

Innendämmung und Schimmelpilzproblematik

Dr.-Ing. Martin Krus; Prof. Dr. Klaus Sedlbauer
Fraunhofer-Institut für Bauphysik

KURZFASSUNG. Die Innendämmung kann bei unsachgemäßem Aufbau Schimmelpilzprobleme mit sich bringen. Dabei können drei Ursachen, nämlich die Hinterströmung der Dämmung mit Raumluft, Fehlstellen in der Dämmung und die Wärmebrückenwirkung von einbindenden Wänden oder Decken genannt werden. Mit Hilfe hygrothermischer Berechnungen wird gezeigt, dass eine Hinterströmung der Dämmung und Fehlstellen unbedingt zu vermeiden sind. Dagegen führt die Innendämmung im Übergangsbereich zur einbindenden Wand oder Decke nicht zu einer kritischen Situation, weil hier die ausgeprägte Wärmebrücke zur warmen Seite eher eine höhere Temperatur und damit geringere Feuchte bewirkt.

ABSTRACT. The interior insulation can cause mould problems, especially with inappropriate workmanship. Here above all three causes are to be noted, the convective flow with indoor air at the backside of the insulation, gaps in the insulation system and the thermal bridge effect within adjacent walls or ceilings. With hygrothermal calculations it is shown that the convective flow and gaps are absolutely to be avoided. The presence of interior insulation does not lead to a critical situation in the contact zone to the integrating wall or ceiling because here the thermal bridge to the warm side leads to a higher temperature and thus a lower humidity.

Schlagwörter: Innendämmung, Schimmelpilzwachstum, Fehlstellen, Hinterströmung

1. Einleitung

Bei der Sanierung von Altbauten sind die derzeit geltenden Bestimmungen zur Energieeinsparung und zum klimabedingten Feuchteschutz in der Regel zu erfüllen. Oftmals setzen jedoch wirtschaftliche Zwänge oder Forderungen des Denkmalschutzes dem bautechnisch Machbaren enge Grenzen und es gilt, einen tragbaren Kompromiss zwischen Wärmeschutz und Wohnkomfort auf der einen Seite und dem vorhandenen Budget bzw. der Erhaltung des historischen Erscheinungsbildes auf der anderen Seite zu finden. Eine Innendämmung, die aus bauphysikalischer Sicht maßgebliche Nachteile mit sich bringt und deshalb mit besonderem Sachverstand erstellt werden muss, kommt deshalb vor allem dann zum Einsatz, wenn eine Außen- oder Kerndämmung aus den oben genannten Gründen nicht möglich ist.

Anhand der schematischen Darstellung in Bild 1 lassen sich die mit einer Innendämmung verbundenen Problembereiche leicht erkennen (Bild 1). Die nachträgliche Innendämmung führt bei niedrigen Außentemperaturen zu einer Absenkung der Temperatur der Außenwand. Dies kann dazu führen, dass die Trocknung der Wand nach außen und infolge des Diffusionswiderstandes der Innendämmung auch die nach innen deutlich reduziert wird. Bei nicht ausreichendem Regenschutz kann damit durch die Innendämmung ein außenseitiger Frostschaden hervorgerufen werden. Ist der Aufbau der Innendämmung dagegen zu diffusionsoffen, führt dies gelegentlich zu Tauwasser auf der Innenseite der Bestandswand und damit zu einer kontinuierlichen Auffeuchtung. Die Innendämmung kann bei unsachgemäßem Aufbau aber auch Schimmelpilzprobleme mit sich bringen. Hier sind vor allem drei Ursachen zu nennen, die Hinterströmung der Dämmung mit Raumluft, Fehlstellen in der Dämmung und die Wärmebrückenwirkung von einbindenden Wänden oder Decken. Zur Klärung werden zu diesen drei Fragestellungen im Folgenden Ergebnisse hygrothermischer Berechnungen gezeigt und diskutiert.

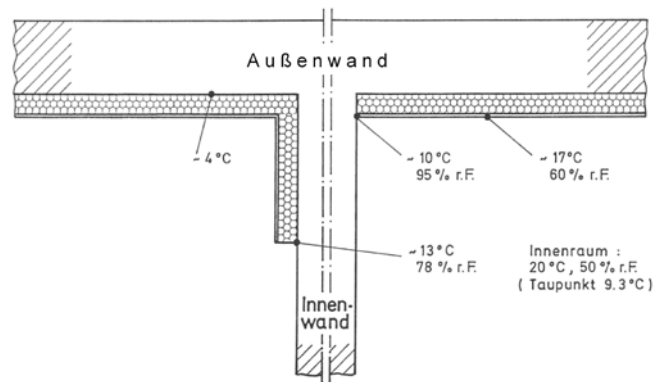


Bild 1: Schematische Darstellung der Wärmebrückenproblematik bei Innendämmung [1].

2. Durchführung der Untersuchungen

Für die rechnerische Untersuchung von gekoppelten Wärme- und Feuchtetransportvorgängen liegen am IBP ein erprobtes eindimensionales sowie ein zweidimensionales EDV-Programm WUFI-2D[®] vor. Bisherige Beschreibungen des Feuchtetransportverhaltens von Baustoffen mit Hilfe dieser Verfahren haben eine gute Übereinstimmung zwischen rechnerischer Aussage und praktischer Untersuchung am Objekt ergeben z.B. [2 - 4]. Bei den Berechnungen wird als typisches Beispiel für einen Altbau ein Ziegelmauerwerk zugrunde gelegt, das mit einem Wärmedurchgangskoeffizient von 1,25 W/m²K nur geringfügig oberhalb des Mindestdämmstandards liegt. Als Außenklima dient das für den Standort Holzkirchen typische Jahresklima. Als Wärmeübergangskoeffizienten wird innenseitig von 8 W/m²K und außen-seitig von 17 W/m²K ausgegangen. Für das Innenklima dienen Wohnraumverhältnisse mit normaler Feuchtelast (entsprechend WTA-Merkblatt 6-3-01/D [5]). Dies bedeutet einen sinusförmigen Jahresgang der Raumlufttemperatur mit sommerlichem Maximum von 22 °C und winterlichem Minimum von 20 °C sowie einen ebenfalls sinusförmigen Jahresgang der relativen Raumluftfeuchte mit sommerlichem Maximum von 60 % und winterlichem Minimum von 40 %. Sämtliche Materialkennwerte kommen als Standardwerte aus der WUFI[®]-Materialdatenbank. Die Berechnungen werden für einen Zeitraum von mehreren Jahren durchgeführt, um den eingeschwungenen Zustand beurteilen zu können.

