

## Kapitel 43

Zum Verständnis der Termosfassade

### **Wege zu einer wissenschaftlich haltbaren bauphysikalischen Berechnung zum energetischen Verhalten von Außenwänden.<sup>1</sup>**

#### **Vorbemerkung:**

Die EnEV verlangt von den Planern und Energieberatern eine Berechnung der energetischen Güte von Außenwänden nach der U-Wert – Theorie.

Das dort niedergelegte bauphysikalische Modell ist grundlegend falsch und ein wissenschaftlicher Unfug. Es sieht so aus:

*Wärmeenergie wird durch Wärmeleitung von innen nach außen verfrachtet und verlässt an der Gebäudeoberfläche das Gebäude.*

Das wird berechnet. In die Berechnung werden die Wärmeleitzahlen der Baustoffe und die Materialstärken eingefügt. Eingefügt wird auch der Temperaturunterschied zwischen innen und außen, allerdings nur mit dem Wert 1, sodass er sich auf das Rechenergebnis nicht auswirkt.

Das Ergebnis ist sodann der berühmte U-Wert in der Form:

$$U = W/m^2K.$$

Der U-Wert beschreibt somit nur die spezifische Wärmeleitfähigkeit einer Konstruktion, sonst aber nichts.

Wichtige weitere Parameter zur Bewertung der energetischen Qualität einer Konstruktion werden nicht betrachtet. Insbesondere wird die Temperaturleitfähigkeit von Baustoffen nicht bewertet, also die spezifische Wärmekapazität und die Masse, die aber von ausschlaggebender Bedeutung sind. Ebenso wenig werden die ständig wechselnden Randbedingungen behandelt. Behandelt wird nur der sog. „stationäre Zustand“ der Randbedingungen. Die Berechnungen setzen also voraus, dass Gebäude den vielfältigen und dauernd wechselnden Randbedingungen, die durchwegs wetterbestimmt sind, nicht ausgesetzt sind. Diese Annahme kann in Laboren umgesetzt werden. Für die Praxis bedeutet das, dass so gerechnet wird als ob die Gebäude in gleichmäßig temperierten Hallen stünden.

---

<sup>1</sup> Die folgenden Ausführungen gelten sinngemäß auch für andere Hüllkonstruktionen.

Selbst einem einfachen Gemüt leuchtet ein, dass die einzige Ursache für die Gebäudebeheizung das Wetter ist. In den Berechnungen kommt das aber nicht vor. Bereits hier und ohne dass dies schon vertieft ist, sieht man, dass die Bewertung der energetischen Qualität einzig und alleine nach dem U-Wert offenkundig Unsinn ist.

Damit könnte es sein Bewenden haben, wäre dieser Unsinn nicht die Grundlage der Energieeinsparverordnung (EnEV), die Architekten, Energieberater und letztlich Bauherren und Hauseigentümer einhalten müssen. Von der Einhaltung dieser Verordnung macht auch die KfW die Förderung von Bauvorhaben und energieeinsparenden Maßnahmen abhängig.

Die Dämmindustrie, vertreten durch den Bundesverband WDV mit Sitz in Baden-Baden verkündet stolz, dass jährlich 50.000.000 m<sup>2</sup> Wärmedämmverbundsysteme gebaut würden. Bei Kosten/m<sup>2</sup> von brutto € 150,-- ergibt sich hieraus ein jährlicher Umsatz von

€ 7.500.000.000,--

in Worten: 7,5 Milliarden EURO, die in fast allen Fällen nutzlos ausgegeben werden. Es wird also Volksvermögen verschleudert. Da derartige Maßnahmen als Wohnwertverbesserung anerkannt sind, werden jährlich bis zu 11% der Kosten auf die Wohnungsmieter umgelegt. Skandalös ist hierbei, dass wegen der Umlagen auf die Mieter die Kosten nach etwa 10 Jahren amortisiert sind, die Umlagen haben weiterbezahlt werden müssen.

Man kann getrost davon ausgehen, dass die Hauseigentümer diese Maßnahmen nicht deswegen durchführen, weil sie Heizkosten einsparen wollen oder gar das Weltklima retten wollen, sondern wegen des guten Geschäfts das sie machen. Für die Baukredite bezahlen sie derzeit einen Zins von maximal 2,5%, haben aber einen Ertrag von 11%. Das ist also die berühmte „Lizenz zum Gelddrucken“.

