

Vorhersagemodell zur Schimmelpilzbildung bei instationärem Klima - Praktische Beispiele

K. Sedlbauer, M. Krus, W. Zillig

Fraunhofer-Institut für Bauphysik

(Leiter: Prof. Dr. Dr. h.c. mult. Dr. E.h. mult. Karl Gertis)

1. Einleitung und Zielsetzung

Obgleich sich in den letzten Jahrzehnten der energetische Standard von Häusern erheblich verbessert hat, häufen sich Berichte über Bauschäden durch Schimmelpilze. Ob die Zahl der Schimmelpilz-Fälle wirklich zunimmt und ob für den Bewohner die Gesundheitsgefährdung durch krankmachende Mikroorganismen ansteigt, muss noch detailliert geklärt werden. Der Einsatz von Bioziden bringt, vor allem im Innenraum, Gesundheitsrisiken mit sich und kann Schimmelpilzbildung meist nur über eine begrenzte Zeit verhindern. Dabei muss eine bauphysikalische Verhinderungsstrategie im Vordergrund stehen, die von den Wachstumsvoraussetzungen von Schimmelpilzen, d.h. den Randbedingungen, unter denen mit Pilzwachstum gerechnet werden muss, ausgeht und die instationären Vorgänge in Gebäuden berücksichtigt. In [1] wurde ein Verfahren entwickelt, das die Vorhersage 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. Anhand von praktischen Anwendungsbeispielen sollen die beiden Modelle erläutert werden.

2. Funktionsweise des Isoplethenmodells

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 bewerkstelligt 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 Sporenauskeimungszeiten (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 allgemeingültiger Isoplethensysteme nur Pilze berücksichtigt, die in Gebäuden auftreten und evtl. gesundheitsbeeinträchtigend sein können. 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 biologisch verwertbaren Rohstoffen, Materialien für dauerelastische Fugen,

Substratgruppe II: Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe aus nicht abbaubaren Rohstoffen.

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.

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 z.B. auf einer Innenseite einer Außenwand auftretenden 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.

Um die instationären Temperatur- und Feuchteverhältnisse erfassen und bewerten zu können, werden die zeitlichen Beiträge, die einzelne hygrothermische Zustände zur Sporenauskeimung liefern, aufsummiert; d.h. es wird mit Hilfe der einzelnen Isolinien (z.B. vier Tage) angegeben, welchen Beitrag ein Stundenwert, der beispielsweise auf dieser Isolinie liegt, zur Sporenauskeimung liefert, nämlich $1 / (\text{vier Tage} \cdot 24 \text{ Stunden}) = 0,01$. Diese Werte werden addiert und als zeitlicher Verlauf aufgetragen. Erreicht der Summenwert 1, so wird davon ausgegangen, dass 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.

Analog kann mit Hilfe der substratspezifischen Isoplethensysteme (siehe Bild 2) für Myzelwachstum angegeben werden, wie die Pilze weiterwachsen. 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.

3. Anwendungsbeispiele für das Isoplethenmodell

In einem in [2] 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 Einbauschränk 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 Schlafräum 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 dem Einbauschränk an der Außenwand dargestellt. Nur hinter der Möblierung ergibt sich eine rasche Sporenauskeimung. In der Raumecke wird die Sporenauskeimung erst nach we-

sentlich längerer Zeit erreicht. Das Pilzwachstum nach erfolgter Keimung ist in der oberen Graphik des Bildes 3 dargestellt. In der Raumecke wird durch kurzzeitig vorhandene gute Wachstumsbedingungen die Sporenauskeimung erreicht, es kommt allerdings zu keinem nennenswerten Myzelwachstum. Dies ist hinter der Möblierung anders. Dort wird ein großflächiger Pilzbefall prognostiziert, was auch in der Realität beobachtet werden konnte. Es wurden nur Messwerte für einen Zeitraum von 25 Tagen in Bild 3 dargestellt. Aus dem Verlauf der Kurve wird aber ersichtlich, dass das Pilzwachstum hinter dem Schrank noch deutlich zunehmen wird. Dies konnte durch die Besichtigung der Wohnung bestätigt werden.

Aber auch an nach heutigem Standart gedämmten Wänden kann Schimmelpilzbildung auftreten, wie die folgenden Berechnungen zeigen. Dabei wurde von einem Wandaufbau mit einem U-Wert von $0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ ausgegangen. Gemäß [3] wird der innere Wärmeübergangskoeffizient für die ungestörte Wand mit $8 \text{ W/m}^2\text{K}$ und für die Wandecke mit $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ angenommen. Hinter dem Schrank wird dementsprechend ein Wert von $4 \text{ W/m}^2\text{K}$ bzw. in der Ecke von $2 \text{ W/m}^2\text{K}$ zugrunde gelegt. Außerdem wird bei der Berechnung der Oberflächentemperatur mit Hilfe des eindimensionalen Wärme- und Feuchtetransportberechnungsprogramms WUFI [4] in den Ecken der geometrische Wärmebrückeneffekt durch eine entsprechend erhöhte Wärmeleitfähigkeit berücksichtigt. Die Berechnungen wurden für eine Innenluftfeuchte von 50 % relative Feuchte durchgeführt. Um auch mangelhafte Belüftung zu berücksichtigen, wurde zusätzlich eine relative Innenluftfeuchte von 60 % angesetzt. Bild 4 zeigt den Verlauf der Außenlufttemperatur im Zeitraum Oktober bis März.

