

Kapitel 1

Termosfassade

Zum Verständnis einer neuen energieeinsparenden Fassadentechnik

Einführung

In lockerer Reihenfolge werden hier in der kommenden Zeit Aufsätze über energetische Probleme an Gebäuden veröffentlicht werden. Die hier vorzufindenden Thesen und Problemlösungen stehen teilweise in völligem Gegensatz zur „amtlichen Bauphysik“, wie sie sich beispielsweise in der DIN 4108, der DIN EN ISO 6946 und der EnEV darbieten. Wahrscheinlich wird eine lebhaft und auch emotional geführte Diskussion in Gang kommen. Hier soll auch ein Diskussionsforum eingerichtet werden, bei dem jedoch nur sachliche Beiträge veröffentlicht werden. Polemiken, persönliche Angriffe und Emotionen werden in diesem Forum keinen Platz haben.

Bemerkungen zur Energie.

Wenn wir Energie einsparen wollen, müssen wir Einfluss auf die Energieverlagerung nehmen. Weil es um Geld geht, geht es hierbei um Energiemengen. Die müssen wir nämlich bezahlen.

Mit Wärmedämmstoffen können wir auf den zeitlichen Ablauf der Energieverlagerung Einfluss nehmen, nicht aber auf die Energiemengen als solche. Wir können Energie weder herstellen noch vernichten. So sagt es der Energieerhaltungssatz. Wir können jedoch die vorhandenen Energiemengen bewegen, wir können die Energieverlagerung beeinflussen, wir können mit Energie spielen. Wollen wir Energie genauer betrachten und außerdem mit ihr sparsam umgehen und geht es dabei auch noch um Gebäude, müssen wir uns mit den Energiemengen befassen und sie quantitativ betrachten. Erst wenn man die Energiemengen kennt, kann man versuchen, mit ihnen sinn – und planvoll umzugehen. Das gilt für alle Energiearten.

Wie sieht es also bei den Gebäuden aus?

An Gebäuden haben wir es mit Energieeintrag und Energieabtrag zu tun. Im Winter wollen wir den Energiemengeneintrag möglichst groß, den Energiemengenabtrag möglichst klein halten. Je besser uns das gelingt, umso weniger Geld müssen wir für die Heizung ausgeben.

Bis jetzt haben Sie lauter Binsenweisheiten kennen gelernt. Noch eine letzte Binsenweisheit:

Wäre die Energie überall gleichmäßig verteilt, gäbe es keinerlei Energiegefälle und auch kein Temperaturgefälle. Energie würde sich dann auch nicht bemerkbar machen. Möglicherweise wäre sie bis heute nicht einmal entdeckt worden. Energie wäre schlichtweg uninteressant. Denken

wir das zu Ende, kämen wir darauf, dass es die belebte Natur und uns selbst nicht gäbe.

Energie an Bauwerken

Von jetzt an beschäftigen wir uns nur noch mit Energie an Bauwerken. Hierbei spezialisieren wir uns auf die Wärmeenergie, eine von unzähligen Erscheinungsformen der Energie.

Grundsätzliches:

Wärmeenergie ist Energie in Festkörpern, Flüssigkeiten und Gasen. Ob die Energie hoch oder niedrig ist, können wir messen. Hierfür benötigen wir Wärmemesser, z.B. Thermometer. Die hier betrachtete Energie ist – genauer betrachtet – Bewegungsenergie. Und zwar Bewegungsenergie der um einen Ruhepunkt schwingenden Elementarteilchen. Kollidieren die Teilchen miteinander, überträgt das Teilchen mit der höheren Bewegungsenergie einen Teil davon an ein weniger energiehaltiges Teilchen. Das ist auch der Grund dafür, dass Energieverlagerungen immer vom hohen zum niedrigen Energieniveau gerichtet sind. Wird Energie innerhalb eines Festkörpers verlagert, nennen wir das Wärmeleitung. Kommt es zur Energieverlagerung zwischen Festkörpern und Flüssigkeiten oder Gasen, nennen wir das Konvektion. Für alle Vorgänge gilt, dass die Häufigkeit der Kollisionen das Ausmaß der Energieverlagerung mitbestimmt. Von weiterem Einfluss sind die Masse der schwingenden Teilchen und die Schwingungsgeschwindigkeit, aber auch die innere Struktur des Stoffes.

