

Kapitel 5

Termosfassade

Zum Verständnis einer neuen energieeinsparenden Fassadentechnik. Strahlungsprozesse, Reflexion, Absorption und Abstrahlung

Vorbemerkung

In der „amtlichen“ Bauphysik werden diese Prozesse kaum behandelt. Noch weniger befassen sich Architekten und Bauingenieure oder gar die sog. „Energieberater“¹ damit. Das ist unverständlich, vor allem in Zeiten, bei denen der sparsame Umgang mit Energie von größtem Interesse ist.² Bauherren oder Käufer von Häusern machen sehr oft ihre Entscheidungen vom Heizkostenaufwand abhängig. Um Energiekosten einzusparen, wird ein riesiger Aufwand betrieben. Sehr oft ist dieser Aufwand unwirtschaftlich, da die vermeintlich eingesparten Heizkosten weit von einer angemessenen Verzinsung aus den Kosten der Investition entfernt sind. Der Aufwand ist daher sehr häufig mit der Spekulation auf weiter steigende Energiepreise verbunden, wonach sich zu einem späteren Zeitpunkt der hohe Anlagenaufwand dann doch lohnen wird. In dieser Lage ist es daher wichtiger denn je, dass man sich auch mit den Grundlagen der energetischen Prozesse an Gebäuden ernsthafter auseinandersetzt.

Stattdessen wird aber ein bauphysikalisches Modell extrapoliert, das sich ausschließlich mit Wärmeleitung, also der Energieverlagerung von innen nach außen beschäftigt. Damit wird aber nur ein ganz kleiner Teil des Ganzen behandelt. Von einer umfassenden Behandlung der energetischen Prozesse an Gebäuden, die letztlich zu den Heizkosten führen, ist die amtliche Bauphysik weit entfernt. Ich habe den Eindruck, dass der Staat in Wirklichkeit überhaupt kein Interesse an Energieeinsparung hat, möglicherweise deshalb, weil eine tatsächlich eintretende Energieeinsparung ja zu erheblichen Mindereinnahmen an Energiesteuern führen würde. Da aber seit etwa acht Jahren ja keine Finanzpolitik mehr gemacht wird und sich statt dessen das Sinnen und Trachten der Finanzminister nur noch darauf beschränkt, die Bürger zu schröpfen – und dieses derart hemmungslos, dass in diesem Lichte betrachtet die mittelalterliche Raubritterschaft als mildtätige Organisation angesehen werden muss, habe ich inzwischen den Glauben an die Ernsthaftigkeit der staatlichen Verlautbarungen über die Notwendigkeit der Energieeinsparung verloren. Nur so ist für mich auch erklärbar, dass die EnEV den Bürger zu Maßnahmen zwingen will, die genauer besehen, zur Energieeinsparung ungeeignet sind. Es werden gigantische Umsätze erzwungen, deren Umsätze in einer Größenordnung von jährlich 10 Milliarden € bei der jetzigen

¹ Ich habe den Eindruck, dass die aus öffentlichen Mitteln bezahlten „Energieberater“ nichts anderes sind als die Vollstrecker der EnEV und das eigene Nachdenken unerwünscht ist.

² Eine rühmliche Ausnahme stellt das Fraunhoferinstitut für Bauphysik dar, das seit einigen Jahren sich intensiver mit Strahlungsprozessen an Bauwerken befasst.

Staatsquote etwa zur Hälfte im Staatssäckel landen. Dass der Staat dies andererseits über die KfW jährlich mit etwa 1,5 Milliarden € fördert, ist also nicht der Vernunft des Staates geschuldet sondern der Überlegung, dass eine Förderung in dieser Größenordnung zu einem Steuerüberschuss in dreifacher Höhe führt, ein gutes Geschäft also. Dass hierdurch aber Volksvermögen vernichtet wird, scheint dem Staat gleichgültig zu sein.

Das soll uns aber nicht daran hindern, darüber nachzudenken, wie man tatsächlich die Einsparung von Heizenergie erreichen kann. Hierzu ist es aber notwendig, die physikalischen Ereignisse an Gebäuden kennen zu lernen. Von großer Bedeutung ist hier alles, was mit Strahlung zu tun hat.