Biohygrothermisches Modell WUFI[®]-Bio

Da die Temperatur- und Feuchteverhältnisse wesentliche Einflussfaktoren für das Schimmelpilzwachstum darstellen, kann aus der Kenntnis der hygrothermischen Bedingungen und deren zeitlicher Veränderung eine Wachstumswahrscheinlichkeit für Schimmelpilze abgeleitet werden. Sog. 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, werden Isoplethensysteme für drei unterschiedliche Substratgruppen (Grenzkurve LIM_{Bau}) vorgeschlagen: 0 = optimaler Nährboden, I = biologisch gut verwertbar, II = biologisch kaum verwertbare Substrate.

Aufbauend auf diesen Isoplethensystemen wurde, um die Wirkungsweise der wesentlichen Einflussgröße auf die Auskeimung der Sporen, nämlich die bei bestimmten Temperaturen verfügbare Feuchte, bauphysikalisch korrekt beschreiben zu können, ein biohygrothermisches Modell entwickelt. Dieses ist in der Lage, den Feuchtehaushalt einer Spore in Abhängigkeit von instationären Randbedingungen rechnerisch zu ermitteln, also auch ein zwischenzeitliches Austrocknen der Pilzsporen zu berücksichtigen. Bild 2 zeigt schematisch die dem biohygrothermischen Verfahren WUFI[®]-Bio zugrunde liegende Modellspore. Dieses instationäre

Verfahren beruht auf dem Grundgedanken, dass eine Pilzspore wegen der in ihr vorhandenen Stoffe ein gewisses osmotisches Potential besitzt, mit dessen Hilfe Wasser aus der Umgebung aufgenommen werden kann. Die Feuchtaufnahme der Spore durch die Sporenwand hindurch wird im Modell mittels eines Diffusionsansatzes erfasst.

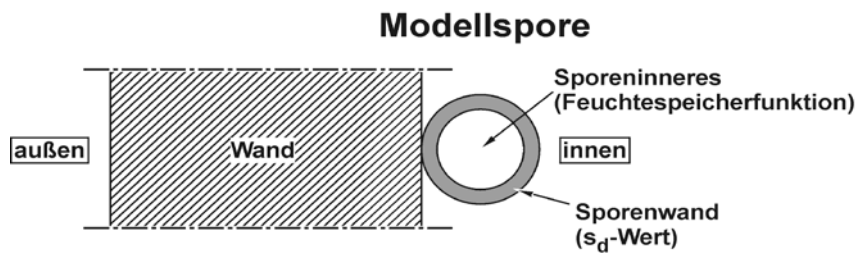


Bild 2: Schematisierte Darstellung einer Spore auf einer Wand. Das reale Verhältnis zwischen Sporendurchmesser und Wanddicke beträgt rund 1:100.000.

Ist ein bestimmter Wassergehalt (Grenzwassergehalt) im Sporennernen erreicht, kann die Sporenceimung als abgeschlossen betrachtet werden und das Schimmelpilzwachstum beginnt. Dieser Grenzwassergehalt wird mithilfe der Isoplethensysteme für Sporenauskeimung festgelegt. Details zu diesem Modell, das bereits vielfach erfolgreich zur Beurteilung von Schimmelpilzschäden angewandt wurde, sind in [6] enthalten.

3. Hinterströmung der Dämmung

Für die Untersuchung des Einflusses einer Hinterströmung der Innendämmung mit Innenluft wird von einer 6 cm dicken Innendämmung mit Polystyrol und innenseitiger Bepunktung mit Gipskarton ausgegangen. Entsprechend einer korrekten Ausführung wird zunächst von einer vollflächigen Verklebung des Dämmstoffes ausgegangen. Zum Vergleich wird, wie mit dem eindimensionalen WUFI[®]-Pro möglich, unterhalb der Dämmschicht von einem Austausch mit der Innenluft mit Luftstrom 1 l/m² pro Minute ausgegangen. Bild 3 zeigt den Jahresverlauf der Luftfeuchte hinter der Dämmung ohne (links) und mit Hinterströmung (rechts).

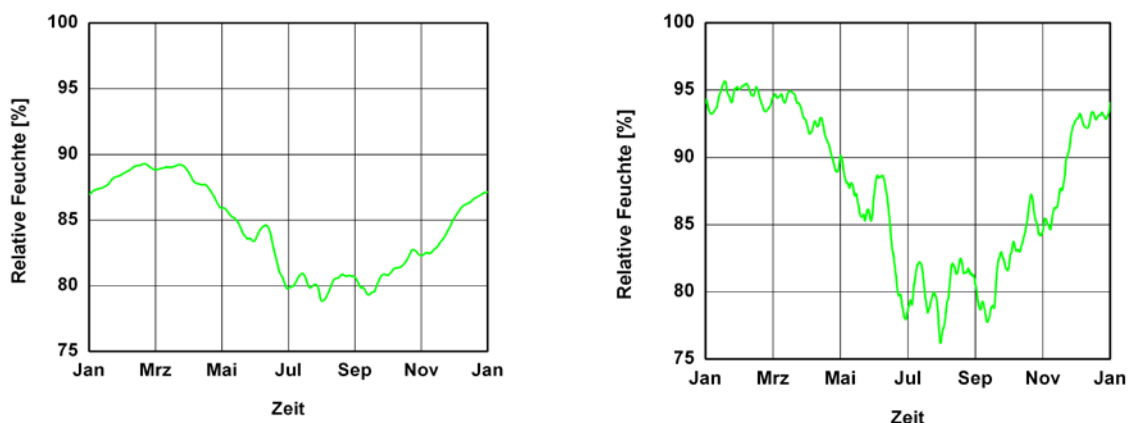


Bild 3: Jahresverlauf der Luftfeuchte hinter der Dämmung ohne (links) und mit Hinterströmung (rechts).