Die Elementarteilchen senden und empfangen aber auch Energie, die durch elektromagnetische Wellen transportiert wird. Diese Wellen entstehen dann, wenn das den Atomkern umschwingende Elektron seine Bahn verlässt. Fällt das Elektron auf eine näher am Atomkern gelegene Bahn, sendet es seine dabei abzugebende Energie als elektromagnetische Welle ab. Im umgekehrten Fall nimmt das Elektron die Energie einer elektromagnetischen Welle auf und steigt hierbei auf eine höhere Bahn. Die hierbei umgesetzte Energie hat gleich zwei Namen, nämlich Quant oder Photon. Wärmestrahlung ist somit ein quantenphysikalisches Ereignis.

Also gibt es am Bauwerk zwei Arten der Energieverlagerung, nämlich Energieübertragung durch Teilchenkollision und durch elektromagnetische Wellen. Das Erste können wir leicht verstehen, da es sich hier um einen mechanischen Vorgang handelt, ähnlich wie auf einem Billardtisch. Strahlung kennen wir vom sichtbaren Licht. Wir kennen auch den Effekt, dass auftreffende Sonnenstrahlung zur Erwärmung führt. Das gilt aber auch für Strahlung, die für uns unsichtbar ist. Sichtbar ist für uns nur ein ganz schmales Spektrum aus dem Bereich der elektromagnetischen Wellen. Ultraviolett ist wegen seiner kurzen Wellenlängen sehr energiereich, aber für uns unsichtbar. Unsichtbar ist auch das langwellige Infrarot. Prinzipiell sind aber die physikalischen Eigenschaften der elektromagnetischen Wellen, die wir als Wärmestrahlung bezeichnen, gleich.

Die für uns und dieses Thema wichtigen Eigenschaften bestehen darin, dass Licht reflektiert werden kann und darin, dass Licht, das nicht reflektiert wird, absorbiert wird. Die Absorption führt dazu, dass die Elektronen des Atoms auf eine höhere Bahn geschleudert werden und somit der Stoff energiereicher, also wärmer geworden ist. Diese Erwärmung spüren wir und wir können sie messen.

Energieverlagerungen

Diese Vorgänge wollen wir beeinflussen. Gelingt uns das, können wir auch die zur Gebäudeheizung erforderlichen Energiemengen beeinflussen und damit – das ist das Ziel – den Energieaufwand, den wir hierfür, aber auch für die Gebäudekühlung haben.

Von jetzt an müssen wir die Arten der Energieverlagerung an Gebäuden, Konvektion und Strahlung, getrennt betrachten. Außerdem müssen wir hierbei die Richtung der Energieverlagerung berücksichtigen. Der Energieeintrag am Gebäude hat zwei Quellen: Das ist im Gebäude die Heizanlage und außerhalb des Gebäudes der wetterabhängige Zustand der Umgebung.¹

Die Energiemengen können wir einigermaßen genau berechnen. Hierbei stellen wir fest, dass die Heizanlage im Schnitt 3% des Energieeintrags bewerkstelligt, der große Rest stammt aus der Umgebung und besteht aus Energie, die konvektiv und strahlend eingetragen wird.²

Der Energieabtrag findet nur an der Gebäudeoberfläche statt. Auch er besteht aus konvektiven Vorgängen und Abstrahlung. Energieverlagerungen hinter der Gebäudeoberfläche verursachen keinen Energieaufwand, der uns etwas kostet. Energieverlagerungen im Gebäude erfolgen nämlich verlustlos und nur innerhalb der Bausubstanz. Solange sich die Energie noch im Gebäude befindet, kann nicht von Energieverlust gesprochen werden. Eine einfache Überlegung führt zu der Erkenntnis, dass dann, wenn der Energieabtrag an der Gebäudeoberfläche größer ist als der dortige Energieeintrag, das Gebäude Energie an die Umgebung verliert und daher auskühlt. Dem wirkt die Heizanlage entgegen. Im umgekehrten Fall wird das Gebäude immer wärmer. Wird das unangenehm, müssen wir das Gebäude künstlich kühlen. Beides kostet Geld. Weil der Wirkungsgrad von Kühlmaschinen schlecht ist, ist Gebäudekühlung ungefähr viermal so teuer wie Gebäudebeheizung.

Auf jeden Fall wissen wir jetzt, dass der Heizenergieaufwand von der Differenz zwischen Energieabtrag und Energieeintrag abhängt. Je kleiner diese Differenz ist, umso geringer ist der der Heiz – oder Kühlaufwand.

