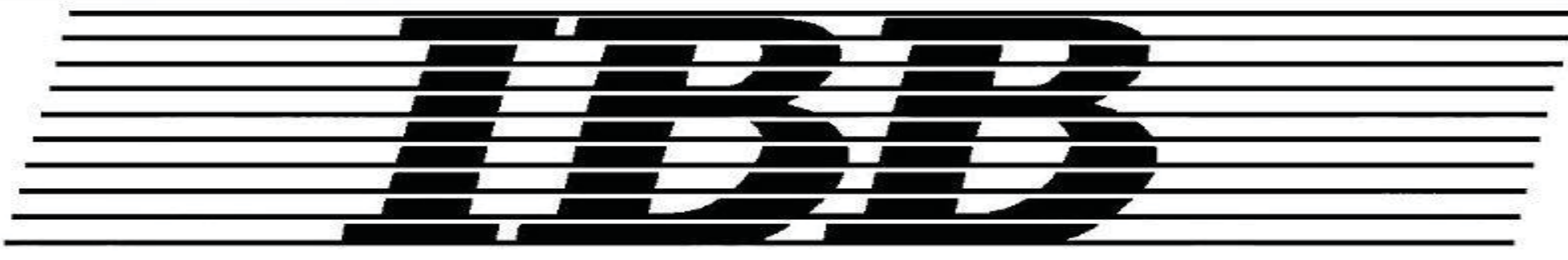


# Energetische Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen für den Neubau eines Einfamilienhauses unter besonderer Berücksichtigung von Wärmebrücken

M. Sc. Max Zwingel



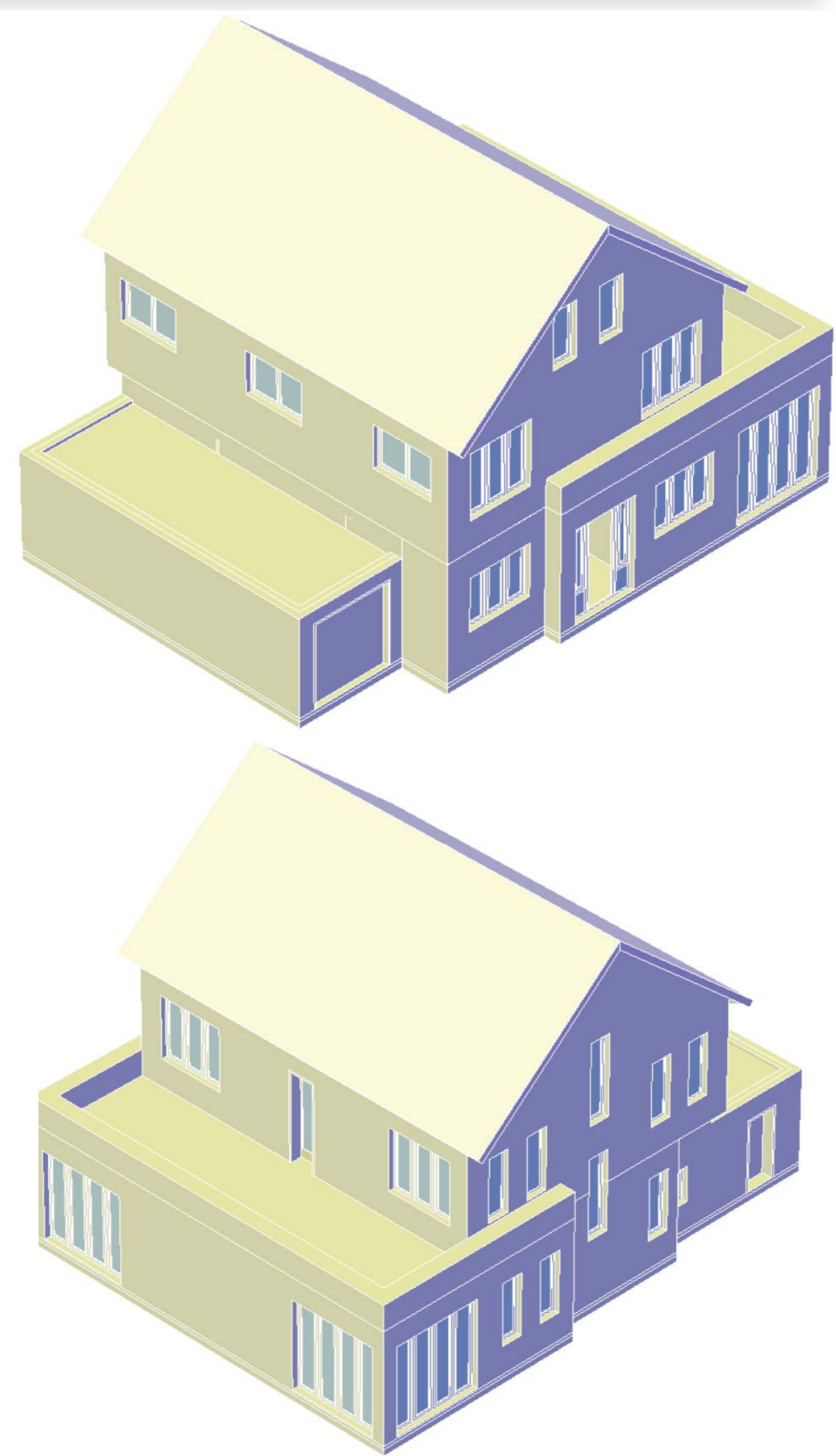
IBB-Ingenieurbüro für Bauplanung und Beratung GmbH  
Rathausstraße 84, 04416 Markkleeberg

