



Fraunhofer Institut
Bauphysik

Bauaufsichtlich anerkannte Stelle
für Prüfung, Überwachung und
Zertifizierung
Zulassung neuer Baustoffe, Bauteile
und Bauarten
Forschung, Entwicklung,
Demonstration und Beratung auf
den Gebieten der Bauphysik

Institutsleitung
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Gerd Hauser
Univ.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Sedlbauer

IBP-Bericht RKB-19-2006

Feuchtetechnische Berechnungen zum Einsatz des Klemoflex-Systems für die innenseitige Altbausanierung

Durchgeführt im Auftrag
KlemoFlex
Herrn Josef Klemens
Brückenstraße 25

54338 Schweich

Der Bericht umfasst
17 Seiten Text
1 Tabelle
15 Bilder

Dr.-Ing. M. Krus

Holzkirchen, den 15. Dezember 2006

Abteilungsleiter

Dr.-Ing. A. Holm

Bearbeiter

Dr.-Ing. M. Krus

Fraunhofer-Institut für Bauphysik
Nobelstraße 12 · D-70569 Stuttgart
Telefon +49 (0) 711/970-00
Telefax +49 (0) 711/970-3395
www.ibp.fraunhofer.de

Institutsteil Holzkirchen
Fraunhoferstr. 10 · D-83626 Valley
Telefon +49 (0) 8024/643-0
Telefax +49 (0) 8024/643-366
www.bauphysik.de

Projektgruppe Kassel
Gottschalkstr. 28a · D-34127 Kassel
Telefon +49 (0) 561/804-1870
Telefax +49 (0) 561/804-3187

1 Hintergrund und Zielstellung

In Altbauten liegen in beheizten Räumen aufgrund des niedrigen Dämmstandards häufig niedrige Innenwandoberflächentemperaturen vor, die zu hohen Oberflächenfeuchten bis hin zur Tauwasserbildung führen können. Hinzu kommt häufig auch durch mangelhafte vertikale Abdichtung bzw. ungenügendem Regenschutz von außen eindringende Feuchte. Dadurch steigt das Risiko einer Schimmelpilzbildung. In Bereichen mit aufsteigender Feuchte kommt häufig das Problem von Salzausblühungen hinzu. Zur Sanierung kann ein System der Fa. KlemoFlex eingesetzt werden. Das Besondere an diesem System ist, wie die photographische Ansicht in Bild 1 erkennen lässt, der Einsatz eines Gewirkes zwischen Untergrund und Innenputz.

Dieser Aufbau soll bauphysikalisch untersucht werden, wobei folgende Fragestellungen im Vordergrund stehen.

1. Führt dieses System zu einer Energieeinsparung?
2. Wird damit eine Verbesserung der Behaglichkeit erzielt?
3. Reduziert das System die Schimmelpilzgefahr?

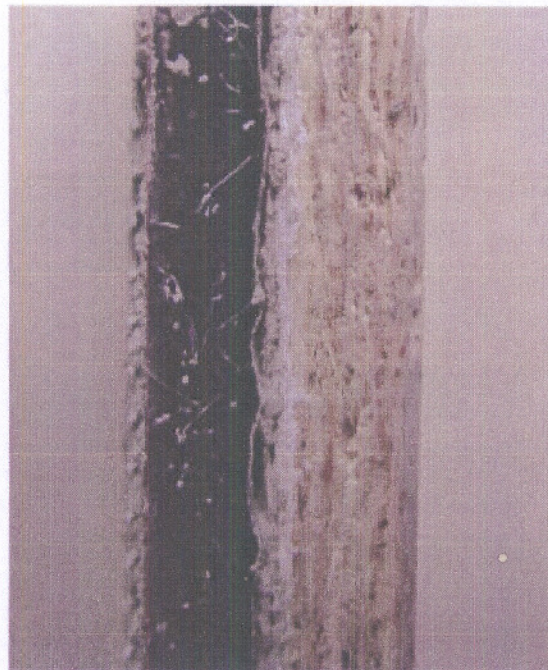


Bild 1: Ansicht des KlemoFlex-Systems mit Gewirke zwischen Untergrund und Innenputz.

2 Durchführung der Untersuchungen

Die Beantwortung der genannten Fragestellungen erfolgt durch Vergleich des hygrothermischen Verhaltens eines mit dem KlemoFlex-System sanierten Mauerwerks mit dem eines Mauerwerks mit konventionellem Innenputzaufbau. Mit Hilfe des am IBP entwickelten Programms zur instationären, eindimensionalen Berechnung des Wärme- und Feuchtetransports WUFI[®]-Pro [1] werden die hygrothermischen Verhältnisse an Wandaufbauten berechnet. Sämtliche Materialkennwerte kommen, soweit sie nicht vom Auftraggeber geliefert wurden, als Standardwerte aus der Wufi[®]-Materialdatenbank. Als Klimarandbedingungen wird für das Innenklima ein typischer Jahreszyklus für normale Wohnraumnutzung gewählt. Für das Außenklima kommen die Klimadaten von Holzkirchen zum Einsatz. Als Wandausrichtung wird die aufgrund des Schlagregens hygrothermisch kritische Westseite gewählt.

Als Wandaufbau wird ein Ziegelmauerwerk alter Bauart mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ zugrunde gelegt. Folgende Varianten werden betrachtet bzw. verglichen:

1. Ziegelmauerwerk mit typischem Außenputz und Gipsputz innen
2. Ziegelmauerwerk mit typischem Außenputz und KlemoFlex-System innen
3. Ziegelmauerwerk mit mangelhaftem Außenputz und Gipsputz innen
4. Ziegelmauerwerk mit mangelhaftem Außenputz und KlemoFlex-System innen

Die Berechnungen werden zunächst über zehn Jahre durchgeführt, um einen eingeschwungenen Zustand zu erhalten. Die Feuchteverteilung am Ende des Berechnungsvorganges dient dann als Startverteilung für die Berechnung des hygrothermischen Verhaltens in der Heizperiode von Oktober bis Anfang März.

