

Dr. Ing. Alfred Seifried, Friedrichshafen *)

Einfache Schimmelpilz-Sanierung in Wand- und Raumecken

Zusammenfassung.

Mit Hilfe eines 2D-FE-Programms können die Temperatur-Verhältnisse in Wand-Ecken sehr gut rechnerisch erfaßt und die bekannten Schimmelbilder erklärt werden. Im betrachteten Bezugsfall ergibt sich in der durchlaufenden Wand ein Wert von 13,2 °C gegenüber nur 9,4 °C in der scharfkantigen Innenecke, wo der stärkste Schimmel auftritt.

Eine Parameterstudie mit geometrisch modifizierten Wand-Ecken, insbesondere von Abschrägungen/Auffütterungen der Innen-Ecken, ergibt, daß damit signifikant auf 11 °C erhöhte Ecken-Temperaturen und somit ein entsprechend gemindertes Schimmel-Risiko erreichbar sind. Leichte bis mittlere Fälle von Schimmelschäden können durch solche Auffütterungen vom Stukkateur saniert werden.

Weitere Berechnungen mit dämmenden Formstücken, die an den Ecken zweckentsprechend in die Wand eingelassen sind, ergeben, daß die kritische Temperatur etwa bis zur Temperatur der durchlaufenden Wand (13,2 °C) angehoben werden kann. Dadurch wird das Schimmelrisiko in den Ecken nahezu vollständig beseitigt.

Aus wissenschaftlicher Sicht kann das Eckenproblem besser als „thermodynamische Kerbe“ denn als „geometrische Wärmebrücke“ verstanden werden.

Stichwörter:

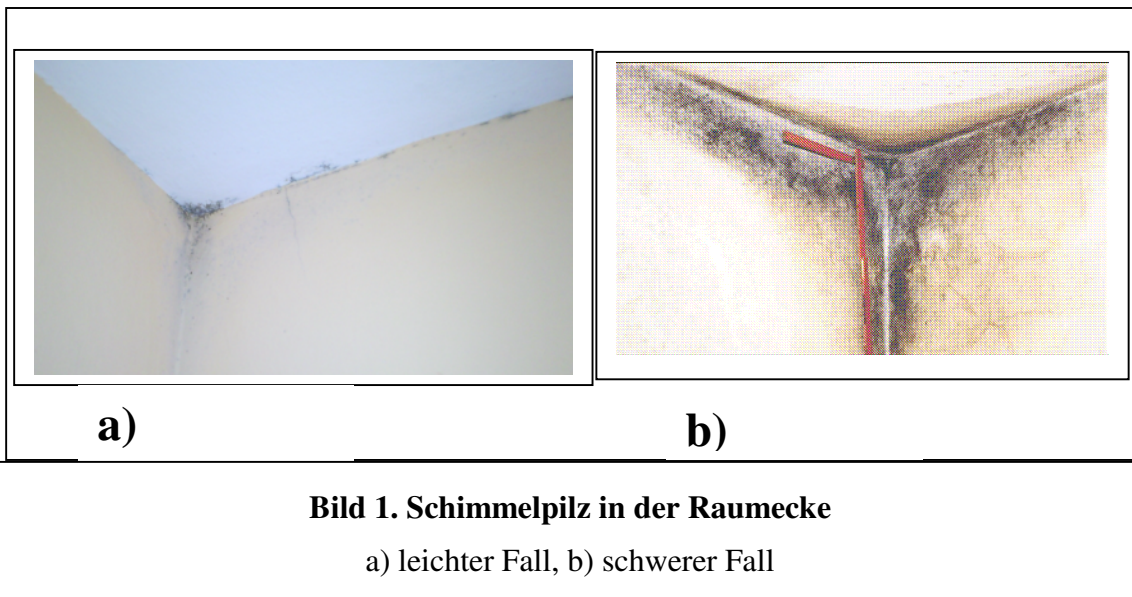
Schimmel, Risiko, Temperatur, Wärmestrom, Wand, Ecke, Kerbe, Wärmebrücke, Sanierung, Stukkateur, Dämmprofil.

*) Der Verfasser dankt Herrn Prof. Dr. Ing. Marek, FH Deggendorf, der ihn durch viele wertvolle Hinweise zu Umgang und Berechnung mit dem Programm THERM 5 unterstützt hat.

1. Einleitung

Die Wand- und Raumecken sind als „geometrische Wärmebrücken“ bekannt. Besonders unangenehm fallen sie auf, wenn dort Schimmelpilze als schwarze Flecken auftreten, **Bild 1**. Diese bilden sich dort, wo die Oberflächentemperatur niedriger ist, als in den durchgehenden Wandteilen. Je nach relativer Feuchtigkeit und Bewegungsverhältnissen der Raumluft (Kleinklima) kann es an diesen Stellen zu Taupunktunterschreitungen kommen, die Wandoberfläche kann feucht werden und Schimmel ansetzen.

Der betroffene Bewohner erhält dann von Fachleuten, Beratungsstellen oder Merkblättern dem Stand der Technik entsprechend Behandlungsvorschläge, die aber meist nicht nachhaltig wirken, weil sie die Ursachen nicht beseitigen.



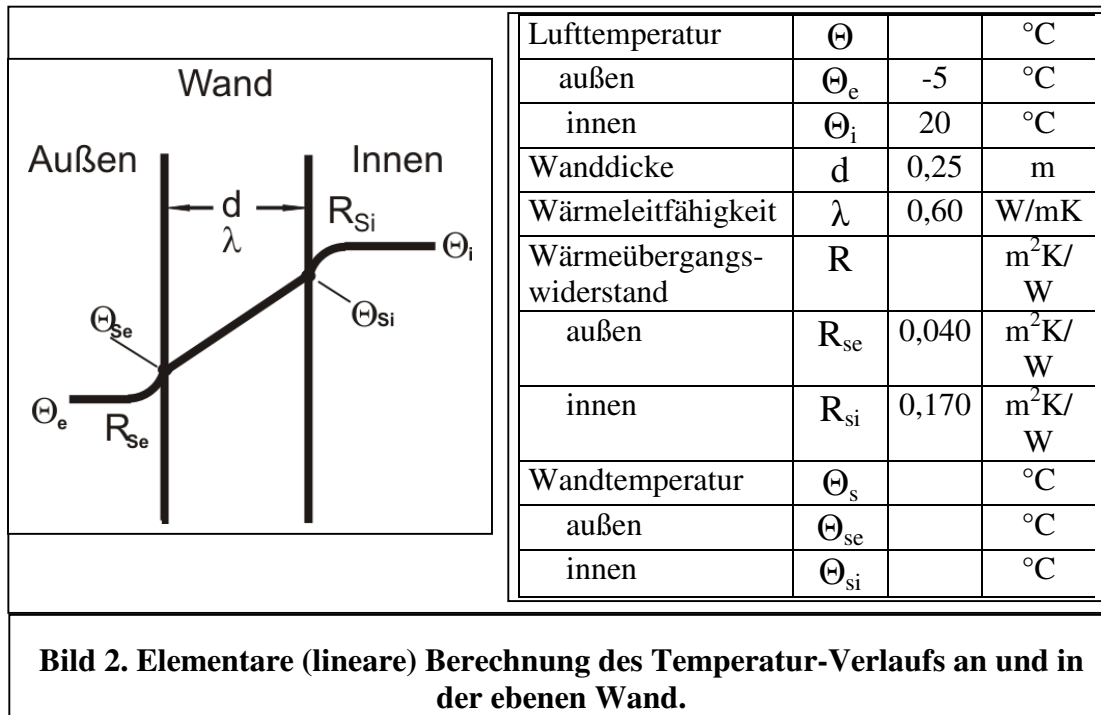
Im folgenden wird in einer Parameterstudie untersucht, ob und inwieweit durch Modifikationen in den Eckbereichen die Wandtemperatur erhöht und damit die Neigung zur Schimmelbildung vermindert werden kann. Die eigentliche Schimmelbildung als multikausaler Prozeß ist nicht Gegenstand der Untersuchung.

