

weitnauer MESSTECHNIK  
Eich 1 CH-8752 Näfels  
Tel. 055 612 51 31  
Fax 055 612 51 65

Adrian E. Weitnauer,  
dipl. Ing. ETH/SIA

Erstelldatum: 20. März 2000

## Komfort und Energiesparen beim Heizen und Kühlen

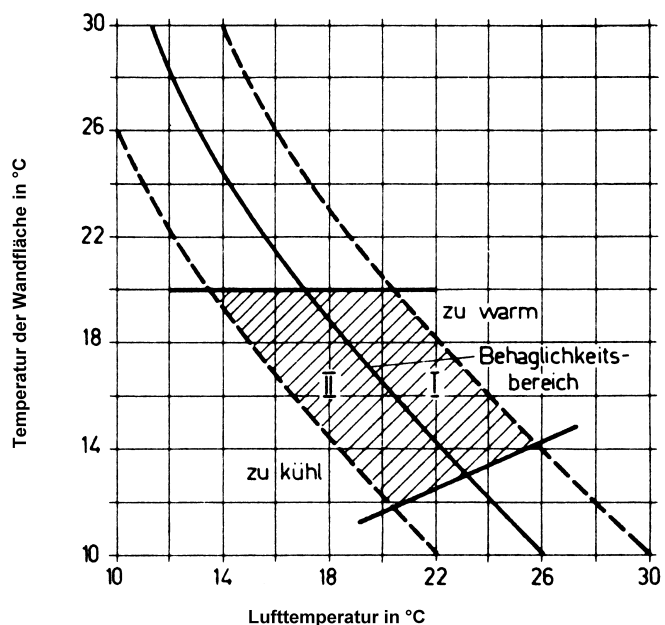
### Behaglichkeit

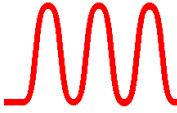
Der menschliche Körper regelt seinen Wärmehaushalt hauptsächlich durch die Variation des Verhältnisses zwischen Wärmeabfuhr über Konvektion und Wärmezufuhr über Wärmestrahlung. Dieser physiologischen Tatsache gilt es Rechnung zu tragen. Aus dieser Aussage folgt, dass die Wärmezufuhr durch künstliches Heizen möglichst auch durch Strahlung erfolgen sollte. Der Körper kann allfällige Wärmeüberschüsse durch Konvektion, wenn nötig zusätzlich durch Verdunstungskälte (Schwitzen) wieder abführen.

Die behaglichste Wärme ist demnach langwellige Strahlungswärme, wie sie durch grossflächige warme Wände erzeugt wird. Dieses Prinzip nutzen Hypokaustenwände, Heizwände und Kachelöfen. Oft kann dieses Heizprinzip nicht angewendet werden, da die Wände dadurch dicker werden. Somit muss durch Einsatz „warmer“ Wandmaterialien versucht werden, die behagliche Strahlung zu erhalten. Bei hochisolierten Bauten ist dies einfach, da die Wandtemperaturen nahe der Raumtemperaturen liegen. „Warme“ Materialien zeichnen sich durch ihre Fähigkeit aus, sich rasch an die Umgebungstemperatur anzupassen. Dies gilt für viele Faserwerkstoffe wie auch Holz, Gipskarton und verwandte Baustoffe. Diese Materialien haben gleichzeitig eine geringe Wärmeträgheit.

Zur Veranschaulichung der Behaglichkeit dient das nachstehende Diagramm, das den Zusammenhang zwischen der Raumlufttemperatur und der mittleren Wandoberflächentemperatur darstellt. Der Begriff „mittlere Wandtemperatur“ ist hier sehr wichtig; sie errechnet sich als Mittelwert der Oberflächentemperatur aller verschiedenen warmen Begrenzungsflächen.