Bild 5 zeigt die ermittelten Rechenergebnisse bei 50 % Raumlufffeuchte (beim Vergleich mit den Ergebnissen von Bild 3 ist der andere Zeitmaßstab zu beachten). Nur in der Ecke hinter dem Schrank kommt es während der kalten Dezemberperiode zur Sporenauskeimung. Ein ausgeprägtes Pilzwachstum ist aber nicht zu erwarten. Ein anderes Bild ergibt sich dagegen bei einer Raumlufffeuchte von 60 % (Bild 6). Auch in der freien Wandecke ist ein Beginn der Keimung zu beobachten; eine vollständige Keimung wird aber nicht erreicht

werden. In der Ecke hinter dem Schrank kommt es dagegen bereits im Oktober bei Temperaturen um 0 °C zur Sporenauskeimung und es wird ein deutliches Pilzwachstum auftreten.

4. Funktionsweise des biohygrothermischen Modells

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

Der Wassergehalt einer Spore wird auch durch biologische Vorgänge mitgesteuert, für die allerdings der derzeitige Kenntnisstand nicht ausreichend ist, um sie genau zu modellieren. Man kann aber davon ausgehen, dass erst ab einem gewissen Grenzwassergehalt die Spore anfängt zu keimen und damit biologische Stoffwechselfvorgänge beginnen. Bis dahin kann die Spore als nicht-lebendes Material betrachtet werden, dessen Eigenschaften mit physikalischen Gesetzmäßigkeiten beschrieben werden können. Das biohygrothermische Modell betrachtet die Entwicklung der Spore bis zu diesem Zeitpunkt. Die Spore kann aufgrund der Abmessungen isotherm betrachtet werden, somit können Flüssigtransportvorgänge (z. B. kapillares Saugen) der Diffusion zugeschlagen werden. Unter diesen Annahmen sind für die Berechnung des Feuchtehaushalts einer Spore als Materialkennwerte nur die Feuchtespeicherfunktion und der feuchteabhängige Wasserdampfdiffusionswiderstand der Sporenwand erforderlich.

Bild 7 zeigt schematisch einen Wandaufbau mit an der Innenoberfläche anhaftender Spore (stark vergrößert). Im biohygrothermischen Modell wird die Pilzspore als ein „biologischer“ Wandaufbau betrachtet. Eine derartige gleichzeitige Berechnung der Spore als „Bauteilschicht vor der Wand“ ist aber nicht möglich, da die Spore in diesem Fall für die Wand einen (der Realität widersprechenden)

hohen Diffusionswiderstand bewirken würde. Deshalb erfolgt in einem ersten Schritt die reine Berechnung des Feuchtehaushalts der Wand. Die berechneten Klimaverläufe der Bauteiloberfläche werden in einem zweiten Berechnungsschritt als Randbedingung für die biohygrothermischen Berechnung der „Modellspore“ verwendet. Es wird beim Vorhersagemodell davon ausgegangen, dass es einen Grenzwassergehalt gibt, ab dem es in der Spore zur Keimung kommt. Wird dieser Wassergehalt in der Spore erreicht oder überschritten, ist mit Schimmelwachstum zu rechnen. Die Berechnungen erfolgen mit dem hygrothermischen rechenverfahren WUFI [4].

5. Anwendungsbeispiel für das biohygrothermischen Modells

Dächer mit Blecheindeckung weisen einen sehr hohen Dampfdiffusionswiderstand auf, so dass nach außen so gut wie keine Feuchte entweichen kann. Dies bedeutet, dass mittels diffusionsoffener Dampfsperren auf der Innenseite die Austrocknung eines Daches, vor allem in den warmen Sommermonaten, nach innen, also zum Raum, erfolgen muss. Ein Vergleich verschiedener Dampfbremsen wurde in umfangreichen Freilanduntersuchungen im Gelände des Fraunhofer-Institut für Bauphysik (IBP) durchgeführt [5]. Aufgrund hoher Einstrahlungen auf der Südseite und damit erhöhter Temperaturen im Bereich der Blecheindeckung kommt es zur sogenannten "Umkehrdiffusion". Dies bedeutet, dass in Richtung des Temperaturgradienten Feuchte von der Außenseite nach innen diffundiert und es somit an den Dampfbremsen vorübergehend zu einer erhöhten Feuchtelast kommen kann. Im Gegensatz zu Rauminnenwänden ergeben sich aufgrund der hohen solaren Einstrahlungen und des niedrigen Diffusionswiderstandes der Mineralwollgedämmung erhebliche kurzfristige Oberflächenfeuchteschwankungen an den Dampfbremsen, weshalb hier für die Schimmelpilzvorhersage das quasistationäre Isoplethenmodell nicht ausreicht, sondern das instationäre biohygrothermische Modell anzuwenden ist.

Das Satteldach mit einer Neigung von 50° hat eine Ost/West-Orientierung. Das heißt, es ergeben sich nach Norden und Süden geneigte Dachflächen. Bild 8

zeigt den grundsätzlichen Aufbau der Versuchsdachflächen mit folgenden Ausführungen. Zwischen den Sparren war durchgehend Mineralwolle in der Dicke der Sparrenhöhe (18 cm) in der Wärmeleitfähigkeitsgruppe 040 eingebracht worden, so dass keine Luftschicht zwischen Dämmung und der rohen Holzschalung (30 mm) gegeben ist. Für Sparren und Holzschalung wurde feuchtes Holz mit einem Wassergehalt von mindestens 30 M.-% verwendet. Bei den Dampfbremsen handelt es sich um eine Dampfbremspappe aus Natronkraftpapier mit einem s_d -Wert von ca. 3 m, einer Polyethylenfolie mit s_d -Wert 50 m und einer feuchteadaptiven Dampfbremsfolie aus Polyamid mit einem s_d -Wert, der je nach Umgebungsfeuchte, zwischen 0,4 m und 4 m liegt.

