

Kapitel 17

Termosfassade

Zum Verständnis einer neuen energieeinsparenden Fassadentechnik

Bemerkungen zu bauphysikalischen Berechnungen

Zum Beispiel der U-Wert

Es gibt zahlreiche bauphysikalische Berechnungen, die sich mit der Einsparung von Heizenergie befassen. Teilweise gehen diese Berechnungen bis ins 18. Jhd. zurück. Zum großen Teil beruhen die Berechnungen auf physikalischen Gesetzen, also Forschungsergebnissen, die unumstritten sind. Zu nennen ist da z.B. das fouriersche¹ Gesetz der Wärmeleitung aus dem Ende des 18. Jhdts.² Es beschreibt einen sog. „einfachen Sachverhalt“ in mathematischer Form und besagt, dass das Maß der Wärmeleitung abhängig ist von drei Sachen, nämlich der Temperaturdifferenz zwischen Beginn und Ende des betrachteten Bereichs, der Dicke des untersuchten Materials und von dessen spezifischer Wärmeleitfähigkeit. Die Leistung Fouriers bestand nun aber nicht darin, dass er eine großartige Entdeckung gemacht hätte sondern darin, dass er den altbekannten Vorgang in eine mathematische Form gekleidet hat. Demzufolge errechnet sich der Wärmestrom durch Wärmeleitung (Q) aus dem Produkt der Größen Materialdicke (d) in (m), der Wärmeleitfähigkeit (λ) und der Temperaturdifferenz in (K).

Damit haben wir eine Formel:

$$Q = 1/d \times \lambda \times K$$

In dieser Formel stehen:

Q für den Wärmestrom

1/d für den Kehrwert der Materialstärke

λ (Kleinlambda) für die Wärmeleitfähigkeit des Materials

K)Kelvin) für den Temperaturunterschied.

Nach einigen Umformungen und Ergänzungen um die Werte für den Wärmeübergang an den Grenzflächen erhalten wir auf dieser Grundlage den berühmten U-Wert, in dem auch noch pauschalisierte Wärmeübergänge an den Oberflächen enthalten sind.

Und nun wollen wir das bisherige etwas genauer betrachten:

Die fouriersche Formel geht von einem Idealzustand aus, der von folgendem gekennzeichnet ist:

¹ Jean Baptiste Fourier, franz. Physiker 1768 – 1830.

² Im 18. Jhd. hatte man noch keine genaue Vorstellung darüber, was Wärme eigentlich sei. Man überlegte, dass es einen Wärmestoff geben müsse.

- Das untersuchte Material muss in allen seinen Bereichen völlig gleich (homogen) sein. Das gilt für den Feuchtezustand, die elektrische Leitfähigkeit, die Ausgangstemperatur und die Struktur. Bereits kleine Abweichungen innerhalb des Materials führen zu falschen Ergebnissen.
- Ebenso müssen die Randbedingungen, die das Material umgeben, stets konstant sein. Das gilt für die Temperatur der Umgebungsluft, das gilt für die Strömungsgeschwindigkeit von streifenden Fluiden, für exogene Energiezufuhr strahlender und konvektiver Art und was man sich sonst noch ausdenken kann. Auch hier führen Veränderungen der Randbedingungen zu abweichenden Ergebnissen.
- Eine Rolle spielt auch die Geometrie des betrachteten Materials. In dünnen Materialien breitet sich Wärmeenergie anders aus als in dicken.
- Von ganz entscheidender Bedeutung ist auch die Wärmekapazität des Materials, vor allem dann, wenn sich die Randbedingungen fortwährend ändern. Da wird dann auch der Faktor Zeit bedeutend, der in der fourierschen Gleichung nicht vorkommt wie auch ebenso wenig Aufheizungs- und Abkühlungsvorgänge. Denken wir das zu Ende, sehen wir auf einmal, dass eine genaue Berechnung von Wärmeströmen in Stoffen mit der fouriersche Gleichung gar nicht möglich ist, wenn wir die Berechnung beispielsweise auf eine Außenwand anwenden wollen.