$$J_{\text{Oberfläche}} = \frac{\sum A_i \cdot J_i}{\sum A_i}$$





## Dimensionierung der Gebäudehülle

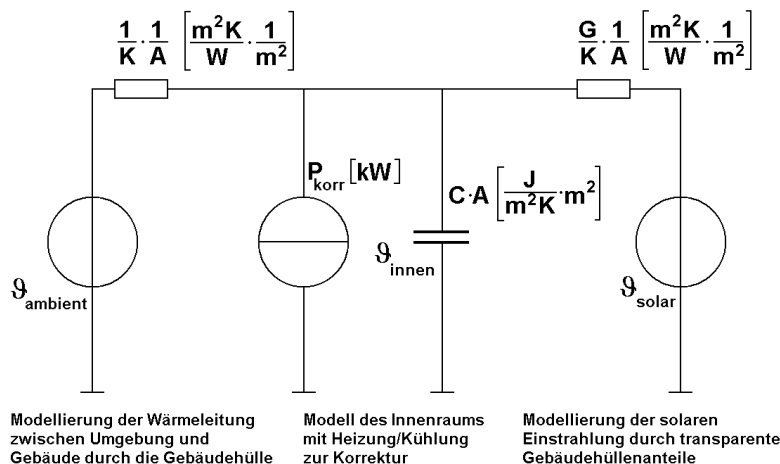
Wichtig ist speziell bei hochisolierten Leichtbauhäusern, dass die Sommerhitze gut abgeführt werden kann. Der Heizbetrieb ist weit weniger problematisch, doch gilt es zu bedenken, dass die tiefstehende Wintersonne einen Raum sehr rasch aufzuheizen vermag. Diesem nachteiligen Effekt kann vorgebeugt werden durch Einbau von genügend thermischer Masse. Im letzten Jahr wurde durch den Schweizerischen elektrotechnischen Verein eine Studie veröffentlicht, die den Komfort von neuzeitlichen hochisolierten Wohnbauten analysiert. Sie kommt zum scheinbar paradoxen Ergebnis, dass hoch isolierte Bauten mit geringer thermischer Trägheit wieder mehr Energie benötigen. Das wird dadurch erklärt, dass der Wärmeeintrag durch die Fenster sofort wieder abgeführt werden muss. Dabei werden automatische Beschattungsanlagen und Lüftungen notwendig. Die bei leichter Bauweise geringe thermische Trägheit führt zu einem kurzen, ineffizienten Betrieb der Heizanlagen. Man dürfte fast behaupten, dass sich Wärmepumpen und leichte Bauweise gegenseitig ausschliessen.

Für die Auslegung der Gebäudehülle und der Heizung ist es wichtig, dass neben dem statischen Temperaturverhalten auch das dynamische betrachtet wird. Der SIA hat kürzlich ein Rechenmodell publiziert. Die herkömmliche Auslegung von Heizleistungen geschah fast nur durch die Betrachtung des Wärmedurchgangs durch die Gebäudehülle. Jedoch ist die Betrachtung der Zeitkonstante des Raumes wichtig, damit auch dem Tagesgang und der Witterung, also der instationären Vorgänge, Betrachtung geschenkt wird. Der solare Energieeintrag durch die transparenten Gebäudeflächen führt zu einer Aufheizung. Für die Behaglichkeit wichtig ist der sich einstellende Temperaturmittelwert, welcher bei höher isolierten Bauten höher liegt. Das Verfahren zur Auslegung der Gebäudehülle verlangt nun erstens, dass mit der Wahl der Isolation der sich einstellende Temperaturmittelwert im Sommer wie auch im Winter möglichst in die Komfortgrenzen zwischen etwa 20° und 25° zu liegen kommt. Hernach sollen die Schwankungen durch Wahl des Speichervermögens der thermischen Massen soweit ausgeglichen werden, dass die Temperaturextrema diesen Komfortbereich möglichst wenig verlassen. Dadurch kann der durch die Heizung aufzubringende Korrekturaufwand minimiert werden. Und genau das wäre das Ziel energiesparender Bauwerke.

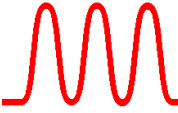
Damit die entgegengesetzten Bestrebungen im Winter wie auch im Sommer erfüllt werden können, muss der Energiefluss nach aussen im Winter minimiert, in den Sommernächten hingegen maximiert werden. Im Sommer muss die Nachtkühle „in den Tag hineingerettet“ werden.

## Ersatzschaltbild

Die folgende Grafik zeigt, wie ein Gebäude vereinfacht modelliert werden kann, damit die Parameter Isolation, Speicherfähigkeit und Energietransmission abgeschätzt werden können.



Man erkennt, dass die Umgebung durch ihre Lufttemperatur eingesetzt wird. Die Sonneneinstrahlung wird ebenfalls durch eine Temperaturquelle modelliert. Diese zu ermitteln ist jedoch ein wenig schwieriger, geht doch die Strahlungsleistung und der Einfallswinkel zusammen mit der Fläche in die Berechnung ein. Bei senkrechter Einstrahlung beträgt diese Strahlungsleistung rund 1000 W/m<sup>2</sup>.



