(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

### **Einleitung**

Im Dreiländereck von Deutschland, Polen und Tschechien existiert eine einmalige Hauslandschaft, in der sich circa 19.000 Umgebindehäuser in einer weltweit einmaligen Dichte und Anzahl konzentrieren. Sie prägen die Ansicht der Dörfer und zeugen von der Handwerkskunst vergangener Jahrhunderte.

Diese Umgebindehaus-Landschaft zu erhalten, ist nur möglich, wenn die Gebäude weiterhin genutzt werden. Die Bewohner dieser Häuser erwarten modernen Komfort sowie geringe Investitions- und Betriebskosten. In diesem Zusammenhang sind folgende Fragen zu beantworten:

- Wie groß ist der Heizenergieverbrauch von Umgebindehäusern?
- Wie weit ist der Heizenergiebedarf durch energetische Sanierung zu reduzieren? Können die Anforderungen der Energieeinsparverordnung erfüllt werden?
- Welche Möglichkeiten der energetischen Sanierung bestehen für die einzelnen Bauteile und Gebäudebereiche, ohne Schäden an der Konstruktion zu provozieren?

Umgebindehäuser bestehen oft aus drei typischen Teilen: einer Blockstube sowie Massivhaus- und Fachwerkbereichen. Dennoch sind sie Unikate, deren Konstruktion jeweils der vorgesehenen Nutzung angepasst wurde. So findet man von kleinen Weberhäusern bis zu großen Faktorenhäusern alle Größen und unterschiedlichen Kombinationen dieser drei Bauwerksteile (Abbildung 1).



Abbildung 1: Vielgestaltige Umgebindehäuser





Das Namen gebende Umgebinde umschließt die Gebäude über dem Erdgeschoss und trägt die Last des Obergeschosses und des Dachs über die Umgebindestützen ab. Die Blockstube bleibt ein

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

eigenständiges Gebilde, sodass die Quell- und Schwindbewegungen der waagerecht verlegten Bohlen die Bauteile der darüber liegenden Konstruktion nicht beeinflussen.

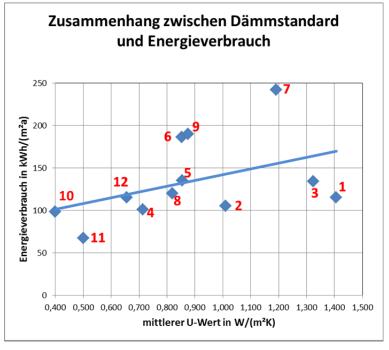
Sanierungsmöglichkeiten für die einzelnen Bereiche des Umgebindehauses (Blockstube, Massivteil, Fachwerkteil) sind teilweise in der Literatur beschrieben [2, 3, 4, 14, 15, 16, 17]. Es lassen sich jedoch auch allgemeine Aussagen zur kombinierten Sanierung der verschiedenen Bauweisen an einem Gebäude und zu den Anschlüssen zwischen den einzelnen Bereichen treffen.

### Vergleich der energetischen Qualität von Umgebindehäusern mit Massivhäusern

Der tatsächliche **Energieverbrauch** für Heizung und Warmwasser eines Gebäudes spiegelt in erster Linie das Nutzerverhalten wider. Untersuchungen an zwölf ausgewählten Umgebindehäusern zeigen eine große Spannweite zwischen  $63 \text{ kWh/(m}^2 \cdot a)$  und  $233 \text{ kWh/(m}^2 \cdot a)$  [5]. Stellt man die Zusammenhänge zwischen dem Dämmstandard der Gebäudehülle und dem Energieverbrauch grafisch dar, zeigt sich ebenfalls, dass die Komfortansprüche und Lebensweise der Bewohner den realen Energieverbrauch so stark beeinflussen, dass die Gebäude und die Auswirkung von energetischen Sanierungen nicht allein anhand der Verbrauchskennzahlen verglichen werden können

(Abbildung 2).

