

# IV. Thermal performance of buildings

Objektyp: **Group**

Zeitschrift: **IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH  
Kongressbericht**

Band (Jahr): **12 (1984)**

PDF erstellt am: **15.09.2024**

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.



## **SEMINAR**

### **IV**

#### **Thermal Performance of Buildings**

#### **Comportement thermique des bâtiments**

#### **Wärmetechnisches Verhalten von Gebäuden**

Chairman: M. Brainov, Bulgaria  
Coordinator: R. Sagelsdorff, Switzerland  
General Reporter: H.J. Cowan, Australia

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

## Thermal Performance of a Building in Warm Regions

Performance thermique d'un bâtiment dans les régions chaudes

Thermisches Verhalten eines Gebäudes in einem warmen Klima

### H.J. COWAN

Prof. of Architectural Science  
University of Sydney  
Sydney, Australia



Dr. Henry J. Cowan graduated in civil and mechanical engineering from Manchester University. He is an Honorary Fellow of the Royal Australian Institute of Architects, a former Dean of Architecture, and the author of 18 books on the design of buildings. He is currently Head of the Department of Architectural Science.

### SUMMARY

The structure can be utilized for sunshading and for thermal storage at a small additional cost. This may be regarded as a passive form of using solar energy, and it should result in a substantial saving of energy. If in addition careful attention is given to daylighting and ventilation, it may be possible to avoid the use of air conditioning in buildings where it would otherwise be needed.

### RESUME

La structure peut être utilisée comme pare-soleil et comme accumulateur thermique à peu de frais. Cette forme passive d'utilisation de l'énergie solaire entraîne une économie d'énergie considérable. De plus, si l'éclairage et la ventilation sont réalisés correctement, il peut être possible d'éviter une climatisation dans des bâtiments où elle serait normalement nécessaire.

### ZUSAMMENFASSUNG

Die Gebäudestruktur kann mit kleinen zusätzlichen Kosten für den Sonnenschutz und für die Wärmespeicherung genutzt werden. Mit solch passiver Nutzung der Sonnenenergie kann eine beträchtliche Energieersparnis erreicht werden. Wenn dabei sorgfältig auf den Tageslichtbedarf und die Lüftung geachtet wird, kann auch in warmen Klimazonen auf eine Klimaanlage verzichtet werden.



## 1. INTRODUCTION

The structural requirements for the design of air-conditioned buildings in the tropics and subtropics are essentially the same as for buildings in the cool-temperate zone: the fabric, including the windows, should be well-insulated, and air-leakage through the windows should be minimized.

However, air conditioning is not economically feasible for many buildings because of the additional capital and operating cost, and some people prefer the diurnal change of temperature, particularly in their residences, to the steady state of air conditioning. In developing countries, maintenance of the air conditioning is a problem, and there may be restrictions on the use of energy.

This paper discusses the design of non-air-conditioned buildings for the tropics and subtropics, and its interaction with the structure of the building.

## 2. SUN SHADING AND THE STRUCTURE OF THE BUILDING

In a narrow region near the equator the temperature never drops to the level where heating becomes necessary, or even desirable. In that case sun shading need only ensure that sunlight penetration is prevented, although it is still necessary to avoid overshading which limits daylight (Section 4).

In a much larger region excessive summer temperature co-exist with winter temperatures which are too low for comfort. The need for heating can be reduced, or even eliminated, if sunlight penetrates into the building. Thus the sunshade must be neither too small to allow sunlight penetration during the "overheated" period of the year, nor too small to prevent sunlight penetration during the "overheated" period of the year, nor too large to prevent sunlight penetration when it is beneficial. The movement of the sun is the same for two cities with the same latitude, and it is symmetrical about the solstices. The overheated period, however, depends on local weather conditions, and it varies from city to city, although it generally occupies more days in the autumn than in the spring. A frequently used criterion is an external shade temperature of 21°C (70°F), which would produce overheating of the interior without sunshading.

Using a suitable spherical projection, the movement of the sun can be plotted, and the overheated period can be drawn on the same diagram. The sunshading and the sunlight penetration can then be determined by graphics or by the use of a shading mask. Alternatively, models can be tested with a sun-machine, such as a heliodon or a solarscope, or a computer program can be used. These methods are described in a number of books (For example, Ref. 1, pp. 41-52).

It is desirable to place sunshades outside the windows; they are more effective if the sun cannot penetrate the window glass, even the outer pane of a double-glazed window. However, external sunshades form a prominent feature of the facade, and their appearance requires the most careful consideration.

Sunshading and sunlight penetration should therefore be considered as part of the aesthetic concept of the building. The structure also has a dominant influence on aesthetics. The two should form part of a unified design concept.

The sunshades can be integrated with the structure to save structural material. Horizontal sunshades can be provided by a cantilever projection of the floor slab, which reduces the maximum bending moments in the slab. Vertical sunshades can be utilized structurally to reduce the column loads.



There are also functional advantages in using a cantilevered floor slab for horizontal sunshades, because this provides a balcony (or at least a platform for cleaning windows where only a small projection is required in tropical latitudes), for a facade facing south (in the northern hemisphere).

Vertical sunshades are needed if the facade departs significantly from a southern exposure (in the northern hemisphere). This applies particularly to a western, or partly western exposure, because the overheating occurs mainly in the afternoon.

### 3. THERMAL STORAGE

In climates where the temperature is both too hot and too cold for thermal comfort at some time of the day or night, the heat or coolness can be stored, and released several hours later to create a more comfortable temperature. This use of thermal storage was already known in antiquity, and it is utilized in several types of vernacular construction (Ref. 1, pp. 12 - 17). This method of utilizing solar energy is called "passive solar energy", and it received much attention after the energy crisis of 1973, particularly when it became clear that "active solar energy" (using solar collectors or photovoltaic cells) was rarely economical for heating or cooling buildings.

There is a substantial literature on passive solar design (for example Ref. 1, pp. 88 - 96). It has so far been treated as entirely separate from structural design. However, the structure can be utilized for thermal storage, the design of the building can thereby be simplified, and material can be saved and the dead load reduced.

The simplest method of passive solar design is the "direct gain" method. During that time of the year when heating would normally be required in the evening and at night, sunlight is allowed to penetrate through a large window by a suitably designed sunshade, and heat up the floor (or sometimes a wall). The floor should not be insulated by a carpet, but should be bare concrete (if that is acceptable), or covered with a hard surface, such as tiles, stone slabs, or terrazzo. The heat stored is released when the temperature falls, and this may be sufficient to heat the room adequately during the late afternoon and the evening. The effectiveness of this method depends on the thermal storage capacity of the floor. Evidently a thick structural concrete slab (for example, a flat plate) can provide this storage economically.

The thermal storage capacity can be increased if the heat is pumped into a store, and then pumped back into the room when it is required. The capital cost of the pump must be offset against the energy saved. In most passive solar buildings the heat store consists of an underground pile of crushed rock. However, the concrete structure of a building could be utilized instead, if the concrete floor is made with hollow-core blocks, or if pipes are cast into the slab.

Another effective method of thermal storage is the "Trombe wall", a thick wall of concrete or brick behind a large window, with a small air space between the two. This window, requires a sunshade to protect it from thermal radiation at certain times of the day or year (Ref. 1, pp. 90 - 91). The massive Trombe wall has appreciable load carrying capacity (which could be enhanced by suitable reinforcement), but this is rarely utilized. It should be possible to design a structural system that relies mainly on the load-carrying capacity of Trombe walls, if a passive solar design is used; a simple analogy is the



structural use of the reinforced concrete service core in buildings.

The thermal process can be reversed by storing coolness collected during the night, and releasing it during the day. However, this is less effective than heating, because of the smaller temperature differential available in most climates.

#### 4. SUNSHADING AND DAYLIGHT

In the tropics and subtropics the length of the day varies much less than in the temperate zone, and many buildings are thus occupied only during the hours of daylight. It is then possible to confine electric lighting to general background lighting, and emergency lighting, if the building is designed to admit adequate daylight.

Sunshades exclude not merely heat, but also light. However, the luminance of the sky increases as the latitude decreases, and reflected daylight provides adequate illumination; otherwise we would not be able to read in a room if we could not see the sky through a window.

The design of sunshades should therefore include an analysis of the reflection of daylight from the various surfaces, including the soffit of sunshades. Those required for reflection should be treated accordingly. A durable reflective finish for structural concrete is provided by white cement and/or exposed white aggregate. White paint is also a good reflector of daylight, but it must be renewed periodically.

#### 5. TASK LIGHTING AND TASK VENTILATION

Most office and factory buildings need at least some electric light because of the depth of the rooms. At present this is generally provided by uniformly spaced luminaires which give a constant level of lighting over the entire room. Both fluorescent lamps and incandescent lamps produce heat as well as light; the ratio of heat to light is higher for the latter. In cold weather the heat is useful, although it can be more efficiently produced by other means. In hot weather it has to be removed. It is a major source of the heat load for an air conditioning system. In buildings without air conditioning the removal of the heat due to the lamps can be very difficult. The heat load is greatly reduced if task lighting is used in conjunction with low-level uniform electric lighting, or even in conjunction with daylight only.

Task lighting requires planning of the operation of the building, when work processes are altered.

Task ventilation by the use of ventilators, strategically placed near each task, also requires careful planning of the operation of the building, and provision for the relocation of the ventilators when work processes alter.

#### 7. CONCLUSION

The recommendations made for the utilization of the structure to provide sunshading and thermal storage are equally applicable to developed and developing countries. The cost of the structure is increased by making it perform the additional functions, but this will often result in a substantial saving of energy.



The elimination of the need for air conditioning is of particular value for developing countries. Apart from saving initial and maintenance cost in a country with limited resources, it provides a better building. Air-conditioned buildings frequently become unusable if the system breaks down. In many developing countries one should allow for the failure of the electricity supply, or a breakdown of the equipment due to inadequate maintenance or a lack of spare parts.

#### REFERENCES

1. COWAN H. J. and P. R. SMITH, Environmental Systems. Van Nostrand Reinhold, New York 1983.
2. MARKUS T. A. and E. N. MORRIS, Buildings, Climate and Energy. Pitman, London 1980.
3. KOENIGSBERGER O. H. et. al., Manual of Tropical Housing and Building, Volume I - Climatic Design. Longman, London 1973.



Leere Seite  
Blank page  
Page vide



## **Building Envelopes in "High Insulation Technology"**

"Haute isolation thermique" pour les fenêtres et façades

"Hochisolationstechnologie" für Fenster und Fassaden

### **Bruno KELLER**

Dr. sc. techn.  
Geilinger Ltd.  
Winterthur, Switzerland

Born 1942, now at Central R+D  
involved in product development,  
building physics, energy strategy.

### **Kurt BRADER**

Mechanical Engineer  
Geilinger Ltd.  
Winterthur, Switzerland

Born 1951, Development engineer,  
metal works division.

### **Paul GREThER**

Electrical Engineer  
Geilinger Ltd.  
Winterthur, Switzerland

Born 1931, Head of product development,  
metal works division.

### **Roger BACHMANN**

Civil Engineer  
Geilinger Ltd.  
Winterthur, Switzerland

Born 1935, Marketing Manager,  
metal works division.

## **SUMMARY**

The main features of "High Insulation Technology" are presented. The extremely low values of the coefficient of heat transfer for windows completely change the comfort conditions as well as the energy management. Results from measurements in occupied rooms are presented and future perspectives discussed.

## **RESUME**

Les principes de la "Haute Isolation Thermique" pour fenêtres et façades sont présentés. Les valeurs très faibles du coefficient de transmission thermique pour les fenêtres influencent beaucoup les conditions de confort et le budget énergétique d'un bâtiment. Les résultats de mesures dans des locaux ainsi que des développements possibles sont présentés.

## **ZUSAMMENFASSUNG**

Die Prinzipien der "Hochisolationstechnologie" für Fenster und Fassaden werden vorgestellt. Die extrem tiefen Werte des Wärmedurchgangskoeffizienten für Fenster haben weitreichende Konsequenzen sowohl für den Komfort als auch für den Energiebedarf und die Haustechnik. Diese werden anhand von Messungen in realen Räumen diskutiert.



## 1. INTRODUCTION

The two companies: Sulzer Bros, Heating and Air Conditioning Division and Geilinger Ltd, Metal Work Division, both located at Winterthur (Switzerland), have been doing research and developmental work for better energy- saving solutions in the area of building envelope and HVAC-systems since 1978.

The analysis of energy use in conventional buildings led to the following conclusions:

1. Most of the energy is used for heating and/or cooling.
2. This is done through the HVAC-system in order to guarantee comfort for the inhabitants.
3. That is so, because the building envelope itself does not suffice for this job.
4. A substantial improvement of the building envelope should result in less energy use and smarter and more economical HVAC-systems.

The reaction to the oil-crisis, the super-insulation and the passive solar "waves" both intended to reduce the energy demand, but partially at the cost of human comfort. They both yielded a certain reduction but still remained far from a real breakthrough. Moreover, both had severe drawbacks [1,2]:

Super insulation: - Too small windows  
 - High sensitivity to the care of the workmen on the building site.  
 - Condensation and air leakage, air quality problems.

Passive solar: - Large temperature- and power swings.  
 - Severe restrictions of the internal freedom in order to keep the storage material accessible.  
 - Almost no use of the north side (only side with no glare problems).  
 - Heavy discomfort at cold and dull days due to draught from large windows etc.

In all these cases, the window plays the key role: for daylighting, for draught, for gain and for loss.

For a breakthrough, we concluded a window to be necessary that will no more need any HVAC-installations in its vicinity to compensate for comfort and that will of course transmit enough daylight.

Investigations in one of our companies showed, that the minimum value for the inner surface temperature should not be lower than about 3° C below mean air temperature, to avoid draught and asymmetric radiation cooling. This temperature drop is given by

$$\Delta \vartheta_{sa} = \frac{U}{h_i} \Delta \vartheta_o$$

U : U-value             $h_i$ : inner surface coefficient  
 thus, to keep it within 3° C the U-value must be

$$U \leq 0.68 \text{ W/m}^2\text{K}$$

for  $\vartheta_o > 15^\circ \text{ C}$ . Hence we had to develop such windows.

## 2. HIGH INSULATION TECHNOLOGY

In order to create a well-balanced window system of very low thermal transmittance, new design principles had to be developed for the glazing as well as for the sealing and the framing.

### 2.1 HIT-Glazing

The three mechanisms of heat transfer between two glass panes: conduction, convection and radiation had to be minimized simultaneously. This was done by:

- augmenting the overall air gap to 80-90 mm,
- subdividing this gap into three parts by means of two panes or suspended films,
- coating the surfaces with infrared reflecting coatings.

Although this set-up could be realized with coated glass panes as well, we decided for reasons of weight, price and also transport and storage volume to use suspended polyester (PET) films with heat mirror coatings: HEAT MIRROR (TM). The suspension technique allows an independent, durable and wrinkle-free suspension of the films and is protected by patents (figure 1). Of course we have developed computer programs for the heat transfer in such stacks in order to optimize the set-up: emissivities, position of the films, and to determine the properties with and without solar irradiation: U-values, solar and luminous transmittances, temperature of the films etc.

The thick air gap must be vented to the outside to avoid breakage by thermally induced pressure differences. The pressure equalization goes through a protective filter, which keeps humidity and air pollutants out. The service period of this replaceable filter will be at least 3-5 years according to our experience. In addition, the replaceable filter yields a repairability of the window in contrast to the "all or nothing" insulating glazings. It makes the window much more robust and tolerant to rough handling.

Beside the low U-values of 0.6 W/m<sup>2</sup>K (even 0.5 in a combination with one coated glass pane), the HIT-S glazing reaches values of up to 63 % for the luminous transmittance and 50 % for the total solar energy transmittance (42 % radiative direct, 8 % at the surface) (all values for perpendicular incidence). These values can be lowered by the combination of different available coatings to meet sun protection needs. They also show a high selectivity  $\tau/g = 1.26$  compared to ordinary glass panes with 1.08. Arbitrary combinations with roller blinds, stores or reflecting glasses are possible.

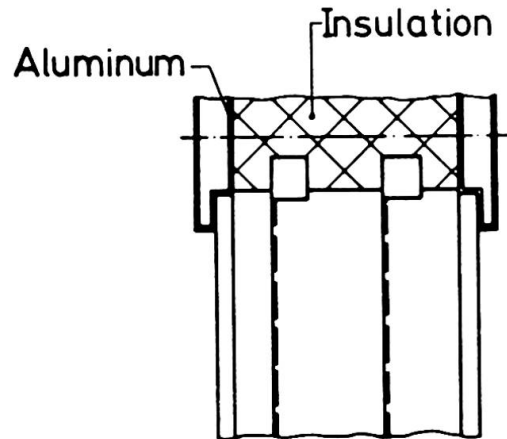
### 2.2 HIT-Framing and Sealing

To avoid the well known thermal short-cuts in the sealing of insulating glazings [3], we made the sealing to be the framing. Thus the glazing and the framing became an integrated and rigid unit without thermal short cuts. The thick framing allows two rigid metallic parts to be separated by a thick insulating zone, which also contains a water vapor barrier. This design yields local U-values of 0.9 W/m<sup>2</sup>K for the framing (figure 1).

The above mentioned filter is integrated into the framing and can easily be replaced within a few minutes by unlocking two screws.



Figure 1: Schematic cross section through HIT-glazing (lower part) and framing.



One further advantage of this integrated and thermally broken design is the high sound insulation of more than 45 dB (measured at the building).

Figure 2 demonstrates the ordinary appearance of a HIT-S-window installed at the LESO test Building of the Federal Institute of Technology at Lausanne.

Figure 2: Outlook through a HIT-S-window at the LESO test building.



### 3. RESULTS

We have tested this new technology in many different ways:

- accelerated thermal, mechanical and UV-radiation tests of the film material in the lab,
- accelerated corrosion tests of the coating and the films in the lab,
- field tests of the suspension technique since 1979 at many different locations, up to mountain huts at 2500 m above sea level,
- 22 windows in the Sulzer Energy House since March 1981,
- 3 test windows in the restaurant on the Jungfrauoch at 3500 m above sea level, instrumented and measured through the Swiss Federal Institute for material Testing (EMPA) since March 1982,

- 6 windows in an occupied and fully instrumented test office at the LESO test building [5] of the Swiss Federal Institute of Technology at Lausanne since November 1982 in a research project sponsored by the Swiss Energy Research Foundation (NEFF).

The experiences in these tests are very good and let us expect a life time of at least that of usual insulating glazings.

Figure 3 shows some measured temperatures during a cold and cloudy week on the Jungfrauoch for the HIT-S as well as for a double glazing as reference. It clearly demonstrates the superiority of the HIT-S, as even in the joints between glazing and framing the temperature never falls more than about 3-4 ° C below air-temperature. The Jungfrauoch represents a very valuable test site with large temperature swings down to -30 ° C, wind velocities of up to 200 km/h and a rapidly changing very intensive solar irradiation of up to 1200 W/m<sup>2</sup> and a high UV-part.

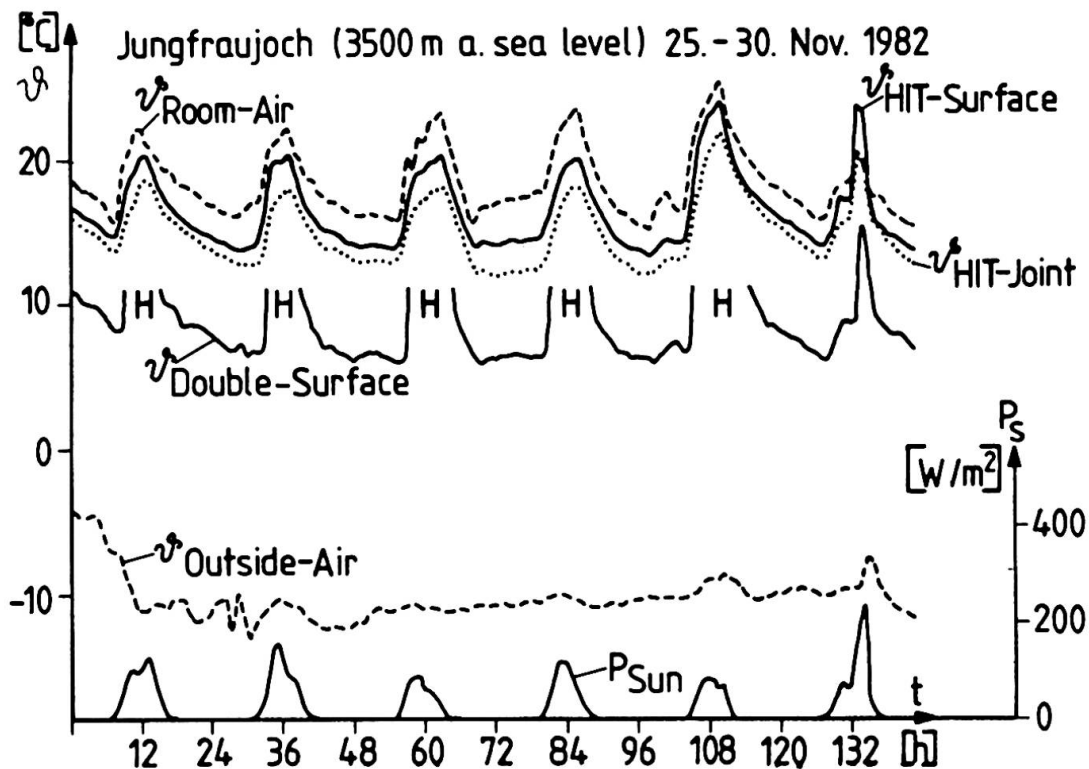


Figure 3: Temperatures measured on a HIT-S window at the Jungfrauoch by the Swiss Federal Institute for Material Testing in November 1982.

The measurements at the LESO by flux meter (during one week) and by the energy balance over some weeks gave

$$U\text{-values of } 0.59 \pm 0.03 \text{ W/m}^2\text{K and } 0.65 \pm 0.08 \text{ W/m}^2\text{K [4]}$$

respectively. The completely measured energy balance of an office of 36 m<sup>2</sup> floor and 92 m<sup>3</sup> volume is shown in table 1 as an example for one cold and cloudy week from February 14 to 21 in 1983. The values are measured for the HIT-S at the south-side and compared by analog calculations with double and triple glazing and the north side. The results clearly show, that the net losses are mainly compensated by internal sources, almost all the time on the south and even mostly on the north side. In fact a small heating had mainly to compensate for the additional losses through the ceiling and one outer wall, because the office was located in a corner of the building. A complete report on this measurements over one year at the LESO will appear in summer 1984.



