In der Literatur werden aber nur für einige wenige Pilzarten vollständige Isoplethensysteme angegeben. Sie unterscheiden sich je nach Spezies erheblich und besitzen nur Gültigkeit für Vollmedium als Nährboden. Weil generell jegliches Pilzwachstum vermieden werden soll, stellen die Isoplethen jeweils die untere Wachstumsgrenze für alle einbezogenen Spezies dar. Da sich die Wachstumsvoraussetzungen auch bei den einzelnen Lebensphasen unterscheiden, werden für Sporenceimung und Myzelwachstum jeweils eigene Bewertungskurven aufgestellt.

Zur Vorhersage einer Schimmelpilzbildung auf unterschiedlichen Substraten ist es erforderlich, zusätzliche Isoplethensysteme zu entwickeln. Als Basisdaten stehen dazu nur singuläre Messungen zur Schimmelpilzbildung auf Baustoffen zur Verfügung. Daher erscheint es sinnvoll, nur 2 baustoffbezogene Substratgruppen zu definieren und dafür Isoplethensysteme aufzustellen. Insgesamt wird somit zwischen jenen Isoplethensystemen – resultierend aus 3 Substratgruppen und dies jeweils für Sporenceimung und für Myzelwachstum – unterschieden, deren jeweilige unterste Isolinie LIM (Lowest Isopleth for Mould) genannt wird:

- a) Substratgruppe 0 (LIM 0): Diese Systeme beziehen sich auf biologische Vollmedien als Nährboden und bilden daher das untere Limit aller Isoplethensysteme bzgl. Wachstumsvoraussetzungen, also die niedrigsten Werte für die relative Feuchte. Sie bilden für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilze die Wachstumsgrenze.
- b) Substratgruppe I (LIM_{Bau} I): Analog zu a), beziehen sich hinsichtlich Nährboden nicht auf Vollmedium, sondern auf die in Tabelle 1 genannten Materialien in Substratgruppe I. In dieser Substratgruppe zählen auch alle stark verschmutzten Baustoffoberflächen.
- c) Substratgruppe II (LIM_{Bau} II): Analog zu a), nur für die Materialien, die in Substratgruppe II fallen, gültig.

Tabelle 1 zeigt die entsprechende Zuordnung von Baumaterialien zu den Substratgruppen. Für die Substratgruppe III wird kein Isoplethensystem angegeben, da davon ausgegangen werden kann, dass ohne Verschmutzung Schimmelpilzbildung bei diesen Materialien nicht auftreten kann. Im Fall einer starken Verschmutzung sollte stets von Substratgruppe I ausgegangen werden.

Isoplethensysteme für optimales Substrat

Bild 1 links oben zeigt das für alle in Gebäuden auftretenden Schimmelpilzspezies entwickelte Isoplethensystem für Sporenauskeimung. Nach erfolgtem Auskeimen beginnt der Pilz mit seinem Wachstum, sofern dafür hygrothermisch ausreichende Bedingungen vorliegen, wobei auch nach einer Zeitperiode mit ungünstigen Klimabedingungen wieder Wachstum einsetzen kann. Das Isoplethensystem für Myzelwachstum zeigt Bild 1 links unten. Die Wachstumsgeschwindigkeiten werden in mm/d in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte angegeben. Dabei wird jeweils die Temperatur im bauphysikalisch interessanten Bereich für den Innenraum von 0 °C bis 30 °C betrachtet. Die unterste Linie (LIM) stellt die Grenze jeglicher Pilzaktivität dar, d.h. bei ungünstigeren hygrothermischen Bedingungen kann Sporenauskeimung bzw. Myzelwachstum ausgeschlossen werden.