Alle Temperaturen sind somit im elektrischen Sinne als Spannungen, die Wärmeleistungen als Ströme und Speicher sowie Isolationen als Impedanzen zu modellieren.

In herkömmlicher Auslegungsweise, welche für Winternächte durchaus ihre Berechtigung hat, wurde die Speicherefähigkeit und der Energieeintrag weitgehend vernachlässigt. Die notwendige Heizleistung lässt sich sehr einfach ermitteln durch folgende Formel:

$$P[W] = (J_{innen} - J_{ausser}) \cdot K \cdot A$$

K: Isolationskennwert der Gebäudehülle

A: totale umfassende Gebäudefläche

P: Korrekturleistung in Watt ((+) Heizung, (-) Kühlung)

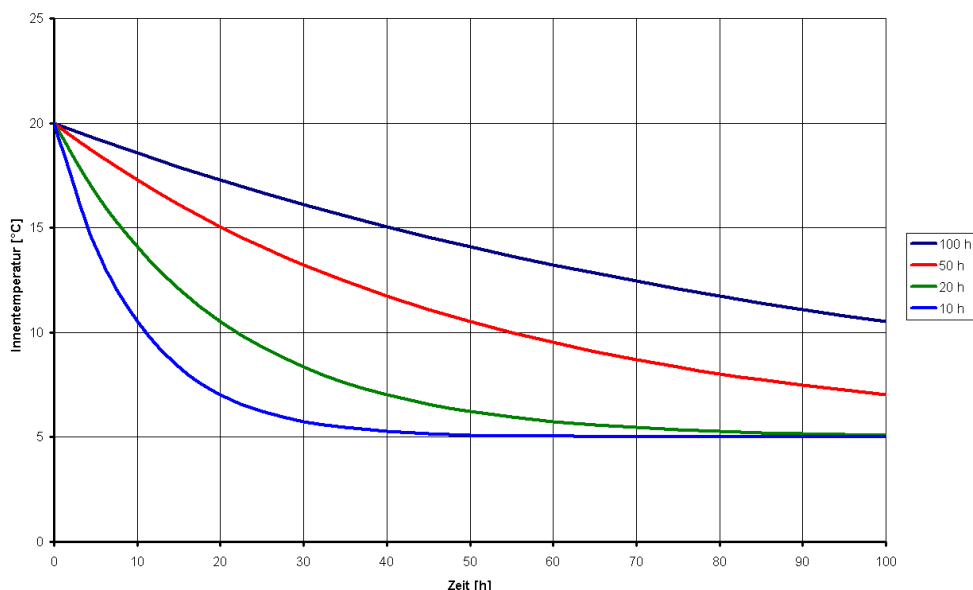
Transiente Vorgänge können mit dieser einfachen Berechnung jedoch nicht erfasst werden. Für dynamische Prozesse muss die Speicherefähigkeit C mit berücksichtigt werden. Das Produkt aus dem Kehrwert von K und C wird als Zeitkonstante  $\tau$  bezeichnet:

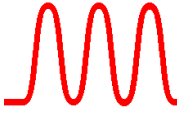
$$t[s] = \frac{C}{K}$$

Diese Zeitkonstante ist ein Mass dafür, wie lange es dauert, bis ein Raum sich erwärmt oder abgekühlt hat. Die zeitliche Übergangsfunktion ist die bekannte Exponentialfunktion, mit der man alle natürlichen Übergangs- oder Ausgleichsvorgänge modellieren kann:

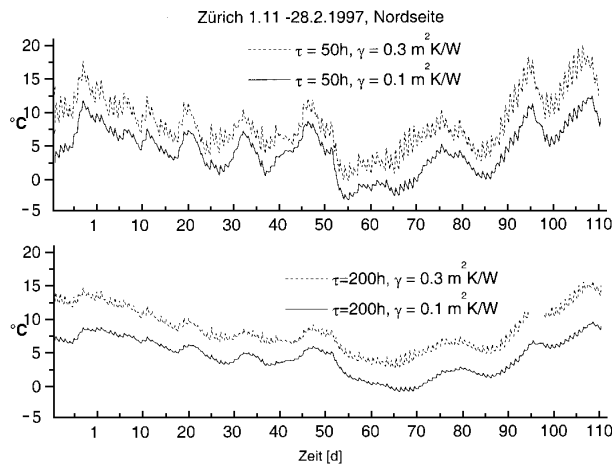
$$J_{innen}(t) = (J_{innen}(t=0) - J_{ausser}) \cdot \exp\left(-\frac{t}{\tau}\right) + J_{ausser}$$