Inzwischen hat die PROGNOSE AG im Auftrag der KfW ein Gutachten erstattet, das zu folgendem Ergebnis kommt:

- Um Energie im Wert von 300 Milliarden € einzusparen, müssen 800 Milliarden € investiert werden.
- Der einzige Nutznießer an den Energieeinsparmaßnahmen ist der Fiskus, der bei einer Staatsquote von 40% eine Zusatzeinnahme von 3 Milliarden € hat und deshalb, weil die Energieeinsparmaßnahmen völlig wirkungslos sind, keinerlei Einbußen bei den Energiesteuern verzeichnen muss.

Man sieht also, dass der Staat spätestens seit Einführung der EnEV mit seiner Energieeinsparpolitik vor einem Scherbenhaufen steht und das Volk empfindlich betrogen und geschädigt hat. Ein Fall für den Staatsanwalt also.

Von all dem bleibt übrig, dass es natürlich vernünftig ist, Heizenergie einzusparen. Will man dies allen Ernstes erreichen, muss die EnEV in ihrer heutigen Form abgeschafft werden, da sie nur Schaden angerichtet hat.

Von entscheidender Bedeutung ist nun, dass endlich ein richtiges bauphysikalisches Modell erarbeitet wird, das zur Grundlage einer Energieeinsparverordnung werden kann. Hierbei vertrete ich die Ansicht, dass es einer neuen Energieeinsparverordnung, bei der sogar einzelne Bauweisen vorgeschrieben werden, nicht bedarf. Es würde völlig genügen, wenn der Staat maximale und gebäudespezifische Energieverbräuche vorschreiben würde, die technische Lösung aber den Fachleuten überlässt.

Damit würde endlich wieder ein Wettbewerb um die beste Lösung ausgelöst werden, der durch die EnEV ja vollständig abgewürgt worden ist.

### **1) Wo findet der Energieverlust statt?**

Die Antwort ist ganz einfach, nämlich an der Gebäudeoberfläche, obwohl sogar darüber gestritten wird. Da meinen manche, dass bereits der Übergang von Wärmeenergie in die Innenoberfläche der Außenwände Energieverlust sei. Das ist der natürlich nicht, da das Ziel einer Gebäudebeheizung ja darin besteht, die Bausubstanz zu erwärmen weil nur hierdurch ein gutes Raumklima entstehen kann. Wärmeenergie, die sich noch in der Bausubstanz befindet, ist also nicht verloren sondern sinnvoll investiert.

### **2) Wie erfolgt der Energieverlust?**

Diese Frage verengt die Problematik auf den Vorgang des Energieübergangs von der Wandoberfläche in die Umgebung und schließt ein, dass nicht weniger wichtig der Energieübergang aus der Umgebung in die Wand ist. Ganz empirisch können wir also feststellen, dass an Gebäudewänden beides geschieht:

- Energieeintrag, den ich „exogen“ nenne.
- Energieabtrag.

Mit einem Energieverlust haben wir es nur dann zu tun, wenn der Energieabtrag grösser als der Energieeintrag ist.

Mit dieser empirischen Erkenntnis ausgerüstet, erkennen wir mühelos, dass eine U-Wert – Berechnung uns überhaupt nichts nützt. Dieser beschreibt nur die Wärmeleitfähigkeit einer Konstruktion, sagt aber über den Vorgang des Energieübergangs an der Wandoberfläche überhaupt nichts aus.

Wir erkennen nun auch mühelos, dass wir – wollen wir die energetische Qualität einer Wandkonstruktion beurteilen – eine Energiebilanz aufstellen müssen, die darin besteht, dass wir den Energieabtrag und den Energieeintrag mit einander verrechnen müssen. Es geht also – das ist meine Kernaussage – um die Energiebilanz an der Gebäudeoberfläche.

Da wir uns nun allmählich mit physikalischem Wissen dieses Problems annehmen wollen und sogar rechnen wollen, müssen wir uns auf eine Systemgrenze verständigen, die natürlich nur die Gebäudeoberfläche sein kann. Das klingt ganz einfach, kann aber im Einzelfall schwierig werden.

Betrachten wir ein Wärmedämmsystem, ist z.B. zu fragen, ob die Oberfläche des WDVS oder die Grenzschicht zwischen Dämmstoff und Mauerwerk die Systemgrenze ist. Bei näherer Betrachtung stellen wir fest, dass in diesem Falle die Grenzschicht als Systemgrenze anzusehen ist.

Ähnlich ist das bei der TERMOSFASSADE, bei der ebenfalls die ursprüngliche Außenwand und nicht etwa die Oberfläche der Verkleidung als Systemgrenze anzunehmen ist.

### **3) Arten der Energieverlagerung und deren Berechnung**

Gottseidank ist das unkompliziert. Die Energieverlagerung am Gebäudeaußenwänden findet statt über

- Konvektion, die von den Parametern Temperaturunterschied und Strömungsgeschwindigkeit abhängig ist. Sichere Berechnungsverfahren gibt es hierzu nicht, jedoch recht brauchbare Faustformeln, die auf Messungen in den 20er – Jahren des 20.Jhdts. zurückgehen.