In einem ersten Schritt wird nur die Wandgeometrie verändert und ein homogener Mauerwerkstoff angenommen, d.h. die verschiedenen bekannten Dämmmaßnahmen bleiben außer Betracht, bzw. werden als konstant bleibend angenommen, ebenso die Einflußgrößen des Kleinklimas. Die erzielten grundsätzlichen Aussagen über die Geometrie-Einflüsse sind durch diese Vereinfachungen nicht beeinträchtigt.

In einem zweiten Schritt wird der Einfluß von Dämmprofilen untersucht, die in den Wandaufbau an der Ecke eingelassen werden.

2. Eindimensionaler Temperaturverlauf in der ebenen Wand.

Die elementare, eindimensionale Berechnung in der durchgehenden glatten Wand ist in **Bild 2** gezeigt, mit den Parametern und Randbedingungen, die in der ganzen nachfolgenden Untersuchung gelten sollen.



Der Wärmedurchlaßwiderstand R der homogenen Wand ist:

$$R = \frac{d}{\lambda} = \frac{0,25}{0,60} = 0,4167 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \quad (1)$$

Der gesamte Wärmedurchgangswiderstand R_T errechnet sich aus:

$$\begin{aligned} R_T &= R_{si} + R + R_{se} \\ &= 0,170 + 0,4167 + 0,040 = 0,6267 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \end{aligned} \quad (2)$$

Der Wärmedurchgangskoeffizient U ist dann:

$$U = \frac{1}{R_T} = 1,595 \frac{\text{W}}{\text{m}^2\text{K}} \quad (3)$$

Die Wärmestromdichte q , d.h. der Wärmestrom Φ pro m^2 Wandfläche A ist dann:

$$q = \frac{\Phi}{A} = U(\Theta_i - \Theta_e) = 1,595 \cdot (20 - (-5)) = 39,87 \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \quad (4)$$

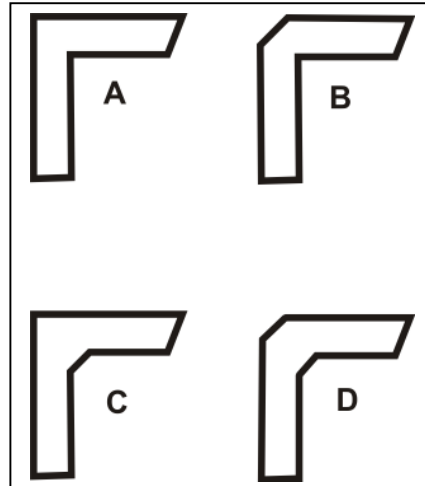
Daraus folgt die Wandtemperatur Θ_{si} an der Innenseite:

$$\Theta_{si} = \Theta_i - q \cdot R_{si} = 20 - 39,875 \cdot 0,170 = 13,22 \text{ °C} \quad (5)$$

Als Ergebnis ergibt sich die Oberflächentemperatur an der Wandinnenseite also zu 13,22 °C. Dieser Wert ist auch die Vergleichsbasis für die nachfolgenden Ergebnisse.

3. Zweidimensionale Berechnung für verschiedene Konfigurationen.

In der geometrischen Parameterstudie werden 4 verschiedene Grundkonfigurationen nach **Bild 3** untersucht, mit den konstant gehaltenen Parametern und Randbedingungen aus Bild 2. Die Form A in Bild 3 ist die normale, konventionelle Ausgangs-Konfiguration der Wand-Ecke. Die Formen B bis D zeigen denkbare Modifikationen der Ecken-Geometrie.



**Bild 3. Variationen der Wandecke
- Parameterstudie -**

Als Berechnungswerkzeug wird das 2D-Finite Elemente (FE-) Programm THERM5 (<http://windows.lbl.gov/software/therm>) eingesetzt.

3.1 Berechnungsergebnisse der „normalen“ Wandecke, Form A

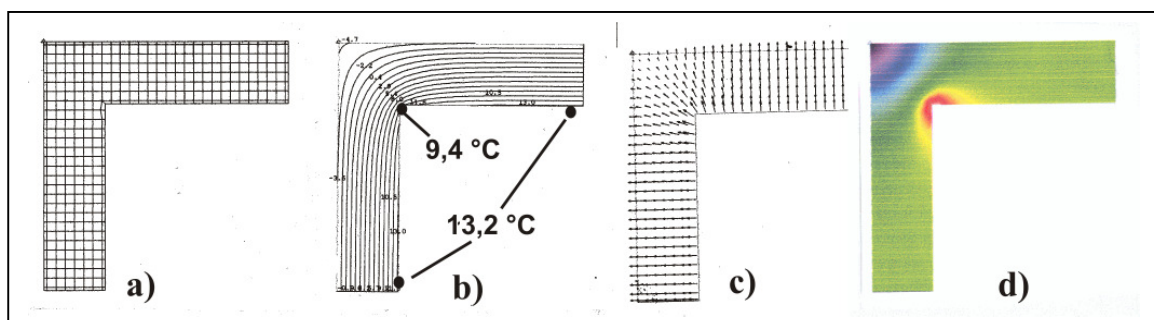


Bild 4. Form A. Ergebnisse der FE-Berechnung

a) FE-Netz, b) Temperatur-Verlauf in und an der Wand, c) Richtungs-Vektoren des Wärmestromes, d) Wärmestromdichte

Bild 4 zeigt die von THERM5 ausgegebenen Berechnungsergebnisse für Form A.

Bild 4a) zeigt das vom Programm automatisch generierte FE-Netz. Dessen Qualität kann in diesem Rahmen als hinreichend akzeptiert werden. Bild 4b) zeigt die Temperaturen in der Wand als Isothermen und die vom Programm an den Rändern (d.h. an der inneren Wandoberfläche) punktuell abgreifbaren Temperaturen. Im ungestörten Wandverlauf fern der Ecke ist die Oberflächentemperatur an der Wandinnenseite $13,2\text{ °C}$, in Übereinstimmung mit der linearen Elementar-Rechnung, Gl. (5). Im Eckpunkt ist die Oberflächentemperatur $9,4\text{ °C}$ also um $3,8\text{ K}$ niedriger. Der Unterschied ist signifikant und bestätigt das erhöhte Schimmelrisiko des Eckpunktes. Bild 4c) zeigt die Richtungsvektoren im Wärmestrom-Feld innerhalb der Wand. Vom Eckpunkt aus verlaufen diese Vektoren divergent. Der Eckpunkt ist ein singulärer Punkt im Vektorfeld. Die Differentialgleichung der Wärmeleitung ist dort nicht integrierbar. Von hier aus fließt die Wärme, nicht parallel wie von der laufenden Wand, sondern strahlenförmig - d. h. leichter oder schneller - ins Wandinnere ab. An der Oberfläche bleibt es dort kühler. Bild 4d) zeigt die Wärmestromdichte, sie ist im Eckpunkt-Bereich am größten.