Isoplethensysteme für Schimmelpilzbildung auf Bauprodukten

Zur Berücksichtigung unterschiedlicher Substrate bei der Vorhersage einer Schimmelpilzbildung auf Bauprodukten müssen „substratspezifische“ Isoplethensysteme entwickelt werden. Die zur Entwicklung der substratspezifischen Isoplethensysteme erforderlichen methodischen Schritte werden in [1] ausführlich beschrieben. Es wird ein phänomenologischer Ansatz gewählt, d.h. von der Beobachtung ausgegangen, dass ein Schimmelpilz auf optimalem Nährboden bei bestimmten hygrothermischen Bedingungen auskeimen kann, während er auf einem speziellen Substrat dazu höhere Feuchten benötigt [4]. Die Isoplethensysteme für optimalen Nährboden, wie sie die Bild 1 links zeigt, werden um einen bestimmten Wert nach oben hin zu höheren Feuchten verschoben, ohne dass ihre Form verändert wird. Auf diese Weise lassen sich die beiden Isoplethensysteme bzgl. Sporenauskeimung für die Substratgruppen I und II sowie die dazugehörigen untersten Wachstumsgrenzen, also die LIM-Kurven für Schimmelpilzbildung auf Bauprodukten ($LIM_{\text{Bau I}}$ und $LIM_{\text{Bau II}}$), festlegen. Bild 2 zeigt die Isoplethensysteme für Sporenauskeimung (oben) und Myzelwachstum (unten) für die Substratgruppen I (Bilder Mitte) und II (Bilder rechts).

Isoplethensysteme für Indikatorpilze und als kritisch diskutierte Pilze

Bei der Ermittlung der Wachstumsvoraussetzungen für Schimmelpilze bzgl. Temperatur und Feuchte im oben dargelegten Vorhersageverfahren sind diejenigen besonders zu betrachten, die in der Literatur aufgrund ihrer möglichen gesundheitlichen Wirkung diskutiert werden [3]. Unter Indikator-

organismen werden dabei bei typischen Feuchteschäden gehäuft auftretende Spezies verstanden. Diese Spezies sind als solche in Tabelle 2 gekennzeichnet. Im folgenden wird für diese Pilze ein eigenes Isoplethensystem vorgestellt, das es gestattet, in Abhängigkeit von Temperatur und relativer Feuchte die Sporenauskeimungszeiten bzw. Myzelwachstum anzugeben:

Das Isoplethensystem K gilt für Schimmelpilze, die in der Literatur aufgrund ihrer möglichen gesundheitlichen Wirkung diskutiert werden (Bild 2). Für diese Spezies (*Aspergillus fumigatus*, *Aspergillus flavus* und *Stachybotrys chartarum*) liegen in Tabelle 2 Wachstumsdaten aus [1] vor. Das Isoplethensystem für die als kritisch diskutierten Pilze bezieht sich aufgrund der zur Verfügung stehenden Daten auf optimalen Nährboden. Für die Erstellung entsprechender substratspezifischer Isoplethen fehlen derzeit präzise Messwerte. Eine Verschiebung der Isoplethen hin zu höherer Luftfeuchte analog der Entwicklung der vorgestellten Baustoffisoplethen erscheint bei derzeitigem Kenntnisstand gerade für diese Pilzspezies als zu gewagt.

3.2 Funktionsweise des Isoplethenmodells und Anwendungsbeispiel

Schimmelpilzschäden sind in ungedämmten Wohnungen nicht selten [5]. Aber auch an nach heutigem Standard gedämmten Wohnungen kann Schimmelpilzbildung auftreten, wenn zu hohen Feuchtelasten (z.B. infolge Baufeuchte) ungenügendes Lüftungsverhalten kommt. Berechnungen mithilfe eines neuartigen hygrothermischen Raummodells, das am IBP entwickelt wurde und derzeit validiert wird, zeigen, in welcher Weise sich durch Baufeuchte in den ersten Jahren nach Bauerstellung erhöhte Raumluftheuchten einstellen [6]. Dabei wird von einem Wandaufbau (Wandbildner aus Porenbeton) mit einem U-Wert im Regelquerschnitt von $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgegangen. Als Baufeuchte wird ein anfänglicher Wassergehalt von 20 Vol.-% bei der Berechnung berücksichtigt. Die Luftwechselrate wurde dabei, ausgehend von dem in der Norm geforderten $0,5 \text{ h}^{-1}$ -Wert bis auf einen äußerst niedrigen Luftwechsel von $0,1 \text{ h}^{-1}$ herabgesetzt, der aufgrund dichter Fenster in einigen Fällen realistisch sein dürfte. Die Ergebnisse dieser Berechnungen – Stundenwerte der Temperatur und der relativen Feuchte im Wohnraum – werden als Randbedingungen angenommen. Es wird auf diese Weise die hygrothermische Situation an der Außenwand in der Ecke, hinter einem Schrank sowie als Extremfall in der Ecke hinter einem Schrank untersucht. Der innere Wärmeübergangskoeffizient wird für die ungestörte Wandecke mit $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen, hinter dem Schrank wird an der Außenwand ein Wert von $4 \text{ W/m}^2\text{K}$ und in der Ecke von $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ zugrunde gelegt. Bei den Berechnungen wird angenommen, dass der Bezug der Wohnung einen Monat nach Baufertigstellung stattfindet. Die Berechnungen erfolgen für die erste Heizungsperiode.