Table 1: Mean Power of Gains and Losses through 22.5 m <sup>2</sup> of Curtain Wall including 9 m <sup>2</sup> Glazing.			
Date: 2/14 - 2/21/1983, LESO Test Building, Lausanne			
Weather: Mean $\Delta\bar{v} = 22.8^\circ \text{C}$ , Sun South $\bar{Q} = 8 \text{ MJ/m}^2\text{d}$ Sun North $\bar{Q} = 2.1 \text{ MJ/m}^2\text{d}$			
South	Mean Power of		
	Gain	Loss	Net Loss
HIT-S (measured)	274 W	- 304 W	- 30 W ***
Triple Glazing (calc)	390 W	- 670 W	- 280 W
Double Glazing (calc)	481 W	- 846 W	- 365 W
North			
HIT-S (calc)	74 W	- 304 W	- 230 W ***
Triple Glazing (calc)	105 W	- 670 W	- 565 W
Double Glazing (calc)	130 W	- 846 W	- 716 W
<b>Values:</b> U: 0.6 / 2.2 / 2.8 W/m <sup>2</sup> K, solar energy transmittance averaged over hemisphere for diffusive irradiation: 0.33 / 0.47 / 0.58			

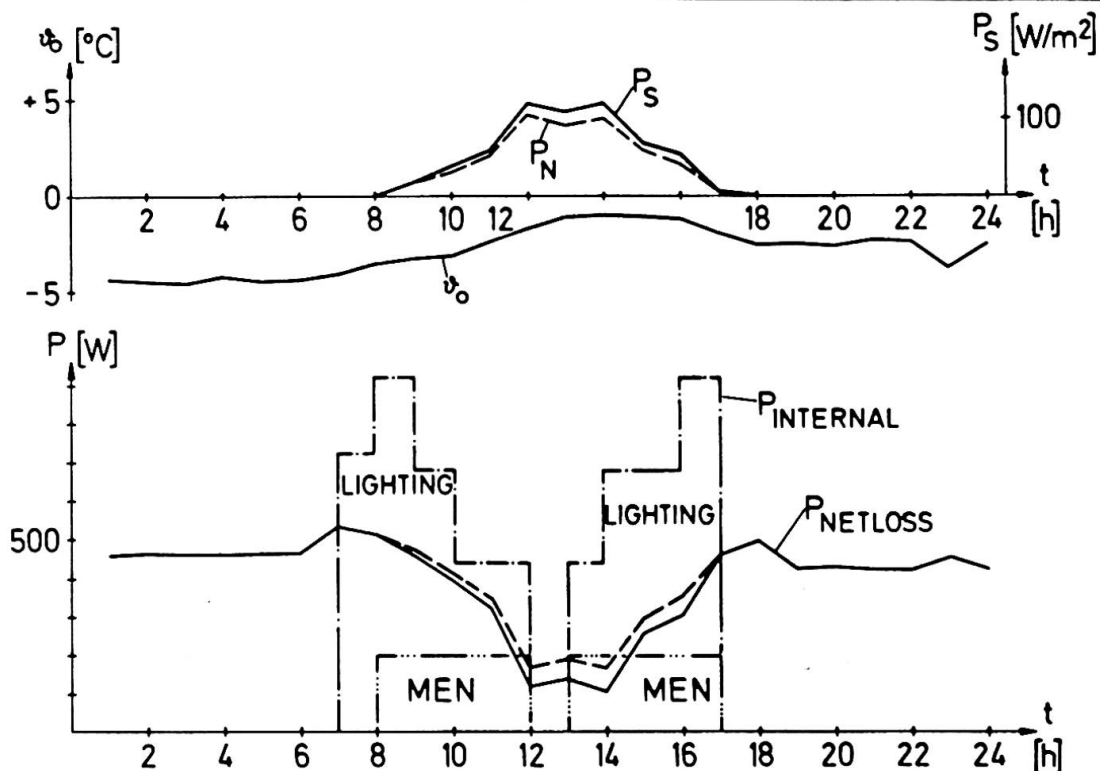


Figure 4: Power need for same office as in table 1. Two men, lighting: 20 W/m<sup>2</sup> in 3 levels, ventilation: night:  $n = .2\text{h}^{-1}$ , day:  $n = 1\text{h}^{-1}$  (heat recovery with  $\eta = 70\%$ ).

The curves in figure 4 (calculated for the same office as in table 1) for a cold and dull day demonstrate the important change in the energy management: during the whole day, the internal sources, together with the low solar irradiation have more power than it is needed for the compensation of the losses, even at the north side. This yields a small temperature rise even at such a day, giving a reserve for the night. The net heating energy for this day (24 h) turns out to be 9.5 MJ compared to 52 MJ with a double glazing. Sun and internal sources cover 77 % (double glazing 41 %) of the energy need.

During autumn and springtime, no energy is needed for heating or cooling: heating is completely covered by the internal sources and the sun and to much sun can easily be compensated by free cooling or natural ventilation through the open windows.

The reduced solar transmittance and the relatively thick framing act as sun protection in summer. Together with the low U-value (now acting in the reverse direction), they allow a substantial reduction of the cooling load. Moreover, the high attainable selectivity of up to  $\tau/g = 1.6$  ( $\tau = 0.29$ ,  $g = 0.18$ ) allows low power for the artificial lighting.

#### 4. CONCLUSIONS

The results shown demonstrate that

- there is no necessity for heating installations in the vicinity of the window, comfort is maintained without additional measures,
- most of the energy need for heating is covered by the solar gain and the internal sources on the south side as well as on the north side and even on cold and dull days,
- in order to keep all losses low and air quality high, the use of a mechanical ventilation with heat recovery is recommended but not necessary. It can also be used for heating purposes because of the low power densities.

Thus, the main feature of this new technology is a reduction of the power amplitudes for heating as well as for cooling. The availability of different coatings on film and on glass allows custom-built windows for the specific situation and climate.

We are building now (spring to summer 1984) a commercial building at Geneva with about 2500 m<sup>2</sup> of HIT-S windows. We found that the additional costs of the new windows were approximately compensated by the reduction of the HVAC-system. Therefore the pay back time becomes zero and the improvement of comfort and the saved energy are a net profit for the owner.

#### BIBLIOGRAPHY

1. Gertis, K: Passive Solarenergienutzung. Bauphysik 5/Heft 6 1983
2. Keller, B et al: Fenster und Energiehaushalt. Schweiz. Ingenieur und Architekt 1983 No 51/52
3. Keller, B. et al: Thermische Schwachstellenanalyse von Fenstersystemen. 2. Seminar über Wärmeschutzforschung EMPA 1982
4. Francelet, P.A. et al: Mesures des performances d'une façade très isolante. 4. Symposium d'énergie solaire. Lausanne EPFL 1982
5. Faist, A. et al: The passive solar energy building LESO. Proc. of the 2. Int. Congress on Building Energy Management. Ames/Iowa 1983
6. Keller, B. et al: New Window Systems. Proc. of the 2. Int. Congress Building Energy management. Ames/Iowa 1983
7. Keller, B. et al: New Window System Improve Comfort and Reduce Energy Demand. ASHRAE-Atlanta Meeting 1984. ASHRAE Transactions 1984, V 90, Pt.1.
8. Keller, B. et al: Much Improved Comfort at Very Low Energy Through Windows in "High Insulation Technology" (HIT). Proceedings of the Congress on Windows in Building Design and Maintenance. Göteborg 1984.



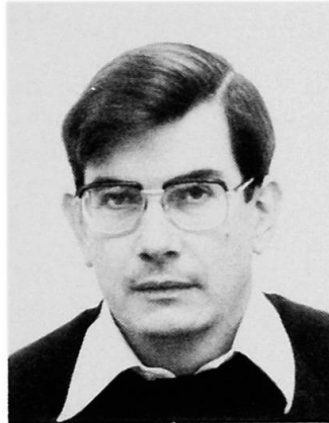
Leere Seite  
Blank page  
Page vide

## Thermal Design Loads for Concrete Roofs

Charge thermique de toits en béton

Thermische Lasten für Betondächer

**Malcolm J.S. HIRST**  
Senior Lecturer  
University of Adelaide  
Adelaide, Australia



Malcolm Hirst graduated in 1965 at Leeds University, U.K. He worked on the rebuilding of Ronan Point and Westgate Bridge before beginning his academic career at Melbourne in 1973. In 1976 he accepted an appointment at Adelaide. He has a major research interest in the thermal loading of structures.

### SUMMARY

This paper describes a procedure to determine characteristic values of thermal loading with a known return period for the design of concrete roofs and presents evidence for the viability of the approach. As illustration, design charts prepared on normal probability paper are presented for two roofs of different construction in two diverse Australian climate regimes.

### RESUME

L'article décrit une méthode de détermination des caractéristiques des sollicitations thermiques en fonction de la fréquence d'apparition de celles-ci pour le calcul des toits en béton et prouve la validité de cette méthode. Comme exemples d'application, des diagrammes sont présentés pour deux toits différents dans deux diverses régions climatiques d'Australie.

### ZUSAMMENFASSUNG

Ein Verfahren für die Ermittlung von Bemessungswerten für die thermische Beanspruchung von Stahlbetondächern in Abhängigkeit von der Auftretenshäufigkeit wird beschrieben. Die Gültigkeit eines solchen Verfahrens wird nachgewiesen. Als Anwendungsbeispiele werden Bemessungsdaten auf normalem Wahrscheinlichkeitspapier für zwei unterschiedliche Dächer in zwei verschiedenen Klimagegenden Australiens dargestellt.



## 1. INTRODUCTION

In many parts of the world thermal loading from solar radiation is a significant component of the total loads on a structure. For Australia, Campbell-Allen [1] reports that temperature related effects are responsible for 21% of cases of distress to concrete buildings.

While design guidance is available for the thermal loading of concrete bridges [2], this is not the case for concrete roof slabs. An international code [3] on temperature actions is in preparation. However, with the introduction of limit state codes there is a need to evaluate characteristic values of thermal loading with a known probability of occurrence in the same way that information is currently available for wind loads.

This paper describes a procedure to determine characteristic values of thermal loading for the design of concrete roofs and presents evidence for the viability of the approach. As illustration, the paper concludes by presenting design charts for two roofs of differing construction in two diverse Australian climate regimes.

## 2. THE PROCEDURE

Thermal loading is a function of climate and is extremely variable, showing daily and seasonal variation as well as geographic diversity. As a basis for computing characteristic design loads short term experiments may be unrepresentative. The procedure described here brings together, short term measurements, theoretical models, and the long term records of the weather bureau.

Firstly, a theoretical heat transfer model is established which can compute the daily temperature variation in a roof slab from its material properties and standard meteorological data. The model is then calibrated from field measurements so that its accuracy is known for a range of meteorological conditions.

Temperature variations in the roof are characterised by two loading parameters for structural design. The in-plane movement of the roof is a function of the effective temperature,  $T_E$ , where

$$T_E = \frac{\Sigma(EAT\alpha)}{\Sigma(EA\alpha)} \quad (1)$$

and bending is a function of the fully restrained thermal moment,  $M_0$ , defined as

$$M_0 = \Sigma(EA\alpha Ty) \quad (2)$$

In equation (1) and (2) the concrete roof is assumed uncracked and composed of a series of layers. Each layer of cross-sectional area  $A$  is assumed to be at uniform temperature  $T$ . The centroid of the layer is a distance  $y$  from the centroid of the whole slab. For each layer  $\alpha$  is the coefficient of thermal expansion and  $E$  is the Young's Modulus. If the degree of structural restraint is known then any deformation or thermally induced stress can be evaluated from  $T_E$  and  $M_0$  by the usual methods of structural analysis.



Using the calibrated theoretical model, daily extremes of the loading parameters are computed for everyday of the complete weather record available for a locality. Statistical analysis of this daily data shows the annual extremes of effective temperature and thermal moment appear to follow a normal distribution. Accordingly, design charts can be prepared by plotting annual extreme results on normal probability paper. For a given roof and geographic location the design value with a selected return period is simply read off the appropriate chart.

### 3. THEORETICAL MODEL

White [4] references a number of theoretical heat transfer models that have been developed for the thermal loading of structures. The model used in this study is a development of that first proposed by Hunt and Cooke [5].

When the roof consists of different layers, for example weatherproofing over a concrete slab plus a false ceiling, the heat conduction equation becomes:

$$k_j \frac{\partial T}{\partial x} = \rho_j c_j \frac{\partial T}{\partial t} \quad (3)$$

$(1 \leq j \leq m)$

where  $T$  represents the temperature at depth  $x$  for time  $t$  and  $k_j$ ,  $\rho_j$ , and  $c_j$  are respectively the thermal conductivity, density, and specific heat of the material in the  $j$ th layer of the  $m$  layer system.

Solution of equation (3) requires a knowledge of ambient conditions at each time step. Relationships have been developed [6] for Australian conditions to compute instantaneous values from standard daily meteorological data. A power law of the form

$$I(t_s) = \frac{KI}{a^{n+1}} (a^n - |t_s - a|^n) \quad (4)$$

is used to compute solar irradiance,  $I(t_s)$ , at time  $t_s$  from the daily total of global radiation,  $I$ , for a solar day of  $2a$  hours. The constant  $k$  and the exponent  $n$  are derived from a comparison with measured values. Simple linear interpolation is used to compute ambient temperature from daily extreme values. Following ASHRAE [7], the surface heat transfer coefficient is a function of wind speed.

### 4. CALIBRATION OF THE MODEL

In 1981 an isolated experimental concrete roof panel, as shown in Figure 1, was set up on the roof of the Engineering Building at the University of Adelaide. Until March 1983, the temperature profile of this panel was monitored every hour by a computer data logging system. From the experimental record and known material properties of the slab, daily extreme values of effective temperature,  $T_E$ , and thermal moment,  $M_0$ , were computed for 317 days. As illustration of the range of conditions monitored, Figure 2 shows a histogram of daily maximum and minimum effective temperature.



A simulation of the behaviour of the experimental panel was also carried out using the theoretical model for the same 317 days. Comparison of the experimental data with values predicted by the theoretical model shows the coefficient of variability to be 7.6% and 28.3% for effective temperature and thermal moment respectively.

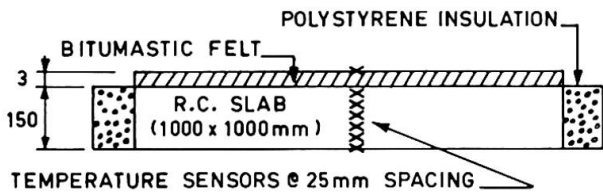


Fig. 1 Experimental Roof Panel

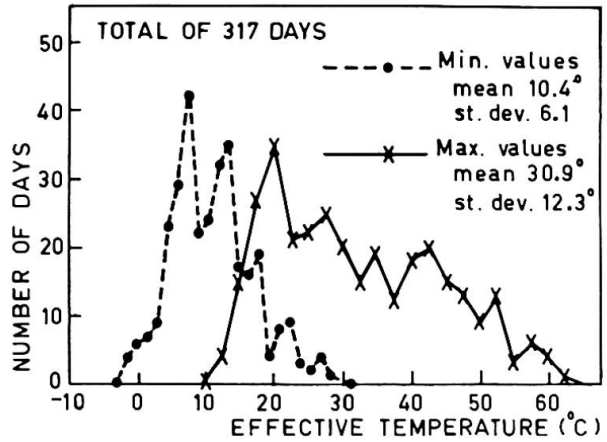


Fig. 2 Histogram of Effective Temperatures Recorded in Experimental Panel.

In 1983 similar hourly monitoring of temperature began for a 220 mm prestressed concrete slab that forms the roof of an Adelaide office building. Figure 3 shows the roof in cross-section. The behaviour of this roof was also simulated using the theoretical model. Figure 4 shows a comparison of measured and computed values for the coldest night and hottest day since measurements began.

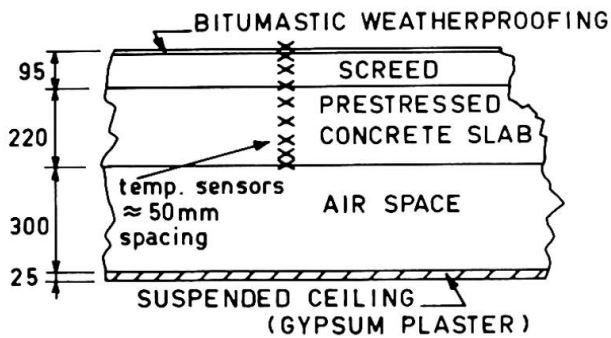


Fig. 3 Details of Office Roof

For both roofs there is a discrepancy between the actual and predicted rate of cooling particularly with an overcast night sky. Greater error was expected for thermal moment since the model must accurately predict the difference in temperatures either side of the centroidal axis. However, the results show the versatility of what is essentially a clear sky model to accurately represent a wide range of meteorological conditions.

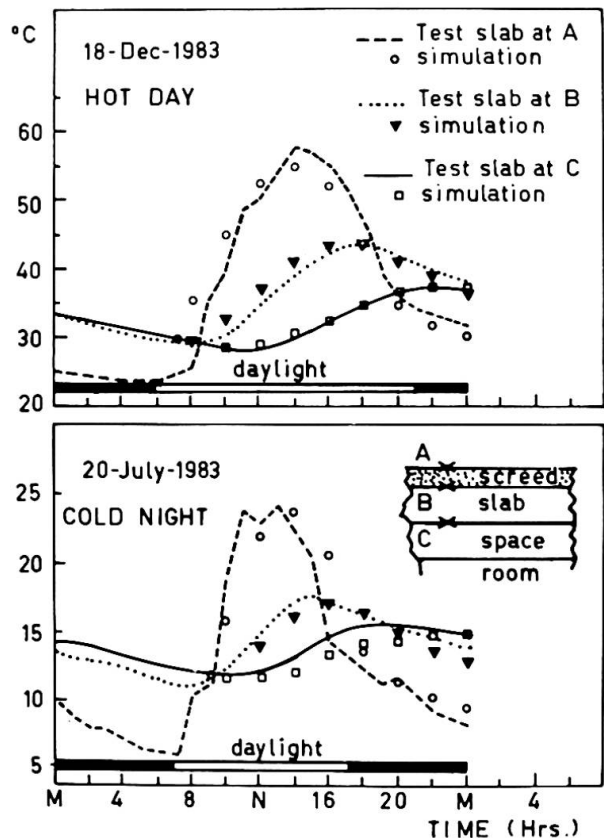
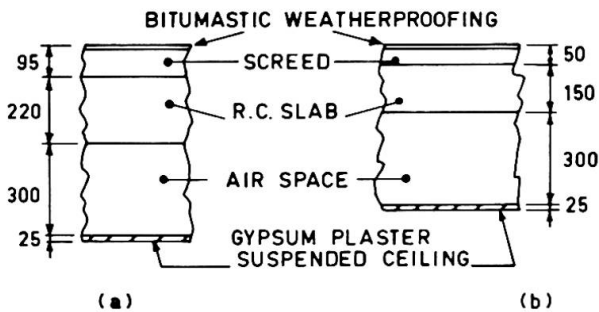


Fig. 4 Temperatures of Office Roof

## 5. PRODUCTION OF DESIGN CHARTS

In Australia the weather bureau records solar radiation at a number of sites. The network of stations was commissioned in 1968. In Adelaide, the Waite Agricultural Research Station has recorded solar radiation since 1958.



Using the theoretical model, daily extremes of effective temperature and thermal moment have been computed for the two roofs shown in Figure 5 assuming they are located in Adelaide and Darwin. The roof shown in Figure 5(a) is similar to that of the Adelaide office building mentioned above. The roof shown in Figure 5(b) is a thinner slab with less screed.

Fig. 5 Roofs for Design Charts

These two localities span the range of Australian climates. Adelaide has a mediterranean climate typical of much of Southern Australia. The Darwin climate is tropical with a summer wet season and is representative of the coastal margins of northern Australia. Allowing for equipment failure and the effects of cyclone Tracy in Darwin, a complete 20 year record is available for Adelaide but only a nine year record for Darwin.

Statistical analysis of the daily data yields the design charts given in Figures 6, 7 and 8. The extreme values appear to follow a normal distribution but there is an S shape to the scatter of points on the maximum value charts. The reason for this pattern is unknown. Detailed analysis of the results shows they fit the normal curve better than any other standard probability density function. However, given the scatter on the charts it is not recommended that they be used to estimate design values with a return period greater than 100 years.

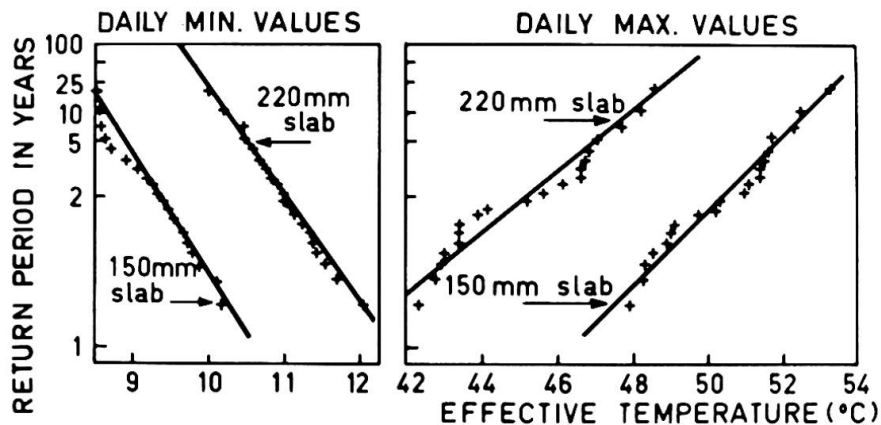


Fig. 6 Design Values of Effective Temperature - Adelaide.