3.2 Form B, Außenabschrägung.

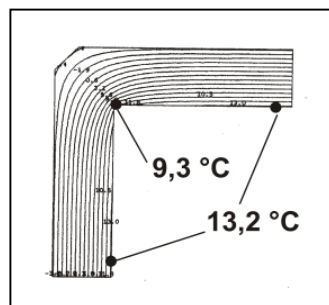


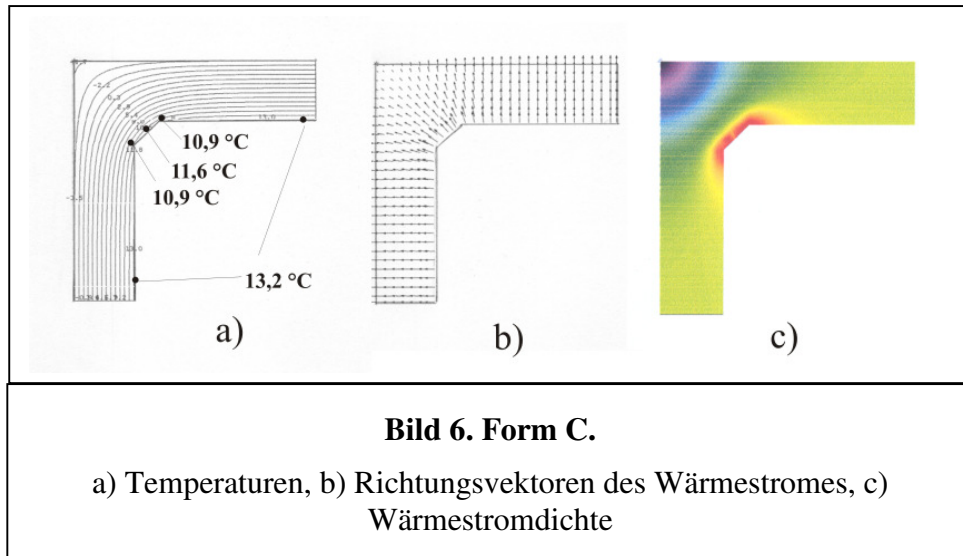
Bild 5. Form B. Temperatur-Verlauf in und an der Wand

Der konvexen äußeren Wandecke wird zuweilen ein gewisser Kühlrippen-Effekt zugesprochen weil der inneren Wandoberfläche eine größere äußere Oberfläche gegenübersteht. Das legt den Gedanken nahe, die äußere Fläche zu verkleinern, d.h. die Kühlrippe zu kappen, s. Bild 3, Form B. Die Berechnung, **Bild 5**, zeigt jedoch überraschenderweise, daß dies nichts bringt: die Temperatur in der Ecke ist $9,3\text{ °C}$, praktisch gleich wie bei der Form A, nach Bild 4b.

3.3 Form C, Innenabschrägung

Trotz anfänglicher Skepsis und Bedenken von praktischer Seite wurde auch die Modifikation mit innenseitiger Abschrägung nach Form C untersucht. Die Rechenergebnisse für eine Abschrägung von 10 cm Breite zeigt **Bild 6**. In der Mitte der Abschrägung beträgt die Temperatur $11,6\text{ °C}$, die niedrigste Temperatur tritt an den Ecken des Dreieckszwickels auf und beträgt $10,9\text{ °C}$. Dies ist immerhin $1,5\text{ K}$ höher als in der unmodifizierten Wand Form A, Bild 4b) mit $9,4\text{ °C}$.

Die Divergenz der Wärmestromvektoren an den Enden des Dreieckszwickels, Bild 6b, ist kleiner als in der scharfen Ecke, Bild 4c. Der Wärmestrom, Bild 6c konzentriert sich nicht so stark wie in Bild 4d.



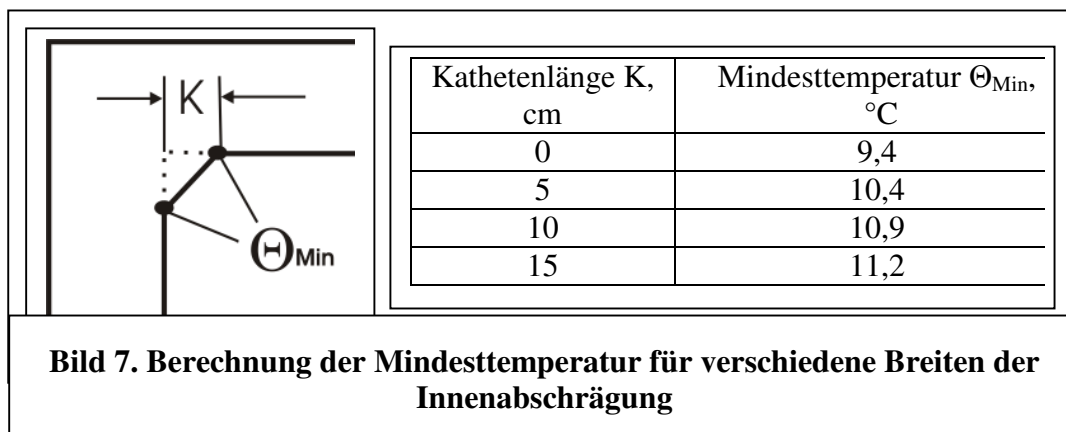
3.4 Form D, Kombination von Innen- und Außenabschrägung

In Form D, Bild 3, werden die Formen B und C kombiniert, d.h. die Wand wird sowohl außen als auch innen abgeschrägt. Nach den Rechenergebnissen zu Form B und C ist es nicht mehr überraschend, daß diese Kombination praktisch keine besseren Ergebnisse als Form C bringen kann. Auf eine weitere Darstellung und Erörterung dieser Form wird deshalb hier verzichtet.

4. Weitere Betrachtung der Innenabschrägung, Form C

4.1 Variation der Abschrägungsgröße

Durch die Innenabschrägung, Bild 6, steigt die Mindesttemperatur auf 10,9 °C, gegenüber 9,4 °C bei der normalen Wanddecke, Bild 4. Diese Differenz ist durchaus signifikant, angesichts der Tatsache, daß sich in der kleinen Spanne etwa bis zur laufenden Wandtemperatur von 13,2 °C auch der Taupunkt liegen und somit Schimmel bilden kann. Es erscheint daher lohnend, noch gewisse weitere Varianten der Innenabschrägung zu untersuchen. Zu diesem Zweck wurde die Kathetenlänge K des rechtwinkligen Dreieckszwickels nach **Bild 7** zwischen 0 und 15 cm variiert.



Die berechneten Temperaturen sind immer an den Knickpunkten zur laufenden Wand am niedrigsten, Bild 6.