Die Bilder 2 und 3 zeigen den implementierten Wandaufbau vor und nach einer Sanierung mit dem Klemoflex-System. Es wurde eine Ziegelwand mit einer Dicke von 36 cm gewählt, um eine typische Altbautsituation darzustellen. Beim innenseitig aufgetragenen Klemoflex-System wurde das Wirtgele mit einer Dicke von 10 mm als ruhende Luftschicht angesetzt. Die Varianten 3 und 4 unterscheiden sich von den Varianten 1 und 2 dadurch, dass der Wasseraufnahmekoeffizient des Außenputzes von $0,1 \text{ kg/m}^2\text{vh}$ auf $1 \text{ kg/m}^2\text{vh}$ hochgesetzt wurde. Auf diese Weise wird ein alter, heutigen Ansprüchen nicht mehr genügender, Außenputz berücksichtigt.

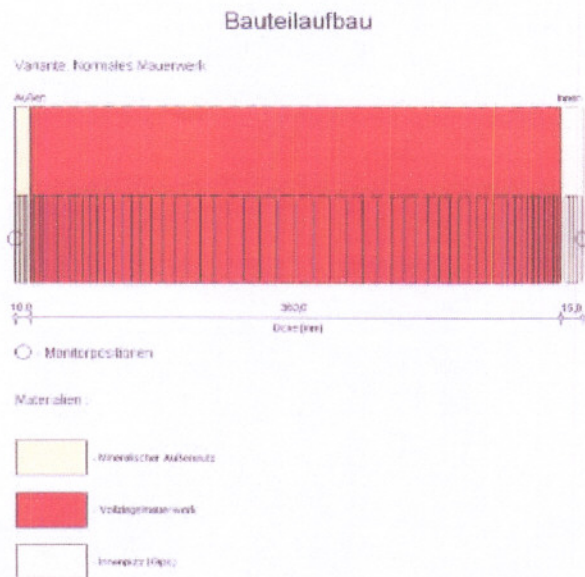


Bild 2: Implementierter Aufbau zur eindimensionalen Berechnung der Feuchtesituation der Variante 1.

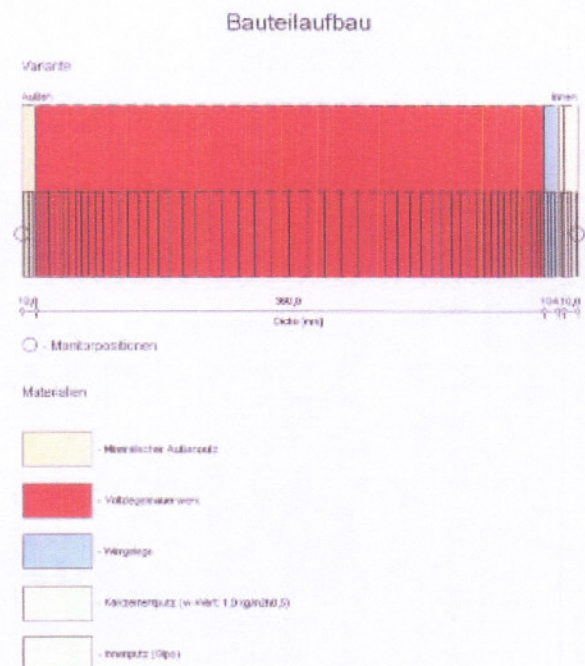


Bild 3: Implementierter Aufbau zur eindimensionalen Berechnung der Feuchtesituation der Variante 2.

Zur Beurteilung des Einflusses der Anwendung des Klemoflex-Systems auf den Energieverbrauch werden die berechneten innenseitigen Wärmeströme herangezogen. Dabei ist natürlich zu beachten, dass nur die Energieströme durch den Regelquerschnitt der Wand berechnet werden. Zusätzliche Einflüsse auf den Heizenergieverbrauch, wie z.B. Energiegewinne, -verluste durch Fenster oder Lüftungsverluste sind in diese Betrachtung nicht einbezogen.

Für die Bestimmung des Einflusses auf die Behaglichkeit werden die berechneten Innenoberflächentemperaturen verwendet. Die Beurteilung erfolgt analog zu der in der DIN EN ISO 7730 beschriebenen Vorgehensweise über den PMV (Predicted Mean Vote) -Index.

In [2] wurde ein biohygrothermisches Verfahren entwickelt, das die Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf Basis der drei wesentlichen Wachstums Voraussetzungen (Feuchte, Temperatur und Substrat) von Schimmelpilzen bei instationären Randbedingungen ermöglicht. Die wesentlichen Merkmale werden in [3] erläutert. Die Bewertung einer möglichen Schimmelpilzbildung erfolgt dabei durch den Vergleich des instationär ermittelten Wassergehalts in einer Pilzspore mit dem Grenzwassergehalt, ab dem die Spore auszukeimen und zu wachsen vermag. Dies bedeutet, dass eine längerfristige Überschreitung dieses Grenzwassergehalts Schimmelpilzbildung anzeigt. Um den Einfluss des Substrats, also des Untergrundes oder ggf. eventueller Untergrundverunreinigungen, auf die Schimmelpilzbildung berücksichtigen zu können, werden Isoplethensysteme für unterschiedliche Substratgruppen vorgeschlagen, die aus experimentellen Untersuchungen abgeleitet wurden. Dazu erfolgte in [2] eine Definition von Substratgruppen, denen unterschiedliche Untergründe zugeordnet werden:

- Substratgruppe 0: Optimaler Nährboden (z.B. Vollmedien); diese Isoplethensysteme besitzen daher die anspruchslosesten Wachstums Voraussetzungen, 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, stark verschmutztes Material.
- Substratgruppe II: Baustoffe mit porigem Gefüge, wie z.B. Putze, mineralische Baustoffe, manche Hölzer sowie Dämmstoffe, die nicht unter Substratgruppe I fallen.