Bild 3 zeigt die mit dem Raummodell berechneten Innenluftfeuchten für folgende Fälle

- Mindestluftwechsel $0,5 \text{ h}^{-1}$ mit und ohne Baufeuchte
- Verminderter Luftwechsel $0,3 \text{ h}^{-1}$, $0,2 \text{ h}^{-1}$ und $0,1 \text{ h}^{-1}$ mit Baufeuchte.

Man erkennt deutlich den Einfluss der Luftwechselrate auf den Verlauf des Innenklimas. Diese Berechnungsergebnisse dienen wiederum als Randbedingungen für die Beurteilung einer möglichen Schimmelpilzbildung mit dem Isoplethensystem. Dabei müssen die ermittelten instationären Verläufe von Temperatur und relativer Feuchte an der Bauteiloberfläche als Wachstumsbedingungen mit den Angaben der Sporenauskeimungszeiten bzw. des Myzelwachstums in den entsprechenden Isoplethensystemen verglichen werden. Man trägt diese beispielsweise als Stundenwerte in die Isoplethensysteme ein. Es wird also mithilfe der einzelnen Isolinien (z.B. 4 Tage) angegeben, welchen Beitrag ein Stundenwert, der beispielsweise auf dieser Isolinie liegt, zur Sporenauskeimung liefert, nämlich $1 \text{ Stunde} / (4 \text{ (Tage)} \cdot 24 \text{ Stunden}) = 0,01$. Diese Werte werden addiert und als zeitlicher Verlauf aufgetragen. Erreicht der Summenwert 1, so wird davon ausgegangen, dass die Sporenauskeimung erreicht ist und der Pilz zu wachsen beginnt. Dadurch ergibt sich eine einfache Bewertungsmöglichkeit; es kann angegeben werden, ob es in einem bestimmten Zeitraum zu Sporenauskeimung kommt. Analog kann mithilfe der substratspezifischen Isoplethensysteme für Myzelwachstum angegeben werden, wie stark Pilze maximal wachsen. Dabei werden die einzelnen Stundenwerte für Temperatur und relative Feuchte analog gewertet. 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 $0,25 \text{ mm pro Stunde}$ wächst. Es erfolgt auch hierbei wieder die Bildung eines Summenwertes.

Bild 4 links zeigt die auf die beschriebene Weise ermittelten Ergebnisse für unterschiedliche Luftwechselraten. Trotz Baufeuchte wird weder bei einem Luftwechsel von $0,5 \text{ h}^{-1}$ noch bei einem verringerten Luftwechsel von $0,3 \text{ h}^{-1}$ ein Schimmelwachstum prognostiziert (beide Fälle nicht dargestellt). Wird die Luftwechselrate dagegen auf $0,2 \text{ h}^{-1}$ reduziert (Bild 5 links), kommt es in der Ecke rasch zur vollständigen Auskeimung. Während in der freien Wanddecke nur ein geringfügiges Myzelwachstum vorhanden ist, wird in der Ecke hinter dem Schrank ein deutliches Wachstum zu erwarten sein.

Den in Bild 5 links dargestellten Ergebnissen liegt das Isoplethensystem für Substratgruppe I zugrunde. Da das Isoplethensystem für als kritisch beurteilte Schimmelpilze, obwohl für idealen Nährboden gültig, höhere Wachstumsanforderungen bedeutet, ergeben sich hiermit andere in Bild 5 rechts dargestellte Wachstumskurven. Sie zeigen, daß diese Schimmelpilze im Ge-

gensatz zu den anderen unter diesen Bedingungen nicht zum Wachstum kommen.