Zwar führt die Hinterlüftung zu etwas trockeneren Bedingungen im Sommer, im Winter ist trotz dieser nur geringfügigen Hinterlüftung die Luftfeuchte aber deutlich höher. Wesentlich wichtiger ist aber, dass durch die Hinterlüftung an diese Stelle Sporen eingetragen werden und damit Schimmelpilzwachstum erst ermöglicht wird. Die Berechnung mit WUFI[®]-Bio, dessen Anwendung nur bei Luftzutritt Sinn macht, ergibt ein deutliches Wachstum hinter dem Dämmstoff (siehe Bild 4) vor allem in der Übergangszeit, wenn hinter der Dämmung

moderate, für das Wachstum förderliche Temperaturen vorliegen. Durch den Bezug zur Innenraumluft ist damit eine entsprechende Gesundheitsgefährdung gegeben.

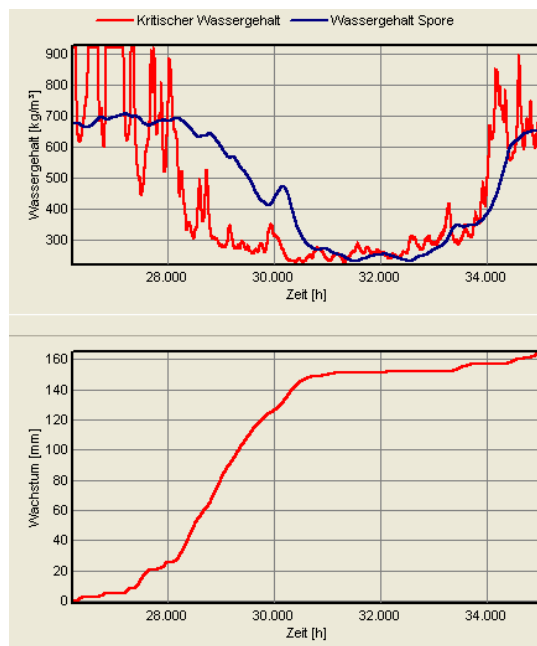


Bild 4: Ergebnis der Berechnungen mit WUFI[®]-Bio für den Wandaufbau mit Hinterströmung der Dämmung für Substratgruppe II im 4. Jahr der Berechnung (eingeschwungener Zustand). Die obere Abbildung zeigt den Vergleich zwischen berechnetem Sporenwassergehalt (blaue Linie) und dem Grenzwassergehalt (rote Linie), bei dessen Überschreitung Schimmelpilzwachstum auftreten kann. Die untere Abbildung zeigt das berechnete Schimmelpilzwachstum.

4. Berechnungen zur Fehlstellenproblematik

Für die Untersuchung des Einflusses einer bis auf die Außenwand durchgängigen Fehlstelle werden zweidimensionale Berechnungen durchgeführt. Dabei wird jeweils eine 1 mm dicke Luftschicht implementiert, die auch durch den Innenputz geht. Betrachtet wird als kritischste Stelle jeweils die hygrothermische Situation am Ende des Luftspaltes. Die Berechnungen werden über einen Zeitraum von drei Jahren durchgeführt. Bild 5 zeigt den implementierten Wandaufbau mit angenommener Fehlstelle. Aufgrund der Innendämmung werden an der Innenseite der tragenden Wand im Winter zeitweise Temperaturen von unter 0 °C erreicht (Bild 6). Dementsprechend ergeben sich Oberflächenfeuchten von knapp über 95 %.

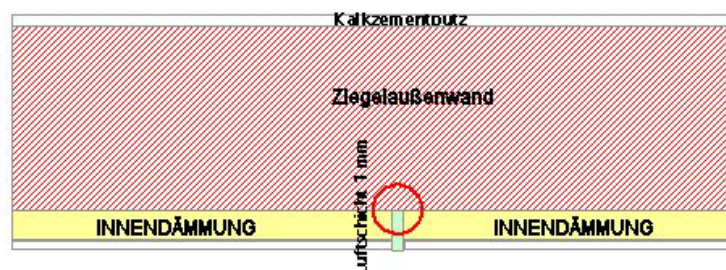


Bild 5: Implementierter Wandaufbau mit einer Innenwand aus massivem Ziegel und Darstellung der Fehlstelle.

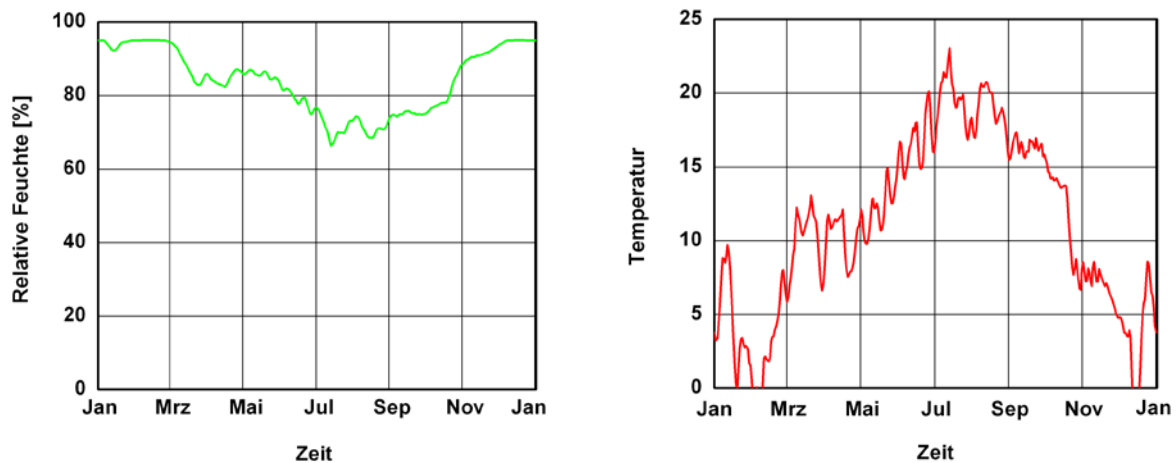


Bild 6: Berechnete Oberflächenfeuchten (links) und –temperaturen (rechts) am Ende der bis auf die Außenwand durchgängigen Fehlstelle.

