

## Kapitel 12

### Thermosfassade

#### Zum Verständnis einer neuen energieeinsparenden Fassadentechnik

##### Stationär oder Instationär?

Die Binsenweisheit, dass die Kosten der Gebäudeheizung unmittelbar mit dem Wetter zusammenhängen, wurde nun schon mehrfach erwähnt. Das zeigen nun auch die ersten Heizkostenabrechnungen für die Heizperiode 2006/2007, die von einem extrem milden Winter geprägt war. Nun sollte man meinen, dass diese Grundwahrheit in den Normen und Berechnungsverfahren sich ja irgendwie niederschlagen sollte. So ist es leider nicht.

Darüber wird in Fachkreisen gelegentlich debattiert. Aber auch diese Debatten haben zu nichts geführt. Unversöhnlich stehen sich die Anhänger der bisherigen Berechnungsweisen deren Kritikern gegenüber. Zunächst aber einmal eine Worterklärung:

In der Bauphysik meint man, dass der stationäre Zustand der anzunehmenden Randbedingungen ausreichend genau sei. Das bedeutet, dass wir davon ausgehen sollen, dass das Wetter immer gleich sei. Temperaturschwankungen, wechselnde Sonneneinstrahlungen, wechselnde Windgeschwindigkeiten usw. gibt es nicht. Es gibt auch keinen Unterschied zwischen den Heizungsübergangszeiten, die etwa 2/3 der Heizperiode ausmachen und der Kernheizzeit. Darauf sind auch die Normen abgestellt. Besonders verwegen ist hierbei der Wärmeübergang an Fassadenoberflächen behandelt, der mit einem einzigen Wert, der einem Energieabtrag von  $25\text{W/m}^2$  entspricht, berechnet werden muss. Dieser Wert ist reine Willkür und hat mit den tatsächlichen Bedingungen nichts zu tun. Dennoch behaupten die Anhänger der bisherigen und auch amtlichen Berechnungsverfahren, dass das alles ausreichend genau sei und eine Berechnung unter instationären Bedingungen, also unter wetterabhängigen wechselnden Randbedingungen die gleichen Ergebnisse hätte.

Eine derartige Aussage könnte allerdings nur dann mit dem Anspruch auf Ernsthaftigkeit gemacht werden, wenn die Betreffenden tatsächlich Berechnungen mit instationären – also wechselnden – Randbedingungen vorlegen würden. Dann könnte man vergleichen. Offenkundig ist das bisher bestenfalls im stillen Kämmerlein geschehen und hat noch niemals das Licht der Öffentlichkeit erblickt. Man kann darüber rätseln, warum die „amtliche“ Bauphysik Berechnungen mit instationären Randbedingungen aus dem Weg geht. Da ich selbst schon derartige Berechnungen – wie ich noch zeigen werde – durchgeführt habe und daher auch über Ergebnisse verfüge, bin ich mir ziemlich sicher, dass die Scheu damit begründet ist, dass dumpf geahnt wird, dass eine instationär geführte Berechnung zum „Aus“ für das derzeit geltende Normensystem führen würde und zutage träte, dass die auf den alten Berechnungen beruhenden konstruktiven Lösungen zu energieeinsparenden Techniken nicht nur praktisch sondern auch wissenschaftlich ein Irrweg sind.

Und da haben wir plötzlich ein Problem am Hals, das mit Physik überhaupt nichts, mit Menschen aber sehr viel zu tun hat. Da gibt es nämlich hunderte von Professoren und deren rückgratlose Assistenten, ein ganzes Heer von Beamten auf allen nationalen und europäischen Verwaltungsebenen, tüchtige Verkäufer von Baustoffen, Energieberater, Handwerksbetriebe und nicht zuletzt das Heer von gesetzestreu und normengläubigen Architekten und Bauingenieuren, denen es natürlich zutiefst zuwider wäre, würde man ihnen bescheinigen, dass sie über mehr als dreißig Jahre hindurch denkfaul, hirnlos und voll des Untertanengeistes alles geglaubt und gemacht haben, nur weil man es schwarz auf weiß gedruckt hatte und folglich getrost nach Hause tragen konnte. Da fürchtet man natürlich auch die Fragen seiner Auftraggeber, die auf die Idee kommen könnten, schlecht beraten worden zu sein und die nun womöglich bereits bei ihren Rechtsanwälten sitzen und beratschlagen, wem man nun seine Schadensersatzforderungen präsentieren könnte. Dass da keine Begeisterung aufkommt, wenn einer daher kommt und mit guten Gründen an der bisherigen Entwicklung kein gutes Haar lässt, ist verständlich. Als höchst unerfreulich wird natürlich auch empfunden, dass die neuen Thesen zur Bauphysik auch noch zusammen mit einer neuen Lösung präsentiert werden, die zu allem Überfluss auch patentiert ist und über die nicht so ohne weiteres verfügt werden kann. Man ahnt also Böses – und das wohl zu Recht. Daher rechne ich auch damit, dass demnächst schweres Geschütz gegen mich aufgeföhren wird. Ich würde mich schon sehr wundern, wenn dem nicht so wäre. Warten wir es ab.