¹ Sonstige Energiequellen im Gebäude, also Prozesswärme oder über Fenster eingestrahelte Energie sollen hier einstweilen außer Betracht bleiben.

² Dieses erstaunliche Ergebnis zeigt sich, wenn wir die Umgebung des Gebäudes uns im Zustand des absoluten Nullpunkts vorstellen.

Außerdem wissen wir, dass 97% der am Gebäude vorkommenden Energieverlagerungen an der Gebäudeoberfläche stattfinden. In unseren Breiten, in denen wir an acht von zwölf Monaten heizen müssen, bewerten wir den Energieeintrag als vorteilhaft und positiv. Daher ordnen wir in Berechnungen dem Energieeintrag das Vorzeichen (+) zu. Das entspricht unserem Gefühl. Folglich erhält der Energieabtrag das Vorzeichen (-), das negativ ist, nicht nur wegen der mathematischen Logik sondern weil er auch unser sauer erarbeitetes Geld kostet. Da sich in der Physik eingebürgert hat, dass man rechnet, tun wir das jetzt auch. Als erstes beschreiben wir die Tatsache des Energieerhaltungssatzes und unsere Festlegung, wonach wir der Energieverlagerung je nach Richtung die Vorzeichen (+) und (-) zugeordnet haben so:

$$[1] \quad \Sigma \text{ Energieverlagerungen} = 0$$

Gliedern wir das nach den einzelnen Komponenten der Energieverlagerungen auf und übernehmen hierbei das Zeichen für Energieströme mit dem griechischen Buchstaben Φ , erhalten wir folgenden Ausdruck:

$$[2] \quad \Sigma \Phi \text{ Heizanlage} + \Sigma \Phi \text{ exogener Energieeintrag} - \Sigma \Phi \text{ Abtrag} = 0$$

Das Wort „exogen“ bedeutet „von außen kommend“. Das Zeichen (Σ) steht für Gesamtsumme.

In der Formel [2] steckt die Lösung unseres Energiekostenproblems. Unser Wunschtraum, dass die Leistung der Heizanlage auf den Wert 0 zurückgeführt werden kann, wäre dann erfüllt, wenn die Summe aus exogenem Energieeintrag und Energieabtrag ebenfalls 0 wäre. In diesem Fall hätte die Heizanlage die Leistung (0). Immerhin können wir uns dem nähern, wenn wir es schaffen, dass die Differenz zwischen Energieeintrag und Energieabtrag möglichst klein wird. Diese Differenz ist sodann die erforderliche Leistung der Heizanlage. Mathematisch ist also das Problem der Einsparung von Heizenergie gelöst. Nun müssen wir nur noch eine technische Lösung finden.

Bisherige Lösungsversuche

Bis heute glaubt ein großer Teil der Fachwelt, dass man mittels dicker und außen aufgebrachtener Dämmschichten den Energieabtrag soweit verkleinern könnte, dass damit der Energieverbrauch gesenkt werden könnte. Das Resultat sind z.B. Wärmedämmverbundsysteme. (WDVS). Sie sind ganz schlechte Wärmeleiter und behindern somit die Energieverlagerung auf ihrem Weg von innen nach außen. Das funktioniert auch bis zu einem gewissen Grade. Überprüfen wir aber die Quelle der Energie, deren Verlagerung behindert wird, sehen wir, dass das nur die der Heizanlage entstammende Energie ist, die mit 3% am Ganzen beteiligt ist. Behindert wird mit WDVS aber auch der exogene Energieeintrag, der gewaltig ist und die Leistung der Heizanlage weit übersteigt. In Bezug auf den Energieab-

trag an der Gebäudeoberfläche bewirkt ein WDVS nichts, weil sowohl konvektiver als auch strahlender Energieabtrag nur von den Eigenschaften der Oberfläche und vom Wetter abhängt und nichts mit der Stoffzusammensetzung hinter der Oberfläche zu tun haben.