Erwartungsgemäß ergibt sich auch mit Substratgruppe II bei Verwendung des Prognosemodells WUFI®-Bio ein deutliches Wachstum, wie aus Bild 7 ersichtlich.

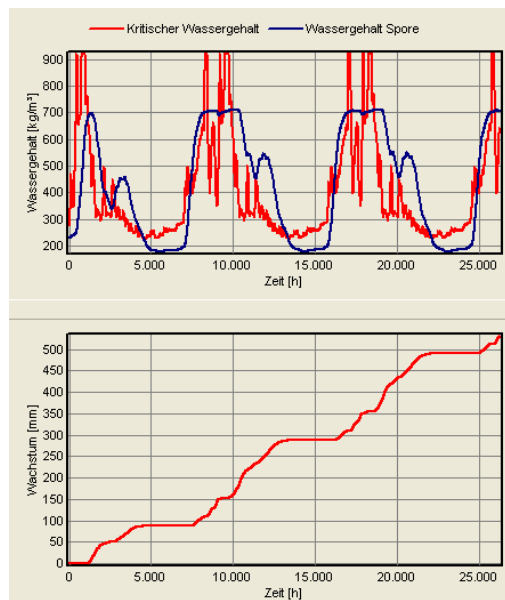
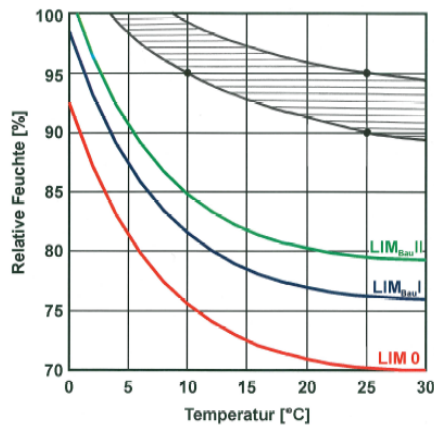


Bild 7: Ergebnis der Berechnungen mit WUFI®-Bio für die Fehlstelle im Wandaufbau für Substratgruppe II im Verlauf von 3 Jahren.

Als kapillaraktiver Dämmstoff werden zur Innendämmung häufig Kalziumsilikatplatten eingesetzt. Diese gelten als besonders schimmelpilzwidrig. Zur Klärung wird deshalb speziell an diesem Material die Schimmelpilzanfälligkeit getestet. Für die Untersuchung werden Prüfkörper aus älteren Kalziumsilikatplatten hergestellt, um eine anfängliche fungizide Wirkung eines neuen Materials (z.B. durch anfänglich hohem pH-Wert) auszuschließen. Die mikrobiologischen Untersuchungen zur Ermittlung der Schimmelpilzresistenz unter definierten Randbedingungen (Temperatur, relative Luftfeuchte) der zu untersuchenden Materialien werden mittels eines speziell am Fraunhofer Institut für Bauphysik entwickelten Prüfstandes durchgeführt [7]. Die Ergebnisse können in ein Isoplethenmodell zur Berechnung des Schimmelpilzwachstumsrisikos unter realen instationären Randbedingungen integriert werden. Das in Bild 8 dargestellte Ergebnis zeigt die hohe Schimmelpilzresistenz der untersuchten Kalziumsilikatplatten. Erst oberhalb von einer Ausgleichsfeuchte entsprechend 90 % kann Schimmelpilzbildung auftreten.



Substratgruppen

II biologisch kaum verwertbare Substrate (z.B. mineralische Baustoffe)

I biologisch gut verwertbare Substrate (z.B. Tapeten, Verschmutzung)

0 optimales Substrat (biologische Vollmedien)

Bild 8: Integration der Versuchsergebnisse für die Kalziumsilikatplatte in ein Isoplethenmodell. Die Grenzisoplethe für das geprüfte Material liegt innerhalb der schraffierten Fläche. Unterhalb der schraffierten Fläche ist während der gesamten Versuchsdauer keinerlei Schimmelpilzwachstum aufgetreten und daher auch im Realeinsatz nicht zu erwarten.

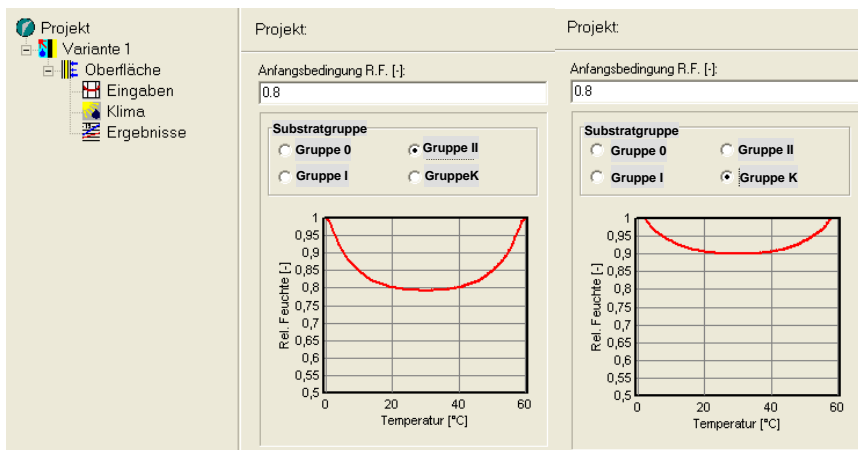


Bild 9: Erweiterung des Schimmelpilzberechnungsmodells WUFI[®]-Bio um eine für die Kalziumsilikatplatte gültige Substratklasse K mit im Vergleich zur Substratgruppe II deutlich höherer Grenzisoplethe.