Und siehe da – an uns beginnen Zweifel zu nagen. Unser Vertrauen in die Richtigkeit des so brav ausgerechneten U-Werts ist dahin. Und damit natürlich auch unser Vertrauen in die ganze amtliche Bauphysik, soweit sie auf der fourierschen Gleichung aufgebaut ist, was auch überwiegend der Fall ist. Da werden wir dann damit getröstet, dass die Fehler in der Berechnung – grundsätzlich werden die sogar eingeräumt – so klein seien, dass wir uns nicht weiter sorgen müssten. Misstrauisch, wie wir aber gerade geworden sind, wollen wir aber wissen, wie groß denn dieser kleine Fehler sei. Da werden Sie aber keine Antwort bekommen, ganz einfach deswegen, weil die Fehlergröße noch niemals berechnet worden ist. Möglicherweise hat man in den Forschungsinstituten auch Angst vor solchen Berechnungen, da man befürchtet, dass das ganze uns von Amts wegen vorgelegte bauphysikalische Gebäude sich als grob fehlerhaft erweisen könne – und schwupps wäre es dahin, das schöne Lebenswerk.

Der Fehler bei der Berechnung des U-Werts wird außerdem dadurch massiv vergrößert, weil in ihm auch die sog. „Wärmeübergangszahlen“ enthalten sind. Darunter sind die Teilwärmeströme zu verstehen, die beim im Wesentlichen konvektiven Energieübergang von der festen Wand in die Umgebungsluft und umgekehrt bestehen. In den Baunormen (DIN 4108 und DIN EN ISO 6946) wird da vorausgesetzt, dass dieser Teilwärme-

strom immer gleich groß ist und stets auf der Raumseite von der Luft zur Wand hin und an der Außenseite von der Wand in die Luft hinein gerichtet ist. Dass in Wirklichkeit sowohl die Größe als auch die Richtung des Teilwärmestroms ständig wechselt und es auch keine Möglichkeit gibt, auf sinnvolle Weise einen Mittelwert zu bestimmen, kümmert die amtliche Bauphysik nicht. Wesentlicher Bestandteil der einschlägigen Verordnungen, z.B. der EnEV. Der Staat zwingt somit seine Bürger, offenkundigen Unsinn zu treiben.

Merke:

Auch wenn die von den Fachingenieuren und Architekten produzierten Berechnungen „richtig wissenschaftlich“ aussehen und zwingende Voraussetzung zur Erlangung einer Baugenehmigung oder eines Förderbescheides der KfW sind, sind sie Unfug und haben mit sauberer Physik kaum mehr etwas zu tun. Daher wird hierzu auch in der seriösen Fachliteratur ausdrücklich darauf hingewiesen, dass mit den vorgeschriebenen Berechnungen keineswegs die Minderung des Heizenergieverbrauchs ermittelt werden kann – was das behauptete Ziel der Berechnungen aber ist – sondern dass im günstigsten Falle Anhaltswerte gewonnen werden können.³ Daher sind wir nach den mühselig durchgeführten Berechnungen genau so schlau wie zuvor – wie auch schon die alten Germanen, die auch schon wussten, dass Hütten mit dicken Außenwänden im Winter behaglicher sind als Bretterbuden.

Zum Beispiel Fenster

Fenster gelten bei Gebäuden als *die* großen Verlustzonen für Heizenergie. In den Bautabellen finden wir daher für Fenster erschreckend hohe U-Werte, die nach der fourierschen Wärmeleitungsgleichung ausgerechnet worden sind. Da wurde also ein dreischichtiger Aufbau ausgerechnet, bestehend aus zwei Glasscheiben und einer eingeschlossenen trockenen Luftschicht. Auch hier hat man den Wärmestrom aus den Größen Materialdicke, Wärmeleitfähigkeit und Temperaturunterschied ausgerechnet. Dabei sind scheußlich große U-Werte herausgekommen. Aus diesen U-Werten wird sodann der an Fenstern stattfindende Transmissionswärmestrom errechnet – mit dem Ergebnis, dass eigentlich angesichts der dräuenden Klimakatastrophe Fenster gar nicht mehr erlaubt sein dürften.

Gerade am Beispiel „Fenster“ sieht man besonders schön, wie trocken Strohhalm in der amtlichen Bauphysik gekaut wird und man den Bezug zur Wirklichkeit und zu den Tatsachen schon lange verloren hat. Wie sieht es denn an Fenstern wirklich aus? Wie ist eigentlich das energetische Verhalten von Glas? Und wie erfolgt eigentlich der Energieübergang an Glasscheiben?

