

Vogel, L¹.: Winterlicher Wärmeschutz bei der Sanierung der Blockstube eines Umgebindehauses

Gliederung:

- 1 Einleitung
- 2 Mindestwärmeschutz
 - 2.1 Bauhygienischer Mindestwärmeschutz
 - 2.2 Tauwasserschutz / Schutz vor Schimmelbildung im ungestörten Bauteilbereich
 - 2.3 Tauwasserschutz / Schutz vor Schimmelbildung an Wärmebrücken
 - 2.3.1 Historische Situation
 - 2.3.2 Historische Situation – abgesenkter Fußboden
 - 2.3.3 Historische Situation – abgesenkter Fußboden, Sockelstein verbrettert
 - 2.3.4 Sanierungslösung 1 – neuer Fußbodenaufbau mit Perimeterdämmung, Innendämmung mit Dampfsperre am Sockelstein
 - 2.3.5 Sanierungslösung 2 – neuer Fußbodenaufbau, Kerndämmung aus Mineralfaser im Sockelbereich
 - 2.3.6 Sanierungslösung 3 – neuer Fußbodenaufbau, Foamglasdämmung im Sockelbereich
 - 2.3.7 Sanierungslösung 4 – neuer Fußbodenaufbau, Außendämmung im Sockelbereich
 - 2.3.8 Sanierungslösung 5 – neuer Fußbodenaufbau mit Perimeterdämmung, Außendämmung im Sockelbereich
- 3 Zusammenfassung

1 Einleitung

Der Erhalt von Umgebindehäusern als Denkmal für die Baukünste vergangener Generationen und landschaftsprägendes Element der Oberlausitz ist nur durch Nutzung und behutsame, dem Gebäude zuträgliche Sanierungsmaßnahmen möglich.

Der scheinbare Widerspruch zwischen den Interessen der Nutzer, den Interessen des Denkmalschutzes und den gegenwärtig gültigen allgemein anerkannten Regeln der Technik muss gelöst werden (Bild 1-1).

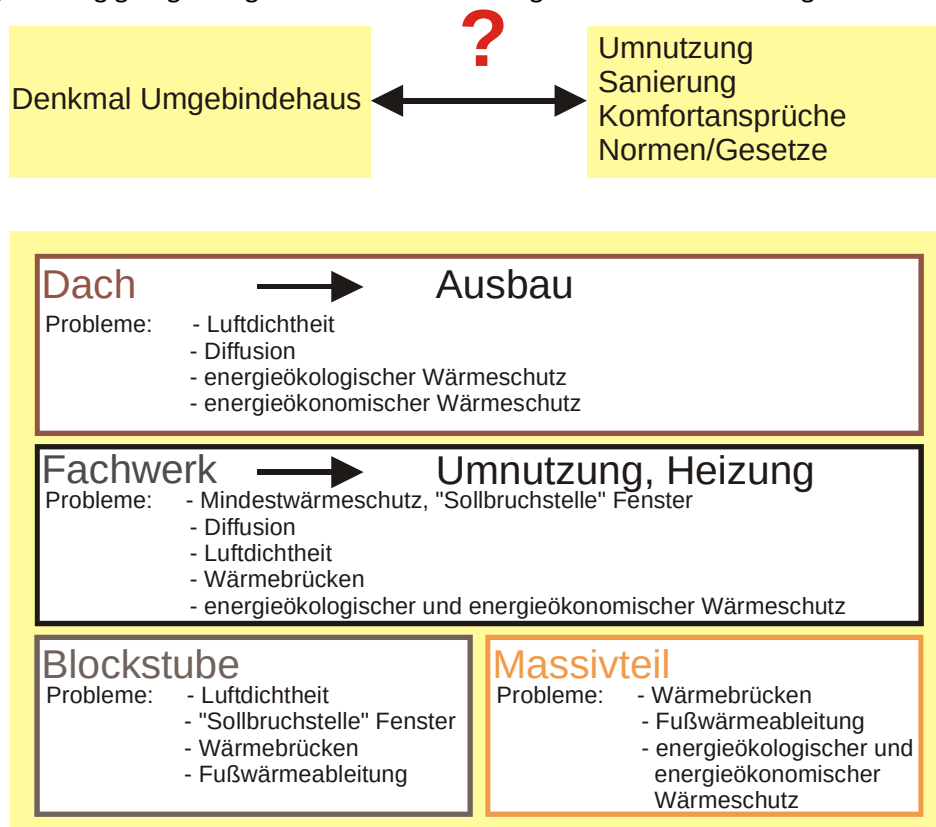


Bild 1-1: Aktuelle Ansprüche an Umgebindehäuser aus bauklimatischer Sicht

¹ Dr.-Ing. Liane Vogel, Hochschule Zittau/Görlitz (FH), Fachbereich Bauwesen

2 Mindestwärmeschutz

Zum Nachweis des Mindestwärmeschutzes wird der vorhandene Wärmeleitwiderstand des Bauteils

$$R_{\lambda} = \sum \frac{s}{\lambda} \quad (1)$$

mit R_{λ} Wärmeleitwiderstand in $\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$
 s Schichtdicke in m
 λ Wärmeleitkoeffizient in $\frac{\text{W}}{\text{mK}}$

mit einem Mindestwert

$$(R_{\lambda})_{\min} = R_i \cdot \frac{(\theta_i - \theta_e)}{(\theta_i - \theta_{oi})_{\text{zul}}} - (R_i + R_e) \quad (2)$$

mit $(R_{\lambda})_{\min}$ Mindestwärmeleitwiderstand in $\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$
 R_i Wärmeübergangswiderstand innen in $\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ nach [1]
 R_e Wärmeübergangswiderstand außen in $\frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ nach [1]
 θ_i Raumtemperatur in °C nach [1]
 θ_e Außentemperatur in °C nach [1]
 θ_{oi} innere Oberflächentemperatur in °C

verglichen. Es muss gelten: $R_{\lambda} > (R_{\lambda})_{\min}$

2.1 Bauhygienischer Mindestwärmeschutz

Der bauhygienische Mindestwärmeschutz ergibt sich aus den Anforderungen an das Raumklima. Ziel ist es, ein behagliches Raumklima für die Nutzer zu erreichen (Funktionssicherung). Es soll die Differenz zwischen der mittleren Oberflächentemperatur der Raumumschließungsflächen

$$\bar{\theta}_u = \frac{\sum (A \cdot \theta_{oi})}{\sum A} \quad (3)$$

und der Raumlufttemperatur θ_i folgende Werte nicht überschreiten:

Optimale Raumklimazustände: $|\theta_i - \bar{\theta}_u| \leq 2\text{K}$

Erträgliche Raumklimazustände: $|\theta_i - \bar{\theta}_u| \leq 5\text{K}$

Dies wird bei Einhaltung der in Tabelle 1 enthaltenen Werten erreicht.

Tabelle 1: Wärmephysiologisch zulässige Oberflächentemperaturdifferenz $\theta_i - \theta_{si}$ zwischen der Raumluft und dem zu berechnenden Außenbauteil

Räume mit einer Außenoberfläche	6
Räume mit zwei und mehr Außenoberflächen, für die zweite Außenoberfläche	4
Räume im obersten Geschoss, für die Dachdecke	3
Wohnungstrenndecken zwischen Räumen mit dezentraler Heizung	3
Kellerdecken und Decken über belüfteten Sockelräumen oder Freiräumen	3
Wand zur unbeheizten (dezentral beheizten) Nachbarwohnung oder zum unbeheizten Treppenhaus	6

Wird die Blockstube als Raum mit mehreren Außenoberflächen angenommen, ergibt sich nach Gleichung (2) ein Mindestwärmeleitwiderstand von

$$(R_{\lambda})_{\min} = 0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot \frac{(20^\circ\text{C} - (-15)^\circ\text{C})}{4\text{K}} - \left(0,13 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) = 0,97 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Durch Umstellen der Gleichung (1) wird deutlich, dass dieser Wärmeleitwiderstand durch Kiefern- oder Fichtenholz mit einer Schichtdicke von ca. 13 cm erreicht wird:

$$s = R_{\lambda} \cdot \lambda = 0,97 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot 0,13 \frac{\text{W}}{\text{mK}} = 0,126\text{m}$$

Die üblichen Holzdicken der Blockstube (15 cm ... 20 cm) sind demnach ausreichend, um die Anforderungen des bauhygienischen Mindestwärmeschutzes zu erfüllen.

2.2 Tauwasserschutz / Schutz vor Schimmelbildung im ungestörten Bauteilbereich

Zur Vermeidung der Taupunktunterschreitung an inneren Bauteiloberflächen muss

$$\theta_{oi} \geq \theta_{Tp}$$

sein, wobei θ_{Tp} als Taupunkttemperatur (= Sättigungstemperatur) der Raumluft bezeichnet wird.

Nach [2] ist für frei gelüftete Wohnräume mit folgenden Randbedingungen zu rechnen:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C} \text{ und } \varphi_i = 50\% \rightarrow \theta_{Tp} = 9,3^\circ\text{C}$$

$$\theta_e = -15^\circ\text{C}$$

$$R_i = 0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_e \text{ nach [1]}$$

Für die Außenwände der Blockstube wird unter diesen Randbedingungen an Hand von Gleichung (2) ein Mindestwärmeleitwiderstand von

$$(R_{\lambda})_{\min} = 0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot \frac{(20^\circ\text{C} - (-15)^\circ\text{C})}{(20^\circ\text{C} - 9,3^\circ\text{C})} - \left(0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) = 0,35 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

ermittelt.

Dieser Wärmeleitwiderstand wird durch Kiefern- oder Fichtenholz mit einer Schichtdicke von ca. 5 cm erreicht:

$$s = R_{\lambda} \cdot \lambda = 0,35 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot 0,13 \frac{\text{W}}{\text{mK}} = 0,046\text{m}$$

Bei kapillar-porösen Baustoffen tritt im Baustoff auch bei $80\% < \varphi_i < 100\%$ je nach Kapillarendurchmesser bereits eine Kapillarkondensation auf, die Schimmelwachstum an der Bauteiloberfläche ermöglicht. Man kann annehmen [4], dass bei vierwöchiger Kapillarkondensation Schimmelbildung beginnt. Deshalb wird ausgehend vom Monatsmittelwert der Außenlufttemperatur des kältesten Monats von -1°C bei Annahme von -5°C einer Schimmelbildung durch bautechnischen Wärmeschutz bei einem Nutzerklima $20^\circ\text{C}/50\%$ mit Sicherheit vorgebeugt.

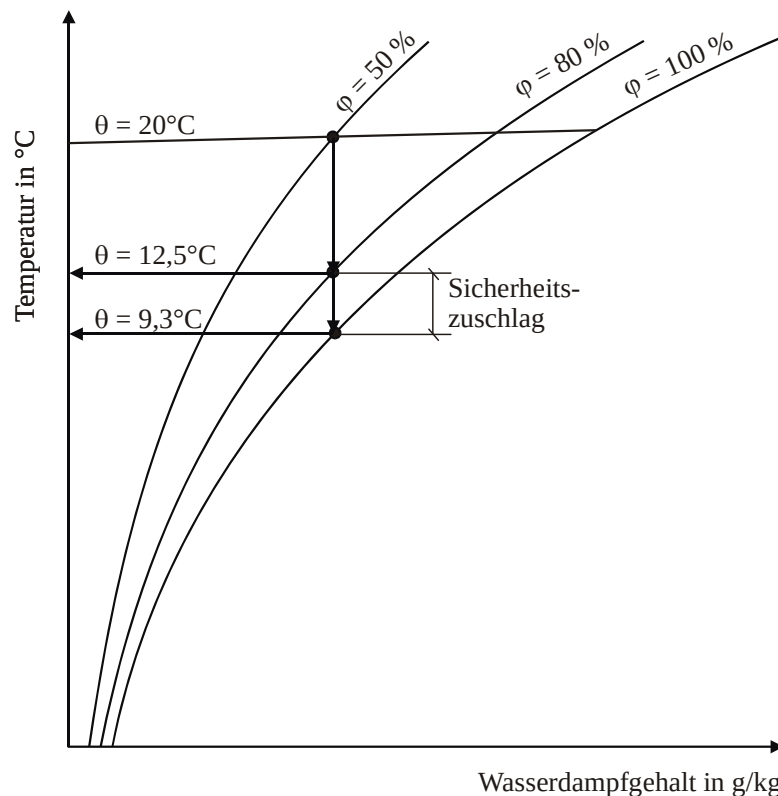


Bild 2-1: Skizze des h,x-Diagrammes

Bild 2-1 zeigt, dass für die o.g. Bedingungen die Nachweisrechnung mit $\theta_{si} = 12,6^\circ\text{C}$ erfolgt.

In [3] sind für frei gelüftete Räume folgende Randbedingungen für die Berechnung festgelegt:

- Wärmeübergangswiderstand innen: $R_i = 0,25 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$ (beheizte Räume)
Der hoch gewählte Wärmeübergangswiderstand auf der Innenseite berücksichtigt die behinderte Wärmezufuhr.
- Wärmeübergangswiderstand außen: $R_e = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$
- minimal zulässige innere Oberflächentemperatur: $\theta_{oi} = 12,5^\circ\text{C}$ bei $20^\circ\text{C}/50\%$
- Außenlufttemperatur: $\theta_e = -5^\circ\text{C}$

Für die Außenwände der Blockstube wird unter diesen Randbedingungen an Hand von Gleichung (2) ein Mindestwärmeleitwiderstand von

$$(R_\lambda)_{\min} = 0,25 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot \frac{(20^\circ\text{C} - (-5^\circ\text{C}))}{(20^\circ\text{C} - 12,5^\circ\text{C})} - \left(0,25 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} + 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \right) = 0,54 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

ermittelt.

Dieser Wärmeleitwiderstand wird durch Kiefern- oder Fichtenholz mit einer Schichtdicke von ca. 7 cm erreicht:

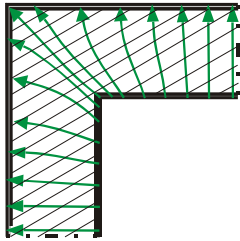
$$s = R_\lambda \cdot \lambda = 0,54 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}} \cdot 0,13 \frac{\text{W}}{\text{mK}} = 0,07 \text{ m}$$

Die üblichen Holzdicken der Blockstube (15 cm ... 20 cm) sind demnach ausreichend, um die Anforderungen des Tauwasserschutzes / Schutz vor Schimmelbildung zu erfüllen.

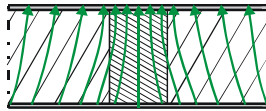
2.3 Tauwasserschutz / Schutz vor Schimmelbildung im Bereich von Wärmebrücken

Als Wärmebrücken werden örtlich begrenzte Stellen mit höherer Wärmestromdichte als angrenzende Bauteilbereiche bezeichnet. Ihr physikalisches Merkmal ist, dass die Wärmestromlinien nicht parallel zueinander verlaufen. Es wird unterschieden zwischen geometrisch und stofflich bedingten Wärmebrücken (Bild 2.3-1). In der Praxis treten meist gemischte Formen auf.

geometrisch bedingt



stofflich bedingt



Vergleich: ungestörter Bereich

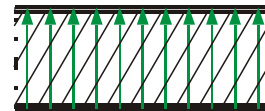


Bild 2.3-1: Arten von Wärmebrücken

Wärmebrücken sind nicht vermeidbar, jedoch müssen ihre Wirkungen

- Absenkung der inneren Oberflächentemperatur gegenüber ungestörten Bauteilbereichen → Gefahr der Tauwasser- und Schimmelbildung
- zusätzliche Transmissionswärmeverluste

soweit wie möglich reduziert werden.

Zur Untersuchung der Wärmebrückenwirkungen im Bereich der Blockstube eines Umgebіндеhauses wurde die Software TRISCO der Firma PHYSIBEL genutzt.

Es wurden folgende Wärmebrücken berechnet:

- Anschluss Fußboden/Außenwand (Sockelbereich)
- Anschluss Außenwand/Außenwand
- Anschluss Außenwand/Decke
- Anschluss Außenwand/Innenwand
- Fensteranschluss

Tauwasserprobleme wurden lediglich im Sockelbereich festgestellt.

Es wurden deshalb der historische Zustand sowie unterschiedliche Sanierungsmaßnahmen im Hinblick auf Tauwasserbildung in diesem Bereich untersucht. Da die Bedingungen zur Vermeidung von Schimmelbildung strenger sind als zum Tauwasserschutz, ist beim Auftreten von Tauwasser ebenfalls mit Schimmelbildung zu rechnen.

Randbedingungen zur Berechnung:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C} \text{ und } \varphi_i = 50\% \rightarrow \theta_{Tp} = 9,3^\circ\text{C}$$

$$\theta_{e\text{Außenluft}} = -15^\circ\text{C}$$

$$\theta_{e\text{Erreich}} = 10^\circ\text{C} \text{ (unterer Abschluss 3 m unter OK Gelände)}$$

$$R_i = 0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{e\text{Außenluft}} = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

$$R_{e\text{Erreich}} = 0$$

Berechnungsskizzen und grafische Ergebnisse sind in den Anlagen 2.3.1 bis 2.3.8 dargestellt.