Abbildung 2: Energieverbrauch für Heizung und Warmwasserbereitung von 12 ausgewählten Umgebindehäusern in Abhängigkeit vom Dämmstandard (Quelle der Werte: [5])



Der für normierte Randbedingungen ermittelte **Energiebedarf** erlaubt dagegen sowohl eine objektive Bewertung der Auswirkung energetischer Sanierungsmaßnahmen als auch einen Vergleich der Gebäude untereinander und mit den gesetzlichen Anforderungen.

Der aus Transmissions- und Lüftungswärmeverlusten abzüglich der Gewinne durch Sonneneinstrahlung und inneres Wärmeaufkommen berechnete **Heizwärmebedarf** von vier ausgewählten unsanierten Umgebindehäusern ist im Gegensatz zur landläufigen Meinung nicht entscheidend größer als der eines vergleichbaren unsanierten massiven Wohngebäudes (Abbildung 3.

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

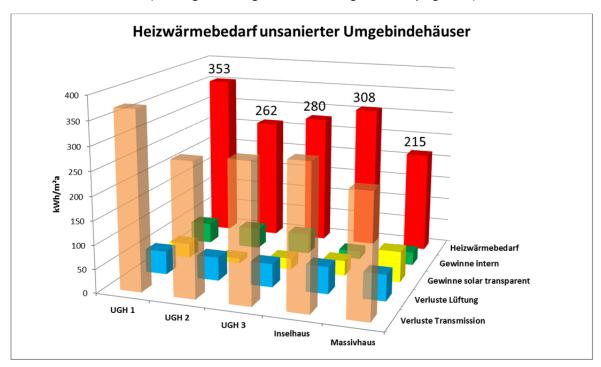


Abbildung 3: Heizwärmebedarf - Vergleich unsanierte Umgebindehäuser mit einem unsanierten Massivhaus

Eine Auswahl traditioneller Bauteilaufbauten ist in Tabelle 1 zusammengefasst. Ihr Anteil an der wärmeübertragenden Hüllfläche variiert je nach Gebäudeausführung.

Tabelle 1: Beispiele für den traditionellen Bauteilaufbau in Umgebindehäusern

Bauteil der Hüllfläche	Deigniel für Aufhau	Wärmedurchgangs-	
Bauten der Humache	Beispiel für Aufbau	koeffizient in W/m²K	
Fußboden der Blockstube über	Balken auf Erdreich, mit Dielung belegt	ca. 1,8	
Erdreich	barkeri adi Erdreich, mit Dieldig belegt		
Fußboden der Blockstube über	Balken auf Gewölbedecke, mit Dielung	ca. 1,2	
Keller	belegt		
Fußboden im Massivteil auf	Granitplatten oder Ziegel auf Erdreich	ca. 3 bis 5	
Erdreich	Granitpiatten oder Zieger auf Erdreich	Cd. 3 DIS 3	
Fußboden im Massivteil über	Granitplatten oder Ziegel auf	ca. 1,8	
Keller	Lehmschüttung über Gewölbe		
Massive Außenwand	Ziegelmauerwerk	ca. 1,5	
	Naturstein	ca. 2,5	
Blockstubenwand	Vollholz	ca. 0,6	
Fachwerkwand	Fachwerk mit Strohlehmausfachung	ca. 2	
Decke zum Dachraum	Holzbalken mit Einschub (Lehm auf Holz),		
	darauf Dielung, von unten Putz auf	ca. 2	
	Putzträger oder Holzschalung		
Fenster	Kastenfenster	ca. 3	

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

Zur Bewertung von Sanierungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden lässt die Energieeinsparverordnung (EnEV) wahlweise zwei Verfahren zu [1]: Bei der Beurteilung mittels Bauteilverfahren werden die nach der Sanierung erreichten Wärmedurchgangskoeffizienten der Bauteile mit den in Anlage 3, Tabelle 1 der EnEV formulierten Anforderungen verglichen. Dabei wird lediglich die Reduzierung der Transmissionswärmeverluste berücksichtigt.

Tabelle 2 verdeutlicht, dass teilweise große Dämmstoffdicken erforderlich wären, um die Anforderungen des Bauteilverfahrens einzuhalten. Dies ist bei Umgebindehäusern aus konstruktiven, bauphysikalischen und denkmalpflegerischen Gründen kaum realisierbar. Die EnEV lässt in §24 für diese Fälle jedoch Ausnahmen zu.