In Bild 9 oben sind für den beschriebenen Dachaufbau die gemessenen bzw. umgerechneten Verläufe der relativen Luftfeuchte auf der raumseitigen Oberfläche des Natronkraftpapiers und der feuchteadaptiven Dampfbremse dargestellt. Die Oberflächentemperaturen waren nahezu zeitlich konstant bei etwa 21 °C (nicht dargestellt). Die Verläufe der Temperatur und Luftfeuchte dienen als Randbedingung für die im zweiten Schritt berechneten Verläufe der Feuchtegehalte der Modellspore. Die in Bild 9 unten dargestellten Feuchtegehaltsverläufe der Spore auf beiden Materialien zeigen aufgrund des hohen Diffusionswiderstandes der Sporenwand einen im Vergleich zur Oberflächenfeuchte wesentlich ruhigeren Verlauf. Für die Spore auf dem Natronkraftpapier ergeben sich im Vergleich zur feuchteadaptiven Dampfbremse höhere Feuchten mit bis zu 60 Vol.-%. In das Diagramm mit eingezeichnet sind die die Keimung bestimmenden Grenzwassergehalte für die Substratgruppen I und II. Da bei diesem Aufbau annähernd konstante Oberflächentemperaturen vorliegen, sind die Grenzwassergehalte zeitlich fast unverändert. Man erkennt, dass der Feuchtegehalt der Spore auf dem Natronkraftpapier (Substratgruppe I) über einen relativ langen Zeitraum deutlich über seinem Keimungswassergehalt liegt. Nach rund 30 Tagen kommt es zu Schimmelwachstum, was mit den Beobachtungen während der Untersuchung übereinstimmt. Bei der Polyamidfolie ist nur eine kurzfristige Überschreitung festzustellen; ein Schimmelwachstum ist hier nicht zu erwarten und auch nicht beobachtet worden.

6. Zusammenfassung

Die bisher üblichen Bewertungsmethoden für Schimmelpilzbefall gehen in der Regel von stationären Randbedingungen aus. Während in den gängigen Angaben in Deutschland meist nur die relative Feuchte als Kriterium genannt wird, werden international mittlerweile immer häufiger biologisch gemessene Isoplethensysteme für die Bewertung zugrunde gelegt. Dabei sind temperaturabhängig relative Feuchten genannt, bei deren Überschreitung Schimmelpilzbefall auftreten kann. Es wird ein Vorhersagemodell auf Basis dieser Isoplethen vorgestellt und dessen Anwendbarkeit am Beispiel des Schimmelwachstums für verschiedene Stellen der Innenwände demonstriert. Dabei zeigt sich, dass auch an gut gedämmten Außenwänden bei nicht ausreichendem Luftwechsel durch die damit verbundene hohe Raumlufffeuchte Schimmelpilzwachstum auftreten kann. Dies gilt allerdings nur dann, wenn an die Außenwand Möbel platziert werden.

Das auf dem Isoplethenmodell aufbauende biohygrothermische Modell ermöglicht erstmals die Berücksichtigung von sich ändernden Temperaturen und relativen Feuchten und damit verbundene eventuelle Austrocknung der Sporen, indem das hygrothermische Verhalten einer Schimmelpilzspore beschrieben wird. Anhand des Beispiels eines eingehend messtechnisch untersuchten Blechdachs kann die Leistungsfähigkeit des Modells zur Klärung der Schimmelwachstumsgefahr demonstriert werden. Damit ist eine Basis geschaffen, Schimmelpilzbildung instationär zu beschreiben.

7. Literatur

- [1] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).
- [2] Reiß, J.; Erhorn, H.: Beurteilung von Feuchteschäden. IBP-Bericht WG 47/1997 des Fraunhofer-Instituts für Bauphysik, Stuttgart (1997).
- [3] Rudolphi, A.; Kirchner, D.: Ökologische und gesundheitsorientierte Baustoff- und Konstruktionsauswahl. Moriske, H.-J.; Turouski, E. (Hrsg.):

Handbuch für Bioklima und Lufthygiene. ecomed-Verlag, Landsberg am Lech (2000), 3. Erg. Lfg., Kap. IV-7.1, S. 13 - 24.

- [4] Künzel, H.M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Diss. Universität Stuttgart. (1994).
- [5] Künzel, H. M; Großkinsky, T.: Feuchtesicherheit unbelüfteter Blechdächer; auf die Dampfbremse kommt es an! wksb 43 (1998), H. 42, S. 22-27.