4. Schlussfolgerung

Die Beurteilung von Schimmelpilzbelastungen ist ziemlich komplex. Eine gesundheitliche Gefährdungsabschätzung ist aufgrund des jetzigen Wissensstandes nicht eindeutig möglich. Im Sinne der Vorsorge sollte die Belastung von Innenräumen mit Schimmelpilzen minimiert werden. Mithilfe eines neuentwickelten Vorhersagemodells können für instationäre Randbedingungen baulich und nutzungsbedingte Wachstumswahrscheinlichkeiten ermittelt werden. Dies erleichtert es wesentlich, Aussagen über die Wirksamkeit von Sanierungs- oder Verbesserungsmaßnahmen zu machen. Die Verwendung von Gefährdungsklassen zur überschlägigen Bewertung der Gesundheitsgefährdung, die von Schimmelpilze ausgeht, ist hilfreich, da sie eine Einschätzung der Gefahrenlage und somit des aktuellen Handlungsbedarfs erlaubt.

5. Literatur

- [1] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).
- [2] Sedlbauer, K.; Gabrio, Th.; Krus, M.: Schimmelpilze – Gesundheitsgefährdung und Vorhersage. Wird bei der Zeitschrift Gesundheitsingenieur eingereicht. Erscheint demnächst.
- [3] Landesgesundheitsamt (LGA) Stuttgart: Schimmelpilze in Innenräumen – Nachweis, Bewertung, Qualitätsmanagement. <http://www.landesgesundheitsamt.de/>
- [4] Grant, C.; Hunter, C. A.; Flannigan, B.; Bravery, A. F.: The moisture requirements of moulds isolated from domestic dwellings. International Biodeterioration 25, (1989), S. 259 - 284.
- [5] Erhorn, H.: Schäden durch Schimmelpilzbefall im modernisierten Mietwohnungsbau – Umfang, Analyse und Abhilfemaßnahmen. Bauphysik 10 (1988), H. 5, S. 129 - 134.
- [6] Holm, A.; Radon, J.; Künzel, H.M.; Sedlbauer, K.: Berechnung des hygrothermischen Verhaltens von Räumen. Erscheint demnächst.

Tabelle 1 Einstufung von verschiedenen Materialien in Substratgruppen nach [1].

Angaben zu den oberflächennahen Bauteilschichten			Zuordnung zur Substratgruppe in Abhängigkeit vom Verschmutzungsgrad ²⁾	
Substratgruppe ¹⁾		Typische Repräsentanten	nicht	stark
0	optimaler Nährboden	biologische Vollmedien	0	0
I	biologisch verwertbare Substrate ³⁾	Tapeten, Gipskarton, Bauprodukte aus gut abbaubaren Rohstoffen, Material für dauerelastische Fugen	I	I
II	Substrate mit porigem Gefüge	Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer, Dämmstoffe, die nicht unter I fallen	II	I
III	inerte Substrate ⁴⁾	Metalle, Folien, Gläser, Fliesen	III	I

- 1) Je nach Grad der Verschmutzung kann sich die Einteilung in die Substratgruppe verschieben.
- 2) Der Verschmutzungsgrad wird in nicht verunreinigt („nicht“) und stark verunreinigt („stark“) eingeteilt.
- 3) Entweder können diese Substrate biologisch verwertbare Einlagerungen besitzen oder sie werden abgebaut.
- 4) Diese Substrate können weder abgebaut werden noch enthalten sie Nährstoffe.

Tabelle 2 Minimale, optimale sowie maximale Wachstumsvoraussetzungen für einzelne Schimmelpilze hinsichtlich Temperatur, relativer Feuchte und pH-Wert bzgl. Sporenauskeimung sowie Myzelwachstum aus [1]. Gekennzeichnet mit "K" sind die als gesundheitlich kritisch einzuschätzenden Pilzspezies.