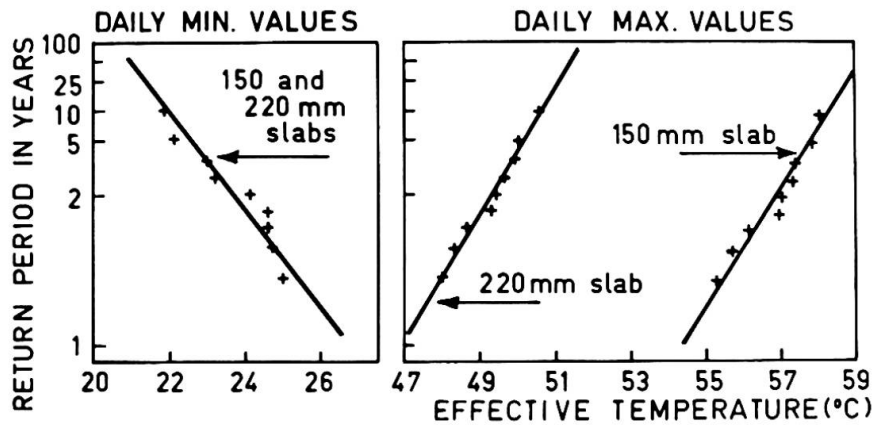


Fig. 7 Design Values of Effective Temperature - Darwin

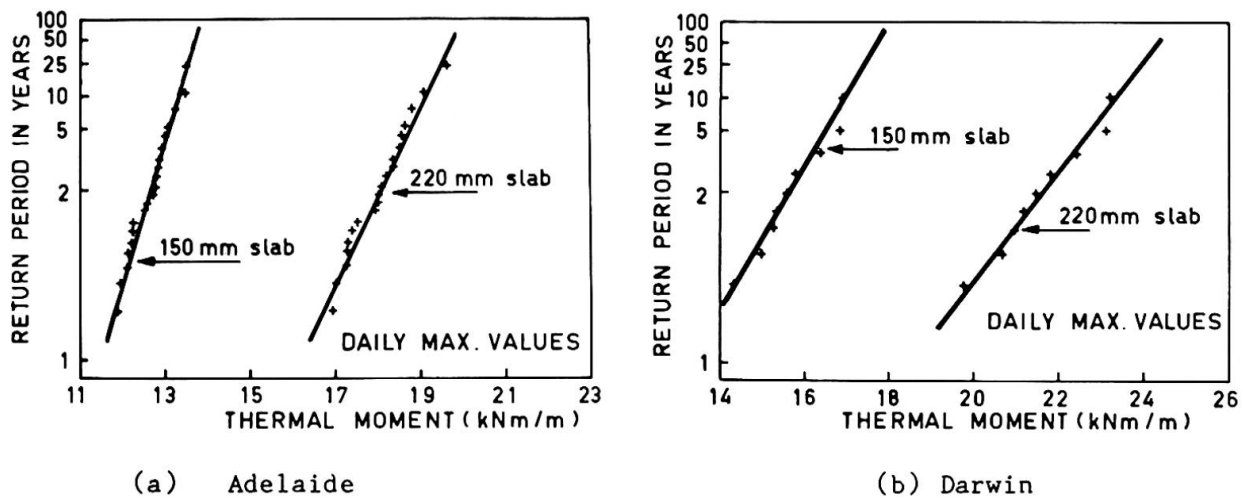


Fig. 8 Design Values of Thermal Moment

The thinner slab with its smaller thermal mass undergoes a greater temperature range. A thin slab cools down quickly overnight and can be heated to a higher temperature during the day. In the tropical climate of Darwin, with its small ambient temperature range, both thicknesses of slab reach essentially the same minimum temperature after overnight cooling.

## 6. CONCLUSIONS

A procedure has been presented to determine the characteristic values of thermal loading for roof slabs heated by solar radiation.

The procedure uses a theoretical model calibrated from field measurements, to generate daily values of the thermal loading parameters from the long term meteorological record available for a locality.

## 7. ACKNOWLEDGEMENTS

The financial support for this project from the Australian Research Grants Scheme is gratefully acknowledged.



## 8. REFERENCES

1. CAMPBELL-ALLEN, D. and HELFFENSTEIN, H.L., Cracking in Concrete - Its Extent and Causes. University of Sydney - School of Civil Engineering Research Report R253, September 1974.
2. NAASRA, Bridge Design Specification. National Association of Australian State Road Authorities, 1976.
3. I.S.O., Fifth Draft Proposal for an International Standard Temperature Climatic Actions. International Standards Organisation, July 1982.
4. WHITE, I.G., Non-linear Differential Temperature Distribution in Concrete Bridge Structures: A Review of Current Literature. Cement and Concrete Association (U.K.) Report No. 525, 1979.
5. HUNT, B. and COOKE, N., Thermal Calculations in Bridge Design. Journal of Structural Division - A.S.C.E., September 1975.
6. HIRST, M.J.S., Thermal Loading of Concrete Roofs. Journal of Structural Division - A.S.C.E., to be published.
7. ASHRAE, Fundamentals Handbook. American Society of Heating, Refrigeration, Air Conditioning Engineers, 1977.



Leere Seite  
Blank page  
Page vide

## Advanced Control Heating System for Residential Buildings

Système moderne de contrôle de chauffage pour des bâtiments d'habitation

Fortschrittliches Heizregelsystem für Wohnbauten

### Jürg GASS

Dr. phil, physicist  
EMPA

Dübendorf, Switzerland



Jürg Gass, born 1943, got his Ph.D in experimental nuclear physics at the University of Zürich. Since 1977 he has been working in the field of building physics where he is involved in different research projects, especially those pertaining to building monitoring and computer simulations.

### SUMMARY

The energy conservation potential of a microcomputer-based heating control system was evaluated in a total building monitoring project. This led to the conclusion that, due to a strong positive coupling effect between the control system and the inhabitants, a conservation potential of at least 25% can be expected.

### RESUME

Le potentiel de conservation d'énergie pour un système de contrôle de chauffage, basé sur un micro-ordinateur a été évalué dans un projet de mesure d'un bâtiment entier. Grâce à l'effet de couplage fortement positif entre ce système et les habitants, un potentiel de conservation d'au moins 25% peut être anticipé.

### ZUSAMMENFASSUNG

Innerhalb eines grösseren Messprojektes an einem gesamten Gebäude wurde das Energiesparpotential eines neuen Heizregelsystems ermittelt, das auf einem Mikroprozessor basiert. Dank einer starken positiven Wechselwirkung zwischen diesem Regelsystem und den Bewohnern ist ein Sparpotential von ca. 25% zu erwarten.



## 1. THE LIMMATSTRASSE PROJECT

The town of Zurich is owner of a complex of 25 old townhouses at the "Limmatstrasse" with a total of 225 apartments. During the early 70's it was discussed whether these buildings built in 1907/8 should be destroyed or renovated. An economical study showed that the buildings were worth renovating.

One part of the renovation was, that the apartments were brought to an up-to-date standard with new kitchens and new bathrooms. The heating by single heaters in the rooms was replaced by a new central heating system. A central hot water supply was also introduced. The new renovated houses offer quite good living conditions now (see Fig. 1) for a reasonable price.



The other part of the renovation was a thermal retrofit with the aim, that the comfort conditions should be raised without increasing the energy consumption. In this thermal retrofit an experiment was included to compare the efficiency of retrofits with different investment levels.

Fig. 1: View into one of the inner courtyards of the Limmatstr.-estate

The cases to be compared were:

- Zero level investmentcase (Type 0 building): One of the houses was kept without special thermal retrofits as a reference case for the evaluation of the retrofit efficiency of the other cases.
- Low level investment case (Typ 1 building): The standard thermal retrofit, applied to most of the houses, consisted mainly of triple glazed windows, additional insulation on part of the outside walls and thermostatic valves. The investment for these thermal retrofits was about SFr. 4'000.- per apartment.
- High level investment case (Type 2 building): One of the houses was used as an experimental house. The whole building envelope was especially well insulated. As a pilot study for high level retrofits on old buildings, different advanced systems were introduced as follows: a gas engine driven heat pump with sewage heat recovery and roof absorbers, a solar collector system for domestic hot water and a microcomputer based temperature control system for the heating.

For the comparison of the three cases, an intensive instrumentation system with more than 140 measuring channels was installed. The sensors were distributed in three different houses, each representing a case. The quantities measured were:

- Outside climate (air temperature, solar radiation, wind)

- Inside climate: In each of the houses all the room temperatures in two apartments have been measured as well as certain return temperatures in the heating system, in order to monitor whether the heating is on or off.
- Heating energy consumption: In each of the houses the heating energy consumption of five apartments, including the two with the monitored temperatures was measured.
- Advanced technical systems: In the heat pump and solar collector-system all the heat fluxes were measured to determine the performance of these systems. Special measurements have been made in the "temperature control system" to investigate its use by the inhabitant.

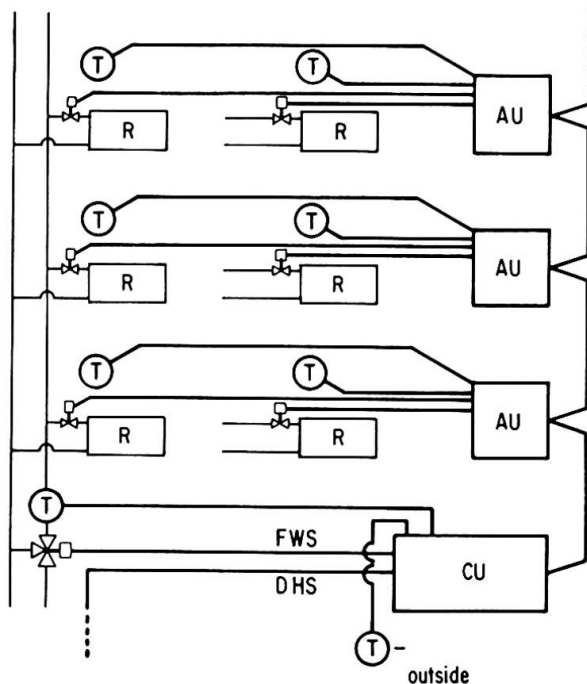
## 2. THE CONTROL SYSTEM

### 2.1. Technical aspects

The experimental house is equipped with an advanced, microcomputer-based temperature control system, which allows individual, time dependent temperature set points for each room. The system also delivers the information for individual charging of the heating costs.

A schematic view of the heating and the temperature control system is given in Fig. 2. In the actual case, the system was realized for ten apartments with 5 controlled rooms per apartment.

The function of this control system can be described on three different levels:



- Each controlled room is equipped with a temperature sensor, which delivers the actual temperature value and a control valve, which regulates the heat supply to the room. All the valves and temperature sensors are connected to a substation, called the apartment unit.
- Each apartment is equipped with such an apartment unit (see Fig. 3). It transmits the temperature values from the sensor to the central unit and the adjusting values for the control valve from the central unit to the valve. It also enables the inhabitant to communicate with the central unit. There he can choose for each room a different program of temperatures (a maximum of 4 steps). The information is stored in the central unit. The allowed temperatures to be chosen are limited to the range of 15°C to 22°C.

Fig. 2: Schematic view of the control system

AU = Apartment unit  
R = Radiator  
DHS = Deficiency heat supply  
CU = Central unit  
FWS = Feedwater supply



The whole system is run by the central unit. It stores the information of the inhabitants programs and calculates the adjusting values for the room control valves. The supply water temperature and the deficiency heat supply (when the heat pump does not deliver enough heat) are also controlled by the central unit.

**Fig. 3: The apartment unit with the programming possibilities**

The central unit and the apartment substations are connected to a loop by a simple telephone wire for serial data transmission, which allows easy installation. The supply water temperature is controlled in such a way that the mean position of the room control valves is one third open. In this way, the total heat distribution system is controlled by the actual needs of the house. This allows an optimal use of the free heat. The maximum supply water temperature is limited to 55°C, in order to give preference to the heat supplied by the heat pump.

The system produces also a distribution index for the individual charging of the heating costs. This distribution index is based on the time integral over the difference between the measured outside temperature and the demanded room temperature. It also takes into account the size of the room. So the individual inhabitant is charged for the demanded temperature comfort and not for the consumed heat. The advantage of this method is that there is no "punishment" for an unfavourable position of the apartment but there is also the disadvantage, that there is no "punishment" for an excessive opening of windows.

## 2.2. The use of the control system by the inhabitants

To investigate the use of this programmable control system by the inhabitant, the programming activity was itself especially monitored.

A typical program is given as follows:

0 - 5 h: 17°C      5 - 16 h: 20°C      16 - 21h: 22°C      21 - 24 h: 17°C

However programs with 15°C or 24°C constant during the day were also found.

An interesting question poses itself: To what extent was this programming facility used by the inhabitants. The complexity of the chosen programs is represented by the number of set point changes during the day. This number shows how far the inhabitant was willing to adapt the programs to his real needs.

The statistics of the set point changes in all the programs is as follows:

No changes	42 % of the programs
Two changes	41 % of the programs
Three changes	7 % of the programs
Four changes	10 % of the programs



Another figures, which shows how intensively the programming facility was used is the frequency of modification of the programs has been changed during the heating season (200 days) according to the changing needs of the inhabitants. These figures are:

less than 6 changes:	5 apartments
between 6 and 12 changes:	3 apartments
more than 12 changes:	2 apartments

The different use of this control system led to a variation of the temperature comfort (integrated difference between inside and outside) of 1 to 1.5 which means that the least economizing inhabitant uses 50 % more heat than the most economizing one.

These above results for this prototype installation show that in the case of series production, certain simplifications are necessary for an efficient use of programs. There are in the new version a default program with dual set back (day and night) as well as a switch for a constant set back which operates during times, where the inhabitant will be absent is afforded.

### 3. COMPARISON OF THE ENERGY CONSUMPTION OF THREE BUILDINGS

In the experiment, the energy consumption of three different houses (each one of the types 0, 1 and 2) was measured during two heating seasons. These three buildings had several differences (see table 1) which have to be taken into account when evaluating the results.

For a better understanding of the results, the heat consumptions for the same periods have been calculated with a simple steady state model, assuming the same boundary conditions and the same influence of the control system for all of the three buildings. The results for a full heating season are given in table 2.

The calculated results show the differences due to the variations in the building envelope, taking also into account the larger contribution of the free heat with increased insulation. The deviations of the measured from the calculated figures show the differences of the inhabitants influence combined with the different control systems.

	Type 0	Type 1	Type 2
Heating System	Radiators under the windows, design temperature for the supply water 90°/70°C	as Type 0	Radiators at interior walls, design temperature for the supply water 55°/40°C
Control System	Supply water temperature controlled by outside thermostat + manual values	as type 0 + thermostatic valves	micorcomputer control system (see chap. 2)
Building envelope	no insulation single glaze windows + storm windows	partical insulation, triple glazed windows	full insulation triple glazed

Table 1: Main differences of the test buildings influencing the heat consumption



	Measured	Calculated	Deviation of measured from calculated
Building type 0	219,4 GJ	190,4 GJ	+ 15 %
Building type 1	219,1 GJ	162,4 GJ	+ 35 %
Building type 2	101,1 GJ	133,5 GJ	- 24 %

Table 2: Comparison of calculated and measured energy consumption for the three test buildings.

That there is an important inhabitant influence, differing from one building to the other, can be seen by looking at the energy signatures (see fig. 4). These energy signatures show the monthly energy consumptions as a function of the monthly mean outside temperature.

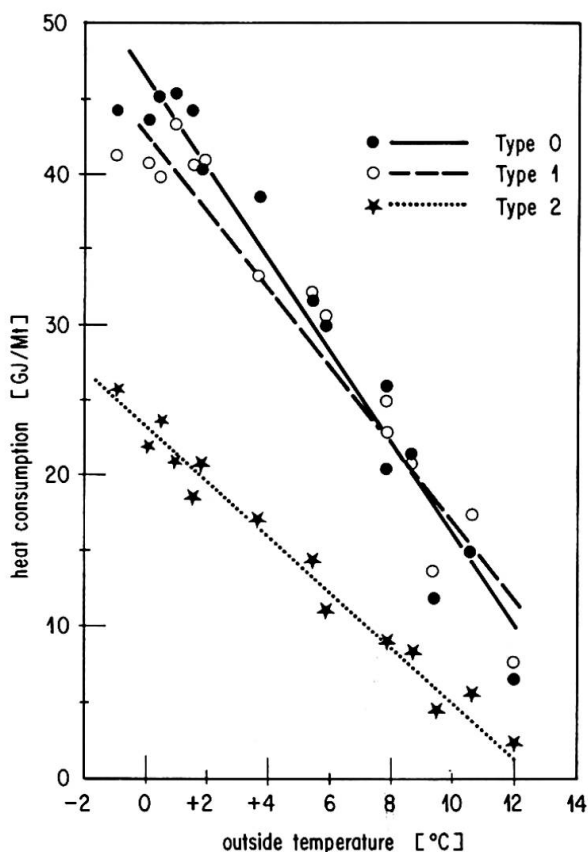


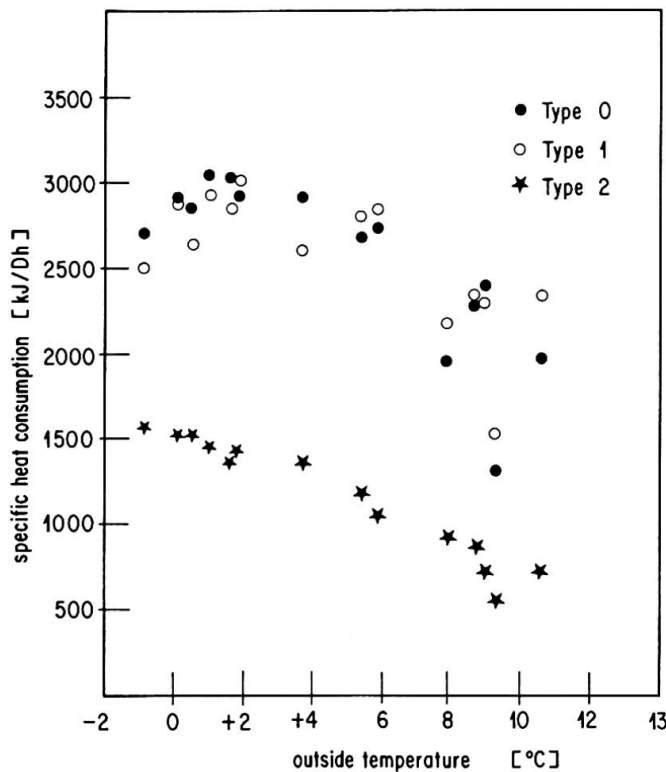
Fig. 4: Energy signatures of the three test buildings

The lines for the buildings type 0 and type 1 are crossing at an outside temperature of 8°C. Without inhabitants, one would expect for the type 1 building a line, always below the type 0 building line because of the somewhat better insulation. This difference should be bigger for higher outside temperatures due to the greater amount of free heat, which should be more efficiently used in the type 1 building with thermostatic valves. The fact that the energy consumption of the type 1 building, especially in the spring period, is even higher than the consumption of the type 0 building must be due to excessive window opening increasing with higher outside temperatures.

#### 4. INFLUENCE OF THE ADVANCED CONTROL SYSTEM

As the experiment was rather complex, which means, that the building with the microcomputer-control system includes also a lot of other differences influencing the heat consumption, the isolation of the influence of the control system alone is difficult and not completely possible.

The importance of the role of a control system can be seen by looking at the specific heat consumption in KJ/DH (DH = degree hour) (see fig. 5). If there were no free heat and no user influence, the values would be the same for one type of building for all the outside temperatures. Now in the case of the type 0 and 1 buildings, with only outside thermostatic control and thermostatic valves respectively, the values are generally increasing with lower outside temperatures, which is coupled to a lower amount of free heat available from the sun. For temperatures below 2°C, the values are decreasing again. This must be due to a reduction in the opening of windows out of comfort reasons. That there is an important amount of temperature control by the windows can also be seen from the large scatter of data points caused by the statistical scattering of the inhabitants behaviour.



In the type 2 building with the microprocessor control system, the values are increasing monotonously with lower outside temperatures and with a much smaller scatter, showing that the temperature control is really done by the control system in an energy efficient way.

For the quantification of the energy conservation potential of the control system, one has to consider the relation between the actual energy consumption including the inhabitants behaviour and the calculated one with the given boundary conditions without inhabitants.

Fig. 5: Specific heat consumption of the three test buildings for two heating seasons (DH = degree hour)

The buildings type 0 and 1 are using 15 % and 35 % respectively more heat than the calculated case where as the building type 2 is 24 % below the calculated case.

There are two effects independent of the control system, which may be contributing to a lower energy consumption of the building type 2:

- The radiators are mounted along an inside wall causing lower surface temperatures at the inner side of the outside walls and smaller convective air currents along the windows.
- The average age of the inhabitants is somewhat smaller in comparison with the other buildings. The general attitude towards energy conservation may be different.





If one takes into account, that the building type 1 may not be representative concerning the inhabitants behaviour, that the accuracy of the calculation (especially the utilization of free heat) is limited and that there are other effects reducing the energy consumption in the building type 2 (as mentioned above), one can still postulate an energy conservation potential of at least 25 % for the control system and its coupling to the inhabitants behaviour. This coupling to the inhabitants behaviour is important and means that the comparison in buildings without inhabitants will never give a similar result.

The energy conservation effect of the control system itself is based on the following facts:

- The temperature comfort can be limited to the times, when it is really needed.
- The algorithm in the microprocessor allows one to follow the setpoints in each room precisely.
- The supply water temperature is controlled according to the needs for heat of the building. In this way, the heat emission of the total distribution system is controlled.

The coupling effect between control system and inhabitant may be mainly due to:

- The definition of the temperature setpoint in a digital way (input at the apartment unit) creates a better understanding of a thermostat function than a thermostatic valve.
- The possibility for the individual billing of heating costs, which is connected to the control system enhances the will for energy conservation (this possibility was not used at its full extent, but an award was paid to the most economizing inhabitant).
- The better quality of the temperature control prevents an overheating, also in situations of high solar radiations, so that no additional temperature control by opening the windows is necessary.

It is clear, that the guessed energy conservation potential of this control system is valid for this individual case only and the result has been evaluated in connection with other changes in the buildings, which cannot be separated properly. At the moment, another project is on the way, where the influence of this control system can be looked at separately.

## Untersuchungen von Gebäudehüllen mit Hilfe der Infrarot-Thermographie

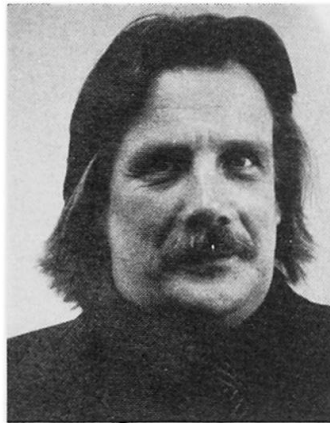
Checking the Thermal Insulation of Buildings by Means of Infrared Thermography

Contrôle des façades au moyen de la thermographie infrarouge

### Rolf BEYER

Dipl.-Ing.  
Consult. Eng.

Düsseldorf, Bundesrep. Deutschland



Rolf Beyer, geboren 1943. Studium FH Wuppertal und Ruhr Universität Bochum. Seit 1976 als Beratender Ingenieur selbständig. Lehrbeauftragter der Universität Gesamthochschule Wuppertal. 1978/79 Gründung und Partner der Gesellschaft für Sondermessungen GSI mbH, Düsseldorf und der Beyer-Hartmann-Ing.-Sozietät. Beschäftigungsgebiet: Statik, Konstruktion, Energieeinsparung, Thermographie.

### ZUSAMMENFASSUNG

Eine weltweite Verknappung und ständige Verteuerung der Primärenergie führt zu höheren Anforderungen an den Wärmeschutz von Gebäuden. Eine wichtige Möglichkeit, die Wärmedämmung von Gebäudehüllen zu überprüfen und Schwachstellen sichtbar zu machen, ergibt sich mit Hilfe der Infrarot-Thermographie. Die IR-Thermographie ist ein berührungsloses Messverfahren im Infrarotbereich des elektromagnetischen Wellenspektrums. Es dient zur Auffindung von Wärmeverlusten in Form von thermischen Schwachstellen, Wärmebrücken und anderen wärmetechnischen Leckagen.