³ Cziesielski, Göbelsmann, Röder, Einführung in die Energieeinsparverordnung 2002, 2. Aufl., 2002, Ernst & Sohn – Verlag, Berlin.

Glas ist ein besonderer Baustoff mit besonderen Eigenschaften. Wichtig sind hierbei

- Das Reflektionsvermögen, das bewirkt, dass elektromagnetische Wellen – also auch Licht und Wärmestrahlung bei einem Einfallswinkel von 40° und weniger total reflektiert werden. Dabei hat eine Glasscheibe gleich zwei Reflektionsebenen, nämlich die Innen – und die Aussenseite. Wärmestrahlung, die also unter diesem Winkel auf die Scheibe trifft, wird vollständig in den Raum zurückgeschickt. Bei unseren üblichen Raumgeometrien ist das etwa die Hälfte der von den Raumwänden abgestrahlten Energie. Bei größeren Einfallswinkeln haben wir es immer noch mit einer erheblichen Teilreflexion zu tun.
- Glas hat einen ausserordentlich großen Emissionskoeffizienten (ϵ). Es ist folglich ein sehr guter Strahler.
- Glas ist für bestimmte Wellenlängen undurchlässig. Daher verkümmern viele Pflanzen hinter Glasflächen. Soweit Licht dieser Wellenlängen nicht reflektiert wird, wird es absorbiert und führt daher zur Erwärmung der Glasscheibe, die nun aber eine erhöhte Strahlungsleistung entwickelt. Dieser Effekt wird z.B. in Gärtnereien ausgenutzt, wo es tatsächlich einen Treibhauseffekt gibt, der nichts, aber auch gar nichts mit dem Treibhauseffekt zu tun hat, mit dem uns die Klimaschützer in Angst und Schrecken versetzen wollen.

In unseren Normen werden diese Eigenschaften von Glas nicht behandelt. Man begnügt sich mit der Wärmeleitfähigkeit von Glas und bei Isolierglas mit der eingeschlossenen Luftschicht so, als würde es sich um so etwas Ähnliches wie eine Ziegelwand handeln. Allerdings sind aber die besonderen Eigenschaften von Glas das Ausschlaggebende bei den energetischen Prozessen.

Begeben wir uns nun in die energetische Kampfzone, also in den Bereich des Raumes, der unmittelbar vor der Glasscheibe liegt, stellen wir fest, dass die in der Raumluft enthaltene Energie nur konvektiv an die Glasscheibe übergeben werden kann. Da ist natürlich von ausschlaggebender Bedeutung die Temperatur der Glasoberfläche. Nur dann wenn die Glasscheibe kälter ist als die Raumluft, kommt es zu einem Energieübergang von der Raumluft in die Glasscheibe. Bei der Erörterung dieser Frage frönte ich meiner Wette lust bei bauphysikalischen Fragen. Habe ich Besuch von einem Architektenkollegen, fachsimpeln wir häufig über mein Thema. Da lasse ich dann meinen Kollegen die Temperatur meiner Fensterglasscheiben im Verhältnis zur Oberflächentemperatur der angrenzenden Wand schätzen. Die Wandtemperatur schätzt er fast immer richtig mit etwa 21°C ein. Dann legt er seine Prätze auf die Glasscheibe und sagt dann „ 8°C “. Ich dagegen behaupte „ 20°C “. Gewettet wird darum, wer nachher das gemeinsame Abendbier bezahlen muss. Natürlich hält mein Kollege mich für irrsinnig geworden. Stillvergnügt hole ich dann mein Temperaturmessgerät (Quicktemp 825-T3 der TESTO – Werke) her-

vor, klebe ein Stück Papier auf die Scheibe, da man mit Strahlungsmessern nicht auf reflektierende Flächen messen darf, und zeige dann den angezeigten Messwert – wie von mir behauptet – von 20 °C. Dass sich die Scheibe kälter anfühlt, ist klar. Das zeigt aber nur die aus der Handoberfläche durch Wärmeleitung abgezogene Wärmeenergie an.

Die Scheibe ist also nur geringfügig kälter als die angrenzende Raumluft. Die Temperaturdifferenz ist selten größer als 2 K. Also kann der in den Normen berechnete konvektive Energieübergang überhaupt nicht stattfinden. Die Berechnung nach Norm war also grottenfalsch.