Bei 15 cm Kathetenlänge wird diese Mindesttemperatur auf 11,2 °C angehoben, was als bedeutende Verbesserung anzusehen ist.

Es kann natürlich nicht verkannt werden, daß eine Abschrägung von 15 cm zwischen den Seitenwänden im Wohnraum schon einen bedeutenden, evtl. nicht hinnehmbaren, Verlust an Stellplatz bedeuten kann. Aber auch kleine Abschrägungen von beispielsweise 5 cm bringen schon signifikante Verbesserungen. Und zwischen Seitenwand und Decke sind solche Abschrägungen sowieso keine Beeinträchtigung, bei barocken Stuckdecken sind oder waren sie üblich.

Um den Verlust an Stellplatz zu vermeiden können auch Abschrägungen zwischen den Seitenwänden begrenzt auf den oberen Bereich (oberhalb Schrankhöhe) in Betracht kommen, wo ja sowieso der kritische Bereich in der Nähe des oberen Raumpunktes liegt, s. Bild 1a, und Abschnitt 8, Bild 17.

4.2 Ausrundung der Ecken

Auf der Suche nach weiteren Optimierungen sind anstelle der eckigen Abschrägungen auch ausgerundete Formen denkbar. In **Bild 8** beträgt der Ausrundungsradius etwa 15 cm. Das berechnete Mindesttemperatur von 11,1 °C zeigt aber, daß damit gegenüber der eckigen Abschrägung wohl nur noch geringe weitere Verbesserungen erzielbar sind.

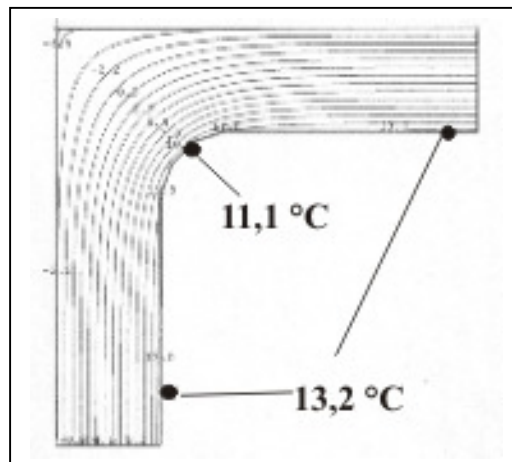


Bild 8. Berechnete Wandtemperaturen bei abgerundeter Innenecke

4.3 Auffütterung mit Dämmmaterialien

Zuweilen werden in Schadensfällen auch Vorschläge gemacht, durch bessere Wärmedämmung in den Ecken die Wandtemperatur zu erhöhen und so den Schimmel zu bekämpfen. In **Bild 9** ist an der inneren Ecke eine Abschrägung aus Dämmwerkstoff ($\lambda = 0,05 \text{ W/mK}$) aufgebracht, von geometrisch gleicher Form und Größe wie in Bild 6 aus Mauerwerkstoff.

Das Ergebnis ergibt nach Bild 9b in der Mitte des Keils zwar eine Oberflächentemperatur von 17,5 °C, an den Stoßstellen E zur laufenden Wand ist die Mindesttemperatur aber nur 9,7 °C, d.h. fast gleich schlecht wie die unbewehrte normale Ecke (9,4 °C, Bild 4b) und um 1,2 K niedriger als beim homogenen Zwickel aus Mauerwerkstoff, Bild 6a. Der kritische

Punkt, (wo die schwarzen Schimmelspuren) auftreten, ist somit nur von der ursprünglichen Ecke an die Stoßstellen E des Zwickels verschoben worden. Der aufgeklebte Dämm-Keil bringt also nur eine sehr geringe Verbesserung. Die Erklärung liegt darin, daß die Wand hinter dem Keil sehr kühl bleibt und die Wärmeenergie von den Stoßstellen aus sehr leicht nach hinten abfließt, wie die Wärmestrom-Vektoren, Bild 9c, zeigen. Auch Bild 9d zeigt die Konzentration des Wärmestroms an den Stoßstellen E.

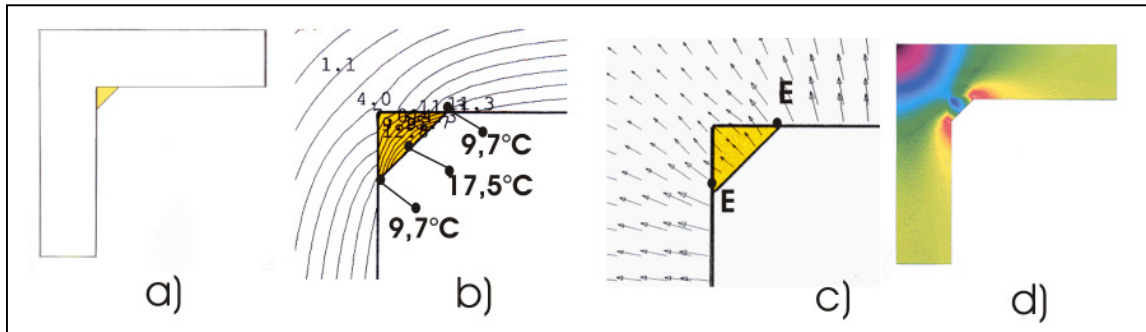


Bild 9. Dämmkeil in der Ecke

a) Konfiguration, b) Temperaturverlauf in der Umgebung des Keils (vergrößert), c) Wärmestrom-Vektoren (vergrößert), d) Wärmestromdichte

4.4 Begriffliche Einordnung des Eckenproblems

Im Licht der gezeigten Ergebnisse erscheint die Zuordnung der Wand- und Raumecke zu den „Wärmebrücken“ nicht besonders glücklich. Der Begriff „Brücke“ entspricht der Vorstellung, man habe der Wärme (wenn auch unfreiwillig) eine Brücke, über eine „Barriere“, d.h. über die (ansonsten dämmende) Wand gebaut. Dies ist irreführend. Die Berechnungen zeigen, daß die niedrigsten Wandtemperaturen an Orten auftreten, wo sich der Wärmestrom *konzentriert*. Diese Erkenntnis führt zu einer Analogie im Maschinenbau. Dort kennt man das Problem der *Spannungskonzentration* oder *Kerbwirkung*, z. B. bei

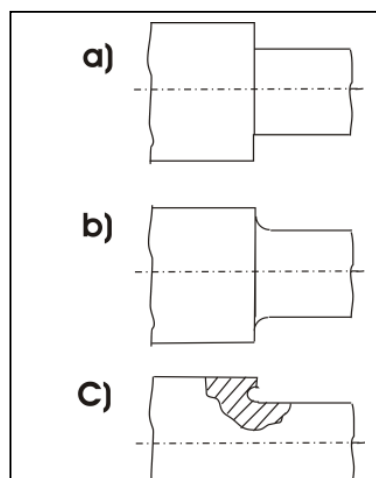


Bild 10. Spannungskonzentration/Kerbwirkung bei Torsionswellen

a) Scharfe Kerbe, b) Ausrundung, c) Freistich

Torsionswellen, **Bild 10**. Man begegnet ihm, indem man die Kerbwirkung durch Abrundungen verschiedener Art entschärft.