Wie kann man also den instationären Zustand der Randbedingungen bei Gebäuden rechnerisch in den Griff bekommen?

Vorab gleich ein Wermutstropfen: Auch künftig wird es unmöglich sein, zuverlässige und genaue Prognosen über den Heizenergieverbrauch zu erstellen. Das Wetter ist eben ein chaotischer Vorgang, der sich einer Langzeitprognose wohl auf Dauer entziehen wird. Daran ändern auch die bemitleidenswerten Kobolzereien von Meteorologen nichts, die angesichts ihrer schlechten Leistungen bei Kurzzeitprognosen sich nun darauf verlegt haben, das Wetter der kommenden einhundert Jahre vorherzusagen und absichtsvoll die Bedeutung ihrer Prophetien mit dem Begriff „Klimakatastrophe“ aufwerten und damit – wie auch gewollt – eine Klimahysterie ausgelöst haben, die – das ist wohl der eigentliche Zweck – bei einigen wenigen gigantische Einnahmen auslösen wird, sollte nicht alsbald wieder Vernunft einziehen.

### **Was können wir also machen?**

Das Wetter ist seit vielen Jahren gründlich gemessen worden, z.B. das „Holzkirchner Wetter“, aus dem das Fraunhoferinstitut für Bauphysik ein Durchschnittswetter entwickelt hat mit dem man gut arbeiten kann. Dieses Durchschnittswetter entspricht – verfolgt man die Messdaten in aller Gemütsruhe – einem „Normalwinter“, wie wir ihn kennen. Dann gibt es Aufzeichnungen über extreme Wetterverläufe, also z.B. sehr strenge Winter und sehr milde Winter, wobei der milde Winter 2006/2007 sicherlich als Extrem angesehen werden

kann. Nun haben wir also ein Instrument zur Verfügung, das es uns ermöglicht, mittels des Durchschnittswinters eine Durchschnittsberechnung anzustellen. Die Schwankungsbreiten nach oben und unten ermitteln wir aus den extremen Wetterverläufen. Damit können wir also Prognosen erstellen, bei denen auch die Schwankungsbreiten angegeben werden können. Das ist ein großer Fortschritt. Und nun machen wir uns ans Werk.

### **Simulationen**

Vor allem dann, wenn der Wechsel der Randbedingungen mathematisch nicht fassbar ist, wie das beim Wetter so ist, gibt es nur noch den Weg, Einzelmessungen zu verwerten. Für jede Einzelmessung muss daher eine selbständige Berechnung durchgeführt werden. Als erstes ist hierbei der zeitliche Rhythmus zu wählen. Die Wetterdaten werden stündlich notiert, sodass es sehr bequem ist, mit stündlichen Werten zu arbeiten.

Simulationen sind Experimente, die am Computer nachgestellt werden. Daher kommt es darauf an, die Eingabe von Daten so genau wie irgend möglich durchzuführen und vor allem nichts zu übersehen, was von Einfluss auf das Ergebnis sein könnte. Voraussetzung ist natürlich, dass auf dem Computer ein ordentliches Rechenprogramm installiert ist und dass man den Umgang mit ihm einigermaßen beherrscht. Zu empfehlen ist da z.B. das Windows-Programm EXCEL. Genau so gut geht das auch mit einem Open-Office Programm, das man sich kostenlos aus dem Internet herunterladen kann. „Zu Fuß“ die Berechnungen durchzuführen, wäre ein Ding der Unmöglichkeit. Verfolgen wir in einer Simulation ein ganzes Jahr, verfügen wir über 8 760 Messdatenreihen für jede Stunde eines Jahres. In der von mir durchgeführten Simulation wurden hintereinander vierundzwanzig Rechenschritte durchgeführt, die durchwegs untereinander verknüpft sind. Es waren somit etwa 215.000 Einzelberechnungen durchzuführen. Da Gebäude nach mindestens vier verschiedenen Himmelsrichtungen ausgerichtet sind und jede Himmelsrichtung ihre eigenen und typischen Randbedingungen hat, kommen wir auf etwa eine Million Einzelberechnungen. Wenn wir für jede Einzelberechnung nur zehn Minuten veranschlagen, kommen wir daher auf eine Rechenzeit von zehn Millionen Minuten. Das sind 167.000 Stunden. Das sind 6.959 Tage oder etwa 19 Jahre, wenn samstags und sonntags voll durchgearbeitet wird und zwar rund um die Uhr in drei Schichten.