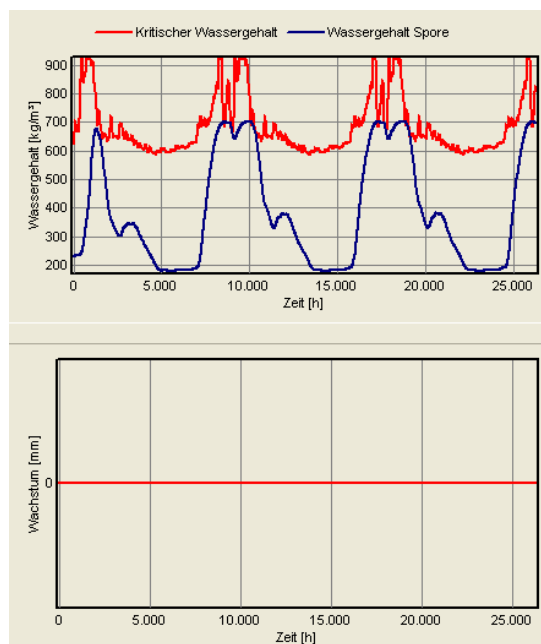


Bild 10: Ergebnis der Berechnungen mit WUFI[®]-Bio für die Fehlstelle im Wandaufbau für die spezielle für das Kalziumsilikat entwickelte Substratgruppe K im Verlauf von 3 Jahren.

Für die Beurteilung des Schimmelpilzrisikos wurde das Berechnungsmodell WUFI®-Bio um eine spezielle Substratklasse K erweitert, bei der die für die Kalziumsilikatplatte ermittelte Schimmelpilzgrenzisoplethe berücksichtigt wird (siehe Bild 9). Berücksichtigt man die schimmelpilzwidrigen Eigenschaften des Kalziumsilikats, ergibt sich kein Schimmelpilzwachstum (siehe Bild 10). Hierbei muss natürlich angemerkt werden, dass dies nur für das untersuchte Material gilt und nicht für zum Teil stark in seinen Eigenschaften unterschiedliche Kalziumsilikatplatten anderer Hersteller oder verschmutztes Material.

5. Berechnungen zur Anbindung Innenwand/Innendecke

Da im Altbaubereich die Decken und Innenwände meist ohne thermische Trennung an die Außenwand angebunden sind, ist damit in Außenwandnähe auch deren Temperatur zum Teil deutlich erniedrigt. In Bild 1 ist dies am Beispiel einer angrenzenden Innenwand veranschaulicht (stationäre Betrachtung). Die Innendämmung bewirkt eine Absenkung der Oberflächentemperatur auf der Innenseite des Mauerwerks. Da die Innenwandoberfläche über die Außenwand abgekühlt wird, könnte sich am Übergang zu dem gedämmten Bereich eine abgesenkte Temperatur mit der Folge von Schimmelpilzwachstum einstellen. Bei den Berechnungen wird als Ausgangsvariante ein Wandaufbau mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten entsprechend einem Altbau und eine typische Decken- bzw. Innenwandinbindung zugrunde gelegt. Bild 11 zeigt den implementierten Wandaufbau mit einer Innenwand aus massiven Ziegeln.

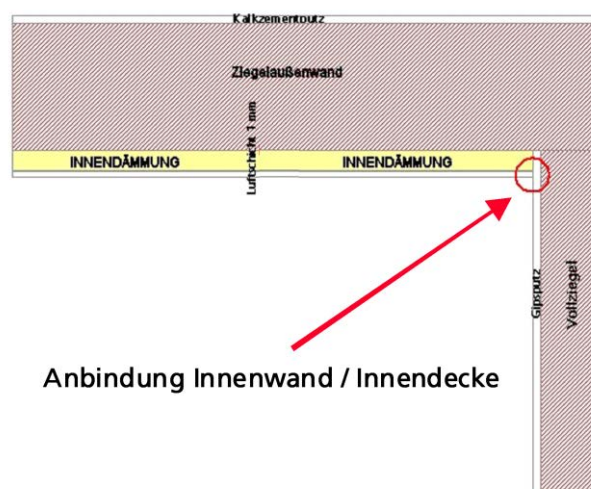


Bild 11: Implementierter Wandaufbau mit einer Innenwand aus massivem Ziegel und Darstellung des Problembereichs einbindende Innenwand / Innendecke.

Die sich im Jahresverlauf an der Übergangsstelle zwischen dem Innenputz auf der Innendämmung und der einbindenden Wand ergebenden Verläufe der Oberflächenfeuchte sind für Dämmstoffvarianten mit 6 cm Polystyrol, 6 cm Mineralwolle und 10 cm Kalziumsilikat in Bild 12 dargestellt. Man erkennt, dass die Wahl des Dämmstoffes keinen Einfluss auf das Ergebnis hat. Das ist nicht verwunderlich, da alle drei Varianten nahezu den gleichen Wärmedurchlasswiderstand besitzen und hierbei nur dieser das Ergebnis beeinflussen dürfte. Für die weiteren derartigen Berechnungen wird deshalb der Dämmstoff nicht variiert. Es wird aus den drei Grafiken allerdings auch ersichtlich, dass an dieser Stelle keinerlei Schimmelpilzrisiko vorliegt, da die Oberflächenfeuchten nur Maximalwerte von knapp über 60 % erreichen. Die höchsten Oberflächenfeuchten werden nicht im Winter, sondern in den Sommermonaten erreicht.

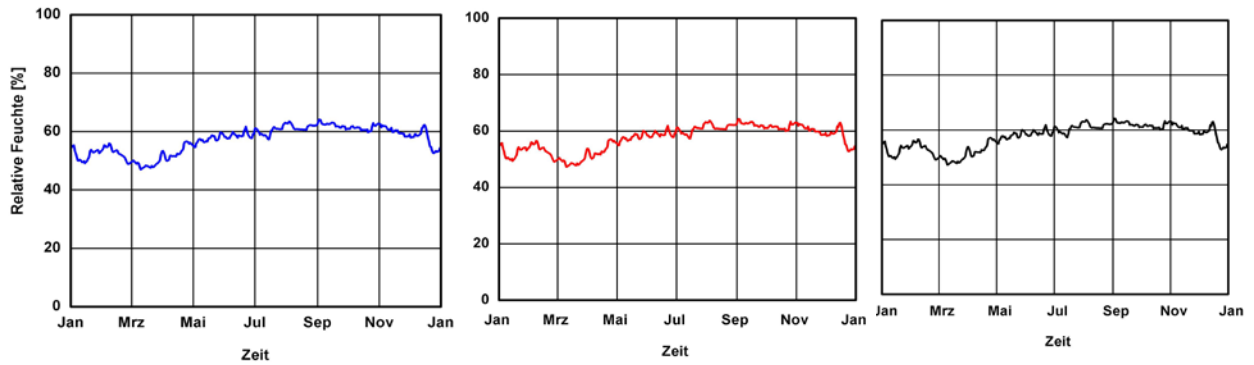


Bild 12: Berechnete Oberflächenfeuchten an der Übergangsstelle zwischen dem Innenputz auf der Innendämmung und der einbindenden Wand für drei unterschiedliche Dämmstoffvarianten mit gleichem Wärmewiderstand.