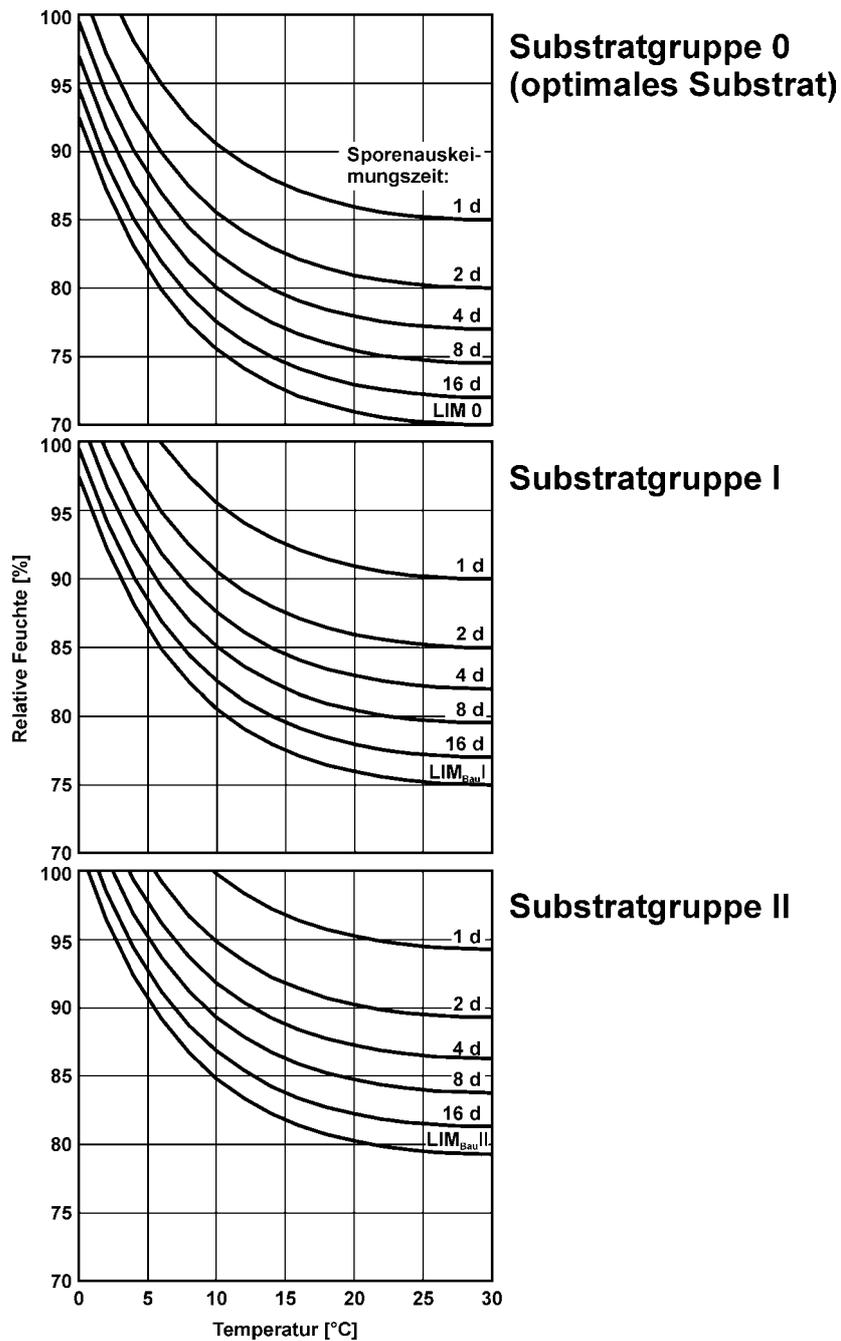


Bild 1: Verallgemeinertes Isoplethensystem für Sporenauskeimung nach [1], das für alle im Bau auftretende Pilze gilt. Bild oben gilt für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und Bild unten für II. Die angegebenen Werte charakterisieren die Zeitdauer, nach welcher eine Keimung abgeschlossen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