Nun wird auch erklärbar, warum in den Normen stationär gerechnet wird. Die dort vorhandenen Rechenverfahren gehen nämlich davon aus, dass ein Ingenieur als Rechenhilfe einen Bleistift, einige Blätter Papier und einen Rechenschieber hat – sonst nichts. Dass wir inzwischen erheblich leistungsfähigere Rechenwerkzeuge haben, also Computer mit sagenhaften Rechengeschwindigkeiten, wurde vom DIN ignoriert.

Am Zeitraubendsten bei einer Simulation ist die Entwicklung der untereinander verknüpften Rechenschritte. Dafür musste ich etwa zehn Wochen aufwenden, wobei am Wichtigsten war, dass die einzelnen Schritte in Übereinstimmung mit physikalischen Gesetzen standen. Ist diese Arbeit aber einmal ge-

leistet, dauert die restliche Rechenzeit gerade einmal zwei Stunden. Dabei zieht man unverdrossen mit der Maus die einzelnen Spalten nach unten durch. Manches Mal kommt da der Computer auch ins Schleudern und man sieht, dass er gelegentlich zehn Minuten benötigt, um den Zahlenwust zu bewältigen.

Die von mir durchgeführte Simulation hatte das Ziel, für jede einzelne Stunde den von mir kreierten Energiebilanzwert ( $\Phi_b$ ) zu ermitteln. Dieser Wert, den ich für entscheidend halte, zeigt an, in welcher Größenordnung in ( $W/m^2$ ) entweder Energieeintrag oder Energieabtrag an einer Gebäudeoberfläche stattfinden. Da die Werte für jede einzelne Stunde ermittelt worden sind, lautet die endgültige Größenordnung des Energiebilanzwertes ( $\Phi_b$ )  $W/m^2h$ .

Bisher gibt es diese Simulation für senkrechte und opake Außenwände. Noch auszuarbeiten sind Simulationen für Glasflächen – Fenster also -, Flachdächer und geneigte Dächer und für erdberührte Bauteile. Es gibt also noch einiges zu tun. Beim Vergleich einer normalen verputzten Außenwand mit einer Wand, an der eine Thermosfassade montiert ist, zeigte sich, dass der Energiebilanzwert ( $\Phi_b$ ) der Thermosfassade etwa zwölfmal kleiner ist. Das ist sehr gut. Allerdings ist auch bei der Thermosfassade der Energiebilanzwert noch negativ, was besagt, dass der Energieabtrag im Verlauf einer Heizperiode überwiegt – also immer noch geheizt werden muss. Sogar im Sommer ist die Energiebilanz an Außenwänden noch negativ, was aber durch Energieeintrag über geöffnete Fenster mühelos ausgeglichen wird.

Hier ist nicht der Raum, die durchgeführte Simulation in allen Einzelheiten darzustellen. Wer sich dafür interessiert, kann in Bälde eine genaue Ausarbeitung beziehen. Daher hier nur ein paar kleine Ausschnitte:

#### z.B. Einstrahlung

Die Berechnung der solaren Einstrahlungsgewinne erfolgt auf der Grundlage der gemessenen Globalstrahlungsdaten. Hierbei werden verarbeitet:

- Der Standort des Gebäudes nach geografischer Länge und Breite, die man inzwischen mühelos über Google – Earth ermitteln kann.
- Der Bedeckungsgrad des Himmels in Abhängigkeit vom gemessenen Luftdruck.
- Die geografische Ausrichtung der Wand.
- Tag und Stunde, wobei hier nach Sommerzeit und Winterzeit zu unterscheiden ist.
- Sonnenstandsdiagramme, die im Internet für ausgewählte Orte vorhanden sind.
- Globalstrahlung aus den Wetteraufzeichnungen über den atmosphärischen Luftdruck und den gleichzeitigen Bedeckungsgrades des Himmels
- Emissionskoeffizient ( $\epsilon$ ) der untersuchten Wand.

Mit diesen Faktoren ist es möglich für jede beliebige Wand für jeden beliebigen Zeitpunkt den tatsächlichen Einstrahlungswinkel zu errechnen und mit

dessen Sinus die abgeminderte Einstrahlungsleistung sehr genau zu berechnen. Aus dieser Einstrahlungsleistung kann sodann mit dem Strahlungsgesetz von Stefan-Boltzmann die Wandtemperatur der bestrahlten Wand bei Windstille mit stündlichen Werten errechnet werden.