Nachdem die einbindende Innenwand aus Ziegel in Bezug auf das Schimmelpilzrisiko überraschenderweise unkritisch ist, wird als extremere Variante eine Betondecke implementiert, die 30 cm in die Außenwand einbindet. Mit dieser Betondecke ergibt sich nur eine geringfügig höhere Oberflächenfeuchte, die ebenfalls völlig unkritisch ist (Bild 13).

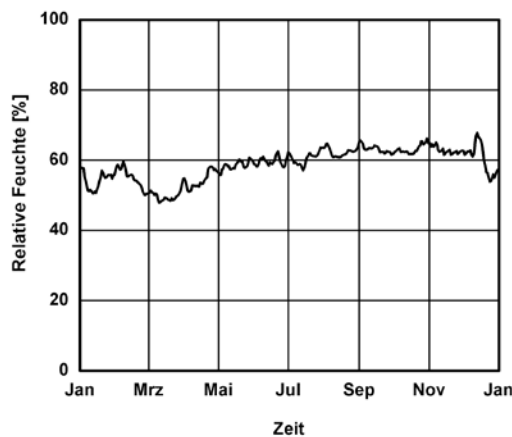


Bild 13: Berechneter Verlauf der Oberflächenfeuchte an der Übergangsstelle zwischen dem Innenputz auf der Innendämmung und der einbindenden Betondecke.

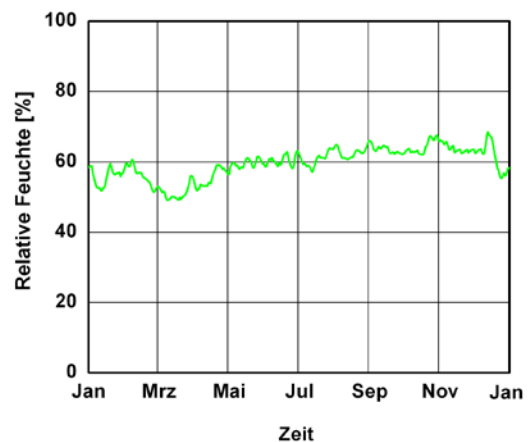
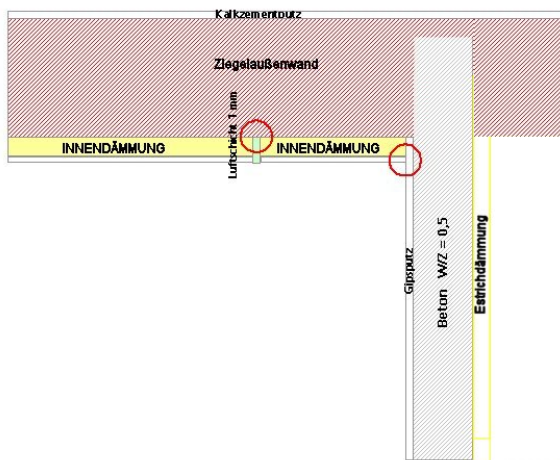


Bild 14: Implementierter Wandaufbau (links) mit einer Betondecke, die oberseitig mit einer Estrichdämmung versehen ist, und berechneter Verlauf der Oberflächenfeuchte an der Übergangsstelle zwischen dem Innenputz auf der Innendämmung und der einbindenden Betondecke mit Estrichdämmung.

Die Betondecke wirkt zwar als Wärmebrücke, aufgrund ihrer großen innen liegenden Oberfläche führt dies aber eher zu einer Erwärmung an der Grenze zwischen Dämmung und Decke. Dieser Effekt könnte aber durch eine oberseitige Estrichdämmung reduziert werden, die entsprechend dem in Bild 14 links dargestellten Aufbau ebenfalls berechnet wird. Der berechnete Verlauf der Oberflächenfeuchte wird aber auch hier durch die Innendämmung gemäß Bild 14 rechts nur geringfügig erhöht. Der Grund liegt ebenfalls darin, dass die Innendecke eher zu einer Erwärmung im Übergangsbereich führt, wie anhand der für Mitte Februar berechneten und in Bild 15 dargestellten Temperaturverteilung ersichtlich wird.

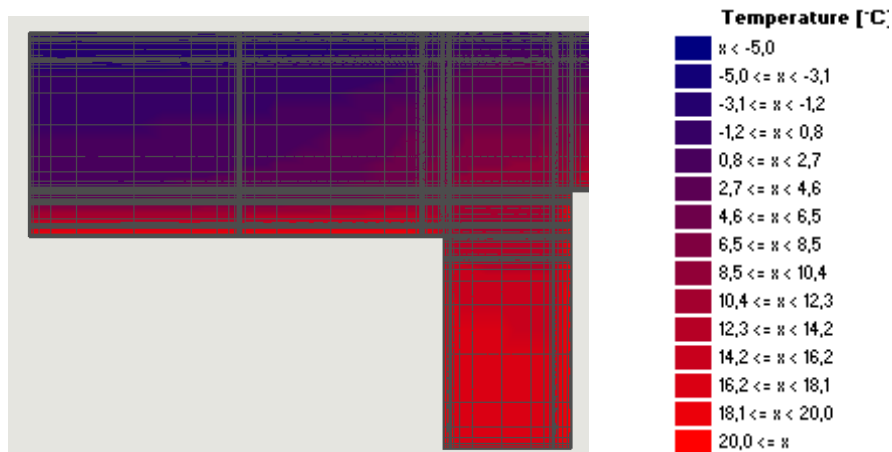


Bild 15: Temperaturverteilung in der Konstruktion aus Bild 14 links für Mitte Februar.