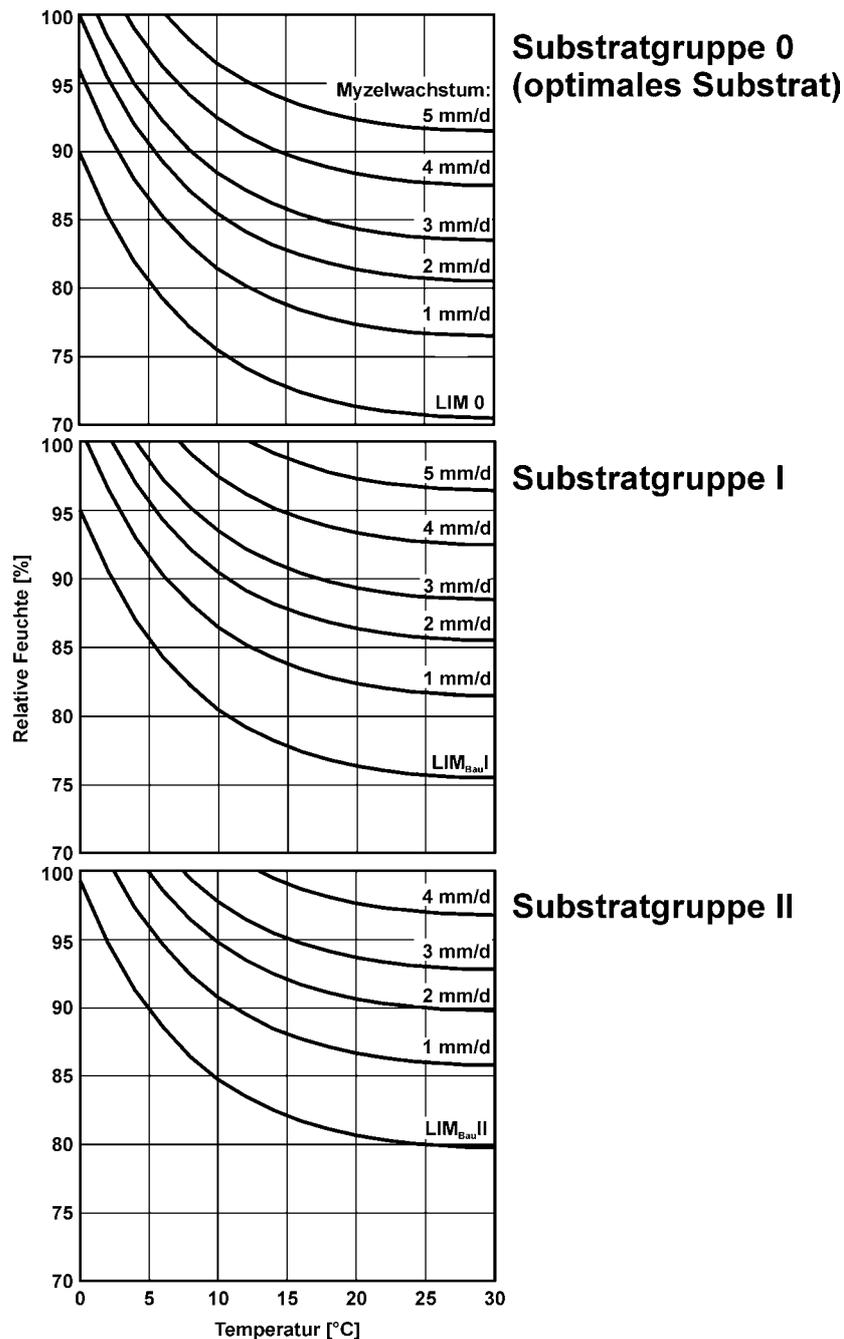


Bild 2: Verallgemeinertes Isoplethensystem für Myzelwachstum nach [1], das für alle im Bau auftretende Pilze gilt. Bild oben gilt für optimales Substrat, Mitte für Substratgruppe I und Bild unten für II. Die angegebenen Werte in mm/d charakterisieren das zu erwartende Wachstum. LIM bedeutet: Lowest Isopleth for Mould.

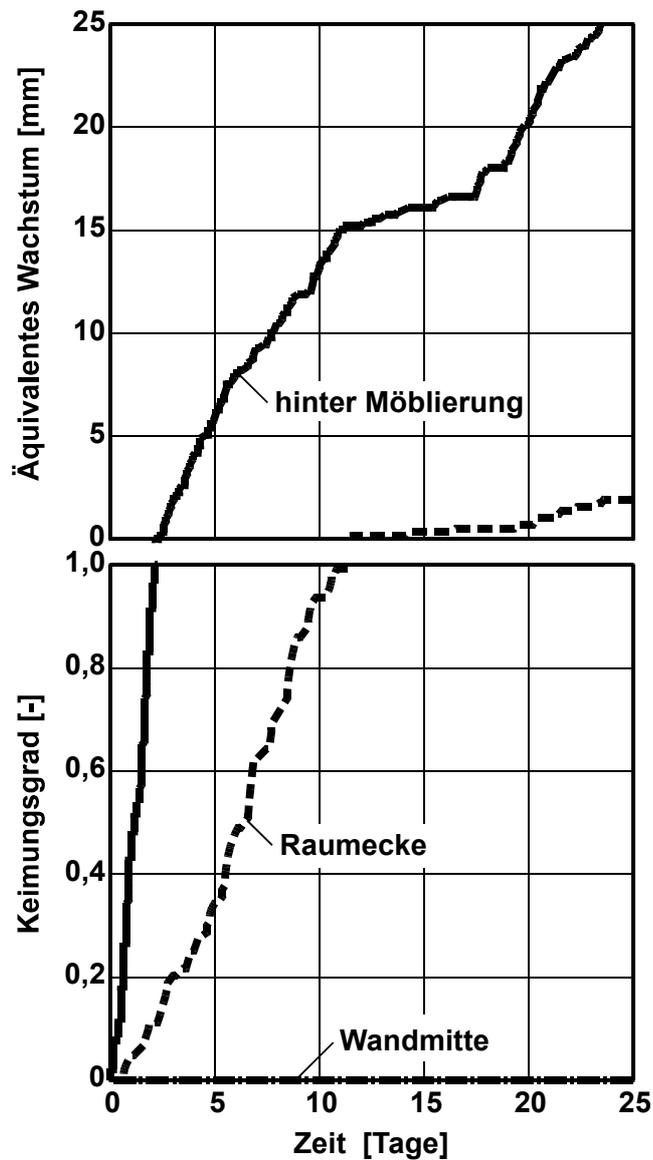


Bild 3: Mit dem Isoplethenmodell ermittelte Zeitverläufe von Keimung und Wachstum der Spore nach dem Isoplethenmodell für 3 verschiedene Stellen (Wandmitte, Ecke und hinter Möbliierung). Zugrunde gelegt sind gemessene Oberflächentemperaturen und Feuchten eines im Jahr 1955 gebauten und 1993/94 sanierten Gebäudes