Eine brauchbare Faustformel zur konvektiven Energieverlagerung besagt, dass bei ruhender Luft eine Übergangsleistung von  $2 \text{ W/m}^2$  angenommen werden kann, die mit der Temperaturdifferenz zwischen Luft und Wand multipliziert wird. Bei bewegter Luft (Wind) tritt als zusätzlicher Faktor die Quadratwurzel aus der Strömungsgeschwindigkeit in  $[\text{m/s}]$  hinzu. Die tatsächliche Energiemenge erhalten wir, wenn wir die Leistung  $\text{W/m}^2$  mit der Zeit multiplizieren. Wir nennen das „Arbeit“ mit der Bezeichnung  $[\text{Ws/m}^2]$

- Wärmestrahlung, also elektromagnetische Wellen unterschiedlicher Wellenlängen, die emittiert oder absorbiert werden. Dieser Vorgang ist gut berechenbar. Es gilt – für baupraktische Zwecke völlig ausreichend – das Strahlungsgesetz von Stefan – Boltzmann, das besagt, dass die Strahlungs- und Absorptionsleistung in der 4. Potenz proportional zur absoluten in Kelvin (K) gemessenen Temperatur des Strahlers und direkt proportional zum Emissionskoeffizienten ( $\epsilon$ ) des Strahlers bzw. zur absorbierenden Oberfläche steht.

Die Grundformel des Strahlungsgesetzes von Stefan-Boltzmann lautet:

$$Q = 5,671 \times \epsilon \times (T/100)^4 \text{ in W/m}^2$$

Will man die tatsächliche Arbeit berechnen, muss das Ergebnis mit der Zeit multipliziert werden, sodass wir zur vertrauten Größen [Ws/m<sup>2</sup>] kommen oder noch vertrauter, zu [KWh/m<sup>2</sup>].

Bis jetzt ist das also noch gut begreifbar. Wir können mit ausreichender Genauigkeit die Energieverlagerungen berechnen.

Erwähnt sei noch, dass die Stefan-Boltzmann – Formel auch nach T aufgelöst werden kann. Bei bekannter Strahlungsleistung und bekanntem Emissionskoeffizienten können wir also die Temperatur einer bestrahlten Oberfläche berechnen. Da die Temperaturveränderung einer bestrahlten Fläche aber nicht schlagartig eintritt, muss – falls von Interesse – die Dauer der Erwärmungs – oder Abkühlungsphase berechnet werden. Diese hängt vom Wärmespeichungsvermögen und der spezifischen Wärmekapazität ab.

In die Berechnung geht also die Temperaturleitzahl ein, zu der hier nichts Weiteres ausgeführt wird. In Wikipedia ist dieser physikalische Begriff recht gut erläutert.

#### **4) Wozu das Ganze?**

Wir haben bereits gesehen, dass die Berechnung des U-Werts uns bei unseren Bemühungen um die energetische Qualität einer Außenwand nichts nützt. Ebenso wenig kann uns eine U-Wert-Berechnung bei der Ermittlung des Heizenergieaufwands etwas nützen, ganz leicht einsehbar, weil der eigentlich entscheidende Vorgang, nämlich der Energieübergang an der Wandoberfläche nicht behandelt wird. Dennoch behaupten die Urheber und Verfechter der EnEV, dass das Ausmaß der Wärmeleitung unmittelbar den Energieaufwand bestimmen würde.

Hierzu müssten sie allerdings in ihre Berechnungen nach der Formel

$$U = W/m^2K$$

für K die tatsächlichen Temperaturunterschiede zwischen Innen – und Außenwandoberfläche einfügen. Diese sind aber bekanntlich einem ständigen Wechsel unterworfen, was bedeuten würde, dass sie dem stationären Modell absagen müssten, was gleichbedeutend mit der Abschaffung der EnEV wäre. Das wollen sie aber unter allen Umständen vermeiden – an vorderster Stelle die Dämmstofflobby, die sich die Bundesregierung gefügig gemacht hat, dicht gefolgt von den Energieberatern, die mit den Primitivberechnungen nach EnEV und mittels wohlfeiler Berechnungsprogramme mühe – und risikolos große Umsätze machen.

Wir müssen also Berechnungen erstellen, die zu einer Energiebilanz an der Gebäudeoberfläche (Systemgrenze) aus Energieabtrag – und Eintrag führen. Weil hier die wechselnden Randbedingungen, das Wetter also, eine entscheidende Rolle spielen – genau genommen ist dadurch unser Problem verursacht – ist es künftig unmöglich, mit einer einzigen stationären U-Wert – Berechnung ein sinnvolles Ergebnis zu bekommen.