Wenn man den Freistich am Wellenabsatz nach Bild10c) auf das Wand-Eckenproblem überträgt, kommt man zur ausgerundeten Innenecke nach **Bild 11**.

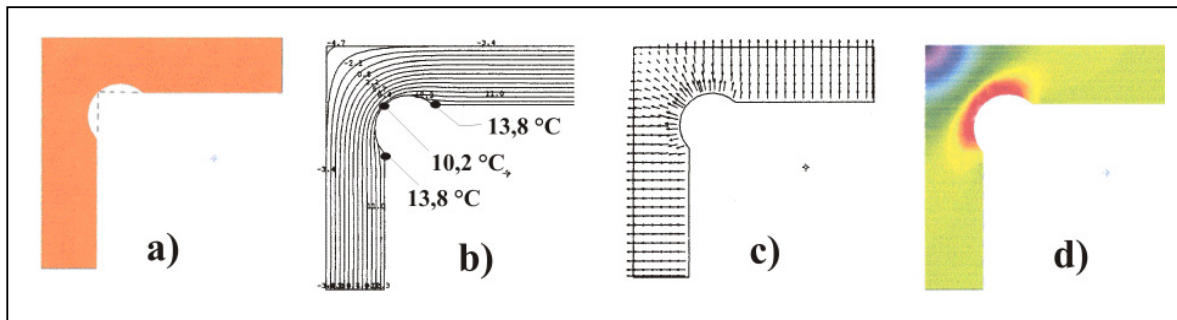


Bild 11. Ausgerundete Innenecke.

a) Konfiguration, b) berechnete Temperaturen, c) Richtungsvektoren des Wärmestromes, d) Wärmestromdichte

Eine solche Konfiguration würde den Verlust an Stellplatz in der Wandecke des Wohnraums im Vergleich zur Abschrägung im Bild 6 vermeiden. Die Berechnung ergibt, daß die Mindesttemperatur immerhin auf 10,2°C steigt, Bild 11b, gegenüber 9,4 °C in der normalen scharfen Ecke, Bild 4b. Die Singularität und die Divergenz im Vektorfeld werden aufgehoben, Bild 11c, der Wärmestrom verteilt sich besser aufs Material, Bild 11d.

Es soll natürlich nicht verkannt werden, daß der „Freistich“ nach Bild 11a auf Bedenken des Statikers und des Poliers auf der Baustelle stoßen würde. Aber theoretisch-thermodynamisch ist er auf jeden Fall interessant. Es wird eine Verbesserung quasi durch Material-Wegnahme erzielt, nicht durch Material-Zugabe wie bei den Dreieckszwickeln der Auffütterungen.

In Analogie zur Spannungskonzentration am scharfkantigen Wellenabsatz kann man also die Wärmestrom-Konzentration in der scharfkantigen Wand- und Raumecke auch als „thermodynamische Kerbe“ oder „Temperatur- oder Wärme-Kerbe“ bezeichnen. Das Schimmel-Problem in der Ecke liegt weniger im Wärmeverlust, d.h. in der Wärmemenge, die dort abfließt, als vielmehr in dem niederen Temperatur-Niveau, unter dem dieser Fließprozeß stattfindet, und das die Voraussetzung für die Schimmelbildung ist.

Dies kann beispielhaft auch an einer durchlaufenden aber abgesetzten Wand verdeutlicht werden, **Bild 12**. Bild 12a zeigt die „normale“ durchlaufende Wand mit den parallelen Isothermen und der innerseitigen Oberflächentemperatur von $13,2\text{ °C}$. In Bild 12b

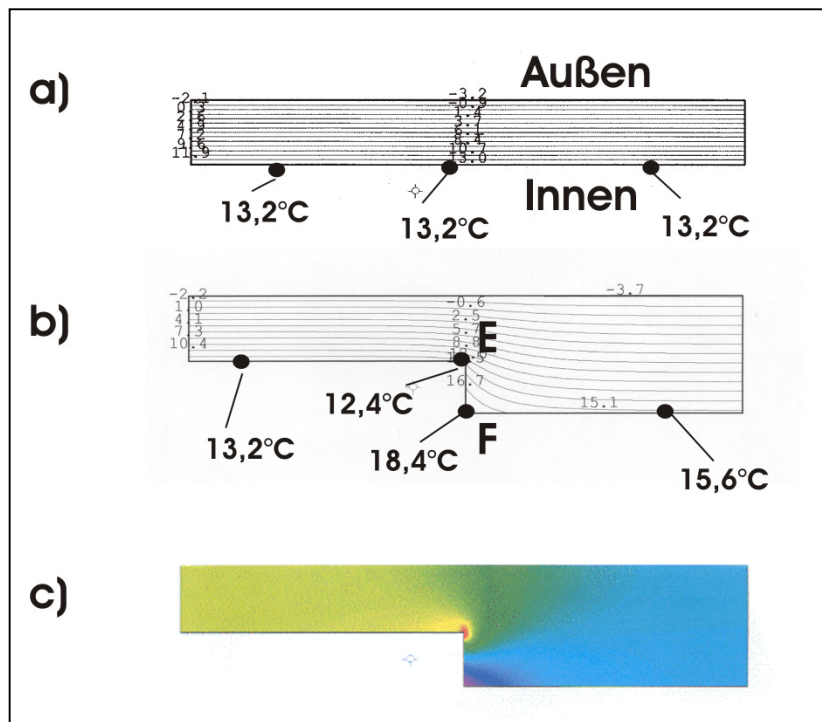


Bild 12. Schwachstelle = Kerbe an der verstärkten Wand

a) Temperatur an der durchlaufenden Wand, b) Temperatur an der verstärkten Wand, c) Wärmestromdichte mit Konzentration an der Innenecke E

entspricht der linke Teil in seinen Dimensionen den Werten von 12a, im rechten Teil ist aber die Dicke der Wand verstärkt worden von $0,25$ auf $0,45\text{ m}$, d.h. die Dämmwirkung ist in diesem Bereich besser, die „Barriere“, d.h. der Wärmedurchlaßwiderstand R ist entsprechend höher. Der Wärme ist also keine „Brücke“ gebaut worden, im Gegenteil, der gesamte Wärmeverlust ist natürlich geringer! Die Temperaturberechnung ergibt aber, daß die Wand trotz (bzw. wegen!) ihrer Verstärkung eine Schwachstelle bekommen hat. An der einspringenden Ecke E ist die Temperatur nämlich nur $12,4\text{ °C}$, gegenüber dem Standardwert von $13,2\text{ °C}$ am durchlaufenden linken Wandteil und den $15,6\text{ °C}$ am durchlaufenden rechten Teil. Im Bild 12c kommt die Konzentration der Wärmestromdichte durch den roten Fleck bei E deutlich zum Ausdruck. In dieser Kerbe ist ein (wenn auch nur leicht) erhöhtes Schimmelrisiko entstanden.

5. Eingelassene dämmende Formstücke

In Abschnitt 4.3 ist ein in der Ecke zusätzlich *aufgebrachter* Dämmkeil untersucht worden, Bild 9. An den Stoßstellen E in Bild 9 ist die Temperatur ähnlich niedrig wie im Urzustand, Bild 4c, und die Wärmestromvektoren verlaufen divergent, Bild 9c. Der aufgeklebte Keil ist letztlich ineffektiv. Die thermodynamische Kerbe wird lediglich verschoben von der ursprünglichen Ecke zum Punkt E.