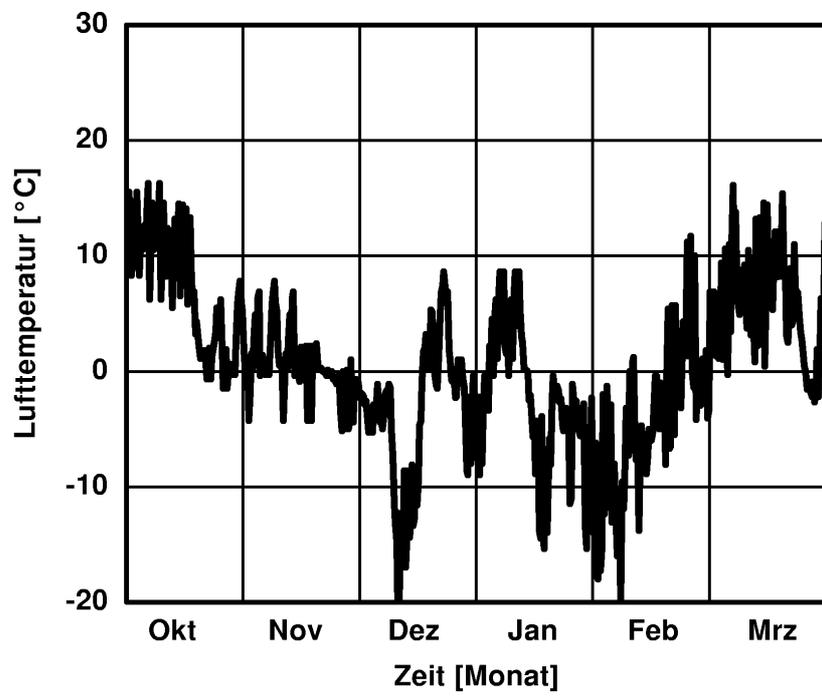


Bild 4: Zeitlicher Verlauf der Außenlufttemperatur im Berechnungszeitraum.

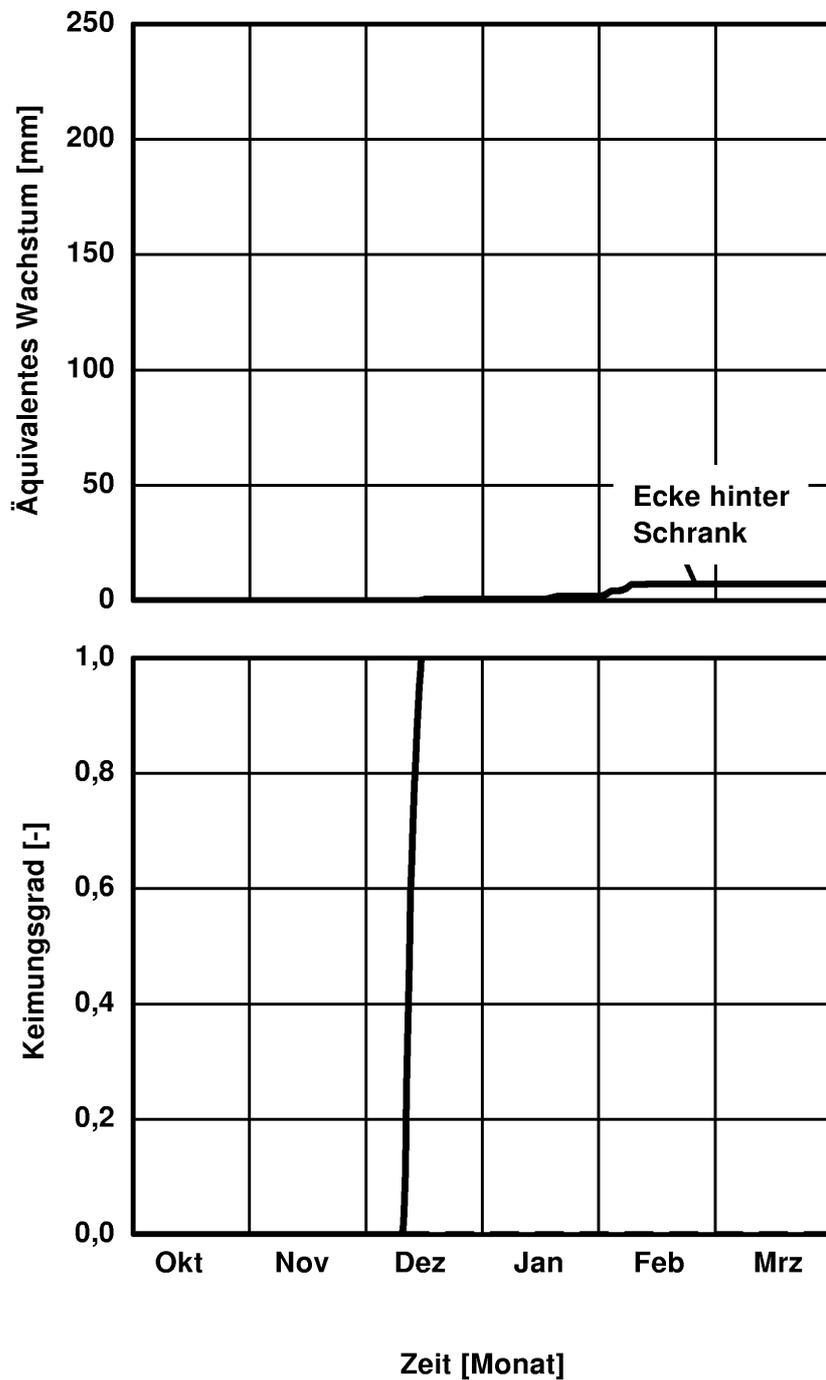


Bild 5: Mit dem Isoplethenmodell ermittelte Zeitverläufe von Keimung und Wachstum der Spore nach dem Isoplethenmodell für die Ecke hinter der Möblierung. Zugrunde gelegt sind berechnete Oberflächentemperaturen und feuchten eines Wandaufbaus mit einem U-Wert von $0,25 \text{ W/m}^2$ bei einer Raumlufffeuchte von 50 % relative Feuchte. In Wandmitte und in der freien Wandecke trat keinerlei Keimung auf.