## AUFGABENSTELLUNG

Bei der energetischen Berechnung und dem Nachweis nach der EnEV 2009 kann der Einfluss von drei unterschiedliche Arten über den  $\Delta U_{wb}$ -Wert berücksichtigt werden. Je nach Detaillierungsgrad ist der Aufwand sowohl in Planung, Berechnung und vor allem auch in der Ausführung unterschiedlich hoch zu bewerten. Ziel dieser Arbeit ist es am Beispiel eines typischen Einfamilienhauses den Einfluss von Wärmebrücken herauszuarbeiten. Ausgangspunkt ist die energetische und baukonstruktive Beschreibung des Gebäudes. Die energetische Berechnung wird auf Basis der DIN 18599 durchgeführt. Als eine Variante soll auch die Anlagentechnik berücksichtigt werden. Schwerpunkt liegt auf der Konstruktion und Berechnung der Wärmebrücken selbst und der Berücksichtigung in der energetischen Berechnung. Darauf aufbauend wird für die verschiedenen Varianten Wirtschaftlichkeitsuntersuchungen unter Berücksichtigung heutiger Förderprogramme und verschiedener Energiepreisszenarien durchgeführt. Die ganzheitliche Auswertung soll Hinweise für eine Optimierung von Wärmebrücken bei gleichzeitiger Berücksichtigung des dazu notwendigen Aufwandes und somit auf Wirtschaftlichkeit geben.

Prof. Dr.-Ing. Möller

## UNTERSUCHUNGSOBJEKT



Isometrische Ansichten von Nordwesten (oben) und Südosten (unten)

## VORGEHENSWEISE

### 1 Mathematische Grundlage

Bei der Berechnung von Wärmebrückendetails kann man durch das Ändern von örtlich begrenzten Dämmstoffstärken oder durch Hinzufügen bzw. Ersetzen von Baustoffen durch von besser dämmendes Material teilweise erhebliche Energiegewinne zur Ausgangssituation erreichen. Für die Festlegung der ökonomischsten Variante bilden die nachfolgenden Berechnungsansätze nach den Verfahren der Investitionsrechnung eine Grundlage zur objektiven Bewertung. In dem dynamischen Verfahren wird sowohl die Energiepreissteigerung über die Konstruktionslebensdauer als auch der Restwert der Verbesserungsmaßnahme nach Ablauf der Kreditlaufzeit in der Amortisationsberechnung inflationsbereinigt berücksichtigt.