Als letzter Fall wird eine Version berechnet, bei der zwischen Decke und Innendämmung durch eine unfachgemäße Anbringung ein Spalt mit 1 mm Dicke auftritt. Um die Situation noch kritischer zu gestalten, wird hierbei die Betonwand bis zum Außenputz durchgezogen. Am Boden des Luftspaltes zwischen der Innendämmung und der einbindenden Betondecke mit Estrichdämmung werden nun Oberflächenfeuchten von zeitweise oberhalb 80 % erreicht, allerdings bei niedrigen Temperaturen von zum Teil unter 5 °C (Bild 16).

Der Vergleich der mit und ohne Innendämmung berechneten Oberflächenfeuchten und -temperaturen in der Ecke zwischen Außenwand und der einbindenden Betondecke (Bild 16 und Bild 17) zeigt, dass durch die Innendämmung an dieser Stelle in den Wintermonaten die Oberflächentemperatur zum Teil um mehr als 5 °C niedriger liegt als ohne Dämmung. Dies führt zu etwas höheren Oberflächenfeuchten.

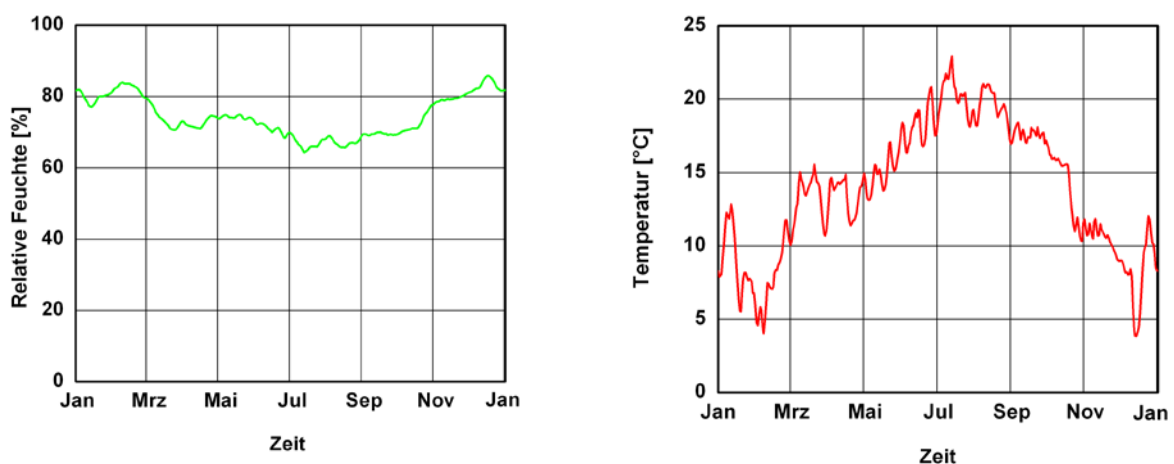


Bild 16: Berechnete Oberflächenfeuchten und -temperaturen am Boden des Luftspaltes zwischen der Innendämmung und der einbindenden Betondecke mit Estrichdämmung.

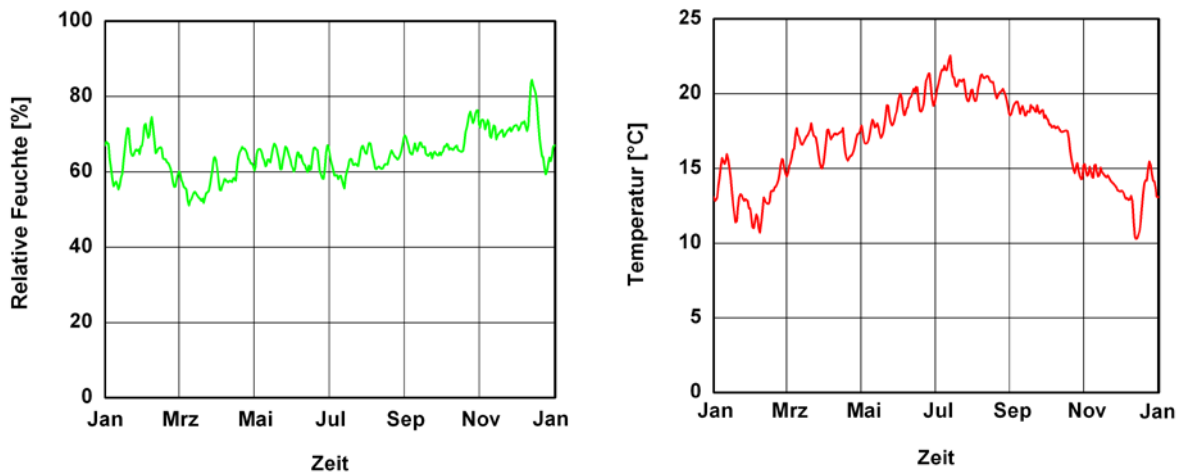


Bild 17: Ohne Innendämmung berechnete Oberflächenfeuchten und -temperaturen in der Ecke zwischen Außenwand und der einbindenden Betondecke mit Estrichdämmung.

Bild 18 zeigt das Ergebnis der Berechnungen mit WUFI®-Bio. Bei diesen Berechnungen wird die Substratgruppe II zugrunde gelegt, zu der der eingesetzte Innenputz zu zählen ist. Ohne Innendämmung ist hiernach keine Schimmelpilzbildung zu befürchten, da der Sporenwasser-gehalt stets deutlich unterhalb des Grenzwassergehaltes bleibt. Auch mit Innendämmung wird dieser nie überschritten, der Abstand dazu ist allerdings etwas geringer.