Demgegenüber wird die Singularität des Vektorfeldes aufgehoben durch ein im Eckbereich *eingelassenes* dämmendes Formstück, **Bild 13**. Der rechte Winkel am Punkt E in Bild 13a erzwingt, daß der Wärmestrom-Vektor dort ebenfalls senkrecht zur Wandoberfläche steht,

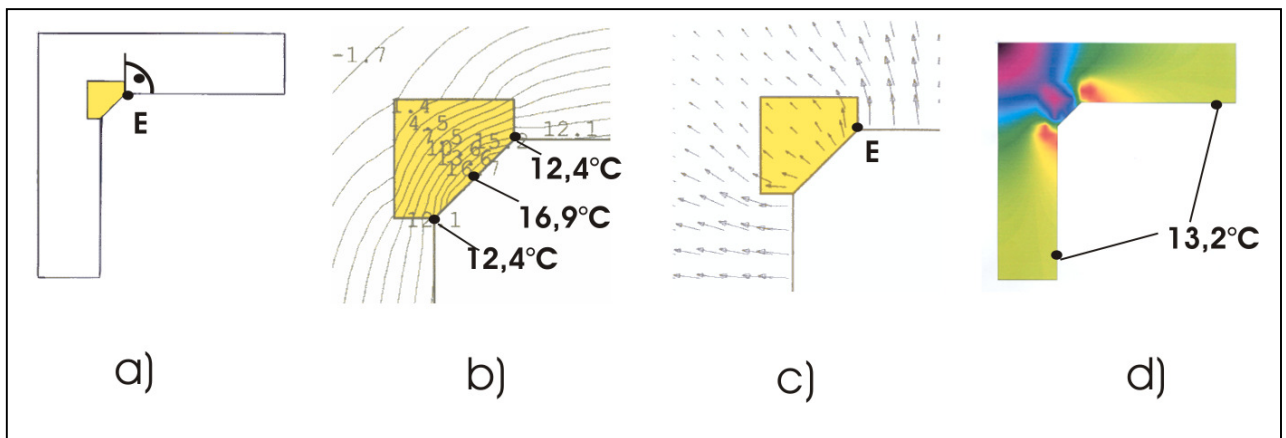


Bild 13. Eingelassener Dämmkeil

a) Konfiguration, b) Temperatur in der Umgebung des Keils, c) Wärmestrom-Vektoren, d) Wärmestromdichte

Bild13c, genau wie an der ungestörten durchlaufenden Wand. Das eingesetzte Formstück wirkt quasi als Leitplanke für den Wärmestrom-Vektor. Die Wärme kann an der Stoßstelle E nicht so frei wegfließen wie hinter der Stoßstelle des aufgeklebten Dämmkeils von Bild 9c. Die Temperatur-Berechnung, Bild 13b, ergibt $12,4\text{ °C}$ an den Stoßstellen E. Gegenüber dem Wert von $9,4\text{ °C}$ im Urzustand, Bild 4b, kann dies als durchgreifende Verbesserung bezeichnet werden.

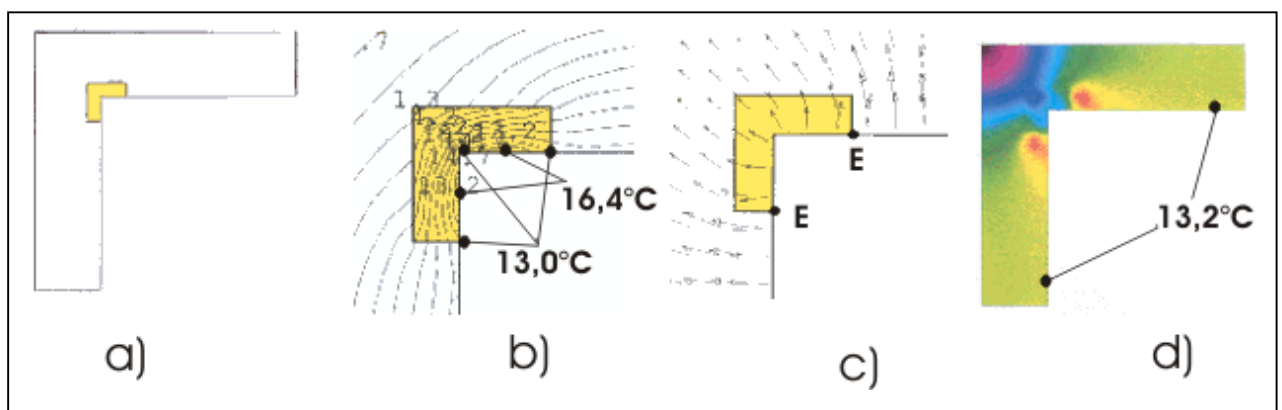


Bild 14. Eingelassener Dämmwinkel

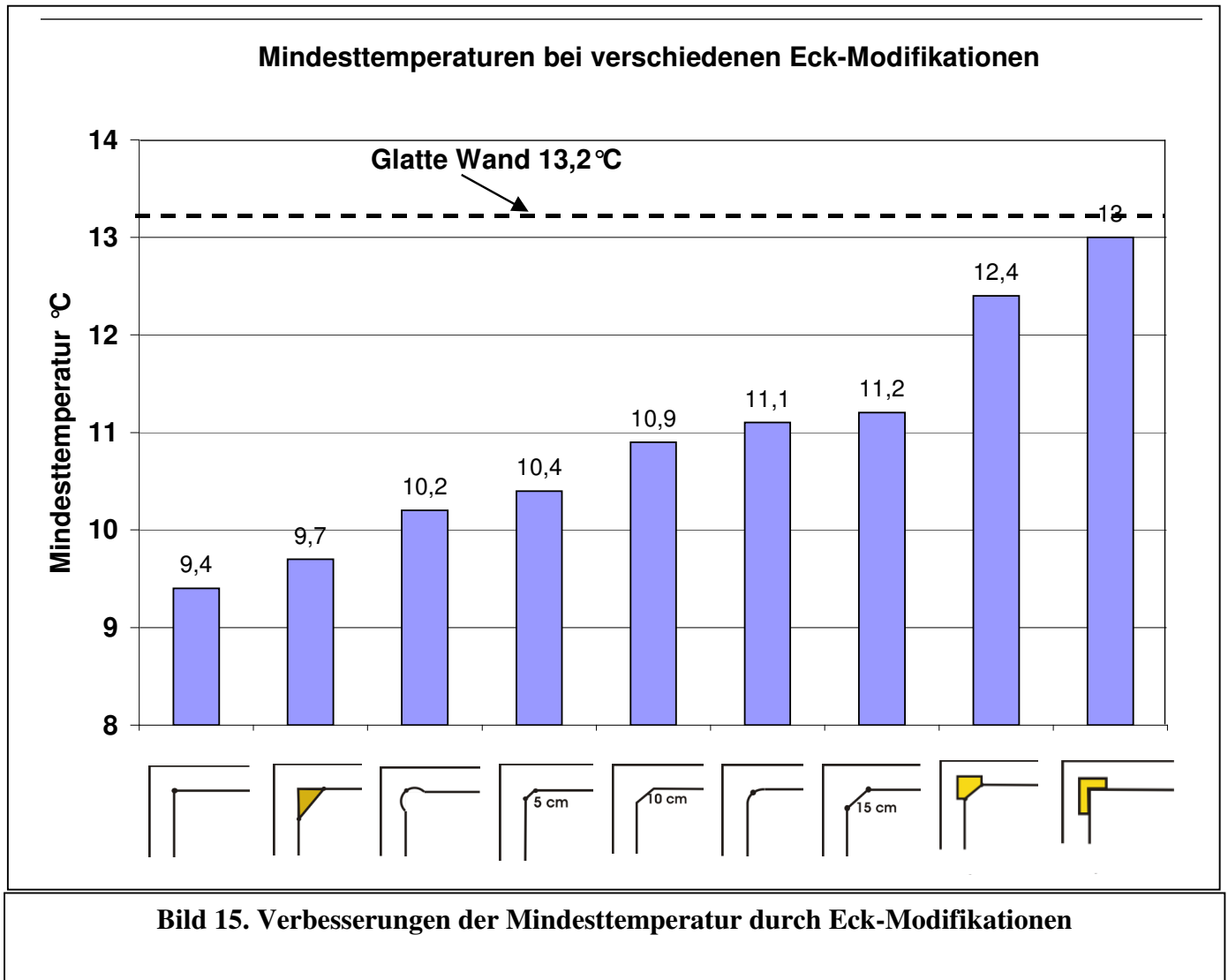
a) Konfiguration, b) Temperatur in der Umgebung des Winkels, c) Wärmestrom-Vektoren, d) Wärmestromdichte