Tabelle 2: Sanierungsmöglichkeiten und erreichbare Wärmedurchgangskoeffizienten

Bauteil der Hüllfläche	Maßnahmen	Wärmedurchgangs- koeffizient in W/m²K	
		Wert nach	EnEV-
		Sanierungs-	Anfor-
		maßnahme	derung
Fußboden der Block-	Neuer Fußbodenaufbau mit ca. 10 cm Perimeter-	0,3	
stube über Erdreich	dämmung WLG 040 unter Dielung		≤ 0,3
Fußboden der Block-	Estrich und ca. 5 cm Dämmung WLG 040 zwischen		405
stube über Keller	Gewölbe und Dielung	0,5	≤ 0,5
Fußboden im	neuer Fußbodenaufbau mit ca. 10 cm		
Massivteil auf		0,3	≤ 0,3
Erdreich	Perimeterdämmung WLG 040		
Fußboden im			
Massivteil über	Einbringen von Estrich und ca. 5 cm Dämmung	0,5	≤ 0,5
Keller			
Massive Außenwand	- ca. 14 cm Außendämmung WLG 040	0,24 ≤ (	≤ 0,24
iviassive Auisenwanu	- ca. 5 cm kapillarporöse Innendämmung WLG 065	0,8 bis 0,7	≤ 0,35
Blockstubenwand	- ca. 15 cm Außendämmung und Holzschalung WLG045	0,24	≤ 0,24
Diockstubeliwaliu	- ca. 3 cm kapillarporöse Innendämmung WLG 045	0,45	≤ 0,35
Fachwerkwand	- ca. 14 cm Außendämmung und Holzschalung	0,24	≤ 0,24
	- ca. 3 cm kapillarporöse Innendämmung WLG 045	0,84	≤ 0,84
Decke zum	Auflegen von ca. 20 cm Dämmung WLG 040	0,24	≤ 0,24
Dachraum	Adhegen von ca. 20 cm Danniding WLG 040	0,24	≥ 0,24
Fenster	- neue Fenster	1,3	≤ 1,3
	- aufgearbeitete Kastenfenster mit Folie an der	1,8	≤ 1,3 ≤ 1,3
	Außenseite der inneren Scheibe	1,0	2 1,0

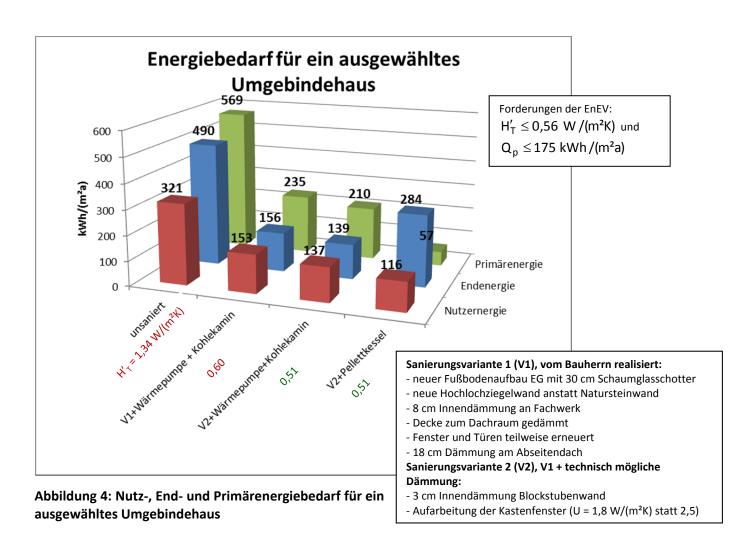
Das für Neubauten geltende das **Bilanzverfahren der Energieeinsparverordnung** darf ebenfalls zur Beurteilung von Sanierungsmaßnahmen an Bestandsgebäuden genutzt werden. Hierbei wird der Nutzenergiebedarf für Heizung (Heizwärmebedarf) und Warmwasser ermittelt. Für Nichtwohngebäude wird außerdem der Nutzenergiebedarf für Beleuchtung und Kühlung berücksichtigt. Wie hoch der durch Brennstoffe eingebrachte Energieinhalt (Endenergiebedarf) zur Deckung des Nutzenergiebedarfs sein muss, wird durch die Art und Effizienz der Anlagentechnik

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

bestimmt. Hierbei werden die Verluste bei Energieerzeugung, -verteilung, -speicherung und - übergabe im Gebäude berücksichtigt. Außerdem kann der Endenergiebedarf durch die Nutzung von regenerativen Energieträgern reduziert werden.