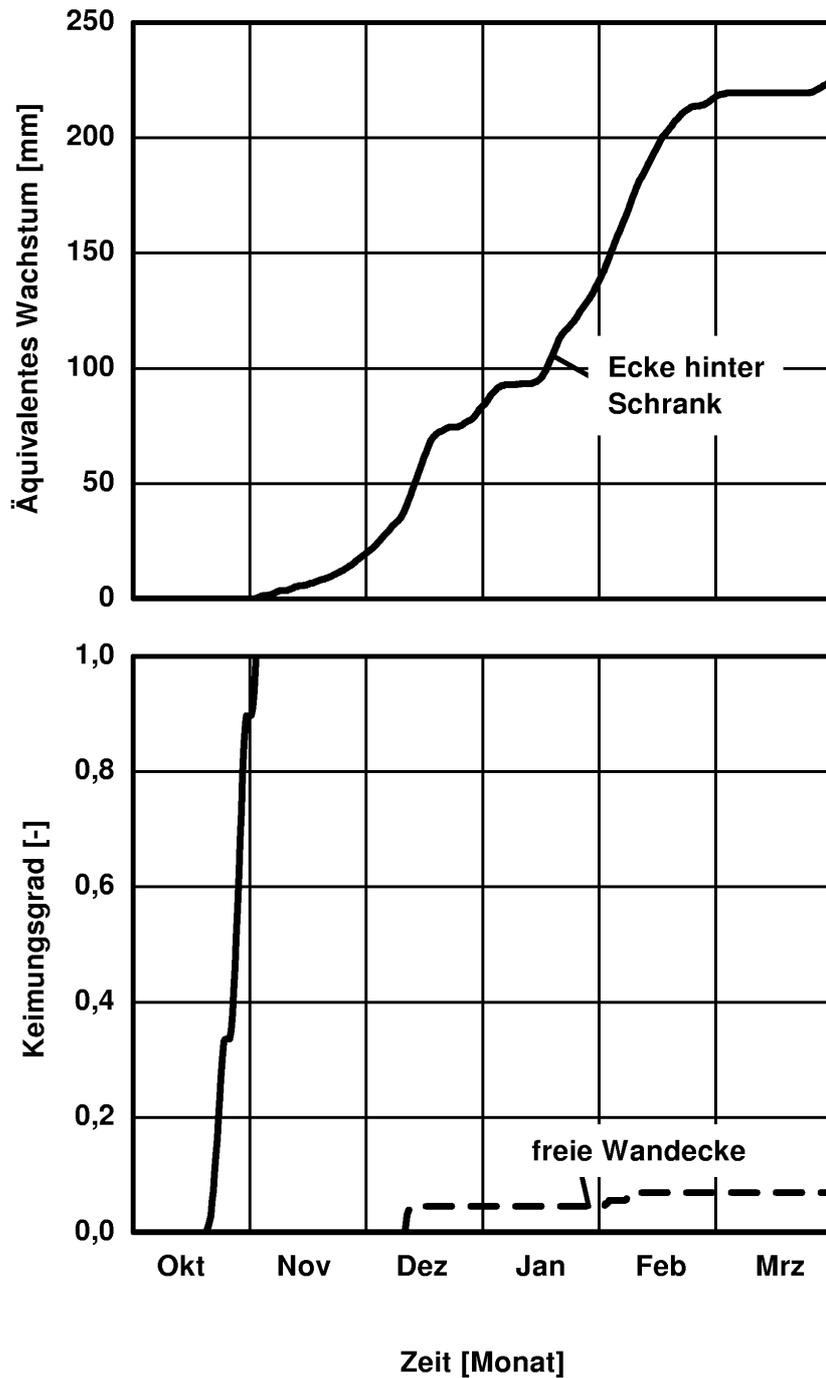


Bild 6: Mit dem Isoplethenmodell ermittelte Zeitverläufe von Keimung und Wachstum der Spore nach dem Isoplethenmodell für zwei verschiedene Stellen (freie Wanddecke und Ecke hinter Möblierung). Zugrunde gelegt sind berechnete Oberflächentemperaturen und feuchten eines Wand-aufbaus mit einem U-Wert von $0,25 \text{ W/m}^2$ bei einer Raumluftfeuchte von 60 % relative Feuchte. In Wandmitte trat keinerlei Keimung auf.

Modellspore

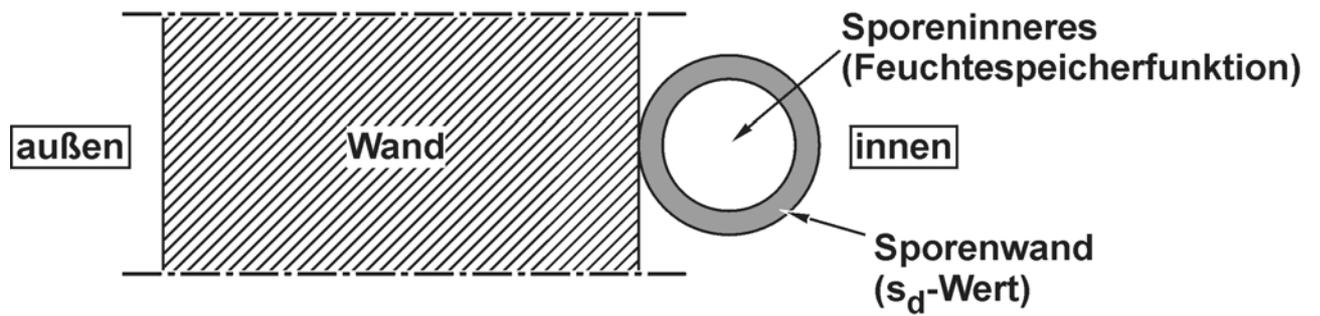
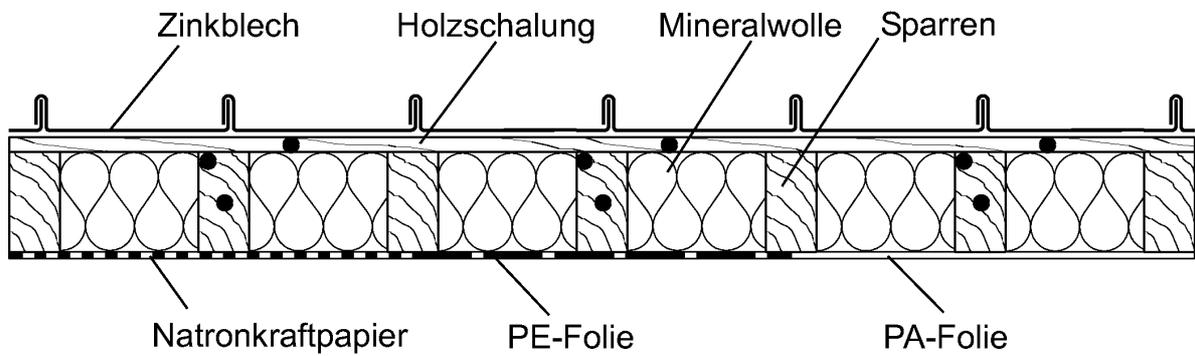