Abstrahlung von Festkörperoberflächen

Wir wissen bereits, dass jeder Körper eine Abstrahlungsleistung hat. Hierfür gibt es nur zwei variable Bestimmungsgrößen, nämlich die Temperatur, die in (K) als sog. „absolute Temperatur“ gemessen wird und den Strahlungskoeffizienten (ϵ), der als spezifischer Wert unbenannt ist. Als konstante Größe ist außerdem die Stefan-Boltzmann-Konstante (σ) mit dem Zahlenwert 5,671 zu behandeln. Kennen wir diese Größen, können wir nach Gleichung [3] die Abstrahlungsleistung in (W/m^2) ausrechnen. Was müssen wir also tun?

Die Temperatur von Oberflächen kann gemessen werden. Wollen wir nur eine Einzeltemperatur wissen, genügt ein ordentliches Messgerät. Recht gute Ergebnisse gewinnt man mit Geräten, die die Abstrahlungsleistung messen. Da wir aber Simulationen erstellen wollen, benötigen wir sog. „Datenlogger“. Das sind Geräte, die man programmieren kann und die sodann im vorgegebenen Zeitabstand, z.B. stündlich, Messdaten sammeln. Mittels eines sog. „Interfaces“ können die Daten in den PC übertragen werden. Man erhält Tabellen, die mit den üblichen Tabellenprogrammen, z.B. Excel, bearbeitet werden können. Aus den Tabellen können sodann anschauliche Diagramme gewonnen werden. Für die meisten Oberflächen gibt es veröffentlichte Werte des Emissionskoeffizienten (ϵ). Ich selbst verwende Tabellen im „Buderus Handbuch für Heiztechnik“, die allerdings den Schönheitsfehler haben, dass sie auf eine fehlerhafte Stefan- Boltzmann- Konstante bezogen sind, sodass man die Werte erst einmal berichtigen muss. Die in einem Anhang zur EnEV angegebenen Werte für einige Oberflächen sollte man besser nicht verwenden, da sie offensichtlich fehlerhaft sind. Hier handelt es sich um eine sehr schlampige Arbeit, bei der nicht einmal die Fachausdrücke stimmen. Eine recht praktikable Methode zur Gewinnung von (ϵ) ist eine Messung, bei der sowohl Kontaktmessung als auch Strahlungsmessung durchgeführt wird. Weichen die Messergebnisse voneinander ab, verändert man den voreingestellten Wert auf dem Strahlungsmessgerät so, dass Kontakt- und Strahlungsmessung das gleiche Ergebnis zeigen. Hat man letztlich ordentliche Werte für (T) und (ϵ), kann man sodann die Strahlungsleistung nach Gleichung [3] ausrechnen.

Strahlung ist ein autonomer Vorgang. Er ist völlig unabhängig von der Beschaffenheit der Umgebung. Bis in die Fachliteratur hinein wird stattdessen behauptet, dass die Strahlung vom Zustand des Strahlungsempfängers abhängig sei. Ebenso unsinnig ist die gelegentlich vernommene Behauptung, dass sich entgegengesetzte Strahlungen gegenseitig auslöschten würden. Überhaupt fällt mir auf, dass die Physik über Wärmestrahlung in der Fachliteratur nur am Rande behandelt wird. Ganz schlimm ist, dass in sonst ordentlichen Physikbüchern Wärmeleitungsprozesse und Strahlungsprozesse in eine einzige Gleichung gepresst werden, obwohl Wärmeleitungsprozesse in linearen Gleichungen behandelt werden, während Strahlungsprozesse in Gleichungen 4. Grades behandelt werden. Das ist ein glatter Verstoß gegen elementare Algebra.

Absorption an Festkörperoberflächen.