Beim Bilanzverfahren kann der hohe Transmissionswärmeverlust von Bauteilen mit begrenzten Dämmmöglichkeiten bei umfassenden Sanierungsmaßnahmen durch Bauteile mit sehr guter Dämmung ausgeglichen werden. Außerdem kann der Primärenergiebedarf durch Verwendung von Anlagentechnik mit hohem Wirkungsgrad und den Einsatz regenerativer Energieträger reduziert werden.

Eine Reihe von Beispielen zeigt, dass es teilweise möglich ist, die Anforderungen an den Primärenergiebedarf und an die zulässigen spezifischen, auf die wärmeübertragende Hüllfläche bezogenen Transmissionswärmeverluste zu erfüllen. Die Berechnungsergebnisse für den Energiebedarf eines ausgewählten Umgebindehauses sind in Abbildung 4 dargestellt.



Der Endenergiebedarf konnte bei diesem Umgebindehäusern durch dem Gebäude zuträgliche energetische Sanierungsmaßnahmen und Nutzung von regenerativen Energien um ca. 70 Prozent reduziert werden.

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

# Der energetischen Sanierung sind technische Grenzen gesetzt

Die Wahl der Anlagentechnik für die Wärme- und Warmwasserbereitstellung im Umgebindehaus wird lediglich durch gestalterische und denkmalpflegerische Gesichtspunkte beschränkt, zum Beispiel bei Solaranlagen. Der Nutzung von Wärmepumpen, Pelletkesseln oder Fernwärme sind kaum Grenzen gesetzt. Die Dämmmaßnahmen an der Gebäudehülle müssen jedoch sorgfältig geplant werden, um Schäden zu vermeiden.

#### Dämmmaßnahmen verändern den Feuchtehaushalt in den Bauteilen

Der Einsatz einer Außendämmung, deren Dicke lediglich durch konstruktive und gestalterische Randbedingungen begrenzt wird, ist für Massivteil, Blockstube und Fachwerkteil des Umgebindehauses die diffusionstechnisch optimale Lösung, jedoch oft aus denkmalpflegerischen Gründen nicht möglich. Dicke und Material von Innendämmungen müssen sorgfältig gewählt werden, um keine Schäden an den zahlreichen Holzbauteilen zu riskieren.

Die Kombination aus nichtkapillarporöser Innendämmung und Dampfbremse auf der Innenseite der Bauteile birgt das Risiko der Durchfeuchtung aufgrund von konvektivem Feuchteeintrag. Selbst bei sorgfältiger Verlegung einer Dampfbremse kann an Bauteilanschlüssen oder durch Risse im Holz warme feuchte Raumluft in die Konstruktion eindringen, sich im Bauteil bewegen und in kalten Bereichen kondensieren. Diese Wassermenge ist um ein Vielfaches größer als diejenige, die durch Diffusionsvorgänge entsteht. Die Austrocknung von Kondensat nach innen wird wiederum durch die Dampfbremse erschwert. Deshalb wird der Einsatz kapillarporöser Dämmstoffe favorisiert, zum Beispiel Holzfaserdämmstoffe oder Kalziumsilikatplatten. Es sind jedoch auch bei kapillarporösen Dämmstoffen Vorkehrungen gegen Feuchtekonvektion zu treffen, zum Beispiel in den Anschlussbereichen unterschiedlicher Bauteile.

Zur Beurteilung einer **kapillarporösen Innendämmung** ist das in DIN 13788 [10] beschriebene Verfahren der monatsweisen Berechnung von Kondensat- und Verdunstungsmenge ungeeignet. Stattdessen müssen Untersuchungsmethoden gewählt werden, die den kapillaren Feuchtetransport der Dämmmaterialien berücksichtigen.