Das nachfolgende Diagramm zeigt, wie sich ein Raum, der ursprünglich eine Innentemperatur  $\vartheta_{innen}(t=0)$  von 20°C hatte, auf die konstante Aussentemperatur von 5°C abkühlt. Sehr gut ist der Einfluss der Zeitkonstante zu erkennen. Alte Häuser mit Bruchsteinmauerwerk zeichnen sich aus durch sehr grosse Zeitkonstanten, obwohl ihre Isolation nicht eben gut ist. Diesem Umstand ist es zu verdanken, dass auch solche Bauwerke ein durchaus angenehmes Wohnklima bieten, wenn man vom relativ hohen Energieverbrauch absieht. Das andere Extrem, ein hochisoliertes Gebäude mit wenig Speicherefähigkeit, zeichnet sich aus durch einen sehr geringen Energiebedarf, der erkaufte werden muss durch hohe und rasche Ausschläge der Innentemperatur. Gemäss der Publikation „Energieeffiziente Bauten, SIA Nr.7/2000“ sollte für die Schweiz die Zeitkonstante eher über 100 h gewählt werden, damit kein Kühlbedarf entsteht.

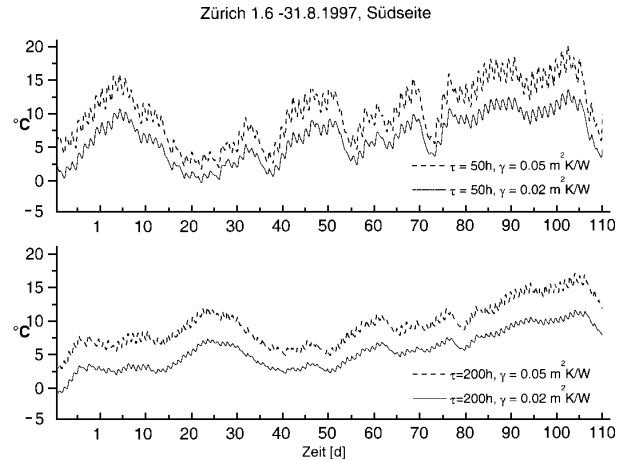




Zur Illustration der sich einstellenden Gegebenheiten betrachte man folgende Messreihen. Sie zeigen den Innentemperaturverlauf von Räumen auf der Nord- bzw. Südseite im Winter und im Sommer. Der Buchstabe  $\tau$  ist wiederum die Zeitkonstante des Raumes und der neue Buchstabe  $\gamma$  ist der um den solaren Einfluss korrigierte Wert für K, also die Isolationsfähigkeit.



Der Einfluss von  $\gamma$  und  $\tau$  auf den Verlauf der Leerlaufemperatur im Winter



Der Einfluss von  $\gamma$  und  $\tau$  auf den Verlauf der Leerlaufemperatur im Sommer

Sehr schön zeigt sich, wie sich die Schwankungen bei steigender Zeitkonstante  $\tau$  deutlich vermindern. Gleichzeitig liest man aus der Grafik, wie sich der einstellende Temperaturmittelwert bei besserer Isolation stark nach oben bewegt. Genau dies bedeutet aber, dass eine gute Isolation im Sommer einen Kühlbedarf nach sich zieht. Diesen Kühlbedarf kann man ausser natürlich der aktiven Kühlung nur durch Nachtlüftung erreichen. Dazu ist eine automatische Lüftung mit Witterungsfühlern unumgänglich.

Näfels, 20. März 2000

Adrian Weitnauer,  
dipl. Ing. ETH/SIA

## Literatur

- Energiegerechtes Bauen – Beiträge zum Aktionsprogramm Energie 2000, Kanton Thurgau 1995
- Merkblatt Wärmepumpenförderung, NOK 1998
- Wärmepumpen für Heizung und Warmwasser, InfoEnergie 1999
- Wärmepumpen haben Zukunft, Infostelle WP Bern, 1999 [www.fws.ch]
- Kontrollierte Wohnungslüftung, InfoEnergie 1997
- SEV Bulletin, Jahrgang 1999
- Berechnung Energieeffizienter Bauten, SIA Nr. 7/2000
- Bauschäden, Dr. J. Blaich, Vorlesung ETHZ/EMPA 1996
- Umweltschonend heizen mit Gas, AT Verlag Aarau, 1986
- Energieversorgung, Proff. Suter/Vogel, Vorlesung ETHZ, 1984