In der freien Natur emittieren Festkörper nicht nur Strahlung sondern sie empfangen sie auch. Im Normalfall stehen daher Körper im Strahlungsaustausch. Nach dem entropischen Prinzip gibt es da eine Phase des Anfangs, z.B. eine Aufheizungs- oder Abkühlungsphase, die solange anhalten, bis sich ein Zustand eingeepegelt hat, der sich nicht mehr ändert. Der einfachste Fall ist dann gegeben, wenn die Strahler einen gleichen Emissionskoeffizienten (ϵ) haben. Nach einer gewissen Zeit des Strahlungsaustausches nehmen sie den gleichen Energiezustand ein. Ihre Temperaturen sind dann gleich.

Ist der Strahler die Sonne, steht auch sie im Strahlungsaustausch mit dem bestrahlten Gegenstand. Von praktischer Bedeutung ist das natürlich nicht. Da können wir davon ausgehen, dass Absorption nur auf der bestrahlten Fläche stattfindet. Diese führt zu Erwärmung. Auch diese ist berechenbar, wenn wir die Einstrahlungsleistung kennen. Die Temperatur der absorbierenden Fläche errechnet sich nach der nach (T) aufgelösten Gleichung [3]. Die Ergebnisse stimmen mit den Kontrollmessungen sehr gut überein.

Strahlungsaustausch zwischen Flächen mit ungleichem (ϵ)

Dieser Fall ist bei der Thermosfassade gegeben. Die reflektierende Beschichtung hat ein (ϵ) von 0,04, die abstrahlende Wandoberfläche ein (ϵ) von durchschnittlich 0,94. Hieraus errechnet sich ein Strahlungsaustauschkoeffizient (C 12) von 0,230. ³Die Einzelheiten rechnerischer Art hierzu werden in einem gesonderten Aufsatz behandelt werden.

Im Ergebnis kommt es nun zu einem Wärmestrom, der unter dem Einfluss der unterschiedlichen Emissionskoeffizienten steht. Der nach außen gerichtete strahlungsbedingte Wärmestrom wird dramatisch verkleinert. Der überwiegende Teil der abgestrahlten Energie bleibt dem Bauwerk, da diese reflektiert wird, erhalten. Ohne die reflektierende Schicht würde sich diese Energie im Weltraum verflüchtigen. Wir können also Einfluss auf

³ In der DIN EN ISO 6946 wird der Strahlungsaustauschkoeffizient mit „E“ bezeichnet.

die Richtung und Stärke des strahlungsbezogenen Wärmestroms nehmen. Damit haben wir ein Werkzeug, mit dem wir Einfluss auf die Energieverlagerung nehmen können. Das ist aber die Hauptaufgabe, wenn wir Heizenergie einsparen wollen.

Dass das auch funktioniert, zeigt uns jede Thermoskanne, in der es – aufgemerkt! - keine Dämmstoffe gibt. Das zeigen aber auch die Messergebnisse der schon durchgeführten Freilandversuche. Das ist das Ergebnis einer auf meine Anregung hin zustande gekommenen Diplomarbeit an der TU – Berlin, wo für eine Nordwand ohne unmittelbare Sonneneinstrahlung aus 30 cm dicken Schlackenbetonsteinen eine Energieeinsparung von 56% ermittelt worden ist. Das gleiche Ergebnis zeigt sich bei einem derzeit noch bis ins Frühjahr 2007 geführten Freilandversuch, dessen wissenschaftliche Auswertung im kommenden Jahr veröffentlicht wird.

Stand der Normung

Die Architekten waren bisher gewohnt, U-Werte nach den Rechenvorschriften der DIN 4108 auszurechnen. Dass hierfür eine andere Norm, nämlich die DIN EN ISO 6946 anzuwenden ist, hat sich noch kaum herumgesprochen. Soweit Wärmeleitungsprozesse behandelt werden, hat sich nichts Wesentliches verändert. Nach wie vor gilt, dass bei mehrschichtigen Bauteilen jede Schicht gesondert zu behandeln ist, wobei es da zunächst um die Berechnung der Wärmedurchlasswiderstände (R) geht. Diese werden durchwegs in der Größe (m²K/W) angegeben, einer Größe, die unanschaulich ist. Die Grundformel zur Berechnung der Teilwiderstände lautet wie schon immer