2.3.1 Historische Situation

Ein Beispiel für die historische Ausführung des Sockelbereichs zeigt Anlage 2.3.1, Bilder 2.3.1-1 bis 2.3.1-5.

Bild 2.3.1-2 zeigt die in TRISCO erstellte Berechnungsskizze zur Modellierung der historischen Situation. Das grafische Berechnungsergebnis ist in Bild 2.3.1-3 dargestellt.

- Aus dem numerischen Ergebnisausdruck wurde eine minimale innere Oberflächentemperatur von $\theta_{\text{simin}} = 6,6^\circ\text{C}$ ermittelt. Die Taupunkttemperatur $\theta_{\text{TP}(20^\circ\text{C}, 50\%)} = 9,3^\circ\text{C}$ wird unterschritten. Unter den zu Grunde gelegten Randbedingungen treten Kondensat- und Schimmelbildung auf der inneren Bauteiloberfläche auf.

Die Berechnung erfolgte für den Fall, dass die Scheuerleiste dicht am Sockelstein anliegt. Dies ist in der Praxis kaum der Fall, so dass die minimale innere Oberflächentemperatur im Anschlussbereich Außenwand/Fußboden noch geringer sein wird.

- Bei einer Außentemperatur von $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ liegen die Temperaturen zwischen dem unteren Wandbalken und dem Sockelstein im Frostbereich (Bild 2.3.1-4). Das entstehende Eis erschwert die Austrocknung, es erfolgt eine weitere Kondensatanreicherung.

Ist der Sockelstein aus Granit oder ist eine Dichtung zwischen Sockelstein und unterer Balkenlage vorhanden, ist eine Verteilung des entstehenden Kondensats ebenfalls erschwert. Ohne Dichtung oder bei Verwendung eines Sandsteinssockels kann durch konvektive Vorgänge mehr Kondensat in das Bauteil gelangen, die Austrocknungsmöglichkeiten sind jedoch besser.

- Die Wärmebrückenberechnung zeigt, dass die Oberflächentemperatur der äußeren Dielenbalken bei einer Außentemperatur von $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ teilweise weit unterhalb der Taupunkttemperatur liegt (Bild 2.3.1-4). An der Balkenoberfläche entsteht Kondensat bzw. Eis.

- Für das historische Detail wurden an Hand der Temperaturen aus dem numerischen Ergebnisausdruck Diffusionsrechnungen vorgenommen, um die innerhalb des Bauteils entstehende Kondensatmenge zu ermitteln.

Die Bilder 2.3.1-5 a) bis d) zeigen, dass der Wasserdampfpartialdruck innerhalb der Balkenlagen in immer größeren Bereichen dem Sättigungsdampfdruck entspricht, je weiter sich die Berechnungen dem Sockelstein nähern.

An der Schichtgrenze zwischen Wandbalken und Sockelstein ist das Berechnungsverfahren nicht aussagefähig, da sich auf der inneren Oberfläche Kondensat bildet.

Es wird eingeschätzt, dass die Kondensatmenge im Bereich der Wärmebrücke zu groß ist.

Das bisher verwendete Verfahren nach Glaser [5] unter Einbeziehung der Temperaturen aus der Wärmebrückenberechnung zeigt die Gefahr einer zu großen Kondensatanreicherung im Bauteil, ist jedoch für genauere Berechnungen nicht geeignet. Deshalb sind die Auswirkungen von Diffusionsvorgängen in weiteren Arbeiten genauer zu untersuchen.

2.3.2 Historische Situation - abgesenkter Fußboden

Um die Raumhöhe zu vergrößern wird mitunter einfach der Fußbodenaufbau in der Blockstube entfernt, der Fußboden abgegraben und der Dielenfußboden wieder hergestellt (Anlage, Bild 2.3.2-1).

Die Berechnungsskizze sowie das grafische Berechnungsergebnis sind in Bild 2.3.2-2 bzw. 2.3.2-3 dargestellt.

Die minimale innere Oberflächentemperatur im Sockelbereich beträgt $-0,2^\circ\text{C}$. Es kommt zu Kondensat- und sogar Eisbildung auf der inneren Oberfläche des Sockelsteins.

Die beim historischen Detail auftretenden Probleme werden in dieser Ausführungsvariante verschärft.

2.3.3 Historische Situation - abgesenkter Fußboden, Sockelstein verbrettert

Gängige Praxis ist das Absenken des Fußbodens und die anschließende Verkleidung des Sockelsteins mit Brettern (Anlage, Bild 2.3.3-1).

- Bei dieser Variante wird analog der historischen Situation eine minimale innere Oberflächentemperatur von 6,6°C erreicht (Bild 2.3.3.-3). Kondensat- und Schimmelbildung treten auf.
- Wenn die Verbretterung „knirsch“ am Sockelstein anliegt, wirkt sie wie eine Innendämmung ohne Dampfsperre. Es bildet sich Kondensat und u.U. Eis zwischen der Verbretterung und dem Sockelstein. Außerdem ist die Temperatur zwischen unterer Balkenlage und Sockelstein geringer als ohne Verbretterung. Es entsteht auch zwischen diesen Schichten Kondensat. Die Austrocknungsmöglichkeiten sind gering.
- Liegt die Verbretterung nicht dicht an, dringt warme, feuchte Raumluft an den Sockelstein. Die Kondensatmenge wird noch größer. Die Situation ist dann analog Punkt 2.3.2.

2.3.4 Sanierungslösung 1 - Neuer Fußbodenaufbau mit Perimeterdämmung, Innendämmung mit Dampfsperre am Sockelstein

Bild 2.3.4-1 in der Anlage zeigt einen neuen Fußbodenaufbau, der diffusionstechnisch optimal ist. Die Abdichtung liegt an der warmen Seite des Dämmstoffes, so dass innerhalb der Fußbodenkonstruktion kein Kondensat durch Diffusionsvorgänge entsteht.

- Das grafische Ergebnis der Wärmebrückenberechnung (Bild 2.3.4-3) zeigt, dass die minimale innere Oberflächentemperatur im Sockelbereich auf 12,2°C ansteigt. Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der inneren Oberfläche sind bei dieser Variante ausgeschlossen.
- Im Sockelbereich ist die Dampfsperre auf der warmen Seite des Dämmstoffes unbedingt notwendig. In der Praxis wird die luftdichte Ausführung aller Anschlüsse Schwierigkeiten bereiten, da in diesem Bereich oft Installationsleitungen verlegt werden.
- Je höher die Innendämmung (mit Dampfsperre!) an der Innenseite der Balkenlagen gezogen wird, desto weniger Kondensatbildung ist zwischen der unteren Balkenlage und dem Sockelstein zu erwarten.

In Bild 2.3.4-1 ist diese Sanierungslösung mit einem neuen Fundament unter der Blockstubenwand dargestellt. Wird Blockstubenwand auf dem alten Fundament belassen, gelten die Ergebnisse analog.

2.3.5 Sanierungslösung 2 - Neuer Fußbodenaufbau, Kerndämmung mit Mineralfaser im Sockelbereich

Bei dieser Sanierungslösung (Anlage, Bild 2.3.5-1) übernimmt ein Gerüst aus Stahlprofilen die Lastabtragung der Blockstubenwände auf die Bodenplatte. Zwischen den Stahlprofilen erfolgt eine „Ausfachung“ mit Mineralfaserdämmung.

Der dargestellte neue Fußbodenaufbau ist zur Lastabtragung vorteilhaft, jedoch diffusionstechnisch problematisch. Es liegen Abdichtungen auf der kalten Seite des Dämmstoffes (Fußboden und Sockelbereich). Kondensatbildung zwischen Dämmstoff und Abdichtung ist möglich.

- Das grafische Ergebnis der Wärmebrückenberechnung (Bild 2.3.5-3) zeigt, dass die minimale innere Oberflächentemperatur im Sockelbereich auf 16,5°C ansteigt. Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der inneren Oberfläche sind bei dieser Variante ausgeschlossen.
- Im Sockelbereich ist die Dampfsperre auf der warmen Seite des Dämmstoffes unbedingt notwendig. In der Praxis wird die luftdichte Ausführung aller Anschlüsse Schwierigkeiten bereiten, da in diesem Bereich oft Installationsleitungen verlegt werden. Der s_d -Wert der Dampfsperre an der warmen Seite der Dämmung muss an der s_d -Wert der Abdichtung an der kalten Seite angepasst werden.
- Die Kerndämmung ist vorteilhaft, da so die Temperatur am Balkenaufleger höher wird und die Gefahr der Kondensatbildung innerhalb der Konstruktion in diesem Bereich sinkt.
- Die Anordnung der Abdichtungen behindert die Austrocknung.

2.3.6 Sanierungslösung 3 - Neuer Fußbodenaufbau, Foamglasdämmung im Sockelbereich

Bei dieser Sanierungslösung (Anlage, Bild 2.3.6-1) übernehmen Foamglassteine die Lastabtragung der Blockstubenwände auf die Bodenplatte.

Der dargestellte neue Fußbodenaufbau ist zur Lastabtragung vorteilhaft, jedoch diffusionstechnisch problematisch. Es liegen Abdichtungen auf der kalten Seite des Dämmstoffs (Fußboden und Sockelbereich). Kondensatbildung zwischen Dämmstoff und Abdichtung ist möglich.

- Das grafische Ergebnis der Wärmebrückenberechnung (Bild 2.3.6-3) zeigt, dass die minimale innere Oberflächentemperatur im Sockelbereich 15,6°C beträgt. Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der inneren Oberfläche sind bei dieser Variante ausgeschlossen.
- Es ist keine Dampfsperre auf der warmen Seite des Dämmstoffes notwendig, da das Foamglas einen sehr hohen s_d -Wert aufweist.
- Die Lage der Dämmung ist vorteilhaft, da so die Temperatur am Balkenaufleger höher wird und die Gefahr der Kondensatbildung innerhalb der Konstruktion in diesem Bereich sinkt.
- Die Anordnung der Abdichtungen behindert die Austrocknung.

2.3.7 Sanierungslösung 4 - Neuer Fußbodenaufbau, Außendämmung im Sockelbereich

Bei dieser Sanierungslösung (Anlage, Bild 2.3.7-1) erfolgt die Lastabtragung über das Fundament. Der diffusionstechnisch ungünstige Fußbodenaufbau mit Abdichtung an der kalten Seite des Dämmstoffs ist konstruktiv nicht notwendig.

Der Einsatz der dargestellten Außendämmung setzt voraus, dass eine denkmalschutzgerechte Abdeckung des Dämmstoffes (Formsteine o.ä.) erfolgt.

- Das grafische Ergebnis der Wärmebrückenberechnung (Bild 2.3.7-3) zeigt, dass die minimale innere Oberflächentemperatur im Sockelbereich 16,6°C beträgt. Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der inneren Oberfläche sind bei dieser Variante ausgeschlossen.
- Die Außendämmung im Sockelbereich ist diffusionstechnisch günstig. Kondensatbildung innerhalb der Konstruktion ist ausgeschlossen, da die Abdichtungen auf der warmen Seite des Dämmstoffs liegen.
- Die Temperatur am Balkenaufleger ist durch die Anordnung der Dämmung auf der Außenseite so hoch, dass keine Kondensatbildung im Bauteilinnern auftritt.
- Die Temperatur im gekennzeichneten Bereich (Bild 2.3.7-3) ist durch die Außendämmung ebenfalls höher als für die Sanierungslösung 3. Die Gefahr der Kondensatbildung zwischen Fußbodendämmung und Abdichtung wird deshalb geringer.

2.3.8 Sanierungslösung 5 - Neuer Fußbodenaufbau mit Perimeterdämmung, Außendämmung im Sockelbereich

Bei dieser Sanierungslösung (Anlage, Bild 2.3.8-1) erfolgt die Lastabtragung über das Fundament. Der Einsatz der dargestellten Außendämmung setzt voraus, dass eine denkmalschutzgerechte Abdeckung des Dämmstoffes (Formsteine o.ä.) erfolgt.

- Das grafische Ergebnis der Wärmebrückenberechnung (Bild 2.3.8-3) zeigt, dass die minimale innere Oberflächentemperatur im Sockelbereich 15,9°C beträgt. Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der inneren Oberfläche sind bei dieser Variante ausgeschlossen.
- Die Außendämmung im Sockelbereich sowie die Perimeterdämmung im Fußbodenbereich sind diffusionstechnisch günstig. Kondensatbildung innerhalb der Konstruktion ist ausgeschlossen, da die Abdichtungen auf der warmen Seite des Dämmstoffs liegen.
- Die Temperatur am Balkenaufleger ist durch die Anordnung der Dämmung auf der Außenseite so hoch, dass keine Kondensatbildung im Bauteilinnern auftritt.
- Die Temperatur im gekennzeichneten Bereich (Bild 2.3.8-3) ist durch die Außendämmung ebenfalls höher als für die Sanierungslösung 3. Die Gefahr der Kondensatbildung zwischen Fußbodendämmung und Abdichtung wird deshalb geringer.

Sanierungslösung 5 ist aus bauphysikalischer Sicht eine sehr gute Lösung für den Sockelbereich und den Fußboden der Blockstube.

3 Zusammenfassung

Die Außenwände der Blockstube erfüllen im ungestörten Bauteilbereich die Anforderungen des Mindestwärmeschutzes.

Der Bereich des Blockstubensockels ist eine Hauptschadensstelle am Umgebindehaus. Die historische Ausführung des Blockstubensockels kann durch Feuchteeinwirkungen geschädigt werden.

Der vorliegende Vortrag untersucht folgende Feuchtequellen näher:

- Tauwasser- oder Schimmelbildung auf der inneren Oberfläche wegen unzureichendem Mindestwärmeschutz,
- Diffusionskondensat innerhalb der Konstruktion.

Ungeeignete Sanierungslösungen verschärfen das Problem.

Es wurden geplante und/oder ausgeführte Sanierungslösungen beschrieben und bewertet. Die Ergebnisse sind im Anhang zusammengestellt.

Literatur:

- [1] DIN 4108: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 4: Wärme- und feuchteschutztechnische Kennwerte, 1998 - 10
- [2] DIN 4108: Wärmeschutz im Hochbau
Teil 2: Wärmedämmung und Wärmespeicherung, Anforderungen und Hinweise für die Planung und Ausführung, 1981 - 08
- [3] DIN 4108: Wärmeschutz und Energieeinsparung in Gebäuden
Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, 2003 – 07
- [4] Klopfer, H.: Schimmel an Außenbauteilen – Ursachen und Abhilfemöglichkeiten ARCONIS 3/01
S.33
- [5] DIN EN ISO 13788: Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und Tauwasserbildung im Bauteilinneren Berechnungsverfahren, 2001 - 11

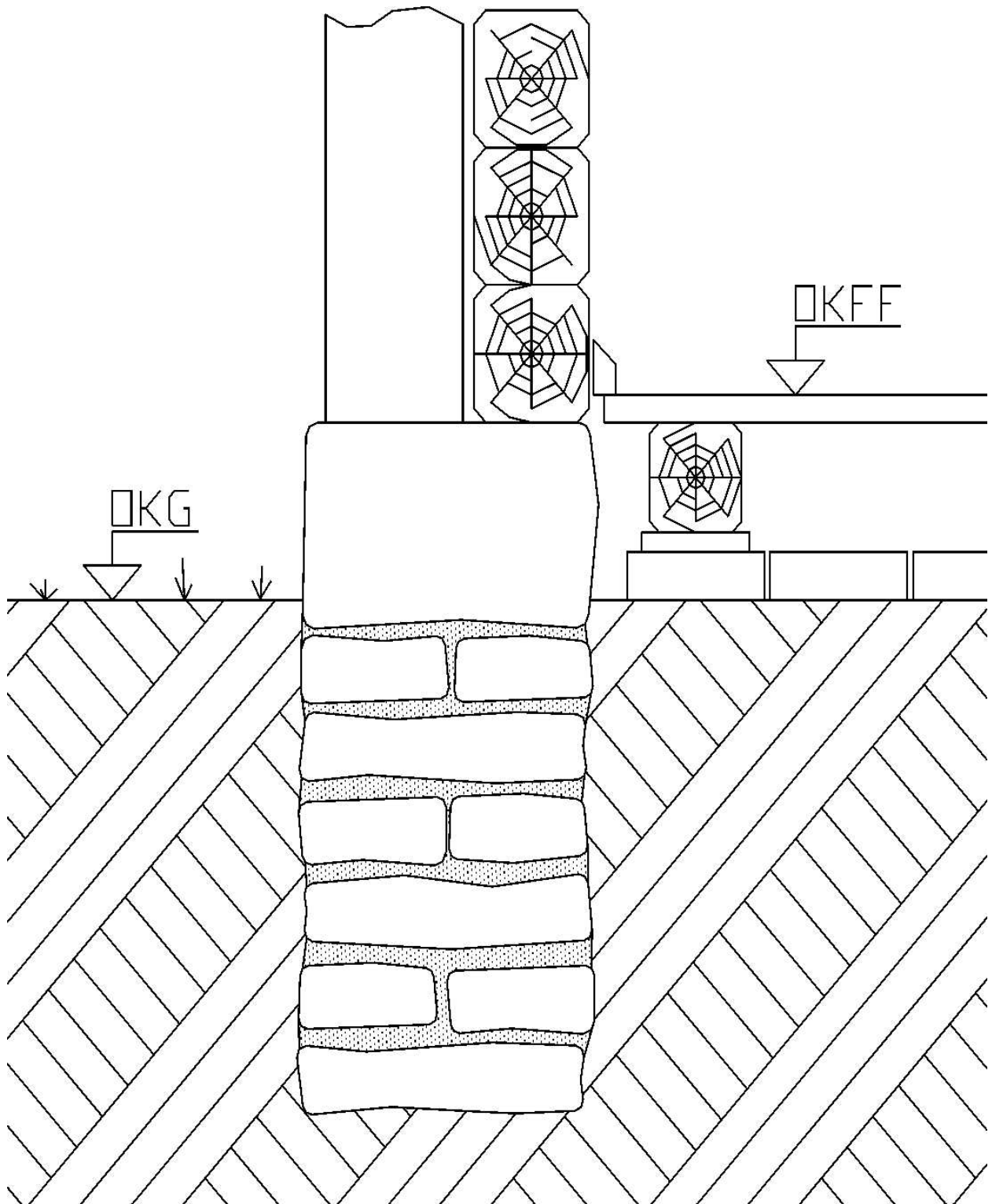


Bild 2.3.1-1: Skizze der historischen Situation
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