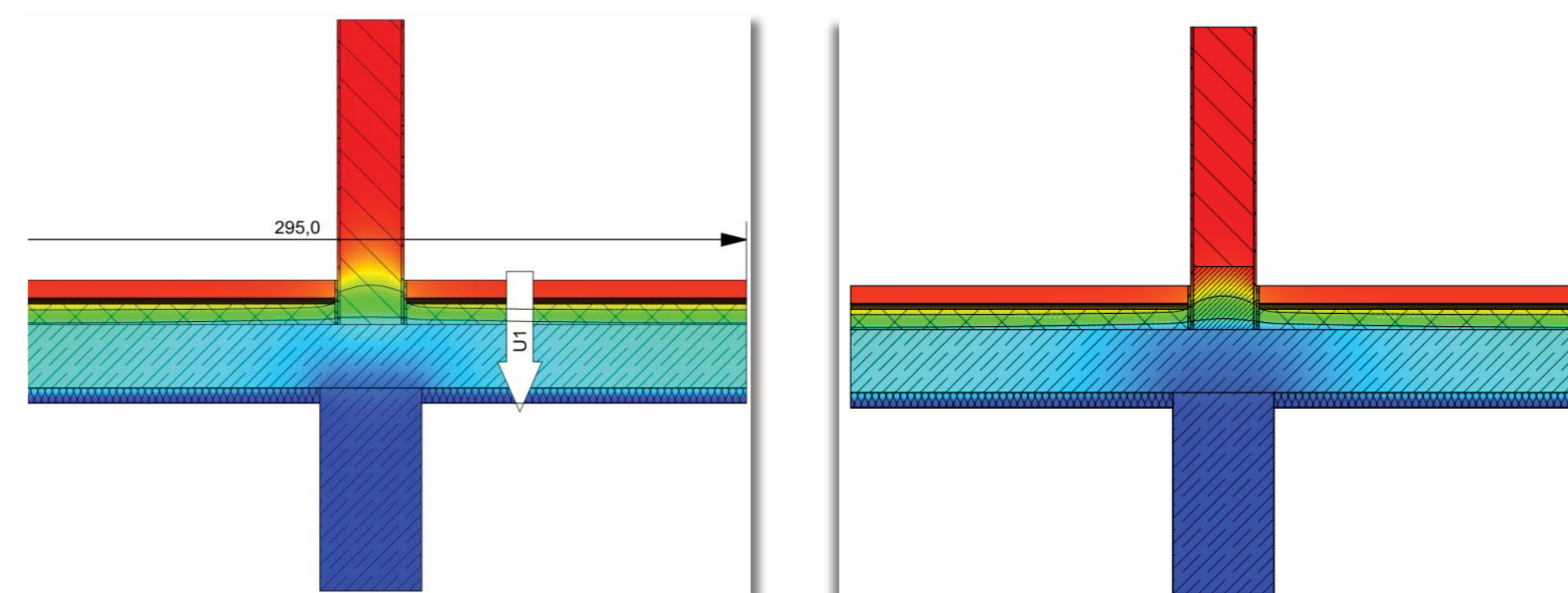
<b>Jährliche Energieeinsparung:</b> $E_{Ein} = (\Psi_{alt} - \Psi_{neu}) \cdot L_{WB} \cdot G_T$ <p><math>\Psi_{alt}</math> längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient des Ausgangsdetails [<math>\frac{W}{m^2 \cdot K}</math>]  <math>\Psi_{neu}</math> längenbezogener Wärmedurchgangskoeffizient verbessertes Detail [<math>\frac{W}{m^2 \cdot K}</math>]  <math>L_{WB}</math> Länge der Wärmebrücke [m]  <math>G_T</math> Grad-Tag-Zahl [KKh]</p>	<b>Gesamtenergiekosten ohne Einsparmaßnahmen:</b> $K_0 = \sum_{i=0}^n P_0 (1 + p_E)^{iL} \cdot E_0$ <p><math>p_E</math> prozentuale jährliche Energiepreissteigerung [%/100]  <math>P_0</math> Energiepreis zum Berechnungsanfang [<math>\frac{€}{kWh}</math>]</p>	<b>Amortisationszeitpunkt:</b> wenn $K_{0,X} - K_{S,X} > 0$ , dann $n_{A,X}$ $K_{0,X}$ Gesamtenergiekosten der Wärmebrücke <u>ohne</u> Einsparmaßnahmen einschließlich dem Jahr "X" $K_{S,X}$ Gesamtenergiekosten der Wärmebrücke <u>mit</u> Einsparmaßnahmen einschließlich dem Jahr "X" $n_{A,X}$ Amortisationszeitpunkt im Jahr "X"
<b>Investitionsmehrkosten:</b> $I_{Mehrk} = L_{WB} \cdot K_L$ <p><math>L_{WB}</math> Länge der Wärmebrücke [m]</p>	<b>Gesamtenergiekosten mit Einsparmaßnahmen:</b> $K_S = I_{Mehrk} + \sum_{i=0}^n P_0 (1 + p_E)^{iL} \cdot E_S + A_{(Mehrk-R)}$ <p>mit <math>A_{(Mehrk-R)} = a_{n,K} \cdot (I_{Mehrk} - R)</math> und <math>a_{n,K} = \frac{(1 + p_{K,R})^{n_K} \cdot p_{K,R}}{(1 + p_{K,R})^{n_K} - 1}</math>  <math>a_{n,K}</math> Annuitätsfaktor über den Zeitraum der Kreditlaufzeit [<math>a^{-1}</math>]  <math>n_K</math> Zeitraum