$$R = d/\lambda$$

Hierbei ist (d) die Dicke der Schicht in (m) und (λ) die spezifische Wärmeleitfähigkeit in (W/mK). Dann gibt es da noch die Wärmeübergangswiderstände, die den Prozess des Energieübergangs zwischen angrenzender Luft und Wandoberfläche beschreiben sollen. Die Norm schreibt da nur Pauschalwerte vor, deren Herkunft mir bisher noch niemand erklären konnte. Wir müssen die Richtigkeit dieser Werte einfach glauben. Dass sie bei den in Wirklichkeit instationären Zuständen an Bauwerken als Pauschalwerte falsch sind und nur sekundenweise und dann mehr zufällig auch einmal richtig sein können, tröstet wenig.

Im Anhang A zur Norm werden Wärmeübergangswiderstände unter Berücksichtigung von Strahlungsprozessen behandelt. Dort findet sich der Kardinalfehler, dass Konvektion und Strahlung in einer einzigen Gleichung behandelt werden. Das ist aber nur zulässig für einen einzigen Temperaturzustand. Ändern sich die Temperaturen – das ist der Normalfall - funktioniert die Gleichung (A.1) nicht mehr. In der Fußnote (4) wird sodann weitere Verwirrung gestiftet. Zunächst wird darauf hingewiesen, dass der Wärmeübergang mit dieser Norm nur „näherungsweise“ behandelt wird. Dann tauchen da Begriffe auf wie „empfundene Temperatur“, „Strah-

lungstemperatur“ und „trüber Himmel“. Da fühlt man sich in eine vorwissenschaftliche Zeit zurückversetzt. Beispielsweise gibt es eine Strahlungstemperatur nicht sondern nur eine Strahlungsleistung. Strahlung nämlich ist stofflos und hat daher auch keine messbare Temperatur. Vollkommen sinnlos ist der in der Fußnote enthaltene Satz „Wenn jedoch die innere Strahlungs- und Lufttemperatur nicht merklich voneinander abweichen, kann die innere empfundene Temperatur (gleiche Wichtung von Luft- und Strahlungstemperatur) verwendet werden.“ Unsinnig ist auch die Behauptung, dass Oberflächentemperaturen an Außenwänden die gleiche Größe wie die Aussenluft hätten.⁴ Ein reiner Willkürakt ist es auch, dass in dieser Norm der Einfluss der Solarstrahlung nicht berücksichtigt werden darf. Dieser offenkundige Unsinn hat seine Ursache darin, dass der Normengeber davon ausgeht, dass die Ingenieure noch mit Bleistift und Rechenschieber auf der Rückseite von gebrauchten Briefumschlägen rechnen. Dass wir Architekten und Ingenieure heute durchwegs auf unseren Computern ein Rechenprogramm haben, mit dem wir mühelos auch instationäre Zustände behandeln können, ist den Erfindern der Norm wohl entgangen. Man kann nur hoffen, dass sich das demnächst zum Guten wendet. Es wäre nicht schlecht, wenn man einmal ordentliche Physiker bei der Weiterentwicklung der DIN EN ISO 6946 beschäftigen würde.

Rätselhaft ist auch die Tabelle (A.1) im Anhang A der Norm. Da wird beispielsweise der Wärmeübergangskoeffizient durch Strahlung, der ja nichts anderes sein kann als die Abstrahlungsleistung in (W/m^2K) für einen schwarzen Strahler bei einer Oberflächentemperatur von $0\text{ }^{\circ}C$ mit dem Zahlenwert 4,6 angegeben. Rechnet man das aber nach dem Strahlungsgesetz von Stefan - Boltzmann aus, kommt man auf eine Abstrahlungsleistung von $315\text{ }W/m^2$. Setzt man in die Normengleichung die absolute Temperatur von $0\text{ }^{\circ}C = 273\text{ }K$ ein, ergibt sich der fantastische Wert von $1.255,8\text{ }W/m^2$, der weit über der Globalstrahlung liegt.