Bemerkenswert ist nur noch, dass die Hersteller von WDVS eine Gewährleistung des technischen Erfolgs ablehnen. Bewundernswert ist dennoch, dass jährlich etwa 60 Millionen m² WDVS verbaut werden. Man sieht also, was eine tüchtige Lobbyarbeit, Einflussnahme auf Wissenschaftler, Parteispenden und eine tüchtige Werbeindustrie leisten können, selbst dann, wenn für das beworbene Produkt keinerlei Zusage für dessen Nutzen gegeben wird. Sichtbar wird aber auch, dass in den politischen Gremien Sachverstand nicht vorhanden ist.³ Es wird übrigens auch ganz offen zugegeben, dass es für WDVS bis heute keinen messtechnischen Nachweis für die energetische Wirksamkeit gibt. Die diesbezüglichen Veröffentlichungen behandeln Sanierungsmaßnahmen, bei denen immer auch die Heizanlage modernisiert worden ist, ebenso die Warmwasserbereitung und fast immer auch undichte Fenster erneuert worden sind. Das sind sehr gute Möglichkeiten der energetischen Verbesserung. Noch besser wird das Ergebnis, wenn natürliche Energiequellen wie Erdwärme und Solarstrahlung genutzt werden. Fast immer wird hierbei auch exzessiv gedämmt. Mir scheint, dass die Dämmleute an den Erfolgen der anderen Technologien lediglich schmarotzen ohne in Wirklichkeit einen nützlichen Beitrag geleistet zu haben. Zu loben ist hier einer der führenden Hersteller von WDVS, die Sto AG, bei der offensichtlich ein Umdenkungsprozess begonnen hat. Sie beschäftigt sich neuerdings auch mit Technologien, die auf exogenen Energieeintrag setzen. Es handelt sich hierbei um die sog. „transluzente Wärmedämmung“ (TWD), bei der nur die Bezeichnung falsch ist, weil diese Technik mit Dämmung nichts zu tun hat.

Lösung Thermosfassade

Die Grundidee zur Thermosfassade ist uralt und stammt aus dem Schottland des späten 19. Jhdts., wo ein Chemiker, Sir James Dewar, mit einer praktischen Anwendung des Strahlungsgesetzes von Stefan - Boltzmann sich einen Behälter hat herstellen lassen, der die Eigenschaft hatte, dass unterkühlte Flüssigkeiten möglichst lange kalt blieben. Dieser Behälter ist heute als Thermosgefäß auf der ganzen Erde verbreitet. Der Witz dieses Behälters besteht darin, dass eine Kombination von annähernd luftleeren Hohlräumen und reflektierenden Flächen bis heute die wirksamste Methode zur Behinderung von Energieverlagerungen ist. Dämmstoffe kommen bei dieser Technologie nicht vor. Es geht also auch ohne Dämmstoff.

Bei der Thermosfassade war nur noch zusätzlich das Problem zu lösen, wie dennoch der exogene Energieeintrag genutzt werden konnte. Die Problemlösung war überraschend einfach. Statt der luftleeren Zone

³ Eine Ausnahme hiervon ist die derzeitige Bundeskanzlerin, Frau Dr. Angela Merkel, die Physikerin ist. Leider hat sie aber offensichtlich keine Zeit, sich mit derart simplen Problemen zu beschäftigen.

kommt die Thermosfassade mit einer stehenden Luftschicht aus. Diese hat einen sehr guten Dämmeffekt, der sich betragsmäßig unerheblich von dem einer luftleeren Zone unterscheidet. Gerät diese Luftschicht jedoch zwischen zwei unterschiedlich warme Flächen, beginnt sie zu verwirbeln und überträgt sodann konvektiv Wärmeenergie von der wärmeren zu kälteren Seite. Das geschieht vorwiegend dann, wenn die Thermosfassade unmittelbare Solarstrahlung empfängt und absorbiert. Die Platten, aus denen die Thermosfassade besteht, sind auf der dem Gebäude zugewandten Seite reflektierend beschichtet. Die vom Gebäude emittierte Wärmestrahlung wird daher zum größten Teil am Entweichen in den Weltraum gehindert und stattdessen zur Wand zurückgeschickt.

Der Hohlraum hinter der Thermosfassade ist winddicht. Der bei Wind sehr große konvektive Energieabtrag findet daher an der verkleideten Wand auch nicht mehr statt. Bei Außentemperaturen von 10 K unter dem Gefrierpunkt kommt es an der reflektierenden Schicht zu Filmkondensation. Die hierbei freigesetzte Kondensationswärme bleibt dem Bauwerk erhalten.

Die Thermosfassade erfüllt somit die Forderungen aus der Gleichung [2] sehr gut. Das liegt daran, dass sie nicht nur den Energieabtrag sehr gut behindert sondern den exogenen Energieeintrag ermöglicht. Diese – inzwischen patentierte - Technik ist produktionsreif. Im Sommer 2010 wird ein wissenschaftlicher Abschlussbericht erscheinen. Derzeit ist ein dritter Freilandversuch in Gang. Die schon vorliegenden Messergebnisse bestätigen die guten Prognosen.