der Kreditlaufzeit [a]</p>	<b>Einsparpotential:</b> $K_B = K_{Ein,0} \cdot b_{WB} = \frac{\sum_{i=0}^{n_A} K_{0,i} - K_{S,i} \cdot (1 + p_{real})^{\Delta n}}{\Delta n} \cdot \frac{1}{p_{real}}$ <p>mit <math>\Delta n = n_L - n_{A,X}</math> und <math>p_{real} = \frac{1+i}{1+p_E} - 1</math>  <math>K_B</math> Einsparpotential (Barwert) der verbesserten Wärmebrücke über 50 Jahre [<math>\frac{€}{m}</math>]  <math>K_{Ein,0}</math> durchschnittlich eingesparte jährliche Energiekosten [<math>\frac{€}{a}</math>]  <math>K_{0,n}</math> Gesamtenergiekosten bis zum Jahr "n" <u>ohne</u> Sparmaßnahmen [€]  <math>K_{S,n}</math> Gesamtenergiekosten bis zum Jahr "n" <u>mit</u> Sparmaßnahmen [€]  <math>b_{WB}</math> Barwertfaktor der verbesserten Wärmebrücke  <math>p_{real}</math> inflationsbereinigter Energiepreissteigerungsfaktor [%/100]  <math>\Delta n</math> restliche Lebensdauer der Wärmebrücke ab dem Amortisationszeitpunkt [a]</p>
<b>Restwert der Einsparmaßnahme:</b> $R = (1 - a_{n,L} \cdot b_{n,K}) \cdot I_{Mehrk}$ <p><math>a_{n,L}</math> Annuitätsfaktor über die Lebensdauer der Verbesserungsmaßnahme [<math>a^{-1}</math>]  <math>b_{n,K}</math> Barwertfaktor über die Darlehensdauer [a]</p> $b_{n,K} = \frac{1 - (1 + p_{K,R})^{-n_K}}{p_{K,R}}$ mit $n_K \triangleq$ Darlehensdauer	$a_{n,L} = \frac{(1 + p_{K,R})^{n_L} \cdot p_{K,R}}{(1 + p_{K,R})^{n_L} - 1}$ mit $p_{K,R} = \frac{p_K + 1}{i + 1} - 1$ $n_L$ Lebensdauer der Verbesserungsmaßnahme [a] $p_{K,R}$ Realzinsfaktor des laufenden Kredits [%/100] $p_K$ Effektivzinsfaktor der Bank (Nominalzins) [%/100] $i$ Inflationsrate [%/100]	