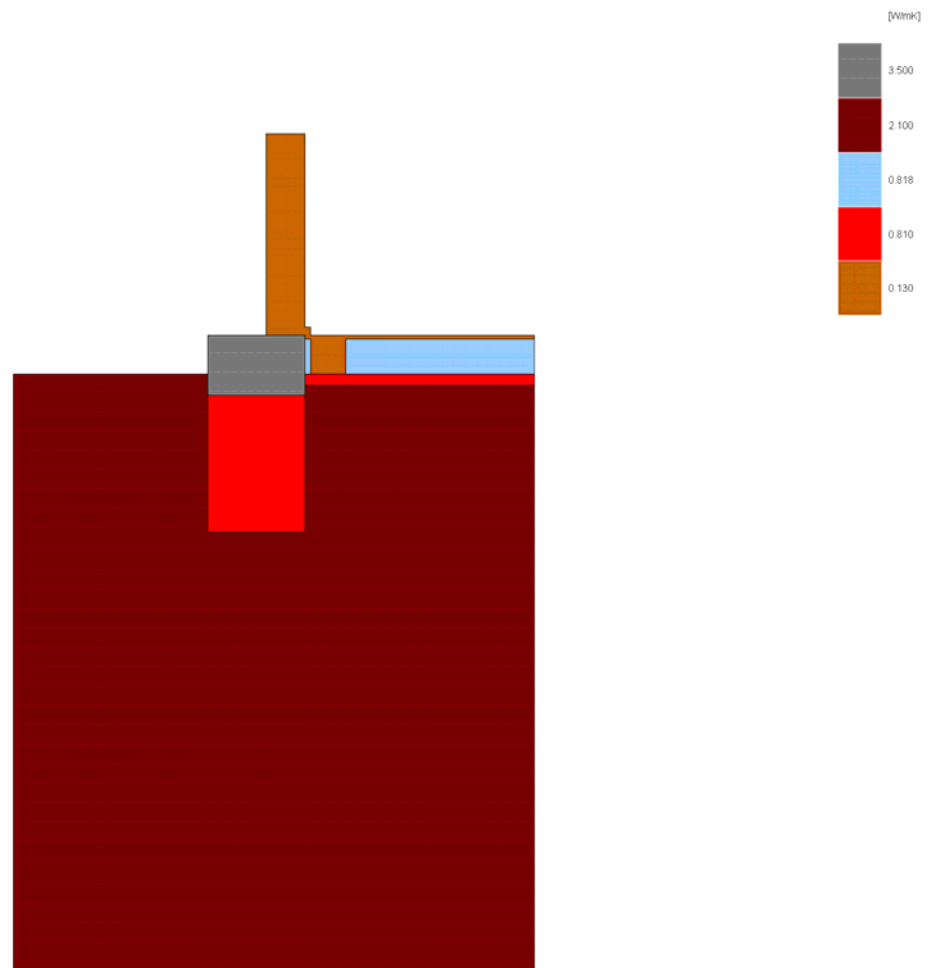


Bild 2.3.1-2: Berechnungsskizze zur historischen Situation

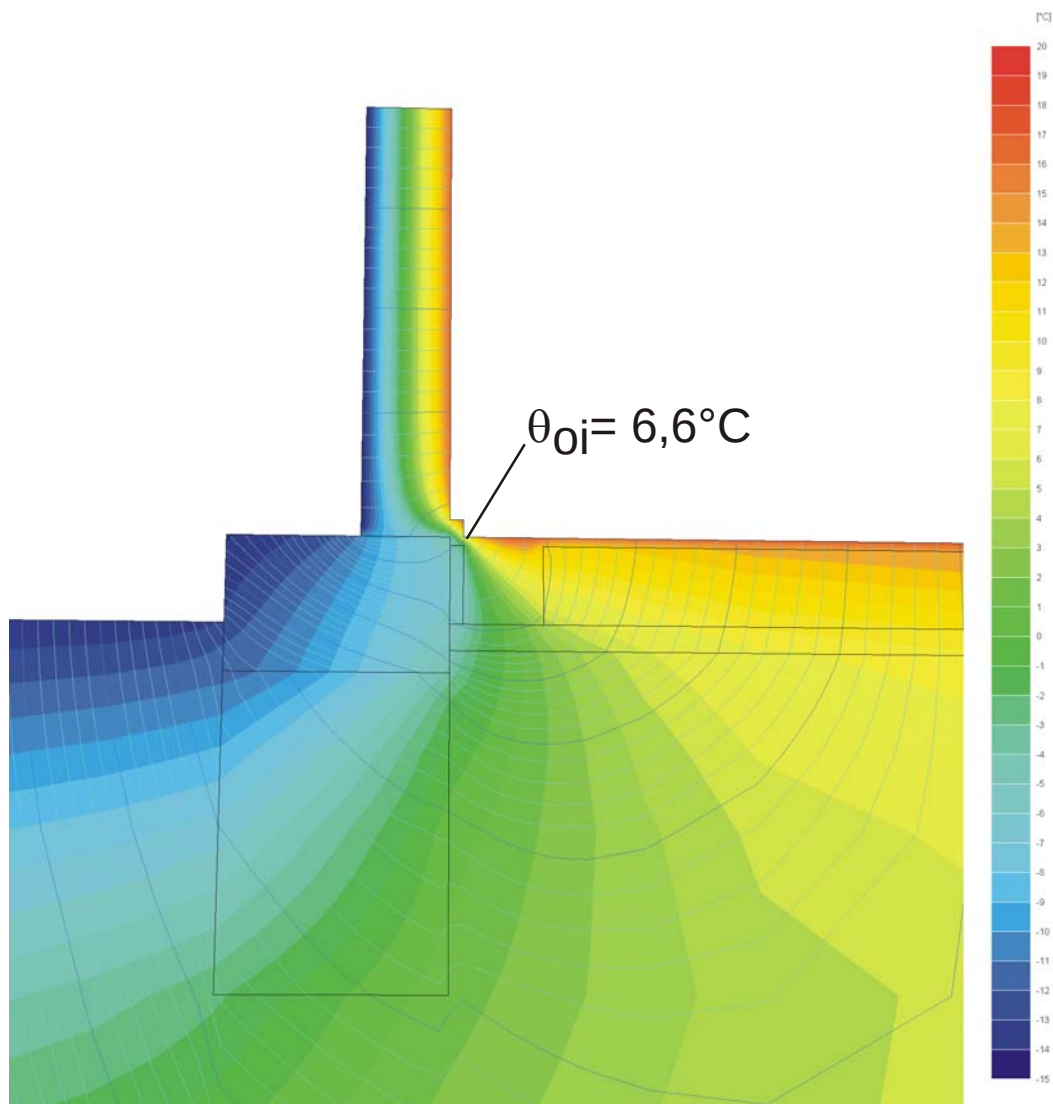


Bild 2.3.1-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur historischen Situation

Ergebnisse:

1. $\theta_{oimin} = 6,6^\circ\text{C} \rightarrow$ Taupunktunterschreitung auf der inneren Oberfläche
2. Diffusionsrechnung mit Temperaturen aus der Wärmebrückenberechnung:
 - Kondensatanfall im Bereich zwischen Sockelstein und Balken fast über die gesamte Wandbreite
 - mit Dichtung oder Granitsockelstein: Kondensat kann sich wegen fehlender Kapillaraktivität nicht verteilen
 - Kondensatmenge ist zu groß, Temperaturen zwischen Balken und Sockelstein oder Abdichtung liegen bei $\theta_e = -15^\circ\text{C}$ im Frostbereich $\rightarrow$ weitere Kondensatanreicherung, Austrocknung erschwert
 - ohne Dichtung oder Sandsteinsockel: mehr Kondensat durch Feuchtekonvektion, jedoch bessere Austrocknungsmöglichkeiten
3. Kondensatbildung am Dielenbalken (Temperaturen im Bild 2.3.1.-4) $\rightarrow$ Fäulnis

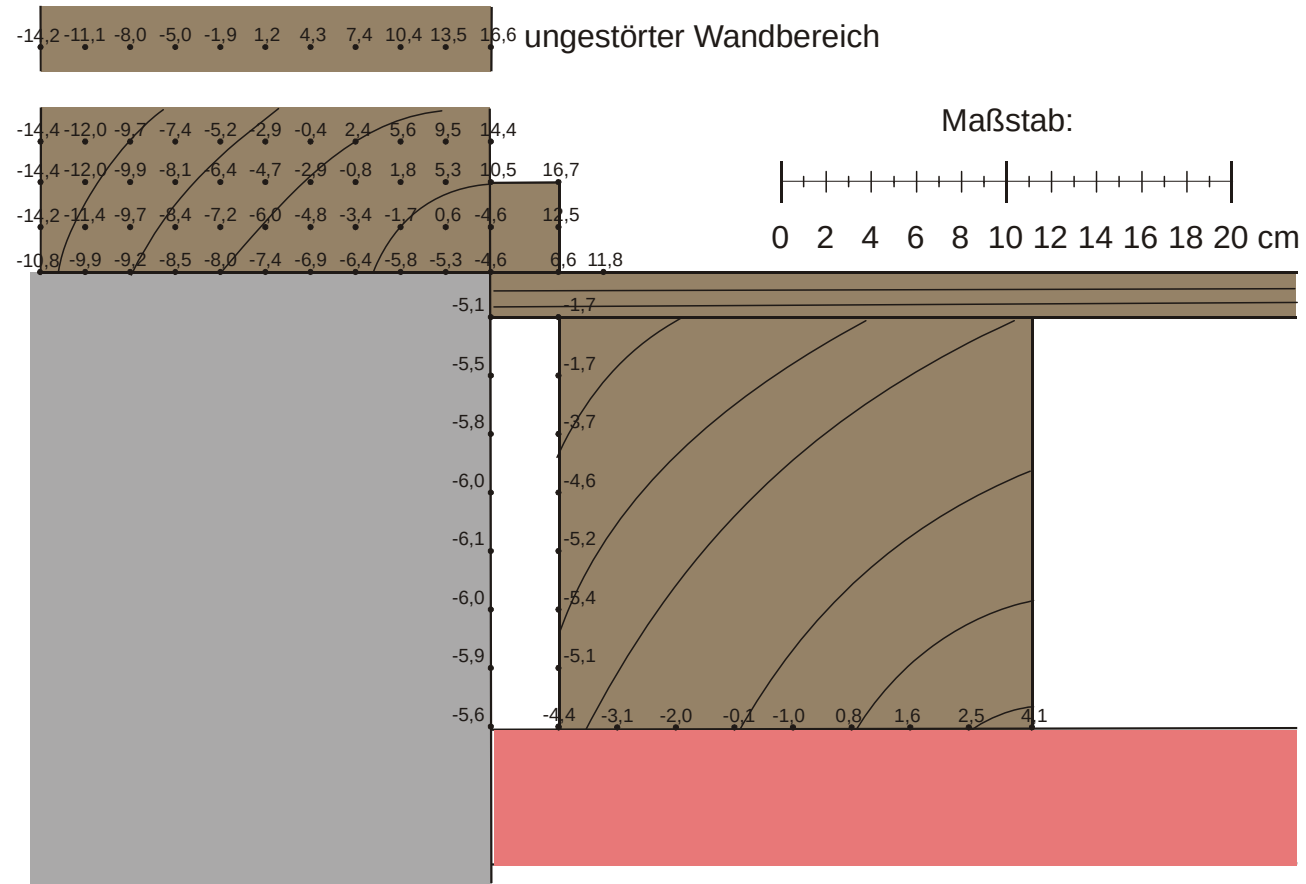
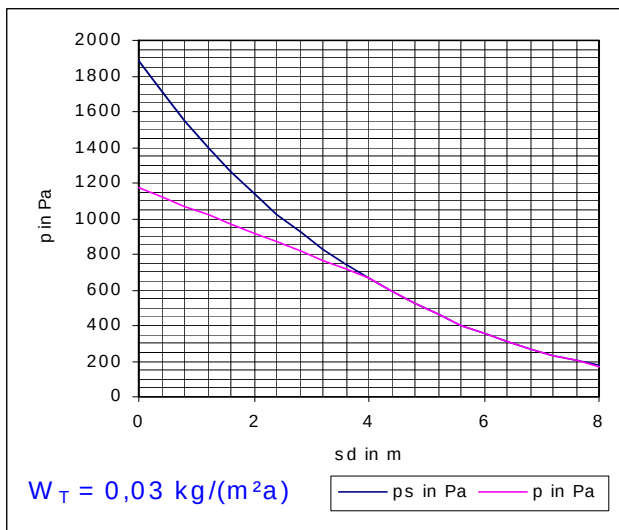
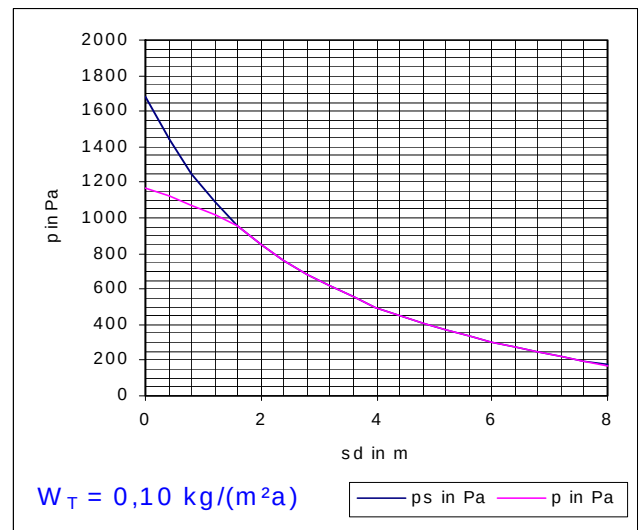


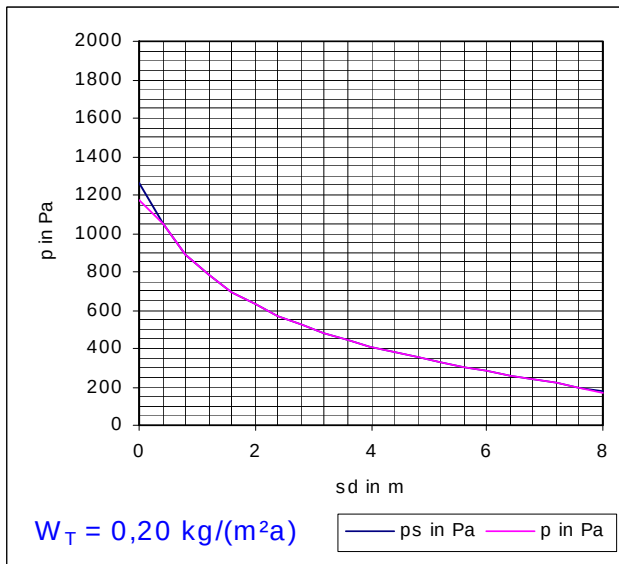
Bild 2.3.1-4: Temperaturen ausgewählter Punkte in °C (Auszug aus dem numerischen Ergebnis)



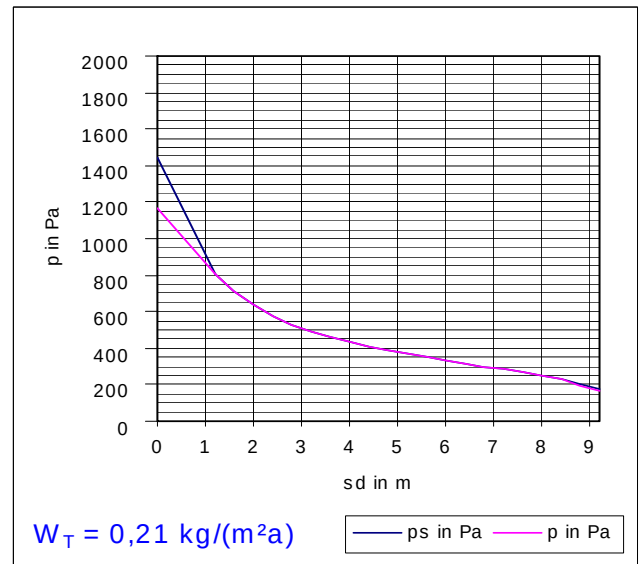
a) ungestörter Bauteilbereich



b) 7,12 cm oberhalb des Sockelsteins



c) 4 cm oberhalb des Sockelsteins



d) 2 cm oberhalb des Sockelsteins
 (mit Scheuerleiste bis $s_d = 1,2 \text{ m}$)