Pilzspezies	Gesundheitlich kritische Pilze	Wachstumsvoraussetzungen													
		Temperatur [°C]						rel. Feuchte [%]				pH-Wert [-]			
		Sporenauskeimung			Myzelwachstum			Sporenauskeimung		Myzelwachstum					
		min.	opt.	max.	min.	opt.	max.	min.	opt.	min.	opt.	min.	opt.	max.	
<i>Absidia corymbifera</i>						35	45						3		8
<i>Absidia glauca</i>					-8	30	43			70					
<i>Alternaria alternata</i>		3	35	37	-2	30	32	84		85	98	<2,7	5,4	>8	
<i>Asp. amstelodami</i>		5	35	43	7	33	42	70	90	71	100				
<i>Asp. candidus</i>		10	35	45	3	32	57	70	95	74	90	2,1			7,7
<i>Asp. flavus</i>	K	10	30	45	6	40	45	80	100	78	98	2,5	7,5	>10	
<i>Asp. fumigatus</i>	K	10	40	50	10	43	57	80	97	82	97	3	6,5	8	
<i>Asp. nidulans</i>		10	37	50	6	40	48	75	95	78	97				
<i>Asp. niger</i>		10	35	50	6	37	47	77	98	76	98	1,5			9,8
<i>Asp. ochraceus</i>						32				77	95	3	6,5	10	
<i>Asp. parasiticus</i>					10	37				82		2	6,5	11	
<i>Asp. penicillioides</i>					5	25	37								
<i>Asp. restrictus</i>		10	28		10	28		73	95	71	90				
<i>Asp. ruber</i>		5	30	42	4	27	38	70	90	71	93				
<i>Asp. terreus</i>		14	40	50	11	40	47	75	99	77	97				
<i>Asp. versicolor</i>		8	30	42	4	30	40	74	91	75	95				
<i>Aureobasidium pullulans</i>					2	25	35			88					
<i>Botrytis cinera</i>					-3	21	36			93					
<i>Chaetomium globosum</i>						35									
<i>Chrysosporium fastidium</i>								69	93	72	92				
<i>Cla. cladosporioides</i>					-5	28	32	85		84	96	3,1			7,7
<i>Cla. sphaerosperum</i>						25				82					
<i>Eurotium herbariorum</i>						30	40	73		75	96				
<i>Fusarium culmorum</i>		3	25	37	0	25	31	87		90					
<i>Fusarium oxysporum</i>					5	30	37			90		2			9
<i>Fusarium solani</i>										90					
<i>Mucor plumbeus</i>					4	25	35	93		93	98		7		
<i>Paecilomyces lilacinus</i>						35	60	84		84					
<i>Pen. brevicompactum</i>		5	25	32	-2	25	30	78		75	96				
<i>Pen. chrysogenum</i>					-4	28	38	78		79	98				
<i>Pen. citrinum</i>								84		80		2	5,5	10	
<i>Pen. cyclopium</i>		5	25	33	2	25	37	80	97	80	98	2			10
<i>Pen. expansum</i>		<0			-3	26	35	82		82	95				
<i>Rhizopus stolonifer</i>		1,5	28	33	10	26	37	84		92	98				<6,8
<i>Scopulariopsis brevicausalis</i>					5	30	37			85	94		9,5		
<i>Stachybotrys</i>	K	5	25	40	2	23	37	85	97	89	98				
<i>Trichoderma viride</i>					0	28	37			99					
<i>Trichothecium roseum</i>		5			15	25	35	90		86	96				
<i>Ulocladium sp.</i>										89					
<i>Wallemia sebi</i>			30		5	30	40	69		70					

K: In der Literatur in Bezug auf Gesundheitsgefährdung als kritisch eingestufte Schimmelpilze.