Jeder Substratgruppe ist ein Isoplethensystem zugeordnet, welches das Schimmelpilzwachstum in Abhängigkeit von Temperatur und Feuchte beschreibt.

Da Schimmelpilzbildung in den meisten Fällen nicht in Wandmitte sondern aufgrund der Wärmebrückenwirkung und der in diesen Bereichen abgesenkten Wärmeübergangskoeffizienten in den Raumecken beginnt, werden hierfür die vier Varianten mit einem höheren Wärmedurchgangswert von ca. $1.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ und einem auf $5 \text{ W/m}^2\text{K}$ abgesenkten Wärmeübergangskoeffizienten berechnet.

3 Ergebnisse

3.1 Einfluss auf den Energieverbrauch

In Bild 4 ist für die Variante 1 und 2 der Verlauf der Wärmeströme an der Wandinnenseite für den Zeitraum von Oktober bis Anfang März dargestellt. Man erkennt, dass die Wärmeverluste der mit dem Klemoflex-System sanierten Wand durchgängig niedriger sind als vor der Sanierung. Bild 5 zeigt die Absenkung der Transmissionswärmeverluste in Prozent. Die Werte schwanken zwischen ca. 10 und 15 %; der Mittelwert für diesen Zeitraum liegt bei 12 %.

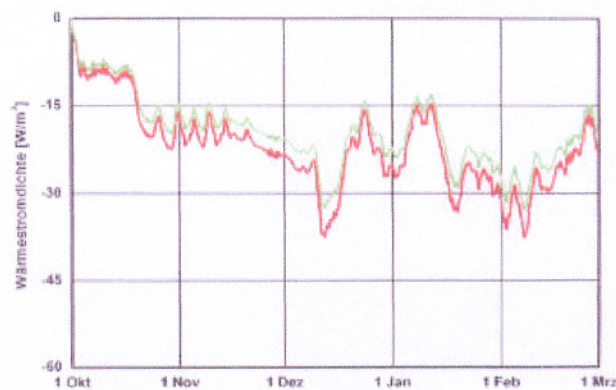


Bild 4: Verlauf der für den Zeitraum Oktober bis Anfang März berechneten Wärmeströme auf der Innenwandseite im Falle der unsanierten (rote Linie) und mit dem Klemoflex-System sanierten (grüne Linie) Altbauwand.

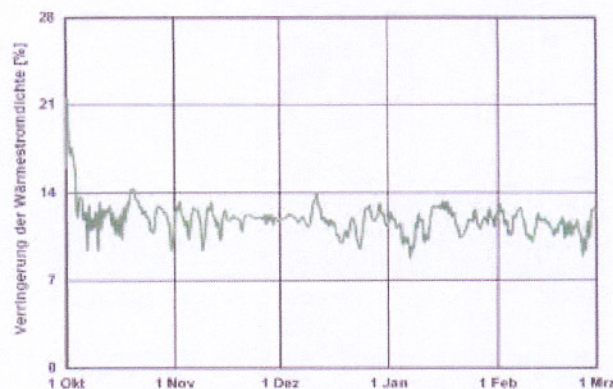


Bild 5: Verlauf der für den Zeitraum Oktober bis Anfang März für eine Altbauwand berechneten durch eine Sanierung mit dem Klemoflex-System bewirkten Verringerung der Wärmeströme auf der Innenwandseite (in Prozent).

Die Bilder 6 und 7 zeigen die Situation für eine Altbauwand mit geringem Regenschutz aufgrund eines ungenügenden Außenputz mit einem Wasseraufnahmekoeffizienten von $1 \text{ kg/m}^2\text{vh}$. Da ein derartiger Außenputz für ein Gebiet mit hohem Schlagregenanteil nicht ausreichend ist, erfolgt eine Auffeuchtung der Außenwand mit der Folge erhöhter Wärmeverluste und damit niedrigeren Oberflächentemperaturen und gegebenenfalls höheren Schimmelpilzrisiko (siehe Abschnitt 3.2 und 3.3). Man erkennt in Bild 6, dass die Wärmeverluste der mit dem Klemoflex-System sanierten Wand ebenfalls durchgängig niedriger sind als vor der Sanierung und zwar in einem etwas höheren Maße. Die Absenkung der Transmissionswärmeverluste beträgt zwischen ca. 5 und 24 %; der Mittelwert für diesen Zeitraum liegt bei 16 %.

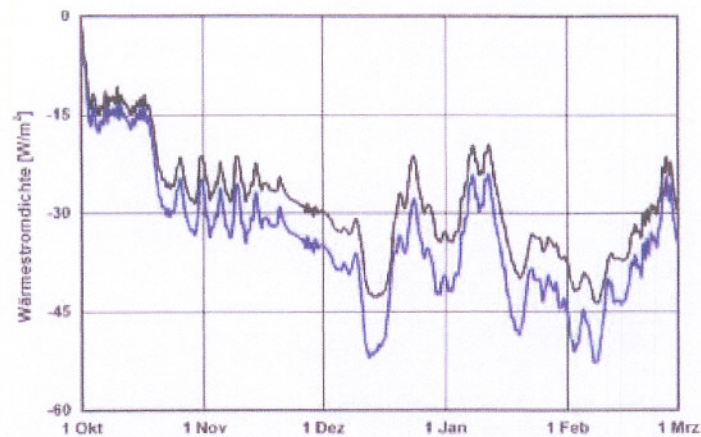


Bild 6: Verlauf der für den Zeitraum Oktober bis Anfang März berechneten Wärmeströme auf der Innenwandseite im Falle der unsanierten (blaue Linie) und mit dem Klemoflex-System sanierten (schwarze Linie) Altbauwand mit nicht ausreichendem Regenschutz.