Bild 7: Schematisierte Darstellung einer (stark vergrößerten) Spore auf einer Wand nach [1].



- Holzfeuchte-meßstellen

Bild 8: Versuchsvarianten zum Austrocknungsverhalten von unbelüfteten Dächern. Der Aufbau mit Natronkraftpapier zeigte starke Schimmelpilzbildung

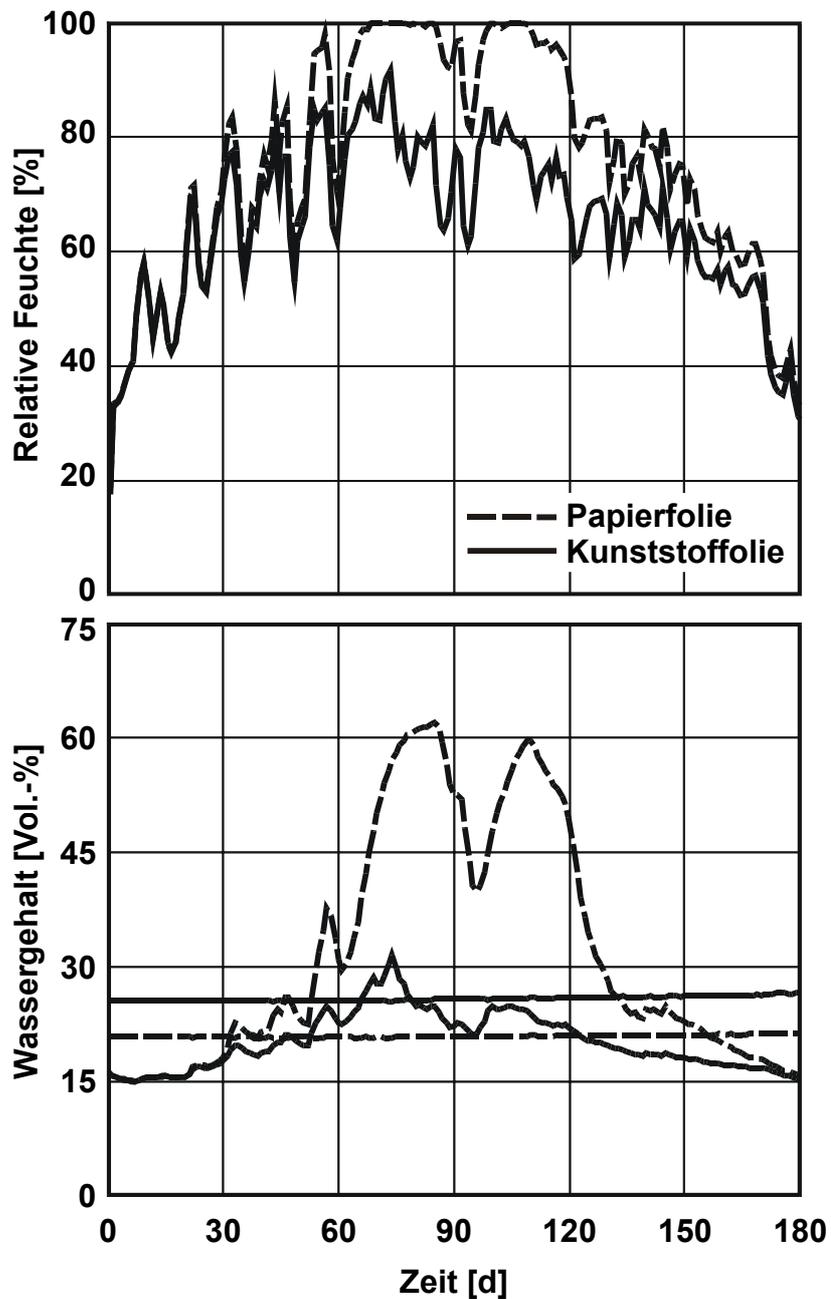


Bild 9: Zeitverläufe der mit dem Rechenprogramm WUFI ermittelten relativen Feuchten an den Dampfbremsen aus Papierfolie und Kunststoffolie (Bild oben) sowie des Wassergehalts in den auf den Dampfbremsen sich befindlichen Sporen (Bild unten).

Im unteren Diagramm sind zusätzlich die Grenzwassergehalte, ab denen Keimung eintritt, eingetragen.