Demgegenüber ist das in der EnEV vorhandene Berechnungsverfahren ausgesprochen dürftig. Die dort in einer Tabelle angegebenen Einstrahlungsleistungen sind unterschieden nach reinen Nord-, Ost-, Süd- und Westseiten und dort nur als Mittelwerte über 24 Stunden. Zeitlich wird nur nach Monaten unterschieden. Alles in allem sind dies bestenfalls irgendwie willkürlich festgelegten Mittelwerte. Mit Mittelwerten in der Bauphysik zu rechnen, führt fast immer zu fehlerhaften Ergebnissen. Derartige Mittelwerte sind ohne jede Aussagekraft, wenn es darum geht, die tatsächlichen energetischen Vorgänge zu erfassen.

#### z.B. Energieabtrag an Außenwänden:

Wir wissen bereits, dass wir an Bauwerken Strahlungsprozesse und konvektive Vorgänge haben. Da die Randbedingungen ständig wechseln, müssen wir das getrennt behandeln. Konvektion kann in linearen Gleichungen behandelt werden, Strahlungsprozesse werden mit Gleichungen 4.Grads behandelt. Das Vermischen in einer einzigen Gleichung ist ein Verstoß gegen die Regeln der Algebra. Betrachten wir also Konvektion, müssen wir berücksichtigen:

- Windgeschwindigkeit
- Lufttemperatur
- Wandtemperatur
- Rauigkeit der Oberflächen
- Richtung der Wand zum Wind. Leeseiten ermöglichen es, die Windgeschwindigkeit mit Null anzunehmen.
- Eine Rolle spielt auch die relative Feuchtigkeit der Luft. Feuchte Luft kann fast doppelt soviel Wärmeenergie aufnehmen wie trockene.

Bei Abstrahlung ist zu berücksichtigen:

- Strahlungskoeffizient ( $\epsilon$ )
- Wandtemperatur in (K)

Da gibt es dann Querbeziehungen dergestalt, dass die Wandtemperatur von konvektivem und strahlendem Energieeintrag abhängt und keineswegs vom Beheizungszustand im Gebäudeinnern, vorausgesetzt, dass die Umfassungswand wenigstens aus 30 cm dickem Mauerwerk besteht. Da ist dann zu ermitteln, ob die Umgebungsstrahlung, die auch berechenbar ist, größer als die Solarstrahlung ist und daher mit ihr gerechnet werden muss.

In den Berechnungsverfahren nach EnEV finden Sie hierüber überhaupt nichts. Die Umgebungsstrahlung harret noch ihrer Entdeckung durch die amtliche Bauphysik.

Die meisten der Messdaten finden Sie in den Wetteraufzeichnungen, in allgemein zugänglicher Fachliteratur und einen kleinen Rest kann man selbst ausrechnen.

Jedenfalls ist es möglich, Simulationen der energetischen Ereignisse an Gebäudeoberflächen mit überschaubarem Aufwand durchzuführen. Aus den Simulationen können sodann auch sehr anschauliche Diagramme gewonnen werden, die zeigen, dass manche lieb gewordene Vorstellung aufgegeben werden muss. So wurde das Maß des konvektiven Energieeintrags in der Heizperiode – sofern man hierüber jemals nachgedacht hat – maßlos unterschätzt. Ebenso unterschätzt wurde der Einfluss der Umgebungsstrahlung, die in der amtlichen Bauphysik ja nicht einmal vorkommt.

Sehr aufschlussreich ist auch der Verlauf des Energiebilanzwertes in der gesamten Heizperiode. Er zeigt nämlich, dass unsere Heizanlagen erheblich überdimensioniert sind und daher unwirtschaftlich arbeiten. Besser wäre es, mit einem Gerät für die Grundlast und einem Zusatzaggregat zur Deckung des Spitzenbedarfs zu arbeiten. Alleine hierdurch könnte der Heizenergieaufwand um wenigstens 10% gesenkt werden.

Unsere Ingenieure und Architekten arbeiten auch bei den EnEV-Berechnungen schon längst mit fertigen Programmen. Ebenso können natürlich auch Simulationen programmiert werden. Darum ist zu hoffen, dass der Gesetzgeber sich auch alsbald dazu durchringen wird, dass Simulationen mindestens gleichberechtigt neben den bisherigen Verfahren zulässig werden. Damit wäre dann erstmalig erreicht, dass Berechnung und Wirklichkeit halbwegs übereinstimmen und hieraus dann auch vernünftige Technologien, die der Energieeinsparung dienen, auf den Markt kommen. Die Termosfassade ist also hier Vorreiter einer Entwicklung, die ohnehin nicht mehr aufgehalten werden kann, auch wenn das Industrien, die derzeit recht gut von den fehlerhaften Berechnungen leben, nicht in den Kram passt.

Dipl.-Ing. Christoph Schwan  
Architekt AKB