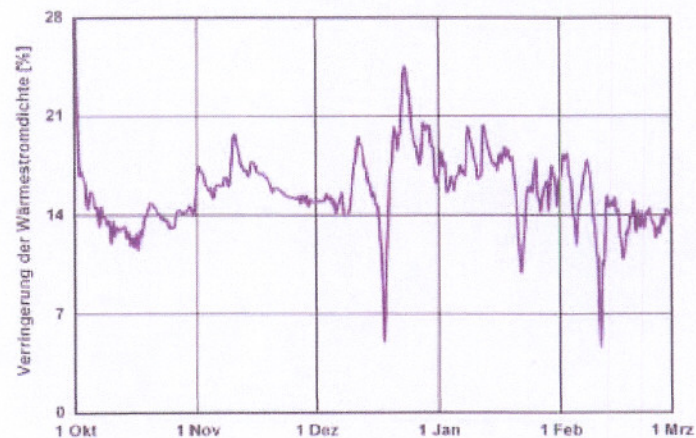


Bild 7: Verlauf der für den Zeitraum Oktober bis Anfang März für eine Altbauwand mit nicht ausreichendem Regenschutz berechneten durch eine Sanierung mit dem Klemoflex-System bewirkten Verringerung der Wärmeströme auf der Innenwandseite (in Prozent).

3.2 Einfluss auf die Behaglichkeit

Für die thermische Behaglichkeit ist neben der Raumlufttemperatur die Temperatur der Raumumschließungsflächen mit bestimmend. In Bild 8 ist der Verlauf der Innenoberflächentemperatur der Außenwand der Variante 1 dem Verlauf der Oberflächentemperatur nach einer Sanierung mit dem Klemoflex-System (Variante 2) gegenübergestellt. Es ist deutlich zu erkennen, dass nach der Sanierung permanent eine höhere Oberflächentemperatur vorliegt. Noch deutlicher sind die Unterschiede im Falle des ungenügenden Regenschutzes (Variante 3 und 4), wie aus Bild 9 ersichtlich. Vor allem bezüglich der Tiefsttemperaturen macht sich die Sanierung bemerkbar. Hier werden anstelle von $9,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ $11,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ erzielt. In Bild 10 ist der Verlauf der durch die Anwendung des Klemoflex-Systems erzielten Temperaturerhöhung für beide Anwendungsfälle dargestellt.

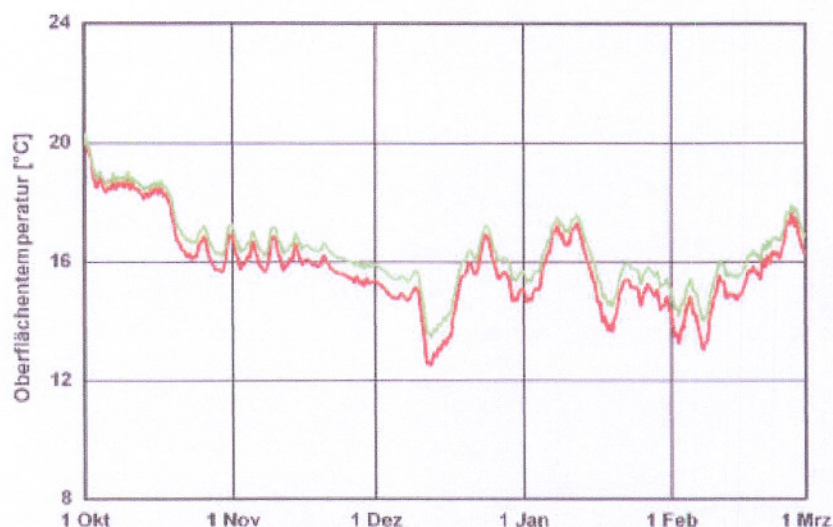


Bild 8: Verlauf der für den Zeitraum Oktober bis Anfang März berechneten Oberflächentemperaturen auf der Innenwandseite im Falle der unsanierten (rote Linie) und mit dem Klemoflex-System sanierten (grüne Linie) Altbauwand.

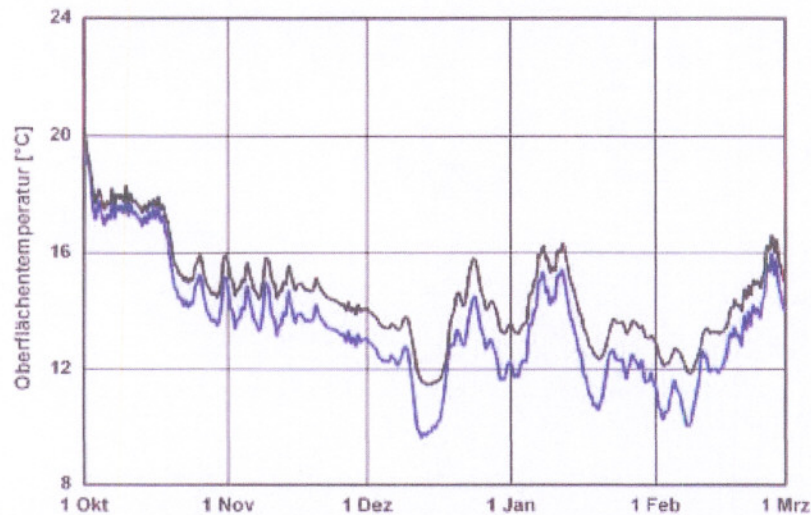


Bild 9: Verlauf der für den Zeitraum Oktober bis Anfang März berechneten Oberflächentemperaturen auf der Innenwandseite im Falle der unsanierten (blaue Linie) und mit dem Klemoflex-System sanierten (schwarze Linie) Altbauwand mit nicht ausreichendem Regenschutz.