Noch einen Schritt weiter geht der Einsatz eines abgewinkelten Formstücks nach **Bild 14**. Gegenüber Bild 13 wird der Verlust an Stellplatz vermieden. An den Stoßpunkten E wird mit 13 °C praktisch die Temperatur $13,2\text{ °C}$ der durchlaufenden Wand erreicht. Insoweit

kann man sagen, daß diese Lösung das Schimmelrisiko in der Ecke vollständig beseitigt, bzw. dieses dann nicht höher ist als an der durchlaufenden Wand.

Technologisch gesehen bedeutet der Einsatz solcher Formstücke natürlich einen höheren Aufwand. Es dürfte aber durchaus möglich sein, solche Formstücke industriell zu produzieren und z. B. in gegossenen Betonwänden einzusetzen.

6. Zusammenfassung der Berechnungsergebnisse



Zusammenfassend sind die Modifikationen der Wandecke in geordneter Reihenfolge nach der berechneten Mindest-Wandtemperatur in **Bild 15** dargestellt. Man sieht, daß die Spanne zwischen 9,4°C („Normal-Ecke“) und 13,2 °C (durchlaufende glatte Wand) durch bloße geometrische Modifikationen etwa bis zur Hälfte, bis 11,2 °C überbrückt werden kann.

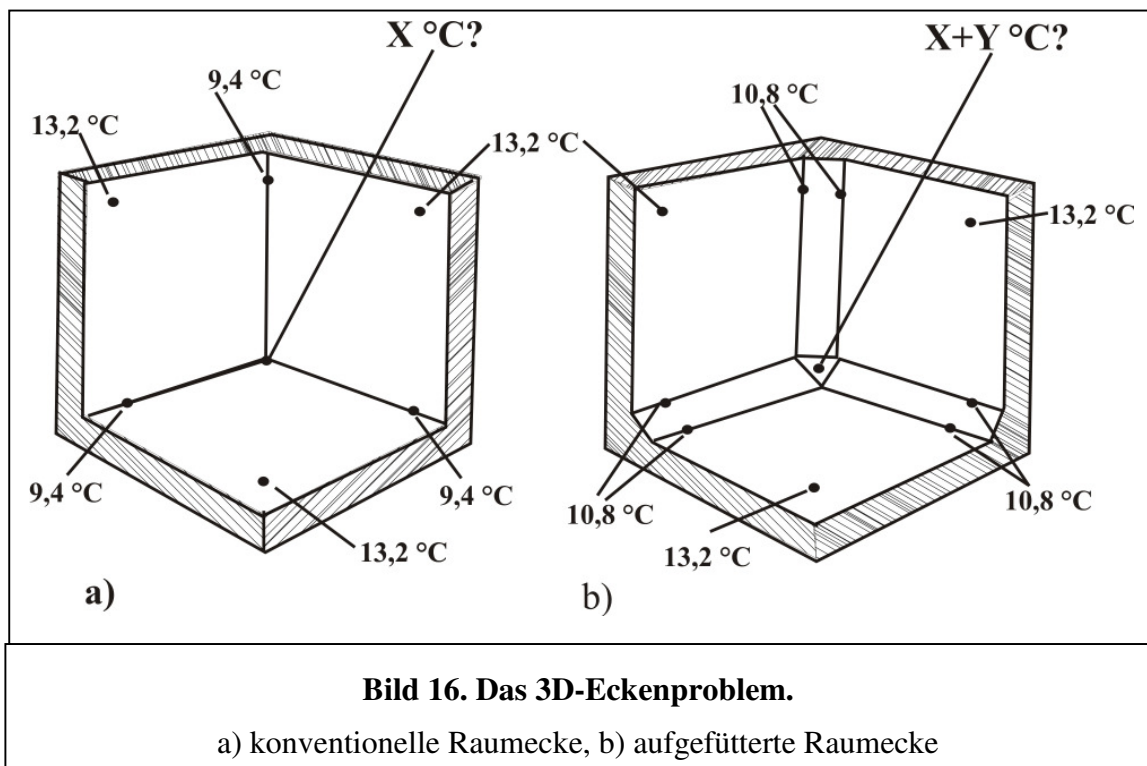
Darüber hinaus erlauben es eingesetzte dämmende Formstücke die kritische Temperaturdifferenz bis 13,2 °C fast vollständig auszugleichen.

7. Das dreidimensionale Ecken-Problem

Die Berechnungen in Abschnitt 3 bis 5 mit dem FE-Programm THERM5 behandeln das Problem zweidimensional. Die erzielten Ergebnisse können gut auf die Kanten zwischen den beiden Seitenwänden, oder zwischen Seitenwand und Decke, oder zwischen Seitenwand und Boden eines Wohnraumes angewendet werden.

Aber das weitergehende theoretische Hauptproblem, wie es sich in Bild 1 praktisch manifestiert, ist natürlich ein dreidimensionales, und es müßte eigentlich zur Berechnung solcher Probleme ein 3D-FE-Programm eingesetzt werden. In der Praxis werden 3D-FE-Programme eher selten benutzt und auch für die vorliegende Untersuchung stand ein solches leider nicht zur Verfügung. Für die künftige breitere und tiefere Erforschung des angeschnittenen Problemkreises sollte auf jeden Fall ein vollwertiges 3D-FE-Programme eingesetzt werden. Mit diesem müßten zum aussagekräftigen Vergleich mindestens eine „normale“ Raumecke, **Bild 16a**, und eine modifizierte (aufgefütterte), Bild 16b, berechnet werden. Die oben erzielten 2D-Temperatur-Ergebnisse sind in Bild 16 schon eingetragen. Ungelöst ist das Problem jeweils im Raum-Eckpunkt. Gegenüber der linearen Kante mit $9,4\text{ °C}$ wird dort die rechnerische Mindesttemperatur X nochmals um einiges tiefer liegen, vielleicht bei 7 oder 8 °C . Dementsprechend wird aber auch das Verbesserungspotential Y höher sein.