Bild 2.3.1-5: GLASER-Diagramme für den Wandquerschnitt in unterschiedlichen Abständen zum Sockelstein

Randbedingungen:

$$\theta_i = 20^\circ\text{C}, \theta_e = -15^\circ\text{C}$$

$$R_i = 0,17 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}, R_e = 0,04 \frac{\text{m}^2\text{K}}{\text{W}}$$

Temperaturen aus der Wärmebrückenberechnung

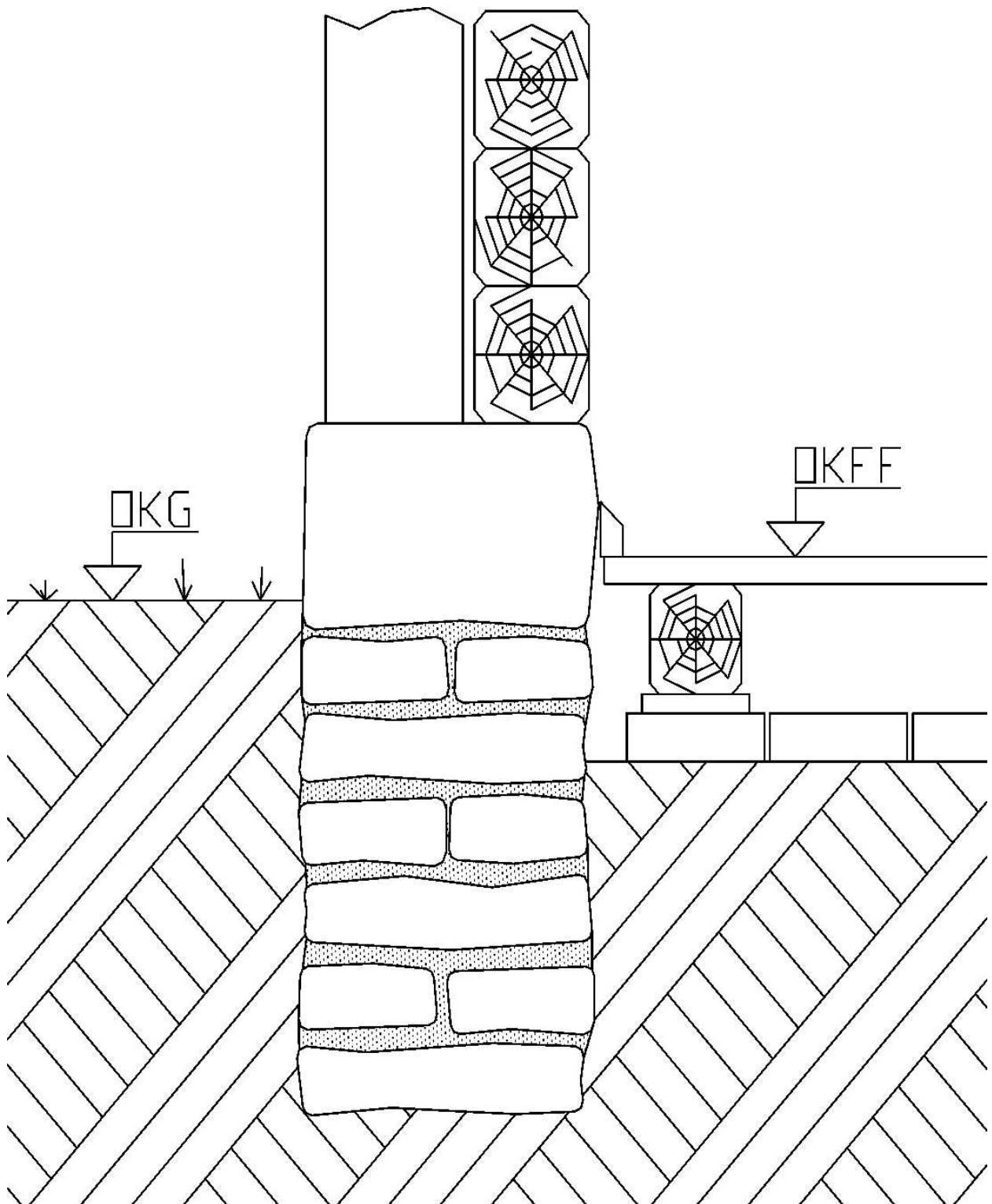


Bild 2.3.2-1: Skizze der historischen Situation mit abgesenktem Fußboden
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

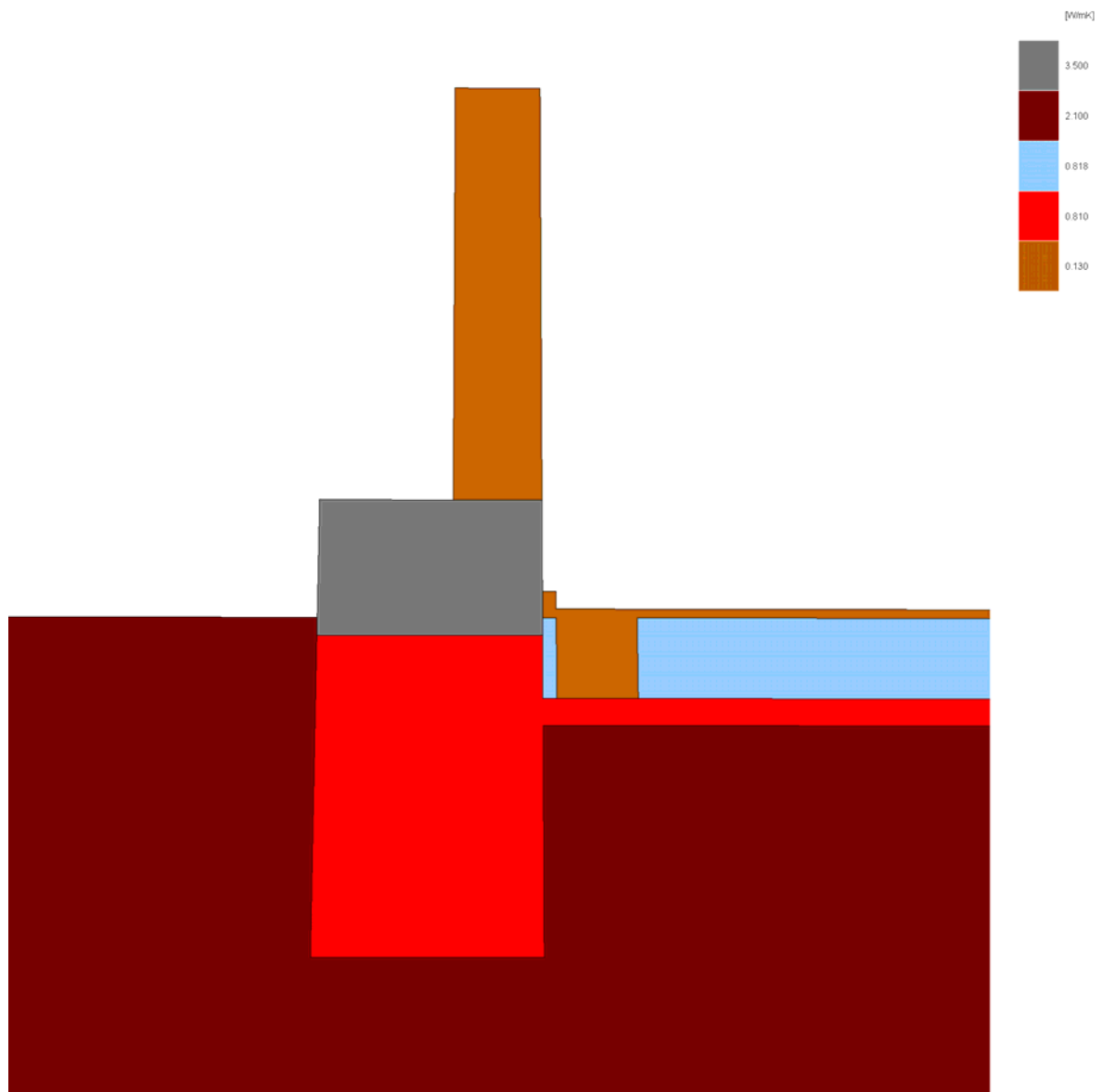


Bild 2.3.2-2: Berechnungsskizze zur historischen Situation mit abgesenktem Fußboden

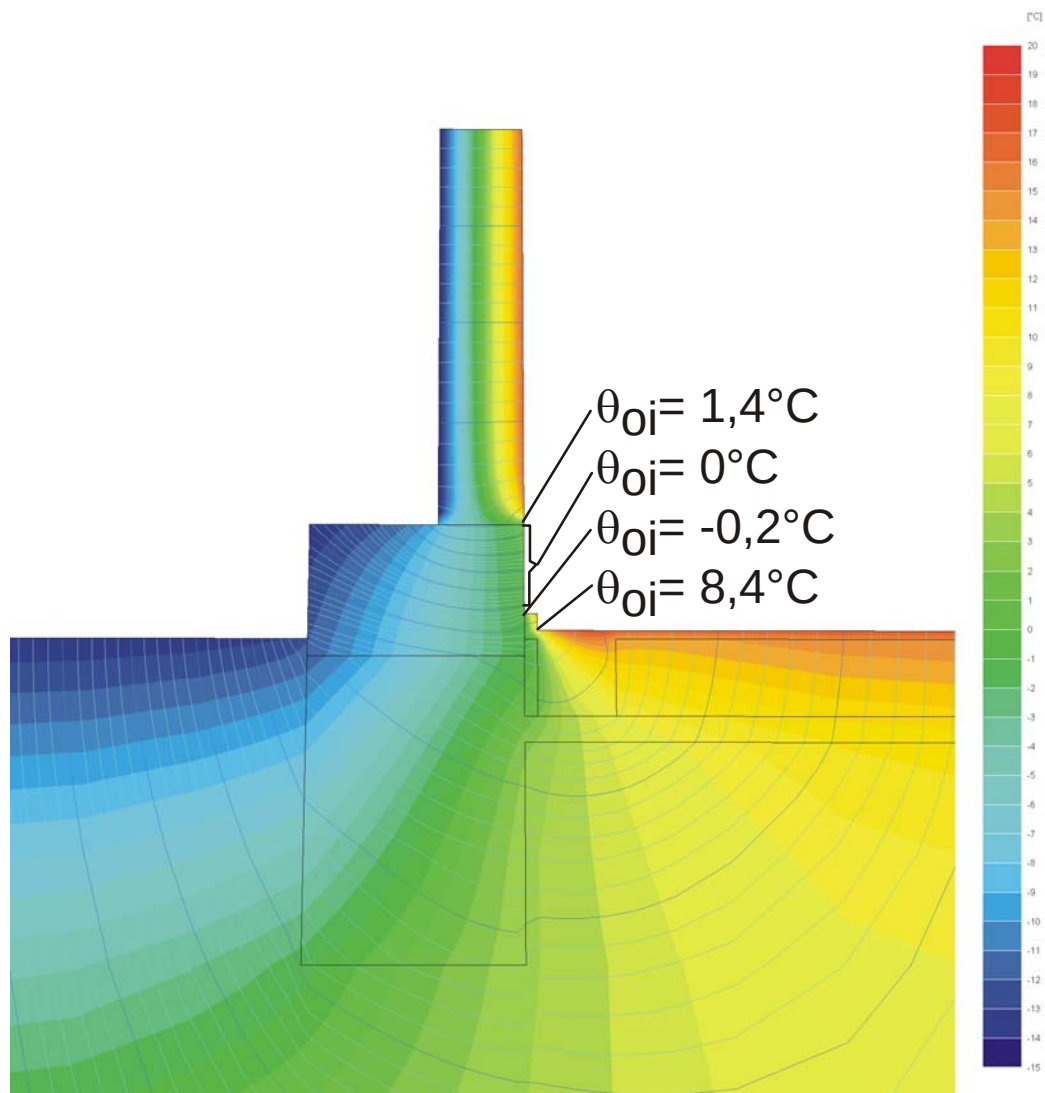


Bild 2.3.2-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur historischen Situation mit abgesenktem Fußboden

Ergebnisse:

$\theta_{oi\text{Sockelstein}} = -0,2 \dots 1,4^{\circ}\text{C} \rightarrow$ Taupunktunterschreitung auf der inneren Oberfläche $\rightarrow$ Kondensat- und Eisbildung am Sockelstein

Die beim historischen Detail vorliegenden Probleme werden verschärft.

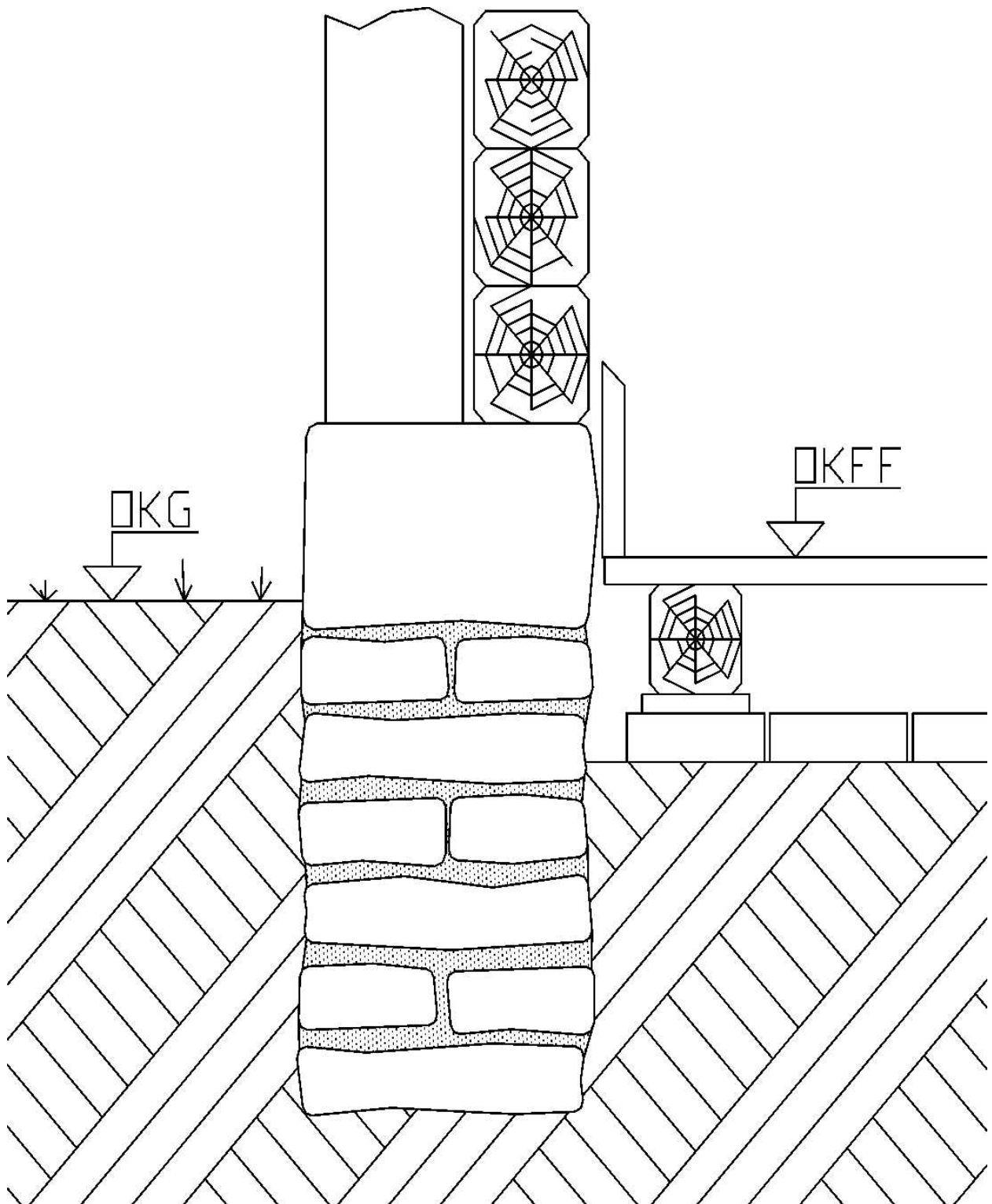


Bild 2.3.3-1: Skizze der historischen Situation mit abgesenktem Fußboden und verbrettertem Sockelstein
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