Sehr interessant ist dann allerdings der Anhang B der DIN EN ISO 6946. Da wird nämlich ein Berechnungsverfahren vorgestellt, mit dem der Wärmedurchlasswiderstand einer Thermosfassade berechnet werden kann. Damit kann man also nun einer Behörde gegenüber auftreten und nachweisen, dass es auch ohne Dämmstoffe geht. Ein Schönheitsfehler ist es, dass die Werte für die Wärmeströme nur für den Fall angegeben sind, dass die im Strahlungsaustausch stehenden Flächen die gleiche Temperatur von $+10\text{ }^{\circ}C$ haben.

Die Fußnote 4 enthält aber sinngemäß die Anregung, dass man nach eigenem Ermessen auch genauer rechnen sollte. Jetzt haben wir nur noch ein Problem: Die energetischen Nachweise sind Bestandteil von Bauantragsunterlagen und müssen daher von unseren tüchtigen Baubeamten geprüft werden. Die haben aber im besten Fall Architektur oder

⁴ Wäre das richtig, gäbe es an Außenwänden weder konvektiven Energieabtrag noch konvektiven Energieeintrag.

Bauingenieurwesen studiert, hierbei bestenfalls auch einmal gelernt wie man eine k-Zahl (den heutigen U-Wert) ausrechnet, das meiste inzwischen aber vergessen. Physiker sind sie jedenfalls nicht. Damit sind sie in der Regel mit der Prüfung komplizierter energetischer Berechnungen, die nun auch Strahlungsprozesse behandeln, hoffnungslos überfordert.

Fazit zum Stand der Normung:

Die DIN EN ISO 6946 ist ein großer Fortschritt gegenüber der DIN 4108, die nun ausgedient hat. Zu genauen Ergebnissen führt aber auch die neue Norm nicht sondern bestenfalls zu Anhaltspunkten. Ich meine, dass die Normgeber sich endlich dazu bequemen sollten, die Planer nicht für ausgemachte Dorfdeppen zu halten, denen man eine schwerere Kost nicht zumuten könnte. Die überwiegende Zahl der Planer ist nämlich gerne bereit, dazuzulernen und sich fortzubilden. Der entscheidende Schritt hierzu wäre, endlich Berechnungsverfahren mit realitätsnahen instationären Randbedingungen einzuführen. Der heutige Stand der computergestützten Rechentechnik ist so hoch, dass die durchzuführenden Berechnungen eher einfacher werden und – was entscheidend ist - entschieden zuverlässiger und genauer.

Weiterhin sollte sich der Normgeber selbst ein klares Ziel setzen. Derzeit richtet sich die Norm ausschließlich auf den Nachweis eines U – Werts einer Hüllkonstruktion. Dabei wird stillschweigend vorausgesetzt, dass der U-Wert proportional zum Heizenergieverbrauch stünde. Das ist aber erwiesenermaßen falsch. Ein richtiges Ziel bestünde darin, eine Norm – wenn sie schon sein soll – zu entwickeln, bei der am Ende der tatsächliche Energieverbrauch ermittelt wird. Dieser Energieverbrauch ergibt sich aber nicht nur aus dem U-Wert sondern aus der Energiebilanz an der Gebäudeoberfläche, die aus Energieeintrag und Energieabtrag entsteht. Diese Größen sind aber wetterbestimmt. Für ein bauphysikalisches Modell mit stationären Randbedingungen ist da natürlich kein Raum mehr. Dass auch der Normgeber bereit in dieser Richtung denkt, zeigt der Änderungsentwurf zur DIN EN ISO 6946. Da tauchen doch tatsächlich erste Berechnungen bei wechselnden Temperaturen auf. (Tabelle B.2) Nur Mut und weiter so!

Angesichts des zaghaften Verhaltens des Normgebers, endlich eine auch wissenschaftlichen Ansprüchen genügende Norm herauszugeben, die dann allerdings auch die bisherigen Fehlentwicklungen im Bauwesen aufzeigen würde, ist daher zu überlegen, ob es nicht gescheiter wäre, dass der Staat sich darauf beschränkt, maximale und gebäudespezifische Energieverbräuche vorzuschreiben und die technische Lösung hierzu den hierfür ohnehin verantwortlichen Planern zu überlassen.