### SUMMARY

The worldwide shortage and constantly rising cost of primary energy are leading to higher standards in the thermal insulation of buildings. An important method of checking the thermal insulation of buildings and exposing weak points is provided by the use of infrared thermography. IR thermography is a no-contact measurement process in the infrared range of the electromagnetic wave spectrum. It is used for locating heat losses in the form of thermal weak spots, thermal bridges and other thermal leaks.

### RESUME

Une pénurie mondiale et une augmentation permanente du coût de l'énergie primaire conduisent à de plus grandes exigences pour la protection des bâtiments contre les pertes de chaleur. Le contrôle de l'isolation thermique des façades et la mise en évidence de points faibles peut être réalisé par la thermographie infrarouge. Cette dernière représente un procédé de mesure sans contact, dans la gamme infrarouge du spectre des ondes électromagnétiques; elle sert à détecter les pertes de chaleur sous la forme de "points faibles" thermiques, de ponts de chaleur ou d'autres fuites thermo-techniques.



## 1.    EINLEITUNG

Durch die weltweite Verknappung und ständige Verteuerung der Primärenergie werden in vielen Staaten der nördlichen Halbkugel höhere Anforderungen an den Wärme- und Feuchtigkeitsschutz von Gebäuden gestellt. In der Bundesrepublik Deutschland ist seit dem 1.1.1984 eine neue, verschärfte Wärmeschutzverordnung in Kraft getreten. Diese Neufassung der Wärmeschutzverordnung soll die mittleren, rechnerischen Transmissionswärmeverluste, ausgedrückt durch k-Werte, weiter bis etwa 20 - 25 % gegenüber dem Anforderungsniveau des Jahres 1977 absenken. In der neuen Wärmeschutzverordnung werden nun auch erstmalig bei baulichen Änderungen an bestehenden Gebäuden Anforderungen an den Wärmeschutz gestellt. Energieeinsparung in Wohn- und sonstigen Gebäuden ist aber nur durch die Summe vieler, aufeinander abgestimmter Maßnahmen und vor allen Dingen durch deren Kontrolle möglich.

Eine wichtige Möglichkeit, die Wärmedämmung der Gebäudehüllen zu überprüfen, zu dokumentieren und zu beurteilen, ergibt sich mit Hilfe der Infrarot-Thermographie. Die Thermographie ist ein berührungsloses Meßverfahren im Infrarotbereich zur flächendeckenden Ermittlung von Oberflächentemperaturen und zur Auffindung von Wärmeverlusten in Form von Wärmebrücken, Undichtigkeiten und thermischen Schwachstellen.

Diese Vorteile lassen sich zur wärmetechnischen Beurteilung von Gebäudehüllen gut anwenden. Bauphysikalische Mängel, Planungsfehler und mangelhafte Ausführung sind mit dieser Methode in der Heizperiode zu erkennen. Durch rechtzeitiges Aufdecken dieser Mängel können so dauerhafte Schäden an den Gebäudehüllen vermieden werden. Die Oberflächentemperaturen eines Gebäudes sind von einer Reihe von Einflüssen abhängig, die bei thermographischen Bewertungen von Gebäuden zu berücksichtigen sind. Bei sorgfältiger Beachtung der Randbedingungen, auf die in Abschnitt 4 noch eingegangen wird, sind je nach Aufwand qualitative und auch quantitative Aussagen über den aktuellen thermischen Zustand der Gebäudehülle möglich. Mit dieser Methode wird damit ein Beitrag geleistet, die thermische Qualität von Gebäuden zu erhöhen und zu verbessern. Auch hier ist, wie in anderen Fachbereichen, neben einer entsprechenden Gerätekonfiguration auch entsprechendes Fachpersonal erforderlich. Darüber hinaus sind ausreichende bauphysikalische Kenntnisse wichtig, um die Meßergebnisse zu interpretieren und Vorschläge für eventuelle Verbesserungen und Sanierungsmaßnahmen zu unterbreiten.

## 2.    PHYSIKALISCHE GRUNDLAGEN

Das menschliche Auge nimmt elektromagnetische Strahlung im Bereich von 0,4 - 0,8  $\mu\text{m}$  in Form von sichtbarem Licht wahr. Das Sonnenlicht enthält neben dem sichtbaren Licht auch ultraviolette und infrarote Strahlung. Das sichtbare Licht und die Infrarotstrahlung sind ebenso elektromagnetische Wellen wie Röntgen- und Gammastrahlen oder Rundfunk- und Fernsehwellen. Alle elektromagnetischen Wellen unterliegen den gleichen physikalischen Gesetzmäßigkeiten. Sie unterscheiden sich nur in ihrer Wellenlänge und Frequenz. Eine Übersicht des elektromagnetischen Spektrums zeigt Bild 1. Der Mensch kann die Infrarotstrahlung, die ständig auf uns einwirkt, zwar nicht sehen, bei starker Intensität aber auf der Haut spüren. Die Infrarotstrahlung ist ein wichtiger Informationsträger über den augenblicklichen physikalischen Zustand und die chemische Zusammensetzung der uns umgebenden Körper. Auch die Menschen selbst sind Temperaturstrahler. Entdeckt wurde der infrarote Strahlungsanteil im elektromagnetischen Spektrum der Sonnenstrahlung durch den Engländer, Sir William Herschel. Jeder Körper mit einer größeren Temperatur  $T$  als 0 K besitzt thermische Energie. Die Energie wird nach bestimmten physikalischen Gesetzen abgestrahlt, und zwar im langwelligen Bereich des elektromagnetischen Spektrums. Nach dem von Max Plank formulierten Strahlungsgesetz ist die spektrale Strahlungsdichte einer von einem schwarzen Körper ausgehenden Strahlung direkt abhängig von der Wellenlänge und dessen absoluter Temperatur. Die materielle Beschaffenheit des Körpers spielt dabei aber keine Rolle.

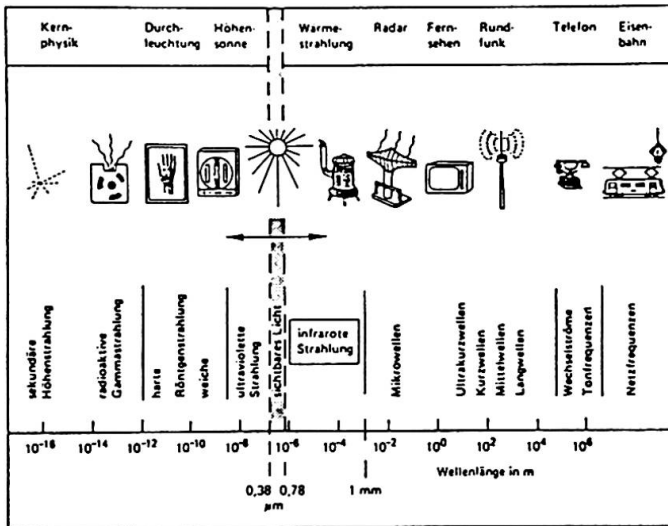


Fig. 1 Elektromagnetisches Wellenspektrum [ 1 ]

In Abhängigkeit von der Temperatur hat die Wärmestrahlung eine sehr unterschiedliche spektrale Zusammensetzung. Je höher die Temperatur ist, desto größer ist der Strahlenanteil im Bereich des sichtbaren Lichtes. Auch das Maximum der spektralen Strahlungsdichte verschiebt sich zu kurzen Wellenlängen. Mit guter Näherung beschreibt das Wiensche Verschiebungsgesetz diesen Zusammenhang.

$$\lambda = \frac{2900}{T} \text{ [ } \mu\text{m} \text{ ]}, \quad ( 1 )$$

mit T in K.

Fig. 2 zeigt die spektrale spezifische Abstrahlung eines absolut schwarzen Körpers.

Der für die Infrarotthermographie von Gebäudehüllen interessante Bereich ist die Fläche unterhalb der 300 K-Kurve, was in etwa der Umgebungstemperatur entspricht. Aus dieser Kurve kann man weiter zwei wesentliche Dinge ablesen.

1. Das Strahlungsmaximum liegt bei ca. 10 μm
2. Die Strahlungsintensität unterhalb von ca. 2,5 μm ist fast Null und fällt vom Strahlungsmaximum zu kurzen Wellenlängen relativ steil ab.

Die gesamte spezifische Abstrahlung setzt sich aus der Strahlung in den einzelnen Wellenlängenbereichen zusammen. Nach Stephan - Boltzmann ist die gesamte abgestrahlte Leistung eines Körpers proportional der vierten Potenz seiner Temperatur

$$M_S = \sigma \cdot T^4 \text{ [ W/m}^2 \text{ ]} \quad \text{mit } \sigma = 5.67 \cdot 10^{-8} \text{ [ W/(m}^2 \text{ K}^4 \text{ ) ]} \quad ( 2 ).$$

Die Gleichung ( 2 ) gilt allerdings nur für den absolut schwarzen Körper. In der Baupraxis gibt es solche Körper nicht. Baukörper senden nur einen Teil der Strahlung des schwarzen Körpers aus. Die von einer Oberfläche emittierte Strahlung hängt außer von der Temperatur auch von der Oberflächenbeschaffenheit ab.

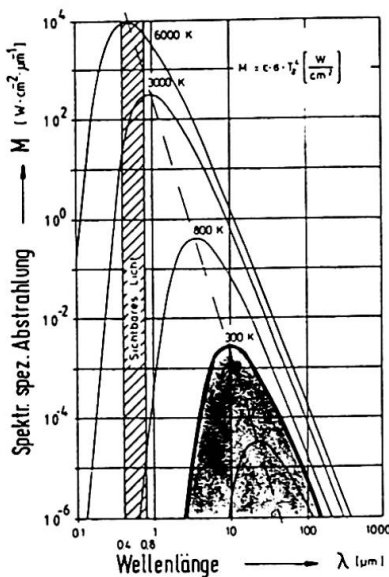


Fig. 2 Spektrale spezifische Abstrahlung eines absolut schwarzen Körpers [ 2 ]

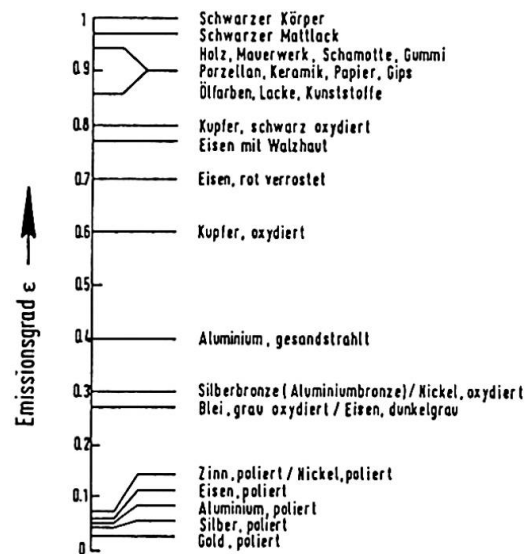


Fig. 3 Emissionsgrad einiger Materialien bei 10 μm [ 3 ]



Das Verhältnis der Abstrahlung eines realen Körpers mit bestimmter Oberfläche (Struktur, Farbe, Material) zu der eines schwarzen Körpers gleicher Temperatur nennt man Emissionsgrad  $\epsilon$ . Beim absolut schwarzen Körper ist  $\epsilon = 1$ . Der Emissionsgrad einiger Materialien ist in Fig. 3 zusammengestellt. Der Emissionsgrad guter, elektrisch leitfähiger Materialien nimmt im Infrarotbereich sehr niedrige Werte an, wie Fig. 3 zeigt. Flächen aus Gold und Silber wirken daher fast wie ideale Spiegel für jede Wärmestrahlung der Umgebung. Die Auswirkung des Emissionsgrades auf das Wärmebild ist in Fig. 4 [ 1 ] dargestellt. Zum Zeitpunkt der Messung haben die Oberflächenmaterialien etwas unterschiedliche Temperaturen. Diese Unterschiede sind auch im Thermogramm in der rechten oberen Bildhälfte gut zu erkennen. Bei Beton und Holz ist der Unterschied der geschwärzten zu den ungeschwärzten Teilflächen gering. Der Emissionsgrad ist nur geringfügig kleiner als eins. Die nicht geschwärzte Aluminiumoberfläche ist im Thermogramm (rechte Bildhälfte unten) deutlich dunkler als die übrigen Flächen. Man erkennt daraus, daß die Fläche einen sehr geringen Emissionsgrad hat, der hier ungefähr bei 0,4 (Aluminium gesandstrahlt) liegt.

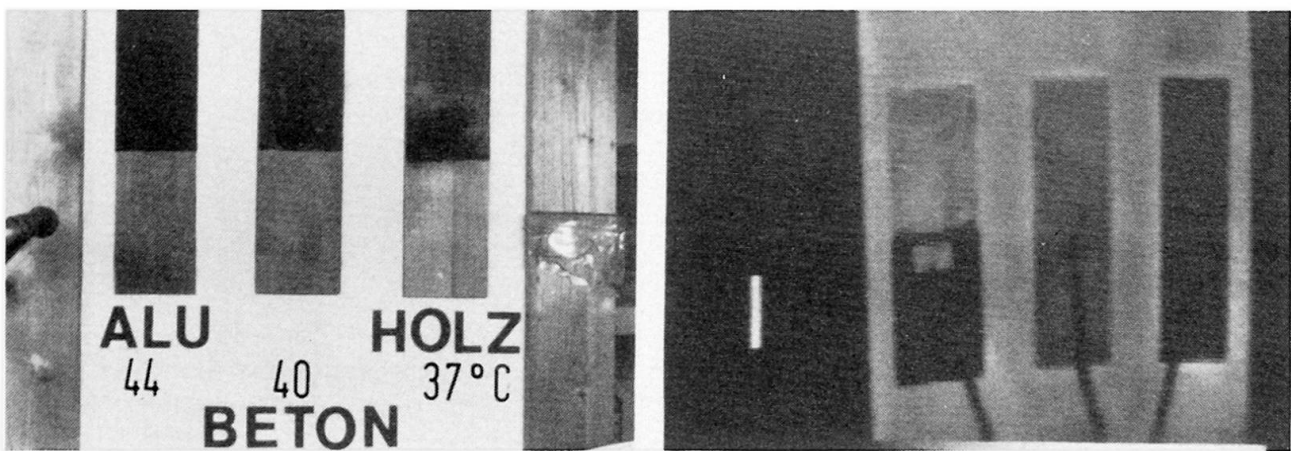


Fig. 4 Orientierungsaufnahme und Thermogramm von Materialproben [ 1 ]

Bei der Untersuchung von Gebäudehüllen ist darauf zu achten, daß entsprechende Metalloberflächen, die im Thermogramm dunkler erscheinen, nicht kälter sind, sondern die ermittelten Temperaturen mit den entsprechenden Emissionsfaktoren nach Fig. 3 korrigiert werden müssen.

Da die Infrarotthermographie ein berührungsloses Meßverfahren ist, muß die emittierte Strahlung auf dem Weg vom Objekt zur IR-Kamera die Atmosphäre durchdringen. Die Atmosphäre absorbiert jedoch in bestimmten Wellenlängenbereichen einen Teil der Infrarotstrahlung und zwar umso mehr, je größer die Entfernung Objekt-IR-Detektor ist. Aus diesem Grunde werden thermographische Messungen in absorptionsfreien Wellenlängenbereichen, den sogenannten atmosphärischen Fenstern, durchgeführt, siehe Fig. 5. Wie Fig. 5 zeigt, liegen diese Fenster zwischen 3,5 - 5  $\mu\text{m}$  kurzwellig und zwischen 8,5 - 12,5  $\mu\text{m}$  langwellig. Innerhalb dieser Fenster hängt der von der Atmosphäre absorbierte und abgestrahlte Energiebetrag hauptsächlich von der Menge des vorhandenen Wasserdampfes ab.

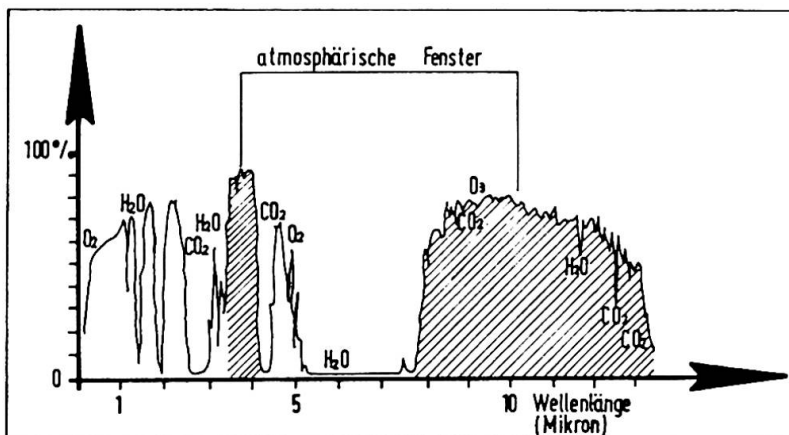


Fig. 5 Atmosphärische Transmission

### 3. GERÄTEKONFIGURATION

Ein Versuch, die auf dem Markt befindlichen infrarot-optischen Geräte zu systematisieren und zu bezeichnen, zeigt Tafel 1 /3/. Unter Thermographiegeräten werden hier Geräte verstanden, die aufgrund ihres Aufbaus und ihrer Ausstattung dazu geeignet sind, als Meßgeräte eingesetzt zu werden, s. Tafel 1 rechte untere Hälfte.

Tafel 1		
INFRAROT - OPTISCHE GERÄTE		
<p><b>INFRAROT-KAMERAS:</b> Abbildung auf infrarotempfindlichen Schichten mit einem nachfolgenden Signalverarbeitungsprozeß wie Entwickeln oder elektrisches Abtasten</p> <p>Kamera mit infrarotempfindlichen Filmen</p> <p>Fernsehkamera mit pyroelektrischem Vidicon</p>	<p><b>INFRAROT-STRAHLUNGSSICHTGERÄTE:</b> abtastende Geräte zur Spektraltransformation in den sichtbaren Bereich unter Verwendung von Einzeldetektoren und/oder Detektorarrays</p> <p>Wärmeortungsgeräte Anzeige der Strahldichte entlang einer geometrischen Linie</p> <p>Wärmebildgeräte Anzeige der Strahldichte über einer geometrischen Fläche</p>	<p><b>INFRAROT-STRAHLUNGSMESSGERÄTE:</b> abtastende Geräte zur berührungslosen Temperaturmessung unter Verwendung von Einzeldetektoren und elektronischen Auswerteeinheiten</p> <p>Strahlungsthermometer Anzeige der Temperatur als Funktion der Zeit für einen definierten Meßfleck</p> <p>Linescanner Aufzeichnung der Temperatur entlang einer geometrischen Linie während einer definierten Zeitspanne (Abtastzeit)</p> <p><b>Thermografiegeräte</b> Aufzeichnung der Temperatur über einer geometrischen Fläche während einer definierten Bildlaufzeit</p>

Das wichtigste Teil der Thermographiegerätekonfiguration ist die Infrarot-Kamera, siehe Fig. 6. Sie besteht im wesentlichen aus den folgenden Bauteilen:

1. dem Objektiv  
Es ist ähnlich aufgebaut wie bei normalen Fotoapparaten. Das Material, z.B. Germanium, Silizium, Saphir oder Spezialgläser, ist jedoch entsprechend infrarotdurchlässig. Je nach Aufnahmebedingungen kann mit unterschiedlichen Objektiven gearbeitet werden.
2. dem optischen, mechanischen Abtastsystem  
Es funktioniert ähnlich wie bei einem Fernsehaufnahmesystem. Die wärmeabstrahlende Fläche wird punktwise in sehr schneller Reihenfolge abgetastet und von horizontal und vertikal angeordneten, rotierenden Scannings-Prismen auf den Detektor weitergeleitet. Um das abgetastete Bild je nach Prismenstellung in definierte Punkte konstanter Abtastdauer zu zerlegen, ist zwischen Ablenssystem und Detektor eine rotierende Blende angeordnet, siehe auch Fig. 6.
3. dem Detektor, als dem wichtigsten Baustein der IR-Kamera  
Er besteht aus einem winzigen Halbleiterelement, das nacheinander die auffallende Strahlung der abgetasteten Bildpunkte des Objekts in elektrische Signale umwandelt. Nach Verstärkung werden diese Signale synchron zur Abtastung auf den Bildschirm einer Kathodenstrahlröhre zu einem sichtbaren Wärmebild zusammengesetzt. Diese Bildwiedergabe, auch Thermogramm genannt, entsteht ähnlich wie ein Fernsehbild durch punktwisen Aufbau.  
In modernen Thermographiegeräten werden vorwiegend Quanten-Detektoren verwendet. Abgestimmt auf die Lage des atmosphärischen Fensters, siehe Fig. 5 werden in konventionellen Systemen zwei unterschiedliche Typen eingebaut.
  - a) Detektoren, In Sb (Indiumantimonid) Kurzwellenbereich von 2 - 5,5  $\mu\text{m}$
  - b) Detektoren, MCT (Quecksilber Cadmium Tellurid) von 8 - 14  $\mu\text{m}$ .

Fast alle schnellarbeitenden Quanten-Detektoren müssen während des Betriebes permanent gekühlt werden, um optimale Signal-/Rauschverhältnisse zu erzielen. Als Kühlmittel auf die erforderliche Betriebstemperatur von  $-196^{\circ}\text{C}$  dient vor allen Dingen flüssiger Stickstoff für mobile Systeme. Eine Füllung des für den Stickstoff vorgesehenen Dewar-Gefäßes reicht in der Regel für 2 bis 3 Stunden Betriebsdauer.

Fig. 6 zeigt den Aufbau einer IR-Kamera. Moderne Infrarot-Kameras haben ein sequentielles Bildabtastsystem mit 25 Teilbildern pro Sekunde und je fast 28.000 Bildpunkten pro Bild. Dadurch behält man ein relativ flimmerfreies und detailliertes Wärmebild des untersuchten Objektes. Der Meßbereich der Kameras liegt zwischen ca.  $-30^{\circ}$  und  $+1600^{\circ}\text{C}$ .