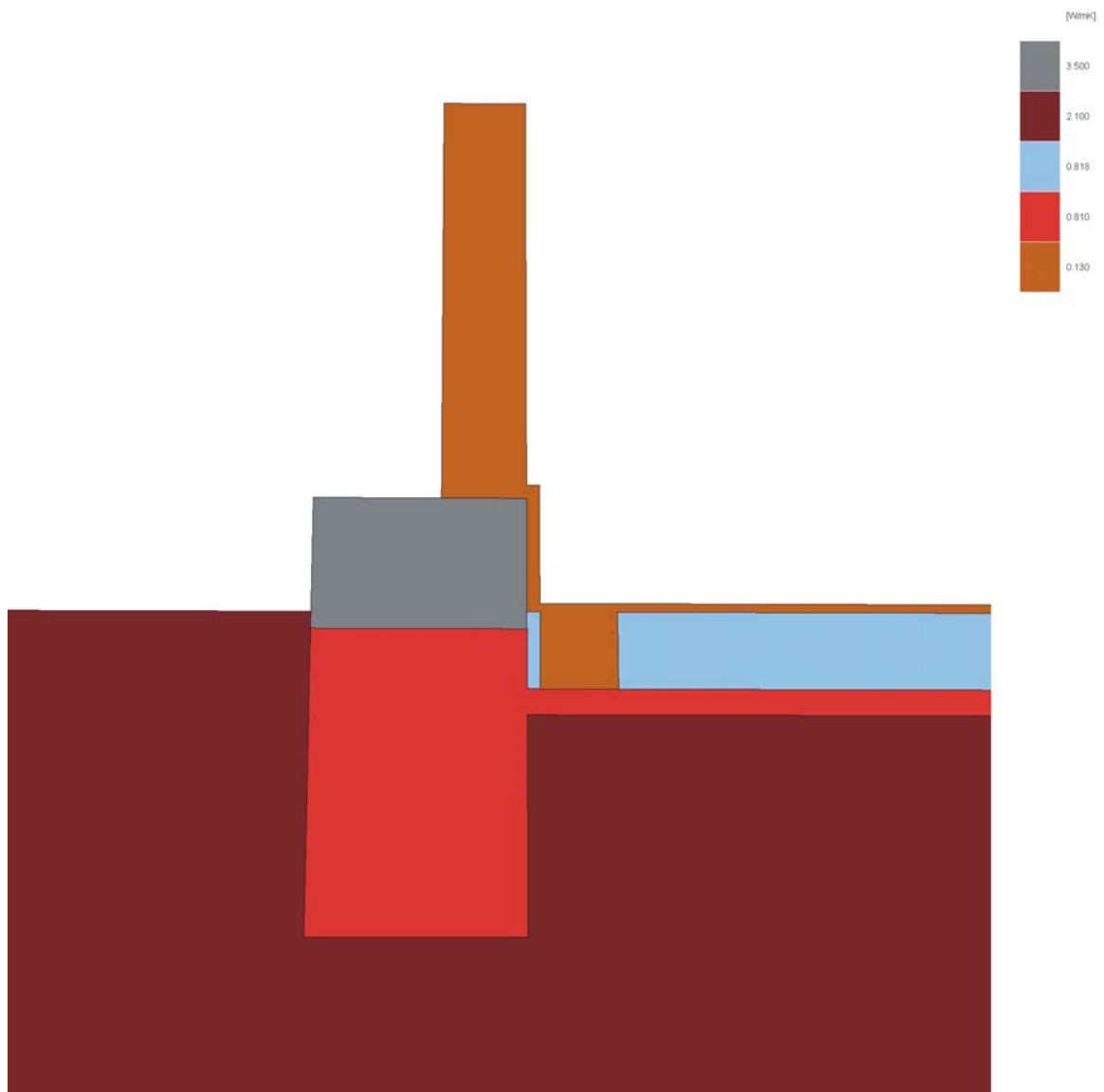


Bild 2.3.3-2: Berechnungsskizze zur historischen Situation mit abgesenktem Fußboden und verbrettertem Sockelstein

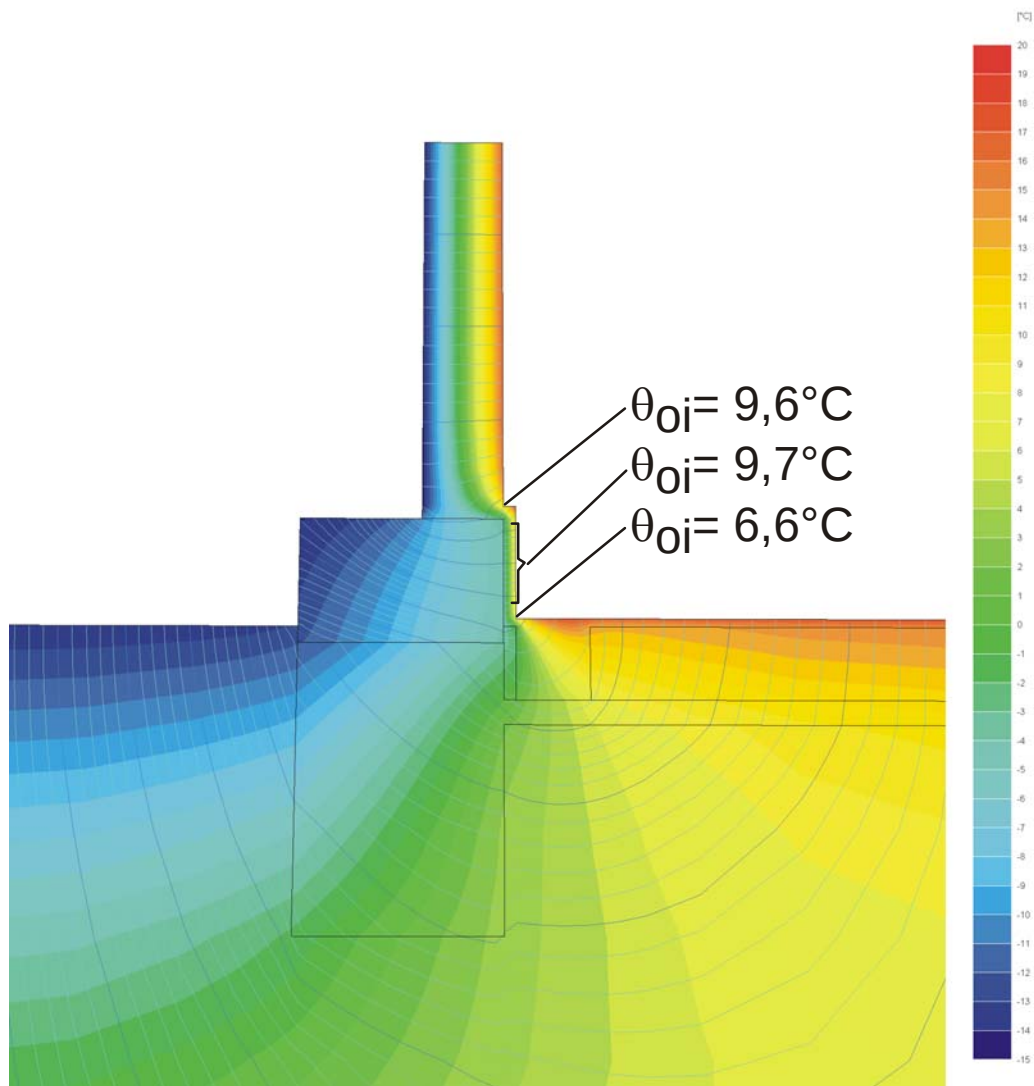


Bild 2.3.3-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur historischen Situation mit abgesenktem Fußboden und verbrettertem Sockelstein

Ergebnisse:

- $\theta_{oimin} = 6,6^{\circ}\text{C}$ → Taupunktunterschreitung auf der inneren Oberfläche → Kondensatbildung auf der inneren Oberfläche
- Verbretterung wirkt als Innendämmung ohne Dampfsperre → Kondensat- und Eisbildung an der Oberfläche zwischen Stein und Brett
- Verbretterung nicht luftdicht an Sockelstein → Kondensatmenge durch Konvektion erhöht
- Niedrige Temperaturen an den Balken analog der historischen Situation → Kondensatbildung mit sehr geringer Austrocknungsmöglichkeit

Die innere Oberflächentemperatur ist höher als ohne Verbretterung. Es entsteht jedoch mehr Kondensat zwischen Balken und Sockelstein, am Dielenbalken sowie zwischen der Verbretterung und den Balken der Blockstube.

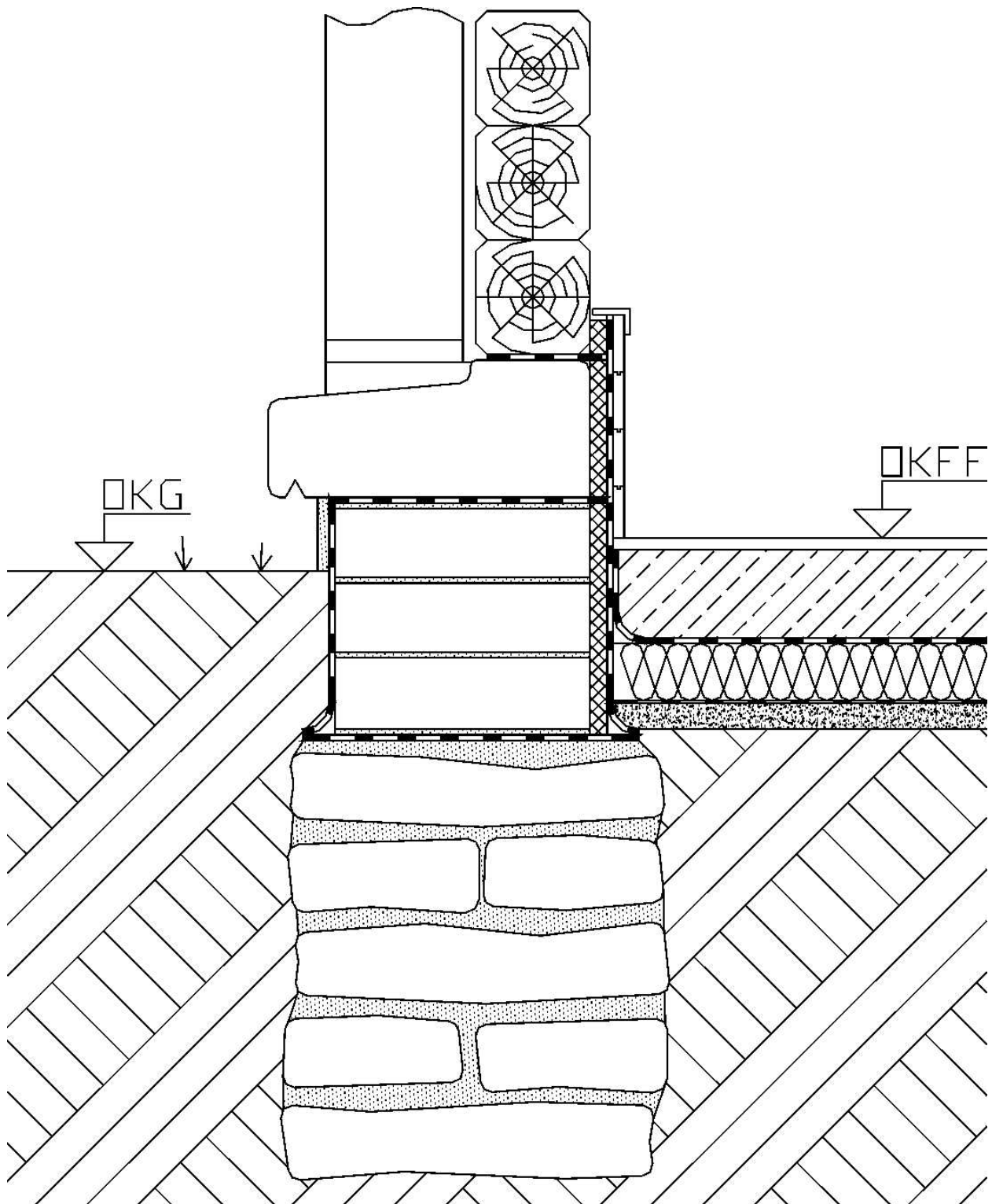


Bild 2.3.4-1: Skizze der Sanierungslösung 1 mit neuem Fußbodenaufbau mit Perimeterdämmung und einer Innendämmung mit Dampfsperre am Sockelstein
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

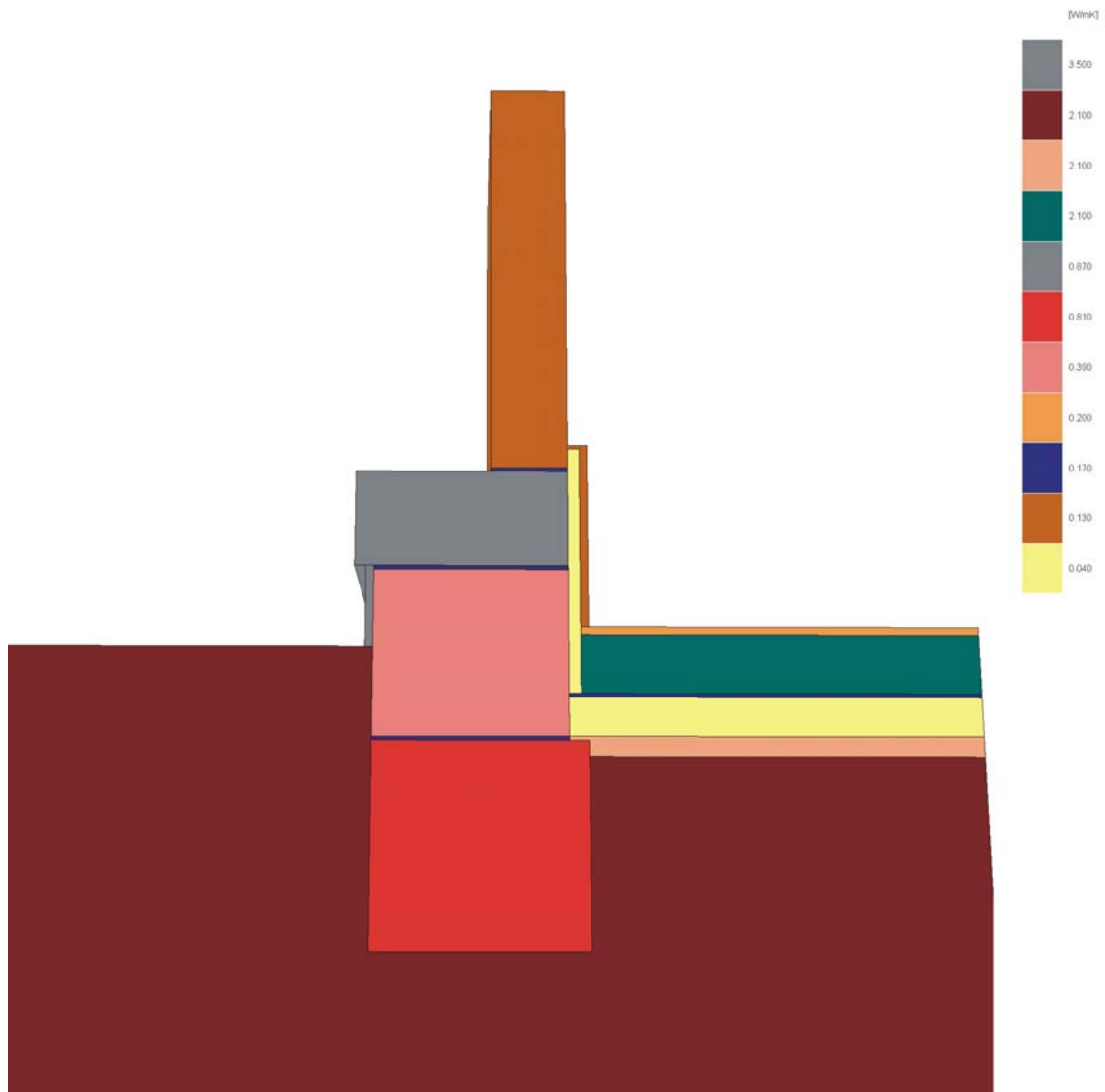


Bild 2.3.4-2: Berechnungsskizze zur Sanierungslösung 1 mit neuem Fußbodenaufbau mit Perimeterdämmung und einer Innendämmung mit Dampfsperre am Sockelstein