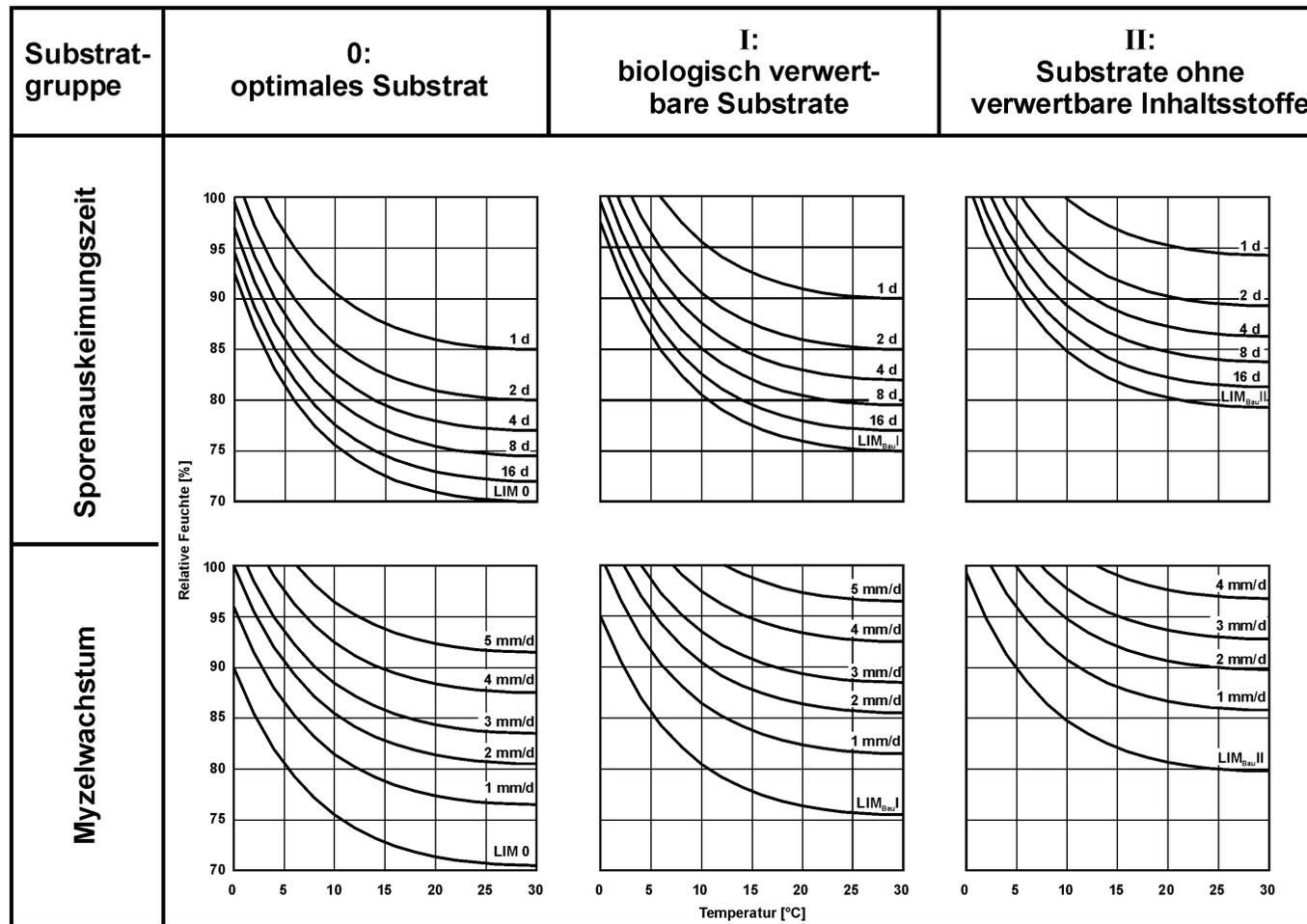


Bild 1 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung (oben) bzw. für Myzelwachstum (unten) nach [1], das für alle im Bau auftretenden Pilze gilt. Die im Bild dargestellten Diagramme gelten links für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und rechts für II. Die angegebenen Zeiten charakterisieren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