Beim Einsatz dämmender Formelemente nach Abschnitt 5 kann die 3D-Berechnung dann schon recht kompliziert werden.



8. Folgerungen, Ausblick.

Die hier mittels 2D-FE-Programm durchgeführte Parameterstudie erlaubt verschiedene Aussagen über brauchbare oder weniger brauchbare Ansätze zur Minderung des Schimmelpilzrisikos in den Wandecken.

Generell als wenig brauchbar erscheinen: Kühlrippe kappen, Bild 5, Dämmkeil aufsetzen, Bild 9, Freistich der Innenecke, Bild 11.

Brauchbare Lösungen sind die Auffütterungen nach den Bildern 6, 7 und 8. Ihre Praktikabilität hängt aber natürlich von den aktuellen Gegebenheiten ab.

Trotz persönlicher Skepsis (es war ihm zu trivial) konnte der Stukkateur den Fall von Bild 1a) durch einfaches Auffüttern der Ecke nach Bild 17 sanieren. Inwieweit das auch in schwereren Fällen wie in Bild 1b) praktikabel ist, bleibt offen. Das kann auch davon

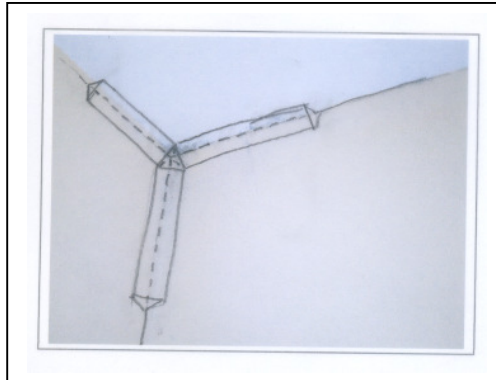


Bild 17. Sanierung der Raumecke von Bild 1a durch Auffüttern mit Gipsputz

abhängen, wie breit die Auffütterung sein darf, ob diese z.B. entlang der Zimmerdecke als ästhetische Beeinträchtigung empfunden wird, oder entlang der ganzen senkrechten Kante zu viel Stellplatz wegnimmt.

Von einer Fußleiste aus dämmendem Material (mit niedrigem λ) kann nach Bild 9 nur eine geringe Wirkung erwartet werden. Besser wäre eine fugenfrei aufgeklebte Fußleiste mit höherem λ (in der Größenordnung des Mauer- oder Putz-Werkstoffs), was die Kerbwirkung mindern würde. Eine solche „vollwertige“ Auffütterung wird natürlich in der Regel nur schwer unterzubringen sein (aber immer noch leichter als eine Fußleistenheizung).

Eine fast durchgreifende Lösung des Eckenproblems erzielt man durch eingesetzte Dämmprofile, wie in Bild 13 und 14. Aber das ist natürlich aufwendig und kommt in der Regel nur bei Neubauten in Frage. Man kann aber sagen: *eingesetzte* Dämmprofile (Bild 13 und 14) bringen viel, *aufgesetzte* (Bild 9), bringen wenig!

Die Aufwand- und Kostenfrage mußte in der Parameterstudie außer acht bleiben. Das gleiche gilt für viele wichtige Parameter, wie Luftfeuchte, mehrschichtige Wandstrukturen, Lüftungs-Verhalten und natürlich die Behandlung des 3D-Problems. Diese Punkte sind weiteren Untersuchungen vorbehalten.

Die immense Bedeutung des Schimmelproblems zeigt sich in der riesigen Zahl publizierter Hinweise und Ratschläge. Sie reichen von umfangreichen Dissertationen und Normen bis zu populären Merkblättern von Mieter- oder Hausbesitzer-Vereinigungen oder Firmenschriften. Davon zeigt das Literatur-Verzeichnis [1-9] nur eine sehr geringe Auswahl. Die Wandecke wird in der Literatur durchweg als „geometrische Wärmebrücke“, mit (alternativlos!?) scharf rechtwinkliger Innenkante, betrachtet und in sogenannten Wärmebrückenkatalogen dargestellt. Hinweise auf die hier erarbeiteten alternativen Möglichkeiten, die Wandecke zu modifizieren, sind nicht zu finden. - Es wird sich sicher lohnen, solche Veröffentlichungen und Sanierungsleitfäden gelegentlich mit entsprechenden Hinweisen zu ergänzen.

Aus wissenschaftlicher Sicht kann das Eckenproblem anstatt als „geometrische Wärmebrücke“ besser als „Temperatur-Kerbe“ bezeichnet werden. Dem physikalischen Effekt, der die Schimmelbildung auslöst, kommt das näher.

Schließlich seien noch drei Sekundäreffekte der gezeigten Modifikationen erwähnt, die sich positiv auswirken können und ebenfalls erweiterten Untersuchungen vorbehalten sind:

- Abschrägungen zwischen Seitenwand und Decke können die Luftzirkulation verbessern und dort die Bildung von stehenden, kalten und feuchten Luftsäcken mindern.
- Der Gesamt-Wärmeverlust bei den eingesetzten Dämmprofilen wird sich leicht verringern.
- Die leicht erhöhte mittlere Wandtemperatur bringt bessere Behaglichkeitswerte.

Literatur

- [1] Willems, W.; Schild, K.; Dinter, S.: Vieweg Handbuch der Bauphysik, Teil1.Vieweg Verlag, Wiesbaden 2006.
- [2] DIN 4108-8: Vermeidung von Schimmelpilzwachstum in Wohngebäuden. Beuth Verlag Berlin 2010.
- [3] NN: Schimmelpilzsanierungs-Leitfaden. Umwelt Bundesamt Berlin/Dessau 2005.
- [4] NN: Sanierung bei Schimmelpilzbefall. BW-Landesgesundheitsamt Stuttgart 2005
- [5] NN :Wärmebrücken. Merkblatt 18. Bayrisches Innenministerium, Okt. 2004.
- [6] Stiegel, H.; Hauser, G.: Wärmebrückenkatalog für Modernisierungs- und Sanierungsmaßnahmen zur Vermeidung von Schimmelpilzen. Fraunhofer IRB Verlag 2006
- [7] Sedlbauer, K.: Vorhersage von Schimmelpilzbildung auf und in Bauteilen. Diss. Uni Stuttgart 2001.
- [8] Peters, F.: Feuchtigkeitsschäden in Wohnungen. Minol Meßtechnik W. Lehmann GmbH & Co. KG. Leinfelden-Echterdingen 2004.
- [9] Oswald, R.: Angemessene Antworten auf das komplexe Problem der Schimmelursachen? Stellungnahme zu DIN 4108-8. Der Bausachverständige, H.1, 2011, S. 32-37.