Wir müssen also das Wetter in die Berechnungen mit einbeziehen und landen damit unvermeidbar bei wetterbestimmten Simulationen. Das rechnerische Rüstzeug haben wir zur Verfügung. Das ist also grundsätzlich möglich.

### **5) Was verursacht eigentlich den Heizenergieaufwand?**

Das II. Thermodynamische Gesetz besagt, dass Energieverlagerungen immer vom hohen zum niedrigen Temperaturniveau erfolgen. In der Heizperiode ist das Temperaturgefälle meistens von innen nach außen gerichtet. Dem folgt die Energieverlagerung. Entscheidend ist nun aber, dass es keineswegs um die Aussenlufttemperatur geht sondern um die Temperatur der Aussenwandoberfläche, die ja – wie wir bereits gesehen haben, die Systemgrenze ist.

Nun wird es ganz einfach: Der Heizenergieaufwand bestimmt sich nach der Energiebilanz an der Gebäudeoberfläche. Die bilanzierte Energiemenge, die an der Gebäudeoberfläche verloren geht, muss ersetzt werden. Hierdurch entsteht der Energieaufwand.

Ein Teil der an der Systemgrenze entweichenden Energie entstammt unzweifelhaft den Innenbereichen des Gebäudes. Da gibt es also die als „Wärmestrom“<sup>2</sup> bezeichnete Energieverlagerung, deren Ausmaß nicht, aber deren Ablaufgeschwindigkeit auch durch die Dämmfähigkeit – aber nicht nur – der Wandkonstruktion beeinflusst wird.

Diese Erkenntnisse führen nun narrensicher zu einer sinnvollen Berechnungsmethode in drei Schritten:

- Berechnung der Wandoberflächentemperatur außen über die Energiebilanz.
- Berechnung der Energieverlagerung von innen nach außen – gelegentlich auch umgekehrt – über das Temperaturgefälle von Innenwandoberfläche zur Systemgrenze.
- Verbessert wird die Berechnung des zweiten Schritts dann, wenn die Temperaturleitzahl der Wandkonstruktion eingeführt wird, die vor allem dazu führt, dass der gesamte Vorgang über die Masseeigenschaften und die Wärmekapazität in Verbindung mit dem Dämmwert abgedämpft wird, das Ergebnis also erheblich freundlicher aussieht.

Wir sind nun also so weit, dass wir die von der EnEV vorgeschriebenen Berechnungsverfahren in den Papierkorb werfen können. Die Energieberater – so sie weiterarbeiten wollen- müssen von nun an ordentliche physikalische Kenntnisse haben, die Beamten der Bundesregierung fluchen vor sich hin, Professoren geraten unter den Verdacht des Murkserturns und die Aktien der Dämmindustrie verlieren erheblich an Wert und möglicherweise durchstreifen gedungene Mörder das Land.

Und nun wollen wir uns ans Werk machen.

Zuvor noch eine Bemerkung zur Wärmestrahlung:

Strahlungsprozesse bewirken mit einem Anteil von etwa 80% die energetischen Prozesse an Gebäuden. In den Berechnungen zur EnEV finden Sie hierzu nichts. Ich glaube nicht, dass die Urheber der EnEV so bodenlos dumm sind, dass sie das übersehen haben. Das war ganz klar die betrügerische Absicht der Dämmstofflobby, der eine Kernaussage des früheren Direktors der Fraunhofergesellschaft für Bauphysik Karl Gertis bekannt war:

*„Aussendämmungen koppeln die Gebäudeoberfläche von der Solareinstrahlung ab“*

---

<sup>2</sup> Bei Energieverlagerungen strömt nichts.

Einem Ondit zufolge saßen die Vertreter der Dämmstoffindustrie in den Schreibstuben der mit der Ausarbeitung der EnEV befassten Regierungsbeamten und diktierten diesen die Verordnung in die Feder. Diese Beamten traf man dann später bei von der Dämmstoffindustrie inszenierten „Seminaren“ als Referenten mit üppigen Rednerhonoraren.

Was Wunder also, dass in der EnEV Strahlungsprozesse nicht behandelt worden sind und im Gegenteil da sogar drin stand, dass Einstrahlungsgewinne auf gedämmten „opaken“ Wänden nicht berechnet werden durften. Die Sonneneinstrahlung über Fenster allerdings wurde gnädig zugelassen.

Damit muss aber nun endgültig Schluss gemacht werden. Weil es immense Einstrahlungsleistungen gibt, müssen diese selbstverständlich in bauphysikalischen Berechnungen auch erfasst werden. Klar hierbei ist aber auch, dass dies das Ende der WDVS bewirken wird.