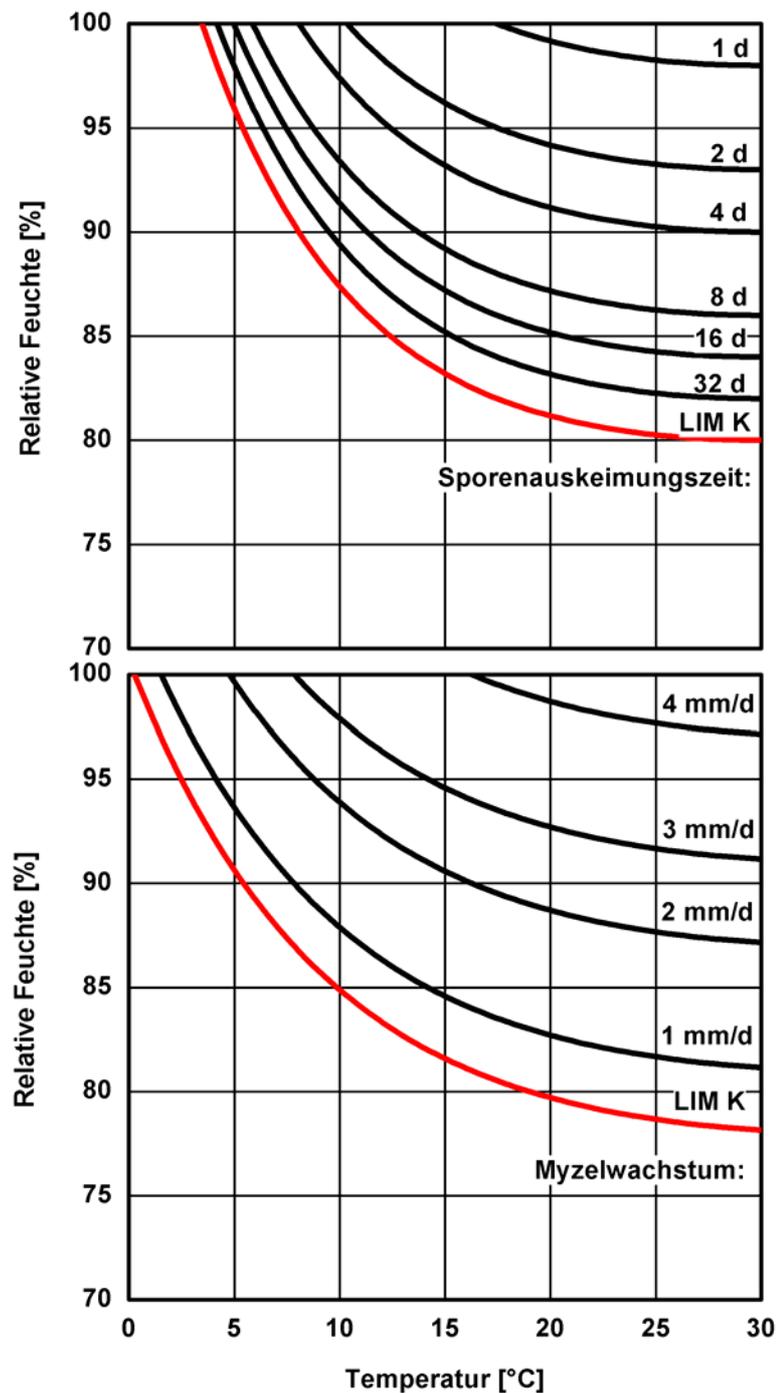
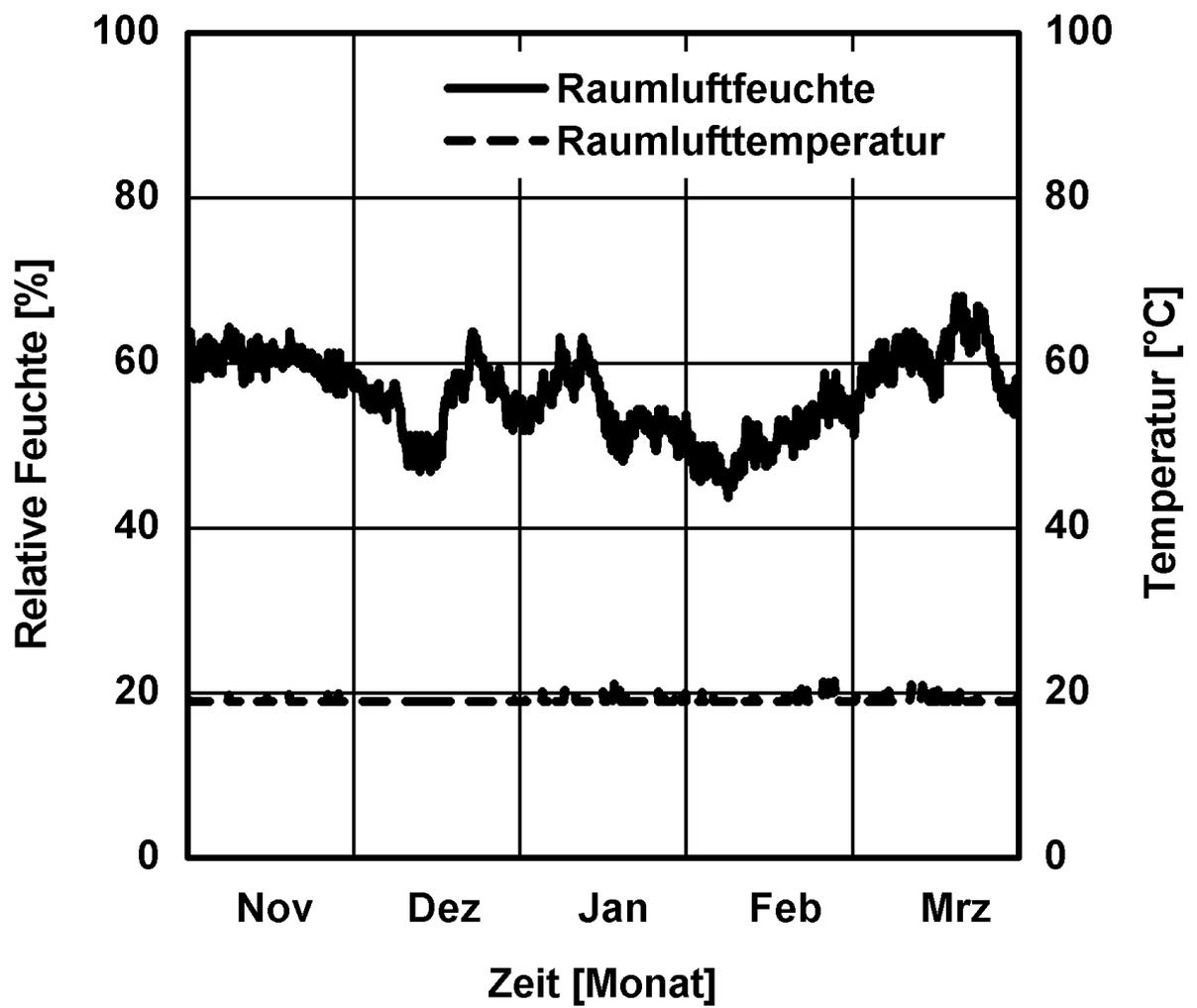
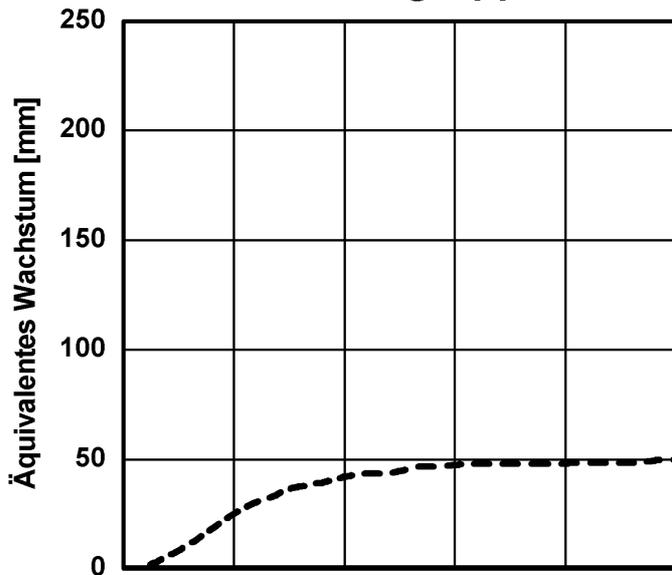


Bild 2 Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung (Bild oben) und Myzelwachstum (Bild unten) für Schimmelpilze, die in der Literatur als besonders kritisch angesehen werden [1]. Die Bilder beziehen sich jeweils auf optimalen Nährboden. Die Lage des Lowest Isopleth for Mould (LIM) stellt die unterste Grenze der biologischen Aktivität dar. Die angegebene Zahl der Tage charakterisiert die Zeitdauer, nach welcher erste Auskeimungen auftreten (Bild oben) bzw. das zu erwartende Wachstum in mm/d (Bild unten).



Substratgruppe I



Gefährdungsklasse K