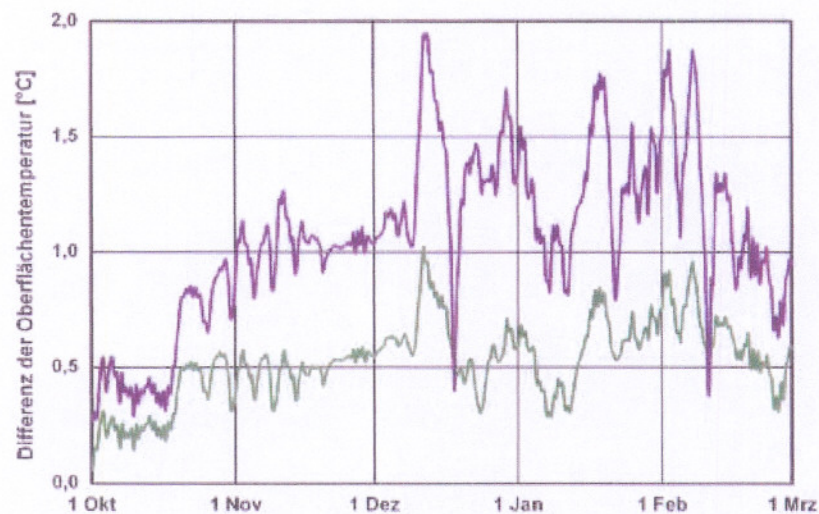


Bild 10: Verlauf der für den Zeitraum Oktober bis Anfang März berechneten durch eine Sanierung mit dem Klemoflex-System bewirkten Erhöhung der Oberflächentemperaturen bei der Altbauwand mit gutem Regenschutz (grüne Linie) und mit ungenügendem Regenschutz (violette Linie) auf der Innenwandseite.

Für die Beurteilung der Behaglichkeit werden die über die Heizperiode gemittelten Oberflächentemperaturen herangezogen (siehe Tabelle 1). Anhand dieser Temperaturen und der Raumlufttemperatur werden nach DIN EN ISO 7730 [4]

die PMV-Indexe berechnet, die die thermische Zufriedenheit beschreiben. Dabei wird von einer Raumlufttemperatur von 21 °C und –luftfeuchte von 50% r.F. ausgegangen. Als Kleidung wird eine für den Winter typische Bekleidung zugrunde gelegt (Unterwäsche, Hemd, Hose, Pullover, Socken und Schuhe). Der Energieumsatz beträgt 1,0 Met, was einer entspannten sitzenden Tätigkeit entspricht. In Tabelle 1 sind die auf Basis oben genannter Daten ermittelten PMV-Indexe aufgelistet.

Tabelle 1: Für die untersuchten Varianten ermittelte mittlere Innenoberflächentemperaturen und PMV-Index.

	Mittlere Oberflächentemperatur [°C]	Predicted Mean Vote [-]
Variante 1	15,8	-0,96
Variante 2	16,4	-0,93
Variante 3	13,5	-1,07
Variante 4	14,6	-1,02

PMV = 0 : neutral (weder kalt noch warm)

PMV = -1 : etwas kühl

PMV = -2 : kühl

In beiden Anwendungsfällen wird durch die Sanierungsmaßnahme der PMV-Index und damit das Behaglichkeitsempfinden geringfügig verbessert und zwar um 0,03 bzw. 0,05 Einheiten. Um zu verdeutlichen, was diese Differenz im praktischen Sinn bedeutet, wird hier angegeben, welche Raumlufttemperaturerhöhung den gleichen Behaglichkeitsgewinn wie die Sanierungsmaßnahme bewirkt. Im Falle des Altbaus mit gutem Regenschutz müsste die Raumlufttemperatur um ca. 0,2 K und beim Beispiel des schlechten Regenschutzes um ca. 0,4 K erhöht werden.

3.3 Einfluss auf das Schimmelpilzwachstumsrisiko

In Bild 11 ist für die Variante 1 der anhand der berechneten Oberflächenbedingungen mit Hilfe des biohygrothermischen Modells ermittelte zeitliche Verlauf des Sporenwassergehaltes im Vergleich zum temperaturabhängigen Grenzwassergehalt unter Zugrundelegung der Substratgruppe I (z.B. Rohfasertapete) dargestellt. Eine Überschreitung des Grenzwassergehaltes bedeutet den Beginn von Schimmelpilzwachstum. Man erkennt, dass der Sporenwassergehalt stets unterhalb des Grenzwassergehaltes verläuft und somit kein Schimmelpilzrisiko gegeben ist. Nur bei optimalem Substrat, also bei extremer Verschmutzung der Oberflächen mit Nährstoffen kann geringfügiges Schimmelpilzwachstum auftreten (siehe Bild 12). Nach einer Sanierung mit dem Klemoflex-System (Variante 2) kann selbst in diesem Fall, wie aus Bild 13 ersichtlich, kein Schimmelpilzwachstum auf der Wand auftreten.