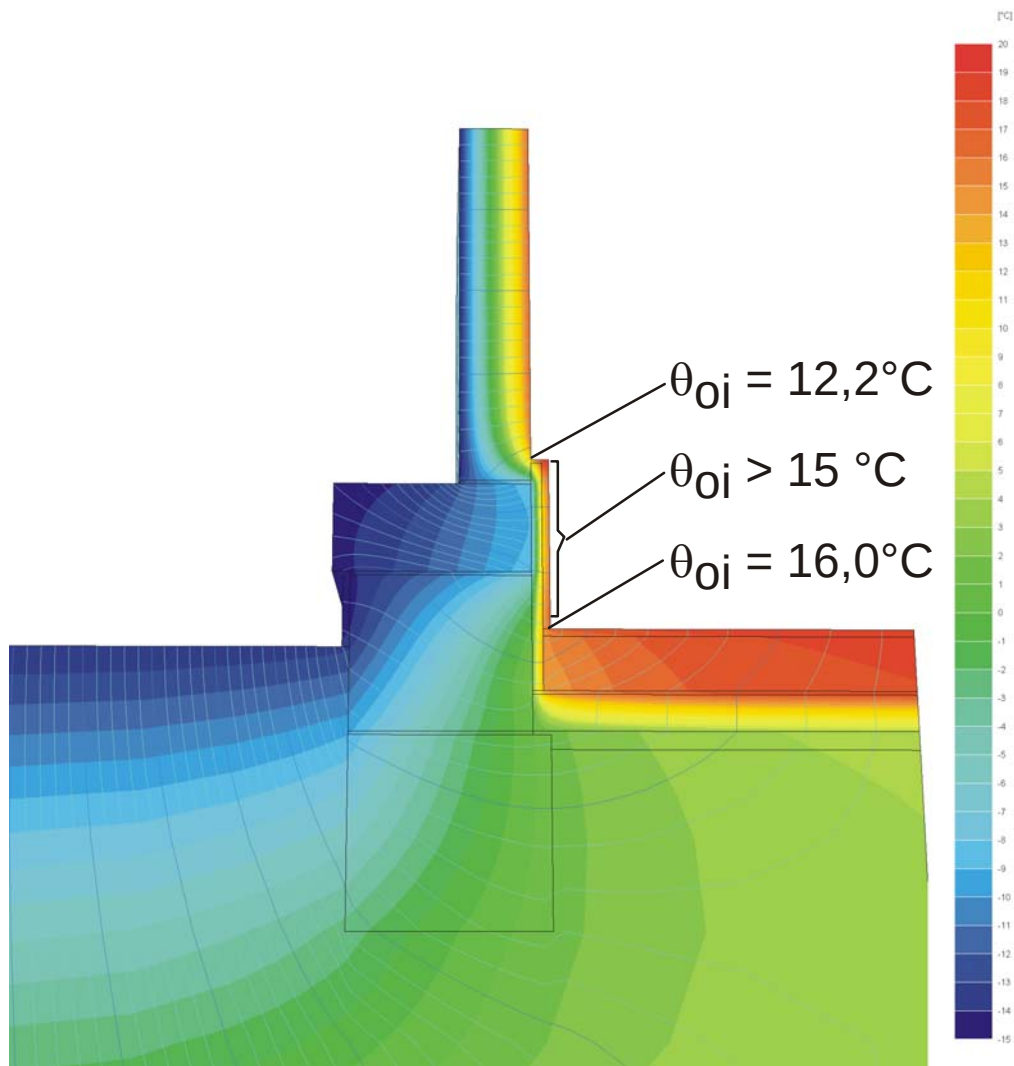


Bild 2.3.4-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur Sanierungslösung 1 mit neuem Fußbodenaufbau mit Perimeterdämmung und einer Innendämmung mit Dampfsperre am Sockelstein

Ergebnisse:

- keine Kondensatbildung auf der inneren Oberfläche
- Dampfsperre auf warmer Seite des Dämmstoffs unbedingt notwendig! (Höherziehen von Dämmung **und Dampfsperre** vermindert Kondensatbildung zwischen Balken und Sockelstein)
- Fußbodenausführung mit Abdichtung an der warmen Seite des Dämmstoffs sehr gute diffusionstechnische Lösung

Die Sanierungslösung ist theoretisch gut. Der luftdichte Anschluss der Dampfsperre an die Balken ist schwer ausführbar. Es besteht die Gefahr der Kondensatbildung auf der kalten Seite des Dämmstoffs auf Grund von Konvektion.

Wird das Fundament unter der Blockstubenwand nicht erneuert, gelten die Ergebnisse analog.

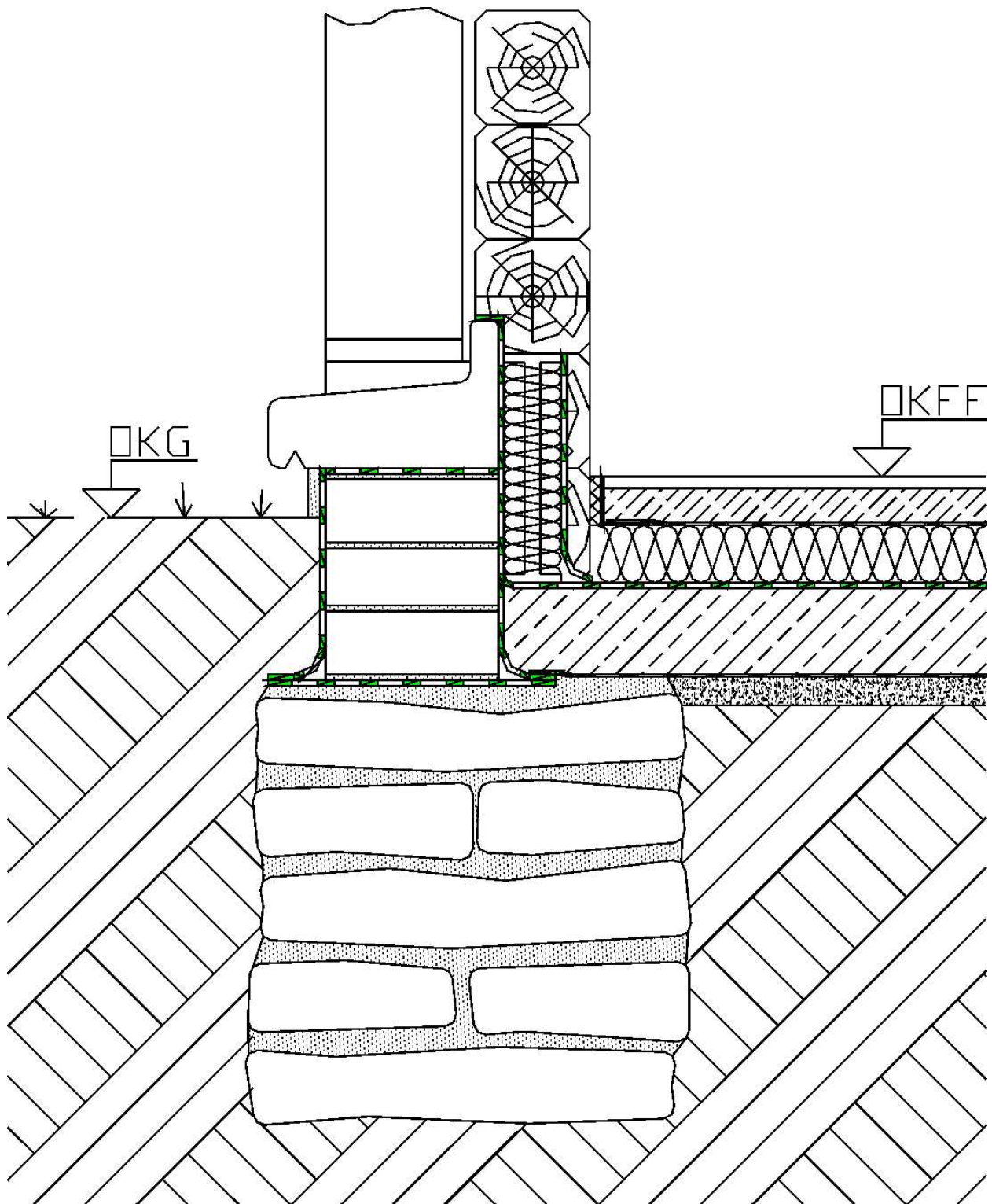


Bild 2.3.5-1: Skizze der Sanierungslösung 2 mit neuem Fußbodenaufbau und einer Kern-dämmung aus Mineralfaser im Sockelbereich
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

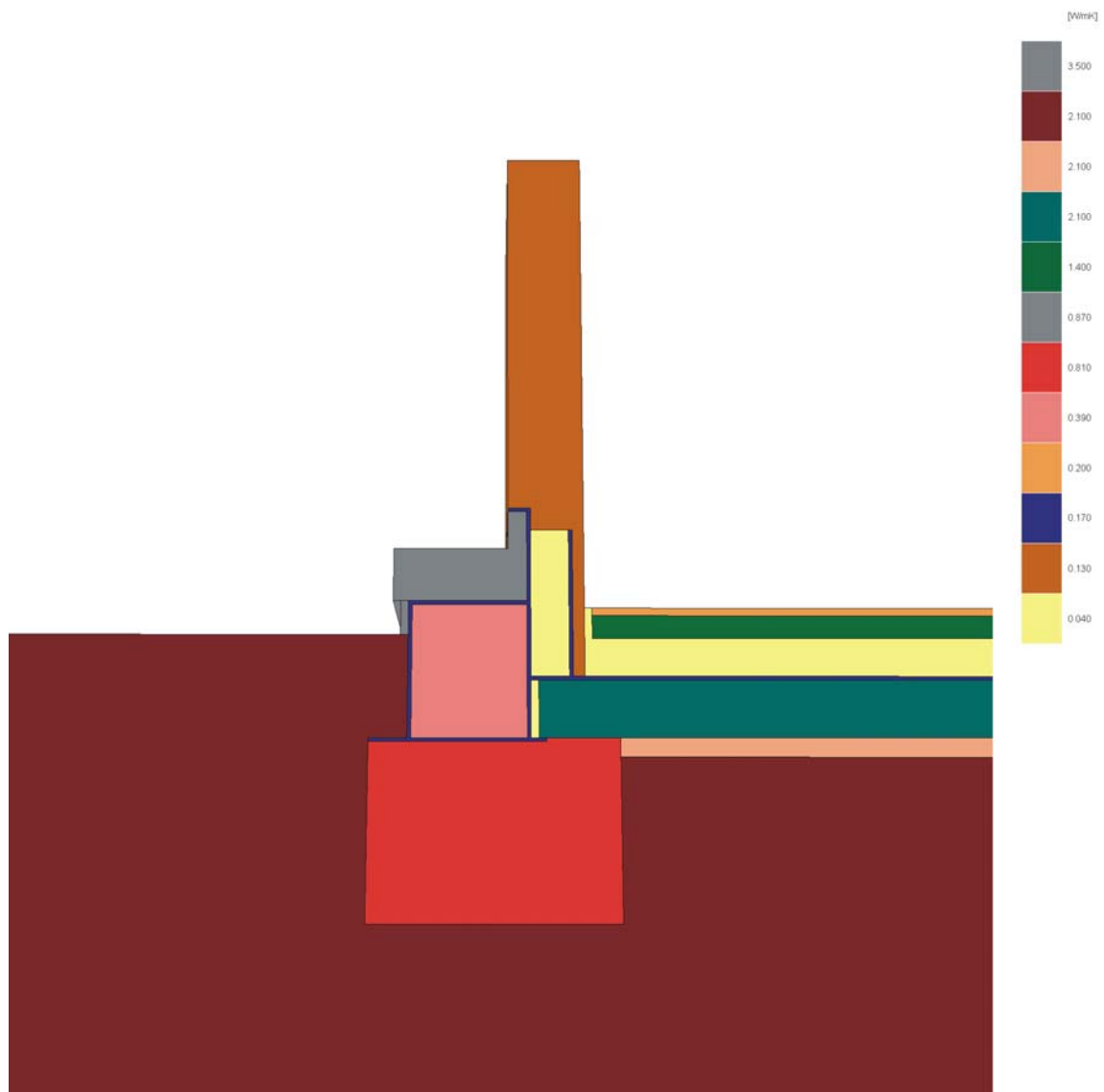


Bild 2.3.5-2: Berechnungsskizze zur Sanierungslösung 2 mit neuem Fußbodenaufbau und einer Kerndämmung aus Mineralfaser im Sockelbereich

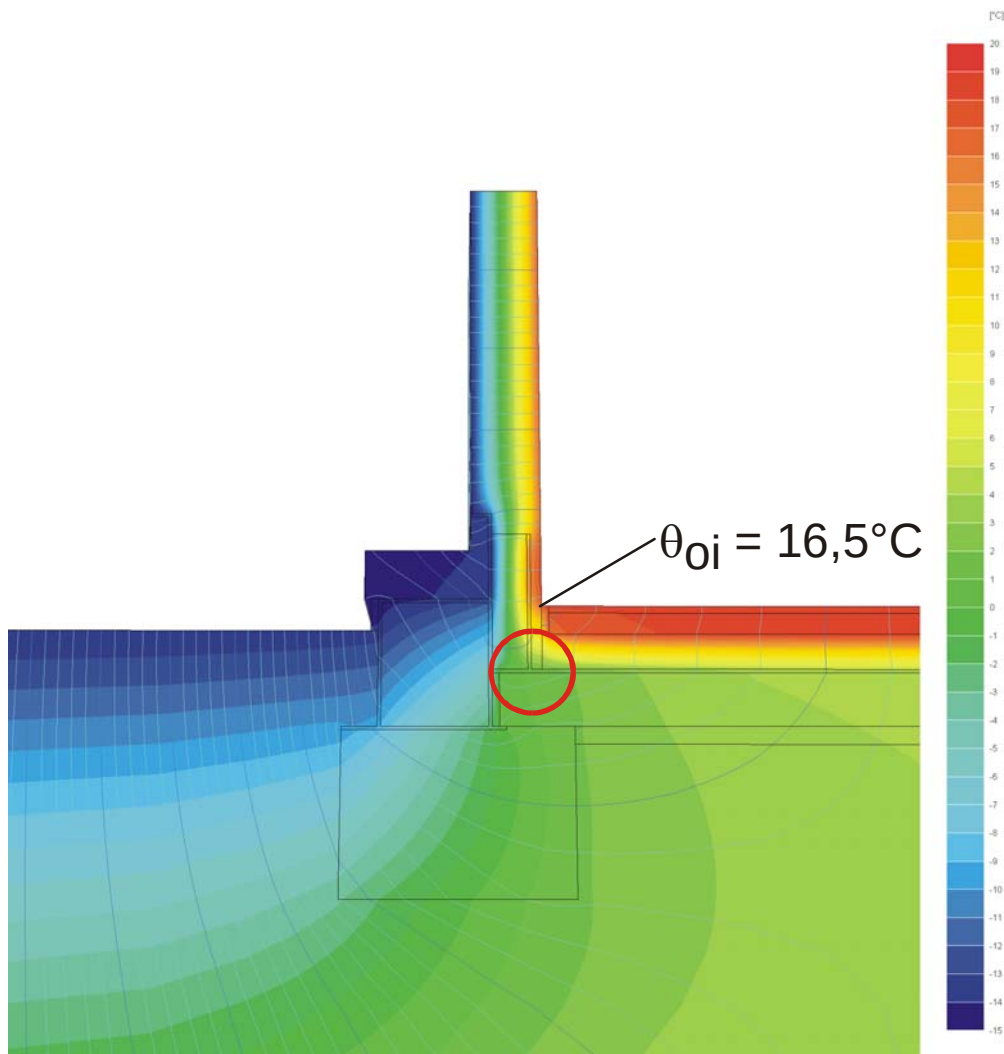


Bild 2.3.5-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur Sanierungslösung 2 mit neuem Fußboden-aufbau und einer Kerndämmung aus Mineralfaser im Sockelbereich

Ergebnisse:

- keine Kondensatbildung auf der inneren Oberfläche
- Dampfsperre auf warmer Seite des Dämmstoffs unbedingt notwendig!
- Vorteil: Temperatur am Balkenaufleger höher
- Fußbodenausführung mit Abdichtung an der kalten Seite des Dämmstoffs problematisch (Diffusionsprobleme)
- Anordnung der Abdichtungen behindert die Austrocknung

Die Sanierungslösung ist diffusionstechnisch problematisch. Es liegen Abdichtungen an der kalten Seite des Dämmstoffs (Fußboden- und Sockelbereich). Kondensatbildung zwischen Dämmstoff und Abdichtung ist möglich.

Der s_d -Wert der Dampfsperre an der warmen Seite der Dämmung muss an den s_d -Wert der Abdichtung angepasst werden. Die Austrocknung wird behindert.