Bei einem normalen Massivbau beträgt der übliche Anteil von Fensterflächen an der Gesamtwandfläche etwa 25%. Wir stellen also fest, dass wir für einen erheblichen Teil der Gebäudeoberfläche über ein vollkommen falsches Berechnungsverfahren verfügen.

Was müsste man also tun?

Der Energieübergang an Fenstern ist, soweit er auf Strahlung beruht, auf das Wellenlängenspektrum zu beziehen. Hierbei muss zwingend nach Einstrahlung von außen und von innen unterschieden werden. Die äußere Einstrahlungsleistung ändert sich fortwährend in Abhängigkeit von der Einstrahlungsrichtung der Sonne, vom Ausmaß der Diffusstrahlung und in eng bebauten Bereichen auch von den Strahlungseigenschaften gegenüber stehender Gebäude. Der Bedeckungsgrad des Himmels spielt hier eine ausschlaggebende Rolle. Die innere Einstrahlungsleistung hängt sehr stark mit der Raumgeometrie zusammen und mit den Strahlungseigenschaften der Raumwände. Der konvektive Energieübergang an Scheiben hängt von der Temperaturdifferenz zwischen Luft und Scheibe ab. Grundsätzlich ist er immer kleiner als beispielsweise an verputztem Mauerwerk, da Glasscheiben glatt sind und sich daher nur laminare Strömung⁴ ausbilden kann. Ganz entscheidend ist bei allem auch das Heizsystem. Heizkörper vor Fenstern führen zu einem verhältnismäßig großen konvektiven Energieübergang, da die dort aufströmende Warmluft bedeutend wärmer ist als die Scheibe und auch schneller strömt. Äußerst vorteilhaft sind Wandheizungstechniken (Temperieranlagen), bei denen ein konvektiver Luftumtrieb im Raum nicht stattfindet und daher auch die vor den Scheiben befindliche Raumluft „steht“. Dass das auch in der Praxis funktioniert, habe ich an einem unter meiner Leitung sanierten Fabrikgebäude in Leipzig⁵ gezeigt, in welches eine Temperieranlage eingebaut worden ist und die sehr großen Fabrikfenster eng gesprossene Eichenfenster mit Einscheibenverglasung sind. Der damalige Tischler- und Glasermeister hat diese Konstruktion nur unter Protest und Ablehnung der

⁴ Der Wärmeübergang bei laminarer Strömung ist erheblich kleiner als bei turbulenter Strömung.

⁵ Diese Sanierungsmassnahme führte zur Verleihung des 2.Preises im KfW-Award 2007 und kann im Internet unter www.kfw-foerderbank.de besichtigt werden.

Gewährleistung gebaut, da sie ja in jeder Hinsicht norm – und EnEV – widrig war. Möglich war das auch nur, weil die EnEV bei Baudenkmälern nur eingeschränkt gültig ist. Da der brave Handwerker aber auch öffentlich bestellter und vereidigter Sachverständiger für sein Gewerk war, hat er das Ganze dann im ersten Winter überprüft und gemessen und zu seiner eigenen Überraschung festgestellt, dass das sehr gut funktioniert. Danach musste ich bei der Jahrestagung der Sachverständigen hierüber einen Vortrag halten, der ziemlich großes Erstaunen ausgelöst hat.

Wir sehen also, dass es da für die Forschungsinstitute noch eine Menge Arbeit gibt. Die heute noch gültigen Berechnungsverfahren unter der Annahme eines stationären Zustands der Randbedingungen sind besonders bei Fenstern ein hirnrissiger Unfug. Die amtliche Bauphysik muss sich endlich dazu bequemen, dass vernünftige Ergebnisse nur durch sorgfältige Forschungsarbeit gewonnen werden können und die stationäre Berechnungsweise durch Simulationen abgelöst werden muss. Mit Hilfe der computergestützten Rechenverfahren ist das auch unschwer möglich.

An diesen zwei Beispielen kann man erkennen, dass die amtliche Bauphysik von einer sauberen und gediegenen wissenschaftlichen Arbeitsweise noch weit entfernt ist. Wer bisher geglaubt hat, dass die Bauphysik doch schon längst „gegessen“ sei, steht bei genauerem Hinsehen vor dem Phänomen, dass man einen großen Teil des Vorschriften – und Normenwerks getrost in den Papierkorb werfen kann und dass wir, wenn es gut geht, gerade einmal am Anfang der Erforschung bauphysikalischer Vorgänge stehen.

Christoph Schwan