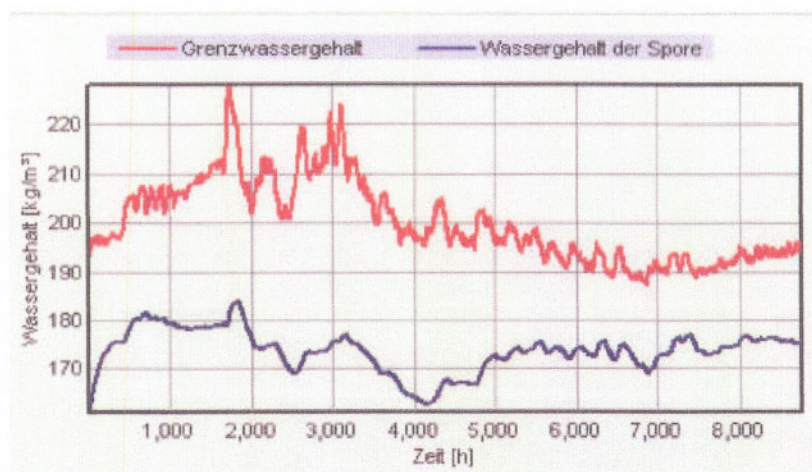


Bild 11: Berechnungsergebnisse des Biohygrothermischen Modells für den unsanierten Altbau unter Zugrundelegung von Substratgruppe I. Die blaue Linie stellt den berechneten Sporenwassergehalt und die rote Linie den Grenzwassergehalt dar. Eine Überschreitung des Grenzwassergehaltes zeigt das Risiko von Schimmelpilzwachstum an.

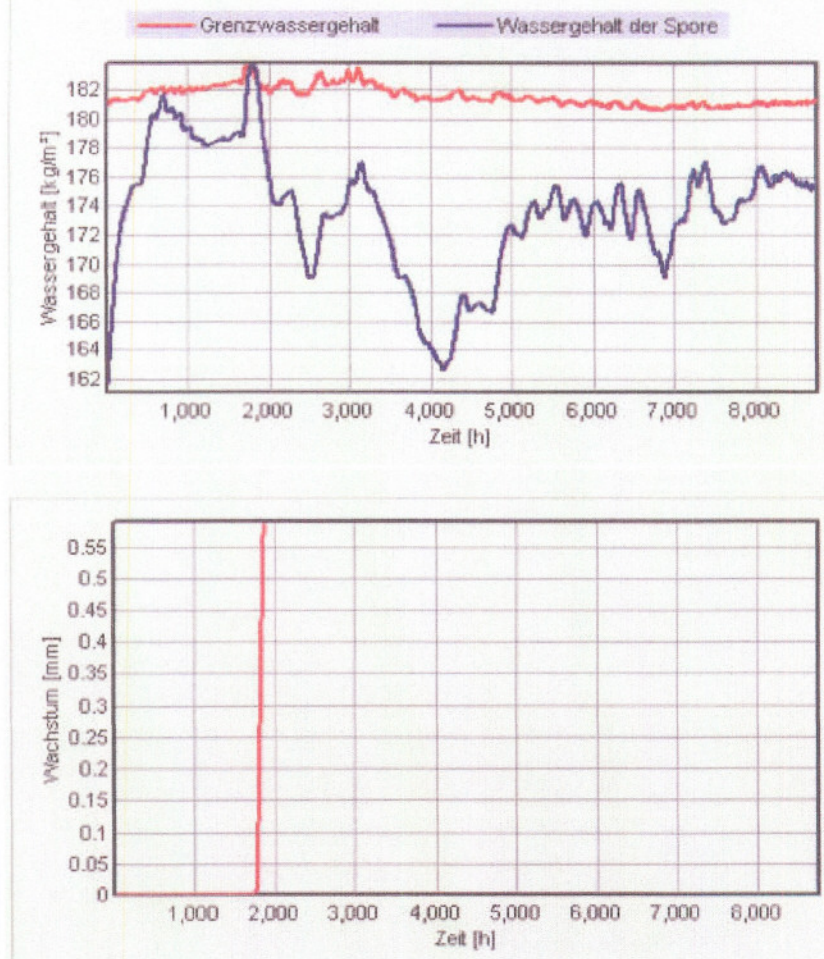


Bild 12: Berechnungsergebnisse des Biohygrothermischen Modells für den unsanierten Altbau unter Zugrundelegung von Substratgruppe 0. Der obere Teil stellt den Vergleich des berechneten Sporenwassergehaltes mit dem Grenzwassergehalt dar und der untere Teil das berechnete Wachstum nach Überschreitung des Grenzwassergehaltes.

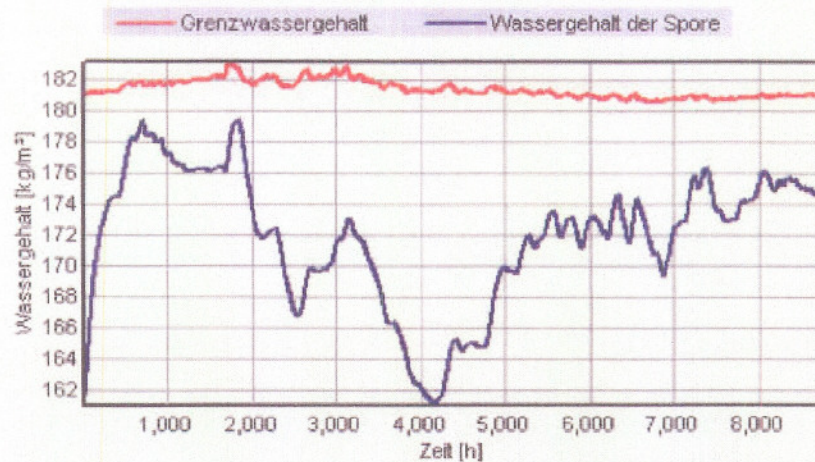


Bild 13: Berechnungsergebnisse des Biohygrothermischen Modells für den mit dem Klemoflex-System sanierten Altbau unter Zugrundelegung von Substratgruppe 0. Die blaue Linie stellt den berechneten Sporenwassergehalt und die rote Linie den Grenzwassergehalt dar. Eine Überschreitung des Grenzwassergehaltes zeigt das Risiko von Schimmelpilzwachstum an.