Wir wenden uns nun den energetischen Prozessen an Gebäudeoberflächen zu:

## **6) Sonnenstrahlung**

Die Sonne strahlt immer. Ihre Strahlungsleistung beträgt am oberen Rand der Atmosphäre  $1.367 \text{ W/m}^2$ . Die Einstrahlungsleistung in der Nähe der Erdoberfläche ist geringer und erreicht nur ungefähr  $1.000 \text{ W/m}^2$  bei senkrechter Einstrahlung und klarem Himmel.

Beim Vergleich von Wetteraufzeichnungen für die Globalstrahlung und synchronen Aufzeichnungen des atmosphärischen Luftdrucks habe ich herausgefunden, dass es eine klare Korrelation zwischen atmosphärischem Luftdruck und Bedeckungsgrad des Himmels gibt. Je nach Bedeckungsgrad wird die Solarkonstante abgemindert. Ich habe mich auf sechs Abminderungsstufen festgelegt. Diese sind hinlänglich genau.

Von großer Bedeutung ist der tatsächliche Einstrahlungswinkel auf Außenwände. Aus einem Sonnenstandsdiagramm für Stuttgart habe ich ein leicht benutzbares Programm entwickelt, mit dessen Hilfe in stündlichen Schritten der tatsächliche Einstrahlungswinkel auf Wände mit beliebiger Ausrichtung ermittelt werden kann. Die Einstrahlungsleistung ergibt sich aus der Multiplikation der abgeminderten Strahlung mit dem Sinus des Einstrahlungswinkels.



Die tatsächliche Einstrahlungsleistung auf Gebäudeoberflächen ist also sicher und genau berechenbar. Demgegenüber sind die Tabellen zur Solarstrahlung in der EnEV ein dilettantischer Mist.

Aus der tatsächlichen Einstrahlungsleistung kann die Temperatur der absorbierenden Wandoberfläche sicher berechnet werden.

### **7) Diffusstrahlung.**

Unter der Diffusstrahlung versteht man die vom Himmel kommende Strahlung, die nicht unmittelbar von der Sonne kommt. Bei klarem Himmel ist sie gering, bei bedecktem Himmel hoch und kann Werte bis  $150 \text{ W/m}^2$  erreichen. In den amtlichen Wettertabellen ist die Diffusstrahlung mit stündlichen Werten enthalten und kann unmittelbar in die Berechnung einbezogen werden. Die Diffusstrahlung wird im Wesentlichen vom in der Atmosphäre enthaltenen Wasserdampf emittiert, der sowohl Teile der Solarstrahlung als auch von der Erdoberfläche abgestrahlten Energie absorbiert. In der Atmosphäre ist auch das Spurengas  $\text{CO}_2$  enthalten, dessen Emission aber nur marginal klein ist und daher bedeutungslos. Dennoch hat man diesem Gas den Titel „Klimakiller“ verliehen. In den amtlichen Wettertabellen wird die Diffusstrahlung angegeben, sodass man diese Werte in eine Simulation eingeben kann.

### **8) Umgebungsstrahlung.<sup>3</sup>**

Alle Oberflächen, die wärmer als der absolute Nullpunkt sind, emittieren Wärmestrahlung. Dies gilt auch für die Gebäudeumgebung. Will man diese Strahlungsleistung bemessen, gilt auch hier das Strahlungsgesetz von Stefan-Boltzmann. Selbst im tiefsten Winter beträgt die Strahlungsleistung etwa  $250 \text{ W/m}^2$ . In den Heizungsübergangszeiten, bei denen die Oberflächentemperaturen der Umgebung<sup>4</sup> auf  $10 \text{ °C}$  und mehr ansteigen, wächst die Strahlungsleistung auf etwa  $310 \text{ W/m}^2$  an. Als emittierende Flächen kommen in Betracht:

- Gegenüberstehende Gebäudewände. Südwände emittieren besonders viel Wärmestrahlung. Unter Sonneneinstrahlung kann selbst bei sehr niedrigen Aussenlufttemperaturen eine Südwand eine Oberflächentemperatur von  $30 \text{ °C}$  und mehr erreichen und emittiert sodann mit einer Leistung von über  $400 \text{ W/m}^2$ . In dicht bebauten Quartieren wird diese Leistung von der gegenüberlie-

---

<sup>3</sup> Die Umgebungsstrahlung wurde in der Bauphysik überhaupt noch nicht wahrgenommen.

<sup>4</sup> In den Wetteraufzeichnungen sind die Bodentemperaturen angegeben.

genden Nordwand absorbiert, sodass Nordwände gar nicht so schlecht sind.