Für die einzelnen Bauteile der Umgebindehäuser lässt sich Folgendes zu den feuchtetechnischen Auswirkungen von Dämmmaßnahmen zusammenfassen:

Blockstubenwand: Die Bohlenwände der Blockstube erfüllen die Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 ohne zusätzliche Dämmung. Durch eine Außendämmung würde sich in den Balken ein geringerer Wassergehalt einstellen, eine Innendämmung aus kapillarporösem Material (Holzweichfaserplatten) den Wassergehalt der Balken erhöhen. Dieser steigt jedoch bei einer Begrenzung der Dämmstärke auf 3–5 Zentimeter auch nach einem Berechnungszeitraum von 40 Jahren nicht auf 20 Masse-Prozent an (Abbildung 5).

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

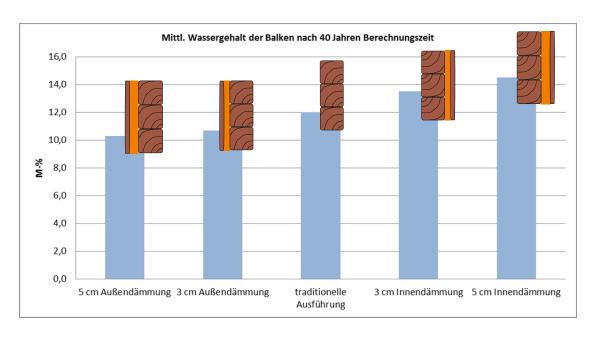


Abbildung 5: Mittlerer Wassergehalt der Blockbohlen eines Umgebindehauses: Die Berechnungen wurden mit der Software WUFI über einen Berechnungszeitraum von 40 Jahren durchgeführt.

■ Fachwerkaußenwand: Fachwerkwände genügen in ihrer traditionellen Ausführung den Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nach DIN 4108-2 [9] nicht. Müssen Fachwerkfassaden, die einer hohen Schlagregenbeanspruchung ausgesetzt sind, durch Verkleidungen mit zum Beispiel Holz oder Schiefer geschützt werden, kann zwischen Fachwerkwand und Verkleidung eine Außendämmung angebracht werden. Deren Dicke wird lediglich durch den konstruktiv zur Verfügung stehenden Platz beschränkt. Möglichkeiten der Innendämmung von Fachwerkwänden sind in [2] und [3] ausführlich beschrieben. Eine Reihe von ausgeführten innen gedämmten Fachwerkkonstruktionen wurde in [8] rechnerisch untersucht. Der Holzanteil der Fachwerkwände erfordert zwingend eine Begrenzung der Innendämmung auf einen Wärmeleitwiderstand von R<sub>Dä</sub> = 0,8 (m²K)/W, wenn kein rechnerischer Nachweis der Feuchteverteilung in der Konstruktion erfolgt [3]. Der Einsatz einer kapillarporösen Innendämmung reduziert die Gefahr der Feuchtekonvektion

erheblich.

Massive Außenwand: Die aus Naturstein- oder Ziegelmauerwerk erstellten massiven Außenwände genügen ohne Dämmung teilweise nicht den Anforderungen des Mindestwärmeschutzes. Abbildung 6 stellt dar, wie sich der Wassergehalt im Ziegelmauerwerk in der Kondensationsperiode erhöht, und zwar bei einem traditionellen Mauerwerk ohne Dämmung sowie mit fünf Zentimeter und zehn Zentimeter Innendämmung aus Kalziumsilikatplatten. Diese Fassade mit der Normalregensumme von 880 mm/a (Schlagregenbeanspruchungsgruppe III), einer Schlagregensumme die Südwest-Fassade von ca. 380 mm/a und einer Schlagregensumme auf die Ostfassade circa 75 mm/a wurde beispielhaft mit WUFI berechnet. Dabei zeigte sich, dass der Wassergehalt des Ziegelmauerwerks mehr durch den Schlagregen als durch die Innendämmung bestimmt wird. Der Feuchteanstieg im Ziegelmauerwerk verändert sich durch die Verdopplung der Dämmstoffdicke kaum. Der Einfluss eines für große Schlagregenmengen geeigneten Außenputzes oder der Verringerung der Schlagregenmenge ist deutlich größer.