Wesentlich interessanter ist die Betrachtung des Schimmelpilzwachstumsrisikos bei ungenügendem Regenschutz der Fassade. Bei der unsanierten Wand (Variante 3) kommt es selbst unter Zugrundelegung von Substratgruppe II (Oberflächenmaterial ohne verwertbares Substrat) zu Schimmelpilzwachstum, wie aus Bild 14 ersichtlich.

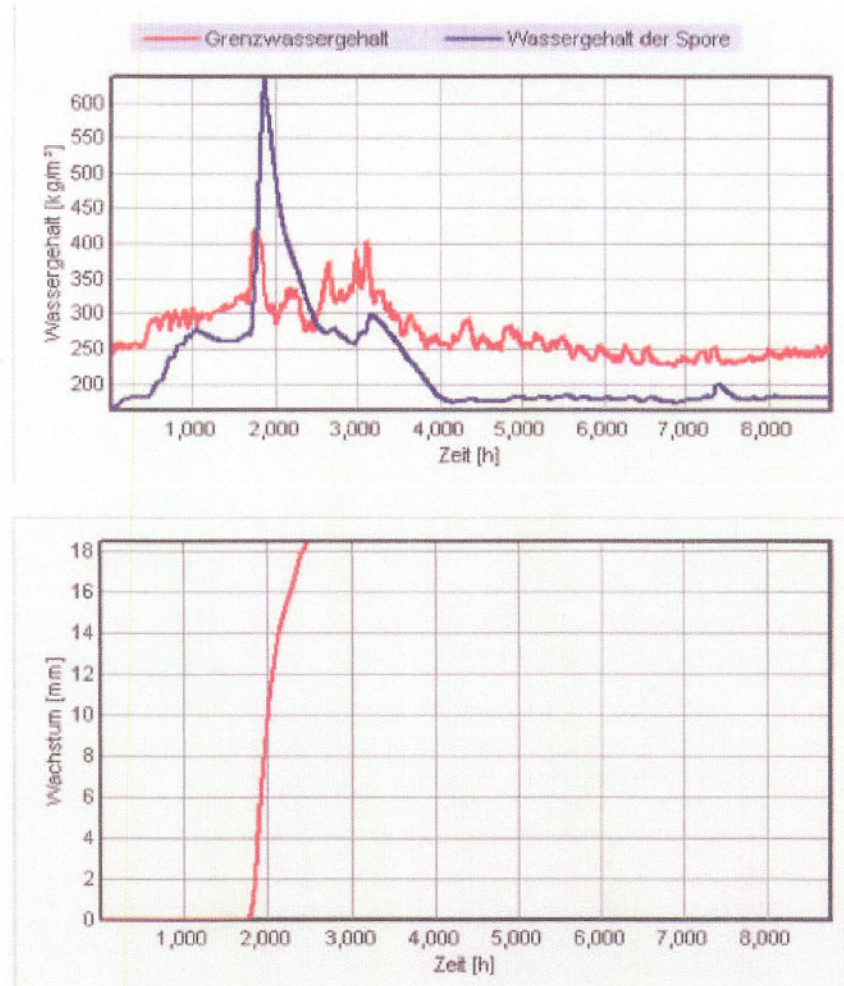


Bild 14: Berechnungsergebnisse des Biohygrothermischen Modells für den unsanierten Altbau mit ungenügendem Regenschutz unter Zugrundelegung von Substratgruppe II. Der obere Teil stellt den Vergleich des berechneten Sporenwassergehaltes mit dem Grenzwassergehalt dar und der untere Teil das berechnete Wachstum nach Überschreitung des Grenzwassergehaltes.

Nach einer Sanierung mit dem Klemoflex-System ergibt sich ein ganz anderes Bild. Selbst auf einer Baustoffoberfläche, die Substratklasse I zuzuordnen ist, ist hier Schimmelpilzwachstum nicht zu erwarten (siehe Bild 15).

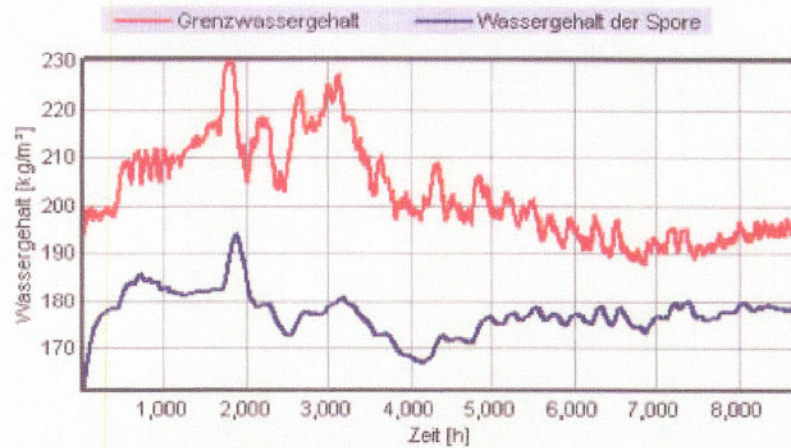


Bild 15: Berechnungsergebnisse des Biohygrothermischen Modells für den mit dem Klemoflex-System sanierten Altbau ohne ausreichenden Regenschutz unter Zugrundelegung von Substratgruppe I. Die blaue Linie stellt den berechneten Sporenwassergehalt und die rote Linie den Grenzwassergehalt dar. Eine Überschreitung des Grenzwassergehaltes zeigt das Risiko von Schimmelpilzwachstum an.