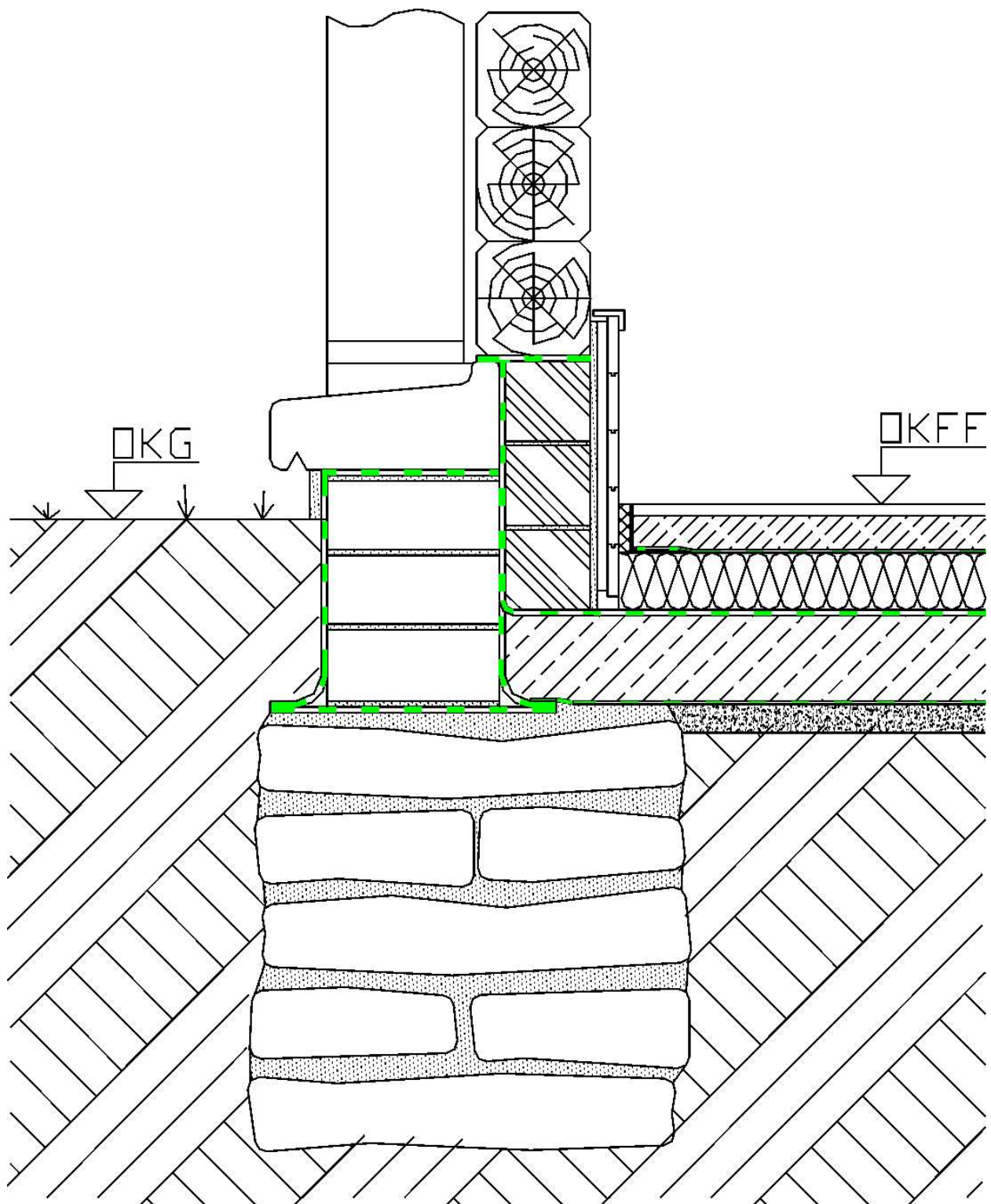


Bild 2.3.6-1: Skizze der Sanierungslösung 3 mit neuem Fußbodenaufbau und einer Foamglas-dämmung im Sockelbereich
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

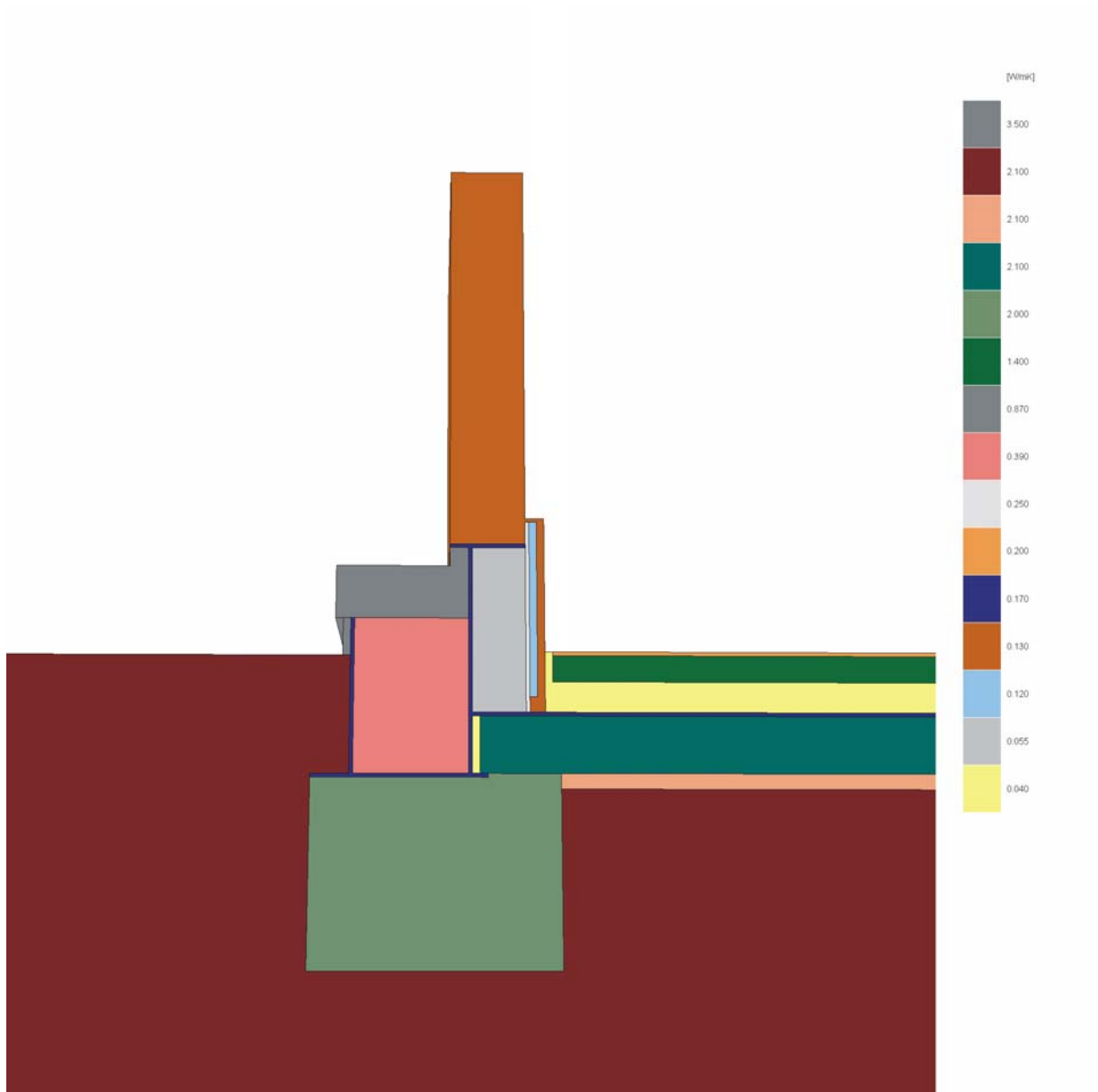


Bild 2.3.6-2: Berechnungsskizze zur Sanierungslösung 3 mit neuem Fußbodenaufbau und einer Foamglasdämmung im Sockelbereich

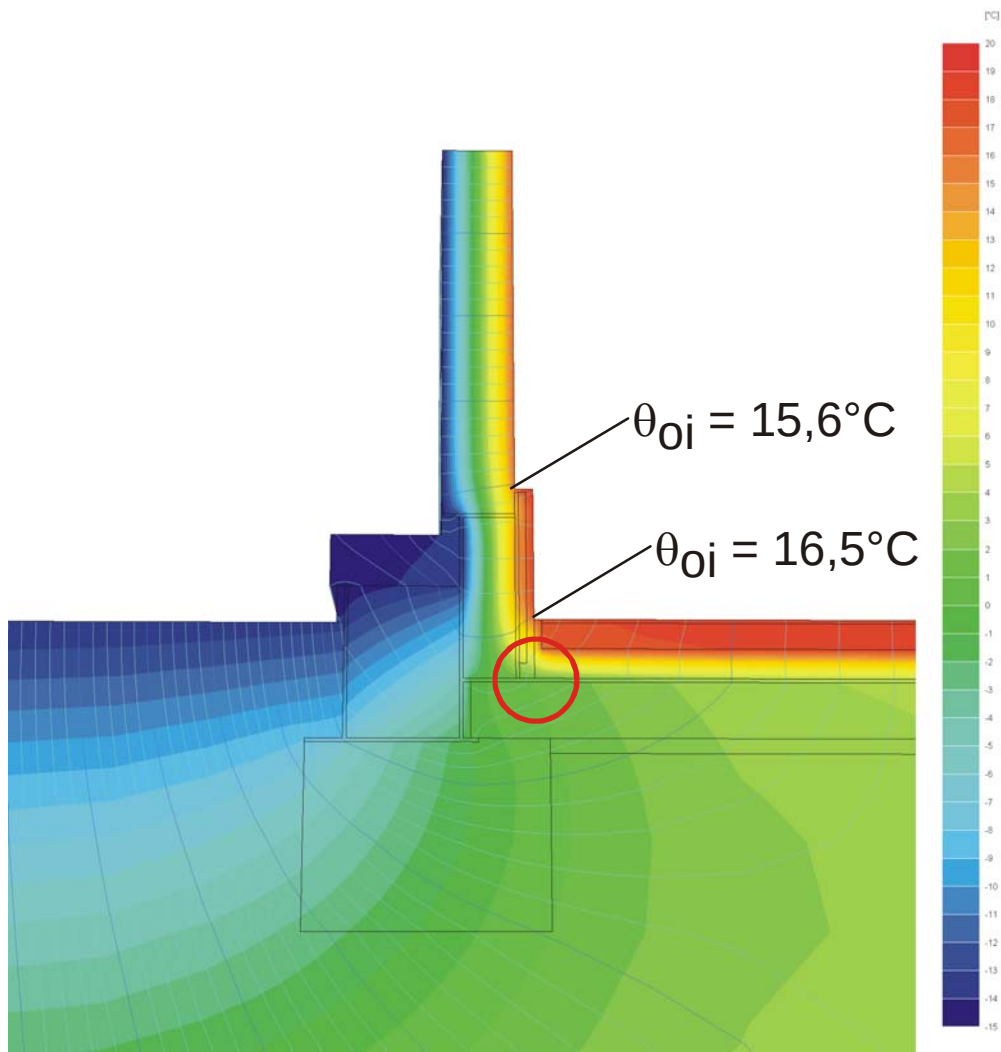


Bild 2.3.6-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur Sanierungslösung 3 mit neuem Fußboden-aufbau und einer Foamglasdämmung im Sockelbereich

Ergebnisse:

- keine Kondensatbildung auf der inneren Oberfläche
- keine Dampfsperre auf warmer Seite des Foamglases notwendig, keine Probleme durch Konvektion
- Vorteil: Temperatur am Balkenaufleger höher
- Fußbodenausführung mit Abdichtung an der kalten Seite des Dämmstoffs problematisch (Diffusionsprobleme)
- Anordnung der Abdichtungen behindert die Austrocknung

Die Sanierungslösung ist diffusionstechnisch problematisch. Die Fußbodenabdichtung liegt an der kalten Seite des Dämmstoffs. Kondensatbildung zwischen Dämmstoff und Abdichtung ist möglich.

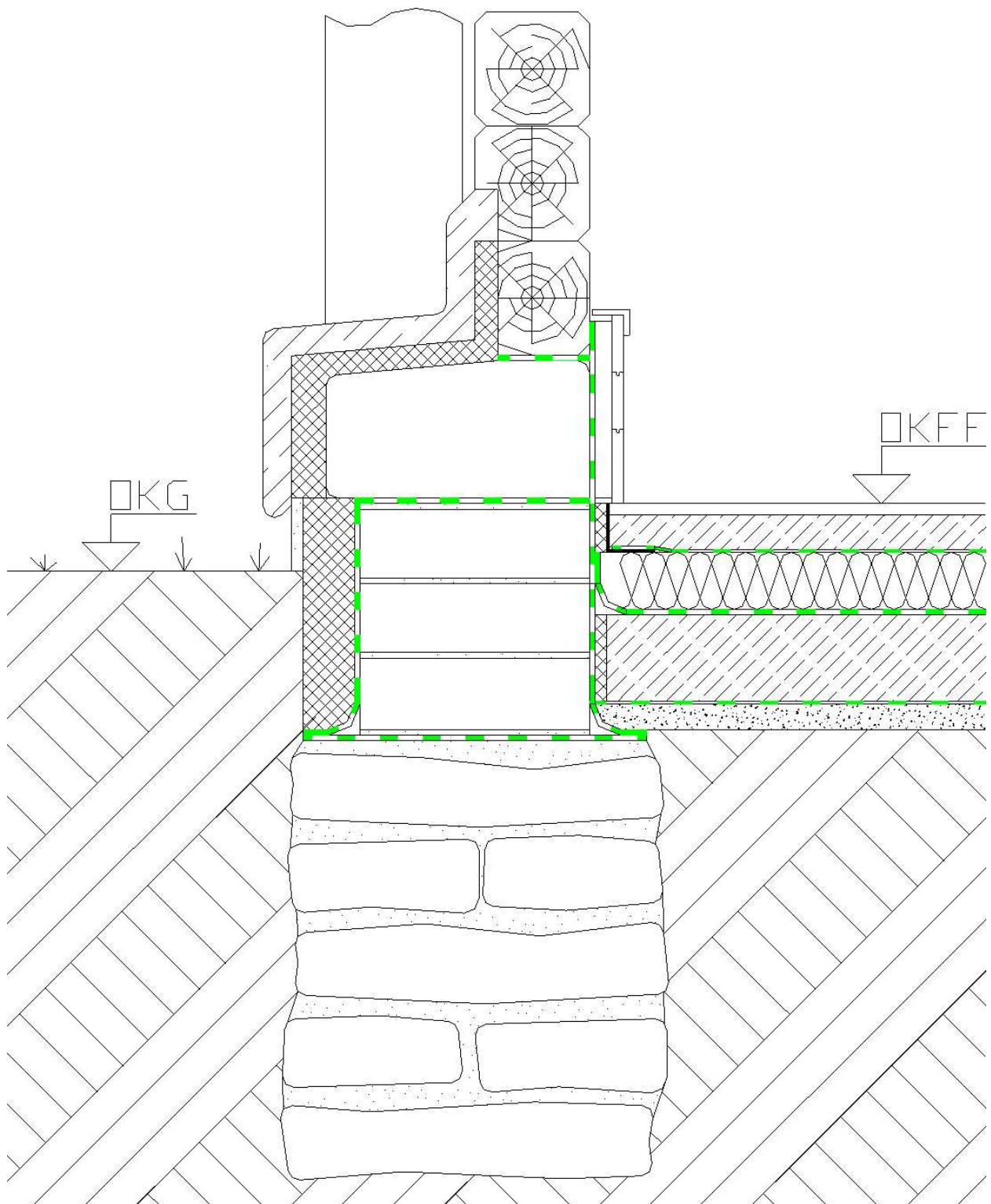


Bild 2.3.7-1: Skizze der Sanierungslösung 4 mit neuem Fußbodenaufbau und einer Außen-dämmung im Sockelbereich
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

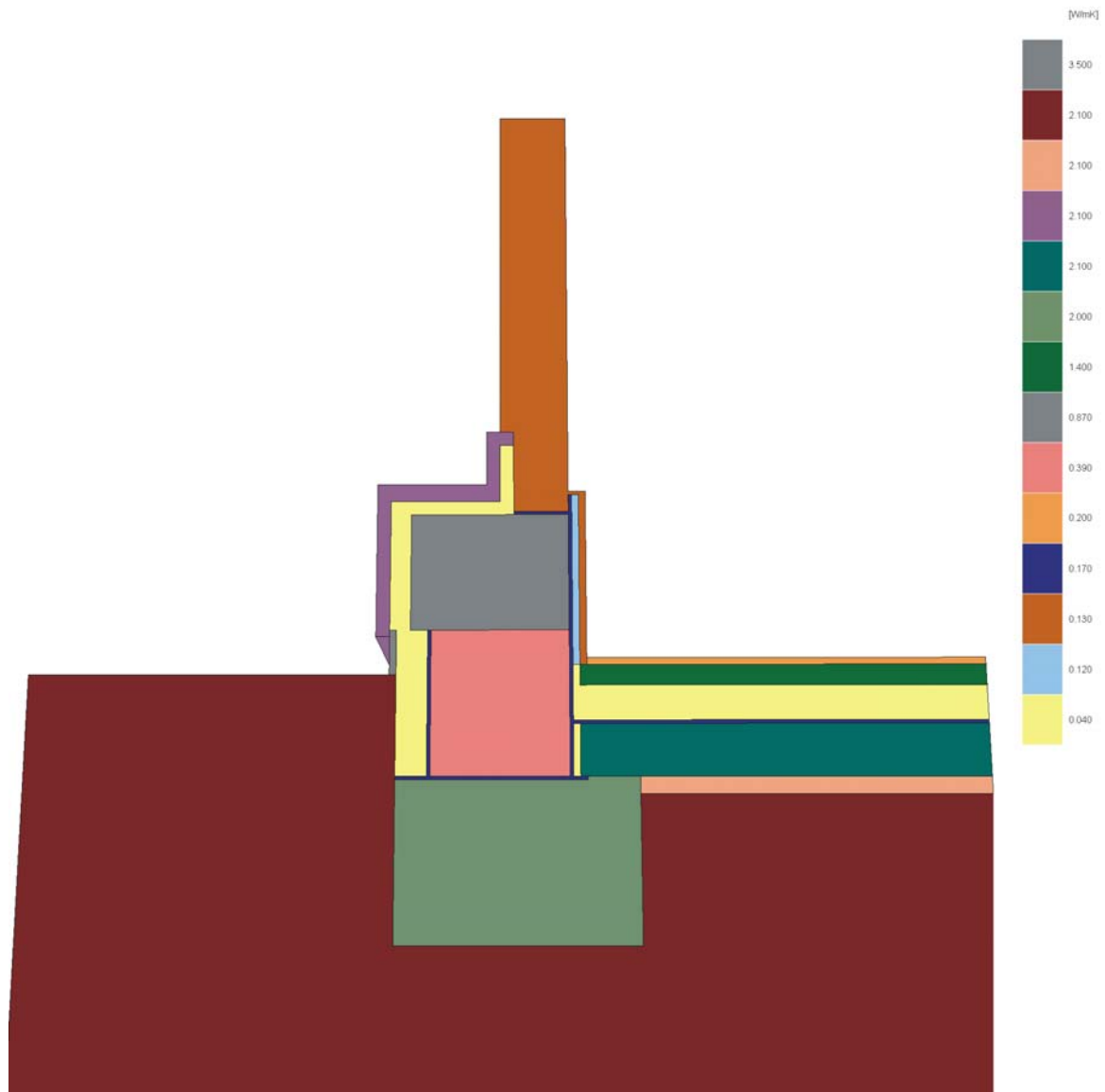


Bild 2.3.7-2: Berechnungsskizze zur Sanierungslösung 4 mit neuem Fußbodenaufbau und einer Außendämmung im Sockelbereich