Der zweite wichtige Bestandteil der Gerätekonfiguration ist das Bildwiedergabegerät. Hier erscheint das Wärmebild als fünfstufiges Grautonbild auf dem Monitor



eines Oszillographen. Im Schwarz/Weiß-Wärmebild entsprechen die dunklen Grauton-Bildpunkte niedrigen Temperaturen und Bildabschnitte mit hellen Grauton-Bildpunkten höheren Temperaturen. Der Größenausschnitt des Wärmebildes wird durch den Detektor und die Kameraoptik bestimmt, die mit Winkelauflösungen zwischen 5,8 mrad und ca. 1 mrad arbeiten. Bei Verwendung einer 20° Optik, die sich für die Gebäudethermographie gut eignet, erhält man bei 10 m Entfernung vom Objekt einen Bildausschnitt von ca. 3,5 qm. Im Bereich der Gebäudethermographie können die Oberflächentemperaturen unter 1° C genau gemessen werden. Das Wärmebild (Thermogramm) unterscheidet sich grundlegend von einem Normalfoto. Das Foto gibt

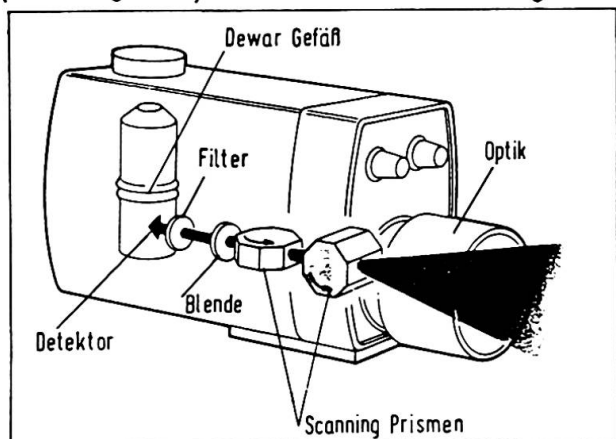


Fig. 6 Aufbau einer IR-Kamera

die von einem Objekt reflektierte Strahlung im sichtbaren Bereich des elektromagnetischen Wellenspektrums wieder. Das Thermogramm gibt die vom Objekt emittierte Eigenstrahlung innerhalb der Empfindlichkeit der IR-Kamera wieder. Das Wärmebild hat eine gröbere Struktur und eine diffusere Konturenwiedergabe. Das liegt vor allen Dingen daran, daß die Wärmeverteilung an der Objektoberfläche fließendere Übergänge ergibt. Um Temperaturunterschiede innerhalb eines Wärmebildes leichter erkennen und ausmessen zu können, sind ein Teil der IR-Kameras mit einer Isothermenfunktion ausgerüstet. Mit dieser

Funktion ist es möglich, im Thermogramm Bereiche gleicher Temperatur durch helle Linien darzustellen. Man erhält ein sogenanntes Isothermenbild. Die Isothermen können auf eine beliebige Temperatur im Bild gelegt werden. Soll so die tatsächliche Oberflächentemperatur ermittelt werden, so sind zusätzlich eine Temperatur an einem Referenzpunkt innerhalb der Meßoberfläche als auch der Emissionsgrad der Referenzoberfläche und des Meßobjektes erforderlich. Mit diesen Werten und den entsprechenden Kalibrierungskurven der Kamera können die augenblicklichen Oberflächentemperaturen nach Gleichung (3) berechnet werden.

$$I_1 = f(\vartheta_1) = \frac{\Delta I_{12}}{\varepsilon_1} + \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1} I_2 + \left(1 - \frac{\varepsilon_2}{\varepsilon_1}\right) I_u \quad (3)$$

Hierin bedeuten:

$\vartheta_1, \vartheta_2$       Temperatur in Punkt 1 bzw. 2 des Meßobjektes

$\vartheta_u$               Umgebungstemperatur

$I_1 = f(\vartheta_1)$  Funktionswert  $\vartheta_1$  aus der Kalibrierungskurve  
 $I_2 = f(\vartheta_2)$  Funktionswert  $\vartheta_2$  aus der Kalibrierungskurve  
 $I_u = f(\vartheta_u)$  Funktionswert  $\vartheta_u$  aus der Kalibrierungskurve

$\varepsilon_1, \varepsilon_2$       Emissionsgrad in Punkt 1 bzw. 2 des Meßobjektes

$\Delta I_{12}$           Differenz der Isothermen Einheiten zwischen den Isothermen-Markierungen für Punkt 1 und 2.

Außerdem lassen sich die Oberflächentemperaturbereiche und die jeweiligen Isothermeneinheiten den entsprechenden Temperaturen zuordnen.

Für den praktischen Geräteeinsatz vor Ort am Objekt und bei der Laborauswertung haben sich ein speziell adaptierter Videorecorder und ein Farbmonitor bestens bewährt. Mit diesem Aufzeichnungsgerät ist es möglich, die Messung vor Ort aufzuzeichnen, um sie dann im Labor mit der nötigen Sorgfalt auswerten zu können. Dabei kann es von Vorteil sein, das erstellte Videobild unter mehreren Gesichtspunkten auszuwerten. Zum einen kann die Information zur Umwandlung der Graustufenbilder in Colorthermogramme benutzt werden. Hierbei werden in einem weiteren Zusatzgerät, dem Farbmonitor, die fünf Graustufentöne zehn Farbstu-



fen zugeordnet. Mit dieser Farbskala können entsprechende Colorthermogramme erzeugt werden, die in vielen Fällen eine bessere Interpretation des Objektes erlauben. Eine weitere Möglichkeit, die Gerätekonfiguration zu erweitern, ist ein Zusatzgerät zur analog/digital-Wandlung der Meßdaten. Damit wird es möglich, über einen Mikrocomputer und Plotter ein entsprechendes digitales Thermogramm zu erzeugen. Mit Hilfe dieser Digitalbilder werden weitere computermäßige Verarbeitungen und Auswertungen der Thermogramme möglich.

#### 4. THERMOGRAPHISCHE MESSUNG

Bei der Untersuchung von Gebäudehüllen soll grundsätzlich zwischen zwei Messungen unterschieden werden

1. Qualitative IR-Thermographie
2. Quantitative IR-Thermographie.

Die Messungen können je nach Aufgabenstellung und Erfordernissen sowohl von außen als von innen durchgeführt werden. Der Vorteil der Außenthermographie liegt im schnellen Abtasten großer Gebäudeflächen. Außerdem wird die Gebäudenutzung nicht wesentlich eingeschränkt und die Bewohner nicht belästigt. Bei einer Innenthermographie ist die geringe Witterungsabhängigkeit, bessere Randbedingungen und höhere Temporauflösung von Vorteil. Nachteilig ist, daß Möbel und sonstige Gegenstände, die an den Außenwänden stehen, entfernt werden müssen. Das ist oft sehr kosten- und zeitaufwendig. In allen Fällen sind für die Messungen bestimmte

TAFEL 2 - VORAUSSETZUNGEN UND RANDBEDINGUNGEN FOR QUANTITATIVE THERMOGRAPHISCHE MESSUNGEN

1. Zum Zeitpunkt der Messung soll thermodynamisches Gleichgewicht der Gebäudehülle vorhanden sein. Das heißt, es soll sich ein quasi stationärer Wärmestrom eingestellt haben. Die Messungen sollen an entsprechend kalten Tagen in den frühen Morgenstunden, vor Sonnenaufgang, stattfinden.
2. Die Differenz zwischen Innenraum- und Außentemperatur soll möglichst hoch (mindestens  $10^{\circ}$  K) sein.
3. Die Gebäudehülle soll möglichst trocken sein, d.h. keine Regen-, Schnee- oder Reiffeuchtigkeit besitzen.
4. Die Innentemperatur sollte  $20^{\circ}$  C nicht unterschreiten und in allen an die Gebäudehülle grenzenden Räume etwa gleich sein.
5. Eine evtl. vorhandene Nachtabenkung muß abgeschaltet werden.
6. Die Fenster und Außentüren sind ca. eine Stunde vor der Messung zu schließen. Roll- und Schlagläden sind zu öffnen.
7. Direkte Fremdstrahlungen (Beleuchtungen etc.) auf die Gebäudehülle sind ebenfalls eine Stunde vor der Messung abzuschalten.
8. Die gemessenen Wandtemperaturen müssen mit den entsprechenden Emissionsfaktoren korrigiert werden.
9. Vorgehängte Fassaden können nicht von außen thermographiert werden, weil sich im Zwischenraum zwischen Fassade und Außenhaut eine Kleinklimazone bildet.
10. Außenmessungen sollen möglichst bei Windstille oder geringer Windgeschwindigkeit  $\leq 2$  m/s durchgeführt werden. Sonst wird der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_a$  zu stark beeinflußt.

Voraussetzungen und Randbedingungen zu beachten, um entsprechende Ergebnisse zu erhalten. Bei der qualitativen IR-Thermographie sind nicht so strenge Maßstäbe an die Voraussetzungen und Randbedingungen zu legen. Dafür benötigt man zur Beurteilung der thermographischen Meßergebnisse entsprechend Sachverstand und lange Erfahrung, vor allen Dingen bei bautechnischen Konstruktionsdetails und bauphysikalischen Detailfragen. Dennoch ergibt die qualitative thermographische Messung erste Hinweise auf mögliche thermische Schwachstellen, Wärmebrücken und Undichtigkeiten an der Gebäudehülle. Manche versteckten Mängel in der Planung und Ausführung, vor allem auch der entsprechenden Detailpunkte können - wenn überhaupt -



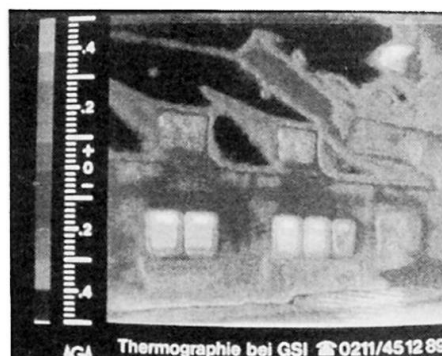


nur thermographisch sichtbar gemacht werden. Aus diesem Grunde ist auch eine vernünftige Dokumentation, und damit eine Beweissicherung der Baumängel möglich. In Schweden beispielsweise gibt es für den dort sehr verbreiteten Bau von Fertighäusern einen Katalog von Musterthermogrammen, mit deren Hilfe bauabnahmereife Gebäude - mit aktuellen erstellten Thermogrammen - verglichen werden. So können Mängel an der Gebäudehülle festgestellt und beseitigt werden. Typische Schwachpunkte in der Gebäudehülle sind vor allen Dingen an den Stellen zu suchen, an denen verschiedene Materialien, Bauteile oder Bauelemente zusammenkommen. Hier treten gerade auch in der heutigen Zeit, trotz hoher energietechnischer Forderung mit niedrigen k-Werten entscheidende Wärmebrücken wegen fehlender Wärmedämmungen, Dichtungen und unsachgemäßer Ausführung der Anschlußdetails auf.

Bei der quantitativen Thermographie wird ebenfalls zwischen Außen- und Innenmessung unterschieden. Um hier echte, aussagefähige Messungen durchzuführen, sollten mindestens die in Tafel 2 genannten Voraussetzungen und Randbedingungen eingehalten sein. Aus diesen Voraussetzungen und Randbedingungen wird ersichtlich, daß die Meßzeiten außerordentlich begrenzt sind und in vielen Fällen diese idealen Voraussetzungen nicht vorhanden sind. Dennoch ist es möglich, bei sorgfältig durchgeführten thermographischen Messungen mit entsprechenden Korrekturen realistische Oberflächentemperaturen zu bestimmen. Die ermittelten Temperaturen können bei zusätzlicher Messung der Lufttemperaturen innen und außen, sowie bei Kenntnis des Wandaufbaus und des Wärmeübergangskoeffizienten, des Wärmedurchlaßwiderstandes  $1/\lambda$  und Wärmedurchgangskoeffizienten  $k$  überprüft werden.

## 5. AUSWERTUNG

Wenn alle meßtechnischen Daten wie Datum, Uhrzeit, Gebäudelage im Grundriß, Wetterbedingungen und Geräteeinstellungen in ein Meßprotokoll ordnungsgemäß aufgenommen und eingetragen sind, kann im Labor mit der Auswertung begonnen werden. Um bei der Auswertung und der Dokumentation der Messung die Lage der einzelnen Thermogramme auf der Gebäudehülle zu erkennen, hat es sich als nützlich erwiesen, zusätzlich zu den Thermogrammen als Orientierungshilfe Normalfotos anzufertigen. In diese Normalfotos, schwarz/weiß oder farbig, auch Orientierungsaufnahmen genannt, wird der Ausschnitt der durchnummerierten Thermogramme eingetragen. Damit ist es bei einer großen Anzahl von Thermogrammen relativ leicht möglich, das entsprechende Thermogramm der entsprechenden Stelle der Gebäudehülle zuzuordnen. Da die thermographischen Messungen der Gebäudehülle vor Ort aufgezeichnet werden, kann man im Labor mit aller Sorgfalt die thermischen Schwachstellen, Wärmebrücken und andere Fehlstellen lokalisieren und dann vom Schwarz/Weiß- oder Farbmonitor abfotografieren. Die Fotos vom Farbmonitor werden als Colorthermogramme bezeichnet. Die den Isothermeneinheiten zugeordneten Temperaturen werden nach Gleichung (3) mit einem Computerprogramm berechnet und der entsprechenden Grauton- oder Farbskala zugeordnet. Hierbei sind die Gerätedaten, wie Blende, Filter, Range, Thermal Level, die Objektdaten und Witterungsbedingungen entsprechend zu berücksichtigen. Ein Orientierungsfoto (links) mit zugehörigem Thermogramm (rechts) einer Gebäudehülle eines Wohnhauses zeigt Fig. 7. Will man zusätzlich zu den ge-



**Fig. 7** Orientierungsaufnahme und schwarz/weiß Thermogramm

Oberflächentemperaturen  $\vartheta$  noch Vergleiche zu den angegebenen wärmetechnischen Kenngrößen der DIN 4108 ziehen, muß eine realistische Annahme über die vorhandene Wärmeleitfähigkeit  $\lambda$  der Wandmaterialien und der Wärmeübergangskoeffizienten  $\alpha$  getroffen werden. Wegen der besseren Randbedingungen wird die Oberflächentemperatur  $\vartheta_{0i}$  der Innenseite der Außenwand mit der Thermographie bestimmt. Der k-Wert ergibt sich näherungsweise mit Hilfe der Gleichung (4).

$$k \approx \alpha_i \frac{\vartheta_{Li} - \vartheta_{0i}}{\vartheta_{Li} - \vartheta_{La}} \quad (4)$$

Hierin sind

$\vartheta_{Li}$ ,  $\vartheta_{La}$  die Lufttemperaturen innen und außen,  
 $\vartheta_{0i}$  die thermographisch gemessene Oberflächentemperatur der Außenwand innen und  
 $\alpha_i$  der Wärmeübergangskoeffizient innen.

Die Lufttemperaturen können beispielsweise mit einem digitalen Thermometer an mehreren Stellen im ca. 10 cm Abstand von der Wand innen und außen gemessen werden. Wird der Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_i$  mit einem Mittelwert von ca. 7 W/qm K eingesetzt, so läßt sich mit (4) der k-Wert für den Bereich der Gebäudehülle bestimmen. Diese Berechnung beruht jedoch auf der Annahme des angegebenen Wärmeübergangskoeffizienten und auf der exakten Ermittlung des Emissionsfaktors.

## 6. ZUSAMMENFASSUNG UND AUSBLICK

Wie in den vorherigen Abschnitten dargestellt wurde, ist die IR-Thermographie eine nützliche und hilfreiche Möglichkeit, die aktuelle Temperaturverteilung an Oberflächen von Gebäudehüllen, aber auch an anderen Bauteilen rasch zu erfassen und sichtbar zu machen. Um quantitativ auswertbare Ergebnisse zu erzielen, müssen allerdings gewisse Voraussetzungen und Randbedingungen beachtet werden. Die Durchführung thermographischer Messungen und die Interpretation und Dokumentation der Ergebnisse erfordern entsprechende Erfahrungen auf den Gebieten der Meßtechnik, der Baukonstruktion und der bauphysikalischen Zusammenhänge. Die sich ergebenden meteorologischen und verfahrenstechnischen Einschränkungen haben einen nicht unerheblichen Zeit-, Personal- und Geräteaufwand zur Folge, der sich naturgemäß auch in den Kosten niederschlagen muß. Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse ist es somit möglich, geeignete Sanierungsmaßnahmen - falls erforderlich - in die Wege zu leiten.

Zusammenfassend sind bei der IR-Thermographie zu erkennen:

- schnelle, genaue und umfassende Gewinnung von Informationen über Temperaturverteilungen an Objektoberflächen,
- berührungslose, beweissichernde Messung an und in Objekten ohne Beeinflussung des Meßobjektes und der Meßgrößen durch das Meßverfahren selber,
- Wärmeströmungen in Materialien werden sichtbar und somit kann eventuell entstehendem Schaden vorgebeugt werden,
- entscheidende Maßnahmen zur Energieeinsparung und Aufdeckung von thermischen Schwachstellen können auf dieser Meßgrundlage getroffen werden.

## LITERATURVERZEICHNIS

1. SCHICKERT G., Infrarotthermographie als Hilfsmittel bei bautechnischen Untersuchungen. Amts- und Mitteilungsblatt der BAM, Bd. 12, Nr. 4, Dez. 1982.
2. WEBER H. u.a., Thermographie im Bauwesen. Expert-Verlag, Grafenau, 1982.
3. SPECHT H., Thermographie. Sonderdruck aus Funkschau Heft 25/26, 1981.

Leere Seite  
Blank page  
Page vide

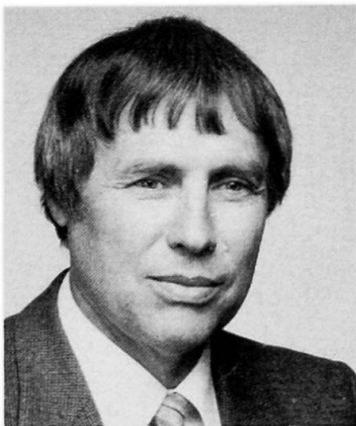
## Design Method for Solar Control

Méthode d'évaluation de la protection solaire

Methode zur Beurteilung von Sonnenschutz-Massnahmen

### Ralph SAGELSDORFF

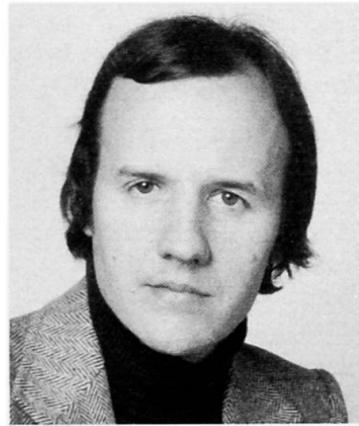
Civil Engineer  
EMPA  
Dübendorf, Switzerland



Ralph Sagelsdorff, born 1929, got his civil engineering degree at the Swiss Federal Institute of Technology in Zürich. After 4 years of design work in the United States and Switzerland he entered the Swiss Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA). He became 1968 section head of the section building physics.

### Thomas FRANK

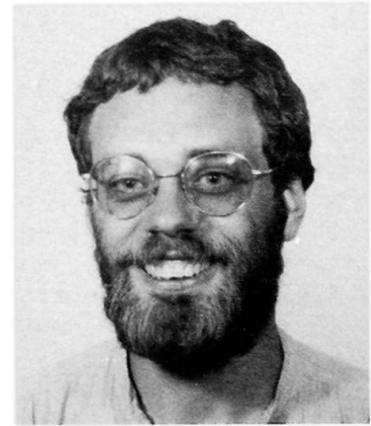
Civil Engineer  
EMPA  
Dübendorf, Switzerland



Th. Frank, born 1950, got his civil engineering degree 1975 at the Swiss Federal Inst. of Technology (ETH) in Zürich. Since 1978 he is working on research projects at the Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA) dealing with measurements and calculation methods on energy consumption of buildings.

### Toni W. PÜNTENER

HVAC Engineer  
EMPA  
Dübendorf, Switzerland



Toni W. Püntener, born 1959, got 1983 his bachelor of science at the college of Engineering (Department of HVAC Engineering) in Lucerne. Since then he is working at the Swiss Federal Laboratories for Materials Testing and Research (EMPA) on calculation models for energy consumption in buildings.

### SUMMARY

Solar control for residential and commercial buildings is important to maintain thermal comfort and reduce energy consumption. The comfort criteria for summer conditions must be considered carefully, especially in passive solar buildings with high solar gains. A nomogram for the rapid determination of the critical maximum indoor air temperature is given, based on a parametric analysis, considering solar transmission factor, shading devices, window area, internal heat source and building mass.

### RESUME

La protection solaire dans les bâtiments résidentiels et commerciaux est importante pour le maintien du confort thermique et la réduction de la consommation d'énergie. Le critère de confort pour les conditions en été doit être considéré soigneusement, spécialement pour certains bâtiments à énergie solaire passive. Une abaque pour la détermination rapide de la température de l'air intérieur maximal critique, basée sur une analyse paramétrique considérant le facteur de transmission solaire, les dispositifs d'ombrage, la surface des fenêtres, la source intérieure de chaleur et la masse du bâtiment, est donnée.

### ZUSAMMENFASSUNG

Das Festlegen von Sonnenschutzmassnahmen bei Wohn- und Geschäftsbauten ist wichtig zur Aufrechterhaltung der Behaglichkeit und für Energieeinsparungen. Besonders bei Bauten mit einer hohen passiven Sonnenenergienutzung sind die sommerlichen Behaglichkeitskriterien sorgfältig zu überprüfen. Es wird ein Nomogramm vorgestellt für die rasche Bestimmung der kritischen maximalen Raumlufttemperatur. Das Nomogramm basiert auf einer Parameterstudie und berücksichtigt Gesamtenergiedurchlassgrad, Beschattungseinrichtungen, Fensterfläche, innere Wärmequellen und Gebäudespeichermasse.



## 1. INTRODUCTION

Typical of central Europe, the climate of Switzerland calls for many days of heating in winter. Excluding buildings with high internal heat sources, no cooling is normally required in summer.

However, the summer season can present problems since a period of sunny summer days can produce excessive indoor temperatures which severely reduce the thermal comfort and working capacity of the occupants.

Architects and engineers must therefore design the building for effective solar control to avoid overheating. This is especially true for buildings designed for high solar gains in winter to reduce heating loads. Good solar control for summer conditions may also preclude the need for air conditioning and reduce the total energy consumption.

The architect would benefit from a simple tool to check his designs concerning solar protection, to compare different alternatives and to be alerted to critical situations in which more sophisticated calculations by specialists are necessary.

The maximum indoor temperature during a typical period of sunny summer days is chosen as criterion for the thermal response of the building. The critical maximum indoor temperature depends on the following parameters:

- solar gains (influenced by window size, solar transmittance of the glass and the shading devices),
- internal heat sources (lighting, office machines and installations, occupants),
- thermal storage capacity of the internal building mass,
- air infiltration rate.

## 2. ASSUMPTIONS AND METHOD

The proposed method employs a nomogram for the rapid determination of the critical maximum indoor temperature  $t_{i,max}$  in a chosen room. It is usually possible to select one or a few critical rooms in a building, check these with the nomogram and then apply this solar control to the entire building.