4 Interpretation der Ergebnisse und Zusammenfassung

Das Klemoflex-System ist vor allem für die innenseitige Sanierung im Bereich der Außenwände von Altbauten gedacht. Das besondere an diesem System ist der Einsatz eines ca. 10 mm dicken Wirrgeleges, das vor Anbringung des innenseitigen Deckputzes auf die Wand aufgeklebt wird. Durch dieses Wirrgelege können zum Einen ohne weitere Verbesserungsarbeiten vorhandene Unebenheiten ausgeglichen werden. Außerdem wird damit eine kapillar nicht aktive und dämmende Schicht eingebracht. Im Rahmen dieser Arbeit sollte geklärt werden, welchen Einfluss dieses neuartige System auf den Energieverbrauch, die Behaglichkeit und das Schimmelpilzrisiko hat.

Zu diesem Zweck werden hygrothermische Berechnungen an zwei ausgewählten Wandaufbauten jeweils ohne und nach einer erfolgten Sanierung mit dem Klemoflex-System durchgeführt. Zugrunde gelegt wurde bei beiden Varianten eine typische Altbauwand aus Ziegel mit einem Wärmedurchgangskoeffizienten von ca. $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. Die beiden Wände unterscheiden sich nur in der Qualität des Außenputzes. Während der Eine, eine gute Schlagregensicherheit gewährleistet, ist beim Anderen diese nicht in einem ausreichenden Maße gegeben.

Die für den Regelquerschnitt berechneten Wärmeströme zeigen, dass im Falle des Wandaufbaus mit ausreichendem Schlagregenschutz der Einsatz des Klemoflex-Systems in der Heizperiode eine mittlere Absenkung des Wärmestroms von ca. 12 % bewirkt. Erwartungsgemäß ist bei mangelhaftem Regenschutz aufgrund der durch die aufgenommene Feuchtemengen reduzierten Wärmedämmung, die zu erwartende Absenkung des Wärmestroms mit im Mittel ca. 16 % noch etwas größer. Die durch Einsatz dieses Systems zu erwartende Einsparung an Heizenergie dürfte aber geringer ausfallen, da hier neben den durch den Wärmedurchgangskoeffizienten der Wand bestimmten Transmissionswärmeverlusten die Lüftungswärmeverluste und die solaren Gewinne durch vorhandene Fenster maßgeblich mit beeinflussend sind.

Während der Heizperiode stellen sich nach einer Sanierung mit dem Klemoflex-System aufgrund dessen Dämmwirkung auf der Innenseite der Außenwand um im Mittel 0,6 bzw. 1,1 K höhere Oberflächentemperaturen ein. Dies hat aufgrund des Strahlungsaustausches des menschlichen Körpers mit den Raumschließungsflächen eine allerdings nur geringfügige Verbesserung der thermischen Behaglichkeit zur Folge.

Einen wesentlich größeren Einfluss hat die Sanierung auf das Schimmelpilzwachstumsrisiko vor allem bei ungenügendem Schlagregenschutz des Außenputzes. Ohne Sanierung ist in diesem Fall selbst auf einem Untergrund, der der Substratgruppe II zuzuordnen ist, dazu gehören unverschmutzte Materialien, die keinerlei biologisch verwertbare Inhaltsstoffe aufweisen, Schimmelpilzwachstum zu erwarten. Nach Applikation des Klemoflex-Systems ist dagegen auch auf einem der Substratgruppe I zuzuordnenden Untergrund Schimmelpilzwachstum nicht zu erwarten. Dringende Voraussetzung ist dabei aber, dass durch das Wirrgelege keine Hinterlüftung stattfindet. Das System muss unbedingt allseitig dicht angebracht werden.

Ein zusätzlicher Vorteil dieses Systems, der hier rechnerisch nicht betrachtet worden ist, folgt aus der Unterbrechung der Kapillaraktivität aufgrund des Wirrgeleges. Dies hat zur Folge, dass eventuell im Mauerwerk vorhandene Salze (z.B. aus dem Mörtel oder aufgrund aufsteigender Feuchte), die nur über Kapillartransport befördert werden können, nicht mehr an der Innenoberfläche in Erscheinung treten. Die Auskristallisation kann nur an der alten Oberfläche im Grenzbereich zum Wirrgelege erfolgen. Erst wenn der gesamte Porenraum des Wirrgeleges mit Salzkristallen gefüllt ist wird ein Ausblühen an der Innenoberfläche auftreten.

5 Literatur

- [1] Künzel, H. M.: Verfahren zur ein- und zweidimensionalen Berechnung des gekoppelten Wärme- und Feuchtetransports in Bauteilen mit einfachen Kennwerten. Dissertation Universität Stuttgart 1994.
- [2] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen, Diss., Universität Stuttgart (2001).
- [3] Sedlbauer, K.; Krus, M.: Schimmelpilze in Gebäuden – Biohygrothermische Berechnungen und Gegenmaßnahmen. Bauphysik-Kalender 2003, Ernst und Sohn Verlag, Berlin, S. 435-531.
- [4] DIN EN ISO 7730 Ausgabe 5-2006: Ergonomie der thermischen Umgebung - Analytische Bestimmung und Interpretation der thermischen Behaglichkeit durch Berechnung des PMV- und des PPD-Indexes und Kriterien der lokalen thermischen Behaglichkeit.