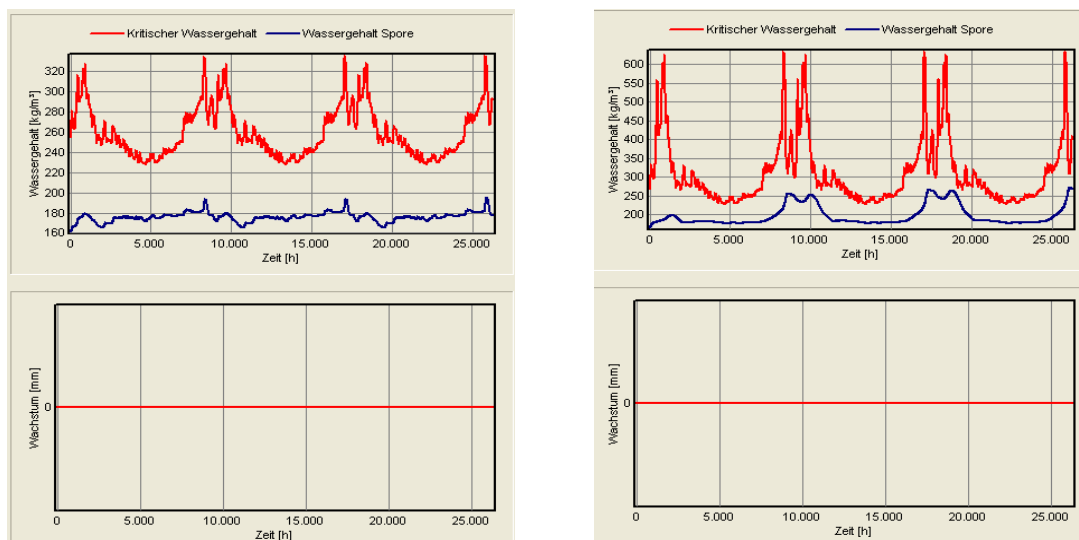


Bild 18: Ergebnis der Berechnungen mit WUFI®-Bio für den Wandaufbau ohne (links) und mit Innendämmung (rechts) für die Substratgruppe II im Verlauf von 3 Jahren.

6. Zusammenfassung

Die Innendämmung hat ihre Vorteile vor allem in der bequemen und damit zumeist kostengünstigen Anbringung. Gerade für Räume, die nur sporadisch genutzt und beheizt werden (Versammlungsräume, Festsäle etc) bietet die Innendämmung entscheidende energetische Vorteile. Der Raum kann sehr schnell aufgeheizt werden, da die massiven Außenwände nicht mit erwärmt werden müssen. Eine Innendämmung stellt aber die aus bauphysikalischer Sicht kritischste Art der Dämmung dar. So ist, wie die Berechnungen zeigen, eine Hinterströmung der Dämmung unbedingt zu vermeiden. Es ist deshalb unerlässlich, auf eine luftdichte Ausführung aller Bauteile und Anschlussbereiche zu achten. Hohlräume im Bereich der Dämm-

ung sind zu vermeiden. Weiche Dämmstoffe lassen sich besser an eventuelle Wandunebenheiten anpassen als harte Platten.

Die Berechnungen mit dem Schimmelpilzprognosemodell WUFI[®]-Bio zeigen, dass bei bis auf das Mauerwerk durchgängigen Fehlstellen Schimmelpilzwachstum zu erwarten ist. Bei dem untersuchten Dämmstoff aus Kalziumsilikat ergibt sich eine andere Situation. Aufgrund seiner messtechnisch ermittelten sehr hohen Schimmelpilzresistenz, bei der erst ab Oberflächenfeuchten oberhalb von 90 % r. F. Schimmelwachstum auftritt, liegt bei Vorhandensein einer bis fast auf das Mauerwerk durchgehenden Fehlstelle in der Innendämmung trotzdem nur ein sehr geringes Schimmelpilzrisiko vor.

Nach gängiger Lehrmeinung ist der Übergangsbereich der Innendämmung zur einbindenden Wand oder Decke kritisch, wobei als Argument die Wärmebrückenwirkung der durch die Innendämmung kälteren Wand auf diesen Bereich angeführt wird. Die durchgeführten Berechnungen zeigen aber, dass hier kein besonderes Problem vorliegt, weil umgekehrt die einbindende Wand bzw. Decke durch ihre auf der warmen Seite liegenden großen Oberfläche an dieser Stelle eher für eine im Vergleich zur Wand ohne Innendämmung höhere Temperatur und damit geringere Feuchte sorgt. Ähnliche Ergebnisse finden sich auch in Veröffentlichungen anderer Autoren [8]. Sofern in dem Gebäude vor der Anbringung der Innendämmung im Übergangsbereich zur einbindenden Wand oder Decke keine Schimmelpilzprobleme aufgetreten sind, sind danach auch keine zu erwarten. Diese Aussage gilt allerdings nur unter der Voraussetzung, dass die sonstigen Randbedingungen unverändert bleiben. Liegt nach der thermischen Sanierung eine Nutzungsänderung mit höherer Feuchtelast oder ein verändertes Lüftungsverhalten (z.B. durch Einbau neuer dichter Fenster) vor, ist diese Fragestellung unter den neuen Randbedingungen zu überprüfen.

7. Literatur

- [1] Gertis, K.: Vorlesungsskript Grundlagen der Bauphysik, Universität Stuttgart.
- [2] Krus, M., Künzel, H.M. (1996): Vergleich experimenteller und rechnerischer Ergebnisse anhand des Austrocknungsverhaltens von Ziegelwänden. Internationales Symposium of CIB W67, Energy and Mass Flow in the Life Cycle of Buildings. Wien, 4.-10. August 1996, S. 493-498.
- [3] Krus, M., Künzel, H.M., Kießl, K. (1996): Feuchtetransportvorgänge in Stein und Mauerwerk. Bauforschung für die Praxis, Band 25, IRB-Verlag Stuttgart.
- [4] Künzel, H.M., Krus, M. (1995): Beurteilung des Feuchteverhaltens von Natursteinfassaden durch Kombination von rechnerischen und experimentellen Untersuchungsmethoden. Internationale Zeitschrift für Bauinstandsetzen 1, H. 1, S. 5-19.
- [5] WTA-Merkblatt 6-3-01/D: Simulation wärme- und feuchtetechnischer Prozesse. Mai 2002.
- [6] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Dissertation Universität Stuttgart (2001).
- [7] Hofbauer, W.; Breuer, K.; Tschakner, A.; Krus, M.; Sedlbauer, K.; Schoch, T. (2005): Vergleichende Untersuchungen zum Schimmelpilzwachstum auf verschiedenen Baustoffoberflächen – materialspezifische Wachstumsisoplethen. IBP-Mitteilung 32, Nr. 457.
- [8] Kehl, D. (2007): Wärmebrücken im Bestand. Teil 2: Der Schimmel steckt im Detail. Holzbau 6/2007, S. 42-44.