- Die gesamte sonstige Umgebung, also Wald, Wiesen, Gewässer, Wege usw. Bei dieser Gelegenheit weise ich darauf hin, dass Wärmestrahlung in den gesamten sog. „Halbraum“ emittiert wird, also nach allen freien Richtungen und nicht nur etwa – wie man gefühlsmäßig meinen könnte, nur senkrecht von der emittierenden Fläche weg.<sup>5</sup>

### 9) Zusammenwirken der unterschiedlichen Strahlungsarten.

Die Gesamteinstrahlung ergibt sich aus der Addition der drei Strahlungsarten. Nehmen wir die realitätsnahen Werte aus den vorigen Ausführungen mit 600 W/m<sup>2</sup> bei bedecktem Himmel, 100 W/m<sup>2</sup> Diffusstrahlung und 250 W/m<sup>2</sup> Umgebungsstrahlung, haben wir eine Gesamteinstrahlungsleistung von 950 W/m<sup>2</sup>. Wollen wir hieraus die einwirkende Energiemenge ermitteln, multiplizieren wir – wie bereits dargestellt – die Einstrahlungsleistung mit der Zeit, also beispielsweise mit einer Stunde und haben sodann

$$950 \text{ W/m}^2 \times 1 \text{ h} = 950 \text{ Wh/m}^2 \text{ oder } 0,950 \text{ KWh/m}^2.$$

Nun stellen wir uns einen freistehenden nach Süden gerichteten Wandgiebel mit ca. 250 m<sup>2</sup> Fläche vor. Da haben wir sodann einen aus Einstrahlung herrührenden stündlichen Energieeintrag von

$$0,950 \text{ KWh} \times 250 \text{ m}^2 = 237,50 \text{ KWh}$$

Bewerten wir die Kilowattstunde ganz bescheiden mit € 0,15, „verdienen“ wir also stündlich durch die Einstrahlung

$$237,50 \times 0,15 = € 35,63.$$

Wenn Sie nun auf diese Wand ein WDVS packen, ist dieser schöne Verdienst weg. (Siehe Zitat von Karl Gertis).

### 10) Abstrahlung von Gebäudewänden.

Selbstverständlich emittiert die Gebäudewand auch Wärmestrahlung. Im Kernwinter erreichen die Oberflächentemperaturen ei-

---

<sup>5</sup> Vereinfachend kann man sagen, dass die Umgebungsstrahlung auf Gebäude von den Flächen ausgeht, die das Gebäude „sieht“. Völlig unerheblich ist hierbei die Entfernung der Strahlungsquelle.

nen Wert von minimal  $-5\text{ °C}$ .<sup>6</sup> Berechnet man das mit der Stefan-Boltzmann- Formel, beträgt bei den üblichen Gebäudeoberflächen die geringste Abstrahlungsleistung  $248\text{ W/m}^2$ . Diese Leistung müssen wir von der Einstrahlungsleistung abziehen. In unserem – realitätsnahen – Beispiel bleibt da aber immer noch ein schöner Überschuss von  $702\text{ W/m}^2$  übrig. Wir haben also selbst bei sehr ungünstigen Randbedingungen einen großen Nettoenergieeintrag durch Einstrahlung von Wärmeenergie.

### **11) Zur Berechenbarkeit der eingestrahnten Energie.**

All dies ist sicher berechenbar. Grundlage hierfür sind:

- Amtliche Wetteraufzeichnungen.
- Berechnung des Bedeckungsgrades in Abhängigkeit vom atmosphärischen Luftdruck.
- Bestimmung des Einstrahlungswinkels auf die Wand.
- Bestimmung des Emissionskoeffizienten der Wandoberfläche nach Tabellen oder örtlichen Messungen.
- Strahlungsgesetz von Stefan – Boltzmann.
- Bestimmung der strahlungsbedingten Partialtemperatur der Wandoberflächen mit der nach T aufgelösten Stefan-Boltzmann – Formel.

Das alles erfolgt in einer Simulation mit stündlichen Schritten. Weil eine Heizperiode eine Dauer von 5.700 Stunden hat, werden in der Simulation also 5.700 Einzelschritte berechnet. Ein normaler PC schafft das in zwei Minuten.

Natürlich weisen die Einzelschritte immer unvermeidliche Fehler mit Abweichungen nach oben und nach unten auf. Bei der Gliederung der Berechnung in 5.700 Einzelschritte gleichen sich diese Fehler aber gegenseitig aus, sodass das Endergebnis trotz der Fehler in den Einzelschritten sehr genau ist.