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

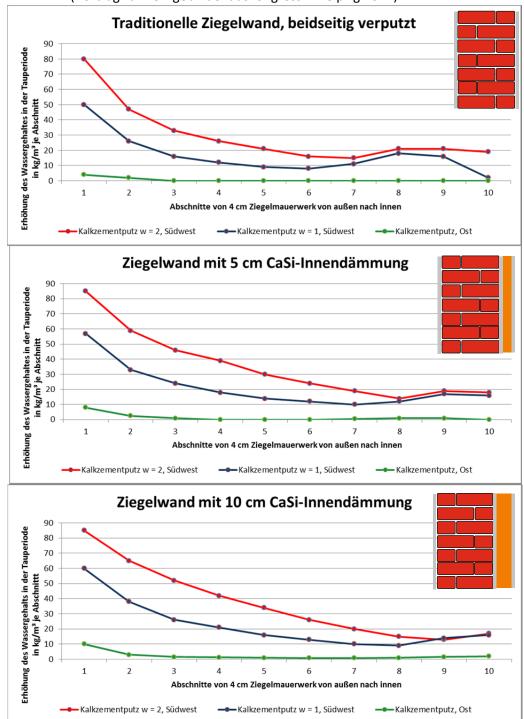


Abbildung 6: Erhöhung des Wassergehalts in der Tauperiode im Ziegelmauerwerk in Abhängigkeit von der Schlagregenbelastung (Südwestfassade 375 mm/a, Ostfassade 75 mm/a), der Wasseraufnahmefähigkeit (w) des Außenputzes und der Dicke der Innendämmung. (WUFI-Berechnung)

Ist auf massiven Außenwänden eine Holzbalkendecke aufgelegt, verschlechtert die Innendämmung den Feuchtehaushalt im Bereich der Balkenköpfe. Die quantitativen Auswirkungen der Dämmstoffdicke sind noch nicht abschließend untersucht [11, 12]. Deshalb wird nach [13] und in Anlehnung an [3] ( $R_{D\bar{a}} \leq 0.8$  ( $m^2 K$ )/W empfohlen, die kapillarporöse Innendämmung auf 3–5 Zentimeter Dicke zu begrenzen. Dabei werden zwar die Anforderungen des Bauteilverfahrens nicht erfüllt [1], aber durch die ungefähre Halbierung des Wärmedurchgangskoeffizienten die Transmissionswärmeverluste durch die Außenwände weit gesenkt.

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

# Wärmebrückenwirkungen begünstigen Feuchteschäden auf inneren Oberflächen von Außenbauteilen

Wärmebrücken finden sich an jedem Gebäude. Je besser ein Gebäude gedämmt ist, desto höher ist ihr prozentualer Anteil an den Transmissionswärmeverlusten. Bei Gebäuden mit geringem Wärmeschutz kann die geringere innere Oberflächentemperatur in Bereichen von Wärmebrücken außerdem zu Tauwasser- und Schimmelbildung führen.

Umgebindehäuser weisen außer an Gebäudekanten, Decken- und Innenwandanschlüssen, Fensterund Türanschlüssen Wärmebrücken an den Verbindungsstellen zwischen den unterschiedlichen Bauweisen auf. Eine markante Wärmebrücke mit großem Schadenspotenzial ist außerdem der Auflagebereich der unteren Balkenlage der Blockstube auf dem Fundament, das meist aus Granit oder Sandstein hergestellt wurde.

Abbildung 7 verdeutlicht anhand einer Thermografieaufnahme die erhöhten Transmissionswärmeverluste in diesem Bereich.



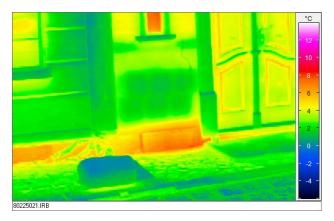


Abbildung 7: Die Thermografieaufnahme veranschaulicht den erhöhten Transmissionswärmeverlust im Sockelbereich der Blockstube.