Konstruktion der Thermosfassade

Eine Thermosfassade besteht aus Platten unterschiedlicher Herkunft, die wetterbeständig und formstabil sein müssen. Ihre Rückseite ist reflektierend beschichtet. Die Beschichtung erfolgt durch eine Verklebung von aluminiumbedampften Folien mit den Platten.

Die Montage der Platten unterscheidet sich in nichts von den Verfahren, wie sie von vorgehängten Fassadenkonstruktionen her bekannt sind. Da in der Regel Dämmstoffe nicht benötigt werden, muss die Konstruktion nicht hinterlüftet werden. Das vereinfacht die Unterkonstruktion, die bei Gebäudehöhen bis 14,00 m aus Holzlatten bestehen kann, bei größeren Höhen muss nicht brennbares Material verwendet werden, z.B. Aluminiumprofile. Da für die meisten Fassadenplatten Zulassungen durch das Deutsche Institut für Bautechnik (DIBt) erteilt worden sind, sind diese auch bei der Thermosfassade zu beachten. Zur Vermeidung von Wärmebrücken sind auch Laibungen von Fenstern und Türen zu verkleiden.

Rechnerische Nachweise nach EnEV

Die EnEV geht davon aus, dass die einzige Methode, die eine energetische Verbesserung von Außenwänden erreichen kann, in der Montage von WDVS und anderen Konstruktionen in Verbindung mit Aussendäm-

mungen bestünde. Die dort vorgeschriebenen Berechnungsverfahren sind ausschließlich hierauf abgestellt. Da in der EnEV auch TWD, die Thermosfassade und andere inzwischen entwickelte Konstruktionen nicht enthalten sind, zeigt sich, dass die EnEV ergänzungsbedürftig ist.

Ich rege an, künftig folgendes zu berücksichtigen:

Der U-Wert, über dessen Sinn man streiten kann, geht auf Berechnungen in der DIN 4108 zurück, in denen ausschließlich die Wärmeleitfähigkeit von Stoffen behandelt wird. Vom Maß der Wärmeleitfähigkeit wird sodann unmittelbar auf den Energieverbrauch geschlossen. Auch hierüber kann gestritten werden. Wie bereits eingangs vermerkt, geht es bei allen Bemühungen um die Senkung von Energiekosten um die Beeinflussung von Energieverlagerungen. Wird Energie am Entweichen vom Bauwerk behindert, kann von Energierückhaltung gesprochen werden. Das ist das Ziel aller Techniken.

Daher rege ich an, einen neuen Oberbegriff einzuführen, der als „**Energierückhaltewert**“ bezeichnet wird. Der Energierückhaltewert bezeichnet die Größe der Energiestromdifferenz an der Gebäudeoberfläche. Da künftig auch mit instationären Randbedingungen gerechnet werden muss, die sich mit der Zeit ändern, ist in die neue physikalische Größe auch der Faktor Zeit aufzunehmen. Wird für die Zeit eine Stunde als praktikabler Wert eingeführt, erhält sodann der Energierückhaltewert die Bezeichnung $\Phi_R = (W/m^2h)$.

Für die Thermosfassade wird derzeit ein Berechnungsverfahren ausgearbeitet, bei dem Energieeintrag und Energieabtrag mit stündlichen Werten miteinander verrechnet werden. Sobald der erwähnte Freilandversuch im kommenden Frühjahr 2007 abgeschlossen sein wird, werden die Parameter der im Prinzip fertigen Simulation den Messergebnissen angeglichen. Berechnungen und Wirklichkeit stehen von da an in Übereinstimmung. In der Bauphysik ist das ein Novum. Das Ergebnis der Simulation stellt sich sodann als sog. „**Energiebilanzwert**“ dar, der die Bezeichnung

$$\Phi_b \text{ in } (W/m^2h)$$

erhält. Das tiefgestellte „b“ drückt aus, dass bei diesem Wert Energieeintrag und Energieabtrag stündlich mit einander verrechnet, also bilanziert worden sind.

Im Übrigen kann der äquivalente U-Wert einer Thermosfassade nach der Norm DIN EN ISO 6946 berechnet werden. Hierzu mehr in Nr.11. Inzwischen hat die RWTH Aachen sich ebenfalls dieses Themas angenommen und hierbei einen neuen Begriff „äquivalenter Wärmedurchlasswiderstand“ ($R_{äq}$) eingeführt. Hierzu in einem weiteren Artikel mehr.