## KURZFASSUNG

Infolge der kontinuierlichen Verschärfung gesetzlicher Vorgaben über die energetische Beschaffenheit neu zu errichtender Wohngebäude, spielen Wärmebrücken eine zunehmend wichtige Rolle bei der Gebäudebilanzierung. Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem wirtschaftlichen Einfluss der genauen Planung solcher exponierter Stellen auf das Gesamtgebäude. Außerdem ist das Ausgangsobjekt für verschiedene Energiequellen und Wärmebrückenzuschläge bilanziert, um so eine weitere Aussage über den ökonomischen Nutzen von Mehrinvestitionskosten für die Anlagentechnik treffen zu können. Ausgehend von dem jeweiligen Standarddetail aus dem Beiblatt 2 der DIN 4108 sind mehrere Verbesserungsvarianten aufgezeigt und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Dazu wird eine Amortisationsberechnung der zusätzlich entstehenden Material- und Arbeitskosten auf der Grundlage finanzmathematischer Formeln vorgenommen. Diese Untersuchung zeigt, dass sich aufgrund der stetig steigenden Energiepreise, über die Dauer von 50 Jahren, ein beträchtliches Einsparpotential allein mit konstruktiven Maßnahmen ergibt. In Kombination mit einer genauen Wärmebrückenberechnung und regenerativer Energieerzeuger erreicht man einen derart reduzierten Primärenergiebedarf, im Vergleich zu den Standardvorgaben der EnEV 2009, dass man die staatlichen Förderprogramme der KfW-Bankengruppe in Anspruch nehmen kann. Im Ergebnis ist festzustellen, dass es dem Bauherren einen über die Jahre gesehen wirtschaftlichen Vorteil bringt mehr Geld für die Planungsphase bereit zu stellen und in energetische hochwertigere Konstruktionslösungen zu investieren.

### 2 Wärmebrückenuntersuchung

Untersuchung des Innenwandanschlusses an ein Streifenfundament, mit der Verwendung eines Porenbetonkimmsteins ( $\lambda = 0,10 \text{ W/mK}$ ,  $h = 24 \text{ cm}$ )



Variante	$\psi$ [ $\frac{W}{m^2 \cdot K}$ ]	Investitionsmehrkosten [ $\frac{€}{m}$ ]	Amortisationszeit [a]			Einsparpotential [ $\frac{€}{m}$ ]		
			$p_E = 3,44\%$	$p_E = 4,72\%$	$p_E = 5,56\%$	$p_E = 3,44\%$	$p_E = 4,72\%$	$p_E = 5,56\%$
R	0,290	-	-	-	-	-	-	-
1	0,159	13,10	16	15	14	1.528	3.169	5.122
2	0,141	13,60	15	13	13	1.882	3.876	6.141

### 3 Gebäudebilanzierung

Auf der Grundlage verschiedener Anlagentechniken und der Annahme unterschiedlicher Wärmebrückenzuschläge wird der Primärenergieverbrauch sowie der Transmissionswärmeverlust des Untersuchungsobjektes im Vergleich zu den Anforderungen der EnEV 2009 dargestellt. Hierbei zeigt sich, dass eine genaue Berechnung des Wärmebrückenzuschlags nicht nur den rechnerischen Gebäudeenergieverlust deutlich senkt, sondern die Mehrausgaben für den planerischen Aufwand direkt durch das Wegfallen zusätzlicher regenerativer Anlagentechnik (Einhaltung des EEWärmeG) und das Erreichen eines KfW-Effizienzhausstandards (Förderfähigkeit) refinanziert werden können.