The nomogram gives estimated values and is subject to the following limitations:

- room geometry: ratio of room width-to-depth 1/2 to 2
- window area: orientation from east, south to west  
(the nomogram is not valid for roof windows)
- thermal insulation:
 

U-value, roof	<	0.4 W/m <sup>2</sup> K
walls	<	0.6 W/m <sup>2</sup> K
windows		1.4 to 3.0 W/m <sup>2</sup> K
- no heat absorbing window glass
- air infiltration rate: 0.5 per h, daily mean value
- internal heat sources: 0 to 50 W/m<sup>2</sup> floor area

Thus, the method applies to residential and commercial buildings, offices up to moderate size.

The nomogram is based on a parametric analysis with a computer program considering the varying ambient air temperature, solar radiation and the dynamic behavior of the building.

## 3. EXTERNAL CLIMATE

A typical period of 5 summer days was selected from the available data [1].

Fig. 1 and 2 give the fluctuations of ambient air temperature and solar radiation.

These diagrams can be considered valid for Swiss climatic conditions up to an elevation of about 800 m above sea level. This covers most of the populated area. The maximum ambient air temperature is 33°C and the daily amplitude, 14 to 16 K.



Higher altitudes can also be checked by reading the overheating ( $\Delta\theta$ ) from the nomogram. This overheating is defined as the temperature difference between maximum indoor air temperature ( $t_{i,max}$ ) and maximum ambient air temperature ( $t_{a,max}$ ) occurring during the 5 day period. The maximum ambient air temperature, decreasing with increasing altitude, can be taken from Fig. 6. Extrapolation to altitudes up to about 1600 m is acceptable because the measured data show that solar radiation in summer does not vary greatly with altitude.

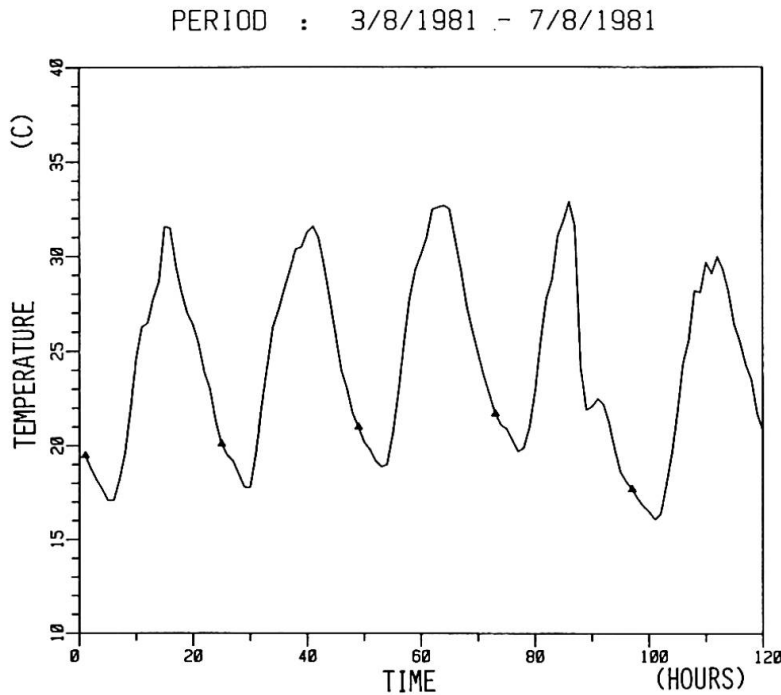


Fig. 1: Typical summer ambient air temperature for Swiss climatic conditions (Geneva 420 m).

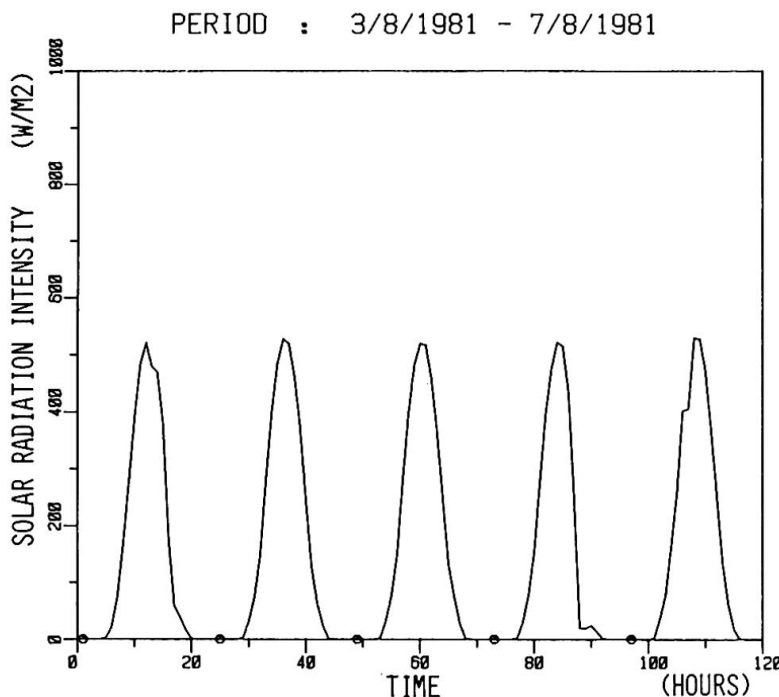


Fig. 2: Global solar radiation intensity on south facade for summer conditions.



#### 4. SIMULATION MODEL

The parametric analysis was performed with the computer program HELIOS 1 [2, 4]. This program calculates the thermal behavior of the building and indoor air temperature in hourly intervals on the basis of weather data, i.e. ambient air temperature, wind velocity, solar and atmospheric long-wave radiation. The building interior is considered as one zone, here one selected room. The calculation of the heat transfer through the walls and the window area uses the ASHRAE procedure [3].

This program has been verified and evaluated by measurements and gives an estimated accuracy of about 1 K in air temperatures and 10 % in daily heating loads (non-existent in summer). Fig. 3 gives a typical result of the evaluation.

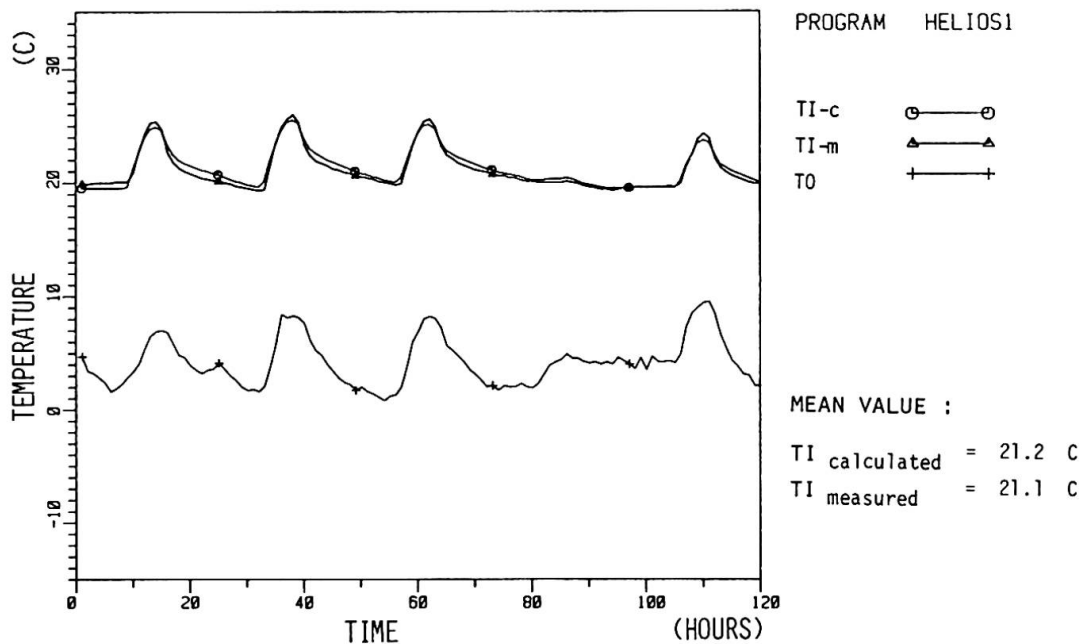


Fig. 3: Comparison of measured and calculated indoor air temperature for a south oriented room.

TI-c: Indoor temperature, calculated  
 TI-m: Indoor temperature, measured  
 TO: Ambient air temperature

In Fig. 4 and 5, results from the parametric analysis are given. They show the influence of window area on the indoor air temperature for heavy and light building constructions.

#### 5. NOMOGRAM AS DESIGN TOOL

Fig. 7 and 8 give two examples for the use of the nomogram. One enters the following parameters in sequence:

- solar transmission factor of the window area. This factor includes the standard transmission properties of the glass, the reduction of transmission area by window frames and the shading effect of building parts, shutters or Venetian blinds. The total solar transmission factor must be determined (calculated or estimated) by the designer.
- ratio of window area divided by floor area ( $A_{\text{window}}/A_{\text{floor}}$ ). Windows in two different facades are treated additively (Fig. 8).
- internal heat source. The mean daily value per  $\text{m}^2$  floor area is used.

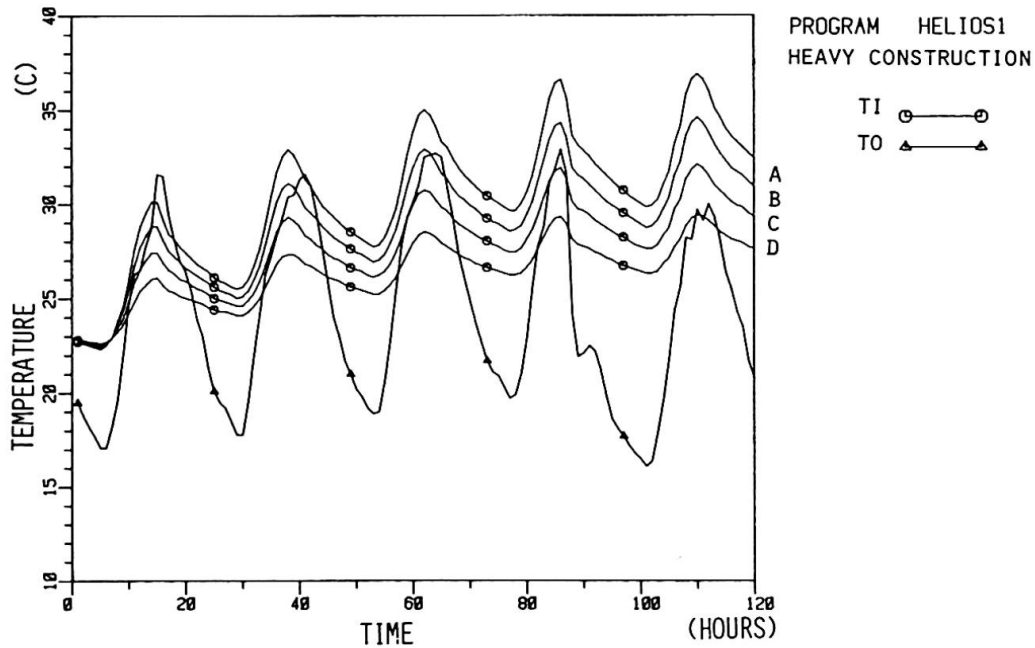


Fig. 4: Calculated indoor air temperatures of a heavy building construction for different ratios of window to floor area  $A_w/A_f$ : A=50%, B=40%, C=30%, D=20%.

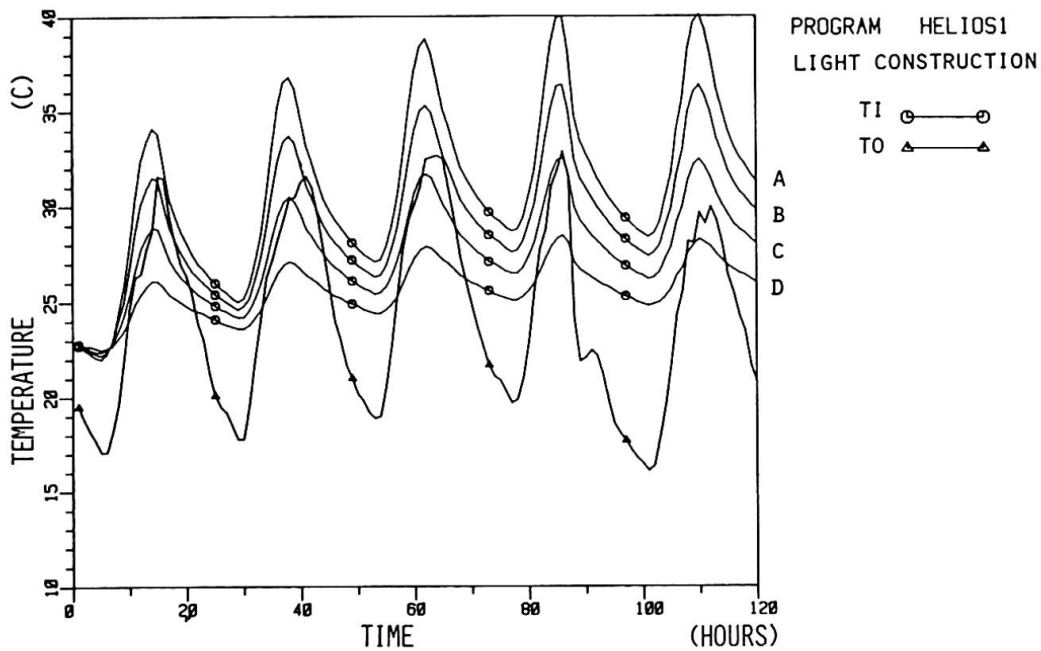


Fig. 5: Calculated indoor air temperatures of a light building construction for different ratios of window to floor area  $A_w/A_f$ : A=40%, B=30%, C=20%, D=10%.

- building mass. Three categories are defined:

- I Heavy construction with floor and ceiling of reinforced concrete without thermal or acoustical insulation on the inner surface, textile floor covering not thicker than 10 mm, walls of brick, concrete, porous concrete blocks, etc.
- II medium construction with floor and ceiling as above. A suspended lightweight ceiling and light interior walls are possible.





III light construction using lightweight panels, wood construction, etc. or heavy construction in which the building mass is covered with thermal or accoustical insulation.

If the room is furnished very densely, it must be classified in a lighter category due to the shielding effect.

For these entries the nomogram gives the predicted maximum indoor air temperature  $\vartheta_{i,max}$  (Example Fig. 7) or the overheating  $\Delta\vartheta$  (Example Fig. 8).

If this temperature is too high, the designer can either decrease the solar transmittance (more shading, other glass properties) or decrease the window area.

For Swiss climatic conditions, a maximum indoor air temperature of about 30°C is generally considered as acceptable.

The orientation of the facade is not taken into account in this method because the calculations show only small differences in the maximum indoor air temperature for summer conditions. They occur of course at different hours of the day.

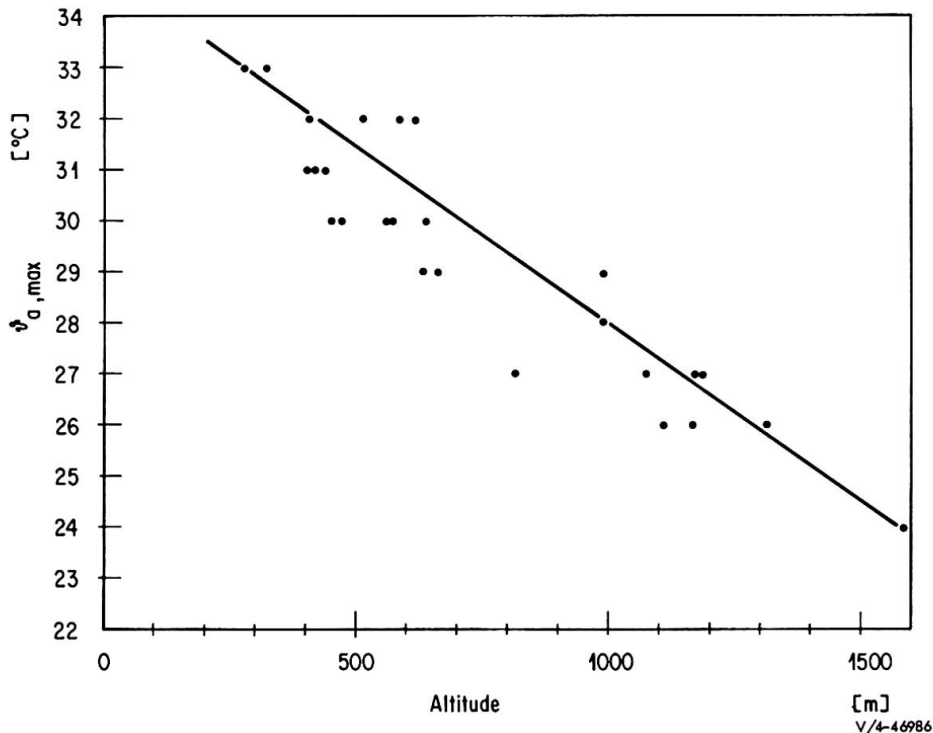


Fig. 6: Correlation between highest summer ambient air temperature and altitude for Swiss climatic conditions.

#### REFERENCES

- 1 FRANK, TH., Summary of Meteorological Data of Geneva 1980/81. EMPA Report, August 1983
- 2 FRANK, TH., Program Manual HELIOS 1. EMPA Report, October 1982
- 3 ASHRAE, Procedure for Determining Heating and Cooling Loads for Computerizing Energy Calculations, Algorithms for Building Heat Transfer Subroutines, New York 1976
- 4 SAGELSDORFF, R., et. al., Influence of Radiation Processes at the Building Envelope on the Energy Consumption. IABSE Congress Vienna, 1980

# Nomogram for Solar Control

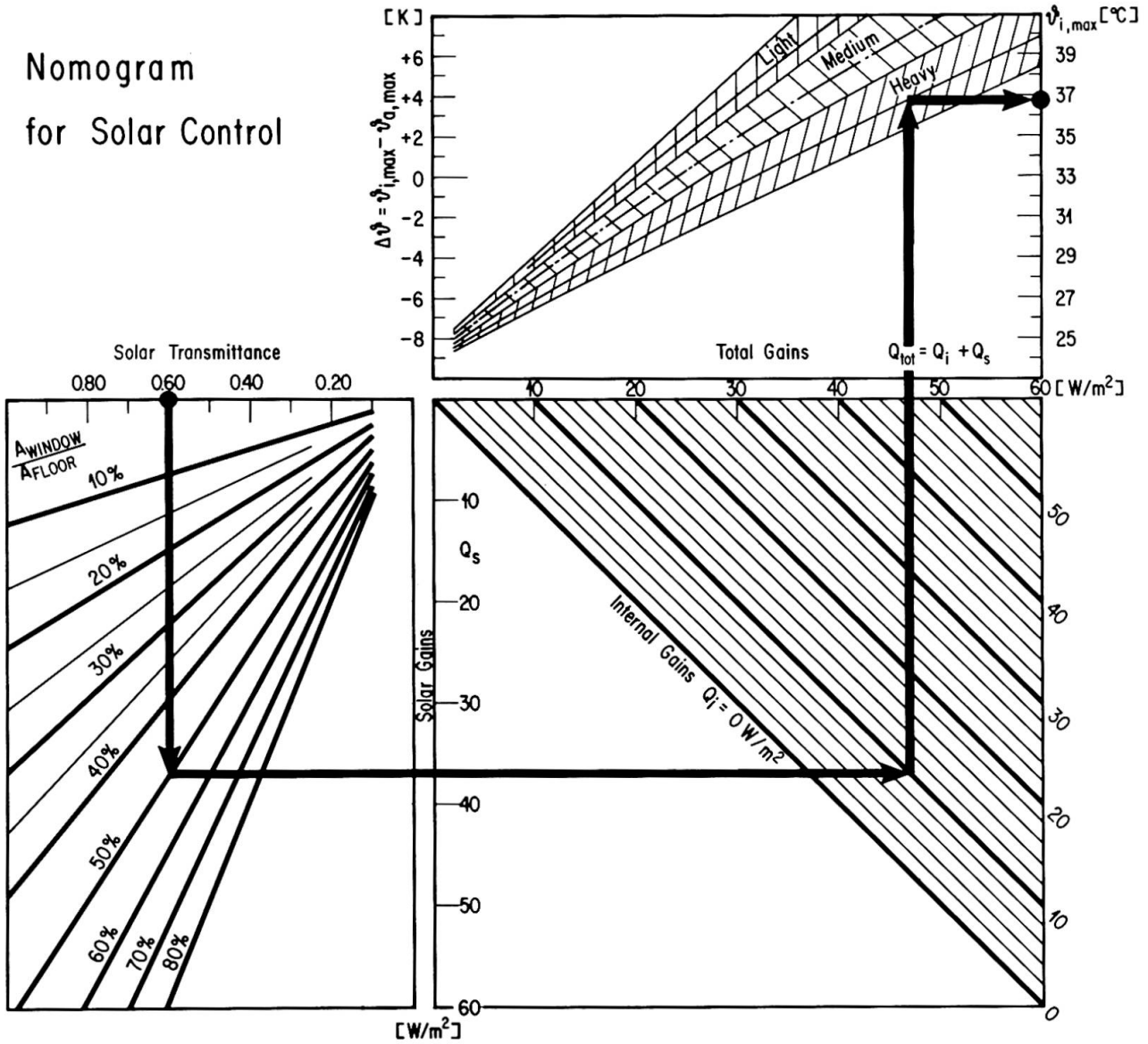


Fig. 7: Nomogram for solar control (Swiss climatic conditions)

Example A: Mid-zone room heavy construction

Location Zurich

Solar transmittance

Window area (south)

Floor area

Ratio window to floor area

Internal heat sources

Result:

Maximum indoor air temperature

$$t_{a,max} = 33 \quad ^\circ\text{C}$$

$$g = 0.60$$

$$A_w = 20 \quad \text{m}^2$$

$$A_f = 40 \quad \text{m}^2$$

$$A_w/A_f = 50 \quad \%$$

$$Q_i = 10 \quad \text{W/m}^2$$

$$t_{i,max} = 37 \quad ^\circ\text{C}$$

additional shading required

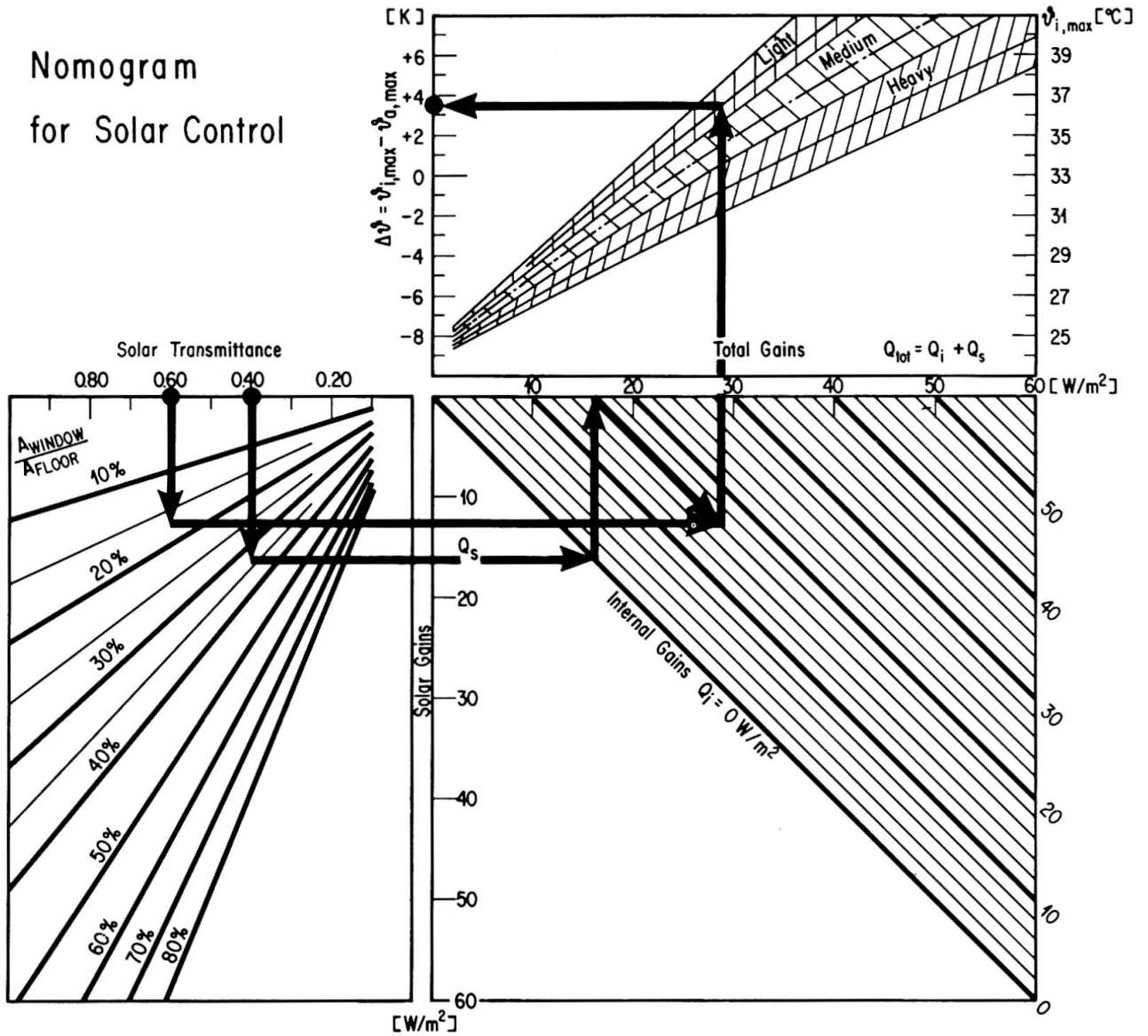


Fig. 8: Nomogram for solar control (Swiss climatic conditions)

Example B: Corner room, lightweight construction

Location 1300 m above sea level

Maximum ambient air temperature (see Fig.7)  $t_{a,max}$

Solar transmittance of south windows  $g_s$

South window area  $A_w$

Floor area  $A_f$

Ratio window to floor area (south)  $A_w/A_f$

No internal heat gains  $Q_i$

Solar transmittance of west windows  $g_w$

West window area  $A_w^w$

Ratio window to floor area (west)  $A_w^w/A_f$

Procedure:

Step 1 - Determine solar gain from south windows  $Q_s(s)$

Step 2 - Determine solar gain from west windows  $Q_s(w)$

addition to determine total gain  $Q_{tot}$

Result:

Overheating  $\Delta t$

Maximum indoor air temperature  $t_{i,max} = 26 + 3$

$$t_{a,max} = 26 \text{ } ^\circ\text{C}$$

$$g_s = 40 \text{ } \%$$

$$A_w = 10 \text{ } \text{m}^2$$

$$A_f = 30 \text{ } \text{m}^2$$

$$A_w/A_f = 33 \text{ } \%$$

$$Q_i = 0 \text{ } \text{W}/\text{m}^2$$

$$g_w = 60 \text{ } \%$$

$$A_w^w = 5 \text{ } \text{m}^2$$

$$A_w^w/A_f = 17 \text{ } \%$$

$$Q_s(s) \approx 16 \text{ } \text{W}/\text{m}^2$$

$$Q_s(w) \approx 12 \text{ } \text{W}/\text{m}^2$$

$$Q_{tot} \approx 28 \text{ } \text{W}/\text{m}^2$$

$$\Delta t \approx +3 \text{ } \text{K}$$

$$t_{i,max} \approx 29 \text{ } ^\circ\text{C}$$

acceptable

## Passive Solar Design – A Promising Direction

Conception de projets avec l'énergie solaire passive

Entwurf mit passiver Solarenergie

**Karl GERTIS**

Prof. Dr.

University of Essen

Essen, Fed. Rep. of Germany

### SUMMARY

Since the energy crisis in 1973, much effort has been made world-wide for the utilization of solar energy. In Central Europe, at first active solar systems (collectors, absorbers, etc.) were developed in constructional engineering. These however, proved to be ineffective in Central European climatic conditions. At present – almost euphorically – passive solar architecture (giving preference to south orientation of glass areas in buildings etc.) is being dealt with. The Central European climate, however, also set narrow limits on passive solar measures: The criteria of compactness of buildings and of structural heat insulation are more important. The heat storage capacity of building components is negligible under Central European (and comparable) climatic conditions.

### RESUME

Depuis la crise d'énergie en 1973, beaucoup d'efforts ont été entrepris, dans le monde entier, pour utiliser l'énergie solaire. En Europe centrale, l'industrie du bâtiment a d'abord développé des systèmes solaires actifs (collecteurs, dispositifs absorbants etc.) qui, cependant, se sont montrés inefficaces dans les conditions climatiques d'Europe centrale. A présent, d'une manière assez euphorique, c'est l'architecture solaire passive qui a la préférence (par exemple orientation vers le sud des surfaces vitrées dans les bâtiments). Dans les conditions climatiques d'Europe centrale, il y a des limites étroites également aux mesures solaires passives: les critères de la compacité des bâtiments et de la protection thermique de construction sont plus importants. La capacité d'accumulation de chaleur des éléments de construction est insignifiante dans les conditions climatiques d'Europe centrale et d'autres pays comparables.

### ZUSAMMENFASSUNG

Seit der Energiekrise 1973 sind weltweit viele Anstrengungen zur Nutzung der Sonnenenergie unternommen worden. Im Bauwesen hat man in Mitteleuropa zunächst aktive Solarsysteme (Kollektoren, Absorber etc.) entwickelt, die sich im hiesigen Klima als uneffektiv erwiesen haben. Jetzt wird – geradezu euphorisch – passive Solararchitektur betrieben (Südpräferenz von Glasflächen in Gebäuden etc.). Auch passiven Solarmassnahmen sind im mitteleuropäischen Klima enge Grenzen gesetzt: Kriterien der Gebäudekompaktheit und des baulichen Wärmeschutzes sind wichtiger. Die Wärmespeichermöglichkeit der Bauteile erweist sich dabei unter mitteleuropäischen (und vergleichbaren) Klimabedingungen als unerheblich.



Passive solar energy utilization is only a newly coined word to those who have always been standing up for climate-adjusted building design. The sun as an energy source which is practically inexhaustible has always been an eloquent sign of successful building design in many regions of the world. In particular, the vernacular architecture in the developing countries is remarkable. People who often cannot read and write and do not know anything about microelectronics turn out to be really good master builders.

Since the energy crisis, the utilization of solar energy has also been dealt with thoroughly in Germany. However, it has not at all been understandable that in Central European climate solar energy collectors or other "collectors" were first of all used which are equipments to be put on buildings, in the surroundings of buildings or connected to buildings. Real experts have been knowing from the beginning that this so-called active solar technology cannot be that "active" in Central European climate. In contrast to this, the passive solar technology with structural means consisting of climate-adjusted building design and consideration of building physics principles according to the respective climate was neglected at that time. Within the last few years, however, there has been a change: The possibilities of passive solar energy utilization in Central European climate have been thoroughly investigated; important results are already available, some investigations are still going on. Architects have taken up the passive solar energy utilization intensely, almost euphorically. The users of dwellings and buildings have also become sensitive in this respect. Manufacturers develop products for the market to be used for passive solar energy utilization. On account of recent reports [1] to [6], the scientific findings have come to a certain close so that they can be put into practice as far as building design is concerned.

Except special problems, there are sufficient scientific findings available for practical design work in Central European climate conditions. This design help cannot be translated into other climatic zones. Vice-versa, design guidelines cannot be "imported" from countries with different climatic conditions. For non-airconditioned buildings in Central European climate, the following general indications can be given:

1. Passive solar architecture understood so far by large glass areas and preference of south orientation is only of use for structural heat insulation with U-values of more than 0.8 to 1.0 W/m<sup>2</sup>K, as far as the energetical aspect is concerned. In all other cases, increased glazings with preference of south orientation are not necessary or even disadvantageous inasmuch as the free choice of ground plans is thus restricted. However, there should not be drawn the conclusion that an improvement of thermal insulation is of no use because passive solar energy utilization through windows would then become unsuccessful; absolutely speaking, an increased thermal insulation helps more to save energy than passive architecture alone.
2. Compactness of a building should be preferred to the utilization of solar gains by passive architecture and south orientation. Rooms and dwellings situated peripherally in a building have, as a rule, considerably higher energy consumption than those situated centrally. Unless aspects of use or daylight supply are opposed, lower-heated rooms should be situated at the periphery of a building. This requires careful consideration of ground plans according to energetical aspects.
3. In existing and new buildings, temporary thermal insulation measures at windows are the best means to utilize solar energy passively. Temporary thermal insulation is a measure of insulation and has nothing to do with solar architecture in the sense of solar energy utilization. Temporary thermal insulation is effective with all orientations of façades. The decision of where it

should be attached does not depend on solar points of view but on criteria of construction, investment and use. Thermal insulation glazings of novel type can achieve relatively low  $U_{\text{eff}}$ -values\* even without temporary thermal insulation.

4. The heat storage capacity of external and internal building components has practically no influence on heating energy consumption of buildings; it is only favourable to summer heat protection. If there are sunshading equipments, the heat storage capacity of building materials need not be taken into consideration for passive solar measures. What matters is their thermal insulation capacity, i.e. the U-value resp.  $U_{\text{eff}}$ -value of the external building components.
5. The passive solar gains of external building components impermeable to radiation are negligible. Non-transparent external building components must be thermally insulated in order to keep the heat losses low; the gains are not important. Solar gains are achieved by window areas. Mixed forms between window areas and building envelopes impermeable to radiation are external building components with translucent covering and possibly with translucent insulating materials, which are to be considered positive.
6. In buildings with average insulation (with  $U_{\text{Wall}} \approx 0.6 \text{ W/m}^2\text{K}$ ), passive solar energy utilization with increased window areas is not very effective - even with south orientation. Improvements can only be achieved by temporary thermal insulation or by increase of structural heat insulation, i.e. by decrease of the U-value to about  $0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ , which corresponds to good thermal insulation of the façade.
7. If external non-translucent external building components have a good structural heat insulation with  $U \approx 0.3 \text{ W/m}^2\text{K}$  and if there is a temporary thermal insulation at the windows, further passive measures are superfluous. By means of carefully placed temporary covers with different insulating values, the differences between the various façade orientations can be compensated. Although in Central European climate preference of south orientation - of secondary importance in relation to the principle of compactness as mentioned in point 2 - is quite correct, the exclusiveness of this rule can be broken by means of temporary thermal insulation measures. In such case, the distribution of window areas to the different orientations and the size of window areas need not be chosen only according to aspects of passive solar architecture. There is free choice in façade design and the windows can be chosen as up to now according to the specific requirements of use. Accomplished solar architecture is shown by buildings with completely "normal" shape, which is not eccentric but simple. The buildings are compact and well insulated; the windows must have a temporary thermal insulation. An effective summer sunshading equipment is necessary; it should not be forgotten. Apart from that, shape, façade design and choice of materials are free. Reversely, this high degree of liberty for the architectural design means that "non-normal" shapes are unnecessary but also possible, if there is good structural heat insulation and temporary thermal insulation. Such shapes are not typical of solar architecture in the sense of solar energy utilization. In Central European climate, there is no reason for typical solar architecture as created in the

---

\*The  $U_{\text{eff}}$ -value implies not only the transmission heat losses but also the energy gains due to solar radiation, being an average value for the total heating season. It applies to a special climatic zone. In the English-speaking countries, it has come into use to specify the (normal) U-value as "black value" and the effective U-value as "white value".



past years with large glazed areas. Obviously, "architectural ideas" have been borrowed rather uncritically from abroad, especially from the USA. It would be interesting to check whether such new shapes of solar architecture are really appropriate over there from the point of view of energy saving.

8. The energetical effect of glazed front structures or superstructures is to be rated like a doubling of thermal insulation or like the effect of a good temporary thermal insulation at the windows. However, winter gardens cause problems of summer heat protection and involve relatively high investment costs. From the energetical point of view, they are unprofitable. Nevertheless they offer interesting possibilities of livening up the façade and of improving the dwelling quality.

The preceding general indications for practical design work in architectural projects can be completed, in individual cases, by concrete calculations of heat consumption or solar gain according to the  $U_{\text{eff}}$ -method. This method offers a simple and quick way to obtain data of sufficient accuracy enabling the architects to take immediate decisions in design. The method is most suitable for designing architects because there is not much calculation work required. If the solar energy amount - which may be different for each building - is utilized this way and if it is done by simple means, solar energy utilization will pay back in many cases. The design help is simple: Temporary thermal insulation at the window, solid structural heat insulation at the building envelope and, as far as possible, compact ground plans! Apart from special cases, all other structural measures are useless in Central European climate from the energetical point of view. This core result confirming the efforts from the building industry and from building authorities makes clear that in Central European climate structural heat insulation is of primary importance and not solar design. Further education on solar design or so-called "solar workshops" are, therefore, superfluous. On the contrary: There is danger that passive elements from other climatic zones slip into Central European architecture which do not belong here; this causes more confusion instead of making the matter clear.

## LITERATURE

- [1] Gertis, K.; Hauser, G.; Künzle, H.; Nikolic, V.; Rouvel, L. und Werner, H.: Energetische Beurteilung von Fenstern während der Heizperiode. DAB 12 (1980), H. 2, S. 201-202; DBZ 114 (1980), H. 2, S. 66-68; Glasforum 30 (1980), H. 1, S. 38-44; Glas + Rahmen (1980), H. 4, S. 180-186.
- [2] Dietrich, B. et al.: Die energetische Optimierung des Niedrig-Energie-Fertighauses der Firma Streif durch RWE. RWE-Information Nr. 194 (1983).
- [3] Nikolic, V. et al.: Bau und Energie. Bauliche Maßnahmen zur verstärkten Sonnenenergienutzung im Wohnungsbau. Verlag TÜV Rheinland (1983).
- [4] Hauser, G.: Passive Sonnenenergienutzung durch Fenster, Außenwände und temporäre Wärmeschutzmaßnahmen. Eine einfache Methode zur Quantifizierung durch  $k_{\text{eq}}$ -Werte. HLH 34 (1983), H. 3, S. 111-112; H. 4, S. 144-153; H. 5, S. 259-265.
- [5] Hauser, G.: Verglaste Baukörper zur passiven Sonnenenergienutzung. Bauphysik 5 (1983), H. 5, S. 147-152.
- [6] Gertis, K.: Passive Solarenergienutzung. Umsetzung von Forschungserkenntnissen in den praktischen Gebäudeentwurf. Bauphysik 5 (1983), H.6, S. 183-194.

## **Wirkung lüftungstechnisch angekoppelter Pufferzonen**

Effect of Ventilation-Coupled Buffer Zones

Effet combiné de zones-tampons et de la technique de la ventilation

**Karl PETZOLD**

Prof. Dr.

Technische Universität

Dresden, DDR

### **ZUSAMMENFASSUNG**

Die Luft, die zum Lüften der Gebäude benötigt wird, kann über zweischalige Dächer, Abluftfenster, unbeheizte Nebenräume, verglaste Veranden und andere Pufferzonen angesaugt und/oder abgeführt werden. Dadurch wird der Heizenergiebedarf verringert. Eine Methode wird angegeben, mit der die Einsparung an Heizenergie berechnet werden kann, die dadurch zu erzielen ist.

### **SUMMARY**

The air required for ventilating buildings can be drawn in and/or conducted away through roofs with two shells, air-outlet windows, unheated adjoining rooms, glazed verandas and other buffer zones. This results in a reduction of the heating energy required. A method is given for calculating the saving of heating costs to be achieved.

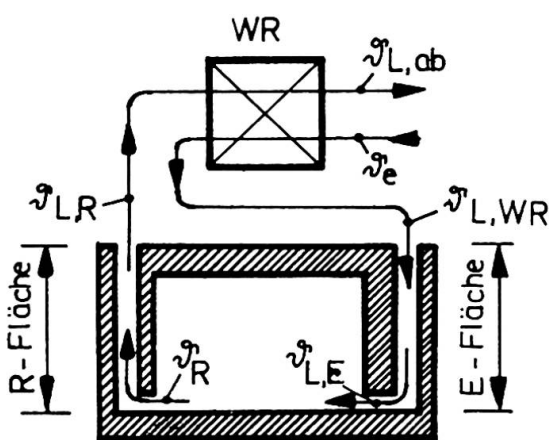
### **RESUME**

L'air nécessaire à l'aération des édifices peut être aspiré et/ou éliminé par des toits à double enveloppe, de fenêtres doubles, des espaces adjacents non-chauffés, des vérandas et par d'autres zones-tampons. Le besoin en énergie de chauffage peut être ainsi diminué. Une méthode est proposée pour le calcul de l'économie de l'énergie de chauffage grâce au système des zones-tampons.

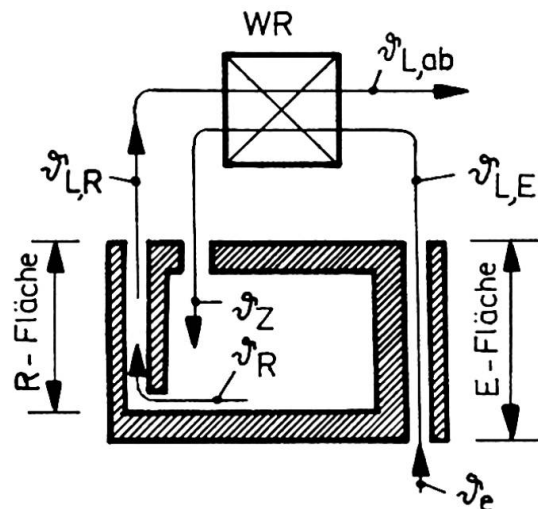




Der Heizenergiebedarf eines Gebäudes kann bekanntlich dadurch verringert werden, daß man die Luft, die zum Lüften des Gebäudes benötigt wird, zusätzlich durch mehrschalige Außenbauwerksteile oder Pufferzonen strömen läßt. Beispielsweise kann die Außenluft durch den Dachraum eines zweischaligen Daches angesaugt werden (Fall E); ein Teil der Transmissionswärme, die über das Dach abströmt, wird dann "zurückgewonnen". Oder man läßt die Abluft, die aus den Räumen abzuführen ist, nicht unmittelbar ins Freie entweichen, sondern führt sie über den Kanal ab, der von den Flügeln mehrschaliger Fenster gebildet wird (Fall R); damit wird dann ein Teil der abfließenden Transmissionswärme "zurückgehalten" /1/. Auch Wintergärten, unbeheizte Nebenräume und andere Pufferzonen können auf diese Weise lüftungstechnisch an die beheizten Räume des Gebäudes angekoppelt werden. Die energetische Wirkung, die mit einer solchen lüftungstechnischen Ankoppelung zu erzielen ist, wird im folgenden untersucht.



**Bild 1** Anordnung durchlüfteter Außenbauwerksteile in einem Gebäude. Zuordnung der Wärmerückgewinnungsanlage (WR) nach Schaltung 1.



**Bild 2** Anordnung durchlüfteter Außenbauwerksteile. Zuordnung der Wärmerückgewinnungsanlage (WR) nach Schaltung 2.

Mit den lüftungstechnisch angekoppelten mehrschaligen Außenbauwerksteilen und Pufferzonen können Wärmerückgewinnungsanlagen in Reihe (Bilder 1 und 2) geschaltet werden /2/. Diese beeinflussen sich gegenseitig, und diese Wechselwirkung wird analysiert, um den günstigsten Einsatzbereich eines jeden dieser Elemente festzustellen.

Behandelt werden hier nur Bauelemente, die eindeutig in einer Richtung durchströmt werden, wie das z.B. bei lüftungstechnisch angekoppelten Dächern und Abluftfenstern der Fall ist. Die Beziehungen werden für ein 2-schaliges 4-Scheibenfenster angegeben; dieses repräsentiert wohl den allgemeinsten Fall, auf den auch alle anderen Fenster sowie die Außenwände und Dächer zurückgeführt werden können. Auf Elemente und größere Räume, die ungeordnet durchströmt werden, wie z.B. Kastenfenster, Wintergärten u. dgl., sind die Ergebnisse sinngemäß zu übertragen. Berechnungsverfahren sind dafür in /3/ angegeben.

Die Energieverluste des Gebäudes sind proportional dem Wärmewert (Wärmekapazitätsstrom) des Abstromes /1//4/

$$w = w_L(1 - \phi) + w_T \quad (1)$$

Darin ist der Wärmewert des Förderstromes  $\dot{V}$  der Lüftungseinrichtungen

$$w_L = \dot{V} \cdot \rho_L \cdot c_L / A_B \quad (2)$$

und  $\phi$  der Übertragungsgrad (Rückgewinnungsgrad) der Wärmerückgewinnungsanlage. Mit dem Flächenverhältnis  $f = A/A_B$  ist

$$w_T = \sum_i \left[ k_0 \left( 1 - \frac{a_S}{\alpha_{e,g}} S \right) f_0 \right]_i + \sum_j \left[ (\chi \cdot k \cdot f) \right]_j \quad (3)$$

der Wärmewert (Wärmekapazitätsstrom) des Transmissionswärmestromes je Einheit Bodenfläche (Bruttofläche)  $A_B$ .