Abbildung 7 zeigt die Temperaturverteilung in einem Blockstubensockel traditioneller Bauweise als Ergebnis einer Wärmebrückenberechnung. Bei einer Außenlufttemperatur von  $\theta_e$  = -5 °C und einer Raumlufttemperatur von  $\theta_i$  = 20 °C stellt sich eine minimale innere Oberflächentemperatur von  $\theta_{si\,min}$  = 9,8 °C ein.

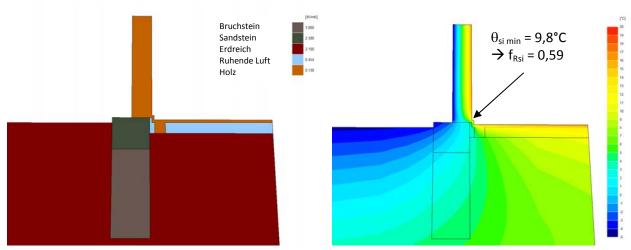


Abbildung 8: Ergebnisse der Wärmebrückenberechnung für den Blockstubensockelbereich

(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

Die Ergebnisse der Wärmebrückenberechnung mit TRISCO (Abbildung 8) zeigen, dass der in traditioneller Weise ausgeführte Blockstubensockel den Anforderungen des Mindestwärmeschutzes nicht genügt. Die dimensionslose minimale innere Oberflächentemperatur f<sub>Rsi</sub> beträgt 0,59. Der in DIN 4108-2 [9] geforderte Wert für frei gelüftete Wohnräume von  $f_{Rsi}$  = 0,70 wird nicht erreicht. Es muss mit einer Schimmelbildung auf der inneren Oberfläche gerechnet werden. Außerdem ist bei niedrigen Außentemperaturen die Temperatur der unteren Balkenlage und des Fußbodenbalkens sehr gering. Auftretende Feuchte am unteren Balken durch Schlagregen, Diffusionskondensat und Kondensat auf der inneren Oberfläche kann schlecht abtrocknen, Feuchteschäden sind zu befürchten.

Die Thermografieaufnahme in Abbildung 9 belegt die berechneten Werte für die innere Oberflächentemperatur im Sockelbereich. Bei einer Außenlufttemperatur von  $\theta_e$  = 5 °C und einer Raumlufttemperatur von  $\theta_i$  = 13 °C stellt sich eine minimale innere Oberflächentemperatur von  $\theta_{\text{si min}}$  = 9,5 °C ein. Die dimensionslose minimale innere Oberflächentemperatur  $f_{\text{Rsi}}$  beträgt 0,56.

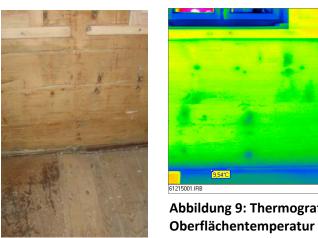
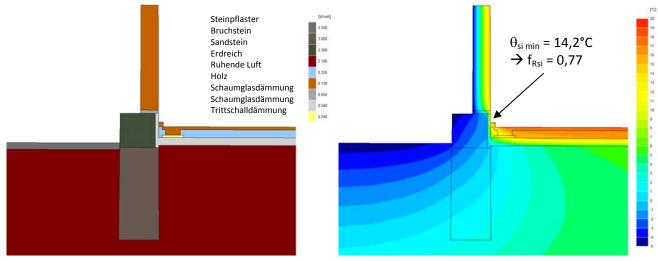


Abbildung 9: Thermografisch ermittelte innere Oberflächentemperatur am Blockstubensockel

Eine praktisch bewährte Sanierungsmöglichkeit dieses Details ist es, Schaumglas auf der Innenseite des Sockelsteins, unter der unteren Balkenlage und unter der Dielung einzubringen (Abb. 12). Dadurch wird die minimale innere Oberflächentemperatur auf 14,2 °C und damit die dimensionslose innere Oberflächentemperatur auf  $f_{Rsi}$  = 0,77 erhöht. Schimmelbildung kann so auf der inneren Oberfläche ausgeschlossen werden. Außerdem kann Feuchtigkeit durch Schlagregen wegen der höheren Temperatur der Balken besser abtrocknen.