Eine weitere Fehlerquelle besteht darin, dass der tatsächliche Ablauf des Wetters von dem amtlich veröffentlichten Durchschnittswetter nach oben und unten abweicht. Ich habe diesbezügliche Vergleiche angestellt und die Abweichungen der mildesten Winter und der kältesten Winter vom Durchschnittswetter überprüft. Hierbei kam zutage, dass diese Abweichungen etwa in der Größenordnung von  $\pm 5\%$  liegen. Größer kann also der Fehler nicht sein. Der Fairness halber muss man aber diesen Fehler beim Rechenergebnis angeben.

---

<sup>6</sup> Die Gebäudeoberflächentemperaturen werden nahezu ausschließlich durch die Umgebungsbedingungen bestimmt. Der Beheizungszustand des Gebäudes ist nahezu bedeutungslos. Das ist das Ergebnis zahlreicher Messungen.

Zusammenfassend stelle ich aber nun fest, dass es mit sorgfältig durchdachten Simulationen möglich ist, für jede Gebäudeaussenwandoberfläche eine stimmende Energiebilanz aufzustellen, die es letztlich ermöglicht, den tatsächlichen und strahlungsbedingten Heizenergieaufwand sehr genau zu bestimmen.

## **12) Konvektion.**

An Gebäudeoberflächen gibt es konvektiven Energieein- und abtrag. Wie bereits bemerkt, hängt diese Energieverlagerung von zwei Parametern ab:

- Temperaturdifferenz zwischen Aussenwandoberfläche und Aussenluft.
- Strömungsgeschwindigkeit.

Leider bietet uns die Physik keine präzisen Berechnungsmethoden sondern nur Faustformeln, die jedoch für unseren Zweck ausreichend genau sind. Außerdem profitieren wir auch hier von dem Fehlerausgleich in 5.700 Einzelberechnungen.

Zur Berechnung der konvektiven Vorgänge stehen uns auch hier die Wetteraufzeichnungen zur Verfügung. Sie geben uns die Aussenlufttemperaturen und die Windgeschwindigkeiten an. Da auch die Windrichtung von Bedeutung ist, müssen diese aus den täglichen Wetterkarten entnommen werden.

Da bei den Simulationen ohnehin jede Wand für sich untersucht wird, ist hier die tatsächliche Wndgeschwindigkeit relativ zur Wand annähernd genau zu ermitteln. Dabei gilt:

- Windabgewandte Wände können mit ruhender Luft angesehen werden.
- Vor zum Wind gerichteten Wänden baut sich ein Staudruck auf, sodass die in den Wetterdateien angegebenen Windgeschwindigkeiten reduziert werden können.
- Die volle Windgeschwindigkeit ist bei parallel zur Windrichtung stehenden Wänden anzunehmen.

Bei Windstille, die ohnehin nach den Wetteraufzeichnungen klar überwiegt, kann der Energieübergang mit  $2 \text{ W/m}^2\text{K}$  recht genau angenommen werden.

Die Ermittlung der Wandoberflächentemperatur erfolgt in der Weise, dass sie aus der Energiebilanz aus den Strahlungsberechnung übernommen wird. Aus den konvektiven Prozessen kommt

es sodann zu meistens geringfügigen Veränderungen der Wandoberflächentemperatur. Hierbei spielt die Wärmekapazität und die Wärmespeicherungsfähigkeit der Außenwände die entscheidende Rolle.

Erwähnt sei noch, dass es auch im Winter zu beachtlichem konvektiven Energieeintrag kommen kann. Vor allem geschieht dies nach einer strengen Frostlage und einem anschließenden Wetterumschwung, bei dem wärmere atlantische Luft nach Europa einströmt.

Extrem selten sind Wetterlagen, bei denen strenger Frost und hohe Windgeschwindigkeiten gleichzeitig auftreten.

All das ist mit entsprechend eingerichteten Simulationen sicher berechenbar.

### **13) Bestimmung des außenwandbezogenen Heizenergieverbrauchs.**

Das Ergebnis der vorgenannten Simulationen besteht darin, dass nunmehr mit großer Genauigkeit die Oberflächentemperaturen der Außenwände bestimmt werden können.

Sie unterliegen andauernden größeren und kleineren Schwankungen, die je nach Bauart, also Masse und Wärmekapazität gedämpft werden. Hierbei muss also das Dämpfungsverhalten der Wandkonstruktion berechnet werden. Dies führt dazu, dass hierbei der Faktor Zeit einzubauen ist.

Allgemein gilt, dass leichte Wandkonstruktionen den energetischen und exogenen Einflüssen rasch folgen, während bei massereichen Wänden sich Zeitverschiebungen von mehreren Stunden ergeben, mit denen die berechneten Oberflächentemperaturen korrigiert werden müssen. Dies ist jedoch unkompliziert machbar, da der Dämpfungsfaktor eine materialspezifische Konstante ist, die gesondert ermittelt und in die Simulation eingebaut wird.