Bei den  $j$  durchlüfteten Außenbauwerksteilen bewirkt die Durchlüftung eine Verringerung des Transmissionswärmestromes. Dieser Effekt wird in einem Lüftungsfaktor  $\chi$  erfaßt, ebenso wie alle anderen Effekte, die eine Folge der Durchlüftung des Außenbauwerksteiles sind: die Erwärmung durch die absorbierte Energie der Sonnenstrahlung; die Vorwärmung der Zuluft, die über eine sog. E-Fläche zuströmt; und auch die Wechselwirkung mit der Wärmerückgewinnungsanlage.

An den Oberflächen der Schalen eines durchlüfteten Außenbauwerksteiles wird Wärme sowohl durch Konvektion als auch durch (langwellige) Strahlung übertragen. Außerdem wird Sonnenstrahlungs-Energie absorbiert.

$$K = \frac{k_1}{k}; \quad \frac{1}{k} = \frac{1}{k_1} + \frac{1}{k_2}; \quad \frac{1}{k_1} = \frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_{K,g}}; \quad \frac{1}{k_2} = \frac{1}{\alpha_2} + \frac{1}{\alpha_{K,g}}$$

$$\frac{1}{\alpha_1} = R_1 + \frac{1}{\alpha_{i,g}}; \quad \frac{1}{\alpha_2} = R_2 + \frac{1}{\alpha_{e,g}}; \quad \alpha_{K,g} = \alpha_{K,c} + 2 \alpha_{K,r}$$

$$P = \frac{w_L}{k \cdot f} \frac{K-1}{K^2} (1 + I); \quad I = \frac{\alpha_{K,r} \cdot k}{\alpha_{K,c} \cdot \alpha_{K,g}} \cdot \frac{K^2}{K-1}; \quad S = \frac{\sigma_e \cdot F_G \cdot G}{\gamma_R - \gamma_e}$$

$$a_L = (K-1) \frac{c_1}{\alpha_1} + \frac{c_2}{\alpha_2}; \quad c_1 = 1,05 \left( a_{S,a} \cdot \epsilon_b \frac{\alpha_1}{\alpha_{i,g}} + a_{S,b} \right) \epsilon_c \cdot \epsilon_d$$

$$a_1 = K \frac{c_1}{\alpha_{K,c}} + I \frac{c_2 - c_1}{\alpha_2}; \quad c_2 = 1,05 \left( a_{S,c} \cdot \epsilon_d + a_{S,d} \frac{\alpha_2}{\alpha_{e,g}} \right)$$

Die Faktoren  $c_1$  und  $c_2$ , die die Absorption der Sonnenstrahlungs-Energie beschreiben, sind hier für das 4-Scheibenfenster angegeben. Die Scheiben sind von innen nach außen mit  $a$  bis  $d$  bezeichnet. Für Fenster mit einer geringeren Zahl von Scheiben gelten diese Faktoren ebenfalls, wenn für die Scheiben  $n$ , die fehlen, die Durchlässigkeitskoeffizienten  $\epsilon_n = 1$  und die Absorptionsgrade  $a_{S,n} = 0$  gesetzt werden. Analog ist bei Außenwänden und Dächern zu verfahren.

Im Falle R ergibt sich - wie in /1/ gezeigt - die Temperatur  $\theta_{L,R}$  der Luft, die aus dem Kanal austritt, zu (Bild 1)



$$T_R = \frac{\vartheta_R - \vartheta_{L,R}}{\vartheta_R - \vartheta_e} = \frac{1 - a_L S}{K_R} \left[ 1 - \exp\left(-\frac{1}{P_R}\right) \right]. \quad (4)$$

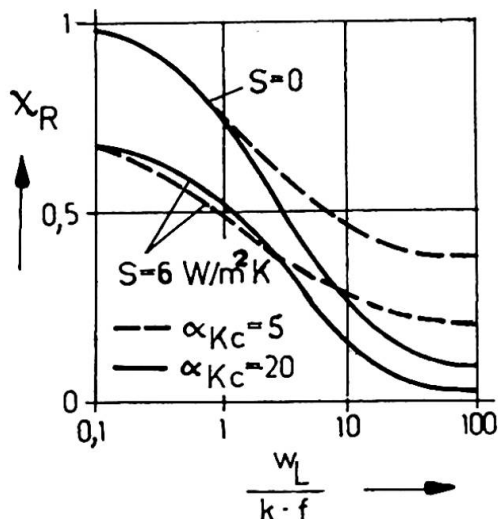
Ist die R-Fläche einer Wärmerückgewinnungsanlage vorgeschaltet (Bild 1), so vermindert sich deren Wirkung. Diese Minderung wird der R-Fläche angelastet. Damit ist deren effektiver Transmissionswärmestrom

$$\dot{q}_{T,R}'' = \chi_R k(\vartheta_R - \vartheta_e) = \alpha_1(\vartheta_R - \vartheta_1) + \frac{w_L}{f} \cdot \vartheta_{\vartheta} (\vartheta_R - \vartheta_{L,R}). \quad (5)$$

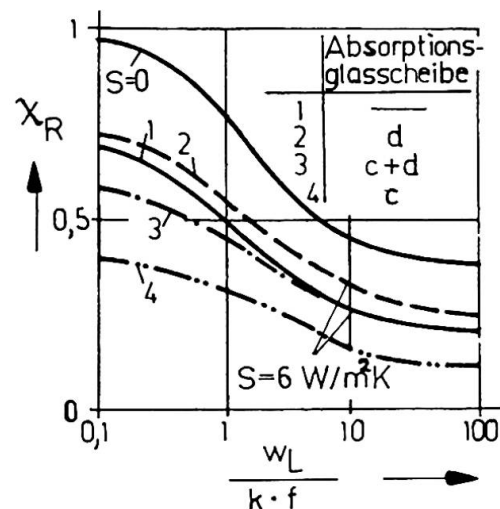
Der Lüftungsfaktor der R-Fläche ergibt sich daraus zu

$$\chi_R = 1 - \frac{a_L + a_1}{1 + I} S - \frac{w_L}{k \cdot f} \left( 1 - \frac{1}{K_R} - \vartheta_{\vartheta} \right) T_R. \quad (6)$$

Sind keine Wärmerückgewinnungsanlagen eingesetzt ( $\vartheta_{\vartheta} = 0$ ), ist der Lüftungsfaktor  $\chi_R < 1$ ; denn die Durchlüftung verringert den Transmissionswärmestrom. Diese Verringerung ist umso stärker und der Lüftungsfaktor  $\chi_R$  wird umso kleiner, je größer der Luftdurchsatz je Flächeneinheit ist (Bild 3). Der Lüftungsfaktor  $\chi_R$  wird auch umso kleiner, je geringer der Anteil ist, den der Strahlungsaustausch zwischen den beiden Schalen am gesamten Wärmetransport hat. Deswegen ist es günstig, wenn der Strahlungsaustausch durch strahlungsreflektierende Schichten an den Oberflächen der Schalen (sog. Infrarot-Schichten) vermindert wird und/oder wenn die Strömungsgeschwindigkeit im Kanal groß und damit auch der konvektive Wärmeübergangskoeffizient  $\alpha_{K,c}$  groß ist (Bild 3). Günstig ist im Falle R weiterhin eine annähernd gleichmäßige Verteilung der Wärmeleitwiderstände (Wärmedämmung) auf Innen- und Außenschale ( $K_R = 2$ ). Besteht ein Fenster aus drei Scheiben, sollte die Außenschale mit zwei Scheiben ausgerüstet werden. Eine solche Verteilung ergibt nicht nur die energetisch beste Wirkung, sondern dadurch wird auch die Gefahr verringert, daß sich an der Außenschale Tauwasser niederschlägt.



**Bild 3** Lüftungsfaktor  $\chi_R$  für ein 2-schaliges Abluftfenster aus klarem Tafelglas (Außenschale: 2 Scheiben; Innenschale: 1 Scheibe).  $\alpha_{K,r} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $\alpha_{K,c}$  in  $\text{W/m}^2\text{K}$ . ( $\vartheta_{\vartheta} = 0$ .)



**Bild 4** Lüftungsfaktor  $\chi_R$  für ein 2-schaliges Abluftfenster.  $\alpha_{K,r} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ ;  $\alpha_{K,c} = 5 \text{ W/m}^2\text{K}$ . 1: Klares Tafelglas; 2...4: mit Absorptionsglasscheiben

Absorbiert das Außenbauwerksteil Sonnenstrahlungsenergie, so erhöht sich seine Temperatur, und es verringern sich seine Verluste. Dieser Effekt ist umso wirksamer, je mehr absorbierte Sonnenstrahlungsenergie an die im Kanal strömenden Luft übertragen wird. Der Lüftungsfaktor ist deswegen besonders klein, wenn die Scheibe c (Bild 4), die den Kanal nach außen begrenzt, aus Absorptionsglas besteht (Kurve 4 in Bild 4).

Ist der R-Fläche eine Wärmerückgewinnungsanlage nachgeschaltet, ist also  $\phi_{\mathcal{R}} > 0$ , wird die Wirkung der Durchlüftung des Außenbauwerksteiles gemindert. Der Lüftungsfaktor kann sogar  $\chi_{\mathcal{R}} \leq 1$  werden, wenn die Abkühlung der Luft in der R-Fläche den Wärmerückgewinnungseffekt in der Wärmerückgewinnungsanlage um einen größeren Betrag vermindert als in der R-Fläche selbst zurückgewonnen wird. In diesem Falle ist es besser, auf die R-Fläche zu verzichten und allein die Wärmerückgewinnungsanlage einzusetzen. Die Hintereinanderschaltung einer R-Fläche und einer Wärmerückgewinnungsanlage lohnt sich nur, wenn der Lüftungsfaktor  $\chi_{\mathcal{R}} < 1$  ist. Dazu muß  $T_{\mathcal{R}}$  nach Gl. (4) hinreichend klein sein. Das ist der Fall, wenn die Wärmedämmung in der Außenschale konzentriert wird, und zwar muß sein:

$$K_{\mathcal{R}} (1 - \phi_{\mathcal{R}}) > 1. \quad (7)$$

Wird durch ein mehrschaliges Außenbauwerksteil Außenluft angesaugt (Fall E), so sind zwei Schaltungen möglich, und zwar Schaltung 1 nach Bild 1 und Schaltung 2 nach Bild 2. In der E-Fläche erwärmt sich die angesaugte Außenluft. Diese Erwärmung wird als Energiegewinn der E-Fläche gutgeschrieben. Dann erhält man mit der Abkürzung

$$T_{\mathcal{E}}^* = \frac{1}{K_{\mathcal{E}}} \left[ 1 - \exp \left( - \frac{1}{P_{\mathcal{E}}} \right) \right] \quad (8)$$

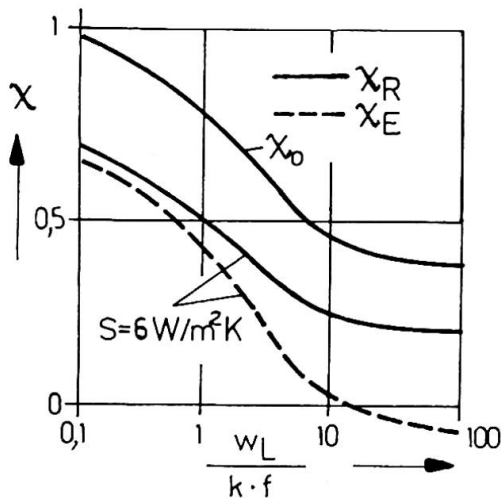
den Lüftungsfaktor der E-Fläche für die Schaltung 1:

$$\chi_{\mathcal{E},1} = 1 - \frac{a_{\mathcal{L}} + a_1}{1+I} S - \frac{w_{\mathcal{L}}}{k \cdot f} \left[ 1 - \frac{1 - a_{\mathcal{L}} \cdot S}{K_{\mathcal{E}}} - \phi_{\mathcal{R}} \cdot (1 - T_{\mathcal{R}}) \right] \cdot T_{\mathcal{E}}^* \quad (9)$$

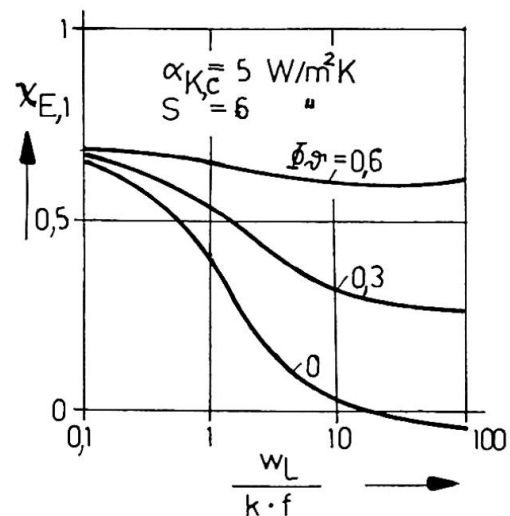
Sind weder Sonnenstrahlung ( $S = 0$ ) noch Wärmerückgewinnungsanlagen ( $\phi_{\mathcal{R}} = 0$ ) vorhanden, unterscheidet sich die energetische Wirkung einer E-Fläche nicht von der einer R-Fläche; es wird  $\chi_{\mathcal{E}} = \chi_{\mathcal{R}} = \chi_0$ . Sonnenstrahlung verringert den Lüftungsfaktor, und zwar ist deren Wirkung an einer E-Fläche größer als an einer R-Fläche (Bild 5). Für den Fall, daß keine Wärmerückgewinnungsanlagen vorhanden sind, erweisen sich kleine Werte  $K_{\mathcal{E}}$  als günstig ( $K_{\mathcal{E}} = 1, 1, \dots, 1, 5$ ). Die Wärmedämmung ist dann also vor allem in der Innenschale zu konzentrieren, und die Außenschale muß "dünn" bleiben. Dann ist es möglich, die absorbierte Energie der Sonnenstrahlung zu einem großen Teil für die Raumheizung zu nutzen, besser zumindest, als das mit einschaligen Außenbauwerksteilen gelingt. Bei sehr großen Luftdurchsätzen je Flächeneinheit kann sogar  $\chi_{\mathcal{E}} < 0$  werden (Bild 5). Im Mittel über die Heizdauer überwiegt dann der Strahlungsgewinn gegenüber den Verlusten, und die E-Fläche wird zum "Sonnenkollektor". Da die Sonnenstrahlung bei den E-Flächen besser genutzt wird als bei den R-Flächen, sollten die E-Flächen bevorzugt dort angeordnet werden, wo das Strahlungsdargebot groß ist. Die Dachflächen und - sofern sie unverschattet sind - die nach Süden orientierten Außenwände eignen



sich besonders dafür. Fenster eignen sich besser als R-Flächen (Abluftfenster); denn sie absorbieren die Sonnenstrahlungsenergie nicht so gut wie z.B. Dachflächen. Außerdem ist das Abluftfenster im Sommer leichter gegen Sonnenstrahlung zu schützen als das Zuluftfenster /5/.



**Bild 5** Vergleich der Lüftungsfaktoren  $\chi_R$  und  $\chi_{E,1}$  für ein 2-schaliges Fenster. Parameter wie Bild 3.



**Bild 6** Einfluß des Rückgewinnungsgrades  $\phi$  der Wärmerückgewinnungsanlage auf den Lüftungsfaktor  $\chi_{E,1}$  eines 2-schaligen Fensters. Parameter wie Bild 3.

Wärmerückgewinnungsanlagen mindern auch die Wirkung der E-Flächen (Bild 6). Die in der Wärmerückgewinnungsanlage erwärmte Luft kühlt sich u.U. in der E-Fläche wieder ab, wenn der Wert  $K_E$  zu klein ist. Damit der Lüftungsfaktor  $\chi_{E,1} < 1$  ist und die E-Fläche noch einen Nutzen hat, muß sein

$$K_E > \frac{1 - a_L S}{1 - \phi (1 - T_R)} \quad (10)$$

Für die Schaltung 2 nach Bild 2 ergibt sich ein Lüftungsfaktor

$$\chi_{E,2} = 1 - \frac{a_L + a_1}{1 + I} S - \frac{w_L}{k \cdot f} \left( 1 - \frac{1 - a_L S}{K_E} \right) (1 - K_E \phi) T_E^* \quad (11)$$

Bei Schaltung 2 verhalten sich E-Flächen qualitativ ebenso wie bei Schaltung 1. Anders als  $\chi_{E,1}$  ist aber der Lüftungsfaktor  $\chi_{E,2}$  unabhängig von  $T_R$ ; er wird also von einer evtl. vorhandenen R-Fläche nicht beeinträchtigt. Damit bei Schaltung 2 ein Nutzen eintritt, muß

$$K_E \cdot \phi < 1 \quad (12)$$

sein. Die Schaltung 2 ist günstiger als Schaltung 1, wenn  $K_E$  klein ist, wenn also die Außenschale nur wenig wärmegeämmt ist. Bei großen Werten  $K_E$  hingegen ist die Schaltung 1 vorzuziehen.

Entscheidend für die energetische Wirksamkeit der durchlüfteten Außenbauwerkteile ist der Luftdurchsatz je Flächeneinheit sowie die Verteilung der Wärmeleitwiderstände auf die Innen- ( $R_1$ ) und

die Außenschale ( $R_2$ ), die bei R-Flächen durch  $K_R$  und bei E-Flächen durch  $K_E$  beschrieben wird. Die durchlüfteten Bauelemente und Pufferzonen sollten also thermisch sorgfältig bemessen werden.

Den Vorzug verdienen durchlüftete Außenbauwerksteile und Pufferzonen in den Fällen, in denen es genügt, eine Zuluftanlage oder eine Abluftanlage zu installieren. Es sind dann entweder R- oder E-Flächen zu realisieren, je nach den Voraussetzungen, die das Gebäude bietet. Bei kleineren Förderströmen können die Investitionskosten einer Wärmerückgewinnungsanlage unwirtschaftlich hoch sein; auch dann sind durchlüftete Außenbauwerksteile einsetzbar. Bei sehr großen Förderströmen hingegen sind meistens die Wärmerückgewinnungsanlagen wirksamer als die durchlüfteten Flächen. Wenn möglich, sind sie mit R- und/oder E-Flächen in Reihe zu schalten.

#### BEZEICHNUNGEN

A	Fläche
$a_S$	Absorptionsgrad
$c_L$	spezifische Wärmekapazität von Luft
$F_G$	Glasflächenanteil eines Fensters
G	Gesamtstrahlung der Sonne
k	Wärmedurchgangskoeffizient
L	Länge des durchlüfteten Kanales zwischen Luftein- und Luftaustritt
R	Wärmeleitwiderstand
$T_S$	dimensionslose Sonnenlufttemperatur
x	Laufänge
$\alpha_{e,g}$	Gesamt-Wärmeübergangskoeffizient außen am Außenbauwerksteil
$\alpha_{i,g}$	Gesamt-Wärmeübergangskoeffizient innen am Außenbauwerksteil
$\alpha_{K,c}$	konvektiver Wärmeübergangskoeffizient im durchlüfteten Kanal
$\alpha_{K,r}$	Strahlungsübergangskoeffizient im durchlüfteten Kanal
$\vartheta$	Temperatur
$\vartheta_e$	Außenlufttemperatur
$\vartheta_L$	Temperatur der Luft im durchlüfteten Kanal
$\vartheta_R$	Raumlufttemperatur (allgemein)
$\bar{\vartheta}_1$	mittlere Temperatur an der Oberfläche der Innenschale, die mit der Kanalluft in Berührung steht
$\varrho_L$	Dichte der Luft
$\varrho$	Durchlässigkeitskoeffizient des Glases für Sonnenstrahlung
$\varrho_e$	Abminderungsfaktor, der die Verschattung durch die Umgebung berücksichtigt /3/



### Indizes

- E Fall E: von Außenluft durchströmt
- R Fall R: von Raumlufte durchströmt
- O nicht-durchlüftet
- 1 Innenschale
- 2 Außenschale

### LITERATUR

1. PETZOLD, K.: Raumlufteemperatur. 2. Aufl. Berlin: Verlag Technik 1983
2. PETZOLD, K.: Ökonomisch optimaler Wärmeschutz bei durchlüfteten Außenbauwerksteilen. Luft- und Kältetechnik 18 (1982) 2, S. 63-69
3. PETZOLD, K.: Zur Wechselwirkung zwischen Fugenlüftung und Transmissionswärmeverlusten von Fenstern. Stadt- und Gebäudetechnik 37 (1983) 6, S. 182-187; 7, S. 198-199; 8, S. 245-248
4. PETZOLD, K.: Zur Berechnung des Heizenergiebedarfs. Schlußbericht des 11. Kongresses der IABSE 31. Aug. bis 5. Sept. 1980 in Wien, S. 517-526
5. PETZOLD, K.: Zur Durchlässigkeit von Zwischenjalousien in Abluftfenstern. Luft- und Kältetechnik 18 (1982) 2, S. 91-93

## Conclusions to Seminar IV Thermal Performance of Buildings

**Ralph SAGELSDORFF**

Swiss Laboratories for Materials Testing and Research  
Dübendorf, Switzerland

Only little interest was shown by IABSE-Engineers to this seminar on building physics. There were few papers submitted, even less authors present in Vancouver and only a small group attended this seminar. This shows again that building physics has not been recognized with the necessary degree of importance in the education of engineers and in building practice. The working commission VII "Building Physics" however is convinced of the growing importance and urges all members of IABSE to contribute and participate more in this field in the future.

The seminar itself was a Swiss-Australian affair. Two Australian and three Swiss papers were presented. Prof. Hirst, University of Adelaide, dealt with thermal design loads for flat roofs. He showed a method to determine characteristic values of thermal loads for roof slabs heated by solar radiation. This can be useful for poorly insulated concrete roofs in warm climates, but has little importance for the normal roof construction in cold climates with a good thermal insulation above the concrete slab. Prof. Cowan, University of Sidney, showed that sunshading and thermal storage coupled with careful attention to daylighting and ventilation can result in a substantial saving of energy in buildings in warm regions, a well known principle which seems necessary to be repeated. Dr. Keller, Winterthur (Switzerland), proved that private research can lead to new technologies. He reported on the development of a new window system in "High Insulation Technology" (HIT) without thermal bridges and a U-value down to  $0.6 \text{ W/m}^2 \text{ K}$ , combined with high solar and luminous transmittance. This will open new horizons for comfort and building energy management. Mr. Sagelsdorff from the Swiss Institute for Materials Testing and Research (EMPA) proposed a





nomogram for the easy determination of the maximum indoor-temperature for Swiss summer conditions. A check for overheating is especially important for buildings designed for high solar gains in winter. Mr. Sagelsdorff also presented the paper of Dr. Gass (EMPA) on the evaluation of a micro-computer-based heating control system for residential buildings. A pilot project using such a system was investigated in the city of Zurich. Extensive long time measurements showed that heating energy savings up to 25 % are possible. Such savings resulted from: delivering heat only to the extent of the occupants' demands, adjusting for their behaviour thereby avoiding overheating, and giving data for individual heating bills. There is no question that micro-computer control will be more and more common in the future. Further research in this field is in progress.