(Vortrag zum Umgebindehauskongress in Leipzig 2012)

# Abbildung 10: Ergebnisse der Wärmebrückenberechnung für einen Blockstubensockel nach der Sanierung

#### Literatur

- [1] Verordnung über energiesparenden Wärmeschutz und energiesparende Anlagentechnik bei Gebäuden (Energieeinsparverordnung EnEV), April 2009
- [2] Lamers, R.; Rosenzweig, D.; Abel, R.: Bewährung innen gedämmten Fachwerks. In: Bauforschung für die Praxis, Band 54. Fraunhofer IRB Verlag: Stuttgart, 2000
- [3] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.: WTA-Merkblattreihe 8: Fachwerkinstandsetzung nach WTA
- [4] Wissenschaftlich-Technische Arbeitsgemeinschaft für Bauwerkserhaltung und Denkmalpflege e.V.: WTA-Merkblatt E-6-4-09: Innendämmung nach WTA I Planungsleitfaden. Darmstadt, 2009
- [5] Heil, J.: Energieverbrauchsanalyse von Umgebindehäusern. Bachelorarbeit an der Hochschule Zittau/Görlitz, 2009
- [6] Güttler, Ch.: Energetische Sanierung von Umgebindehäusern. Bachelorarbeit an der Hochschule Zittau/Görlitz, 2009
- [7] Bolsius, J.; Vogel, L.: Ressourcenschonende und umweltgerechte Sanierung eines Umgebindehauses als Demonstrationsobjekt für den nachhaltigen Erhalt einer traditionellen Volksbauweise als prägendes Element der historischen Kulturlandschaft Oberlausitz – wissenschaftliche Begleitung. Projekt 24204 der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, 2008
- [8] Bolsius, J.; Fichna, M.; Krimmling, J.; Rentsch, H.; Richter, E.; Schurig, Ch.; Slansky, H.; Steinbrecher, D.; Tomlow, J.; Vogel, L.: Sanierungshandbuch Umgebindehaus. Landkreis Löbau/Zittau, Geschäftsstelle Umgebindeland, 2007
- [9] DIN 4108 Wärmeschutz und Energie-Einsparung in Gebäuden, Teil 2: Mindestanforderungen an den Wärmeschutz, Februar 2013
- [10] DIN EN ISO 13788 Wärme- und feuchtetechnisches Verhalten von Bauteilen und Bauelementen
  Raumseitige Oberflächentemperatur zur Vermeidung kritischer Oberflächenfeuchte und
  Tauwasserbildung im Bauteilinnern Berechnungsverfahren, Entwurf Juni 2011
- [11] Ruisinger, U.: Risikofaktor Balkenkopf? Holzbalkendecken und die Innendämmung. In: Holzbau 1/2011, S. 18–22
- [12] Stopp, H.; Strangfeld, P; Toepel, T.; Anlauft, E.: Messergebnisse und bauphysikalische Lösungsansätze zur Problematik der Holzbalkenköpfe in Außenwänden mit Innendämmung. In: Bauphysik 2/2010, S. 61–72
- [13] Häupl, P.; Grunewald, J.; Fechner, H.; Jurk, K.; Martin, R.: Hygrisch motivierter Wärmeschutz Thermische Sanierung eines Gründerzeithauses mit einer kapillaraktiven Calciumsilikatinnendämmung, Abschlussbericht BMFB-Projekt 0329 663 A, Dresden, 1999
- [14] Erler, K.: Alte Holzbauwerke Beurteilen und sanieren, Verlag für Bauwesen, Berlin 1997
- [15] Gerner, M.: Schäden an Fachwerkfassaden, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 1998
- [16] Colling, F.: Lernen aus Schäden im Holzbau, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2000
- [17] Gscheidle, H.; Schrepfer, T.: Schadenfreies Bauen Schäden beim Bauen im Bestand, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart 2007