Als vorläufiges Endergebnis verfügen wir nun über realistisch berechnete Wandoberflächentemperaturen in stündlicher Abfolge. Damit verfügen wir nun auch um ein genau bestimmtes Temperaturgefälle von Innenwandoberfläche und Aussenwandoberfläche.<sup>7</sup>

---

<sup>7</sup> Bei normal eingeregelter Heizanlage bleibt die Innenwandoberflächentemperatur der Außenwände konstant.

Wir können also nun die Energieverlagerungen gut und zuverlässig berechnen und daraus ebenso genau die Energieverluste und Energieerträge der Aussenwandkonstruktion. Dringend davon abgeraten wird allerdings, den Rest der Berechnung mit dem U-Wert – Verfahren zu erledigen. Ein genaues Ergebnis ist nur unter Einbeziehung der Temperaturleitfähigkeit möglich.

Die Grundformel für die Temperaturleitfähigkeit lautet:

$$a = \lambda / \rho \times c \text{ in m}^2/\text{s}$$

hierbei ist [a] das Kürzel für die Temperaturleitfähigkeit

[ $\lambda$ ] die Wärmeleitzahl

[ $\rho$ ] die Materialdichte

[c] die spezifische Wärmekapazität

In der Fachliteratur gibt es materialspezifische Tabellenwerte für [a], sodass man sich den Berechnungsaufwand weitgehend ersparen kann.

#### **14) Zusammenfassung.**

Es wurde hier dargestellt, dass es möglich ist, sehr genaue Berechnungen zur energetischen Qualität und zu den energetischen Prozessen mittels computergestützter Simulationen durchzuführen. Weiterhin ist es möglich, realitätsnah den tatsächlichen wandbezogenen Energieverbrauch zu bestimmen. Wir haben also nun endlich ein instationäres Berechnungsverfahren.

Diese Berechnungen werden zeigen, dass die auf die U-Wert – Berechnungen gestützten Ergebnisse grundlegend falsch sind.

Sie werden auch zeigen, dass die WDVS – Technik zur Einsparung von Heizenergie ungeeignet und sogar schädlich ist.

Es wurde das große Ausmaß an exogenem Energieeintrag gezeigt, der unter keinen Umständen vom Gebäude ausgesperrt werden darf. WDVS führen unvermeidbar zur Verschlechterung der Energiebilanz. Sie sind daher ein schlimmer Irrweg.

Diese Untersuchung führt auch zur Erklärung der GEWOS – Studie, die ja gezeigt hat, dass WDVS zur Energieverbrauchserhöhung in einer Größenordnung von 17% führen. Unfreiwillig bestätigt dies auch der bekannte Verfechter der Dämmtechnik, Prof.Dr.-Ing. Gerd Hauser, der das verheerende Ergebnis der GEWOS – Studie damit kommentiert, dass das Ergebnis deshalb

erklärbar sei, weil in den Berechnungen nach der EnEV die „klimatischen Randbedingungen“ nicht berücksichtigt seien. Also hält auch er es für zweckmäßig, in die bauphysikalischen Berechnungen das Wetter mit einzubeziehen. Leider hat Hauser aus seiner durchaus zutreffenden Erkenntnis keine Konsequenzen gezogen und verharrt nach wie vor dabei, dass die stationäre Berechnungsweise ohne Berücksichtigung des Wetters genau genug sei.

Wäre es so, hätte sich die Dämmtechnik in den vergangenen Jahren als erfolgreich herausstellen müssen. Es gibt aber nicht den Hauch einer Erfolgsmeldung, obwohl dies der Bundesrat bei der Verabschiedung der EnEV im Jahre 2001 ausdrücklich verlangt hat.

### **Konsequenz.**

Will man Außenwände energetisch an der Aussenwandoberfläche<sup>8</sup> verbessern, muss die Konstruktion zwei Bedingungen erfüllen:

- Sie muss den exogenen Energieeintrag ermöglichen.
- Sie muss den Energieabtrag vermindern.

WDVS erfüllen diese Bedingungen nicht. Die Termofassade hingegen erfüllt diese Bedingungen recht gut.

Berlin, am 1. März 2014  
Christoph Schwan

---

<sup>8</sup> Innendämmungen sind sehr problematisch, da sie den Taupunkt nach innen verlagern und hierdurch Tauwasserschäden provoziert werden. Fast immer führen sie auch zum Verlust des Einflusses aus der Speicherfähigkeit des Aussenmauerwerks. Eine sehr gute Lösung für Innendämmung ist die vom Verfasser entwickelte TERMOPLATTE.