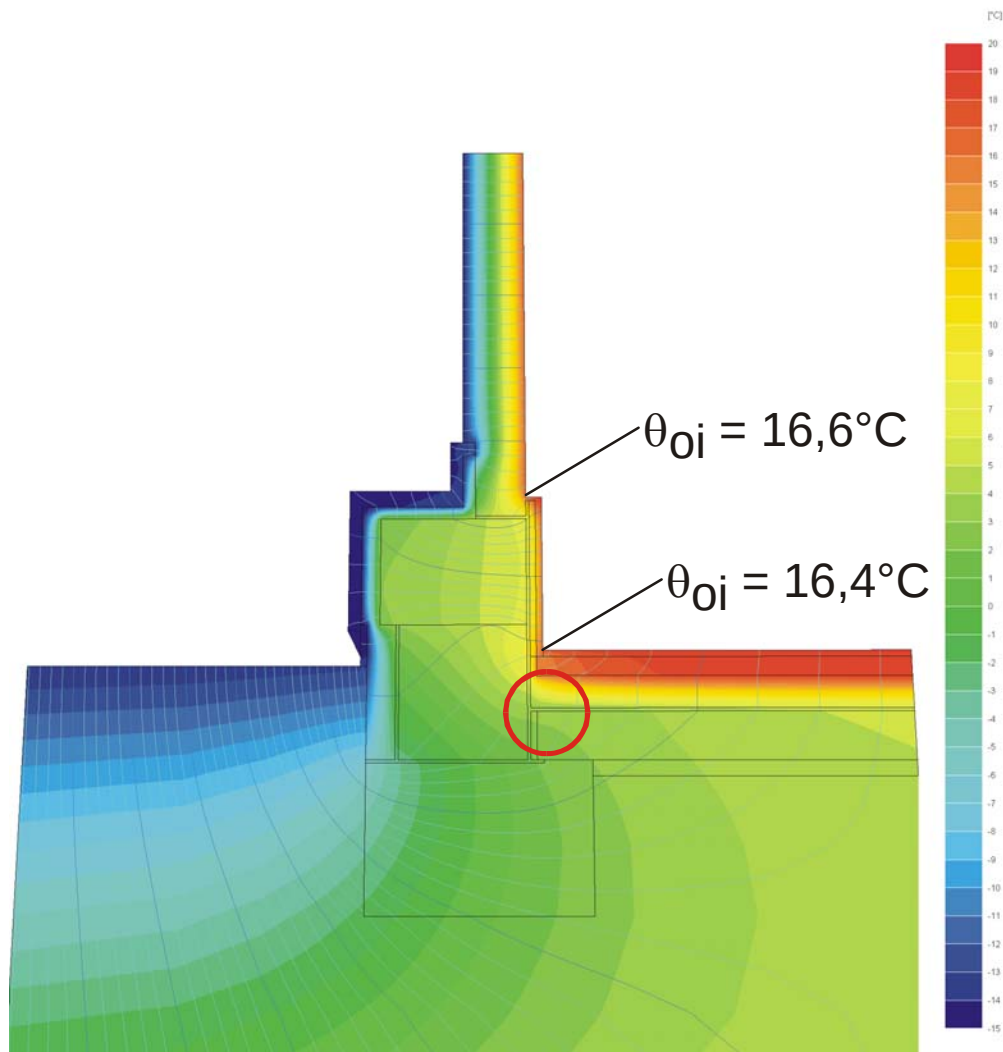


Bild 2.3.7-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur Sanierungslösung 4 mit neuem Fußboden-aufbau und einer Außendämmung im Sockelbereich

Ergebnisse:

- keine Kondensatbildung auf der inneren Oberfläche
- keine Diffusionsprobleme im Sockelbereich
- Vorteil: Temperatur am Balkenaufleger höher
- Fußbodenausführung mit Abdichtung an der kalten Seite des Dämmstoffs problematisch (Diffusionsprobleme), Perimeterdämmung am Sockel entschärft das Problem wenig

Die Sanierungslösung ist sehr gut für den Sockelbereich. Die Fußbodenabdichtung liegt an der kalten Seite des Dämmstoffes, Kondensatbildung ist möglich. Diese ist jedoch geringer als bei der Sanierungslösung 3, da durch die Perimeterdämmung des Sockels im gekennzeichneten Bereich höhere Temperaturen als bei der Innendämmung erricht werden.

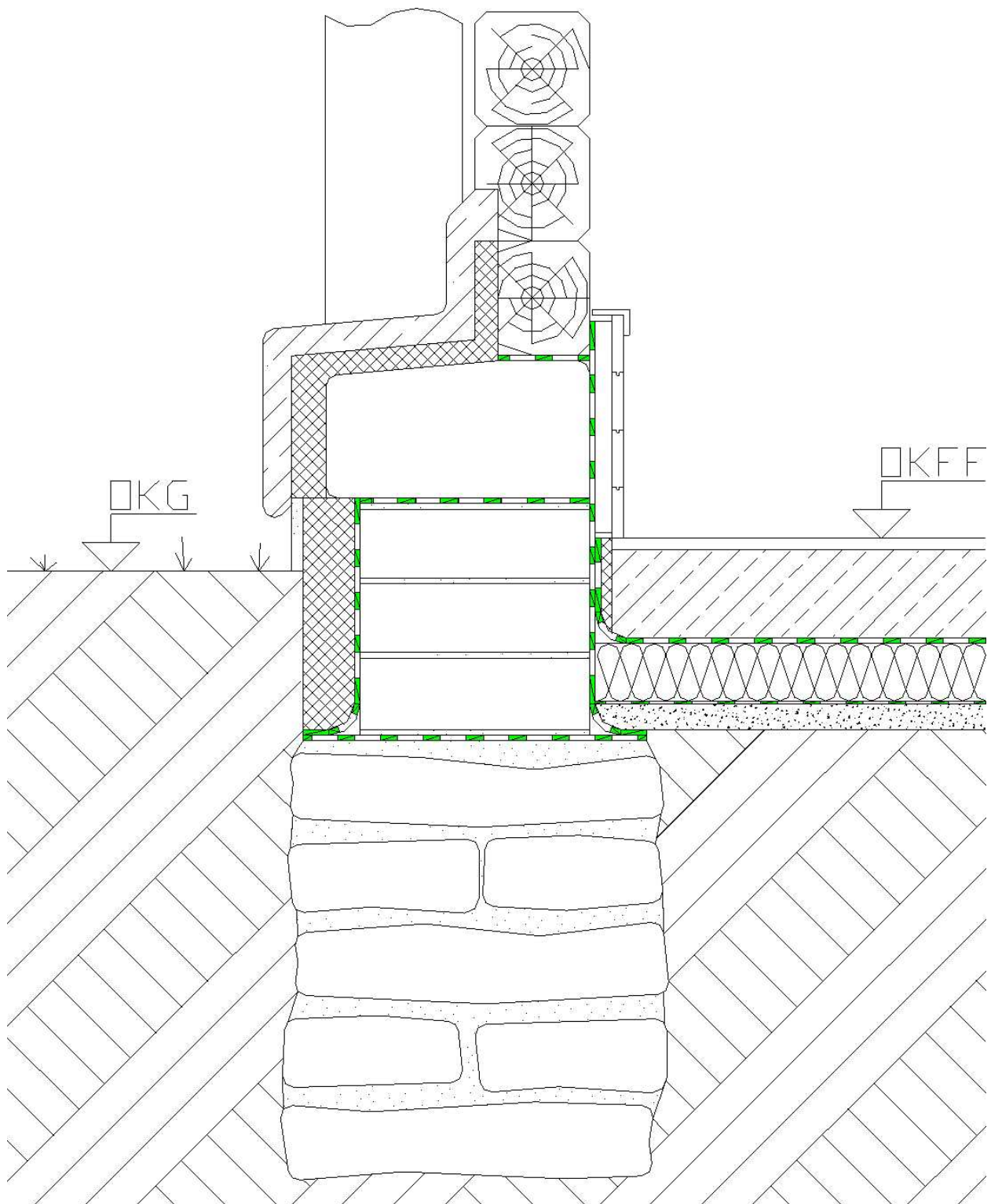


Bild 2.3.8-1: Skizze der Sanierungslösung 5 mit Perimeterdämmung im Fußboden und einer Außendämmung im Sockelbereich
(Zeichnung: Dipl.-Ing. M. Springer)

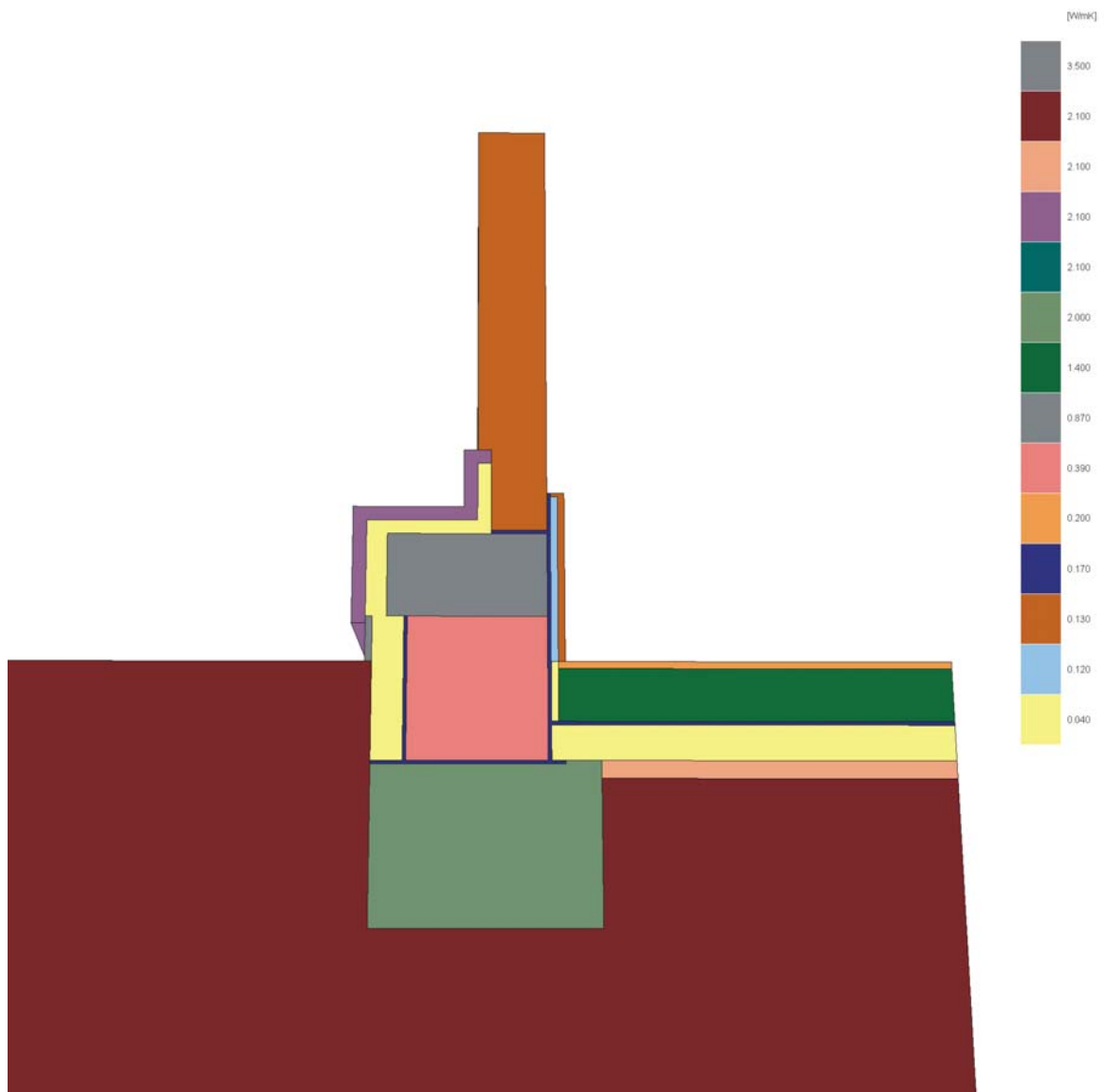


Bild 2.3.8-2: Berechnungsskizze zur Sanierungslösung 5 mit Perimeterdämmung im Fußboden und einer Außendämmung im Sockelbereich

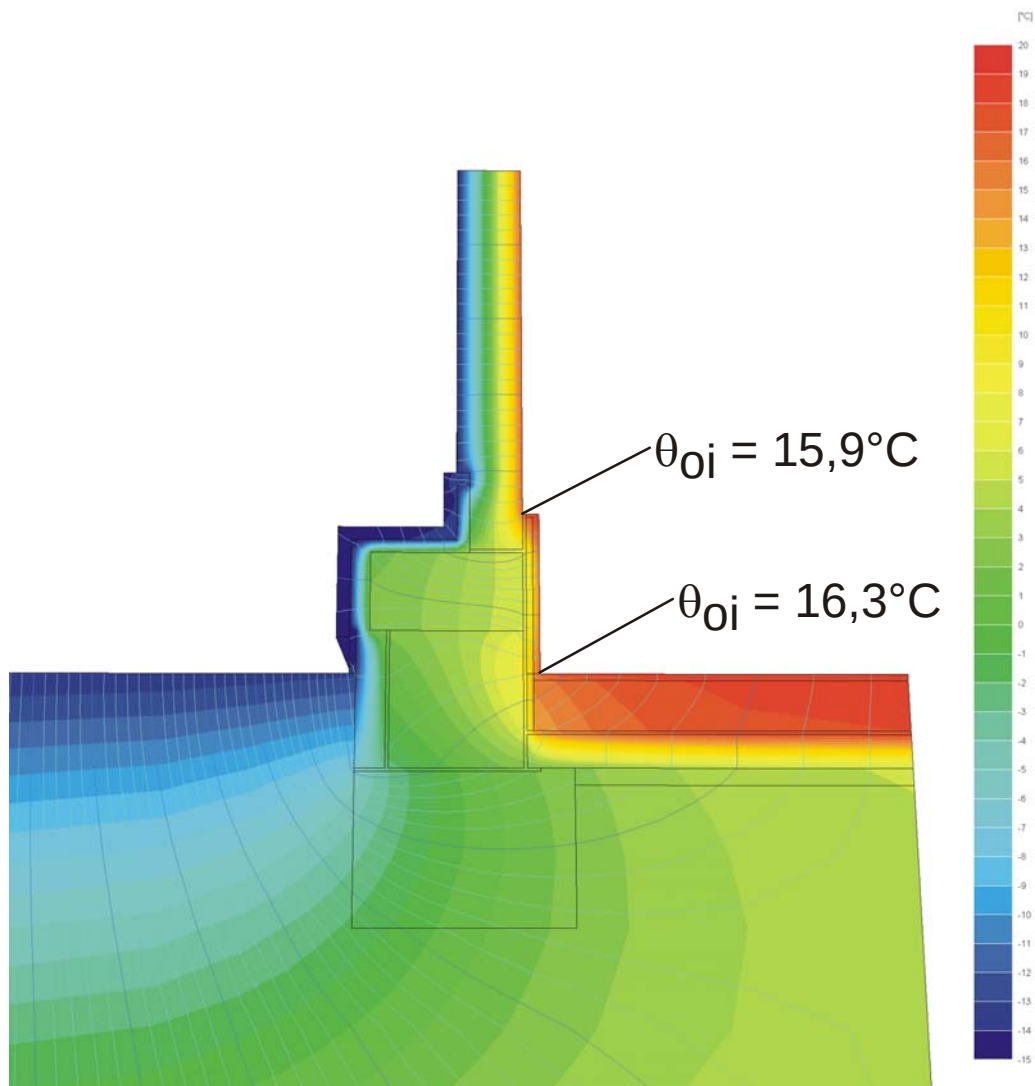


Bild 2.3.8-3: Grafisches Berechnungsergebnis zur Sanierungslösung 4 mit Perimeterdämmung im Fußboden und einer Außendämmung im Sockelbereich

Ergebnisse:

- keine Kondensatbildung auf der inneren Oberfläche
- keine Diffusionsprobleme im Sockelbereich
- Vorteil: Temperatur am Balkenaufleger höher
- Fußbodenausführung mit Perimeterdämmung ohne Diffusionsprobleme

Die Sanierungslösung ist sehr gut für den Sockelbereich und den Fußboden.